



第六篇

钢结构工厂化 生产组织设计施工 技术与实例、图集

第一章 概 述

第一节 钢结构及其制造特点

一、概 述

钢结构的含义极为广泛。广义地说，凡以钢铁为基材，经过机械加工组装而成的结构件，均可属钢结构制造的范畴。但是，一般钢结构制造厂所从事的钢结构仅限于工业厂房、高层建筑、塔桅等结构件的制作。这种结构件也称为建筑钢结构。由于钢结构的建筑具有强度高，结构轻巧，施工期短和精度高等特点，再加上操作技术上的不断进步，从最早的铆接发展为焊接，而且在现场安装时采用更方便和灵活的高强度螺栓连接，从而大大提高了生产效率，更适合于大型工业厂房及高层建筑、超高层大楼的建造。因此，钢结构在当今世界上被广泛地采用。

二、钢结构制造特点

钢结构制造的基本元件大多系热轧型材和板材。用这些元件组成薄壁细长构件，外部尺寸小，重量轻，承载能力高。虽然说，钢材的规格和品种有一定的限度，但我们可以把这些元件组成各种各样的几何形状和尺寸的构件，以满足设计者的要求。构件的连接可以用焊接、栓接、铆接、粘接来形成刚接和铰接等多种连接形式，这就现有技术设备和手段来说是非常容易的。

再说，由于建筑技术的发展、建筑标准合理化、预制构件的标准化，可建立标准通用模数，使尺寸协调，适当地限制构件类型及尺寸，以使生产机械化、高效化，节省大量的材料损耗。

完整的钢结构产品，需要通过将基本元件使用机械设备和成熟的工艺方法，进行各种操作处理，达到规定产品的预定要求目标。现代化的钢结构制造厂应具有进行剪、冲、切、折、割、钻、铆、焊、喷、压、滚、弯、卷、刨、铣、磨、锯、涂、抛、热处理、无损检测等加工能力的设备，并辅之以各种专用胎具、模具、夹具、吊具等工艺装备，对所设计的钢结构件，几乎所有形状和尺寸都能毫无困难地按设计达到要求，而且

制造也逐渐趋向于高精度、高水平。以焊接工艺手段为例，目前就有多种方法和使用的设备，如手工电弧焊、CO₂ 气体保护焊、电渣焊、半自动埋弧焊、自动埋弧焊、氩弧焊、重力焊、等离子焊、气焊、激光焊等等，而且上述各种焊接还可发展为其他派生的类型。

当然有了上述这些类型的焊接方法，也都有与这种焊接方法相匹配的各种焊接材料的生产供应。随着焊接方法和焊接强度的研究发展，焊接的接头强度，目前已能够达到使熔敷金属与母材匹配的等强度或超强度的要求；对焊接的变形也正逐步得到控制。

以建筑钢结构来讲，钢结构的部件不外乎柱、梁、支撑等，其间的连接也已由原来的铆接发展为焊接和高强度螺栓连接。目前钢结构件连接，大都为混合式的以焊栓为主；一般在工厂的制作均以焊接速接居多，现场的螺栓速接居多，或者部分相互交叉使用。

三、钢结构的规范和质量

按概率理论为基础的极限状态设计方法编制的《钢结构设计规范》(GBJ 17—88)已颁布使用，按此规范新编的《钢结构设计手册》也已在用，对工业厂房钢结构已有了较完整的设计依据。钢结构的制作和验收标准也在原 GBJ 205—95 标准的基础上重新修订为 GB 50205—2001，并已颁布执行。

目前对高层建筑钢结构的《高层建筑钢结构设计与施工规程》已完稿送审通，待批准后将正式颁布，作为建筑钢结构的主要标准之一。

由于对外开放，我国钢结构的生 产将有一定数量的部分将与美、日、德等国进行合作，或属设计委托的，这势必要采用 JIS、DIN、AISC、AWS 等标准，故钢结构生产厂在生产、设计中必须符合合同的技术要求，采用相应国家的标准。生产厂制订技术标准也就必须同时以这类标准作为参考，制订企业内控的标准。

对钢结构制造质量的控制，应符合上述设计和制造标准要求。但在实际生产中，钢结构制造、设计、验收质量也决非越高越好。这里既有对产品的适用性，也有对质量控制的要求程度等问题。总的原则是：在达到原设计标准要求的前提下，必须作适用性、技术性、经济性的综合考虑。无疑，有时产品制造精度选择过高，也会在吊装时带来实际的连接困难。

第二节 钢结构制造厂的生产布置

(1) 钢结构制造厂一般来说都属于非定型产品生产。尤其在我国，目前尚未有划分为单一生产某一产品(工业厂房或高层建筑)的钢结构厂的专门程度，大都是在合同范围内以销定产，决非以产定销，所以它的生产布局也难以固定为某一模式。一般大、中型企业(年产 4000~20000t 以上)均以大流水作业生产的工艺流程为主线，布置同类型

构件作批量的流水线（见图 6-1-1）。中小型企业（年产 1200 ~ 4000t）均以作坊式一竿子到底，以某一产品类型组织生产。多数则属混合型居多，即以产品类型作区域性的生产布置，其设备也就据此作相应的固定性配置。

（2）生产场地布置的根据。布置流水作业生产场地时要考虑：产品的品种、特点和批量；工艺流程、方法；产品的进度要求，每班制的工作量和要求的生产面积；现有的生产厂房、设备和起重运输能力。

（3）生产场地布置的原则：

①按流水顺序安排生产场地，尽量减少运输量，避免倒流水。

②根据生产需要合理安排操作面积，以保证安全操作，并要保证材料和零件有必需的堆放场地。

③保证成品能顺利运出，半成品顺利周转。

④便利供电、供气、供水、照明线路的布置。

工艺流程

大流水作业生产的工艺流程如图 6-1-2：

（4）流水生产布置的特点：

①以工艺流程为主导，线条清晰，厂房以长条形为佳。

②操作单一，便于计划控制和生产管理。

③一旦某区域发生故障，不致影响其他区域和工序的正常生产。

④占有厂房场地较大，工艺装备固定。

（5）固定式生产布置。产品固定在区域内基本不流动，一道工序完成，移动配置设备，下道工序继续在原区域内生产直至完成。这是一种传统的、原始的作坊式生产形式，小型企业采用较多。其特点是：

①占有生产场地较小。

②设备可移动，以配合构件生产位置。

③操作者必须具备多种工序操作能力。

④工效低，一旦出现生产障碍，将可能全部停顿。

（6）混合式布置：基本以流水生产（或以固定生产）的布置为基础，再考虑两者生产的交叉，按厂房、设备、人员水平、构件的类型（特殊的或一般的）将两者的生产布置混合使用。这是比较切合实际和调整比较灵活的一种布置形式。当然，也可按规模、设备条件进行有倾向性的安排，是中型企业采用较多的生产布置形式。

无论哪一种生产布置形式，都是以其自身具备的条件，作到在合同期内生产出高质量的构件，并提高劳动生产率，使企业获取最大经济效益为总的目的。如有条件，应向以构件类型划分的专业的全流水生产布置方向发展，以便进而向全自动化流水线的生产迈进。

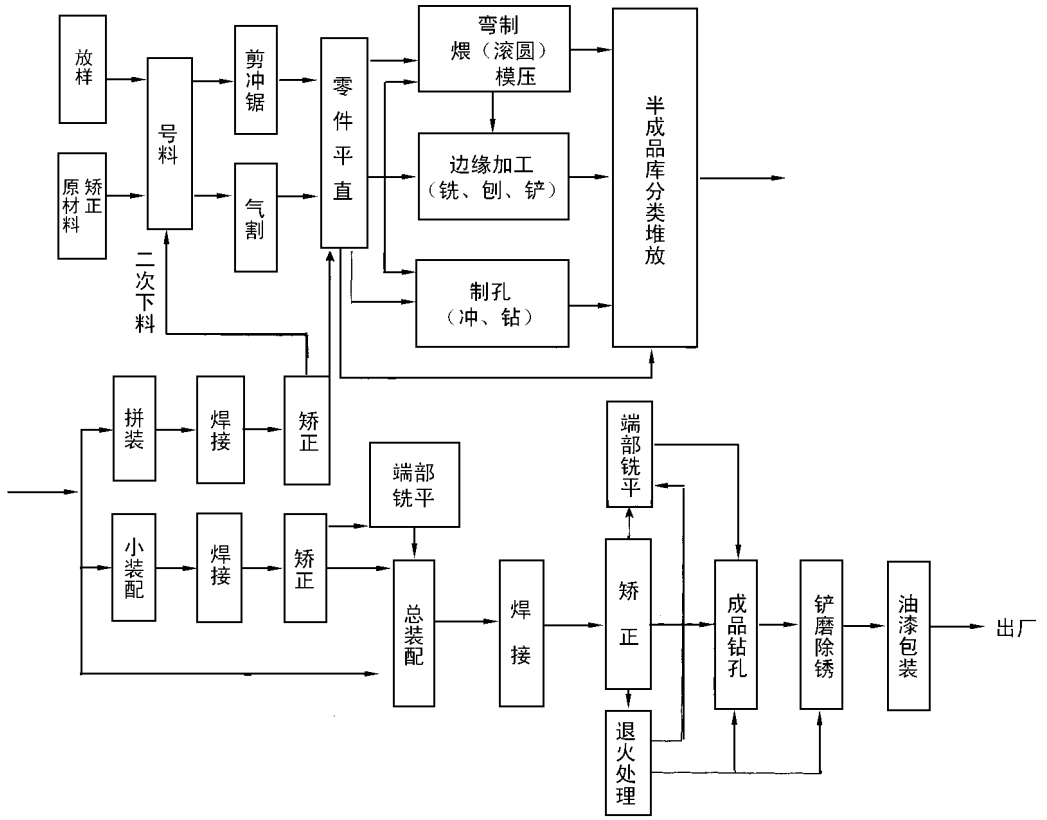


图 6-1-1 大流水作业生产的工艺流程

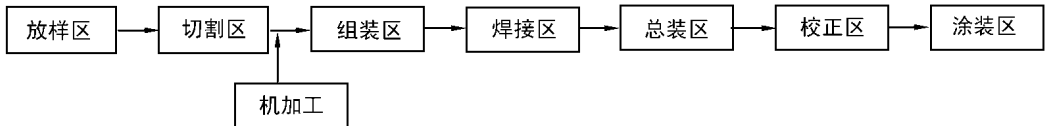


图 6-1-2 流水生产区域划分

第三节 钢结构制作的安全与环境卫生

一、钢结构制作的安全

钢结构生产的现场环境，不管是室内或是室外，往往均处于一个立体的操作空间之下，这对安全生产应极为重视，尤其在室内流水生产布置条件下，生产效率很高，工件

在空间大量、频繁地移动。一般统计，其移动重约为产出量的4~10倍。工件多由行车等起吊在空间作纵横向及上下向的线性运动，其移动几乎遍及生产场所每一角落的上空。

为便于钢结构的制作和操作者的操作活动，构件均宜在一定高度上搁置。无论是堆放的搁置架、装配组装胎架、焊接胎架……等都与地面离开0.4~1.2m。因此，操作者实际上除在安全通道外，随时随地都处于重物包围的空间范围内。

在制作大型钢结构，或高度较大、重心不稳的狭长构件和超大构件时，结构和构件更有倾倒和倾斜的可能性，因此必须十分重视安全事故的防范。除操作者自身应有防护意识外，还需各方位都应加以照看，以避免安全事故的发生。

从钢结构生产的各个工序中，很多都要使用剪、冲、压、锯、钻、磨等机械设备，这是一种人与机械直接接触的操作，被机械损伤的事故时有发生。但机械损伤事故的概率仅次于工件起运中坠落事故，更须作必要的防护和保护。

安全防护包括：

(1) 自身防范：必须按国家规定有关的劳动法规条例，对各类操作人员进行安全学习和安全教育，特别对特殊工种必需持证上岗。对生产场地必须留有安全通道，设备之间的最小间距不得小于各6-1-3所示。进入现场，无论是操作者或生产管理人员，均应穿戴好劳动防护用品，并应注意观察和检查周围的环境。

设备布置的间距规定如图6-1-3。为安全生产，加工设备之间要留有一定的间距作为工作平台和堆放材料、工件等之用。

(2) 他人防范：操作者必须严格遵守各岗位的操作规程，以免损及自身和伤害他人，对危险源应作出相应的标志、信号、警戒等，以免现场人员遭受无意的损害。

(3) 所有构件的堆放、搁置应十分稳固，欠稳定的构件应设支撑或固结定位，超过自身高度构件的并列间距底大于自身高度，(如吊车梁、屋架、桁架等)以避免多米诺骨牌式的连续塌倒。构件安置要求平稳、整齐，堆垛不得超过二层。

(4) 索具、吊具要定时检查，不得超过额定荷载。焊接构件时不得留存、连接起吊索具。被碰甩过的钢绳，一律不得使用。正常磨损股丝应按规定更新。

(5) 所有钢结构制作中半成品和成品胎具的制造和安装，应进行强度验算，切切不可凭经验自行估算。

(6) 钢结构生产过程的每一工序或工步中所使用的乙炔、氧气、丙烷、电源必须有安全防护措施，定期检测泄漏和接地现象。

(7) 起吊构件的移动和翻身，只能听从一人指挥，不得两人并列指挥或多人参与指挥。起重物件移动时，不得有人在本区域投影范围内滞留、停立和通过。

(8) 所有制作场地的安全通道必须畅通。

二、钢结构制作的环境卫生

钢结构制作的环境卫生，归结一点就是，应有效地防止污染源的产生。钢结构件本

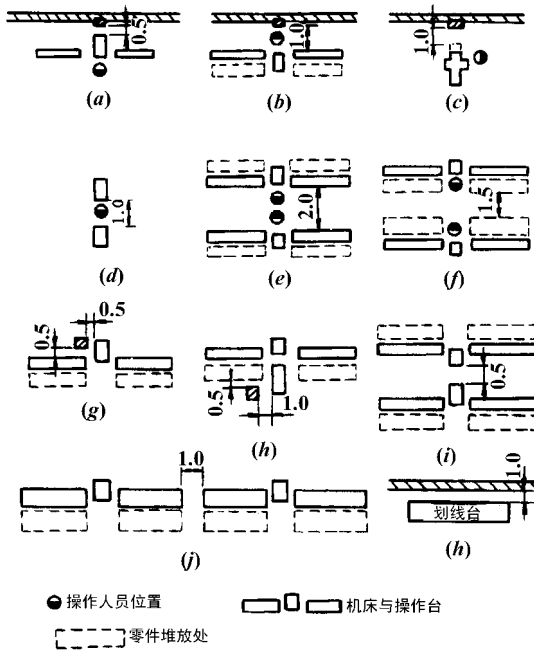


图 6-1-3 设备之间的最小间距 (m)

身并不对环境卫生有直接的影响，而是在生产过程中，由所用机械、动力、检测、设备、辅料等引起的，所以控制污染源的产生和防备才是首要的。

(1) 机械噪音：老厂房内生产过程时，必须限止在 95db 以下，目前对某些机械的噪音源还无法根治和消除情况下，应重点控制并采取相应的个人防护，以免给操作人员带来职业性疾病。

(2) 粉尘：严控在 $10\text{mg}/\text{m}^3$ 卫生标准内，操作时应佩戴有良好和完善的劳动防护用品加以保护。

(3) 油漆细雾：油漆场地应空气流通，通风良好，操作者应有完善的个人防护，尤其是对有机物的毒性散发和有害金属含量的控制，就更应注意。

(4) “RT”检测：在钢结构生产企业中，进行无损检测是无可避免的，其中尤以采用射线检测中的放射源危害为最。这在密集型生产区域一定要有时间限制，一般以夜间拍片为好，并应在检测区域内划定隔离防范警戒线、远距离控制操作。有条件时作铅房隔离最佳。

(5) 污水和污物：只有乙炔发生器使用单位的排污为最，自 1992 年后已进入使用瓶装乙炔，电石污染已基本消除。

对钢结构厂的环境卫生，总的原则和细则，应遵照企业各工种劳动保护条例规定实施，以确保钢结构生产的安全和环境卫生达标。

第二章 施工组织、常用量具与工具

第一节 概述

(1) 在钢结构制造中, 施工组织, 是指导和合理组织施工生产活动的重要的技术措施。本章主要介绍工业和民用建筑钢结构制作技术措施, 即从钢结构准备工作开始至成品交货出厂为止对整个生产过程各有关技术措施文件的编制, 包括审查图纸、备料核对、钢材选择和检验要求, 材料的变更与修改、钢材的合理堆放, 成品检验, 以至装运出厂等有关施工生产技术资料文件的编写和制订, 以及有关常用量具与工具的介绍。

(2) 要做好施工详图的审查及生产技术准备的编制工作, 以保证成品质量, 尽量节约钢材, 并便于组织流水作业生产。

(3) 各项规定系按照国家标准, 《钢结构工程施工及验收规范》(GB 50205—2001) 和《钢结构工程质量检验评定标准》(GB 50221—2001) 等技术要求, 结合具体情况而编制的。

(4) 钢结构制作过程中, 尚须考虑下列条件:

- ①结构的使用情况以及安装运输条件。
- ②保证质量节约钢材并在制造中降低劳动强度。
- ③结构变形后对应力的影响及处理。

第二节 审查图纸

(1) 钢结构制造厂在接到工程图纸后, 应该组织有关工程技术人员对设计图和施工图进行审查。

(2) 关于设计图和施工图, 按规范定义说明如下:

- ①设计图: 由工程设计单位提出的技术设计图, 是作为工程建设依据的图纸。
- ②施工图: 安装单位或工程设计单位依据设计图绘制的施工详图。

(3) 图纸审核的主要内容包括:

①设计文件是否齐全, 设计文件包括设计图、施工图、图纸说明和设计变更通知单等。

- ②构件的几何尺寸是否齐全。
- ③相关构件的尺寸是否正确。
- ④节点是否清楚，是否符合国家标准。
- ⑤标题栏内构件的数量是否符合工程总数。
- ⑥构件之间的连接形式是否合理。
- ⑦加工符号、焊接符号是否齐全。
- ⑧结合本单位的设备和技术条件考虑，能否满足图纸上的技术要求。
- ⑨图纸的标准化是否符合国家规定等。

(4) 审查图纸的目的，是检查图纸设计的深度能否满足施工的要求，核对图纸上构件的数量和安装尺寸，检查构件之间有无矛盾等，同时亦对图纸进行工艺审核，即审查技术上是否合理，制作上是否便于施工，图纸上的技术要求按加工单位的施工水平能否实现等。如果由加工单位自己设计施工详图，制图期间又已经过审查，则审图程序可相应简化。此外，还要合理划分运输单元。

(5) 图纸审查后要做技术交底准备，其内容有：

- ①根据构件尺寸考虑原材料对接方案和接头在构件中的位置。
- ②考虑总体的加工工艺方案及重要工装方案。
- ③对构件的结构不合理处或施工有困难的，要与需方或者设计单位做好变更签证手续。
- ④列出图纸中的关键部位或者有特殊要求的地方加以重点说明。

第三节 备料和核对

(1) 根据施工图纸材料表算出各种材质、规格的材料净用量，再加一定数量的损耗，编制材料预算计划。

提出材料预算时，需根据使用长度合理订货，以减少不必要的拼接和损耗。

对拼接位置有严格要求的吊车梁翼缘和腹板等，配料时要与桁架的连接板搭配使用，即优先考虑翼缘板和腹板，将配下的余料作小块连接板。小块连接板不能采用整块钢板切割，否则计划需用的整块钢板就可能不够应用，而翼缘和腹板割下的余料则没有用处。

(2) 钢材的损耗率，为考核各种钢材实际消耗的平均值，工程预算一般按实际所需加 10% 提出材料需用量。下列表 6-2-1 仅供参考。

表 6-2-1 钢板、角钢、工字钢、槽钢损耗率

编号	材料名称	规格	损耗率%	编号	材料名称	规格	损耗率%
1		1~5mm	2.00	9		14a 以下	3.20

第二章 施工组织、常用量具与工具

编号	材料名称	规格	损耗率%	编号	材料名称	规格	损耗率%
2	钢板	6 ~ 12mm	4.50	10	工字钢	24a 以下	4.50
3		13 ~ 25mm	6.50	11		36a 以下	5.30
4		26 ~ 60mm	11.00	12		60a 以下	6.00
			平均：6.00				平均：4.75
5	角钢	75 × 75 以下	2.20	13	槽 钢	14a 以下	3.00
6		80 × 80 ~ 100 × 100	3.50	14		24a 以下	4.20
7		120 × 120 ~ 150 × 150	4.30	15		36a 以下	4.80
8		180 × 180 ~ 200 × 200	4.80	16		40a 以下	5.20
			平均：3.70				平均：4.30

注：不等边角钢按长边计，其损耗率与等边角钢同。

(3) 为了提高生产率以及确保构件的油漆质量，钢材在下料加工前，应进行预处理。其方法一般为手工除锈或喷砂、喷丸除锈，然后涂上防锈底漆。

大、中型专业化钢结构制造厂应建立钢材预处理——下料流水线。

(4) 钢结构使用的材料主要是钢板和各种型钢，为了确保构件的质量，使用前应对每一批钢材核对质量保证书，必要时应对钢材的化学成分和机械性能进行复验，以保证符合其牌号所规定的各项技术要求，从而达到设计要求。

对建筑钢材各项要求具体内容见第二篇，有关常用钢材标准号和名称见表 6-2-2。

表 6-2-2 常用钢材标准号和名称

标准号	标准名称
GB 709—88	热轧钢板和钢带的尺寸、外形、重量及允许偏差
GB 912—89	碳素结构和低合金结构钢热轧厚钢板及钢带
GB 3274—88	碳素结构钢和低合金结构钢热轧厚钢板及钢带
GB 706—88	热轧工字钢尺寸、外形、重量及允许偏差
CB 707—88	热轧槽钢尺寸、外形、重量及允许偏差
GB 9787—88	热轧等边角钢尺寸、外形、重量及允许偏差
CB 9788—88	热轧不等连角钢尺寸、外形、重量及允许偏差
CB 702—86	热轧圆钢和方钢尺寸、外形、重量及允许偏差
GB 8162—87	结构用无缝钢管尺寸、外形、重量及允许偏差
GB 704—88	热轧扁钢尺寸、外形、重量及允许偏差

标准号	标准名称
GB 3277—82	花纹钢板

(5) 钢材在轧制、运输、堆放过程中,常会产生凹凸不平或者弯曲、扭曲等现象,特别是薄钢板和截面积小的型钢更容易发生变形,凡变形超过技术要求的钢材,在划线下料前,都必须对钢材进行矫正。一般使用机械设备矫正,此外亦可用热矫正方法进行矫正。具体见本篇第八章。

第四节 钢材的代用和变通办法

(1) 由于供应钢材或备料规格不能满足设计要求而需要代用时,应按下列原则进行。

① 钢结构按结构类型不同于对钢材各有要求,选用时根据要求对钢材的强度、塑性、韧性、耐疲劳性能、耐锈性能等全面考虑。对原钢板结构、焊接结构、低温结构和采用含碳量高的钢材制作的结构,还应重点防止脆性破坏。

② 对结构钢材的选择见表 6-2-3 所列。

表 6-2-3 结构钢材的选择

项次	结构类型		计算温度	选用牌号
1	焊接结构	重级工作制吊车梁或类似结构	-	平炉、顶吹纯氧转炉 Q235 镇静钢或 16 锰钢
2		直接承受动力荷载的结构	等于或低于 -20℃	同 1 项
3			轻、中级工作制吊车梁或类似结构	高于 -20℃
4		承受静力荷载或间接承受动力荷载的结构	等于或低于 -30℃	同 1 项
5	高于 -30℃		同 3 项(当计算温度高于 -15℃ 时,可采用侧吹碱性转炉 Q235 镇静钢)	

项次	结构类型		计算温度	选用牌号	
6	非 焊 接 结 构	直接承受动力荷载的结构	重级工作制吊车梁或类似结构	等于或低于 -20°C	同 1 项
7				高于 -20°C	同 3 项
8			轻、中级工作制吊车梁或类似结构	—	同 3 项
9		承受静力荷载或间接承受动力荷载的结构		—	同 3 项（当计算温度高于 -30°C 时，可采用侧吹碱性转炉沸腾钢）

- 注：1. 冶金工厂的夹钳或刚性料、焊接吊车梁，当计算温度等于或低于 -20°C 时，宜用 16Mn 钢。
2. 低温地区的露天（或类似露天）的焊接结构，用沸腾钢时，板厚不宜过大。
3. 计算温度应按现行《工业企业采暖通风和空气调节设计规范》中的冬季空气调节室外计算温度确定。

③对钢材性能的要求：承重结构的钢材，应保证抗拉强度（ f ）、伸长率（ δ_5 或 δ_{10} ）、屈服（ δ_s ）和硫（S）、磷（P）的极限含量。焊接结构应保证碳（C）的极限含量。必要时还应有冷弯试验的合格证。

对重级工作制和吊车起重量等于或大于 50t（500kN）的中级工作制焊接吊车梁或类似结构的钢材，应有常温冲击韧性的保证。计算温度等于或低于 -20°C 时，Q235 号钢（3 号钢）应有 -20°C 下冲击韧性的保证。16Mn 和 16Mnq 钢应具有 -40°C 下冲击韧性的保证。重级工作制的非焊接吊车梁，必要时其所用钢材也应具有冲击韧性的保证。

（2）钢结构选用钢材的要求应按上述的规定，设计选用钢材的钢号和提出对钢材性能的要求，施工单位不得随意更改或代用。

（3）钢材代用一般须与设计单位共同研究确定，同时应注意下列几点：

①钢号虽然满足设计要求，但生产厂提供的材质保证书中缺少设计部门提出的部分性能要求时，应做补充试验。如 Q235、Q235·B·F 缺少冲击、低温冲击试验的保证条件时，应作补充试验，合格后才能应用。补充试验的试件数量，每炉钢材、每种型号规格一般不宜少于三个。

②钢材性能虽然满足设计要求，但钢号的质量优于设计提出的要求时，应注意节约。不要任意以优代劣，不要使质量差距过大。如采用其他专业用钢代替建筑结构钢时，最好查阅这类钢材生产的技术条件，并与建筑钢材的技术条件（GB 700-79）相对照，以保证钢材代用的安全性和经济合理性。重要的结构代用要有可靠的试验依据。

③如钢材性能满足设计要求，而钢号质量低于设计要求时，一般不允许代用。如结构性能与使用条件允许，在材质相差不大的情况下，经设计单位同意亦可代用，如以 Q235 代 Q235·F 等。

④钢材的钢号和性能都与设计提出的要求不符时，如 Q235 钢代 16Mn 钢，首先应

根据上述规定检查是否合理，然后按钢材的设计强度重新计算，根据计算结果改变结构的截面，焊缝尺寸和节点构造，经设计单位同意亦可代用。

⑤普通碳素钢中的乙类钢，一般不保证机械性能，钢结构工程中不宜采用。特殊情况下，应按照国家标准对不同规格的钢材都要进行机械性能试验后，才准许应用。

⑥采用进口钢材时，应验证其化学成分和机械性能是否满足相应钢号的标准。

⑦钢材的规格尺寸与设计要求不同时，不能随意以大代小，须经计算后征得设计单位同意后才能代用。

⑧如钢材品种供应不全，可根据钢材选择的原则合理调整。建筑结构对材质的要求是：

受拉构件高于受压构件；焊接结构高于螺栓或铆钉连接的结构；厚钢板结构高于薄钢板结构；低温结构高于常温结构；受动力荷载的结构高于受静力荷载的结构。如桁架中上、下弦可用不同的钢材。遇含碳量高或焊接困难的钢材，可改用螺栓连接，但须与设计单位商定。

(4) 钢材代用在取得设计单位的同意认可后，要做好变更钢材签证手续。在此基础上发出材料代用通知单。材料代用通知单一般由工艺部门签发，通知有关部门执行。

第五节 钢材的检验和堆放

一、钢材的检验

钢材检验制度是保证钢结构工程质量的重要环节，应该遵照执行。钢材检验的主要内容是：

(1) 钢材的数量和品种是否与订货单符合。

(2) 钢材的质量保证书是否与钢材上打印的记号符合。每批钢材必须具备生产厂提供的材质证明书，写明钢材的炉号、钢号、化学成分和机构性能。对钢材的各项指标可根据国标（GB 700—79）和（YB 13—69）的规定进行核验。

(3) 核对钢材的规格尺寸。各类钢材尺寸的容许偏差，可参照有关国标或冶标中的规定进行核对。

(4) 钢材表面质量检验。不论扁钢、钢板和型钢，表面均不允许有结疤、裂纹、折叠和分层等缺陷。有上述缺陷者应另行堆放，以便研究处理。钢材表面的锈蚀深度，不得超过其厚度公差。

二、钢材的堆放

(1) 钢材堆放要减少钢材的变形和锈蚀，节约用地，也要使钢材提取方便。

(2) 露天堆放时，堆放场地要高爽，四周有排水沟，雪后易于清扫。堆放时尽量使钢材截面的背面向上或向外，以免积雪，积水如图 6-2-1 所示。

(3) 堆放在有顶棚的仓库内时，可直接堆放在地坪上（下垫楞木），对小钢材亦可堆放在架子上，堆与堆之间应留出走道。如图 6-2-2 所示。堆放时每隔 5~6 层放置楞木，其间距以不引起钢材明显的弯曲变形为宜。楞木要上下对齐，在同一垂直平面内。为增加堆放钢材稳定性，可使钢材互相勾连，或采用其他措施，这样钢材的堆放高度可达所堆宽度的两倍。否则，钢材堆放的高度不应大于宽度。一堆内上下相邻的钢材须前后错开堆放。

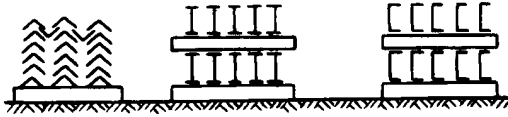


图 6-2-1 钢材露天堆放

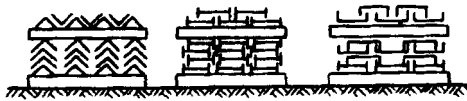


图 6-2-2 钢材在仓库内堆放

(4) 每堆堆放好的钢材，要在其端部固定标牌和编号。标牌应表明钢材的规格、钢号、数量和材质检验证明书号，并在钢材端部根据其钢号涂以不同颜色的油漆，油漆的颜色如表 6-2-4 所示。

表 6-2-4 钢材钢号和色漆对照

钢号	0 号	1 号	2 号	3 号	4 号	5 号	16Mn
油漆颜色	红 + 绿	白 + 黑	黄色	红色	黑色	绿色	白色

钢材的标牌要定期检查，选用钢材时，要顺序寻找，不允许乱翻。

第六节 编制工艺规程

(1) 根据钢结构工程施工及验收规范 (GB 50205—95) 第 1.0.4 条及 1.0.5 条：“钢结构工程施工前，制作和安装单位，应按施工图设计的要求，编制制作工艺和安装施工组织设计”和“钢结构制作和安装，应根据工艺要求和施工组织设计进行”。

工艺规程的内容应包括：

①成品技术要求。

②为保证成品达到规定的标准而制订的措施：

A. 关键零件的精度要求，检查方法和使用的量具、工具。

B. 主要构件的工艺流程，工序质量标准、为保证构件达到工艺标准而采用的工艺措施（如组装次序，焊接方法等）。

C. 采用的加工设备和工艺装备。

（2）工艺规程是生产经验和理论技术的结晶，也是钢结构制造中主要的和根本性的指导性技术文件，亦是制作中最可靠的质量保证措施。因此，工艺规程一经制订，必须严格执行，不得随意更改。在施工中应通过一定手续才能进行修订。

（3）编制正确的工艺规程应满足下面三个基本要求：

①工艺方面：在一定的生产规模和条件下编制的工艺规程，不但能保证图纸的技术要求，而且能更可靠、更顺利地实现这些要求。即工艺规程应尽可能依靠工装设备，而不是依靠劳动者技巧来保证获得产品质量和产量的稳定性。

②经济方面：所编制的工艺规程要保证在最佳经济效果下，达到技术条件的要求。因此对于同一产品应考虑不同的工艺方案，互相比较，从中选择最好的方案，力争做到以最少的劳动量、最短的生产周期、最低的材料和能源消耗，生产出质量可靠的产品。

③安全方面：所编制的工艺规程，既要满足工艺、经济条件，又要是安全的施工方法，并要尽量减轻劳动强度，减少流程中的往返性。

（4）编制工艺规程依据是：

①结构件的总图，部件图和零件图。

②结构件的设计说明和技术条件。

③结构件的批量及单件的重量和外形尺寸。

④车间的作业面积，动力、起重和加工设备的能力。

⑤车间劳动者的数量、工种及技术等级等。

（5）工艺规程的编制是：根据产品的结构、制造技术条件、生产纲领和生产条件等进行的，其内容为：

①分出单个构件的加工工艺流程单。

②由流程单排出装配、焊接顺序的方案。

③进行工艺、经济的可靠性论证。分析比较得出合理的装配、焊接顺序。

④填写装配、焊接工艺卡片。

⑤提出各工序所需的设备，工艺装备检测工具等的清单和填写专用工艺装备或设备的设计任务书。

⑥填写材料消耗定额表和材料汇总单。

⑦填写各工序工时定额单。

⑧必要时，列出使用钢材排料切割单。

（6）其他的工艺准备工作内容有：

①从施工图中摘出零件，编制工艺流程表。

②根据来料尺寸和用料要求，统筹安排合理配料，确定拼接位置：

A. 拼装位置应避开安装孔和复杂部位。

B. 双角钢断面的构件，两角钢应在同一处拼接。

C. 一般接头属于等强度连接，其位置一般无严格规定，但应尽量布置在受力较小部位。

D. 各种型钢对接接头标准：见表 6-2-5 至 6-2-8 所示。

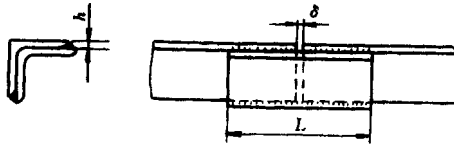
③根据工艺要求准备必要的工艺装备（胎、夹、模具）。因为工艺装备的生产周期较长，应争取先行安排加工。

④确定各工序的精度要求和质量要求，并绘制加工卡片。

⑤根据构件的加工需要，调拨或添置必要的设备和工具，此项工作也应提前做好准备。

表 6-2-5

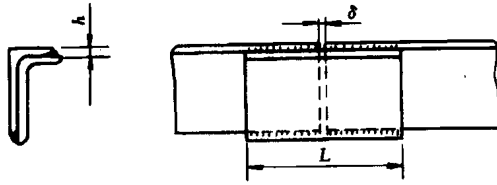
1. 等边角钢对接接头标准



角 钢	对接接头角钢	接头角钢长 (L)	空隙 (δ)	焊缝高 (h)	角 钢	对接接头角钢	接头角钢长 (L)	空隙 (δ)	焊缝高 (h)
50×50×5	50×50×5	210	8	5	100×100×12	100×100×12	520	14	10
50×50×6	50×50×6	220	10	6	120×120×10	120×120×10	540	14	10
60×60×5	60×60×5	230	10	6	120×120×12	120×120×12	640	14	10
60×60×6	60×60×6	250	10	6	130×130×10	130×130×10	570	14	10
65×65×6	65×65×6	300	10	6	130×130×12	130×130×12	680	14	10
65×65×8	65×65×8	330	10	6	150×150×12	150×150×12	640	14	12
75×75×6	75×75×6	330	10	6	150×150×14	150×150×14	750	16	12
75×75×8	75×75×8	440	10	6	150×150×16	150×150×16	850	16	12
80×80×6	80×80×6	370	10	6	180×180×14	180×180×14	770	18	14
80×80×8	80×80×8	370	10	8	180×180×16	180×180×16	890	18	14
90×90×8	90×90×9	410	12	8	200×200×16	200×200×16	970	20	16
90×90×10	90×90×10	500	12	8	200×200×18	200×200×18	970	18	14
100×100×8	100×100×8	450	12	8	200×200×20	200×200×20	1100	20	16
100×100×10	100×100×10	540	12	8	200×200×24	200×200×24	1270	20	16

表 6-2-6

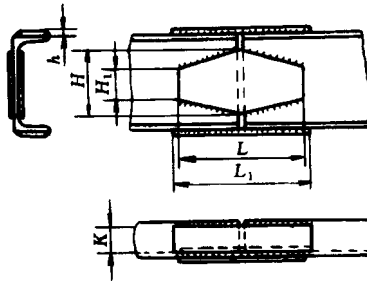
2. 不等边角钢对接接头标准



角 钢	对接接头角钢	接头角钢长 (L)	空隙 (δ)	焊缝高 (h)	角 钢	对接接头角钢	接头角钢长 (L)	空隙 (δ)	焊缝高 (h)
60 × 40 × 5	60 × 40 × 5	240	8	5	130 × 90 × 8	130 × 90 × 8	480	12	8
60 × 40 × 6	60 × 40 × 6	240	10	6	130 × 90 × 10	130 × 90 × 10	580	12	8
75 × 50 × 6	75 × 50 × 6	280	10	6	150 × 100 × 10	150 × 100 × 10	640	12	8
75 × 50 × 8	75 × 50 × 8	360	10	6	150 × 100 × 12	150 × 100 × 12	760	12	8
85 × 55 × 6	85 × 55 × 6	300	10	6	180 × 120 × 12	180 × 120 × 12	750	14	10
85 × 55 × 8	85 × 55 × 8	380	10	6	180 × 120 × 14	180 × 120 × 14	860	14	10
90 × 60 × 8	90 × 60 × 8	340	10	6	200 × 120 × 12	200 × 120 × 12	800	14	10
90 × 60 × 10	90 × 60 × 10	440	10	6	200 × 120 × 14	200 × 120 × 14	900	14	10
100 × 75 × 8	100 × 75 × 8	380	12	8	200 × 120 × 16	200 × 120 × 16	1040	14	10
100 × 75 × 10	100 × 75 × 10	460	12	8	200 × 150 × 12	200 × 150 × 12	870	16	12
120 × 80 × 8	120 × 80 × 8	440	12	8	200 × 150 × 16	200 × 150 × 16	1150	16	12
120 × 80 × 10	120 × 80 × 10	520	12	8					

表 6-2-7

3. 槽钢对接接头标准



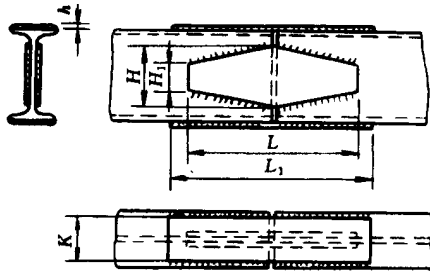
水平盖板

垂直盖板

截面号数	水平盖板				垂直盖板				
	盖板厚	宽度 K	长度 L_1	焊缝高 h	盖板厚	宽度 H	宽度 H_1	长度 L	焊缝高 h
10	12	35	180	6	6	60	40	130	5
12	12	40	210	6	6	80	40	160	5
14	12	45	230	6	8	90	50	160	6
16	14	50	270	6	8	100	50	200	6
18	14	55	230	8	8	120	60	230	6
20	14	60	250	8	8	140	60	250	6
22	14	65	260	8	8	160	70	280	6
24	16	65	280	8	8	180	80	300	6
27	16	70	340	8	8	200	90	300	6
30	18	70	340	8	8	230	100	330	8
33	18	70	380	8	10	250	110	350	8
36	20	75	360	10	10	270	120	410	8
40	24	80	420	10	12	300	130	430	10

表 6-2-8

4. 工字钢对接接头标准



水平盖板					垂直盖板				
截面号数	盖板厚	宽度 K	长度 L_1	焊缝高 h	盖板厚	宽度 H	宽度 H_1	长度 L	焊缝高 h
10	12	55	260	5	6	60	40	120	5
12	12	60	310	5	6	80	40	150	5
14	14	60	320	6	8	90	50	160	6
16	14	65	350	6	8	100	50	190	6
18	14	75	400	6	8	120	60	220	6
20a	16	80	470	6	8	140	60	260	6
22a	16	90	520	6	8	160	70	290	6
24a	16	95	470	8	10	180	80	290	8
27a	18	100	480	8	10	200	90	300	8
30a	18	105	510	8	10	230	100	390	8
33a	18	110	570	8	10	250	110	, 410	8
36a	20	110	500	10	12	270	120	360	10
40a	22	110	540	10	12	300	130	440	10
45a	24	120	600	10	12	350	150	540	10
50a	30	125	620	12	14	380	170	480	12
55a	30	125	630	12	14	480	180	590	12
60a	30	135	710	12	14	480	200	660	12

(7) 钢结构制作的工序，根据金属结构制造厂的设备情况和构件的制造要求而有所不同。对于有特殊加工要求的构件，应在制造前制定专门的加工工序。一般钢结构制造

的工序即流水作业生产工艺流程，如图 6-2-3 所示

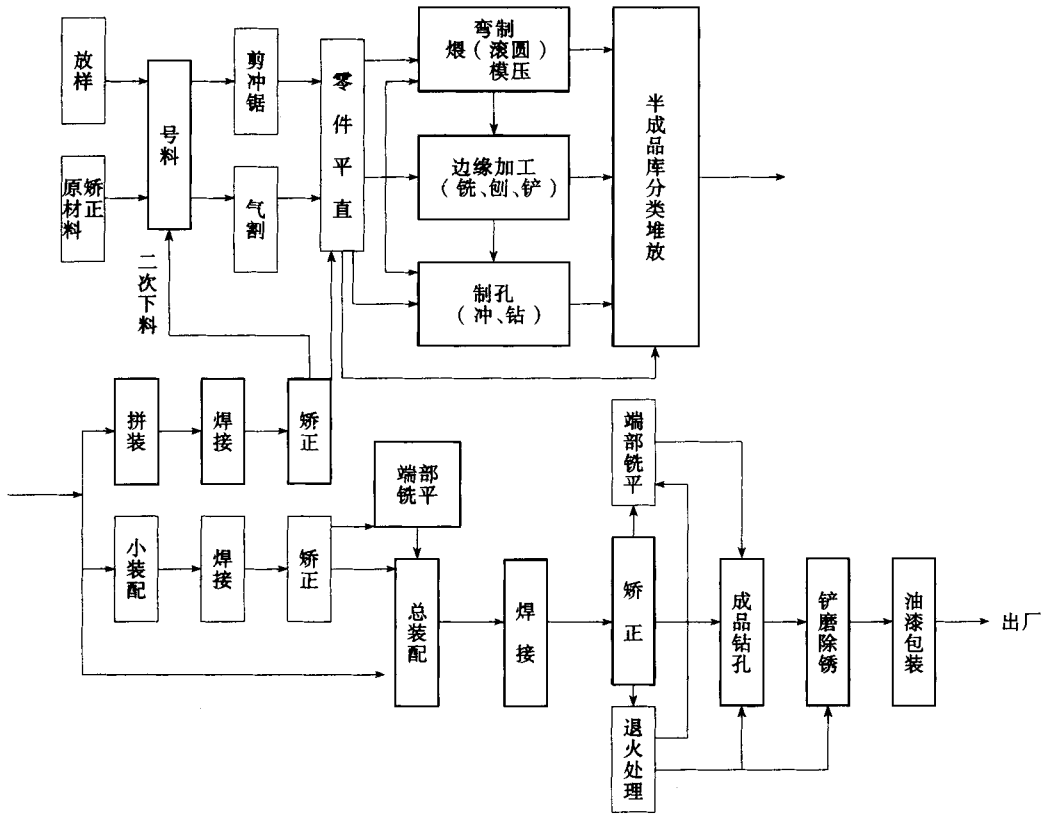


图 6-2-3 流水作业生产的工艺流程

第七节 工艺装备技术

(1) 钢结构加工过程中，工艺装备的制作关系到保证产品质量的重要环节。一般钢结构制作中工装可分为两大类，它们是：

① 原材料加工过程中所需的工艺装备，如剪切用的定位靠山，各种冲切模、压模、切割套模、钻模等。这一类工艺装备主要应能保证构件符合图纸的尺寸要求。

② 拼装焊接所需的工艺装备，如拼装用的定位器、夹紧器、拉紧器、推撑器以及装配焊接用的各种拼装模胎、焊接转胎等。这一类工艺装备主要保证构件的整体几何尺寸和减少变形量。

(2) 对结构工装夹具的要求：

① 使用方便，操作容易，安全可靠。

- ②有可能在最合理、方便的位置按工艺顺序进行焊接各个位置的焊缝。
- ③焊接工件能迅速地散热以减少变形。
- ④容易检查构件尺寸和取放构件。
- ⑤结构要简单、加工方便、经济合理。
- ⑥能减少装配、焊接劳动量，提高生产率。

(3) 结构工装夹具设计的原始资料：

①生产规模：当大批量生产构件时，应设计专用的和快速装拆的夹具，而当为一般的批量生产时，除设计给某种构件或成品的专用夹具外，还可设计一些适合各种构件或成品使用的通用夹具。当单件生产时，应设计简易的具有快速作用的夹具。

②产品结构：结构件在整个成品中的位置、形状、尺寸、重量等是决定夹具方案的重要因素。

③结构件制作工艺：设计工艺装备的夹具前，必须了解结构件的制作工艺过程（包括下料、加工、装配、焊接等），并分析各工序之间的联系及各工序对夹具的要求，从而考虑采用相适应的工装夹具。

④工装夹具的功能：根据工艺要求或者技术要求选用合理的夹具，充分体现工装夹具的功能，如对于要保证孔距尺寸的连接板等可用定位销等定位器具。

⑤厂房结构、起重能力以及有无压缩空气气源也是工装设计的参考条件。

第八节 安排生产计划及生产的组织方式

(1) 根据结构件的特点、工程量的大小和安装施工进度，按整个工程划分成工号（单元），以便分批投料，配套加工，配套组装。

(2) 划分工号后根据其工作量和进度计划，安排作业计划，同时作出劳动力和机具平衡计划。对薄弱环节的关键设备，需要按其工作量具体安排其进度和班次，以免影响整个工程的进度。

(3) 生产组织形式，根据专业化程度和生产规模，目前钢结构的生产组织形式有下列三种：

①专业分工的大流水作业生产：这种生产组织方式的特点是各个工序分工明确，所做的工作相对稳定，定机、定人进行流水作业。这种生产组织方式的生产效率和产品质量都有显著提高，适合于大批量生产标准成品构件的专业工厂和车间。

②一包到底的混合形式：这种生产组织方式的特点是成品构件统由大组包干，除焊工因有合格证制度需专人负责外，其他各工种多数为“一专多能”，如放样工兼做划线和拼搭工作，剪冲工兼做平直、矫正工作等。机具也由大组统一调配使用。这种方式适合于小批量生产标准成品构件的工地生产和生产非标准产品的专业工厂。其优点是，劳动力和设备都容易调配，管理和调度也比较简单。但对工人的技术水平要求较高，工种不能相对稳定。

③多功能型的放样间工作形式：构件加工顺序和加工余量均由放样室确定，其劳动组织类似第2种的混合形式。一般机械厂和建筑公司的结构车间常采用这种生产组织方式。

第九节 组织技术交底

(1) 钢结构工程是一个综合性的加工生产过程；构件或产品的生产从投料到成品，要经过许多道工序和装配连接等一系列的工作。根据构件或产品的特性和技术要求，为确保工程质量，对制作的工艺规程以及装配、焊接等生产技术问题，必须进行组织技术交底的专题讨论，这是施工前为贯彻执行工程项目技术要求，保证质量工作的专业会议。

(2) 技术交底会应有下列部门和人员参加：工程图纸的设计单位，工程建设单位以及制作单位有关部门和有关人员。

(3) 技术交底的主要内容由以下几个方面组成：

- ①工程概况。
- ②工程结构件数量。
- ③图纸中关键部件的说明。
- ④节点情况介绍。
- ⑤原材料对接和堆放的要求。
- ⑥验收标准的说明。
- ⑦交货期限，交货方式的说明。
- ⑧构件包装和运输要求。
- ⑨油漆质量要求。
- ⑩其他需要说明的技术要求。

(4) 技术交底会的目的是对某一项钢结构工程中的技术要求进行全面的交底，确保工程质量。同时亦可对制作中的难题，进行研究讨论，以达到意见统一，解决生产上的问题。

第十节 构件检验、涂刷标号及装运

一、竣工检验

(1) 制成的构件，应在未涂刷前质交检部门作最后检验，如合同有规定时，则须有建设单位的检验人员共同进行检验。

交货时，应具备下列文件备查或供安装单位核对：

- ①最后更改完整的施工详图及安装布置图。

- ②设计单位或建设单位对设计修改表示同意的证件。
- ③出厂构件和安装配件的明细表。
- ④焊接工艺评定报告和焊工技术证书编号表。
- ⑤高强度螺栓摩擦面抗滑移系数试验报告。

(2) 检验合格的构件，技术质量检验部门应在提出的检验证书上签章，并按构件标号注明验收构件的主要尺寸。公差，以及对设计的修改和修改的依据。

(3) 钢结构制造的允许偏差见表 6-2-9 至表 6-2-14 所列：

表 6-2-9 单层钢柱的允许偏差

项次	项 目	允许偏差	示 意 图	
1	柱底面到柱端与桁架连接的最上一个安装孔的偏差 (ΔL_1) $L \leq 15m$ $L > 15m$	$\pm L/1500$ $\pm 10mm$ $\pm 15mm$	<p>The diagram shows a vertical steel column with a lattice structure. It is connected to a truss system at the top. Key dimensions and deviations are labeled: L is the total height of the column; L_1 is the height from the base to the first installation hole; L_2 is the height from the first hole to the top connection; Δ is the camber of the flange; and Δ_a is the deviation of the first hole from the support plate surface.</p>	
2	柱底面到牛腿支承面距离的偏差 (ΔL) $L_1 \leq 10m$ $L_1 > 10m$	$\pm L/2000$ $\pm 5.0mm$ $\pm 8.0mm$		
3	连接同一构件的安装孔，任意两组孔距离的偏差 (Δ_2)	$\pm 2.0mm$		
4	受力支托板表面到第一个安装孔距离的偏差 (ΔL_a)	$\pm 1.0mm$		
5	牛腿面的翘曲 (Δ)	2.0mm		
6	柱身挠曲矢高	$f = L/1200$ $\leq 8.0mm$		
7	柱身扭曲 牛腿处 其他处	3.0mm 5.0mm		
8	柱截面几何尺寸的偏差 连接处 其他处	$\pm 3.0mm$ $\pm 5.0mm$		
9	翼缘板倾斜度偏差 $b \leq 400mm$ $b > 400mm$ 接合部位	$q \leq b/100$ $q \leq 5.00mm$ 1.5mm		见表 6-2-10 项次 6
10	柱脚底板翘曲	3.0mm		见表 6-2-10 项次 8
11	柱脚螺栓孔对底板中心轴线的偏差 (Δd)	$\pm 1.5mm$		

表 6-2-10

高层多节钢柱的允许偏差

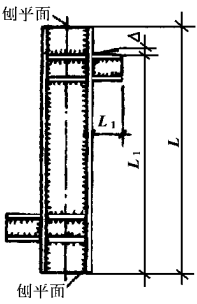
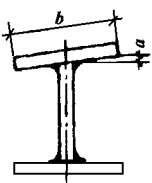
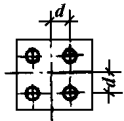
项次	项 目	允许偏差	示 意 图
1	一节柱长度 L 的偏差 (ΔL); 多节柱全长 _总 L 总的偏差 ($\sum \Delta L$)	$\pm 3.0\text{mm}$ $\pm 5.0\text{mm}$	
2	柱底刨平面到牛腿支承面的距离 L_1 的偏差 (ΔL)	$\pm 2.0\text{mm}$	
4	柱身挠曲矢高 (f)	$f = L/1500$ $\leq 5.0\text{mm}$	
4	牛腿的翘曲或扭曲 (Δ) $L_1 \leq 1000\text{mm}$ $L_2 > 1000\text{mm}$	2.0mm 3.0mm	
5	柱截面 (任一处) 几何尺寸	$\pm 3.0\text{mm}$	
6	翼缘板倾斜度 $b \leq 400\text{mm}$ $b > 400\text{mm}$ 接合部位	$q \leq b/100$ $q \leq 5.00\text{mm}$ 1.5mm	
7	腹板中心线偏移 接合部位 其他部位	$e_1 \leq 2.0\text{mm}$ $e_2 \leq 3.0\text{mm}$	
8	柱腿底板翘曲 柱脚螺栓孔对底板中心轴线的偏移	$\leq 3.0\text{mm}$ $\pm 1.5\text{mm}$	
9	每节柱的柱身扭曲	$\leq 5.0\text{mm}$	

表 6-2-11 屋架、屋架梁及其他桁架允许偏差

项次	项 目	允许偏差	示 意 图
1	桁架跨度 L 最外端距离的两个孔、或两端支承面最外侧 L 距离的偏差 (ΔL)		
	$L \leq 24\text{m}$	+ 3.0mm - 7.0mm	
	$L > 24\text{m}$	+ 5.0mm - 10.0mm	
2	桁架或天窗中点高度	$\pm 5\text{mm}$	
3	桁架按设计要求起拱	+ 10mm	
	不要求起拱	$\pm L/5000$	
4	固定檩条或其他构件的孔中心距离 L_1 、 L_2 的偏差	纵向 $\Delta L_1 \pm 3.0\text{mm}$	
		横向 $\Delta L_2 \pm 1.5\text{mm}$	
5	在支点处, 固定桁架上下弦杆的安装孔距离 (ΔL_3)	$\pm 2.0\text{mm}$	
6	支承面到第一个安装孔距离 (Δa)	$\pm 1.0\text{mm}$	
7	桁架弦杆在相邻节间不平直度	1/1000 不得大于 5.0mm	
8	檩条间距 (L)	$\pm 5.0\text{mm}$	

表 6-2-12

焊接实腹梁的允许偏差

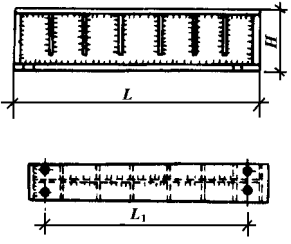
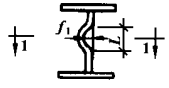
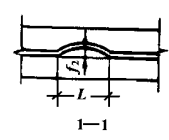
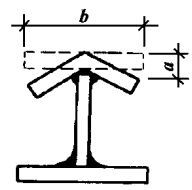
项次	项 目	允许偏差	示 意 图
1	梁跨度 L 的偏差： 端部有凸缘支承板 其他形式	- 5.0mm $\pm L/2500$ $\leq 10\text{mm}$	
2	端部高度 (H) $H \leq 2\text{m}$ $H > 2\text{m}$	$\pm 2.0\text{mm}$ $\pm 3.0\text{mm}$	
3	两端最外侧安装孔距离	$\pm 3.0\text{mm}$	
4	起拱度的偏差 $L \geq 24\text{m}$	$\pm 5.0\text{mm}$ (不得下挠)	
5	侧弯矢高 (Δf_1)	$\leq L/2000$, $\leq 10\text{mm}$	
	扭 曲 (梁高 h)	$h/250$ < 8.0	
6	腹板局部不平直度 $\delta < 14\text{mm}$	$\Delta f_2 \leq 3L/1000$	
	$\delta \geq 14\text{mm}$	$\Delta f_2 \leq 2L/1000$	
7	翼缘板倾斜度 (q)	$\leq 2.0\text{mm}$	
8	吊车梁上翼缘与轨道接触面不平直度	$\leq 1.0\text{mm}$	

表 6-2-13 钢平台和钢梯的允许偏差

项次	项 目	允许偏差	示 意 图
1	平台长度和宽度	$\pm 4.0\text{mm}$	
2	平台两对角线	6.0mm	
3	平台表面不平直度在 1m 范围内	4.0mm	
4	梯子长度	$\pm 5.0\text{mm}$	
5	梯子宽度	$\pm 3.0\text{mm}$	
6	梯子上安装孔距离	$\pm 3.0\text{mm}$	
7	梯子纵向挠曲矢高	$\leq L_T/1000$	
8	梯子踏步间距	$\pm 5.0\text{mm}$	
9	梯子踏步板不平直度	$\leq 1/100$	

表 6-2-14 墙架、支撑系统构件的允许偏差

项次	项 目	允许偏差	示 意 图
1	构件两端最外侧安装孔	$\pm 3.0\text{mm}$	
2	构件两组安装孔距离	$\pm 3.0\text{mm}$	
3	构件弯曲矢高	$L/100, \leq 10\text{mm}$	

二、涂底

(1) 制成的构件，应在质量验收后进行涂底工作，此项工作必须在装车发运前结束，如不能在厂内完成涂底工作，则事先须征得建设单位的同意。

(2) 结构上的构件编号及其他各种标志,如基础号、预装连接有关的编号等均应以颜色涂于易识别部位。凡有冲打编号处不加涂底,而以鲜明油漆划出一框,加以显示。

(3) 工地连接(结点)的接触面和在施工详图中注明不涂底的表面,均不涂底。

(4) 结构件与混凝土接触部分不许涂底,而以水泥浆涂刷。

(5) 工地焊缝在距焊缝 50~100mm 处不予涂底。

(6) 用干性油涂底时应在温度 5℃~38℃和相对湿度不大于 85%的天气情况下进行。雨天或构件表面结露时,不宜作业。涂后四小时内严防雨淋。

三、成品的堆放和装运

(1) 制作完成的结构件,不能及时运出或暂时不需安装,而需在厂中堆存时,应以单位工程构件分组堆放,堆放时应考虑到安装运出顺序。

(2) 成品堆放时,上下层应以方木垫平,方木上下层的中心线,须在同一平面内,以保证构件不发生弯曲变形。

(3) 屋架和桁架结构严禁高叠平放,应按如图 6-2-4 所示的方法放置。

(4) 制成的构件,应在涂底干燥后,才从工厂运出。

(5) 盖板、连接板和其他较小的零件,应放在构件的净空范围内,使在运输时不发生变形和丢失,必要时应装箱运送。

(6) 用铁路列车或船舶装运结构件时,应依照交通部门的规章办理。

(7) 成品装车时,尽量考虑构件的吊装方向,以免运抵工地重新翻转。

(8) 成品装车时应成套,以免遗漏,影响安装进展。

(9) 装运结构件时,务须使下面的构件不受上面构件重量的影响而发生下垂或弯曲现象。因此下面的构件应垫以足够数量的方木。

说明:

1. 枕木垫在屋架两端;
2. 屋架与屋架之间利用其安装孔,以螺栓连接。

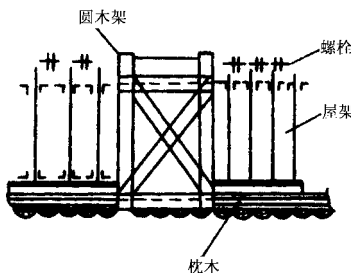


图 6-2-4 屋架与桁架结构的放置方法

第十一节 常用量具与工具

一、量具

量具的种类很多，按其性质可分为直接量具（尺类）和间接量具（卡钳等）。现将钢结构制造中常用的一般量具分述如下：

(1) 木折尺。常用的有两种：图 6-2-5a 为四折木尺，长度 500mm；图 6-2-5b 为八折木板，长度 1000mm。它们都是用经过特殊处理后的木料制成，其正、反两面都有刻度，可直接量出工作物的大小，能折叠，携带方便，一般用于常温下工件尺寸的测量。

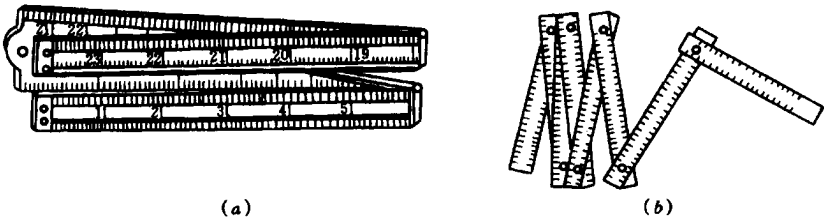


图 6-2-5 木折尺

(2) 钢尺。钢尺一般有公制和英制两种尺寸刻度，常用的长度有 150mm (6in)，300mm (12in)，600mm (24in)，900mm (36in) 等。图 6-2-6 是长度 150mm 的钢尺。

(3) 钢卷尺。它是由一条长而薄的钢（片）带制成，钢（片）带全长都卷入卷筒

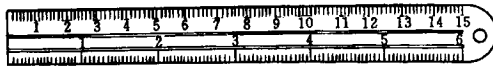


图 6-2-6 钢尺

中。钢带表面标有公制刻度，在一端带有小钩。常用的规格：长度 1m、2m（图 6-2-7a），长尺寸为 5、10、15、20、30m 多种（如图 6-2-7b）。

用尺测量工件时，应把刻度开始的一端或零线，跟被量的线段或工件的一侧对齐，然后读出工件另一侧所对齐的刻度线（如图 6-2-8）；尺应放置准确。用钢卷尺能量到的正确度误差为 0.5mm。在读所量的尺寸时，视线应对准钢卷尺，当视线偏斜时，由于钢卷尺有一定的厚度，读出的尺寸就不会正确。

(4) 角尺。它是由长、短两直尺，互成直角制作成“L”形钢尺（如图 6-2-9a）一般角尺没有刻度，它主要测量两个平面是否垂直和作划短垂线之用。检查角尺是否正

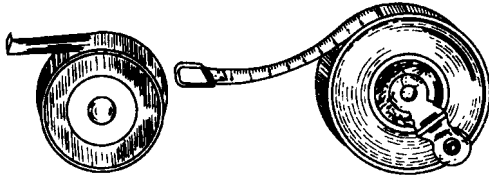


图 6-2-7 钢卷尺



图 6-2-8 用尺量取厚度的示意

(a) 正确的 ; (b) 错误的

确 (90° 直角), 可在平台上预先划一条直线, 将角尺一边对准直线, 沿角尺另一边划一垂线, 然后调转方向, 同样划线, 若两线重合即为正确 (图 6-2-9b), 反之则为不正确 (图 6-2-9c)。

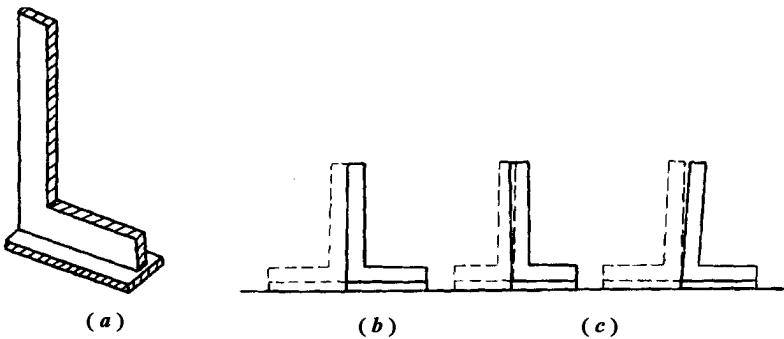


图 6-2-9 角尺

(5) 划线规及地规。划线规 (图 6-2-10a) 主要是在钢板上或在样板上画圆弧之用。制造时, 它的两只尖脚需要淬火, 这样才能保持经久耐用。

地规 (图 6-2-10b) 由两个地规体和一条规杆组成。地规体 (图 6-2-10c) 用钢制成, 其尖端也要淬火, 以保持尖锐。规杆须用坚韧的木材制作, 杆的长方形断面应稍小于地规体的穿杆孔, 以便穿入又免于摆动。地规主要是画大圆弧及开 90° 角尺线之用。

(6) 游标卡尺: 如图 6-2-11a, 它能精确地测量出工件的直径、厚度、孔径和孔的深度等。卡尺上带有刻度的称为主尺, 每一刻度长为 1mm。主尺上有两个固定量足 2

和 3，另外两个活动量足 1 和 4 与框架 6 连战一体，能沿主尺滑动，可用螺钉 5 把它紧固在需要的位置上。量足 1 和 2 用来测量工件的外径、厚度等外表面尺寸、量足 3 和 4

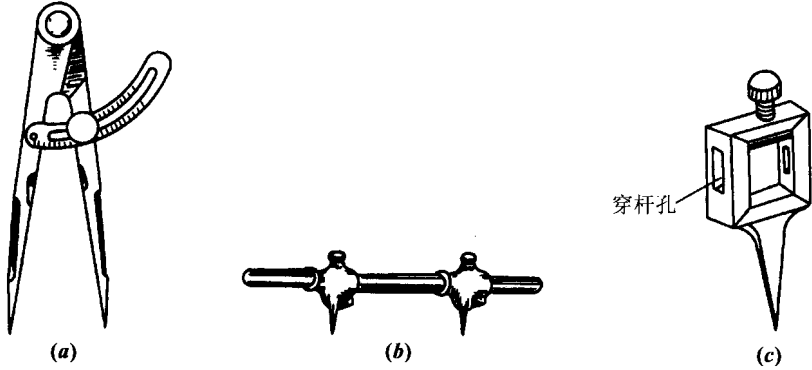


图 6-2-10 划线规和地规
(a) 划线规；(b) 地规；(c) 地规体

用来测量工件的内径等内表面间尺寸。框架 6 的后面与量条 8 可测量工件的深度。框架 6 上有一个游标，游标总长为 9mm，刻有 10 个刻度，因此，它上面的每一刻度与主尺上的每一刻度间的距离差 0.1mm (图 6-2-11b)。测量时从游标上左边第一条刻线在主尺的位置读出工件尺寸的整数值 (设为 35)，然后，向后从游标上找出与主尺上刻线重合的一条刻线 (设刻度线为 5)，根据这条刻线读出工件尺寸的尾数 (即尾数 $5 \times 0.1\text{mm}$)，则主尺上的读数加上游标尺的读数 ($35 + 0.5 = 35.5\text{mm}$)，即为该工件的尺寸大小。

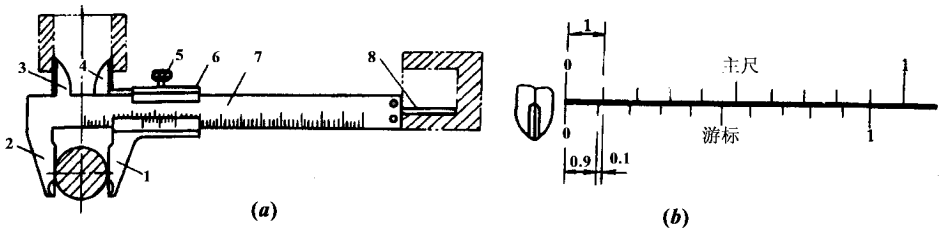


图 6-2-11 游标卡尺

(a) 一量工件示意；(b) 一游标示意

1、4—活动量足；2、3—固定量足；5—螺钉；6—框架；7—主尺；8—量条

量具除了上述几种外，还有内、外卡钳，无刻度直尺 (约一米长) 及铁皮三角尺等。

各种量具的使用寿命在很大程度上取决于保养和使用，如果保养不好，或使用不小心，则容易发生撞、压、磨损等情况，致使量具的表面刻度模糊或本身变形。如果用损坏或刻度不清的量具去度量工件时，就不能得到准确的尺寸，甚至影响制作质量。所

以工作完后，必须将量具揩擦干净再整齐放好。对于暂时不用的量具，要在其表面涂一层机油，以防锈蚀。

二、工具

钢结构制造在目前虽然已大多用机械设备进行，但在机械操作前的准备及矫正变形等工作，仍离不开手工工具。因此熟练地掌握钢结构制造中常用工具的使用方法，仍然是很重要的。

钢结构制造用的工具种类很多，一般常用的有以下几种。

(1) 锤类。它有下列数种：

①木锤。它除用于热加工外，还经常用于冷加工中矫平薄钢板。用木锤敲击薄钢板，能减少局部变形及锤印，在质量和美观上都比用钢锤矫平要好。

②小锤。小锤的重量一般为 0.2~0.75kg 之间。它用于矫正小块钢板，进行批铲毛刺，下料时打样冲印和打凿子印等。

③大锤。大锤常用的有 3、4、5、6、8kg 数种。它用于矫正较厚的钢板和型钢，在弯曲加工中都需要用大锤来进行。

④平衬锤。平衬锤不是直接敲击的工具，而是将大锤敲击在平衬锤上，并由它将击力传到工件表面的一种间接的加工工具。一般作为矫正、矫平或修饰工件形状之用。

⑤圆弧衬锤。圆弧衬锤也和平衬锤一样同是一种间接的加工工具。但它的加工面呈圆弧形，一般作为折弯钢板和敲圆钢板等用。

使用各种锤之前，应检查锤头有无飞刺，锤柄有无裂纹和装得是否牢固，如有松动现象，应装好后再用。锤在使用前后要经常浸在水中，以防在使用时松动和脱落。木锤的铁箍应经常箍紧，以免在使用时脱落伤人。各种锤类如图 6-2-12 所示。

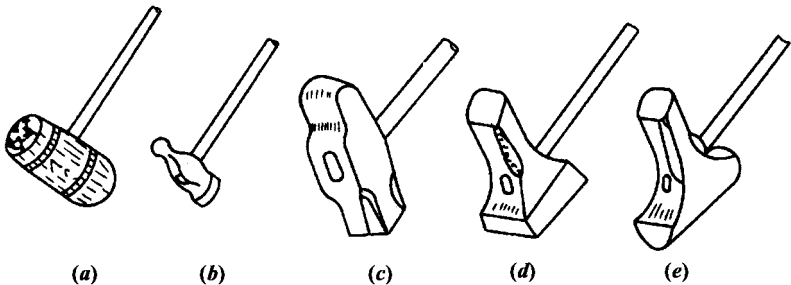


图 6-2-12 锤的种类

(a) 木锤；(b) 小锤；(c) 大锤；(d) 平衬锤；(e) 圆弧衬锤

(2) 样冲。样冲多用高碳钢制成，形状如一根圆钢，其尖端磨成 60°锐角（图 6-2-13a）并须淬火（平端不应淬火）。样冲可用在钢板上作出记号，如钻孔时为了容易使钻头对正，加工时便于检查，在放样和号料时容易辨认，以及在构件上找出中心线等都

须样冲打出印记。打冲时手的姿势如应图 6-2-13b 所示。

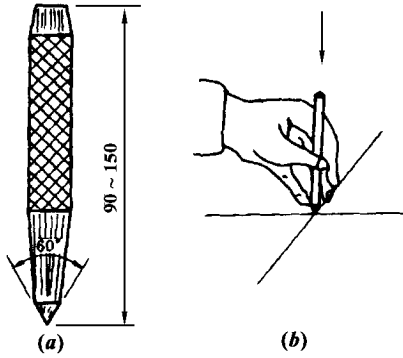


图 6-2-13 样冲与打冲姿势

(3) 凿子。它也是用高碳钢制成的，如图 6-2-14 所示，其刃部经过淬火，主要是划切割线记号用；如角钢和钢板的切割线均须用凿子打出切割印记，这样才能使切割准确地沿凿子打出的印记进行，否则用粉线会很容易被擦掉，以至无法进行切割或切割不准确。



图 6-2-14 凿子

(4) 划针。划针一般用中碳钢锻制成，如图 6-2-15a 所示，号料和放样时用划针代替石笔，精度较高。划点时一般画人字形，“人”字尖端为尺寸的基准点，如图 6-2-15b。划点、线的姿势如图 6-2-15c 所示。

(5) 粉线圈。粉线圈是用韧性好的纤维线缠绕在粉色上划直线用的一种工具。对大型结构放样、号料时可用它来弹出直线。使用粉线时须二人操作，其中一人将线端缠在食指上，另一人左手握持粉线圈，右手上粉，至需要长度时拉紧粉线，用拇指按在尺寸点上，另一手垂直地提起粉线弹线。

(6) 钢结构制造中常用的工具除上述几种外，还有下列几种：

- ① 撬杠。撬动和移动工件用。
- ② 螺栓板。紧松螺栓时夹紧工件用。
- ③ 钳子。夹持工件用。

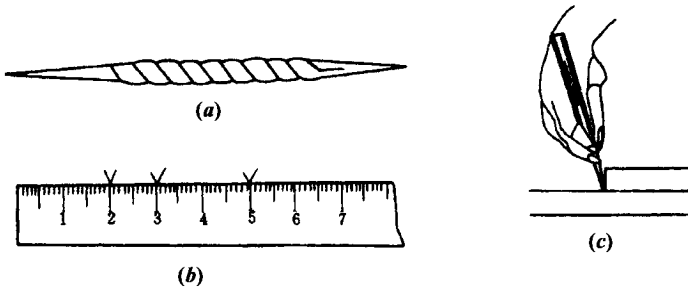


图 6-2-15 划针与划针的应用

- ④弓形夹具。压紧工件用。
- ⑤铁马、铁桩。固定钢板或型钢于平铁砧上用。
- ⑥羊角铁砧。
- ⑦油压千斤顶。
- ⑧螺杆千斤顶。
- ⑨夹头（又称胡羊夹头）。
- ⑩调直器（又称三角螺栓）。
- ⑪花砧子（又称平砧）。

以上所述几种常用工具如图 6-2-16 所示。

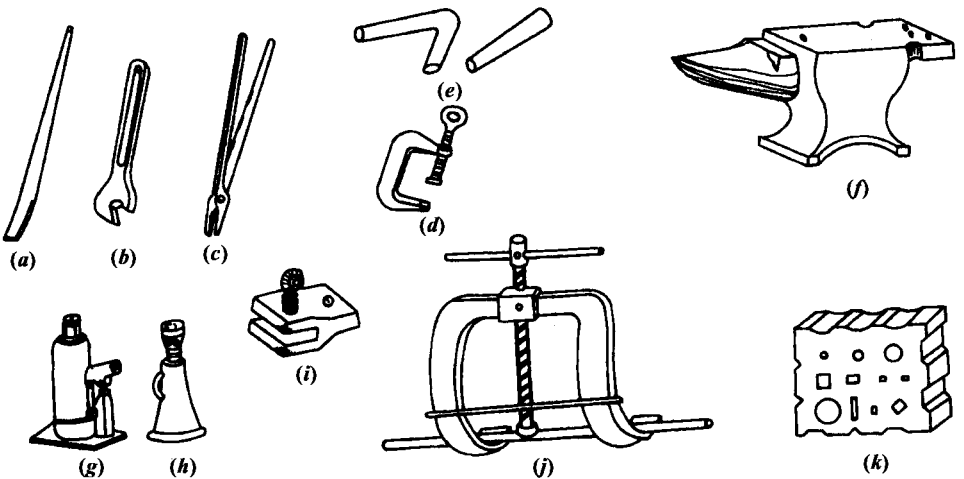


图 6-2-16 常用基本工具

- (a) 撬杠；(b) 螺栓板；(c) 钳子；(d) 弓形夹具；(e) 铁马；铁桩；(f) 羊角铁砧；
- (g) 油压千斤顶；(h) 螺杆千斤顶；(i) 夹头（又称胡羊夹头）；
- (j) 调直器（又称三角螺栓）；(k) 花砧子（又称平砧）

第三章 放样、样板、样杆与切割、划线

第一节 放样、样板和样杆

放样是整个钢结构制作工艺中的第一道工序，也是至关重要的一道工序。

放样工作包括如下内容：核对图纸的安装尺寸和孔距；以 1:1 的大样放出节点；核对各部分的尺寸；制作样板和样杆作为下料、弯制、铣、刨、制孔等加工的依据。

放样号料用的工具及设备有：划针、冲子、手锤、粉线、弯尺、直尺、钢卷尺、大钢卷尺、剪子、小型剪板机、折弯机。钢卷尺必须经过计量部门的校验复核，合格的方能使用。

放样时以 1:1 的比例在样板台上弹出大样。当大样尺寸过大时，可分段弹出。对一些三角形的构件，如果只对其节点有要求，则可以缩小比例弹出样子，但应注意其精度。放样弹出的十字基准线，二线必须垂直。然后据此十字线逐一划出其他各个点及线，并在节点旁注上尺寸，以备复查及检验。

样板一般用 0.50~0.75mm 的铁皮或塑料板制作。样杆一般用钢皮或扁铁制作，当长度较短时可用木尺杆。

用作计量长度依据的钢盘尺，特别注意应经授权的计量单位计量，且附有偏差卡片，使用时按偏差卡片的记录数值校对其误差数。钢结构制作、安装、验收及土建施工用的量具，必须用同一标准进行鉴定，应具有相同的精度等级。

样板、样杆上应注明工号、图号、零件号、数量及加工边、坡口部位、弯折线和弯折方向、孔径和滚圆半径等。

由于生产的需要，通常须制作适应于各种形状和尺寸的样板和样杆。

样板一般分为四种类型：

(1) 号孔样板。是专用于号孔的样板。

(2) 卡型样板。是用于煨曲或检查构件弯曲形状的样板。卡型样板分为内卡型样板和外卡型样板两种。

(3) 成型样板。是用于煨曲或检查弯曲件平面形状的样板。此种样板不仅用于检查各部分的弧度，同时又可以作为端部割豁口的号料样板。

(4) 号料样板。是供号料或号料同时号孔的样板。

对不需要展开的平面形零件的号料样板有如下两种制作方法：

- (1) 画样法。即按零件图的尺寸直接在样板料上作出样板。
- (2) 过样法。这种方法又叫移出法，分为不覆盖过样和覆盖过样两种方法。

不覆盖过样法是通过作垂线或平行线，将实样图中的零件形状过到样板料上；而覆盖过样法，则是把样板料覆盖在实样图上，再根据事前作出的延长线，画出样板。为了保存实样图，一般采用覆盖过样法，而当不需要保存实样图时，则可采用画样法制作样板。

上述样板的制作方法，同样适用于号孔、卡型和成型等样板的制作。当构件较大时，样板的制作可采用板条拼接成花架，以减轻样板的重量，便于使用。

样板和样杆应妥为保存，直至工程结束以后方可销毁。

放样所画的石笔线条粗细不得超过 0.5mm，粉线在弹线时的粗细不得超过 1mm。

剪切后的样板不应有锐口，直线与圆弧剪切时应保持平直和圆顺光滑。

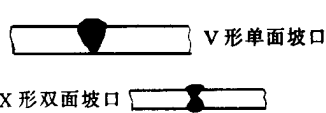
样板的精度要求见表 6-3-1。

表 6-3-1 放样和样板（样杆）的允许偏差

项 目	允许偏差
平行线距离和分段尺寸	± 0.5mm
对角线差	1.0mm
宽度、长度	± 0.5mm
孔距	± 0.5mm
加工样板的角度	± 20'

放样时，铣、刨的工件要考虑加工余量，所有加工边一般要留加工余量 5mm。焊接构件要按工艺要求放出焊接收缩量，可参考表 6-3-2 ~ 表 6-3-6 所给出的预放收缩量数值。

表 6-3-2 各种钢材焊接头的预放收缩量（手工焊或半自动焊）(mm)

名 称	接头式样	预放收缩量（一个接头处）		注 释
		$\delta = 8 \sim 16$	$\delta = 20 \sim 40$	
钢板对接	 <p>V 形单面坡口 X 形双面坡口</p>	1.5 ~ 2	2.5 ~ 3	无坡口对接预放收缩比较小些


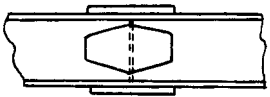
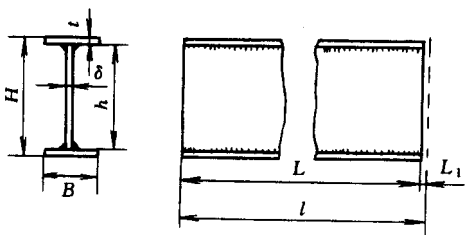
名称	接头式样	预放收缩量 (一个接头处)		注释
		$\delta = 8 \sim 16$	$\delta = 20 \sim 40$	
槽钢对接		1 ~ 1.5		大规格型钢的预放收缩量比较小些
工字钢对接		1 ~ 1.5		

表 6-3-3 自动焊工字型构件 (梁柱为主或其他部件) 的放样预放量

																	
t—翼缘板厚度； H—工字型高度； B—翼缘板宽度； l—件长； delta—腹板厚度； L—收缩后的长度； h—腹板高度； L ₁ —预放收缩量 ▲—焊缝高度； (注 10m 长预放收缩量表) (mm)																	
H	delta	B	t	▲	预放量	H	delta	B	t	▲	预放量	H	delta	B	t	▲	预放量
400	8	160	15	6~7	5~6	600	14	600	20	10~11	3.5	1000	12	420	25	10~11	3.5
400	8	200	15	6~7	5~6	600	14	600	25	10~11	3	1000	16	500	25	10~11	3
400	8	300	15	6~7	4~4.5	600	16	600	30	10~11	2.5	1000	18	500	30	10~11	3
400	10	360	15	6~7	3	800	16	600	40	10~11	2	1000	20	600	30	10~11	3
400	12	420	15	8~9	6	800	10	240	15	8~9	3	1000	20	600	40	10~11	2
400	14	420	20	8~9	4	800	10	240	20	8~9	6	1200	14	600	25	10~11	3
400	14	420	20	8~9	3.5	800	10	300	20	8~9	5	1200	16	600	30	10~11	3
400	16	420	30	8~9	2.5	800	10	360	20	8~9	4	1500	14	600	25	10~11	3
400	16	420	40	10~11	3.5	800	12	360	25	8~9	3.5	1500	16	600	30	10~11	2.5
500	8	200	15	6~7	5~6	800	12	420	25	8~9	3	1600	16	600	25	10~11	2
500	8	240	15	6~7	4.5	800	14	500	25	10~11	3.5	1600	18	600	30	10~11	2
600	8	240	15	6~7	4	800	14	600	25	10~11	3	1800	18	600	30	10~11	2
600	8	300	15	6~7	3	1000	12	300	25	8~9	3.5	1800	20	600	40	10~11	1.5
600	12	420	15	8~9	4	1000	12	300	25	8~9	3.5	2000	20	600	30	10~11	1.5
600	12	420	20	8~9	3.5	1000	12	360	25	8~9	3	2000	20	600	40	10~11	1.5
600	12	420	25	8~9	2.5	1000	12	420	25	10~11	3.5	2200	20	600	40	10~11	1.5

第三章 放样、样板、样杆与切割、划线

表 6-3-4 工字型钢构件梁或柱身焊接加劲板时的预放收缩量


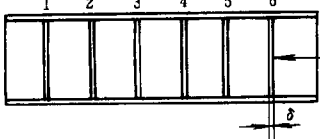
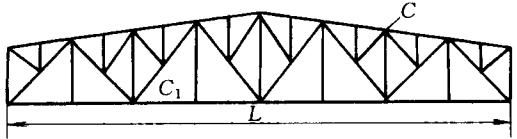
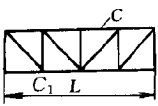
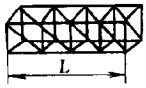
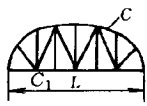
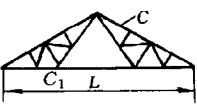
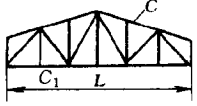
		δ —板厚度	6	8	10	12	16	mm
每对预放收缩量			1	1	0.6	0.17	0.35	
1~6—即表示有 6 对加劲板								

表 6-3-5 焊接屋架、桁架的预放收缩量

	L —构件长； C —上弦杆 } 主件 C_1 —下弦杆 }			
平面桁架	立体桁架	弧形屋架	人字屋架	嵌入钢柱屋架
包括形式 				
焊接预放收缩量				
名称	C 及 C_1 主杆的角钢规格	主杆夹的节点板厚	焊缝高度	预放 (在 $L=1\text{m}$ 时预放收缩量数值)
等边角钢	$\angle 36 \times 36 \times 4$	5	4	1.2
	$\angle 40 \times 40 \times 4$	5	4	1.2
	$\angle 50 \times 50 \times 5$	6	5	1.1
	$\angle 63 \times 63 \times 6$	6	5	1.0
	$\angle 70 \times 70 \times 7$	8	6	0.9
	$\angle 75 \times 75 \times 8$	8	6	0.9
	$\angle 90 \times 90 \times 8 \sim 10$	8	6	0.6
	$\angle 100 \times 100 \times 10$	10	8	0.55
	$\angle 120 \times 120 \times 12$	12	10	0.5
	$\angle 130 \times 130 \times 14$	14	10	0.45
	$\angle 150 \times 150 \times 16$	16	10	0.4
	$\angle 200 \times 200 \times 14 \sim 24$	16	10	0.2

不等 边角 钢	└ 75 × 100 × 8	8	6	0.65
	└ 120 × 80 × 8 ~ 10	10	6	0.5
	└ 150 × 100 × 12	12	8	0.4

表 6-3-6 焊接钢板结构如贮液池等预放收缩量 (mm)

	δ—板厚	8 ~ 16	20 ~ 40
	竖直焊缝	1 ~ 1.5	2 ~ 2.5
	球焊缝	1 ~ 1.5	2 ~ 2.5

如果图纸要求桁架起拱，放样时上、下弦应同时起拱，起拱时，一般规定垂直杆的方向仍然垂直于水平线，而不与下弦杆垂直。

图 6-3-1 为上、下弦同时起拱示意图。

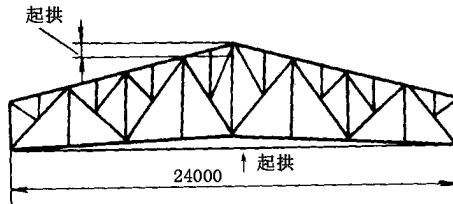


图 6-3-1 起拱示意图

常用的数据和公式较多，通常有以下一些计算公式：

(1) 直角三角形 (见图 6-3-2)：

$$c^2 = a^2 + b^2$$

$$\sin\alpha = \frac{a}{c} = \cos\beta$$

$$\cos\alpha = \frac{b}{c} = \sin\beta$$

$$\tan\alpha = \frac{a}{b} = \cot\beta$$

$$\cot\alpha = \frac{b}{a} = \tan\beta$$

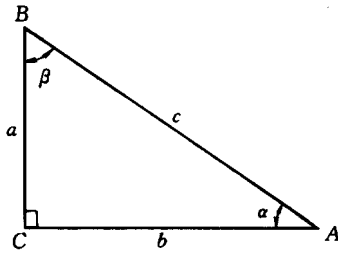


图 6-3-2 直角三角形示意

(2) 任意三角形 (见图 6-3-3):

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}$$

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2bc \cos A$$

$$b^2 = c^2 + a^2 - 2ca \cos B$$

$$c^2 = a^2 + b^2 - 2ab \cos C$$

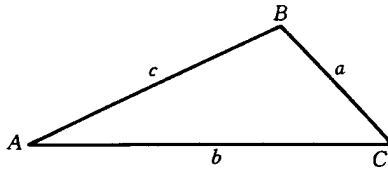


图 6-3-3 任意三角形示意

(3) 圆周长:

$$C = 2R\pi = D\pi$$

式中 C——圆周长;
R——圆半径;
D——圆直径;
 π ——圆周率。

(4) 椭圆周长:

$$C = A \times PI$$

式中 C——椭圆周长;
PI——椭圆周率, PI 值由 B/A 的比值确定, 见表 6-3-7;
A——椭圆长轴;
B——椭圆短轴。

(5) 弧、弦、角度间的计算 (见图 6-3-4):

$$\widehat{L} = \frac{\pi R \theta}{180^\circ}$$

$$\theta = \frac{180^\circ}{\pi R} \quad \widehat{L} = 2 \sin^{-1} \frac{b}{R}$$

$$R = \frac{180^\circ}{\pi \theta} \quad \widehat{L} = \frac{b^2 + h^2}{2h} = \frac{4h^2 + l^2}{8h}$$

$$b = R \sin \frac{\theta}{2} = \sqrt{h(2R - h)}$$

$$h = R - R \cos \frac{\theta}{2} = R - \sqrt{R^2 - b^2}$$

$$l = 2b$$

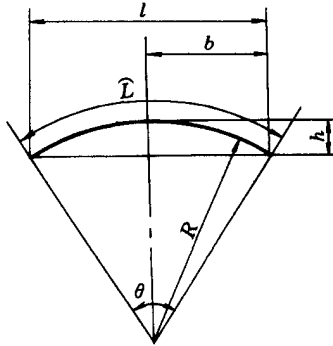


图 6-3-4 圆弧示意

表 6-3-7

椭圆周率表

B/A	PI	B/A	PI	B/A	PI	B/A	PI	B/A	PI
0.050	2.0097	0.232	2.1283	0.267	2.1605	0.302	2.1950	0.337	2.2314
0.100	2.0320	0.233	2.1292	0.268	2.1615	0.303	2.1960	0.338	2.2325
0.150	2.0631	0.234	2.1301	0.269	2.1625	0.304	2.1970	0.339	2.2335
0.200	2.1010	0.235	2.1310	0.270	2.1634	0.305	2.1980	0.340	2.2346
0.201	2.1018	0.236	2.1319	0.271	2.1644	0.306	2.1990	0.341	2.2357
0.202	2.1026	0.237	2.1328	0.272	2.1653	0.307	2.2001	0.342	2.2367
0.203	2.1035	0.238	2.1337	0.273	2.1663	0.308	2.2011	0.343	2.2378
0.204	2.1043	0.239	2.1346	0.274	2.1673	0.309	2.2021	0.344	2.2389
0.205	2.1051	0.240	2.1355	0.275	2.1682	0.310	2.2031	0.345	2.2400
0.206	2.1060	0.241	2.1364	0.276	2.1692	0.311	2.2042	0.346	2.2410
0.207	2.1068	0.242	2.1373	0.277	2.1702	0.312	2.2052	0.347	2.2421
0.208	2.1076	0.243	2.1382	0.278	2.1711	0.313	2.2062	0.348	2.2432

第三章 放样、样板、样杆与切割、划线

B/A	PI	B/A	PI	B/A	PI	B/A	PI	B/A	PI
0.209	2.1085	0.244	2.1391	0.279	2.1721	0.314	2.2072	0.349	2.2443
0.210	2.1093	0.245	2.1400	0.280	2.1731	0.315	2.2083	0.350	2.2454
0.211	2.1101	0.246	2.1409	0.281	2.1741	0.316	2.2093	0.351	2.2465
0.212	2.1110	0.247	2.1418	0.282	2.1750	0.317	2.2103	0.352	2.2475
0.213	2.1118	0.248	2.1428	0.283	2.1760	0.318	2.2114	0.353	2.2486
0.214	2.1127	0.249	2.1437	0.284	2.1770	0.319	2.2124	0.354	2.2497
0.215	2.1135	0.250	2.1446	0.285	2.1780	0.320	2.2135	0.355	2.2508
0.216	2.1144	0.251	2.1455	0.286	2.1790	0.321	2.2145	0.356	2.2519
0.217	2.1152	0.252	2.1465	0.287	2.1800	0.322	2.2156	0.357	2.2530
0.218	2.1161	0.253	2.1474	0.288	2.1810	0.323	2.2166	0.358	2.2541
0.219	2.1170	0.254	2.1483	0.289	2.1819	0.324	2.2176	0.359	2.2552
0.220	2.1178	0.255	2.1492	0.290	2.1829	0.325	2.2187	0.360	2.2563
0.221	2.1187	0.256	2.1502	0.291	2.1839	0.326	2.2197	0.361	2.2574
0.222	2.1196	0.257	2.1511	0.292	2.1849	0.327	2.2208	0.362	2.2585
0.223	2.1204	0.258	2.1520	0.293	2.1859	0.328	2.2218	0.363	2.2596
0.224	2.1213	0.259	2.1530	0.294	2.1869	0.329	2.2229	0.364	2.2607
0.225	2.1222	0.260	2.1539	0.295	2.1879	0.330	2.2240	0.365	2.2618
0.226	2.1230	0.261	2.1549	0.296	2.1889	0.331	2.2250	0.366	2.2629
0.227	2.1239	0.262	2.1558	0.297	2.1899	0.332	2.2261	0.367	2.2640
0.228	2.1248	0.263	2.1568	0.298	2.1909	0.333	2.2271	0.368	2.2651
0.229	2.1257	0.264	2.1577	0.299	2.1919	0.334	2.2282	0.369	2.2662
0.230	2.1266	0.265	2.1586	0.300	2.1930	0.335	2.2293	0.370	2.2674
0.231	2.1274	0.266	2.1596	0.301	2.1940	0.336	2.2303	0.371	2.2685
0.372	2.2696	0.407	2.3094	0.442	2.3507	0.477	2.3934	0.512	2.4373
0.373	2.2707	0.408	2.3106	0.443	2.3519	0.478	2.3946	0.513	2.4386
0.374	2.2718	0.409	2.3117	0.444	2.3531	0.479	2.3959	0.514	2.4399
0.375	2.2729	0.410	2.3129	0.445	2.3543	0.480	2.3971	0.515	2.4411
0.376	2.2740	0.411	2.3140	0.446	2.3555	0.481	2.3983	0.516	2.4424

第六篇 钢结构工厂化生产组织设计施工技术与实例、图集

B/A	PI	B/A	PI	B/A	PI	B/A	PI	B/A	PI
0.377	2.2752	0.412	2.3152	0.447	2.3567	0.482	2.3996	0.517	2.4437
0.378	2.2763	0.413	2.3164	0.448	2.3579	0.483	2.4008	0.518	2.4450
0.379	2.2774	0.414	2.3175	0.449	2.3591	0.484	2.4021	0.519	2.4462
0.380	2.2785	0.415	2.3187	0.450	2.3603	0.485	2.4033	0.520	2.4475
0.381	2.2797	0.416	2.3199	0.451	2.3616	0.486	2.4046	0.521	2.4488
0.382	2.2808	0.417	2.3211	0.452	2.3628	0.487	2.4058	0.522	2.4501
0.383	2.2819	0.418	2.3222	0.453	2.3640	0.488	2.4071	0.523	2.4514
0.384	2.2831	0.419	2.3234	0.454	2.3652	0.489	2.4083	0.524	2.4526
0.385	2.2842	0.420	2.3246	0.455	2.3664	0.490	2.4096	0.525	2.4539
0.386	2.2853	0.421	2.3258	0.456	2.3676	0.491	2.4108	0.526	2.4552
0.387	2.2865	0.422	2.3269	0.457	2.3688	0.492	2.4121	0.527	2.4565
0.388	2.2876	0.423	2.3281	0.458	2.3701	0.493	2.4133	0.528	2.4578
0.389	2.2887	0.424	2.3293	0.459	2.3713	0.494	2.4146	0.529	2.4591
0.390	2.2899	0.425	2.3305	0.460	2.3725	0.495	2.4158	0.530	2.4604
0.391	2.2910	0.426	2.3316	0.461	2.3737	0.496	2.4171	0.531	2.4616
0.392	2.2921	0.427	2.3328	0.462	2.3749	0.497	2.4183	0.532	2.4629
0.393	2.2933	0.428	2.3340	0.463	2.3762	0.498	2.4196	0.533	2.4642
0.394	2.2944	0.429	2.3352	0.464	2.3774	0.499	2.4209	0.534	2.4655
0.395	2.2956	0.430	2.3364	0.465	2.3786	0.500	2.4221	0.535	2.4668
0.396	2.2967	0.431	2.3376	0.466	2.3798	0.501	2.4234	0.536	2.4681
0.397	2.2979	0.432	2.3388	0.467	2.3811	0.502	2.4246	0.537	2.4694
0.398	2.2990	0.433	2.3400	0.468	2.3823	0.503	2.4259	0.538	2.4707
0.399	2.3002	0.434	2.3411	0.469	2.3835	0.504	2.4272	0.539	2.4720
0.400	2.3013	0.435	2.3423	0.470	2.3847	0.505	2.4284	0.540	2.4733
0.401	2.3025	0.436	2.3435	0.471	2.3860	0.506	2.4297	0.541	2.4746
0.402	2.3036	0.437	2.3447	0.472	2.3872	0.507	2.4310	0.542	2.4759
0.403	2.3048	0.438	2.3459	0.473	2.3884	0.508	2.4322	0.543	2.4772

第三章 放样、样板、样杆与切割、划线

B/A	PI	B/A	PI	B/A	PI	B/A	PI	B/A	PI
0.404	2.3059	0.439	2.3471	0.474	2.3897	0.509	2.4335	0.544	2.4785
0.405	2.3071	0.440	2.3483	0.475	2.3909	0.510	2.4348	0.545	2.4798
0.406	2.3082	0.441	2.3495	0.476	2.3921	0.511	2.4360	0.546	2.4811
0.547	2.4824	0.582	2.5286	0.617	2.5757	0.652	2.6238	0.687	2.6728
0.548	2.4837	0.583	2.5299	0.618	2.5771	0.653	2.6252	0.688	2.6742
0.549	2.4850	0.584	2.5312	0.619	2.5785	0.654	2.6266	0.689	2.6756
0.550	2.4863	0.585	2.5326	0.620	2.5798	0.655	2.6280	0.690	2.6770
0.551	2.4876	0.586	2.5339	0.621	2.5812	0.656	2.6294	0.691	2.6784
0.552	2.4889	0.587	2.5352	0.622	2.5825	0.657	2.6308	0.692	2.6799
0.553	2.4902	0.588	2.5366	0.623	2.5839	0.658	2.6322	0.693	2.6813
0.554	2.4915	0.589	2.5379	0.624	2.5853	0.659	2.6335	0.694	2.6827
0.555	2.4929	0.590	2.5393	0.625	2.5866	0.660	2.6349	0.695	2.6841
0.556	2.4942	0.591	2.5406	0.626	2.5880	0.661	2.6363	0.696	2.6855
0.557	2.4955	0.592	2.5419	0.627	2.5894	0.662	2.6377	0.697	2.6869
0.558	2.4968	0.593	2.5433	0.628	2.5907	0.663	2.6391	0.698	2.6883
0.559	2.4981	0.594	2.5446	0.629	2.5921	0.664	2.6405	0.699	2.6898
0.560	2.4994	0.595	2.5460	0.630	2.5935	0.665	2.6419	0.700	2.6912
0.561	2.5007	0.596	2.5473	0.631	2.5949	0.666	2.6433	0.701	2.6926
0.562	2.5021	0.597	2.5487	0.632	2.5962	0.667	2.6447	0.702	2.6940
0.563	2.5034	0.598	2.5500	0.633	2.5976	0.668	2.6461	0.703	2.6954
0.564	2.5047	0.599	2.5514	0.634	2.5990	0.669	2.6475	0.704	2.6969
0.565	2.5060	0.600	2.5527	0.635	2.6004	0.670	2.6489	0.705	2.6983
0.566	2.5073	0.601	2.5540	0.636	2.6017	0.671	2.6503	0.706	2.6997
0.567	2.5087	0.602	2.5554	0.637	2.6031	0.672	2.6517	0.707	2.7011
0.568	2.5100	0.603	2.5567	0.638	2.6045	0.673	2.6531	0.708	2.7026
0.569	2.5113	0.604	2.5581	0.639	2.6059	0.674	2.6545	0.709	2.7040
0.570	2.5126	0.605	2.5595	0.610	2.6072	0.675	2.6559	0.710	2.7054
0.571	2.5139	0.606	2.5608	0.641	2.6086	0.676	2.6573	0.711	2.7068

第六篇 钢结构工厂化生产组织设计施工技术与实例、图集

B/A	PI	B/A	PI	B/A	PI	B/A	PI	B/A	PI
0.572	2.5153	0.607	2.5622	0.642	2.6100	0.677	2.6587	0.712	2.7083
0.573	2.5166	0.608	2.5635	0.643	2.6114	0.678	2.6601	0.713	2.7097
0.574	2.5179	0.609	2.5649	0.644	2.6128	0.679	2.6615	0.714	2.7111
0.575	2.5192	0.610	2.5662	0.645	2.6141	0.680	2.6629	0.715	2.7125
0.576	2.5206	0.611	2.5676	0.646	2.6155	0.681	2.6643	0.716	2.7140
0.577	2.5219	0.612	2.5689	0.647	2.6169	0.682	2.6657	0.717	2.7154
0.578	2.5232	0.613	2.5703	0.648	2.6183	0.683	2.6671	0.718	2.7168
0.579	2.5246	0.614	2.5717	0.649	2.6197	0.684	2.6686	0.719	2.7183
0.580	2.5259	0.615	2.5730	0.650	2.6211	0.685	2.6700	0.720	2.7197
0.581	2.5272	0.616	2.5744	0.651	2.6224	0.686	2.6714	0.721	2.7211
0.722	2.7226	0.757	2.7731	0.792	2.8244	0.827	2.8763	0.862	2.9288
0.723	2.7240	0.758	2.7746	0.793	2.8258	0.828	2.8778	0.863	2.9304
0.724	2.7254	0.759	2.7760	0.794	2.8273	0.829	2.8793	0.864	2.9319
0.725	2.7269	0.760	2.7775	0.795	2.8288	0.830	2.8808	0.865	2.9334
0.726	2.7283	0.761	2.7789	0.796	2.8303	0.831	2.8823	0.866	2.9349
0.727	2.7297	0.762	2.7804	0.797	2.8317	0.832	2.8838	0.867	2.9364
0.728	2.7312	0.763	2.7818	0.798	2.8332	0.833	2.8852	0.868	2.9379
0.729	2.7326	0.764	2.7833	0.799	2.8347	0.834	2.8867	0.869	2.9394
0.730	2.7341	0.765	2.7848	0.800	2.8362	0.835	2.8882	0.870	2.9409
0.731	2.7355	0.766	2.7862	0.801	2.8376	0.836	2.8897	0.871	2.9425
0.732	2.7369	0.767	2.7877	0.802	2.8391	0.837	2.8912	0.872	2.9440
0.733	2.7384	0.768	2.7891	0.803	2.8406	0.838	2.8927	0.873	2.9455
0.734	2.7398	0.769	2.7906	0.804	2.8421	0.839	2.8942	0.874	2.9470
0.735	2.7412	0.770	2.7921	0.805	2.8436	0.840	2.8957	0.875	2.9485
0.736	2.7427	0.771	2.7935	0.806	2.8450	0.841	2.8972	0.876	2.9500
0.737	2.7441	0.772	2.7950	0.807	2.8465	0.842	2.8987	0.877	2.9516
0.738	2.7456	0.773	2.7964	0.808	2.8480	0.843	2.9002	0.878	2.9531

第三章 放样、样板、样杆与切割、划线

B/A	PI	B/A	PI	B/A	PI	B/A	PI	B/A	PI
0.739	2.7470	0.774	2.7979	0.809	2.8495	0.844	2.9017	0.879	2.9546
0.740	2.7485	0.775	2.7994	0.810	2.8510	0.845	2.9032	0.880	2.9561
0.741	2.7499	0.776	2.8008	0.811	2.8525	0.846	2.9047	0.881	2.9576
0.742	2.7514	0.777	2.8023	0.812	2.8539	0.847	2.9062	0.832	2.9591
0.743	2.7528	0.778	2.8038	0.813	2.8554	0.848	2.9077	0.883	2.9607
0.744	2.7542	0.779	2.8052	0.814	2.8569	0.849	2.9092	0.884	2.9622
0.745	2.7557	0.780	2.8067	0.815	2.8584	0.850	2.9108	0.885	2.9637
0.746	2.7571	0.781	2.8082	0.816	2.8599	0.851	2.9123	0.886	2.9652
0.747	2.7586	0.782	2.8096	0.817	2.8614	0.852	2.9138	0.887	2.9668
0.748	2.7600	0.783	2.8111	0.818	2.8629	0.853	2.9153	0.888	2.9683
0.749	2.7615	0.784	2.8126	0.819	2.8644	0.854	2.9168	0.889	2.9698
0.750	2.7629	0.785	2.8141	0.820	2.8658	0.855	2.9183	0.890	2.9713
0.751	2.7644	0.786	2.8155	0.821	2.8673	0.856	2.9198	0.891	2.9728
0.752	2.7658	0.787	2.8170	0.822	2.8688	0.857	2.9213	0.892	2.9744
0.753	2.7673	0.788	2.8185	0.823	2.8703	0.858	2.9228	0.893	2.9759
0.754	2.7687	0.789	2.8199	0.824	2.8718	0.859	2.9243	0.894	2.9774
0.755	2.7702	0.790	2.8214	0.825	2.8733	0.860	2.9258	0.895	2.9789
0.756	2.7716	0.791	2.8229	0.826	2.8748	0.861	2.9273	0.896	2.9805
0.897	2.9820	0.922	3.0203	0.947	3.0589	0.972	3.0978	0.997	3.1369
0.898	2.9835	0.923	3.0219	0.948	3.0605	0.973	3.0993	0.998	3.1385
0.899	2.9851	0.924	3.0234	0.949	3.0620	0.974	3.1009	0.999	3.1400
0.900	2.9866	0.925	3.0249	0.950	3.0636	0.975	3.1024		
0.901	2.9881	0.926	3.0265	0.951	3.0651	0.976	3.1040		
0.902	2.9896	0.927	3.0280	0.952	3.0667	0.977	3.1056		
0.903	2.9912	0.928	3.0296	0.953	3.0682	0.978	3.1071		
0.904	2.9927	0.929	3.0311	0.954	3.0698	0.979	3.1087		
0.905	2.9942	0.930	3.0326	0.955	3.0713	0.980	3.1103		
0.906	2.9958	0.931	3.0342	0.956	3.0729	0.981	3.1118		

B/A	PI	B/A	PI	B/A	PI	B/A	PI	B/A	PI
0.907	2.9973	0.932	3.0357	0.957	3.0744	0.982	3.1134		
0.908	2.9988	0.933	3.0373	0.958	3.0760	0.983	3.1149		
0.909	3.0004	0.934	3.0388	0.959	3.0775	0.984	3.1165		
0.910	3.0019	0.935	3.0403	0.960	3.0791	0.985	3.1181		
0.911	3.0034	0.936	3.0419	0.961	3.0806	0.986	3.1196		
0.912	3.0050	0.937	3.0434	0.962	3.0822	0.987	3.1212		
0.913	3.0065	0.938	3.0450	0.953	3.0837	0.988	3.1228		
0.914	3.0080	0.939	3.0465	0.964	3.0853	0.989	3.1243		
0.915	3.0096	0.940	3.0481	0.965	3.0869	0.990	3.1259		
0.916	3.0111	0.941	3.0496	0.966	3.0884	0.991	3.1275		
0.917	3.0126	0.942	3.0512	0.967	3.0900	0.992	3.1290		
0.918	3.0142	0.943	3.0527	0.968	3.0915	0.993	3.1306		
0.919	3.0157	0.944	3.0543	0.969	3.0931	0.994	3.1322		
0.920	3.0172	0.945	3.0558	0.970	3.0946	0.995	3.1337		
0.921	3.0188	0.946	3.0574	0.971	3.0962	0.996	3.1353		

注：A—长轴，B—短轴，PI—周率，椭圆周长 $L = PI \times$ 长轴。

(6) 圆周等分：

$$S = DK$$

式中 S——圆周上每一等分的弦长；

D——直径；

K——圆周等分系数（见表 6-3-8）。

表 6-3-8 圆周等分系数表

等分数 n	系数 K	等分数 n	系数 K	等分数 n	系数 K	等分数 n	系数 K
3	0.86603	28	0.11197	53	0.059240	78	0.040265
4	0.70711	29	0.10812	54	0.058145	79	0.039757
5	0.53779	30	0.10453	55	0.057090	80	0.039260
6	0.50000	31	0.10117	56	0.056071	81	0.038775
7	0.43388	32	0.098015	57	0.055087	82	0.038302

第三章 放样、样板、样杆与切割、划线

等分数 n	系数 K	等分数 n	系数 K	等分数 n	系数 K	等分数 n	系数 K
8	0.38268	33	0.095056	58	0.054138	83	0.037841
9	0.34202	34	0.092269	59	0.053222	84	0.037391
10	0.30902	35	0.089640	60	0.052336	85	0.036951
11	0.28173	36	0.087156	61	0.051478	86	0.036522
12	0.25882	37	0.084805	62	0.050649	87	0.036102
13	0.23932	38	0.082580	63	0.049845	88	0.035692
14	0.22252	39	0.080466	64	0.049067	89	0.035291
15	0.20791	40	0.078460	65	0.048313	90	0.034899
16	0.19509	41	0.076549	66	0.047581	91	0.034516
17	0.18375	42	0.074731	67	0.046872	92	0.034141
18	0.17365	43	0.072995	68	0.046183	93	0.033774
19	0.16459	44	0.071339	69	0.045514	94	0.033415
20	0.15643	45	0.069756	70	0.014864	95	0.033064
21	0.14904	46	0.068243	71	0.044233	96	0.032719
22	0.14232	47	0.066792	72	0.043619	97	0.032381
23	0.13617	48	0.065403	73	0.043022	98	0.032051
24	0.13053	49	0.064073	74	0.042441	99	0.031728
25	0.12533	50	0.062791	75	0.041875	100	0.031410
26	0.12054	51	0.061560	76	0.041325		
27	0.11609	52	0.060379	77	0.040788		

材料展开时，薄板的板厚影响可以忽略不计；但当板厚 $t > 1.5\text{mm}$ 时，画展开图时必须考虑板厚的影响。在平板弯曲成形过程中，板材外皮受拉伸，里皮受压缩，唯有板厚中间的一层长度等于平板的原有长度。这种不受拉伸又不受压缩的这一层，称为中性层。由此可见，弯曲圆弧件的展开长度应等于中性层的长度。弯板中性层位置的改变与弯曲半径 R 和板料厚度 t 的比值大小有关。若 $\frac{R}{t} > 5$ 时，中性层近于板厚的 $1/2$ 处，即与板料中心层相重合；若 $\frac{R}{t} \leq 5$ 时，中性层位置即向板厚中心内侧一边移动。各种不同情况下的中性层位置移动系数 K 的数值列于表 6-3-9 中。中性层向板厚中心内侧一边移动，它与内弧的距离：

$$s = t \cdot K \quad (6-3-1)$$

表 6-3-9

中性层位移系数

R/t	0.5	0.6	0.8	1	1.5	2	3	4	5	>5
K	0.37	0.38	0.40	0.41	0.44	0.45	0.46	0.47	0.48	0.5

方筒里皮的四角均为直角，这种方筒在折曲过程中，里皮的长度没有变化，但里皮以外的板拉伸变形较大。因此，对于直角的弯曲件可按里皮直线长度展料。

截面为矩形或方形的展开料长度按里皮长度计算，这种方法也适用于其他呈任意角度的折线形截面的零件。折弯件的展开长度以里皮为准。

第二节 划线和切割

一、划线

划线也称号料，即利用样板、样杆或根据图纸，在板料及型钢上画出孔的位置和零件形状的加工界线。号料的一般工作内容包括：检查核对材料；在材料上划出切割、铣、刨、弯曲、钻孔等加工位置；打冲孔；标注出零件的编号等。

号料时应注意以下问题：

(1) 熟悉工作图，检查样板、样杆是否符合图纸要求。根据图纸直接在板料和型钢上号料时，应检查号料尺寸是否正确，以防产生错误，造成废品。

(2) 如材料上有裂缝、夹层及厚度不足等现象时，应及时研究处理。

(3) 钢材如有较大弯曲、凸凹不平等问题时，应先进行矫正。

(4) 号料时，对于较大型钢画线多的面应平放，以防止发生事故。

(5) 根据配料表和样板进行套裁，尽可能节约材料。

(6) 当工艺有规定时，应按规定的方向进行划线取料，以保证零件对材料轧制纹络所提出的要求。

(7) 需要剪切的零件，号料时应考虑剪切线是否合理，避免发生不适于剪切操作的情况。

(8) 不同规格、不同钢号的零件应分别号料，并依据先大后小的原则依次号料。

(9) 尽量使相等宽度或长度的零件放在一起号料。

(10) 需要拼接的同一构件必须同时号料，以利于拼接。

(11) 矩形样板号料，要检查原材料钢板两边是否垂直，如果不垂直则要划好垂直线后再进行号料。

(12) 带圆弧型的零件，不论是剪切还是气割，都不应紧靠在一起进行号料，必须

留有间隙，以利于剪切或气割。

(13) 钢板长度不够需要焊接接长时，在接缝处必须注明坡口形状及大小，在焊接和矫正后再划线。

(14) 钢桁或型钢采用气割切割时，要放出气割的割缝宽度，其宽度可按表 6-3-10 所给出的数值考虑。

表 6-3-10 切割余量表

切割方式	材料厚度 (mm)	割缝宽度留量 (mm)
气割下料	≤10	1~2
	10~20	2.5
	20~40	3.0
	40 以上	4.0

(15) 号料工作完成后，在零件的加工线和接缝线上，以及孔中心位置，应视具体情况打上印记或样冲；同时应根据样板上的加工符号、孔位等，在零件上用白铅油标注清楚，为下道工序提供方便。

为了合理使用和节约原材料，必须最大限度地提高原材料的利用率。一般常用的号料方法有如下几种：

(1) 集中号料法。由于钢材的规格多种多样，为减少原材料的浪费，提高生产效率，应把同厚度的钢板零件和相同规格的型钢零件，集中在一起进行号料，此种方法称为集中号料法。

(2) 套料法。在号料时，要精心安排板料零件的形状位置，把同厚度的各种不同形状的零件和同一形状的零件，进行套料，这种方法称为套料法。

(3) 统计计算法。统计计算法是在型钢下料时采用的一种方法。号料时应将所有同规格型钢零件的长度归纳在一起，先把较长的排出来，再算出余料的长度，然后把和余料长度相同或略短的零件排上，直至整根料被充分利用为止。这种先进行统计安排再号料的方法，称为统计计算法。

(4) 余料统一号料法。将号料后剩下的余料按厚度、规格与形状基本相同的集中在一起，把较小的零件放在余料上进行号料，此法称为余料统一号料法。

号料应有利于切割和保证零件质量。号料所画的石笔线条粗细以及粉线在弹线时的粗细均不得超过 1mm；号料敲凿子印间距，直线为 40~60mm，圆弧为 20~30mm。

表 6-3-11 为号料的允许偏差。

表 6-3-11 号料的允许偏差 (mm)

项 目	允 许 偏 差
零件外形尺寸	± 1.0
孔距	± 0.5

二、切割

钢材下料的方法有气割、机切、冲模落料和锯切等。气割和机械剪切的允许偏差分别见表 6-3-12 和表 6-3-13。

表 6-3-12 气割的允许偏差 (mm)

项 目	允 许 偏 差
零件宽度, 长度	± 3.0
切割面平面度	$0.05t$, 且不大于 2.0
割纹深度	0.3
局部缺口深度	1.0

注: t 为切割面厚度。

表 6-3-13 机械剪切的允许偏差 (mm)

项 目	允 许 偏 差
零件宽度, 长度	± 3.0
边缘缺棱	1.0
型钢端部垂直度	2.0

施工中采用哪一种切割方法比较合适, 应该根据各种切割方法的设备能力、切割精度、切割表面的质量情况, 以及经济性等因素来具体选定。一般情况下, 钢板厚度在 12mm 以下的直线性切割, 常采用剪切下料。气割多数是用于带曲线的零件或厚钢板的切割。各类型钢, 以及钢管等的下料通常采用锯割, 但一些中小型的角钢和圆钢等, 常常也采用剪切或气割的方法。等离子切割主要用于不易氧化的不锈钢材料及有色金属如铜或铝等的切割。

(1) 氧割。高温的钢能在氧气中剧烈地燃烧, 所以钢能以氧气切割, 在切割之前首先将金属加热至燃烧点, 然后用高压的氧气喷射上去, 使其剧烈燃烧, 同时借喷射压力将溶渣吹去, 造成割缝达到切割金属的目的。但熔点高于火焰温度或难于氧化的材料

(如不锈钢), 则不宜采用气割。氧与各种燃料燃烧时的火焰温度, 见表 6-3-14。

表 6-3-14 氧与各种燃料燃烧时的火焰温度

燃料名称	火焰温度 (°C)	燃料名称	火焰温度 (°C)
乙炔气	3100 ~ 3200	甲烷气	2200 ~ 2300
汽油气体	2500 ~ 2600	丙烷气	2000 ~ 2850
煤油气体	2200 ~ 2250	液化石油气	2600 ~ 2800

气割能够切割各种厚度的钢材, 设备灵活, 费用经济, 切割精度也高, 是目前使用最广泛的切割方法。气割按切割设备分类可分为: 手工气割、半自动气割、仿型气割、多头气割、数控气割和光电跟踪气割。

气割时氧气的作用是助燃, 产生高温并使钢燃烧而进行切割。气焊与气割用的工业用氧气的纯度均有一定要求, 其指标见表 6-3-15。

表 6-3-15 工业用气态氧指标

指 标 名 称		指 标		
		I 类	II 类	
			一级	二级
氧含量, 体积 (%) \geq		99.5	99.5	99.2
水分	游离水 (mL/瓶) \leq	—	100	
	露点 (°C) \leq	-43	—	

氧气的纯度对氧气的消耗量、切割速度和质量起决定性的影响。同时, 纯度降低也加大了工作时需要的压力, 其关系见表 6-3-16。

表 6-3-16 氧气纯度与切割速度、氧气压力和消耗量的关系

氧气纯度 (%)	切割速度 (%)	切割时的氧气压力 (%)	氧气消耗量 (%)
99.5	100	100	100
99.0	95	110 ~ 115	110 ~ 115
98.5	91	122 ~ 125	122 ~ 125
98.0	87	138 ~ 140	138 ~ 140
97.5	83	158 ~ 160	158 ~ 160

供气割用的可燃气体种类很多，常用的有乙炔气、丙烷气和液化石油气等，但目前使用最多的还是乙炔气。这是因为乙炔气价廉、方便，而且火焰的燃烧温度也高。乙炔又称为电石，是一种碳氢化合物，其质量标准见表 6-3-17。

表 6-3-17 溶解乙炔

指 标 名 称	指 标
乙炔纯度, % \geq	98.0
磷化氢, 硫化氢	硝酸银试纸不变色或呈淡黄色

按所制取的乙炔的压力不同，乙炔发生器可分为低压式和中压式两种：低压式 $< 0.01\text{N}/\text{mm}^2$ ；中压式 $0.01 \sim 0.15\text{N}/\text{mm}^2$ 。

目前我国成批生产的主要是中压乙炔发生器，有排水式与联合式两种形式。排水式又可分为移动与固定两种类型。排水式由于体积较小，重量较轻，移动方便，因而适用于非固定车间的金属气焊与气割。联合式需固定在专门的乙炔站内集中生产，再通过管道分送到使用地点，适合于乙炔用量较大的工厂使用。

Q_3-1 型移动式中压乙炔发生器是属于排水式类型，它设有小车机构，移动方便，安全可靠。其技术性能如下：生产能力： $1\text{m}^3/\text{h}$ ；压力： $0.045 \sim 0.1\text{N}/\text{mm}^2$ ；安全阀压力： $0.115 \sim 0.15\text{N}/\text{mm}^2$ ；电石装入量： 5kg ；桶体容水量： 63kg ；总质量： 115kg （不包括水和电石重量）。

乙炔是一种具有爆炸性的危险气体。当压力在 $0.15\text{N}/\text{mm}^2$ ，气体温度达到 $580 \sim 600^\circ\text{C}$ 时，乙炔就会自行爆炸。乙炔的含量（按体积计算）在 $2.2\% \sim 81\%$ 范围内与空气形成的混合气体，及在 $2.8\% \sim 93\%$ 范围内与氧气形成的混合气体，只要遇火就会立即爆炸。因此应排出混有空气的乙炔，注意避开明火及火星，严防氧气倒流入乙炔发生器中。

为防止倒流的火焰进入乙炔发生器而引起爆炸，应在乙炔及输送管道安装回火防止器。回火防止器按乙炔压力不同分为低压式（ $0.01\text{N}/\text{mm}^2$ 以下）和中压式（ $0.01 \sim 0.15\text{N}/\text{mm}^2$ ），按原理不同分为水封式和干式，按构造不同分为开启式和闭合式，按装置部位不同分为集中式和岗位式。

低压开启式水封回火防止器的构造简单，使用方便，可以自制，但可靠性差，目前较少使用。中压封闭式水封回火防止器在国内使用较广，使用时必须定期进行清洗，检查水位，冬季使用应采取防冻措施。

$GY-70-1$ 型干式乙炔回火防止器为中压岗位式乙炔回火防止器，它具有阻火性能好，体积小，重量轻，不需加水，不受气候影响等优点。其主要技术性能如下：工作压力： $0.045 \sim 0.15\text{N}/\text{mm}^2$ ；最大气流： $> 7\text{m}^3/\text{h}$ ；泄气阀逸气值： $(0.21 \pm 0.02)\text{N}/\text{mm}^2$ ；泄气阀关闭值： $(0.2 \pm 0.02)\text{N}/\text{mm}^2$ ；总质量： 1kg ；外形尺寸： $\phi 50 \times 188\text{mm}$ 。

回火防止器的流量和压力须与乙炔发生器的乙炔生产率和压力相适应。集中供乙炔的车间，气管接到车间后，应先通过回火防止器再接到焊炬或割炬上，每个回火防止器只允许接出一把焊炬或割炬。

在城市市区一般不允许采用乙炔发生器，已广泛推行瓶装乙炔的使用。

具有一定生产规模的工厂可建立供气站，采取集中供气。集中供气装置是将一定数量的气瓶同时安装在一起，统一地进行汇流、减压，然后以一定的压力转送到每一个用气点。集中供气装置的技术参数见表 6-3-18。

表 6-3-18 集中供气装置技术参数

型号	介质	瓶数	输入压力 (MPa)	输出压力 (MPa)
JZGQ-Q ₂	氧气	5~100	15	<1.25
JZGQ-CO ₂	二氧化碳气	5~100	10	<0.5
JZGQ-CH ₂	乙炔气	5~100	1.6	<0.15
JZGQ-Ar	氩气	5~100	15	<1.25

火焰切割也可使用混合气体，液化石油气和天然气已用于日常生产。

液化石油气是石油工业的副产品，其主要成分是：丙烷、丁烷、丙烯、丁烯等。液化石油气与乙炔气比较，具有如下的优点：①液化石油气价格比乙炔低，虽然用氧量较乙炔大，但在总体上还是降低了生产成本。②液化石油气加 0.8~1.5N/mm² 的压力即变成液态，便于装入瓶中储存和运输，维护管理简单，没有污水废渣，便于携带。③液化石油气在空气中的爆炸范围为 3.5%~16.3%（体积比），比乙炔（2.2%~81%）小得多。同时，其燃点（500℃左右）又高于乙炔（305℃）。因此，使用液化石油气操作不易回火和爆炸，比乙炔安全。④液化石油气与氧气燃烧的火焰温度比乙炔低，乙炔为 3100~3200℃，而液化石油气最高为 2600~2800℃。因此，液化石油气用于气割时，金属的预热时间稍长，切割质量易于保证，割口光洁，不渗碳，质量较好。在切割厚板时其优点更为突出。

鉴于液化石油气具有上述优点，用它来代替乙炔进行金属切割，将会在生产中得到较多的应用。在液化石油气某些不同比例的组分中，按一定比例注入一种特制的促进助剂，此种新配成的气体在氧的帮助下可以改变火焰频率，激活主体介质，加快燃烧速度，致使火焰温度接近氧乙炔火焰温度，从而改变了一般氧—液化石油气火焰的工艺效果。

氧气瓶内的氧气压力为 15MPa，而气割时的工作压力一般为 0.5MPa，乙炔瓶内乙炔气压力为 1.5MPa，而工作压力在 0.05MPa 以下，减压器的作用可将瓶装压力降低到工作压力后输送到割炬使用；同时，当气瓶内的压力随着气体的消耗而逐渐降低时，减压器可起到稳压作用。

减压器的种类很多，有氧气减压器、乙炔减压器、丙烷减压器等。各类减压器的型

号及主要性能见表 6-3-19。

表 6-3-19 减压器的型号及性能

型号 (代号)	名称	最高输入压力 (MPa)	输出压力 调节范围 (MPa)	公称 流量 (m ³ /h)	配套压力表 规格 (MPa)		重量 (kg)	外形 尺寸 (cm)	安装联接尺寸 (mm)		安全阀 泄气压力 (MPa)
					输入	输出			输入	输出	
YQY-1	单级 氧气 减压器	15	0.1~2.5	250	0~25	0~4	3	18.5 ×18.5 ×21	G5/8"	M16×1.5	2.9~3.9
YQY-6		15	0.02~0.25	10	0~25	0~0.4	1.9	17.5 ×19 ×17.5			0.28~0.38
YQY-12		15	0.1~1.6	160	0~25	0~2.5	2	17 ×16.5 ×16.5			1.8~2.4
YQY-11	双级 氧气 减压器	15	0.1~1.6	100	0~25	0~2.5	5.8	27.5× 17.8 ×20.2	夹环 连接 G5/8" 一左	G5/8"	1.8~2.4
YQE-222	单级 乙炔 减压器	3	0.01~0.15	6	0~4	0~0.25	2.6	28× 16.5 ×17		M16× 1.5 一左	1.08~0.24
YQW-2	单级丙 烷减 压器	1.6	0.02~0.06	1.5	0~2.5	0~0.16	2	19× 17.5 ×16.5		M16× 1.5 一左	0.07~0.12

氧气切割时，氧和电石的消耗定额可参见表 6-3-21 和表 6-3-21。

表 6-3-20 各种厚度钢板每切割 10m 长度的消耗定额

项目	单位	12mm	16mm	20mm	25mm	30mm	36mm	40mm	50mm	60mm							
		手工	自动	手工	自动	手工	自动	手工	自动	手工	自动						
氧气	m ³	1.51	1.78	3.0	3.21	4.0	4.28	5.33	5.7	6.62	7.00	7.5	8.03	9.5	10.7	12.5	13.38
电石	kg	1.81	2.14	3.6	3.85	4.8	5.14	6.4	6.84	7.94	8.5	9.0	9.64	11.4	12.2	15.0	16.06

表 6-3-21 各种型钢每割 10 个切口的消耗定额

项目	单位	槽 钢										角 钢		
		10~12	14~16	18a	20a	22a	24a	27a	30a	36a	40a	130	150	200
氧气	m ³	0.46	0.62	0.72	0.83	0.95	1.09	1.2	1.33	1.7	2	0.5	0.8	1.11
电石	kg	0.55	0.74	0.86	1.0	1.14	1.31	1.44	1.60	2.04	2.4	0.6	0.96	1.33
项目	单位	工 字 钢												
		10~12a	14~16a	18a	20a	22a	24a	27a	30a	36a	40a	45a	55a	60a
氧气	m ³	0.67	0.92	1.0	1.2	1.33	1.5	1.62	1.82	2.14	2.4	2.73	3.4	3.8
电石	kg	0.8	1.1	1.2	1.44	1.6	1.8	1.94	2.18	2.57	2.88	3.28	4.08	4.56

氧气切割会引起钢材产生淬硬倾向，对 16 锰材料更显著。淬硬深度约 0.5 ~ 1.0mm，会增加边缘加工的困难。常用的氧割和气割的设备如下：

- ① 手动和自动割枪的性能，见表 6-3-22，表 6-3-23 为射吸式割炬气体消耗量。
- ② 等压式割炬规格及性能见表 6-3-24。

表 6-3-22 射吸式手工割枪性能表

型号	切割厚度（低碳钢） (mm)	氧气压力 (N/mm ²)	乙炔压力 (N/mm ²)	可换割 嘴个数	割嘴孔径范围 (mm)	割枪总长度 (mm)
G01-30	2~30	0.2~0.3		3	0.6~1.0	450
G01-100	10~100	0.2~0.5	0.001~0.1	3	1.0~1.6	550
G01-300	100~300	0.5~1.0		4	1.8~3.0	650

表 6-3-23 射吸式割炬气体消耗量

型号	割嘴号码	割嘴形式	切割范围 (mm)	气体消耗量	
				氧气 (m ³ /h)	乙炔 (L/h)
G01-30	1	环形	2~10	0.8	210
	2		10~20	1.4	240
	3		20~30	2.2	310

型号	割嘴号码	割嘴形式	切割范围 (mm)	气体消耗量	
				氧气 (m ³ /h)	乙炔 (L/h)
G01-100	1	梅花形	10~25	2.2~2.7	350~400
	2		25~50	3.5~4.3	460~500
	3		50~100	5.5~7.3	550~600
G01-300	1	梅花形	100~150	9.0~10.8	530~780
	2		150~200	11~14	800~1100
	3	环形	200~250	14.5~18	1150~1200
	4		150~300	10~26	1250~1600

表 6-3-24 等压式割炬规格及性能

型号 (名称)	割嘴号码	切割氧孔径 (mm)	切割范围 (mm)	气体压力 (N/mm ²)		气体消耗量	
				氧气	乙炔	氧气 (m ³ /h)	乙炔 (L/h)
G02-100 中压式割炬	1	1.0	10~25	0.4	0.05~0.1	0.7~2.2	350~400
	2	1.3	25~50	0.5	0.05~0.1	3.5~4.3	400~500
	3	1.6	50~100	0.6	0.05~0.1	5.5~7.3	500~600
G02-500 中压式割炬	7	3.0	250~300	0.6	0.05~0.1	15~20	1000~1500
	8	3.5	300~400	1.0	0.05~0.1	20~25	1500~2000
	9	4.0	400~500	1.2	0.05~0.1	25~20	1800~2200
G04-12/100 中 压式焊割两用炬	1	1.0	5~20	0.25	>0.05	1.5~2.5	250~400
	2	1.3	20~50	0.35		3.5~4.5	400~500
	3	1.6	50~100	0.5		3.0~3.4	500~600

③CG1-30型半自动切割机,在轨道上直线行走,可坡口切割V型、Y型,可直线和圆切割,亦可作表面淬火、热喷涂、喷焊等多种用途。表6-3-25、表6-3-26分别为CG1-30型半自动切割机性能和切割机使用的割嘴规格。半自动切割机型号很多,表6-3-27给出的是部分气割机型号及其技术数据。

第三章 放样、样板、样杆与切割、划线

表 6-3-25 CG1-30 型半自动切割机性能

气割速度 (mm/min)	气割范围 (mm)	外形尺寸 (长×宽×高) (mm)	质量 (kg)	电机		
				型号	功率(W)	转速(r/min)
50~750 (无级调速)	厚度:5~60 割圆 直径:φ200~2000 直 线气割:无限	470×230×240 导 轨(两支)1800× 280×22	机重:14 割枪:2.7 半径杆:1.45	S261	24	3600~4000

表 6-3-26 CG1-30 型半自动切割机割嘴规格

割嘴号	切割厚度(mm)	氧气压力(N/mm ²)	乙炔压力(N/mm ²)	切割速度(mm/min)
1	5~20	0.25	0.02	500~600
2	20~40	0.25	0.025	400~500
3	40~60	0.3	0.04	300~400

表 6-3-27 半自动气割机型号及技术数据

型号	气割速度 (mm/min)	气割范围 (mm)	外形尺寸 (长×宽×高) (mm)	质量 (kg)	电机		
					型号	功率(W)	转速 (r/min)
CG-7	75~850	厚度:5~50 φ60~1200	480×105×145	4.3	M28-432	3	3000
CG1-18	50~1200	厚度:5~150 φ500~2000	310×200×100	13	Z15/60- 220	15	6000
G1-100	190~550	厚度:10~100 φ540~2700	405×370×540	机重:19.2	S261	22	
G1-100A	60~650	厚度:10~100 φ50~1500	420×440×310	机重:17	S261	24	
CG1 Q2	0~1000	厚度:6~150 φ30~1500	320×340×300	机重:20	S261	24	

④仿型气割机大多是轻便摇臂式仿型自动气割机，适用于大批生产中气割同一种零件。

切割工件的形状，决定于靠模样板。仿型气割机能比较精确地割出各种形状的零件，大批量生产形状曲折的零件时，优越性更为显著。常用仿型气割机的型号及主要技术数据，见表 6-3-28 ~ 表 6-3-30。

表 6-3-28 CG2-150 型仿型气割机性能

气割速度 (mm/min)	气割范围 (mm)	外形尺寸 (长×宽×高) (mm)	质量 (kg)	电机	
				功率 (W)	转速 (r/min)
50 ~ 750 (无级调速)	气割精度：±0.4 正方形：500×500 直线气割：1200 切割厚度：5 ~ 50 割圆：φ600 长方形：400×900 450×750	1190×335×800	平衡重：9 总重：40	24	3600

表 6-3-29 CG2-150 型气割机割嘴规格

割嘴号	切割厚度 (mm)	氧气压力 (N/mm ²)	乙炔压力 (N/mm ²)	切割速度 (mm/min)
1	5 ~ 20	0.25	0.02	500 ~ 600
2	20 ~ 40	0.25	0.025	400 ~ 500
3	40 ~ 60	0.3	0.04	300 ~ 400

表 6-3-30 仿型气割机型号及技术数据

名称		仿型气割机	摇臂仿型气割机	摇臂仿型气割机	大摇臂仿型气割机
型号		G2-1000	G2-900	G2-3000	G2-5000
切割范围 (mm)	厚度	5 ~ 60	10 ~ 100	10 ~ 100	10 ~ 100
	长度	1200			5300
切割范围 (mm)	最大正方形	1060×1060	900×900	1000×1000	2000×2000
	长方形尺寸	750×460			
		900×110 1200×260		3200×350	5000×600
	直径	620, 1500	930	1400	20 ~ 2300
切割速度 (mm/min)		50 ~ 750	100 ~ 660	108 ~ 722	200 ~ 1500
气割精度 (mm)		≤ ±1.75	±0.4	±0.1	±0.4

第三章 放样、样板、样杆与切割、划线

名称		仿型气割机	摇臂仿型气割机	摇臂仿型气割机	大摇臂仿型气割机
型号		G2 - 1000	G2 - 900	G2 - 3000	G2 - 5000
割嘴号数 (号)		1 [#] 、2 [#] 、3 [#]	1 [#] 、2 [#] 、3 [#]	1 [#] 、2 [#] 、3 [#]	1 [#] 、2 [#] 、3 [#]
电动机	型号	S261	S261	S261	S261
	电压 (V)	110	110	110	110
	功率 (W)	24	24	24	24
电源电压 (V)		220	220	220	220
质量 (kg)	平衡锤重	2.5			
	总质量	38.5	400	200	500
外形尺寸 (长×宽×高) (mm)		1325×325×800	1350×1500×1800	2200×1000×1500	3350×2000×1700

日本 1K - 54D 型便携式仿形切割机。该机操作简便，能准确、高效的仿型，而且可连续工作，强力磁导轮能够精确跟踪各种形状。1K - 54D 型仿形切割机技术参数如下：切割厚度：3 ~ 100mm；切割精度：± 0.5mm；切割圆弧直径：φ30 ~ 700mm，附加部件后能达到 600 ~ 1700mm；矩形切割范围：30 ~ 600mm，附加部件后能达到 500 ~ 1200mm；速度范围：100 ~ 1000mm/min；电源：AC100V 或 200V (50Hz, 60Hz)；喷嘴：102 乙炔或 106 丙烷。在 1K - 54D 型切割机上安装高效割圆附件，最大可以切割 φ400mm，而不需要模板。

⑤ 手工割枪或自动、半自动割机，如加以适当改进，即可发挥更大的作用，如：罐类封头的割齐工作，可用平圆板，(放在罐封头内) 加半自动切割机，利用平板的平面和中心孔作圆心，半自动气割机在板上走了一圈，即将封头切得整齐。或者利用固定的手工割炬，把封头放在水平转胎上，找正中心，当封头随转胎转动一周，割炬进行切割，同样可以达到切得整齐的目的。表 6 - 3 - 31 为封头切割机及其技术参数。

⑥ 随着气割工作量的增加，电子技术的发展，气割机也有许多新的发展。各种轻便型火焰氧气切割机、专用火焰氧气切割机、多头门式切割机、电磁仿形、光电跟踪和数控火焰切割机等在生产中逐步得到推广与应用，各种形状的自动切割、多枪或多件切割正在逐步代替机械剪切和刨边，提高了气割精度和生产效率。

表 6 - 3 - 31 封头切割机技术参数

规格型号	台面直径 (mm)	切割直径 (mm)	电机功率 (kW)	载重 (t)
FQ - 12	φ600	φ200 ~ 1200	0.55	1.5
FQ - 15	φ1200	φ300 ~ 1500	0.75	3

规格型号	台面直径 (mm)	切割直径 (mm)	电机功率 (kW)	载重 (t)
FQ-35	φ1400	φ300 ~ 3500	1.1	4
FQ-55	φ1600	φ300 ~ 5500	2.2	5

数控气割是随着电子计算技术的发展,在制作工艺中使用的一项新技术,这种气割机可省去放样划线等工序而直接切割。生产中应用较广泛的门式气割机是一种高精度切割设备,主要用于切割直线形零件和钢板的边缘加工。门式气割机主要技术数据见表 6-3-32。

表 6-3-32 门式气割机主要技术数据

型号	切割厚度 (mm)	切割范围 (mm)	割炬数 (组)	切割速度 (mm/min)
WKQ 系列	6 ~ 100	12000 × 3000 ~ 7500	3	50 ~ 1200
SQG650-2	6 ~ 150	8000 × 2000	2	10 ~ 6000
SK-CG-2500	5 ~ 100	6000 × 2500	2	100 ~ 1500
SK-CG-9000	5 ~ 100	24000 × 9000	4	50 ~ 2400
CNC-4A	8 ~ 150	16000 × 4000	2	50 ~ 1000

多头直条切割机是一种高效率的板条切割设备,纵向割炬可根据要求配置,一次可同时加工多块板条。图 6-3-5 是锡山市阳通成套焊接设备厂生产的多头直条切割机,其主要技术参数见表 6-3-33。

表 6-3-33 多头直条切割机技术参数

轨距	3000mm	切割宽度	80 ~ 2300mm
		切割速度	0 ~ 1m/min
轨长	15000mm	纵向割炬	9 组
		横向割炬	1 组
有效行程	12500mm		

光电跟踪气割机是用光电平面轮廓仿型,通过自动跟踪系统驱动割嘴进行切割的设

备，在工艺上可以省略实尺下料，只需将被切割的零件画成 1 : 10 的缩小仿型图即可，不仅提高了工效，减轻了劳动强度，而且还可以实现套料切割，提高钢材的利用率。光电跟踪气割机由跟踪机和切割机两部分组成，跟踪方式大多采用脉冲相位法，跟踪机和切割机为分离式，实行遥控，燃气采用氧乙炔（或丙烷）。

表 6 - 3 - 34 为引进的 CM95 型光电跟踪自动切割机的主要技术性能。

表 6 - 3 - 34 CM - 95 型光电跟踪自动切割机性能

切割钢板的长度	16m
切割钢板的宽度	3m
切割最大厚度	160mm
可装割炬数	8 个
切割速度	0 ~ 1000mm/min
切割精度（纵向）	不大于 1mm
切割精度（横向）	不大于 1mm

H 型钢材的使用量正在不断地增加，为了适合 H 型钢的切割下料，高效率、高性能的手提式气体切割机的需求量也在不断地增加。日本便携式 H 型钢自动切割机具有快速精确切割工字钢的能力，切割时不需要移动工件。该机有两个马达，一个是为腹板切割，一个为翼板切割。当腹板切割时，机器沿轨道行走。当翼板切割时，割炬装置沿竖向齿柱上、下移动，不需要转动工字钢。

H 型钢自动切割机技术参数：切割厚度：5 ~ 32mm；切割速度：100 ~ 700mm/min；轨道长度：1100mm；重量：22kg；喷嘴：102 乙炔或 106 丙烷；电源：220V、50Hz。

直切 A = 150 ~ 600mm（图 6 - 3 - 6）；配附件可以达到 150 ~ 900mm；B = 150 ~ 400mm；斜切腹板 35 度角时 400mm 长；斜切翼板 30 度角时最大 400mm 长；坡口切割 35 度。

IK - 72T 便携式全方位自动气体切割机使曲面切割过程可以完全自动完成，切割过程简便、迅速和精确。

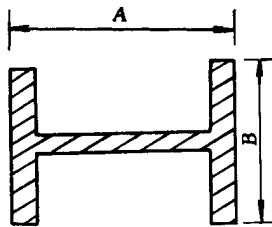


图 6 - 3 - 6 H 型钢截面示意

为了获得高精度的切割，需选用最适合工作需要的轨道。该机配有三种轨道：①1.5m长，带有磁铁的铝质直轨道；②1.0m长，带有磁铁的橡胶二维弯曲轨道；③1.0m长，带有磁铁的三维弯曲轨道，轨道材质为橡胶。

IK-72T 自动气体切割机技术参数：切割厚度：5~30mm；最小半径：2000mm；切割速度：700mm/min；传动：齿轮传动；坡口角度：0°~45°；导轨：高30mm，宽42mm；重量：4.5kg；喷嘴：102乙炔或106丙烷；电源：220V、50Hz。

气割时应该正确选择割嘴型号、氧气压力、气割速度和预热火焰的能率等工艺参数。

根据氧和乙炔的不同比率，氧乙炔焰可以分为中性焰、碳化焰和氧化焰三种，其形状如图6-3-7所示。

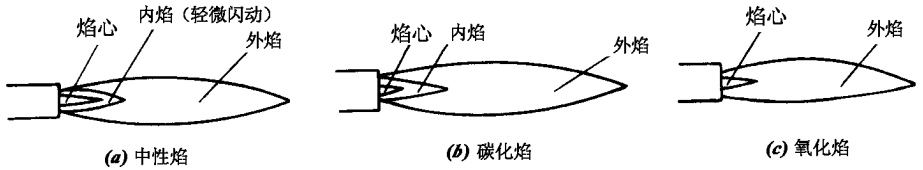


图 6-3-7 氧乙炔火焰

(a) 中性焰。氧与乙炔的混合比为 1.1~1.2。适用于一般低中碳钢、低合金钢、紫铜、青铜。

(b) 碳化焰。氧与乙炔的混合比小于 1.1。适用于高碳钢、铸铁及硬质合金。

(c) 氧化焰。氧与乙炔的混合比大于 1.2。适用于黄铜、锰钢等。

工艺参数的选择主要是根据气割机械的类型和可切割的钢板厚度。表 6-3-35、表 6-3-36 和表 6-3-37 分别为氧、乙炔切割，氧、丙烷切割工艺参数及割嘴倾角与割件厚度的关系。

工艺参数对气割的质量影响很大，常见的气割断面的缺陷与工艺参数的关系见表 6-3-38。

表 6-3-35 氧、乙炔切割工艺参数

切割板厚度 (mm)		< 10	10 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 50	50 ~ 100
切割氧孔直径 (mm)	自动、半自动	0.5 ~ 1.5	0.8 ~ 1.5	1.2 ~ 1.5	1.7 ~ 2.1	2.1 ~ 2.2
	手工	0.6	0.8	1.0	1.3	1.6
割嘴型号	自动、半自动					
	手工	Gol ~ 30	Gol ~ 30	Col ~ 30 Col ~ 100	Gol ~ 100	Gol ~ 100

第三章 放样、样板、样杆与切割、划线

切割板厚度 (mm)		< 10	10 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 50	50 ~ 100	
割嘴 号码	自动、半自动	1	1	2	2、3	3	
	手工	1	2	3、1、2	2	3	
气体 压力 (N/mm ²)	氧 气	自动、半自动	0.1 ~ 0.3	0.15 ~ 0.34	0.19 ~ 0.37	0.16 ~ 0.41	0.16 ~ 0.41
		手工	0.1 ~ 0.49	0.39 ~ 0.59	0.59 ~ 0.69	0.59 ~ 0.69	0.59 ~ 0.78
	乙 炔	自动、半自动	0.02	0.02	0.02	0.02	0.04
		手工		0.001 ~ 0.12			
气 体 流 量	氧 气 (m ³ /h)	自动、半自动	0.5 ~ 3.3	1.8 ~ 4.5	3.7 ~ 4.9	5.2 ~ 7.4	5.2 ~ 10.9
		手工	0.8	1.4	2.2	3.5 ~ 4.3	5.5 ~ 7.3
	乙 炔 (L/h)	自动	0.14 ~ 0.31	0.23 ~ 0.43	0.39 ~ 0.45	0.39 ~ 0.57	0.45 ~ 0.74
		手工	210	240	310	460 ~ 500	550 ~ 600
气割速度 (mm/min)	自动	450 ~ 800	360 ~ 600	350 ~ 480	250 ~ 380	160 ~ 350	
	半自动	500 ~ 600		400 ~ 500		200 ~ 400	

表 6-3-36 氧、丙烷切割工艺参数

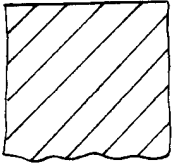
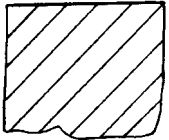
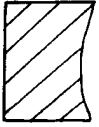
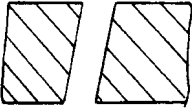

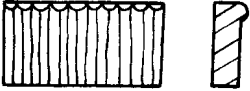
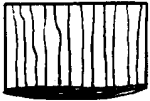
切割板厚度 (mm)		< 10	10 ~ 20	20 ~ 30	30 ~ 40	40 ~ 50	50 ~ 60
气体压力 (N/mm ²)	氧气	0.69 ~ 0.78	0.69 ~ 0.78	0.69 ~ 0.78	0.69 ~ 0.78	0.69 ~ 0.78	0.69 ~ 0.78
	丙烷	0.02 ~ 0.03	0.03 ~ 0.04	0.04	0.04 ~ 0.05	0.04 ~ 0.05	0.05
切割速度 (mm/min)		400 ~ 500	400 ~ 500	400 ~ 420	350 ~ 400	350 ~ 400	200 ~ 350
割嘴与钢板距离		预热焰 的 3/4	预热焰 的 3/4	预热焰 的 3/4	预热焰 的 3/4	预热焰 的 3/4	预热焰 的 3/4

表 6-3-37 割嘴倾角与割件厚度的关系

割件厚度 (mm)	< 6	6 ~ 30	> 30		
			起割	割穿后	停割
倾角方向	后倾	垂直	前倾	垂直	后倾
倾角度数	25° ~ 45°	0°	5° ~ 10°	0°	5° ~ 10°

表 6-3-38

常见气割断面缺陷及其产生原因

缺陷名称	图示	产生原因
粗 糙		切割氧压力过高； 割嘴选用不当； 切割速度太快； 预热火焰能率过大
缺 口		切割过程中断，重新起割衔接不好； 钢板表面有厚的氧化皮，铁锈等，切割坡口时预热火焰能率不足； 半自动气割机导轨上有脏物
内 凹		切割氧压力过高； 切割速度过快
倾 斜		割炬与板面不垂直； 风线歪斜； 切割氧压力低或嘴号偏小
上缘熔化		预热火焰太强； 切割速度太慢； 割嘴离割件太近
上缘呈珠链状		钢板表面有氧化皮，铁锈； 割嘴到钢板的距离太小，火焰太强
下缘粘渣		切割速度太快或太慢； 割嘴号太小； 切割氧压力太低

气割前，应去除钢材表面的污垢、油脂，并在下面留出一定的空间，以利于熔渣的

吹出。气割时，割炬的移动应保持匀速，割件表面距离焰心尖端以 2~5mm 为宜，距离太近会使切口边沿熔化，太远了热量不足，易使切割中断。气割时，要调节好切割氧气射流（风线）的形状，使其达到并保持轮廓清晰，风线长和射力高。

气割时必须防止回火，回火的实质是：氧乙炔混合气体从割嘴内流出的速度小于混合气体燃烧速度，造成回火的原因有：①皮管太长，接头太多或皮管被重物压住。②割炬连续工作时间过长或割嘴过于靠近钢板，使割嘴温度升高，内部压力增加，影响气体流速，甚至混合气体在割嘴内自燃。③割嘴出口通道被熔渣或杂质阻塞，氧气倒流入乙炔管道。

④皮管或割炬内部管道被杂物堵塞，增加了流动阻力。⑤割嘴的环形孔道间隙太大，当混合气体压力较小时，流速过低也易造成回火。

发生回火时，应及时采取措施，将乙炔皮管折拢并捏紧，同时紧急关闭气源，一般先关闭乙炔阀，再关氧气阀，使回火在割炬内迅速熄灭，稍待片刻，再开启氧气阀，以吹掉割炬内残余的燃气和微粒，然后再点火使用。

在进行气割时需注意以下几点：①气压稳定，不漏气。②压力表、速度计等正常无损。③机体行走平稳，使用轨道时要保证平直和无振动。④割嘴气流畅通，无污损。⑤割炬的角度和位置准确。

为了防止气割变形，在气割操作中应遵循下列程序：①大型工件的切割，应先从短边开始。②在钢板上切割不同尺寸的工件时，应先割小件，后割大件。③在钢板上切割不同形状的工件时，应先割较复杂的，后割较简单的。④窄长条形板的切割，长度两端留出 50mm 不割，待割完长边后再割断，或者采用多割炬的对称气割的方法。

(2) 等离子切割。等离子切割是应用特殊的割炬，在电流、气流及冷却水的作用下，产生高达 20000~30000℃ 的等离子弧熔化金属而进行切割的设备，它的优点是：①能量高度集中，温度高而且具有很高的冲刷力，可以切割任何高熔点金属，有色金属和非金属材料。②由于弧柱被高度压缩，温度高、直径小，冲击力大，所以切口较窄，切割边的质量好，切速高，热影响区小，变形也小，切割厚度可达 150~200mm。③成本较低，特别是采用氮气等廉价的气体，成本更为降低。

等离子弧切割目前主要用于不锈钢、铝、镍、铜及其合金等，还部分地代替氧乙炔焰，切割一般碳钢和低合金钢。另外，由于等离子弧切割具有上述优点，所以在一些尖端技术上也被广泛采用。

等离子切割机有手把式和自动式两种类型，其技术性能数据见表 6-3-39。

表 6-3-39 等离子切割机技术性能

名称	自动等离子弧切割机	手把式等离子弧切割机	手把式等离子弧切割机
型号	LC-400-2	LG3-400	LG3-400-1
额定切割电流 (A)	400	400	400
引弧电流 (A)	30~50	40	

名称		自动等离子弧切割机	手把式等离子弧切割机	手把式等离子弧切割机
工作电压 (V)		100 ~ 150	60 ~ 150	70 ~ 150
额定负载持续率 (%)		60	60	60
镶钨电极直径 (mm)		5.5	5.5	5.5
自动切割速度 (m/h)		3 ~ 150		
切割范围 (mm)	厚度	碳钢	80	
		不锈钢	80	40
		铝	80	60
		紫铜	50	40
	圆形直径	> 120		
电源	型号	ZXG2 - 400	AX8 - 550	
	台数	1	2 ~ 4	
	切割空载电压 (V)	300	120 ~ 300	125 ~ 300
	电流调节范围 (A)	100 ~ 500	125 ~ 600	140 ~ 400
	电压 (V)	3 相, 380		3 相, 380
	控制箱电压 (V)	220	220	
气体耗量	主电弧 (切割) (m ³ /h)	3	1 ~ 3.5	4
	引弧 (m ³ /h)	0.4	0.7 ~ 1	
氮气纯度 (%)		99.9 以上		99.99
冷却水消耗量 (L/min)		3	1.5	4
外形尺寸 (长 × 宽 × 高) (mm)	控制箱	440 × 640 × 980	482 × 663 × 1230	660 × 910 × 1229
	切割电源			
	自动小车	500 × 730 × 380		
	手把	345 × 150 × 100	φ50 × 100 × 300	φ40 × 53 × 227
重量 (kg)	控制箱	30	126	
	切割电源			
	自动小车	25		
	手把	1.5	0.65	

等离子切割的回路采用直流正接法, 即工件接正, 钨棒接负, 减少电极的烧损, 以保证等离子弧的稳定燃烧。手工切割时不得在切割线上直接引弧, 切割内圆或内部轮廓

时,应先在板材上预钻出 $\phi 12 \sim \phi 16\text{mm}$ 的孔,切割由孔开始进行。自动切割时,应调节好切割规范和小车行走速度。切割过程中要保持割轮与工件垂直,避免产生熔瘤,保证切割质量。

(3) 机械切割。根据切割原理,机械切割可分为四类:①利用上下两剪刀的相对运动来切断钢材。此类机械剪切速度快,效率高,能剪切厚度小于 30mm 的钢材,其缺点是切口略粗糙,下端有毛刺。剪板机、联合冲剪机和型钢冲剪机等机械属于此类。②利用锯片的切削运动把钢材分离。此类机械切割精度好,主要用于切割角钢、圆钢和各类型钢。弓锯床、带锯床和圆盘锯床等机械属于此类。③利用锯片与工件间的摩擦发热使金属熔化而被切断。此类机械中的摩擦锯床切割速度快,但切口不光洁,噪声大。砂轮切割机能切割不锈钢及各种合金钢等。④利用冲压设备落料、冲孔、冲长圆孔,槽钢和 T 型钢的切断、角钢切肢、圆管压扁亦可采用冲压方法。

冲剪下料:

①剪切力计算(图 6-3-8)。

直剪刀剪断时:

$$P = 1.4F\sigma_b \quad (6-3-2)$$

斜剪刀剪断时:

$$P = 0.55\delta^2\sigma_b/\tan\beta \quad (6-3-3)$$

式中 F ——切断材料的断面积, mm^2 ;

δ ——厚度, mm ;

σ_b ——抗拉强度, N/mm^2 (因为考虑到料的厚度不均、刃口变钝等因素,所以不用抗剪强度而用抗拉强度);

β ——剪刀倾斜角。 β 增大,剪切力降低,但材料变形增加。当 β 超过 14° 时, P_2 的分力会将材料推出,造成剪切困难。因此,对于短剪刀: $\beta = 10^\circ \sim 20^\circ$; 长剪刀: $\beta = 5^\circ \sim 6^\circ$ 为宜。

②剪刀必须锋利,剪刀的材料用碳工具钢和合金工具钢。

③剪刀间隙应根据板厚调整,除薄板应调至 0.3mm 以下,一般为 $0.5 \sim 0.6\text{mm}$ 。

角钢剪断刀片,内圆弧根据角钢的 R 而变化(图 6-3-9),当角钢为 $30 \sim 130$ 时其 R 为 $4 \sim 12$ 。可把刀片的 R 做 $4 \sim 5$ 级,以便使用时随时调换。

④常用剪机的技术性能,见表 6-3-40。

厚钢板剪切会增加平直的困难,一般多用氧气切割。

⑤联合剪冲机技术性能,见表 6-3-41。

⑥型钢冲剪机主要用来剪切中小型的圆钢、方钢、角钢、槽钢和工字钢等。国产型钢冲剪机的型号及技术性能参数见表 6-3-42。

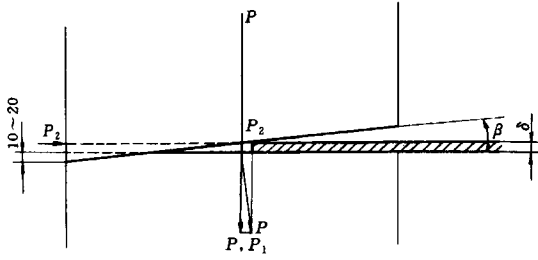


图 6-3-8 剪切力计算图

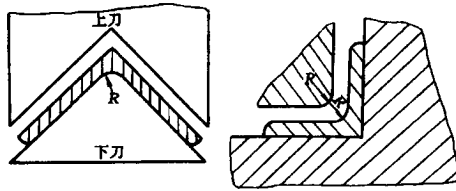


图 6-3-9 剪断刀片的内圆弧与角钢 R 的关系

表 6-3-40

常用剪机技术性能

剪机型号	技术参数				
	剪板尺寸(厚×宽) (mm)	剪切角度	空行程次数 (次/min)	后挡料架调节范围 (mm)	电机功率 (kW)
Q11-3×1200	3×1200	2°25'	56	350	3
Q11-6×2500	6×2500	2°30'	38	460	7.5
Q11-13×2500	13×2500	3°	30	460	15
Q11-20×2500	20×2500	3°24'	18	60~750	30
Q11-25×3800	25×3800	4°7'	10		70

表 6-3-41

联合剪冲机技术性能

型号	技术规格							
	剪板厚度 (mm)	行程次数 (次/min)	可剪最大尺寸(mm)			冲孔直径 (mm)	冲孔板厚 (mm)	电机功率 (kW)
			圆钢	方钢	角钢			
Q34-10	10	40	φ35	28×28	80×8	22	10	2.2
Q34-16	16	27	φ45	40×40	100×12	26	16	5.5
QA34-25	25	25	φ65	55×55	150×18	35	25	7.5
Q35-16(带模)	16	36	φ45	40×40	125×12	28	16	4.0

表 6-3-42 国产型钢冲剪机型号及技术性能

型号	技术参数								电机 功率 (kW)	重量 (t)	外形尺寸 (长×宽×高) (mm)
	可剪切最大尺寸 (mm)					材料强度 (N/mm ²)	剪切 力(N)	行程次数 (次/min)			
	圆钢	方钢	角钢	槽钢	工字钢						
Q41-100	φ60	50×50	120×12	[22#	120#	≤450	100	36	5.5	2.5	1965×1530×1710
Q41-100	φ60	50×50	125×12	[22#	120#	450		36	5.5	2.45	1965×795×1710
Q43-63	φ63	50×50	100×100 ×12	180×70	180×94	≤500		40	13	11	3400×1820×1380

⑦双盘剪切机和冲型剪切机下料，适用于较薄板料和曲线切割。

QA23-4型双盘剪切机的技术性能为：剪切厚度：4mm；剪切直径：300~1000mm；电机功率：2.2kW。

Q21-5A型冲型剪切机的技术性能为：剪切厚度：5mm；冲切厚度：2mm；行程次数：2800，1400次/min；电机功率：1.5kW。

⑧冲压设备技术性能，见表6-3-43。图6-3-10和图6-3-11为模具示例。板材的内部切槽亦可采用此类机型加工。

表 6-3-43 冲压设备技术性能

名称	型号	主要技术规格						电机功率 (kW)
		公称压力 (kN)	滑块行程 (mm)	封闭高度 (mm)	工作台尺寸 (长×宽) (mm)	封闭高度 调节量 (mm)	行程次数 (次/min)	
单柱固定台式	J11-100	1000	可调 20~100	320	600×800	85	65	7.5
开式固定台式	JC21-160A	1600	160	450	1120×710	130	50	13
闭式单点	JA31-630B	6300		700 (装模 高度)	1700×1500		12	55

材料剪切后的弯扭变形，必须进行矫正。材料剪切后，发现断面粗糙或带有毛刺，必须修磨光洁。剪切过程中，坡口附近的金属因受剪力而发生挤压和弯曲，从而引起硬度提高，材料变脆的冷作硬化现象。重要的结构件和焊缝的接口位置，一定要用铣、刨或者砂轮机磨削的方法将硬化表面加工清除。

锯切下料：在钢结构制造厂中，锯割机械的主要用途是切割各类型钢。

①弓锯床仅用于切割中小型的型钢：圆钢和扁钢等。弓锯的工作运动和手锯相似，

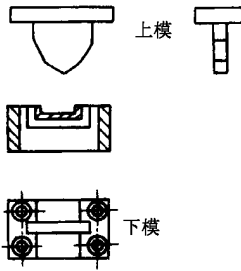


图 6-3-10 槽钢切断冲模示意

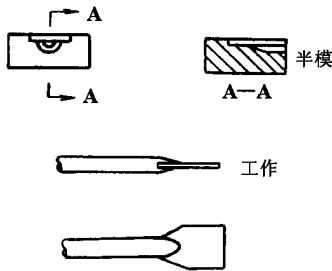


图 6-3-11 圆管压扁工件示意

它的往复运动是由曲柄盘的旋转而产生，锯条行程的长短可以由曲柄调整。

弓锯床的型号及技术性能参数见表 6-3-44。

表 6-3-44 弓锯床型号及技术性能

产品名称	型号	最大锯料直径 (mm)	技术参数									
			加工范围				锯条尺寸 (mm)		锯条行程 (mm)	切削速度 (m/min)	往复速度	
			圆钢 (mm)	方钢 (mm)	槽钢 (号)	工字钢 (号)	长度	厚度			级数	范围 (次/min)
弓锯床	G7025A	250	250	220	22	22	500 450	2	152	22, 33	2	75 ~ 112
弓锯床	G7025	250	250	250	25	25	500	2	152	27 平均	1	91
弓锯床	G7116	160	160	160	16	16	350	1.3 1.4	110 ~ 170	28	1	92
弓锯床	G7125	250	250	250	25	25	450	2	110	27	2	80, 105
弓锯床	G72	220	220	220	22	22	450	2	152	22, 29	2	75, 97

第三章 放样、样板、样杆与切割、划线

②带锯床用于切断型钢、圆钢、方钢等，其效率高，切断面质量较好。国产带锯床机型较小，多用于小型钢的锯下料，其主要技术数据见表 6-3-45，表 6-3-46 为国外产品的性能，表 6-3-47 为带锯机锯切时出现故障的排除方法。

表 6-3-45 国产带锯床主要技术数据

型号	切料范围 (mm)		锯带尺寸 (mm)	切割速度 (m/min)
GZ4032	最大直径 320		1.06 × 31.5 × 4115	18 ~ 120
G5253	0°	530 × 355 (矩)	0.9 × 25 × 4345	42 ~ 84
		φ355 (圆)		
	± 45°	355 × 355 (方)		
		φ355 (圆)		

表 6-3-46 国外带锯机主要技术数据

指标		型 号		
		H-650HD	H-750HD	H-900HD
切断能力	90°	W650 × H400	W750 × H450, W700 × H500	W912 × H600
	45°	W300 × H300	□426	W500 × H300, W400 × H400
锯条速度 (m/min)		27, 40, 50, 60, 70	15 ~ 90, 17 ~ 90, 无级	30, 40, 50, 60, 70
锯条尺寸 (mm)		1.3 × 38 × 5040	1.3 × 38 × 5790	1.6 × 50 × 8000

表 6-3-47 锯切故障和排除方法

切割时 振动	切割 困难	锯条寿 命短	切割呈 弧线	断锯条	故障原因	排除方法
✓	✓	✓	✓	✓	使用的锯条节距不对	更换正确节距的锯条
✓	✓	✓	✓	✓	锯条没有很好走合	进行走合操作
✓	✓	✓			锯条速度太快	减小速度
			✓	✓	锯条速度太慢	增加速度
✓		✓	✓	✓	锯条架下降速度太快	减低速度
✓		✓	✓		锯条架下降速度太慢	增加速度
		✓	✓		锯条未张紧	张紧
		✓	✓	✓	钢丝刷位置不对	改正

切割时 振动	切割 困难	锯条寿 命短	切割呈 弧线	断锯条	故障原因	排除方法
✓		✓	✓		锯条用插销夹紧不合适	改正
✓	✓	✓	✓	✓	用台钳夹紧工件不合适	改正
	✓	✓	✓		材料表面太硬	软化材料表面
		✓	✓	✓	切削率高	减小切削率
	✓	✓			工件未退火	更换合适工件
✓		✓	✓	✓	切削液不足或太稀	增加或更换切削液
✓		✓	✓	✓	附近的机器振动	重安或移去振源
		✓	✓		使用非水溶切削液	更换
✓		✓		✓	支撑滚子断裂	更换
✓	✓	✓	✓	✓	使用的锯条不合适	更换锯条
✓	✓	✓	✓	✓	线路电压波动	稳压
✓		✓	✓		锯条导向器离工件太远	将导向器移近工件
✓		✓	✓	✓	锯条导向器太松	上紧
		✓		✓	切屑呈兰色或紫色	减小切削率
✓		✓		✓	在锯条入口处积有锯屑	清除
	✓				锯条装反了	改正
✓		✓	✓		工件没有捆扎好	重新捆扎
✓		✓		✓	锯条没有贴住轮子凸缘	调整轮子, 使保持一定间隙
✓	✓	✓			工件尺寸不合适	使用适合工件尺寸的机器
	✓	✓	✓		锯齿磨损	更换锯条

③圆盘锯床的锯片呈圆形, 在圆盘的周围制有锯齿。锯切工件时, 电动机带动圆锯片旋转便可进刀锯断各种型钢。

圆盘锯的特点是能够切割大型的 H 型钢, 而且切割精度很高, 因此在钢结构制造厂的加工过程中, 圆盘锯经常被用来进行柱、梁等型钢构件的下料切割。圆盘锯一般有卧式和立式两种。表 6-3-48 为卧式圆盘锯床的型号和技术性能参数。

立式圆盘锯的工作能力比卧式的大, 国产 HN-021 型立式圆盘锯, 其最大锯切宽度为 850mm, 厚度为 250mm。引进的双立柱立式圆盘锯, 锯片直径为 1250mm, 送进速度为 0~23.3mm/s, 可无级调速, 锯切最大宽度为 990mm, 最大厚度达 432mm。

表 6-3-48

圆盘锯床型号及技术性能

产品名称	型号	规格 (mm)	技术参数								
			加工范围				锯片尺寸 (mm)		切削速度 (mm/min)	转速	
			圆钢 (mm)	方钢 (mm)	槽钢 (号)	工字钢 (号)	直径	厚度		级数	范围 (r/min)
卧式圆锯床	G607	710	240	220	40	40	710	6.5	液压无级 25~400	4	4.75, 6.75 9.5, 13.5
卧式圆锯床	G610A	2010	700	650			2010	14.5	液压无级 5.6~17	无级	0.9~2.7

圆盘锯使用的锯片有冷切锯片和镶齿锯片两种，大型圆盘锯一般都采用镶齿锯片，其优点是当个别锯齿损坏时，可以进行局部调换。锯片的型号和规格见表 6-3-49。

表 6-3-49

锯片型号及规格

类别	型号规格 (外径)	内孔 (mm)
冷切锯片	LJ200	φ30
	LJ250	φ30
	LJ300	φ40
	LJ350	φ35
	LJ400	φ30
	LJ450	φ30
	LJ500	φ65
	LJ550	—
	LJ600	—
	LJ650	φ110
	LJ700	φ110
	LJ720	—
	LJ760	—
	LJ800	φ110
LJ850	φ110	
LJ900	φ300	

类别	型号规格 (外径)	内孔 (mm)
镶齿锯片	XJ1010	φ100
	XJ1430	φ150
	XJ1610	φ150
	XJ2000	φ240

国产镶齿锯片，其镶齿与圆盘用铆钉连接，不同直径的锯片所拥有的镶齿块数也不同，表 6-3-50 为不同直径锯片的有关数据。

表 6-3-50 镶齿锯片

锯片外径 D (m)	镶齿锯片数据					
	块数 (块)	厚度 (mm)	齿数			
			3 齿	4 齿	6 齿	8 齿
710	24	6.5	(72)	96	144	192
1010	30	8	(90)	120	180	240
1430	36	10.5	108	(144)	216	288
2000	44	14.5	132	—	—	—

每块镶齿锯片上的齿数也不相同，表中 3 齿的为粗齿，4 齿为普通齿，6 齿为中齿，8 齿为细齿，选用的原则为圆钢、方钢等实体材料，一般选用普通齿的锯片，如果材料强度较高，则选用中齿的锯片为宜；对管材、工字钢和 H 钢等型材，通常选用中齿锯片，如果材料强度较高，则以选用细齿的锯片进行加工为宜。

④摩擦锯主要是利用锯片与工件间的摩擦发热，使工件熔化而切断。工作时，锯片以 100~150m/s 的圆周速度高速旋转，高速度使工件发热熔化。

摩擦锯能够锯割各类型钢，也可以用来切割管子和钢板等。使用摩擦锯切割的优点是锯割的速度快，效率高，切削速度可达 120~140m/s，进刀量 200~500mm/min，缺点是切口不光洁，噪音大，只适于锯切精度要求较低的构件，或者下料时留有加工余量需进行精加工的构件。摩擦锯锯片的周围通常没有锯齿，只有不深的压痕，锯片的规格见表 6-3-51。

表 6-3-51

锯片规格

零件尺寸 (mm)	圆盘直径 (mm)				
	300	500	700	900	1000
锯口厚度	3.5	4.0	6.0	7.0	10
圆盘厚度	1.5	2.0	4.0	5.0	8.0
圆盘圆周压痕间距*	1.0	1.0	2.0	2.0	2.0

注：* 无齿锯锯盘周边有不深的压痕。

无齿摩擦锯是热熔切割，在切割区会有淬硬倾向。淬硬深度对淬火钢材约为 1.5 ~ 2.0mm。

⑤ 砂轮锯是利用砂轮片高速旋转时与工件摩擦，由摩擦生热并使工件熔化而完成切割。砂轮锯适用于锯切薄壁型钢，如方管、圆管、Z 和 C 形断面的薄壁型钢等。切口光滑，毛刺较薄，容易消除。砂轮切断机的技术参数，见表 6-3-52。

表 6-3-52

G228 型砂轮切断机技术参数

型号	加工范围 (mm)		砂轮尺寸 (mm)			砂轮速度 (m/s)	主轴转速 (r/min)	切断进给方式
	管材直径	棒料直径	外径	内径	厚度			
G228	φ80	φ40	φ400	φ32	4	50	2380	干切手动
G228A			φ300		3	50	2860	手动
G228B			φ300		3	80	5100	湿切手动

当材料厚度较薄 (1~3mm) 时，剪切效率很高。当材料厚度超过 4mm 时，效率降低，砂轮片损耗大，经济上不合算。

砂轮锯下料时，工作物常固定在锯片的一侧，另一侧是自由的。因此，由于侧向抗力会使切口倾斜，尤其当手动进给压力较大时，有时倾斜可达 2~3mm。

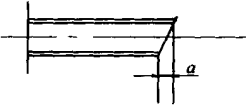
砂轮锯的缺点是噪音大，粉尘也多。

锯割机械施工中应注意以下问题：① 型钢应预先经过校直，方可进行锯切。② 所选用的设备和锯片规格必须满足构件所要求的加工精度。③ 单件锯切的构件，先划出号料线，然后对线锯切。号料时，需留出锯槽宽度，锯槽宽度为锯片厚度加 0.5~1.0mm。成批加工的构件，可预先安装定位挡板进行加工。④ 加工精度要求较高的重要构件，应考虑留出适当的精加工余量，以供锯割后进行端面精铣。

锯切设备的工作精度，主要是指锯割后断面相对轴线的不垂直度的误差值，这与机

床的性能及锯片的刚度有关。各类锯割机床实际能够达到的工作精度列于表 6-3-53。

表 6-3-53 各类割锯机床能达到的精度

图 例	切割断面对轴线的不垂直度 a (mm)			
	弓锯床	带锯床	圆盘锯	砂轮锯
	0.4/100	0.4/100	0.15/100	0.5/100

第四章 成形加工

第一节 概述

一、一般说明

在钢结构制造中，成形加工主要包括弯曲、卷板（滚圆）、边缘加工，折边和模具压制五种加工方法。其中由于弯曲、卷板（滚圆）和模具压制等工序，都涉及到热加工和冷加工方面的知识，故在制作时必须对热加工与冷加工的基本知识有所了解，现作如下简要介绍：

二、热加工的基本知识

（1）热加工的概念：把钢材加热到一定温度后进行的加工方法，通称热加工。在热加工方面，现在常用的有两种加热方法，一种是利用乙炔火焰进行局部加热；这种方法简便，但是加热面积较小。另一种是放在工业炉内加热，它虽然没有前一种方法简便，但是加热面积很大，并且可以根据结构构件的大小来砌筑工业炉。

热加工是一个比较复杂的工种，它的工作内容是成形、弯曲和矫正等工序在常温下所不能达到的。弯曲和成形的结构构件，例如容器的球冠形封头，钢板的双向弯曲（纵横两个方法）等各种构件的成形和矫正等，均在热加工中完成的。

而容器封头的成形，是典型的热加工作，其球冠一般多用拉伸的办法形成；其周围的边缘一般多用收缩的办法成形。但用拉伸办法成形的球冠，会使球冠的中部拉薄，所以下料时，应选择比设计要求较厚的钢板，并在严格控制加热温度下制作。

（2）热加工又称热弯，火曲、煨活等，热加工的工作原理及有关知识略述如下：

①加热温度与钢材之间的关系：温度能够改变钢材的机械性能，能使钢材变硬，也能使它变软。为了掌握热加工操作技术，应该了解加热温度和加热速度与钢材强度之间的变化关系，熟悉辨别加热温度的方法，以及各种热加工方法对加热温度的要求等。

（A）高温中钢材强度的变化：钢材在常温中有较高的抗拉强度，但加热到 500°C 以上时，随着温度的增加，钢材的抗拉强度急剧下降（参见表 6-4-1），其塑性、延展

性大大增加，钢的机械性能逐渐降低而变软。

表 6-4-1 高温时钢材抗拉强度的变化

抗拉强度 σ_b (MPa)	加热温度							
	600	700	800	900	1000	1100	1200	1300
常温时 $\sigma_b = 400$ 的钢材	120	85	65	45	30	25	20	15
常温时 $\sigma_b = 600$ 的钢材	250	150	110	75	55	35	25	20

热加工是通过工业炉、地炉以及氧乙炔焰等把钢材加热，使钢材在减少强度，增加塑性的基础上，进行矫正或成形方面的加工。

B. 钢材加热温度的判断：钢材加热的温度可从加热时所呈现的颜色来判断（参见表 6-4-2）

表 6-4-2 钢材不同加热温度时呈现的颜色

颜色	温度 (°C)	颜色	温度 (°C)
黑色	470°C 以下	亮樱红色	800 ~ 830
暗褐色	520 ~ 580	亮红色	830 ~ 880
赤褐色	580 ~ 650	黄赤色	880 ~ 1050
暗樱红色	650 ~ 750	暗黄色	1050 ~ 1150
深樱红色	750 ~ 780	亮黄色	1150 ~ 1250
樱红色	780 ~ 800	黄白色	1250 ~ 1300

上表所列系在室内白天观察的颜色，在日光下颜色相对较暗，在黑暗中颜色相对较亮，严格要求采用热电偶温度计或比色高温计测量数据较为准确。

C. 热加工时所要求的加热温度范围：加热温度对于低碳钢一般都在 100°C ~ 1100°C。热加工终止温度不应低于 700°C，加热温度过高，加热时间过长，都会引起钢材内部组织的变化，破坏原材料材质的机械性能。加热温度在 200°C ~ 300°C 时，钢材产生蓝脆性。在这个温度范围内，严禁锤打和弯曲，否则，容易使钢材断裂。

②型钢在热加工过程中的变形规律：手工热弯型钢的变形与机械冷弯型钢的变形一样，都是通过外力的作用，使型钢沿中性层内侧发生压缩的塑性变形和沿中性层外侧发生拉伸的塑性变形，这样便产生了钢材的弯曲变形。对那些不对称的型材构件，加热后

在自由冷却过程中，由于截面不对称，使表面散热速度不同，散热快的部分先冷却，散热慢的部分在冷却收缩过程中受到先冷却钢材的阻力，收缩的数值也就不同。因此，将出现向表面积较大的一边弯曲的变形。其变形的数值靠经验来判断，制造胎模时，要适当增减胎模半径来抵消变形。

③钢板在热加工过程中的变形规律：在钢结构的构件中，那些具有复杂形状的弯板，完全用冷加工的方法很难加工成形，一般都是先冷加工出一定的形状，再采用热加工的方法弯曲成形。将一张只有单向曲度的弯板加工成双重曲度弯板，是使钢板的纤维重新排列的过程。如果板边的纤维收缩，便成为同向双曲线板；如果板的中间部分纤维收缩，就成为异向双曲板；如果使其一边纤维收缩，另一边纤维伸长，便成为“喇叭口”式的弯板。

三、冷加工的基本知识

（一）冷加工的概念

钢材在常温下进行加工制作，通称冷加工。在钢结构制造中冷加工的项目很多，有剪切、铲、刨、辊、压、冲、钻、撑、敲等工序；这些工序绝大多数是利用机械设备和专用工具进行的。其中敲是一种手工操作方法，它除了用于矫正钢材和构件形状外，还常用来代替机械设备的辊压和切断等加工。

所有冷加工，对钢材性质来说，只有两种基本情况。第一种是作用于钢材单位面积上的外力超过材料的屈服强度而小于其极限强度，不破坏材料的连续性，但使其产生永久变形；如加工中的辊、压、折、轧、矫正等。第二种是作用于钢材单位面积上的外力超过材料的极限强度，促进钢材产生断裂，如冷加工中的剪、冲、刨、铣、钻等，都是利用机械的作用力超过钢材的剪应力强度，使其部分钢材分离主体的。

凡是超过屈服点而产生变形的钢材，其内部都会发生冷硬现象，从而会改变钢材的机械性能，即硬度和脆性增加，而延伸率和塑性则相应地降低。局部变化所产生的冷硬现象，比钢材全部变形情况更为突出。在所有冷加工中都要使钢材中的应力超过屈服点，因此，经过冷加工钢材的机械性能一定会受到各种不同程度的影响，所以某些特殊产品，如锅炉汽包、高压容器等因冷加工后产生的不良影响，要使用热处理方法，使钢材的机械性能恢复正常状态。对于铁路桥梁和重型吊车梁等因剪切钢材边缘和冲孔等而引起冷硬的不良影响，在前者要将边缘刨去 2~4mm，在后者要将冲孔用铰刀扩孔以消除其表面冷硬部分。

（二）冷加工钢材的晶格变化

根据冷加工的要求使钢材产生弯曲和断裂的目的。从微观角度观察钢材产生永久变形是以其内部晶格的滑移形式进行的。当外力作用后，晶格沿着结合力最差的晶结部位滑移，使晶粒与晶面产生弯曲或歪曲，即得弯曲永久变形。如图 6-4-1 所示弯曲后的

晶粒与晶面继续受力，使滑移面继续滑移，在该面上的晶粒破碎成细小或分离的晶粒，以致产生断裂。

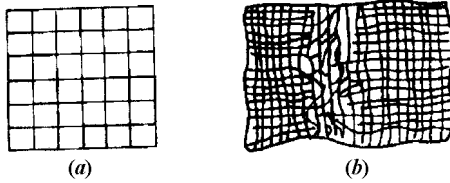


图 6-4-1 平面晶格变化示意图
(a) 受力前的晶格；(b) 受力后的晶格

(三) 冷加工应注意温度

低温中的钢材，其韧性和延伸性均相应减小，极限强度和脆性相应增加，若此时进行冷加工受力易使钢材产生裂纹。因此，应注意低温时不宜进行冷加工。对于普通碳素结构钢，当工作地点温度低于零下 20°C （即 -20°C ）时，或低合金结构钢工作温度低于 -15°C 时，都不得剪切和冲孔；当普通碳素结构钢工作地点温度低于 -16°C 时，低合金结构钢工作地点温度低于 -12°C 时，不得进行冷矫正和冷弯曲加工。

(四) 冷加工的优点

冷加工与热加工比较，冷加工具有较多的优越性。如：使用的设备简单，操作方便，节约材料和燃料；钢材的机械性能改变较小，减薄量甚少等。因此，冷加工容易满足设计和施工的要求，从而提高了工作效率。

第二节 弯 曲

一、概 述

(1) 弯曲加工是根据构件形状的需要，利用加工设备和一定的工、模具把板材或型钢弯制成一定形状的工艺方法。

(2) 在钢结构的制造过程中，弯曲成形的应用相当广泛，用弯曲方法加工的构件种类非常多，由于所用设备和工具的不同，弯曲的方法也就不同，各有特点。具体选用哪一种弯制方法，应根据构件的技术要求和已有的设备条件决定。下面就各种弯制方法和工艺等进行介绍。

二、弯曲分类和用途

(一) 按加工方法分为压弯、滚弯和拉弯

如图 6-4-2 所示。

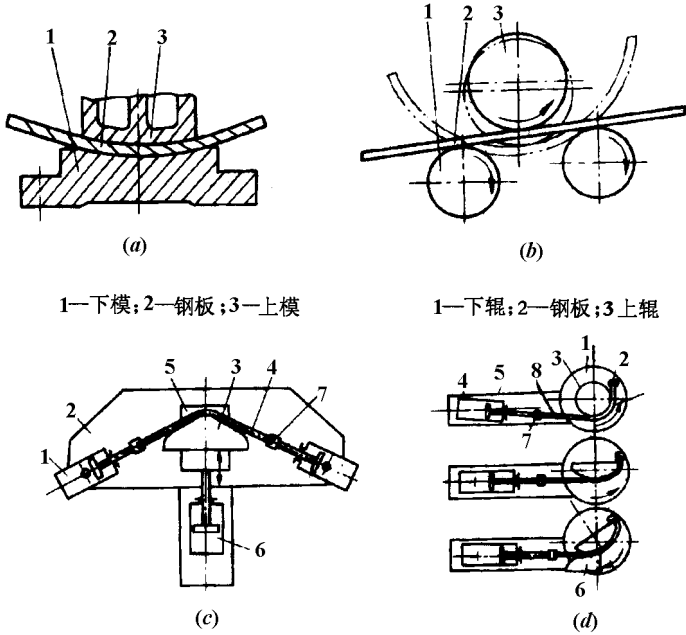


图 6-4-2 弯曲加工方法

(a) 压力机上压弯钢板；(b) 滚圆机上滚弯钢板；

(c) 转臂拉弯机拉弯钢板；(d) 转盘拉弯机，拉弯钢板

1—油缸；2—工作台；3—固定凹模 1—转盘；2—拉弯模；3—固定来头；

4—拉弯模；5—钢板；6—油缸；7—夹头 4—油缸；5—工作台；6—靠模；7—夹头；8—钢板

1. 压弯

如图 6-4-2a 为用压力机压弯钢板，它适用于一般直角弯曲（V 形件）、双直角弯曲（U 形件），以及其他适宜弯曲的构件。

2. 滚弯

如图 6-4-2b 为用滚圆机上滚弯钢板，它适用于滚制圆筒形构件及其他弧形构件。

3. 拉弯

如图 6-4-2c 和 6-4-2d 分别为用转臂拉弯机和转盘拉弯机拉弯钢板，它主要用于将长条板材拉制成不同曲率的弧形构件。

(二) 按加热程度分：冷弯、热弯

1. 冷弯

是在常温下进行弯制加工；它适用于一般薄板、型钢等的加工。

2. 热弯

是将钢材加热至 $950^{\circ}\text{C} \sim 1100^{\circ}\text{C}$ ，在模具上进行弯制加工；它适用于厚板及较复杂形状构件、型钢等的加工。

三、弯曲加工工艺性

(一) 最小弯曲半径

弯曲件的圆角半径不宜过大，也不宜过小；过大时因回弹影响，使构件精度不易保证，过小则容易产生裂纹。根据实践经验，钢板最小弯曲半径，在经退火和不经退火时较合理推荐数值如表 6-4-3 所示。

型钢最小弯曲半径推荐数值如表 6-4-4 所示。

圆钢最小弯曲半径推荐数值见表 6-4-5。

钢管最小弯曲半径推荐数值见表 6-4-6。

表 6-4-3

板材最小弯曲半径

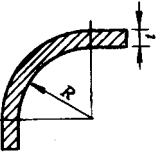
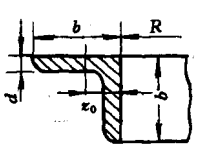
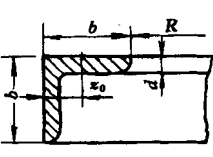
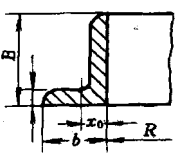
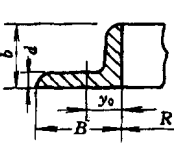
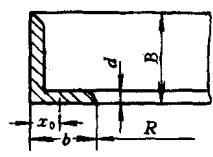
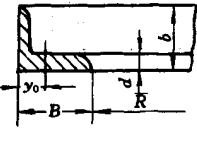
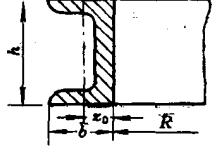
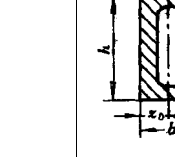
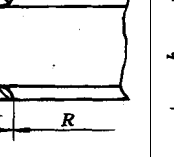
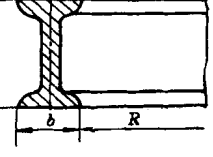
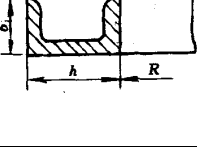
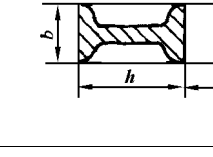
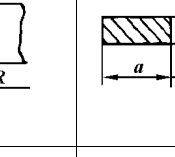
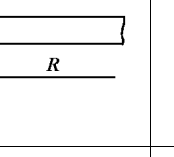
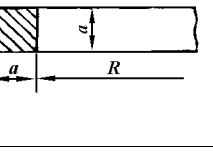
	板 材	弯曲半径 (R)	
		经退火	不经退火
	钢 Q235、15、30	0.5t	t
	钢 A5、35	0.8t	1.5t
	钢 45	t	1.7t
	铜	-	0.8t
	铝	0.2t	0.8t

表 6-4-4

型钢最小弯曲半径

				
$R_{\text{最小}} = \frac{b - z_0}{m} - z_0$	$R_{\text{最小}} = \frac{b - z_0}{m} - b + z_0$	$R_{\text{最小}} = \frac{b - x_0}{m} - x_0$	$R_{\text{最小}} = \frac{B - y_0}{m} - y_0$	$R_{\text{最小}} = \frac{b - x_0}{m} - b + x_0$
				
$R_{\text{最小}} = \frac{B - y_0}{m} - B + y_0$	$R_{\text{最小}} = \frac{b - z_0}{m} - z_0$	$R_{\text{最小}} = \frac{b - z_0}{m} - b + z_0$	$R_{\text{最小}} = \frac{b}{2m} - \frac{b}{2}$	
				
$R_{\text{最小}} = \frac{h}{2m} - \frac{h}{2}$	$R_{\text{最小}} = \frac{h}{2m} - \frac{h}{2}$	热弯: $R_{\text{最小}} = 3a$ 冷弯: $R_{\text{最小}} = 12a$	热弯: $R_{\text{最小}} = a$ 冷弯: $R_{\text{最小}} = 2.5a$	

注：热弯时取 $m = 0.14$ ；冷弯时取 $m = 0.04$ ； z_0 、 y_0 和 x_0 为重心距离

(二) 弯曲线和材料纤维方法的关系

当弯曲线和材料纤维方向垂直时，材料具有较大的抗拉强度，不易发生裂纹；当材料纤维方向和弯曲线平行时，材料的抗拉强度较差，容易发生裂纹，甚至断裂；在双向弯曲时，弯曲线应与材料纤维方向成一定的夹角。如图 6-4-3 所示。

(三) 材料厚度与弯曲角度

一般薄板材料弯曲半径可取较小数值，弯曲半径 $\geq t$ (t 为板厚)；厚板材料弯曲半径应取较大数值，弯曲半径 $= 2t$ (t 为板厚)。

弯曲角度是指弯曲件的两翼夹角，它和弯曲半径不同，也会影响构件材料的抗拉强度；随着弯曲角度的缩小，应考虑将弯曲半径适当增大。一般弯曲件长度自由公差极限偏差和角度的自由公差推荐数值见表 6-4-5 和表 6-4-6。

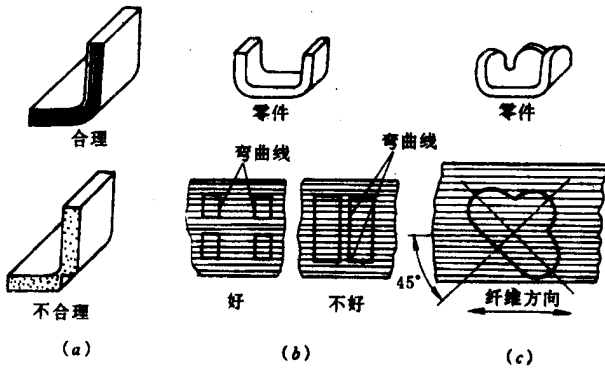


图 6-4-3 材料纤维方向与弯曲线关系

表 6-4-5 弯曲件未注公差(length dimensions)的极限偏差

长度尺寸 (mm)		3~6	>6~18	>18~50	>50~120	>120~260	>260~500
材料厚度 (mm)	<2	±0.3	±0.4	±0.6	±0.8	±1.0	±1.5
	>2~4	±0.4	±0.6	±0.8	±1.2	±1.5	±2.0
	>4	—	±0.8	±1.0	±1.5	±2.0	±2.5

表 6-4-6 弯曲件角度的自由公差

I (mm)		<6	>6~10	>10~18	>18~30	>30~50	>50~80	>80~120	>120~180	>180~260	>260~360
$\Delta\alpha$		±3°	±2°30'	±2°	±1°30'	±1°15'	±1°	±50'	±40'	±30'	±25'

(四) 材料的机械性能

材料塑性越好，其变形稳定性越强，则均匀延伸率越大，弯曲半径就可减小；反之，塑性差，弯曲半径则大，特殊脆性易裂的材料，弯曲前应进行退火处理或加热弯制。

四、弯曲变形的回弹

(1) 弯曲过程是在材料弹性变形后,再达到塑性变形的过程。在塑性变形时,外层受拉伸,内层受压缩,拉伸和压缩使材料内部产生应力,应力的产生,造成材料变形过程中存在一定的弹性变形,在失去外力作用时,材料就产生一定程度的回弹。

(2) 影响回弹大小的因素很多,必须在理论计算下结合实验,采取相应的措施,掌握回弹规律,减少或基本消除回弹,或使回弹后恰能达到设计要求,具体因素主要有:

① 材料的机械性能:屈服强度越高,其回弹就越大。

② 变形程度:弯曲半径(R)和材料厚度(t)之比, $\frac{R}{t}$ 的数值越大,回弹越大。

③ 变形区域:变形区域越大,回弹越大。

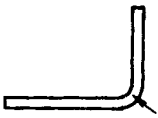
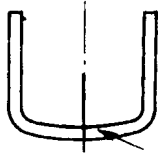
④ 摩擦情况:材料表面和模具表面之间摩擦,直接影响坯料各部分的应力状态,大多数情况下会增大弯曲变形区的拉应力,则回弹减小。

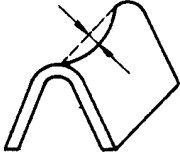
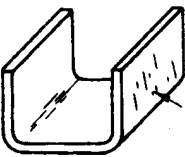
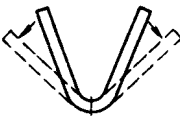

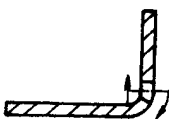
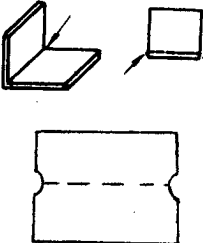
五、弯曲加工常见的质量缺陷

弯曲加工时,由于材料,模具以及工艺操作不合理,就会产生各种质量缺陷。常见的质量缺陷以及消除方法见表 6-4-7 所列。

表 6-4-7

弯曲加工常见质量缺陷

序号	名称	图 例	产生的原因	消除的方法
1	弯裂		上模弯曲半径过小,板材的塑性较低,下料时毛坯硬化层过大	适当增大上模圆角半径,采用经退火或塑性较好的材料
2	底部不平		压弯时板料与上模底部没有靠紧坯料	采用带有压料顶板的模具,对毛坯施加足够的压力

序号	名称	图 例	产生的原因	消除的方法
3	翘曲		<p>由变形区应变状态引起横向应变（沿弯曲线方向），在外侧为压应变，内侧为拉应变，使横向形成翘曲</p>	<p>采用校正弯曲方法，根据预定的弹性变形量，修正上下模</p>
4	擦伤		<p>坯料表面未擦刷清理干净，下模的圆角半径过小或间隙过小</p>	<p>适当增大下模圆角半径，采用合理间隙值，消除坯料表面脏物</p>
5	弹性变形		<p>由于模具设计或材质的关系等原因产生变形</p>	<p>以校正弯曲代替自由弯曲，以预定的弹性回复来修正上下模的角度</p>
6	偏移		<p>坯料受压时两边摩擦阻力不相等，而发生尺寸偏移；这以不对称形状工件的压变尤为显著</p>	<p>采用压料顶板的模具，坯料定位要准确，尽可能采用对称性弯曲</p>
7	孔的变形		<p>孔边距弯曲线太近，内侧受压缩变形，外侧受拉伸变形，导致孔的变化</p>	<p>保证从孔边到弯曲半径 R 中心的距离大于一定值</p>
8	端部鼓起		<p>弯曲时，纵向被压缩而缩短，宽度方向则伸长，使宽度方向边缘出现突起，这以厚板小角度弯曲尤为明显</p>	<p>在弯曲部位两端预先做成圆弧切口，将毛坯毛刺一边放在弯曲内侧</p>

六、弯曲设备

弯曲加工设备种类很多，在一般情况下能和模压设备通用。现介绍下列三种有关常用加工设备的技术参数，见表 6-4-8、表 6-4-9、表 6-4-10 所示。

表 6-4-8 液压弯管机的技术性能

型号	弯管直径×厚度 (mm)		弯曲半径 (mm)		弯曲角度	弯曲方向	电动机功率 (kW)
	最大	最小	最大	最小			
W27-60	60×3	25	300	75	180°	左或右	4
W27-108 (液压)	108×7	38	500	150	180°	左或右	7.5

- 注：1. 太原建筑安装工程公司的液压传动环状和热弯管机，能煨制 $\phi 138 \sim \phi 529$ ($R = 500 \sim 1300$) 的大直径管道；
2. 兰州化学工业公司建设公司的热堆弯头，由于使用牛角形扩径芯子，在煨弯同时扩大了原直径，能避免出现较大的椭圆度，是一种独特的工艺。

表 6-4-9 压力机床的技术性能

名称	型号	公称压力 (kN)	工作台尺寸 (mm)	滑块中心到机身距离 (mm)	滑块行程 (mm)	封闭高度 (mm)	电动机功率 (kW)
开式固定台压力机	JC21-160A	1600	1120×710	380	160	最大 450	13
双盘摩擦压力机	J53-100A	1000	450×500		310	最小 220	7.5

表 6-4-10 单柱万能液压机技术性能

型号	公称压力 (kN)	滑块行程 (mm)	滑块至工作台最大距离 (mm)	工作台尺寸 (mm)	最大工作压力 (N/mm^2)	最大工作速度 (mm/s)	喉口深度 (mm)	电动机功率 (kW)
Y30-2.5	25	125	200	320×200	6.3	38	105	2.2
Y30-4	40	160	250	320×240	10	38	130	3
Y30-6.3	63	200	320	360×380	16	38	170	4
Y30-6.3	63	250	400	360×360	16	20	200	2.2

七、弯曲操作注意事项

(1) 根据工件所需弯曲力, 选择好适当的压力设备。首先固定好上模, 使模具重心与压力头的中心在一条直线上, 再固定下模, 上下模平面必须吻合紧密配合, 间隙均匀, 并检查上模有足够行程。

(2) 开动压力机, 试压, 检查是否有异常情况, 润滑是否良好。难于从模中取出的工件, 可适当加些润滑剂或润滑油, 减小摩擦, 以便容易脱模。

(3) 正式弯曲前, 必须再次检查工件编号、尺寸是否与图纸符合, 料坯是否有影响压制质量的毛刺。对批量较大的工件, 须加装能调整定位的挡块, 发现偏差应及时调整挡块位置。

(4) 弯曲后, 必须对首次压出的件进行检查, 合格后, 再进行连续压制, 工作中应注意中间抽验。每一台班中也必须注意抽验。

(5) 禁止用手直接在模具上取放工件。对于较大工件, 可在模具外部取放; 对于小于模具的工件, 应借助其他器具取放; 安全第一, 防止出现人身事故。

(6) 多人共同操作时, 只能听从一人指挥。

(7) 模具用完后, 要妥善保存, 不能乱放乱扔, 还必须涂漆或涂油防止锈蚀。

第三节 卷板 (滚圆)

一、卷板的分类

(1) 卷圆是滚圆钢板的制作, 实际上就是在外力的作用下, 使钢板的外层纤维伸长, 内层纤维缩短而产生弯曲变形 (中层纤维不变)。当圆筒半径较大时, 可在常温状态下卷圆, 如半径较小和钢板较厚时, 应将钢板加热后卷圆。在常温状态下进行卷圆钢板的方法, 有: 机械滚圆、胎模压制和手工制作三种:

(2) 滚圆是在卷板机 (又叫滚板机、轧圆机) 上进行的, 它主要用于卷圆各种容器、大直径焊接管道、锅炉汽包和高炉等的壁板之用。由于卷板是在卷板机上进行连续三点滚弯的过程, 利用卷板机可将板料弯成单曲率或双曲率的制件, 其分类见表 6-4-11 所列。

(3) 根据卷制时, 板料温度的不同, 分冷卷、热卷与温卷。它是根据板料的厚度和设备条件来选定的。

二、卷板机的种类及其工作原理

(1) 卷板机按轴辊数目和位置可分为三辊卷板机和四辊卷板机两类。三辊卷板机又分为对称式与不对称式两种。

(2) 卷板机的工作原理如图 6-4-4 所示, 图 6-4-4a 为对称式三辊卷板机的轴辊断面图, 轴辊沿轴向具有一定的长度, 以使板料的整个宽度受到弯曲。在两个下辊的中间对称位置上有上辊 1, 上辊在垂直方向调节, 使置于上下轴辊间的板料, 得到不同的弯曲半径。下辊 2 是主动的, 安装在固定的轴承内, 由电动机通过齿轮减速器使其同方向同转速转动, 上辊是被动的, 安装在可作上下移动的轴承内。大型卷板机上辊的调节采用机械或液压进行; 小型卷板机中常为手动调节, 工作时板料置于上下辊间, 压下上辊, 使板料在支承点间发生弯曲, 当两下辊转动由于摩擦力作用使板料移动, 从而使整个板料发生均匀的弯曲。

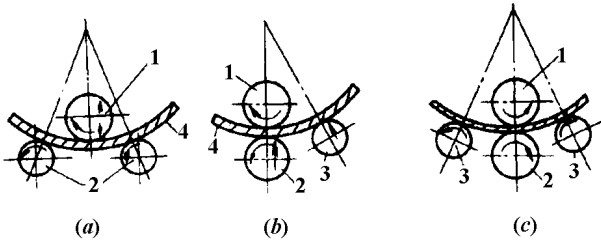


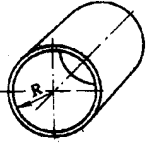
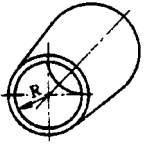
图 6-4-4 卷板机的工作原理

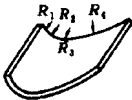
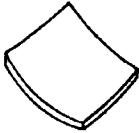
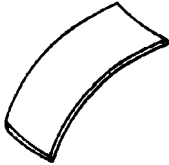
(a) 对称式三辊卷板机; (b) 不对称三辊卷板机; (c) 四辊卷板机

1—上辊; 2—下辊; 3—侧辊; 4—板料

表 6-4-11

卷板曲率的分类

分类	名称	简 图	说明
单 曲 率 卷 制	圆 柱 面		最简便常用
	圆 锥 面		较简便常用

分类	名称	简 图	说明
单 曲 率 卷 制	任 意 柱 面		用仿形或自动控制可以实现
双 曲 率 卷 制	球 面		当沿卷板机轴线方向的弯曲不大时可以实现
	双 曲 面		

根据上述弯曲原理可知，只有当板料与上辊接触到的部分，才会达到所需要的弯曲半径，因此板料的两端边缘各有一段长度没有接触上辊而不发生弯曲，称为剩余直边，剩余直边长度约为两下辊距离的一半。

图 6-4-4b 是不对称三辊卷板机的卷弯简图，上辊 1 是位于下辊 2 的上面，另一轴辊 3 在侧面，称为侧辊。上下两辊是由同一电动机旋转的。下辊能上下调节，调节的最大距离约等于卷弯钢板的最大厚度，侧辊 3 是被动的，能沿倾斜方向调节。弯曲时将板料 4 送入上下辊，然后调节下辊将板料压紧，产生一定的摩擦力，再调节侧辊的位置，当上下辊由电动机驱动旋转时，使板料发生弯曲。这种不对称三辊卷板机的优点是板的两端边缘也能弯曲。剩余直边的长度比对称式三辊卷板机缩小很多，其值不到板厚的两倍。虽然侧辊与下辊之间板料得不到弯曲，但只要将板料从卷板机上取出后，调头弯曲，就能完成整个弯曲过程。

图 6-4-4 为四辊卷板机，它与不对称三辊卷板机基本相似，只是增加一只侧轴辊 3，板料边缘弯曲由两个侧辊分别担任，这样就克服了板料在不对称三轴辊卷板机上进行调头弯曲的麻烦。

三、卷板机的型式和特点

(1) 卷板机的型式很多，其分类方法和型式如表 6-4-12 所列。

表 6-4-12

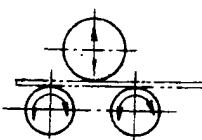
卷板机的分类

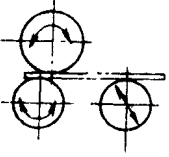
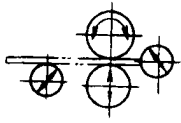
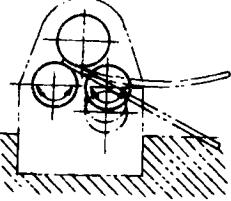
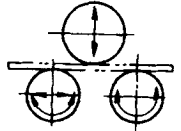
分类方法	卷板机型式与类别	
按辊筒方位	立式	
	卧式	
按上辊受力类型	闭式	(上辊有中部托辊)
	开式	(上辊无中部托辊)
按辊筒数目及布置形式	四辊	
	三辊	对称式
		不对称式
按辊筒位置调节方式	上调式	垂直上调式(机械或液压调节)
		横竖上调式(机械或液压调节)
	下调式	不对称下调式(机械或液压调节)
		对称下调式(液压调节)
		水平下调式(液压调节)

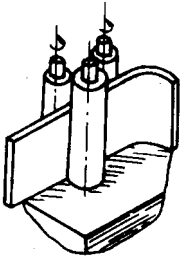
(2) 卷板机的特点和适用范围如表 6-4-13 所列。

表 6-4-13

各种卷板机的特点和应用

型式	简图	主要特点	适用范围与条件
对称三辊		<p>结构简单紧凑、重量轻、易于制造、维修，两侧辊可以作得很近。成形较准确，但剩余直边大。一般对称三辊卷板机减小剩余直边比较麻烦</p>	<p>配预弯设备或不要求弯边的各种卷板工作，用一般对称式；要求弯边的工作可用带弯边垫板的对称式</p>

型式	简图	主要特点	适用范围与条件
不对称三辊		<p>剩余直边小、结构较简单，但板料需调头弯边，操作不方便，辊筒受力较大，弯卷能力较小</p>	<p>卷制薄而短的轻型筒节（一般在32×3000毫米以下）</p>
四辊		<p>板料对中方便，工艺通用性广，可以矫正扭斜、错边等缺陷，可以即位装配点焊；但辊筒多，重量和体积大，结构复杂；上下辊夹持力使工件受氧化皮压伤严重；两侧辊相距较远，对称卷圆曲率不大准确，操作技术不易掌握。容易造成超负荷率操作</p>	<p>重型工件的卷制以及要求自动化水平和技术水平较高的场合，如自控或仿形卷板等</p>
垂直下调式		<p>结构较简单、紧凑、剩余直边小。有时设计成上辊可轴向抽出，装卸料很方便，但弯板时，板料有倾斜动作，对热卷及重型工件不安全，长坯料必须先经初弯，否则会碰地</p>	<p>冷卷中型或轻型工件</p>
水平下调式		<p>较四辊机的结构紧凑、操作简便，剩余直边小，坯料始终维持在同一水平上，进料安全、方便，上辊轴承间距较大，重量较大，坯料对中不如四辊方便</p>	<p>特重型卷板工作，为较理想的机型</p>
横竖上调式		<p>调节辊筒的数目最小，具有各种三辊机的优点，而且剩余直边小，但设计时结构不易处理</p>	<p>中型与重型卷板工作</p>

型式	简图	主要特点	适用范围与条件
立式		<p>消除了氧化皮压伤；矩形板料可保证垂直进入辊筒，防止了扭斜；卷薄壁大直径，长条料等刚性较差的工件时，没有因自重而下塌的现象；样板形状较准；占地面积小。但短工件只能在辊筒下部卷制；辊筒受力不均，易呈锥形；工件下端面与支承面摩擦影响上下曲率的均匀性，卸料及工件放平很不方便，非矩形坯料支持不稳定</p>	<p>表面精度要求高的工件或大直径薄筒、窄而长的板料等有自重下塌的工件的卷制</p>

(3) 立式卷板机的辊筒成垂直布置。其优点是：占地面积小；在热态卷弯曲时，氧化皮不会被卷入辊筒与钢板间；从而可避免压痕；卷制大直径薄壁圆筒时，还可避免钢板因自重而下塌变形。立式卷板机的主要缺点是：钢板在卷制过程中会与地面产生摩擦，因此对于大直径薄壁圆筒就会造成上下两端的曲率不均匀，致使圆度不同；另外，圆筒卷成后，需吊起较高的高度才能卸出，为此要求厂房有较大的高度。

对称式三辊卷板机的剩余直边较长，为克服这个不足，现已研制了可以直接进行预弯工作的三辊卷板机。如图 6-4-5 为横竖上调式三辊卷板机的工作过程；卷板时先将上辊调至左端，卷弯板料的左面部分并滚弯，然后把上辊调至右端，卷弯板料的右面部分并滚弯，最后将上辊移至中间位置进行滚弯。这样卷板的工作效率较高，但结构较复杂。

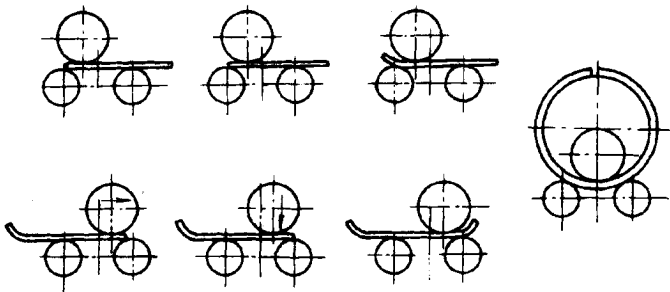


图 6-4-5 能预弯的三辊卷板机

四、卷板机的性能

常用的卷板机按辊数与位置形式分为两类，其技术性能列表如下：

- (1) 三辊卷板机型号见表 6-4-14。
- (2) 四辊卷板机型号见表 6-4-15。

表 6-4-14

三辊卷板机性能表

产品名称	型 号	卷板是大尺寸 (厚度×宽度) (mm)	卷板速度 (m/min)	满载弯卷 (最小直径) (mm)	主电机功率 (kW)	总重量 (t)
三辊卷板机	W ₁₁ -2×1600B	2×1600	11.147	150	3	1.5
	W ₁₁ -6×1500B	6×1500	6.5	450	7.5	2.8
	W ₁₁ -6×2000B	6×2000	6.5	450	7.5	3
	W ₁₁ -8×2500B	8×2500	5.5	600	11	5.5
	W ₁₁ -12×2000B	12×2000	5.5	600	11	6
	W ₁₁ -12×3000A	12×3000	5.5	750	22	9
	W ₁₁ -16×2500A	16×2500	5.5	750	22	8.5
	W ₁₁ -20×2000A	20×2000	5.5	750	22	8.2
	W ₁₁ -20×2500B	20×2500	5	850	30	15.2
	W ₁₁ -25×2000B	25×2000	5	850	30	14.5
	W ₁₁ -30×3000A	30×3000	5	1200	40	32
	W ₁₁ -30×3200A	30×3200	5	1200	40	33
	W ₁₁ -40×3000	40×3000	4	1600	55	63
	W ₁₁ -50×3000	50×3000	4	2000	63	80
W ₁₁ -60×3000	60×3000	4	2400	75	120	

表 6-4-15

四辊卷板机性能表

产品名称	型 号	卷板是大尺寸 (厚度×宽度) (mm)	卷板速度 (m/min)	满载弯卷 (最小直径) (mm)	主电机功率 (kW)	总重量 (t)
四辊卷板机	W ₁₂ -20×2500A	20×2500	5.5	1000	30	38
	W ₁₂ -25×2000A	25×2000	5.5	1000	30	32
	W ₁₂ -35×2000A	35×2000	5	1400	45	50
	W ₁₂ -40×3000A	40×3000	5	1600	60	110
	W ₁₂ -50×3000A	50×3000	4	2000	60	150

五、卷板工艺

(1) 卷板前须熟悉图纸、工艺、精度、材料性能等技术要求，然后选择适当的卷板机，并确定冷卷、温卷还是热卷。

(2) 检查板料的外形尺寸、坡口加工、剩余直边和卡样板的正确与否。

(3) 检查卷板机的运转是否正常，并向注油孔口注油。

(4) 清理工作场地，排除不安全因素。

(5) 卷板前必须对板料进行预弯（压头），由于板料在卷板机上弯曲时，两端边缘总有剩余直边。理论的剩余直边数值与卷板机的型式有关，如表 6-4-16 所列。

表 6-4-16 理论剩余直边的大小

设备类别		卷板机			压力机
弯曲方式		对称弯曲	不对称弯曲		模具压弯
			三 辊	四 辊	
剩余直边	冷弯时	L	1.5 ~ 2t	1 ~ 2t	1.0t
	热弯时	L	1.0 ~ 1.5t	0.75 ~ 1t	0.5t

表中 L 为侧辊中心距之半，t 为板料厚底。实际上剩余直边要比理论值大；一般对称弯曲时为 $6 \sim 20t$ ；不对称弯曲时为对称弯曲时的 $\frac{1}{6} \sim \frac{1}{10}$ 。由于剩余直边在矫圆时难以完全消除，并造成较大的焊缝应力和设备负荷，容易产生质量事故和设备事故，所以一般应对板料进行预弯，使剩余直边弯曲到所需的曲率半径后再卷弯。预弯可在三辊卷板机、四辊卷板机或预弯水压机上进行。现将预弯的方法略述如下：

① 利用三辊卷板机预弯：如图 6-4-6 所示

当预弯板的厚度不超过 24mm 的情况下，可用预先弯好的一块钢板作为弯模，其厚度 t_0 应大于板厚的两倍，长度也应比板略长，将弯模放入轴辊中，板料置于弯模上如图 6-4-6a 所示，压下上辊使弯模来回滚动，直至板料边缘达到所需要弯曲半径为止。

在弯模上加一块楔形垫板的方法如图 6-4-6b 所示也能进行预弯，压下上辊即可使板边弯曲，然后随同弯模一起滚弯。

在无弯模的情况下，可以取一平板，其厚度 t_0 应大于板厚的两倍，在平板上放置一楔形垫块如图 6-4-6c 所示，板边置于垫板上，压下上辊筒，使边缘弯曲。

对于较薄的板可直接在卷板机上用垫板弯曲，如图 6-4-6d 所示。

采用弯模预弯时，必须控制弯曲功率不超过设备能力的 60%，操作时，严格控制上轴辊的压下量，以防过载损坏设备。

② 利用四辊卷板机上预弯时，将板料的边缘置于上、下辊间并压紧如图 6-4-7

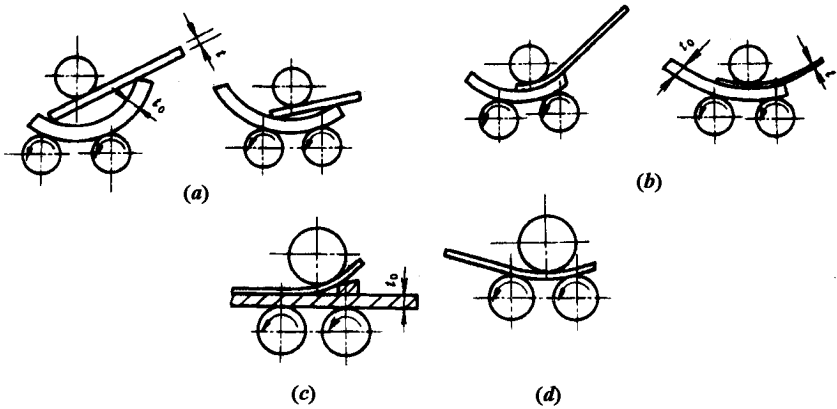


图 6-4-6 用三辊卷板机预弯示意图
(a) (b) (c) 适于 $t_0 \geq 2t$ 、 $t \geq 24\text{mm}$; (d) 适于薄钢板

所示，然后调节侧辊使板料边缘弯曲。

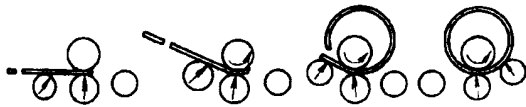


图 6-4-7 在四辊筒卷板机预弯和卷圆

③在水压机上用模具预弯的方法，适用于各种板厚，如图 6-4-8 所示。通常模具的长度都比板料短，因此，预弯必须逐段进行。

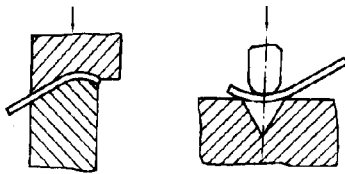


图 6-4-8 用模具预弯

(7) 板料进行对中，为防止产生歪扭，将预弯的板料置于卷板机上滚弯时，应把板料对中，使板料的纵向中心线与轴辊线保持严格的平行，对中的方法如图 6-4-9 所示的四种。在四辊卷板机上对中时，调节侧辊，使板边紧靠侧辊对准如图 6-4-9a 所示，在三辊卷板机上利用挡板，使板边靠挡板也能对中，如图 6-4-9b 所示。也可将板料抬起，使板边靠紧侧辊，然后再放平如图 6-4-9c。把板料对准侧辊的直槽如图 6-4-9d 也能进行对中，此外，也可以从轴辊中间位置用视线来观察上辊的外形与板边是否平行来对中。上辊与侧辊是否平行也可用视线来检验并加以调整。

(8) 圆柱面的卷弯：卷制时根据板料温度的不同分为冷卷、热卷与温卷，现把这三

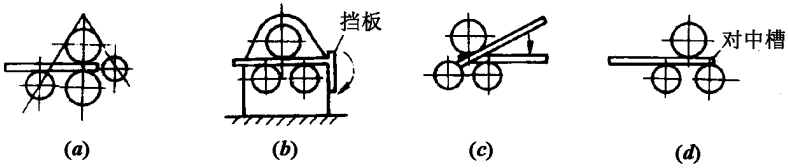


图 6-4-9 对中的方法

种情况略述如下：

①冷卷。板料位置对中后，严格采用快速进给法和多次进给法滚弯，调节上辊（在三辊卷板机上）或侧辊（在四辊卷板机上）的位置，使板料发生初步的弯曲，然后来回滚动而弯曲。当板料移至边缘时，根据板料和所划的线来检验板料的位置正确与否。逐步压下上辊并来回滚动，使板料的曲率半径逐渐减小，直至达到规定的要求。冷卷时，由于钢板的回弹，卷圆时必须施加一定的过卷量，在达到所需的过卷量后，还应来回多卷几次。对于高强度钢板，由于回弹较大，最好在最终卷弯前进行退火处理。卷弯过程中，应不断用样板检验弯板两端的半径。卷弯瓦片片时，应在卸载后测量其曲率。

如果已知对称式三辊卷板机的轴辊半径和相对位置，弯制板料的曲率半径是由上下辊的中心距离确定的。因此，为了得到正确的圆筒直径或曲率半径，在卷圆前首先要计算上下辊的中心距离，并在卷圆过程中逐渐调整。设 R 为所需钢板的曲率半径， h 为上下辊的距离如图 6-4-10 所示，只要知道这两个中的一个数值，则可用下式求出另一个数值：

$$R = \frac{(r_2 + t)^2 - (h - r_1)^2 - a^2}{2[h - (r_1 + r_2 + t)]}$$

$$h = \sqrt{(R + t + r_2)^2 - a^2} - (R - r_1)$$

式中 R ——卷圆板料的弯曲半径；

h ——上辊，侧辊的中心距离，高度距离；

t ——板料的厚度；

r_1 ——上辊半径；

r_2 ——侧辊半径；

a ——两侧辊中心距离之半。

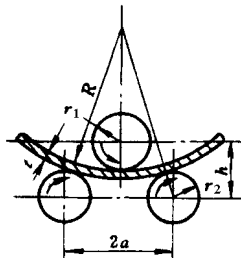


图 6-4-10 三辊卷板机弯曲钢板时曲率半径计算简图

四辊卷板机与三辊卷板机一样，为了获得正确的圆筒半径和曲率半径，在卷圆之前和卷圆过程中要经常调整各轴辊之间的距离。设 R 为所需的板料弯曲半径， h 为侧辊与下辊之间的中心距离如图 6-4-11 所示，已知这两个中的一个数值，则可用下式计算另一个数值。

$$R = \frac{r_2^2 - (r_1 - h)^2 - a^2}{2(r_1 - r_2 - h)}$$

$$h = r_1 - R' - \sqrt{(r_2 + R')^2 - a^2}$$

- 式中 R ——所需板料的弯曲半径；
 h ——下辊与侧辊的中心距离（高度距离）；
 $R' = R + t$ ， t 为板料厚度；
 a ——侧辊中心距离之半；
 r_1 ——下辊半径；
 r_2 ——侧辊半径。

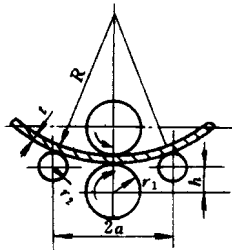


图 6-4-11 四辊卷板机弯曲钢板时曲率半径计算简图

由于钢板的回弹，上述算式中求得 h 、 R 值，可供初滚时参考。

在卷板机上所能卷弯的最小圆筒直径取决于上辊的直径，考虑到圆筒卷弯后的回弹，能卷弯的最小圆筒直径约为上辊直径的 1.1~1.2 倍。

②热卷。由于卷弯过程是板料弯曲塑性变形的过程，冷弯时变形越大，材料所产生的冷加工硬化也越严重，在钢板内产生的应力也越大，这会严重影响制造质量，甚至会产生裂纹而导致报废。所以冷卷时必须控制变形量。一般认为，当碳素钢板的厚度 t 大于或等于内径 D 的四十分之一时 ($t \geq \frac{1}{40}D$)，应该进行热卷。热卷前，通常必须将钢板在室内加热炉均匀加热；加热温度是一般的终锻（终卷）温度，从始锻温度到终锻温度的范围称为锻造温度。锻造（热加工）温度范围视钢材成分而定。常用材料的热加工温度范围，见表 6-4-17 所列：

表 6-4-17

常用材料热加工温度范围

材 料 牌 号	热 加 工 温 度 (°C)	
	加 热	终 止 (不 低 于)
Q235、15、15g、20、20g、22g	900 ~ 1050	700
16Mn、16MnR、15MnV、15MnVR	950 ~ 1050	750
15MnTi、14MnMoV	950 ~ 1050	750
18MnMoNb、15MnVN	950 ~ 1050	750
15MnVNRe	950 ~ 1050	750
Cr5Mo、12CrMo、15CrMo	900 ~ 1000	750
14MnMoVRe	1050 ~ 1100	850
12MnCrNiMoVCu	1050 ~ 1100	850
14MnMoNbB	1000 ~ 1100	750
0Cr13、1Cr13	1000 ~ 1100	850
1Cr18Ni9Ti、12Cr1MoV	950 ~ 1100	850
黄铜 H62、H68	660 ~ 700	460
铝及其合金 L2、LF2、LF21	350 ~ 450	250
钛	420 ~ 560	350
钛合金	600 ~ 840	500

热卷时，由于钢板表面的氧化皮剥落，氧化皮在钢板与轴辊之间滚轧，使筒身内壁形成凹坑和斑点，影响质量。所以，在卷弯过程中和卷弯后，必须清除氧化皮。然后再进行第二次的加热和卷弯。

热卷时必须考虑 5% ~ 6% 的板料减薄量和一定的延伸率，以便严格控制板料厚度的选择和筒身圆周长度的精确性。

③ 温卷。为了避免冷、热卷板时存在的困难，取冷、热卷板中的优点，提出了温卷的新工艺。温卷是将钢板加热至 500°C ~ 600°C 使板料比冷卷时有更好的塑性，同时减少卷板超载的可能，又可减少卷板时氧化皮的危害，操作也比热卷方便。

由于温卷的加热温度通常在金属的再结晶温度以下，因此实质上仍属于冷加工范围。

(9) 矫圆：圆筒卷弯焊接后会变形，所以，必须进行矫圆。矫圆分加载、滚圆、卸载三个步骤，使工件在逐渐减少矫正荷载下进行多次滚卷。

(10) 螺旋卷管：各种筒形结构壁板卷圆后的对接不能连续生产，效率较低，且其纵向焊缝对比母材强度有所降低。如采用螺旋卷管因斜接可与母材等强度计算，又可连续生产，效率较高，这种工艺已逐步得到推广。螺旋卷管的加工工艺过程如图 6-4-

12 所示。加工时将卷板机斜放，其角度根据板料宽度和成型产品的直径进行调整。

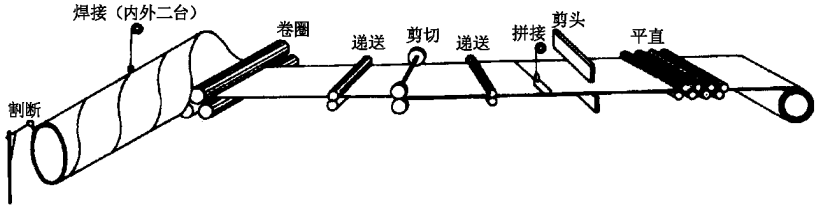


图 6-4-12 螺旋卷管加工工艺示意

六、卷板的常见缺陷和质量标准

(一) 外形缺陷

卷弯圆柱形筒身时，常见的外形缺陷有过弯、锥形、鼓形、束腰，边缘歪斜和棱角等缺陷，如图 6-4-13 所示。其原因为：

- (1) 过弯：轴辊调节过量（图 6-4-13a）；
- (2) 锥形：上下辊的中心线不平行（图 6-4-13b）；
- (3) 鼓形：轴辊发生弯曲变形（图 6-4-13c）；
- (4) 束腰：上下辊压力和顶力太大（图 6-4-13d）；
- (5) 歪斜：板料没有对中（图 6-4-13e）；
- (6) 棱角：预弯过大或过小（图 6-4-13f）。

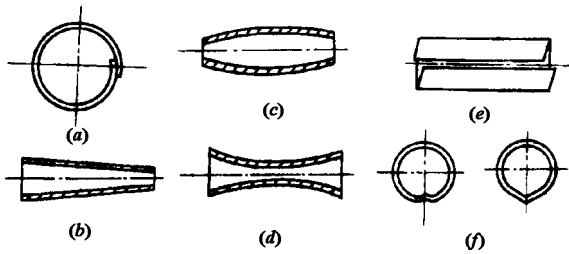


图 6-4-13 几种常见的外形缺陷

(a) 过弯；(b) 锥形；(c) 鼓形；(d) 束腰；(e) 歪斜；(f) 棱角

矫正棱角的方法可采用三辊或四辊卷板机进行，如图 6-4-14 所示。

(二) 表面压伤

卷板时，钢板或轴辊表面的氧化皮及粘附的杂质，会造成板料表面的压伤。尤其在热卷或热矫时，氧化皮与杂质对板料的压伤更为严重。为了防止卷板表面的压伤，应注

意以下几个点：

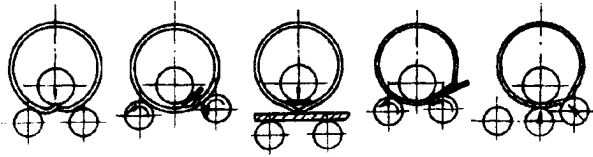


图 6-4-14 矫正棱角的方法

- (1) 在冷卷前必须清除板料表面的氧化皮，并涂上保护涂料。
- (2) 热卷时宜采用中性火焰，缩短高温下板料的停留的时间，并采用防氧涂料等办法，尽量减少氧化皮的产生。
- (3) 卷板设备必须保持干净，轴辊表面不得有锈皮、毛刺、棱角或其他硬性颗粒。
- (4) 卷板时应不断吹扫内外侧剥落的氧化皮，矫圆时应尽量减少反转次数等。
- (5) 非铁金属、不锈钢和精密板料卷制时，最好固定专用设备，并将轴辊磨光，消除棱角和毛刺等，必要时用厚纸板或专用涂料保护工作表面。

(三) 卷裂

板料在卷弯时，由于变形太大、材料的冷作硬化，以及应力集中等因素会使材料的塑性降低而造成裂纹。所以，为了防止卷裂，必须注意以下几点：

- (1) 对变形率大和脆性的板料，需进行正火处理。
- (2) 对缺口敏感性大的钢种，最好将板料预热到 $150^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ 后卷制。
- (3) 板料的纤维方向，不宜与弯曲线垂直。
- (4) 对板料的拼接缝必须修磨至光滑平整。

(四) 质量标准

质量检验应着重于对上面所提及的各种缺陷进行逐一验收，具体标准可根据设计制造和使用等要求而制定。

对圆筒和圆锥筒体经卷圆后，为了保证产品质量，应用样板进行检查。检查时允许误差见表 6-4-18 所示。

表 6-4-18

圆筒和圆锥筒体的允许偏差

钢板厚度 (mm)	钢 板 宽 度 (mm)			
	≤ 500	500 ~ 1000	1000 ~ 1500	1500 ~ 2000
	容 许 偏 差 a (mm)			
≤ 8	3.0	4.0	5.0	5.0
9 ~ 12	2.0	3.0	4.0	4.0

钢板厚度 (mm)	钢 板 宽 度 (mm)			
	≤500	500~1000	1000~1500	1500~2000
容 许 偏 差 a (mm)				
13~20	2.0	2.0	3.0	3.0
21~30	2.0	2.0	2.0	2.0

注：钢板纵向直形凹凸不超过 3mm。

钢板环形方向局部不圆的允许偏差 a 如图 6-4-15 所示。

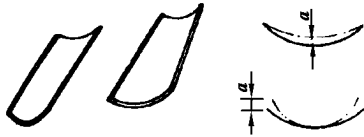


图 6-4-15 圆筒和圆锥筒体局部不圆的允许误差 a 示意

加工弯曲成型的构件，其尺寸的允许偏差见表 6-4-19 所示。

表 6-4-19 弯曲成型零件尺寸的允许偏差

零件弦长 (mm)	样板弦长 (mm)	不接触间隙 (mm)
≤1500	零件弦长	≤2.0
>1500	≥1500	≤2.0

七、操作时注意事项

使用卷板机和压力机操作时，应注意下列事项：

(1) 卷板前，应对设备加注润滑油，开空车检查其传动部分的运转是否正常，并根据需要调整好轴辊之间的距离。

(2) 加工的钢板厚度不能超过机械设备的允许最大厚度。

(3) 卷圆时，如带手套者，手不要靠近轴辊，以免将手卷入轴辊内。

(4) 卷圆直径很大的圆筒时，必须有吊车配合，以防止钢板因自重而使已卷过的圆弧部分回直或被压扁。

(5) 弧形钢板轧至末端时，操作人员应站在两边，不应站在正面，以防钢板下滑发

生事故。

(6) 在卷圆过程中, 应使用内圆样板检查钢板的弯曲度。

(7) 直径大的圆筒体, 轧圆时在接缝处应搭接 100mm 左右, 并用夹具夹好后, 再从卷板机上取下, 以减少圆筒体的变形。

(8) 如室内温度低于 -20°C 时, 应停止辊轧或压制工作, 以免钢板因冷脆而产生开裂。

第四节 边缘加工

一、概述

(1) 在钢结构制造中, 经过剪切或气割过的钢板边缘, 其内部结构会硬化和变态。所以, 如桥梁或重型吊车梁的重型构件, 须将下料后的边缘刨去 2~4mm, 以保证质量。此外, 为了保证焊缝质量和工艺性焊透以及装配的准确性, 前者要将钢板边缘刨成或铲成坡口, 后者要将边缘刨直或铣平。

(2) 一般需要作边缘加工的部位:

① 吊车梁翼缘板、支座支承面等具有工艺性要求的加工面。

② 设计图纸中有技术要求的焊接坡口。

③ 尺寸精度要求严格的加劲板、隔板、腹板及有孔眼的节点板等。

(3) 常用的边缘加工主要方法有: 铲边、刨边、铣边和碳弧气刨边四种。

二、铲边

(1) 对加工质量要求不高, 并且工作量不大的边缘加工, 可以采用铲边。铲边有手工和机械铲边两种。手工铲边的工具有手锤和手铲等。机械铲边的工具有风动铲锤和铲头等。

(2) 风动铲锤是用压缩空气作动力的一种风动工具。风动铲锤和铲头的结构如图 6-4-16 所示, 它是由进气管扳机(开关)、推杆、阀柜和锤体等主要部分组成。使用时, 将输送压缩空气的橡皮管接在进口管 4 上; 接前将风管向空中吹一下, 以防砂粒等杂物进入风锤内磨损机件, 然后按动扳机 2, 即可进行铲削。

(3) 一般手工铲边和机械铲边的构件, 其铲线尺寸与施工图纸尺寸要求不得相差 1mm。铲边后的棱角垂直误差不得超过弦长的 $1/3000$, 且不得大于 2mm。

(4) 风动铲锤的技术性能, 见表 6-4-20 所列。

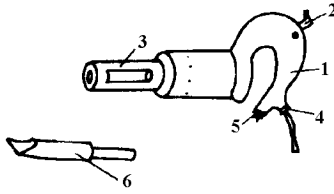


图 6-4-16 铲边风锤及铲头示意

1—手把；2—扳机（开关）；3—推杆；4—风带接头；5—排污孔；6—铲头

表 6-4-20 风动铲锤的规格性能

产品型号	全长 (mm)	缸体直径 (mm)	锤 体			风管内径 (mm)	使用空气压力 (N/mm ²)	冲击次数 次/min	冲击动 (J)	耗气量 (m ³ /min)	重量 (kg)
			直径 (mm)	行程 (mm)	重量 (mm)						
04-5	300	φ28	φ28	61	0.27	φ13	0.5	2400	11	0.5~0.6	5
04-6	377	φ28	φ28	99	0.40	φ13	0.5	1500	16	0.5~0.6	5.6
04-7	447	φ28	φ28	199	0.54	φ13	0.5	1000	25	0.5~0.6	6.5

(5) 铲边注意事项：

- ①空气压缩机开动前，应放出贮风罐内的油、水等混合物。
- ②铲前应检查空气压缩机设备上的螺栓、阀门完整情况，风管是否破裂漏风等。
- ③铲边的对面不许有人和障碍物。高空铲边时，操作者应带好安全带，身体重心不要全部倾向铲力，以防失去平衡，发生坠落事故。
- ④铲边时，为使铲头不致退火起见，铲头要注机油或冷却液。
- ⑤铲边结束应卸掉铲锤妥善保管，冬季工作后铲锤风带应盘好放于室内，以防带内存水冻结。

三、刨边

(1) 刨边主要是用刨边机进行。刨边的构件加工有直边和斜边两种，刨边加工的余量随钢材的厚度，钢板的切割方法而不同，一般刨边加工余量为 2~4mm。

(2) 刨边机的结构如图 6-4-17 所示，它是由主柱、液压压紧装置、横梁、刀架、走刀箱等主要部分组成。其操作方法是将切削的板材固定在作业架台上，然后用安装在可以左右移动的刀架上的刨刀来切削板材的边缘。刀架上可以同时固定两把刨刀，以同方向进刀切削，或一把刨刀在前进时切削，另一把刨刀则在反方向行程时切削。

(3) 较常用的刨边机 B81120A 型的技术性能如表 6-4-21 所列：

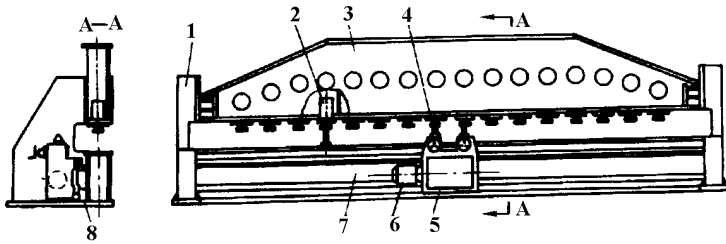


图 6-4-17 刨边机的结构示意图

1—立柱；2—液压压紧装置；3—横梁；4—刀架；5—走刀箱；6—电动机；7—底身；8—导轨

表 6-4-21

刨边机的技术性能

型号	最大刨削尺寸 长×厚 (mm)	最大牵引力 (kW)	刨削行程速度 (m/min)	刀架		电机功率(kW)		外形尺寸 (长×宽×高) (mm)	重量 (kg)
				数量	回转角(°)	主电机	总容量		
81120A	12000×80	60	10.20	2	±25	17	23.18	16582×4095×3075	35000

(4) 刨边机的刨削长度一般为 3~15m。当构件长度大于刨削长度时，可用移动构件的方法进行刨边；构件较小时，则可采用多构件同时刨边。对于侧弯曲较大的条形构件，先要校直。气割加工的构件边缘必须把残渣除净，以便减少切削量和提高刀具寿命。对于条形构件刨边加工后，松开夹紧装置可能会出现弯曲变形，需在以后的拼接或组装中利用夹具进行处理。

(5) 刨边所需要预加工的工艺余量，可参照表 6-4-22 所列数值，并结合具体情况处理。

表 6-4-22

刨边加工的余量

钢板性质	边缘加工形式	钢板厚度 (mm)	最小余量 (mm)
低碳钢	剪切机剪切	≤16	2
低碳钢	气割	>16	3
各种钢材	气割	各种厚度	4
优质低合金钢	气割	各种厚度	>3

(6) 一般刨削的进刀量和走刀速度见表 6-4-23 所列

表 6-4-23 刨削时的进刀量和走刀速度

钢板厚度 (mm)	进刀量 (mm)	切削速度 (m/min)
1~2	2.5	15~25
3~12	2.0	15~25
13~18	1.5	10~15
19~30	1.2	10~15

(7) 边缘加工的质量标准见表 6-4-24 所列。

表 6-4-24 边缘加工的质量标准 (允许偏差)

加工方法	宽度, 长度	直线度	坡 度	对角差 (四边加工)
刨边	$\pm 1.0\text{mm}$	$L/3000$, 且不得大于 2.0mm	$\pm 2.5^\circ$	2mm
铣边	$\pm 1.0\text{mm}$	0.30mm		1mm

四、铣边 (端面加工)

(1) 对于有些构件的端部, 可采用铣边 (端面加工) 的方法以代替刨边。铣边是为了保持构件的精度, 如吊车梁、桥梁等接头部分, 钢柱或塔架等的金属抵承部位, 能使其力由承压面直接传至底板支座, 以减少连接焊缝的焊脚尺寸, 这种铣削加工, 一般是在端面铣床或铣边机上进行的。

(2) 端面铣床是一种横式铣床, 其外形如图 6-4-18 所示, 加工时用盘形铣刀, 在高速旋转时, 可以上下左右移动对构件进行铣削加工; 对于大面积的部位也能高效率地进行铣削。

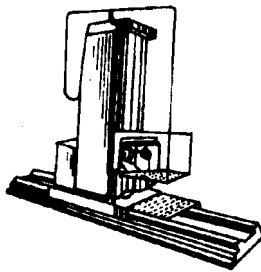


图 6-4-18 端面铣床

(3) 端面铣床常见的四种型号, 其技术性能见表 6-4-25。

(4) 端面铣削亦可在铣边机上进行加工, 铣边机的结构与刨边机相似, 但加工时用

盘形铣刀代替刨边机走刀箱上的刀架和刨刀，其生产效率较高。

表 6-4-25 端面铣床的技术性能

产品名称	型号	工作台面积 宽×长 (mm)	行程 (mm)			主轴转速 (r/min)		工作台进给量 (mm/min)		推荐最大 刀盘直径 (mm)	电机功率 (kW)	
			纵向	横向	垂直向	级数	范围	级数	范围		主电机	总容量
										级数		
端面铣床	XE755	500×2000	1400	500	600	18	25~1250	无级	14~1250	250	11	14.55
双端面铣床	X364	400×1000	1300	100		6	160~500	18	32~1600	260	5.5	8.9
双端面铣床	X368	800×1600	2000	125		6	40~125	无级	20~1000	547	30	37~495
移动端面铣床	X3810A	3000×1000	3000	200	1000	12	50~630	18	23.8~1180	350	13	16.55

五、碳弧气刨

(1) 碳弧气刨原理。碳弧气刨就是把碳棒作为电极，与被刨削的金属间产生电弧，此电弧具有 6000℃ 左右高温，足以把金属加热到溶化状态，然后用压缩空气的气流把溶化的金属吹掉，达到刨削或切削金属的目的，如图 6-4-19 所示，图中碳棒 1 为电极，刨钳 2 夹住碳棒。通电时，刨钳接正极，构件 4 接负极，在碳棒与构件 4 接近处产生电弧并熔化金属，高压空气的气流 3 随即把熔化金属吹走，完成刨削。图中箭头 I 为表示刨削方向，箭头 II 表示碳棒进给方向。

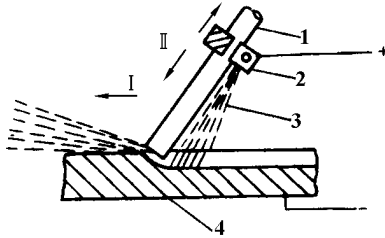


图 6-4-19 碳弧气刨示意图

1—碳棒；2—刨钳；3—高压空气流；4—工件

(2) 碳弧气刨的应用范围：用碳弧气刨挑焊根，比采用风凿生产率高，特别适用于仰位和立位的刨切，噪音比风凿小，并能减轻劳动强度；采用碳弧气刨翻修有焊接缺陷的焊缝时，容易发现焊缝中各种细小的缺陷；碳弧气刨还可以用来开坡口、清除铸件上的毛边和浇冒口，以及铸件中的缺陷等，同时还可以切割金属如铸铁、不锈钢、铜、铝等。但碳弧气刨在刨削过程中会产生一些烟雾，如施工现场通风条件差，对操作者的健康有影响。所以，施工现场必须具备良好的通风条件和措施。

(3) 碳弧气刨的电源设备，工具及碳棒略述如下：

①碳弧气刨的电源设备：碳弧气刨一般采用直流电源。由于碳弧气刨的电流较大，需连续工作时间较长，故应选用功率较大的直流电焊机（如 AXI-500）。

②碳弧气刨的工具：碳弧气刨主要工具是碳弧气刨枪，如图 6-4-20。碳弧气刨枪的要求是，导电性良好，吹出的压缩空气集中且准确，碳棒要夹牢固，又要更换方便，外壳绝缘良好，自重轻、操作方便等。

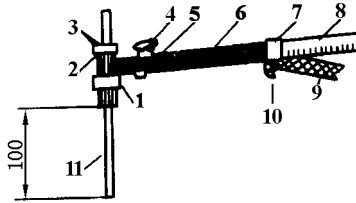


图 6-4-20 碳弧气刨枪

- 1—枪头；2—围钳；3—紧固螺帽；4—空气伐；
5—空气导管；6—绝缘手把；7—导柄套；
8—空气软管；9—导线；10—螺栓；11—碳棒

③碳棒：碳弧气刨主要通过碳棒与构件间的电弧来熔化金属。因此，对碳棒的要求是耐高温、导电性良好，不易断裂，断面组织细致，成本低、灰粉少等。一般采用镀铜实心碳棒，镀铜的目的是提高碳棒的导电性和防止碳棒表面的氧化。碳棒断面形状分为圆形和矩形两种。矩形碳棒刨槽较宽，适用于大面积的刨槽或刨平面。

(4) 碳弧气刨工艺：

①工艺参数及碳棒的影响：碳弧气刨的工艺参数主要指电源极性、电流与碳棒直径，刨削速度和压缩空气的压力等。其工艺参数见表 6-4-26。

表 6-4-26 碳弧气刨的工艺参数（供参考）

碳棒直径 (mm)	电流 (A)	适合板厚 (mm)	风压 (N/mm ²)	碳棒伸出长度 (mm)	角度 (°)	运行速度 (m/h)	刨槽宽度 (mm)	刨槽深度 (mm)
6	180~200	4.5	0.2~0.3	80~120	18~20	55	10	3
7	240~260	10~14	0.4~0.5	80~120	25~30	32	13	5.5
8	300~320	14	0.4~0.5	80~160	25~30	39.5	14	6
10	340~380	16	0.4~0.5	80~160	25~30	25	15	7

②采用碳弧气刨时，各种金属的极性选择，见表 6-4-27。

表 6-4-27

碳刨时各种金属的极性选择

材料	极性	备注	材料	极性	备注
碳钢	反接	正接表面不光	铸铁	正接	反接不如正接
低合金钢	反接	正接表面不光	铜及铜合金	正接	
不锈钢	反接	正接表面不光	铝及铝合金	正接或反接	

(5) 碳弧气刨的操作和安全技术。

①操作技术：采用碳弧气刨时，要检查电源极性，根据碳棒直径调节好电流，同时调整好碳棒伸出的长度。起刨时，应先送风，随后引弧，以免产生夹碳。在垂直位置刨削时，应由上而下移动，以便于流渣流出。当电弧引燃后，开始刨削时速度稍慢一点；当钢板熔化熔渣被压缩空气吹走时，可适当加快刨削速度。刨削中，碳棒不能横向摆动和前后移动，碳棒中心应与刨槽中心重合，并沿刨槽的方向作直线运动。在刨削时，要握稳手把，眼睛看好准线，将碳棒对正刨槽，碳棒与构件倾角大小基本保持不变。用碳弧气刨过程中有被烧损现象需调整时，不要停止送风，以使碳棒能得到很好的冷却。刨削结束后，应先断弧，过几秒钟后才关闭风门，使碳棒冷却。

②安全技术：操作时，应尽可能顺风向操作，防止铁水及熔渣烧坏工作服及烫伤皮肤，并应注意场地防火。在容器或舱室内部操作时，操作部位不能过于狭小，同时要加强抽风及排除烟尘措施。

碳弧气刨时使用的电源较大，应注意防止因焊机过载和长时间连续使用出现发热超标而损坏机器。

第五节 折 边

一、概述

在钢结构制造中，把构件的边缘压弯成倾角或一定形状的操作称为折边。折边广泛用于薄板构件，它有较长的弯曲线和很小的弯曲半径。薄板经折边后可以大大提高结构的强度和刚度。这类工件的弯曲折边，常利用折边机进行。

二、折边设备的结构及其模具

(1) 折边机在结构上具有窄而长的滑块，配合一些狭而长的通用或专用模具和挡料装置，将下模固定在折边机的工作台上，扳料在上、下模之间，利用上模向下时产生的压力，以完成较长的折边加工工作。

(2) 常用的机械或液压板料折弯压力机的技术参数，见表 6-4-28 和表 6-4-29。

(3) 板料折弯压力机用于将板料弯曲成各种形状，一般在上模作一次行程后，便能将板料压成一定的几何形状，如采用不同形状模具或通过几次冲压，还可得较为复杂的各种截面形状。当配备相应的装备时，还可用于剪切和冲孔。

表 6-4-28 机械板料折弯压力机技术参数

产品名称	型号	技术参数				电机功率 (kW)	重量 (t)	外形尺寸 (长×宽×高) (mm)	备注
		折板尺寸 (厚×宽) (mm)	最大厚度 时最小折 曲长度 (mm)	最大厚度时最 小折曲半径 (mm)	上梁 行程 (mm)				
折力机	W621.5×1000	1.5×1000	5	1	80	2.2	1	2100×850×1300	压手动、折机动、 手动， 上梁压紧有 快慢速 上梁压紧、 有快慢速 上梁压紧有 快慢速
	W622×800	2.0×800	5	1	80		0.022	1015×600×460	
	W622.5×1250	2.5×1250	6	(1~1.5)	150	3.0	1.5	2400×850×1300	
	W622.5×1500	2.5×1500	6	(1~1.5)	150	3.0	1.55	2500×850×1300	
	W622.5×1500	2.5×1500	6	3.75	200	1.1/3	1.5	2500×560×1300	
	W622.5×1500	2.5×1500	6	(1~1.5)	150	30	1.55	2500×850×1300	
	W624×2000	4×2000	20	6	200	5.5	4.2	2540×1560×420	
	W626.3×2500	6.3×2500	45	9	315	17	6.5	3675×1970×1700	

表 6-4-29 液压板料折弯压力机技术参数

型号	公称压力 (kN)	工作台 长度 (mm)	主柱间 距离 (mm)	喉口深度 (mm)	滑块行程 (mm)	滑块 调节量 (mm)	最大开启 高度 (mm)	主电机 功率 (kW)	外形尺寸 长×宽×高 (mm)
W67Y-40/2000C	400	2000	1700	200	100	75	360	4	2180×1450×2060
W67Y-63/2500	630	2500	2100	250	100	80	360	5.5	2560×1690×2180
W67Y-100/3200C	1000	3200	2600	320	150	120	450	7.5	3290×1770×2450
W67Y-160/4000C	1600	4000	3300	320	200	160	500	11	4080×1640×2650

板料折弯压力机，有机械传动和液压传动两种。液压传动的折弯压力机是以高压油动力，利用油缸和活塞使模具产生运动的。图 6-4-21 为 W67Y-160 型液压传动的板料折弯压力机。机械传动板料折弯压力机构，都是双曲轴式的，滑块的运动和上下位置的调节是两个独立的传动系统；由主电动机通过皮带轮和齿轮带动传动轴转动，再经传动轴两端的齿轮带动曲轴转动，并通过连杆使滑块上下运动。上模安装在上滑块上，下模则置于工作台上。

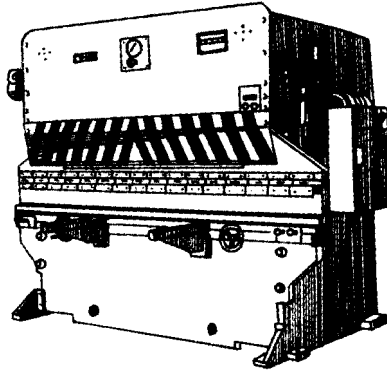


图 6-4-21 W67Y-160 型板料折弯压力机

(4) 板料折弯压力机的模具有通用和专用两种，通用弯曲模的断面形状如图 6-4-22 所示。上模稍带弯曲，端头呈 V 形，并有较小的圆角半径。下端在四个面上分别制出适应于弯制构件的几种固定槽口，槽口的形状，一般呈 V 形的，也有矩形的，都能弯制锐角和钝角的构件，下模的长度一般与工作台面相等。专用模具是根据构件的加工特殊形状和要求而特意设计的模具，它不具备通用性。

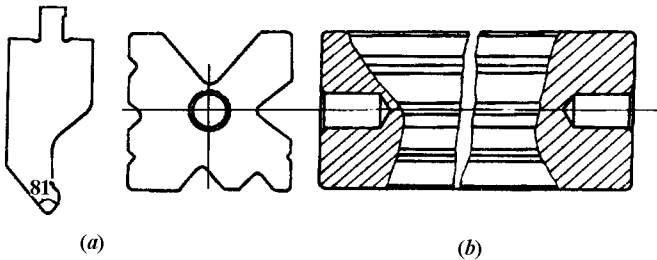


图 6-4-22 通用折边弯曲模

(a) 上模 ; (b) 通用下模

三、折边工艺

在通用弯曲模上，将板料折边成数个弯角时，首先应根据弯角的半径和构件的，形状，调整挡块的位置（或按所划的线）和选择上、下模的形状，折边的合理顺序以及确定构件的折弯应小于或等于滑块的公称压力。现将折边的技术工艺要求略述如下：

- (1) 折边前必须熟悉样板、图纸、工艺规程，并了解技术要求
- (2) 整理好工作场地，准备好需用工具、胎具、量具、压模、样板等。
- (3) 检查折边机运转是否正常，并向注油孔注油。
- (4) 专用模具应考虑构件加热后的膨胀系数和冷弯材料的回弹率，对易磨损的模

具，应及时更换和修复。

(5) 严格遵守安全操作规程。

(6) 在弯制多角的复杂的构件时，事先要考虑好折弯的顺序。折弯的顺序一般是由外向内依次弯曲，如果折边顺序不合理，将会造成后面的弯角无法折弯。

(7) 在弯制大批量构件时，需加强首件结构件的质量控制。

(8) 钢板进行冷弯加工时，最低室温一般不得低于 0℃；16Mn 钢材不得低于 5℃；各种低合金钢和合金钢根据其性能酌情而定。

(9) 折弯时，要经常检查模具的固定螺栓是否松动，以防止模具移位。如发现移位，应立即停止工作，及时调整固定。

(10) 构件如采用热弯，须加热至 1000℃ ~ 1100℃，低合金钢加热温度为 700℃ - 800℃。

(11) 当热弯工件温度下降至 550℃时，应停止工作。

(12) 折弯时，应避免一次大力加压成形，而逐次渐增度数，最后用样板检查；千万不能折边角度过大，造成往复反折，损伤构件。

(13) 折弯过程中，应注意经常用样板校对构件进行检验。

四、操作注意事项

为了确保安全生产，操作时必须注意以下几点：

(1) 在机器开动前，要清除机械设备周围的障碍物，上、下模具间不准堆放有任何工具等物件，对机械设备应加注润滑油。

(2) 检查设备各部分工作是否正常，发现问题应及时修理。

(3) 开动机器后，待电动机和飞轮的转速正常后，再开始工作。

(4) 不允许超负荷工作，满负荷时，必须把板料放在两立柱中间，使两边负荷均匀。

(5) 保证上、下模之间有间隙，间隙值的大小，按折板的要求决定，但不得小于被折板料的厚度，以免发生“卡住”现象，造成事故。

(6) 折板板件的表面不准有焊疤与毛刺。

(7) 电气绝缘与接地必须良好。

第六节 模具压制

一、概述

(1) 模具是一个跨行业的基础工作，它和工业结构调整与产品结构调整关系非常密

切，现代化的工业产品升级换代，模具必须先行。高质量、高速度的产品生产，只有在优质模具得到保证下方能达到。

(2) 模具压制是在压力设备上利用模具使钢材成形的一种工艺方法；钢材及构件成形的好坏与精度，完全取决于模具的形状尺寸和制造质量。

下面就钢结构加工钢板及型钢的模具压制成形的有关模具分类和用途、压制模具的制作以及其所用设备进行简介。

二、模具分类和用途

(一) 按加工工序

如表 6-4-30 所示，主要有以下几种：

(1) 冲裁模如表 6-4-30 中 a 项在压力机上使板料或型材分离的加工工艺。其主要工序有落料成形、冲切成形等。

(2) 弯曲模如表 6-4-30 中 b 项在压力机上使板料或型材弯曲加工工艺。其主要工序有压弯、卷圆等。

(3) 拉深模如表 6-4-30 中 c 项在压力机上使板料轴对称，非对称或半敞变形拉深加工工艺。其轴对称工序有拉深，变薄拉深等。

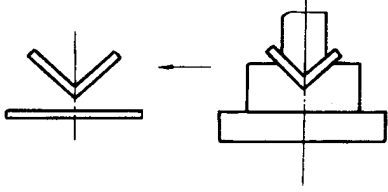
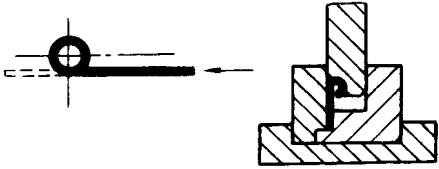
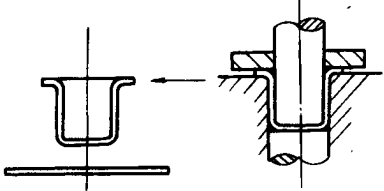
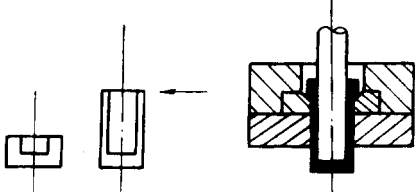
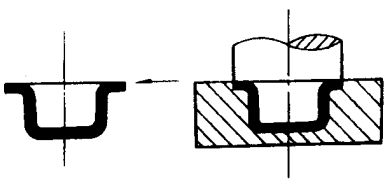
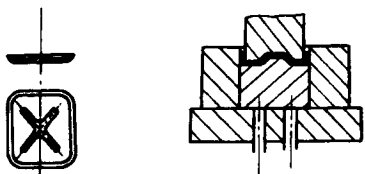
(4) 压延模如表 6-4-30 中 d 项在压力机上对钢材进行冷挤压或温热挤压加工工艺。其主要工序有压延，起伏压延，胀形压延及旋转压延等。

(5) 其他成形模如表 6-4-30 中 e 项在压力机上对板料半成品进行再成形加工工艺。其主要再成形工序如翻边、卷边、扭转、收口、扩口、整形等。

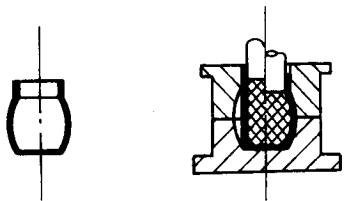
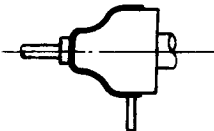
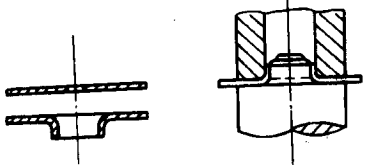
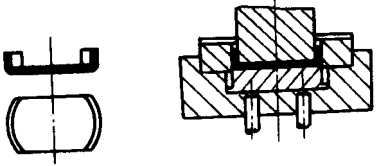
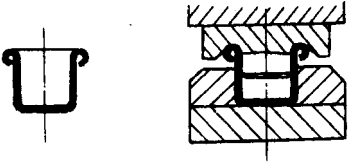
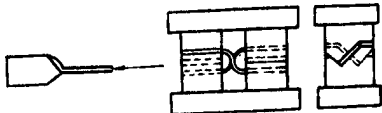
表 6-4-30

模具分类示意图

编号	工序	图 例	图 解
a	落料		用模具沿封闭线冲切板料，冲下的部分为工件，其余部分为废料
	冲孔		用模具沿封闭线冲切板材，冲下的部分是废料

编号	工序	图 例	图 解
b	压弯		<p>用模具使材料弯曲成一定形状</p>
	卷圆		<p>将板料端部卷圆</p>
c	拉深		<p>将板料压制空心工件，壁厚基本不变</p>
	变薄拉深		<p>用减小直径与壁厚增加工件高度的方法来改变空心件的尺寸，以得到要求的底厚、壁薄的工件</p>
d	压延		<p>将拉深或成形后的半成品边缘部分多余材料切掉； 将一块圆形平板料坯压延成一面开口的圆筒</p>
	起伏		<p>在板料或工件上压出筋条，花纹或文字，在起伏处的整个厚度上都有变薄</p>

第四章 成形加工

编号	工序	图 例	图 解
d	胀形		<p>使空心件（或管料）的一部分沿径向扩张，呈凸肚形</p>
	施压		<p>利用擀棒或滚轮板料毛坯擀压成一定形状（分变薄和不变薄两种）</p>
e	孔的翻边		<p>将板料或工件上有孔的边缘翻成竖立边缘</p>
	外缘翻边		<p>将工件的外缘翻成圆弧或曲线状的竖立边缘</p>
	卷边		<p>将空心件的边缘卷成一定的形状</p>
	扭转		<p>将平板坯料的一部分相对于另一部分扭转一个角度</p>

编号	工序	图 例	图 解
e	收口		将空心件的口部缩小
	扩口		将空心件的口部扩大， 常用于管子
	整形		把形状不太准确的工 件矫正成形

(二) 按加工形式分类

(1) 简易模。单件或小批量生产，一般精度时采用。

(2) 连续模。中批或大批量生产，中级精度，加工形状复杂和特殊形状的零件时采用。

(3) 复合模。中批或大批量生产，中级或高级精度、零件几何形状与尺寸受到模具结构与强度的限制时采用。

(三) 按安装位置分类

(1) 上模。也称凸模，由螺栓装置在压力机压柱上的固定横梁上。

(2) 下模。也称凹模，由螺栓固定在压力机的工作台上。

上、下模的安装必须做好上模中心与压柱中心重合，使压柱的作用力均匀地分布在压模上，下模的位置要根据上模来确定，上、下模中心一定相吻合，以保证压制零件形状和精度的准确。图 6-4-23 为上下模安装示意图。

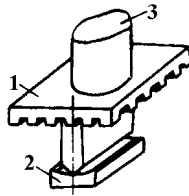


图 6-4-23 上下模装置的示意图
1—上模；2—下模；3—压柱

三、压制模具的制作

各种模具压制的制作方法基本上是相同的，现在以封头压制模具作概要说明：

封头模具包括有上下模，各类型的封头模具主要有精确工件加工多次的压延模和非标准件的一次压延模，这两种模具作用和压延原理基本一致，但就其压延方法和精确度要求是不同的。现就模具设计、工艺、模具尺寸的间隙、压延方法以及常见的缺陷介绍如下：

（一）封头模具设计要点

（1）上下模直径、高度及圆角半径（R）的确定。

（2）压边圈和压边顶杆的形式及位置的考虑，要求顶杆有足够的刚性，以防止受压后弯曲变形影响工件成形和精度。

（3）选择合适的模具材料，以保证达到足够的压延强度。

（4）选用合理的压制设备，了解其技术性能和工作情况。

（二）封头模具的工艺要求

（1）上模中应开通气孔，以便于卸下工件。

（2）下模和压边圈的工作表面要光滑，压延标准精度一般应确定为 $\sqrt[12.5]{}$ 、 $\sqrt[0.8]{}$ 之间，不允许开孔开槽，以防止压延时损坏零件表面的光洁度。

（3）压延时应保证工件与模具的良好润滑，以减少摩擦和模具的磨损，保证工件压制精度。

（4）热压加工应考虑收缩量及卸料装置问题。

（三）封头模具尺寸的间隙考虑

（1）上、下模直径尺寸，应根据封头内外尺寸大小，以满足上、下模凹凸间隙中的成型要求。

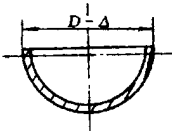
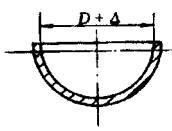
（2）由于板料厚度存在误差，加热时产生氧化皮（ Fe_3O_4 ），以及材料热膨胀和冷收

缩的因素，加上模具本身的制造公差等均应加以考虑。

(3) 尺寸间隙过大，封头容易起皱；尺寸间隙过小，坯料不易移动，从而使封头侧壁和转角处造成过度拉伸变薄，增加压制设备的负荷，使模具磨损增大，也使构件成形困难。

(4) 一般情况下压延间隙应大于压板的厚度，计算压模工作部份的尺寸公式如表 6-4-31 所示；封头压延中，凸凹模间隙采用的数值可参照表 6-4-32。合理设计模具的凹模圆角半径尺寸，是压延工作的重要环节，根据压延实践经验，凹模圆角半径尺寸可按表 6-4-33 确定。

表 6-4-31 压模工作部分尺寸的公式

技术要求	要求外部尺寸准确	要求内部尺寸准确
简 图		
凹模制造尺寸	$D_M = (D - \Delta) + \delta_M$	$D_M (D + \Delta + 2z) + \delta_M$
凸模制造尺寸	$D_N (D - \Delta - 2z) - \delta_N$	$D_N = (D + \Delta) - \delta_N$

表中公式 D_M ——凹模尺寸 (mm, 下同)；
 D_N ——凸模尺寸；
 δ_M ——凹模的制造公差；
 δ_N ——凸模的制造公差；
 Δ ——压延件公称尺寸的允许偏差；
 z ——凹模与凸模间的单面间隙。

表 6-4-32 凸凹模间隙数值表

材 料	间隙 (z) (mm)	
	第一次压延	各次压延
低 碳 钢	$(1.3 \sim 1.5) t$	$(1.2 \sim 1.3) t$
黄铜、铝合金	$(1.3 \sim 1.4) t$	$(1.15 \sim 1.2) t$

注：1. 表中 t 为压延件材料厚度。
 2. 首次压延取大值，以后各次压延取小值。

表 6-4-33 凹模的圆角半径值 (mm)

材 料	材料厚度 (t)	圆角半径 (r)
钢 材	< 3	(6~10) t
	3~6	(4~6) t
	6~20	(2~4) t
铝、黄铜、紫铜	< 3	(5~8) t
	3~6	(3~5) t
	6~20	(1.5~3) t

注：1. 凸模圆角半径的取法是在凹模圆角半径的基础上，减去压件材料厚度和间隙 (z) 的和 (和即零件半径 R)，就是凸模圆角半径的尺寸。

2. 表内凹模圆角半径，经验值属于首次压延的数值；如果进行多次压延，表内数值可递减。

(5) 压延时，压模的上下模制造公差见表 6-4-34。

表 6-4-34 压模的上下模制造公差

材料厚度 (mm)	压延的公称直径 (mm)					
	10~50		50~200		200~500	
	+ δ _M	- δ _N	+ δ _M	- δ _N	+ δ _M	- δ _N
0.25	0.02	0.01	0.03	0.015	0.03	0.015
0.35	0.03	0.02	0.04	0.02	0.04	0.025
0.5	0.04	0.03	0.05	0.03	0.05	0.035
0.6	0.05	0.035	0.06	0.04	0.06	0.04
0.8	0.07	0.04	0.08	0.05	0.08	0.06
1.0	0.08	0.05	0.09	0.06	0.10	0.07
1.7	0.09	0.06	0.10	0.07	0.12	0.08
1.5	0.11	0.07	0.12	0.08	0.14	0.09
2.0	0.13	0.085	0.15	0.10	0.17	0.12
2.5	0.15	0.10	0.18	0.12	0.20	0.14
3.5	0.16	0.11	0.25	0.135	0.235	0.16

(四) 封头常用的几种压延方法

(1) 薄壁封头压延方法如图 6-4-24 所示, 当坯料直径 D 和封头内径 d 之差值大于板料厚度为 $45t$ 时, 就属于薄壁封头。 t 为板料厚度, 其关系式为: $D - d > 45t$

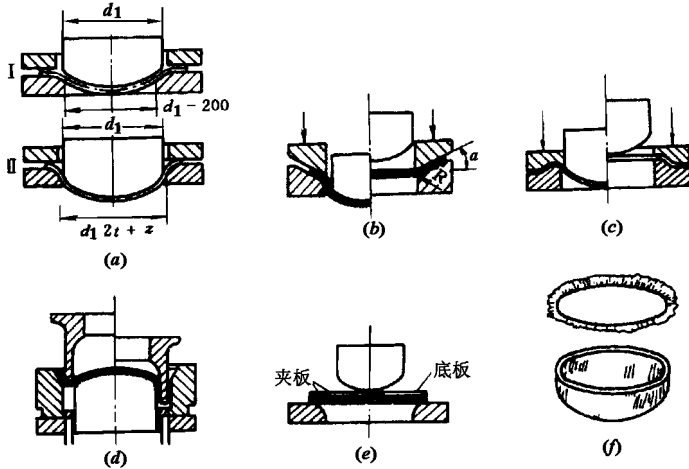


图 6-4-24 薄壁封头的压延方法

① 多次压延法 (图 6-4-24c) 适用于 $d \geq 2000\text{mm}$, $45t < D - d < 100t$ 的情况。其第一次预成形压延, 用比凸模直径小 200mm 左右的下模预压成盆状, 第二次可再次加大尺寸预压, 也可直接用配套的压模压制成所需要的尺寸。

② 带锥面边圈压延法 (图 6-4-24b) 适用于 $45t < D - d < 60t$, 锥面斜角 $\alpha = 20 \sim 30^\circ$ 的情况。为改善压延时变形情况, 应将上模压边和下模工作面做成圆锥面, 这样可取得较好的锥面边圈。

③ 带槛形筋压延法 (图 6-4-24c) 适用于 $45t < D - d < 160t$ 的情况。在下模边口制出凸缘槛筋, 在上模压边圈上制出与下模相吻合的凹槽, 利用槛形压延筋增大坯料凸缘边的变形阻力和摩擦力, 以增加径向拉应力, 避免边缘起皱, 提高成形质量。

④ 反压延法 (图 6-4-24d) 在 $60t < D - d < 120t$ 时可采用。反压延法就是将上模制成凹模, 下模制成凸模, 这种方法对提高工件质量有保证。

⑤ 夹板压延法 (图 6-4-24e) 适用于 $< 4\text{mm}$ 薄板贵重金属材料, 以及不宜直接与火焰接触的材料。将坯料夹在两块钢板中间, 或将坯料贴附在一块厚钢板上进行加热压延。

⑥ 加大坯料压延法 (图 6-4-24f), 坯料直径按大于工件直径 $10\% \sim 15\%$ 左右简略计算, 适用于 $60t < D - d < 160t$ 的情况。可采用一次或多次压延法加工, 在成形后将凸缘多余部分切割至工件尺寸。

(2) 中、厚壁封头的压延方法, 如图 6-4-25 所示。

① 当 $6t \leq D \leq 45t$ 时为中壁封头, 一般情况下采用加热一次压制成形。

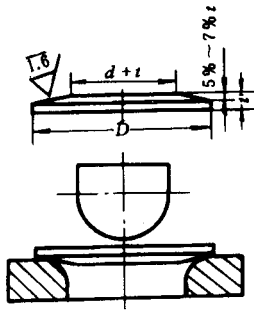


图 6-4-25 中、厚壁封头压延方法

②当 $D - d < 6t$ 时为厚壁封头，一般应适当增大一些模具的间隙，以便封头能顺利通过，最好分二次或多次压制。

③多层封头压延法：(图 6-4-26)，是将几块板料叠在一起压成，或多次重叠压延而成。

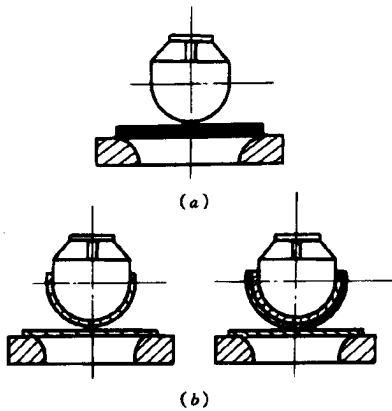


图 6-4-26 多层封头压延方法

a) 重叠压延；b) 多层压延

④带孔封头压延：(图 6-4-27)，为装配或检修容器内部情况，某些封头顶部开有带翻边的人孔，一般情况下人孔翻边和封头压延同时进行。上模开有翻边用孔，下模在压力机工作台上装有顶杆，当上模下压封头成形后，顶杆则对人孔作翻边用，封头和人孔翻边在一次行程中完成。

(五) 压延封头时常见的缺陷

压延封头时，由于加热不均匀，压延力或压边力大小不合理，模具设计和制造时圆角曲率误差及表面光洁度差，脱模温度过高或方法不适当，坯料材质差或选用不合理，润滑剂选用和涂抹不当，以及选用压制设备负荷量不足等各种原因，封头就会产生一系

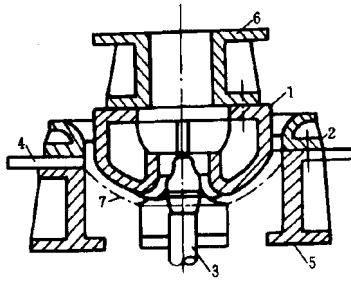


图 6-4-27 带孔封头的压延方法



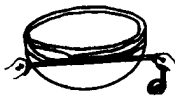
1—空心凸模；2—凹模；3—人孔翻边顶杆；4—卸件插销；
5—凹模底座板；6—凸模拖板；7—人孔封头

列缺陷，甚至成为废品，常见的缺陷情况见表 6-4-35：

表 6-4-35

压制封头常见缺陷

序号	名称	图 例	产生的原因	消除的方法
1	起皱		加热不均匀，压边力太小或不均匀，上下模间隙太大，曲率不均	加热要均匀，压边力大小和模具间隙要合理
2	起包		加热不均匀，材质差，上下模间隙太大，压边力太小，压边圈未起作用	保证坯料材质合格，加热均匀，模具间隙合理
3	直边拉痕 压坑		下模表面粗糙或有拉毛现象，坯料气割后溶渣消除不清	提高下模及压边圈表面光洁度，做好坯料清洁工作
4	表面微细 裂纹		加热不合理，下模圆角太小，坯料尺寸过大，冷却速度太快	提高下模表面光洁度，下模圆角设计和坯料尺寸要合理
5	开裂		加热规范不合理，坯料边缘有损坏痕迹或缺口，材质塑性差或有杂质	保证加热均匀，提高坯料边缘光洁度及表面质量

序号	名称	图 例	产生的原因	消除的方法
6	偏斜		压延间隙大小不均, 定位不准, 压边力不均匀, 润滑剂涂抹不合理	合理加热保证坯料压边力均匀, 润滑剂涂抹均匀
7	椭圆		脱模方法不好, 封头起吊或搬运时温度太高, 模具精度差, 配合误差大	改进脱模方法, 合理降温后再起吊与搬运, 提高模具精度
8	直径大小不均		成形压制时, 脱模温度高低不一, 冷却情况不相同	保证脱模温度合理一致, 冷却方法相同, 且合理

四、封头压制

封头压制时温度的控制：封头一般采用热压。为保证热压质量，必须控制开始压制温度和结束压制温度。开始时压制温度决定于加热温度，其温度高低由材料的成分和板厚决定，对一般厚度（小于 15 ~ 50mm）的低碳钢板为 1100℃ ~ 1050℃；对较薄或较厚的低碳钢板为 1100℃ 左右。加热温度过高，容易使材料烧坏；温度过低，起不到加热作用。一般碳钢加热到 200℃ ~ 300℃ 时，将使强度极限和屈服极限升高，而塑性明显下降，这种现象称为蓝脆性，所以在蓝脆性现象时，应避免再压制。碳钢结束压制时温度一般应为 750℃ ~ 850℃，温度过低使钢板发生冷作硬化，会出现裂纹。为了保证热压工件的表面质量，坯料加热后应清除表面杂质和氧化皮。

五、压制设备

(1) 选择压制设备的基本原则

- ① 压力机应有足够的压力和功率。
- ② 压力机的闭合高度、工作行程以及工作台面尺寸应符合模具安装要求。
- ③ 按压制件的工序要求和特点进行适合的选择。
- ④ 现有设备工作负荷的平衡。

(2) 压制设备的分类：无论是冲裁、弯曲、拉深或压延等工作中，都应选择适合的压制设备，也即压力机，再配制相应的模具，才能达到加工构件的要求。常用压力机分类见表 6-4-36。

表 6-4-36

压力机的分类

分类方法	型式与类别	
按结构机身	闭 式	
	开 式	
按滑块个数	单 头	
	双 头	
	多 头	三 头
		四 头
按驱动机构	摩擦式	
	肘杆式	
	曲柄式	
按驱动力	机械式	
	液压式	水 压
		油 压
	气压式	直压式
		杆杆式

(3) 气压机 气压机又叫风压机，它是以压缩空气为动力的一种压力机械，按其压力的传递方式可分为单缸直压式和多缸杆杆式两种。其构造原理简述如下：

①单缸直压式。单缸直压式气压机的构造如图 6-4-28 所示。气缸内部装有活塞 7 (由皮碗、钢板、螺栓组成) 及弹簧 6。工作时，将下模固定在承压台 4 上，上模安装在压力顶杆 5 上，扳起开关 3，气缸 2 与气管相通，压缩空气经三通开关进入缸内推动活塞，压缩弹簧顶杆伸出产生顶压作用。关闭开关，气缸与大气相通，压缩空气由缸内经三通开关排出，这时活塞受弹簧张力作用，带动顶杆向上升起，恢复原来位置。单缸直压式气压机的压力可按式计算：

$$P = F \cdot q \cdot K$$

式中 F ——单缸活塞面积 (cm^2)

q ——压缩空气单位压力 (MPa)

K ——系数 (一般取 0.8，考虑弹簧压缩力及摩擦阻力)

②多缸杆杆式。多缸杆杆式气压机其构造如图 6-4-29 所示。它是在单缸直压式基础上利用杠杆原理产生较大的工作压力改进而成。其计算公式：

$$P = \frac{C_2 \cdot F \cdot q}{C_1} K$$

式中 C_1 ——支点至压力杆中心距离 (mm)；

- C_2 ——支点至气缸总压力中心距离 (mm);
 F ——各缸活塞总面积 (cm^2)
 q ——压缩空气单位压力 (MPa);
 K ——系数 (一般取 0.8~0.9)

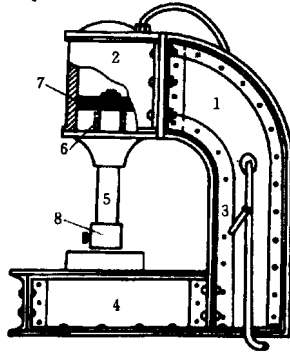


图 6-4-28 单缸直压式气压机

- 1—机体；2—气缸；3—三通开关；4—承压台；
 5—顶杆；6—弹簧；7—活塞；8—压力头。

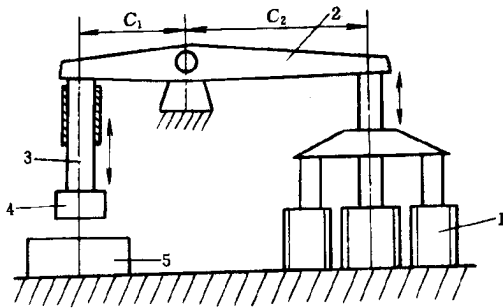


图 6-4-29 多缸杠杆式气压机

- 1—气缸；2—传递杠杆；3—压柱；4—压力头；5—承压台

(4) 气压机压制工作时要注意丝杠顶杆不能转动，如一旦转动，则会使连在一起的压力头和上模转动，从而使上、下模错位，出现废品。气压机的工作压力受压缩空气的压力及活面塞积的限制，适用于中小型工件的压制加工。气压机的保养工作非常重要，要重点注意保持丝杠顶杆的清洁工作和润滑工作，在安装和拆卸模具时不要磕碰丝杠顶杆。

(5) 液压机。其工作原理是用液体作为介质传递功率。按所用介质不同，分油压机和水压机两种。

液压机是利用“密闭容器中的液体各部分压强相等”的原理，而产生巨大的压力。设有大小不等的两液压缸，如图 6-4-30 所示，小液压缸活塞 A_1 的面积为 S_1 ，大液压

缸活塞 A_2 的面积为 S_2 ；两液压缸用导管连通，则两液压缸构成一封闭的容器，液压缸内置有液体（水或油）。

当外力 P_1 作用于小活塞 A_1 上，液体即受到 P_1/S_1 的压强，此压强同时传递到大活塞 A_2 上，使大活塞产生 P_2 的力，根据压强相等的原理，可建立如下等式：

$$\frac{P_1}{S_1} = \frac{P_2}{S_2} \text{ 即 } P_2 = \frac{S_2}{S_1} P_1$$

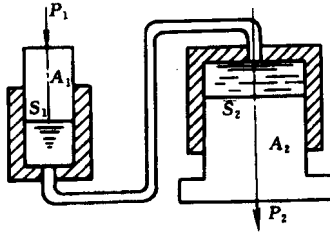


图 6-4-30 液压机工作原理

由上式可知，只要使活塞面积 $S_2 > S_1$ ，则 $P_2 > P_1$ ，因而可以用较小的作用力产生较大的工作压力。

在实际结构中，小液压缸即为水泵或油缸，大液压缸是水压机或油压机的本体部分。除此这外，还有一套控制分配操纵机构和蓄能装置。

(6) 液压机按其结构形式可分为柱式液压机、龙门式液压机和悬臂式液压机等。液压的压力可达千吨、万吨。故可满足各种模压成型的工作要求。使用液压机时，必须注意液体介质的清洁，要定期更换介质。长时间停机时，要关掉水泵或油泵电源，避免介质过度发热和发生气泡，也起节约能源的作用。

液压机的导向钢柱的清洁和保养工作也非常重要，在保持清洁的同时，要经常加注润滑油，不能磕碰和划伤钢柱；一经发现有漏水、漏油现象，必须及时修理。下面介绍两种常见的液压机。

① 柱式水压机（图 6-4-31），是由下面一个坚固的不动横梁 1，通过四根导向钢柱 2，与上横梁 5 相连。钢柱末端有螺纹，并用大螺帽将上横梁固定。工作缸 6 装在上横梁 5 中，缸中的活塞 4 固定在可动横梁 3 中，可动横梁通过两个拉杆 8 与上横梁 10 相连，在上横板上装有活塞 9，其外面是提升缸 7。工作时上模就装在上横梁 3 的下面，下模便装横梁 1 上。当高压水由管路 13 进入工作缸 6 时，活塞 4 推动横梁 3 下降，就将放在上、下模之间的金属压制成形。要提起上模时，就将高压水由管路 12 进入提升缸 7 中，靠活塞 9 的上升将装有上模的横梁 3 升起。为了防止在工作时高压水由工作缸或提升缸漏出，在缸与活塞之间装有密封垫料 11。

② 悬臂式水压机如图 6-4-32 所示，是由本体部分和底座部分组成。本体部分 1 有工作缸 10 和活塞（压柱）9。活塞上装有夹持物 4，以便固定上模，侧面装有压力表 5 和操作器 6 等。底座部分 2 主要有一个工作台 7，以固定安装下模和放置零件。机体

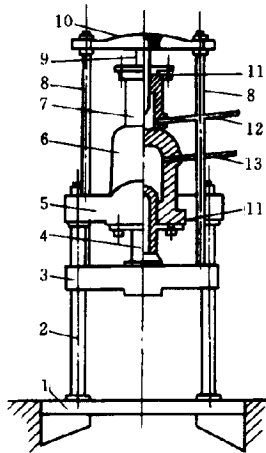


图 6-4-31 柱式水压机

- 1—不动横梁；2—导向钢柱；3—可动横梁；4—活塞；5—上横梁；
6—工作缸；7—提升缸；8—拉杆；9—活塞；10—上横板；
11—密封垫料；12、13—管路

的上面有悬臂吊杆装置 3，便于工作起重。悬臂式水压机工作情况大致与柱式水压机相同。

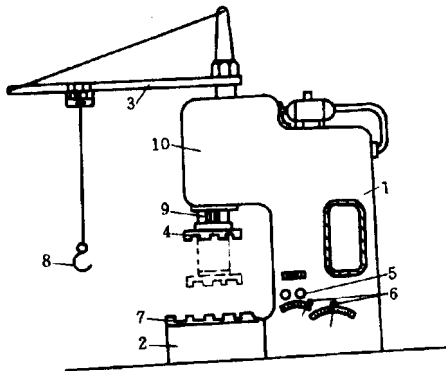


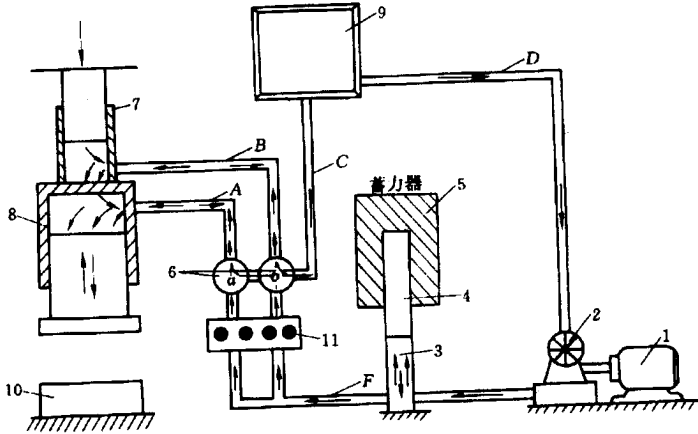
图 6-4-32 悬臂式水压机

- 1—本体部分；2—底座部分；3—悬臂吊杆装置；4—夹持物；5—压力表；
6—操纵台；7—工作台；8—吊钩；9—活塞；10—工作缸

图 6-4-33 所示水压机设备系统简图。高压水由水泵 2 供给，水泵由电动机 2 带动。水由水泵打出后，经管道进入重力蓄力器的水缸 3 中，同时通过活塞 4 带动荷重 5 向上升起，而水泵还在不断工作时，将多余的水积存下来，但当水积蓄到一定限度时，会自动地将水泵的电动机关掉。

水通过蓄力器又由管道进入分水器 6，分水器的开与关是由人力来操纵的。如果需

要向工作缸 8 进水，打开分水器 a，这时水就经管道 F 通过分水器 a 和管道 A 进入工作缸内，致使活塞（压柱）下降而进行冲压。与此同时，从上部提升缸 7 挤出的水，经管道 B 通过分水器 b 和管道 C 回到贮水箱 9，同时又可经管道 D 回到水泵中去。如果需要工作缸向上升起，打开分水器 6（则分水器 a 即停止向工作缸供给高压水），水从工作缸经管道 A，通过分水器 a、b 至管道 C，回到贮水箱 9。与此同时，高压水由管道 F 经分水器 b，通水管道 B 进入提升缸 7 中，迫使可动横梁带动工作缸活塞上升。



6-4-33 水压机设备系统简图

1—电动机；2—水泵；3—蓄力器的水缸；4—蓄力器的活塞；5—荷重；
6—分水器；7—提升缸；8—工作缸；9—贮水箱；10—承压台；11—操纵台

(7) 机械压力机：它是通过丝杠、齿轮等机械传动传递功率的一种压力机，具有结构简单，造价低，不易发生超负荷损坏现象等特点。机械压力机的刚度是由床身刚度，传动刚度和导向刚度等主要部分组成。它适用于小批量进行弯曲、成形等工序加工。它有单柱、双柱、四柱、开式、闭式等多种结构形式。

摩擦压力机（又叫丝杆压力机）如图 6-4-34 所示，是常用的一种机械压力机，其床身上面有两块挡支架 8，主要用以支持水平轴 9 和摩擦轮 10、11 等机件，下面有一台面 2，面上有丁字槽，以安装固定下模之用。螺座（螺杆支承座）4 装在横梁 3 内，与螺杆 5 的螺纹相配合，以使螺杆 5 在滑槽内能上下运动。

螺杆 5 的上端与传动轮相连，下端与滑块 6 相连，其主要作用是将传动轮的旋转运动变成滑块的上下运动。滑块两侧有 V 形凹槽，正嵌入床身凸出的导轨中，下端有圆孔，前面有一止动螺钉，以便紧固上模之用。

传动轮 7 位于左右摩擦轮之间，轮缘包有牛皮或橡皮带，以增加摩擦力及减少轮缘的磨损，摩擦轮的作用是带动传动轮 7 作顺方向或反方向的旋转，使螺杆 5 可作向上或向下往复运动。摩擦压力机的操纵原理如图 6-4-35 所示。

其操作方法如下：

① 当手柄向下时，经过一系列杠杆系统，使水平轴 9 向右移动，这时左摩擦轮和传

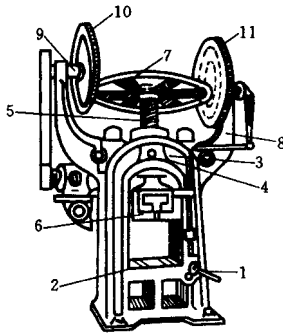


图 6-4-34 摩擦压力机

1—操纵器；2—台面；3—横梁；4—螺座；5—螺杆；6—滑块；
7—传动轮；8—挡支架；9—水平轴；10、11—摩擦轮

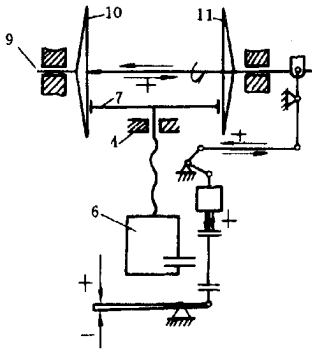


图 6-3-35 摩擦压力机操纵原理图

(图中标注见图 6-4-34)

动轮接触，则传动轮顺时针方向转动，带动螺杆 5 与滑块（上模）一起下降进行冲压工作。

②当手柄向上时，右摩擦轮与传动轮接触，使传动轮带动螺杆 5 向反时针方向旋转，因此滑块带动上模向上升起。

③当手柄在中间水平位置时，则传动轮位于左右摩擦轮之间，互不接触，这时，滑块带动上模停留在某一高度。

由于它的行程是可变的，故在冲压构件校平或校形时，不会因为构件板料厚度的误差而引起设备或模具的超负荷而损坏，而且校平和校形的精度高且稳定；摩擦压力机的行程次数相对于其他压力机的行程次数少，生产率低，不适宜中、大批量的生产，同时，它的操作也不太方便。

六、压力机操作注意事项

压力机操作时应注意事项简要略述如下：

(1) 使用前应检查电气安全，加注润滑油，检查各运转部分是否正常，并根据需要进行合理的调整。

(2) 开动机器压制时，必须再次认真检查：压模是否安装牢靠，上、下模中心与压力机的中心是否对准位置。

(3) 操作时，手不可靠近压模，以免发生手指带入模具内发生工伤事故。

(4) 室温低于 -20°C 时，应停止压力机工作，以免钢板冷脆而发生裂缝。

第五章 钢结构构件制作实例

第一节 钢球制作

在网架中采用管截面、球形节点的焊接网架日益普及。球形节点系一空心焊接钢球，其形式如图 6-5-1 所示，有加肋和不加肋两种，前者用于外径大于 300mm、且杆件内力较大时。

焊接球的制作方法如图 6-5-2 所示。焊接球宜采用钢板热压成半球，球体表面要求光滑，不得有裂纹、折皱。压成的半球经机械加工坡口后焊成圆球。钢球焊好后，经过检测合格，即为成品。焊接球的允许偏差应符合表 6-5-1 的规定。

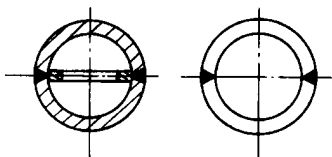


图 6-5-1 焊接钢球



图 6-5-2 焊接钢球制作法

表 6-5-1

焊接球允许偏差

项目	允许偏差 (mm)
直径	$\pm 0.005d$ 且不大于 2.5
圆度	2.5

项目	允许偏差 (mm)
壁厚减薄量	$0.13t$ 且不大于 1.5
两半球对口错边	1.0

注：* 材料轧制时的厚度偏差和压制时的拉伸压缩变形，在图 6-5-3 中所示范围内易形成负差，应注意控制。

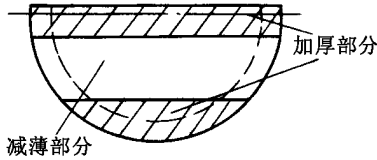


图 6-5-3 球壁厚减薄示意

为保证强度，必须保证两个半球对焊的焊接质量。为此除外观检查以外，尚应用超声波探伤对焊缝内部进行检查。

第二节 高层钢结构加工实例

一、箱型柱的加工

箱型柱是由四块钢板组成的承重构件，在它和梁连接部位还设有加劲隔板，每节柱子顶部要求平整。箱型柱的断面图和制造工艺流程见图 6-5-4 和图 6-5-5。

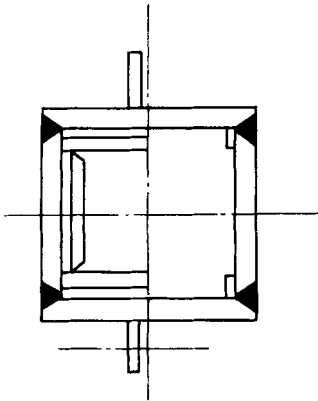


图 6-5-4 箱型柱断面示意

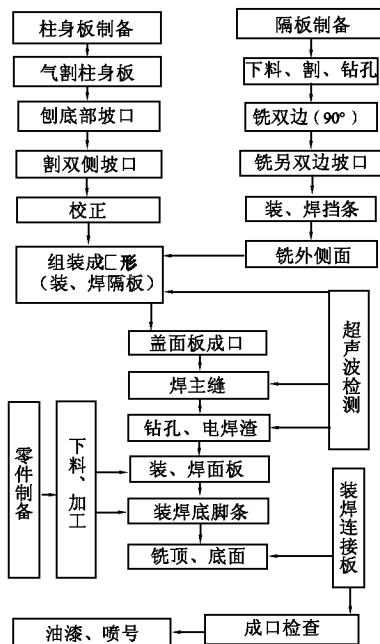


图 6-5-5 箱型柱制造工艺流程

二、 \boxplus 型柱的加工

\boxplus 型柱是由一个工字型截面和两个 T 型截面斜交组成，其坡口和焊缝有角度变化。 \boxplus 字柱的断面图和制造工艺流程见图 6-5-6 和图 6-5-7。

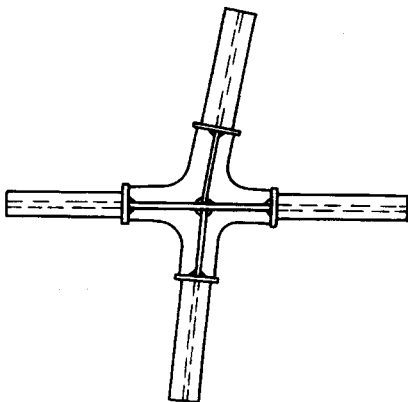


图 6-5-6 \boxplus 字柱断面示意

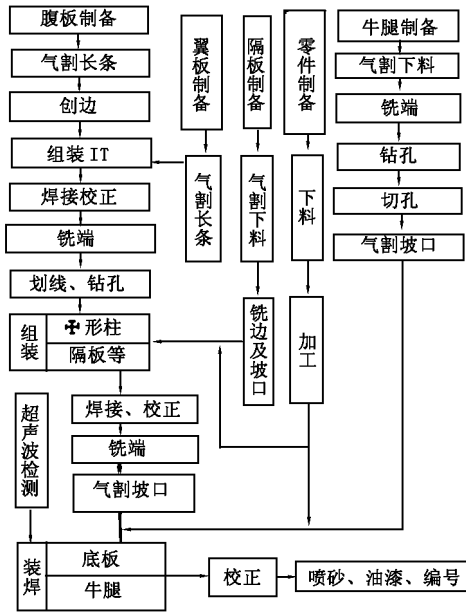


图 6-5-7 十字形柱制造工艺流程

三、梁的加工

在高层建设钢结构中，常遇到一些变截面的梁，如图 6-5-8 所示。这些梁的翼、腹板均采用变截面形式，板厚度亦不同，中部较薄，两端加厚。

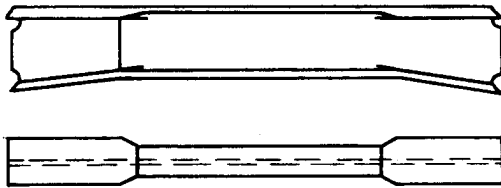


图 6-5-8 变截面梁示意

变截面梁的制造工艺流程图见图 6-5-9。

第三节 焊接 H 型钢生产线

随着钢结构建筑的蓬勃发展，各种专项的钢结构生产线设计制造出来，并投入使用。下面就其中使用最广泛的 H 型钢生产线做一简单的介绍。

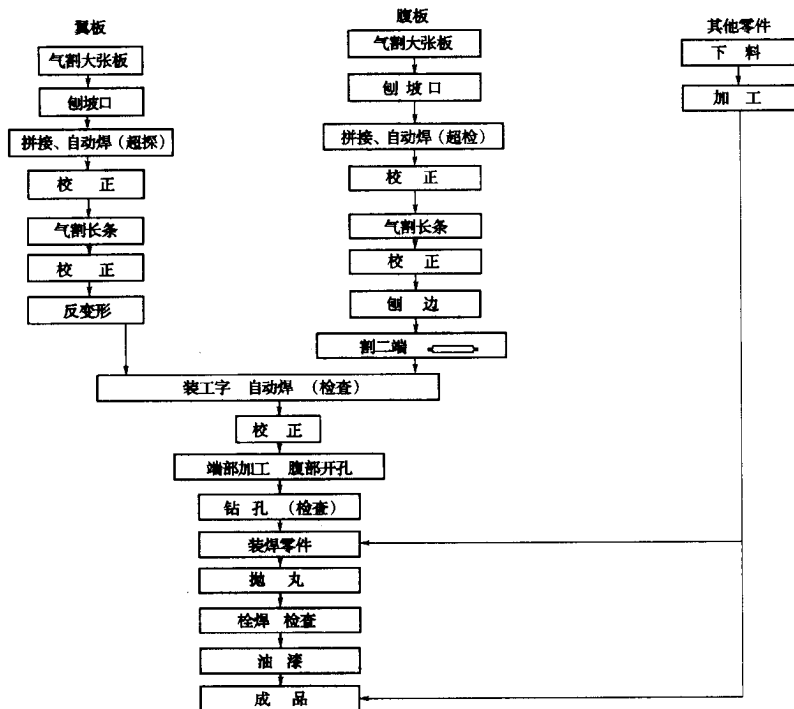


图 6-5-9 梁的制造工艺流程

一、焊接 H 型钢生产线生产工艺流程

焊接 H 型钢生产线生产工艺流程如图 6-5-10 所示。

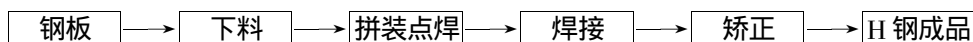


图 6-5-10 焊接 H 型钢生产工艺流程

二、焊接 H 型钢生产线设备及工作过程原理

(1) 下料设备。焊接 H 型钢生产线的下料设备一般配备数控多头切割机或直条多头切割机。此类切割设备是高效率的板条切割设备，纵向割矩可根据要求配置，可一次同时加工多块板条。设备状况及技术性能可参见气割下料的有关部分。

(2) 拼装点焊设备。焊接 H 型钢生产线的拼装点焊设备为 H 型钢自动组立机。此类设备一般都采用 PLC 可编程序控制器，对型钢的夹紧、对中、定位点焊及翻转实行全过程自动控制，速度快、效率高。

表 6-5-2 为江苏阳通集团生产的 H 型钢自动组立机及其主要技术参数。

表 6-5-2 H 型钢自动组立机技术参数

腹板尺寸	高	200 ~ 1200mm
	厚	6 ~ 32mm
	长	4000 ~ 15000mm
翼板尺寸	宽	200 ~ 700mm
	厚	6 ~ 32mm
	长	4000 ~ 15000mm
组立速度	0.5 ~ 6m/min	
装机功率	14kW (不含焊机)	

H 型钢组立机的工作程序分两步：第一步组成 \perp 形，第二步组成 I 形，其工作原理是：①翼缘板放入，由两侧辊道使之对中。②腹板放入，由翻转装置使其立放，由辊道使之对中。③由上下辊使翼板和腹板之间压紧（组对翼板、腹板间留有间隙的 H 型钢时，要采取垫板等特殊措施）。④数控的点焊机头自动在两侧每隔一定间距点焊一定长度，一定焊缝高度的间断焊。

由于辊道行进速度较快，而点焊速度较慢。为解决此问题，一般机上设有自动变速装置，在需点焊的区段自动降速，点焊完此段后自动加速。此种处理办法虽解决了上述问题，但机器的功率消耗增大，有待进一步改进。

(3) 焊接设备。H 型钢生产线配备的焊机一般为埋弧自动焊机，从类型上分，可分为门式焊接机及悬臂式焊接机两种类型。

焊机一般都配备有焊缝自动跟踪系统，焊剂自动输送回收系统，并具有快速返程功能。主机与焊机为一体化联动控制，操作方便，生产效率高。表 6-5-3 为江苏阳通集团生产的 H 型钢生产线上配备的焊机型号及技术参数。


表 6-5-3 H 型钢自动焊接机技术参数


型号	A 型	B 型	悬臂式焊接机
腹板高度 (mm)	200 ~ 1200	280 ~ 1200	200 ~ 1200
翼板高度 (mm)	200 ~ 800	200 ~ 800	200 ~ 1200
H 型钢长度 (mm)	4000 ~ 15000	4000 ~ 15000	4000 ~ 15000
焊机型号	MZ-1-1000 型埋弧焊机	林肯 1000A 双丝埋弧焊机	MZ-1-1000 型埋弧焊机 (1 台)

型号	A 型	B 型	悬臂式焊接机
焊接形式	船型焊	角焊	船型焊
焊接速度 (m/min)	0.1 ~ 1	0.12 ~ 1.2	0.15 ~ 1.5
返程速度 (m/min)	3	—	4.5
轨道宽度 (mm)	4000	—	1200
气源压力 (MPa)	0.6	0.6	0.6
装机功率 (kW)	13 (不含焊机)	6 (不含焊机)	6.5 (不含焊机)

注：A 型、B 型的埋弧焊机均为 2 台。

龙门式双焊机自动焊时，有两种布置方式：

①  在同一工件的两侧同时焊接，采取角接焊形式焊接。

②  两个工件同时进行船形位置焊。由两台焊机在内侧焊接是因为在内侧焊时，可以由一名操作者在中间同时照顾两台焊机。

(4) 翻转机和移钢机。H 型钢生产线上配以链条式翻转机和移钢机，可达到整个焊接、输送、翻转过程的全自动化生产。

在组对、焊接过程中不可避免要翻转工件，在生产线上配有翻转机，则在避免等待行车而大大提高工效。

翻转机应有前后两道，其工作原理是：平时放松，不与工件接触，使用时张紧提起链子，转动链轮，使工件转至需要角度再放下。

(5) H 型钢翼缘矫正机。表 6-5-4 为江苏阳通集团生产的 H 型钢翼缘矫正机及其技术参数。

表 6-5-4 H 型钢翼缘矫正机技术参数

型号	HYJ-800	HYJ-600	H 型钢液压矫正机
翼缘宽度 (mm)	200 ~ 800	150 ~ 600	180 ~ 800
翼板厚度 (mm)	≤40	≤20	≤60
腹板最小高度 (mm)	350	160	350
材质	Q235、Q345	Q235、Q345	Q235、Q345
矫正速度 (m/min)	18	5.7	7.5

型号	HYJ-800	HYJ-600	H 型钢液压矫正机
电机功率 (kW)	22	7.5	29.5
设备外形尺寸 (长×宽×高)(mm)	3500×1500×1700	3600×720×1800	4050×2900×2190
设备总重 (kg)	9000	7000	20000

经过焊接，H 钢的翼缘板必然产生菌状变形，而且翼缘板与腹板的垂直度也有偏差，H 型钢矫正机可以解决这两个问题。其原理如图 6-5-10 所示。导辊布置在图剖面的前后，以校正垂直。从图的校平原理看出，可以是两侧下压，也可以是主动托辊上下，而两侧压辊只作左右调整。这样机构比较合理，但同时由于托辊的上下行动，其前后辊道也需要调整其高度。

(6) H 型钢拼、焊、矫组合机。在 H 型钢的制作过程中，其中 2 块翼缘板和 1 块腹板的拼装、点焊、焊接及焊后翼缘矫正，按常规工艺是由 3 台设备来完成的，而 H 型钢拼、焊、矫组合机将上述三道工序集于一身，具有结构紧凑、占地省、生产效率高等优点。表 6-5-5 为该机主要技术参数。

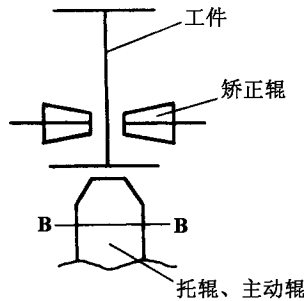


图 6-5-10 H 钢矫正原理

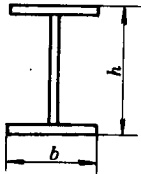
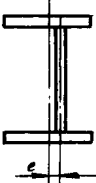
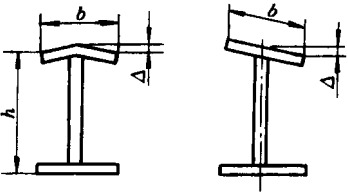
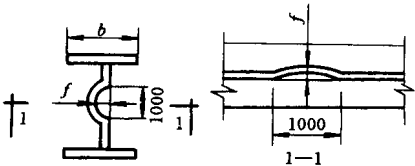
表 6-5-5 H 型钢拼、焊、矫组合机技术参数

名称	参数
适用 H 型钢翼板宽度 (mm)	150 ~ 800
适用 H 型钢翼板厚度 (mm)	6 ~ 25
适用 H 型钢腹板高度 (mm)	200 ~ 1200
适用 H 型钢腹板厚度 (mm)	5 ~ 16
整机总功率 (不含焊机) (kW)	15
系统压力 (MPa)	12

三、焊接 H 型钢的允许偏差

焊接 H 型钢翼缘板和腹板的气割下料公差、拼装 H 型钢的焊缝质量均应符合设计的要求和国家规范的有关规定。焊接 H 型钢的外形尺寸允许偏差见表 6-5-6。

表 6-5-6 焊接 H 型钢的允许偏差

项目		允许偏差 (mm)	图例
截面高度 (h)	$h < 500$	± 2.0	
	$500 \leq h \leq 1000$	± 3.0	
	$h > 1000$	± 4.0	
截面宽度 (b)		± 3.0	
腹板中心偏移		2.0	
翼缘板垂直度 (Δ)		$b/100$ 3.0	
弯曲矢高		$l/1000$ 5.0	
扭曲		$h/250$ 5.0	
腹板局部平面度 (f)	$t < 14$	3.0	
	$t \geq 14$	2.0	

第四节 箱型梁柱焊接生产线

随着钢结构行业的迅速发展，箱型梁柱在钢结构桥梁、建筑等方面的应用也越来越广泛，箱型梁柱焊接生产线被研制开发出来。

图 6-5-11 为箱型梁柱焊接生产线的生产工艺流程图。

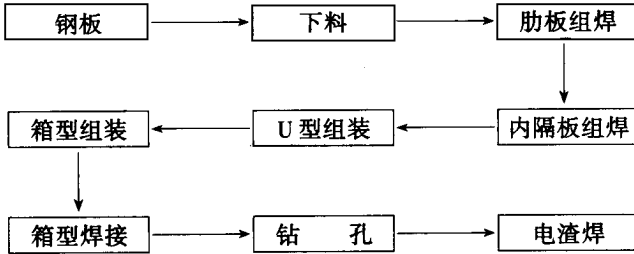


图 6-5-11 箱型梁柱生产工艺流程

箱型梁柱焊接生产线一般由隔板组装变位机、U型组立机、箱型梁柱组立机、箱型梁柱自动焊接机、链条式翻转机、门式电渣焊机、数控钻、端面铣等设备组成。生产线适用范围宽、生产效率高、工艺布局合理，适用于箱型梁柱的批量生产。

附录：

冷弯薄壁型钢结构技术规范

GB 50018—2002

1 总 则

1.0.1 为使冷弯薄壁型钢结构的设计和施工贯彻执行国家的技术经济政策，做到技术先进、经济合理、安全适用、确保质量，特制定本规范。

1.0.2 本规范适用于建筑工程的冷弯薄壁型钢结构的设计与施工。

1.0.3 本规范未考虑直接承受动力荷载的承重结构和受有强烈侵蚀作用的冷弯薄壁型钢结构的特殊要求。

1.0.4 本规范的设计原则是根据现行国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068 制定的。

1.0.5 设计冷弯薄壁型钢结构时，应结合工程实际，合理选用材料、结构方案和构造措施，保证结构在运输、安装和使用过程中满足强度、稳定性和刚度要求，符合防火、防腐要求。

1.0.6 冷弯薄壁型钢结构的设计和施工，除应符合本规范外，尚应符合现行有关国家标准的规定。

2 术语、符号

2.1 术 语

2.1.1 板件 elements

薄壁型钢杆件中相邻两纵边之间的平板部分。

2.1.2 加劲板件 stiffened elements

两纵边均与其他板件相连接的板件。

2.1.3 部分加劲板件 partially stiffened elements

一纵边与其他板件相连接，另一纵边由符合要求的边缘卷边加劲的板件。

2.1.4 非加劲板件 unstiffened elements

一纵边与其他板件相连接，另一纵边为自由的板件。

2.1.5 均匀受压板件 uniformly compressed elements

承受轴心均匀压力作用的板件。

2.1.6 非均匀受压板件 non-uniformly compressed elements

承受线性非均匀分布应力作用的板件。

2.1.7 子板件 sub-elements

一纵边与其他板件相连接，另一纵边与符合要求的中间加劲肋相连接或两纵边均与符合要求的中间加劲肋相连接的板件。

2.1.8 宽厚比 width - to - thickness ratio

板件的宽度与厚度之比。

2.1.9 有效宽厚比 effective width - to - thickness ratio

考虑受压板件利用屈曲后强度时，为了简化计算，将板件的宽度予以折减，折减后板件的计算宽度与板厚之比。

2.1.10 冷弯效应 effect of cold forming

因冷弯引起钢材性能改变的现象。

2.1.11 受力蒙皮作用 stressed skin action

与支承构件可靠连接的压型钢板体系所具有的抵抗板自身平面内剪切变形的能力。

2.1.12 喇叭形焊缝 flare groove welds

连接圆角与圆角或圆角与平板间隙处的焊缝。

2.2 符 号

2.2.1 作用及作用效应

B——双力矩；

F——集中荷载；

M——弯矩；

N——轴心力；

N_t ——一个连接件所承受的拉力；

N_v ——一个连接件所承受的剪力；

P——高强度螺栓的预拉力；

V——剪力。

2.2.2 计算指标

E——钢材的弹性模量；

G——钢材的剪变模量；

N_v^s ——电阻点焊每个焊点的抗剪承载力设计值；

N_t^b ——一个螺栓的抗拉承载力设计值；

N_v^b ——一个螺栓的抗剪承载力设计值；

N_c^b ——一个螺栓的承压承载力设计值；

N_t^f ——一个自攻螺钉或射钉的抗拉承载力设计值；

N_v^f ——一个连接件的抗剪承载力设计值；

f——钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值；

f_{ce} ——钢材的端面承压强度设计值；

f_v ——钢材的抗剪强度设计值；

f_y ——钢材的屈服强度；

f_c^b, f_t^b, f_v^b ——螺栓的承压、抗拉和抗剪强度设计值；

f_c^w, f_t^w, f_v^w ——对接焊缝的抗压、抗拉和抗剪强度设计值；

f_f^w ——角焊缝的抗压、抗拉和抗剪强度设计值；

σ ——正应力；

τ ——剪应力。

2.2.3 几何参数

A ——毛截面面积；

A_n ——净截面面积；

A_e ——有效截面面积；

A_{en} ——有效净截面面积；

H ——柱的高度；

H_0 ——柱的计算高度；

I ——毛截面惯性矩；

I_n ——净截面惯性矩；

I_t ——毛截面抗扭惯性矩；

I_ω ——毛截面扇性惯性矩；

I_{es} ——压型钢板边加劲肋的惯性矩；

I_{is} ——压型钢板中加劲肋的惯性矩；

S ——毛截面面积矩；

W ——毛截面模量；

W_n ——净截面模量；

W_ω ——毛截面扇性模量；

W_e ——有效截面模量；

W_{en} ——有效净截面模量；

a ——卷边的高度；格构式檩条上弦节间长度；连接件的间距；

a_{max} ——连接件的最大容许间距；

b ——截面或板件的宽度；

b_0 ——截面的计算宽度（或高度）；

b_s ——压型钢板中子板件的宽度；

b_e ——板件的有效宽度；

c ——与计算板件邻接的板件的宽度；

d ——直径；

d_0 ——构件中孔洞的直径；

d_e ——螺栓螺纹处的有效直径；

- e ——偏心距；
 e_a ——荷载作用点到弯心的距离；
 e_0 ——截面弯心在对称轴上的坐标（以形心为原点）；
 e_x ——等效偏心距；
 h ——截面或板件的高度；
 h_0 ——腹板的计算高度；
 h_f ——角焊缝的焊脚尺寸；
 i ——回转半径；
 l ——长度或跨度；侧向支承点间的距离；型钢截面中心线长度；
 l_w ——焊缝的计算长度；
 l_0 ——计算长度；
 l_w ——扭转屈曲的计算长度；
 r_i ——截面第 i 个棱角内表面的弯曲半径；
 t ——厚度；
 θ ——夹角；
 λ ——长细比；
 λ_0 ——换算长细比；
 λ_w ——弯扭屈曲的换算长细比。

2.2.4 计算系数

- k ——受压板件的稳定系数；
 k_1 ——板组约束系数；
 n ——连接处的螺栓数；两侧向支承点间的节间总数；
 n_c ——内力为压力的节间数；
 n_v ——每个螺栓的剪切面数；
 n_1 ——同一截面处的连接件数；
 α, β ——构件的约束系数；
 β_m ——等效弯矩系数；
 γ ——钢材抗拉强度与屈服强度的比值；
 γ_R ——抗力分项系数；
 ξ_1, ξ_2 ——计算受弯构件整体稳定系数时采用的系数；
 η ——计算受弯构件整体稳定系数时采用的系数；计算考虑冷弯效应的强度设计值时采用的系数；截面系数；
 ζ ——计算受弯构件整体稳定系数时采用的系数；
 μ ——刚架柱的计算长度系数；
 μ_b ——梁的侧向计算长度系数；

- ρ ——质量密度；受压板件有效宽厚比计算系数；
 φ ——轴心受压构件的稳定系数；
 φ_b, φ'_b ——受弯构件的整体稳定系数；
 ψ ——应力分布不均匀系数。

3 材 料

3.0.1 用于承重结构的冷弯薄壁型钢的带钢或钢板，应采用符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 规定的 Q235 钢和《低合金高强度结构钢》GB/T 1591 规定的 Q345 钢。当有可靠根据时，可采用其他牌号的钢材，但应符合相应有关国家标准的要求。

3.0.2 用于承重结构的冷弯薄壁型钢的带钢或钢板，应具有抗拉强度、伸长率、屈服强度、冷弯试验和硫、磷含量的合格保证；对焊接结构尚应具有碳含量的合格保证。

3.0.3 在技术经济合理的情况下，可在同一构件中采用不同牌号的钢材。

3.0.4 焊接采用的材料应符合下列要求：

1 手工焊接用的焊条，应符合现行国家标准《碳钢焊条》GB/T 5117 或《低合金钢焊条》GB/T 5118 的规定。选择的焊条型号应与主体金属力学性能相适应。

2 自动焊接或半自动焊接用的焊丝，应符合现行国家标准《熔化焊用钢丝》GB/T 14957 的规定。选择的焊丝和焊剂应与主体金属相适应。

3 二氧化碳气体保护焊接用的焊丝，应符合现行国家标准《气体保护电弧焊用碳钢、低合金钢焊丝》GB/T 8110 的规定。

4 当 Q235 钢和 Q345 钢相焊接时，宜采用与 Q235 钢相适应的焊条或焊丝。

3.0.5 连接件（连接材料）应符合下列要求：

1 普通螺栓应符合现行国家标准《六角头螺栓 C 级》GB/T 5780 的规定，其机械性能应符合现行国家标准《紧固件机械性能、螺栓、螺钉和螺柱》GB/T 3089.1 的规定。

2 高强度螺栓应符合现行国家标准《钢结构用高强度大六角头螺栓、大六角螺母、垫圈与技术条件》GB/T 1228 ~ 1231 或《钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副》GB/T 3632 ~ 3633 的规定。

3 连接薄钢板或其他金属板采用的自攻螺钉应符合现行国家标准《自钻自攻螺钉》GB/T 15856.1 ~ 4、GB/T 3098.11 或《自攻螺栓》GB/T 5282 ~ 5285 的规定。

3.0.6 在冷弯薄壁型钢结构设计图纸和材料订货文件中，应注明所采用的钢材的牌号和等级、供货条件等以及连接材料的型号（或钢材的牌号）。必要时尚应注明对钢材所要求的机械性能和化学成分的增加保证项目。

4 基本设计规定

4.1 设计原则

4.1.1 本规范采用以概率理论为基础的极限状态设计方法，以分项系数设计表达式进行计算。

4.1.2 冷弯薄壁型钢承重结构应按承载能力极限状态和正常使用极限状态进行设计。

4.1.3 设计冷弯薄壁型钢结构时的重要性系数 γ_0 应根据结构的安全等级、设计使用年限确定。

一般工业与民用建筑冷弯薄壁型钢结构的安全等级取为二级，设计使用年限为 50 年时，其重要性系数不应小于 1.0；设计使用年限为 25 年时，其重要性系数不应小于 0.95。特殊建筑冷弯薄壁型钢结构安全等级、设计使用年限另行确定。

4.1.4 按承载能力极限状态设计冷弯薄壁型钢结构，应考虑荷载效应的基本组合，必要时尚应考虑荷载效应的偶然组合，采用荷载设计值和强度设计值进行计算。荷载设计值等于荷载标准值乘以荷载分项系数；强度设计值等于材料强度标准值除以抗力分项系数，冷弯薄壁型钢结构的抗力分项系数 $\gamma_R = 1.165$ 。

4.1.5 按正常使用极限状态设计冷弯薄壁型钢结构，应考虑荷载效应的标准组合，采用荷载标准值和变形限值进行计算。

4.1.6 计算结构构件和连接时，荷载、荷载分项系数、荷载效应组合和荷载组合值系数的取值，应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定。

注：对支承轻屋面的构件或结构（屋架、框架等），当仅承受一个可变荷载，其水平投影面积超过 60m^2 时，屋面均布活荷载标准值宜取 $0.3\text{kN}/\text{m}^2$ 。

4.1.7 设计刚架、屋架、檩条和墙梁时，应考虑由于风吸力作用引起构件内力变化的不利影响，此时永久荷载的荷载分项系数应取 1.0。

4.1.8 结构构件的受拉强度应按净截面计算；受压强度应按有效净截面计算；稳定性应按有效截面计算。

4.1.9 构件的变形和各种稳定系数可按毛截面计算。

4.1.10 当采用不能滑动的连接件连接压型钢板及其支承构件形成屋面和墙面等围护体系时，可在单层房屋的设计中考虑受力蒙皮作用，但应同时满足下列要求：

1 应由试验或可靠的分析方法获得蒙皮组合体的强度和刚度参数，对结构进行整体分析和设计；

2 屋脊、檐口和山墙等关键部位的檩条、墙梁、立柱及其连接等，除了考虑直接作用的荷载产生的内力外，还必须考虑由整体分析算得的附加内力进行承载力验算；

3 必须在建成的建筑物的显眼位置设立永久性标牌，标明在使用和维护过程中，不得随意拆卸压型钢板，只有设置了临时支撑后方可拆换压型钢板，并在设计文件中加以规定。

4.2 设计指标

4.2.1 钢材的强度设计值应按表 4.2.1 采用。

表 4.2.1 钢材的强度设计值 (N/mm²)

钢材牌号	抗拉、抗压和抗弯	抗剪	端面承压 (磨平顶紧)
	f	f_v	f_{ce}
Q235 钢	205	120	310
Q345 钢	300	175	400

4.2.2 计算全截面有效的受拉、受压或受弯构件的强度,可采用按本规范附录 C 确定的考虑冷弯效应的强度设计值。

4.2.3 经退火、焊接和热镀锌等热处理的冷弯薄壁型钢构件不得采用考虑冷弯效应的强度设计值。

4.2.4 焊缝的强度设计值应按表 4.2.4 采用。

表 4.2.4 焊缝的强度设计值 (N/mm²)

构件钢材牌号	对接焊缝			角焊缝
	抗压 f_c^w	抗拉 f_t^w	抗剪 f_v^w	抗压、抗拉和抗剪 f_f^w
Q235 钢	205	175	120	140
Q345 钢	300	255	175	195

注: 1 当 Q235 钢与 Q345 钢对接焊接时, 焊缝的强度设计值应按表 4.2.4 中 Q235 钢栏的数值采用;
2 经 X 射线检查符合一、二级焊缝质量标准的对接焊缝的抗拉强度设计值采用抗压强度设计值。

4.2.5 C 级普通螺栓连接的强度设计值应按表 4.2.5 采用。

表 4.2.5 C 级普通螺栓连接的强度设计值 (N/mm²)

类别	性能等级	构件钢材的牌号	
	4.6 级、4.8 级	Q235 钢	Q345 钢
抗拉 f_t	165	—	—
抗剪 f_v	125	—	—
承压 f_c	—	290	370

4.2.6 电阻点焊每个焊点的抗剪承载力设计值应按表 4.2.6 采用。

表 4.2.6 电阻点焊的抗剪承载力设计值

相焊板件中外层较薄板件的厚度 t (mm)	每个焊点的抗剪承载力设计值 N_v^s (kN)	相焊板件中外层较薄板件的厚度 t (mm)	每个焊点的抗剪承载力设计值 N_v^s (kN)
0.4	0.6	2.0	5.9
0.6	1.1	2.5	8.0
0.8	1.7	3.0	10.2
1.0	2.3	3.5	12.6
1.5	4.0	—	—

4.2.7 计算下列情况的结构构件和连接时，本规范 4.2.1 至 4.2.6 条规定的强度设计值，应乘以下列相应的折减系数。

- 1 平面格构式檩条的端部主要受压腹杆：0.85；
- 2 单面连接的单角钢杆件：
 - 1) 按轴心受力计算强度和连接：0.85；
 - 2) 按轴心受压计算稳定性： $0.6 + 0.0014\lambda$ ；

注：对中间无联系的单角钢压杆， λ 为按最小回转半径计算的杆件长细比。

- 3 无垫板的单面对接焊缝：0.85；
- 4 施工条件较差的高空安装焊缝：0.90；
- 5 两构件的连接采用搭接或其间填有垫板的连接以及单盖板的不对称连接：0.90。

上述几种情况同时存在时，其折减系数应连乘。

4.2.8 钢材的物理性能应符合表 4.2.8 的规定。

表 4.2.8 钢材的物理性能

弹性模量 E (N/mm^2)	剪变模量 G (N/mm^2)	线膨胀系数 α (以每℃计)	质量密度 ρ (kg/m^3)
206×10^3	79×10^3	12×10^{-6}	7850

4.3 构造的一般规定

4.3.1 冷弯薄壁型钢结构构件的壁厚不宜大于 6mm，也不宜小于 1.5mm（压型钢板除外），主要承重结构构件的壁厚不宜小于 2mm。

4.3.2 构件受压部分的壁厚尚应符合下列要求：

- 1 构件中受压板件的最大宽厚比应符合表 4.3.2 的规定。

表 4.3.2 受压板件的宽厚比限值

板件类别	钢材牌号	Q235 钢	Q345 钢
非加劲板件		45	35
部分加劲板件		60	50
加劲板件		250	200

2 圆管截面构件的外径与壁厚之比，对于 Q235 钢，不宜大于 100；对于 Q345 钢，不宜大于 68。

4.3.3 构件的长细比应符合下列要求：

1 受压构件的长细比不宜超过表 4.3.3 中所列数值；

表 4.3.3 受压构件的容许长细比

项次	构件类别	容许长细比
1	主要构件（如主要承重柱、刚架柱、桁架和格构式刚架的弦杆及支座压杆等）	150
2	其他构件及支撑	200

2 受拉构件的长细比不宜超过 350，但张紧的圆钢拉条的长细比不受此限。当受拉构件在永久荷载和风荷载组合作用下受压时，长细比不宜超过 250；在吊车荷载作用下受压时，长细比不宜超过 200。

4.3.4 用缀板或缀条连接的格构式柱宜设置横隔，其间距不宜大于 2~3m，在每个运输单元的两端均应设置横隔。实腹式受弯及压弯构件的两端和较大集中荷载作用处应设置横向加劲肋，当构件腹板高厚比较大时，构造上宜设置横向加劲肋。

5 构件的计算

5.1 轴心受拉构件

5.1.1 轴心受拉构件的强度应按下式计算：

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \leq f \quad (5.1.1-1)$$

式中 σ ——正应力；

N ——轴心力；

A_n ——净截面面积；

f ——钢材的抗拉、抗压和抗弯强度设计值。

高强度螺栓摩擦型连接处的强度应按下列公式计算：

$$\sigma = \left(1 - 0.5 \frac{n_1}{n}\right) \frac{N}{A_n} \leq f \quad (5.1.1-2)$$

$$\sigma = \frac{N}{A} \leq f \quad (5.1.1-3)$$

式中 n_1 ——所计算截面（最外列螺栓）处的高强度螺栓数；
 n ——在节点或拼接处，构件一端连接的高强度螺栓数；
 A ——毛截面面积。

5.1.2 计算开口截面的轴心受拉构件的强度时，若轴心力不通过截面弯心（或不通过 Z 形截面的扇性零点），则应考虑双力矩的影响。

注：本条规定也适用于轴心受压、拉弯、压弯构件。

5.2 轴心受压构件

5.2.1 轴心受压构件的强度应按下列公式计算：

$$\sigma = \frac{N}{A_{en}} \leq f \quad (5.2.1)$$

式中 A_{en} ——有效净截面面积。

5.2.2 轴心受压构件的稳定性应按下列公式计算：

$$\frac{N}{\varphi A_e} \leq f \quad (5.2.2)$$

式中 φ ——轴心受压构件的稳定系数，应按本规范表 A.1.1-1 或表 A.1.1-2 采用；
 A_e ——有效截面面积。

5.2.3 计算闭口截面、双轴对称的开口截面和截面全部有效的不卷边的等边角钢轴心受压构件的稳定系数时，其长细比应取按下列公式算得的较大值：

$$\lambda_x = \frac{l_{0x}}{i_x} \quad (5.2.3-1)$$

$$\lambda_y = \frac{l_{0y}}{i_y} \quad (5.2.3-2)$$

式中 λ_x 、 λ_y ——构件对截面主轴 x 轴和 y 轴的长细比；
 l_{0x} 、 l_{0y} ——构件在垂直于截面主轴 x 轴和 y 轴的平面内的计算长度；
 i_x 、 i_y ——构件毛截面对其主轴 x 轴和 y 轴的回转半径。

5.2.4 计算单轴对称开口截面（如图 5.2.4 所示）轴心受压构件的稳定系数时，其长细比应取按公式 5.2.3-2 和下式算得的较大值：

$$\lambda_\omega = \lambda_x \sqrt{\frac{s^2 + i_0^2}{2s^2} + \sqrt{\left(\frac{s^2 + i_0^2}{2s^2}\right)^2 - \frac{i_0^2 - \alpha e_0^2}{s^2}}} \quad (5.2.4-1)$$

$$s^2 = \frac{\lambda_x^2}{A} \left(\frac{I_\omega}{I^2} + 0.039I_t \right) \quad (5.2.4-2)$$

$$i_0^2 = e_0^2 + i_x^2 + i_y^2 \quad (5.2.4-3)$$

式中 λ_ω ——弯扭屈曲的换算长细比；
 I_ω ——毛截面扇性惯性矩；
 I_t ——毛截面抗扭惯性矩；
 e_0 ——毛截面的弯心在对称轴上的坐标；
 l_ω ——扭转屈曲的计算长度， $l_\omega = \beta \cdot l$ ；
 l ——无缀板时，为构件的几何长度；有缀板时，取两相邻缀板中心线的最大间距；
 α, β ——约束系数，按表 5.2.4 采用。

表 5.2.4 开口截面轴心受压和压弯构件的约束系数

项次	构件两端的支承情况	无缀板		有缀板	
		α	β	α	β
1	两端铰接，端部截面可以自由翘曲	1.00	1.00	—	—
2	两端嵌固，端部截面的翘曲完全受到约束	1.00	0.50	0.80	1.00
3	两端铰接，端部截面的翘曲完全受到约束	0.72	0.50	0.80	1.00

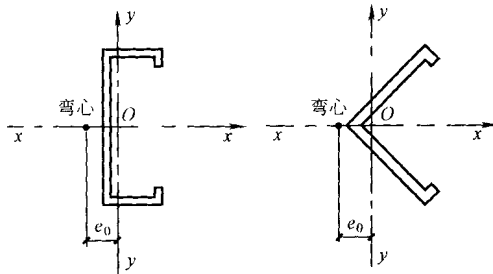


图 5.2.4 单轴对称开口截面示意图

5.2.5 有缀板的单轴对称开口截面轴心受压构件弯扭屈曲的换算长细比 λ_ω 可按公式 5.2.4-1 计算，约束系数 α, β 可按表 5.2.4 采用，但扭转屈曲的计算长度 $l_\omega = \beta \cdot a$ ， a 为缀板中心线的最大间距。

构件两支承点间至少应设置 2 块缀板（不包括构件支承点处的缀板或封头板在内）。

5.2.6 格构式轴心受压构件的稳定性应按公式 5.2.2 计算，其长细比应按下列规定取 λ_{0x} 和 λ_{0y} 中的较大值：

1 缀板连接的双肢格构式构件（如图 5.2.6a 所示）

$$\lambda_{0x} = \lambda_x \quad (5.2.6-1)$$

$$\lambda_{0y} = \sqrt{\lambda_y^2 + \lambda_1^2} \quad (5.2.6-2)$$

2 缀条连接的双肢格构式构件 (如图 5.2.6b 所示)

$$\lambda_{0x} = \lambda_x$$

$$\lambda_{0y} = \sqrt{\lambda_y^2 + 27 \frac{A}{A_1}} \quad (5.2.6-3)$$

3 缀条连接的三肢格构式构件 (如图 5.2.6c 所示)

$$\lambda_{0x} = \sqrt{\lambda_x^2 + \frac{42A}{A_1 (1.5 - \cos^2\theta)}} \quad (5.2.6-4)$$

$$\lambda_{0y} = \sqrt{\lambda_y^2 + \frac{42A}{A_1 \cdot \cos^2\theta}} \quad (5.2.6-5)$$

式中 λ_{0x} 、 λ_{0y} ——格构式构件的换算长细比；
 λ_x ——整个构件对 x 轴的长细比；
 λ_y ——整个构件对虚轴 (y 轴) 的长细比；
 λ_1 ——单肢对其自身主轴 (1 轴) 的长细比，计算长度取缀板间净距；
 A ——所有单肢毛截面的面积之和；
 A_1 ——构件横截面所截各斜缀条毛截面面积之和。

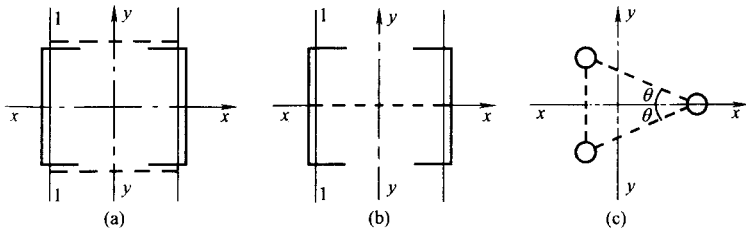


图 5.2.6 格构式构件截面示意图

格构式轴心受压构件，当缀材为缀条时，其分肢的长细比 λ_1 不应大于构件最大长细比 λ_{\max} 的 0.7 倍；当缀材为缀板时， λ_1 不应大于 40，且不应大于 λ_{\max} 的 0.5 倍（当 $\lambda_{\max} < 50$ 时，取 $\lambda_{\max} = 50$ ），此时可不计算单肢的强度和稳定性。

斜缀条与构件轴线间的夹角宜不小于 40° ，不大于 70° 。

5.2.7 格构式轴心受压构件的剪力应按下式计算：

$$V = \frac{fA}{80\sqrt{235}} \quad (5.2.7)$$

式中 V ——剪力；

A ——构件所有单肢毛截面面积之和；

f_y ——钢材的屈服强度，Q235 钢的 $f_y = 235\text{N/mm}^2$ ，Q345 钢的 $f_y = 345\text{N/mm}^2$ 。

剪力 V 值沿构件全长不变，由承受该剪力的有关缀板或缀条分担。

5.3 受弯构件

5.3.1 荷载通过截面弯心并与主轴平行的受弯构件（如图 5.3.1 所示）的强度和稳定性应按下列公式计算：

强度：
$$\sigma = \frac{M_{\max}}{W_{\text{enx}}} \leq f \quad (5.3.1-1)$$

$$\tau = \frac{V_{\max} S}{I t} \leq f_v \quad (5.3.1-2)$$

稳定性：
$$\frac{M_{\max}}{\varphi_{\text{bx}} W_{\text{ex}}} \leq f \quad (5.3.1-3)$$

式中 M_{\max} ——跨间对主轴 x 轴的最大弯矩；

V_{\max} ——最大剪力；

W_{enx} ——对主轴 x 轴的较小有效净截面模量；

τ ——剪应力；

S ——计算剪应力处以上截面对中和轴的面积矩；

I ——毛截面惯性矩；

t ——腹板厚度之和；

φ_{bx} ——受弯构件的整体稳定系数，应按本规范附录 A 中 A.2 的规定计算；

W_{ex} ——对截面主轴 x 轴的受压边缘的有效截面模量；

f_v ——钢材抗剪强度设计值。

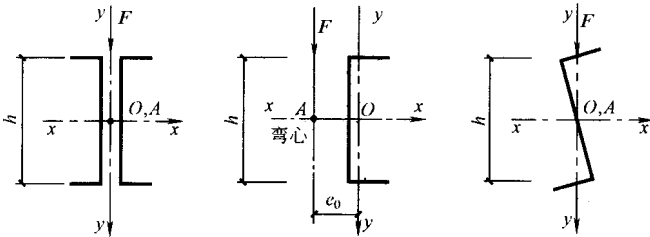


图 5.3.1 荷载通过弯心并与主轴平行的受弯构件截面示意图

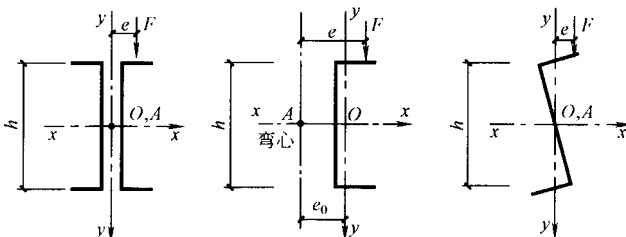


图 5.3.2 荷载偏离弯心但与主轴平行的受弯构件截面示意图

5.3.2 荷载偏离截面弯心但与主轴平行的受弯构件（如图 5.3.2 所示）的强度和稳定性应按下列公式计算：

$$\text{强度：} \quad \sigma = \frac{M}{W_{\text{enx}}} + \frac{B}{W_{\omega}} \leq f \quad (5.3.2-1)$$

$$\text{稳定性：} \quad \frac{M_{\text{max}}}{\varphi_{\text{bx}} W_{\text{ex}}} + \frac{B}{W_{\omega}} \leq f \quad (5.3.2-2)$$

式中 M ——计算弯矩；

B ——与所取弯矩同一截面的双力矩，当受弯构件的受压翼缘上有铺板，且与受压翼缘牢固相连并能阻止受压翼缘侧向变位和扭转时， $B = 0$ ，此时可不验算受弯构件的稳定性。其他情况， B 可按本规范附录 A 中 A.4 的规定计算；

W_{ω} ——与弯矩引起的应力同一验算点处的毛截面扇性模量。

剪应力可按公式 5.3.1-2 验算。

5.3.3 荷载偏离截面弯心且与主轴倾斜的受弯构件（如图 5.3.3 所示），当在构造上能保证整体稳定性时，其强度可按式 5.3.3-1 计算：

$$\sigma = \frac{M_x}{W_{\text{enx}}} + \frac{M_y}{W_{\text{eny}}} + \frac{B}{W_{\omega}} \leq f \quad (5.3.3-1)$$

式中 M_x 、 M_y ——对截面主轴 x 、 y 轴的弯矩（图 5.3.3 所示的截面中， x 轴为强轴， y 轴为弱轴）；

W_{eny} ——对截面主轴 y 轴的有效净截面模量。

x 轴和 y 轴方向的剪应力可分别按公式 5.3.1-2 验算。

上述受弯构件，当不能在构造上保证整体稳定性时，可按公式 5.3.3-2 计算其稳定性：

$$\frac{M_x}{\varphi_{\text{bx}} W_{\text{ex}}} + \frac{M_y}{W_{\text{ey}}} + \frac{B}{W_{\omega}} \leq f \quad (5.3.3-2)$$

式中 W_{ey} ——对截面主轴 y 轴的受压边缘的有效截面模量。

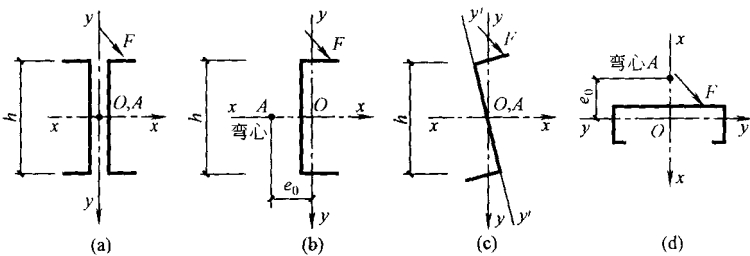


图 5.3.3 荷载偏离弯心且与主轴倾斜的受弯构件截面示意图

5.3.4 受弯构件支座处的腹板，当有加劲肋时应按公式 5.2.2 计算其平面外的稳定性，计算长度取受弯构件截面的高度，截面积取加劲肋截面积及加劲肋两侧各 15t

$\sqrt{235/f_y}$ 宽度范围内的腹板截面积之和 (t 为腹板厚度)。

支座处无加劲肋时, 应按第 7.1.7 条的规定验算局部受压承载力。

5.4 拉弯构件

5.4.1 拉弯构件的强度应按下列式计算:

$$\sigma = \frac{N}{A_n} \pm \frac{M_x}{W_{nx}} \pm \frac{M_y}{W_{ny}} \leq f \quad (5.4.1)$$

式中 W_{nx} 、 W_{ny} ——对截面主轴 x 、 y 轴的净截面模量。

若拉弯构件截面内出现受压区, 且受压板件的宽厚比大于第 5.6.1 条规定的有效宽厚比时, 则在计算其净截面特性时应按图 5.6.5 所示位置扣除受压板件的超出部分。

5.5 压弯构件

5.5.1 压弯构件的强度应按下列式计算:

$$\sigma = \frac{N}{A_{en}} \pm \frac{M_x}{W_{enx}} \pm \frac{M_y}{W_{eny}} \leq f \quad (5.5.1)$$

5.5.2 双轴对称截面的压弯构件, 当弯矩作用于对称平面内时, 应按公式 5.5.2-1 计算弯矩作用平面内的稳定性:

$$\frac{N}{\varphi A_e} + \frac{\beta_m M}{\left(1 - \frac{N}{N'_E}\right) W_e} \leq f \quad (5.5.2-1)$$

式中 M ——计算弯矩, 取构件全长范围内的最大弯矩;

β_m ——等效弯矩系数;

N'_E ——系数, $N'_E = \frac{\pi^2 EA}{1.165\lambda^2}$;

E ——钢材的弹性模量;

λ ——构件在弯矩作用平面内的长细比;

W_e ——对最大受压边缘的有效截面模量。

当弯矩作用在最大刚度平面内时 (如图 5.5.2 所示), 尚应按公式 5.5.2-2 计算弯矩作用平面外的稳定性:

$$\frac{N}{\varphi_y A_e} + \frac{\eta M_x}{\varphi_{bx} W_{ex}} \leq f \quad (5.5.2-2)$$

式中 η ——截面系数, 对闭口截面 $\eta = 0.7$, 对其他截面 $\eta = 1.0$;

φ_y ——对 y 轴的轴心受压构件的稳定系数, 其长细比应按公式 5.2.3-2 计算;

φ_{bx} ——当弯矩作用于最大刚度平面内时, 受弯构件的整体稳定系数, 应按本规范附录 A 中 A.2 的规定计算, 对于闭口截面可取 $\varphi_{bx} = 1.0$ 。

M_x 应取构件计算段的最大弯矩。

5.5.3 压弯构件的等效弯矩系数 β_m 应按下列规定采用:

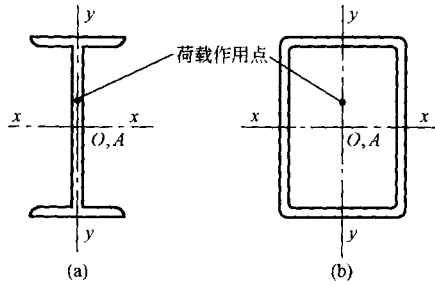


图 5.5.2 双轴对称截面示意图

1 构件端部无侧移且无中间横向荷载时：

$$\beta_m = 0.6 + 0.4 \frac{M_2}{M_1} \quad (5.5.3)$$

式中 M_1 、 M_2 ——分别为绝对值较大和较小的端弯矩，当构件以单曲率弯曲时 $\frac{M_2}{M_1}$ 取正值，当构件以双曲率弯曲时， $\frac{M_2}{M_1}$ 取负值。

2 构件端部无侧移但有中间横向荷载时：

$$\beta_m = 1.0$$

3 构件端部有侧移时：

$$\beta_m = 1.0$$

5.5.4 单轴对称开口截面（如图 5.2.4 所示）的压弯构件，当弯矩作用于对称平面内时，除应按第 5.5.2 条计算弯矩作用平面内的稳定性外，尚应按公式 5.2.2 计算其弯矩作用平面外的稳定性，此时，公式 5.2.2 中的轴心受压构件稳定系数 φ 应按公式 5.5.4-1 算得的弯扭屈曲的换算长细比 λ_ω 由本规范表 A.1.1-1 或表 A.1.1-2 查得。

$$\lambda_\omega = \lambda_x \sqrt{\frac{s^2 + a^2}{2s^2} + \sqrt{\left(\frac{s^2 + a^2}{2s^2}\right)^2 - \frac{a^2 - \alpha(e_0 - e_x)^2}{s^2}}} \quad (5.5.4-1)$$

$$a^2 = e_0^2 + i_x^2 + i_y^2 + 2e_x \left(\frac{U_y}{2I_y} - e_0 - \xi_2 e_a \right) \quad (5.5.4-2)$$

$$U_y = \int_A x(x^2 + y^2) dA \quad (5.5.4-3)$$

式中 e_x ——等效偏心距， $e_x = \pm \frac{\beta_m M}{N}$ ，当偏心在截面弯心一侧时 e_x 为负，当偏心在与截面弯心相对的另一侧时 e_x 为正。M 取构件计算段的最大弯矩；

ξ_2 ——横向荷载作用位置影响系数，查表 A.2.1；

s——计算系数，按公式 5.2.4-2 计算；

e_a ——横向荷载作用点到弯心的距离：对于偏心压杆或当横向荷载作用在弯心时 $e_a = 0$ ；当荷载不作用在弯心且荷载方向指向弯心时 e_a 为负，而离开弯心

时 e_a 为正。

若 $l_{0x} \leq l_{0y}$ ，当压弯构件采用本规范表 B.1.1-3 或表 B.1.1-4 中所列型钢或当 $e_x + \frac{e_0}{2} \leq 0$ 时，可不计算其弯矩作用平面外的稳定性。

当弯矩作用在对称平面内（如图 5.2.4 所示），且使截面在弯心一侧受压时，尚应按式计算：

$$\left| \frac{N}{A_e} - \frac{\beta_{my} M_y}{\left(1 - \frac{N}{N'_{Ey}}\right) W'_{ey}} \right| \leq f \quad (5.5.4-4)$$

式中 β_{my} ——对 y 轴的等效弯矩系数，应按第 5.5.3 条的规定采用；

W'_{ey} ——截面的较小有效截面模量；

N'_{Ey} ——系数， $N'_{Ey} = \frac{\pi^2 EA}{1.165 \lambda_y^2}$

5.5.5 单轴对称开口截面压弯构件，当弯矩作用于非对称主平面内时（如图 5.5.5 所示），除应按公式 5.5.5-1 计算其弯矩作用平面内的稳定性外，尚应按公式 5.5.5-2 计算其弯矩作用平面外的稳定性。

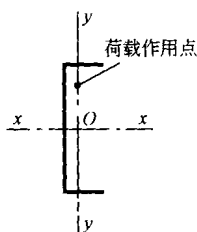


图 5.5.5 单轴对称开口截面绕对称轴弯曲示意图

$$\frac{N}{\varphi_x A_e} + \frac{\beta_m M_x}{\left(1 - \frac{N}{N'_{Ex}} \varphi_x\right) W_{ex}} + \frac{B}{W_\omega} \leq f \quad (5.5.5-1)$$

$$\frac{N}{\varphi_x A_e} + \frac{M_x}{\varphi_{bx} W_{ex}} + \frac{B}{W_\omega} \leq f \quad (5.5.5-2)$$

式中 φ_x ——对 x 轴的轴心受压构件的稳定系数，其长细比应按公式 5.2.4-1 计算；

N'_{Ex} ——系数， $N'_{Ex} = \frac{\pi^2 EA}{1.165 \lambda_x^2}$

5.5.6 双轴对称截面双向压弯构件的稳定性应按下列公式计算：

$$\frac{N}{\varphi_x A_e} + \frac{\beta_m M_x}{\left(1 - \frac{N}{N'_{Ex}} \varphi_x\right) W_{ex}} + \frac{\eta M_y}{\varphi_{by} W_{ey}} \leq f \quad (5.5.6-1)$$

$$\frac{N}{\varphi_y A_e} + \frac{\eta M_x}{\varphi_{bx} W_{ex}} + \frac{\beta_{my} M_y}{\left(1 - \frac{N}{N'_{Ey}} \varphi_y\right) W_{ey}} \leq f \quad (5.5.6-2)$$

式中 φ_{by} ——当弯矩作用于最小刚度平面内时，受弯构件的整体稳定系数，应按本规范附录 A 中 A.2 的规定计算；

β_{mx} ——对 x 轴的等效弯矩系数，应按第 5.5.3 条的规定采用。

5.5.7 格构式压弯构件，除应计算整个构件的强度和稳定性外，尚应计算单肢的强度和稳定性。

计算缀板或缀条内力用的剪力，应取构件的实际剪力和按第 5.2.7 条算得的剪力中的较大值。

5.5.8 格构式压弯构件，当弯矩绕实轴（x 轴）作用时，其弯矩作用平面内和平面外的整体稳定性计算均与实腹式构件相同，但在计算弯矩作用平面外的整体稳定性时，公式 5.5.2-2 中的 φ_y 应按第 5.2.6 条中的换算长细比 λ_{0y} 确定， φ_b 应取 1.0；当弯矩绕虚轴（y 轴）作用时，其弯矩作用平面内的整体稳定性应按下式计算：

$$\frac{N}{\varphi_y A_e} + \frac{\beta_{my} M_y}{\left(1 - \frac{N}{N'_{Ey}} \varphi_y\right) W_{ey}} \leq f \quad (5.5.8)$$

式中 φ_y 、 N'_{Ey} 均应按换算长细比 λ_{0y} 确定，弯矩作用平面外的整体稳定性可不计算，但应计算分肢的稳定性。

5.6 构件中的受压板件

5.6.1 加劲板件、部分加劲板件和非加劲板件的有效宽厚比应按下列公式计算：

当 $\frac{b}{t} \leq 18\alpha\rho$ 时：

$$\frac{b_e}{t} = \frac{b_c}{t} \quad (5.6.1-1)$$

当 $18\alpha\rho < \frac{b}{t} < 38\alpha\rho$ 时：

$$\frac{b_e}{t} = \left[\sqrt{\frac{21.8\alpha\rho}{\frac{b}{t}} - 0.1} \right] \frac{b_c}{t} \quad (5.6.1-2)$$

当 $\frac{b}{t} \geq 38\alpha\rho$ 时：

$$\frac{b_e}{t} = \frac{25\alpha\rho}{\frac{b}{t}} \cdot \frac{b_c}{t} \quad (5.6.1-3)$$

式中 b ——板件宽度；

t ——板件厚度；

b_e ——板件有效宽度；

α ——计算系数 $\alpha = 1.15 - 0.15\psi$ ，当 $\psi < 0$ 时，取 $\alpha = 1.15$ ；

ψ ——压应力分布不均匀系数， $\psi = \frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$ ；

σ_{\max} ——受压板件边缘的最大压应力 (N/mm²), 取正值;

σ_{\min} ——受压板件另一边缘的应力 (N/mm²), 以压应力为正, 拉应力为负;

b_c ——板件受压区宽度, 当 $\psi \geq 0$ 时, $b_c = b$; 当 $\psi < 0$ 时, $b_c = \frac{b}{1-\psi}$;

ρ ——计算系数, $\rho = \sqrt{\frac{205k_1k}{\sigma_1}}$, 其中 σ_1 按本规范第 5.6.7 条、5.6.8 条的规定确定;

k ——板件受压稳定系数, 按第 5.6.2 条的规定确定;

k_1 ——板组约束系数, 按第 5.6.3 条的规定采用; 若不计相邻板件的约束作用, 可取 $k_1 = 1$ 。

5.6.2 受压板件的稳定系数可按下列公式计算:

1 加劲板件。

当 $1 \geq \psi > 0$ 时:

$$k = 7.8 - 8.15\psi + 4.35\psi^2 \quad (5.6.2-1)$$

当 $0 \geq \psi \geq -1$ 时:

$$k = 7.8 - 6.29\psi + 9.78\psi^2 \quad (5.6.2-2)$$

2 部分加劲板件。

1) 最大压应力作用于支承边 (如图 5.6.2a 所示)。

当 $\psi \geq -1$ 时:

$$k = 5.89 - 11.59\psi + 6.68\psi^2 \quad (5.6.2-3)$$

2) 最大压应力作用于部分加劲边 (如图 5.6.2b 所示)。

当 $\psi \geq -1$ 时:

$$k = 1.15 - 0.22\psi + 0.045\psi^2 \quad (5.6.2-4)$$

3 非加劲板件。

1) 最大压应力作用于支承边 (如图 5.6.2c 所示)。

当 $1 \geq \psi > 0$ 时:

$$k = 1.70 - 3.025\psi + 1.75\psi^2 \quad (5.6.2-5)$$

当 $0 \geq \psi > -0.4$ 时:

$$k = 1.70 - 1.75\psi + 55\psi^2 \quad (5.6.2-6)$$

当 $-0.4 \geq \psi \geq -1$ 时:

$$k = 6.07 - 9.51\psi + 8.33\psi^2 \quad (5.6.2-7)$$

2) 最大压应力作用于自由边 (如图 5.6.2d 所示)。

当 $\psi \geq -1$ 时:

$$k = 0.567 - 0.213\psi + 0.071\psi^2 \quad (5.6.2-8)$$

注: 当 $\psi < -1$ 时, 以上各式的 k 值按 $\psi = -1$ 的值采用。

5.6.3 受压板件的板组约束系数应按下列公式计算:

当 $\xi \leq 1.1$ 时:

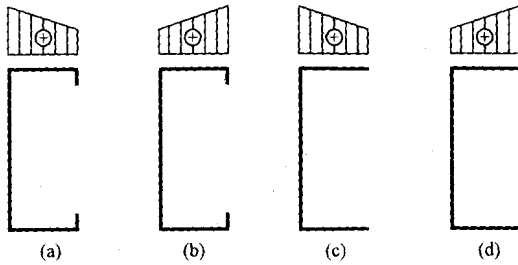


图 5.6.2 部分加劲板件和非加劲板件的应力分布示意图

$$k_1 = \frac{1}{\sqrt{\xi}} \quad (5.6.3-1)$$

当 $\xi > 1.1$ 时：

$$k_1 = 0.11 + \frac{0.93}{(\xi - 0.05)^2} \quad (5.6.3-2)$$

$$\xi = \frac{c}{b} \sqrt{\frac{k}{k_c}} \quad (5.6.3-3)$$

式中 b ——计算板件的宽度；

c ——与计算板件邻接的板件的宽度，如果计算板件两边均有邻接板件时，即计算板件为加劲板件时，取压应力较大一边的邻接板件的宽度；

k ——计算板件的受压稳定系数，由第 5.6.2 条确定；

k_c ——邻接板件的受压稳定系数，由第 5.6.2 条确定。

当 $k_1 > k'_1$ 时，取 $k_1 = k'_1$ ， k'_1 为 k_1 的上限值。对于加劲板件 $k'_1 = 1.7$ ；对于部分加劲板件 $k'_1 = 2.4$ ；对于非加劲板件 $k'_1 = 3.0$ 。

当计算板件只有一边有邻接板件，即计算板件为非加劲板件或部分加劲板件，且邻接板件受拉时，取 $k_1 = k'_1$ 。

5.6.4 部分加劲板件中卷边的高厚比不宜大于 12，卷边的最小高厚比应根据部分加劲板的宽厚比按表 5.6.4 采用。

表 5.6.4 卷边的最小高厚比

$\frac{b}{t}$	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
$\frac{a}{t}$	5.4	6.3	7.2	8.0	8.5	9.0	9.5	10.0	10.5	11.0

注：a——卷边的高度；

b ——带卷边板件的宽度；

c ——板厚。

5.6.5 当受压板件的宽厚比大于第 5.6.1 条规定的有效宽厚比时，受压板件的有

效截面应自截面的受压部分按图 5.6.5 所示位置扣除其超出部分（即图中不带斜线部分）来确定，截面的受拉部分全部有效。

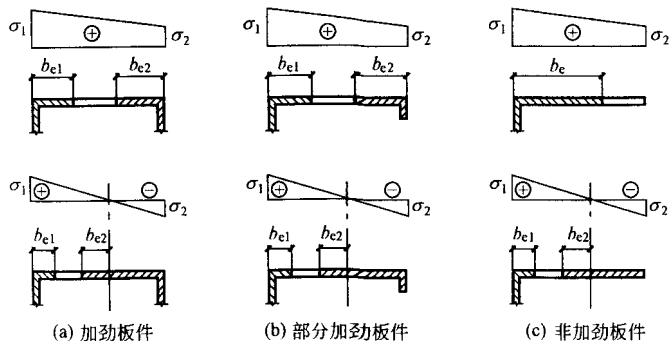


图 5.6.5 受压板件的有效截面图

图 5.6.5 中的 b_{e1} 和 b_{e2} 按下列规定计算：

对于加劲板件：

当 $\psi \geq 0$ 时：

$$b_{e1} = \frac{2b_e}{5 - \psi}, \quad b_{e2} = b_e - b_{e1} \quad (5.6.5-1)$$

当 $\psi < 0$ 时：

$$b_{e1} = 0.4b_e, \quad b_{e2} = 0.6b_e \quad (5.6.5-2)$$

对于部分加劲板件及非加劲板件：

$$b_{e1} = 0.4b_e, \quad b_{e2} = 0.6b_e \quad (5.6.5-3)$$

式中 b_e 按第 5.6.1 条确定。

5.6.6 圆管截面构件的外径与壁厚之比符合第 4.3.2 条的规定时，在计算中可取其截面全部有效。

5.6.7 在轴心受压构件中板件的有效宽厚比应根据由构件最大长细比所确定的轴心受压构件的稳定系数与钢材强度设计值的乘积 (φf) 作为 σ_1 按第 5.6.1 条的规定计算。

5.6.8 在拉弯、压弯和受弯构件中板件的有效宽厚比应按下列规定确定：

1 对于压弯构件，截面上各板件的压应力分布不均匀系数 ψ 应由构件毛截面按强度计算，不考虑双力矩的影响。最大压应力板件的 σ_1 取钢材的强度设计值 f ，其余板件的最大压应力按 ψ 推算。有效宽厚比按第 5.6.1 条的规定计算。

2 对于受弯及拉弯构件，截面上各板件的压应力分布不均匀系数 ψ 及最大压应力应由构件毛截面按强度计算，不考虑双力矩的影响。有效宽厚比按第 5.6.1 条的规定计算。

3 板件的受拉部分全部有效。

6 连接的计算与构造

6.1 连接的计算

6.1.1 对接焊缝和角焊缝的强度应按下列公式计算：

1 对接焊缝轴心受拉。

$$\sigma = \frac{N}{l_w t} \leq f_t^w \quad (6.1.1-1)$$

2 对接焊缝轴心受压。

$$\sigma = \frac{N}{l_w t} \leq f_c^w \quad (6.1.1-2)$$

3 对接焊缝受弯同时受剪。

拉应力：

$$\sigma = \frac{M}{W_f} \leq f_t^w \quad (6.1.1-3)$$

剪应力：

$$\tau = \frac{VS_f}{I_{ft}} \leq f_v^w \quad (6.1.1-4)$$

对接焊缝中剪应力 τ 和正应力 σ 均较大处：

$$\sqrt{\sigma^2 + 3\tau^2} \leq 1.1f_t^w \quad (6.1.1-5)$$

4 正面直角角焊缝受剪（作用力垂直于焊缝长度方向）。

$$\sigma_f = \frac{N}{0.7h_f l_w} \leq 1.22f_f^w \quad (6.1.1-6)$$

5 侧面直角角焊缝受剪（作用力平行于焊缝长度方向）。

$$\tau_f = \frac{N}{0.7h_f l_w} \leq f_f^w \quad (6.1.1-7)$$

6 在垂直于角焊缝长度方向的应力 σ_f 和沿角焊缝长度方向的剪应力 τ_f 共同作用处。

$$\sqrt{\left(\frac{\sigma_f}{1.22}\right)^2 + \tau_f^2} \leq f_f^w \quad (6.1.1-8)$$

式中 l_w ——焊缝计算长度之和。采用引弧板或引出板施焊的对接焊缝，每条焊缝的计算长度可取其实际长度 l ；不符合上述施焊方法的对接焊缝和所有角焊缝，每条焊缝的计算长度均取实际长度 l 减去 $2h_f$ ；

h_f ——角焊缝的焊脚尺寸；

t ——连接构件中较薄板件的厚度；

W_f ——焊缝截面模量；

S_f ——焊缝截面的最大面积矩；

I_f ——焊缝截面惯性矩；

σ_f ——垂直于焊缝长度方向的应力，按焊缝有效截面 ($0.7h_f l_w$) 计算；

τ_f ——沿焊缝长度方向的剪应力，按焊缝有效截面 ($0.7h_f l_w$) 计算；

f_c^w 、 f_t^w ——对接焊缝的抗压、抗拉强度设计值；

f_v^w ——对接焊缝的抗剪强度设计值；

f_t^w ——角焊缝的抗压、抗拉和抗剪强度设计值。

6.1.2 喇叭形焊缝的强度应按下列公式计算：

1 当连接板件的最小厚度小于或等于 4mm 时，轴力 N 垂直于焊缝轴线方向作用的焊缝（如图 6.1.2-1 所示）的抗剪强度应按下列公式计算：

$$\tau = \frac{N}{l_w t} \leq 0.8f \quad (6.1.2-1)$$

轴力 N 平行于焊缝轴线方向作用的焊缝（如图 6.1.2-2 所示）的抗剪强度应按下列公式计算：

$$\tau = \frac{N}{l_w t} \leq 0.7f \quad (6.1.2-2)$$

式中 t ——连接钢板的最小厚度；

l_w ——焊缝计算长度之和，每条焊缝的计算长度均取实际长度 l 减去 $2h_f$ ， h_f 应按图 6.1.2-3 确定；

f ——连接钢板的抗拉强度设计值。

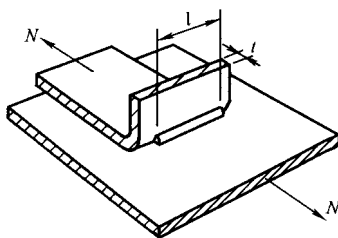
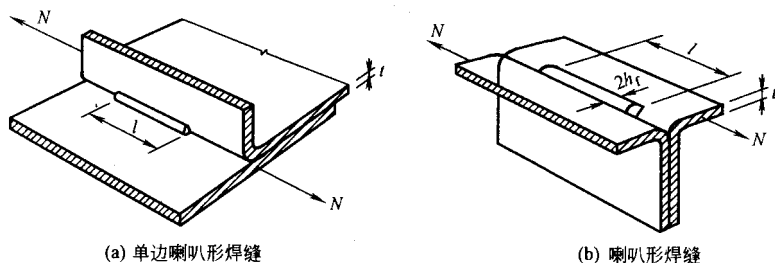


图 6.1.2-1 端缝受剪的单边喇叭形焊缝



(a) 单边喇叭形焊缝

(b) 喇叭形焊缝

图 6.1.2-2 纵向受剪的喇叭形焊缝

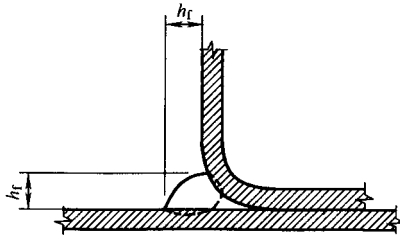


图 6.1.2-3 单边喇叭形焊缝

2 当连接板件的最小厚度大于 4mm 时,纵向受剪的喇叭形焊缝的强度除按公式 6.1.2-2 计算外,尚应按公式 6.1.1-7 做补充验算,但 h_f 应按图 6.1.2-2b 或图 6.1.2-3 确定。

6.1.3 电阻点焊可用于构件的缀合或组合连接,每个焊点所承受的最大剪力不得大于本规范表 4.2.6 中规定的抗剪承载力设计值。

6.1.4 普通螺栓的强度应按下列规定计算:

1 在普通螺栓杆轴方向受拉的连接中,每个螺栓所受的拉力不应大于按下式计算的抗拉承载力设计值 N_t^b 。

$$N_t^b = \frac{\pi d_e^2}{4} f_t^b \quad (6.1.4-1)$$

式中 d_e ——螺栓螺纹处的有效直径;

f_t^b ——螺栓的抗拉强度设计值。

2 在普通螺栓的受剪连接中,每个螺栓所受的剪力不应大于按下列公式计算的抗剪承载力设计值 N_v^b 和承压承载力设计值 N_c^b 的较小者。

抗剪承载力设计值:

$$N_v^b = n_v \frac{\pi d^2}{4} f_v^b \quad (6.1.4-2)$$

承压承载力设计值:

$$N_c^b = d \sum t f_c^b \quad (6.1.4-3)$$

式中 n_v ——剪切面数;

d ——螺杆直径,对于全螺纹螺栓,取 $d = d_e$;

$\sum t$ ——同一受力方向的承压构件的较小总厚度;

f_c^b 、 f_v^b ——螺栓的承压、抗剪强度设计值。

3 同时承受剪力和杆轴方向拉力的普通螺栓连接,应符合下列公式要求:

$$\sqrt{\left(\frac{N_v}{N_v^b}\right)^2 + \left(\frac{N_t}{N_t^b}\right)^2} \leq 1 \quad (6.1.4-4)$$

$$N_v \leq N_c^b \quad (6.1.4-5)$$

式中 N_v 、 N_t ——每个螺栓所承受的剪力和拉力。

6.1.5 高强度螺栓摩擦型连接中，高强度螺栓的强度应按下列公式计算：

1 每个螺栓所受的剪力不应大于按下式计算的抗剪承载力设计值 N_V^b 。

$$N_V^b = \alpha \cdot n_f \cdot \mu \cdot P \quad (6.1.5-1)$$

式中 α ——系数，当最小板厚 $t \leq 6\text{mm}$ 时取 0.8，当最小板厚 $t > 6\text{mm}$ 时取 0.9；

n_f ——传力摩擦面数；

μ ——抗滑移系数，应按表 6.1.5-1 采用；

P ——高强度螺栓的预拉力，应按表 6.1.5-2 采用。

表 6.1.5-1 抗滑移系数 μ 值

连接处构件接触面的处理方法	构件的钢材牌号	
	Q235	Q345
喷砂（丸）	0.40	0.45
热轧钢材轧制表面清除浮锈	0.30	0.35
冷轧钢材轧制表面清除浮锈	0.25	—

注：除锈方向应与受力方向相垂直。

表 6.1.5-2 高强度螺栓的预拉力 P 值（kN）

螺栓的性能等级	螺栓公称直径（mm）		
	M12	M14	M16
8.8 级	45	60	80
10.9 级	55	75	100

2 每个螺栓所受的沿螺栓杆轴方向的拉力不应大于按下式计算的抗拉承载力设计值 N_t^b 。

$$N_t^b = 0.8P \quad (6.1.5-2)$$

3 同时承受摩擦面间的剪力 N_V 和沿螺栓杆轴方向的拉力 N_t 作用的高强度螺栓应符合下列公式要求：

$$N_V \leq N_V^b = \alpha \cdot n_f \cdot \mu \cdot (P - 1.25N_t) \quad (6.1.5-3)$$

$$N_t \leq 0.8P \quad (6.1.5-4)$$

6.1.6 在构件的节点处或拼接接头的一端，当螺栓沿受力方向的连接长度 l_b 大于 $15d_0$ 时，应将螺栓的承载力设计值乘以折减系数 $(1.1 - \frac{l_b}{150d_0})$ ；当 l_b 大于 $60d_0$ 时，折减系数为 0.7， d_0 为孔径。

6.1.7 用于压型钢板之间和压型钢板与冷弯型钢构件之间紧密连接的抽芯铆钉

(拉铆钉)、自攻螺钉和射钉连接的强度可按下列规定计算：

1 在压型钢板与冷弯型钢等支承构件之间的连接件杆轴方向受拉的连接中，每个自攻螺钉或射钉所受的拉力应不大于按下列公式计算的抗拉承载力设计值。

当只受静荷载作用时：

$$N_t^f = 17tf \quad (6.1.7-1)$$

当受含有风荷载的组合荷载作用时：

$$N_t^f = 8.5tf \quad (6.1.7-2)$$

式中 N_t^f ——一个自攻螺钉或射钉的抗拉承载力设计值 (N)；

t ——紧挨钉头侧的压型钢板厚度 (mm)，应满足 $0.5\text{mm} \leq t \leq 1.5\text{mm}$ ；

f ——被连接钢板的抗拉强度设计值 (N/mm^2)。

当连接件位于压型钢板波谷的一个四分点时 (如图 6.1.7b 所示)，其抗拉承载力设计值应乘以折减系数 0.9；当两个四分点均设置连接件时 (如图 6.1.7c 所示) 则应乘以折减系数 0.7。

自攻螺钉在基材中的钻入深度 t_c 应大于 0.9mm ，其所受的拉力应不大于按下式计算的抗拉承载力设计值。

$$N_t^f = 0.75t_cdf \quad (6.1.7-3)$$

式中 d ——自攻螺钉的直径 (mm)；

t_c ——钉杆的圆柱状螺纹部分钻入基材中的深度 (mm)；

f ——基材的抗拉强度设计值 (N/mm^2)。

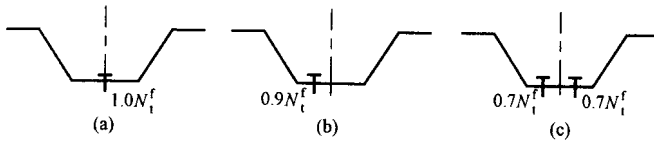


图 6.1.7 压型钢板连接示意图

2 当连接件受剪时，每个连接件所承受的剪力应不大于按下列公式计算的抗剪承载力设计值。

抽芯铆钉和自攻螺钉：

当 $\frac{t_1}{t} = 1$ 时：

$$N_v^f = 3.7 \sqrt{t^3 df} \quad (6.1.7-4)$$

且
$$N_v^f \leq 2.4tdf \quad (6.1.7-5)$$

当 $\frac{t_1}{t} \geq 2.5$ 时：

$$N_v^f = 2.4tdf \quad (6.1.7-6)$$

当 $\frac{t_1}{t}$ 介于 1 和 2.5 之间时， N_v^f 可由公式 6.1.7-4 和 6.1.7-6 插值得。

式中 N_V^f ——一个连接件的抗剪承载力设计值 (N);
 d ——铆钉或螺钉直径 (mm);
 t ——较薄板 (钉头接触侧的钢板) 的厚度 (mm);
 t_1 ——较厚板 (在现场形成钉头一侧的板或钉尖侧的板) 的厚度 (mm);
 f ——被连接钢板的抗拉强度设计值 (N/mm^2)

射钉:

$$N_V^f = 3.7tdf \quad (6.1.7-7)$$

式中 t ——被固定的单层钢板的厚度 (mm);
 d ——射钉直径 (mm);
 f ——被固定钢板的抗拉强度设计值 (N/mm^2)

当抽芯铆钉或自攻螺钉用于压型钢板端部与支承构件 (如檩条) 的连接时, 其抗剪承载力设计值应乘以折减系数 0.8。

3 同时承受剪力和拉力作用的自攻螺钉和射钉连接, 应符合下式要求:

$$\sqrt{\left(\frac{N_V}{N_V^f}\right)^2 + \left(\frac{N_t}{N_t^f}\right)^2} \leq 1 \quad (6.1.7-8)$$

式中 N_V 、 N_t ——一个连接件所承受的剪力和拉力;
 N_V^f 、 N_t^f ——一个连接件的抗剪和抗拉承载力设计值。

6.1.8 由两槽钢 (或卷边槽钢) 连接而成的组合工形截面 (如图 6.1.8 所示), 其连接件 (如焊缝、点焊、螺栓等) 的最大纵向间距 a_{\max} 应按下列规定采用:

1 对于压弯构件, 应取按下列公式算得之较小者。

$$a_{\max} = \frac{n_1 N_V^f I_y}{V S_y} \quad (6.1.8-1)$$

$$a_{\max} = \frac{l i_1}{2 i_y} \quad (6.1.8-2)$$

式中 n_1 ——同一截面处的连接件数;
 N_V^f ——一个连接件的抗剪承载力设计值, 对于电阻点焊可取 $N_V^f = N_V^s$;
 I_y ——组合工形截面对平行于腹板的重心轴 y 的惯性矩;
 V ——剪力, 取实际剪力及按第 5.2.7 条算得的剪力中的较大值;
 S_y ——单个槽钢对 y 轴的面积矩;
 l ——构件支承点间的长度;
 i_1 ——单个槽钢对其自身平行于腹板的重心轴的回转半径;
 i_y ——组合工形截面对 y 轴的回转半径。

2 对于受弯构件:

$$a_{\max} = \frac{2N_t^f h_0}{d q_0} \quad (6.1.8-3)$$

式中 N_t^f ——一个连接件的抗拉承载力设计值, 对电阻点焊可取 $N_t^f = 0.3N_V^s$;

- h_0 ——最靠近上、下翼缘的两排连接件间的垂直距离；
 d ——单个槽钢的腹板中面至其弯心的距离；
 q_0 ——等效荷载集度。

受弯构件的等效荷载集度应按下列规定采用：对于分布荷载应取实际荷载集度的 3 倍；对于集中荷载或反力，应将集中力除以荷载分布长度或连接件的纵向间距，取其中的较大值。

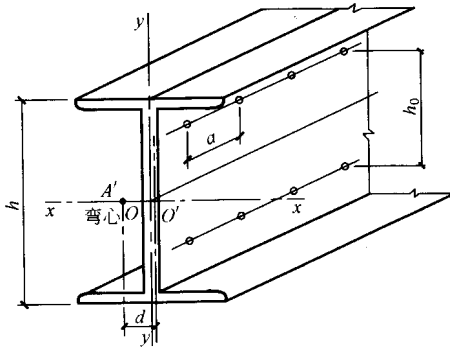


图 6.1.8 组合工形截面示意图

注：A'系单个槽钢的弯心；

O'系单个槽钢腹板中心线与对称轴 x 的交点。

6.2 连接的构造

6.2.1 当被连接板件的厚度 $t \leq 6\text{mm}$ 时，焊缝的计算长度不得小于 30mm ；当 $t > 6\text{mm}$ 时，不得小于 40mm 。角焊缝的焊脚尺寸不宜大于 $1.5t$ (t 为相连板件中较薄板件的厚度)。直接相贯的钢管节点的角焊缝焊脚尺寸可放大到 $2.0t$ 。

6.2.2 当采用喇叭形焊缝时，单边喇叭形焊缝的焊脚尺寸 h_f (如图 6.1.2-3 所示) 不得小于被连接板件的最小厚度的 1.4 倍。

6.2.3 电阻点焊的焊点中距不宜小于 $15\sqrt{t}$ (mm)，焊点边距不宜小于 $10\sqrt{t}$ (mm) (t 系被连接板件中较薄板件的厚度)。

6.2.4 螺栓的中距不得小于螺栓孔径 d_0 的 3 倍，端距不得小于螺栓孔径的 2 倍，边距不得小于螺栓孔径的 1.5 倍 (如图 6.2.4 所示)。在靠近弯角边缘处的螺栓孔边距，尚应满足使用紧固工具的要求。

6.2.5 抽芯铆钉 (拉铆钉) 和自攻螺钉的钉头部分应靠在较薄的板件一侧。连接件的中距和端距不得小于连接件直径的 3 倍，边距不得小于连接件直径的 1.5 倍。受力连接中的连接件数不宜少于 2 个。

6.2.6 抽芯铆钉的适用直径为 $2.6 \sim 6.4\text{mm}$ ，在受力蒙皮结构中宜选用直径不小于 4mm 的抽芯铆钉；自攻螺钉的适用直径为 $3.0 \sim 8.0\text{mm}$ ，在受力蒙皮结构中宜选用直径

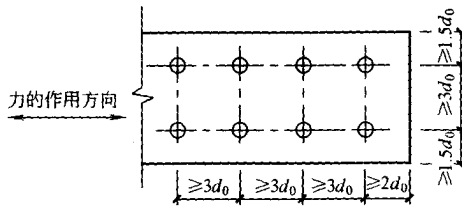


图 6.2.4 螺栓最小间距示意图

不小于 5mm 的自攻螺钉。

6.2.7 自攻螺钉连接的板件上的预制孔径 d_0 应符合下式要求：

$$d_0 = 0.7d + 0.2t_t \quad (6.2.7-1)$$

且 $d_0 \leq 0.9d \quad (6.2.7-2)$

式中 d ——自攻螺钉的公称直径 (mm)；

t_t ——被连接板的总厚度 (mm)。

6.2.8 射钉只用于薄板与支承构件 (即基材如檩条) 的连接。射钉的间距不得小于射钉直径的 4.5 倍, 且其中距不得小于 20mm, 到基材的端部和边缘的距离不得小于 15mm, 射钉的适用直径为 3.7~6.0mm。

射钉的穿透深度 (指射钉尖端到基材表面的深度, 如图 6.2.8 所示) 应不小于 10mm。

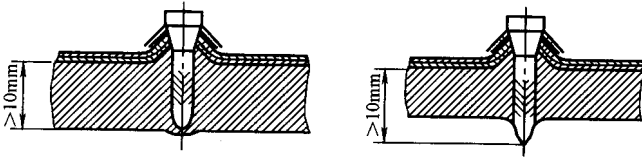


图 6.2.8 射钉的穿透深度

基材的屈服强度应不小于 $150\text{N}/\text{mm}^2$, 被连钢板的最大屈服强度应不大于 $360\text{N}/\text{mm}^2$ 。基材和被连钢板的厚度应满足表 6.2.8-1 和表 6.2.8-2 的要求。

表 6.2.8-1 被连钢板的最大厚度 (mm)

射钉直径 (mm)	≥3.7	≥4.5	≥5.2
单一方向			
单层被固定钢板最大厚度	1.0	2.0	3.0
多层被固定钢板最大厚度	1.4	2.5	3.5


射钉直径 (mm)	≥ 3.7	≥ 4.5	≥ 5.2
相反方向			
所有被固定钢板最大厚度	2.8	5.0	7.0

表 6.2.8-2 基材的最小厚度

射钉直径 (mm)	≥ 3.7	≥ 4.5	≥ 5.2
最小厚度 (mm)	4.0	6.0	8.0

6.2.9 在抗拉连接中，自攻螺钉和射钉的钉头或垫圈直径不得小于 14mm；且应通过试验保证连接件由基材中的拔出强度不小于连接件的抗拉承载力设计值。

7 压型钢板

7.1 压型钢板的计算

7.1.1 本节有关压型钢板计算的规定仅适用于屋面板、墙板和组合效应的压型钢板楼板。

7.1.2 压型钢板（如图 7.1.2 所示）受压翼缘的有效宽厚比应按下列规定采用：

- 1 两纵边均与腹板相连，或一纵边与腹板相连、另一纵边与符合第 7.1.4 条要求的中间加劲肋相连的受压翼缘，可按加劲板件由本规范第 5.6.1 条确定其有效宽厚比；
- 2 有一纵边与符合第 7.1.4 条要求的边加劲肋相连的受压翼缘，可按部分加劲板件由本规范第 5.6.1 条确定其有效宽厚比。

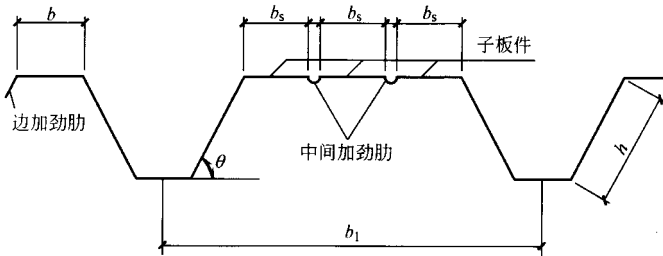


图 7.1.2 压型钢板截面示意图

7.1.3 压型钢板腹板的有效宽厚比应按本规范第 5.6.1 条规定采用。

7.1.4 压型钢板受压翼缘的纵向加劲肋应符合下列规定：
边加劲肋：

$$I_{es} \geq 1.83t^4 \sqrt{\left(\frac{b}{t}\right)^2 - \frac{27100}{f_y}} \quad (7.1.4-1)$$

且 $I_{es} \geq 9t^4$

中间加劲肋：

$$I_{is} \geq 3.66t^4 \sqrt{\left(\frac{b_s}{t}\right)^2 - \frac{27100}{f_y}} \quad (7.1.4-2)$$

且 $I_{is} \geq 18t^4$

式中 I_{es} ——边加劲肋截面对平行于被加劲板件截面之重心轴的惯性矩；

I_{is} ——中间加劲肋截面对平行于被加劲板件截面之重心轴的惯性矩；

b_s ——子板件的宽度；

b ——边加劲板件的宽度；

t ——板件的厚度。

7.1.5 压型钢板的强度可取一个波距或整块压型钢板的的有效截面，按受弯构件计算。

7.1.6 压型钢板腹板的剪应力应符合下列公式的要求：

当 $h/t < 100$ 时：

$$\tau \leq \tau_{cr} = \frac{8550}{(h/t)} \quad (7.1.6-1)$$

$$\tau \leq f_v \quad (7.1.6-2)$$

当 $h/t \geq 100$ 时：

$$\tau \leq \tau_{cr} = \frac{855000}{(h/t)^2} \quad (7.1.6-3)$$

式中 τ ——腹板的平均剪应力 (N/mm^2)；

τ_{cr} ——腹板的剪切屈曲临界剪应力；

h/t ——腹板的高厚比。

7.1.7 压型钢板支座处的腹板，应按下式验算其局部受压承载力：

$$R \leq R_w \quad (7.1.7-1)$$

$$R_w = \alpha^2 \sqrt{fE} (0.5 + \sqrt{0.02l_c/t}) [2.4 + (\theta/90)^2] \quad (7.1.7-2)$$

式中 R ——支座反力；

R_w ——一块腹板的局部受压承载力设计值；

α ——系数，中间支座取 $\alpha = 0.12$ ，端部支座取 $\alpha = 0.06$ ；

t ——腹板厚度 (mm)；

l_c ——支座处的支承长度， $10mm < l_c < 200mm$ ，端部支座可取 $l_c = 10mm$ ；

θ ——腹板倾角 ($45^\circ \leq \theta \leq 90^\circ$)。

7.1.8 压型钢板同时承受弯矩 M 和支座反力 R 的截面，应满足下列要求：

$$M/M_u \leq 1.0 \quad (7.1.8-1)$$

$$R/R_w \leq 1.0 \quad (7.1.8-2)$$

$$M/M_u + R/R_w \leq 1.25 \quad (7.1.8-3)$$

式中 M_u ——截面的弯曲承载力设计值, $M_u = W_{ef}$ 。

7.1.9 压型钢板同时承受弯矩 M 和剪力 V 的截面, 应满足下列要求:

$$\left(\frac{M}{M_u}\right)^2 + \left(\frac{V}{V_u}\right)^2 \leq 1 \quad (7.1.9)$$

式中 V_u ——腹板的抗剪承载力设计值, $V_u = (ht \cdot \sin\theta) \tau_{cr}$, τ_{cr} 按第 7.1.6 条的规定计算。

7.1.10 在压型钢板的一个波距上作用集中荷载 F 时, 可按下式将集中荷载 F 折算成沿板宽方向的均布线荷载 q_{re} , 并按 q_{re} 进行单个波距或整块压型钢板有效截面的弯曲计算。

$$q_{re} = \eta \frac{F}{b_1} \quad (7.1.10)$$

式中 F ——集中荷载;

b_1 ——压型钢板的波距;

η ——折算系数, 由试验确定; 无试验依据时, 可取 $\eta = 0.5$ 。

屋面压型钢板的施工或检修集中荷载按 1.0kN 计算, 当施工荷载超过 1.0kN 时, 则应按实际情况取用。

7.1.11 压型钢板的挠度与跨度之比不宜超过下列限值:

屋面板: 屋面坡度 $< 1/20$ 时 $1/250$, 屋面坡度 $\geq 1/20$ 时 $1/200$;

墙板: $1/150$;

楼板: $1/200$ 。

7.1.12 仅作模板使用的压型钢板上的荷载, 除自重外, 尚应计入湿钢筋混凝土楼板重和可能出现的施工荷载。如施工中采取了必要的措施, 可不考虑浇注混凝土的冲击力, 挠度计算时可不计施工荷载。

7.2 压型钢板的构造

7.2.1 压型钢板腹板与翼缘水平面之间的夹角 θ 不宜小于 45° 。

7.2.2 压型钢板宜采用镀锌钢板、镀铝锌钢板或在其基材上涂有彩色有机涂层的钢板辊压成型。

7.2.3 屋面、墙面压型钢板的基材厚度宜取 $0.4 \sim 1.6\text{mm}$, 用作楼面模板的压型钢板厚度不宜小于 0.5mm 。压型钢板宜采用长尺板材, 以减少板长方向之搭接。

7.2.4 压型钢板长度方向的搭接端必须与支承构件(如檩条、墙梁等)有可靠的连接, 搭接部位应设置防水密封胶带, 搭接长度不宜小于下列限值:

波高 $\geq 70\text{mm}$ 的高波屋面压型钢板: 350mm ;

波高 $< 70\text{mm}$ 的低波屋面压型钢板: 屋面坡度 $\leq 1/10$ 时 250mm , 屋面坡度 $> 1/10$ 时 200mm ;

墙面压型钢板：120mm。

7.2.5 屋面压型钢板侧向可采用搭接式、扣合式或咬合式等连接方式。当侧向采用搭接式连接时，一般搭接一波，特殊要求时可搭接两波。搭接处用连接件紧固，连接件应设置在波峰上，连接件应采用带有防水密封胶垫的自攻螺钉。对于高波压型钢板，连接件间距一般为 700~800mm；对于低波压型钢板，连接件间距一般为 300~400mm。

当侧向采用扣合式或咬合式连接时，应在檩条上设置与压型钢板波形相配套的专门固定支座，固定支座与檩条用自攻螺钉或射钉连接，压型钢板搁置在固定支座上。两片压型钢板的侧边应确保在风吸力等因素作用下的扣合或咬合连接可靠。

7.2.6 墙面压型钢板之间的侧向连接宜采用搭接连接，通常搭接一个波峰，板与板的连接件可设在波峰，亦可设在波谷。连接件宜采用带有防水密封胶垫的自攻螺钉。

7.2.7 铺设高波压型钢板屋面时，应在檩条上设置固定支架，檩条上翼缘宽度应比固定支架宽度大 10mm。固定支架用自攻螺钉或射钉与檩条连接，每波设置一个；低波压型钢板可不设固定支架，宜在波峰处采用带有防水密封胶垫的自攻螺钉或射钉与檩条连接，连接件可每波或隔波设置一个，但每块低波压型钢板不得小于 3 个连接件。

7.2.8 用作非组合楼面的压型钢板支承在钢梁上时，其支承长度不得小于 50mm；支承在混凝土、砖石砌体等其他材料上时，支承长度不得小于 75mm。在浇注混凝土前，应将压型钢板上的油脂、污垢等有害物质清理干净。

7.2.9 铺设楼面压型钢板时，应避免过大的施工集中荷载，必要时可设置临时支撑。

8 檩条与墙梁

8.1 檩条的计算

8.1.1 屋面能起阻止檩条侧向失稳和扭转作用的实腹式檩条（如图 8.1.1 所示）的强度可按式计算：

$$\sigma = \frac{M_x}{W_{enx}} + \frac{M_y}{W_{eny}} \leq f \quad (8.1.1-1)$$

屋面不能阻止檩条侧向失稳和扭转的实腹式檩条的稳定性可按式计算：

$$\frac{M_x}{\varphi_b W_{ex}} + \frac{M_y}{W_{ey}} \leq f \quad (8.1.1-2)$$

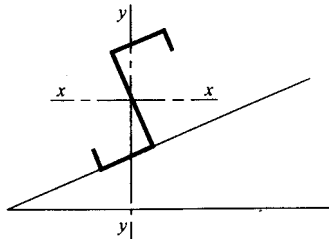


图 8.1.1 实腹式檩条示意图

8.1.2 当风荷载使实腹式檩条下翼缘受压时，其稳定性可按公式 8.1.1-2 计算。

8.1.3 平面格构式檩条上弦的强度按公式 5.5.1 计算，稳定性可按下式计算：

$$\frac{N}{\varphi_{\min} A_e} + \frac{M_x}{W_{ex}} + \frac{M_y}{W_{ey}} \leq f \quad (8.1.3-1)$$

式中 φ_{\min} ——轴心受压构件的稳定系数，根据构件的最大长细比按本规范附录 A 表 A.1.1 采用；

M_x 、 M_y ——对檩条上弦截面主轴 x 和 y 的弯矩， x 轴垂直于屋面。

公式中的弯矩 M_x 和 M_y 可按下列规定采用：

1 计算 M_x 时，拉条可作为侧向支承点。计算强度时，支承点处的 M_x 可按下式计算：

$$M_x = \frac{q_y l_1^2}{10} \quad (8.1.3-2)$$

计算稳定性时， M_x 可取侧向支承点间全长范围内的最大弯矩。

2 节点和跨中处：

$$M_y = \frac{q_x a^2}{10} \quad (8.1.3-3)$$

式中 l_1 ——侧向支承点间的距离；

a ——上弦的节间长度；

q_x ——垂直于屋面方向的均布荷载分量；

q_y ——平行于屋面方向的均布荷载分量。

8.1.4 当风荷载作用下平面格构式檩条下弦受压时，下弦应采用型钢，其强度和稳定性可按下列公式计算：

强度：

$$\sigma = \frac{N}{A_{en}} \leq f \quad (8.1.4-1)$$

稳定性：

$$\frac{N}{\varphi_{\min} A_e} \leq f \quad (8.1.4-2)$$

8.1.5 平面格构式檩条受压弦杆在平面内的计算长度应取节间长度，平面外的计算长度应取侧向支承点间的距离（布置在弦杆处的拉条可作为侧向支承点），腹杆在平面内、外的计算长度均取节点几何长度。

端压腹杆的长细比不得大于 150。

8.1.6 檩条在垂直屋面方向的容许挠度与其跨度之比，可按下列规定采用：

1 瓦楞铁屋面：1/150；

2 压型钢板、钢丝网水泥瓦和其他水泥制品瓦材屋面：1/200。

8.2 檩条的构造

8.2.1 实腹式檩条可采用檩托与屋架、刚架相连接（如图 8.2.1 所示）。

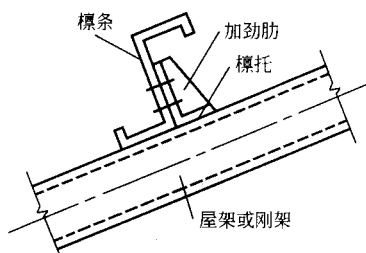


图 8.2.1 实腹式檩条端部连接示意图

8.2.2 平面格构式檩条的高度可取跨度的 $1/12 \sim 1/20$ 。

平面格构式檩条的端压腹杆应采用型钢。

当风荷载使平面格构式檩条下弦受压时，宜在檩条上、下弦杆处均设置拉条和撑杆。

8.2.3 实腹式檩条跨度大于 4m 时，在受压翼缘应设置拉条或撑杆，拉条和撑杆的截面应按计算确定。圆钢拉条直径不宜小于 10mm ，撑杆的长细比不得大于 200 。

当檩条上、下翼缘表面均设置压型钢板，并与檩条牢固连接时可不设拉条和撑杆。

8.2.4 利用檩条作为水平支撑压杆时，檩条长细比不得大于 200 （拉条和撑杆可作为侧向支承点），并应按压弯构件验算其强度和稳定性。

8.3 墙梁的计算

8.3.1 简支墙梁（如图 5.3.3d 所示）的强度应按公式 5.3.3-1 和下列公式计算：

$$\tau_x = \frac{3V_{x\max}}{4b_0t} \leq f_v \quad (8.3.1-1)$$

$$\tau_y = \frac{3V_{y\max}}{2h_0t} \leq f_v \quad (8.3.1-2)$$

式中 $V_{x\max}$ 、 $V_{y\max}$ ——竖向荷载设计值（ q_x ）和水平风荷载设计值（ q_y ）所产生的剪力的最大值；

b_0 、 h_0 ——墙梁截面沿截面主轴 x 、 y 方向的计算高度，取相交板件连接处两内弧起点间的距离；

t ——墙梁截面的厚度。

两侧挂墙板的墙梁和一侧挂墙板、另一侧设有可阻止其扭转变形的拉杆的墙梁，可不计弯扭双力矩的影响（即可取 $B=0$ ）。

8.3.2 若构造上不能保证墙梁的整体稳定时，尚需按公式 5.3.3-2 计算其稳定性，但公式中的 φ_{bx} 应按仅作用着 M_x （忽略 M_y 及 B 的影响）的情况由附录 A 中 A.2 的规定计算。

8.3.3 墙梁的容许挠度与其跨度之比，可按下列规定采用：

1 压型钢板、瓦楞铁墙面（水平方向）： $1/150$ ；

2 窗洞顶部的墙梁（水平方向和竖向）：1/200。

且其竖向挠度不得大于 10mm。

8.4 墙梁的构造

8.4.1 墙梁主要承受水平风荷载，宜将其刚度较大主平面置于水平方向。

8.4.2 当墙梁跨度大于 4m 时，宜在跨中设置一道拉条；当墙梁跨度大于 6m 时，可在跨间三分点处各设置一道拉条。拉条承担的墙体自重通过斜拉条传至承重柱或墙架柱，一般每隔 5 道拉条设置一对斜拉条（如图 8.4.2 所示），以分段传递墙体自重。

圆钢拉条直径不宜小于 10mm，所需截面面积应通过计算确定。

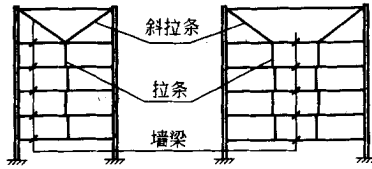


图 8.4.2 拉条布置示意图

9 屋架

9.1 屋架的计算

9.1.1 计算屋架各杆件内力时，假定各节点均为铰接，次应力可不计算，但应考虑在屋面风吸力的作用下，可能导致屋架杆件内力变号的不利影响，并核算屋架支座锚栓的抗拉承载力。

9.1.2 屋架杆件的计算长度（如图 9.1.2 所示）可按下列规定采用：

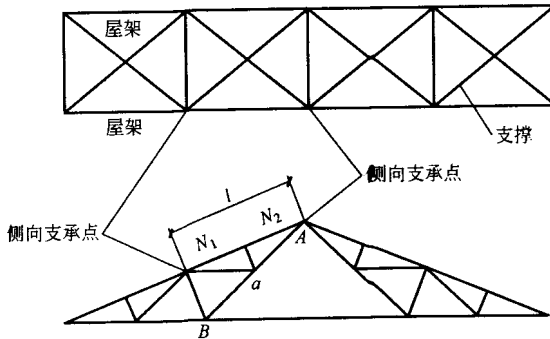


图 9.1.2 屋架杆件计算长度示意图

1 在屋架平面内，各杆件的计算长度可取节点间的距离；

2 在屋架平面外，弦杆应取侧向支承点间的距离；腹杆取节点间的距离（图 9.1.2 中的腹杆 a 应取 AB 间的距离），如等节间的受压弦杆或腹杆之侧向支承点间的距离为

节间长度的 2 倍，且内力不等时，其计算长度应按下列式确定：

$$l_0 = \left(0.75 + 0.25 \frac{N_2}{N_1} \right) l \quad (9.1.2-1)$$

且 $l_0 \geq 0.5l$ (9.1.2-2)

式中 l_0 ——杆件的计算长度；

l ——杆件的侧向支承点间的距离；

N_1 ——较大的压力，计算时取正值；

N_2 ——较小的压力或拉力，计算时压力取正值，拉力取负值。

侧向不能移动的点（支撑点或节点），可作为屋架的侧向支承点。当檩条、系杆或其他杆件未与水平（或垂直）支撑节点或其他不移动点相连接时，不能作为侧向支承点。

9.2 屋架的构造

9.2.1 两端简支的跨度不小于 15m 的三角形屋架和跨度不小于 24m 的梯形或平行弦屋架，当下弦无曲折时，宜起拱，拱度可取跨度的 1/500。

9.2.2 屋盖应设置支撑体系。当支撑采用圆钢时，必须具有拉紧装置。

9.2.3 屋架杆件宜采用薄壁钢管（方管、矩形管、圆管）。

9.2.4 屋架杆件的接长宜采用焊接或螺栓连接，且须与杆件等强。接长连接应设置在杆件内力较小的节间内。屋架拼装接头的数量及位置应按施工及运输条件确定。

9.2.5 屋架节点的构造应符合下列要求：

- 1 杆件重心轴线宜汇交于节点中心；
- 2 应在薄弱处增设加强板或采取其他措施增强节点的刚度；
- 3 应便于施焊、清除污物和涂刷油漆。

10 刚架

10.1 刚架的计算

10.1.1 刚架梁、柱的强度和稳定性应按下列规定计算：

1 刚架梁在刚架平面内可仅按压弯构件计算其强度；实腹式刚架梁应按压弯构件计算其在刚架平面外的稳定性；

2 实腹式刚架柱应按压弯构件计算其强度和稳定性；

3 格构式刚架柱应按压弯构件计算其强度和弯矩作用平面内的稳定性；

4 格构式刚架梁和柱的弦杆、腹杆以及缀条等应分别按轴心受拉及轴心受压构件计算各单个杆件的强度和稳定性；

5 变截面刚架柱的稳定性可按最大弯矩处的有效截面进行计算，此时，轴心力应取与最大弯矩同一截面处的轴心力。

10.1.2 单跨门式刚架柱，在刚架平面内的计算长度 H_0 应按下列式计算：

$$H_0 = \mu H \quad (10.1.2-1)$$

式中 H ——柱的高度，取基础顶面到柱与梁轴线交点的距离（如图 10.1.2 所示）；
 μ ——刚架柱的计算长度系数，按下列方法确定。

- 1 刚架梁为等截面构件时， μ 可按表 A.3.1 或表 A.3.2 取用；
- 2 刚架梁为变截面构件时， μ 可按下列下式计算：

$$\mu = \sqrt{\frac{24EI_1}{K \cdot H^3}} \quad (10.1.2-2)$$

$$K = \frac{1}{\Delta} \quad (10.1.2-3)$$

式中 K ——刚架在柱顶单位水平荷载作用下的侧移刚度；
 Δ ——刚架按一阶弹性分析得到的在柱顶单位水平荷载作用下的柱顶侧移；
 I_1 ——刚架柱大头截面的惯性矩。

- 3 对于板式柱脚上述刚架柱计算长度系数 μ_r 宜根据柱脚构造情况乘以下列调整系数：

柱脚铰接：0.85
 柱脚刚接：1.2

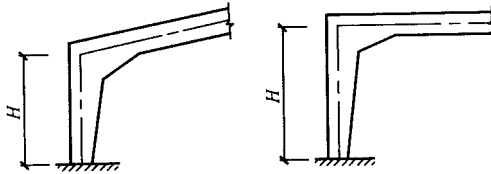


图 10.1.2 刚架柱的高度示意图

10.1.3 多跨门式刚架柱在刚架平面内的计算长度应按公式 10.1.2-1 计算，其计算长度系数可按下列规定确定。

- 1 当中间柱为两端铰接柱（即摇摆柱）时，边柱的计算长度系数 μ_r 可按下列公式计算：

$$\mu_r = \eta \cdot \mu \quad (10.1.3-1)$$

$$\eta = \sqrt{1 + \frac{\sum (N_{li}/H_{li})}{\sum (N_{lj}/H_{lj})}} \quad (10.1.3-2)$$

式中 η ——放大系数；
 μ ——按第 10.1.2 条确定的单跨门式刚架柱的计算长度系数；
 N_{li} ——中间第 i 个摇摆柱的轴向力；
 N_{lj} ——第 j 个边柱的轴向力；
 H_{li} ——中间第 i 个摇摆柱的高度；
 H_{lj} ——第 j 个边柱的高度。

查表 A.3.1 或表 A.3.2 计算 μ 时, 刚架梁的长度应取梁的跨度 (即边柱到相邻中间柱之间的距离) 的 2 倍。

摇摆柱的计算长度系数取 1.0。

2 当中间柱为非摇摆柱时, 各刚架柱的计算长度系数可按下式计算:

$$\mu_i = \sqrt{\frac{1.2N_{Ei} \cdot \sum \frac{N_i}{H_i}}{K \cdot N_i}} \quad (10.1.3-3)$$

$$N_{Ei} = \frac{\pi^2 EI_i}{H_i^2} \quad (10.1.3-4)$$

式中 μ_i ——第 i 根刚架柱的计算长度系数, 宜根据柱脚构造情况按第 10.1.2 条第 3 款乘以相应的调整系数;

N_{Ei} ——第 i 根刚架柱以大头截面为准的欧拉临界力;

H_i 、 N_i ——第 i 根刚架柱的高度、轴压力;

I_i ——第 i 根刚架柱大头截面的惯性矩。

10.1.4 实腹式刚架梁和柱在刚架平面外的计算长度, 应取侧向支承点间的距离, 侧向支承点间可取设置隅撑处及柱间支撑连接点。当梁 (或柱) 两翼缘的侧向支承点间的距离不等时, 应取最大受压翼缘侧向支承点间的距离。

10.1.5 格构式刚架梁和柱的弦杆、腹杆和缀条等单个构件的计算长度 l_0 (如图 10.1.5 所示) 应按下列规定采用:

1 在刚架平面内, 各杆件均取节点间的距离;

2 在刚架平面外, 腹杆和缀条取节点间的距离, 弦杆取侧向支承点间的距离, 若受压弦杆在该长度范围内的内力有变化时, 按下列规定计算:

1) 当内力均为压力时, 可按公式 9.1.2-1、9.1.2-2 计算, 此时式中 N_1 应取最大的压力, N_2 应取最小的压力;

2) 当内力在侧向支承点间的几个节间内为压力, 另几个节间内为拉力时, 可按下式计算, 但不得小于受压节间的总长。

$$l_0 = (1.5 + 0.5 \frac{\bar{N}_t}{\bar{N}_c}) \cdot \frac{n_c}{n} \cdot l \quad (10.1.5-1)$$

$$\text{且} \quad l_0 \leq l \quad (10.1.5-2)$$

式中 l ——侧向支承点间的距离;

\bar{N}_t ——所有拉力的平均值, 计算时取负值;

\bar{N}_c ——所有压力的平均值, 计算时取正值;

n ——两侧向支承点间节间总数;

n_c ——内力为压力的节间数。

10.1.6 刚架梁的竖向挠度与其跨度的比值, 不宜大于表 10.1.6-1 所列限值; 刚架柱在风荷载标准值作用下的柱顶水平位移与柱高度的比值, 不宜大于表 10.1.6-2 所列限值, 以保证刚架有足够的刚度及屋面墙面等的正常使用。

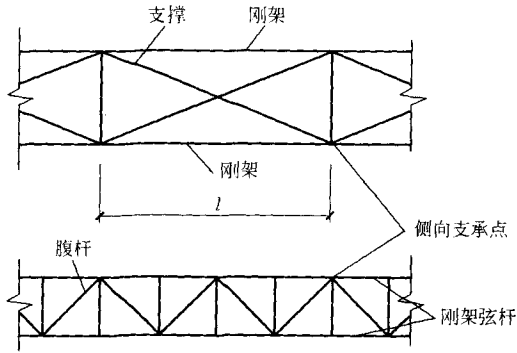


图 10.1.5 格构式刚架弦杆平面外计算长度示意图

表 10.1.6-1 刚架梁的竖向挠度限值

屋盖情况	挠度限值
仅支撑压型钢板屋面和檩条（承受活荷载或雪荷载）	$l/180$
尚有吊顶	$l/240$
有吊顶且抹灰	$l/360$

注：1 对于单跨山形门式刚架， l 系一侧斜梁的坡面长度；对于多跨山形门式刚架， l 指相邻两柱之间斜梁一坡的坡面长度；
2 对于悬臂梁， l 取其悬伸长度的 2 倍。

表 10.1.6-2 刚架柱顶侧移限值

吊车情况	其他情况	柱顶侧移限值
无吊车	采用压型钢板等轻型钢墙板时	$H/75$
	采用砖墙时	$H/100$
有桥式吊车	吊车由驾驶室操作时	$H/400$
	吊车由地面操作时	$H/180$

注：表中 H 为刚架柱高度。

10.2 刚架的构造

10.2.1 用于刚架梁、柱的冷弯薄壁型钢，其壁厚不应小于 2mm。

10.2.2 刚架梁的最小高度与其跨度之比：格构式梁可取 $1/15 \sim 1/25$ ；实腹式梁可取 $1/30 \sim 1/45$ 。

10.2.3 门式刚架房屋应设置支撑体系。在每个温度区段或分期建设的区段，应设置横梁上弦横向水平支撑及柱间支撑；刚架转折处（即边柱柱顶和屋脊）及多跨房屋适当位置的中间柱顶，应沿房屋全长设置刚性系杆。

10.2.4 刚架梁及柱的内翼缘（或内肢）需设置侧向支承点时，可利用作为外翼缘（或外肢）侧向支承点用的檩条或墙梁设置隅撑（如图 10.2.4 所示），隅撑应按压杆计算。

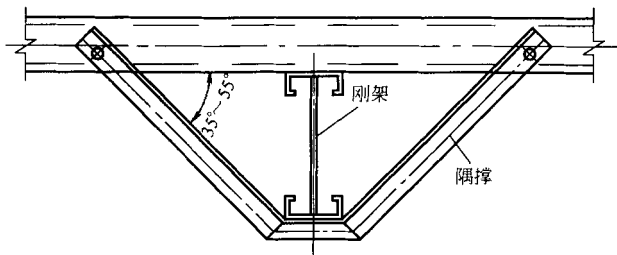


图 10.2.4 刚架梁或柱的隅撑

10.2.5 刚架梁应与檩条或屋盖的其他刚性构件可靠连接。

11 制作、安装和防腐蚀

11.1 制作和安装

11.1.1 构件上应避免刻伤。放样和号料应根据工艺要求预留制作和安装时的焊接收缩余量及切割、刨边和铣平等加工余量。

11.1.2 应保证切割部位准确、切口整齐，切割前应将钢材切割区域表面的铁锈、污物等清理干净，切割后应清除毛刺、熔渣和飞溅物。

11.1.3 钢材和构件的矫正，应符合下列要求：

1 钢材的机械矫正，应在常温下用机械设备进行。冷弯薄壁型钢结构的主要受压构件当采用方管时，其局部变形的纵向量测值（如图 11.1.3 所示）应符合下式要求：

$$\delta \leq 0.01b \quad (11.1.3)$$

式中 δ ——局部变形的纵向量测值；

b ——局部变形的量测标距，取变形所在面的宽度。

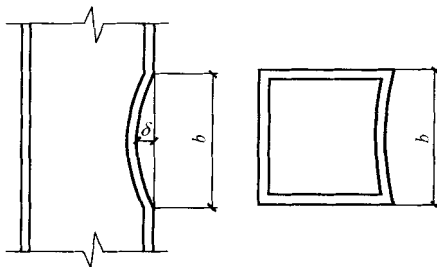


图 11.1.3 局部变形纵向量测示意图

2 碳素结构钢在环境温度低于 -16°C ，低合金结构钢在环境温度低于 -12°C 时，不得进行冷矫正和冷弯曲。

3 碳素结构钢和低合金结构钢，加热温度应根据钢材性能选定，但不得超过 900°C 。低合金结构钢在加热矫正后，应在自然状态下缓慢冷却。

4 构件矫正后，挠曲矢高不应超过构件长度的 $1/1000$ ，且不得大于 10mm 。

11.1.4 构件的制孔应符合下列要求：

1 高强度螺栓孔应采用钻成孔；

2 螺栓孔周边应无毛刺、破裂、喇叭口和凹凸的痕迹，切屑应清除干净。

11.1.5 构件的组装和工地拼装应符合下列要求：

1 构件组装应在合适的工作平台及装配胎模上进行，工作平台及胎模应测平，并加以固定，使构件重心线在同一水平面上，其误差不得大于 3mm 。

2 应按施工图严格控制几何尺寸，结构的工作线与杆件的重心线应交汇于节点中心，两者误差不得大于 3mm 。

3 组装焊接构件时，构件的几何尺寸应依据焊缝等收缩变形情况，预放收缩余量；对有起拱要求的构件，必须在组装前按规定的起拱量做好起拱，起拱偏差应不大于构件长度的 $1/1000$ ，且不大于 6mm 。

4 杆件应防止弯扭，拼装时其表面中心线的偏差不得大于 3mm 。

5 杆件搭接和对接时的错缝或错位不得大于 0.5mm 。

6 构件的定位焊位置应在正式焊缝部位内，不得将钢材烧穿，定位焊采用的焊接材料型号应与正式焊接用的相同。

7 构件之间连接孔中心线位置的误差不得大于 2mm 。

11.1.6 冷弯薄壁型钢结构的焊接应符合下列要求：

1 焊接前应熟悉冷弯薄壁型钢的特点和焊接工艺所规定的焊接方法、焊接程序和技术措施，根据试验确定具体焊接参数，保证焊接质量。

2 焊接前应把焊接部位的铁锈、污垢、积水等清除干净，焊条、焊剂应进行烘干处理。

3 型钢对接焊接或沿截面围焊时，不得在同一位置起弧灭弧，而应盖过起弧处一段距离后方能灭弧，不得在母材的非焊接部位和焊缝端部起弧或灭弧。

4 焊接完毕，应清除焊缝表面的熔渣及两侧飞溅物，并检查焊缝外观质量。

5 构件在焊接前应采取减少焊接变形的措施。

6 对接焊缝施焊时，必须根据具体情况采用适宜的焊接措施（如预留空隙、垫衬板单面焊及双面焊等方法），以保证焊透。

7 电阻点焊的各项工艺参数（如通电时间、焊接电流、电极压力等）的选择应保证焊点抗剪强度试验合格，在施焊过程中，各项参数均应保持相对稳定，焊件接触面应紧密贴合。

8 电阻点焊宜采用圆锥形的电极头，其直径应不小于 $5\sqrt{t}$ （ t 为焊件中外侧较薄板件的厚度），施焊过程中，直径的变动幅度不得大于 $1/5$ 。

11.1.7 冷弯薄壁型钢结构构件应在涂层干燥后进行包装，包装应保护构件涂层不受损伤，且应保证构件在运输、装卸、堆放过程中不变形、不损坏、不散失。

11.1.8 冷弯薄壁型钢结构的安装应符合下列要求：

1 结构安装前应对构件的质量进行检查。构件的变形、缺陷超出允许偏差时，应进行处理。

2 结构吊装时，应采取适当措施，防止产生永久性变形，并应垫好绳扣与构件的接触部位。

3 不得利用已安装就位的冷弯薄壁型钢构件起吊其他重物。不得在主要受力部位加焊其他物件。

4 安装屋面板前，应采取保证拉条拉紧和檩条的位置正确。

5 安装压型钢板屋面时，应采取有效措施将施工荷载分布至较大面积，防止因施工集中荷载造成构件局部压屈。

11.1.9 冷弯薄壁型钢结构制作和安装质量除应符合本规范规定外，尚应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定。当喷涂防火涂料时，应符合现行国家标准《钢结构防火涂料通用技术条件》GB 14907 的规定。

11.2 防腐蚀

11.2.1 冷弯薄壁型钢结构必须采取有效的防腐蚀措施，构造上应考虑便于检查、清刷、油漆及避免积水，闭口截面构件沿全长和端部均应焊接封闭。

11.2.2 冷弯薄壁型钢结构应根据其使用条件和所处环境，选择相应的表面处理方法和防腐措施。

对冷弯薄壁型钢结构的侵蚀作用分类可参见本规范表 D.0.1。

11.2.3 冷弯薄壁型钢结构应按设计要求进行表面处理，除锈方法和除锈等级应符合现行国家标准《涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级》GB 8923 的规定。

11.2.4 冷弯薄壁型钢结构采用化学除锈方法时，应选用具备除锈、磷化、钝化两个以上功能的处理液，其质量应符合现行国家标准《多功能钢铁表面处理液通用技术条件》GB/T 12612 的规定。

11.2.5 冷弯薄壁型钢结构应根据具体情况选用下列相适应的防腐措施：

1 金属保护层（表面合金化镀锌、镀铝锌等）。

2 防腐涂料：

1) 无侵蚀性或弱侵蚀性条件下，可采用油性漆、酚醛漆或醇酸漆；

2) 中等侵蚀性条件下，宜采用环氧漆、环氧酯漆、过氯乙烯漆、氯化橡胶漆或氯醋漆；

3) 防腐涂料的底漆和面漆应相互配套。

3 复合保护：

1) 用镀锌钢板制作的构件，涂装前应进行除油、磷化、钝化处理（或除油后涂磷化底漆）；

2) 表面合金化镀锌钢板、镀锌钢板(如压型钢板、瓦楞铁等)的表面不宜涂红丹防锈漆,宜涂 H06—2 锌黄环氧酯底漆或其他专用涂料进行防护。

11.2.6 冷弯薄壁型钢采用的涂装材料,应具有出厂质量证明书,并应符合设计要求。涂覆方法除设计规定外,可采用手刷或机械喷涂。

11.2.7 涂料、涂装遍数、涂层厚度均应符合设计要求。当设计对涂装无明确规定时,一般宜涂 4~5 遍,干膜总厚度室外构件应大于 $150\mu\text{m}$,室内构件应大于 $120\mu\text{m}$,允许偏差为 $\pm 25\mu\text{m}$ 。

11.2.8 涂装时的环境温度和相对湿度应符合涂料产品说明书的要求,当产品说明书无要求时,环境温度宜在 $5\sim 38^{\circ}\text{C}$ 之间,相对湿度不应大于 85%,构件表面有结露时不得涂装,涂装后 4h 内不得淋雨。

11.2.9 冷弯薄壁型钢结构目测涂装质量应均匀、细致、无明显色差、无流挂、失光、起皱、针孔、气泡、裂纹、脱落、脏物粘附、漏涂等,必须附着良好(用划痕法或粘力计检查)。漆膜干透后,应用干膜测厚仪测出干膜厚度,做出记录,不合规定的应补涂。涂装质量不合格的应重新处理。

11.2.10 冷弯薄壁型钢结构的防腐处理应符合下列要求:

- 1 钢材表面处理后 6h 内应及时涂刷防腐涂料,以免再度生锈。
- 2 施工图中注明不涂装的部位不得涂装,安装焊缝处应留出 $30\sim 50\text{mm}$ 暂不涂装。
- 3 冷弯薄壁型钢结构安装就位后,应对在运输、吊装过程中漆膜脱落部位以及安装焊缝两侧未油漆部位补涂油漆,使之不低于相邻部位的防护等级。
- 4 冷弯薄壁型钢结构外包、埋入混凝土的部位可不作涂装。
- 5 易淋雨或积水的构件且不易再次油漆维护的部位,应采取措施密封。

11.2.11 冷弯薄壁型钢结构在使用期间应定期进行检查与维护。维护年限可根据结构的使用条件、表面处理方法、涂料品种及漆膜厚度分别按本规范表 D.0.2 采用。

11.2.12 冷弯薄壁型钢结构重新涂装的质量应符合现行国家标准《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205 的规定。

附录 A 计算系数

A.1 轴心受压构件的稳定系数

A.1.1 轴心受压构件的稳定系数可根据钢材的牌号按下列表格查得。

表 A.1.1-1 Q235 钢轴心受压构件的稳定系数 φ

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	0.997	0.995	0.992	0.989	0.987	0.984	0.981	0.979	0.976
10	0.974	0.971	0.968	0.966	0.963	0.960	0.958	0.955	0.952	0.949
20	0.947	0.944	0.941	0.938	0.936	0.933	0.930	0.927	0.924	0.921
30	0.918	0.915	0.912	0.909	0.906	0.903	0.899	0.896	0.893	0.889
40	0.886	0.882	0.879	0.875	0.872	0.868	0.864	0.861	0.858	0.855
50	0.852	0.849	0.846	0.843	0.839	0.836	0.832	0.829	0.825	0.822
60	0.818	0.814	0.810	0.806	0.802	0.797	0.793	0.789	0.784	0.779
70	0.775	0.770	0.765	0.760	0.755	0.750	0.744	0.739	0.733	0.728
80	0.722	0.716	0.710	0.704	0.698	0.692	0.686	0.680	0.673	0.667
90	0.661	0.654	0.648	0.641	0.634	0.626	0.618	0.611	0.603	0.595
100	0.588	0.580	0.573	0.566	0.558	0.551	0.544	0.537	0.530	0.523
110	0.516	0.509	0.502	0.496	0.489	0.483	0.476	0.470	0.464	0.458
120	0.452	0.446	0.440	0.434	0.428	0.423	0.417	0.412	0.406	0.401
130	0.396	0.391	0.386	0.381	0.376	0.371	0.367	0.362	0.357	0.353
140	0.349	0.344	0.340	0.336	0.332	0.328	0.324	0.320	0.316	0.312
150	0.308	0.305	0.301	0.298	0.294	0.291	0.287	0.284	0.281	0.277
160	0.274	0.271	0.268	0.265	0.262	0.259	0.256	0.253	0.251	0.248
170	0.245	0.243	0.240	0.237	0.235	0.232	0.230	0.227	0.225	0.223
180	0.220	0.218	0.216	0.214	0.211	0.209	0.207	0.205	0.203	0.201
190	0.199	0.197	0.195	0.193	0.191	0.189	0.188	0.186	0.184	0.182
200	0.180	0.179	0.177	0.175	0.174	0.172	0.171	0.169	0.167	0.166
210	0.164	0.163	0.161	0.160	0.159	0.157	0.156	0.154	0.153	0.152
220	0.150	0.149	0.148	0.146	0.145	0.144	0.143	0.141	0.140	0.139
230	0.138	0.137	0.136	0.135	0.133	0.132	0.131	0.130	0.129	0.128
240	0.127	0.126	0.125	0.124	0.123	0.122	0.121	0.120	0.119	0.118
250	0.117	—	—	—	—	—	—	—	—	—

表 A.1.1-2 Q345 钢轴心受压构件的稳定系数 φ

λ	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1.000	0.997	0.994	0.991	0.988	0.985	0.982	0.979	0.976	0.973
10	0.971	0.968	0.965	0.962	0.959	0.956	0.952	0.949	0.946	0.943
20	0.940	0.937	0.934	0.930	0.927	0.924	0.920	0.917	0.913	0.909
30	0.906	0.902	0.898	0.894	0.890	0.886	0.882	0.878	0.874	0.870
40	0.867	0.864	0.860	0.857	0.853	0.849	0.845	0.841	0.837	0.833
50	0.829	0.824	0.819	0.815	0.810	0.805	0.800	0.794	0.789	0.783
60	0.777	0.771	0.765	0.759	0.752	0.746	0.739	0.732	0.725	0.718
70	0.710	0.703	0.695	0.688	0.680	0.672	0.664	0.656	0.648	0.640
80	0.632	0.623	0.615	0.607	0.599	0.591	0.583	0.574	0.566	0.558
90	0.550	0.542	0.535	0.527	0.519	0.512	0.504	0.497	0.489	0.482
100	0.475	0.467	0.460	0.452	0.445	0.438	0.431	0.424	0.418	0.411
110	0.405	0.398	0.392	0.386	0.380	0.375	0.369	0.363	0.358	0.352
120	0.347	0.342	0.337	0.332	0.327	0.322	0.318	0.313	0.309	0.304
130	0.300	0.296	0.292	0.288	0.284	0.280	0.276	0.272	0.269	0.265
140	0.261	0.258	0.255	0.251	0.248	0.245	0.242	0.238	0.235	0.232
150	0.229	0.227	0.224	0.221	0.218	0.216	0.213	0.210	0.208	0.205
160	0.203	0.201	0.198	0.196	0.194	0.191	0.189	0.187	0.185	0.183
170	0.181	0.179	0.177	0.175	0.173	0.171	0.169	0.167	0.165	0.163
180	0.162	0.160	0.158	0.157	0.155	0.153	0.152	0.150	0.149	0.147
190	0.146	0.144	0.143	0.141	0.140	0.138	0.137	0.136	0.134	0.133
200	0.132	0.130	0.129	0.128	0.127	0.126	0.124	0.123	0.122	0.121
210	0.120	0.119	0.118	0.116	0.115	0.114	0.113	0.112	0.111	0.110
220	0.109	0.108	0.107	0.106	0.106	0.105	0.104	0.103	0.101	0.101
230	0.100	0.099	0.098	0.098	0.097	0.096	0.095	0.094	0.094	0.093
240	0.092	0.091	0.091	0.090	0.089	0.088	0.088	0.087	0.086	0.086
250	0.085	—	—	—	—	—	—	—	—	—

A.2 受弯构件的整体稳定系数

A.2.1 对于图 5.3.1 所示单轴或双轴对称截面（包括反对称截面）的简支梁，当绕对称轴（ x 轴）弯曲时，其整体稳定系数应按下列式计算：

$$\varphi_{bx} = \frac{4320Ah}{\lambda_y^2 W_x} \xi_1 (\sqrt{\eta^2 + \zeta} + \eta) \cdot \left(\frac{235}{f_y} \right) \quad (A.2.1-1)$$

$$\eta = 2\xi_2 e_a / h \quad (A.2.1-2)$$

$$\zeta = \frac{4I_w}{h^2 I_y} + \frac{0.156 I_t}{I_y} \left(\frac{l_0}{h} \right)^2 \quad (A.2.1-3)$$

式中 λ_y ——梁在弯矩作用平面外的长细比；

A ——毛截面面积；

h ——截面高度；

l_0 ——梁的侧向计算长度， $l_0 = \mu_b l$ ；

μ_b ——梁的侧向计算长度系数，按表 A.2.1 采用；

l ——梁的跨度；

ξ_1 、 ξ_2 ——系数，按表 A.2.1 采用；

e_a ——横向荷载作用点到弯心的距离：对于偏心压杆或当横向荷载作用在弯心时 $e_a = 0$ ；当荷载不作用在弯心且荷载方向指向弯心时 e_a 为负，而离开弯心时 e_a 为正；

W_x ——对 x 轴的受压边缘毛截面模量；

I_w ——毛截面扇性惯性矩；

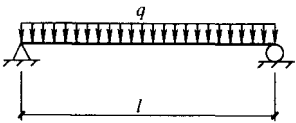
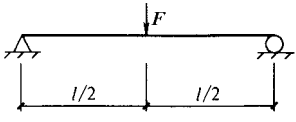
I_y ——对 y 轴的毛截面惯性矩；

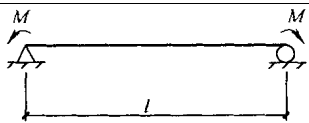
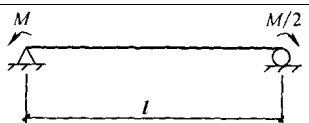
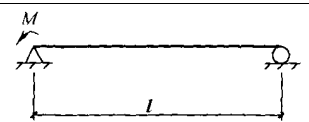
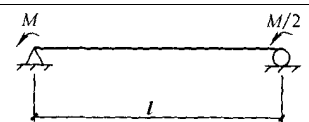
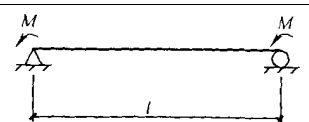
I_t ——扭转惯性矩。

如按上列公式算得的 $\varphi_{bx} > 0.7$ ，则应以 φ'_{bx} 值代替 φ_{bx} ， φ'_{bx} 值应按下式计算：

$$\varphi'_{bx} = 1.091 - \frac{0.274}{\varphi_{bx}} \quad (A.2.1-4)$$

表 A.2.1 两端及跨间侧向均为简支的受弯构件的 ξ_1 、 ξ_2 和 μ_b 值

序号	弯矩作用平面内的荷载及支承情况	跨间无侧向支承		跨中设一道侧向支承		跨间有不少 于两个等距 离布置的 侧向支承	
		$\mu_b = 1.00$		$\mu_b = 0.50$		$\mu_b = 0.33$	
		ξ_1	ξ_2	ξ_1	ξ_2	ξ_1	ξ_2
1		1.13	0.46	1.35	0.14	1.37	0.06
2		1.35	0.55	1.83	0	1.68	0.08

序号	弯矩作用平面内的荷载及支承情况	跨间无侧向支承		跨中设一道侧向支承		跨间有不少于两个等距布置的侧向支承	
		$\mu_b = 1.00$		$\mu_b = 0.50$		$\mu_b = 0.33$	
		ξ_1	ξ_2	ξ_1	ξ_2	ξ_1	ξ_2
3		1.00	0	1.00	0	1.00	0
4		1.32	0	1.31	0	1.31	0
5		1.83	0	1.77	0	1.75	0
6		2.39	0	2.13	0	2.03	0
7		2.24	0	1.89	0	1.77	0

A.2.2 对于图 A.2.2 所示单轴对称截面简支梁， x 轴（强轴）为不对称轴，当绕 x 轴弯曲时，其整体稳定系数仍可按公式 A.2.1-1 计算，但需以下式代替公式 A.2.1-2：

$$\eta = 2(\xi_2 e_a + \beta_y) / h \quad (\text{A.2.2-1})$$

$$\beta_y = \frac{U_x}{2I_x} - e_{0y} \quad (\text{A.2.2-2})$$

$$U_x = \int_A y(x^2 + y^2) dA \quad (\text{A.2.2-3})$$

式中 I_x ——对 x 轴的毛截面惯性矩；
 e_{0y} ——弯心的 y 轴坐标。

A.2.3 对于图 5.3.1 所示单轴或双轴对称截面的简支梁，当绕 y 轴（弱轴）弯曲

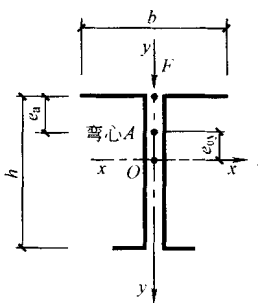


图 A.2.2 单轴对称截面示意图

时 (如图 A.2.3 所示), 如需计算稳定性, 其整体稳定系数 φ_{by} 可按下式计算:

$$\varphi_{by} = \frac{4320Ab}{\lambda_x^2 W_y} \xi_1 (\sqrt{\eta^2 + \zeta + \eta}) \left(\frac{235}{f_y} \right) \quad (\text{A.2.3-1})$$

$$\eta = 2 (\xi_2 e_a + \beta_x) / b \quad (\text{A.2.3-2})$$

$$\zeta = \frac{4I_{\omega}}{b^2 I_x} + \frac{0.156 I_t}{I_x} \left(\frac{l_0}{b} \right)^2 \quad (\text{A.2.3-3})$$

当 y 轴为对称轴时:

$$\beta_x = 0$$

当 y 轴为非对称轴时:

$$\beta_x = \frac{U_y}{2I_y} - e_{0x} \quad (\text{A.2.3-4})$$

$$U_y = \int_A x (x^2 + y^2) dA \quad (\text{A.2.3-5})$$

式中 b——截面宽度;

λ_x ——弯矩作用平面外的长细比 (对 x 轴);

W_y ——对 y 轴的受压边缘毛截面模量;

e_{0x} ——弯心的 x 轴坐标。

当 $\varphi_{by} > 0.7$ 时, 应以 φ'_{by} 代替 φ_{by} , φ'_{by} 按下式计算:

$$\varphi'_{by} = 0.091 - \frac{0.274}{\varphi_{by}} \quad (\text{A.2.3-6})$$

A.3 刚架柱的计算长度系数

A.3.1 等截面刚架柱的计算长度系数 μ 见表 A.3.1。

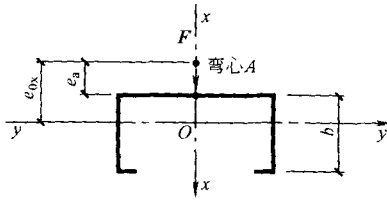


图 A.2.3 单轴对称卷边槽钢

表 A.3.1 等截面刚架柱的计算长度系数 μ

柱与基础的 连接方式	K_2/K_1										
	0	0.2	0.3	0.5	1.0	2.0	3.0	4.0	7.0	≥ 10.0	
钢 接	2.00	1.50	1.40	1.28	1.16	1.08	1.06	1.04	1.02	1.00	
铰 接	∞	3.42	3.00	2.63	2.33	2.17	2.11	2.08	2.05	2.00	

注：1 $K_1 = I_1/H$, $K_2 = I_2/l$;
 2 I_1 系柱顶处的截面惯性矩；
 I_2 系刚架梁的截面惯性矩；
 H 系刚架柱的高度；
 l 系刚架梁的长度，在山形门式刚架中为斜梁沿折线的总长度；
 3 当横梁与柱铰接时，取 $K_2 = 0$ 。

A.3.2 变截面刚架柱的计算长度系数 μ 见表 A.3.2。

表 A.3.2 变截面刚架柱的计算长度系数 μ

柱与基础的 连接方式	I_0/I_1	K_2/K_1								
		0.1	0.2	0.3	0.5	0.75	1.0	2.0	≥ 10.0	
铰接	0.01	5.03	4.33	4.10	3.89	3.77	3.74	3.70	3.65	
	0.05	4.90	3.98	3.65	3.39	3.25	3.19	3.10	3.05	
	0.10	4.66	3.82	3.48	3.19	3.04	2.98	2.94	2.75	
	0.15	4.61	3.75	3.37	3.10	2.93	2.85	2.72	2.65	
	≥ 0.20	4.59	3.67	3.30	3.00	2.84	2.75	2.63	2.55	

注： I_0 系柱脚处的截面惯性矩。

A.4 简支梁的双力矩 B 的计算

A.4.1 简支梁的双力矩 B 可根据荷载情况按表 A.4.1 中所列公式计算。

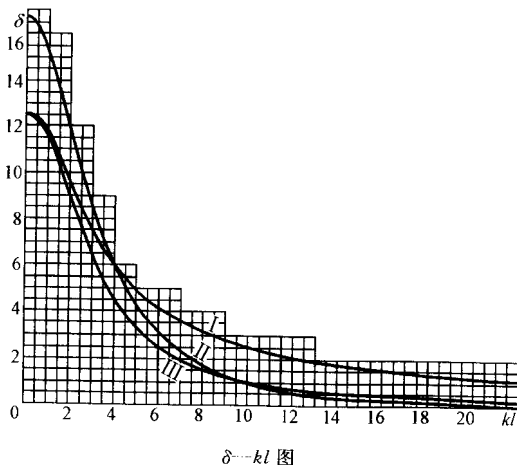
表 A.4.1 简支梁双力矩 B 的计算公式

序号	I	II	III
荷载 简图			
B (任意截面处)	$\frac{F \cdot e}{2k} \cdot \frac{\text{sh}kz}{\text{ch} \frac{kl}{2}}$	<p>当 $z = z_1$ 时,</p> $\frac{F \cdot e}{k} \cdot \frac{\text{ch} \frac{kl}{6}}{\text{ch} \frac{kl}{2}} \cdot \text{sh}kz_1$ <p>当 $z = z_2$ 时,</p> $\frac{F \cdot e}{k} \cdot \frac{\text{sh} \frac{kl}{3}}{\text{ch} \frac{kl}{2}} \text{ch}k \left(\frac{l}{2} - z_2 \right)$	$\frac{q \cdot e}{k^2} \left[1 - \frac{\text{ch}k \left(\frac{l}{2} - z \right)}{\text{CH} \frac{kl}{2}} \right]$
B_{\max} (跨中)	$0.02\delta \cdot F \cdot e \cdot l$	$0.02\delta \cdot F \cdot e \cdot l$	$0.01\delta \cdot q \cdot e \cdot l^2$

注：k——弯扭特性系数， $k = \sqrt{GI_t/EI_w}$ ；

G——钢材的剪变模量， $G = 0.79 \times 10^5 \text{N/mm}^2$ ；

δ —— B_{\max} 的计算系数，可由下图查得。



A.4.2 由双力矩 B 所产生的正向应力符号按表 A.4.2 采用。

表 A.4.2 由双力矩 B 所引起的正应力符号

荷载与截面简图 截面上的点				
1	-	+	+	-
2	+	-	-	+
3	+	-	+	-
4	-	+	-	+

注：1 表中正应力符号“+”代表压应力，“-”代表拉应力；
 2 表中外荷载 F 绕截面弯心 A 顺时针方向旋转；如外荷载 F 绕截面弯心 A 逆时针方向旋转，则表中所有符号均应反号。

附录 B 截面特性

B.1 常用截面特性表

B.1.1 常用截面特性表见表 B.1.1-1 ~ 表 B.1.1-8。

表 B.1.1-1 方钢管

尺寸 (mm)		截面面积 (cm^2)	每米长质量 (kg/m)	I_x (cm^4)	i_x (cm)	W_x (cm^3)
h	t					
25	1.5	1.31	1.03	1.16	0.94	0.92
30	1.5	1.61	1.27	2.11	1.14	1.40
40	1.5	2.21	1.74	5.33	1.55	2.67
40	2.0	2.87	2.25	6.66	1.52	3.33
50	1.5	2.81	2.21	10.82	1.96	4.33
50	2.0	3.67	2.88	13.71	1.93	5.48
60	2.0	4.47	3.51	24.51	2.34	8.17
60	2.5	5.48	4.30	29.36	2.31	9.79
80	2.0	6.07	4.76	60.58	3.16	15.15
80	2.5	7.48	5.87	73.40	3.13	18.35
100	2.5	9.48	7.44	147.91	3.95	29.58
100	3.0	11.25	8.83	173.12	3.92	34.62
120	2.5	11.48	9.01	260.88	4.77	43.48
120	3.0	13.65	10.72	306.71	4.74	51.12
140	3.0	16.05	12.60	495.68	5.56	70.81
140	3.5	18.58	14.59	568.22	5.53	81.17
140	4.0	21.07	16.44	637.97	5.50	91.14
160	3.0	18.45	14.49	749.64	6.37	93.71
160	3.5	21.38	16.77	861.34	6.35	107.67
160	4.0	24.27	19.05	969.35	6.32	121.17
160	4.5	27.12	21.05	1073.66	6.29	134.21
160	5.0	29.93	23.35	1174.44	6.26	146.81

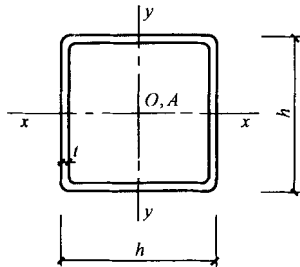


表 B.1.1-2

等边角钢

尺寸 (mm)		截面 面积 (cm ²)	每米长 质量 (kg/m)	y ₀ (cm)	x ₀ - x ₀				x - x		y - y		x ₁ - x ₁ (cm ⁴)	e ₀ (cm)	I _t (cm ⁴)
b	t				I _{y₀} (cm ⁴)	i _{y₀} (cm)	W _{x₀max} (cm ³)	W _{x₀min} (cm ³)	I _x (cm ⁴)	i _x (cm)	I _y (cm ⁴)	i _y (cm)			
30	1.5	0.85	0.67	0.828	0.77	0.95	0.93	0.35	1.25	1.21	0.29	0.58	1.35	1.07	0.0064
30	2.0	1.12	0.88	0.855	0.99	0.94	1.16	0.46	1.63	1.21	0.36	0.57	1.81	1.07	0.0149
40	2.0	1.52	1.19	1.105	2.43	1.27	2.20	0.84	3.95	1.61	0.90	0.77	4.28	1.42	0.0203
40	2.5	2.37	1.47	1.132	2.96	1.26	2.62	1.03	4.85	1.61	1.07	0.76	5.36	1.42	0.0390
50	2.5	1.87	1.86	1.381	5.93	1.58	4.29	1.64	9.65	2.02	2.20	0.96	10.44	1.78	0.0494
50	3.0	2.81	2.21	1.408	6.97	1.57	4.95	1.94	11.40	2.01	2.54	0.95	12.55	1.78	0.0843
60	2.5	2.87	2.25	1.630	10.41	1.90	6.38	2.38	16.90	2.43	3.91	1.17	18.03	2.13	0.0598
60	3.0	3.41	2.68	1.657	12.29	1.90	7.42	2.83	20.02	2.42	4.56	1.16	21.66	2.13	0.1023
75	2.5	3.62	2.84	2.005	20.65	2.39	10.30	3.76	33.43	3.04	7.87	1.48	35.20	2.66	0.0755
75	3.0	4.31	3.39	2.031	24.47	2.38	12.05	4.47	39.70	3.03	9.23	1.46	42.26	2.66	0.1293

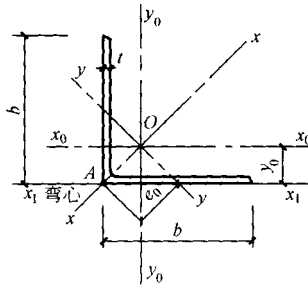


表 B.1.1-3

槽 钢

尺寸 (mm)			截面 面积 (cm ²)	每米长 质量 (kg/m)	x ₀ (cm)	x - x			y - y			y ₁ - y ₁ (cm ⁴)	e ₀ (cm)	I _t (cm ⁴)	I _w (cm ⁶)	k (cm ⁻¹)	W _{w1} (cm ⁴)	W _{w2} (cm ⁴)	
h	b	t				I _x (cm ⁴)	i _x (cm)	W _x (cm ³)	I _y (cm ⁴)	i _y (cm)	W _{ymax} (cm ³)								W _{ymin} (cm ³)
60	30	2.5	2.74	2.15	0.883	14.38	2.31	4.89	2.40	0.94	2.71	1.13	4.53	1.88	0.0571	12.21	0.0425	4.72	2.51
80	40	2.5	3.74	2.94	1.132	36.70	3.13	9.18	5.92	1.26	5.23	2.06	10.71	2.51	0.0779	57.36	0.0229	11.61	6.37
80	40	3.0	4.43	3.48	1.159	42.66	3.10	10.67	6.93	1.25	5.98	2.44	12.87	2.51	0.1328	64.58	0.0282	13.64	7.34
100	40	2.5	4.24	3.33	1.013	62.07	3.83	12.41	6.37	1.23	6.29	2.13	10.72	2.30	0.0884	99.70	0.0185	17.07	8.44
100	40	3.0	5.03	3.95	1.039	72.44	3.80	14.49	7.47	1.22	7.19	2.52	12.89	2.30	0.1508	113.23	0.0227	20.20	9.79
120	40	2.5	4.74	3.72	0.919	95.92	4.50	15.99	6.72	1.19	7.32	2.18	10.73	2.13	0.0988	156.19	0.0156	23.62	10.59
120	40	3.0	5.63	4.42	0.944	112.28	4.47	18.71	7.90	1.19	8.37	2.58	12.91	2.12	0.1688	178.49	0.0191	28.13	12.33
140	50	3.0	6.83	5.36	1.187	191.53	5.30	27.36	15.52	1.51	13.08	4.07	25.13	2.75	0.2048	487.60	0.0128	48.99	22.93
140	50	3.5	7.89	6.20	1.211	218.88	5.27	31.27	17.79	1.50	14.69	4.70	29.37	2.74	0.3223	546.44	0.0151	56.72	26.09
160	60	3.0	8.03	6.30	1.432	300.87	6.12	37.61	26.90	1.83	18.79	5.89	43.35	3.37	0.2408	1119.78	0.0091	78.25	38.21
160	60	3.5	9.29	7.20	1.456	344.94	6.09	43.12	30.92	1.82	21.23	6.81	50.63	3.37	0.3794	1264.16	0.0108	90.71	43.68

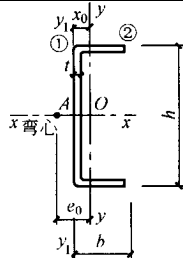
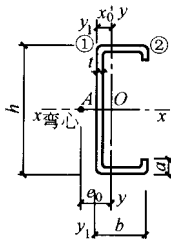


表 B.1.1-4

卷边槽钢

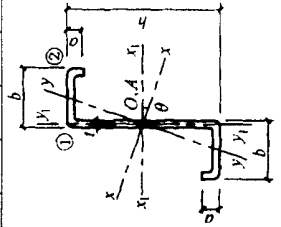
尺寸 (mm)				截面 面积 (cm ²)	每米长 质量 (kg/m)	x ₀ (cm)	x - x			y - y				y ₁ - y ₁ (cm ⁴)	e ₀ (cm)	I _t (cm ⁴)	I _ω (cm ⁶)	k (cm ⁻¹)	W _{ω1} (cm ⁴)	W _{ω2} (cm ⁴)
h	b	a	t				I _x (cm ⁴)	i _x (cm)	W _x (cm ³)	I _y (cm ⁴)	i _y (cm)	W _{ymax} (cm ³)	W _{ymin} (cm ³)							
80	40	15	2.0	3.47	2.72	1.452	34.16	3.14	8.54	7.79	1.50	5.36	3.06	15.10	3.36	0.0462	112.9	0.0126	16.03	15.74
100	50	15	2.5	5.23	4.11	1.706	81.34	3.94	16.27	17.19	1.81	10.08	5.22	32.41	3.94	0.1090	352.8	0.0109	34.47	29.41
120	50	20	2.5	5.98	4.70	1.706	129.40	4.65	21.57	20.96	1.87	12.28	6.36	38.36	4.03	0.1246	660.9	0.0085	51.04	48.36
120	60	20	3.0	7.65	6.01	2.106	170.68	4.72	28.45	37.36	2.21	17.74	9.59	71.31	4.87	0.2296	1153.2	0.0087	75.68	68.84
140	50	20	2.0	5.27	4.14	1.590	154.03	5.41	22.00	18.56	1.88	11.68	5.44	31.86	3.87	0.0703	794.79	0.0058	51.44	52.22
140	50	20	2.2	5.76	4.52	1.590	167.40	5.39	23.91	20.03	1.87	12.62	5.87	34.53	3.84	0.0929	852.46	0.0065	55.98	56.84
140	50	20	2.5	6.48	5.09	1.580	186.78	5.39	26.68	22.11	1.85	13.96	6.47	38.38	3.80	0.1351	931.89	0.0075	62.56	63.56
140	60	20	3.0	8.25	6.48	1.964	245.42	5.45	35.06	39.49	2.19	20.11	9.79	71.33	4.61	0.2476	1589.8	0.0078	92.69	79.00
160	60	20	2.0	6.07	4.76	1.850	236.59	6.24	29.57	29.99	2.22	16.19	7.23	50.83	4.52	0.0809	1596.28	0.0044	76.92	71.30
160	60	20	2.2	6.64	5.21	1.850	257.57	6.23	32.20	32.45	2.21	17.53	7.82	55.19	4.50	0.1071	1717.82	0.0049	83.82	77.55
160	60	20	2.5	7.48	5.87	1.850	288.13	6.21	36.02	35.96	2.19	19.47	8.66	61.49	4.45	0.1559	1887.71	0.0056	93.87	86.63
160	70	20	3.0	9.45	7.42	2.224	373.64	6.29	46.71	60.42	2.53	27.17	12.65	107.20	5.25	0.2836	3070.5	0.0060	135.49	109.92
180	70	20	2.0	6.87	5.39	2.110	343.93	7.08	38.21	45.18	2.57	21.37	9.25	75.87	5.17	0.0916	2934.34	0.0035	109.50	95.22
180	70	20	2.2	7.52	5.90	2.110	374.90	7.06	41.66	48.97	2.55	23.19	10.02	82.49	5.14	0.1213	3165.62	0.0038	119.44	103.58
180	70	20	2.5	8.48	6.66	2.110	420.20	7.04	46.69	54.42	2.53	25.82	11.12	92.08	5.10	0.1767	3492.15	0.0044	133.99	115.73
200	70	20	2.0	7.27	5.71	2.000	440.04	7.78	44.00	46.71	2.54	23.32	9.35	75.88	4.96	0.0969	3672.33	0.0032	126.74	106.15
200	70	20	2.2	7.96	6.25	2.000	479.87	7.77	47.99	50.64	2.52	25.31	10.13	82.49	4.93	0.1284	3963.82	0.0035	138.26	115.74
200	70	20	2.5	8.98	7.05	2.000	538.21	7.74	53.82	56.27	2.50	28.18	11.25	92.09	4.89	0.1871	4376.18	0.0041	155.14	129.75
220	75	20	2.0	7.87	6.18	2.080	574.45	8.54	52.22	56.88	2.69	27.35	10.50	90.93	5.18	0.1049	5313.52	0.0028	158.43	127.32
220	75	20	2.2	8.62	6.77	2.080	626.85	8.53	56.99	61.71	2.68	29.70	11.38	98.91	5.15	0.1391	5742.07	0.0031	172.92	138.93
220	75	20	2.5	9.73	7.64	2.070	703.76	8.50	63.98	68.66	2.66	33.11	12.65	110.51	5.11	0.2028	6351.05	0.0035	194.18	155.94



卷边 Z 形钢

表 B.1.1-5

尺寸(mm)			截面面积 (cm ²)	每米长 质量 (kg/m)	θ (°)	$x_1 - x_1$			$y_1 - y_1$			$x - x$			$y - y$			I_{tp} (cm ⁴)	I_t (cm ⁴)	I_w (cm ⁶)	k (cm ⁻¹)	W_{wd} (cm ³)	W_w (cm ³)					
h	b	a				i_{x1} (cm)	I_{x1} (cm ⁴)	W_{x1} (cm ³)	i_{y1} (cm)	I_{y1} (cm ⁴)	W_{y1} (cm ³)	i_x (cm)	I_x (cm ⁴)	W_{x1} (cm ³)	i_y (cm)	I_y (cm ⁴)	W_{y1} (cm ³)							W_{y2} (cm ²)				
100	40	20	2.0	4.07	3.19	24.017	60.04	3.84	12.01	17.02	2.05	4.36	70.70	4.17	84.63	4.12	19.18	14.47	7.49	1.25	3.36	4.42	23.93	0.0542	325.0	0.0081	49.97	29.16
100	40	20	2.5	4.98	3.91	23.767	72.10	3.80	14.42	20.02	2.00	5.17	84.63	4.12	19.18	14.47	7.49	1.23	4.07	1.23	4.07	5.28	28.45	0.1038	381.9	0.0102	62.25	35.03
120	50	20	2.0	4.87	3.82	24.080	106.97	4.69	17.83	30.23	2.49	6.17	126.06	5.09	23.55	17.40	11.14	1.51	4.83	1.51	4.83	5.74	42.77	0.0649	785.2	0.0057	84.05	43.96
120	50	20	2.5	5.98	4.70	23.833	129.39	4.65	21.57	35.91	2.45	7.37	152.05	5.04	28.55	21.21	13.25	1.49	5.89	1.49	5.89	6.89	51.30	0.1246	930.9	0.0072	104.68	52.94
120	50	20	3.0	7.05	5.54	23.600	150.14	4.61	25.02	40.88	2.41	8.43	175.92	4.99	33.18	24.80	15.11	1.46	6.89	1.46	6.89	7.92	58.99	0.2116	1068.9	0.0087	125.37	61.22
140	50	20	2.5	6.48	5.09	19.417	186.77	5.37	26.68	35.91	2.35	7.37	209.19	5.67	32.55	26.34	14.48	1.49	6.69	1.49	6.69	6.78	60.75	0.1350	1289.0	0.0064	137.04	60.03
140	50	20	3.0	7.65	6.01	19.200	217.26	5.33	31.04	40.83	2.31	8.43	241.62	5.62	37.76	30.70	16.52	1.47	7.84	1.47	7.84	7.81	69.93	0.2296	1468.2	0.0077	164.94	69.51
160	60	20	2.5	7.48	5.87	19.983	288.12	6.21	36.01	58.15	2.79	9.90	323.13	6.57	44.00	34.95	23.14	1.76	9.00	1.76	9.00	8.71	96.32	0.1559	2634.3	0.0048	205.98	86.28
160	60	20	3.0	8.85	6.95	19.783	336.66	6.17	42.08	66.66	2.74	11.39	376.76	6.52	51.48	41.08	26.56	1.73	10.58	1.73	10.58	10.07	111.51	0.2656	3019.4	0.0058	247.41	100.15
160	70	20	2.5	7.98	6.27	23.767	319.13	6.32	39.89	87.74	3.32	12.76	374.76	6.85	52.35	38.23	32.11	2.01	10.53	2.01	10.53	10.86	126.37	0.1663	3793.3	0.0041	238.87	106.91
160	70	20	3.0	9.45	7.42	23.567	373.64	6.29	46.71	101.10	3.27	14.76	437.72	6.80	61.33	45.01	37.03	1.98	12.39	1.98	12.39	12.58	146.86	0.2836	4365.0	0.0050	285.78	124.26
180	70	20	2.5	8.48	6.66	20.367	420.18	7.04	46.69	87.74	3.22	12.76	473.34	7.47	57.27	44.88	34.58	2.02	11.66	2.02	11.66	10.86	143.18	0.1767	4907.9	0.0037	294.53	119.41
180	70	20	3.0	10.05	7.89	20.183	492.61	7.00	54.73	101.11	3.17	14.76	553.83	7.42	67.22	52.89	39.89	1.99	13.72	1.99	13.72	12.59	166.47	0.3016	5652.2	0.0045	353.32	138.92



斜卷边 Z 形钢

表 B.1.1-6

尺寸(mm)		截面面积 (cm ²)	每米长 质量 (kg/m)	θ (°)	x ₁ - x ₁		y ₁ - y ₁		x - x				y - y				I _ω (cm ⁶)	k (cm ⁻¹)	W _ω (cm ⁶)							
h	b				a	t	I _{x1} (cm ⁴)	i _{x1} (cm)	W _{x1} (cm ³)	I _{y1} (cm ⁴)	i _{y1} (cm)	W _{y1} (cm ³)	I _x (cm ⁴)	i _x (cm ²)	W _x (cm ³)	W _{x2} (cm ³)				I _y (cm ⁴)	i _y (cm)	W _y (cm ³)	W _{y2} (cm ³)			
140	50	20	2.0	5.392	4.233	21.986	162.065	5.482	23.152	39.363	2.702	6.234	185.962	5.872	30.371	22.470	15.466	6.107	8.067	59.189	0.0719	1238.62	0.0046	118.28	59.185	
140	50	20	2.2	5.909	4.638	21.998	176.813	5.470	25.259	42.928	2.695	6.809	202.926	5.860	33.352	24.544	16.814	1.687	6.659	8.823	64.638	0.0953	1407.37	0.0051	130.014	64.382
140	50	20	2.5	6.676	5.240	22.018	198.446	5.452	28.349	48.154	2.686	7.657	227.828	5.842	37.792	27.598	18.771	1.667	7.468	9.941	72.659	0.1391	1563.53	0.0058	147.538	71.926
160	60	20	2.0	6.192	4.861	22.104	246.831	6.313	30.854	60.271	3.120	8.240	283.680	6.768	40.271	29.603	23.422	1.945	8.018	9.554	90.733	0.0826	2559.06	0.0035	175.94	82.223
160	60	20	2.2	6.789	5.329	22.113	269.392	6.302	33.699	65.802	3.113	9.009	309.891	6.756	44.225	32.367	25.503	1.938	8.753	10.450	99.179	0.1095	2779.75	0.0039	193.430	89.569
160	60	20	2.5	7.676	6.025	22.128	303.090	6.284	37.886	73.935	3.104	10.143	348.487	6.738	50.132	36.445	28.537	1.928	9.834	11.775	111.645	0.1599	3038.40	0.0044	219.605	100.26
180	70	20	2.0	6.992	5.489	22.185	336.620	7.141	39.624	87.417	3.536	10.514	410.315	7.660	51.502	37.679	33.722	2.196	10.191	11.289	131.674	0.0932	4663.94	0.0028	249.609	111.10
180	70	20	2.2	7.669	6.020	22.193	389.835	7.130	43.315	95.518	3.529	11.502	448.592	7.648	56.570	41.226	36.761	2.189	11.136	12.351	144.034	0.1237	5032.78	0.0031	274.455	121.13
180	70	20	2.5	8.676	6.810	22.205	438.835	7.112	48.759	107.460	3.519	12.964	505.087	7.630	64.143	46.471	41.208	2.179	12.528	13.923	162.307	0.1807	5654.15	0.0035	311.661	135.81
200	70	20	2.0	7.392	5.803	19.305	455.430	7.849	45.543	87.418	3.439	10.514	506.903	8.281	56.094	43.435	35.944	2.205	11.109	11.339	146.944	0.0986	3882.24	0.0025	302.430	123.44
200	70	20	2.2	8.109	6.365	19.309	498.023	7.837	49.802	95.520	3.432	11.503	554.346	8.268	61.618	47.533	39.197	2.200	12.138	12.419	160.754	0.1308	4303.06	0.0028	332.826	134.66
200	70	20	2.5	9.176	7.203	19.314	560.921	7.819	56.092	107.463	3.422	12.964	624.421	8.249	69.876	53.596	43.962	2.189	13.654	14.021	181.182	0.1912	7160.11	0.0032	378.452	151.08
220	75	20	2.0	7.992	6.274	18.300	492.787	8.612	53.890	103.580	3.600	11.751	652.866	9.038	65.085	51.328	43.500	2.333	12.829	12.343	181.661	0.1066	4843.84	0.0022	383.110	148.38
220	75	20	2.2	8.769	6.884	18.302	548.520	8.600	58.956	113.220	3.593	12.860	714.276	9.025	71.501	56.190	47.465	2.327	14.023	13.524	198.803	0.1415	5242.13	0.0024	421.750	161.95
220	75	20	2.5	9.926	7.792	18.305	700.928	8.581	66.448	127.443	3.583	14.500	805.086	9.006	81.096	63.392	53.283	2.317	15.783	15.278	224.175	0.2068	8347.65	0.0028	479.804	181.87
250	75	20	2.0	8.592	6.745	15.389	799.640	9.647	63.791	103.580	3.472	11.752	856.680	9.985	71.976	61.841	46.532	2.327	14.553	12.090	207.280	0.1146	1128.50	0.0020	485.919	169.98
250	75	20	2.2	9.429	7.402	15.387	875.145	9.634	70.012	113.223	3.465	12.860	937.579	9.972	78.870	67.773	50.789	2.321	15.946	14.211	226.864	0.1521	12314.34	0.0022	535.491	184.53
250	75	20	2.5	10.676	8.380	15.385	986.898	9.615	78.952	127.447	3.455	14.500	1057.30	9.952	89.108	76.584	57.044	2.312	18.014	16.169	255.870	0.2224	13797.03	0.0025	610.188	207.38

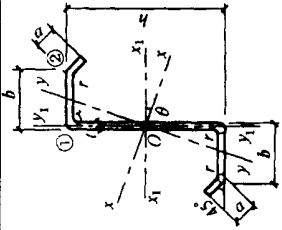


表 B.1.1-7

卷边等边角钢

尺寸 (mm)			截面 面积 (cm ²)	每米长 质量 (kg/m)	y ₀ (cm)	x ₀ - x ₀				x - x		y - y		x ₁ - x ₁	e ₀ (cm)	I _t (cm ⁴)	I _ω (cm ⁶)
b	a	t				I _{x₀} (cm ⁴)	i _{x₀} (cm)	W _{x₀max} (cm ³)	W _{x₀min} (cm ³)	I _x (cm ⁴)	i _x (cm)	I _y (cm ⁴)	i _y (cm)	I _{x1} (cm ⁴)			
40	15	2.0	1.95	1.53	1.404	3.93	1.42	2.80	1.51	5.74	1.72	2.12	1.04	7.78	2.37	0.0260	3.88
60	20	2.0	2.95	2.32	2.026	13.83	2.17	6.83	3.48	20.56	2.64	7.11	1.55	25.94	3.38	0.0394	22.64
75	20	2.0	3.55	2.79	2.396	25.60	2.69	10.68	5.02	39.01	3.31	12.19	1.85	45.99	3.82	0.0473	36.55
75	20	2.5	4.36	3.42	2.401	30.76	2.66	12.81	6.03	46.91	3.28	14.60	11.83	55.90	3.80	0.0909	43.33

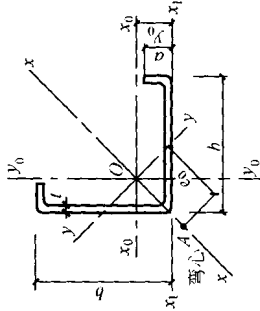


表 B.1.1-8

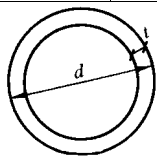
焊接薄壁圆钢管

尺寸 (mm)		截面面积 (cm ²)	每米长质量 (kg/m)	I (cm ⁴)	i (cm)	W (cm ³) ^①
d	t					
25	1.5	1.11	0.87	0.77	0.83	0.61
30	1.5	1.34	1.05	1.37	1.01	0.91
30	2.0	1.76	1.38	1.73	0.99	1.16
40	1.5	1.81	1.42	3.37	1.36	1.68
40	2.0	2.39	1.88	4.32	1.35	2.16
51	2.0	3.08	2.42	9.26	1.73	3.63
57	2.0	3.46	2.71	13.08	1.95	4.59
60	2.0	3.64	2.86	15.34	2.05	5.10
70	2.0	4.27	3.35	24.72	2.41	7.06
76	2.0	4.65	3.65	31.85	2.62	8.38
83	2.0	5.09	4.00	41.76	2.87	10.06
83	2.5	6.32	4.96	51.26	2.85	12.35
89	2.0	5.47	4.29	51.74	3.08	11.63
89	2.5	6.79	5.33	63.59	3.06	14.29
95	2.0	5.84	4.59	63.20	3.29	13.31
95	2.5	7.26	5.70	77.76	3.27	16.37
102	2.0	6.28	4.93	78.55	3.54	15.40
102	2.5	7.81	6.14	96.76	3.52	18.97
102	3.0	9.33	7.33	114.40	3.50	22.43

第五章 钢结构构件制作实例

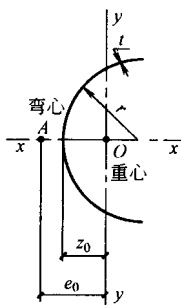
尺寸 (mm)		截面面积 (cm ²)	每米长质量 (kg/m)	I (cm ⁴)	i (cm)	W (cm ³)
d	t					
108	2.0	6.66	5.23	93.60	3.75	17.33
108	2.5	8.29	6.51	115.40	3.73	21.37
108	3.0	9.90	7.77	136.50	3.72	25.28
114	2.0	7.04	5.52	110.40	3.96	19.37
114	2.5	8.76	6.87	136.20	3.94	23.89
114	3.0	10.46	8.21	161.30	3.93	28.30
121	2.0	7.48	5.87	132.40	4.21	21.88
121	2.5	9.31	7.31	163.50	4.19	27.02
121	3.0	11.12	8.73	193.70	4.17	32.02
127	2.0	7.85	6.17	153.40	4.42	24.16
127	2.5	9.78	7.68	189.50	4.40	29.84
127	3.0	11.69	9.18	224.70	4.39	35.39
133	2.5	10.25	8.05	218.20	4.62	32.81
133	3.0	12.25	9.62	259.00	4.60	38.95
133	3.5	14.24	11.18	298.70	4.58	44.92
140	2.5	10.80	8.48	255.30	4.86	36.47
140	3.0	12.91	10.13	303.10	4.85	43.29
140	3.5	15.01	11.78	349.80	4.83	49.97
152	3.0	14.04	11.02	389.90	5.27	51.30
152	3.5	16.33	12.82	450.30	5.25	59.25
152	4.0	18.60	14.60	509.60	5.24	67.05
159	3.0	14.70	11.54	447.40	5.52	56.27
159	3.5	17.10	13.42	517.00	5.50	65.02
159	4.0	19.48	15.29	585.30	5.48	73.62
168	3.0	15.55	12.21	529.40	5.84	63.02
168	3.5	18.09	14.20	612.10	5.82	72.87
168	4.0	20.61	16.18	693.30	5.80	82.53
180	3.0	16.68	13.09	653.50	6.26	72.61
180	3.5	19.41	15.24	756.00	6.24	84.00
180	4.0	22.12	17.36	856.80	6.22	95.20
194	3.0	18.00	14.13	821.10	6.75	84.64
194	3.5	20.95	16.45	950.50	6.74	97.99
194	4.0	23.88	18.75	1078.00	6.72	111.10
203	3.0	18.85	15.00	943.00	7.07	92.87
203	3.5	21.94	17.22	1092.00	7.06	107.55
203	4.0	25.01	19.63	1238.00	7.04	122.01
219	3.0	20.36	15.98	1187.00	7.64	108.44
219	3.5	23.70	18.61	1376.00	7.62	125.65
219	4.0	27.02	21.81	1562.00	7.60	142.62
245	3.0	22.81	17.91	1670.00	8.56	136.30

尺寸 (mm)		截面面积 (cm^2)	每米长质量 (kg/m)	I (cm^4)	i (cm)	W (cm^3)
d	t					
245	3.5	26.55	20.84	1936.00	8.54	158.10
245	4.0	30.28	23.77	2199.00	8.52	179.50



B.2 截面特性的近似计算公式

下列近似计算公式均按截面中心线进行计算。



x 轴向右为正, y 轴向上为正。

B.2.1 半圆钢管。

$$A = \pi r t$$

$$z_0 = 0.363r$$

$$I_x = 1.571r^3 t$$

$$I_y = 0.298r^3 t$$

$$I_t = 1.047r^3$$

$$I_w = 0.0374r^5 t$$

$$e_0 = 0.636r$$

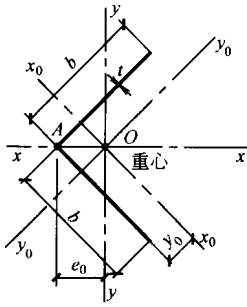
B.2.2 等边角钢。

$$A = 2bt$$

$$e_0 = \frac{b}{2\sqrt{2}}$$

$$I_x = \frac{1}{3}b^3 t$$

$$I_y = \frac{1}{12}b^3 t$$



$$I_t = \frac{3}{2} b t^3$$

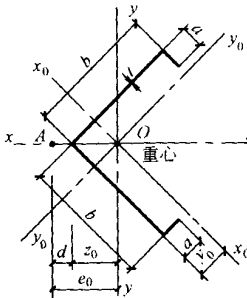
$$I_w = 0$$

$$I_{x_0} = I_{y_0} = \frac{5}{24} b^3 t$$

$$y_0 = \frac{b}{4}$$

$$U_y = \frac{b^4 t}{12 \sqrt{2}}$$

B.2.3 卷边等边角钢。



$$A = 2(b + a)t$$

$$z_0 = \frac{b + a}{2\sqrt{2}}$$

$$I_x = \frac{1}{3}(b^3 + a^3)t + ba(b - a)t$$

$$I_y = \frac{1}{12}(b + a)^3 t$$

$$I_t = \frac{2}{3}(b + a)t^3$$

$$I_w = d^2 b^2 \left(\frac{b}{3} + \frac{a}{4} \right) t + \frac{2}{3} a \left[\frac{d}{\sqrt{2} \left(\frac{3}{2} b - a \right) - ba} \right]^2 t$$

$$d = \frac{ba^2(3b - 2a)}{3\sqrt{2} \cdot I_x} \cdot t$$

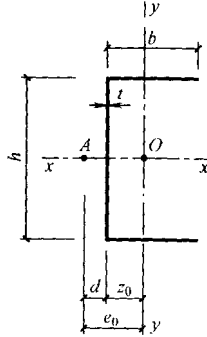
$$e_0 = d + z_0$$

$$y_0 = \frac{a+b}{4}$$

$$I_{x_0} = I_{y_0} = \frac{5}{24} (a-b)^2 t + \frac{a^2 b t}{4} + \frac{5}{12} b^3 t$$

$$U_y = \frac{t}{12\sqrt{2}} (b^4 + 4b^3 a - 6b^2 a^2 + a^4)$$

B.2.4 槽钢。



$$A = (2b + h) t$$

$$z_0 = \frac{b^2}{2b + h}$$

$$I_x = \frac{1}{12} h^3 t + \frac{1}{2} b h^2 t$$

$$I_y = h z_0^2 t + \frac{1}{6} b^3 t + 2b \cdot \left(\frac{b}{2} - z_0 \right)^2 t$$

$$I_t = \frac{1}{3} (2b + h) t^3$$

$$I_w = \frac{b^3 h^2 t}{12} \cdot \frac{2h + 3b}{6b + h}$$

$$e_0 = d + z_0$$

$$d = \frac{3b^2}{6b + h}$$

$$U_y = \frac{1}{2} (b - z_0)^4 t - \frac{1}{2} z_0^4 t - z_0^3 h t + \frac{1}{4} (b - z_0)^2 h^2 t - \frac{1}{4} z_0^2 h^2 t - \frac{1}{12} z_0 h^3 t$$

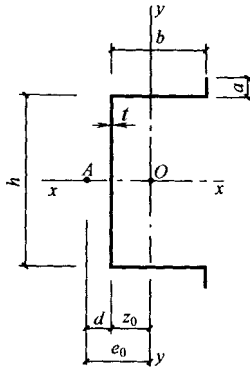
B.2.5 向外卷边槽钢。

$$A = (h + 2b + 2a) t$$

$$z_0 = \frac{b(b + 2a)}{h + 2b + 2a}$$

$$I_x = \frac{1}{12} h^3 t + \frac{1}{2} b h^2 t + \frac{1}{6} a^3 t + \frac{1}{2} a (h + a)^2 t$$

$$I_y = h z_0^2 t + \frac{1}{6} b^3 t + 2b \cdot \left(\frac{b}{2} - z_0 \right)^2 t + 2a (b - z_0)^2 t$$



$$I_t = \frac{1}{3} (h + 2b + 2a) t^3$$

$$I_\omega = \frac{d^2 h^3 t}{12} + \frac{h^2}{6} [d^3 + (b-d)^3] t + \frac{a}{6} [3h^2 (d-b)^2 + 6ha (d^2 - b^2) + 4a^2 (d+b)^2]$$

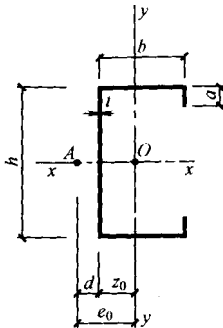
t

$$d = \frac{b}{I_x} \left(\frac{1}{4} b h^2 + \frac{1}{2} a h^2 - \frac{2}{3} a^3 \right) t$$

$$e_0 = d + z_0$$

$$U_y = t \left[\frac{(b-z_0)^4}{2} - \frac{z_0^4}{2} - z_0^3 h + \frac{(b-z_0)^2 h^2}{4} - \frac{z_0^2 h^2}{4} - \frac{z_0 h^3}{12} + 2a (b-z_0)^3 + 2 (b-z_0) \left(\frac{a^3}{3} + \frac{a^2 h}{2} + \frac{a h^2}{4} \right) \right]$$

B.2.6 向内卷边槽钢。



$$A = (h + 2b + 2a) t$$

$$z_0 = \frac{b (b + 2a)}{h + 2b + 2a}$$

$$I_x = \frac{1}{12} h^3 t + \frac{1}{2} b h^2 t + \frac{1}{6} a^3 t + \frac{1}{2} a (h - a)^2 t$$

$$I_y = h z_0^2 t + \frac{1}{6} b^3 t + 2b \cdot \left(\frac{b}{2} - z_0 \right)^2 t + 2a (b - z_0)^2 t$$

$$I_t = \frac{1}{3} (h + 2b + 2a) t^3$$

$$I_w = \frac{d^2 h^3 t}{12} + \frac{h^2}{6} [d^3 + (b-d)^3] t + \frac{a}{6} [3h^2 (d-b)^2 - 6ha (d^2 - b^2) + 4a^2 (d+b)^2]$$

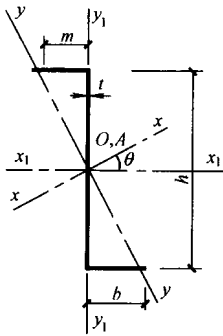
t

$$d = \frac{b}{I_x} \left(\frac{1}{4} bh^2 + \frac{1}{2} ah^2 - \frac{2}{3} a^3 \right) t$$

$$e_0 = d + z_0$$

$$U_y = t \left[\frac{(b-z_0)^4}{2} - \frac{z_0^4}{2} - z_0^3 h + \frac{(b-z_0)^2 h^2}{4} - \frac{z_0^2 h^2}{4} - \frac{z_0 h^3}{12} + 2a (b-z_0)^3 + 2 (b-z_0) \left(\frac{a^3}{3} - \frac{a^2 h}{2} + \frac{ah^2}{4} \right) \right]$$

B.2.7 Z形钢。



$$A = (h + 2b) t$$

$$I_{xl} = \frac{1}{12} h^3 t + \frac{1}{2} bh^2 t$$

$$I_{yl} = \frac{2}{3} b^3 t$$

$$I_t = \frac{1}{3} (h + 2b) t^3$$

$$I_{xlyl} = -\frac{1}{2} b^2 ht$$

$$\operatorname{tg} 2\theta = \frac{2I_{xlyl}}{I_{yl} - I_{xl}}$$

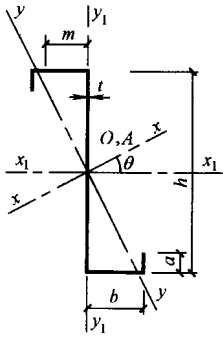
$$I_x = I_{xl} \cos^2 \theta + I_{yl} \sin^2 \theta - 2I_{xlyl} \sin \theta \cos \theta$$

$$I_y = I_{xl} \sin^2 \theta + I_{yl} \cos^2 \theta + 2I_{xlyl} \sin \theta \cos \theta$$

$$I_w = \frac{b^3 h^2 t}{12} \cdot \frac{b+2h}{h+2b}$$

$$m = \frac{b^2}{h+2b}$$

B.2.8 卷边 Z形钢。



$$A = (h + 2b + 2a) t$$

$$I_{x1} = \frac{1}{12} h^3 t + \frac{1}{2} b h^2 t + \frac{1}{6} a^3 t + \frac{1}{2} a t (h - a)^2$$

$$I_{y1} = b^2 t \left(\frac{2}{3} b + 2a \right)$$

$$I_{x1y1} = -\frac{1}{2} b t [b h + 2a (h - a)]$$

$$\operatorname{tg} 2\theta = \frac{2I_{x1y1}}{I_{y1} - I_{x1}}$$

$$I_x = I_{x1} \cos^2 \theta + I_{y1} \sin^2 \theta - 2I_{x1y1} \sin \theta \cos \theta$$

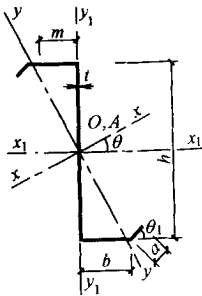
$$I_y = I_{x1} \sin^2 \theta + I_{y1} \cos^2 \theta + 2I_{x1y1} \sin \theta \cos \theta$$

$$I_t = \frac{1}{3} (h + 2b + 2a) t^3$$

$$I_w = \frac{b^2 t}{12 (h + 2b + 2a)} [h^2 b (2h + b) + 2ah (3h^2 + 6ah + 4a^2) + 4abh (h + 3a) + 4a^3 (4b + a)]$$

$$m = \frac{2ab (h + a) + b^2 h}{(h + 2b + 2a) h}$$

B.2.9 斜卷边 Z 形钢。



$$A = (h + 2b + 2a) t$$

$$I_{x1} = \frac{1}{12} h^3 t + \frac{1}{2} h^2 t (a + b) - a^2 h t \sin \theta_1 + \frac{2}{3} a^3 t \sin^2 \theta_1$$

$$I_{yI} = \frac{2}{3} b^3 t + 2ab^2 t + 2a^2 bt \cos\theta_1 + \frac{2}{3} a^3 t \cos^2\theta_1$$

$$I_{xIyI} = -\frac{1}{2} hb^2 t - habt + a^2 bt \sin\theta_1 - \frac{1}{2} ha^2 t \cos\theta_1 + \frac{2}{3} a^3 t \sin\theta_1 \cos\theta_1$$

$$\operatorname{tg}2\theta = \frac{2I_{xIyI}}{I_{yI} - I_{xI}}$$

$$I_x = I_{xI} \cos^2\theta + I_{yI} \sin^2\theta - 2I_{xIyI} \sin\theta \cos\theta$$

$$I_y = I_{xI} \sin^2\theta + I_{yI} \cos^2\theta + 2I_{xIyI} \sin\theta \cos\theta$$

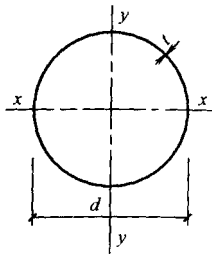
$$I_t = \frac{1}{3} (h + 2b + 2a) t^3$$

$$I_w = \frac{t}{12} [2h^2 m^3 + 3h^3 m^2 + 2h^2 (b - m)^3 + 6ah^2 (b - m)^2 + 6a^2 h (b - m) n + 2a^3 n^2]$$

$$m = \frac{bh(b + 2a) + a^2 n}{(h + 2b + 2a) h}$$

$$n = 2b \sin\theta_1 + h \cos\theta_1$$

B.2.10 圆钢管。



$$A = \pi dt$$

$$I_x = I_y = \frac{1}{8} \pi t d^3$$

$$i_x = \frac{d}{2\sqrt{2}}$$

附录 C 考虑冷弯效应的强度设计值的计算方法

C.0.1 考虑冷弯效应的强度设计值 f' 可按下式计算：

$$f' = \left[1 + \frac{\eta(12\gamma - 10)t}{l} \sum_{i=1}^n \frac{\theta_i}{2\pi} \right] f \quad (\text{C.0.1-1})$$

式中 η ——成型方式系数，对于冷弯高频焊（圆变）方、矩形管，取 $\eta = 1.7$ ；对于圆管和其他方式成型的方、矩形管及开口型钢，取 $\eta = 1.0$ ；

γ ——钢材的抗拉强度与屈服强度的比值，对于 Q235 钢可取 $\gamma = 1.58$ ，对于 Q345 钢可取 $\gamma = 1.48$ ；

n ——型钢截面所含棱角数目；

θ ——型钢截面上第 i 个棱角所对应的圆周角（如图 C.0.1 所示），以弧度为单位；

l ——型钢截面中心线的长度，可取型钢截面积与其厚度的比值。

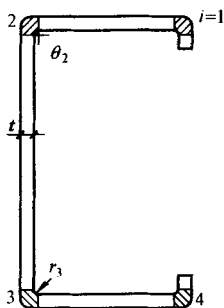


图 C.0.1 冷弯薄壁型钢截面示意图

型钢截面中心线的长度 l ，亦可按下式计算：

$$l = l' + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \theta_i (2r_i + t) \quad (\text{C.0.1-1})$$

式中 l' ——型钢平板部分宽度之和；

r_i ——型钢截面上第 i 个棱角内表面的弯曲半径；

t ——型钢厚度。

附录 D 侵蚀作用分类和防腐涂料底、面漆配套及维护年限

D.0.1 外界条件对冷弯薄壁型钢结构的侵蚀作用分类可按表 D.0.1 采用。

表 D.0.1 外界条件对冷弯薄壁型钢结构的侵蚀作用分类

序号	地区	相对湿度 (%)	对结构的侵蚀作用分类		
			室内(采暖房屋)	室内(非采暖房屋)	露天
1	农村、一般城市的商业区及住宅	干燥, < 60	无侵蚀性	无侵蚀性	弱侵蚀性
2		普通, 60~75	无侵蚀性	弱侵蚀性	中等侵蚀性
3		潮湿, > 75	弱侵蚀性	弱侵蚀性	中等侵蚀性
4	工业区、沿海地区	干燥, < 60	弱侵蚀性	中等侵蚀性	中等侵蚀性
5		普通, 60~75	弱侵蚀性	中等侵蚀性	中等侵蚀性
6		潮湿, > 75	中等侵蚀性	中等侵蚀性	中等侵蚀性

注: 1 表中的相对湿度系指当地的年平均相对湿度, 对于恒温恒湿或有相对湿度指标的建筑物, 则按室内相对湿度采用;
2 一般城市的商业区及住宅区泛指无侵蚀性介质的地区, 工业区是包括受侵蚀介质影响及散发轻微侵蚀性介质的地区。

D.0.2 常用防腐涂料底、面漆配套及维护年限可按表 D.0.2 采用。

表 D.0.2 常用防腐涂料底、面漆配套及维护年限

侵蚀作用类别	表面处理	涂料 年限	底面漆配套涂料						维护 年限 (年)
			底漆	道数	膜厚(μ)	面漆	道数	膜厚(μ)	
室内	无侵蚀性	第一类	Y53—31 红丹油性防锈漆	2	60	C04—2 各色醇酸磁漆	2	60	15~20
	弱侵蚀性		Y53—32 铁红油性防锈漆	2	60				
F53—31 红丹酚醛防锈漆			2	60	C04—45 灰醇酸磁漆	2	60		
F53—33 铁红酚醛防锈漆			2	60					
C53—31 红丹醇酸防锈漆			2	60	C04—5 灰云铁醇酸磁漆	2	60		
C06—1 铁红醇酸底漆			2	60					
F53—40 云铁醇酸防锈漆			2	60					
室外			弱侵蚀性						

第五章 钢结构构件制作实例

侵蚀作用类别		表面处理	涂料 年限	底面漆配套涂料						维护 年限 (年)
				底 漆		膜厚 (μ)		面 漆		
室内 室外	中等侵蚀性	酸洗磷化 处理, 喷 砂 (丸) 除锈	第 二 类	H06—2 铁红环氧树脂底漆	2	60	灰醇酸改性过氯乙烯磁漆	2	60	10~15
				铁红环氧改性 M 树脂底漆	2	60	醇酸改性氯化橡胶磁漆	2	60	
				H53—30 云铁环氧树脂底漆	2	60	醇酸改性氯醋磁漆	2	60	5~7
				氯磺化聚乙烯防腐底漆	2	60	氯磺化聚乙烯防腐面漆	2	60	5~7

注：表中所列第一类或第二类中任何一种底漆（氯磺化聚乙烯防腐底漆除外）可和同一类别中的任一种面漆配套使用。