

## 第六章 主体钢结构及屋面系统

### 前 言

#### 第一节 工程概况及工程特点

#### 第二节 编制依据

#### 第三节 施工总部署

#### 第四节 材料采购与试验

#### 第五节 钢结构加工运输方案

#### 第六节 钢结构安装

#### 第七节 开启屋盖安装

#### 第八节 涂装工程

#### 第九节 焊接

#### 第十节 高强度螺栓

#### 第十一节 钢结构测量

#### 第十二节 施工组织管理机构

#### 第十三节 工程质量保证体系

#### 第十四节 安全健康管理措施

#### 第十五节 成品保护

#### 第十六节 雨季、冬季技术措施

#### 第十七节 现场文明施工及环保措施

---

## 第十八节 工程验收

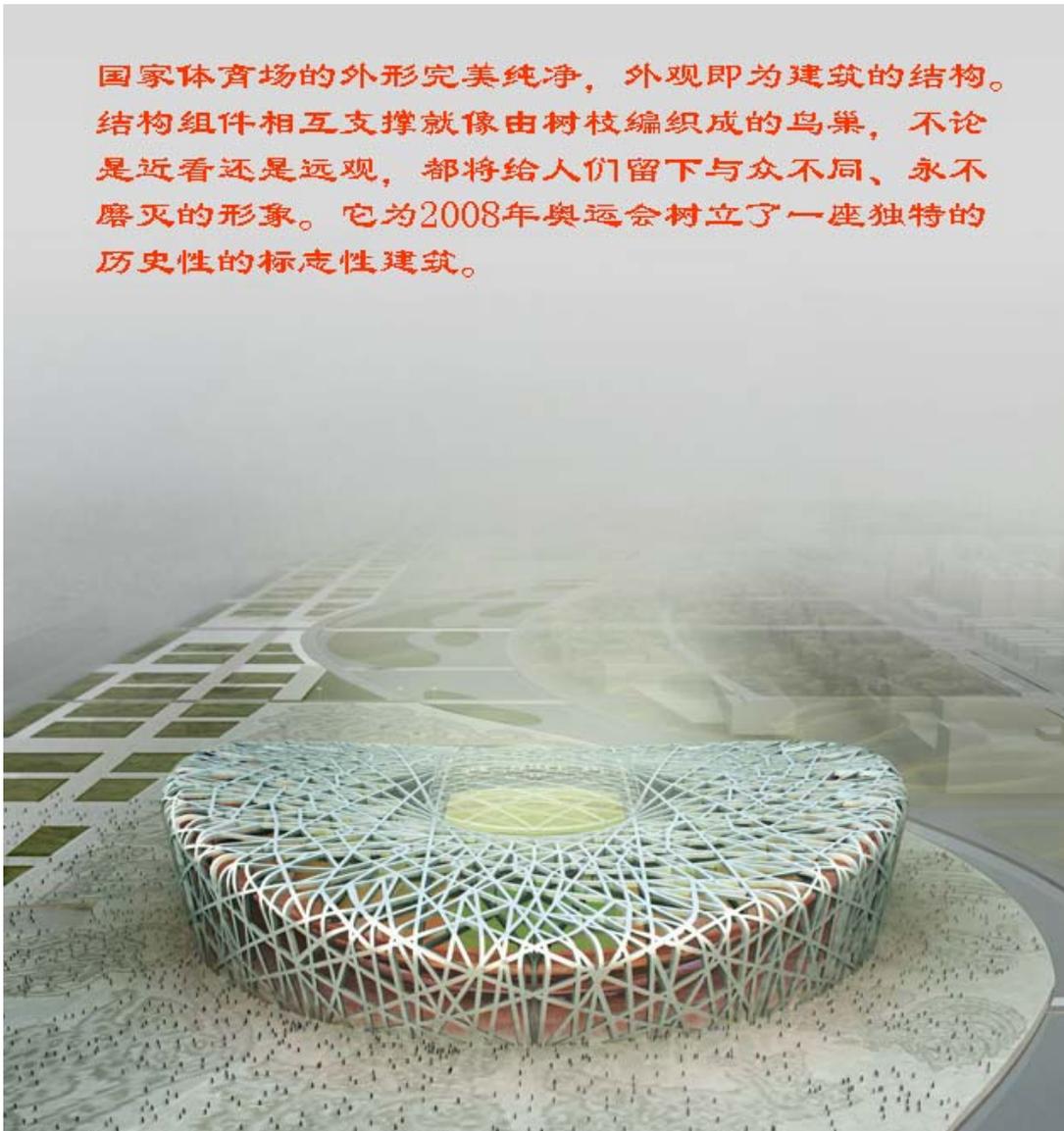
### 膜结构工程

筑龙网 WWW.ZHULONG.COM

## 第六章 主体钢结构及屋面系统

### 前 言

国家体育场的外形完美纯净，外观即为建筑的结构。结构组件相互支撑就像由树枝编织成的鸟巢，不论是近看还是远观，都将给人们留下与众不同、永不磨灭的形象。它为2008年奥运会树立了一座独特的历史性的标志性建筑。



附图 6-1 体育场全景

\*\*体育场“鸟巢”方案被认为在世界建筑史上具有开创性的意义，因而承接这一项目意味着我们将面临一次空前的挑战。赢得这一挑战我们将获一次空前的超越自我的飞跃。

承接这一项巨大的、面向 21 世纪的、饱含人文奥运观念的人民体育圣殿，我们必须解决诸如：“非规则”的钢结构体系设计、加工、安装，资源的本土化，巨型可开启屋顶的稳定、可靠性，经济的运营维护，切实有效的抗震防灾措施等一系列技术课题。这一系列课题的解决均有赖于合理地整合应用成熟的现有先进技术，以国际先进的技术成果为催化剂推动设计、建造、安装技术的整体提升。建立并完善技术创新机制，高效运用现代信息技术，充分利用国内外各方面技术专家的技术知识优势，是我们实现技术持续推进的必经之路。

通过认真研究招标文件和“鸟巢”方案的特点以及工程建设的背景和总体进度要求，我们认为在整个钢结构及屋面系统的建造施工中应当特别予以关注和解决的关键课题如下：

#### 1、钢结构工程：

根据深化设计结果，确定经济合理的主钢结构钢材选型，力争做到主钢结构并用钢材的资源供应本土化，相应制定合理的焊接工艺；

通过对建筑结构方案的深化设计和优化，确定合理的结构和构件体系；针对主次结构布置“非规则”特点，根据国内现有的工艺及装备水平确定合理可行的连接节点和加工分段形式；合理组织国内钢结构加工力量资源保证在统一的质量要求前提下实现钢结构加工工期目标。

选择先进、合理、可行的钢结构安装方案；先进可行的现场焊接工艺；统筹安排组织施工现场的大型构件分段组拼，运输，拼装和吊装，确保质量和工期目标的实现。

本工程具有目前世界最大的可开启屋盖系统，设计采用合理的轮轨、驱动及控制系统，严格的安装精度控制和调试是保证其运营中可靠运行的保证。

钢结构的防腐涂装是保证整个\*\*体育场工程百年设计使用寿命质量目标实现、降低运营期间维护费用的关键工序，选择合理的除锈工艺和科学优质的涂层配套方案是关键。

#### 2、屋面膜结构工程：

本项目中的屋顶工程创造了两项世界之最：目前世界上最大的具有可开启屋盖的全天候

体育场；世界上最大规模采用“ETFE”透明充气膜结构的屋顶。按照建筑方案说明，该体育场可在任何气候条件下满足各项国际赛事要求。屋盖闭合后，95%以上的自然光能够透射进体育场内，满足草坪的自然生长。因此工程对膜结构的设计和施工有很高的要求。我们与世界上最大的两家生产 ETFE 膜结构的厂家（日本太阳工业和德国 SKYSPAN 公司）共同对概念设计方案进行了认真的分析研究，认为设计施工中着重解决以下技术问题：

ETFE 膜在国内罕有采用，国内、国外均没有统一的质量检验标准。因此工程开始后应立即召集设计、监理、供货商、总承包商以及中国钢结构协会空间钢结构分会膜结构专家、政府质量监督部门共同制定 ETFE 膜结构的质量检验标准，规定供货商所应出具的工程技术资料和质量证明材料，以利工程实施中的质量监督管理。

ETFE 供货商或承包人应配合承担膜结构的构造设计，同时必须考虑屋面排水系统的设计，以保证屋面系统设计的统一性。

通过日照分析对不影响草坪照明的部位（如：看台高处上方屋顶）的 ETFE 膜结构适当采用印有不同密度圆点的 ETFE 膜材降低透光率，减少紫外线透射对观众的伤害。

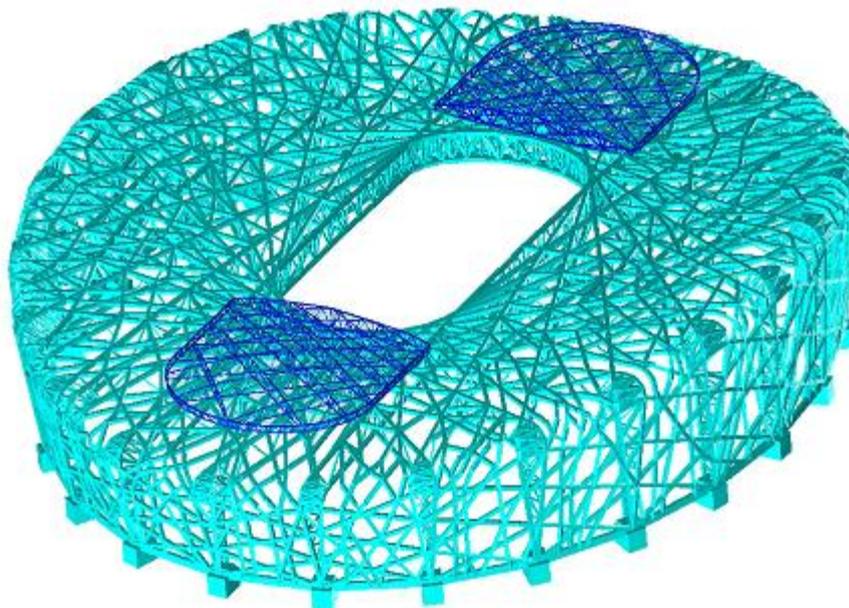
膜安装过程中必须充分考虑膜结构与屋面排水系统、充气（含空气过滤、除湿和加热）气压保持系统安装的复杂性，合理化分钢结构施工分阶段验收区域，为膜结构安装的提早插入施工创造条件。同时充分注意膜材的特性，合理安排工序，作好成品保护。

以下按钢结构工程和屋面膜结构工程两部分叙述施工方案。总体进度计划附后。

## 第一节 工程概况及工程特点

### 1.1 工程概况

\*\*体育场为 2008 年\*\*主会场，可容纳 100,000 人同时观看比赛。支承体育场看台的放射状混凝土框架结构与环绕它们并形成主屋盖的空间钢结构完全分离。空间钢结构由一系列门式桁架围绕着体育场内部碗状座席区旋转而成，结构组件相互支撑，形成网格状构架，组成体育场整体的“鸟巢”造型。所有的钢结构构件自然裸露在外，不加幕墙或其他外墙的粉饰，形成建筑物独有的外观特点。



附图 6-2 体育场透视

工程±0.00 标高相对于绝对标高为 45.50m，屋面呈双曲面马鞍型，东西跨度结构相对标高为 66.87 米，南北跨度结构相对标高为 40.01 米。屋盖主结构为箱型截面，上弦杆和下弦杆构件边长 1.5 米，上下弦杆之间为边长 0.75 米的箱型竖腹杆与斜腹杆交错编织，屋盖矢高为 12.00 米。屋盖竖向由 24 根钢格构柱支撑，每根钢格构柱由 3 根箱型截面边长 1.5 米的钢柱组成，使荷载通过它传递至基础。可开启屋盖由两个部分组成开启和关闭系统，矢高为 7.50

米，结构形式基本同主屋盖，沿着屋盖顶部的轨道运动来实现开启或关闭。钢结构上弦构架底部之间用透明的 ETFE 气垫膜来填充，既保证屋盖的防水要求，又保证体育场透射充足的阳光；下弦下部用半透光的、可开启的 ETFE 气垫膜，保证体育场内达到漫光散射的温和光照效果和改善紫外线的照射强度。



附图 6-3 体育场内部光照效果

## 1.2 钢结构构件尺寸及重量统计

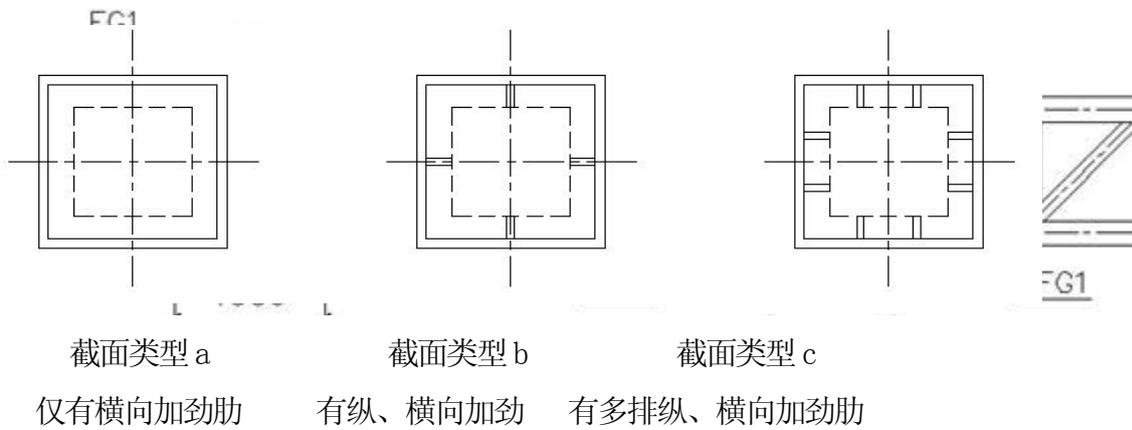
附表 6-1 钢结构几何尺寸表

位置		截面尺寸(mm)	截面类型	
屋顶	上弦杆	有移动屋盖轨道处	1500*1500*60	a
		外圈	1500*1500*36	b
		中圈、内圈	1500*1500*25	b
	下弦杆	有移动屋盖轨道处、外圈	1500*1500*36	b
		内圈、中圈	1500*1500*25	b
	腹杆	有移动屋盖轨道处、外圈	750*750*30	a
内圈、中圈		750*750*12	b	
柱	弦杆	外侧弦杆	1500*1500*40	b

		内侧上部 20m 弦杆	1500*1500*80	a
		内侧其它弦杆	1500*1500*60	a
	腹杆	0~20m 腹杆	750*750*40	a
		其它腹杆	750*750*30	a
柱间支撑			1500*800*25	
格构式次结构			FG1-120*4 FG2- 60*2	
移动 屋盖	上下 弦杆	悬臂区域	500*500*40	a
		屋顶外环	500*500*20	a
		其它	400*400*16	a
	腹杆	悬臂区域	300*300*24	a
		屋顶外环	300*300*10	a
		其它	200*200*8	a

注：主结构、次结构截面类型详见附图。

次结构构件采用 Q235 钢材，其它构件采用 Q345 钢材。



附图 6-4 截面类型示意

附图 6-5 次结构格构式截面示意 (略)

附表 6-2 钢结构用钢量表

结构重量	主结构重 (t)	55000
	次结构重 (t)	4900
	移动屋盖重 (t)	1580
	结构总重 (t)	61080
移动屋盖最大竖向位移 (mm)		-268

移动屋盖最大拉应力 (N/mm <sup>2</sup> )	271
移动屋盖最大压应力 (N/mm <sup>2</sup> )	-281

### 1.3 工程特点

#### 1.3.1 工程规模大，构件吨位重

**1.3.1.1** 椭圆形主结构屋盖长轴 339.20 米，短轴 291.55 米；中心环体长轴 142.24 米，短轴 74.50 米，矢高 12.00 米。开启屋盖跨度大 81.00 米。

**1.3.1.2** 单根钢柱最大截面尺寸 1.5m×1.5m×80(40)mm，长度 60 米，单重 188.4 吨。三根钢柱组成一根钢格构柱，总重量 590 吨。井字桁架由上下弦杆及腹杆组成，最大吊装长度约 60 米，重约 385 吨；斜桁架由上下弦杆及腹杆组成，最长吊装长度约 69 米，重约 312 吨。开启屋盖单个尺寸 81.00m×74.20m×7.5mm，单重 790 吨。

#### 1.3.2 设计新颖，节点复杂

**1.3.2.1** 工程设计有诸多亮点：钢结构外侧无装饰结构，构件交叉编织即组成建筑外造型。屋面设置大跨度可开启屋盖。屋盖采用 ETFE 充气膜结构。

**1.3.2.2** 主体构件均为大截面箱型结构，杆件相交节点复杂，一个节点在三维空间汇交多根杆件。为营造“鸟巢”效果，屋面次结构节点更是复杂多变，规律性很少。

#### 1.3.3 施工难度大

**1.3.3.1** 单体构件体形大，无法直接运输、安装，需采取分段加工。为保证施工质量，必须确定合理的加工工艺。

**1.3.3.2** 材料为低合金结构钢 Q345，板厚分为 40mm、60mm、80mm。大箱型断面，对焊接产生的应力、变形收缩值和层状撕裂都很难控制。总焊接焊条、焊丝数百吨，焊接量非常大。

**1.3.3.3** 中心环体两端为弧形，与斜桁架相接会出现锐角相接，施工操作面小，焊接困难，无法保证质量。

**1.3.3.4** 可开启屋盖安装要求精度高，必须保证其使用功能。

**1.3.3.5** 钢结构构件均裸露在外，需要对构件进行长效防腐处理；由于防腐面积巨大，如需进行再次涂装工程量非常大。

**1.3.3.6** 由于膜结构“镶嵌”在屋面次结构空当部分，使膜结构外形极不规则，加工工作量非常大。

### **1.3.4** 工期要求紧

**1.3.4.1** 工程为\*\*主会场，工程必须按时交付使用，工期绝不能拖延；

**1.3.4.2** 与土建单位存在立体交叉作业，工程总指挥部必须合理调配各参战单位的施工部署，统筹安排，使工程有序施工。

**1.3.4.3** 从钢结构深化设计、组织工程材料、构件制作、运输，到现场施工准备，拼装，提升、吊装，工序繁多，必须衔接紧密、穿插流水、人员机械配备充足，才能按期保质完成。

## **第二节 编制依据**

**2.1** 北京奥林匹克公园（B区）\*\*体育场项目法人合作方招标文件（第一卷~第五卷）、答疑文件及往来传真、信函；

**2.2** \*\*体育场工程深化设计方案；

**2.3** 现行国家施工规范、标准及规程（但不限于）

**附表 6-3 工程涉及施工规范规程**

序号	标准号	名称
1	GB700	碳素结构钢
2	GB/T1591	低合金高强度结构钢

3	GB5313	厚度方向性能钢板
4	GB5117	碳钢焊条
5	GB5118	低合金钢焊条
6	GB/T14957	熔化焊用钢丝
7	GB/T14958	气体保护焊用钢丝
8	GB/T1228~1231	钢结构高强度六角头螺栓、大六角头螺母、垫圈与技术条件
9	GB5780	六角头螺栓—C级
10	GB3632~3633	钢结构用扭剪型高强度螺栓连接副
11	JGJ82—91	钢结构高强度螺栓连接的设计、施工及验收规程
12	GB50026-93	工程测量规范
13	GBJ17—88	钢结构设计规范
14	JGJ99-98	高层民用建筑钢结构技术规程
15	CECS102: 98	门式刚架轻型房屋钢结构技术规程
16	JGJ81—2002	建筑钢结构焊接规程
17	GB50300-2002	建筑工程施工质量验收统一标准
18	GB50205—2001	钢结构工程施工质量验收规范
19	GB11345—89	钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果的分级
20	GB3323	钢融化焊对接接头射线照相和质量分级法
21	GB500715	高层民用建筑设计防火规范
22	GB8923	涂装前钢材表面锈蚀等级和除锈等级
23	GB14907	钢结构防火涂料通用技术条件
24	CECS24: 90	钢结构防火涂料应用技术规程

25	JGJ33-2001	建筑机械使用安全技术规程
26		参照厂家及相应国家膜结构技术标准及规范
27		公司企业标准：质量保证手册及施工作业指导书

**2.4** 施工单位在类似结构工程中丰富的施工经验。

### 第三节 施工总部署

#### 3.1 施工总体安排

由于建筑结构的特殊性，对工程材料的采购、钢构件的加工、安装方案的选择都提出了严格的要求。

##### 3.1.1 工程材料采购

工程用钢量特别是厚板用量大，且全部钢结构外露，要求钢材满足负温度下的力学性能。通过结构优化设计分析得出的结构的应力状况，采用国产 Q345D 级钢板即可满足要求。为保证钢材的适焊性和抗层状撕裂性能，建议采用满足冶金部标准 YB4104-2000（高层建筑结构用钢板行业标准）的优质国产钢材。目前，国内有能力生产优质中厚钢板的知名企业，完全可以按照 JIS 标准、ASTM 标准及 YB4104-2000 生产优质中厚钢板。因此本工程钢结构所需大量钢材完全可以实现本土化采购。

##### 3.1.2 钢构件加工

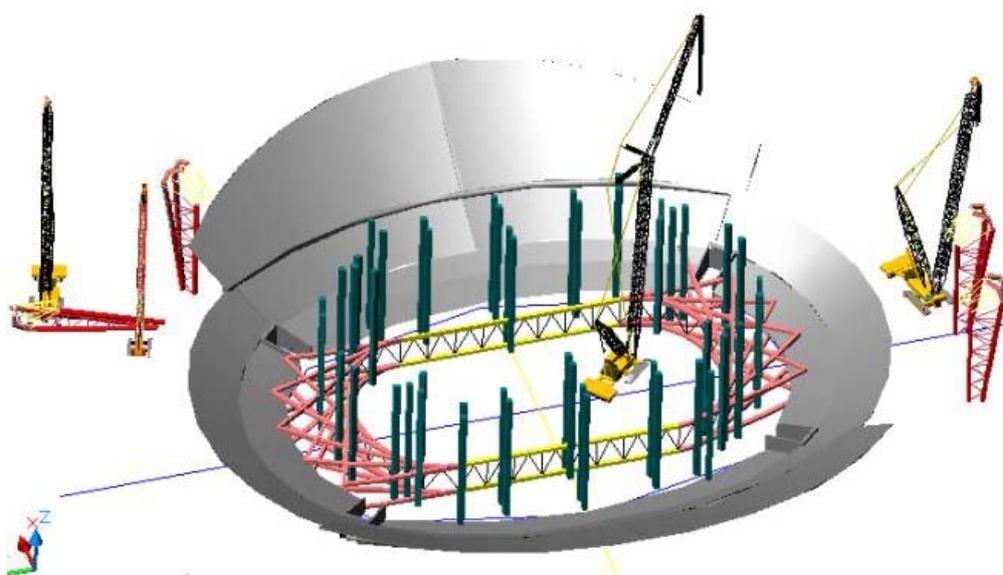
由于结构构件板材厚、重量大，且总加工量非常大。加工厂家的选择不仅要保证厚板加工成型的质量，而且要保证有较强的年生产能力。因此，加工厂家不一定限制在某一企业，要在全国优秀的钢结构加工企业综合考察、选择，最终确定钢构件加工企业。同时，充分考虑北京加工企业运输的便利条件，普通的、小型构件可选择在北京当地加工，来分担主要构件加工负担。

### 3.1.3 钢结构安装

为了控制钢结构的施工质量，我们采用现场组拼焊接，整体提升吊装，减少临时支撑的数量，减少在空中的焊接施工量，保证钢结构的焊接质量。首先进行钢屋盖中心环体+部分斜桁架采用地面组装，整体提升吊装。主桁架在提升结构就位后，整体拼装吊装，次结构构件在主桁架安装后吊装焊接。在地面组装中，要设置能够使构件翻转的装置。

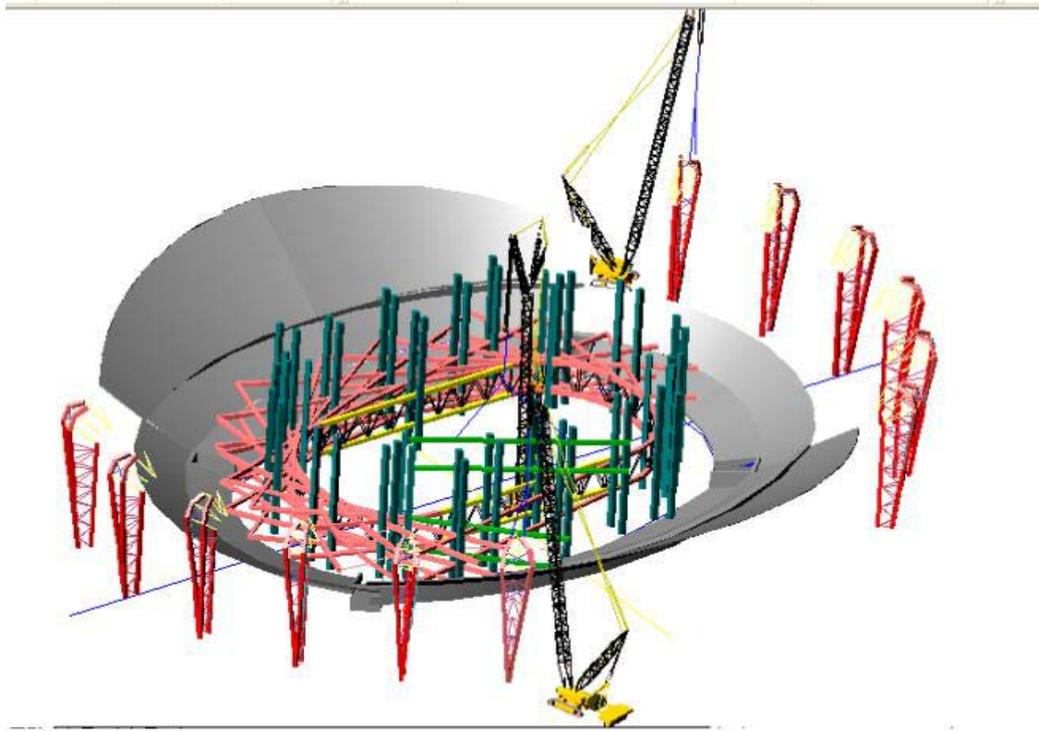
钢结构总体安装吊装步骤：

步骤一：拼装中心环体及内圈斜桁架，吊装钢格构柱



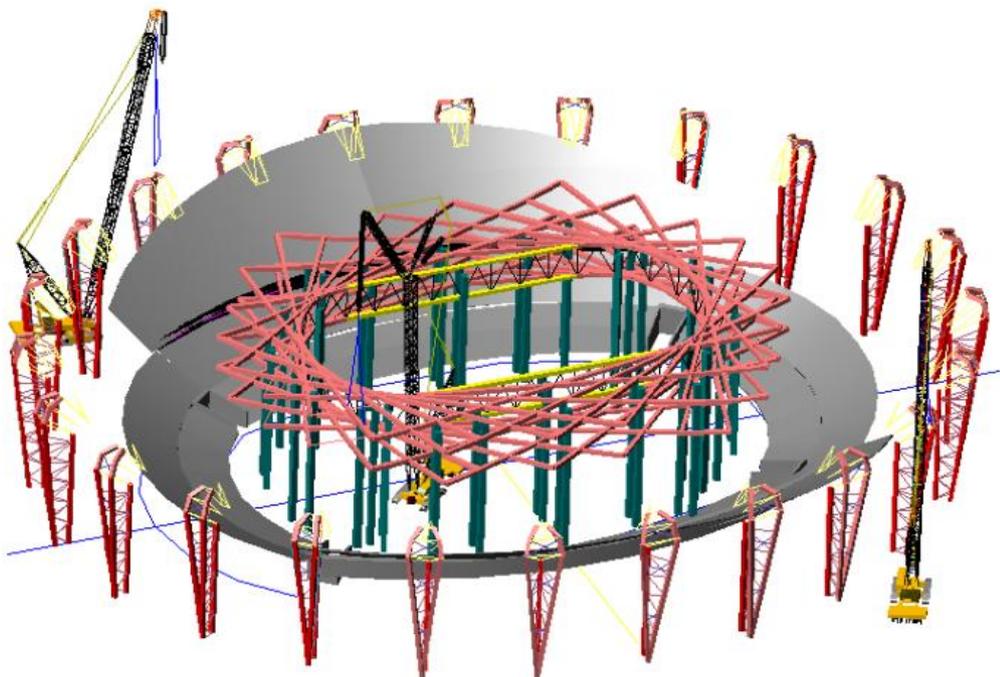
附图 6-6 提升结构拼装及钢格构柱吊装

步骤二：结构第一次提升后拼装外圈斜桁架



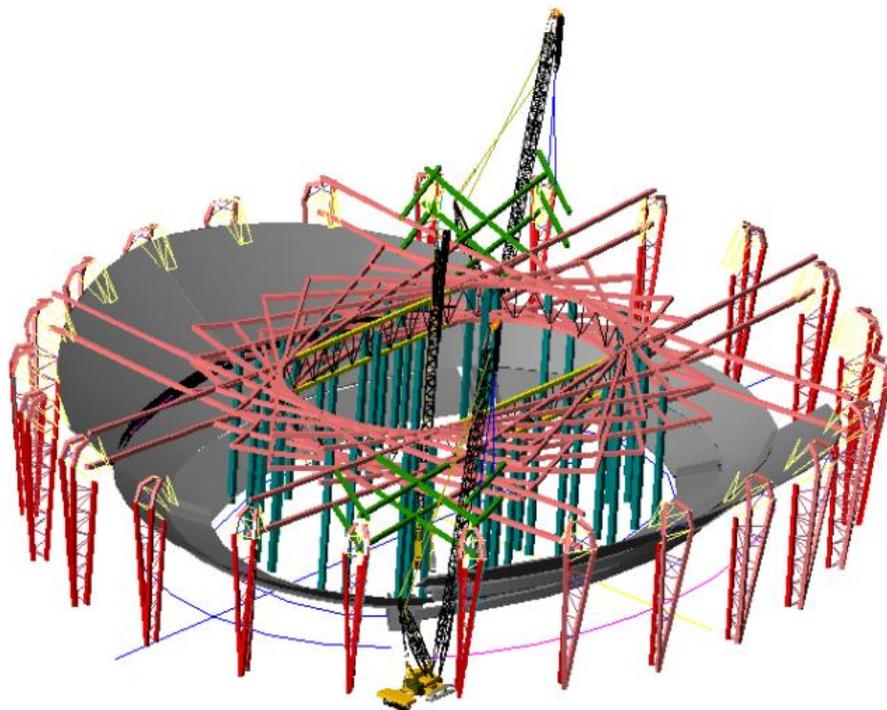
附图 6-7 第一次提升后拼装外圈斜桁架

步骤三：结构提升到位



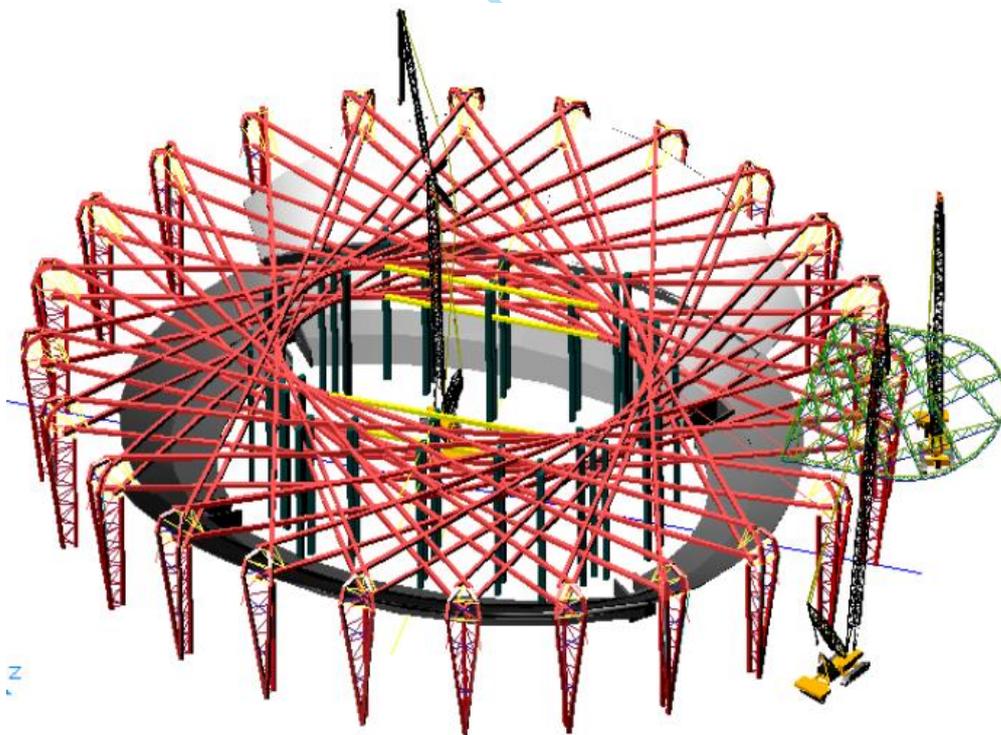
附图 6-8 提升到位

步骤四：安装屋面构件



附图 6-9 斜桁架吊装

步骤五：整体吊装可开启屋盖



附图 6-10 开启屋盖整体吊装

### 3.1.4 膜结构安装

建筑物建成后将成为世界上最大规模采用“ETFE”透明充气膜结构的屋顶。工程对膜结构的设计和施工有很高的要求。为保证膜结构施工质量，我们与世界上最大的两家生产 ETFE 膜结构的厂家（日本太阳工业和德国 SKYSPAN 公司）共同对概念设计方案进行了认真的分析研究，制定了详尽的施工方案。

由于建筑物结构外形复杂，为形成“鸟巢”造型，屋面杆件布置极不规则，为膜结构加工及安装造成极大困难。必须做好产品统一编号，便于施工。而且必须在现场配备膜结构加工设备，以备可能出现的修补作业。

由于 ETFE 透明充气膜强度相对较差，因此膜结构的安装作业面上方及水平 20m 距离内不得同时作业，避免因电焊或其它尖锐物体对膜造成伤害。



附图 6-11 ETFE 膜结构工程实例

## 3.2 现场平面布置

**3.2.1.**虽然工程占地面积大，但由于工程量大，参战单位多，施工工序复杂，必须合理安排施工现场平面布置，才能使施工合理有序地运转。

**3.2.1.1.**施工场地以成府路为界分为南北两个区域。北侧红线内区域为钢构件周转仓库，构件由加工厂运至周转仓库，设置两台 30 吨龙门吊及一台 50 吨履带吊车负责构件装卸。南

侧为主体体育场场址所在，北端为钢构件拼装场地，设置两台 63 吨龙门吊负责构件搬运、装车；2 台 50 吨履带吊车负责构件平拼。构件平拼完成后，运至安装场地进行立拼装。

**3.2.1.2** 由于钢构件体型巨大，主构件组拼后一般在  $12\text{m} \times 12\text{m}$  左右或更大，为保证构件运输顺畅，体育场混凝土看台西北角预留 15 米宽构件运输通道，构件通过运输通道将拼装场地构件运至施工现场。

**3.2.1.3** 场区中心由跑道至看台区域为中心环体拼装构件堆放场地，跑道内侧（足球场区）为拼装外挑斜桁架时构件堆放场地。安排一辆 600 吨履带吊车在场区中心负责组拼提升结构及安装提升系统。

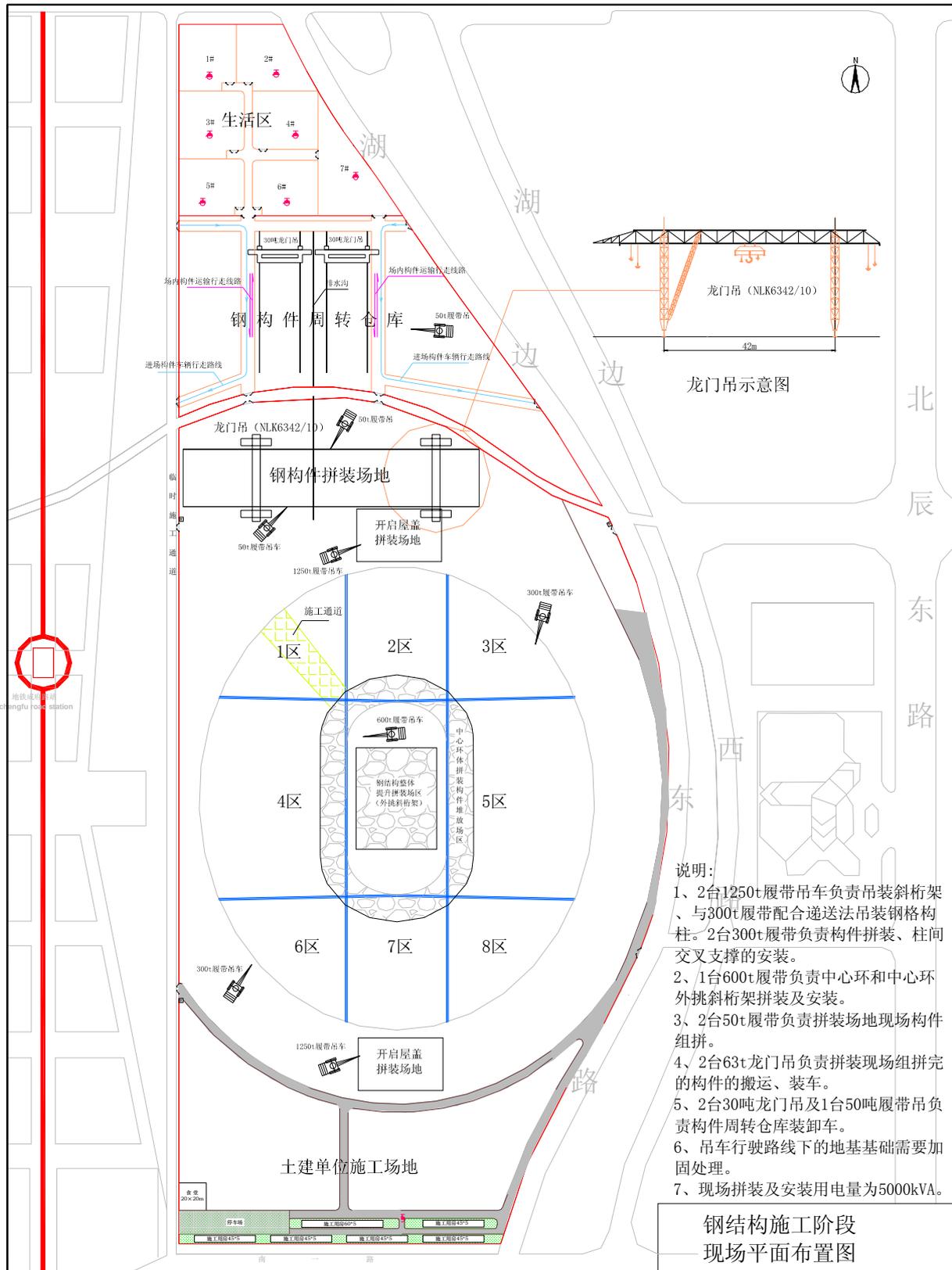
**3.2.1.4** 沿体育场外侧一周为钢格构柱、柱间交叉支撑、斜桁架构件堆放及立拼装场地。安排 2 台 1250 吨履带吊车及 2 台 300 吨履带吊车进行组拼、吊装。

**3.2.1.5** 体育场南北两侧各设置一个开启屋盖拼装平台，两边同时作业。待主体钢结构完成验收后，由两台 1250 吨履带吊车双机台吊进行开启屋盖整体吊装。

**3.2.1.6** 膜结构施工在钢结构分部完成吊装、涂装后进行，可在体育场内部布置施工区域及摆放加工设备，场地相对较为充足。

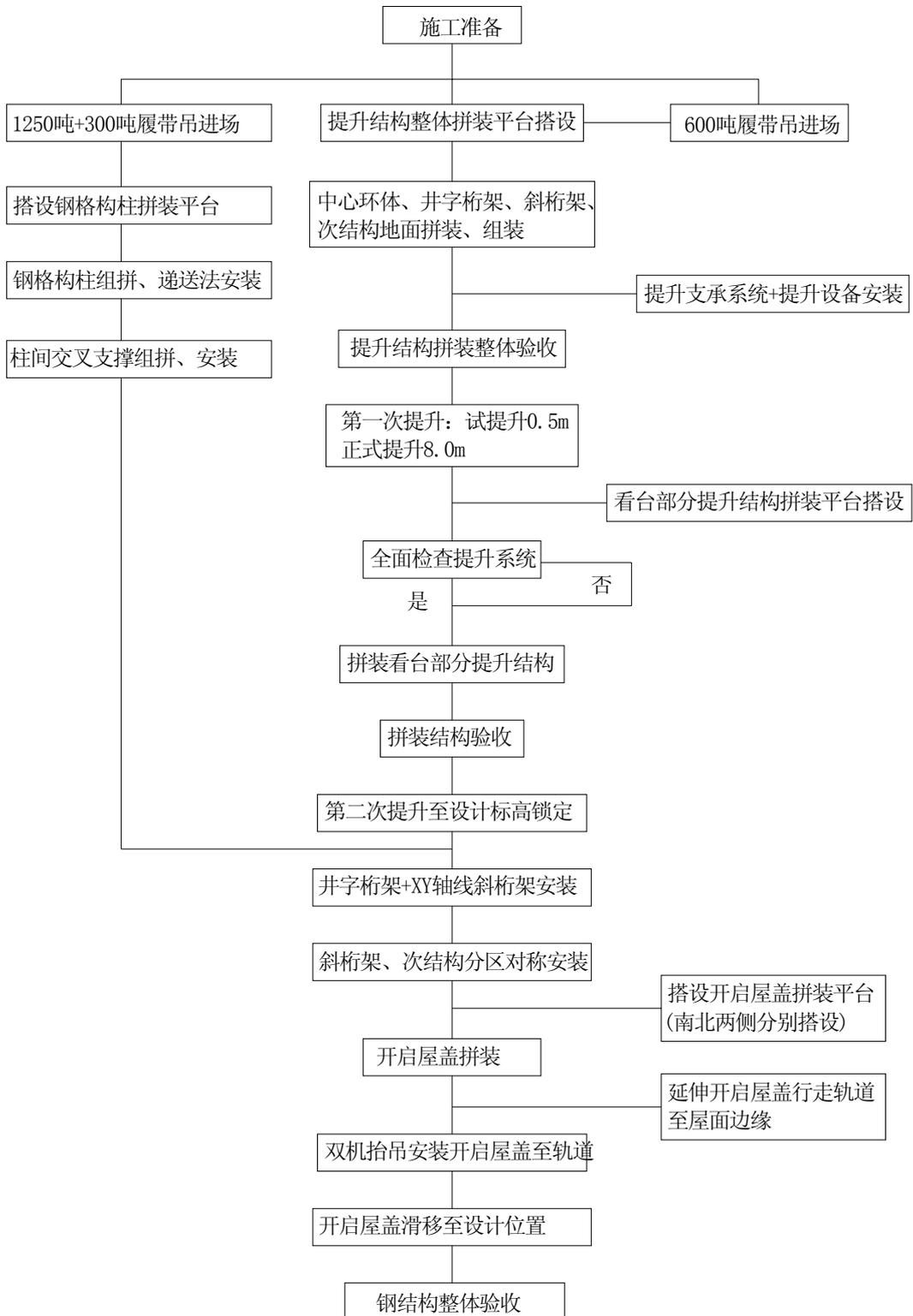
**3.2.2** 为使工程清晰有序进行，对施工现场进行分区，以井字桁架为分区线，钢结构施工现场共分为 8 个施工区：北侧为 1 区、2 区、3 区，中部为 4 区、5 区，南侧为 6 区、7 区、8 区。屋面结构吊装时按照施工区域对称吊装。

**3.2.3** 工程场区总体布置、施工区域划分见“钢结构施工阶段现场平面布置图”



附图 6-12 钢结构施工阶段现场平面布置图

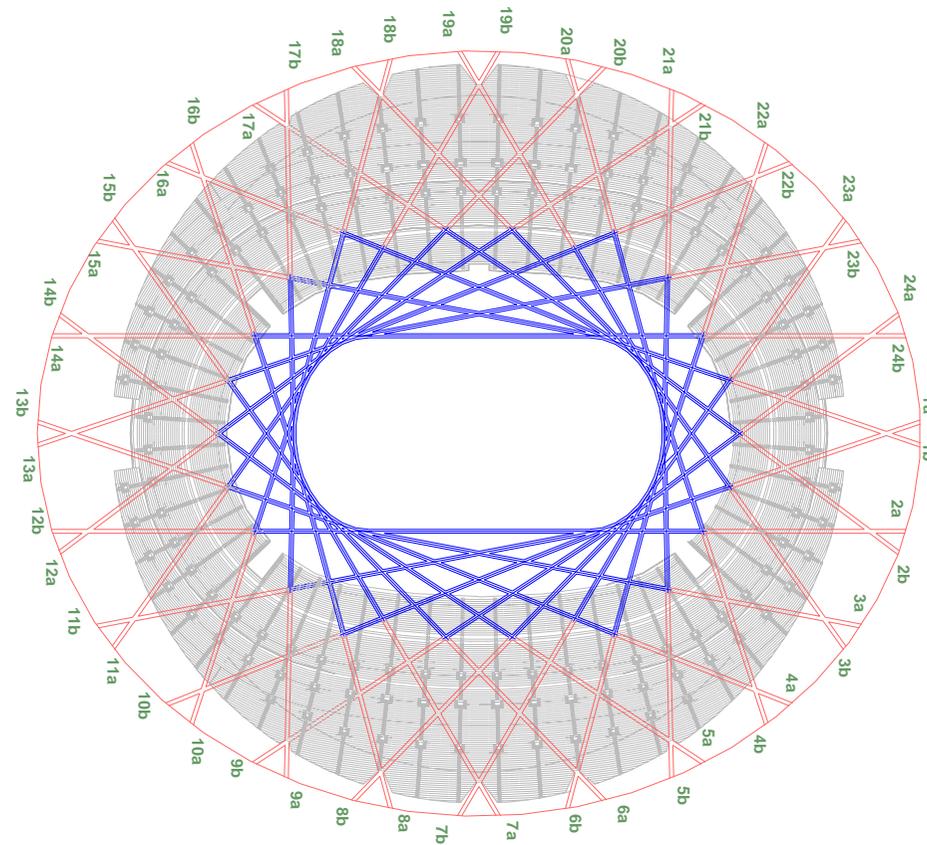
### 3.3 安装工序流程



附图 6-13 安装工序流程图

### 3.4 施工顺序

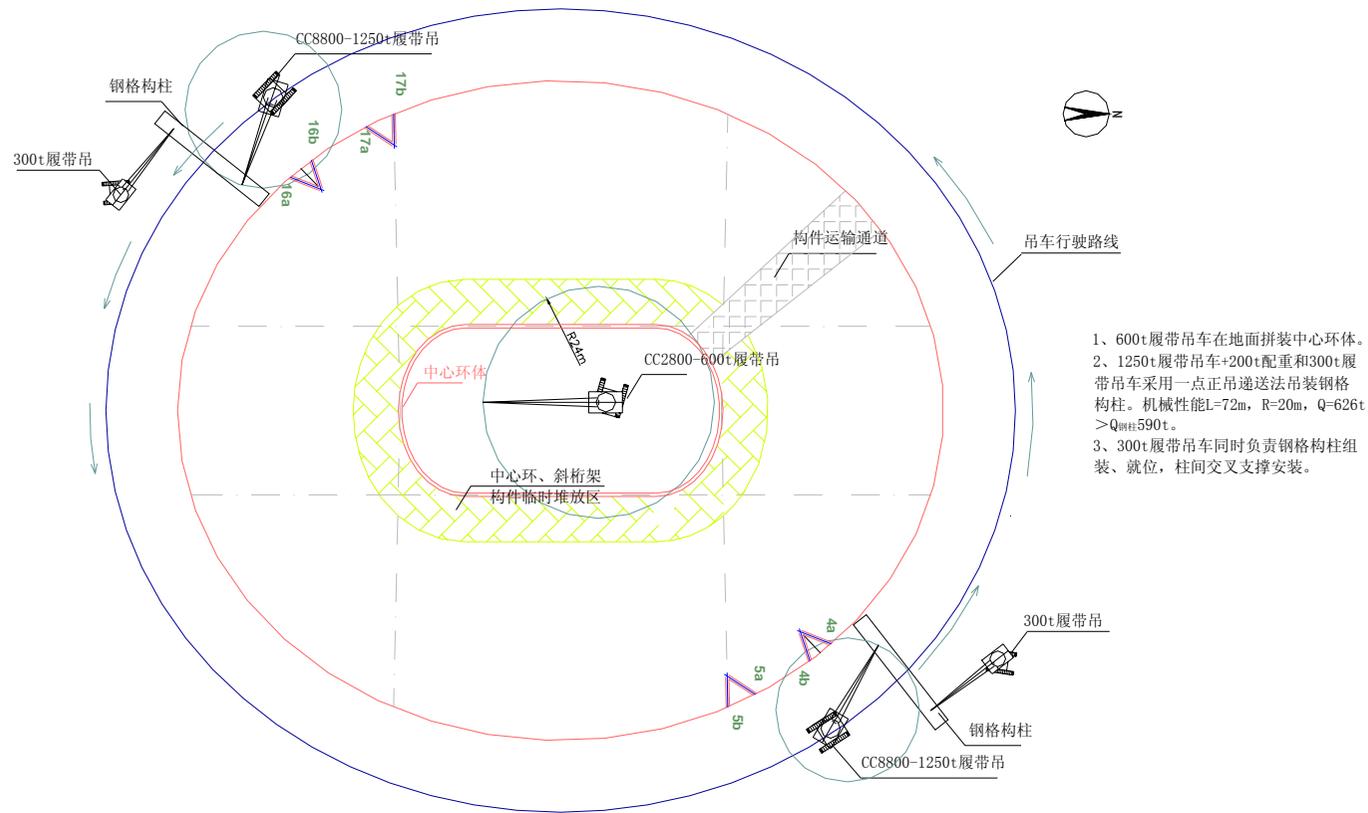
#### 3.4.1 整体提升钢结构在屋盖中位置平面



整体提升钢结构在屋盖中位置平面（示意图1）

附图 6-14 整体提升钢结构在屋盖中位置平面

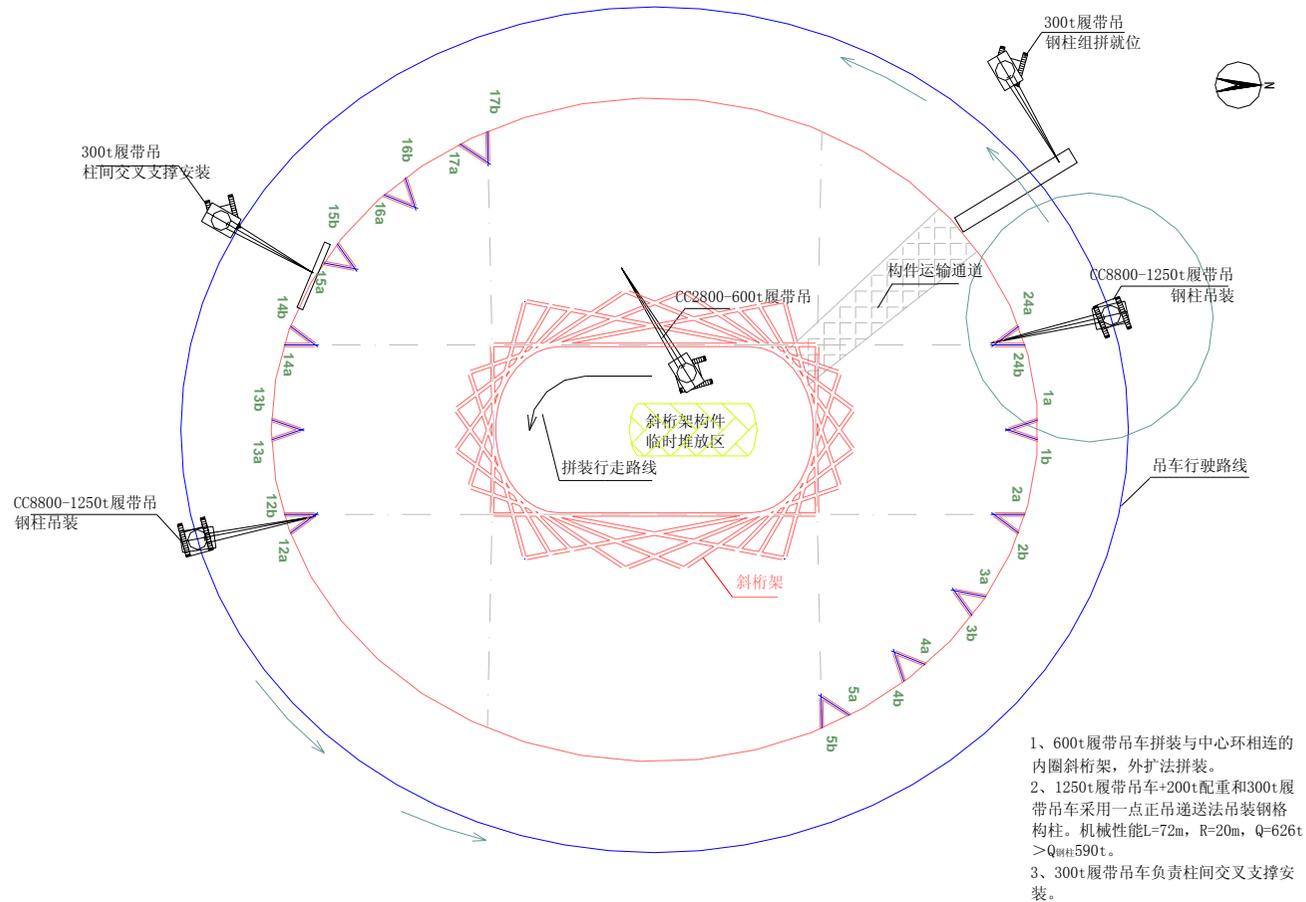
3.4.2 场区中心 600 吨履带吊车进行中心环体及内圈外挑斜桁架（不占看台部分）安装；同时场区外侧 1250 吨履带吊车与 300 吨履带吊车“递送法”进行钢格构柱及柱间交叉支撑安装。



中心环体地面组拼平面(示意图2)

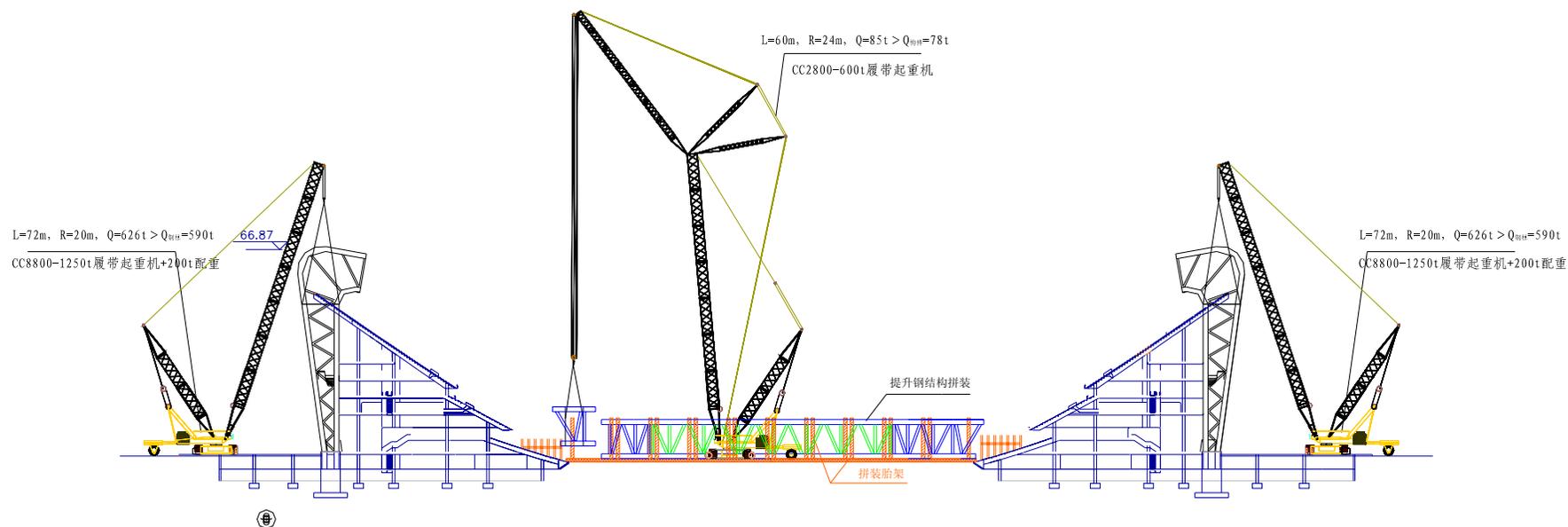
附图 6-15 中心环体地面组拼平面

3.4.3 中心环体内圈斜桁架“外扩法”对称拼装。



中心环体及内圈斜桁架地面组拼平面（示意图3）

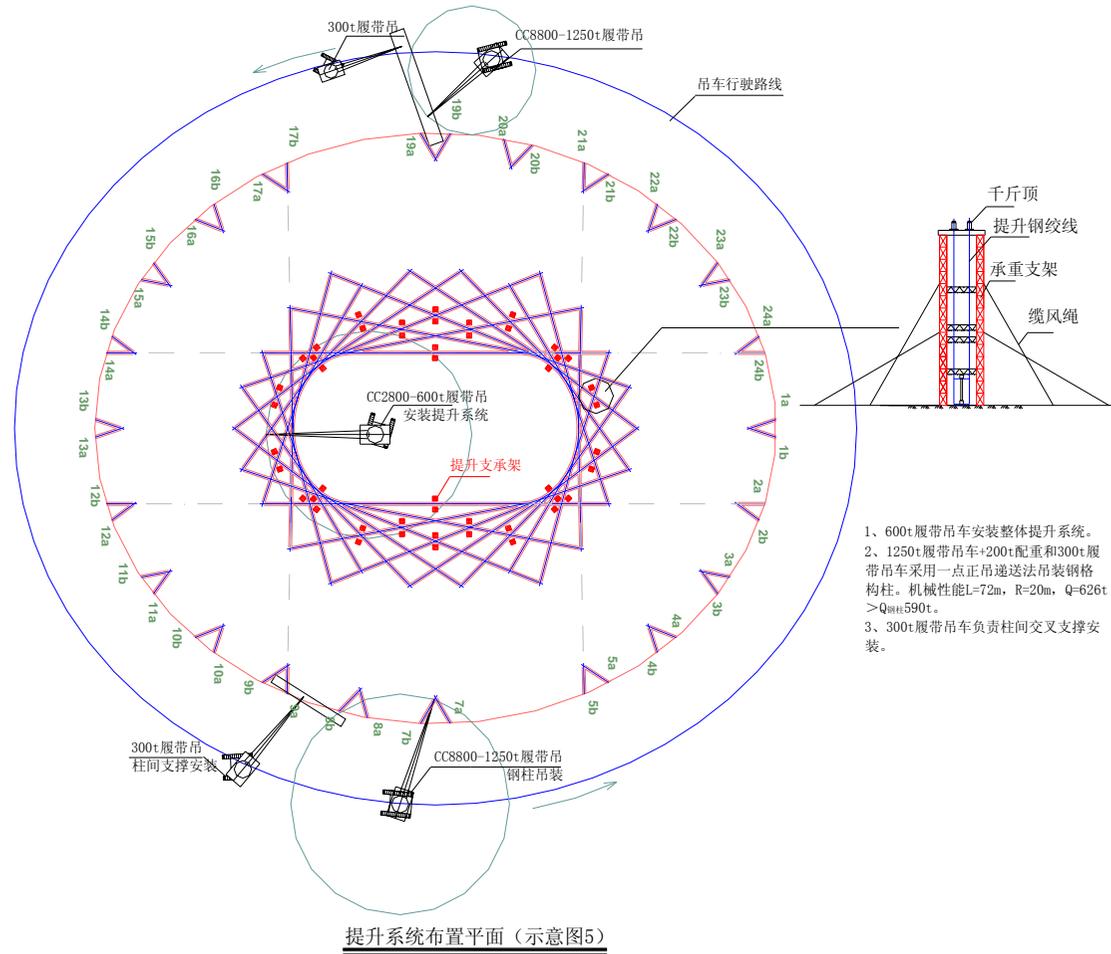
附图 6-16 中心环体及内圈斜桁架地面组拼平面



中心环体及内圈斜桁架地面组拼立面（示意图4）

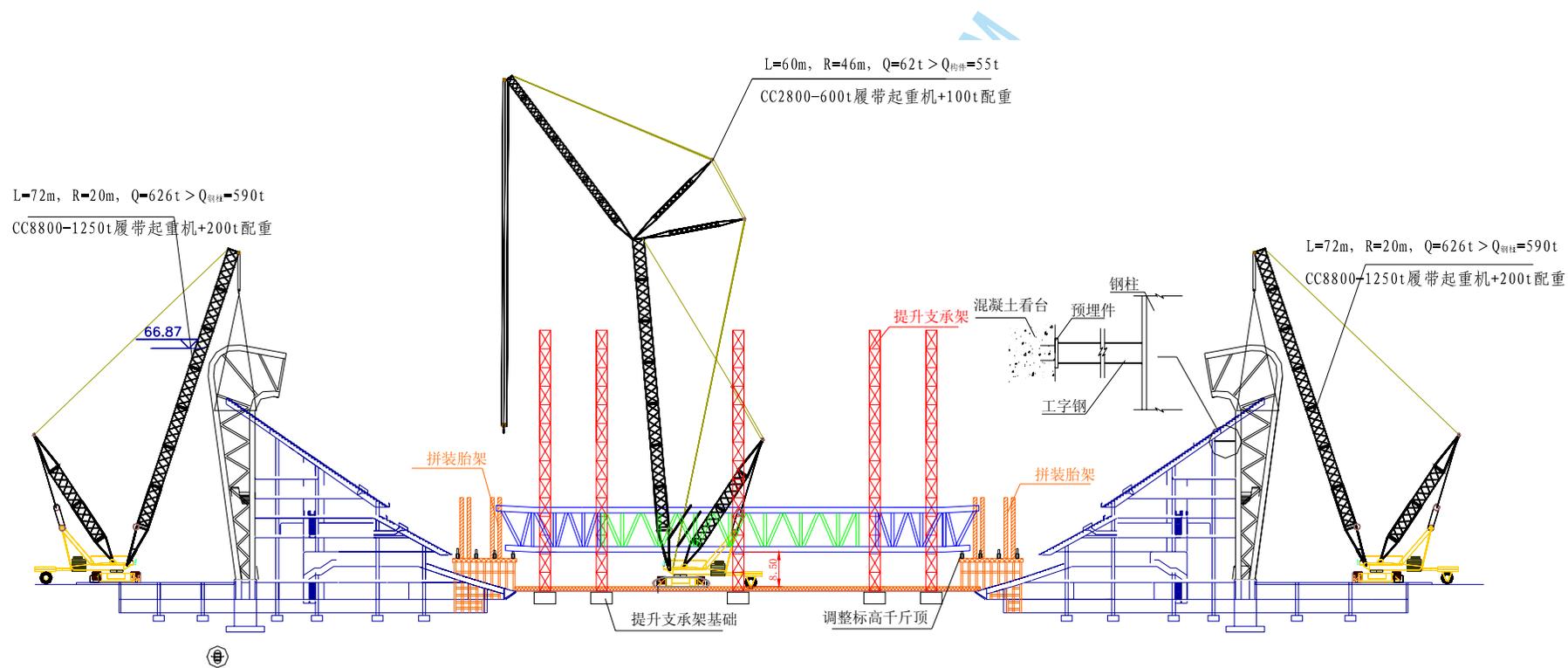
附图 6-17 中心环体及内圈斜桁架地面组拼立面

### 3.4.4 提升支架及提升设备安装。



附图 6-18 提升系统布置平面

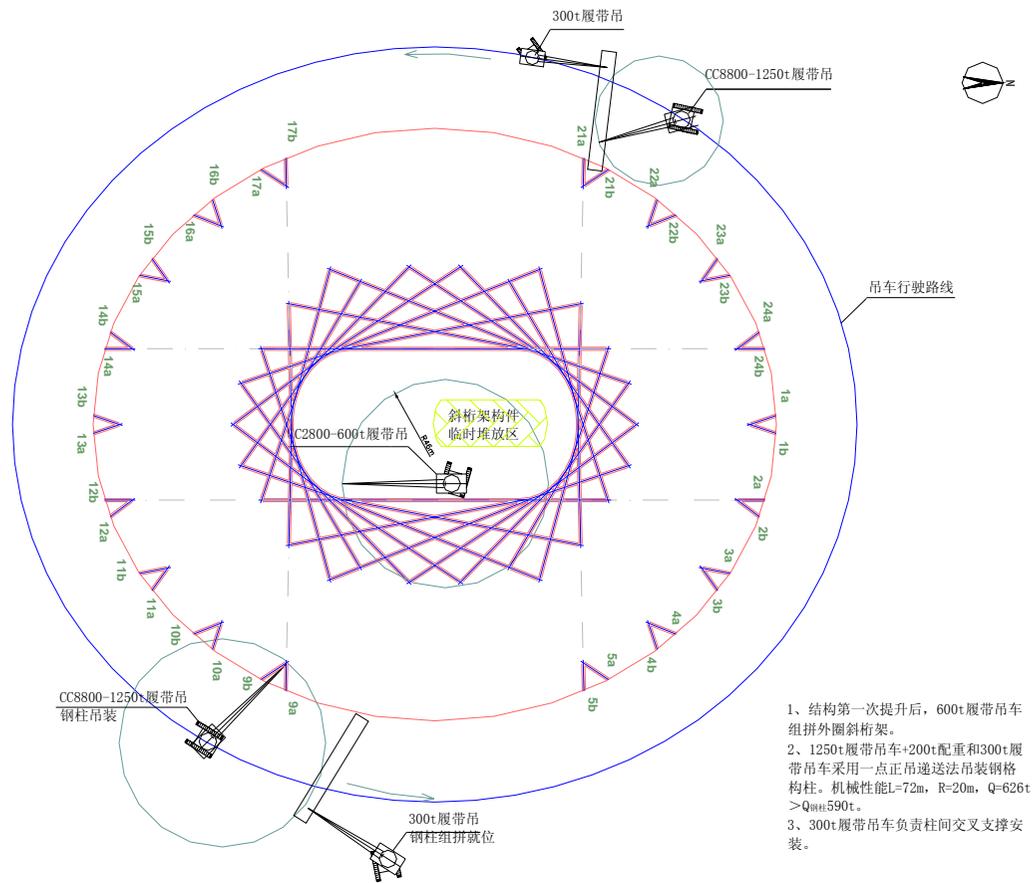
3.4.5 中心环体及内圈斜桁架拼装完成，验收后，进行第一次提升 8.50m。



提升结构验收后第一次提升到8.5m位置立面（示意图6）

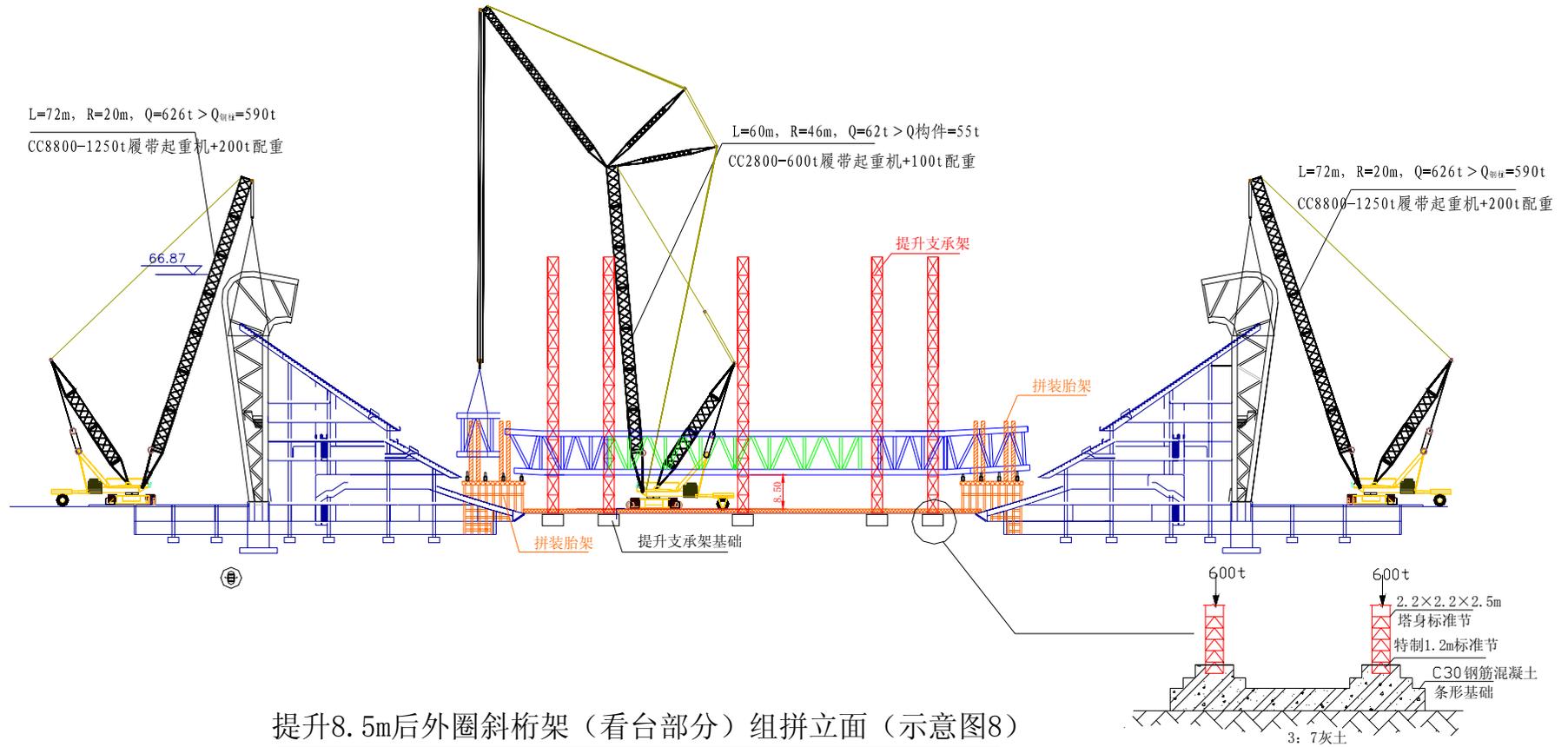
附图 6-19 提升结构验收后第一次提升到 8.50m 位置立面

### 3.4.6 结构第一次整体提升 8.5 米后“外扩法”拼装外圈斜桁架（看台部分）



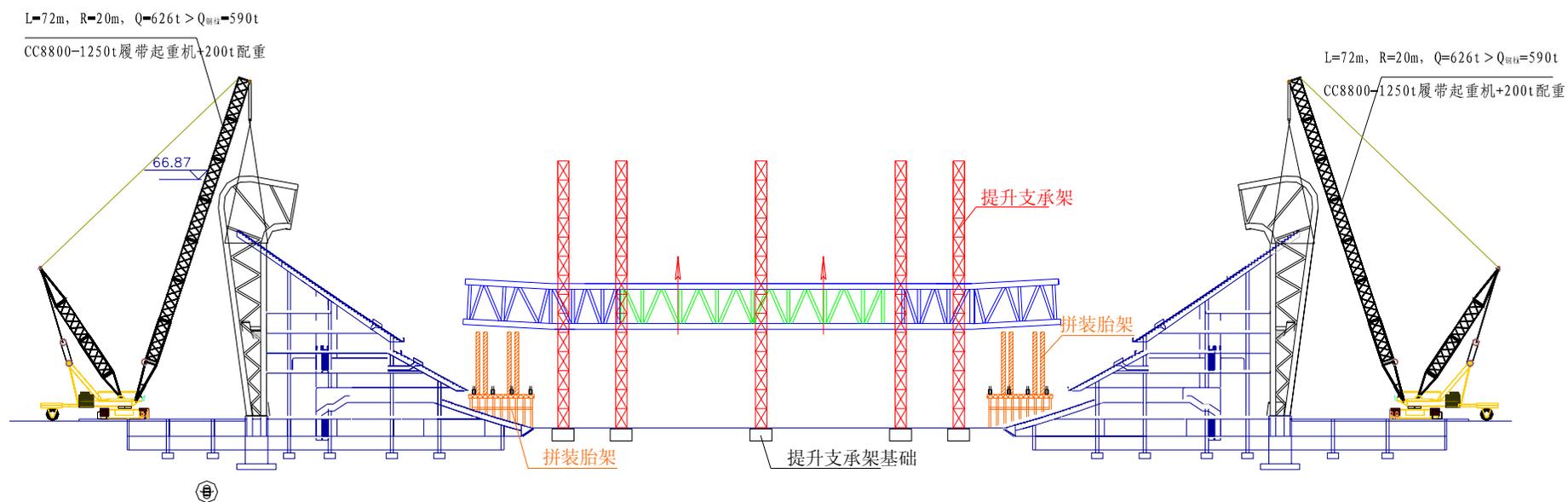
提升 8.5m 后外圈斜桁架（看台部分）组拼平面（示意图7）

附图 6-20 提升 8.50m 后外圈斜桁架（看台部分）组拼平面



附图 6-21 提升 8.5m 后外圈斜桁架（看台部分）组拼立面

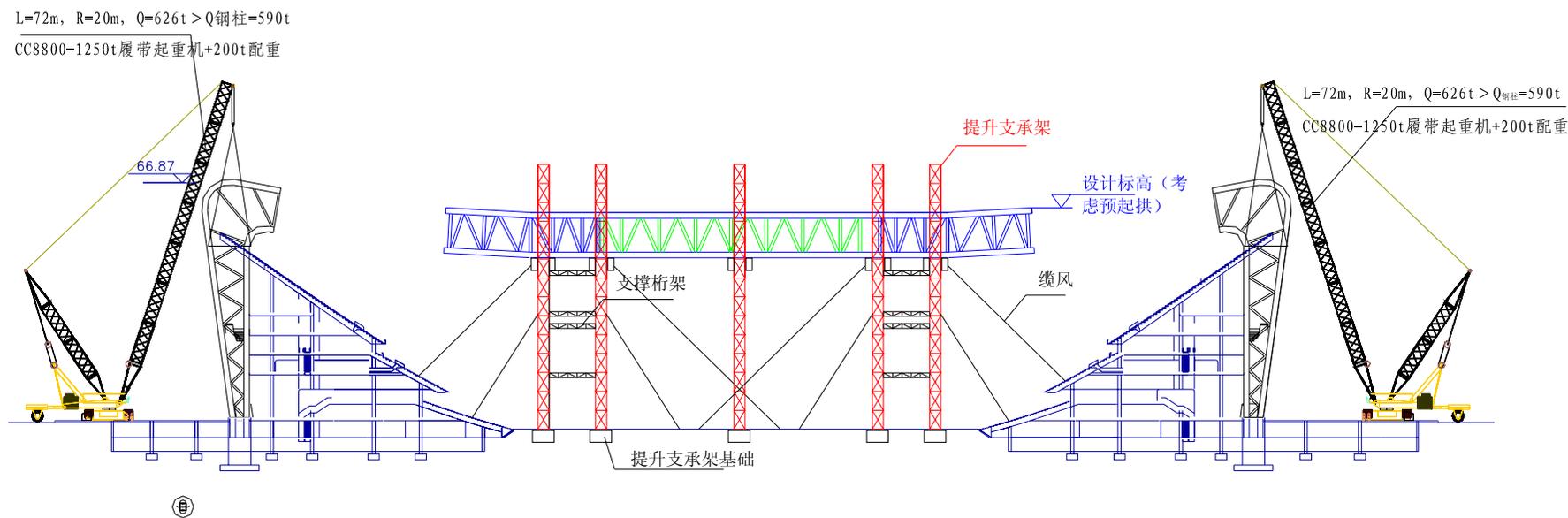
### 3.4.7 外圈斜桁架全部拼装后，进行第二次结构整体提升



整体提升结构组拼完成后提升立面（示意图9）

附图 6-22 整体提升结构组拼完成后提升立面

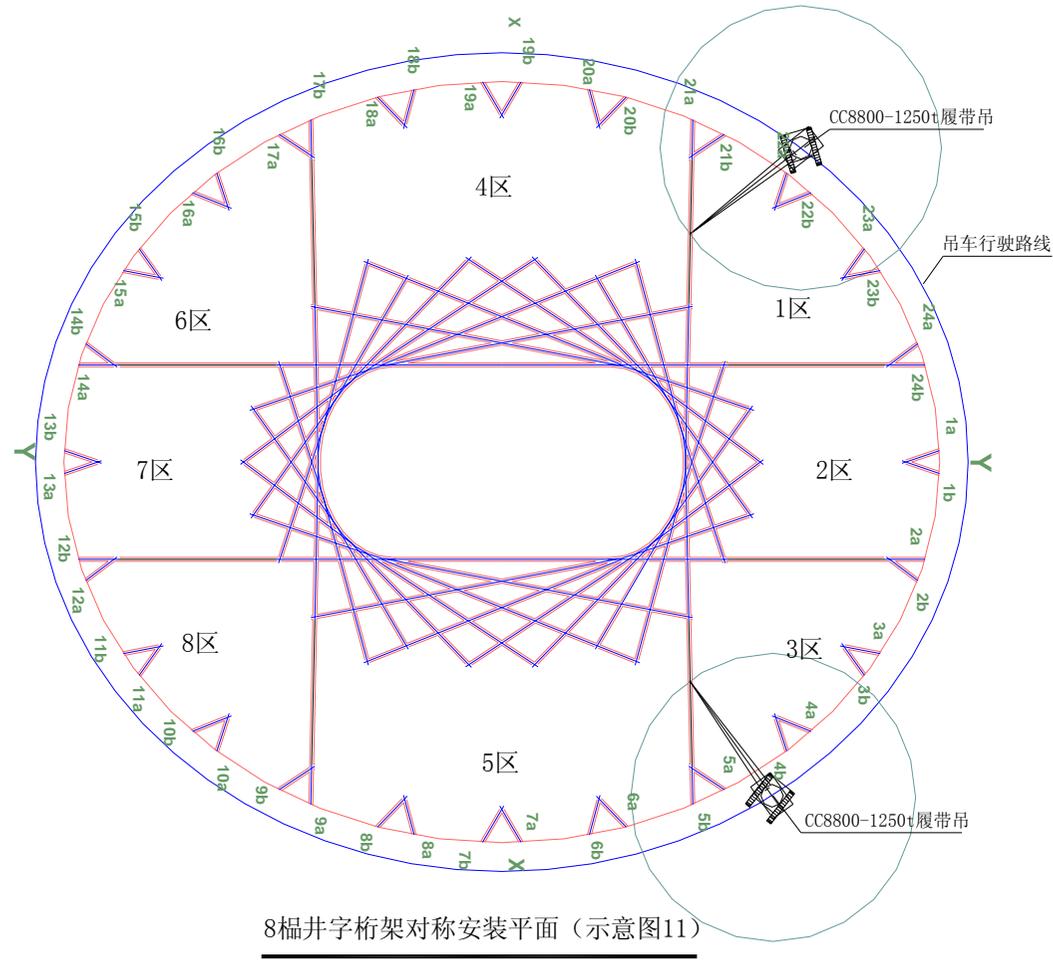
3.4.8 结构整体提升达到设计位置，进行提升结构固定



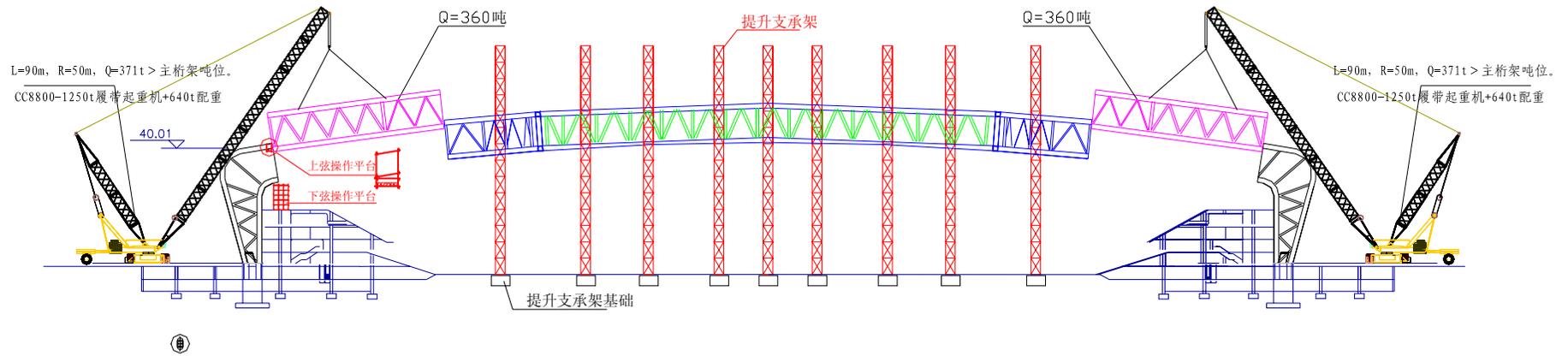
结构提升到设计位置立面 (示意图10)

附图 6-23 结构提升到设计位置立面

### 3.4.9 履带吊 1250t 在跨外对称安装 8 榀井字桁架



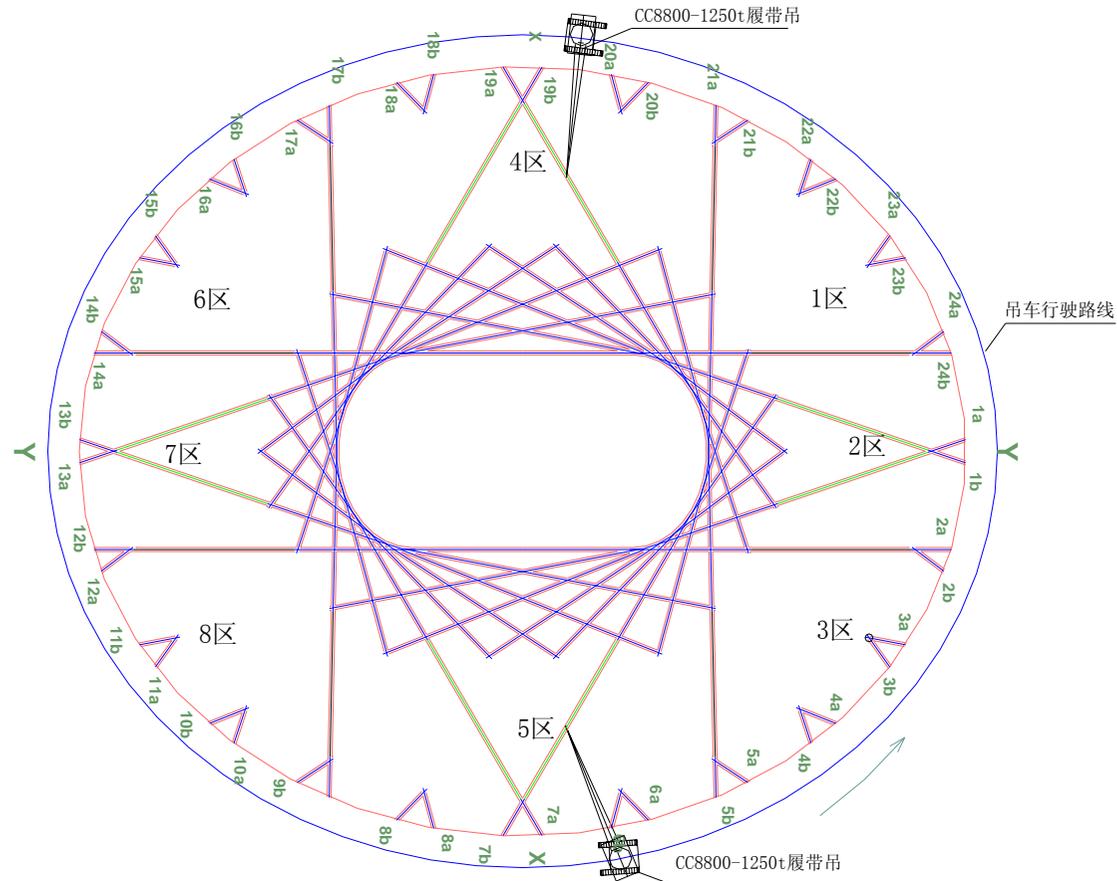
附图 6-24 8 榀井字桁架对称安装平面



跨外安装井字桁架立面 (示意图12)

附图 6-25 跨外安装井字桁架立面

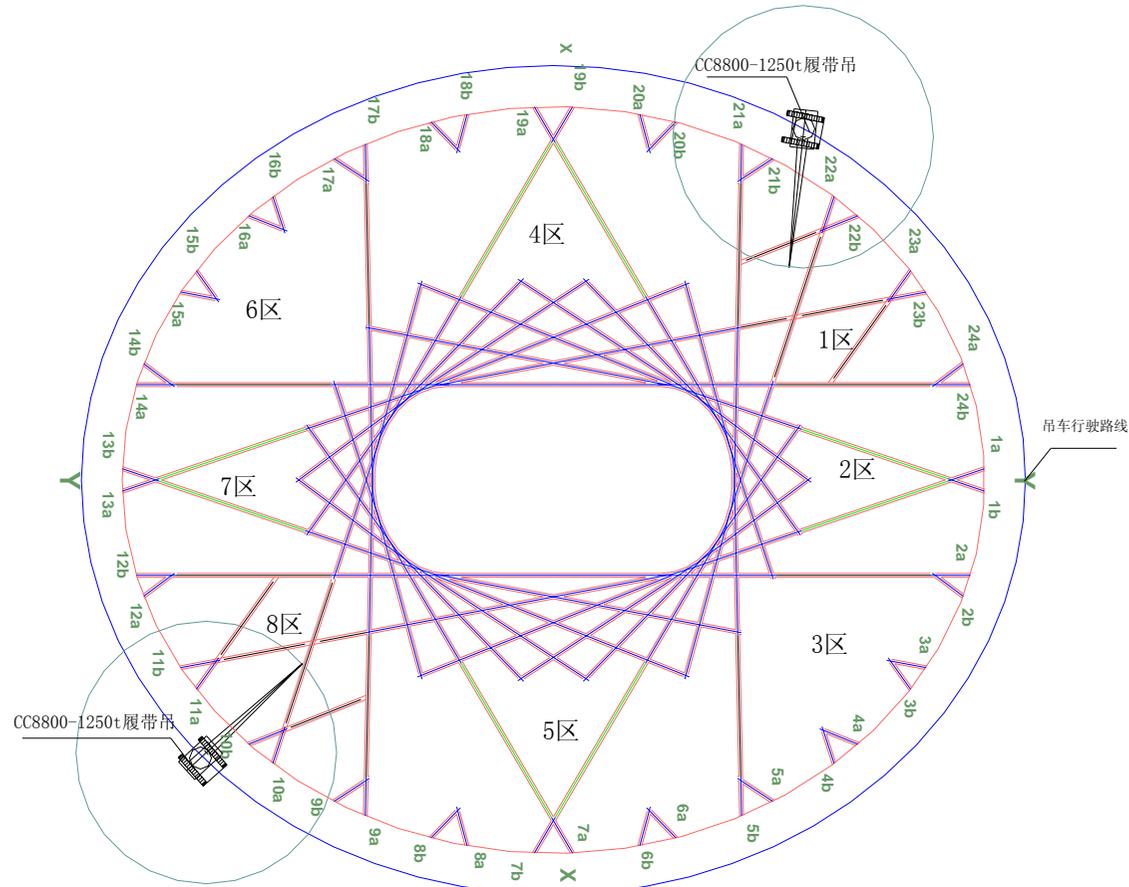
3.4.10 履帶吊 1250t 在跨外对称安装 X、Y 轴向主桁架，结构达到初步稳定



X, Y轴向8榀主桁架对称安装平面 (示意图13)

附图 6-26 X, Y 轴向 8 榀主桁架对称安装平面

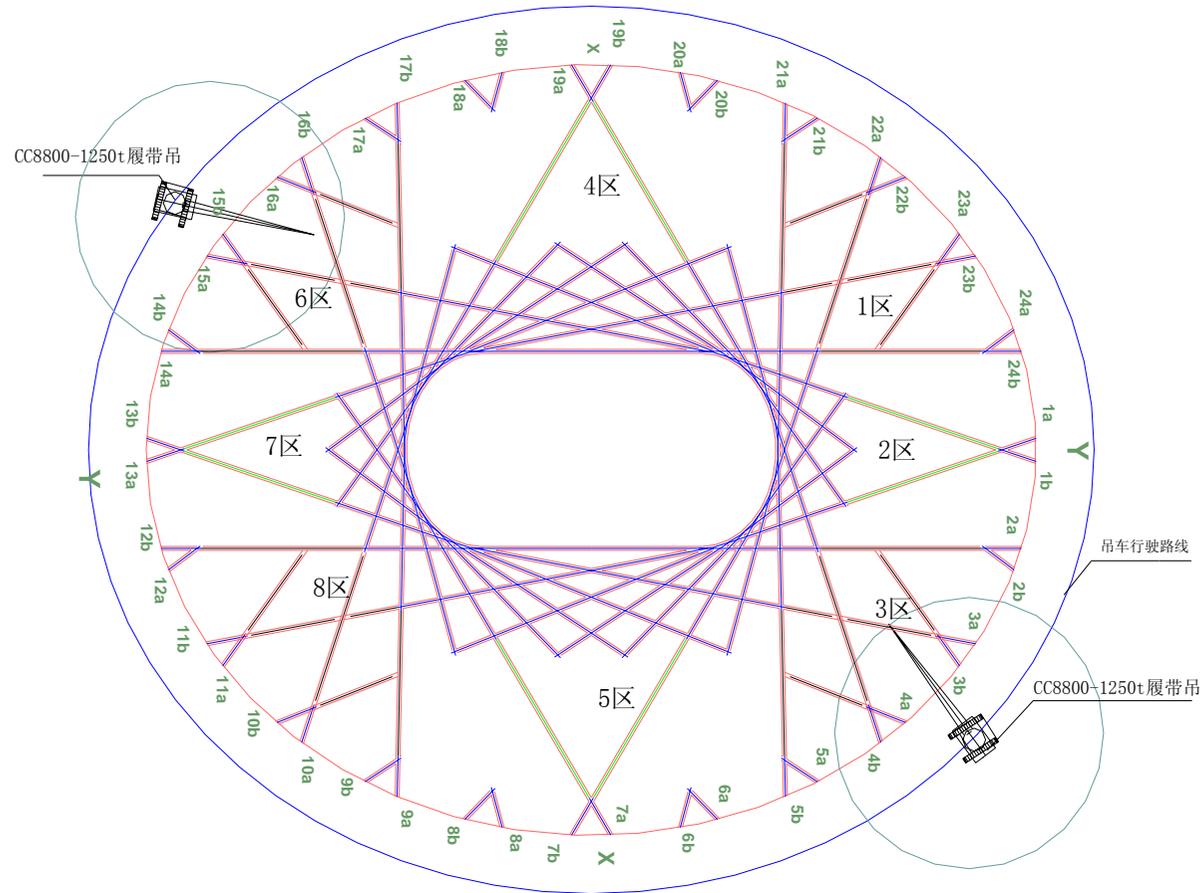
3.4.11 斜桁架分区对称安装（1、8区）。先安装通长桁架，在节点断开的桁架后安装。



斜桁架分区对称安装（1，8区）平面（示意图14）

附图 6-27 斜桁架分区对称安装（1，8区）平面

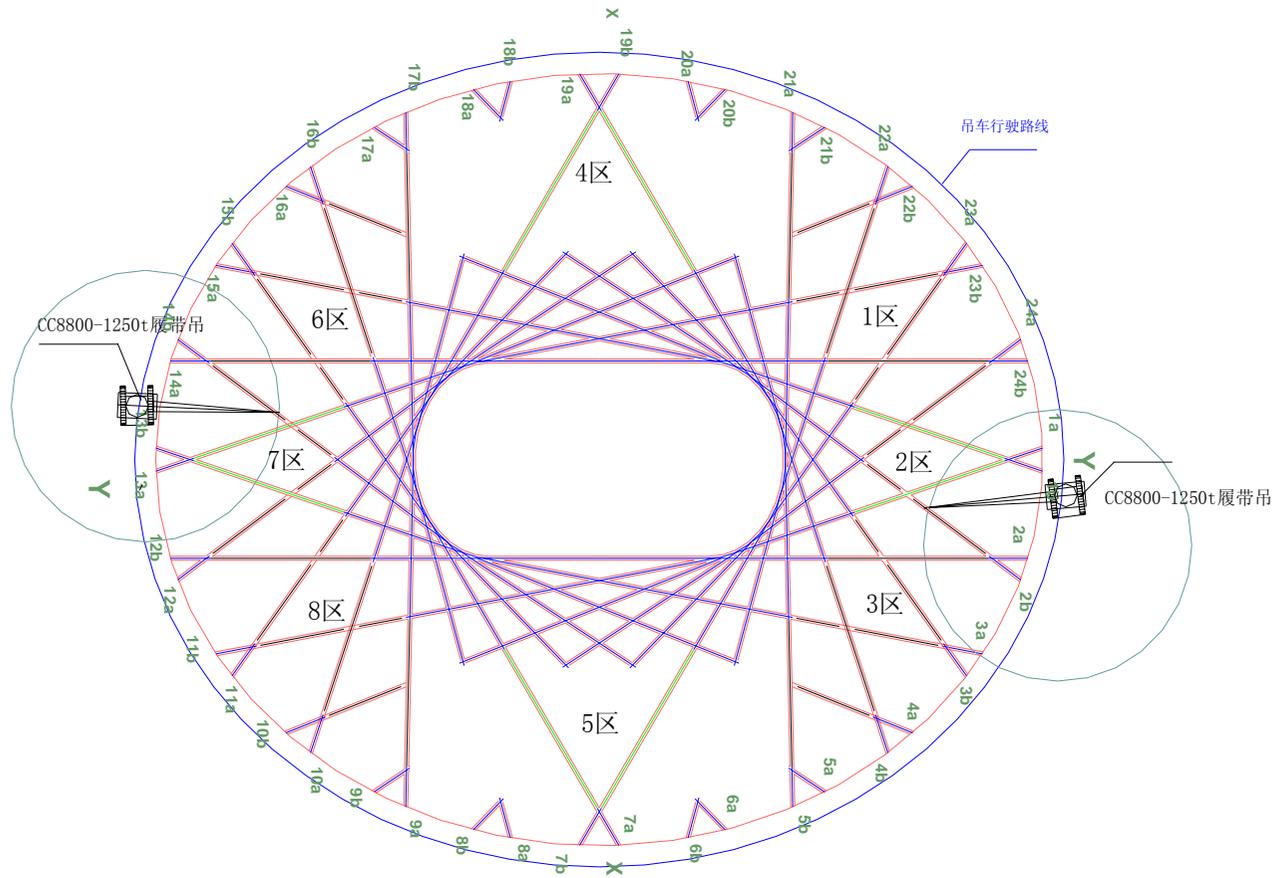
3.4.12 斜桁架分区对称安装（3、6区）。先安装通长桁架，在节点断开的桁架后安装。



斜桁架分区对称安装（3、6区）平面（示意图15）

附图 6-28 斜桁架分区对称安装（3、6区）平面

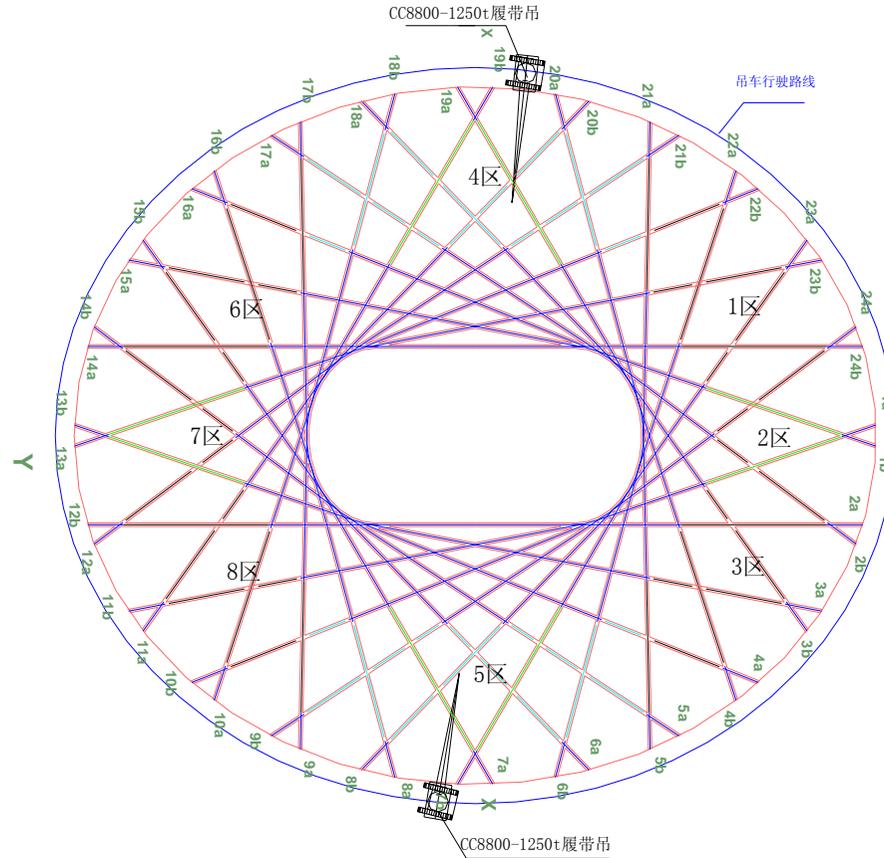
3.4.13 斜桁架分区对称安装（2、7区）。



斜桁架分区对称安装（2，7区）平面（示意图16）

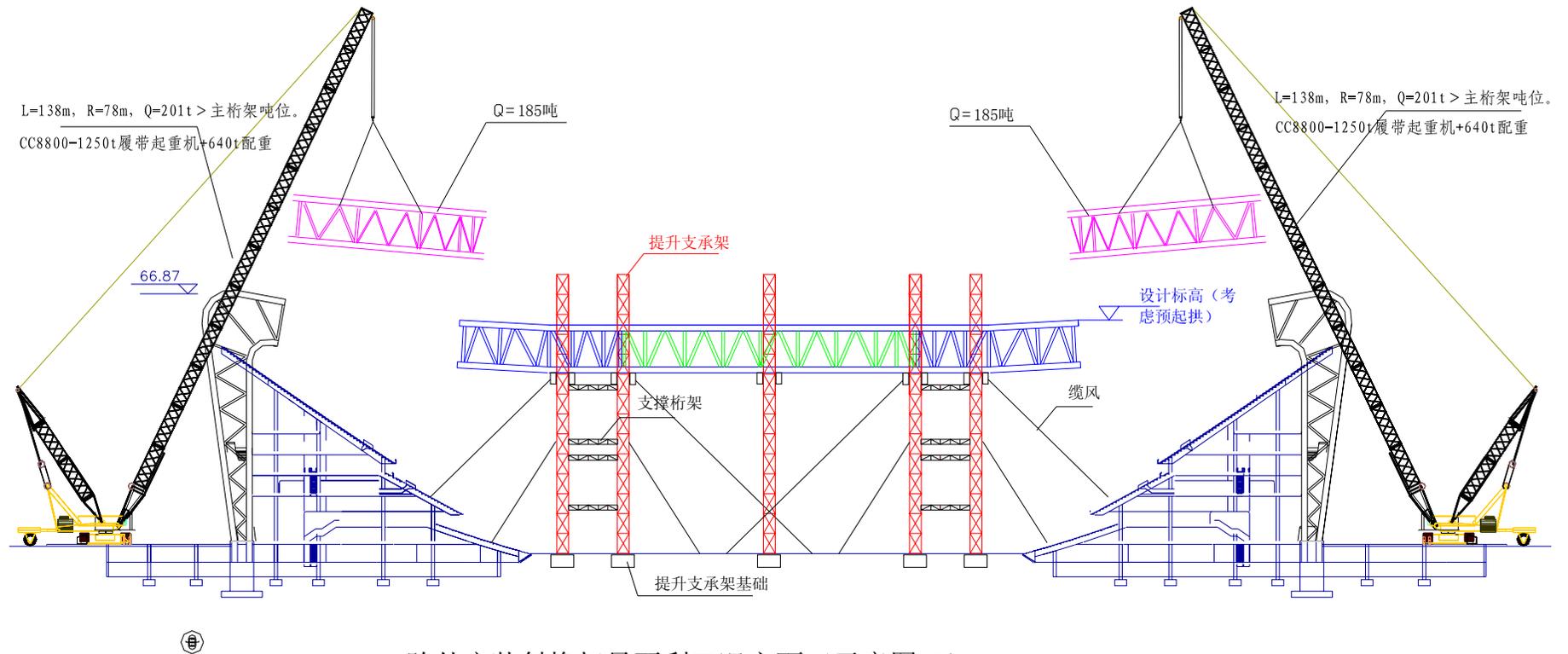
附图 6-29 斜桁架分区对称安装（2，7区）平面

3.4.14 斜桁架分区对称安装（4、5区）。先安装通长桁架，在节点断开的桁架后安装。



斜桁架分区对称安装（4、5区）平面（示意图17）

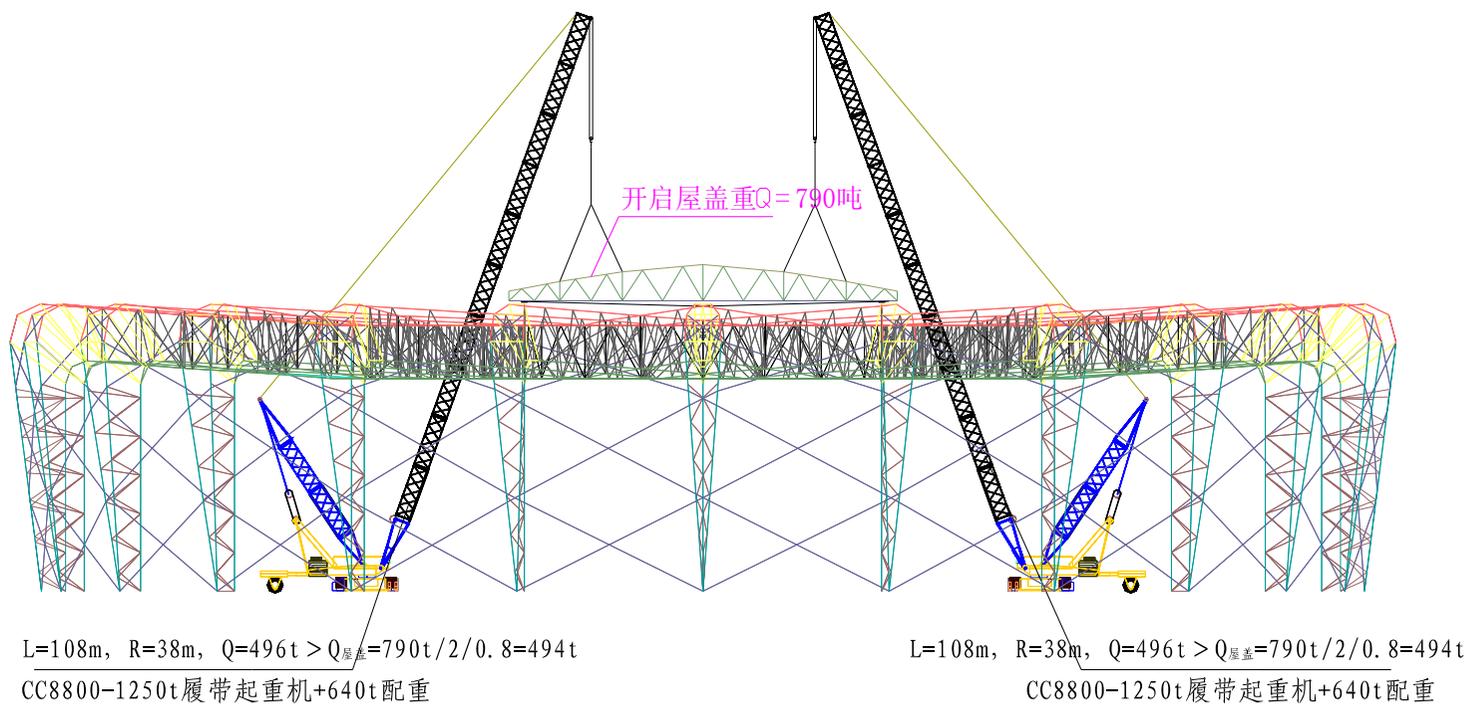
附图 6-30 斜桁架分区对称安装（4、5区）平面



跨外安装斜桁架最不利工况立面 (示意图18)

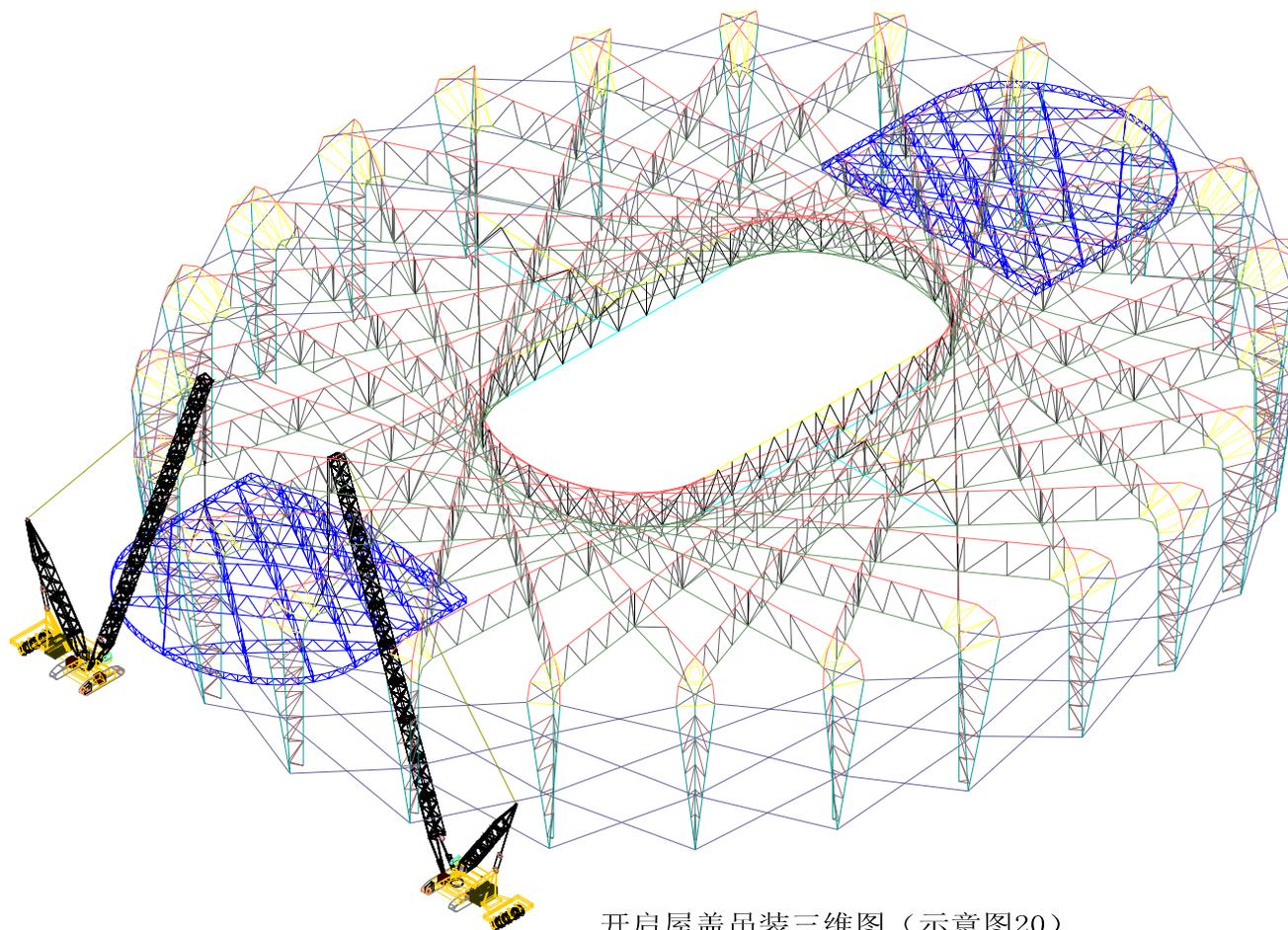
附图 6-31 跨外安装斜桁架最不利工况立面

3.4.15 主体结构稳定后，安装开启屋盖轨道，并延伸至屋顶边缘。履带吊 1250t 双机台吊开启屋盖。



开启屋盖双机抬吊安装立面（示意图19）

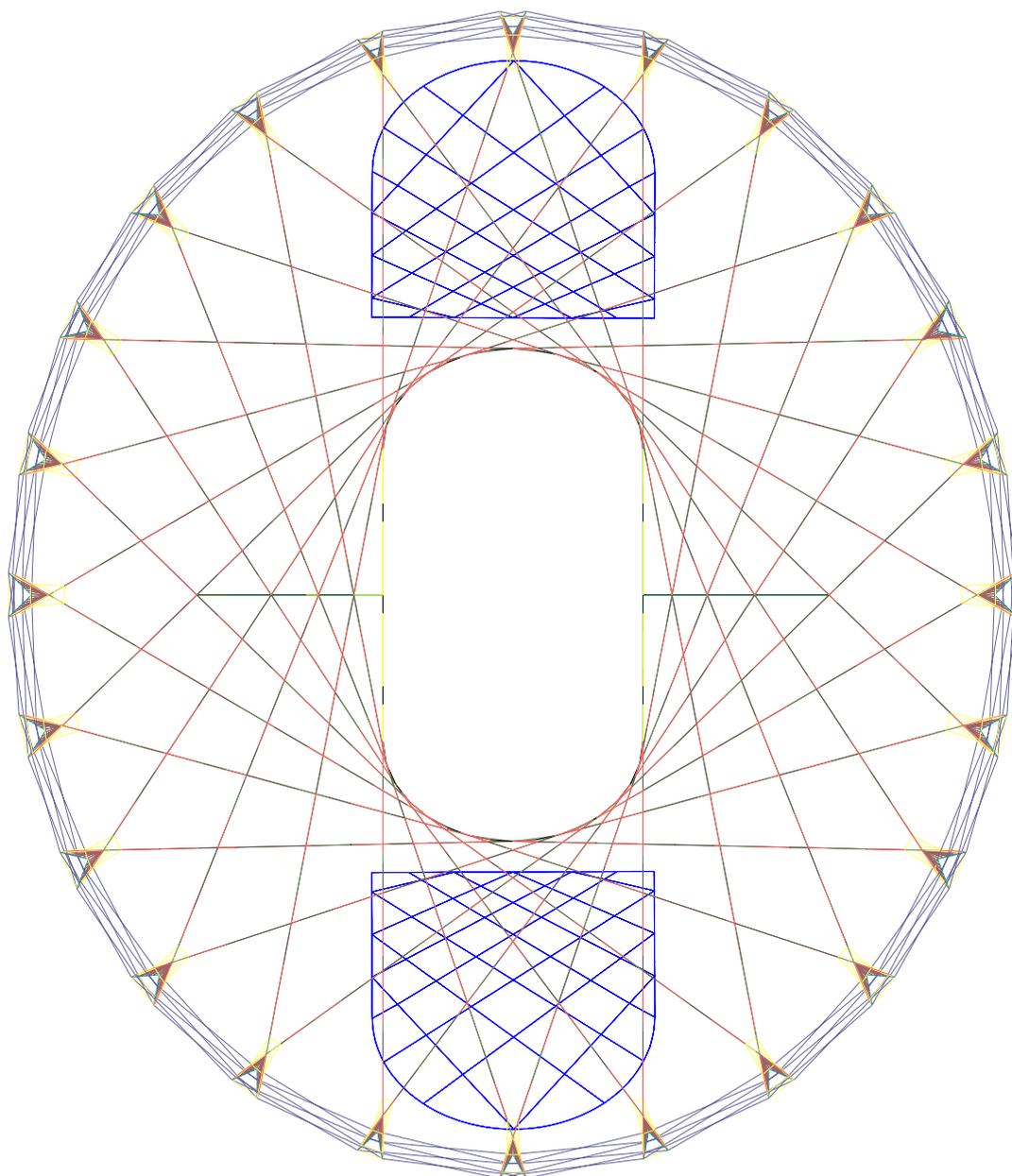
附图 6-32 开启屋盖双机抬吊安装立面



开启屋盖吊装三维图（示意图20）

附图 6-33 开启屋盖吊装三维图

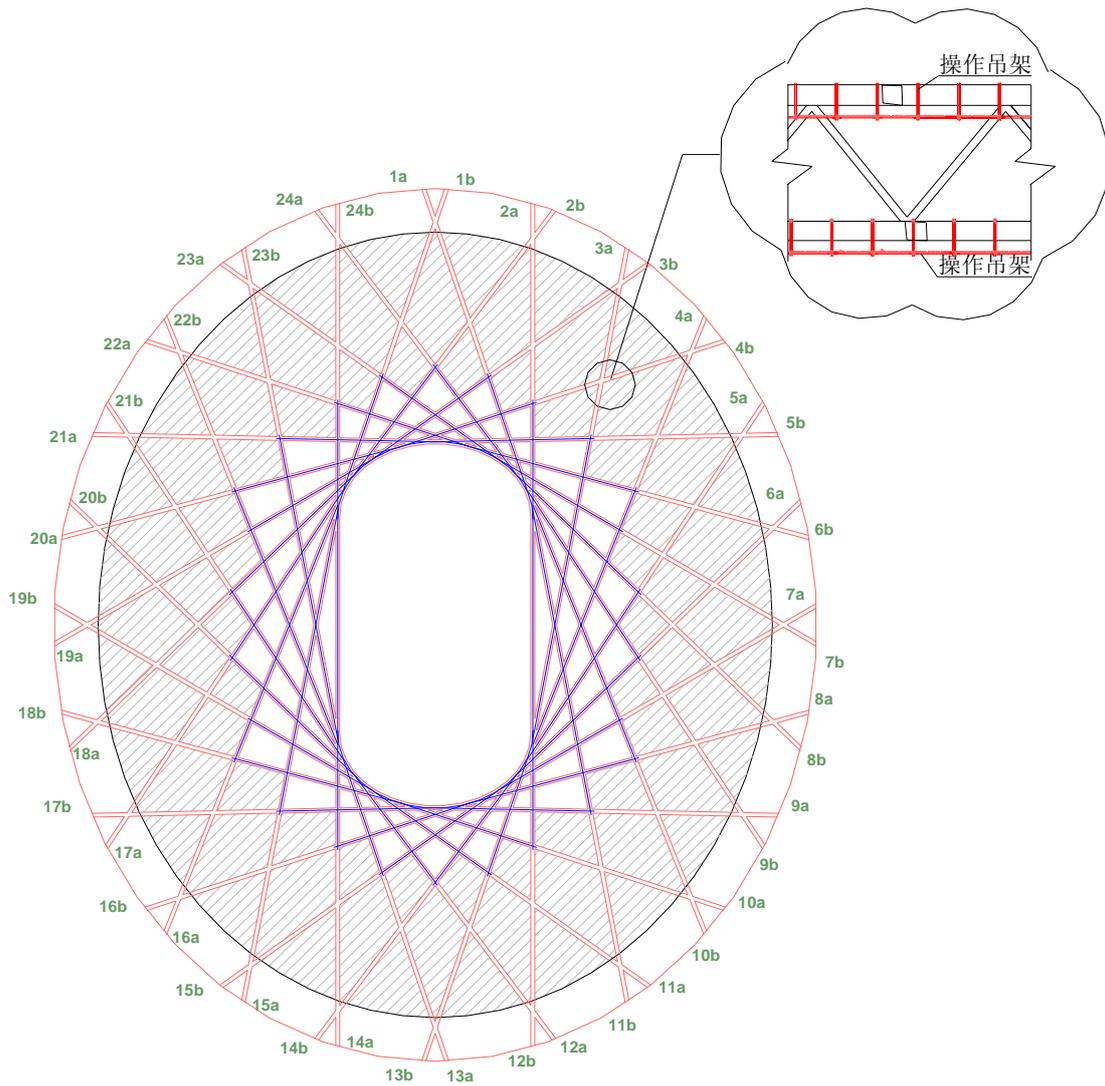
3.4.16 开启屋盖利用延伸轨道滑移就位。



开启屋盖滑移到位平面（示意图21）

附图 6-34 开启屋盖滑移到位平面

3.4.17 屋面杆件安装（斜桁架对接及次结构安装）搭设空中吊架，以屋架上下弦为支承，随安装区域分区搭设。



安装屋面杆件空中吊架搭设位置平面（示意图22）

附图 6-35 安装屋面杆件空中吊架搭设位置平面

### 3.5 根据构件型号不同选择吊装施工机械

附表 6-4 构件吊装施工机械选择

序号	项目	单件最大重量	吊车型号	吊车性能			吊装方法
				L(m)	R(m)	Q(t)	
1	钢格构柱	590t	1250t 履带+200t 配重	72	20	625	300t 履带配合一点正吊运送法
2	中心环体	78t	600t 履带	60	24	85	一点正吊
3	外挑斜桁架	55t	600t 履带+100t 配重	60	46	62	一点正吊
4	主斜桁架	360t	1250t 履带+640t 配重	90	50	371	一点正吊
		185t	1250t 履带+640t 配重	138	78	201	一点正吊
5	开启屋盖	790t	1250t 履带+640t 配重	108	38	496	双机抬吊 7900.8/2=494t

### 3.6 主要机具（分项）及提升设备配备

附表 6-5 安装机具

序号	名称	规格	数量	用途
1	CC8800 履带吊	1250 吨	2 台	钢柱、斜桁架、次结构、开启屋盖吊装
2	CC2800 履带吊	600 吨	1 台	拼装中心环体、中心环外挑斜桁架
3	CC2500 履带吊	300 吨	2 台	协助钢柱吊装、安装柱间支撑
4	QCY-50 履带吊	50 吨	3 台	卸构件、构件地面组拼
5	龙门吊	30 吨	2 台	进场构件卸车
6	NLK6342 龙门吊	63 吨	2 台	构件组拼
7	特种运输车	150 吨	2 辆	构件运输
8	钢丝绳	φ40、φ32	若干	安装构件
9	卡环	40t、50t、60t	若干	安装构件
10	倒链	5t、10t、15t	各 20	安装构件
11	千斤顶	30t、50t	各 10	安装构件

12	活动扳手	φ 30、40、50	各 10	安装构件
13	对讲机		20 部	指挥信号

**附表 6-6 焊接设备（现场）**

序号	名 称	规 格	数量	用 途
1	埋弧焊机	40kW	20	柱、交叉支撑、钢桁架拼装焊接
2	电渣焊机	40kW	20	柱、交叉支撑、钢桁架拼装焊接
3	CO <sub>2</sub> 焊机	40kW	20	柱、交叉支撑、钢桁架拼装焊接
4	直流焊机	500A	4	柱、交叉支撑、钢桁架气刨
5	空气压缩机	20m <sup>3</sup>	4	柱、交叉支撑、钢桁架气刨
6	埋弧焊机	40kW	20	提升结构、开启屋盖焊接
7	电渣焊机	40kW	20	提升结构、开启屋盖焊接
8	CO <sub>2</sub> 焊机	40kW	20	提升结构、开启屋盖焊接
9	直流弧焊机	500A	4	提升结构、开启屋盖气刨
10	空气压缩机	20m <sup>3</sup>	4	提升结构、开启屋盖气刨
11	焊条烘干箱	HY704—4	4	烘焊丝
12	烤枪		40	焊接预热
13	气割设备		8	
14	电加热板		200	

**附表 6-7 焊接检测**

序号	名 称	规 格	数量	用 途
1	超声波探伤仪	10—500mm	8	焊缝内部检测
2	数字温度计	0~1300℃	8	测温
3	数字钳形电流表	2000A、1000V	4	测电流
4	焊缝检查尺		20 套	焊缝外观检查
5	磁粉探伤仪	DA—400S	4	焊缝裂纹检查
6	X 光探伤仪		1	焊缝内部检查
7	角向砂轮	φ 100、150	80	打磨焊缝

**附表 6-8 提升设备**

序号	名 称	规 格	数量	用 途
1	提升支承架	2.2×2.2m	24 组	提升
2	缆风绳	φ21	200 根	提升支承系统缆风
3	穿心式千斤顶	600t	52 台	提升（含备用）
4	锚具		若干	固定锚、锚板和夹片
5	油泵	额定高压 260Mpa	6 个	给千斤顶供油的泵
6	控制房	2×2.4×2.4	1 个	主控制房、从控制房

### 3.6 主要劳动力配备

**附表 6-9 主要劳动力配备**

工 种	人数	工 作 内 容
起重工	60	钢结构运输
安装起重工	100	钢结构组拼、起吊、就位
测工	20	验线、放线、构件组拼、安装、跟踪测量
架子工	60	搭设拼装平台、支撑支架、提升设备安装等
高强度螺栓安装	30	高强度螺栓施工
埋弧焊工	50	施焊（包括预热温度）
电渣焊工	50	施焊（不包括现场拼装焊工是制造厂配）
CO <sub>2</sub> 焊工	50	施焊
直流焊机气刨工	10	气刨
焊机维修工	8	
气割工	20	
电工	8	负责电器设备
提升组	20	正式提升人员
提升组辅助人员	40	准备工作、提升过程及提升完毕收尾工作
防腐涂料	40	除锈、喷涂

### 3.7 施工总电量

附表 6-10 施工总用电量

序号	名称	数量	功率 (KVA)	总功率 (KVA)	操作系数	实际用电 (KVA)
1	埋弧焊机	40	40	40×40	0.7	1120
2	电渣焊机	40	40	40×40	0.7	1120
3	CO <sub>2</sub> 焊机	40	40	40×40	0.7	1120
4	直流弧焊机(碳弧气割)	4	30	4×30	0.7	84
5	焊条烘干箱	4	18.5	4×18.5	0.7	51.8
6	空气压缩机	4	7.5	4×7.5	0.5	15
7	照明			50	0.5	25
8	手动工具(砂轮高强扳手等)	30	3	30×3	0.7	63
9	电加热板	200	4.3	200×4.3	0.6	516
10	提升设备					100
	总计					4214.8

### 3.8 施工进度计划

#### 3.8.1 施工进度计划表

钢结构为\*\*体育场工程建设中的重点项目，整体建设必须以钢结构为中心，尽快进行钢结构深化设计，以便进行材料采购及构件加工，使结构安装尽早插入。

见附后“施工进度计划表”

#### 3.8.2 工期保证措施

**3.8.2.1** 项目副经理主抓工程进度，倒排工期，全面考虑影响工期因素，每节工序在保证工期的基础上，力争做到提前完成。

**3.8.2.2** 各工序工期分级落实，做到人人心中有数。

**3.8.2.3** 根据总体优化方案的实施，各项工艺做出相应优化调整。

**3.8.2.4** 协调好土建与现场钢结构安装的配合，相互支持创造条件。保证钢结构现场构件堆放、拼装、安装与土建施工平面、立体交叉作业顺利有序进行。

**3.8.2.5** 落实机械管理员责任制，保证机械设备的正常运转，发现故障应及时排除，提高现场施工机械的利用率。

**3.8.2.6** 施工机具根据种类不同应保持有一定的备用量，一旦发生问题立即调换，不得在施工时间和作业空间内修理。

**3.8.2.7** 设专人监督钢结构加工厂、膜结构、涂装工程进度，只能是构件等待安装，而不能出现等待构件安装的局面。

**3.8.2.8** 构件加工厂设驻厂质量检查员。构件完成一批，检验一批，出厂一批，不能拖延。出现问题的构件必须在构件加工地点处理好，不合格构件杜绝出厂。

**3.8.2.9** 构件出厂前，一定要注明：编号、方向及配件，便于现场查找。

**3.8.2.10** 严格执行构件进场计划，并根据实际进度要求及时调整，提前通知构件加工厂家。

**3.8.2.11** 实行奖惩制度。对于提前完成计划的施工班组要给予奖励，完不成计划的要根据情况进行处罚。展开劳动竞赛促进度、保质量。

**3.8.2.12** 组织好各工序流水作业、多线作业，做好交接班工作。

## 第四节 材料采购与试验

### 4.1 各种材料选择

#### 4.1.1 钢材

**4.1.1.1** 对所采购的 Q345、B、C、D 钢材，要严格按《低合金高强度结构钢》(GB/T1591—1994) 标准进行检验，所购钢材数量和品种要与定货合同相符，钢材质量保证书内容要与钢材上打印的记号符合，并有材质证明书（炉号、钢号、化学成分、机械性能、规格尺寸）。

当板厚度 $\geq 40\text{mm}$ ，要求按 YB4104—2000《高层建筑结构用钢板》生产。

**4.1.1.2** 钢板 80mm 厚采用 Q345B、C、D（焊材 E5015、E5016、E5018）。

**4.1.1.3** 钢板 40mm、60mm 厚采用 Q345B、C、D（焊材同上）。

**4.1.1.4** 钢板 20mm、30mm 厚采用 Q345B、C、D（焊材同上）。

**4.1.1.5** 钢材采购河南舞阳钢厂生产的优质钢板，或采用国外进口相当于我国厚钢板性能和设计要求。

**4.1.1.6** 设计提出标准在合同中注明：比如：保证碳当量(Ceq)及裂纹敏感指数双控(Pcm)、保证屈强比、保证钢板不平度值最低值、冷弯角度数值、超声波探伤及厚度方向断面收缩率检测要求。

#### 4.1.2 焊接材料

**附表 6-11 焊接材料选择**

钢 材							手工电弧焊焊条				
牌 号	等 级	抗 拉 强 度 (MPa)	屈服强度 $\sigma_s$ (MPa)		冲 击 功		型号 示例	熔敷金属性能			
			$\delta \leq 6$ (mm)	$\delta > 6$ ~100 (mm)	T (°C)	A <sub>KV</sub> (J)		抗拉强 度 $\delta_b$ (Mpa)	屈服强 度 $\delta_s$ (Mpa)	延伸 率 $\delta_5$ (%)	冲击功 $\geq 275$ 时实 验温度 (°C)
Q3 4 5	B	470 ~ 630	345	275	20	34	E5003、 E5015 E5016、 E5018	490	390	22	-30
	C	0			34	E5015					
	D	-20			34	E5016 E5018					

**附表 6-12 常用结构钢材 CO<sub>2</sub> 气体保护焊实芯焊丝选配**

钢材		焊丝型号	熔敷金属性能				
牌号	等级		抗拉强度	屈服强度	延伸率	冲击功	
			$\delta_b$ (Mpa)	$\delta_s$ (Mpa)	$\delta_5$ (%)	T (°C)	A <sub>KV</sub> (J)
Q345	B	ER50—3	500	420	22	-20	27
	C	ER50—2	500	420	22	-30	27
	D						

#### 4.1.3 高强度螺栓

**附表 6-13 大六角头高强度螺栓连接副**

类别	性能等级	材料	材料标准号	适用规格
螺栓	10.9S	20MnTiB	GB3077—82	<M24
		40B	GB3077—82	<M24
		35VB		<M30
螺母	10H	45 <sup>#</sup> 、35 <sup>#</sup>	GB699—65	
		15MnVB	GB3077—82	
垫圈	8H	35 <sup>#</sup>	GB699—65	
	HRC35~45	45 <sup>#</sup> 、35 <sup>#</sup>	GB699—65	

**附表 6-14 扭剪型高强度螺栓连接副**

类别	性能等级	材料	材料标准
螺栓	10.9S	20MnTiB	GB/T3077
螺母	10H	45 <sup>#</sup> 、35 <sup>#</sup>	GB/T699
		15MnVB	GB/T3077
垫圈	HRC35~45	45 <sup>#</sup> 、35 <sup>#</sup>	GB/T699

## 4.2 有关材料试验

### 4.2.1 钢材

#### 4.2.1.1 钢材的化学成分的分析

**附表 6-15 高层建筑结构用钢板的化学成分**

牌号	质量等级	厚度 (mm)	化学成分 (%)								
			C	Si	Mn	P	S	V	Nb	Ti	Als
Q345GJZ	C	>	≤0.20	≤	≤	≤	见下表	0.02	0.015	0.01	≥
	D		≤0.18	0.55	1.60	0.20		0.15	0.060	0.10	
	E	16-100									

**附表 6-16 厚度方向性能钢板的级别和技术要求**

厚度方向性能级别	含硫量 S 不大于 (%)	断面收缩率 $\psi_z$ (%)	
		三个试样平均值	单个试样值
		不小于	
Z15	0.01	15	10
Z25	0.007	25	15
Z35	0.005	35	25

**4.2.1.2 高层建筑结构用钢板力学性能**
**附表 6-17 高层建筑结构用钢板力学性能**

牌号	质量等级	屈服点 $\sigma_s$ (MPa)				抗拉强度 $\sigma_b$ (MPa)	伸长率 $\sigma_s$ (%)	冲击功 $A_{kv}$ 纵向		180°弯曲试验		屈强比 $\sigma_s/\sigma_b$
		钢板厚度 (mm)						钢板厚度 (mm)		钢板厚度 (mm)		
		6~16	16~35	35~50	>50~100			≤16	>16~100	≤16	>16~100	
						不小于	温度 (°C)	0) 不小于			不大于	

Q345GJZ	C	—	345	335	325	490	22	0	34	2a	3a	0.80
	D	~	~	~	~	-20						
	E	455	445	435	610	-40						

#### 4.2.1.3 碳当量 (Ceq)

Q345GJZ  $t \leq 50$   $Ceq \leq 0.42$

$t > 50 \sim 100$   $Ceq \leq 0.44$

#### 4.2.1.4 焊接裂纹敏感性指数 Pcm

Q345GJZ  $t \leq 50$   $Pcm \leq 0.29$

$t > 50 \sim 100$   $Pcm \leq 0.29$

### 4.3 有关材料质量控制措施

#### 4.3.1 材料入库检验:

##### 4.3.1.1 生产厂家的材质证明书

4.3.1.2 按供货清单清点各种钢材型钢规格数量和检查断面尺寸、壁厚、长度、直线度、外表面质量，平整度等。

4.3.1.3 钢材、钢构件的品种、规格、性能等应符合现行国家产品标准和设计要求。进口钢材产品质量应符合设计合同规定标准的要求。

##### 4.3.1.4 属下列情况之一的钢材应进行抽验复验:

国外进口钢材；钢材混批；板厚等于或大于 40mm，且设计有 Z 向要求的厚板，对 S、P 含量控制；主要受力构件所采用的钢材；设计有复验要求的钢材；对质量有疑义的钢材。

##### 4.3.1.5 焊接材料的品种规格、性能等应符合现行国家产品标准和设计要求。对结构中一、

二级焊缝和设计要求的焊缝采用的焊接材料应进行抽样复验。

**4.3.1.6** 高强度大六角头螺栓连接副和扭剪高强度螺栓连接副出厂时应分别随箱带有扭矩参数和紧固轴力（预拉力）的检验报告。

#### **4.3.2** 材料储存、保管

**4.3.2.1** 材料入库前对检验不合格的材料要进行处理，不得入库。

**4.3.2.2** 所有材料都要进行标识和防护；注明材料用的部位，定期检查质量情况以防损坏。

**4.3.2.3** 对焊条、焊丝经验收合格入库库房通风良好，保持干燥，库房内放温度、湿度计相对湿度不大于 60%，轻拿轻放，不拆包不混杂，离地至少 30~50cm。

**4.3.2.4** 焊条发放要登记，用后送回库内。

**4.3.2.5** 高强度螺栓经检验合格后入库，注明规格、牌号、数量、批号进行标识。

#### **4.3.3** 材料的使用

**4.3.3.1** 由于材料资源供应问题而导致有较大的修改，需用材料代用等，必须提出材料代用申请，呈报专责工程师和设计单位结构负责人审核批准后方可代用。

**4.3.3.2** 实行专料专用

**4.3.3.3** 材料排版下料加工后的重要材料要打上钢印移交。

**4.3.3.4** 剩余材料按不同品种、规格、材质回收入库。

**4.3.3.5** 严禁使用药皮脱落、生锈的焊条及严重锈蚀的焊丝。

## 第五节 钢结构加工运输方案

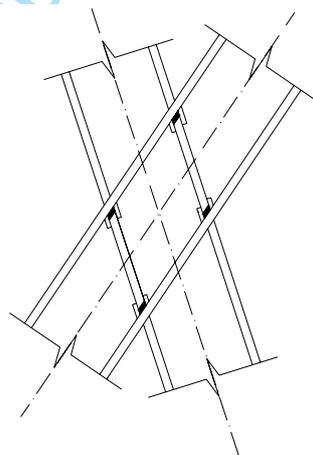
### 5.1 构件加工特点及方案分析

**5.1.1** 屋面为马鞍形状的双曲面，在结构制作时采用计算机进行建模。根据屋面方程（数字或代数形式）和安装时需要的预拱量，求出屋面主桁架相交节点的坐标值，包括各桁架周围内外圈之等分椭圆曲线（至少 10 等份）与桁架交点的坐标。此坐标应包括桁架宽度 1.5 米的边线坐标。

**5.1.2** 构件为箱型大截面，构件长，重量大，须按照吊装和运输需要进行的分段制作，在深化图纸上都予以标出。深化图按 48 榀桁架分别绘出。

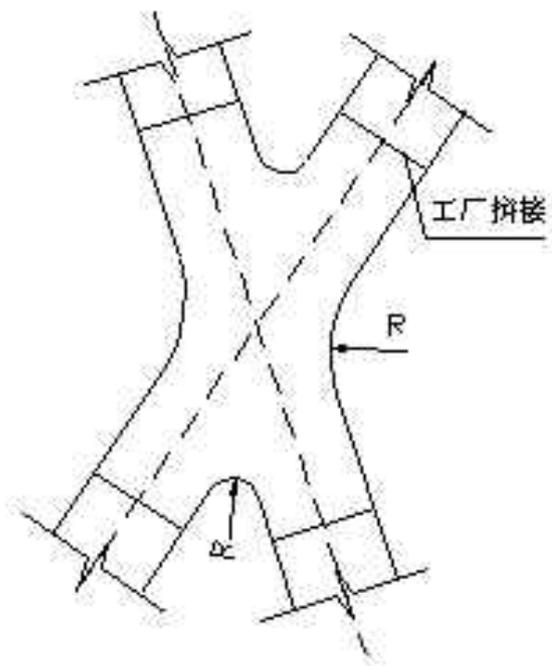
**5.1.3** 桁架横剖面中心线垂直地面，上弦杆的上翼板与屋面相切。

**5.1.4** 桁架节点制作办法：主桁架 48 榀，在屋面呈正反螺旋形布置，相交呈网状。桁架的弦杆为箱型，相交节点为箱型相贯节点，在节点制作时，以一榀桁架为主，在其上下弦杆上设牛腿，通过牛腿实现跟与之相交桁架弦杆的连接。牛

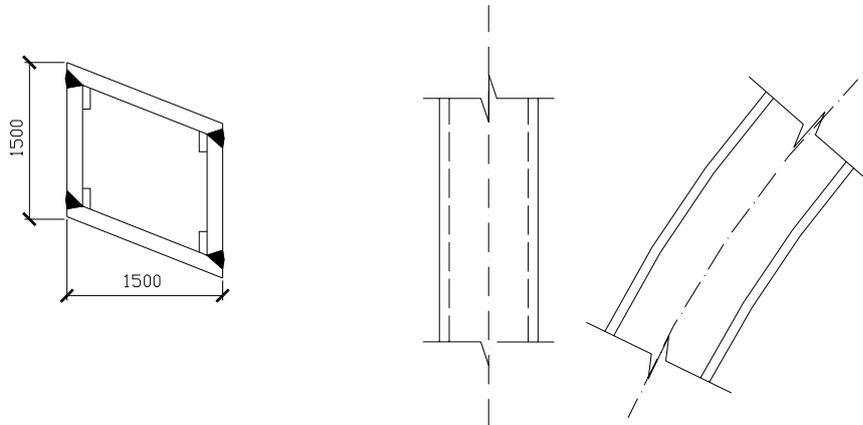


附图 6-36 牛腿制作示意图

腿的作法：将相交节点作为一个整体进行考虑，节点的上下盖板用整板制作，并在桁架弦杆相交处以圆弧过度；主桁架弦杆的腹板连续，相交桁架弦杆的腹板被视为主桁架弦杆的隔板，隔板方向与相交桁架方向一致，用电渣焊焊接（如图）。但其他位置（如腹杆连接处）的隔板，则仍然垂直与弦杆布置。



**5.1.5 弦杆断面分析：**桁架弦杆的腹板在平面内呈马刀形，翼板倾斜弯曲呈弧



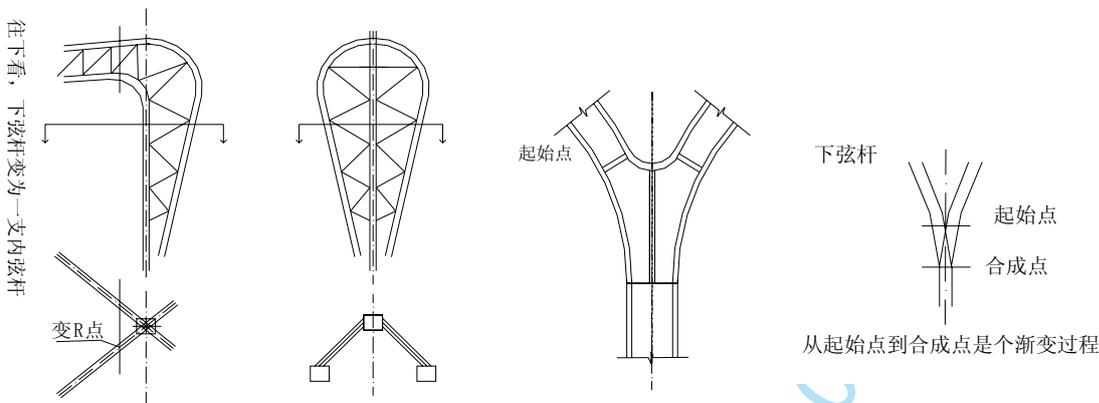
附图 6-37 弦杆断面图

形但弦杆在垂直方向的投影呈直线，即腹板平面始终垂直于地面，且两翼板之间的垂直距离为 1.5 米。翼板在制作过程中，当对翼板进行展开找线时，最大间隔不超过 300mm，在弯曲前滚圆的斜方向弹出射线。注意事项：在滚圆时，板条与滚轴不垂直。

**5.1.6** 从平面图看，桁架交点之间距离最大约 48 米，最小约 15 米，因屋面坡度较平缓，以此计算桁架弦杆长度，则最多分三段运输（发运长度最好不超过 12m）。

**5.1.7** 由于弦杆的翼板是倾斜的，因此要求腹杆二端也必须倾斜，此时把牛腿焊在弦杆上，而牛腿与腹杆的连接就成  $90^\circ$ ，同样，桁架上下弦相交处的牛腿这样处理。

### 5.1.8 格构柱与桁架连接节点做法:



附图 6-38 格构柱与桁架连接节点

### 5.1.9 加工工艺分析

**5.1.9.1** 弦杆的翼板、腹板都是马刀形的，但因曲率半径大相对长度较短，估计除了最外侧曲率半径 R4.8 R6.8 以外，其余板宽均在 1.6m 以内，故可用 1.65m 宽钢板，则损耗率为 12%。板材下料均采用数控切割，坡口考虑在腹板上，角度为 25°，间隙为 8mm，坡口在切割时一次性完成。

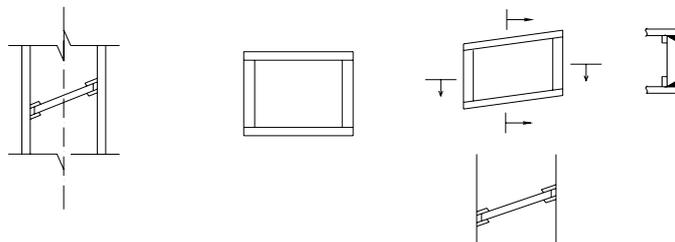
**5.1.9.2** 翼板弯曲，可以在滚圆机上完成，曲率半径大，端部稍有直头，不必预弯，超过 50mm 的板用油压机加工。

**5.1.9.3** 节点处上下翼板在制作时，下成 X 形，交接处下成弧形，次板的宽度超过 3.0m，如不够宽，可用二张板拼成一张，然后切割，上下翼板不等长，应予以注意。

#### 5.1.9.4 隔板制作

隔板厚度与腹板相同，会有  $t=40\sim 100\text{mm}$ ，则隔板下成平行四边形，且在长方向端部切坡口，而在长边按常仍旧割坡口；隔板两侧的衬板也必须二端铣斜头，

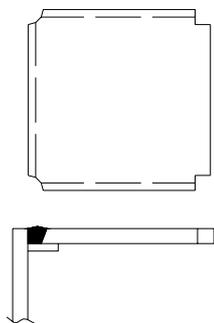
长边一个边铣坡口，各个位置角度不同，编号也不同，且有正反；



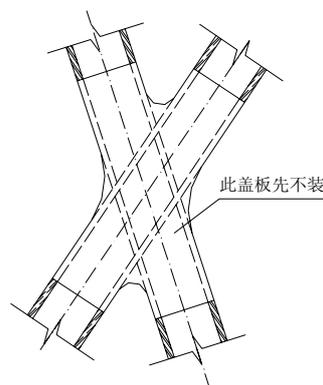
附图 6-39 隔板制作

隔板组装的胎具根据需要也发生变化。

**5.1.9.5 牛腿、腹板：**外口端部与上下二边成  $90^\circ$ ，与上下弦相连处有角度，三边坡口，二角成圆弧。



附图 6-40 牛腿、腹板制作



附图 6-41 组装

**5.1.9.6 第一次组装** [ 形，组装时必须用胎具，不符合胎时要烤，先焊隔板上下二条焊缝，焊透，超声检查；第二次组装成 □ 形，并装牛腿腹板，焊四条主缝，超声检查，钻孔，电渣焊，超声检查；焊牛腿焊缝，超声检查，端铣，开坡口。

**5.1.9.7 屋顶次结构，**应是仅在上弦平面内，由于其长度较长，而依屋面走向，因此是弯曲的，两端是扭曲的，其工艺隔板也是各异的，必须逐根放样，逐根绘图。

## 5.2 加工工作量确定

**5.2.1** 每榀桁架长度约 220m，每支 2 个弦杆，每杆 4 条主焊缝，则有 1760m，48 榀，共 84480m ( $4 \times 2 \times 220 \times 48 = 84480$ );

**5.2.2** 接头共  $17 \times 48 = 816$  个，弦杆  $6m \times 816 = 4896m$ ，内安装 1000m;

**5.2.3** 腹杆每榀 40 个周长为 3m，腹杆牛腿接头为  $40 \times 2 \times 3m \times 48$  榀 = 11520m，具有同样的安装焊缝量;

**5.2.4** 弦杆内部隔板同样  $40 \times 2 \times 6m \times 48$  榀 = 23040m;

**5.2.5** 腹杆长度为 14m，每支 4 条主缝，焊缝长度为： $14 \times 4 \times 40 \times 48 = 107520m$ ;

**5.2.6** 每支桁架与桁架相交 8 点， $24 \times 8 \times 2 = 384$  点，每点 2 个牛腿， $2 \times 8 = 16m$ ， $16 \times 384 = 6144m$ ，另：安装也有 6144 米;

**5.2.7** 屋面杆件未计及。

**5.2.8** 总计：弦杆焊缝 118533 米，内安装扣去 1000 米，则得 117533 米。

腹杆焊缝 119040 米;

安装焊缝 17664 米，高空拼装桁架弦杆等 1000 米，共约 19000 米。

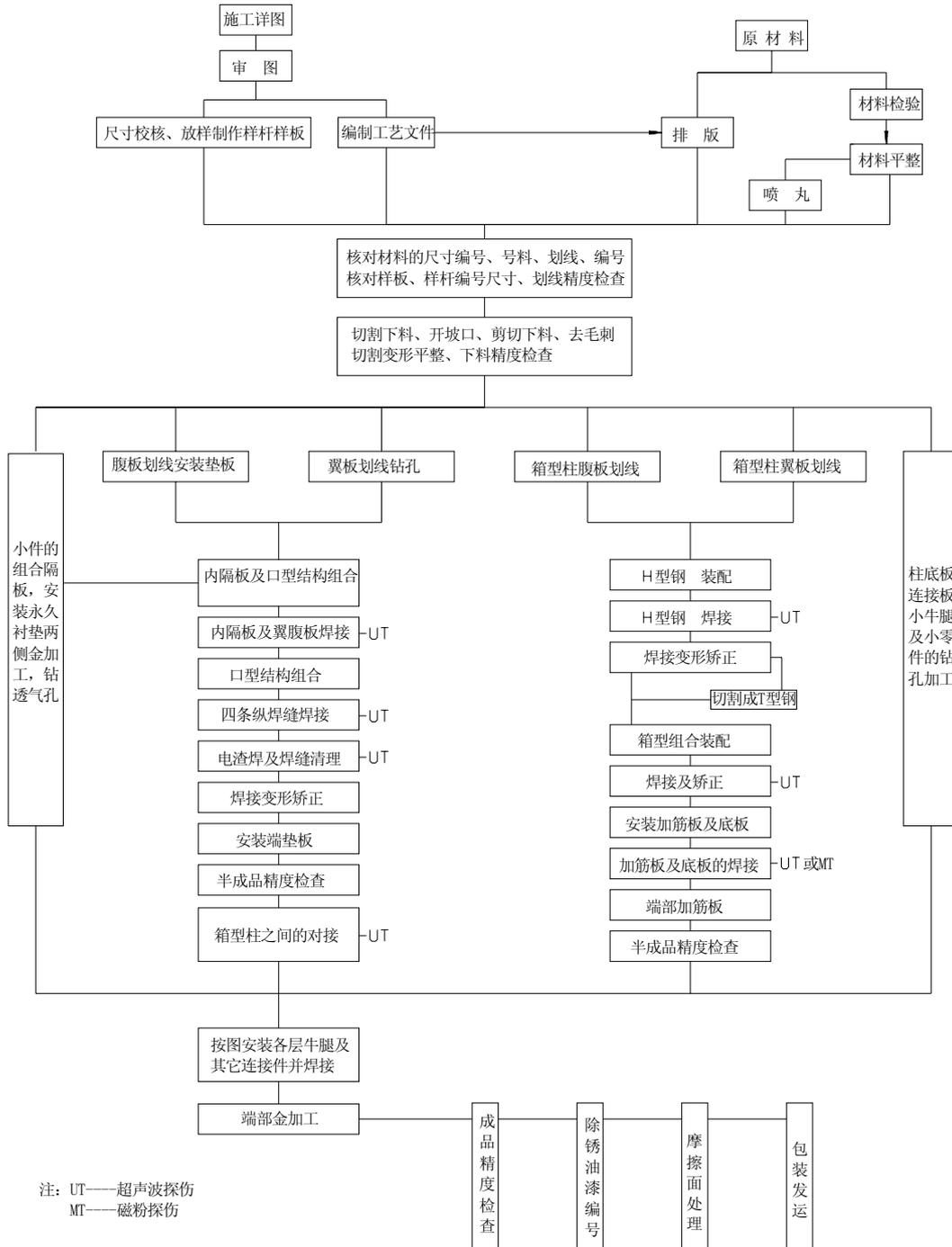
弦杆 117533 米，厚度平均 50mm

119040 米，厚度平均 20mm

### 5.3 箱型 (BOX) 截面构件加工工艺

#### 5.3.1 组装工艺流程:

### 箱型构件组装工艺流程



附图 6-42 箱型构件组装工艺流程

### 5.3.2 具体制作要领

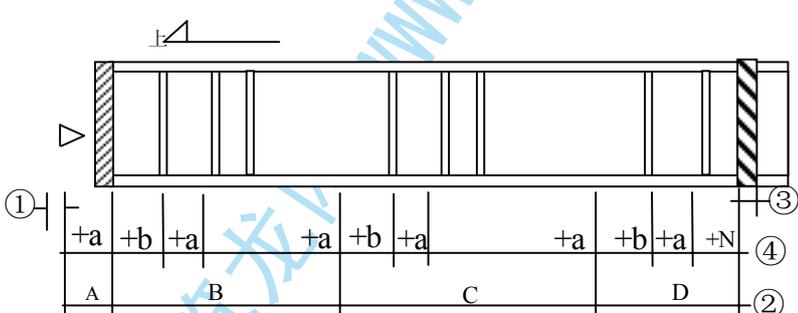
钢结构构件主要为箱型截面格构柱、箱型截面主桁架、斜桁架腹杆等构件。由于主桁架长约 300 多米，制作时将采取分段制作，每段长约 12m，具体位置根据设计决定，接口之间采用高强螺栓固定，焊接连接。

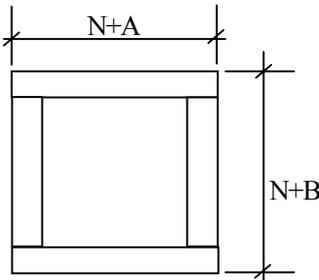
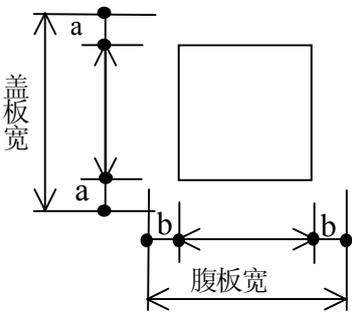
#### 5.3.2.1 钢柱及主桁架箱型截面（BOX）构件的制作

BOX 截面构件制作时，一是如何保证 BOX 在焊接过程中减少变形，因为 BOX 的变形将难于矫正；二是 BOX 的焊接，特别是 BOX 内隔板的熔透焊接，如没有电渣焊接将无法进行焊接。为解决以上问题我们公司从日本引进专门的 BOX 组装、焊接的流水线，能顺利克服以上困难，具体制作要领如下

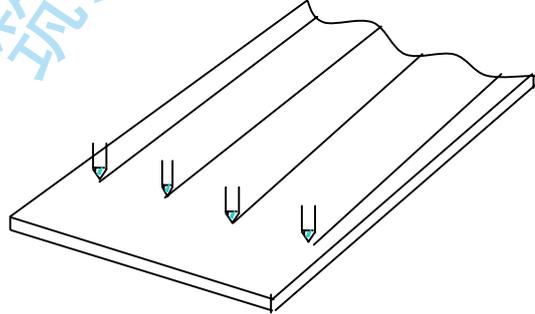
#### 5.3.2.2 BOX 的制作要领

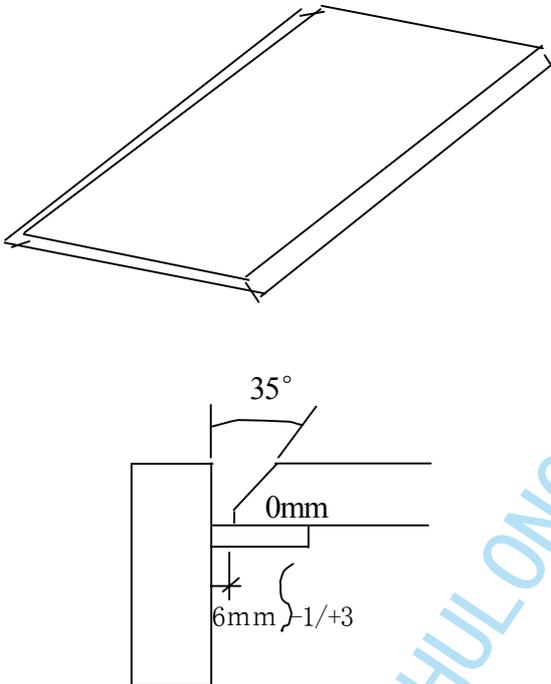
附表 6-18 BOX 构件原寸、划线要领

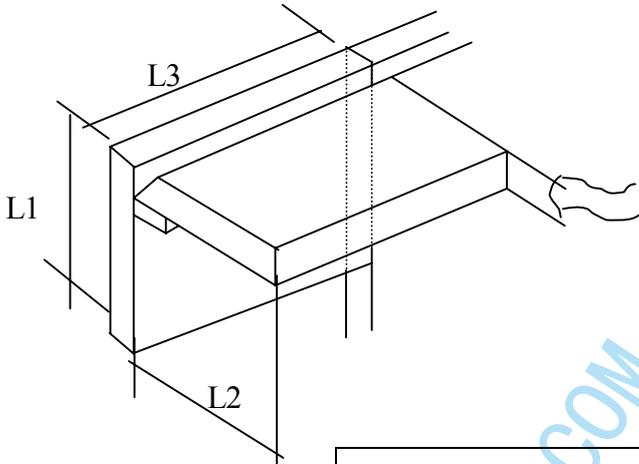
项目	要领	备注
主材、 焊接余量	 <p>要因：</p> <p>①柱头切削余量</p> <p>②角焊接焊接收缩量</p> <p>③柱脚加工余量</p> <p>④CES 焊接收缩量</p> <p>注：中间 CES 焊接余量 b</p> <p>以上具体的余量值在具体的制作要领书中规定。</p>	<p>t:BOX 主材板厚</p> <p>主材划线要领详见后</p>

主材、 断面收缩 量	 <p>注：N 为图面正规寸法。</p>							
隔堵板 (CES)	<p>注：a=t+b</p>  <p>t: 腹板厚</p> <table border="1" data-bbox="837 974 1157 1153"> <tr> <td>隔堵板厚</td> <td>b</td> </tr> <tr> <td>36 以下</td> <td>25</td> </tr> <tr> <td>40 以上</td> <td>30</td> </tr> </table>	隔堵板厚	b	36 以下	25	40 以上	30	<p>注：隔堵板上孔的位置及大小参见工作图。</p> <p>原寸资料制作时请标识区分腹板侧和翼板的记号。</p>
隔堵板厚	b							
36 以下	25							
40 以上	30							

附表 6-19 BOX 构件主材加工要领

项目	要领	备注
素材板 加工	 <p>主材进行下料时，采用龙门式平行火焰切割机进行下料，以确保主材的平直度。</p> <p>同一枚构件的翼板和腹板由同一枚素材上取出。</p>	<p>具体的余量值在具体的制作要领书中规定</p>

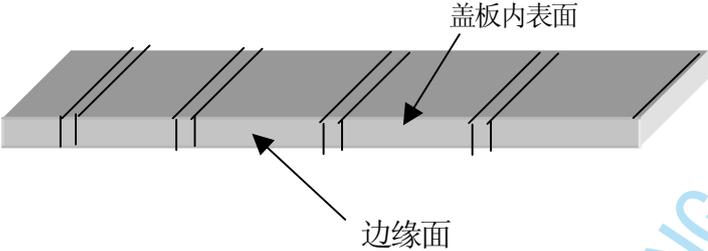
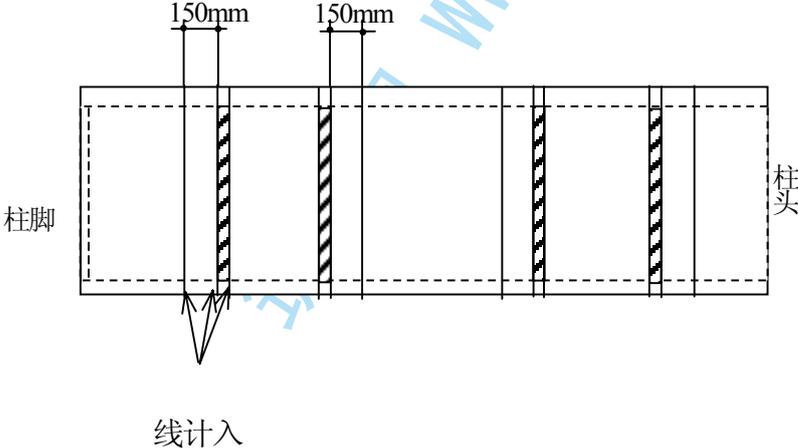
腹板 坡口加工	<p>主材腹板的坡口加工采用半自动气体切割机进行。</p>  <p>注：板厚为 50mm 时，采用 V 型坡口</p>	开坡口前在腹板与垫板的装配面上标注焊接垫板位置线，再进行坡口切割。									
火焰切割 精度	<p>本工程的切割精度要求较高，具体见下表</p> <table border="1" data-bbox="424 1234 1024 1404"> <thead> <tr> <th>加工类型</th> <th>表面粗糙度</th> <th>割痕深度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>切割加工</td> <td>100 μ mm</td> <td>0.5 以下</td> </tr> <tr> <td>坡口加工</td> <td>200 μ mm</td> <td>1.0 以下</td> </tr> </tbody> </table>	加工类型	表面粗糙度	割痕深度	切割加工	100 μ mm	0.5 以下	坡口加工	200 μ mm	1.0 以下	凡涉及到火焰切割及坡口加工的均使用本要求
加工类型	表面粗糙度	割痕深度									
切割加工	100 μ mm	0.5 以下									
坡口加工	200 μ mm	1.0 以下									

BC 焊接 引弧板	 <p>引弧板原尺寸需制作相应的原尺寸资料，坡口同角焊缝坡口</p> <table border="1" data-bbox="794 779 1157 1010"> <tr> <td>L1 = 100</td> </tr> <tr> <td>L2 = 100</td> </tr> <tr> <td>L3 = 100 (始端)</td> </tr> <tr> <td>L3 = 250 (终端)</td> </tr> </table>	L1 = 100	L2 = 100	L3 = 100 (始端)	L3 = 250 (终端)	引弧处与熄弧处使用同一规格，坡口形式、板厚同母材，引弧板材质使用 SN490C
L1 = 100						
L2 = 100						
L3 = 100 (始端)						
L3 = 250 (终端)						

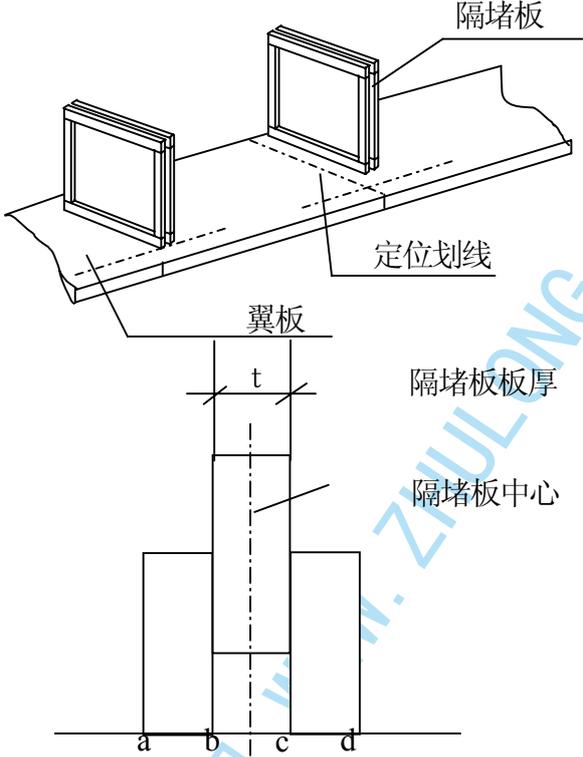
附表 6-20 四面 CES 焊接时隔堵板和主材加工要领

项目	要领	备注									
隔堵板 通气孔 混凝土 填充孔 加工要领	<ol style="list-style-type: none"> <li>加工方法                             <ul style="list-style-type: none"> <li>空气孔：摇臂钻床</li> <li>填充孔：火焰切割（半自动切割机）</li> </ul> </li> <li>加工精度                             <table border="1" data-bbox="406 1444 954 1736"> <thead> <tr> <th>孔类型</th> <th>精度</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td rowspan="2">通气孔</td> <td>偏心度： ±2mm</td> </tr> <tr> <td>孔间隔： <math>-2\text{mm} &lt; \Delta &lt; +2\text{mm}</math></td> </tr> <tr> <td>混凝土填充</td> <td>偏心度： ±1mm</td> </tr> <tr> <td>填充孔</td> <td>切割面精度： 100 μ mm</td> </tr> </tbody> </table> </li> <li>填充孔加工注意                             <p>切割开始和结束的地方是重合的，如在该处出现明显割痕，则用风磨机打磨光滑。</p> </li> </ol>	孔类型	精度	通气孔	偏心度： ±2mm	孔间隔： $-2\text{mm} < \Delta < +2\text{mm}$	混凝土填充	偏心度： ±1mm	填充孔	切割面精度： 100 μ mm	
孔类型	精度										
通气孔	偏心度： ±2mm										
	孔间隔： $-2\text{mm} < \Delta < +2\text{mm}$										
混凝土填充	偏心度： ±1mm										
填充孔	切割面精度： 100 μ mm										

附表 6-21 BOX 构件组装时划线要领

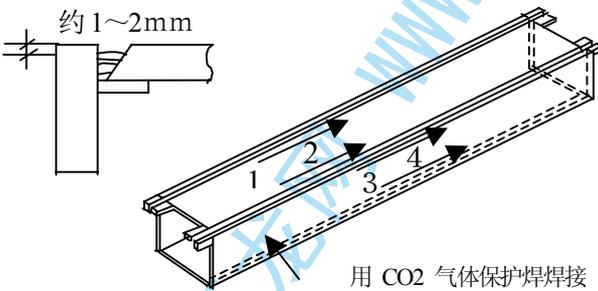
项目	要领	备注
划线	<p>①→根据原寸所发的资料（钢带）在腹板、翼板上划线；</p> <p>②→U 组装前，向表面上所划的尺寸线向钢板的边缘面上延长，如图所示；</p>  <p>③→隔堵板组装好后、进行两侧的腹板组装，然后根据翼板边缘面上的划线在腹板的外表面上划线，最后盖上翼板，将划线完成。</p> <p>④→标示线：在 BOX 上的 4 个面上将隔堵板的位置标注好后，再用钢带进行一次确认、随后在该标注线向外移 150mm 的位置再一次划线，该线作为 UT 基准线和最终的隔堵板标注线。（具体情况如下图）</p>  <p>4 面都要划线。</p> <p>注：划线时要注意所划的线不要与作为基准的边缘面上的线有错开，划线要垂直于边缘，不要歪斜，以免造成不必要的误差。</p> <p>标示线在以后的施工中要注意不要被擦去，线标示好后，如可能，在线上可以涂上清漆进行保护。</p>	<p><b>注意：</b></p> <p>除了能被钻孔除去的部分能够冲眼进行位置标示外，严禁在母材上冲眼。</p> <p>如腹板、翼板上有钢材厂商的喷号，需将有喷号的一面放于 BOX 外侧。</p>

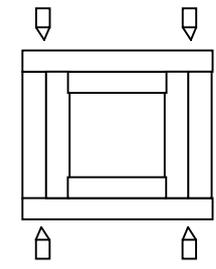
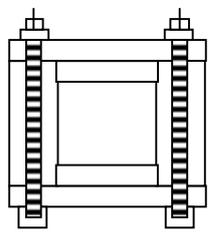
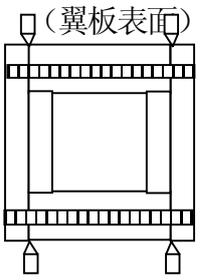
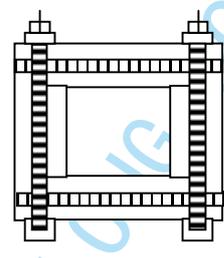
附表 6-22 BOX 柱组装要领

项目	要 领	备注
柱翼板与隔堵板组装	<p>按照翼板上所标注的定位线，正确安装隔堵板，同时按照原寸或工作图指示位置安装断面形状保持板。</p>  <p>注：隔堵板在划线和组立时，是以 b 或 c 为基准点。</p>	<p>注：不要忘记及时的向边缘面引出划线。注意：</p> <p>除了能被钻孔除去的部分能够冲眼进行位置标示外，严禁在母材上冲眼。</p> <p>腹板在组装前必须先与角焊缝焊接垫板进行组装。</p>
柱腹板组装	<p>翼板与隔堵板组装完毕后，再确认隔堵板和翼板的直角度以及相互尺寸无误后，进行柱腹板的组装。腹板在 U 组立前，需与焊接垫板先进行组装，定位焊要求为最小焊缝长 70mm，间距为 300~400mm。</p> <p>在专用 U 型组立机上进行组装，组装时，对各部材应按照划线基准正确安装，确保规定的尺寸及直角度，同时避免整体的扭曲、错位和组装间隙等问题。</p> <p>要求腹板和隔堵板的组装间隙小于 0.5mm。</p> <p>注意：U 组立好后，对内部必须进行清扫，清扫至 BOX 内部无焊头、溶渣等垃圾为准。</p>	<p>具体精度详见 BOX 柱制作-各工程精度管理值表。</p> <p>断面保持材另有要求，详见次页。</p> <p>焊接垫板要与腹板表面紧密</p>

	※定位焊禁止用点焊，如发生，定位焊缝必须将点焊位置覆盖	贴合。
--	-----------------------------	-----

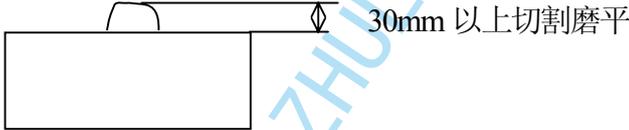
附表 6-23 BOX 构件焊接要领

项目	要领	备注
BOX 柱 BC 焊接	<p>1) →装配好引弧板后，用 C O<sup>2</sup> 气体保护焊进行焊接，焊接到离板厚表面 2mm 以下为止。</p> <p>2) →最后用埋弧焊进行盖面。</p> <p>3) →原则上，同一侧的焊缝在焊接时要同时进行焊接。</p> <p>4) →本工程所有的角焊缝均为完全溶透焊缝，其中仕口部的焊缝需进行 100% 的 UT 探伤。</p> <p>5) →焊接顺序如下图所示。</p> <p>6) →焊接完成后，头尾的引弧板必须除去。</p>  <p style="text-align: center;">用 CO<sub>2</sub> 气体保护焊焊接</p> <p>注意：焊前需进行坡口检查，检查后，为了保证足够的溶深，先用碳弧气刨在焊接垫板上刨一个小坡口，然后再进行焊接。</p>	<p>引弧板装配详见特记要领</p> <p>焊缝起弧与熄弧在引弧板内进行；</p> <p>焊道内接缝需注意后道焊缝起弧处与前道焊缝熄弧处的处理。</p>

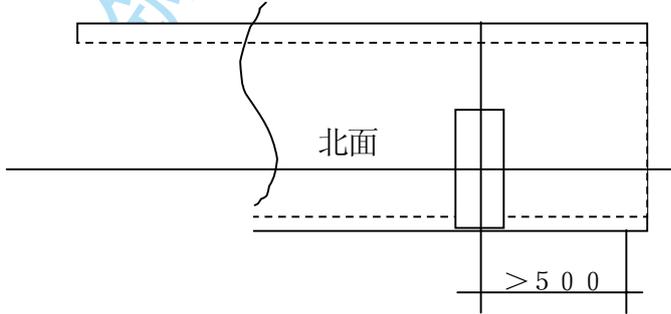
BOX 柱  CES 焊接  施工顺序	<p>角焊缝完成后，用 CES 完成隔堵板的焊接，施工顺序如下。</p>  <p>①→钻孔</p>  <p>②→CES 溶接</p>  <p>③→孔（腹板面）</p>  <p>④→CES 溶接</p> <p>(转孔前角焊缝处的焊道先进行打磨,)</p>	
---------------------------------	--	--

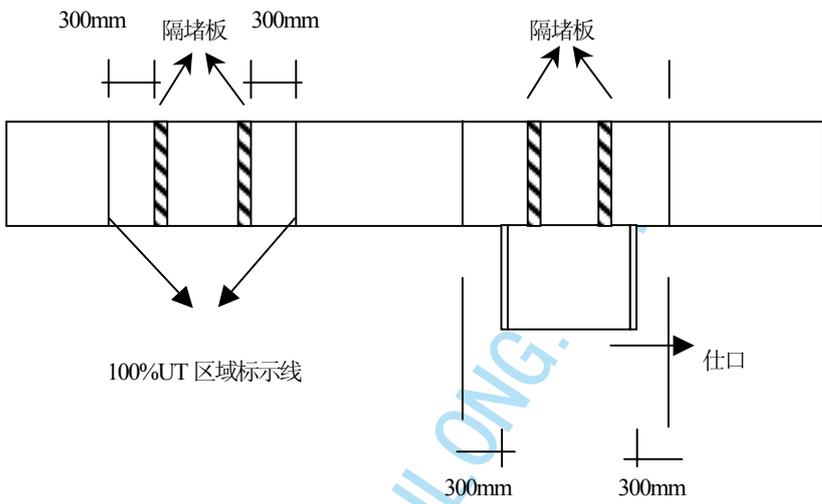
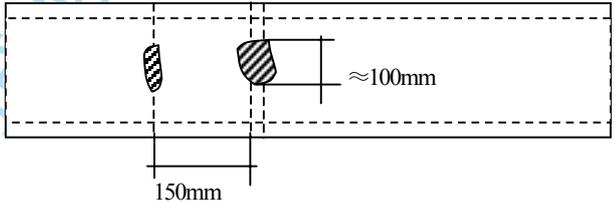
附表 6-24 BOX 构件焊接要领

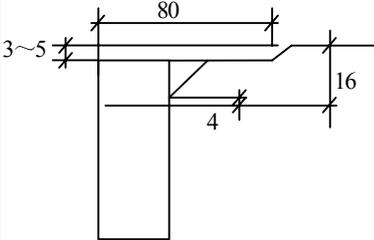
项目	要 领		备注
CES 焊接基准	焊接坡口的确认	1) →焊接前对坡口进行清扫, 将坡口内的水分、铁锈等除去 2) →腹板、翼板所钻的孔, 如果发生偏心, 出现了看不见 CES 焊接垫板的情况, 用火焰切割将孔扩大。	
	水冷铜块的设置	请确认以下要点: 1) →同的焊接用孔同心度偏差保证在 5mm 以内。 2) →和翼板或腹板的间隙控制在 0.5mm 左右。	

	焊前检查	1) →根据坡口检查要领进行坡口确认; 2) →对水冷铜块放置进行确认(注意冷却水是否接通) 3) →电源, 接地, 规范预设置确认 4) →焊材确认, 5) →焊丝余量进行确认, 如不足, 更换。	
	焊接规范	标准焊接条件见次页。	
	终端处理	终端焊瘤的高度要求如下: 	

附表 6-25 BOX 构件标记要领

项目	要 领
零件编号 记入要领	零件记号、记录在柱体N(北)面、从柱脚部开始500MM处。记号内容根据工作图, 全部记入。 

BOX 组立 划线	<p>BOX 组立好后,除必须划出隔堵板的位置线和标志线外,还必须划出角焊缝100%UT 区域标志线。</p> <p>区间为: 距离隔堵板 300mm 以内的范围。</p>  <p>The diagram illustrates a horizontal assembly with two dividers (隔堵板) and a butt joint (仕口). Dimensions are provided: 300mm from each divider to the adjacent 100%UT inspection zone, and 300mm from the butt joint to the adjacent 100%UT inspection zone.</p>
角焊缝 引弧板 组装要领	<p>引弧板与柱体进行组装的时候,注意以下要领:</p> <p>引弧板的装配焊接只能在坡口内进行,引弧板不能在坡口以外的范围进行组装焊接,可以和角焊缝焊接垫板进行组装焊接。</p>
划线保护	<p>大组立结束后,为了防止划线被擦去,在标示线上涂上透明的清漆以做保护,焊接结束后,以标示线为基准对隔堵板位置进行再划线,随后隔堵板位置线再进行涂漆保护,保护漆涂装范围如下。</p>  <p>The diagram shows a section of the assembly with a 150mm wide protective coating area centered on the marking lines, extending approximately 100mm from the marking lines.</p>

柱顶板		柱顶板焊接好后，用铣床进行柱顶加工，横向加工量如左图，纵向加工量根据 BOX 柱焊后长度进行调节，基本上纵向加工量为 3mm。
施工要领		

## 5.4 焊接工艺

**5.4.1 焊接工艺评定：**根据工程要求及连接特点制定工艺评定规程，经过试验合格后纳入工艺规程。

### 5.4.2 埋弧自动焊工艺规程

**5.4.2.1** 班组长在施工前应根据工艺要求，对现场所施工的构件进行技术交底。领用焊丝，焊剂应当天填写材料领用凭证。

**5.4.2.2** 焊前应检查焊接设备运行是否正常，否则不能施焊。焊接设备应具有参数稳定，调节灵活，满足焊接工艺要求和安全可靠的性能。

**5.4.2.3** 焊工应复查构件的接头质量和焊区的处理情况，及引弧(熄弧)板装配的是否合格。焊丝应清除油污和铁锈，如不符合要求，应在修整合格后方可施焊。

### 5.4.2.4 焊接前预热：

附表 6-26 钢材焊前预热温度

强度等级 $\sigma_s$	钢号	预热	
		板厚 (mm)	预热温 ( $^{\circ}\text{C}$ )
(MPa)			
235	Q235	>50	100~150
345	Q345	>36	100~150

焊接前预热及层间温度的控制，宜采用测温器具测量(点温计，热电偶温度计)，钢材的预热温度应符合表一的规定；预热区在焊道两侧，其宽度应各为焊件厚度的2倍以上，且不小于100mm；预热工作应有专业人员操作。质量控制部人员进行预热温度检查并作好记录；埋弧焊不同坡口型式的焊接工艺参数应符合焊接工艺评定规定；碳弧气刨工应经过培训，合格后才能操作。碳弧气刨工艺参数宜符合下表的规定。

**附表 6-27 碳弧气刨工艺参数**

碳棒直径 (mm)	电弧长度 (mm)	空气压力 (MPa)	电流 (A)
φ6.0	1~3	0.4~0.5	230~300
φ7.0	1~3	0.4~0.5	280~350
φ8.0	1~3	0.5~0.6	330~400
φ10.0	1~3	0.5~0.6	420~500

**5.4.2.5** 环境温度 $<5^{\circ}\text{C}$ 时，应预热至 $40\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，并在保温情况下冷却。当环境温度 $<0^{\circ}\text{C}$ 时，应按工艺要求的预热、后热温度进行。

**5.4.2.6** 焊接完毕，焊工应清理焊缝区的熔渣和飞溅物，并检查焊缝外表面质量，合格后应在工艺规定的焊缝及部位打上焊工钢印。

**5.4.2.7** 无损检测的焊缝，在探伤之前应打磨焊道两侧宽度各为100mm，并及时通知质控部探伤人员进行探伤检查。

### **5.4.3 手工电弧焊操作工艺规程**

#### **5.4.3.1 一般规定**

焊接设备应具有参数稳定、调节灵活、满足焊接工艺要求和安全可靠的性能；焊工应经考试并取得合格证后，才能从事钢结构工程的焊接。合格证中应注明施焊条件、有效期限，停焊或离岗时间达6个月以上，应重新考核；焊条烘干后必须存放在保温箱（筒）内，随用

随取。焊条由保温箱（筒）取出到施焊的时间不宜超过 2 小时（酸性焊条不宜超过 4 小时）。不符上述要求时应重新烘干后再用，烘干次数不宜超过 2 次。

#### 5.4.3.2 焊接工艺评定的确认及相应文件

符合下列规定之一者，应进行焊接工艺评定；首次使用的钢材应进行工艺评定，当该钢材与已评定过的钢材具有同一强度等级和类似化学成分时，可不进行焊接工艺评定；首次采用的焊接方法；采用新的焊接材料施焊；首次采用的重要焊接接头型式；需要进行预热、后热和焊后热处理的构件；

#### 5.4.3.3 焊接工艺

焊接环境：下雨或下雪时不得露天施焊，构件焊接区表面潮湿或有冰雪应清理干净，风速超过或等于 8m/s 时应采用挡风措施；焊前应清除焊接区表面油污、浮锈等影响焊接质量的杂物。

焊前准备：焊工在施焊前应了解焊接工艺指导书及加工图纸的要求；焊前应由专业人员检查电源的网路电压，当其波动值超过 $\pm 5\%$ 时，应增设压装置。

施焊细则：对接焊缝及组合焊缝应在焊缝的两端设置引弧板，其材料和坡口形式应与焊件相同，引出焊缝长度应大于 20mm；不得在焊道以外的母材表面引弧、熄弧，在吊车梁、吊车桁架及设计上有特殊要求的其它重要受力构件承受拉应力的区域内不得焊接临时支架、卡具及吊环等；多层焊接宜连续施焊，每一层焊道焊完后应及时清理并检查，如发现有影响焊接质量的缺陷，应清除后再施焊。焊道层间接头应平缓过渡并错开；对接和 T 型接头要求熔透的组合焊缝反面清根保证焊透。

### 5.5 矫正

构件装焊完毕后，焊接变形采用 300T 油压机或火焰矫正加热法进行矫正。火焰加热温度应控制在 900℃ 以下，加热后在自然状态下冷却，严禁在红热状态下浇水急冷。矫正后的钢材表面不应有凹陷及其它损伤。

对于板厚大于 40mm 的钢板，其矫正采用反变形。即先用 2000 吨油压机进行反变形，焊后可不用进行矫正。

## 5.6 端部加工

接头处的接触面用特殊工艺进行端铣，加工后用胶带纸粘贴保护。其单面精度可达 0.1mm，顶紧接触后的精度不超过 0.2mm，顶紧接触面可保证 100%的面积紧贴。即用 0.3mm 塞尺不可进入。

## 5.7 高强螺栓摩擦面加工及抛丸除锈

### 5.7.1 钢结构表面抛丸前的要求

**5.7.1.1** 钢结构件应经验收合格后才能进行抛丸除锈。

**5.7.1.2** 钢结构表面的毛刺、电焊药皮、焊瘤、飞溅物在抛丸前应清理干净。

**5.7.1.3** 抛丸所用的空气压缩机应有油水分离器，确保压缩空气中不含水份和油污。空气过滤器中的填料，应定期更换，空气缓冲罐内的积液也应定期排放。

**5.7.1.4** 抛丸用的磨料应符合下列要求

磨料应是比重大、韧性强、有一定粒度要求的粒状物；在使用过程中应不易碎裂并散释出的粉尘最少；抛丸后不应残留在构件的表面上；各种磨料的表面不得有油污，含水量不得大于 1%。

**5.7.1.5** 钢结构抛丸处理后表面质量达到 GB8923-88 中的 Sa2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> 等级。

抛丸处理后的构件表面的油脂或污垢、氧化皮、铁锈和油漆涂层等污物除净，该表面呈灰白色；抛丸处理后的高强螺栓摩擦面的粗糙度和抗滑移系数符合设计要求。

**5.7.1.6** 抛丸除锈后，应用毛刷等清扫或用干净无油、水的压缩空气吹净构件表面上的锈尘和残余磨料，然后在 4 小时内喷涂油漆。

**5.7.1.7** 为保护抛丸后构件的表面质量，应根据气象、环境条件作出相应的保护措施，在施工中尽量防止人员触摸和有害物质的沾污。

**5.7.2** 高强螺栓连接板接触面保证平整（不平度小于 1.0mm）

**5.7.2.1** 经处理的摩擦面，施工前按批量做抗滑移系数试验，最小值符合设计要求；发运

时按批附 3 套与构件有相同材质、同批制作、同一性能等级、同一摩擦面处理办法、同一螺栓直径的三套试件，试件按 JGJ82—91 规范制作，提供给安装单位进行抗滑移系数的复验，在运输过程中摩擦试件装箱保证摩擦面。

**5.7.2.2** 抗滑移系数试验在拉力机上进行。保证高强螺栓的紧固轴力，其摩擦面符合规范 GB50221—95 G. 1 测得的抗滑移系数必须大于等于 0.5。如果不符合，对构件摩擦面重新进行处理。处理后的摩擦面重新做试件试验。

### 5.7.3 质量及验收

**5.7.3.1** 构件抛丸处理后表面质量的检查方法：采用对比法检查。

**5.7.3.2** Sa2.5 钢材表面无可见的油脂或污垢，氧化皮、铁锈和油漆涂层等附着物，任何残留的痕迹应仅是点状或条纹状的轻微色斑。

## 5.8 钢结构涂装

具体涂装方案见“第十一节涂装工程”

## 5.9 预拼装

**5.9.1** 为了保证安装的顺利进行，构件在出厂前需进行预拼装。本工程中，主桁架必须进行 100% 平面预拼装。预拼装应在自由状态下进行。

**5.9.2** 构件预拼装的尺寸偏差应符合图样及标准要求。

当采用试孔器对构件的组孔进行检查时，应符合下列规定

**5.9.2.1** 当采用比孔公称直径小 1.0mm 的试孔器检查时，每组孔的通孔率 $\geq$ 85%。

**5.9.2.2** 当采用比螺栓公称直径大 0.3mm 的试孔器检查时，每组的通孔率应为

100%。预拼装的允许偏差详见下表：

附表 6-28 构件预拼装的允许偏差

构件类型	项目	允许偏差 (mm)
多节柱	预拼装单元总长	±5.0
	预拼装单元弯曲矢高	1/1500 且不大于 10
	接口错边	≤2.0
	预拼装单元柱身扭曲	$h/200$ 且不大于 5.0
	顶紧面至任一牛腿距离	±2.0
梁、支撑	跨度最外端两安装孔或两端支撑面最外侧距离	+5.0 -10.0
	接口截面错位	2.0
	节点处杆件轴线错位	3.0

### 5.10 构件检验

**5.10.1** 完工的产品, 由施工班组班长对产品质量进行自检, 合格后填写质量检验评定表。报检验人员检查评定。

**5.10.2** 检验人员依产品设计文件及验收规范实施检查, 不合格的产品按《不合格品控制》程序的要求处理并记录。

**5.10.3** 检验人员对已检产品按《检验和试验状态控制程序》的规定做好检验状态标记。

**5.10.4** 检验人员根据检验项目分别整理、确认〈焊接质量检验评定记录〉、〈梁、撑制作质量检验评定记录〉、〈钢柱制作质量检验评定记录〉、〈磁粉检验报告〉、〈超声波探伤报告〉、〈射线检验报告〉、〈渗透检验报告〉等记录, 并在规定的位置加盖质检人员印章;

无损探伤报告除加盖检验员印章外，还需加盖质量控制部“无损检验专用章”。

**5.10.5** 产品出厂时，〈产品合格证〉由质量控制部部长负责签发，并加盖“质量控制部验收合格专用章”。

**5.10.6** 产品入库后，各过程的检验和试验记录由质量控制部统计员按《质量记录控制程序》的要求进行管理，以便质量追溯、向甲方提供产品质量保证书。

### **5.11 加工工期保证措施**

**5.11.1** 配备强有力的领导班子和技术力量，配有足够的专业设备和后勤支持，确保满足工程进度。

**5.11.2** 推行项目管理制，组织有力的指挥系统，进行合理施工部署，统筹确定施工流程，编制确实可行的施工方案、制作工艺、技术措施，通过网络计划进行同步有序优化施工，控制、协调各种生产要素。

**5.11.3** 运用网络计划管理技术，实行周计划，月计划和与甲方定期协调的例会制度，并用前峰线法检查工程进度，及时处理和协调生产中出现的矛盾，提高网络节点正点率。

**5.11.4** 来料检尺、检验、取样工作及时进行，以利于配料工作的正常快速开展，一般不超过 12 小时。

**5.11.5** 根据来料情况，进行合理配料，为使原材料最大限度的提前投入生产，保证配料、发料、领料工作不超过 36 小时。

**5.11.6** 根据工艺要求，制定切实可行的施工顺序和工艺，交叉作业，合理安排施工，最大限度的减少窝工现象。

**5.11.7** 为加快施工进度，充分利用工作面，在上下工序确实需要的情况下（如主焊缝焊接和二次装配），采取二班或三班作业。

**5.11.8** 充分利用数控切割机，型钢矫直机，自动焊机等设备，提高机械化作业

水平，加快施工进度，保证各环节进度扣网。

**5.11.9** 根据网络计划，提前做好车辆安排工作，保证构件的及时发运。对现场急需的构件，保证按时运抵安装工地。

**5.11.10** 运用奖惩制度，奖励提前保质保量完工的班组。

**5.11.11** 充分利用经济手段，完善奖惩制度，实行重奖、重罚，充分调动制作人员的积极性，确保工期按时完成。

## **5.12 质量保证体系及质量控制**

### **5.12.1 质量保证体系**

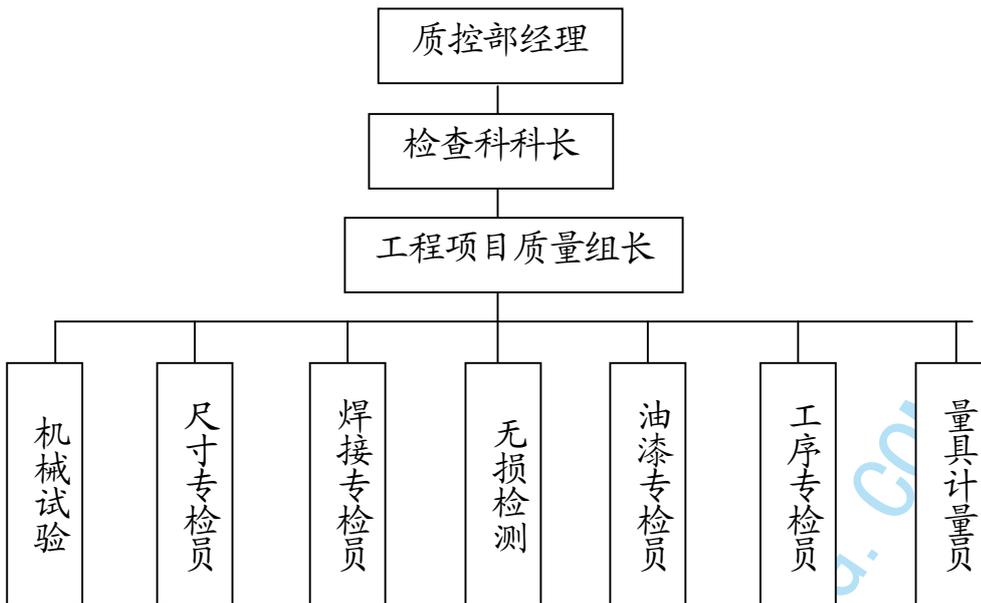
本公司的质量保证体系适用于公司各体系部门和各工序的质量控制，在实施质量保证活动中坚持“①提供优质产品，满足客户需要，取得社会信任；②由全体参加和合作来继续推进质量体系的改善”之质量方针，按照体系流程图达到“①100%受控率+100%合格率；③以人为核心，牢固树立全员质量意识，使每个员工都理解‘质量在我手中’的实际意义，确保体系对每一件产品在生产过程中的受控率达到100%；④积极落实事先预控、事中检验、事后改善的质量保证措施，建立健全完善的售后服务网络，确保出厂产品合格率100%。”的质量目标。

另外，如果发现制造过程中质量产生异常现象时，在适当处理的同时按照质量管理体制开展防止再发生的质量保证管理活动。

### **5.12.2 检查体制**

为了确保本工程的质量达到客户和设计的要求，根据本公司的质量保证体系，建立以下的专职检查系统图

各专职检查人员由熟悉本岗位的技术文件、设计图纸和有关工艺标准的人员组成，并把技术要求、质量要求传达到班组，明确各专业技术岗位的质量目标和工作职责。通过每一系统的质量活动，从而达到对整个工程的质量控制。



附图 6-43 专职检查系统图

### 5.12.3 产品制作过程中的质量控制。

#### 5.12.3.1 质量控制程序

为了强化质量管理体系和达到预期的效果，制造过程中的检查分为“工序检查”及“成品检查”，按 [QC 工序图] 实施。

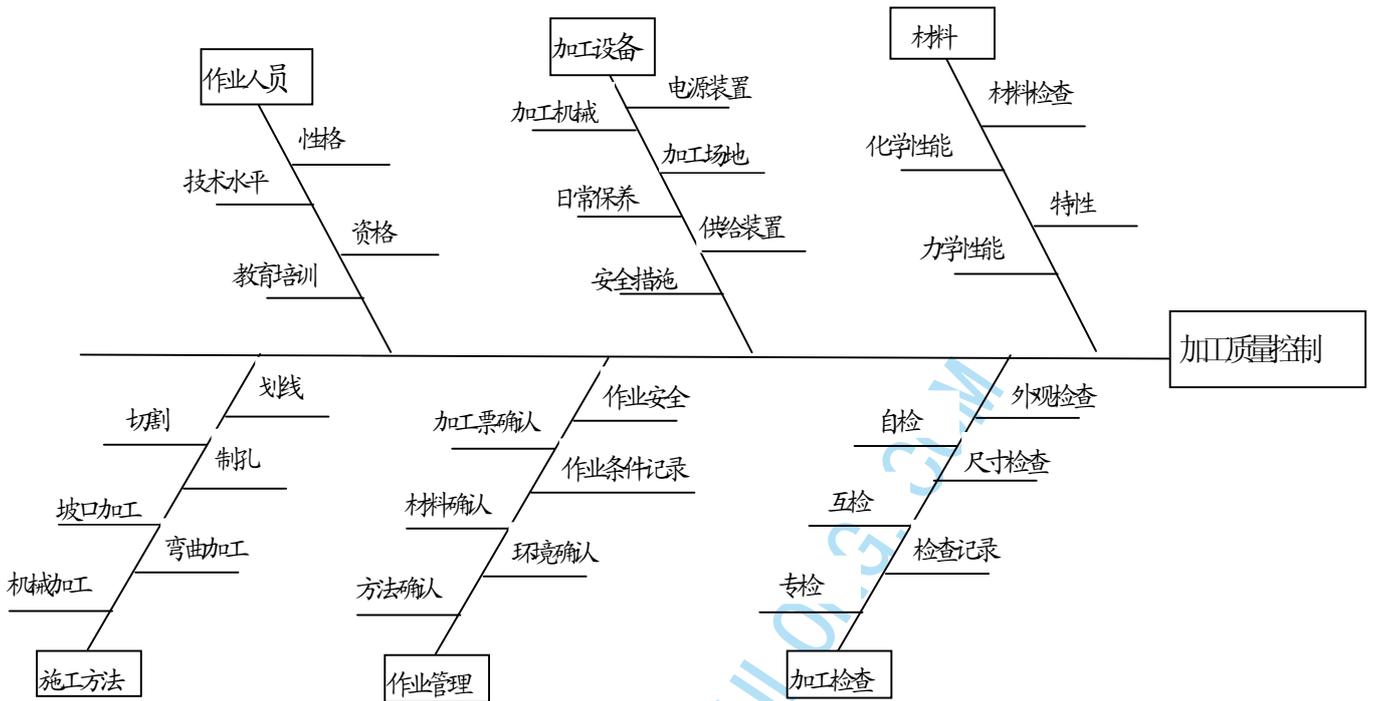
另外，“工序检查”“检查部门检查”按相关章节所述的实施。

有关“工序检查”及“成品检查”如下所示：

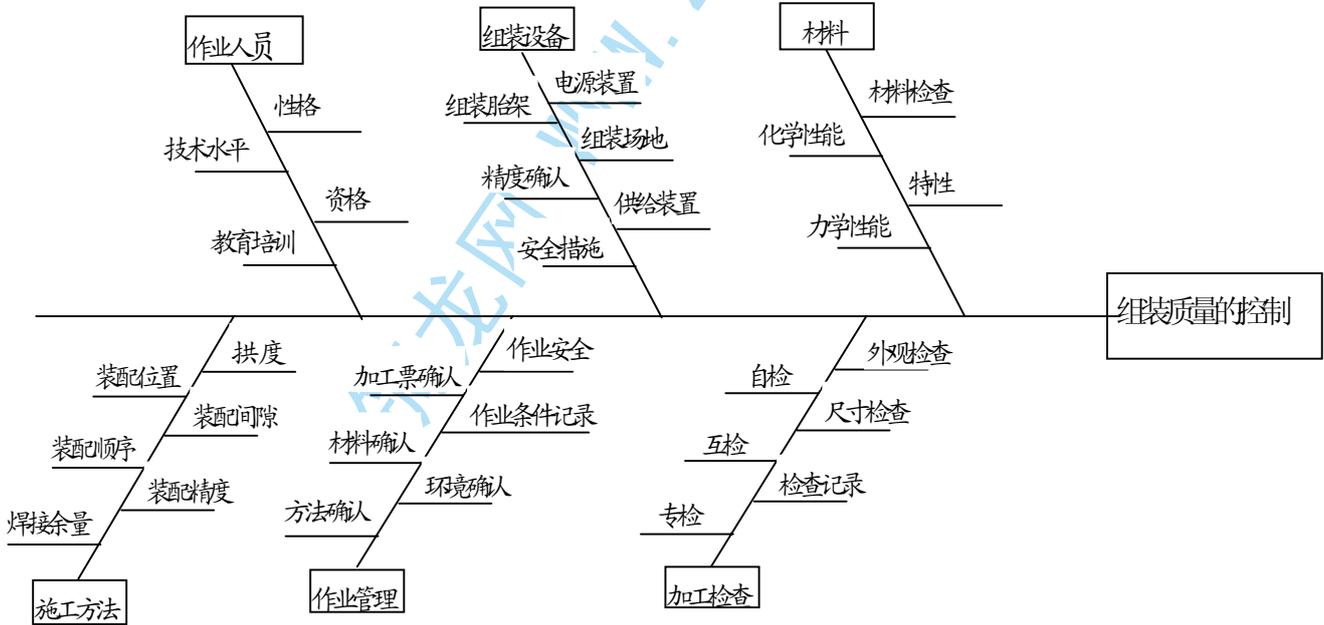
#### 〈工序检查〉

工序检查是明确生产工艺中质量管理的项目，使各工序在管理工艺流程图的基础上，根据必要的检验要领及检查记录检验各自质量，以防不良品流入下一道工序。另外，实施的工序检查中也包含客户的质量要求。

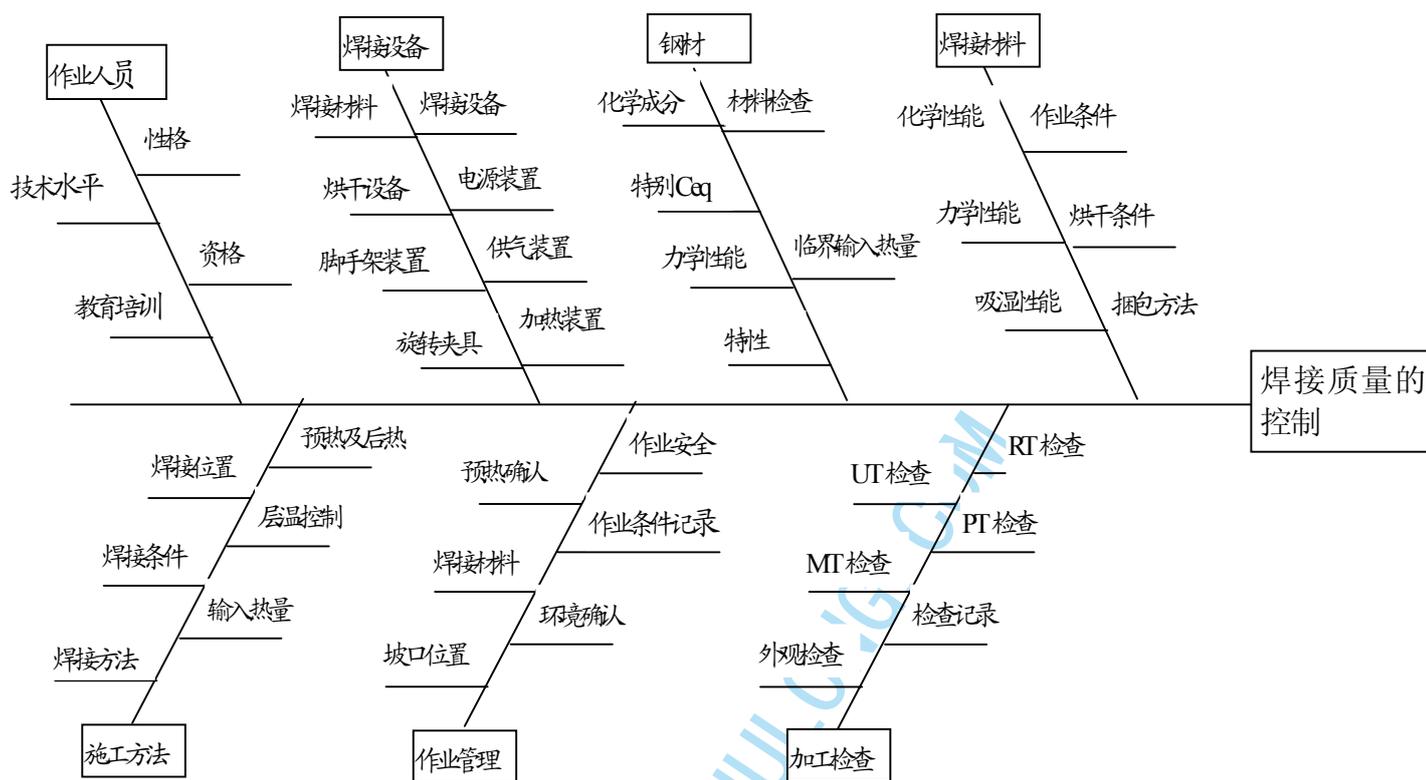
工序检查主要由车间工作人员执行，实施自检和互检。经检验合格以后贴上自检合格标签方可流入下一道工序。为了严格控制工序加工质量，检查科专职检验人员还要对贴有合格标签的零部件进行全检或抽检，检查比例 20%–100% 不等。



附图 6-44 加工质量控制的特性因素图



附图 6-45 组装质量控制的特性因素



附图 6-46 焊接质量控制的特性因素图

### 〈成品检查〉

成品检查是指为了评价·检验产品是否满足客户对质量的要求以及产品是否满足相应国家标准或规范，检查实施部门根据技术图样、各种标准或规范对成品进行检查和试验，并将检查和试验结果编制成检查·试验报告书等质量记录的检查。另外，质量记录的编制也可以包含工序检查中的检验内容及检查记录等质量情报。

#### 5.12.3.2 制造工序中发生的不合格品的处理和防止再发生

对从产品制造到交货阶段中发生的异常质量问题(以下称不合格),按[不合格品的处理及防止再发生对策体系图]处理及实施防止再发生。另外,按本公司标准对构件在工序制作中产生的质量问题分为“不合格品”和“偶发不良”两类,其有关定义如下。

〈不合格品〉:不合格品是指从加工图开始到制造交货为止的阶段中,因加工图不良,材料、外购件的不良、损伤、遗失以及不符合适用规格·标准、客户的订货规格、图纸和要求事项的产品,以及因使用与校正标准有偏差的计量器而判断检查无效的产品(偶发不良除外)。为了纠正不合格品,公司要受到损失。

〈偶发不良〉：偶发不良是指产品在制作工序中发生轻微的不良现象（参照表 8.1），在部门标准中制定了修正要领。

附表 6-29 偶发不良

区 分	偶发不良的内容	备 注
1) 加工品不良	钻孔的遗漏、孔位置・孔径・孔间距离尺寸的误差。  气体加工造成的伤痕、气割面的粗糙等。	・因图纸・放样资料指示有误而造成的为不合格品。
2) 拼装点不良	材料拼装位置的误差、拼装精度不良、矫正不足等。	・因图纸・放样资料指示有误而造成的为不合格品。
3) 焊接不良	未焊透、未融合、夹渣、气孔、外气孔、焊瘤、咬边、焊道不整、引弧、飞溅、脚长不足・过大、绕焊不良、  焊缝不足、余高不足、其他形状的不良等。	・裂纹是不合格品
4) 涂装不良	摩擦面的锈不足。膜的厚度不足、流挂、皱缩、变色、异物、起泡、不沾等、为了修补没有进行必要的铲除等不良。	
5) 产品外观不良	伤痕（擦伤、器具引痕）  不洁（残留有焊瘤等）	

不合格品的处理及防止再发生对策体系图

[不合格品的处理及防止再发生对策体系图] 中的相关部门按以下所示分类：

发现部门：发现不合格品的部门

责任部门：与发生不合格品的原因有关的部门

处理部门：实施不合格品处理的部门

汇总部门：质量控制部管理科

发生不合格时的程序：发生不合格时的处理及程序按图〔不合格品的处理及防止再发生对策体系图〕的顺序实施；不合格品的发现部门对不合格品和偶发不良按“不合格品的处理及防止再发生对策体系图”的规定与有关部门联系。

#### 5.12.4 质量检查细则

##### 5.12.4.1 检查种类

材料检查、焊接检查、无损检查、尺寸检查、涂装检查、预组装检查

##### 5.12.4.2 检查项目

检查项目下表所示，除按相关要求在工厂内进行自检和专检外，必须随时接受监理工程师的检查。

附表 6-30 检查项目一览表

项目	检查区分		检查场所	检查方法	检查资料	提交检查报告
	会同	自检				
材料检查	○	○	厂内	外观检查 质保书确认	质保书	材料检查报告
焊接检查	○	○	厂内	外观检查	焊接部外观检查要领	产品检查报告
无损检查	○	○	厂内	无损检查	无损检查要领	无损检查报告

尺寸检查	○	○	厂内	主要尺寸及接合部检查	设计图纸	产品检查报告书
预组装检查	○	○	厂内	主要装配尺寸及接合部的检查	设计图纸	产品检查报告书

#### 5.12.4.3 焊接检查

在焊接检查中，进行焊接前的坡口形状检查、焊接后的外观目视及无损检查，其要领及判定标准按以下内容实施。

焊缝坡口的形式与尺寸应遵照设计总说明的要求，并参照 GB20205-95《钢结构工程施工及验收规范》的相关要求。

坡口形状检查：坡口形状检查是确认坡口角度、根部间隙和预拼装焊接状态以及坡口清洁状态是否符合图样、设计文件及相关标准或规范的要求，该检查在各工序中进行及坡口形状检查在各工序中实施自检。

焊接部外观检查：焊接部的外观检查用目视或量规来检验，检查项目和判定标准按设计图样、规范等要求进行。

**附表 6-31 焊缝外观检查项目及判定标准(单位: mm)**

焊缝质量等级		判定标准		
		I 级	II 级	III 级
1	咬边	不允许	$\leq 0.05t$ ，且 $\leq 0.5$ ；连续长度 $\leq$ 缝长度内缺陷总 100，且焊缝两侧咬边总长 $\leq 10\%$ 焊缝全长	$\leq 0.1t$ 且 $\leq 1.0$ ，长度不限。

2	表面气孔	不允许	每 50 长度焊缝内允许直径小于等于 0.4t 且小于等于 3.0 气孔 2 个；孔距大于等于 6 倍孔径。	
3	表面夹渣	不允许	深度小于等于 0.2t；长度小于等于 0.2t 且最大为 20。	
4	角焊缝厚度不足		$\leq(0.3+0.05t)$ ，且 $\leq 2$ ；每 100 焊缝长度内缺陷总长度 $\leq 25$	
5	表面飞溅	清除干净		
6	焊瘤	不允许		
7	未焊满	不允许	$\leq(0.2+0.02t)$ ，且 $\leq 1$ ；每 100 焊缝长度内，缺陷总长度 $\leq 25$	$\leq(0.2+0.04t)$ ，且 $\leq 2$ ；每 100 焊缝长度内，缺陷总长度 $\leq 25$
8	根部收缩	不允许	$\leq(0.2+0.02t)$ ，且 $\leq 1.0$ ；	$\leq(0.2+0.04t)$ ，且 $\leq 2.0$ ；
9	裂纹	焊缝表面及近旁不允许有裂纹,对难以确认的场合必须用无损检查予以确认.		

注 1：t 为连接处较薄板厚。

注 2：本工程焊缝均为满焊，焊缝最小厚度不应小于 6mm，最小长度不应小于 100mm。

#### 5.12.4.4 无损检查（UT）

对产品构件的焊缝内部缺陷的无损探伤方法，对完全焊透的焊接部位均按一级焊缝标准进行，即对每条焊缝进行 20%超声波检查（连续焊缝长度必须大于 100mm）。

检查要领：超声波检查按 GB11345《钢焊缝手工超声波探伤方法和探伤结果的分级》进行。其中焊缝检查规则参照表下进行。

附表 6-32 焊缝超声波检查规则

项 目		说 明
探 伤 范 围		按单面单侧 0~1 跨距范围内
扫查方法	初始探伤	Z 形扫查、左右扫查、前后扫查、斜平行扫查
	规定探伤	左右扫查、前后扫查、首振扫查及必要的斜平行扫查
测定范围（时间轴）		$\delta \leq 30\text{mm}$ 时为 200mm $30\text{mm} < \delta \leq 40\text{mm}$ 时为 250mm
探 头		5P9×9K2.5 或 5Z10×10A70
耦合剂		化学浆糊或 75%以上的甘油
装置调整用标准试验片		CSK-ⅠK, RB-2
探伤灵敏度（感度）调整用标准试验片		RB-2
距离波幅校正曲线（DAC）的绘制		按 RB-2 的 $\Phi 3$ 孔
灵敏度及检出水平		判废线：-4dB，定量线：-10dB，评定线：-16dB
检测比例		一级焊缝 20%
检测时机		焊后 24 小时

合格判定标准按 GB11345 II 类焊缝 B 级以上为合格。

焊缝处理和修补：对所有上述探伤过程中发现的不合格缺陷，应找出原因并及时进行返修，返修后的焊缝应进行再次探伤检查合格。（探伤比例按要求增加并且同一处焊缝的修补次数不应超过二次。若超过二次以上返修者须将修补计划通报业主监理并获批准后方可对这些焊缝进行处理和修补。）

#### 5.12.4.5 预拼装检查

构件在出厂前进行自由状态预拼装。预拼装结束后，应标注中心线，控制基准线等标志，在安装的关键部位设置必要的定位器。并做好各项记录。

### 5.13 构件运输方案

**5.13.1 加工厂构件分段方案：**\*\*体育场钢结构结构体型巨大，构件尺度大、重量重。因而构件在加工厂加工成型并预拼装组成部件：桁架分段、中心环体分段。与拼装目的在于使检验各构件相互装配的误差协调匹配，加强构件的互换型，保证组装部件的误差最小。部件预拼装后，做好装配配套标记以及现场装配用的高强度螺栓连接节点板，再拆分为可运输的分段构件。

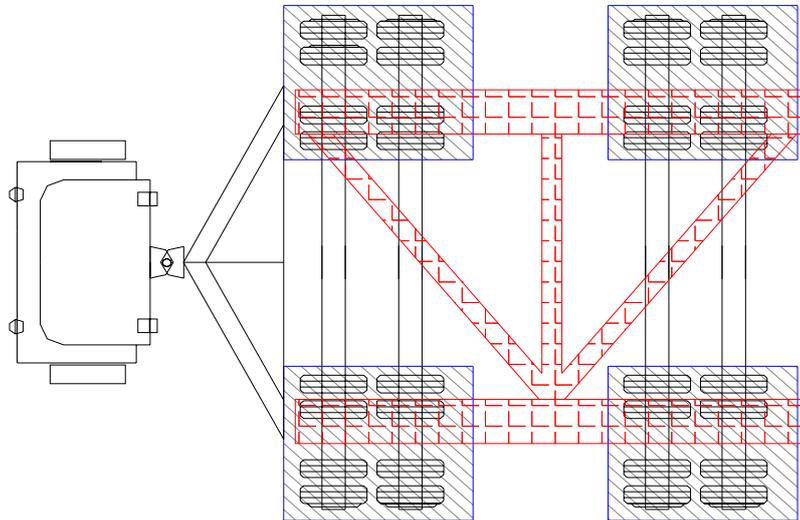
为满足运输要求，分段构件的尺寸应能适应公路或铁路运输的要求。构件总长宜为 12~16m，横断面尺寸不大于 2.0×2.0m。构件装车时必须绑扎牢固，垫点合理，构件的涂装表面应当有可靠保护。对于确实无法进行再分解的超长超宽构件运输要制定周详的运输预案。

**5.13.2 构件场外运输：**按照上述运输分段方式，构件由加工厂到施工现场的运输在技术上不存在问题。需要重点考虑的是构件运输的计划性。由于现场位于北五环路南侧，运输路线可有北五环路至八达岭高速，向南经成府路抵达现场。该路线白天货车可以通行，不会影响构件的运输。但是由于加工厂可能大多在南方，构件需跨省运输，因而在运输车辆上加装 GPS 定位系统及时掌握构件运输状况是十分必要的。构件的发运情况，包括型号、批次、数量及在途状况均应进入现场施工管理信息系统。

**5.13.3 构件场内运输：**相对于构件由加工厂到施工现场的道路运输，现场组拼后的构件分段部件运输要困难得多，构件在现场的组拼场地拼装焊接成为分段部件后，体形、重量巨大，水平放置的桁架分段尺寸为 12×12m~16m，重从 90 吨~160 吨。现场的水平运输距离最远达 0.8km 左右，由于构件尺度大，现有各型运输车辆均无法满足运输要求，因此，现场搬运拟采用“炮车”改装的 8 轮重型台车，串联或并联运输。在每一榀装好的桁架分段部件上、下弦两端各设四个台车（炮车），前方两个台车间加上牵引拖架，以 80t 拖车车头做牵引动力，将部件经现场道路移运至安装地点。每个台车载重能力不低于 50t。

为满足大吨位构件的运输，现场运输道路路面必须硬化，道路宽度不小于 18m。道路两

侧设排水沟，使路面排水畅通，保证路面坚实平整。



附图 6-47 场内运输车

## 第六节 钢结构安装

### 6.1 钢格构柱组拼、安装工艺

#### 6.1.1 组拼

**6.1.1.1** 组合箱型钢柱重量计算，以每个桩基承台上的三根主钢柱及腹杆、次结构组成钢格构柱综合计算。

计算最长柱，长度按 60 米计算。

三根钢柱重：414.48 吨，腹杆重：72 吨，次结构重：103.5 吨

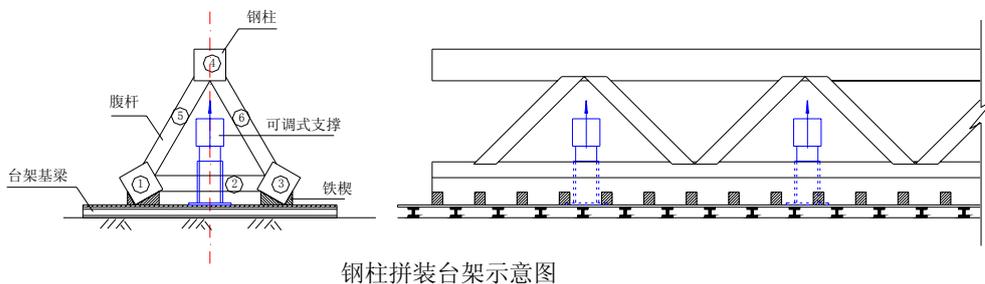
组合箱型柱总重：590 吨。

短柱长度按 40 米计算，同理计算得：组合箱型柱总重：380 吨。

### 6.1.1.2 钢柱组拼工艺

拼装胎架设置：拼装胎架基础承载力 $\geq 5\sim 8t/m^2$ ；胎架水平误差 $\leq 0.5mm$ ；胎架划出纵横轴线、标高，用洋冲打上中心点及边点，对角线误差 $\leq 2mm$ ；胎架支撑固定牢固，支撑设置根据拼装高度而定；胎架安装完成，经过自检后进行验收，然后才能使用。

拼装顺序（见图）：①→②→③→④→⑤→⑥；各杆件定位连接固定；质量员检查拼装误差、验收；



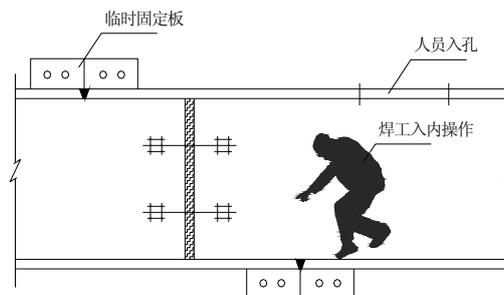
钢柱拼装台架示意图

附图 6-48 钢柱拼装胎架

建议连接点处理方法：上下翼板坡口全向上；在腹板上端离约 2.0m 处开人孔；下翼板对接缝人进去焊，腹板可在外面焊立焊；焊缝检查合格后，把人孔补上，焊好，超声检查，磨平。

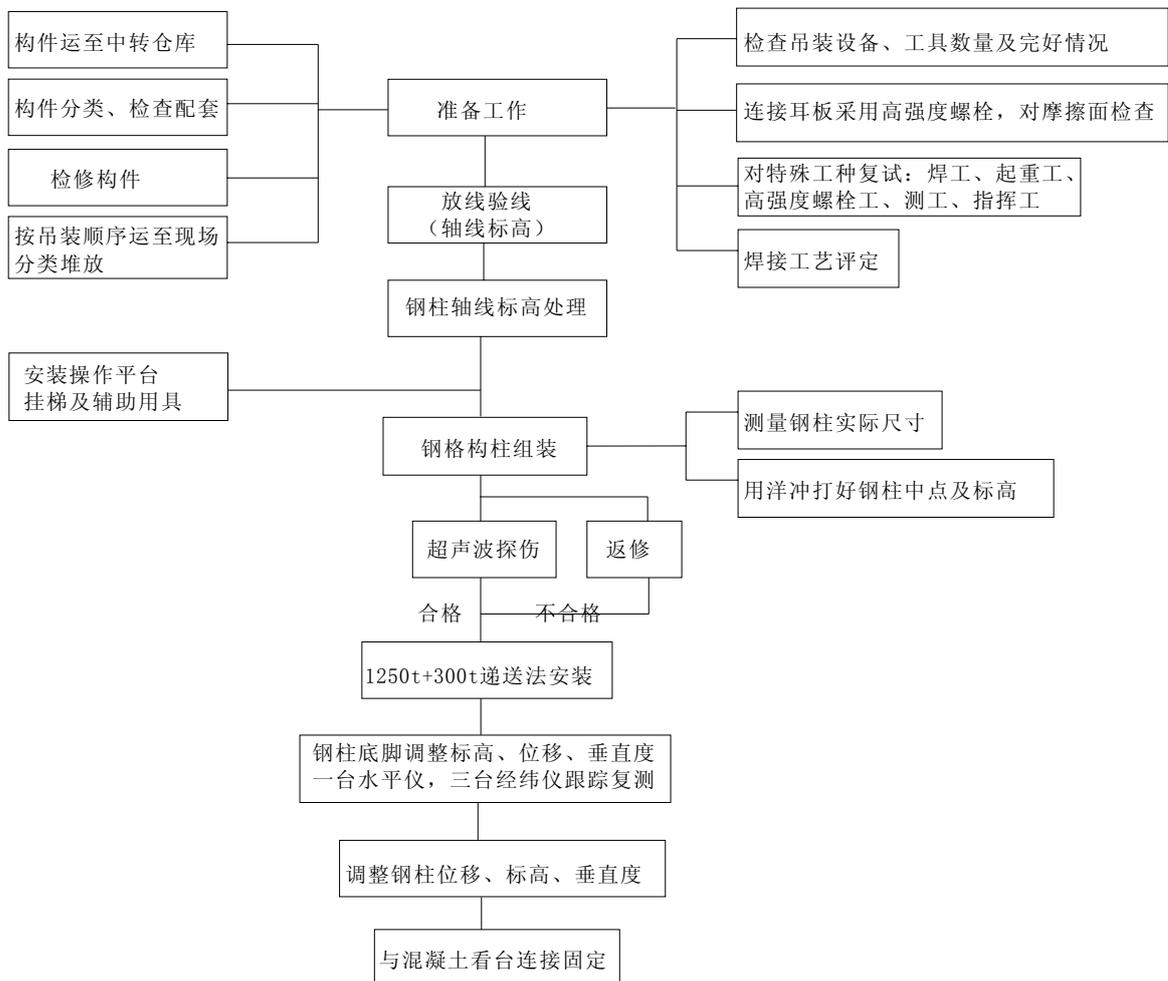
总预拼装：钢柱分段拼装好后，采取头、尾相拼办法整拼，预拼后再断开

### 6.1.2 安装工艺



附图 6-49 节点处理方案

#### 6.1.2.1 安装工艺流程



附图 6-50 钢柱安装工艺

### 6.1.2.2 操作工艺

采用递送法：双机抬吊。主机 1250t 履带在前，副机 300t 履带在尾部柱脚处，将钢柱吊起递送到柱基础上面，副机摘钩，卸去荷载，此刻主机满载，将柱就位。递送法安装，在操作过程中主机、副机要相互配合，动作协调。尽量做到，主机不动直接起钩，副机行走递送到柱角位置。信号指挥，分指挥必须听从总指挥。

钢柱校正：

柱基标高调整，建议采用如图形式：

用此法标高精度可达到±1mm。

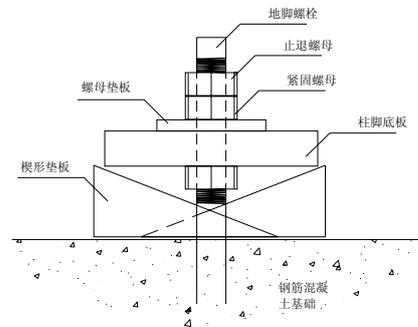
纵横十字线：吊车不摘钩情况下，将三面线对准缓慢降落至标高位置。

采用千斤顶校正和缆风固定方法（三台经纬仪跟踪校正）进行柱身垂偏校正。

柱地脚螺栓拧紧，楔块垫实。（填充材料根据设计要求）。

柱 - 柱相接：安装连接板固定，上下柱不能出现错口，然后焊接。

每一个柱的定位轴线，应从地面控



柱基标高调整示意图

附图 6-51 钢柱标高调整

制轴线引到高空，以保证每节柱安装无误，避免产生过大的积累偏差；

柱 - 柱安装校正重点：对钢柱有关尺寸预检；

影响垂直因素的预先控制：安装误差：钢柱的柱顶垂直偏差、位移量、焊接变形、日照温度、垂直校正及弹性压缩等；

柱 - 柱焊接收缩值：

$t=40\text{mm}$ ，收缩值 2.0~2.3mm

$t=60\text{mm}$ ，收缩值 2.7~3.0mm

$t=80\text{mm}$ ，收缩值 3.0~3.7mm

临时连接耳板的螺栓孔应比螺栓直径大 4.0mm，利用螺栓孔扩大足够的余量调节钢柱制作误差-1~+5mm。

焊接：根据焊接工艺评定参数，进行焊接。在焊接过程中，发现偏差，用电焊校正方法矫正。

钢格构柱稳定性措施：

由于钢格构柱头重脚轻，且自重偏心内倾，采取临时支撑，在柱上部与混凝土看台预埋件用工字钢或桁架连接固定。

格构柱侧向稳定：随钢柱安装同时将柱间交叉十字支撑安装好。

## 6.2 柱间交叉支撑安装工艺

**6.2.1** 根据交叉十字支撑节点情况，每组十字支撑采取一长加两短的分段方式，以支撑安装完，另一支撑以交点处分两段安装。

**6.2.2** 在胎架上按分段组拼。

**6.2.3** 测量柱间交叉支撑实际尺寸，在允许偏差范围内对支撑进行调整。

**6.2.4** 搭设安装脚手架或安装吊栏。

**6.2.5** 三层交叉支撑的安装顺序：

先安装上层交叉十字支撑，在安装中、下层支撑。每层十字支撑安装采取先长（一根）后短（两根）的顺序。

## 6.3 中心环体安装工艺

**6.3.1** 中心环体按分段顺序拼装在地面的拼装场地胎架上，进行平拼后分段运至安装场地拼装台进行组拼。

**6.3.2** 拼装胎架设置如图，采取立拼，中心环体矢高为 12.0m，必须设置拼装支撑架。

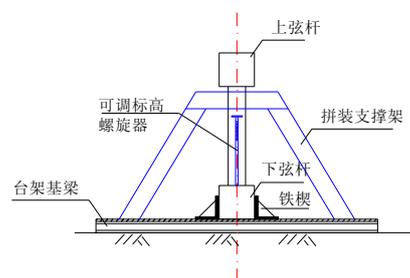
### 6.3.2.1 胎架设置要求

胎架地基承载力  $\geq 5t/m^2$

胎架水平误差  $\leq 0.5mm$

胎架划出纵横轴线、标高，用洋冲打上

中点及边点，上下弦对角线误差  $\leq 2mm$ 。



中心环拼装台架示意图

附图 6-52 拼装胎架示意图

**6.3.2.2** 胎架支撑固定牢固，根据拼装要求确定长度。

**6.3.2.3** 胎架安装完毕经自检后进行验收再开始拼装。

### **6.3.3 拼装工艺**

由于中心环体是屋盖桁架结构编织的集中点，形成锐角连接，对相贯节点多，焊接困难，会产生焊接应力集中，易发生焊后裂纹，根本保证不了焊接质量，为此，采用钢板根据节点裁出带锐角的节点，进行组装焊接。

**6.3.3.1** 根据履带起重机起重能力，而确定中心环体拼接长度。

**6.3.3.2** 纵横十字线，均用水平千斤顶，进行纵横十字线校正。

**6.3.3.3** 标高调整：用螺旋调节器和水平仪调整。

**6.3.3.4** 上、下弦垂偏校正，用经纬仪加位移法校正。

**6.3.3.5** 焊接：根据焊接工艺评定参数进行焊接。

## **6.4 主桁架安装工艺**

**6.4.1** 主桁架（井字桁架、斜桁架）按分段顺序拼装在地面的拼装场地胎架上，进行平拼后分段运至安装现场进行组拼。

**6.4.2** 拼装胎架设置基本与中心环体相同。

**6.4.3** 拼装采取立拼装。

**6.4.4** 拼装胎架要求同中心环体拼装胎架。

**6.4.5** 拼装工艺：

**6.4.5.1** 拼装节点：基本与钢格构柱竖杆相同。

**6.4.5.2** 根据履带吊起重能力确定井字桁架段长度。

**6.4.5.3** 纵横十字线：均用水平千斤顶，进行纵横十字线校正。

**6.4.5.4** 标高调整：用螺旋调节器和水平仪调整。

**6.4.5.5** 上下弦垂偏校正：用经纬仪加位移法校正。

**6.4.5.6** 焊接：根据焊接工艺评定参数进行焊接。

## **6.4.6** 安装

**6.4.6.1** 整体提升部分见“6.5 屋盖中心部分整体提升”

**6.4.6.2** 吊装采用 1250t 履带吊车一点正吊安装；机械性能： $L=90m$ 、 $R=50m$ 、 $Q=317t$ ，大于最重主桁架  $Q=360t$ 。

## **6.5** 屋盖中心部分整体提升

### **6.5.1** 整体提升方案确定

经多方论证，屋盖中心部分采用整体提升方案，即施工时将屋盖中心部分钢结构（中心环体+井字桁架段+斜桁架段）在地面胎架上采用外扩法拼装，然后整体提升至设计标高。

整体提升采用钢绞线集束承重，计算机控制，穿心式液压千斤顶机群同步提升的施工工艺。

#### **6.5.1.1** 设备布置要求

钢绞线应有足够的安全储备，锚具工作灵活可靠。

节约能耗，提高效率。从液压系统看，连在一个泵中的千斤顶工作压力愈接近，系统的工作效率愈高。

管路不易太长，尤其是冬季施工，要保证系统在较低温度下仍能正常运转。

#### **6.5.1.2** 系统控制调差

计算机控制系统有主从控制柜各一台，分别放置跨度两边，实现两级控制，保证同步提升。同步提升的高度误差大小选择取决于钢结构的允许吊装应力。在正常提升情况下，高度同步提升误差控制在 5mm 内为宜。

## 6.5.2 提升吊点确定及千斤顶选择布置

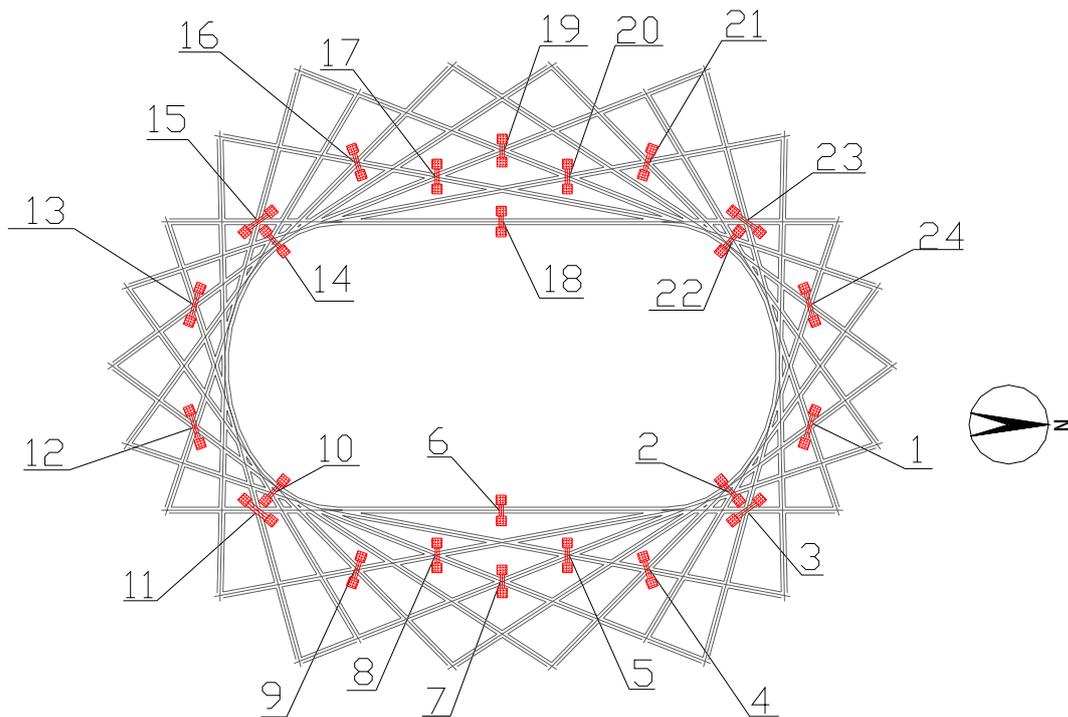
### 6.5.2.1 提升总荷重

为保证高空拼装质量，斜桁架和井字桁架重量适应履带吊车起重能力，在不影响混凝土看台施工的基础上，为此，将中心环体尽量扩大整体提升重量。

经多方论证优化，整体提升钢结构范围确定，提升总重量为：**12200吨**。

### 6.5.2.2 千斤顶布置位置及编号

提升点共布置 24 个，每个支承架 2 台千斤顶，共计 48 台千斤顶。



附图 6-53 提升点布置及编号

## 6.5.3 计算机控制整体提升技术

### 6.5.3.1 计算机控制整体提升技术的系统组成

计算机控制液压同步提升技术是一项新颖的构件提升安装施工技术，它采用柔性钢绞线承重、提升油缸集群、计算机控制、液压同步提升新原理，结合现代化施工工艺，将成千上万吨的构件在地面拼装后，整体提升到预定位置安装就位，实现大吨位、大跨度、大面积的超大型构件超高空整体同步提升。从九十年代起，这项技术先后应用于大型钢结构、桥梁、大型设备的安装和施工工程中，取得了良好的经济效益和社会效益。

计算机控制液压同步提升系统由钢绞线及提升油缸（承重部件）、液压泵站（驱动部件）、传感检测及计算机控制（控制部件）和远程监视系统等几个部分组成。

钢绞线及提升油缸是系统的承重部件，用来承受提升构件的重量。用户可以根据提升重量（提升载荷）的大小来配置提升油缸的数量，每个提升吊点中油缸可以并联使用。

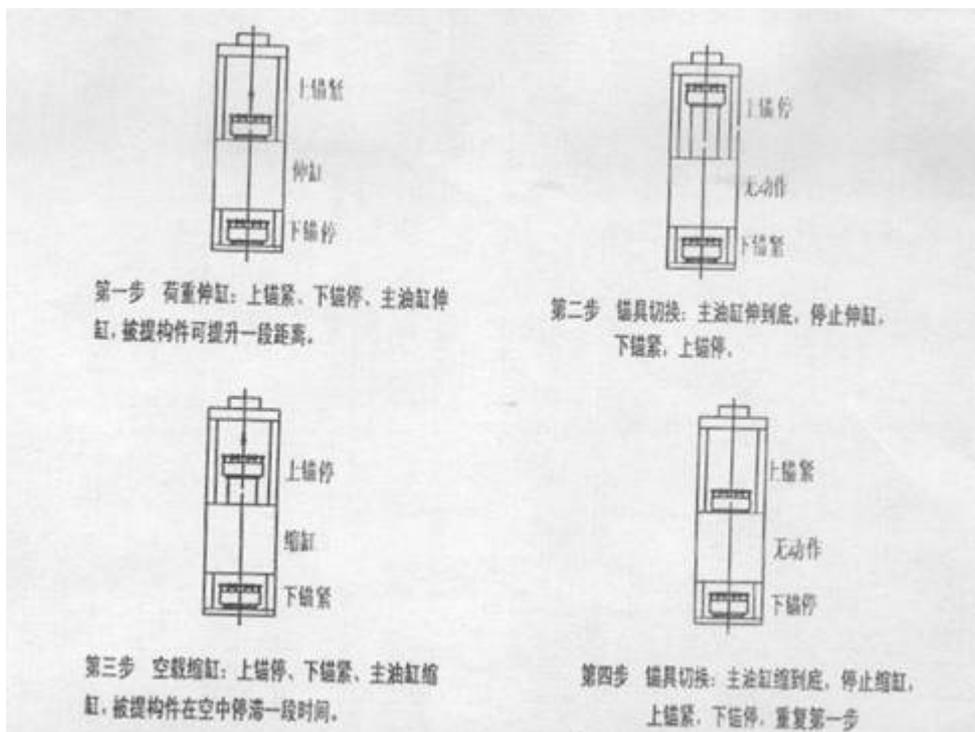
液压泵站是提升系统的动力驱动部分。在液压系统中，采用比例同步技术，这样可以有效地提高整个系统的同步调节性能。

传感检测主要用来获得提升油缸的位置信息、载荷信息和整个被提升构件空中姿态信息，并将这些信息通过现场实时网络传输给主控计算机。这样主控计算机可以根据当前网络传来的油缸位置信息决定提升油缸的下一步动作，同时，主控计算机也可以根据网络传来的提升载荷信息和构件姿态信息决定整个系统的同步调节量。

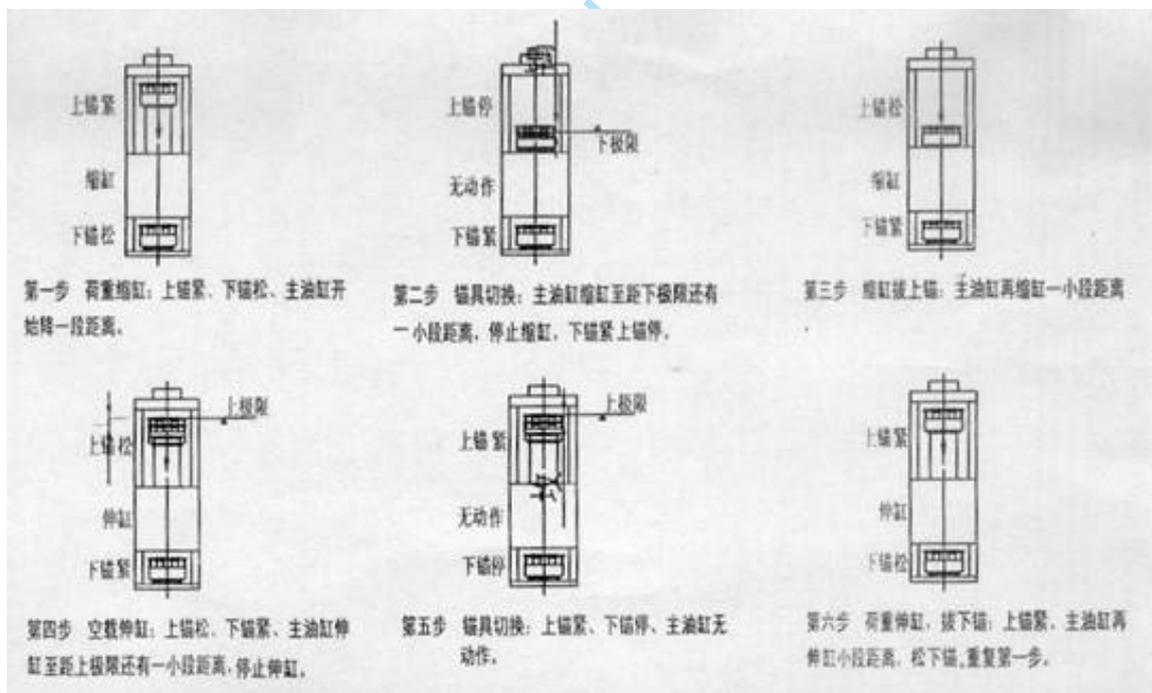
### 6.5.3.2 工作原理

在液压泵站上，驱动提升主油缸动作的子系统与驱动锚具油缸动作的子系统相互独立。各子系统分别驱动相应的油缸伸或缩，以完成锚具的松紧和主油缸的升降。

提升系统上升时，提升油缸的工作流程见下图；提升系统下降时，提升油缸的工作流程见下图。



附图 6-54 千斤顶上升流程图

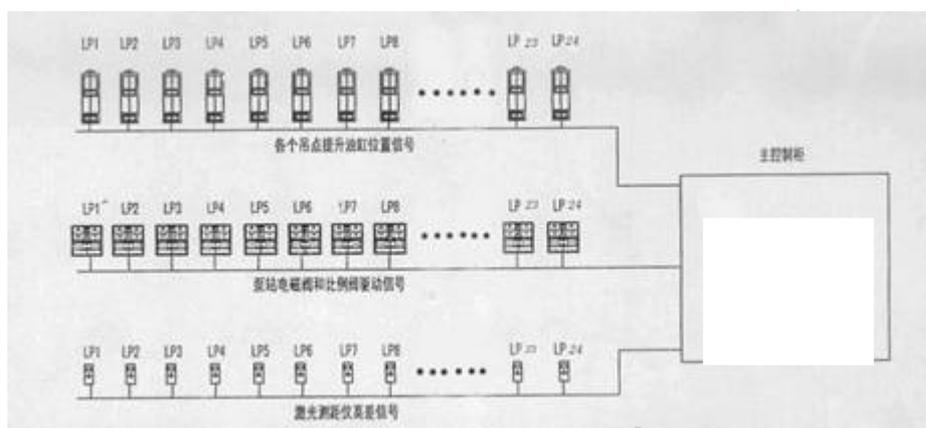


附图 6-55 千斤顶下降流程图

## 6.5.4 计算机同步控制技术

### 6.5.4.1 计算机同步控制系统的组成

计算机同步控制系统由主控计算机、电磁阀通信模块、比例阀通信模块、油缸信号通信模块、激光测距仪通信模块、A/D 通信模块、数据通信线组成，形成现场实时网络控制系统，系统组成见下图



附图 6-56 计算机控制系统组成图

整个控制系统具有 4 条独立的数据总线，电磁阀通信线将主控计算机与所有液压泵站电磁阀控制盒串接联网，比例阀通信线将主控计算机与所有液压泵站比例阀控制盒串接联网，油缸信号通信线将主控计算机与所有油缸盒串接联网，A/D 信号通信线将主控计算机与所有 A/D 和激光测距仪信号盒串接联网。

主控计算机通过油缸信号通信线采集所有油缸的位置状态信号和锚具状态信号，通过 A/D 信号通信线采集激光测距仪高差信号和压力传感器信号，主控在采集这些信号后，根据一定的控制程序和算法，决定提升油缸的动作，通过电磁阀通信线将电磁阀的动作指令传递给各个液压泵站电磁阀控制盒，通过比例阀通信线将比例阀的开度信号传递给各个液压泵站比例阀控制盒，进而驱动油缸以规定的速度伸缸或缩缸，完成相应的动作。

### 6.5.4.2 动作同步

在提升过程中，主控计算机在控制提升油缸动作时，通过电磁阀通信线将同一电磁阀动作指令发向所有提升液压泵站的电磁阀通信盒，使所有液压泵站相同电磁阀产生相同的动作，

从而实现各锚具同时松、紧，或主油缸同时伸、缩。在某些有快慢差别的非同步动作状态中，也必须等所有的相同信号或动作完成后，主控计算机才发出下一个动作指令，实现动作的同步，使所有油缸的动作步调一致。也可以说，在自动提升过程中，所有的动作均在计算机的指挥下完成，所以才能实现提升工作的有条不紊，安全可靠，同步准确。

#### 6.5.4.3 位置同步

主控计算机除了控制所有提升油缸的统一动作之外，还必须保证各个提升吊点的位置同步。在提升体系中，设定某一点为主令提升吊点，其它提升吊点为跟随提升吊点。所有的跟随点均以主令吊点的位置作为参考来进行调节。从提升系统同步控制方框图可以看出，主令提升点以主控计算机、主令点的比例阀、提升油缸、提升对象形成一个开环控制系统，而各跟随提升吊点之间相互独立，各自以主控计算机、相应的比例阀、提升油缸、提升对象和相应的激光测距仪等环节通过现场实时网络总线形成一个闭环控制系统。

在同步提升过程中，操作人员可以根据泵站的流量大小它因素来设定主令提升吊点的提升速度，同时也就定了整个提升系统的提升速度。主令点提升速度的设定是通过设定主令点液压泵站的比例阀开度来实现的。同样，各跟随吊点初始也以一设定的速度进行提升。由于各比例阀之间性能的差异和各提升点负载的不同，跟随点的提升速度与主令点的提升速度在提升过程中就会出现差异，或快，或慢。这时，跟随点同主令点的位置不同步就通过各跟随点的闭环控制系统进行调节。主控计算机不停地采集主令点和所有跟随点的激光测距仪的高度测量值，将各跟随点的测量值同主令点的测量值进行比较，得出各跟随点同主令点的位置高差。主控计算机根据一定的控制算法，根据各跟随点的位置高差计算出各跟随点比例阀开度的调节量，从而实现跟随点同主令点的位置同步。

为了提高构件提升的安全性，在每个提升吊点都布置了油压传感器，主控计算机可以通过现场实时网络监测每个提升吊点的载荷变化情况。如果提升吊点的载荷有异常的突变，则计算机会自动停机，并报警示意。

#### 6.5.5 现场控制系统的实施

整体结构第一次整体提升，全部 24 个提升点全部工作，以 1 为主令点，6，7，12，13，18，19，24 为跟随点，这 8 点形成位置同步控制系统。考虑结构本身的特点，通过设定泵站最高溢流阀压力，进行力的限制，确保提升质量。在提升过程中，只要 8 个位置同步点能够

实现位置同步，就能基本实现结构在提升过程中的同步。

在第二次整体提升过程中，6及18不参与工作，仍然以1为主令点，2，3，7，10，11，12，13，14，15，19，22，23，24为跟随点，这14点形成为同步控制系统。同样设定泵站最高溢流阀压力，进行力的限制，确保提升质量。在提升过程中，只要14个位置同步点能够实现位置同步，就能基本实现结构在提升过程中的同步。

#### **6.5.6 主要优点：**

两次整体提升，计算机控制系统都能够确保各提升吊点在提升过程中的同步，保证提升工程的顺利完成。

现场实时网络控制系统在工程应用中体现了较多的优点。

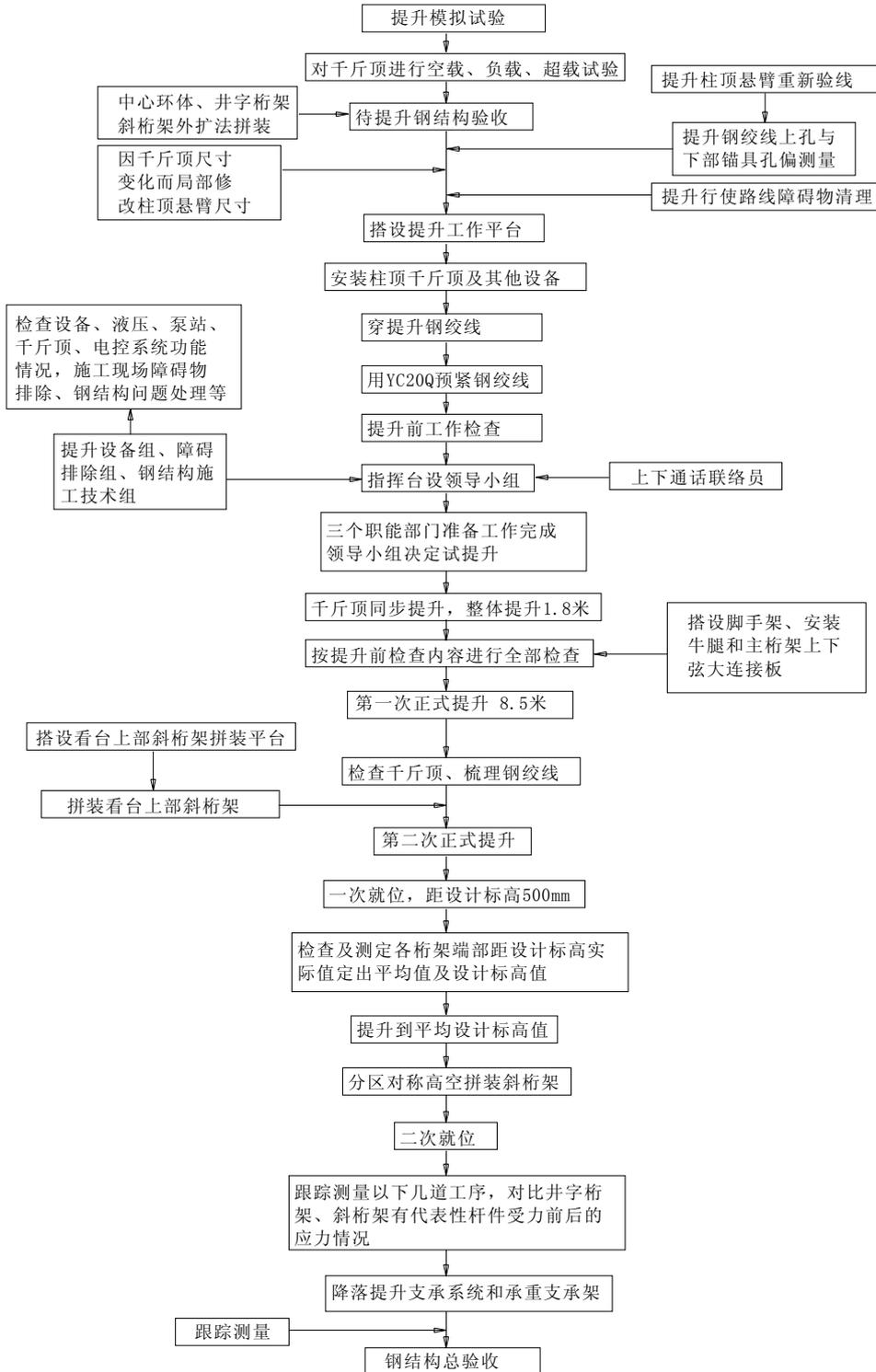
**6.5.6.1** 现场接线简单，维护方便，总共只有4根通信总线和一根电源线；

**6.5.6.2** 第一次提升布置24个提升点，第二次整体提升共有22个提升吊点（去掉第6、18点），布点少，提升重量大，减少操作量；

**6.5.6.3** 控制精确，控制精度高，在提升过程中，各提升点的位置高差都能够控制在5mm内。

#### **6.5.7 提升工艺流程**

### 提升工艺流程



附图 6-57 整体提升工艺流程

## 6.5.8 提升操作要点

### 6.5.8.1 准备工作

屋盖中心部分提升应具备与提升有关的钢屋盖中心部分、提升平台、千斤顶、钢绞线、液压泵站和自动控制系统等各项质量保证资料。对每道工序都有一套严格的质量验收制度，并有详细的施工原始记录，保证每一道工序质量均满足要求。在确认一切正常才能提升。保证提升一次成功，在一切就绪情况下，进行试提升。

### 6.5.8.2 整体提升应急措施:

设备、材料保证措施：提升过程中配备足够的备用材料、设备及修理人员和维修人员。

钢屋盖提升支承架稳定性措施：采用缆风固定，对地锚等部位设专人检查。

风力要求：选择一周内风力小于 5 级的天气，若遇地面 6 级以上风力，则停止提升。

### 6.5.8.3 试提升

在确认一切正常情况后开始试提升工作。试提升时，逐步加载进行，加载分二天进行：第一天，第一次加载 30%，持荷 3 小时，第二次加载至 60%，持荷 6 小时，第三次加载至 90%；第二天后持荷 18 小时后加载至 90%，持荷 1.5 小时，加载至 100%，钢屋盖中心部分开始离地。在每次加载后，均观察提升支承架受压后的侧向位移和局部承压、缆风的锚固情况，钢屋盖中心部分的变形、提升平台的变形、各吊点锚固情况以及千斤顶、钢绞线、锚夹具、自动控制系统等工作情况。

### 6.5.8.4 提升过程中控制

千斤顶、钢绞线调换的控制：当单个千斤顶上发生 2 根断裂或一个吊点发生 4 根钢绞线断裂时，需更换钢绞线；当任一个千斤顶发生故障时，要立即进行修复或调换。

提升过程中的同步控制每个吊点由 2 只千斤顶组成，由于每组距离较远，所以每组设一个泵源、一个控制柜控制，每做一个行程（即提升 27.5cm）最多会产生 2mm 高差，各吊点高差控制在  $\pm 10\text{mm}$  以内，并每提升 5m 采用水准仪观测悬挂钢尺及水准点钢尺，测定出 22 个点的高差，和井字桁架 8 个点的下挠情况，进行调平一次高差。

提升支承架监控：在提升过程中，提升支承架的倾斜值不大于  $1/180$ ，提升支承架的沉降控制在 20mm 以内。

施工检测：在提升过程中，对提升支承架受偏心力后的偏向位移、提升支承架沉降、钢屋盖中心部分的提升高度、提升过程中屋盖的相对高差、钢屋盖本身变形、钢屋盖与提升支承架的间隙、提升钢平台进行检测。

#### 6.5.8.5 整体提升

屋盖离地后，同步提升采用自动控制。

第一次就位—提升到平均设计标高值：

整个钢屋盖中心部分提升接近设计标高 500mm 时，在各提升点组织人员进行检测，根据监测数据操作，测出并确定平均值。因为该工程井字桁架 8 个控制点标高并不相同，当个别达到就位高度，就在个别泵组关机，直到整个系统不能操作时，采用单台手动调整，监测系统应力。

整个钢结构达到平均设计标高值后，停止提升，并测出井字桁架端 8 个点的标高值，与设计标高差值，基本调整后，将千斤顶上下锚，天锚、安全锚锁住，设专人值班监护，转移下道工序。

#### 6.5.8.6 钢屋盖中心部分就位

钢格构柱、柱间交叉支撑、整体提升结构经测量全部达到设计要求、安装位置符合图纸要求后可将提升结构下放。测量上下接触面的平行度和钢屋盖的位置值，检查 22 个吊点水平卸载。

将钢屋盖同步下放至支撑钢格构柱逐步卸载。第一次下降卸载 30%，延时 15min；第二次下降卸载 60%，延时 15min；第三次下降卸载 90%，延时 15min；第四次下降卸载 100%，延时 45min。

钢屋盖荷载全部由 48 根支撑钢格构柱支撑后，进行钢屋盖安装定位检验工作。全部测试无误。钢绞线全部卸载后将安全锚锁紧、千斤顶全部缩缸到底、上下锚和导向锚均处于松开状态，以便于拆除千斤顶。

钢格构柱与看台临时支撑拆除 → 拆安全锚 → 拆其他提升设备 → 最后拆除提升支架。

### 6.5.10 支承架计算与搭设

#### 6.5.10.1 整体提升支承架计算

提升总重量：中心环体+井字桁架段+斜桁架段 = 1 2 2 0 0 吨

支承架承受荷载：共计 2 4 组支承架，每组 2 个支架，第一步提升为 2 4 组提升支承架受力，第二次提升为 2 2 组提升支承架受力。经计算程序模拟提升计算：最大受力支承架每组受力 1 2 0 0 吨，每个支承架 6 0 0 吨。

千斤顶选型为 6 0 0 吨千斤顶

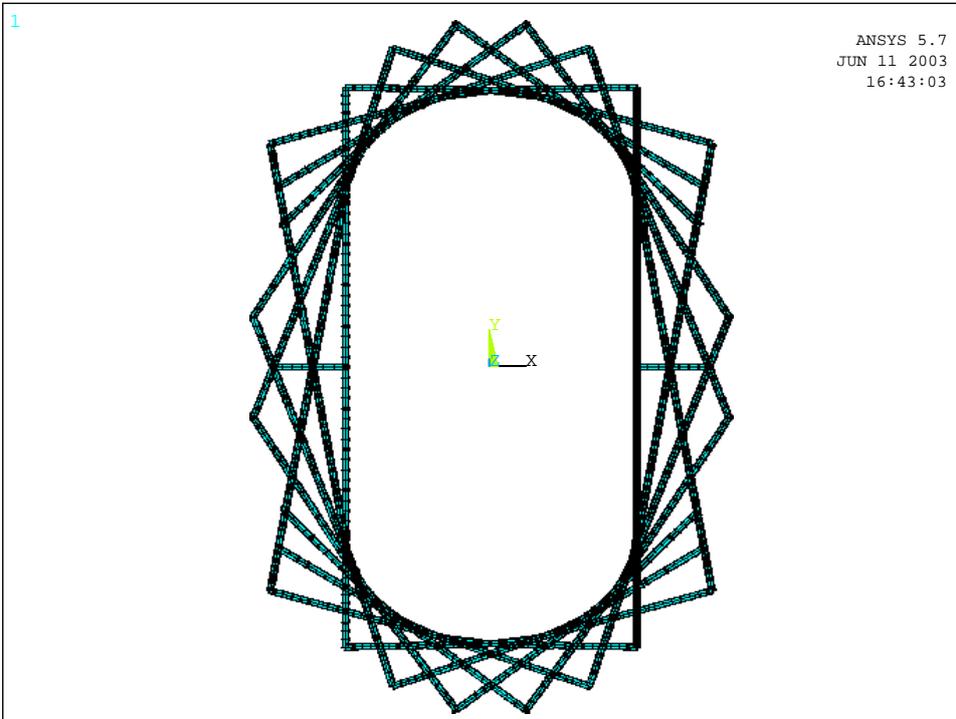
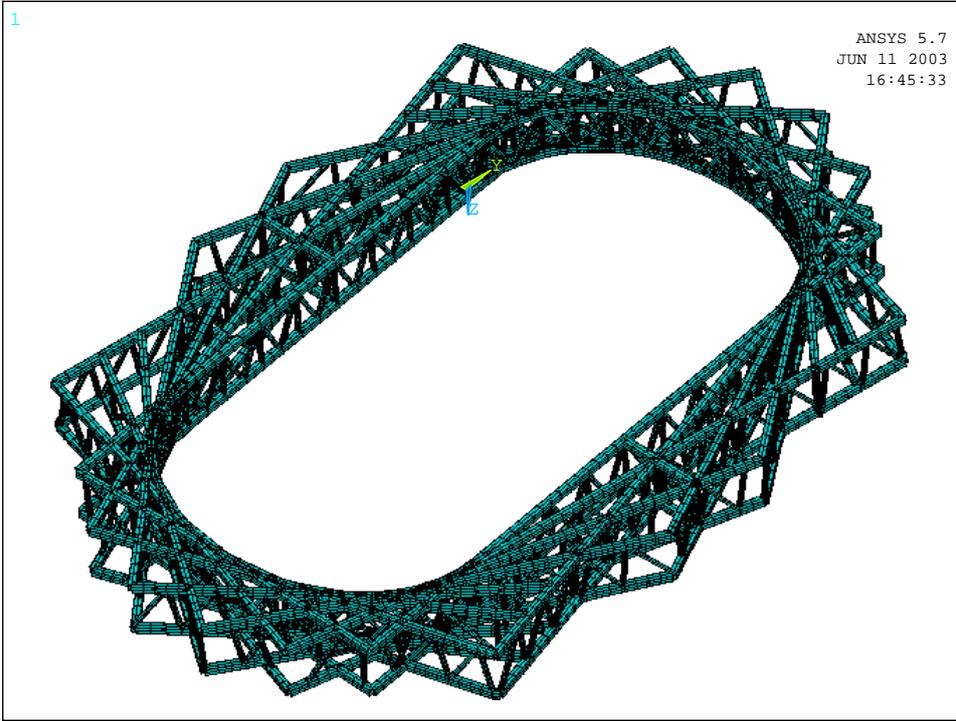
#### 6.5.10.2 整体提升支承架搭设：

搭设高度：中心环体+开启屋盖提升设计顶标高为+53.80 米，支承架搭设高于设计顶标高 5.0 米，即搭设高度标高+58.80 米。

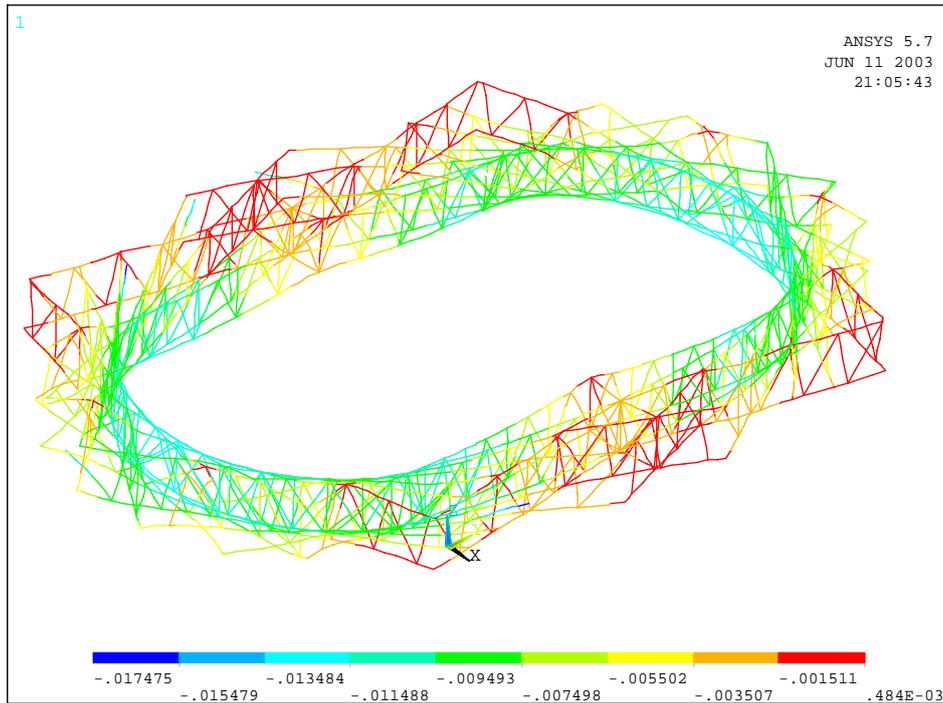
材料选择：选用 2.2×2.2×2.5m 塔身标准节搭设。工程完工后，可继续利用。

### 6.6 结构提升及桁架吊装计算模型

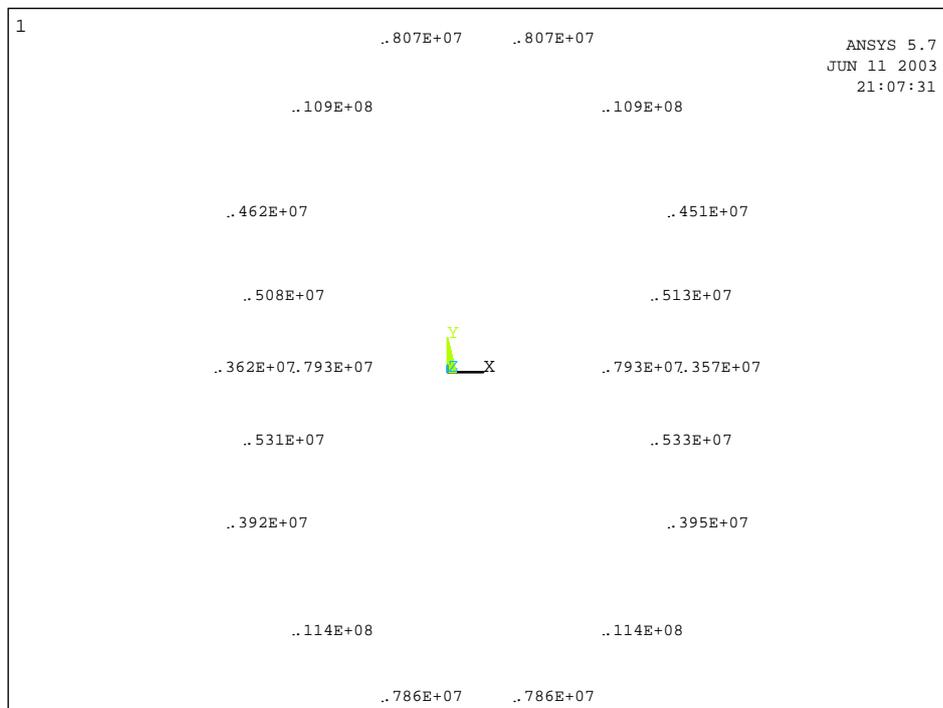
#### 6.6.1 第一次提升计算：



附图 6-58 计算模型

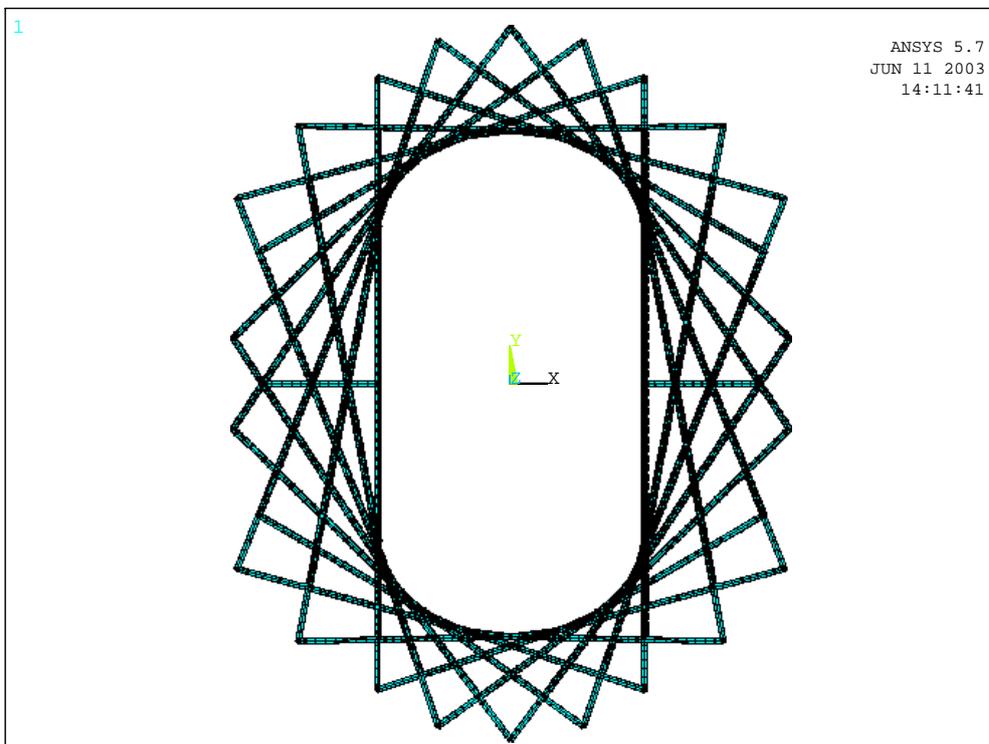
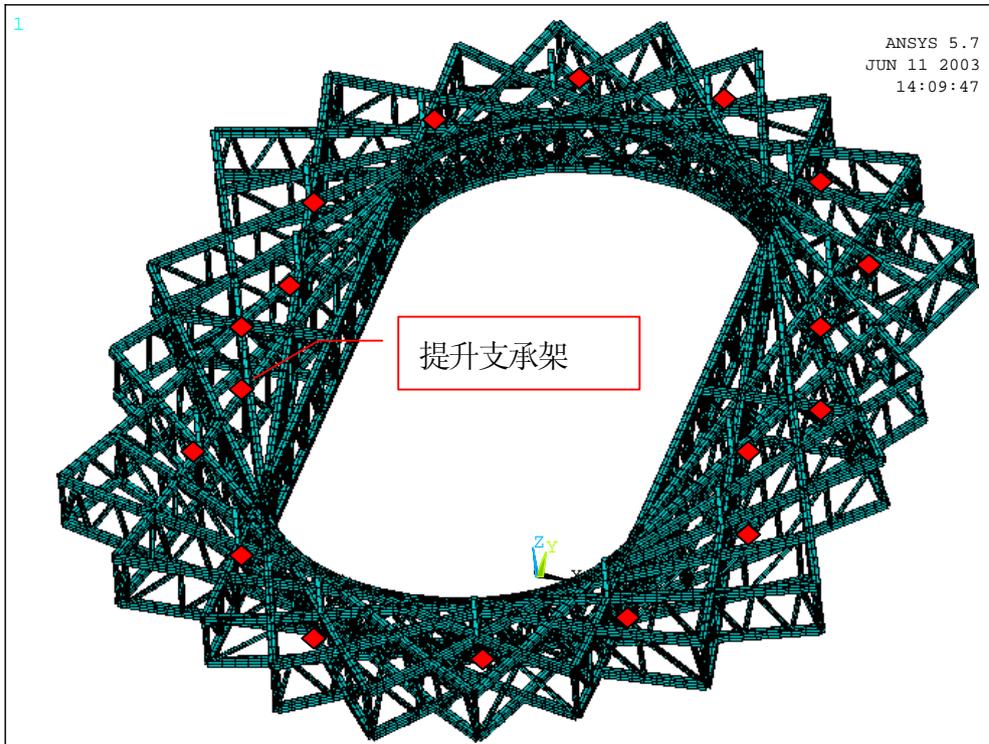


附图 6-59 竖向变形

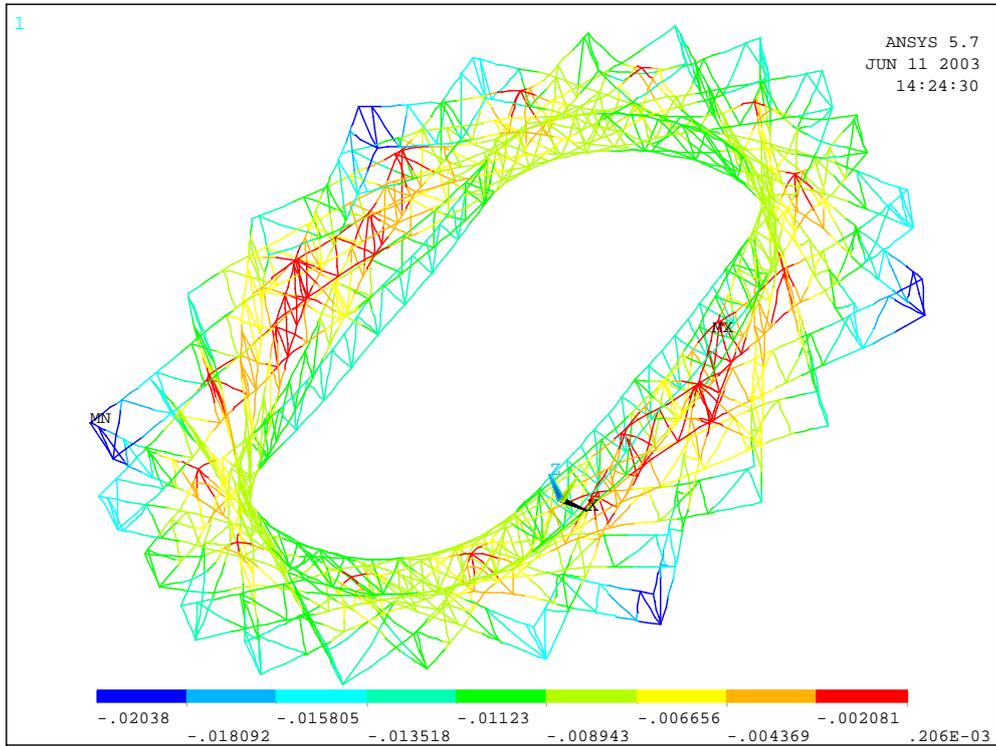


附图 6-60 支承架千斤顶受力

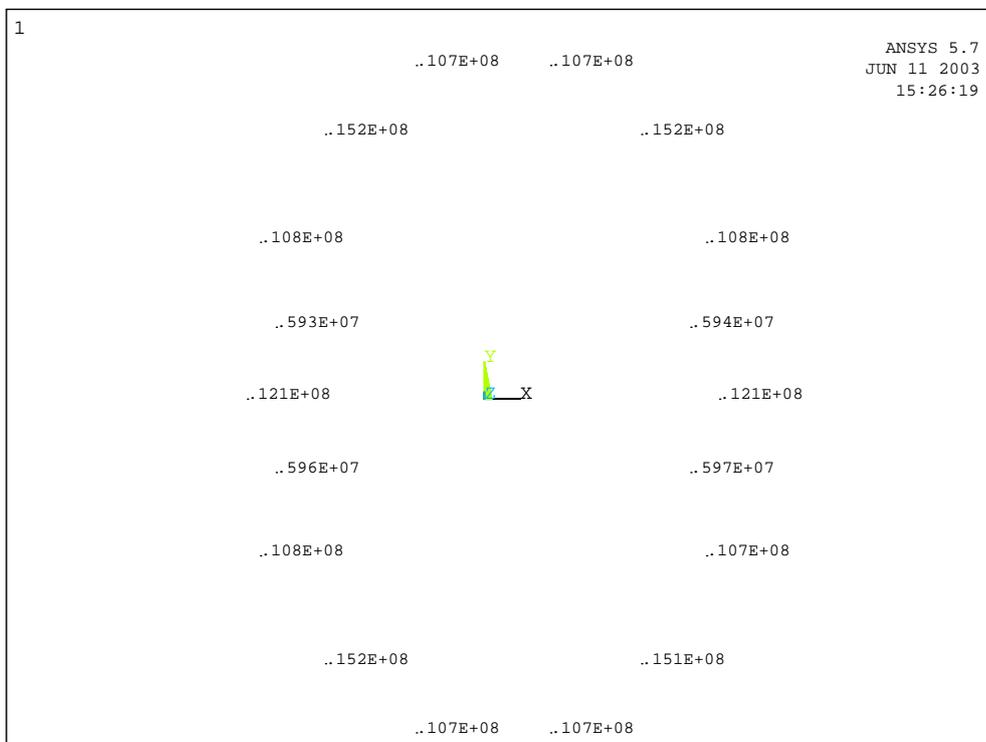
6.6.2 第二次提升计算:



附图 6-61 计算模型

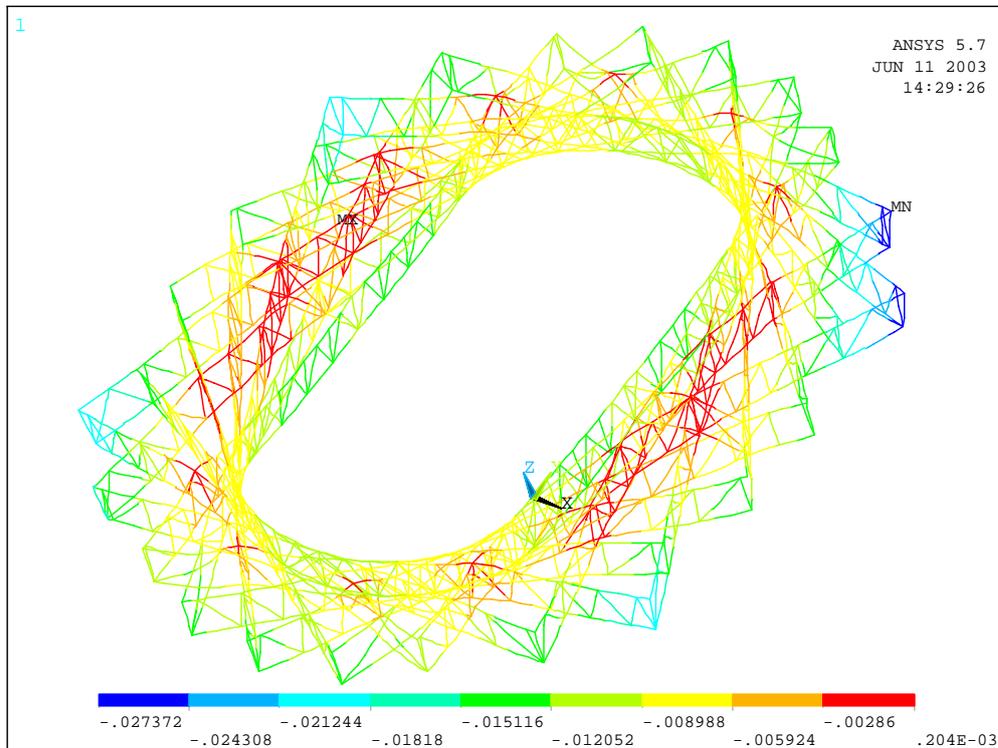


附图 6-62 竖向变形



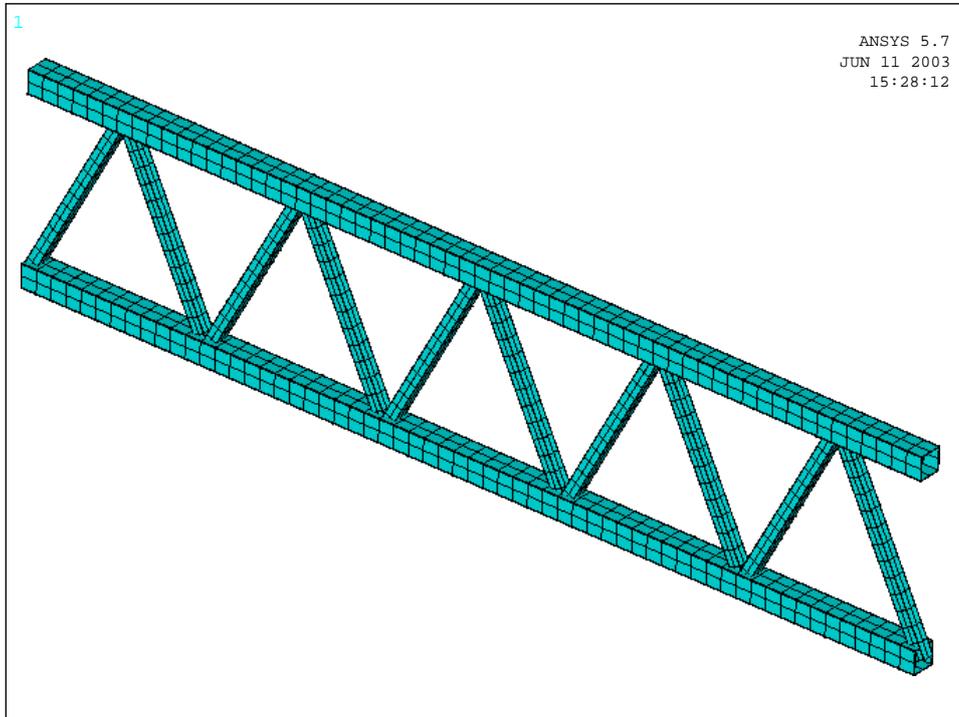
附图 6-63 塔架千斤顶受力

6.6.3 吊装第一根横梁后计算：按集中力 200T 计算。

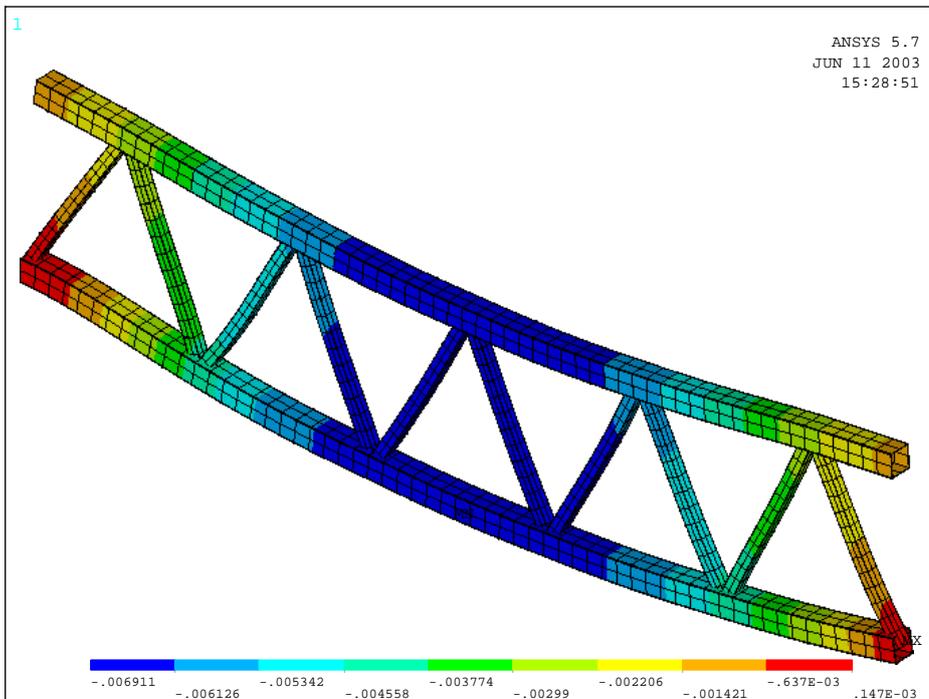


附图 6-64 竖向变形

6.6.4 桁架吊装挠度计算:



附图 6-65 计算模型



附图 6-66 竖向变形

## 第七节 开启屋盖安装

### 7.1 概况

可开启屋盖由两块组成,每块面积约  $6500\text{m}^2$ ,重量  $790\text{t}$ ,跨度  $80\text{m}$ ,结构总高度为  $7.5\text{m}$ ,由开启到闭合位置行程约  $80\text{m}$ 。工程建成后,将成为世界上最大的可开启屋盖。

开启屋盖为斜交斜放交叉桁架体系,由于角度多变,很难对接,杆件之间形成封闭,易产生焊接应力。同时跨度较大,易产生挠度,两端圆弧段易产生端部下挠。

### 7.2 开启屋盖拼装工艺

#### 7.2.1 按 1: 1 搭设拼装平台

拼装胎架设置: 拼装胎架基础承载力  $\geq 5\sim 8\text{t}/\text{m}^2$ ; 胎架水平误差  $\leq 0.5\text{mm}$ ; 胎架划出纵横轴线、标高; 胎架支撑固定牢固,支撑设置根据拼装高度而定; 胎架安装完成,经过自检后进行验收,然后才能使用。

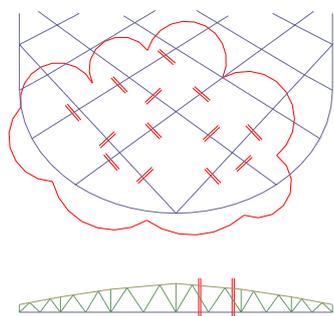
**7.2.2** 交叉桁架、交叉点下面均设有胎架支承点。

**7.2.3** 分段方法: 根据履带式起重机性能决定分段尺寸。

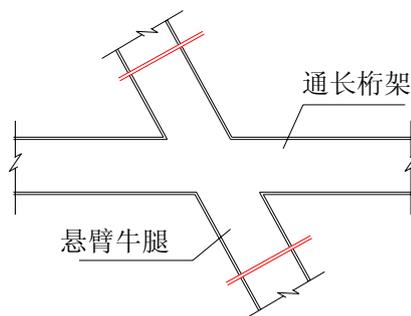
**7.2.4** 节点设置:

**7.2.4.1** 钢桁架 – 钢桁架平行对接节点: 避开交叉桁架交点,节点设在桁架中部,易于连接。

**7.2.4.2** 钢桁架 – 钢桁架上下弦对接节点: 桁架交点处在通长桁架预留悬臂对接牛腿,避免层状撕裂。



附图 6-67 平行对接节点



附图 6-68 上下弦对接节点

### 7.2.5 拼装顺序:

7.2.5.1 先在地面拼装平台上拼装一段标准节, 检验拼装工艺及尺寸。

7.2.5.2 立拼在设计位置, 采用耳板连接节点(待设计节点, 要防止焊接仰焊缝)。

7.2.5.3 依次全部立拼上, 形成网格状。

7.2.5.4 几何尺寸全部检查无误。

7.2.5.5 按焊接顺序, 从中间向四周施焊。焊接工艺见“第九节 钢结构焊接”。

7.2.6 拼装场地布置:, 在体育场南北两侧各设置一个拼装平台进行整体拼装。

### 7.3 开启屋盖吊装

#### 7.3.1 吊装条件

7.3.1.1 主体钢结构全部施工完毕, 结构形成稳定系统, 钢结构屋面支承系统完全拆除。

7.3.1.2 利用预先起拱的办法解决钢结构的竖向位移, 局部可采用预应力技术, 保证开启屋面轨道的垂直变形在可接受的范围内。

7.3.1.3 利用计算机对开启屋盖的吊装过程进行模拟, 分析开启屋盖重量的增加对钢结构屋顶的影响, 从而对吊装方案提供参考数据。

7.3.1.4 对整体钢结构进行实时测量监测, 分析资料, 并对吊装方案提出建议。

#### 7.3.2 吊装方案

**7.3.2.1 机械设备选择:** 利用两台 1250t 履带吊车双机抬吊跨外安装。机械性能:  $L=108\text{m}$ ,  $R=38\text{m}$ ,  $Q=496\text{t}$ 。双机抬起重量为  $496 \times 2 \times 0.8 = 794\text{t} >$  屋盖重量 790t。

#### **7.3.2.2 吊装步骤:**

1) 由于吊装不能直接将开启屋盖一次性吊装到位, 因此, 利用型钢将开启屋盖行走轨道延伸至主结构屋顶边缘, 作为开启屋盖滑移轨道, 保证滑移轨道强度及稳定性。

2) 双机抬吊将开启屋盖吊装至滑移轨道上。

3) 利用牵引设备将开启屋盖滑移就位。

#### **7.3.3 注意事项**

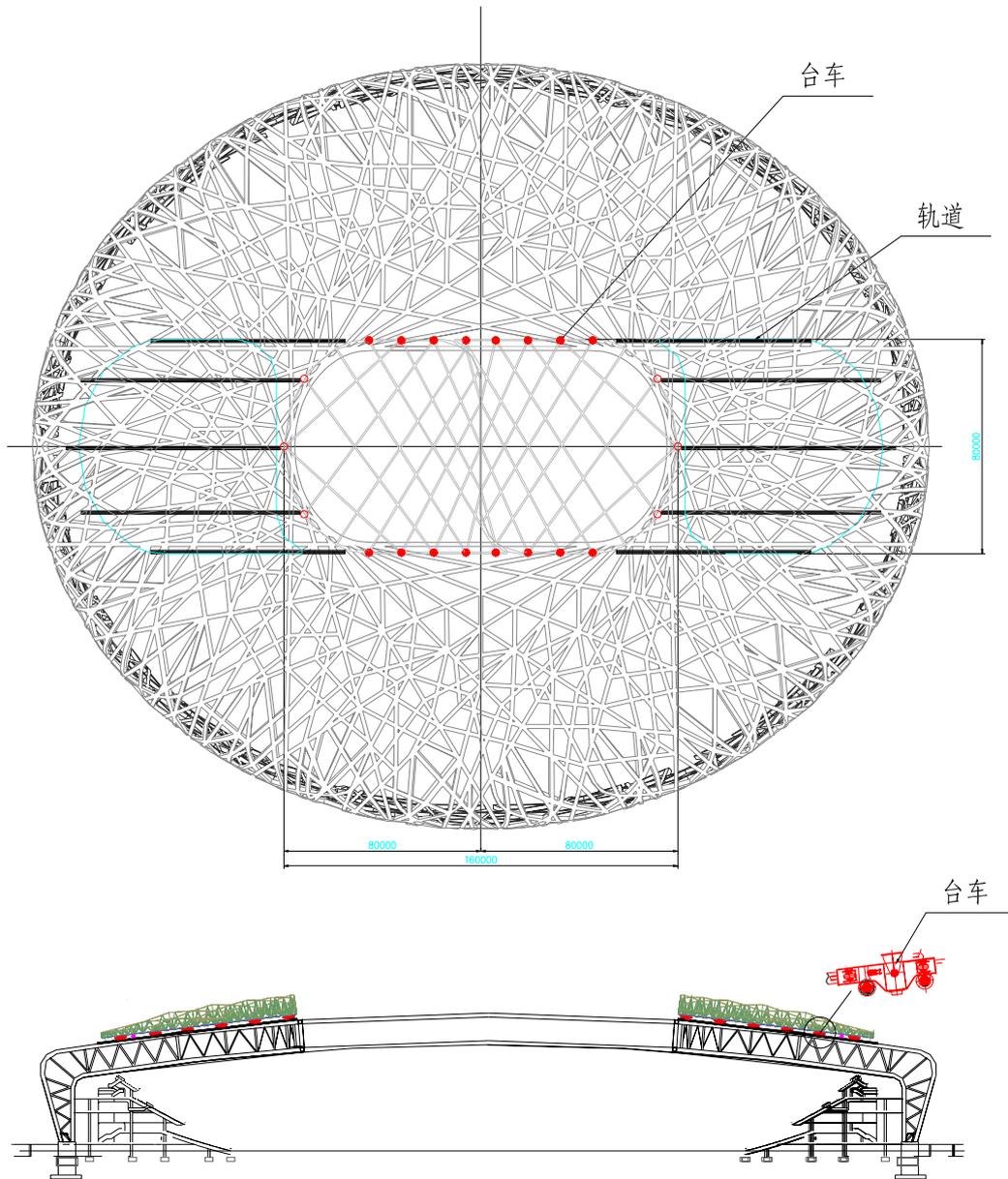
**7.3.3.1** 确定最佳吊装时机, 使开启屋盖的吊装既不会因过早造成对主体结构的不利影响, 又不会因过迟而造成工期的延误。

**7.3.3.2** 准备工作应充分、细致, 特别对主体屋顶的稳定性及行走轨道的平整度的监控。

**7.3.3.3** 如果在屋顶发生焊接, 应注意焊接对膜结构施工的影响。

#### **7.4 开启屋盖行走装置建议**

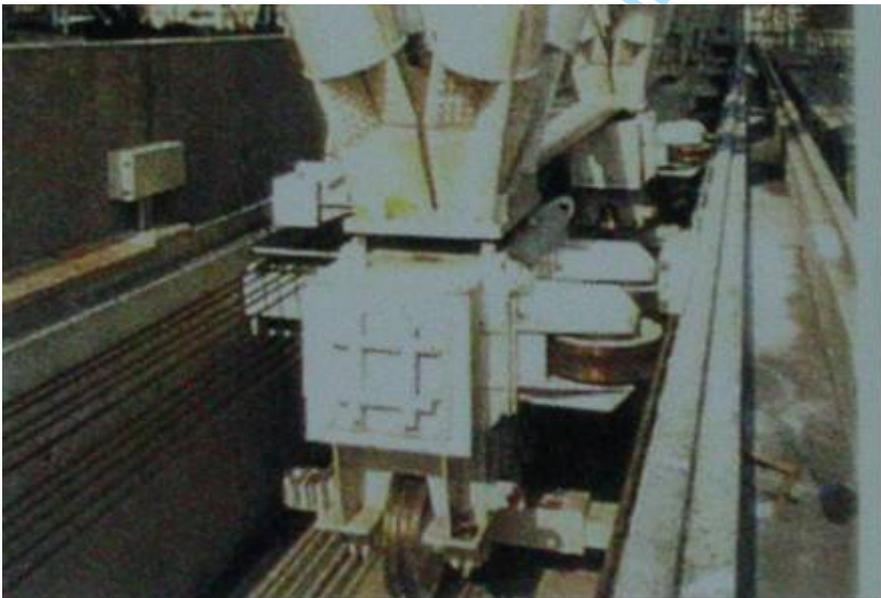
屋面结构设有固定行走轨道, 坡度大约 1/10。每块屋盖下面安装 11 个台车, 由卷扬机拽引沿轨道运动来实现开启与关闭。拽引系统采用两组钢丝绳双向绕法, 保证屋盖开闭过程中的安全可靠。



附图 6-69 开启屋盖行走台车布置



附图 6-70 牵引控制系统



附图 6-71 台车行走机构

## 第八节 涂装工程

### 8.1 防腐涂装难点

8.1.1 工程量大，涂装面积约 20 万平方米。

8.1.2 钢结构构件全部裸露在外，防腐性能要求高。

8.1.3 施工节点多，现场拼装焊接量大，焊后防腐处理量大。

### 8.2 涂料选取原则

8.2.1 以 30 年的涂装保护年限和 2.5 小时耐火极限为基本要求进行设计；

8.2.2 满足工程防腐质量要求，选择经济和施工性能好的涂料品种进行配套；

8.2.3 满足钢结构制作需要及涂装工艺。

### 8.3 涂料配套方案设计

#### 8.3.1 涂料选择

出于酸雾、高温、高湿等不同工况及环境和大气中  $\text{SO}_2$ 、 $\text{SO}_4^{2-}$ 、 $\text{NO}^-$ 、颗粒对钢构件的腐蚀。因此，防腐涂层除了具备与基底钢材附着力强，渗透性好，还必须耐酸、耐湿热及耐火性好。

#### 8.3.2 底漆的选择：

##### 8.3.2.1 涂层系统对底漆的要求：

对底材有良好的附着力；

对金属腐蚀时呈现阴极碱性，底漆宜具耐碱性；

底漆应与中间层或面层有良好的层结结合；

底漆应具有缓蚀作用；

底漆应对基材有良好的润湿性，对焊缝、锈疤等部位能浸润。

### 8.3.2.2 常用底漆品种及性能：详见下表

附表 6-33 常用底漆品种及性能

底漆名称	性能及特点	使用基层		
		钢铁	锌、铝	水泥
无机富锌底漆	对钢铁基层的阴极保护作用，防锈性能优异，耐高温，不能在低温环境下施工；对除锈要求很严格，与各种有机、无机涂料均能配套，但不得与油漆配套；适用于高温或室外潮湿环境的钢铁基层	√	—	×
环氧富锌底漆	对钢铁有阴极保护作用，耐水、耐油、附着力强，防腐性能好，对基层除锈要求严格，适用于室内外潮湿环境或队涂层耐久性要求较高的钢铁基层，后道漆宜采用或氯化橡胶底漆	√	—	×
稳定型带锈底漆	根据不同品种和要求可对钢铁基层简单除锈后使用，能于多种涂料配套，但对锈层有一定要求，施工时不宜掌握，当确有经验时方可使用	√	—	×
云铁环氧底漆	附着力与物理性能良好，具有较好的耐盐雾、耐湿热和耐水性能，适用与环氧富锌的后道漆，也可直接做底漆，可于多种涂料配套。	√	—	—
铁红环氧酯底漆	涂膜坚韧，附着力良好，能于，不适用于有色金属基层	√	×	√
锌黄环氧酯底漆	涂膜坚韧，良好，适用于有色金属基层，也可用于钢铁基层，可与多种涂料配套	√	√	√

环氧红丹防腐底漆	优良的防腐性能、成膜后机械强度高，附着力强，漆膜干燥迅速，耐水，与各种有机物、无机涂料均能配套，适用于要求防锈能力强的钢铁基层	√	×	—
----------	---	---	---	---

注：表中“√”表示适用、“—”表示不推荐、“×”表示不适用。

一般钢构件的加工程序为进厂钢材经抛丸除锈处理，喷涂底漆作临时保护后供结构件制作，因此要求底漆具有：

- 1) 较长的户外防锈能力；
- 2) 干燥迅速能适合自动流水线的速度；
- 3) 耐热性好、焊接、切割时不受明显影响；
- 4) 配套性好、焊接、切割等加工过程中烧伤面积小；
- 5) 配套性好，结合力强。

因此，在以上涂料品种，无机富锌和环氧富锌均能适用，但环氧富锌施工条件苛刻，质量不宜控制，因此选用无机富锌底漆。无机富锌底漆在桥梁、电站、港湾、船厂、厂房的构件中得到了广泛应用，并且取得成功的实例，如上海南浦大桥、杨浦大桥、卢浦大桥、烟台体育场、成都双流机场、首都国际机场等众多的钢结构防腐工程的应用实例。

附表 6-34 常用防腐涂料性能

涂料类别	涂料品种	焊号或型号	耐酸	耐碱	耐水	耐候	耐磨	耐油	与有机防火涂料相容性		使用温度 (℃)
									底涂	面涂	
甲	环氧	H52	√	☆	√	○	☆	√	√	#	≤90

甲	高氯化聚乙烯	防腐型	√	√	√	☆	○	√	√	☆	≤90
甲	氯化橡胶	防腐型	√	√	☆	☆	√	√	√	√	≤70
甲	氯醚	防腐型	√	√	√	☆	√	√	√	√	≤80
甲	聚氨酯聚乙烯网络	防腐型	☆	√	√	√	√	√	√	#	≤120
甲	玻璃鳞片涂料	二甲苯型	☆	○	☆	×	☆	√	#	#	≤60—80 (液态) ≤120(液 态)注①
		呋喃	☆	√	☆	√	√	√			
		乙烯基酯	☆	○	☆	√	☆	☆			
乙	聚氨酯	防腐型	√	√	√	○	☆	☆	√	#	≤130
乙	聚氨酯	脂肪族型	☆	☆	√	☆	☆	☆	√	#	≤130
乙	环氧沥青	防腐型	√	☆	√	○	○	○	#	×	≤70
乙	氰凝	防腐型	√	√	☆	×	☆	☆	#	—	≤120
乙	氯黄化聚乙烯	防腐型	√	√	√	☆	○	√	√	☆	≤110
乙	含氟聚氯乙烯	PF—01, FVC	☆	√	√	√	√	√	√	☆	≤90
乙	过氯乙烯	G615, G52	☆	√	√	☆	√	√	○	☆	
乙	醋酸乙烯氯乙烯	防腐型	√	√	√	√	○	√	√	☆	≤90
乙	聚苯乙烯	改性	√	☆	√	○	√	√	×	○	≤80
乙	丙烯酸	改性	√	☆	√	☆	√	√	√	☆	≤80
丙	聚氨酯沥青	防水防腐型	√	√	√	○	○	×	√	×	≤90
丙	沥青	L50	√	√	☆	×	×	×	×	×	≤60
丙	铝粉沥青	L50	○	×	√	○	○	×	×	×	≤60
丙	纯酸	C50	○	×	○	☆	√	√	#	#	≤70
—	有机硅	耐高温防腐 自干型	○	○	☆	☆	√	—	—	#	≤450

注：表中符号“☆”表示性能优异，优先使用；“√”表示性能良好，推荐使用；“○”表示性能一般，可以使用，但使用年限低；“×”表示性能差，不宜使用；#表示需进行配套试验进行确定。

### 8.3.3 涂料的配套相容性

**8.3.3.1** 涂层（涂料）相容是指在一个涂层配套体系中，各涂层之间相互对称性能的影响。

**8.3.3.2** 涂层（涂料）相容是指在一个涂层配套体系中，在任意涂层不因其他涂层的涂覆和存在而产生的破坏或性能（外观、物理性能、化学性能、特种功能等）的明显下降、丧失或影响其使用效能的发挥。否则则认为该涂层体系（两种或多种涂层间）不相容。而这两种相容性通常仅取决于体系中每个相邻涂层间的相容。

**8.3.3.3** 各种类型的涂料因其组成的成分不同，其物理和化学性质也不大相同，其中对涂层性能起决定作用的是涂料成膜物（树脂）和颜填料，涂层彼此之间的相互适应（相容）性也主要取决于这两方面，特别是涂料成膜物的种类对其相互适应性起着至关重要的作用，而这种作用与涂层在体系中的涂装次序直接相关。

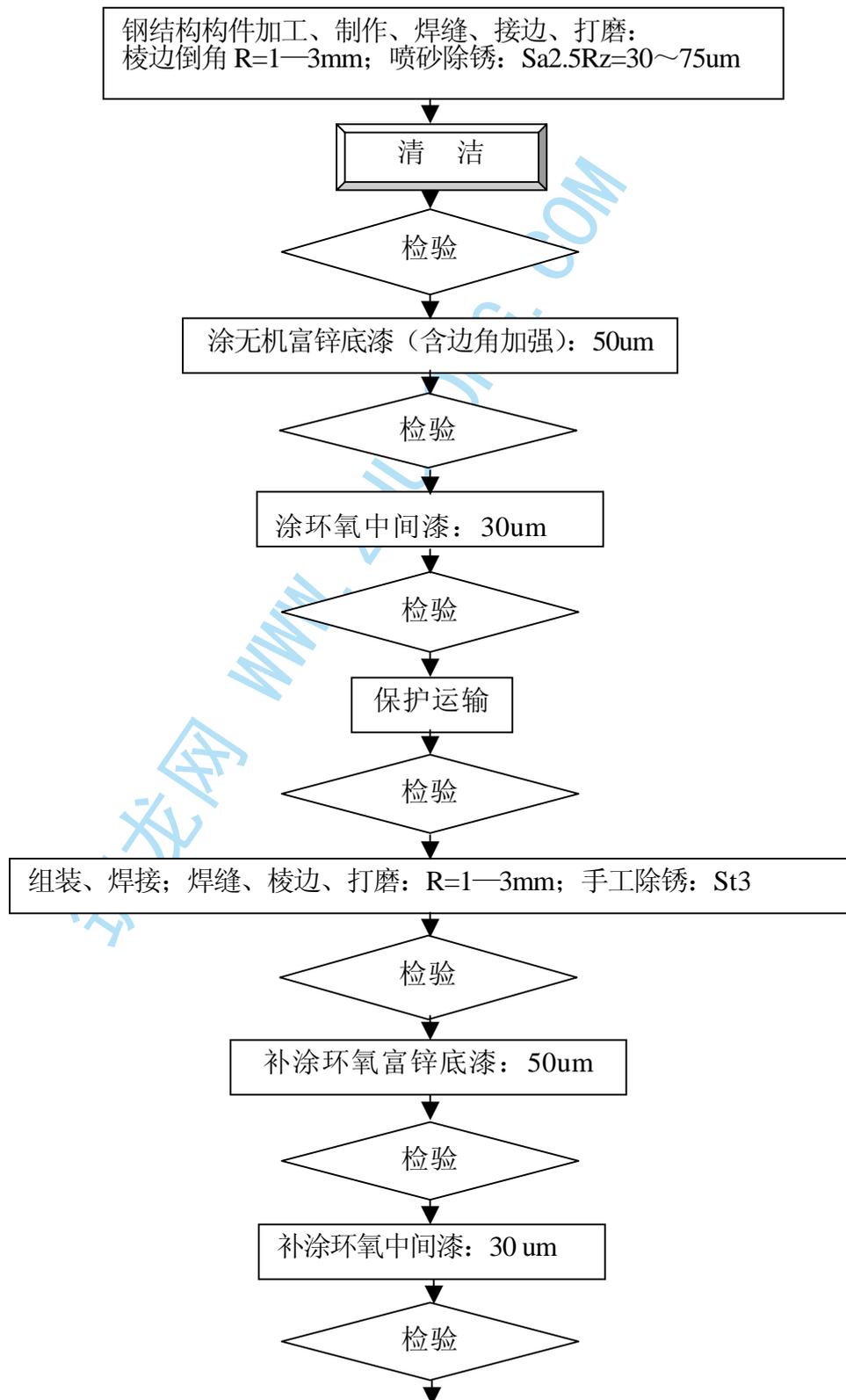
下表是常见的复涂适应（相容）性的选择表

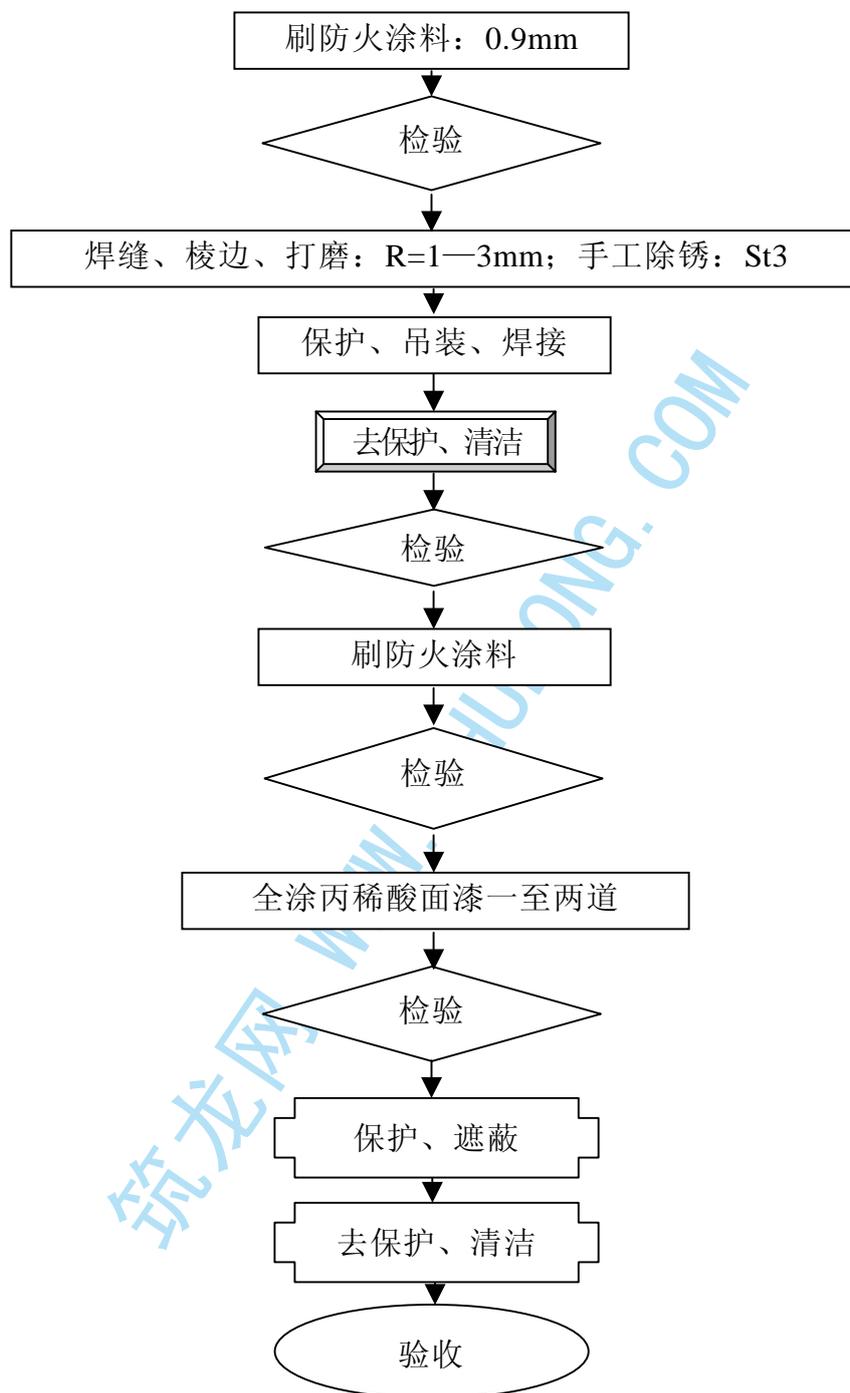
**附表 6-35 常见的复涂适应（相容）性的选择表**

复涂涂料 在下层的底漆	长暴型磷化底漆	无机富锌底漆	有机富锌底漆	油性防锈漆	醇酸树脂涂料	酚醛树脂涂料	氯化橡胶类涂料	乙烯树脂涂料	环氧树脂涂料	聚氨酯涂料
长暴型磷化底漆	可以	不可以	不可以	可以	可以	可以	可以	可以	一定条件下可以	一定条件下可以
无机富锌底漆	可以	可以	可以	不可以	不可以	不可以	可以	可以	可以	可以
有机富锌底漆	可以	不可以	可以	不可以	不可以	不可以	可以	可以	可以	可以
油性防锈漆	不可以	不可以	不可以	可以	可以	可以	不可以	不可以	不可以	不可以
醇酸树脂涂料	不可以	不可以	不可以	可以	可以	可以	不可以	不可以	不可以	不可以
酚醛树脂涂料	不可以	不可以	不可以	可以	可以	可以	可以	一定条件下可以	一定条件下可以	一定条件下可以
氯化橡胶类涂料	不可以	不可以	不可以	不可以	可以	可以	可以	不可以	不可以	不可以
乙烯树脂涂料	不可以	不可以	不可以	不可以	不可以	不可以	不可以	可以	不可以	不可以
环氧树脂涂料	不可以	不可以	不可以	不可以	一定条件下可以	一定条件下可以	一定条件下可以	可以	可以	可以
聚氨酯涂料	不可以	不可以	不可以	不可以	一定条件下可以	一定条件下可以	一定条件下可以	可以	可以	可以

## 8.4 涂装工艺及技术措施

### 8.4.1 涂装工艺流程





说明:



附图 6-72 涂装工艺流程

#### 8.4.2 钢构件防腐施工过程控制要点

附表 6-36 室内钢构件防腐施工过程控制简表

工序		工艺参数	质量要求	检测标准及仪器
涂前处理	表面清理		1.清理焊渣、飞溅附着物 2.清洗金属表面至无可见油脂及杂物	目测
	焊缝棱边打磨		1.焊缝打磨光滑平整、无焊渣 2.棱边倒角 $R=1—3\text{mm}$	目测
	抛丸喷砂	工作环境湿度： $<85\%$ ；钢板表面温度高于露点 $3^{\circ}\text{C}$ 以上	1.ISO8501 — 1988Sa2.5 级 2.粗糙度 $30—75\ \mu\text{m}$ 3.表面清洁、无尘	1. 检 验 标 准： ISO8501—1988 2.测试仪器：表面粗糙度测试仪或比较板
无机富锌	1.高压无气喷涂，压力比 33: 1 2.喷枪距离 300—500mm 3.环境温度： $<85\%$ 4.钢板表面温度高于露点 $3^{\circ}\text{C}$ 以上	1.外观：平整、光滑 2.厚度： $75\ \mu\text{m}$ (湿膜厚度： $105\ \mu\text{m}$ )	1. 检 验 标 准： GB1764—89 2.测试仪器：湿温度测试仪、湿膜度测试仪、湿膜测厚仪、涂层测厚仪	
保护		受力部分有专门保护 其它部分有适当遮蔽	目测	
构件组焊及清理		1.焊缝平整、光滑、无焊渣、毛刺 2.露底部分除锈达 ST3 级 3.表面清洁、无尘	ISO8501—1988	

补涂无机富锌底漆	1.高压无气喷涂,压力比 33: 1 2.喷枪距离 300—500mm 3.环境温度: <85% 4.钢板表面温度高于露点 3℃以上	1.外观: 平整、光滑 2.厚度: 75 μm (湿膜厚度: 105 μm)	1.检验标准: GB1764—89 2.测试仪器: 湿温度测试仪、湿膜测厚仪、涂层测厚仪
保护		受力部分有专门保护 其它部分有适当遮蔽	目测

### 8.4.3 钢结构防腐技术方案

#### 8.4.3.1 技术数据

- 1) 喷砂除锈: ST3 级; Sa2.5 级;
- 2) 表面粗糙度 40~80 μm;
- 3) 施工环境: 温度 5—38℃, 相对湿度 30—85%

#### 8.4.3.2 钢材表面处理的操作方法及技术要求

1) 对钢材表面喷砂除锈, 除锈质量的好坏是整个涂装质量的关键。

2) 黑色金属表面一般都存在氧化皮和铁锈, 在涂装之前必须将他们除尽, 不然会严重影响涂层的附着力使用寿命, 造成经济损失, 而所有除锈方法中, 以喷砂除锈为最佳; 因为它既能除去氧化皮和铁锈, 又能在金属表面形成一定的粗糙度, 增加了涂层与金属表面之间的结合力。

3) 由于施工单位工作的流动性, 目前国内一般施工单位都采用干法喷砂除锈, 一般用铜砂或钢丸等作为磨料, 以 5~7kg/cm<sup>2</sup> 压力的干燥洁净的压缩空气带动磨料喷射金属表面, 可除去钢材表面的氧化皮和铁锈。

#### 8.4.3.3 喷砂除锈的操作过程如下:

- 1) 开启空气机，达到所需压力  $5\sim 7\text{kg/cm}^2$ ；
- 2) 操作工穿戴好特制的工作服和头盔（头盔内接有压缩空气管道提供的进化呼吸空气）进入喷砂车间；
- 3) 将干燥的磨料装入喷砂机，喷砂机上的油水分离器必须良好（否则容易造成管路堵塞和影响后道涂层与钢材表面的结合力）；
- 4) 将钢材摆放整齐，就能开启喷砂机开始喷砂作业；
- 5) 喷砂作业完成后，对钢材表面进行除尘、除油清洁，对照标准照片检查质量是否符合要求，对不足之处进行整改，直至达到质量要求，并做好检查记录。

#### 8.4.3.4 钢材的表面预处理

所有构件的材料，切割下料前，先进行冲砂除锈，除锈等级为 Sa2.5 级，表面粗糙度为  $Rz40\sim 80\mu\text{m}$ ，然后在 6 小时内立即喷涂水性无机富锌底漆，涂层厚度为  $70\mu\text{m}$ 。

#### 8.4.3.5 构件的涂装、修补及质量要求

1) 构件的涂装：当喷砂完成后，清除金属涂层表面的灰尘等杂物；预涂水性无机富锌涂料，在自由边、角焊缝、手工焊缝、孔内厕及边等处喷涂前必须用漆刷预涂装；喷涂水性无机富锌涂料，喷砂处理完成后必须在 6 小时那喷涂底漆。

2) 构件的修补：对于拼装接头、安装接头及油漆涂料损坏区域，先手工打磨除锈并清洗干净，然后按上述要求分别喷涂底漆、中间漆，其漆膜总厚度达到  $100\mu\text{m}$ 。

#### 8.4.3.6 涂装的修补

1) 涂装环境：雨、雪、雾、露等天气时，相对湿度应按涂料说明要求进行严格控制，相对湿度以自动温湿记录仪为准，现场以温湿度仪为准进行操作；

2) 安装焊缝接口处，各留出  $50\text{mm}$ ，用胶带贴封，暂不涂装；

- 3) 钢构件应无严重的机械损伤及变形；
- 4) 焊接件的焊缝应平整，不允许有明显的焊瘤和焊接飞溅物；

#### 8.4.3.7 涂层厚度控制的原则

1) 凡是上漆的部位，应自离自由边 15 毫米左右的幅度起，在单位面积内选取一定数量的测量点进行测量，取其平均值作为该处的漆膜厚度。但焊接接口处的线缝、以及其它不易或不能测量的组装部件，则不必测量其漆层厚度。

2) 由于物体本身的构造、喷涂工作的管理情况、喷涂工作人员的素质等因素，都会使涂层厚薄不均，因此，要 100% 保证全部涂层都在规定厚度以上，不单只会大大地增加涂料的用量，实际上也不易办到，唯有按干膜厚度测定值的分布状态来判定是否符合标准。对于大面积部位，干膜总厚度的测试采用国际通用的“85-15Rule”（两个 85% 原则）。

#### 8.4.3.8 施工工具

附表 6-37 主要施工设备一览表

序号	名称	规格、型号	数量(台)	功率(KW)	产地
1	高压无气喷涂机	GRACO224-619	3		美国固瑞克
2	高压无气喷涂机	6C	2		四川长江
3	高压无气喷涂机	SPQ9C	6		中国上海
4	高压无气喷涂机	SPQ12C	3		中国上海
5	空压机(40m <sup>3</sup> )	L22/7-X	2	264/台	中国无锡
6	空压机(3.0m <sup>3</sup> )		14	30/台	中国上海
7	气动搅拌机		10		德国博世
8	除湿机	DDH6000	4	84/台	进口组装
9	除湿机	DDH6000	8	44/台	进口组装

10	热风机		6	6/台	进口组装
----	-----	--	---	-----	------

注：9、10 两种除湿机任选一种。

#### 8.4.3.9 以下部位不油漆

- 1) 现场焊缝两侧各 100mm 范围内；
- 2) 构件与混凝土接触部分；
- 3) 图纸上规定的表面不油漆部分；
- 4) 高强螺栓摩擦面、高强螺栓连接板外侧仅垫圈范围。

#### 8.4.3.10 喷涂设备及检测器具

##### 1) 除湿机：

技术先进的分冷式除湿机为舱内喷涂提供最佳的环境控制条件，便于运输和安装。每小时的通风量为 5000~20000 立方米。

##### 2) 热风机：

用于密闭的涂装区域，提高温度，降低湿度，使涂装时的环境温度达到规定要求。

##### 3) 富锌漆专用无气喷涂机：

配备涂料循环装置以防止锌粉沉淀，保证涂层均匀。

##### 4) 高压无气喷涂机：

喷涂压力适中，对涂料雾化良好。

##### 5) 高压无气喷涂机：

特别适用于高固体份，高粘度涂料，喷涂压力适中，对涂料雾化良好。

##### 6) 搅拌器：

可调节搅拌速度，搅拌后使涂料混合均匀，携带方便，易操作，宜于现场施工。

7) 旋转式干湿温度仪：

用于测量施工过程中环境的温湿度，确保温湿度在规定的施工环境条件下进行。

8) 红外线测温仪：

该测温仪体积较小，携带方便，易操作，在显示屏上直接读数，用于测量刚才表面的温度。

9) 粗糙度比较板：

通过测试面与比较面进行比较，判断工件表面是否达到需要的粗糙度。

检测方法：按 ISO08530 标准进行。

10) 表面粗糙度测量仪：

可准确测量出喷砂后钢材表面的粗糙度值，确保喷砂后的粗糙度达到设计要求。

检测方法：按 ISO8530 标准规定进行。

11) 除锈等级标准样本：

用于检测钢材表面的生锈程度，检测钢材表面前处理后的除锈程度，对照样本判断其除锈等级。

检测方法：按 GB8923—89 标准执行。

12) 湿涂层测厚规：

用于测量施工过程中湿涂膜厚度，对施工后达到干膜厚度有很好的指导作用。

13) 磁性测厚仪：

用于测量钢铁表面的涂层厚度，使用方便，读数快捷。

检测方法：按 GB1764—79（89）漆膜厚度测定法。

14) 数字式涂镀层测厚仪：

微电脑控制的小型涂镀层测厚仪，用于无损、快速、精确的测量涂层、镀层。

检测方法：按 GB1764—79（89）执行。

15) 划格器：

检测涂料附着力，帮助选择符合要求的涂料，或在施工过程中及时发现附着力不良的弊病。

检测方法：按 GB1720—89 标准执行。

16) 机械型附着力测量仪：

采用拉开法测量涂层的附着力。

检测方法：按 GB/T5210—85 标准执行。

17) 磁性表面温度计：

利用磁性吸附在磁性金属表面，测量其表面温度。

#### 8.4.4 涂装施工技术措施

完善的施工技术措施是施工进度和质量的重要保障，本公司依据多年从事大型钢结构防腐工程施工的丰富经验，在充分研读招标书的要求和设计结构的具体特点的基础上，制定了即切实可行又经济有效的适合本项目特点的严密的技术措施，可保证全部施工严格按施工方案规定的技术要求完成。

##### 8.4.4.1 防雨措施

由于本地区雨水较多，湿度高，不利于防腐涂料的施工，同时本项目工程量大，施工时间短，工程质量要求高。因此，必须采取必要的防雨措施，可采取搭

设活动涂装棚进行相对封闭施工，来创造可满足防腐要求的施工环境。

#### 8.4.4.2 成品及半成品保护措施

工作完成区域及施工现场周围的设备和构件应当很好的进行保护，以免油漆和其它材料的污染。夹具、临近表面、标牌、铭牌橡胶垫片、工具线、仪表盘等等应当在油漆施工和工作完成后被很好的保护。油漆或其他飞溅物应当使用无损其表面的相应工具、设备和清洁剂从玻璃、夹具、设备、板盖等清除。临近施工区域的电气，电动和机械设备应妥善保护，以免油漆损坏。另外，精密设备应当在施工过程中密封保护。

已完成的成品半成品，在进行下道工序或验收前应采取必要的防护措施以保护涂层的技术状态。

#### 8.4.4.3 涂装材料供应计划

为保证涂装计划，本公司将严格按工程加工进度计划要求，制定出能满足各个施工阶段的涂料用量计划，并按时进行采购落实，从而保证整个加工过程的顺利完成。

## 第九节 焊接

### 9.1 焊接难点

**9.1.1** 本工程钢结构总量约 6.7 万吨，节点构造相当复杂。在短时间内完成钢结构深化设计、材料定货、制作加工、现场组装、安装电焊难度很大。

#### 9.1.2 焊接

**9.1.2.1** 焊接包括两部分：现场组装焊接（地面和高空）、现场安装焊接，大部分都是高空散装的施工方法。

**9.1.2.2** 板厚 40、60、80mm 不等，厚板焊接难度大。

**9.1.2.3** 屋盖主桁架和次桁架均采用斜交斜放，易出现累计偏差，给焊接带来很多难度。

**9.1.2.4** 由于钢结构较重；为便于运输、安装、和焊接工艺特殊要求，造成构件分段，接头多，焊接量大。

**9.1.2.5** 板厚 Z 向要求：40~80mm 厚板都有 Z 向要求。为防止焊接 Z 向层状撕裂要采取相应措施来保证焊接质量。

### 9.2 焊工培训

#### 9.2.1 培训内容

**9.2.1.1** 板厚  $t=40\text{mm}$ ，Q345B、C、D 埋弧焊、电渣焊全焊透焊缝平、立、横焊。

**9.2.1.2** 板厚  $t=40\text{mm}$ ，Q345 B、C、D 埋弧平焊，熔嘴电渣立焊。

#### 9.2.2 培训时间

根据钢结构制作厂家，已有焊工技术情况而具体安排，（为保证工程质量减少中间层次的矛盾，制作厂在现场组装焊接，部分焊工直接参与现场安装焊接工作）。

### 9.3 焊接工艺评定

**9.3.1** 凡符合以下情况之一者，应在钢结构构件制作及安装施工之前进行焊接工艺评定：

**9.3.1.1** 国内首次用于钢结构工程的钢材（包括钢材牌号与标准相符但微合金化元素的类别不同和供货状态不同，或国外钢号国内生产）；

**9.3.1.2** 国内首次应用与钢结构工程的焊接材料；

**9.3.1.3** 设计规定的钢材类别、焊接材料、焊接方法、接头形式、焊接位置、焊后热处理制度以及施工单位所采用的焊接工艺参数、预热后热措施等各种参数的组合条件为施工企业首次采用。

**9.3.2** 焊接工艺评定根据钢结构的设计节点形式、钢材类型、规格、采用的焊接方法、焊接位置等，指定焊接工艺评定方案，拟订相应的焊接工艺评定指导书，按规定实施焊接试件、切取试样并由具有国家技术质量监督部门认证资质的检测单位进行检测试验。

**9.3.3** 焊接工艺评定的施焊参数，包括热输入、预热、后热制度等应根据被焊材料的焊接性制订。

**9.3.4** 焊接工艺评定所用设备、仪表的性能应与实际工程施工焊接相一致并处于正常工作状态。焊接工艺评定所用的钢材、焊接材料必须与实际工程所用材料一致并符合相应标准要求，具有生产厂出具的质量证明文件。

**9.3.5** 焊接工艺评定试件应由技能熟练的焊接人员施焊。

**9.3.6** 焊接工艺所用的焊接方法、钢材类别、试件接头形式、施焊位置分类代号应符合下列图表的规定。

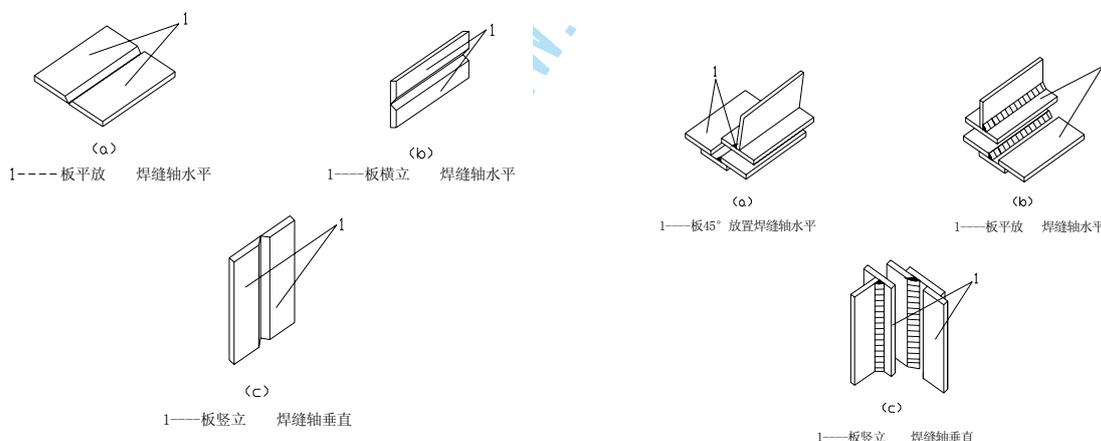
#### 附表 6-38 焊接方法分类

类别号	焊接方法	代号
1	手工电弧焊	SMAW
2—1	半自动实芯焊丝气体保护	GMAW
2—2	半自动药芯焊丝气体保护	FCAW—G
3—1	单丝自动埋弧焊	SAW
4—1	熔嘴电渣焊	ESW—MN

**附表 6-39 用钢分类**

类别号	钢材强度级别
I	Q235
II	Q345

注：国内新材料和国外钢材按化学成分、力学性能和焊接性能归入相应级别


**附图 6-73 板材对接接头焊接位置示意**
**附图 6-74 板材角接接头焊接位置示意**

(a)平焊位置 F; (b) 横焊位置 H; (c) 立焊位置 V;

**9.3.7** 焊接工艺评定试验完成后，应由评定单位根据检测结果提出焊接工艺评定报告，连同焊接工艺评定指导书、评定记录、评定试样检验结果一起报工程质量监督部门和有关单位审查备案。

**9.3.8** 不同焊接方法的评定结果不得相互代替。

**9.3.9** 不同钢材的焊接工艺评定应符合下列规定：

**9.3.9.1** 不同类别钢材的焊接工艺的评定结果不得互相代替；

**9.3.9.2** I、II类同类别钢材中当强度和冲击韧性级别发生变化时，高级别钢材的焊接工艺评定结果可代替低级别钢材；不同类别的钢材组合焊接时应重新评定，不得用单类钢材的评定结果代替。

**9.3.10** 接头形式变化时应重新评定，但十字接头评定结果可代替 T 形接头评定结果，全焊透或部分焊透的 T 形或十字形接头对接与角接组合焊缝评定结果可代替角焊缝评定结果。

**9.3.11** 焊条手工电弧焊时，下列条件之一发生变化，应重新进行工艺评定：

**9.3.11.1** 焊条熔敷金属抗拉强度级别变化；

**9.3.11.2** 由低氢型焊条改为非低氢型焊条；

**9.3.11.3** 焊条直径增大 1mm 以上。

**9.3.12** 熔化极气体保护焊时，下列条件之一发生变化，应重新进行工艺评定：

**9.3.12.1** 实芯焊丝与药芯焊丝的相互变换；药芯焊丝气体保护与自保护的变换；

**9.3.12.2** 单一保护气体类别的变化；混合保护气体的混合种类和比例变化；

**9.3.12.3** 保护气体流量增加 25% 以上或减小 10% 以上的变化；

**9.3.12.4** 焊炬手动与机械行走的变换；

**9.3.12.5** 按焊丝直径规定的电流值、电压值和焊接速度的变化分别超过评定合格值的 10%、7% 和 10%。

**9.3.13** 埋弧焊时，下列条件之一发生变化，应重新进行工艺评定：

**9.3.13.1** 焊丝钢号变化；焊剂型号变化；

**9.3.13.2** 多丝焊与单丝焊的变化；

**9.3.13.3** 添加与不添加冷丝的变化；

**9.3.13.4** 电流种类与极性的变化；

**9.3.13.5** 按焊丝直径规定的电流值、电压值和焊接速度的变化分别超过评定合格值的 10%、7% 和 15%。

**9.3.14** 电渣焊时，下列条件之一发生变化，应重新进行工艺评定：

**9.3.14.1** 板极与丝极的变换，有、无熔嘴的变化；

**9.3.14.2** 熔嘴截面积变化大于 30%，熔嘴牌号的变换，焊丝直径的变化，焊剂型号的变换；

**9.3.14.3** 单侧坡口与双侧坡口焊接的变化

**9.3.14.4** 焊接电流种类与极性的变换；

**9.3.14.5** 焊接电源伏安特性为恒压或恒流的变换；

**9.3.14.6** 焊接电流变化超过 20% 或送丝速度变化超过 40%，垂直进行速度超过 20%。

**9.3.14.7** 焊接电压值变化超过 10%

**9.3.14.8** 偏离垂直位置超过  $10^{\circ}$  ；

**9.3.14.9** 成形水冷滑块与挡板的变化；

**9.3.14.10** 焊剂装入量变化超过 30%；

## **9.4 现场安装焊接工艺**

**9.4.1** 一般规定

**9.4.1.1 被焊母材，尚应符合下列要求：**

- 1) 清除待焊处表面的水、氧化皮、锈、油污；
- 2) 焊接坡口边缘上钢材的夹层缺陷根据情况进行处理。
- 3) 钢材内部的夹层缺陷，根据情况进行处理。
- 4) 夹层缺陷是裂纹时根据长度深度可进行修补。

**9.4.1.2 焊接材料应符合下列规定：**

- 1) 焊条、焊丝、焊剂和熔嘴应储存在干燥、通风良好地方，由专人保管；
- 2) 焊条、熔嘴、焊剂和药芯焊丝在使用前，必须按产品说明书及有关工艺文件的规定进行烘干；
- 3) 低氢型焊条烘干的温度应为  $350\sim 380^{\circ}\text{C}$ ，保温时间应为  $1.5\sim 2\text{h}$ ，烘干后应缓冷放置于  $110\sim 120^{\circ}\text{C}$  的保温箱中存放、待用；使用时应置于保温筒中；烘干后的低氢型焊条在大气中放置时间超过  $4\text{h}$  应重新烘干；焊条重复烘干次数不宜超过 2 次；受潮的焊条不应使用；
- 4) 实芯焊丝及熔嘴导管应无油污、锈蚀，镀铜层应完好无损；
- 5) 焊条、焊剂烘干装置及保温装置的加热、测温、控温性能应符合使用要求；二氧化碳气体保护电弧焊所用的二氧化碳气瓶必须装有预热干燥器；
- 6) 焊接不同类别的钢材时，焊接材料的匹配应符合设计要求。

**9.4.1.3 焊缝坡口表面及组装质量应符合下列要求：**

- 1) 焊缝坡口可用火焰切割或机械方法加工。缺棱为一致  $3\text{mm}$  时，修磨平整。当采用机械方法加工坡口时，加工表面不应有台阶；
- 2) 施焊前，焊工应检查焊接部位的的组装和表面清洗的质量，如不符合要求，应修磨补焊合格后方可施焊；

3) 搭接接头及 T 型角接接头组装间隙应符合有关规定超过规定要求进行处  
理;

4) 严禁在接头间隙中添塞焊条头、铁块等杂务。

#### 9.4.1.4 焊接工艺文件应符合下列要求:

1) 施工前应由焊接技术负责人员根据焊接工艺评定结果编制焊接工艺文件,  
并向有关操作人员进行技术交底, 施工中应严格遵守工艺文件的规定;

2) 焊接工艺文件应包括下列内容:

焊接方法或焊接方法的组合;

母材的牌号、厚度及其它相关尺寸;

焊接材料型号、规格;

焊接接头形式、坡口形状几何尺寸允许偏差;

夹具、定位焊、衬垫的要求;

焊接电流、焊接电压、焊接速度、焊接层次、清根要求、焊接顺序等焊接工  
艺参数规定;

预热温度及层间温度范围;

后热、焊后消除应力处理工艺;

检验方法及合格标准;

其它必要的规定。

#### 9.4.1.5 焊接工作环境应符合以下要求:

1) 焊接作业区 风速当手工电弧焊超过 8m/s、气体保护电弧焊及药芯焊丝电  
弧焊超过 2m/s 时, 应设防风棚或采取其它防风措施。制作车间内焊接作业区有穿  
堂风或鼓风机时也应按以上规定设挡风装置;

2) 焊接作业区的相对湿度不得大于 90%；

3) 当焊件表面潮湿或有冰雪覆盖时，应采取加热去湿除潮措施；

4) 焊接作业区环境温度低于 0℃时，并由焊接技术责任人员指定出作业方案经认可后方可实施；

5) 焊接作业区环境超出上述规定但必须焊接时应应对焊接作业区设置防护棚并制订出具体方案，报监理工程师确认后方可实施。

**9.4.1.6** 引弧板、引出板、垫板应符合下列要求：

1) 不应在焊接以外的母材上打火、引弧；

2) T 型接头、十字型接头、角接接头和对接接头主焊缝两端，必须配置引弧板和引出板，其材质应和被焊母材相同，坡口形式应与被焊焊缝相同；

3) 手工电弧焊和气体保护电弧焊焊缝引出长度应大于 25mm。其引弧板和引出板宽度应大于 50mm，长度宜为板厚的 1.5 倍且不小于 30mm，厚度应不小于 6mm；

4) 焊接完成后，应用火焰切割去除引弧板和引出板，并修磨平整。不得用锤击落引弧板和引出板；

**9.4.1.7** 定位焊必须由持相应合格证的焊工施焊，所用焊接材料应于正式施焊相当。定位焊预热温度应高于正式施焊的预热温度。当定位焊焊缝上有气孔或裂纹时必须清除后重焊。

**9.4.1.8** 多层焊的施焊应符合下列要求：

1) 厚板多层焊时应连续施焊，每一焊道焊接完成后应及时清理焊渣及表面飞溅物，发现影响焊缝质量的缺陷时，应清除后方可施焊。在连续焊接过程中应控制焊接区母材温度，使层间温度的上、下限符合工艺文件要求。遇有中断施焊的情况，应采取适当的后热、保温措施，再次焊接时重新预热温度应高于初始预热温度；

2) 坡口底层焊道采用焊条手工电弧焊时宜使用不大于  $\phi 4\text{mm}$  的焊条施焊, 底层根部焊道的最小尺寸应适宜, 但最大厚度不应超过 6mm。

#### 9.4.2 焊接预热及后热

**9.4.2.1** 除电渣焊、气电立焊外, I、II类钢材匹配相应强度级别的低氢型焊接材料并采用中等热输入进行焊接时, 板厚与最低预热温度要求宜符合下表的规定。

附表 6-40 常用结构钢材最低预热温度要求

钢材牌号	接头最后部件的板厚 $t$ (mm)				
	$T < 25$	$25 \leq t \leq 40$	$40 < t \leq 60$	$60 < t \leq 80$	$t > 80$
Q235	—	—	60℃	80℃	100℃
Q295、 Q345	—	60℃	80℃	100℃	140℃

注: 本表使用条件

1. 接头形式为坡口对接, 根部焊道, 一般拘束度;
2. 热输入约为 15~25KJ/cm;
3. 采用低氢型焊条, 熔敷金属扩散氢含量 (甘油法)
  - E4315、E4316 不大于 8ml/100g;
  - E5015、E5016、E5515、E5516 不大于 6ml/100g;
  - E6015、E6016、不大于 4ml/100g

4. 一般拘束度, 指一般角焊缝和坡口焊缝的接头未施加限制收缩变形的刚性固定, 也未处于结构最终封闭安装或局部返修焊接条件下而具有一定自由度;

5. 环境温度为常温;

6. 焊接接头板厚不同时, 应按板厚确定预热温度; 焊接接头材质不同时, 按高强度、高碳当量的钢材确定预热温度。

实际工程结构施焊时的预热温度，尚应满足下列规定：

根据焊接接头的坡口形式和实际尺寸、板厚及构件拘束条件确定预热温度。  
焊接坡口角度及间隙增大时，应相应提高预热温度；

根据熔敷金属的扩散氢含量确定预热温度；

根据焊接时热输入的大小确定预热温度；

根据接头热传导条件选择预热温度；

根据施焊环境温度确定预热温度。操作地点环境温度低于常温时（高于 0℃），应提高预热温度 15～25℃。

**9.4.2.2** 预热方法及层间温度控制应符合下列规定：

- 1) 焊前预热及层间温度的保持宜采用电加热器、火焰加热器等，并采用专业的测温仪器测量；
- 2) 预热的加热区域应在焊接坡口两侧，宽度应各为焊件施焊初厚度的 1.5 倍以上，且不小于 100mm；

**9.4.2.3** 当要求进行焊后消氢处理时，应符合下列规定：

- 1) 消氢处理的加热温度应为 200～250℃，保温时间应依据工件板厚按每 25mm 板厚不小于 0.5h、且总保温时间不得小于 1h 确定。达到保温时间后缓冷至常温；
- 2) 消氢处理的加热和测温方法按 2 条的规定执行。

**9.4.3** T 型接头、十字接头、角接接头焊接时，防止板材层状撕裂的工艺措施

**9.4.3.1** 采用双面坡口对称焊接代替单面坡口非对称焊接。

**9.4.3.2** 采用低强度焊条在坡口内母材板面上先堆焊塑性过度层。

**9.4.3.3** II 类及 II 类以上钢材箱形柱角接接头当板厚大于、等于 80mm 时，板

边火焰切割面宜用机械方法去除淬硬层（见图特厚板角接接头防止层状撕裂的工艺措施示意）。

**9.4.3.4** 采用低氢型、超低氢型焊条或气体保护电弧焊施焊。

**9.4.3.5** 提高预热温度施焊。

**9.4.4** 控制焊接变形的工艺措施

**9.4.4.1** 宜按下列要求采用合理的焊接顺序控制变形：

1) 对于对接接头、T型接头和十字接头坡口焊接，在工件放置条件允许或易于翻身的情况下，宜采用双面坡口对称顺序焊接；对于有对称截面的构件，宜采用对称于构件中和轴的顺序焊接；

2) 对双面非对称坡口焊接，宜采用先焊深坡口侧部分焊缝、后焊浅坡口侧、最后焊完深坡口侧焊缝的顺序；

3) 对长焊缝宜采用分段退焊法或与多人对称焊接法同时运用；

4) 宜采用跳焊法，避免工件局部加热集中。

**9.4.4.2** 在节点形式、焊缝布置、焊接顺序确定条件下，宜采用熔化极气体保护电弧焊或药芯焊丝自保护电弧焊等能量密度相对较高的焊接方法，并采用较小热输入。

**9.4.4.3** 宜采用反变形法控制角变形。

**9.4.4.4** 对一般构件可用定位焊固定同时限制变形；对大型、厚板构件宜用刚性固定法增加结构焊接时的刚性。

**9.4.4.5** 对于大型结构宜采用分步组装焊接、分别矫正变形后再进行总装焊接或连接的施工方法。

**9.4.5** 焊后消除应力处理

**9.4.5.1** 设计文件对焊后消除应力有要求时，根据构件尺寸，工厂制作宜采用

加热炉整体退火或电加热器局部退火对焊件消除应力，仅为稳定结构尺寸时可采用震动法消除应力；工地安装焊缝宜采用锤击法消除应力。

**9.4.5.2** 焊后热处理应符合现行国家标准《碳钢、低合金钢焊接构件焊后处理方法》（GB/T—6040）的规定。当采用电加热器对焊接构件进行局部消除应力热处理时，尚应符合下列要求：

1) 使用配有温度自动控制仪的加热设备，其加热、测温、控温性能应符合使用要求；

2) 构件焊缝每侧面加热板（带）的宽度至少为钢板厚度的 3 倍，且应不小于 200mm；

3) 加热板（带）以外构件两侧尚宜用保温材料适当覆盖。

**9.4.5.3** 用锤击法消除中间焊层应力时，应使用圆头手锤或小型震动工具进行，不对根部焊缝、盖面焊缝或焊缝坡口边缘的母材进行锤击。

**9.4.5.4** 用震动法消除应力时，应符合国家现行标准《震动时效工艺参数选择及技术要求》（JB—5926）的规定。

#### **9.4.6 焊缝缺陷返修**

**9.4.6.1** 面缺陷超过相应的质量验收标准时，对气孔、夹渣、焊瘤、余高过大等缺陷应用砂轮打磨、铲凿、钻、铣等方法去除，必要时进行焊补；对焊缝尺寸不足、咬边、弧坑未添满等缺陷进行焊补。

**9.4.6.2** 经无损检测确定焊缝内部存在超标缺陷时进行返修，返修应符合下列规定：

1) 返修前应由施工企业编写返修方案；

2) 应根据无损检测确定的缺陷位置、深度，用砂轮打磨或碳弧气刨清除缺陷。缺陷为裂纹时，碳弧气刨前应在裂纹两端钻止裂孔并清除裂纹及其两端各 50mm 长的焊缝或母材；

3) 清除缺陷时应将刨槽加工成四侧边斜面角大于  $10^\circ$  的坡口，并应修整表面、磨除气刨渗碳层，必要时应用渗透探伤或磁粉探伤方法确定裂纹是否彻底清除；

4) 焊补时应在坡口内引弧，熄弧时应添满弧坑；多层焊的焊层之间接头应错开，焊缝长度应不小于 100mm；当焊缝长度超过 500mm 时应采用分段退焊法；

5) 返修部位应连续焊成。如中断焊接时，应采取后热、保温措施，防止产生裂纹。再次焊接前宜用磁粉或渗透探伤方法检查，确认无裂纹后方可继续补焊；

6) 焊接修补的预热温度应比相同条件下正常焊接的预热温度高，并应根据工程节点的实际情况确定是否需用采用超低氢型焊条焊接或进行焊后消氢处理；

7) 焊缝正、反面各作为一个部位，同一部位返修不宜超过两次；

8) 对两次返修后仍不合格的部位应重新制订返修方案，经工程技术负责人审批并报监理工程师认可后方可执行；

9) 返修焊接应填报返修施工记录及返修前后的无损检测报告，作为工程验收及存档资料。

#### 9.4.6.3 碳弧气刨应符合下列规定：

1) 碳弧气刨工必须经过培训合格后方可上岗操作；

2) 如发现“夹碳”，应在夹碳边缘 5~10mm 处重新气刨，所刨深度应比夹碳处深 2~3mm；发生“粘渣”时可用砂轮打磨。

#### 9.4.7 CO<sub>2</sub> 气体保护焊操作要点

##### 9.4.7.1 作业条件

1) 焊接区应保持干燥不沾有油、锈其它污物。

2) 当焊接因风速过大而影响焊接质量时，应采取挡风装置，对焊接现场进行有效防护后方可开始焊接。

3) 施焊前打开气瓶高压阀将预热器打开，预热 10~15 分钟，预热后打开低压阀，调到所需气体流量后焊接。

4) 焊丝直径不大于 1.2mm 时，CO<sub>2</sub> 气体流量为 6~15L/min 为宜。当选用大电流焊接时、焊速提高、室外焊及仰焊时，应采用较大气体流量。

5) 为保证焊接过程的稳定性，细丝导电嘴孔径一般不大于焊丝直径的 0.1~0.25mm，粗丝焊导电嘴孔径一般应不大于焊丝直径的 0.2~0.4mm。送丝软管内的弯曲半径不得小于 150mm。

6) 焊丝伸出长度以 10 倍焊丝直径为宜。

7) 焊前应对焊丝仔细清理，去除铁锈和油污等杂质。

8) 施焊前，焊工应符合焊接件接头的质量和焊接区域的坡口、间隙、钝边等的处理情况，当发现不符合要求时，应修整合格后方可施焊。

#### 9.4.7.2 操作要点

1) 焊丝直径的选择根据板厚的不同选择不同的直径，为减少杂含量，尽量选择直径较大的焊丝，见表“焊丝直径选择”

附表 6-41 焊丝直径选择

母材厚度	≤4	>4
焊丝直径	φ 5—1.2	φ 1.0 — φ 2.5

2) 焊接电流和电弧电压的选择，见表“常用焊接电流和电弧电压的范围”

附表 6-42 常用焊接电流和电弧电压的范围

焊丝直径(mm)	短路过度		细颗粒过渡	
	电流 (A)	电压 (V)	电流 (A)	电压 (V)
0.5	30—60	16—18		

0.6	30—70	17—19		
0.8	50—100	18—21		
1.0	70—120	18—22		
1.2	90—150	19—23	160—400	25—38
1.6	140—200	20—24	200—500	26—40
2.0			200—600	27—40
2.5			300—700	28—42
3.0			500—800	32—44

注：最佳电弧电压有时只有 1—2V 之差，要仔细调整。

3) 典型的短路过渡焊接工艺参数，见表“不同直径焊丝典型的短路过渡焊接工艺参数”

**附表 6-43 不同直径焊丝典型的短路过渡焊接工艺参数**

焊丝直径	φ 0.8	φ 1.2	φ 1.6
焊接电流 A	100—110	120—135	140—180
电弧电压 V	18	19	20

4) 细颗粒过渡的电流下限值及电弧电压范围，见表“不同直径焊丝颗粒过渡的电流下限值及电弧电压范围”

**附表 6-44 不同直径焊丝颗粒过渡的电流下限值及电弧电压范围**

焊丝直径	φ 1.2	φ 1.6	φ 2.0	φ 3.0	φ 4.0
焊接电流 A	300	400	500	650	750
电弧电压 V	34—45				

5) φ 1.6 焊丝 CO<sub>2</sub> 半自动焊常用工艺参数，见表“φ 1.2 焊丝 CO<sub>2</sub> 焊全熔透对

焊接接头焊件的焊接工艺参数”

6) 半自动焊时，焊速不超过 0.5m/min。

7) 二氧化碳气体保护焊必须采用直流反接。

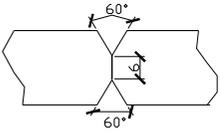
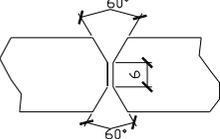
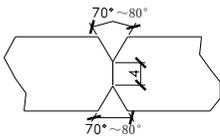
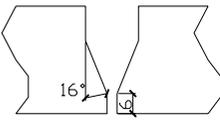
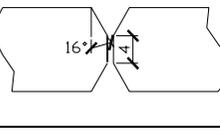
8) 重要焊缝要加引弧板，熄弧板，其材质和坡口形式应与焊件相同。引弧和熄弧焊缝长度应大于或等于 25mm。引弧和熄弧板长度应大于或等于 60mm。引弧和熄弧板应采用气割的方法切除，并修磨平整，不得用锤击落。

9) 打底焊层高度不超过 4mm，填充焊时焊枪横向摆动，使焊道表面下凹，且高度低于母材表面 1.5~2mm；盖面焊时焊接熔池边缘应超过坡口棱边 0.5~1.5mm，防止咬边。

10) 不应在焊缝以外的母材上打火引弧。

11) 对于非密闭的隐蔽部位，应按施工图的要求进行涂层处理后，方可进行组装；对刨平顶紧的部位，必须经质量部门检验合格后才能施焊。

**附表 6-45  $\phi 1.2$  焊丝 CO<sub>2</sub> 焊全熔透对接接头焊件的焊接工艺参数**

板厚 (mm)	焊丝直径 (mm)	接头形式	装配 间隙 (mm)	层次	焊接参数					备注
					焊接电流 (A)	焊接电压 (V)	焊接速度 (m/min)	焊丝外伸 长 (mm)	气体流量 (l/min)	
25	1.6			2	480	38	0.3	20	25	
					500	39				
25	2 2.5		0—2.0	4	442—440	30—32	0.27—0.35	20—30	21.7	
32	2.5				600—650	41—43	0.4	10d 但不大于 40	20	双面面层堆 焊, 材质 16Mn
40 以上	2 2.5		0.2.0	10 层以 上	440—500	30—32	0.27—0.35	20—30	21.7	U 型坡口
	2 2.5		0.2.0	10 层以 上	440—500	30—32	0.27—0.35	20—30	21.7	

#### 9.4.8 熔嘴电渣焊操作要点

##### 9.4.8.1 作业条件

- 1) 熔嘴电渣焊不允许露天作业。当气温低于 0℃，相对湿度大于或等于 90%，网路电压严重波动时不得施焊；
- 2) 焊接区应保持干燥、不得有油、锈和其它污物；
- 3) 熔嘴电渣焊剂在使用前应按产品说明书规定的烘焙时间和烘焙温度进行烘焙，不得含灰尘、铁屑和其他杂物。烘干温度一般为 250℃2 小时；
- 4) 熔嘴孔内受潮，生锈或沾有污物时不得使用；
- 5) 熔嘴不应有明显锈蚀和弯曲，用前 250℃1 小时烘干，在 80℃左右存放和待用；
- 6) 焊丝的盘绕应整齐紧密，没有硬碎弯、锈蚀和油污。焊丝盘上的焊丝量最少不得少于焊一条焊缝所需焊丝量；
- 7) 所有焊机的给部位均应处于正常工作状态；
- 8) 焊机的电流表、电压表和调节旋钮刻度指数的指示正确性和偏差数要清楚明确；
- 9) 保证电源的供应和稳定性，避免焊接中途断电和网压波动过大；
- 10) 施焊前，焊工应复检焊接件的接头质量和焊接区域的坡口、间隙、钝边等的处理情况

##### 9.4.8.2 操作要点

- 1) 施焊前，检查组装间隙的尺寸，装配缝隙应保持在 1mm 以下，当缝隙大于 1mm 时，应采取措施进行修整和补救；
- 2) 检查焊接部位的清理情况，焊接断面及其附近的油污、铁锈和氧化物等污物必须清除干净；

- 3) 焊道两端应按工艺要求设置引弧板和熄弧板；
- 4) 安装管状熔嘴并调整对中，熔嘴下端距引弧板底面距离一般为 15~25mm；
- 5) 焊接电流的选择可按下述经验公式进行计算：

$$I = K \cdot F$$

式中： I —— 平均焊接电流， A；

F —— 管状熔嘴截面积， m<sup>2</sup>；

K —— 比例系数，一般取 5~7。

- 6) 在保证焊透的情况下，电压尽可能低一些。施焊电压一般可在 35~55v 之间选取；
- 7) 引弧时，电压应比正常焊接过程中的电压高 3~8v，渣池形成后恢复正常焊接电压；
- 8) 焊接速度可在 1.5~3m/h， 的范围内选取；
- 9) 常用的送丝速度范围为 200~300 m/h，造渣过程中选取 200 m/h 为宜；
- 10) 渣池深度通常为 35~55mm；
- 11) 焊接启动时，漫漫投入少量焊剂，一般为 35~50g，焊接过程中应逐渐少量添加焊剂；
- 12) 焊接过程中，应随时检查熔嘴是否在焊道的中心位置上，严禁熔嘴和焊丝过偏；
- 13) 焊接电压随焊接过程而变化，焊接过程中随时注意调整电压；
- 14) 焊接过程中注意随时检查焊件的炽热状态，一般约在 800℃（樱红色）以上时熔和良好。当不足 800℃时，应适当调整焊接工艺参数，适当增加焊池内总热量；

15) 当焊件厚度低于 16mm 时，应在焊件外部安装铜散热板或循环热水散热器；

16) 焊缝收尾时应适当减少焊接电压，并断续送进焊丝，将焊缝引到熄弧板上收尾；

17) 熔嘴电焊渣不作焊前预热和焊后热处理，只是引弧前对引弧器加热 100℃左右；

18) 在组装好的构件上施焊，应严格按焊接工艺规定的参数以及焊接顺序进行，以控制焊后构件变形。控制措施：

控制焊接变形，可采取反变形措施。

在约束焊道上施焊，应连续进行；如因故中断，再焊时应对已焊缝局部做预热处理。

采取多层焊时，应将前一道焊缝表面清理干净后再继续施焊。

19) 因焊接而变形的构件，可用机械（冷矫）或在严格控制温度的条件下加热（热矫）的方法进行矫正。

#### 9.4.9 埋弧自动焊操作要点

##### 9.4.9.1 作业条件

1) 焊接区应保持干燥，不得有油、锈和其它污物；

2) 用于埋弧焊的焊剂应按照工艺确定的型号和牌号相匹配。焊剂在使用前应按产品说明书规定的烘焙时间和烘焙温度进行烘焙，不得含灰尘、铁屑和其它杂物；

3) 焊前对焊丝仔细清理，去除铁锈和油污等杂质；

4) 施焊前，焊工应复核焊接件的接头质量和焊接区域的坡口、间隙、钝边等的处理情况。当发现有不符合要求时，应修整合格后方可施焊。

#### 9.4.9.2 操作要点

##### 1) 埋弧自动焊工艺参数选择

焊接电流的选择：埋弧焊熔池深度决定于焊接电流。有近似的经验公式可供估算：

$$h=kI$$

式中：h——熔深，mm；

I——焊接电流，A；

k——系数，决定于电流种类、极性和焊丝直径等，一般取 0.01（直流正接）或 0.011（支流反接、交流）。

焊丝直径：可根据焊接电流选择合适的焊丝直径，见表“不同直径焊丝适用的焊接电流范围”

**附表 6-46 不同直径焊丝适用的焊接电流范围**

焊丝直径 (mm)	2	3	4	5	6
电流密度 (A/mm <sup>2</sup> )	63-125	50-85	40-63	35-50	28-42
焊接电流 (A)	200-400	350-600	500-800	700-1000	820-1200

电弧电压：电弧电压要与焊接电流相匹配，可参考表“电弧电压与焊接电流相匹配”

**附表 6-47 电弧电压与焊接电流相匹配**

焊接电流 (A)	600-700	700-850	850-1000	1000-1200
电弧电压 (V)	36-38	38-40	40-42	42-44

注：焊丝直径 5mm，交流

### 2) 埋弧自动焊工艺参数示例

不开坡口留间隙双面埋弧自动焊工艺参数，见表“不开坡口留间隙双面埋弧自动焊工艺参数”

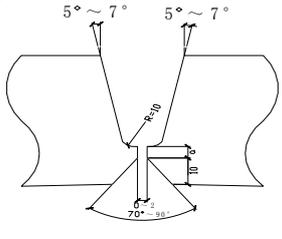
**附表 6-48 不开坡口留间隙双面埋弧自动焊工艺参数**

焊件厚度 (mm)	装配间隙 (mm)	焊接电流 (A)	焊接电压 (V)		焊接速度 (m/h)
			交流	直流反接	
10-12	2-3	750-800	34-36	32-34	32
14-16	3-4	775-825	34-36	32-34	30
18-20	4-5	800-850	36-40	34-36	25
22-24	4-5	850-900	38-42	36-38	23
26-28	5-6	900-950	38-42	36-38	20
30-32	6-7	950-1000	40-44	38-40	16

注：焊剂 431，焊径直径 5mm。

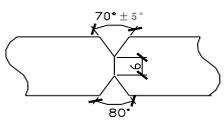
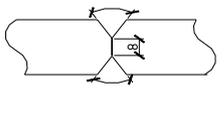
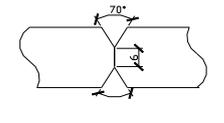
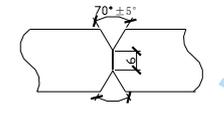
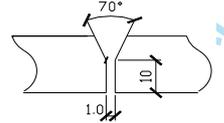
厚板深坡口焊接工艺参数，见表“厚壁多层埋弧焊工艺参数”

附表 6-49 厚壁多层埋弧焊工艺参数

接头形式	焊丝直径 (mm)	焊接电流 (A)	电弧电压 (V)		焊接速度 (m/min)
			交流	直流	
	4	600 — 7100	36 — 38	34—36	0.4—0.5
	5	700—800	38 — 42	36—40	0.45 — 0.55

对接接头埋弧自动焊宜按表“对接接头埋弧焊自动焊参数”选定焊接参数。

**附表 6-50 对接接头埋弧焊自动焊参数**

板厚 (mm)	焊丝 直径 (mm)	接头形式	焊接 顺序	焊接参数		
				焊接电流 (A)	焊接 电压 (V)	焊接速度 (m/min)
24	4		正	700—720	36—38	0.33
			反	700—750		
	5		正	800	34	0.3
			反	900	38	0.27
28	4		正	820	30—32	0.27
反						
30	4		正	750—800	36—38	0.30
			反	800—850		
	6		正	800	36	0.25
			反	850—900		

3) 厚度 12mm 以下板材，可不开坡口，采用双面焊，正面焊电流稍大，熔深达 65%—70%，反面达 40%—55%。厚度大于 12mm-20 mm 的板材，单面焊后，背面清根，再进行焊接。厚度较大板，开坡口焊，一般采用手工打底焊。

4) 多层焊时，一般每层焊高为 4—5mm，多道焊时，焊丝离坡口面 3mm-4mm 处焊。

5) 填充层总厚度低于母材表面 1—2mm,稍凹,不得熔化坡口边。

6) 盖面层使焊缝对坡口焊宽每边  $3 \pm 1\text{mm}$ , 调整焊速, 使余高为 0—3mm。

7) 焊道两端加引弧板和熄弧板, 引弧和熄弧焊缝长度应大于或等于 80mm。引弧和熄弧板长度应大于或等于 150mm。引弧和熄弧板应采用气割的方法切除, 并修磨平整, 不得用锤击落。

8) 埋弧焊每道焊缝熔敷金属横截面的成型系数(宽度:深度)应大于 1。

9) 施焊前, 焊工应复核焊接件的接头质量和焊接区域的坡口、间隙、钝边等的处理情况。当发现有不符合要求时, 应修整合格后方可施焊。

10) 不应在焊缝以外的母材上打火引弧。

11) 定位焊采用的焊材型号应与焊件材质相匹配。

定位焊焊脚尺寸不宜超过设计焊缝厚度的  $2/3$ , 且不应大于 6mm。长焊缝焊接时, 定位焊缝长度不宜小于 50mm, 焊缝间距 500~600mm, 并应填满弧坑。

定位焊的位置应布置在焊道以内。如遇有焊缝交叉时, 定位焊缝应离交叉处 50mm 以上。

定位焊缝的余高不应过高, 定位焊缝的两端应与母材平缓过度, 以防止正式焊接时产生未焊透等缺陷。

如定位焊缝开裂, 必须将裂纹处的焊缝铲除后重新定位焊。在定位焊之后, 如出现接口不平齐, 应进行校正, 然后才能正式焊接。

定位焊缝不得有裂纹、夹渣、焊瘤等缺陷。焊前必须清除焊接区的有害物。

12) 对于非密闭的隐蔽部位, 应按施工图的要求进行涂层处理后, 方可进行组装; 对刨平顶紧的部位, 必须经质量部门检验合格后才能施焊。

13) 在组装好的构件上施焊, 应严格按焊接工艺规定的参数以及焊接顺序进行, 以控制焊后构件变形。

控制焊接变形，可采取反变形措施。

在约束焊道上施焊，应连续进行；如因故中断，再焊时应对已焊的焊缝局部做预热处理。

采用多层焊时，应将前一道焊缝表面清理干净后再继续施焊。

14) 因焊接而变形的构件，可用机械（冷矫）或在严格控制温度的条件下加热（热矫）的方法进行矫正。

#### 9.4.10 手工电弧焊操作要点

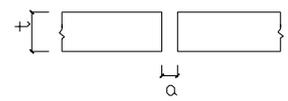
##### 9.4.10.1 作业条件

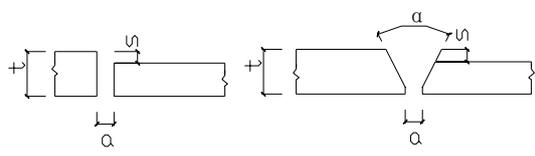
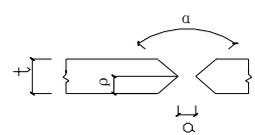
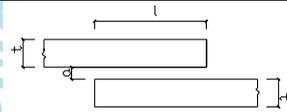
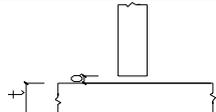
1) 焊接区应保持干燥、不得油污-锈和其它污物。

2) 焊条在使用前应按产品说明书规定的烘焙时间和烘焙温度进行烘焙。低氢型焊条烘干后必须存放在保温箱（筒）内，随用随取。焊条由保温箱（筒）取出到施焊时间不宜超过 2h（酸性焊条不宜超过 4h）。不符上述要求时，应重新烘干后再用，但焊条烘干次数不宜超过 2 次。

3) 施焊前，焊工应符合焊接件的接头质量和焊接区域的坡口、间隙、钝边等的处理情况。当发现有不符合要求时，应修整合格后方可施焊。焊接连接组装允许偏差见下表

附表 6-51 焊接连接组装允许偏差值

项 目	允许偏差 (mm)	连 接 示 意 图
对接间隙 a	±1.0	

边缘 高差 (mm)	$4 < t \leq 8$	1.0	
	$8 < t \leq 20$	2.0	
	$20 < t \leq 40$	$t/10$ 但不大于 3.0	
	$t \geq 40$	$t/10$ 但不大于 4.0	
坡口	坡口角度 $\alpha$	$\pm 5^\circ$	
	钝边 $\rho$	$\pm 1.0$	
搭接	长度 L	$\pm 5.0$	
	间隙 a	1.0	
顶接间隙 a		1.0	

#### 9.4.10.2 操作要点

##### 1) 焊接参数的选择

##### 焊条直径的选择

焊条直径主要根据焊接厚度选择，见表“焊条直径的选择”。多焊层的第一层以及非水平位置焊接时，焊条直径应选小一点。

附表 6-52 焊条直径的选择

焊件厚度 (mm)	<2	2	3	4~6	6~12	>12
焊条直径 (mm)	1.6	2	3.2	3.2~4	4~5	4~6

焊接电流的选择 主要根据焊条直径选择电流。方法有二：

查表法：见表“焊接电流选择”

**附表 6-53 焊接电流选择**

焊条直径(mm)	1.6	2.0	2.5	3.2	4.0	5.0	5.8
焊接电流(A)	25~40	40~60	50~80	100~ 130	160~ 210	200~ 270	260~ 300

注：立、仰、横焊电流应比平焊小 10% 左右。

有近似的经验公式可供估算法：

$$I = (30 \sim 55) d$$

式中：d——焊条直径，mm；

I——焊接电流，A；

焊角焊缝时，电流要稍大些。

打底焊时，特别是焊接单面焊双面成性焊道时，使用的焊接电流要小；填充焊时，常用较大的焊接电流；盖面焊时，为防止咬边和获得较美观的焊缝，使用的电流稍小些。

碱性焊条选用的焊接电流比酸性焊条小 10% 左右。不锈钢焊条比碳钢焊条选用的电流小 20% 左右。

焊接电流初步选定后，要通过试焊调整。

电弧电压主要取决于弧长。电弧长，则电压高；反之，则低。在焊接过程中，一般希望弧长始终保持一致，并且尽量使用短弧焊接。所谓短弧是指弧长为焊条直径的 0.5~1.0 倍。

焊接工艺参数的选择，应在保证焊接质量的条件下，采用大直径焊条和大电流焊接，以提高劳动生产率。

性能要求高的焊缝与接头，每层焊缝厚度不宜大于 4mm。

坡口底层焊道宜采用不大于  $\phi 3.2\text{mm}$  的焊条，底层根部焊道的最小尺寸应适

宜，以防产生裂纹。

焊缝在焊接接头每边的覆盖宽度不小于 2~4mm，

2) 施焊前，焊工应符合焊接件的接头质量和焊接区域的坡口、间隙、钝边等的处理情况。当发现有不符合要求时，应修整合格后方可施焊。

3) 焊接时不得使用药皮脱落或焊芯生锈的焊条。

4) 重要焊缝要加引弧板，熄弧板，其材质和坡口形式应与焊件相同。引弧和熄弧焊缝长度应大于或等于 5mm。引弧和熄弧板长度应大于或等于 60mm。引弧和熄弧板应采用气割的方法切除，并修磨平整，不得用锤击落。

5) 焊接区应保持干燥、不得有油、锈和其它污物。

6) 焊条在使用前应按产品说明书规定的烘焙时间和烘焙温度进行烘焙。低氢型焊条烘干后必须存放在保温箱（筒）内，随用随取。焊条由保温箱（筒）取出到施焊时间不宜超过 2h（酸性焊条不宜超过 4h）。不符上述要求时，应重新烘干后再用，但焊条烘干次数不宜超过 2 次。

7) 不应在焊缝以外的母材上打火引弧。

8) 定位焊采用的焊材型号应与焊件材质相匹配。

定位焊焊脚尺寸不宜超过设计焊缝厚度到的 2/3，且不应大于 6mm。长焊缝焊接时，定位焊缝长度不宜小于 50mm，焊缝间距 500~600mm，并应添满弧坑。

定位焊的位置应布置在焊道以内。如有焊缝交叉时，定位焊缝应离交叉处 50mm 以上。

定位焊缝的余高不应过高，定位焊缝的两端应与母材平缓过渡，以防止正式焊接时产生未焊透等缺陷。

如定位焊缝开裂，必须将裂纹处的焊缝铲除后重新定位焊。在定位焊之后，如出现接口不平齐，应进行矫正，然后才能正式焊接。

定位焊缝不得有裂纹、夹渣、焊瘤等缺陷。焊前必须清除焊接区的有害物。

9) 对于密闭的隐蔽部位，应按施工图的要求进涂层处理后，方可进行组装；对刨平顶紧的部位，必须经质量部门检验合格后才能施焊。

10) 在组装好的构件上施焊，应严格按焊接工艺规定的参数以及焊接顺序进行，以控制焊后构件变形。

控制焊接变形，可采取反变形措施。

在约束焊道上施焊，应连续进行；如因故中断，再焊时应对已焊的焊缝局部做热处理。

采用多层焊时，应将前一道焊缝表面清理干净后在继续施焊。

11) 因焊接而变形的构件，可因机械（冷矫）或在严格控制温度的条件下加热（热矫）的方法进行矫正。

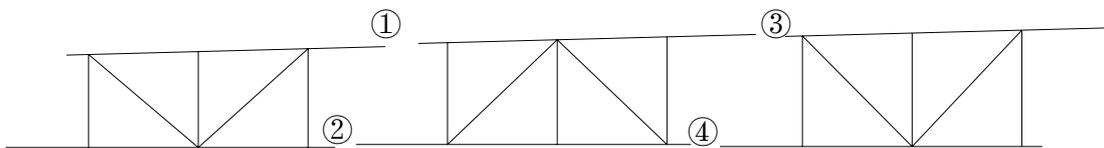
#### 9.4.11 箱型截面构件桁架拼装焊接工艺

9.4.11.1 由于本工程结构复杂、焊接量大，焊接是钢结构施工中的关键工序，为了更好地控制焊接变形和减小应力，达到确保焊接质量，保证安装精度的目的，全部对接焊缝进行超声波探伤。连接点处理方案见“第六节钢结构安装”相关工艺。

9.4.11.2 焊接顺序：严格控制焊接顺序是保证整个构件焊接后尺寸精度的关键。

1) 钢桁架平拼时的施焊顺序，如下图所示：

顺序：将小拼单元放置在拼装平台上→定位校正→节点处临时螺栓连接→调整、校正→紧固临时螺栓→焊接



附图 6-75 桁架平拼施焊顺序

2) 钢桁架立拼时的施焊顺序:

先焊上弦杆, 后焊下弦杆, 最后焊连接接口处腹杆。

顺序: 将平拼后的单元放置在立拼靠放支架上→调整校正→节点处临时螺栓连接→调整、校正→紧固临时螺栓→焊接。

#### 9.4.11.3 构件对接焊接工艺

构件对接安装焊接的重中之重, 必须从组对、校正、复验、预留焊接收缩量、焊接定位、焊前防护、清理、焊接、焊后热调、质量检验等工序严格控制, 才能确保接头焊后质量全面达到标准。

组对: 组对前采用锉刀和砂布将坡口内壁 10-15mm 仔细砂磨去除锈蚀。坡口外壁自坡口边 10-15mm 范围内也必须仔细驱除锈蚀与污物; 组对时, 不得在接近坡口处管壁上引弧点焊夹具或硬性敲打。注: (必须从组装质量始按 I 级标准控制)

校正复检、预留焊接收缩量: 加工制作可能产生的误差以及运输中产生的变形, 到现场组对时将集中反映在接头处。因此, 组对后校正是必须的, 焊前应经专用器具对同心度、坡口、间隙等认真核对, 确认无误差后采用千斤顶之类起重机具布置在接头左右不小于 1.5m 米距离处, 预先将构件顶升到构件上部间隙大于下部间隙 1.5-2 mm。注: (正在焊接的接头禁止荷载)

#### 9.4.11.4 焊接定位

焊接定位对于管口的焊接质量具有十分重要的影响。构件焊接、组装方式中采用了连接板预连接方法。

定位焊采用小直径焊条。焊条需烘烤不少于 30 分钟，烘烤温度不低于 250℃。定位焊采用与正式焊接相同的工艺，要求如下： $L \geq 50\text{mm}$ ，焊肉  $h \approx 4\text{mm}$ ，单面焊双面成形，内壁不得凹陷。

前防护：桁架上下弦杆件接头处焊前必须做好防风雨措施，供焊接的作业平台应能满足如下要求：平台面距管底部高度约为 650mm；密铺木质脚手板，左右前后幅宽大于 0.900 米；架设稳定，上弦平台还应不影响两接头的同时操作。

焊前清理：正式焊接前，将定位焊处渣皮飞溅、雾状附着物仔细除去，定位焊起点与收弧处必须用角向磨光机修磨成缓坡状，且确认无未熔合、收缩孔等缺陷存在。检查完毕，采用氧炔焰割炬除去连接板。连接板的切除应留下不少于 5mm 的余量，除去一切妨碍焊接的器材。

焊接：上弦杆对接接头的焊接采用特殊的左右两根同时施焊方式，操作者分别采取共同先在外侧起焊，后在内侧施焊的顺序，自根部起始至面缝止，每层次均按此顺序实施。

#### 9.4.11.5 构件对接焊按下述工艺实施

根部焊接：根部施焊应自下部起始处超越中心线 10mm 起弧，与定位焊接头处应前行 10mm 收弧，再次始焊应在定位焊缝上退行 10mm 引弧，在顶部中心处熄弧时应超越中心线至少 15mm 并填满弧坑；另一半焊接前应将前部始焊及收弧处修磨成较大缓坡状并确认无未熔合即为熔透现象后在前半部焊缝上引弧。仰焊接头处应用力上顶，完全击穿；上部接头处应不熄弧连续引带到至接头处 5mm 时稍用力下压，并连弧超越中心线至少一个熔池长度(10-15mm)方允许熄弧；

次层焊接：焊接前剔除首层焊道上的凸起部分及引弧收弧造成的多余部分，仔细检查坡口边沿有无未熔合及凹陷夹角，如有必须除去。飞溅与雾状附着物，采用角向磨光机时，应注意不得伤及坡口边沿。此层的焊接在仰焊部分时采用小直径焊条，仰爬坡时电流稍调小，立焊部位时选用较大直径焊条，电流适中，焊至爬坡时电流逐渐增大，在平焊部位再次增大，其余要求与首层相同。

填充层焊接：填充层的焊接工艺过程与次层完全相同，仅在接近面层时，注

意均匀流出 1.5-2mm 的深度，且不得伤及坡边。

面层的焊接：杆面层焊接，直接关系到接头的外观质量能否满足质量要求，因此在面层焊接时，应注意选用较小电流值并注意在坡口边溶合时间稍长，接头使换条鱼重新燃弧动作要快捷。

焊后清理与检查：上、下弦杆焊后应认真出去飞溅与焊渣，并认真采用量规等器具对外观几何尺寸进行检查，不得有低凹、焊瘤、咬边、气孔、未溶合、裂纹等缺陷存在。

经自检满足外观质量标准的接头应鉴上焊工编号钢印，并采用氧炔焰调整接头上、下部温差。处理完毕立即采用不少于两层石棉布紧裹并用扎丝捆紧。

接头焊接完毕后，应待冷却至常温后进行 Ut 检验，经检验合格后的接头质量必须符合 JB1152-82- I 级焊缝标准。

## 9.5 焊接质量检查

### 9.5.1 一般规定

9.5.1.1 质量检查人员应按施工图纸和技术文件要求，对焊接质量进行监督和检查。

9.5.1.2 质量检查人员的主要职责应为：

- 1) 对所有钢材及焊接材料的规格、型号、材质以及外观进行检查，均应符合图纸和相关规程、标准的要求；
- 2) 监督检查焊工合格证及认可施焊范围；
- 3) 监督检查焊工是否严格按焊接工艺技术文件要求及操作规程施焊；
- 4) 对焊接质量按照设计图纸、技术文件及本规程要求进行验收检验。

9.5.1.3 检查前应根据施工图及说明文件规定的焊缝质量等级要求编制检查方案，由技术负责人批准并报监理工程师备案。检查方案应包括检查批的划分、抽

样检查的抽样方法、检查项目、检查方法、检查时机及相应的验收标准等内容。

#### 9.5.1.4 抽样检查时，应符合下列要求：

1) 焊缝处数的计数方法：工厂制作焊缝长度小于等于 1000mm 时，每条焊缝为 1 处；长度大于 1000mm 时，将其划分为每 300mm 为 1 处；现场安装焊缝每条焊缝为 1 处；

2) 可按下列方法确定检查批：

按焊接部位或接头形式分别组成批；

工厂制作焊缝可以同一工区（车间）按一定的焊缝数量组成批；

现场安装焊缝可以区段组成批；

3) 批的大小宜为 300~600 处；

4) 抽样检查除设计指定焊缝外，应采用随机取样方式取样。

9.5.1.5 抽样检查的焊缝如不合格率小于 2% 时，该批验收应定为合格；不合格率大于 5% 时，该批验收应定为不合格；不合格率为 2%~5% 时，应加倍抽检，且必须在原不合格部位两侧的焊缝延长线各增加一处，如在所有抽检焊缝中，不合格率不大于 3% 时，该批验收应定为合格，大于 3% 时，该批验收应定为不合格。当批量验收不合格时，应对该批余下焊缝的全数进行检查。当检查出一处裂纹缺陷时，应加倍检查，如在加倍抽检焊缝中，未检查出其它裂纹缺陷时，该批验收应定为合格，当检查出多处裂纹缺陷或加倍抽查又发现裂纹缺陷时，应对该批余下焊缝的全数进行检查。

9.5.1.6 所有查出的不合格焊接部位应按有关规定予以补修至检查合格。

### 9.5.2 外观检查

9.5.2.1 所有焊缝应冷却到环境温度后进行外观检查，II、III 类钢材的焊缝应以焊接完成 24h 后检查结果作为验收依据，IV 类钢材以焊接完成 48h 后的检查结果作为验收依据。

**9.5.2.2** 外观检查一般用目测，裂纹的检查应辅以 5 倍放大镜并在合适的光照条件下进行，必要时可采用磁粉探伤或渗透探伤，尺寸的测量应用量具、卡规。

**9.5.2.3** 焊缝外观质量应符合下列规定：

1) 一级焊缝不得存在未焊满、根部收缩、咬边和接头不良等缺陷，一级焊缝和二级焊缝不得存在表面气孔、夹渣、裂纹和电弧擦伤等缺陷；

2) 二级焊缝的外观质量除应符合第一条外，尚应满足表“焊缝外观质量允许偏差”的有关规定；

3) 三级焊缝的外观质量应符合表“焊缝外观质量允许偏差”的有关规定；

**附表 6-54 焊缝外观质量允许偏差**

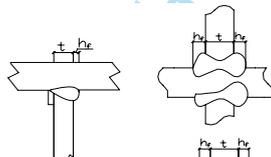
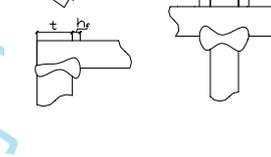
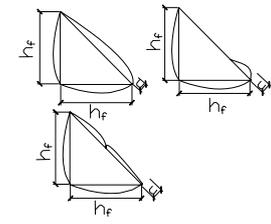
焊缝质量等级 检验项目	二级	三级
未焊满	$\leq 0.2 + 0.02t$ 且 $\leq 1\text{mm}$ ，每 100mm 长度焊缝内未焊满累积长度 $\leq 25\text{mm}$	$\leq 0.2 + 0.04t$ 且 $\leq 2\text{mm}$ ，每 100mm 长度焊缝内未焊满累积长度 $\leq 25\text{mm}$
根部收缩	$\leq 0.2 + 0.02t$ 且 $\leq 1\text{mm}$ ，长度不限	$\leq 0.2 + 0.04t$ 且 $\leq 2\text{mm}$ ，长度不限
咬边	$\leq 0.05t$ 且 $\leq 0.5\text{mm}$ ，连续长度 $\leq 100\text{mm}$ ，且焊缝两侧咬边总长 $\leq 10\%$ 焊缝全长	$\leq 0.1t$ 且 $\leq 1\text{mm}$ ，长度不限
裂纹	不允许	允许存在长度 $\leq 5\text{mm}$ 的弧坑裂纹
电弧擦伤	不允许	允许存在个别电弧擦伤
接头不良	缺口深度 $\leq 0.05t$ 且 $\leq 0.5\text{mm}$ ，每 1000mm 长度焊缝内不得超过 1 处	缺口深度 $\leq 0.1t$ 且 $\leq 1\text{mm}$ ，每 1000mm 长度焊缝内不得超过 1 处
表面气孔	不允许	每 50mm 长度焊缝内允许存在气孔 $\leq 0.4$ 且 $\leq$

		存在直径 $<0.4t$ 且 $\leq 3\text{mm}$ 的气孔2个;孔距应 $\geq 6$ 倍孔径
表面夹渣	不允许	深 $\leq 0.2t$ ,长 $\leq 0.5t$ 且 $\leq 20\text{mm}$

### 9.5.2.4 焊缝尺寸应符合下列规定:

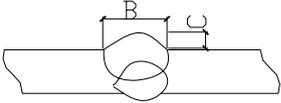
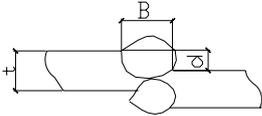
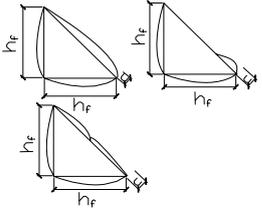
1) 焊缝焊脚尺寸应符合表“焊缝焊脚尺寸允许偏差”的规定;

附表 6-55 焊缝焊脚尺寸允许偏差

序号	项目	示意图	允许偏差(mm)	
1	一般全焊透的角接与对接组合焊缝		$h_f \geq \left(\frac{t}{4}\right)_0^{+4}$ 且 $\leq 10$	
2	需经疲劳验算的全焊透角接与对接组合焊缝		$h_f \geq \left(\frac{t}{2}\right)_0^{+4}$ 且 $\leq 10$	
3	角焊缝及部分焊透的角接与对接组合焊缝		$h_f \leq 6$ 时 $0 \sim 1.5$	$h_f \leq 6$ 时 $0 \sim 3.0$
注:1、 $h_f > 8.0\text{mm}$ 的角焊缝其局部焊脚尺寸允许低于设计要求值1.0mm,但总长度不得超过焊缝长度的10%; 2、焊接H形桁架腹板与翼缘板的焊缝两端在其两倍翼缘板宽度范围内,焊缝的焊脚尺寸不得低于设计要求值				

2) 焊缝余高及错边应符合表“焊缝余高和错边允许偏差”的规定。

**附表 6-56 焊缝余高和错边允许偏差**

序号	项目	示意图	允许偏差 (mm)	
			一、二级	三级
1	对接焊缝余高 (C)		$B < 20$ 时, C 为 0~3; $B \geq 20$ 时, C 为 0~4;	$B < 20$ 时, C 为 0~3.5; $B \geq 20$ 时, C 为 0~5;
2	对接焊缝错边 (d)		$d < 0.1t$ 且 $\leq 2.0$	$d < 0.15t$ 且 $\leq 3.0$
3	角焊缝余高 (C)		$h_f \leq 6$ 时 C 为 0~1.5; $h_f > 6$ 时 C 为 0~3.0	

**9.5.2.5** 电渣焊、气电立焊接头的焊缝外观成形应光滑, 不得有未熔合、裂纹等缺陷; 当板厚小于 30mm 时, 压痕、咬边深度不得大于 0.5mm; 板厚大于或等于 30mm 时, 压痕、咬边深度不得大于 1.0mm。

### 9.5.3 无损检测

**9.5.3.1** 无损检测应在外观检查合格后进行。

**9.5.3.2** 焊缝无损检测报告签发人员必须持有相应探伤方法的 II 级或 II 级以上资格证书。

**9.5.3.3** 设计要求全焊透的焊缝, 其内部缺陷的检验应符合下列要求:

1) 一级焊缝应进行 100% 的检验, 其合格等级应为现行国家标准《钢焊缝手工超声波探伤方法及质量分级》(GB11345) B 级检验的 II 级及 II 级以上;

2) 二级焊缝应进行抽检, 抽检比例应不小于 20%, 其合格等级应为现行国家

标准《钢焊缝手工超声波探伤方法及质量分级法》(GB11345) B级检验的Ⅲ级及Ⅲ级以上;

3) 全焊透的三级焊缝可不进行无损检测。

**9.5.3.4** 箱形构件隔板电渣焊焊缝无损检测结果除应符合第**9.5.3.3**条的有关规定外,还应按《建筑钢结构焊接技术规程》附录C进行焊缝熔透宽度、焊缝偏移检测。

**9.5.3.5** 设计文件指定进行射线探伤或超声波探伤不能对缺陷性质作出判断时,可采用射线探伤进行检测、验证。

**9.5.3.6** 射线探伤应符合现行国家标准《钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级》(GB3323)的规定,射线照相的质量等级应符合AB级的要求。一级焊缝评定合格等级应为《钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级》(GB3323)的Ⅱ级及Ⅱ级以上,二级焊缝评定合格等级应为《钢熔化焊对接接头射线照相和质量分级》(GB3323)的Ⅲ级及Ⅲ级以上。

**9.5.3.7** 下列情况之一应进行表面检测:

- 1) 外观检查发现裂纹时,应对该批中同类焊缝进行100%的表面检测;
- 2) 外观检查发现有裂纹时,应对怀疑的部位进行表面探伤;
- 3) 设计图纸规定进行表面探伤时;
- 4) 检查员认为有必要时。

**9.5.3.8** 磁粉探伤应符合国家现行标准《焊缝磁粉检验方法和缺陷磁痕的分级》(JB/T6061)的规定,渗透探伤应符合国家现行标准《焊缝渗透检验方法和缺陷迹痕的分级》(JB/T6062)的规定。

## 第十节 高强度螺栓

### 10.1 高强度螺栓难点

#### 10.1.1 关于累计误差问题造成穿孔困难:

从高强度螺栓连接构件制孔的允许偏差、孔距的允许偏差。到测量放线,地脚螺栓预埋,钢结构柱钢桁架安装都有允许偏差范围。由于高强度螺栓孔比螺栓杆大 1.5~2.0mm,如果上述各道工序控制不力,螺栓杆就会穿不过去。

#### 10.1.2 当螺栓杆穿孔不能通过时,由于厚板低合金高强度结构钢扩孔艰难。

#### 10.1.3 关于摩擦面问题:

**10.1.3.1** 摩擦型高强度螺栓,是在荷载设计值下,连接件之间产生相对滑移,依据摩擦面作为其承载能力极限状态。如果摩擦面保证不了,高强度螺栓直接受剪,不符合摩擦型高强度螺栓的受力原理。

**10.1.3.2** 本工程箱型段较多,如果由于多种原因造成板间不密贴,摩擦面会先失去作用。主要有以下几种情况:

连接处箱型板是否平,不平就不密贴。

连接处箱型断面是否受扭,有扭就不密贴。

牛腿连接处轴线是否对位,不对位就不密贴。

遇有端板连接是否平、直、变形,是否产生间隙不密合。

**10.1.3.3** 摩擦面抗滑移数较大时,要做好成品保护较难。

**10.1.4** 对锐角杆件连接节点采用高强度螺栓不易施拧。

**10.1.5** 当板厚  $t \leq 20\text{mm}$  时箱型断面采用高强度螺栓连接比较容易。

## 10.2 高强度螺栓试验及复验

### 10.2.1 高强度螺栓连接摩擦面抗滑移系数试验和复验:

**10.2.1.1** 抗滑移系数检验用的试件由制造厂加工, 试件与所代表的构件应为同一材质、同一摩擦面处理工艺、同批制作、使用同一性能等级、同一直径的高强度螺栓连接副, 并在相同条件下同时发运。

#### 10.2.1.2 抗滑移系数 $\mu$ 按下式计算:

$$\mu = N / n_f \cdot \sum P_t$$

式中:  $N$ —滑动荷载;

$n_f$ —传力摩擦面数,  $n_f=2$ ;

$\sum P_t$ —紧固轴力之和。

#### 10.2.1.3 抗滑移系数检验的最小值必须等于或大于设计规定值。

### 10.2.2 高强度大六角头螺栓连接副扭矩系数复验

大六角头高强度螺栓施工前, 按出厂批复验高强度螺栓连接副的扭矩系数, 每批复验 5 套。5 套扭矩系数的平均值应在 0.110~0.150 范围之内, 其标准偏差应小于或等于 0.010。

大六角头高强度螺栓的施工扭矩由下式计算确定:

$$T_c = k \cdot P_c \cdot d$$

式中:  $T_c$ —施工扭矩; ( $N \cdot m$ )

$k$ —高强度螺栓连接副的扭矩系数平均值;

$P_c$ —高强度螺栓施工预拉力 ( $kN$ );

$d$ —高强度螺栓螺杆直径。

**附表 6-57 高强度螺栓施工预拉力 Pc (kN)**

螺栓性能等级	螺栓公称直径 (mm)						
	M12	M16	M20	(M22)	M24	(M27)	M30
8.8S	45	75	120	150	170	225	275
10.9S	60	110	170	210	250	320	390

### 10.2.3 扭剪型高强度螺栓连接副预拉力复验

扭剪型高强度螺栓施工前,按出厂批复验高强度螺栓连接副的紧固轴力,每批复验 5 套。5 套紧固轴力的平均值和变异系数应符合下表规定。

$$\text{变异系数} = \frac{\text{标准偏差}}{\text{紧固轴力的平均值}} \times 100\%$$

**附表 6-58 扭剪型高强度螺栓紧固轴力(kN)**

螺栓直径 d(mm)		16	20	(22)	24
每批紧固轴力的平均值	公称	109	170	211	245
	最大	120	186	231	270
	最小	99	154	191	222
紧固轴力变异系数		≤10%			

## 10.3 储存与保管

**10.3.1** 高强度螺栓连接副必须在同批内配套使用。

**10.3.2** 高强度螺栓连接副在运输、保管过程中,要轻装、轻卸,防止损伤螺纹。

**10.3.3** 高强度螺栓连接副按批号、规格分类保管,室内存放,堆放不宜过高,防止生锈

和沾染脏物。

**10.3.4** 高强度螺栓连接副在安装使用前严禁任意开箱。

**10.3.5** 工地安装时，按当天高强度螺栓连接副需要使用的数量领取。当天安装剩余的必须妥善保管，不得乱扔、乱放。

**10.3.6** 安装过程中，不得碰伤螺纹及沾染脏物，以防扭矩系数发生变化。

#### **10.4 高强度螺栓的安装**

**10.4.1** 高强度螺栓连接处摩擦面如采用生锈处理方法时，安装前应以细钢丝刷除去摩擦面上的浮锈。

**10.4.2** 不得用高强度螺栓兼做临时螺栓，以防损伤螺纹引起扭矩系数的变化。

**10.4.3** 高强度螺栓的安装应在结构构件中心位置调整后进行，其穿入方向应以施工方便为准，并力求一致。高强度螺栓连接副组装时，螺母带圆台面的一侧朝向垫圈有倒角的一侧。

**10.4.4** 安装高强度螺栓时，严禁强行穿入螺栓（如用锤敲打）。如不能自由穿入时，该孔用铰刀进行修整，修整后孔的最大直径应小于 1.2 倍螺栓直径。修孔时，为防止铁屑落入板迭缝中，铰孔前应将四周螺栓全部拧紧，使板迭密贴后再进行。严禁气割扩孔。

**10.4.5** 安装高强度螺栓时，构件的摩擦面应保持干燥，不得再雨中作业。

**10.4.6** 高强度螺栓施工所用的扭矩扳手，班前必须校正，其扭矩误差不得大于 $\pm 5\%$ ，合格后方准使用。校正用的扭矩扳手，其扭矩误差不得大于 $\pm 3\%$ 。

**10.4.7** 高强度螺栓的拧紧分为初拧、终拧。对于大型节点分为初拧、复拧、终拧。初拧扭矩为施工扭矩的 50%左右，复拧扭矩等于初拧扭矩。初拧或复拧后的高强度螺栓用颜色在螺母上涂上标记，然后按规定的施工扭矩值进行终拧。终拧后的高强度螺栓用另一种颜色在螺母上涂上标记。

**10.4.8** 高强度螺栓拧紧时，只准在螺母上施加扭矩。

**10.4.9** 高强度螺栓在初拧、复拧和终拧时，连接处的螺栓按一定顺序施拧，一般由螺栓

群中央顺序向外拧紧。

**10.4.10** 高强度螺栓的初拧、复拧、终拧应在同一天完成。

## **10.5 高强度螺栓质量检验**

**10.5.1** 用小锤(0.3kg)敲击法对高强度螺栓进行普查，以防漏拧。

**10.5.2** 对每个节点螺栓数的 10%，但不少于一个进行扭矩检查。扭矩检查应在螺栓终拧后的 1h 以后、24h 之前完成。

## **第十一节 钢结构测量**

### **11.1 钢结构测量工作的难点**

**11.1.1** 测量精度高：当使用高强度螺栓连接时，最终闭合差仅为 $\pm 1.5\sim 2.0\text{mm}$ ，相对于环柱之间的距离精度高达 1/6 万。

**11.1.2** 工作难度大：虽然测量仪器的精度可以满足钢结构安装测量控制的精度要求，但受提升支架、承重支撑架、脚手架、已安装的钢结构和施工平台的影响，若在钢结构的下部进行测量，测量视线必然会受到相当严重的阻碍，导致测量仪器无法工作。

**11.1.3** 工作量大，无论是在地脚螺栓埋设、各种钢结构安装过程中，还是在变形监测中，大多需要实时或即时测量来密切配合安装工作。

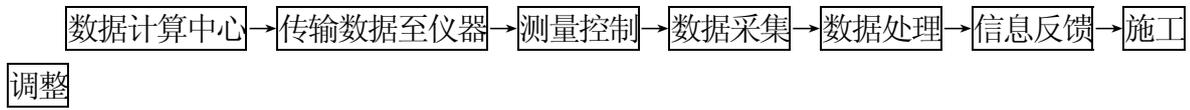
**11.1.4** 受外界因素干扰大：由于本工程钢结构的跨度大、自重大，施工工期长，温度变形和荷载变形对钢结构安装的影响很大，为测量提出了新的课题。

**11.1.5** 结构节点复杂：在制作和安装过程中，易产生积累误差。

### **11.2 工作流程及内容**

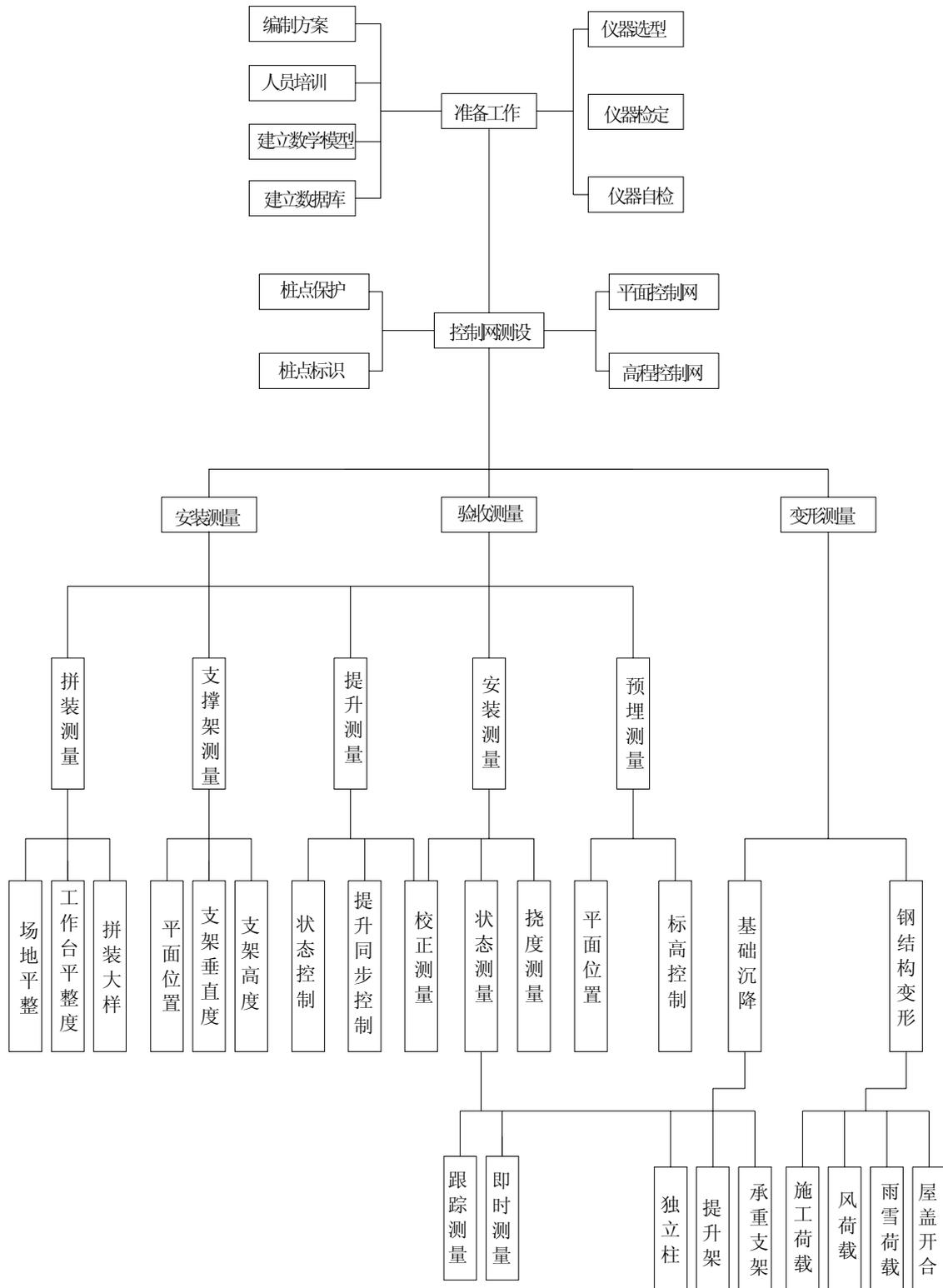
#### **11.2.1 测量控制流程及测量工作流程**

### 11.2.1.1 测量控制流程



### 11.2.1.2 测量工作流程

筑龙网 WWW.ZHULONG.COM



附图 6-76 测量工作流程

**11.2.2 地脚螺栓测量定位：**它的作用是保证钢结构生根位置的正确性，它的特点是相对精度高，一般相邻两点的距离或方向误差 $\leq 1\text{mm}$ 。拟采用全站仪坐标放样进行平面位置的测设，用数字水准仪进行高程控制。

**11.2.3 安装过程控制测量：**它的作用是确保安装工作的顺利完成，它的特点是测量工作量大，需要即时测量来配合安装，拟采用激光导向、全站仪三维坐标测量和电子水准测量进行平面位置控制和高程控制。为提高测量工作效率，在施测中，均采用电子测量仪器进行测量和数据的采集，由计算机进行数据处理，解算出被观测点位或部件的即时位置，并为部件的安装校正提供依据。

**11.2.4 变形监测：**它的作用是验证设计的合理性及结构和安装过程的安全性，其特点一是监测精度高，需进行精密变形监测；二是监测频次密集，需进行时时监测。拟采用精密电子水准仪对提升架基础、承重支撑架基础和柱基础进行沉降变形监测，用自动跟踪高精度全站仪或 GPS 对钢结构进行三维变形观测。

### 11.3 测量的组织与管理

**11.3.1 职责分工：**平面控制和高程控制网由施工方提出布设要求，由总承包负责测设，钢结构拼装的几何尺寸校核，拼装大样，安装控制测量由施工方负责；变形监测由总承包负责。

**11.3.2 人员组织：**组建测量专业队，下设指挥协调组、测量组和检验复测组。

**11.3.2.1 指挥协调组：**负责测量数据计算、分析，编制测量作业指导书；协调与总包及相关单位的测量工作；测量成果、资料管理；统一协调测量与安装的调度、指挥和联络工作。由 3~5 名测量专业技术人员组成。

**11.3.2.2 测量组：**负责钢结构安装过程的全部测量工作，由 15~20 名测量专业人员组成，并保证每个作业段不少于 5 人。

**11.3.2.3 复测组：**负责本单位测量工作的复测检验，组织协调监理及相关管理部门的复测检验工作，由 3 名测量专业技术人员组成。

**11.3.2.4 所有测量人员均持有相应的资质或测量工作上岗证**

### 11.3.3 仪器的配备

附表 6-59 钢结构安装测量仪器配备

序号	名称	精度	数量	用途
1	全站仪	1+1ppm	1	安装控制
2	全站仪	2+2ppm	3	安装控制, 放样
3	经纬仪	2"	4	方向测量
4	水准仪	S <sub>1</sub>	2	高程控制
5	激光铅直仪	5"	6~8 台	铅直控制
6	激光平面仪	10"	1 台	水平面控制
7	水准仪	S2.5	4 台	高程控制
8	50m 钢尺	一级	10 把	量距
9	拉力器	150N	6 个	配合钢尺量距
10	红外测温仪	±0.5℃	1 台	配合钢尺量距
11	计算机		1 台	数据计算、分析

所有进入施工现场的测量仪器均要进行计量检定, 不得用未经检定或已超过检定周期的测量仪器, 每月对仪器进行一次自检, 确保其始终处于受控状态。

**11.3.4 复测、验线:** 验线工作与放线工作要做到人员、仪器和测量方法三分开, 要独立进行, 验线的精度要高于放线的精度, 复测验线的部位是重要数据、重点部位和关键环节。

### 11.3.5 精度保障

钢结构安装精度要求螺栓连接时相邻两点间最大允许偏差为±1.5~2.0mm。精密水准仪

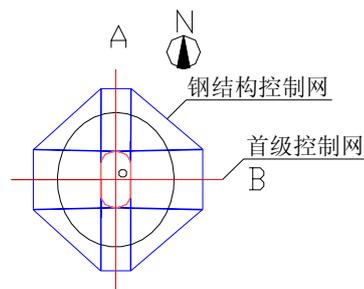
的测量精度可以达到 $\pm 0.1\text{mm}$ ；高精度全站仪在工作半径为 100m 时测量精度可以达到 $\pm 1.1\text{mm}$ ；激光铅直仪、扫平仪在工作半径为 50m 时测量精度可以达到 $\pm 2.5\text{mm}$ 。因此只要使用相应精度的测量仪器、和合理的测量方法，测量工作的精度是可以满足安装要求的。

### 11.3.6 控制网的布设

#### 11.3.6.1 平面控制网布设：

钢结构安装测量控制网与土建施工控制网采用同一场地坐标系，即以体育场中心为原点，以北端长半轴为 A 轴，东端短半轴为 B 轴。由于钢结构安装控制测量的精度要比土建施测精度高，所以要测设一个独立的控制网来保证安装控制的精度。控制网的网形为井字形，见示意图：

控制网的精度为量距 1/4 万，测角 $\pm 8''$ ，相邻两点间的距离误差 $\leq \pm 1\text{mm}$ 。为提高控制网的精度，在测设时，要对内外两侧的桩点进行图形闭合，增加多余观测并对测量成果进行边角平差，并对误差进行分配。



附图 6-77 控制网示意图

拟搭设四个高出屋盖的测量平台以解

决测量视线受阻挡的问题。若条件许可，优先考虑借用先行安装到位的钢柱顶或中心环体作为测量平台。在使用平台进行观测时，为防止平台位移对观测产生不利影响，每次使用前必须先对点位进行校核，无误后方可使用。

**11.3.6.2 高程控制网布设：**高程控制网沿用土建高程控制网，不再另设。

## 11.4 测量工艺

### 11.4.1 拼装

**11.4.1.1 拼装场地测量：**在钢构件进入拼装现场之前，首先进行拼装场地平整度测量，使场地满足拼装要求；根据拼装要求设置校准拼装工作平台。

**11.4.1.2 根据设计图，在拼装工作台上测定出待拼装钢结构在拼装状态下的水平投影，主**

要包括：轴线、外廓线、节点大样及待拼装体的平面挠度。在确定钢结构长度时要考虑温度变形及其它因素产生变形的影响，并对长度值进行相应的修正。

**11.4.1.3** 拼装测量主要采用常规测量仪器，以极坐标、直角坐标及距离交会等常规测量方法进行。在用钢尺量距时要采用标准拉力、进行尺长修正和温度修正。待拼装体的平整度、高度及竖向挠度采用水准测量进行控制。

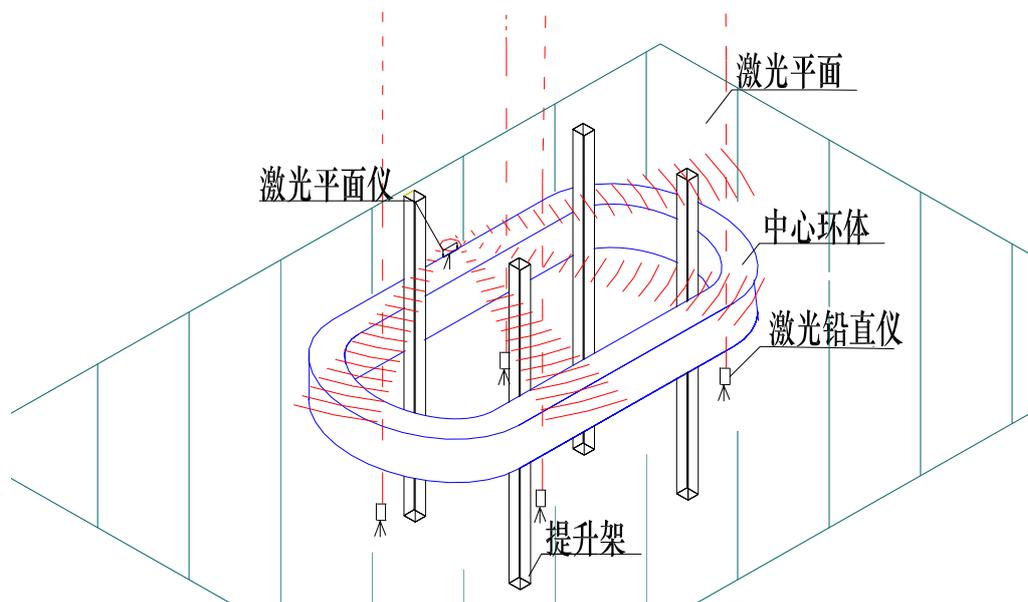
**11.4.1.4** 拼装测量的精度要求很高，尤其是纵向长度和与其它钢结构连接处的细部节点。对于关键部位，要求任意点的点位测量误差不大于 $\pm 0.5\text{mm}$ ；其余部位，要求任意点的点位测量误差不大于 $\pm 1.0\text{mm}$ 。为保证测量精度，对于关键部位要采用规化法进行测设；为提高划线精度，采用钢针划线，划线宽度小于 $0.1\text{mm}$ 。

**11.4.1.5** 拼装结束后，要对拼装体的几何尺寸进行验收测量，为最终安装提供依据。

#### **11.4.2 整体提升**

**11.4.2.1** 用全站仪精确测定出整体提升结构构件的整体水平投影和控制提升的关键测量控制点位，构件按地面上的位置线进行整体就位拼装。特别是中心环体的定位。

**11.4.2.2** 提升控制测量：与提升密切配合，在提升过程中，使用6~8台激光铅直仪对其水平方向的位置进行校准，在提升结构的顶部（中心环体上弦），设1台激光平面仪来控制提升的同步性，它与提升设备间实行自动化控制。具体做法是，将铅直仪安装在控制点上，在提升结构的对应位置上设置带有坐标网格的标靶，若激光束通过标靶的中心，说明提升位置保持正确，若偏标靶中心，说明提升过程中产生了偏差，应及时予以纠正，在环体顶部设置一台自动安平激光扫平仪，随结构一起提升，它在动态的提升过程中，始终提供一个同步提升的动态激光水平面，每台提升机上设置一个激光探测接受器，接受水平的激光信号，以此来控制每台提升机的提升速度，使结构在提升过程中，始终保持水平状态。采用激光平面测控的精度可达 $\pm 5\text{mm}$ 。铅直精度为 $5''$ 。



附图 6-78 提升结构位移控制

**11.4.2.3 校正测量:** 在结构提升到预定位置后,用高精度全站仪对其进行三维坐标校正测量。预先在结构预定控制位置点上粘贴反光标靶,标靶的空间位置由计算机根据钢结构数学模型计算得出,输入到全站仪的数据库中,用全站仪三维坐标放样测量的方法对标靶进行观测,全站仪就可自动计算出即时位置与设计位置的三维坐标差,并引导安装至预定设计位置。同时用全站仪采集预定控制位置点的三维坐标数据,传输到计算机即可得到点位或结构的即时空间位置。

### 11.4.3 螺栓埋设

**11.4.3.1 平面位置测量:** 在场地平面控制网上用高精度全站仪(或经纬仪)以极坐标方法确定出每根柱子的法线(纵向中心线),距离采用全站仪测距,定出地脚螺栓的中心,然后过中心点做垂线,定出横向中心线,为提高精度测设时应采用规化法进行。定位线相对于体育场中心的整体精度为 1/40000,定位方向线的测角中误差为 $\pm 5$ 秒,对应两点间的纵向距离误差为 $\pm 1.5\text{mm}$ ,相邻两点间的横向距离误差为 $\pm 1\text{mm}$ 。

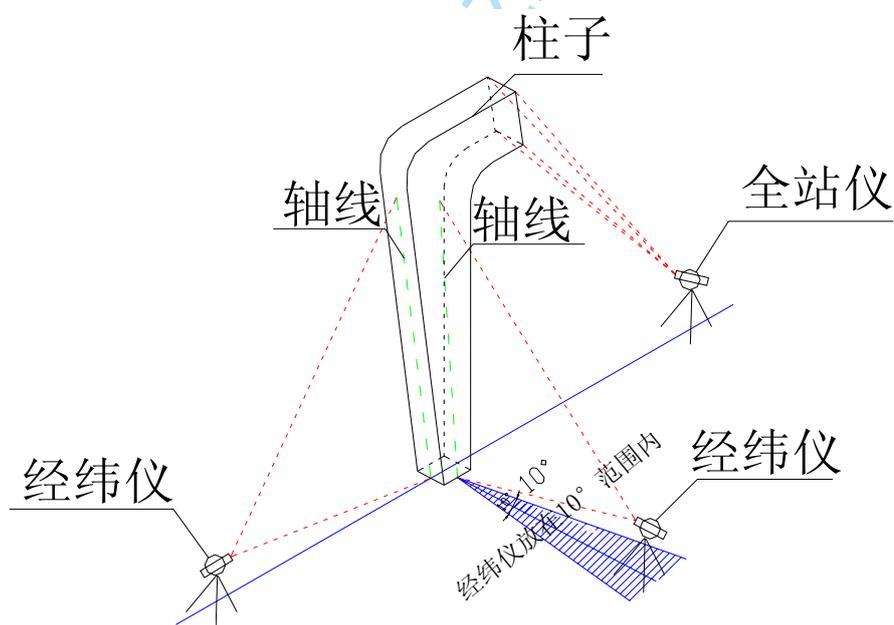
**11.4.3.2 施测方法:** 在下部混凝土中预埋与地脚螺栓定位板面同高度的角钢架子,纵横双向中心线均投测在架子上,并用红色三角标识,将其与定位板上纵横柱定位轴线比较,根据偏差情况,调整定位板,使得定位板的纵横轴线与投测的轴线完全重合为止。定位板上的纵

横轴线，与设计位置的允许误差为 0.3mm。在混凝土浇筑完毕后初凝前，应再次检测定位板上的中心线，如发现偏差应即刻校正，直至符合精度要求为止。

**11.4.3.3 标高测量方法：**地脚螺栓标高测量采用 DS1 水准仪从高程控制点直接引测到辅助安装的角钢架子上，用红油漆作好标记，根据引测的标高点，调整定位板的高度到设计位置，标高测量的允许误差为  $\pm 1\text{mm}$ 。

#### 11.4.4 钢格构柱吊装

钢格构柱安装校正采用经纬仪方向线法，将 2 台经纬仪分别安置在柱纵向和横向轴线方向上来保证柱体的垂直度，由于柱体是不规则的矩形，首先在柱体的三个平面上定出中线，当柱体上下两端中心点不在同一竖直面时，仪器必须设在与柱中心相应的、纵（横）轴线上的控制点上，当柱体中心线的两端为同一竖直面，可将经纬仪安置在与柱中心相应的、纵（横）轴线方向上（ $\gt \pm 5^\circ$ ）。柱体就位并加固后，用全站仪对顶部待接面进行测量，确定出其准确的空间位置，为下一部安装提供准确位置。



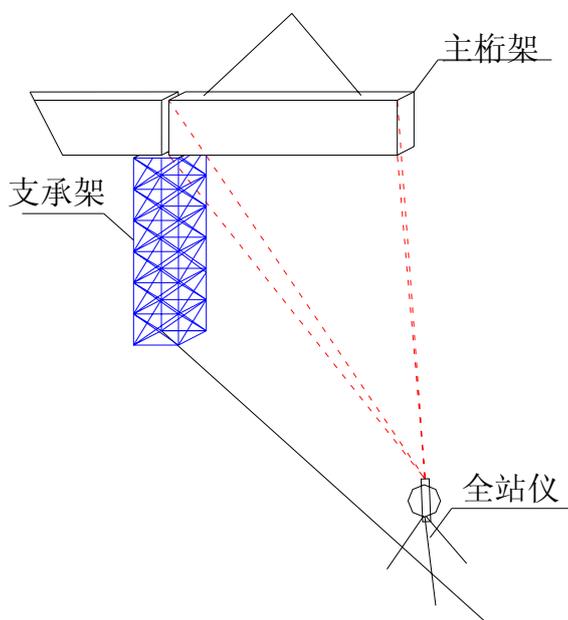
附图 6-79 钢格构柱安装测量

#### 11.4.5 主桁架安装

**11.4.5.1 井字桁架、斜桁架采用分段吊装，**测量首先要解决的是支承架的测量。根据吊装

方案用全站仪坐标测量法测设出各个承重支承架位置，并在搭设过程中提供高度控制。承重支承架搭设完成后，用全站仪坐标测量法在安装作业面上测设出钢结构的主要轴线、关键节点及分段安装的位置，为安装提供参照。

**11.4.5.2 安装过程控制测量：**在安装过程中，对被安装部件进行状态控制测量，是为了保障安装过程的安全，使操作者随时掌握被安装部件的即时状态并最终顺利安装。拟采用高精度全站仪测量对其进行三维坐标跟踪测量。



附图 6-80 主桁架安装测量

**11.4.5.3 校正测量：**在桁架进行最终安装前，用全站仪精确测定出钢格构柱面与整体提升结构中对应桁架间的距离和桁架梁在当时温度下的实际长度，为最终安装决策提供依据。

**11.4.5.4 每榀桁架安装完毕后，**要对其各个连接节点位置进行精确测量，确定出其空间位置，为下一步安装提供依据。

#### 11.4.6 开启屋盖安装

**拼装测量：**开启屋盖拟在地面进行整体立拼装，吊装就位。其拼装、吊装的测量方法与其它钢结构桁架安装相同。

轨道安装测量：轨道安装的准直测量拟采用经纬仪方向线法或激光准直导向法，轨道的位置、轨距用全站仪坐标测量进行控制和测设。

## 11.5 变形监测

**11.5.1 变形监测的目的：**是为了及时反映出被监测物体的实时状态，预测其发展趋势，为相关部门提供信息反馈，确保建筑物、重要设备及施工过程的安全性和使用功能。

### 11.5.2 变形监测的内容

**11.5.2.1 钢柱基础、承重支撑架基础及提升架基础的沉降监测；**

**11.5.2.2 钢结构受大气温度变化、风压荷载、雪荷载的变形监测；**

**11.5.2.3 提升架、承重支撑受力状态的变形监测**

**11.5.2.4 钢结构在支撑拆除过程、拆除后及运营中的变形监测；**

**11.5.2.5 开启屋盖开、合及运行过程中屋盖及钢结构的变形监测。**

**11.5.3 监测方法：**本工程的变形监测均采用电子测量仪器进行，实行数据采集和分析的自动化、智能化。每次监测结束后，将监测数据、监测结果和根据已有成果分析得出的变形规律及发展变化趋势等信息，以电子和书面两种形式及时反馈给相关部门。重型塔形支撑结构基础、独立柱基的沉降观测采用使用精密电子水准仪进行观测。钢结构施工过程中、施工完成后和开启屋盖试运行的变形监测采用高精度全站仪三维坐标测量的方法进行，对于需要实时监测的关键点位采用 GPS 卫星定位测量的方法进行。

### 11.5.4 监测点设置：

**11.5.4.1 监测基准点**应布设在变形影响范围以外，靠近观测目标，便于长期保存和联测的稳定位置。

**11.5.4.2 监测点**应设在变形量大的地段，应能确切反映变形量和变形特征的位置。具体位置待与设计商定后再确定。

**11.5.4.3 施工时**要对观测路线提供有效的保证，所有点位不得被碾压、扰动及遮挡。

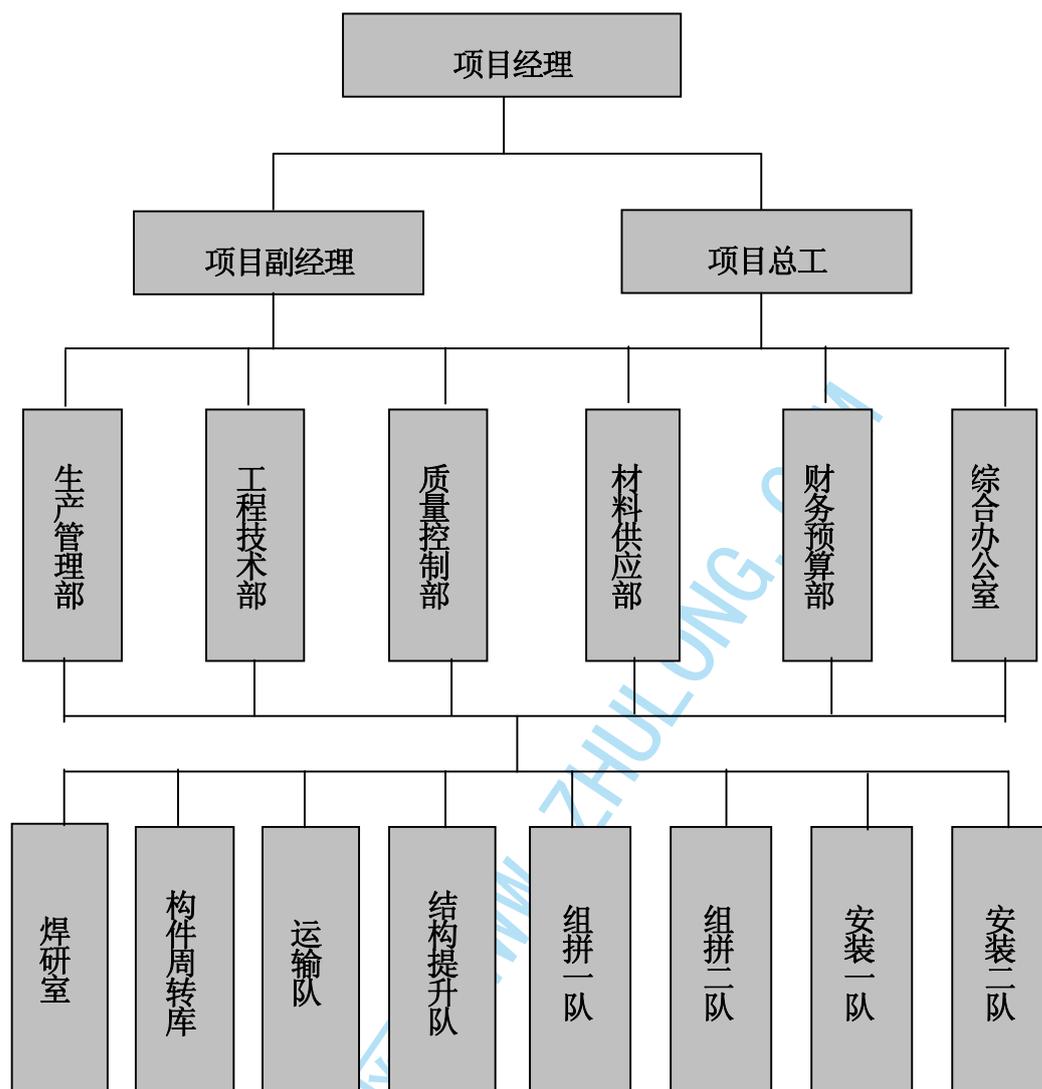
**11.5.4.4** 监测点、基准点应设有明显的标识。

**11.5.5** 监测频次：以反映荷载变化和施工进度对钢结构产生的变形量为准，当变形趋势明显异常或接近最大允许变量时应增加变形监测的频次。

**11.5.6** 监测精度。变形监测的观测中误差一般取允许变形量的 1/20，全站仪三维坐标监测的精度为 $\pm 2\text{mm}$ ，GPS 三维坐标监测的精度为 $\pm 3\text{mm}$ ，完全可以满足变形监测的精度要求。沉降变形监测采用国家二等水准测量的技术要求进行

## 第十二节 施工组织管理机构

### 12.1 施工组织管理机构



附图 6-81 施工组织管理机构

## 12.2 管理人员及主要部门职责

### 12.2.1 项目经理

#### 12.2.1.1 全面主持项目机构的日常工作；

**12.2.1.2** 项目实施过程的全职组织者和指挥者，对项目的工期、质量、安全、环保、服务负全责；

**12.2.1.3** 组织编制项目质量保证计划、各类施工技术方案、安全文明施工组织管理方案并督促落实工作；

**12.2.1.4** 具体负责项目质量、工期、安全目标的管理监督工作；

## **12.2.2** 项目副经理

**12.2.2.1** 协助项目经理工作，具体负责施工生产的技术、质量、安全、进度的组织控制和管理，保证质量体系有效运行；

**12.2.2.2** 具体负责项目质量保证计划、各类施工技术方案和安全文明施工组织管理方案的编制和落实工作；

**12.2.2.3** 协助项目总工程师进行新材料、新技术、新工艺在本工程的推广应用和技术总结工作；

## **12.2.3** 总工程师

**12.2.3.1** 协助项目经理管理和领导技术质量工作；

**12.2.3.2** 组织人员参与与业主、监理或设计方案就施工方案、技术、设计、质量等方面的问题的会议；

**12.2.3.3** 参与项目质量策划并督促技术方案和施工方案主要内容的落实工作，组织有关材料的试验和分项工程的检查验收工作；

**12.2.3.4** 对新技术、新工艺和新材料在本工程的推广和使用进行指导并把关；

## **12.2.4** 生产管理部

**12.2.4.1** 编制施工进度计划，并负责检查落实；

**12.2.4.2** 组织协调机械设备、劳动力的配备，保证工程进度；

**12.2.4.3** 协助技术、质量部门编制环保、安全运行体系，并负责落实；

**12.2.4.4** 负责现场总平面的布置方案及其调整方案；

## **12.2.5** 工程技术部

**12.2.5.1** 协助项目总工程师负责项目施工的技术工作；

**12.2.5.2** 负责招投标阶段技术方案的编制工作，以及中标后的施工方案的编制工作；

**12.2.5.3** 编制本项目环境保护及职业安全健康运行体系，并监督落实；

**12.2.5.4** 负责编制执行施工技术及安全交底内容；

**12.2.5.5** 负责施工过程中技术处理及施工资料收集整理工作；

**12.2.5.6** 协助项目总工程师进行新材料、新技术、新工艺在本工程的推广应用和技术总结工作；

#### **12.2.6 质量控制部**

**12.2.6.1** 协助项目总工程师工作，负责处理项目施工的质量问题；

**12.2.6.2** 编制本项目质量保证计划，负责质量体系运行；

**12.2.6.3** 负责实施项目过程中各工序质量检查工作；

**12.2.6.4** 负责管理落实质量纪录的整理存档工作；

**12.2.6.5** 负责质量目标的分解落实，编制质量奖惩责任制度；

#### **12.2.7 财务预算部**

**12.2.7.1** 投标阶段，协助项目经理实施投标经济文件准备、项目合同、经营事务；

**12.2.7.2** 具体负责项目预算成本的编制和成本控制工作；

**12.2.7.3** 具体负责项目合同管理、造价确定的日常工作；

#### **12.2.8 材料供应部**

**12.2.8.1** 具体负责项目物资设备的采购和供应工作，为招投标经济文件准备提供基础物资价格数据；

**12.2.8.2** 具体负责项目物资采购计划、进场计划和统计工作；

**12.2.8.3** 具体负责本项目物资供应商的选择工作；

**12.2.8.4** 负责监督检查所有进场物资的质量,协助技术质量部做好技术资料的收集整理工作;

### **12.2.9 综合办公室**

**12.2.9.1** 负责现场文书档案工作和后勤保障管理;;

**12.2.9.2** 协调公共关系,与地方政府有关部门及时沟通,监督各项法规的落实;

**12.2.9.3** 建立扰民接待室,做好附近居民和单位的宣传解释工作,并纪录反馈居民和单位的意见。

**12.2.9.4** 负责现场人员、车辆出入管理工作;

**12.2.9.5** 负责防火、防盗、交通安全、联防等工作。

## **第十三节 工程质量保证体系**

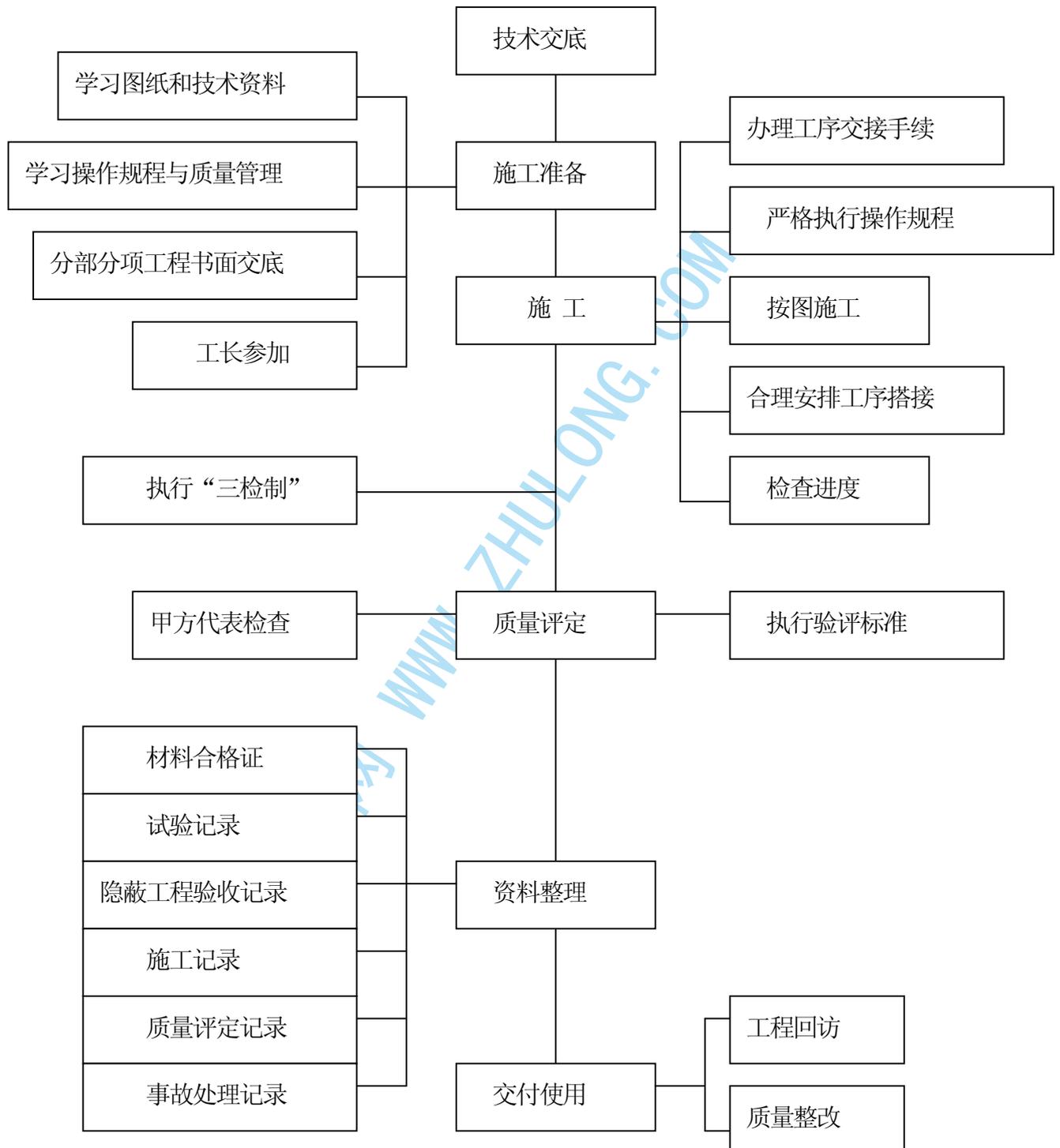
### **13.1 工程质量保证体系**

按照 GB/T19002-ISO9002 模式成立以项目经理为首的质量保证组织机构,以施工组织管理机构为框架进行人员组成。配备专职质量检查员,对质量实行全过程控制。

树立全员质量意识,贯彻“谁管生产,谁管理质量;谁施工,谁负责质量;谁操作,谁保证质量”的原则,实行工程质量岗位责任制,并采用经济手段来辅助质量岗位责任制的落实。

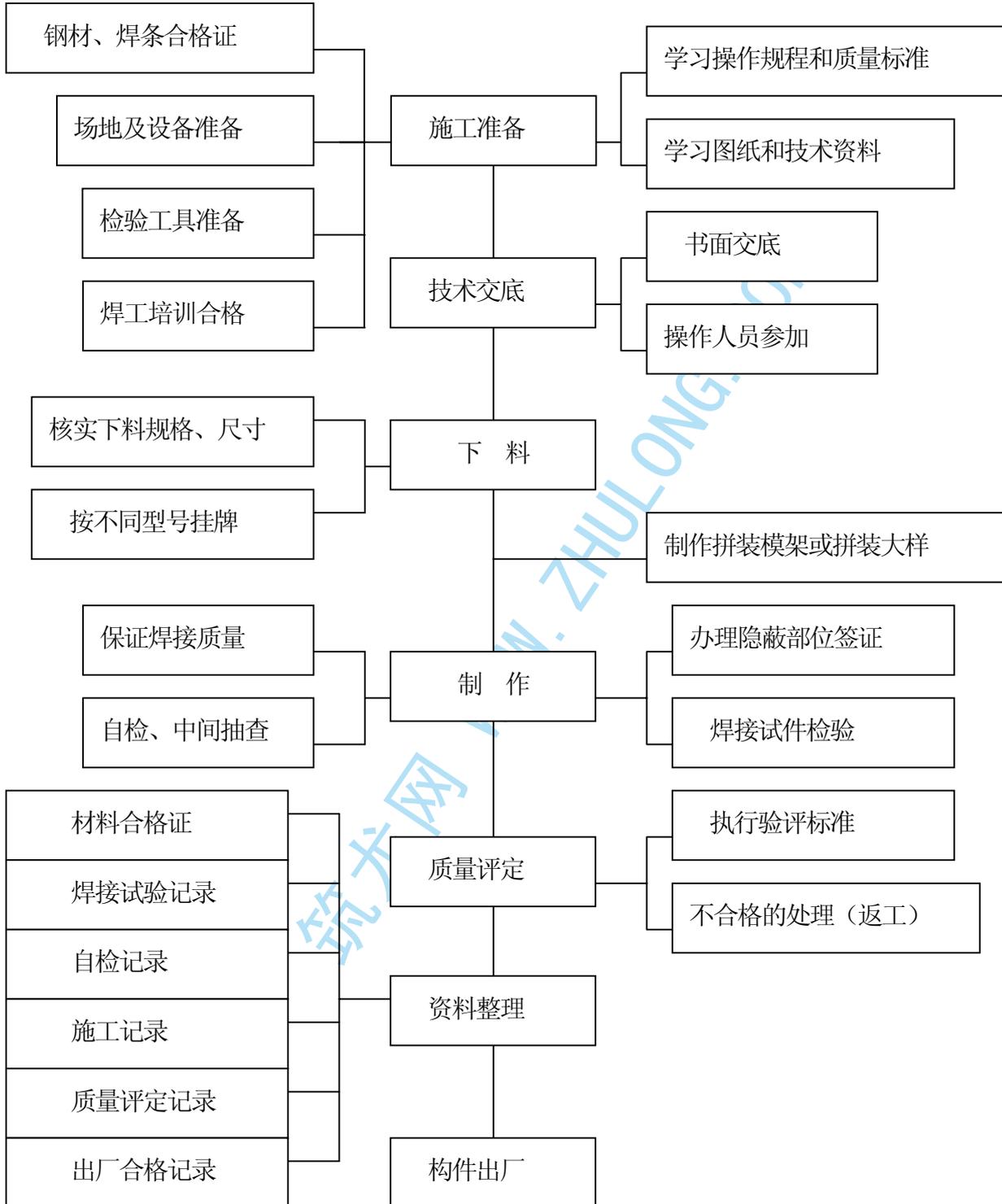
### **13.2 质量控制流程**

工程质量控制程序



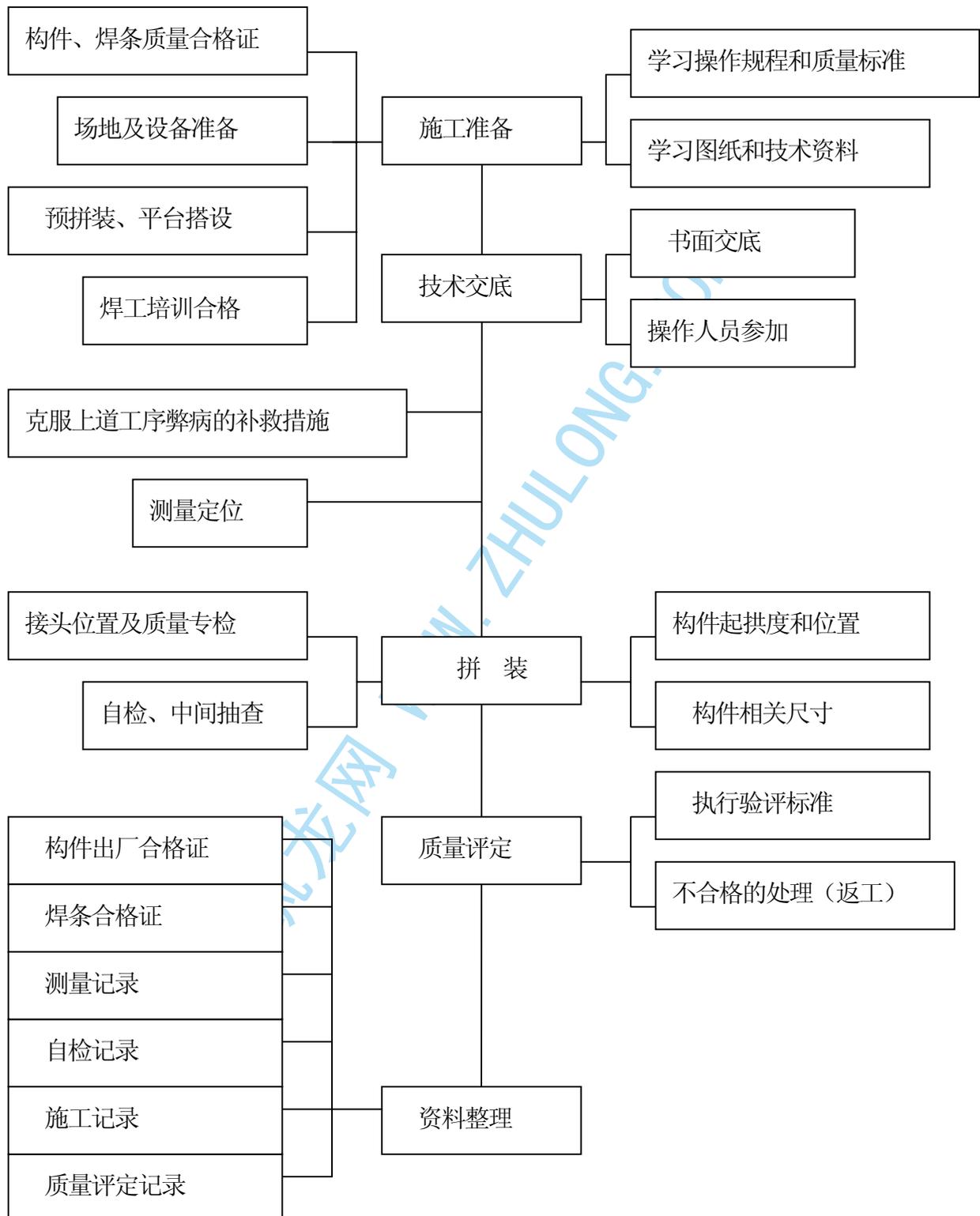
附图 6-82 工程质量控制程序

### 构件制作质量控制程序



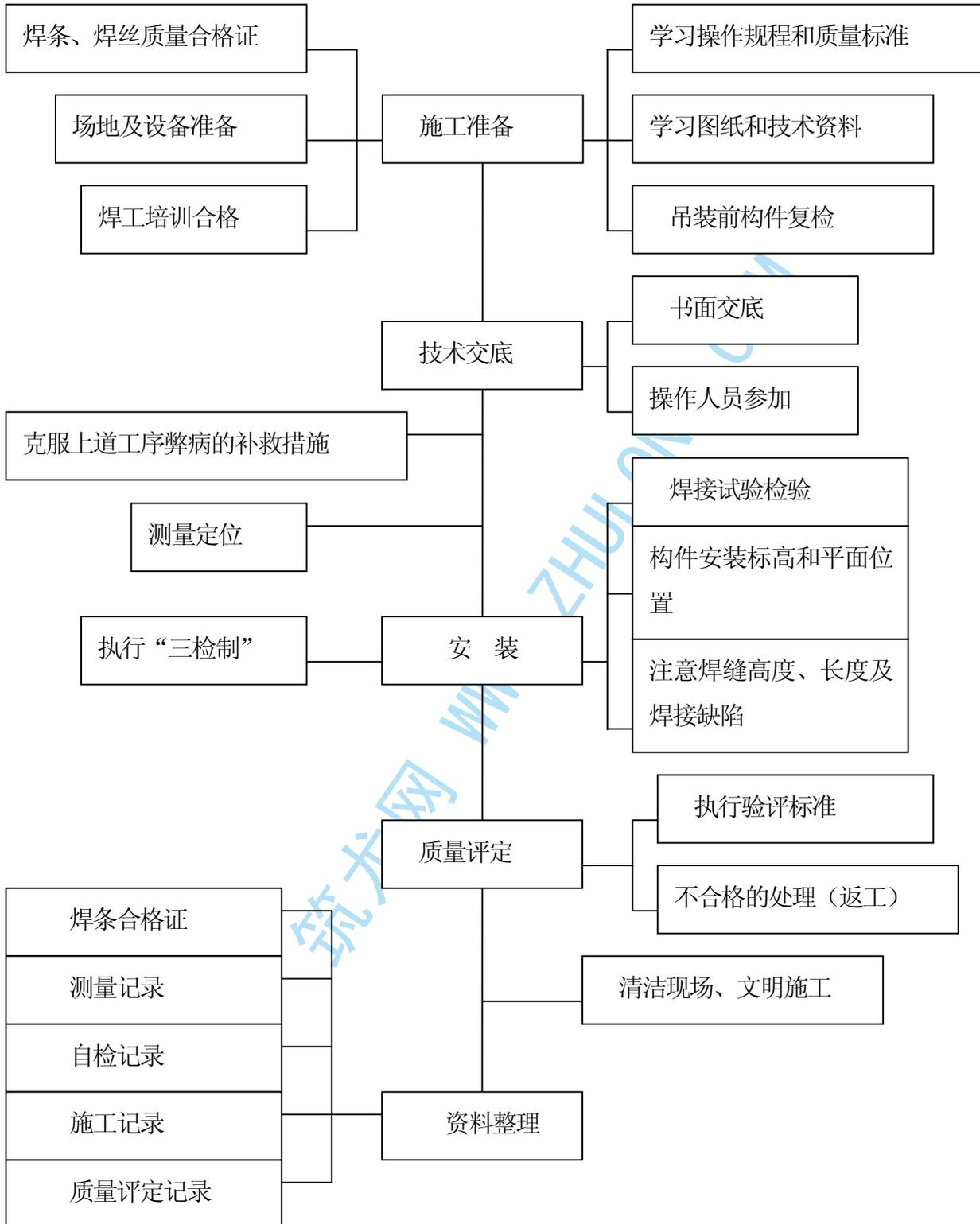
附图 6-83 构件制作质量控制程序

构件拼装质量控制程序



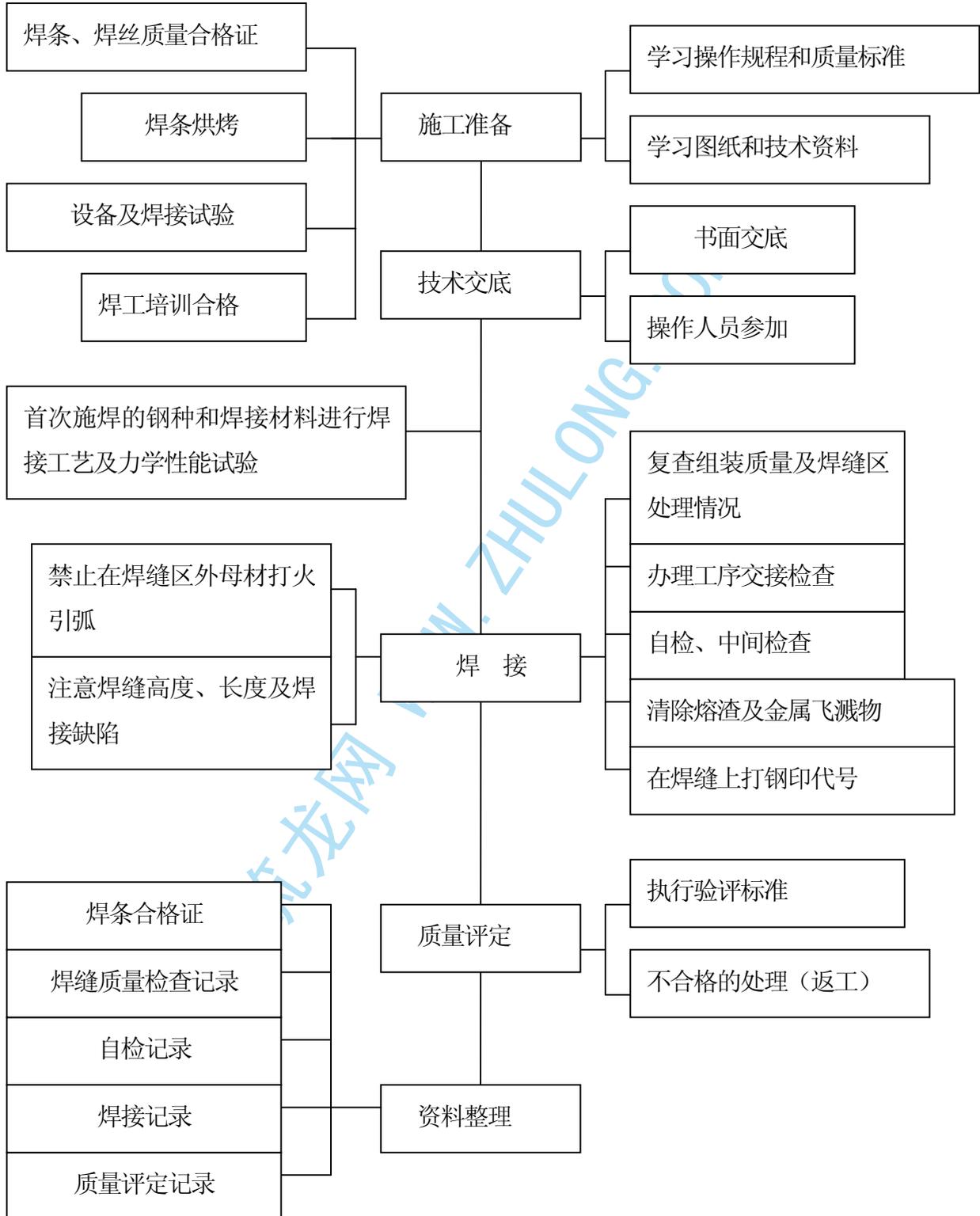
附图 6-84 构件拼装质量控制程序

安装质量控制程序



附图 6-85 安装质量控制程序

焊接质量控制程序



附图 6-86 焊接质量控制程序

### 13.3 质量保证措施

#### 13.3.1 施工准备过程的质量控制

**13.3.1.1** 优化施工方案和合理安排施工程序,做好每道工序的质量标准和施工技术交底工作,搞好图纸审查和技术培训工作。

**13.3.1.2** 严格控制进场原材料的质量,对钢材等物资除必须有出厂合格证外,需经试验复检并出具复检合格证明文件,严禁不合格材料进场。

**13.3.1.3** 合理配备施工机械,搞好维修保养工作,使机械处于良好的工作状态。

#### 13.3.2 施工过程中的质量控制

**13.3.2.1** 安装构件前应对构件进行质量检查,填写复检卡。

**13.3.2.2** 各种测量仪器、钢尺在施工前均送检标定合格后使用。

**13.3.2.3** 安装施工中各工序之间严格执行“三检制”,保证各种偏差在规范允许范围之内。

**13.3.2.4** 质量检查员对各工序必须亲自到场检验,合格后进行报验。

**13.3.2.5** 制定项目质量管理奖罚条例,岗位职责、质量目标与奖金挂钩,促进全体职工质量管理意识,实行质量一票否决制。

**13.3.2.6** 各种厚度、接头类型的的焊接必须按照焊接工艺认真执行,特殊部位焊接需经必要的培训。

**13.3.2.7** 严格执行工程测量方案,在钢柱安装、中心屋盖钢结构整体提升期间,必须随时进行测量工作,保证数据及时、准确。

**13.3.2.8** 中心屋盖钢结构整体提升吨位巨大,需合理设置吊点保证提升质量,减少挠度变形。

## 第十四节 安全健康管理措施

### 14.1 管理体系

执行 OHSAS18001: 1999 职业安全健康管理体系。建立安全生产管理体系，成立以项目经理为首的安全生产管理小组，按施工工序分别确定专职安全员，各生产班组设兼职安全员。

确定工程安全目标：重伤事故及死亡事故为零；

工伤事故不超过一次；

机械事故为零。

确定危险危害因素：可能发生事故的区域、机械设备及人为因素

### 14.2 安全措施

**14.2.1** 建立落实安全生产责任制，认真做好进场安全、技术交底，定期进行安全教育。与各施工队伍签定安全生产责任书。

**14.2.2** 坚持班前安全活动制度，且班组每日活动有记录。

**14.2.3** 定期进行安全检查，对现场发现的不安全隐患进行整改。

**14.2.4** 管理人员及特种作业必须持证上岗，且所持证件必须是专业对口。

**14.2.5** 正确穿戴个人防护用品，所有进入现场作业区的人员必须戴好安全帽，高处作业人员必须系挂安全带。

**14.2.6** 施工用电有专项临电施工组织设计，强调突出线缆架设及线路保护，严格采用三级配电二级保护的三相五线制“TN-S”供电系统，做到“一机一闸一漏电”，漏电保护装置必须灵敏可靠。

**14.2.7** 塔吊的安装、拆除、验收、运行、保养、维修执行专项作业指导书。必须做到“四

限位两保险”，且灵敏有效并按规定做好防雷接地。实行机长负责制，做好运转、交班记录。

#### **14.2.8** 对所有可能坠落的物体要求：

所有物料应堆放平稳，不妨碍通行和装卸，工具应随手放入工具袋，作业中的走道、通道板和登高用具、临边作业部位必须随时清扫干净；拆卸下的物料及余料和废料应及时清理运走，不得随意乱置乱堆或直接往下丢弃；传递物体禁止抛掷。

#### **14.2.9** 高处作业的安全设施必须经过验收通过方可进行下道工序的作业。

#### **14.2.10** 所有高处作业人员必须经过体检，合格方可进行高空作业。

**14.2.11** 吊装方面的作业必须有跟随吊装的水平安全网，安装完一段设一固定安全兜网，并进行临边防护安装。

**14.2.12** 施工中电焊机等施工机械必须采取固定措施存放于高空作业平台上，不得摇晃滚动。登高用钢爬梯必须牢牢固定在钢架上，不得晃动。紧固螺栓和焊接用的挂篮必须安全可靠，挂点进行加强处理。

#### **14.2.13** 对焊接区域下方进行清理，清除易燃、易爆物品，防止火花溅落引起危害。

#### **14.2.14** 当风速达到 15m/s（6 级以上）时，吊装作业必须停止。

**14.2.15** 高空作业中的工具及物品必须放在完好的工具袋内，并将工具袋系好固定，不得直接放在高空物件表面上，以免妨碍通行及高空坠物。每道工序完成后作业面上不准留有杂物，以免通行时将物件踢下发生坠落打击。禁止在高空抛掷任何物件，传递物件用绳栓牢。

**14.2.16** 作业人员应从规定的通道和走道上下来往，不得在单榀桁架上等非规定通道攀登。如需在桁架上行走时，则该桁架上必须事先挂设好钢丝缆绳。高空作业人员行走时必须将安全带刻扣挂于安全缆绳上。

#### **14.2.17** 吊装作业应划定危险区域，挂设安全标志，加强安全警戒。

#### **14.2.18** 夜间施工要有足够的照明。

### **14.3 防火措施**

**14.3.1** 成立消防专项领导小组，对广大劳务工进行防火安全教育，提高其防火意识。

**14.3.2** 生活区及施工区按规定配备有效的消防器材，实行动火审批制度，禁止在严禁烟火的地方吸烟动火。

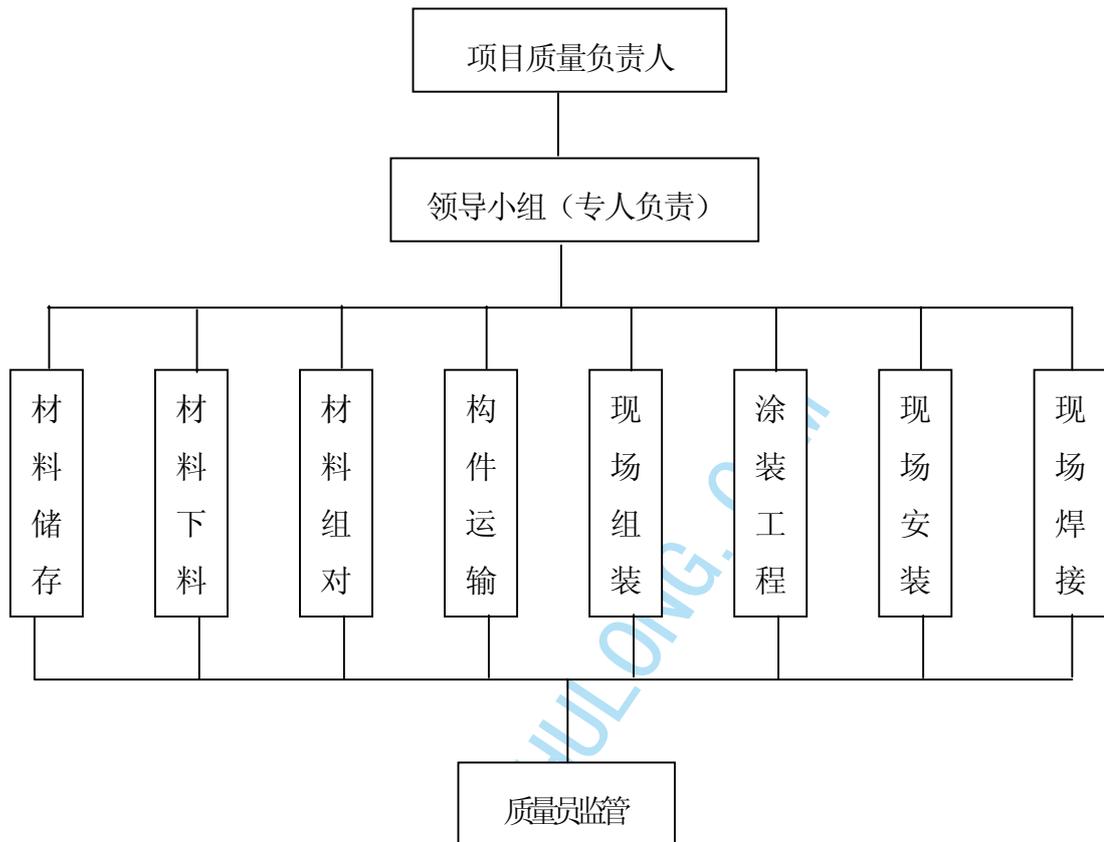
**14.3.3** 气瓶需有防爆防晒措施，且远离电焊、气割火花及发热物体。使用气割时，乙炔瓶必须直立并装有回火装置。氧气瓶与乙炔瓶间距大于 5m，两瓶同明火作业点距离不少于 10 米。电气焊操作人员应穿戴防护用具、服装。

**14.3.4** 因施工需要搭设临时设施，应符合防火要求，不得使用易燃材料。

**14.3.5** 设置消防通道，禁止占用消防通道，保证畅通。

## 第十五节 成品保护

### 15.1 成品保护管理体系



附图 6-87 成品保护管理体系

## 15.2 成品保护措施

**15.2.1** 钢结构制作各工序移交前做好本工序的成品保护工作。如边缘加工、坡口：一般用可焊性漆膜保护。高强度螺栓摩擦面保护。预拼过程防止重物压残、冲撞、锤击将构件破坏。

### 15.2.2 运输堆放成品保护

**15.2.2.1** 较大构件运输设专用胎架，堆放等按规定放如防止构件变形。

**15.2.2.2** 吊锁捆绑位置合理，吊点处用垫木或橡胶垫进行保护。

**15.2.2.3** 现场堆放构件的区域平整，并设排水沟。

**15.2.3** 构件吊装：选择合理吊点，起吊构件采用溜绳，避免构件与周围建筑或机械碰撞。

**15.2.4** 对整体提升后的钢结构，千斤顶采用无锚安全锚，千斤顶上用锚锁住后，并设专

人检查监护，对缆风（包括钢柱）地锚，未经许可任何人不得拆除。

### 15.2.5 涂装工程

15.2.5.1 钢结构涂装后，应加以 围护隔离，防止踏踩，损伤涂层。

15.2.5.2 钢构件涂装后，在 4h 之内，如遇大风或下雨等应加以覆盖，防止沾污灰尘或水汽，避免影响涂层的附着力。

15.2.5.3 涂装后的钢构件勿接触酸类液体，防止咬伤涂层。

15.2.5.4 焊缝经检查后及时按规补漆。

## 第十六节 雨季、冬季技术措施

为确保钢结构冬雨季施工的正常进行，保证工程质量，针对钢结构工程各主要工序受气候的影响，制定如下措施

### 16.1 雨季措施

16.1.1 室外构件组装和拼装场地四周设排水系统，保证场地内无积水。

16.1.2 应每天对施工电路进行检查，及时保养维修，保证施工用电安全。

16.1.3 降雨时，应停止高空作业，并将高空人员撤到安全地带，施工区拉断电闸。

16.1.4 雨天不能进行高强度螺栓的安装。摩擦面及高强度螺栓安装时不得有水及锈迹。

16.1.5 露天焊接钢结构，下雨时应搭设临时防护棚，严禁雨水飘落在炙热的焊缝上。

16.1.6 对潮湿的构件施焊前，应用抹布或火焰对施焊处进行干燥处理。

16.1.7 应对建筑物事先设置避雷设施，并保证与钢结构安装构件连接牢固。

16.1.8 每天下班前，高空作业人员应将在高空存放过夜的构件摆放整齐并与结构连接牢

固，预防构件被大风吹落。

**16.1.9** 大风雨过后，应对高出作业安全设施逐一加以检查，发现有松动、变形、损坏或脱落等现象，应立即修理完善。

**16.1.10** 当雨季气候恶劣，不能满足工艺要求及不能保证安全施工时，应停止施工。此时，应注意保证作业面的安全，设置必要的临时紧固措施。

## 16.2 冬季措施

**16.2.1** 钢结构的制作和安装所用的钢尺、量具应与土建单位使用的钢尺、量具采用同一精度级别鉴定。土建结构和钢结构应采取不同温度膨胀系数差值的调整措施。

**16.2.2** 钢结构在负温下进行安装时，要注意温度变化引起钢结构外形尺寸的偏差。特别是在正温下制作，在负温下安装时，要有调整偏差的措施。

**16.2.3** 凡参加在负温下施工的电焊工，除了取得常温焊接资格合格证外，常需经过负温下焊接工艺培训。

### 16.2.4 冬季施工选择焊条的原则

**16.2.4.1** 在负温度下施工钢结构工程，在满足设计要求的前提下，应选择屈服强度较低，冲击韧性较好的低氢型或钛钙型焊条。

**16.2.4.2** 对于要求塑性、韧性、抗裂性较高的重要结构，可选用低氢型焊条，并宜用直流电焊机施焊。

**16.2.4.3** 低氢碱性焊条使用前必须进行烘焙，在 250~300℃的条件下烘焙 1~2 小时。然后放低温烘箱中保存，烘箱温度为 80~100℃。使用时从烘箱中取出，随用随取。从烘箱中取出两小时后应重新烘焙。焊条烘焙次数一般不宜超过 3 次。

**16.2.5** 钢结构在负温度下放样时，切割、铣刨的尺寸，应计入在负温度下钢材收缩的影响。

**16.2.6** 端头为焊接接头的构件下料时，应根据工艺要求预留焊缝收缩量。

**16.2.7** 负温度下需要对边缘加工的零件应采用精密切割机加工，焊缝坡口宜采用自动切割。重要构件的焊缝坡口，应采用机械加工或自动切割加工，不宜采用手工气焊切割加工。

**16.2.8** 负温度下构件组装定型后进行焊接应符合焊接工艺规定。单条焊缝的两端应设置引弧板和熄弧板，引弧板和熄弧板的材料应和母材一致。并严禁在焊接的母材上引弧。

**16.2.9** 负温度下厚度大于 9mm 的钢板应分多层焊接，焊缝应由下往上逐层堆焊。每一条焊缝应一次焊完，不得中断。当发生焊接中断，再次施焊时，应先清除焊接缺陷，合格后方可按焊接工艺规定再继续施焊。

**16.2.10** 在负温度下露天焊接大型接头时，宜搭设临时防护棚。雪花严禁飘落在炙热的焊缝上。

**16.2.11** 在负温度下厚钢板焊接完成后，在焊缝两侧板厚的 2~3 倍范围内，立即进行后热处理，加热温度 150~300℃，保持 1~2h。焊缝焊完后或后热处理完后，要采取保温措施，使焊缝缓慢冷却，冷却速度不大于 10℃/min。

**16.2.12** 当构件在负温度下进行热矫正时，钢材加热矫正温度应控制在 750~900℃之间，加热矫正后应保温覆盖使其缓慢冷却。

**16.2.13** 在温度低于 0℃的钢构件上涂刷防腐涂层前，应进行涂刷工艺实验。涂刷时必须将构件表面的铁锈、油污、边沿孔洞的飞边毛刺等清理干净，并保持构件表面干燥。可用热风或红外线照射干燥，干燥温度和时间应由试验确定，不得损害涂层。雨雪天气或构件上有薄冰时不得进行涂刷工作。

**16.2.14** 冬季运输、堆存钢结构时，必须采取防滑措施。构件堆放场地必须平整坚实，无水坑、地面无结冰。同一型号构件叠放时，必须保证构件的水平度，垫块必须在同一垂直线上，防止构件溜滑。

**16.2.15** 吊装前对构件进行复验，凡是在运输、装卸、堆放过程中产生构件变形、损伤、脱漆等缺陷，要在地面进行修理，矫正后，方可实施吊装。

**16.2.16** 在负温度下绑扎、起吊钢构件用的钢索与构件直接接触时，应加防滑隔垫。

**16.2.17** 负温下安装使用的机具、设备使用前应进行调试，并在低温下要经试运转，发现

问题及时修整。对特殊要求的高强螺栓、扳手、超声波探仪、测温计等，也要在低温下进行调试和标定。

**16.2.18** 构件上有积雪、结冰、结露时，安装前应清除干净，但不得损伤涂层。

**16.2.19** 高强度螺栓安装时，摩擦面及高强度螺栓上不得有冰雪、油污等。

**16.2.20** 冬季钢结构的安装工作应尽量减少高空作业。所以在起重设备能力允许的条件下，尽可能在地面组拼成扩大单元。为防止构件吊装过程中，扩大单元的局部受力过大产生变形，必要时进行验算，或采取临时加强措施。

## 第十七节 现场文明施工及环保措施

### 17.1 现场文明施工

**17.1.1** 按照集团统一要求布置施工围墙，执行集团 CI 方案。

**17.1.2** 施工现场平面布置严格执行施工总平面图。

**17.1.3** 严格执行工程进度计划安排及施工工艺，不得随意更改，不得蛮干。

**17.1.4** 执行分片包干和个人岗位责任制，做到现场清洁、整齐。

**17.1.5** 保持施工现场清洁卫生，材料放置整齐，废弃物品统一放置在指定地点。

**17.1.6** 每天工作完成后，必须清扫工作区域，清除建筑垃圾，清理对环境有害的污染物。

**17.1.7** 进入现场人员应穿戴整齐，禁止穿拖鞋、赤背进入施工现场。

**17.1.8** 施工场区及生活区均不得酗酒、不得追逐打闹。

**17.1.9** 定期进行培训，提高职工爱企意识。

### 17.2 环境保护措施

**17.2.1** 执行 idtISO14001:1996,GB/T24001-1996 环境管理体系，成立环保管理小组。

**17.2.2** 使用风动设备或其他噪音较大的机具施工时，对工作时间严格控制，必要时设置隔音墙，避免噪音扰民。

**17.2.3** 进行焊接时，在施工区域搭设防护栏杆，用彩条布围挡，防止电弧光和焊接产生的烟尘外露。

**17.2.4** 对施工材料的包装袋应及时分类回收，施工中产生的废铁、螺栓头等进行回收。避免造成环境污染及材料浪费。

## 第十八节 工程验收

**18.1** 根据现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 的规定；当主体结构均为钢结构时应按部分工程竣工验收。钢结构工程可划分成若干个子分部工程进行竣工验收。

**18.2** 钢结构部分工程有关安全及功能的检验和见证检测项目见《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205—2001 附录 G，检验应在其分项工程验收合格后进行。

**18.3** 钢结构部分工程有关观感质量检验竟按《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205—2001 附录 H 执行。

**18.4** 钢结构部分工程合格质量标准应符合下列规定：

**18.4.1** 个分项工程质量均应符合合格质量标准；

**18.4.2** 质量控制资料 and 文件应完整；

**18.4.3** 有关安全及功能的检验和见证检测结果应符合《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205—2001 相应合格质量标准的要求；

**18.4.4** 有关观感质量应符合《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205—2001 相应合格

质量标准的要求。

**18.5** 钢结构分部工程竣工验收时，应提供下列文件和记录：

**18.5.1** 钢结构工程竣工图纸及相关设计文件；

**18.5.2** 施工现场质量管理检查记录；

**18.5.3** 有关安全及功能的检验和见证检测项目检查记录；

**18.5.4** 有关观感质量验收项目检查记录；

**18.5.5** 分部工程所含各分项工程质量验收记录；

**18.5.6** 分项工程所含各检验批质量验收记录；

**18.5.7** 强制性条文检验项目检查记录及证明文件；

**18.5.8** 隐蔽工程检验项目检查验收记录；

**18.5.9** 原材料、成品质量合格证明文件、中文标志及性能检测报告；

**18.5.10** 不合格项的处理记录及验收记录；

**18.5.11** 重大质量、技术问题实施方案及验收记录；

**18.5.12** 其他有关文件和记录。

**18.6** 钢结构工程质量验收记录应符合下列：

**18.6.1** 施工现场质量管理检查记录可按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 中附录 A 进行；

**18.6.2** 分项工程检验批验收记录可按《钢结构工程施工质量验收规范》GB 50205—2001 附录 J 中表 J.0.1～表 J.0.13 进行；

**18.6.3** 分项工程验收记录可按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 中附录 E 进行；

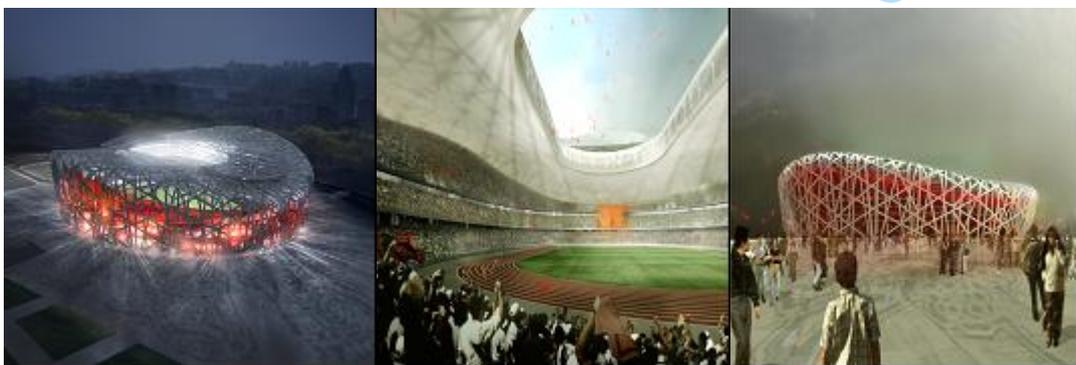
**18.6.4** 分部（子分部）工程验收记录可按现行国家标准《建筑工程施工质量验收统一标准》GB 50300 中附录F 进行。

筑龙网 WWW.ZHULONG.COM

## 膜结构工程

### 1.概述

\*\*体育场作为 2008 年北京奥运会的主体育场，其设计思想前卫、独特，其网格状的构架构成了如同鸟巢的整体造型，支撑结构与建筑形象达到了完美的统一。而其上 ETFE 充气式膜结构及其下方 PTFE 膜结构的有机组合，更使整个体育场充满了现代、时尚、优雅、美妙的气息和感受。



附图 6-88 体育场造型组图

#### 1.1 ETFE 膜结构

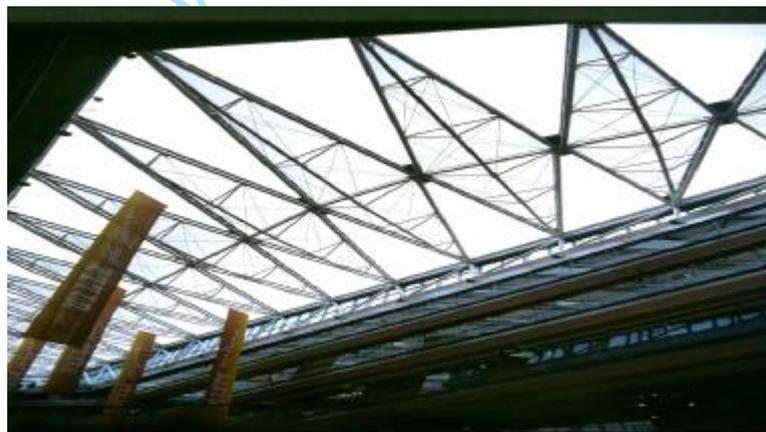
ETFE 膜是乙烯-四氟乙烯共聚体，作为一种新型的建筑材料，具有轻质、高强、长寿命、宽气候带、高透光性、高自洁性、高吸音性、难燃、高耐腐蚀性和成型后良好的保温、隔热性能，且自身可回收再利用，是绿色环保材料。经过测试，其耐用年限在 30 年以上，透光率达 95%，可在温度-100 度---+180 度范围内正常使用，满足 DIN4102 的 B1 级防火标准。基于其以上优异的性能，ETFE 在出现后仅仅十几年时间，就在世界范围内得到了大量的应用，广泛用于展览建筑、大型商业设施、体育设施、大型智能温室等等领域，其独特的特性，使全新的透明屋顶系统变成现实，为人们带来了前所未有的奇妙感受，使人们可以在室内享受阳光和自然。

图示照片是英国南部康沃尔郡圣奥斯特尔的伊甸园热带植物园，使用 4600 根钢架搭建了 625 个蜂巢状六边形，钢架外覆以 625 个最大单体达 80 平米的六边形 ETFE 充气膜单元，并于适当的位置设置了可遥控的通风换气装置。在北纬 50 度的地方成功营造了一个生机盎然的

热带植物园。ETFE 膜工程实例如：



附图 6-89 ETFE 膜应用实例 1



附图 6-90 ETFE 膜应用实例 2



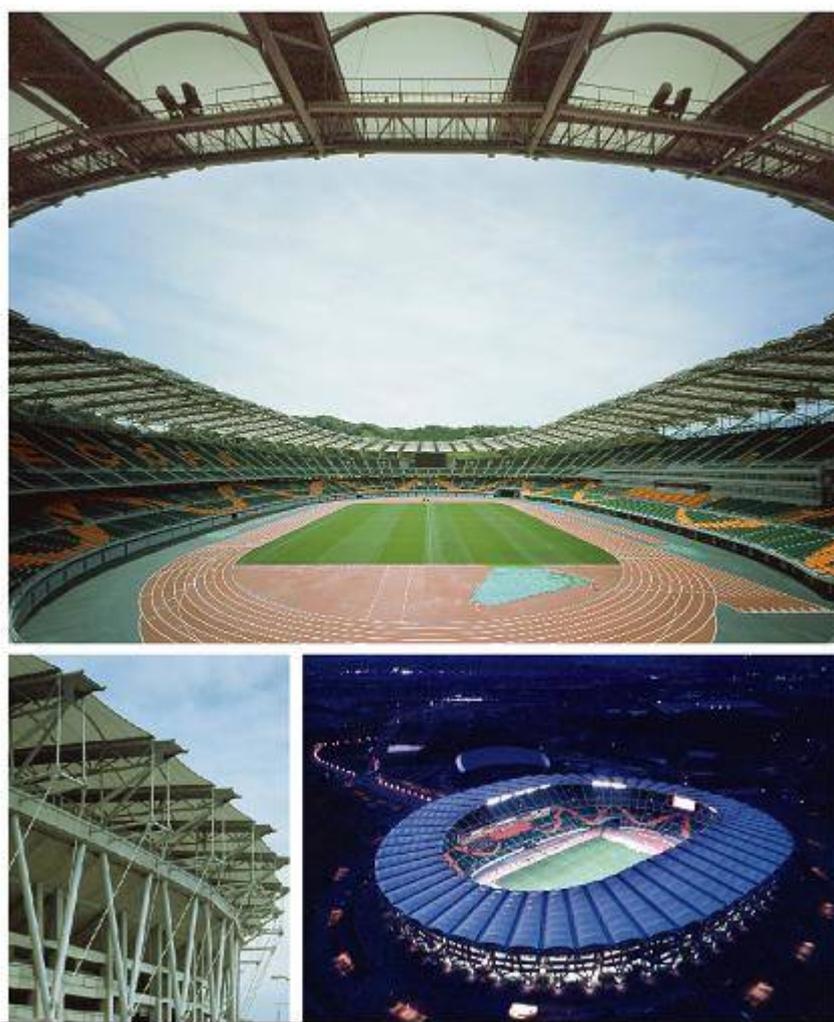
附图 6-91 ETFE 膜应用实例 3

### 1.2 PTFE 膜结构

与 ETFE 近似，PTFE 的发展也仅仅近 30 年的时间，PTFE 的构成为玻纤织物外层涂覆 TEFLON 而成，同样具有轻质、高强、长寿命、宽气候带、透光性好、自洁性高、难燃、高耐腐蚀性的特点，其优异的张拉性能，使得其在大跨度建筑中得到大量的应用，广泛用于体育场馆、博览会建筑、大型游乐设施、交通设施等等大空间建筑的屋盖系统，以下工程图片充分说明了 PTFE 膜材的广泛用途。



附图 6-92 PTFE 膜应用实例 1

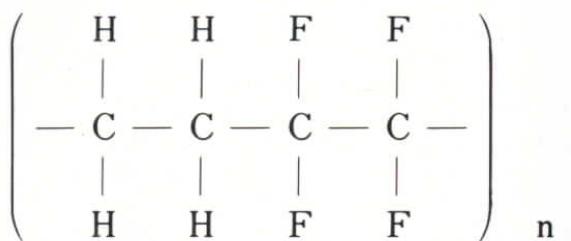


附图 6-93 PTFE 膜应用实例 2

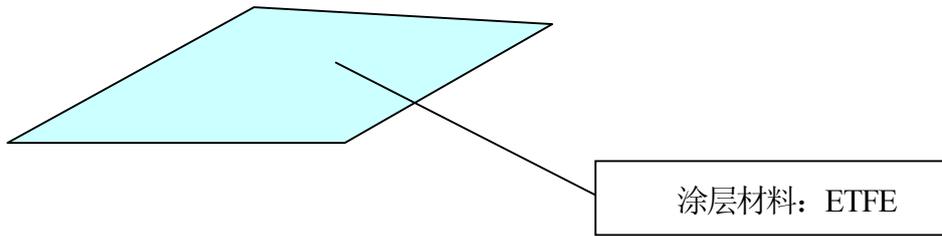
## 2. ETFE 与 PTFE (Fabrasorb) 建筑膜材简介

### 2.1 ETFE

2.1.1 分子组成：材料分子组成 25% ethene, 75% tetrafluorethene-monomere (乙烯-四氟乙烯共聚物)。ETFE 为热可塑性氟素树脂。



附图 6-94 ETFE 分子组成



**附图 6-95 ETFE 涂层示意**

**2.1.2 性能特点：**高透光率：最大可达 90%以上；耐热：熔点为 270℃；耐药品：不易发生化学反应；非粘着：自洁性好；自重轻、大跨度、自由度好；表面可印图案、减少透光度；可回收再利用；每个单元跨度受限制；耐久年限：30 年。

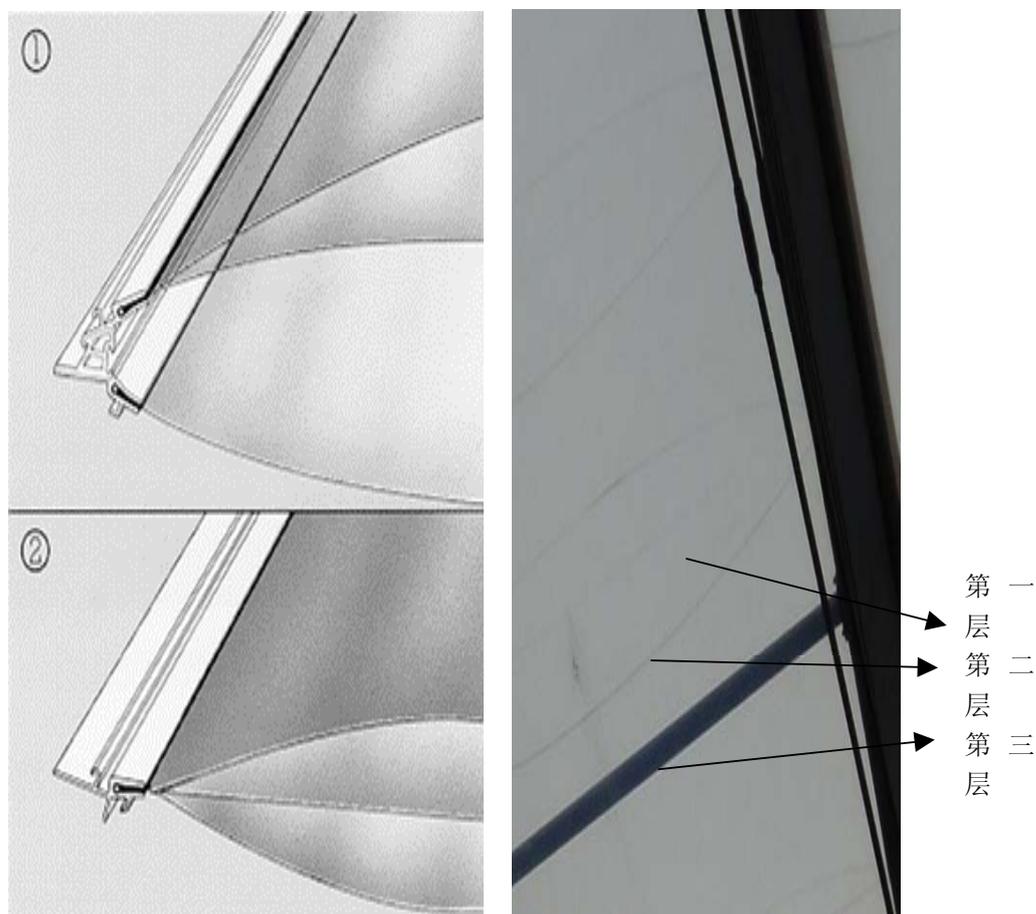
膜材制造商：Dupon， 3M ， 旭硝子等。

### 2.1.3 ETFE 膜材料技术数据

**附表 6-60 ETFE 膜材料技术数据**

重 量	350g/m <sup>2</sup>
厚 度	250um
抗拉强度	52N/mm <sup>2</sup>
抗撕裂强度	30N/mm
防火试验	DIN4102 的 B1 难燃

### 2.1.4 ETFE 膜结构气垫单元



附图 6-96 ETFE 膜结构气垫

**2.1.4.1** 根据具体结构分析及建筑物使用功能的要求，ETFE 膜结构可采用多层膜材，一般常用的为双层或三层充气膜结构。充气膜之间的距离将根据具体的充气单元大小来确定。当充气单元的尺寸变小时充气层间距也随之减小。本结构中，我们预计采用 5m 大小的单元来组成。

**2.1.4.2** ETFE 气垫 ETFE 膜结构的每个单元如同一个一个气袋，因其内部压力（250pa 或 60mmhq）大于外部大气压，并且足以能够使其承受外部的雨、雪、风荷载。

**2.1.4.3** 气袋内的大气压的大小均通过全自动化计算机控制来调节内部压力，确保每个膜单元达到一个平稳的气压状态。



附图 6-97 膜单元

**2.1.4.4** 气垫的跨度大小由屋顶的几何形状及外部荷载(风雪)所决定。长方形 à 宽度 4.5m, 长度几乎不受控制。圆形 à 7.5m。当 ETFE 与索网结合时, 可实现大跨度。重要的 ETFE 材料要控制在其弹性阶段。

**2.1.4.5** 室内温度的调节: 室内温度调节通过 2 大步骤, 自然通风系统与人工通风系统。自然调节是在室内温度达到一定高度时, 通过自动打开侧面窗户与顶部窗户来进行整体室内空气的调节, 达到空气的流通。人工通风系统, 在自然调节的基础上, 由计算机控制, 采用自动化调节充气系统的风质量。



附图 6-98 侧面窗户换风系统



附图 6-99 顶部窗户换风系统

**2.1.5 遮阳措施:** ETFE 膜材表面可以涂上各种颜色及图案。涂层的主要目的是降低减少外部热能进入室内。现在,人们主要不断的采用相同的图案其原因是要降低制作新模型的成本。



附图 6-100 ETFE 膜材表面颜色及图案示例

### 2.1.6 ETFE 自洁性

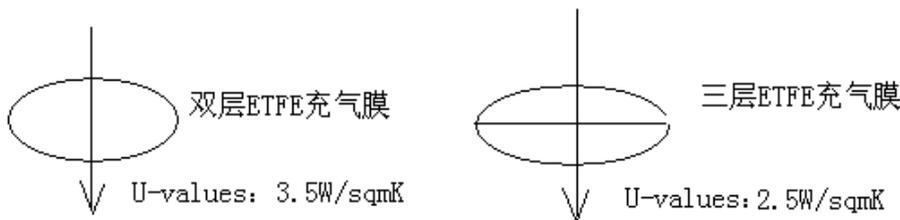
ETFE 具有独特的自洁性，并具有很高的表面抗附着性。每个气垫都有其曲率的表面，在下雨时，雨水自然将表面的尘土冲洗干净。一般情况下，ETFE 表面的尘土不需要人为清洗。但在高灰尘的区域，可用水来冲洗，但不要用什么布或毛刷。但要比玻璃清洁好且持续时间长。

### 2.1.7 双层充气式膜结构:



附图 6-101 双层充气式膜结构

### 2.1.8 ETFE 充气膜室温控制:



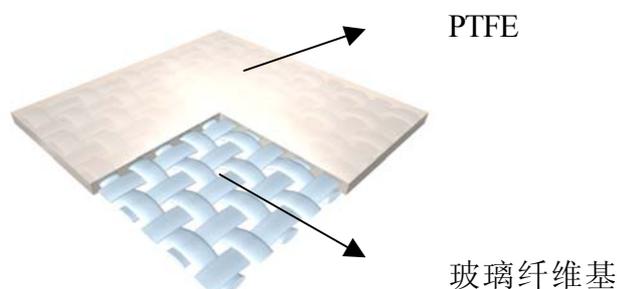
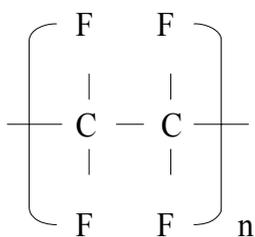
附图 6-102 双层 ETFE 充气膜与三层 ETFE 充气膜的 U-values 值

## 2.2 PTFE (Fabrasorb)

**2.2.1 材料分子组成:** Polytetrafluoroethylene 聚四氟乙烯，在极细的玻璃纤维（3 微米）编织成的基布上涂上 PTFE 树脂而形成的复合材料。

涂层材料--聚四氟乙烯树脂 (PTFE)

基布材料--玻璃纤维



附图 6-103 PTFE 分子组成

附图 6-104 PTFE 膜构造

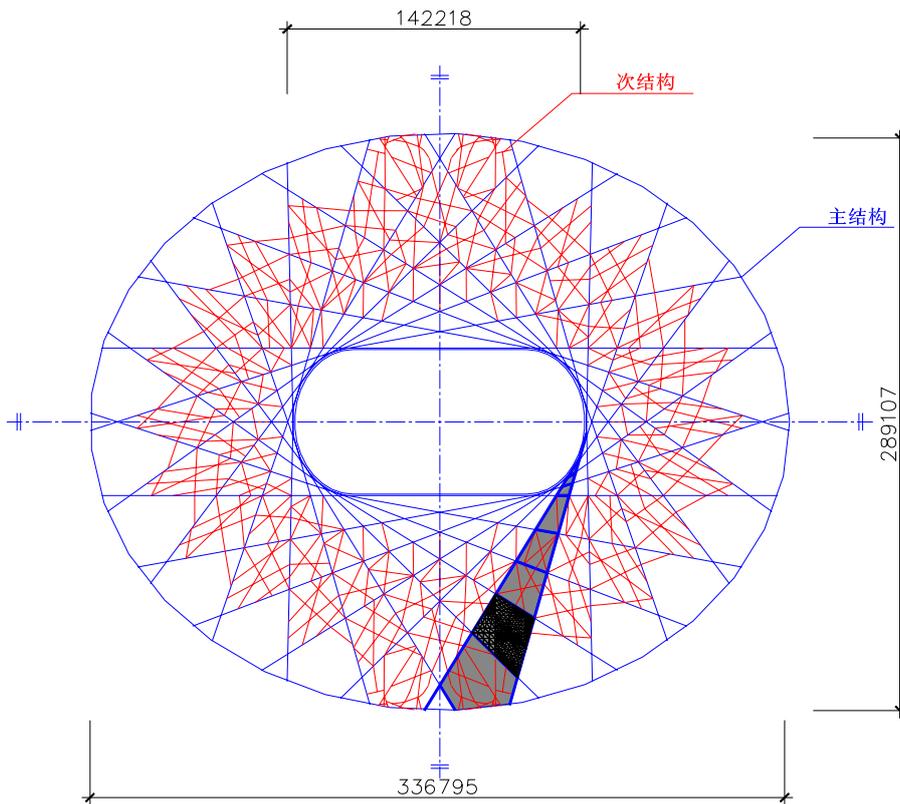
### 2.2.2 特点和技术数据

**附表 6-61 PTFE 膜结构技术参数**

序号	项目	参 数
1	透光率	21%左右
2	光反射率	79%左右
3	厚度	410um
4	重量	489g/m <sup>2</sup>
5	抗拉强度	214×171 (kg/3 cm)
6	抗撕裂强度	18×13 (kg)
7	通气量	6~15 (ml/cm <sup>2</sup> · sec)
8	耐热性	-180 度~+260 度
9	耐燃性	UL-94, V-0, Oxygen Index >95, 酸素指数 95 以上
10	抗化学性	几乎对所有的化学品不反应
11	电气特性	低介电常数, 有良好的绝缘特性
12	耐气候性	适应气候性非常强。
13	抗污染性	灰尘很难沾付在上面
14	摩擦系数	固体中的最小摩擦系数
15	耐久年限	30 年

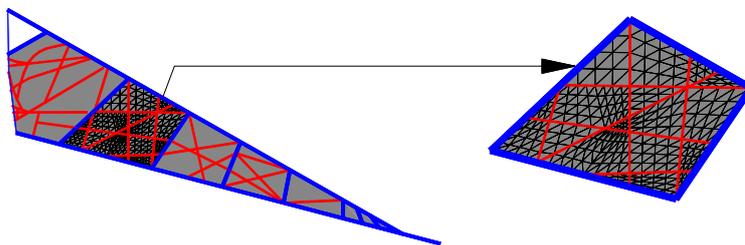
### 3.膜布置方案

#### 3.1 主结构布置方案



屋顶主次结构ETFE膜的平面布置图

说明：  
本工程屋顶部分ETFE膜的总面积为40115m<sup>2</sup>

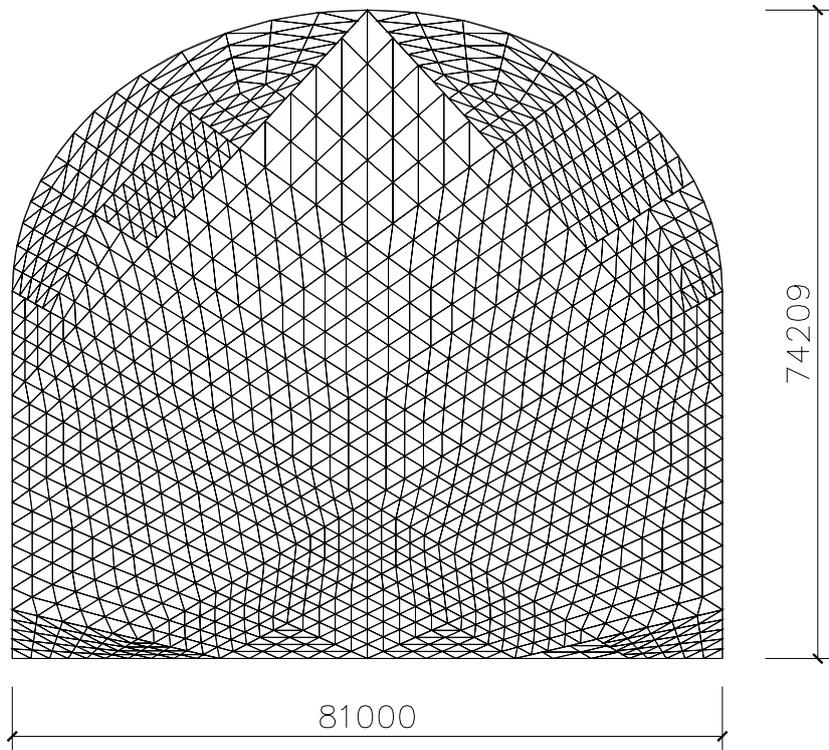


ETFE膜在屋顶一榀主次  
结构之间的平面布置图

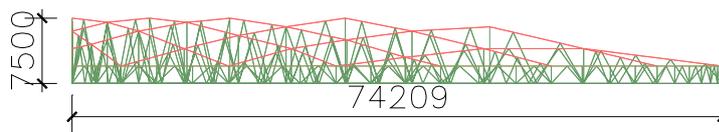
细部详图

附图 6-105 主结构布置图

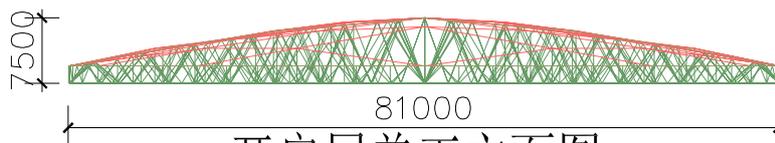
### 3.2 开启屋盖布置方案



开启屋盖平面图



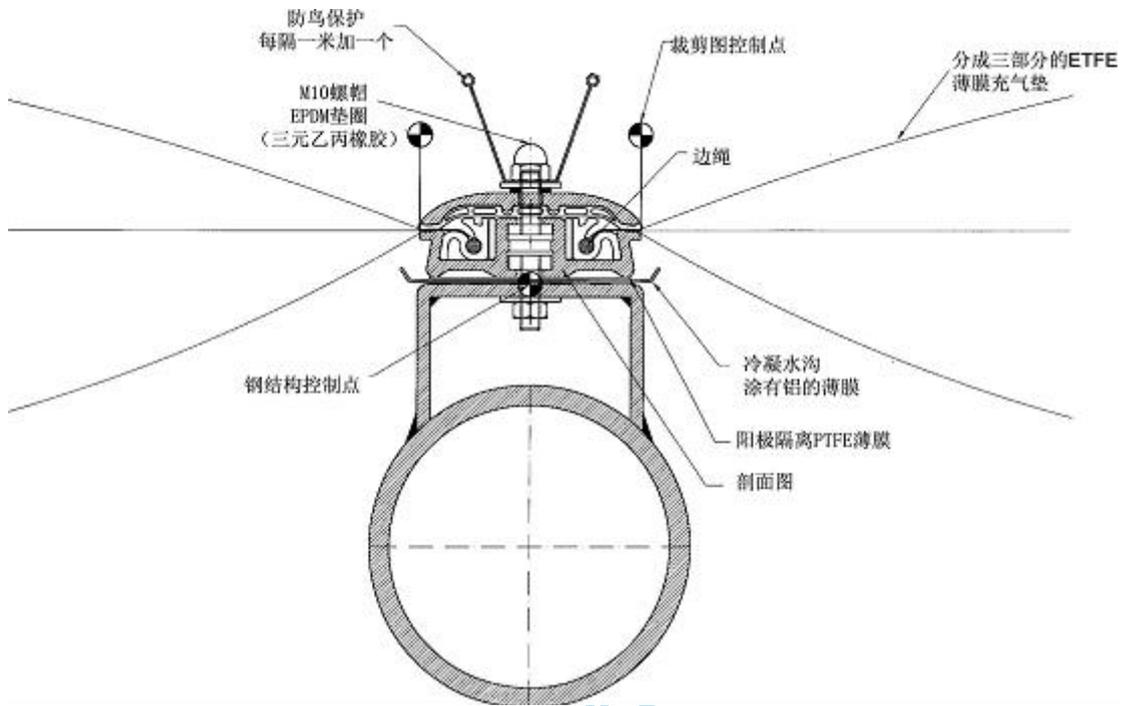
开启屋盖正立面图



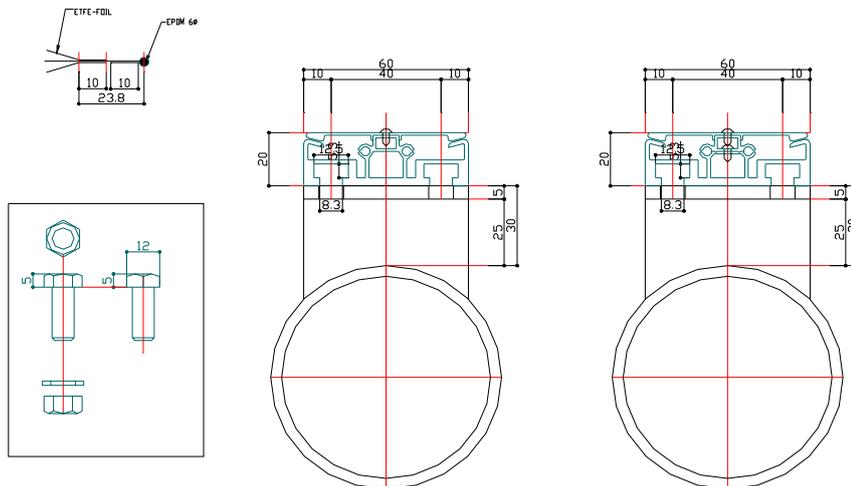
开启屋盖正立面图

附图 6-106 开启屋盖布置图

#### 4. 结点构造图

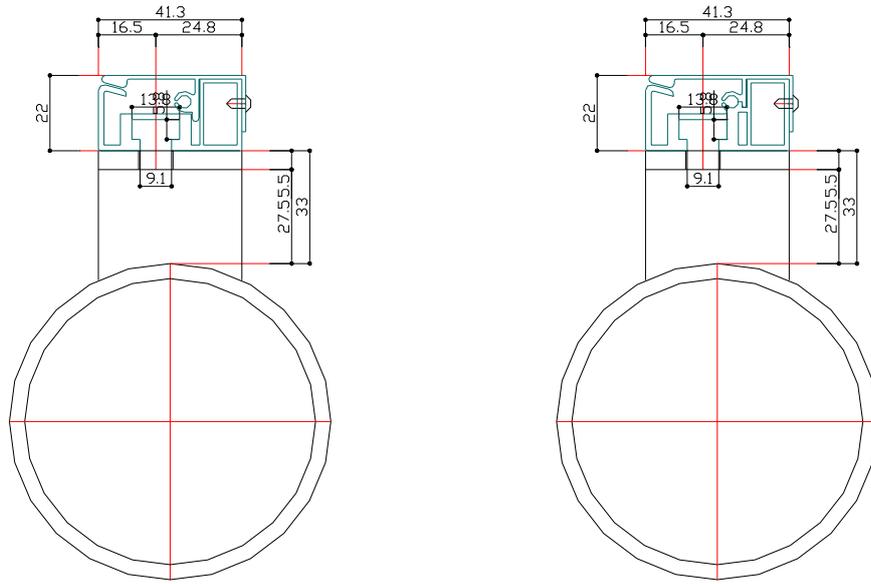


附图 6-107 结点构造详图 1



结点构造详图2

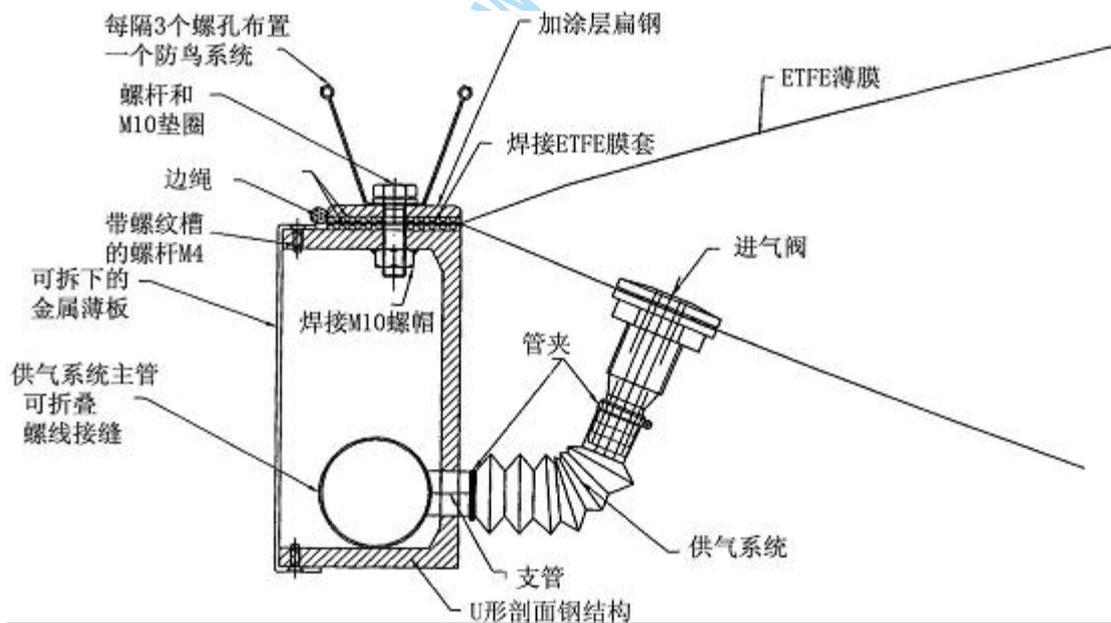
附图 6-108 结点构造详图 2



节点构造详图3

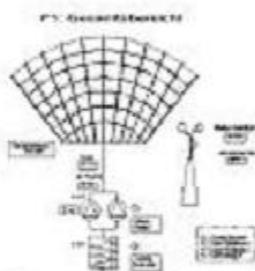
附图 6-109 节点构造详图 3

### 5. 充气装置



附图 6-110 充气系统构造图

**客户目标:**  
 通风机将向气垫中充气, 每个气垫中都应该具有相等的压强, 为避免空气在气垫中凝结, 必须进行除湿。  
 风速较高时, 必须提高气压设定值, 为确保功能安全, 必须包含通风机和过程控制两次。  
 安装箱必须满足要求的声音衰减值, 诸如气垫压强、空气湿度、空气温度、风速以及运行小时数以及电能消耗等数据将显示在PC监视器上。



**实现:**  
 安装箱是从隔音元件组装的, 这些通风机每周都交换运行。  
 风速是通过风传感器进行测量的, 当风速增加时, 气压设定值将增加, 通风机通过变频器控制。  
 气垫压强是自动控制的, 对最小及最大气压进行连续监视, 当达到最小气压值时, 将自动增加另外一台通风机。  
 使用吸收干燥器对空气进行干燥。  
 所有数据和状态信息将传输到PC机中并显示在监视器上。



附图 6-111 充气装置图

## 6. 内膜开启方案及实例

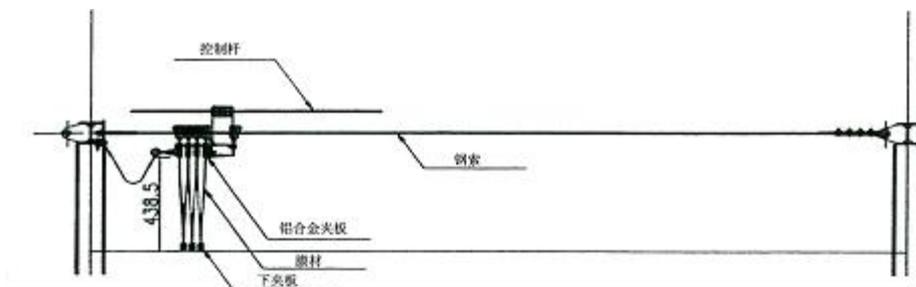
### 6.1 折叠式开启屋面



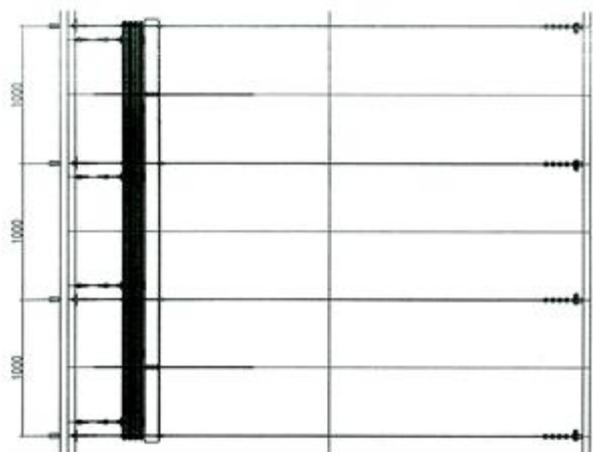
附图 6-112 折叠式膜结构上节点



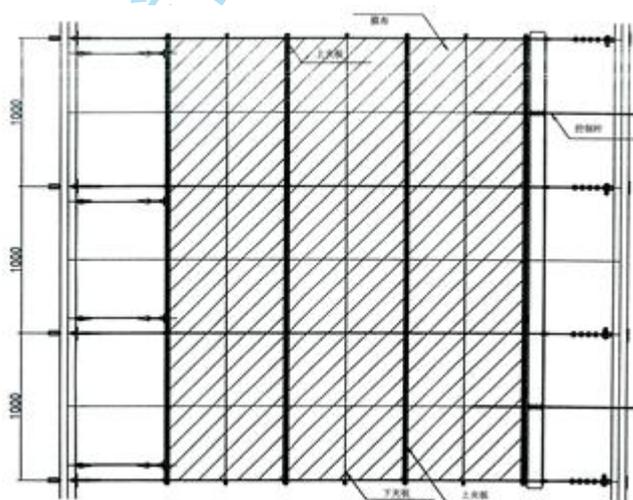
附图 6-113 折叠式膜结构下节点



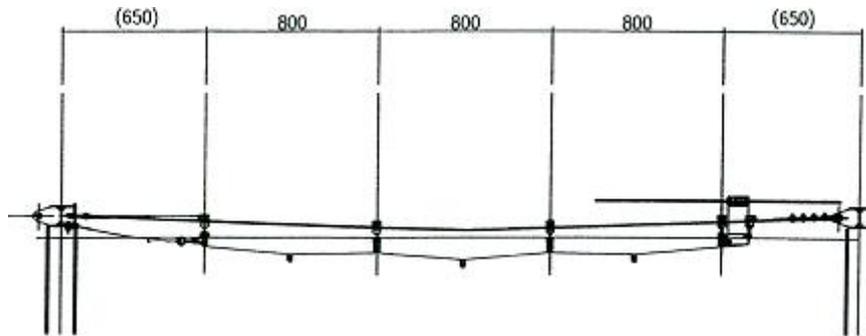
附图 6-114 折叠式膜结构打开状态剖面



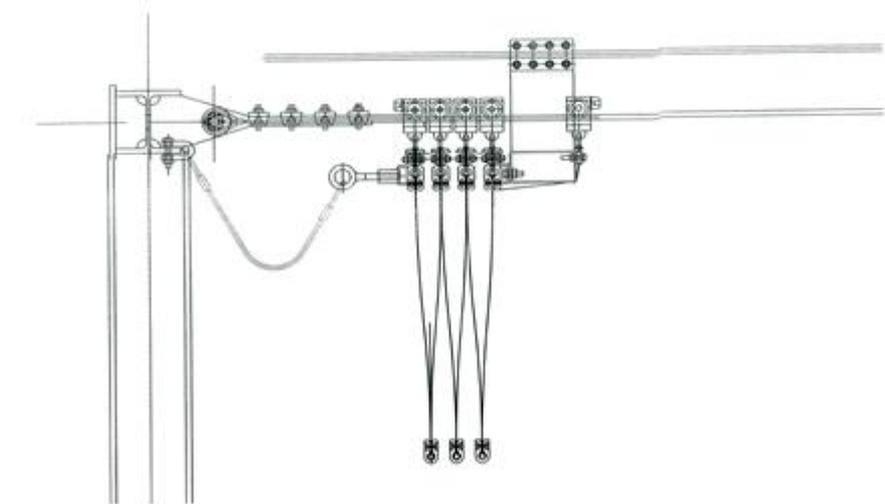
附图 6-115 折叠式膜结构打开状态平面



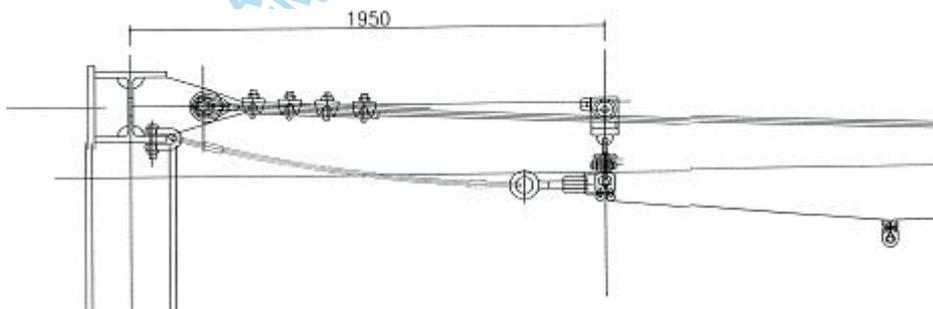
附图 6-116 折叠式膜结构关闭状态平面



附图 6-117 折叠式膜结构关闭状态剖面

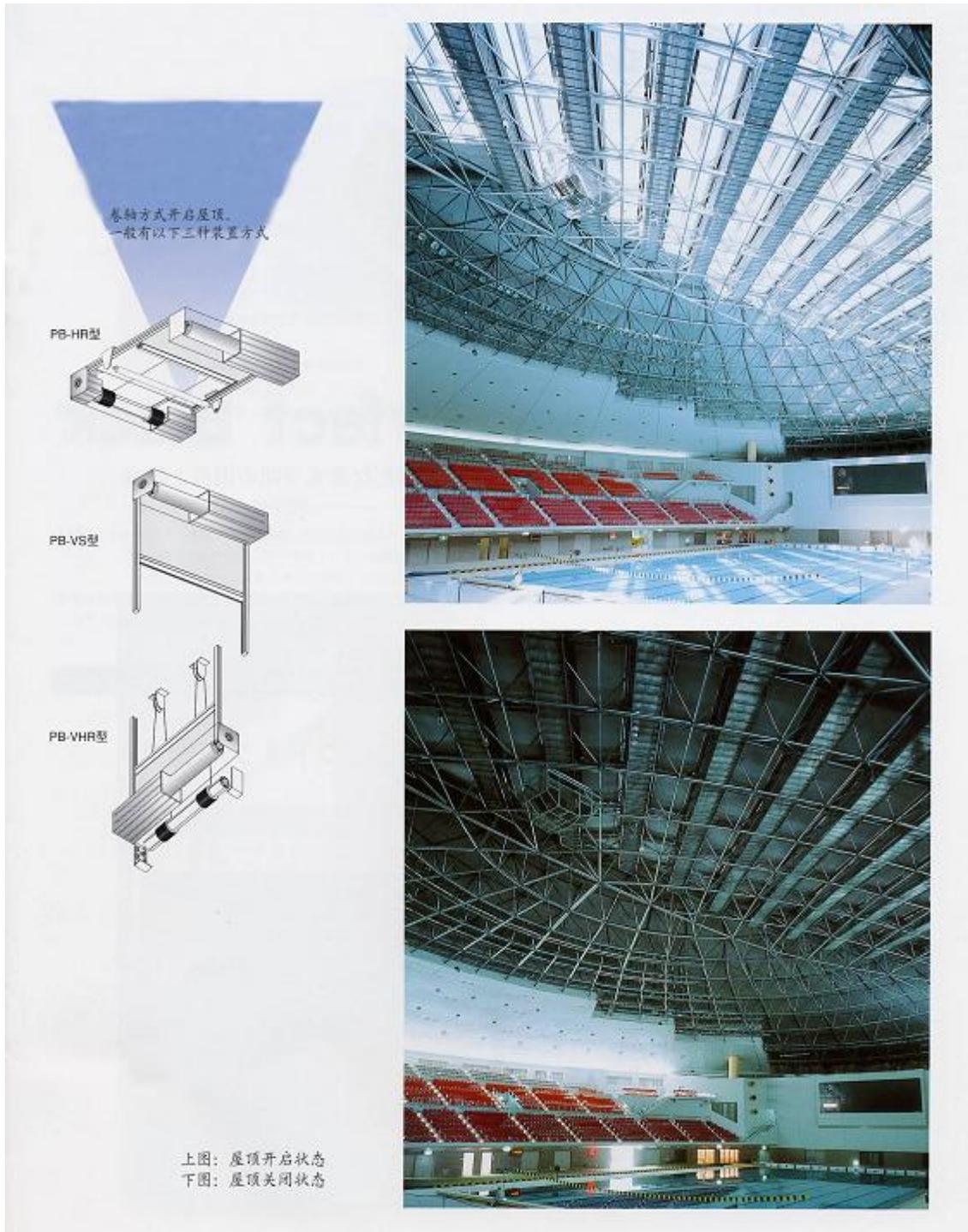


附图 6-118 折叠式膜结构装置打开状态



附图 6-119 折叠式膜结构装置关闭状态

## 6.2 卷轴式开启屋面



附图 6-120 卷轴式开启屋面

## 7.充气膜及张拉膜施工方案

### 7.1 施工准备

#### 7.1.1 工地状况的确认

7.1.1.1 将工地的全体工程的进度状况做确认。

7.1.1.2 将关联工程的工程进度状况做确认。

7.1.1.3 确认施工范围的现状。

7.1.1.4 对所有状况进行商讨及调整。

7.1.1.5 现场预留仓库：总面积需 1000m<sup>2</sup>，远离粉尘并运输便利。

#### 7.1.2 作业路线的确保

7.1.2.1 保留出入车辆的行经路线。

7.1.2.2 起重机的作业范围、预留距离等告知其他作业者。

7.1.2.3 将障碍物等的移动及撤去。

7.1.2.4 如有必要则进行整地、及敷铁板。

#### 7.1.3 其它方面

7.1.3.1 膜及配件、钢索、机电设备等运输到施工现场后专门搭设货物仓库。

7.1.3.2 保证施工道路的畅通及本工程文明施工的需要，膜及配件、钢索、机电设备等集装箱运输至施工现场后直接卸放在该堆场内，卸车后不要开启箱盖，以免造成损坏或遗失。为防止雨水对箱体的侵蚀，应用彩条布将包装箱覆盖。待施工时，将膜布、配件、钢索、机电设备从箱内取出，按施工区域依次就位。

7.1.3.3 待货品到达现场后，应指派专人在堆场内进行值班，负责安装工具及五金件的看管工作，保证所有物件完好、不丢失。

**7.1.3.4** 工程办公室安排在距离施工现场较近的位置，包括1间办公室及1间卫生间；职工宿舍不安排在施工场区内。

**7.1.3.5** 认真熟悉图纸和施工方案，了解工程各部几何尺寸。

**7.1.3.6** 要求对所需材料的规格、型号、数量与图纸认真核对，做到准确无误，并且有合格证。若无合格证或有质疑时，必须进行复验。同时应符合规范要求，并做好检验记录和标识工作。

**7.1.3.7** 备好施工用料和施工机具。

**7.1.3.8** 做好支撑钢结构、预埋件等的检查工作，保证其位置及尺寸正确无误，以防延误工期，同时做好中间交接记录。

## **7.2 搬入计划**

### **7.2.1 养护**

在工厂加工完了后的膜材料，经过制品检查终了后，于出货前有以下几点必须注意。请多多留意。

**7.2.1.1** 依材料清单确认数量。

**7.2.1.2** 寄货单等是否贴在正确的位置 并以能确认的寄货单贴付。

**7.2.1.3** 防止翻倒滑动以架台固定之。

### **7.2.2 出货**

**7.2.2.1** 事前协议并依订定之输送计书顺序行事。

**7.2.2.2** 输送中必牢固绑紧制品以免翻倒受损。

**7.2.2.3** 尽量下工夫减少堆积层数 若为堆积运送，则一定要用间隔材、分离材等適切保护之。

### **7.2.3 搬入**

在现场搬入时应注意以下事项小心搬运且一定要遵守。

**7.2.3.1** 材料入场时，一定要整理放置场及其附近环境。

**7.2.3.2** 材料装柜时，注意不要一边倒。

**7.2.3.**作业前必先取得关联工作人员的确认以便统一行事。

**7.2.3.4** 若有必要设置监视员.路障等。

**7.2.4** 卸货

**7.2.4.1** 设置木材.架台等，并将货置于其上。

**7.2.4.2** 以重机慎重地将制品小心卸下。

**7.2.5** 养护及其他

**7.2.5.1** 卸下之材料行临时固定，并加以养护。

**7.2.5.2** 随天气状况的变化，与负责人商讨对应之。

**7.2.5.3** 强风时施行倒塌防止措施。

**7.3 膜现场安装**

**7.3.1** 工艺流程：（见下页）

**7.3.2** 总体安排

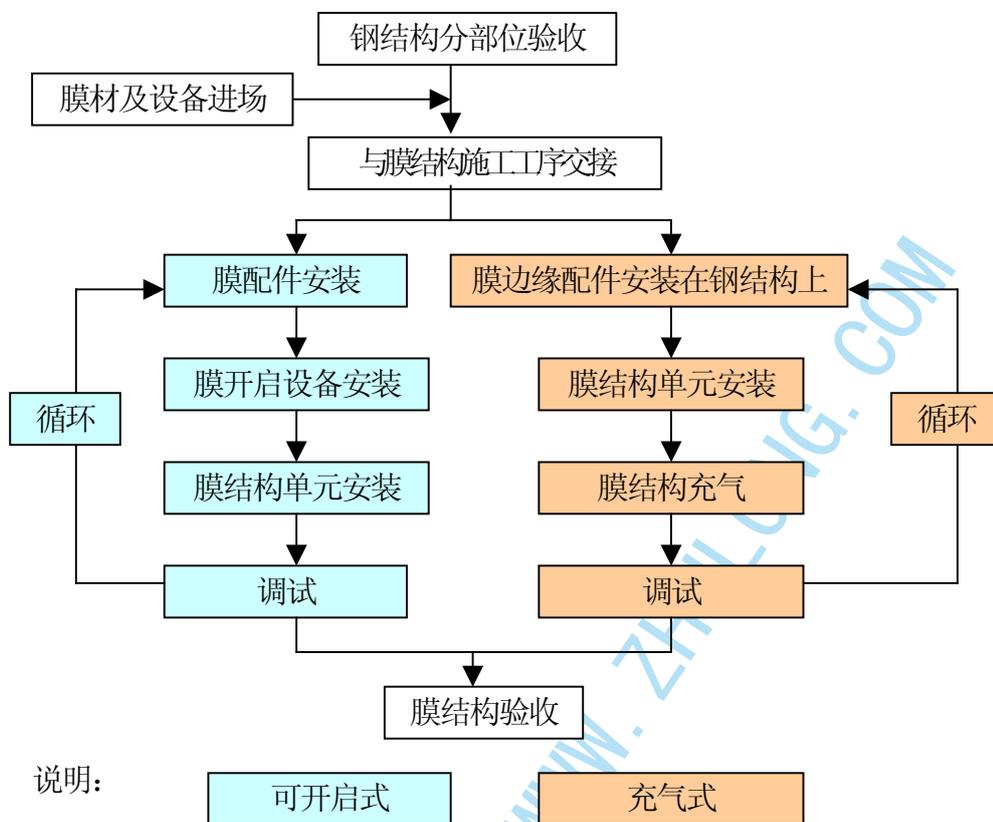
在业主及设计单位批准施工图纸后，分别进行膜面、配件、钢索、机电设备的加工工作，再分批运输至施工现场进行安装。

施工时，在钢结构主体全部或部分安装完成并完成表面终饰后，开始安装膜结构。

**7.3.3** 施工方法

**7.3.3.1** 施工脚手及操作平台搭设

1) 尽量利用主体钢结构的上下弦搭设悬挂式或悬挑式操作脚手平台。平台顶面应低于安装面，宽度不小于 80cm，并在外侧设置安全防护栏杆。搭设完成后，平台表面用竹笆满铺。



附图 6-121 膜结构施工工艺流程

2) 搭设脚手平台及拉设安全绳网时，凡与主体钢构接触的物件，必须用棉布衬垫，防止损坏结构表面油漆。

3) 所有平台搭设完成后，外围应设置安全防护栏杆。

4) 每处脚手平台搭设完成后，应由专职安全员进行安全检查，验收合格挂牌后，方可使用。

5) 所有脚手平台的搭设及验收应依照《建筑施工普通脚手架安全技术规定（试行）》及《建筑施工扣件式钢管脚手架安全技术规范》进行。

### 7.3.3.2 ETFE 膜面铺设

#### 1) 膜面安装必备条件:

钢结构必须安装完毕，操作脚手平台及登高脚手必须安装完成，并应满足设计要求：结构整体是安全、稳定的；相关区域内构件的涂装必须施工完毕；该膜单元组供气系统及设备安装调试完毕；膜面安装技术指导抵达现场，对现场情况全面检查后同意开工；

2) 膜面安装要求约放置一定数量的膜面固定材料以及临时张拉工具。膜面固定材料及临时张拉工具包括铝合金压条，膜面螺旋夹，白色夹具，拉条及卸甲，绳索紧绳机，钢丝绳紧绳机，紧固钳和  $\Phi 14$  尼龙绳。

3) 装膜面的手工工具分发到各个班组。手工工具包括大力钳、套筒扳手及带安全挂钩的工具袋。

#### 4) 膜面就位:

根据膜面安装部位确认相同编号的膜布；膜布的外层包裹着很厚的塑料纸，每一层之间摆放有硬纸筒，将膜布从包装箱内取出时，吊装用索具为 4 根 1.5t 绳圈。起吊时，为防止绳圈直接接触膜面造成膜布上产生折痕，应将绳圈从硬纸筒内穿过，然后用吊车将膜布就位至安装位置下方搁置平台的中心并使用卷扬机将膜块吊至安装面。

#### 5) 展开膜布:

膜面展开必备条件：当天风力不大于 5 级（风速小于 8.2m/s）；且非大雨天。

平台面必须清扫干净，不得有任何尖锐物体。所有参展膜面展开工作的人员，必须穿软底胶鞋。

待安装膜单元区域已拉设好临时绳网并张紧。

膜吊装过程中应注意：①应由专人负责统一指挥；②确保膜布的任何处不与钢结构相接触；③保证上升速度均匀；④有专门技术人员跟踪监督。

膜布展开时，随时观测膜布外观质量，发现因制作引起的破损、构丝及不可清除的污迹，及时通知有关方面。

#### 6) 膜固定（以一个单元为例）

第一，膜单元于绳网上按折叠或卷制顺序反向打开。膜单元展开后，必须立即于膜上方拉设反绳网并张紧。

第二，使用膜夹板及紧线器，按 1 米间距将膜边夹紧并拉伸至固定位置。

第三，使用铝压条固定膜单元周边

膜布安装时，操作工人的手套必须是干净的、无油污的；鞋子必须是软底胶鞋；安装工具放置时一定要平稳摆放，使用时必须做到是安全的、可控制的；小工具必须放置在工具包内。膜面安装完成后保证膜布不破损，表面不被污浊。

7) 膜单元组安装完毕后，对膜进行充气。同时松开临时绳网及反绳网。

8) 按同样程序进行下一组膜的安装。

9) 全部安装完成后，对整个系统进行全面的检查和调试。

### 7.3.3.3 PTFE 膜面铺设

1) 膜面安装必备条件：同 ETFE 膜。

2) 膜面就位：同 ETFE 膜。

3) 展开膜布：同 ETFE 膜。

4) 膜固定（以一个单元为例）

第一，于看台上将膜单元展开，于相应位置安装铝合金条及其他所有膜配件。

第二，吊起膜单元到安装位置，将膜单元与运行机械连接

膜布安装时，操作工人的手套必须是干净的、无油污的；鞋子必须是软底胶鞋；安装工具放置时一定要平稳摆放，使用时必须做到是安全的、可控制的；小工具必须放置在工具包内。膜面安装完成后保证膜布不破损，表面不被污浊。

5) 膜单元安装完毕后，对此膜单元进行调试。

6) 按同样程序进行下一组膜的安装。

7) 全部安装完成后, 对整个系统进行全面的检查和调试。

## 8.主要施工设备

附表 6-62 膜结构安装主要设备

编号	设备名称	用途
1	500 公斤紧绳器	临时牵引膜块及张拉副膜
2	铝夹板	临时固定膜边界
3	绳梯 PVC 覆盖物	防止绳梯碰坏膜面
4	棘轮带 2.5t(白色)	临时牵引、固定(可在膜面上用)
5	棘轮带 2.5t(带挂钩)	临时牵引、固定
6	焊接垫板 500x200 (表面无附加)	焊接未成型面时用
7	焊接垫板 500x200 (表面有附加)	焊接成型面时, 垫于背面, 防止变色
8	拉夹(用于角钢 11) -直型	边界固定 11 型夹具
9	拉夹(用于角钢 11) -角型	隅部固定 11 型夹具
10	PVC 安装覆盖膜 16X3m	包裹钢结构, 防止结构尖锐处碰坏膜
11	磁性 PTFE 焊熨	用于单侧无法加垫时的膜焊接
12	紧绳器紧绳 $\varnothing 4.5$ a'5m	用于紧绳器
13	紧绳器紧绳 $\varnothing 4.5$ a'20m	用于紧绳器
14	紧绳器紧绳 $\varnothing 4.5$ a'30m	用于紧绳器
15	500KG 紧绳器张拉柄(包括扳手)	临时牵引膜块及张拉副膜
16	紧绳器 3.2t	临时牵引膜块及张拉副膜
17	6t 简易吊车	临时起吊
18	3t 简易吊车	临时起吊
19	1.5t 简易吊车	临时起吊
20	0.75t 简易吊车	临时起吊
21	PRS 带 1m (带三角)	牵引膜
22	PTFE 焊接工具 (1 调节器, 1 焊)	焊接用
23	起重带 2tx1,5m	起吊膜等易破物

24	电动订机	固定底层副膜
25	尼龙绳 Ø10 250m	牵引膜用
26	尼龙绳 Ø6 500m	牵引膜用
27	焊接胶粘卷 200m	焊接助焊剂
28	PVC 透明软管 a'50m	绳网保护管
29	10t 液压泵(黄色)	预张膜面
30	千斤顶 (红色)	预紧钢索
31	EPDM 橡胶垫圈 Ø6mm	非结构防水要求处密封, 需与 32 配合
32	射钉枪 AMDM18	固定夹板
33	注胶枪 350	非结构防水要求处灌胶密封
34	Ø14 割孔机	膜面割孔
35	扭矩扳钳	测张拉力
36	尼龙锤 Ø50	
37	钢索切割机	切割钢索用
38	大助力扳手	用于需较大扳力的位置
39	艾伦内六角扳手棘轮 1/2"	用于需较大扳力, 空间又小的位置
40	PTFE 焊熨盖	防风
41	钢索夹	索引钢索时的夹头
42	送缆器	钢缆输送用
43	焊接紧钳	保证焊熨与被焊面贴合紧密
44	热汽枪	形成热熔保护/密封层
45	热割绳器	切割助焊带
46	绳梯 (带吸盘)	当膜面封闭后, 在光滑膜面上行走时用

## 9.施工进度保障措施

9.1 施工进度计划见工程施工总进度 (附后);

9.2 充气膜结构须根据屋顶次结构布置进行膜单元加工, 设计单位应尽早提供施工详图, 使膜结构提前进行详图设计、加工;

**9.3** 钢结构施工分部分进行验收，尽早为膜结构施工提前插入创造条件；

**9.4** 膜结构使用材料 ETFE 需要进口。为加快进度，便于施工统筹安排，膜材进口，进行国内热合；

**9.5** 现场安排一套加工设备，便于膜结构临时加工的需要。

筑龙网 WWW.ZHULONG.COM