

中华人民共和国行业标准

混凝土结构后锚固技术规程

Technical Specification for Post-installed Fastenings in
Concrete Structures

JGJ145—2004

2004 北京

前 言

根据建设部建标[1998]58号文的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结工程实践经验，参考有关国际标准和国外先进标准，并在广泛征求意见基础上，制定了本规程。

本规程的主要技术内容是：总则，术语和符号，材料，设计基本规定，锚固连接内力分析，承载能力极限状态计算，锚固抗震设计，构造措施，锚固施工与验收及锚固承载力现场检验方法。

本规程由建设部建筑工程标准技术归口单位中国建筑科学研究院归口管理，授权由主编单位负责具体解释。

本规程主编单位是：中国建筑科学研究院(地址：北京市北三环东路30号；邮政编码：100013)。

本规程参加单位是：中科院大连化物所，河南省建筑科学研究院，慧鱼(太仓)建筑锚栓有限公司，喜利得(中国)有限公司。

本规程主要起草人是：万墨林、韩继云、邸小坛、贺曼罗、吴金虎、王稚、萧雯。

目 次

- 1 总则**
 - 2 术语与符号**
 - 3 材料**
 - 3.1 混凝土基材
 - 3.2 锚栓
 - 3.3 锚固胶
 - 4 设计基本规定**
 - 4.1 锚栓分类及适用范围
 - 4.2 锚固设计原则
 - 5 锚固连接内力分析**
 - 5.1 一般规定
 - 5.2 群锚受拉内力计算
 - 5.3 群锚受剪内力计算
 - 6 承载能力极限状态计算**
 - 6.1 受拉承载力计算
 - 6.2 受剪承载力计算
 - 6.3 拉剪复合受力承载力计算
 - 7 锚固抗震设计**
 - 8 构造措施**
 - 9 锚固施工与验收**
 - 9.1 基本要求
 - 9.2 锚孔
 - 9.3 锚栓的安装与锚固
 - 9.4 锚固质量检查与验收
- 附录 A 锚固承载力现场检验方法**
- 本规程用词用语说明
- 条文说明

1 总 则

1.0.1 为使混凝土结构后锚固连接设计与施工做到技术先进、安全可靠、经济合理，制订本规程。

1.0.2 本规程适用于被连接件以普通混凝土为基材的后锚固连接设计、施工与验收，不适用以砌体或轻混凝土为基材的锚固。

1.0.3 后锚固连接设计应考虑被连接结构的类型(结构构件与非结构构件)、锚栓受力状况(受拉、受压、受弯、受剪、及其组合)、荷载类型及锚固连接的安全等级(重要与一般)等因素的综合影响。

1.0.4 后锚固连接设计、施工与验收，除满足本规程的规定外，尚应符合国家现行的有关强制性标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 后锚固 Post-installed fastenings

通过相关技术手段在既有混凝土结构上的锚固。

2.1.2 锚栓 Anchor

将被连接件锚固到混凝土基材上的锚固组件。

2.1.3 膨胀型锚栓 Expansion anchors

利用膨胀件挤压锚孔孔壁形成锚固作用的锚栓（图 2.1.3-1，图 2.1.3-2）。

2.1.4 扩孔型锚栓 Undercut anchors

通过锚孔底部扩孔与锚栓膨胀件之间的锁键形成锚固作用的锚栓（图 2.1.4）。

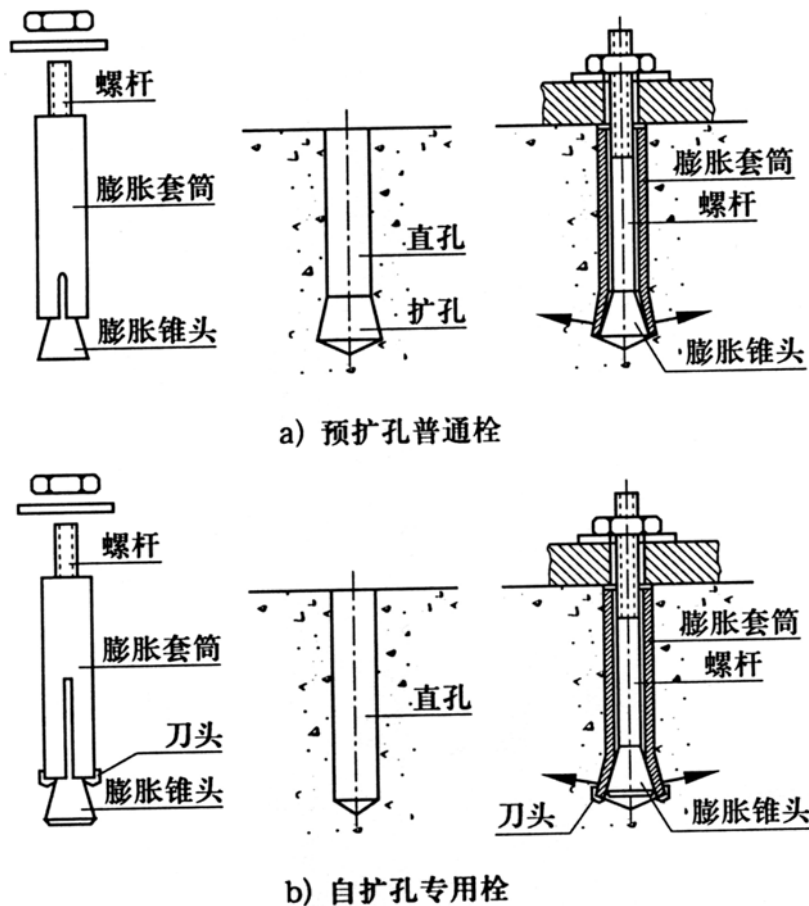


图 2.1.4 扩孔型锚栓

2.1.5 化学植筋 Bonded rebar

以化学粘结剂—锚固胶，将带肋钢筋及长螺杆等胶结固定于混凝土基材锚孔中的一种后锚固生根钢筋（图 2.1.5）。

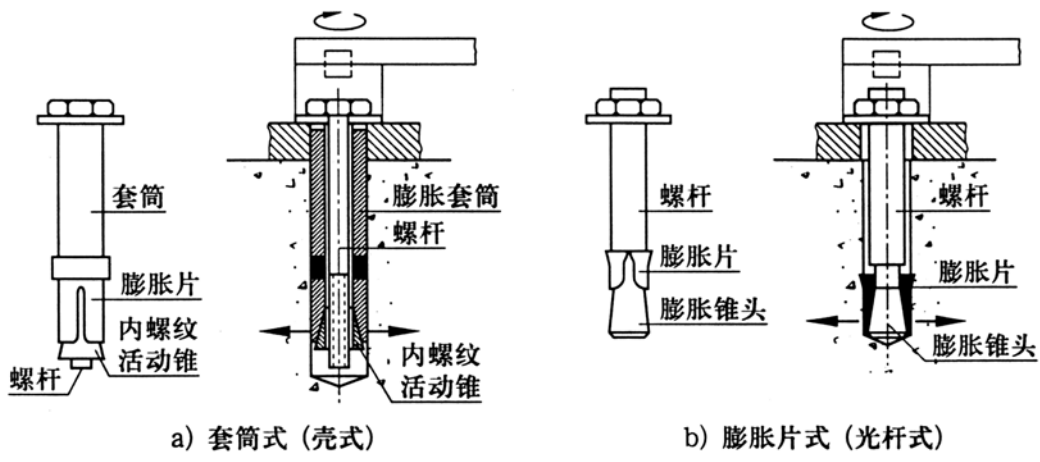


图 2.1.3-1 扭矩控制式膨胀型锚栓

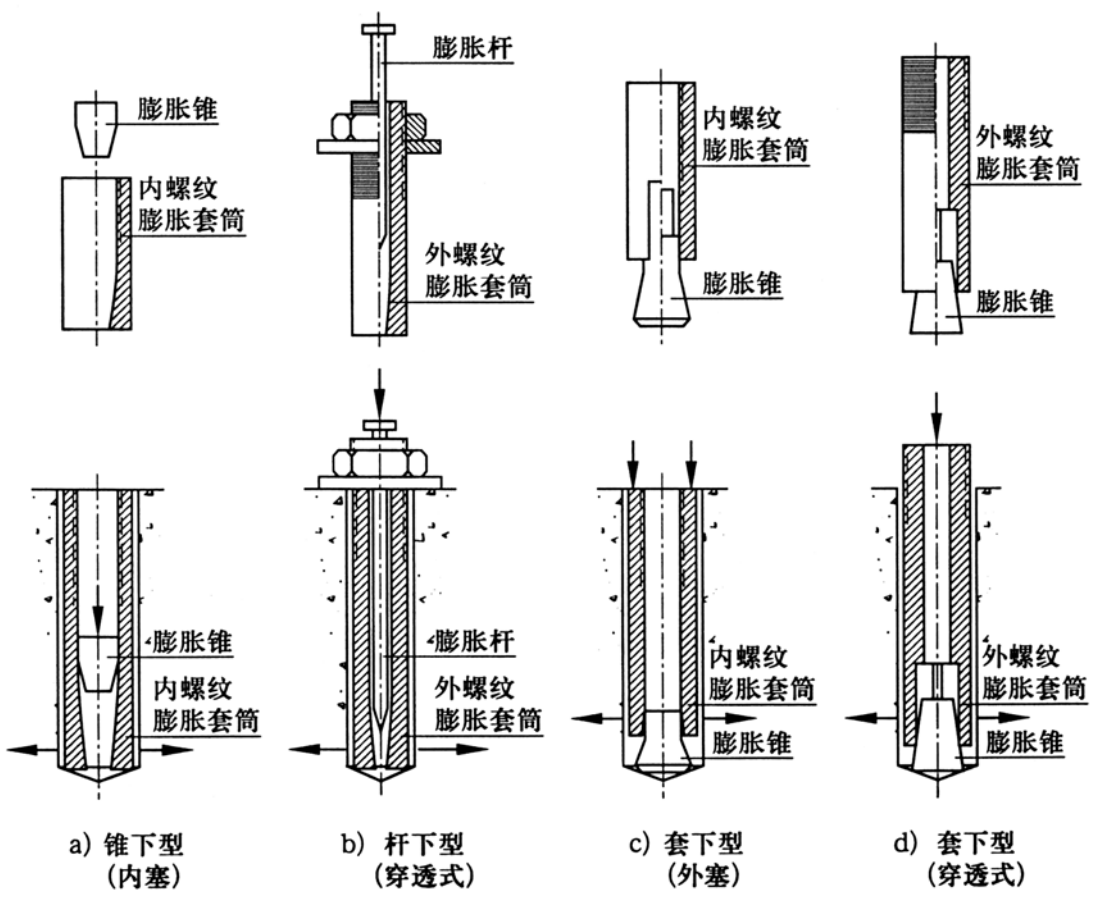


图 2.1.3-2 位移控制式膨胀型锚栓

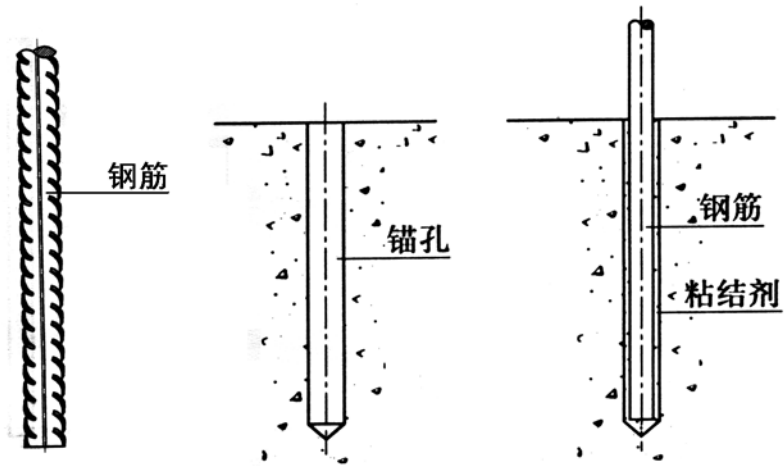


图 2.1.5 化学植筋

2.1.6 基材 Base material

承载锚栓的母体结构材料，本规程指混凝土。

2.1.7 群锚 Anchor group

共同工作的多个锚栓。

2.1.8 被连接件 Fixture

被锚固到混凝土基材上的物件。

2.1.9 锚板 Anchor plate

锚固到混凝土基材上的钢板。

2.1.10 破坏模式 Failure mode

荷载下锚固连接的破坏形式。

2.1.11 锚栓破坏 Anchor failure

锚栓或植筋本身钢材被拉断、剪坏或复合受力破坏形式（图 2.1.11）。

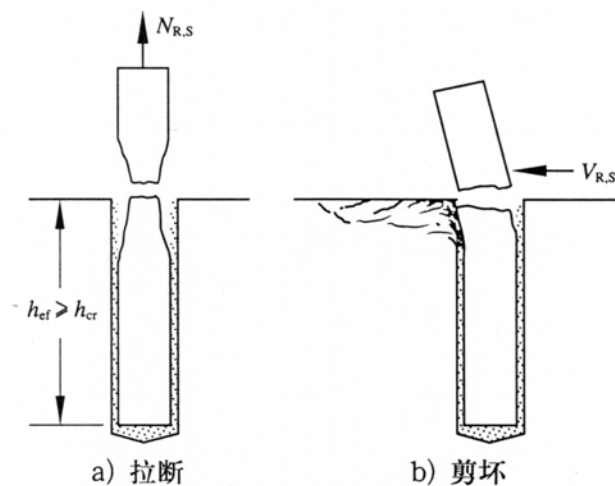


图 2.1.11 锚栓钢材破坏

2.1.12 混凝土锥体破坏 Concrete cone failure

锚栓受拉时混凝土基材形成以锚栓为中心的倒锥体破坏形式（图 2.1.12）。

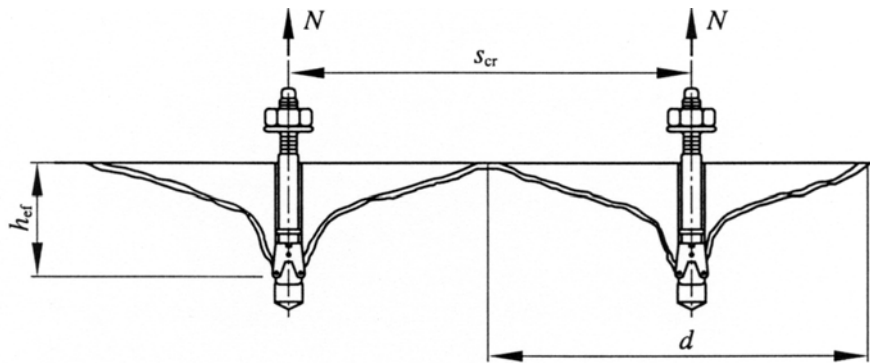


图 2.1.12 混凝土锥体受拉破坏

2.1.13 混合型破坏 Combination failure

化学植筋受拉时形成以基材表面混凝土锥体及深部粘结拔出之组合破坏形式（图 2.1.13）。

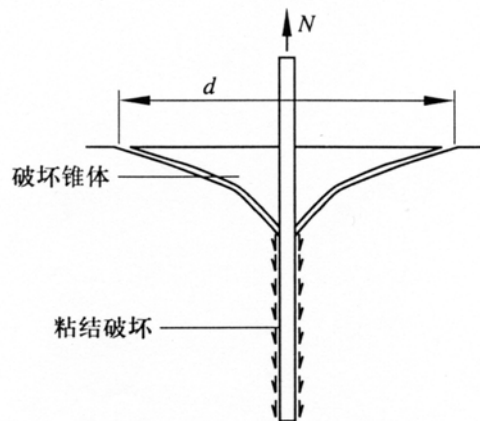


图 2.1.13 混合型受拉破坏

2.1.14 混凝土边缘破坏 Concrete edge failure

基材边缘受剪时形成以锚栓轴为顶点的混凝土楔形体破坏形式（图 2.1.14）。

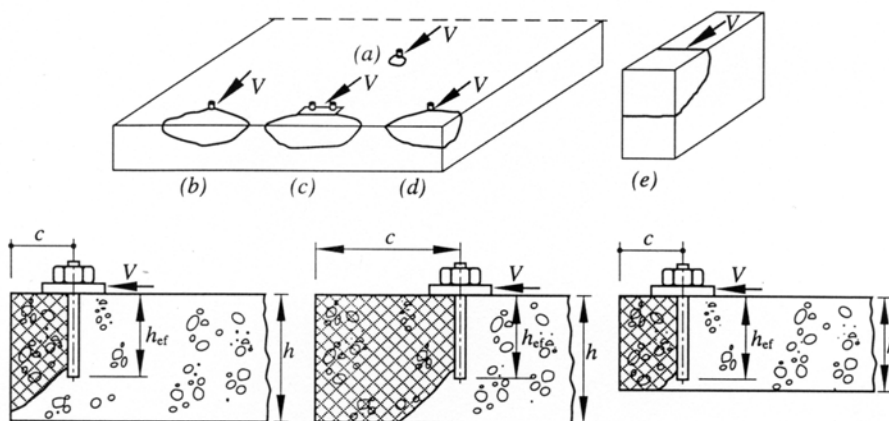


图 2.1.14 混凝土边缘楔形体受剪破坏

2.1.15 剪撬破坏 Pryout failure

中心受剪时基材混凝土沿反方向被锚栓撬坏（图 2.1.15）。

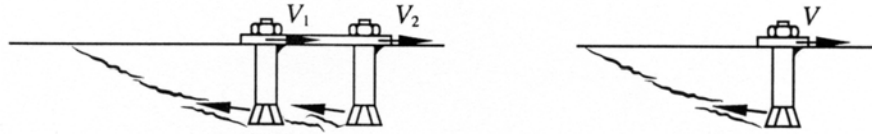


图 2.1.15 基材剪撬破坏

2.1.16 劈裂破坏 Splitting failure

基材混凝土因锚栓膨胀挤压力而沿锚栓轴线或若干锚栓轴线连线之开裂破坏形式（图 2.1.16）。

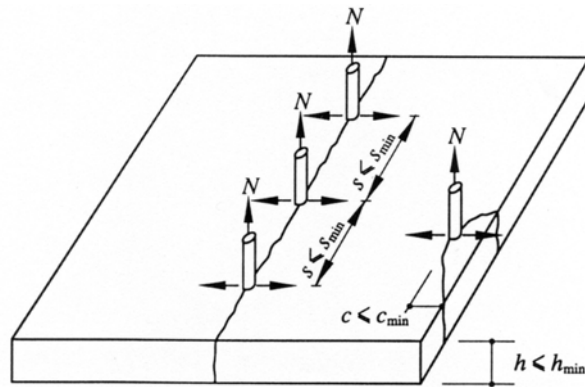


图 2.1.16 基材劈裂破坏

2.1.17 拔出破坏 Pull-out failure

拉力作用下锚栓整体从锚孔中被拉出的破坏形式（图 2.1.17）。

2.1.18 穿出破坏 Pull-through failure

拉力作用下锚栓膨胀锥从套筒中被拉出而膨胀套仍留在锚孔中的破坏形式（图 2.1.18）。

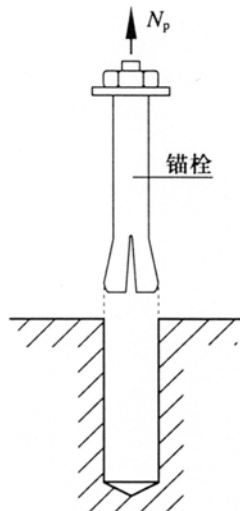


图 2.1.17 机械锚栓整体拔出

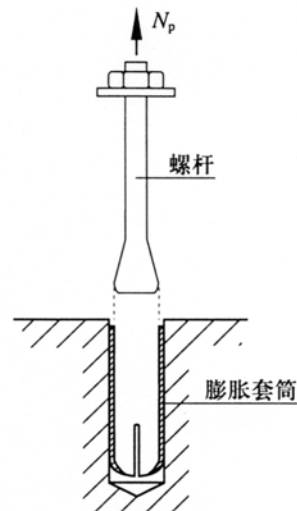


图 2.1.18 机械锚栓穿出破坏

2.1.19 胶筋界面破坏 Steel/adhesive interface failure

化学植筋或粘结型锚栓受拉时，沿胶粘剂与钢筋界面之拔出破坏形式（图 2.1.19）。

2.1.20 胶混界面破坏 Adhesive/concrete interface failure

化学植筋受拉时，沿胶粘剂与混凝土孔壁界面之拔出破坏形式（图 2.1.20）。

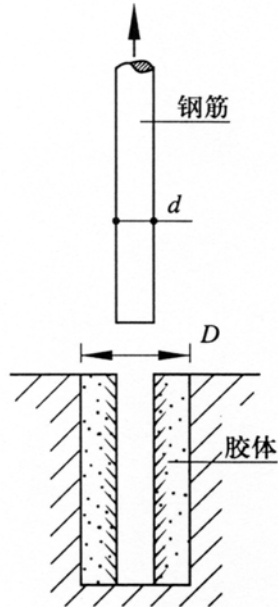


图 2.1.19 化学植筋沿胶筋界面拔出

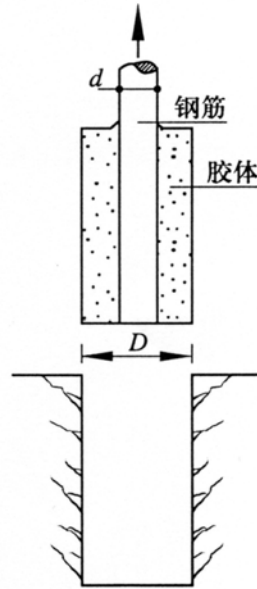


图 2.1.20 化学植筋沿胶混界面拔出

2.1.21 设计使用年限 Design working life

设计规定的锚固件或结构构件不需进行大修即可按其预定目的使用的时间。

2.2 符号

2.2.1 作用与抗力

M ——弯矩；

N ——轴向力；

R ——承载力；

S ——作用效应；

T ——扭矩；

V ——剪力；

N_{sd} ——拉力设计值；

V_{sd} ——剪力设计值；

N_{sd}^g ——群锚受拉区总拉力设计值；

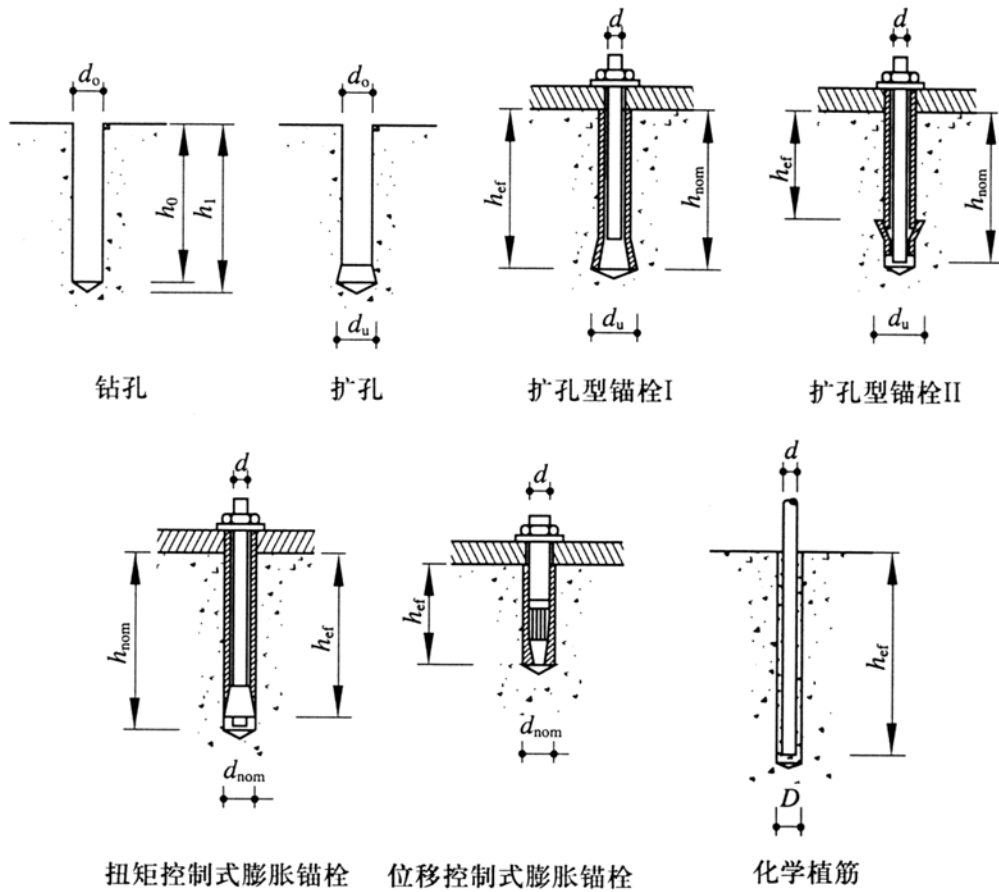
V_{sd}^g ——群锚总剪力设计值；
 N_{sd}^h ——群锚中受力最大锚栓的拉力设计值；
 V_{sd}^h ——群锚中受力最大锚栓的剪力设计值；
 $N_{Rk,s}$ ——锚栓受拉承载力标准值；
 $N_{Rd,s}$ ——锚栓受拉承载力设计值；
 $V_{Rk,s}$ ——锚栓受剪承载力标准值；
 $V_{Rd,s}$ ——锚栓受剪承载力设计值；
 $N_{Rk,c}$ ——混凝土锥体受拉破坏承载力标准值；
 $N_{Rd,c}$ ——混凝土锥体受拉破坏承载力设计值；
 $N_{Rk,sp}$ ——混凝土劈裂破坏受拉承载力标准值；
 $N_{Rd,sp}$ ——混凝土劈裂破坏受拉承载力设计值；
 $N_{Rk,p}$ ——锚栓拔出破坏受拉承载力标准值；
 $N_{Rd,p}$ ——锚栓拔出破坏受拉承载力设计值；
 T_{inst} ——按规定安装，施加于锚栓的扭矩；
 N_{inst} ——按规定安装，施加于锚栓的相应的预紧力；
 $V_{Rk,c}$ ——混凝土楔形体受剪破坏承载力标准值；
 $V_{Rd,c}$ ——混凝土楔形体受剪破坏承载力设计值；
 $V_{Rk,cp}$ ——混凝土剪撬破坏承载力标准值；
 $V_{Rd,cp}$ ——混凝土剪撬破坏承载力设计值。

2.2.2 材料强度

f_{yk} ——锚栓屈服强度标准值；
 f_{stk} ——锚栓极限抗拉强度标准值；
 $f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值。

2.2.3 几何特征值（图 2.2.3）

A_s, W_{el} ——锚栓应力截面面积和截面抵抗矩；
 a ——同一受力方向群锚与群锚邻接的外部锚栓之间的距离；
 b ——混凝土基材宽度；
 c, c_1, c_2 ——锚栓与混凝土基材边缘的距离；
 $c_{cr,N}$ ——混凝土理想锥体受拉破坏的锚栓临界边距；
 c_{min} ——不发生安装造成的混凝土劈裂破坏的锚栓边距最小值；



钻孔

扩孔

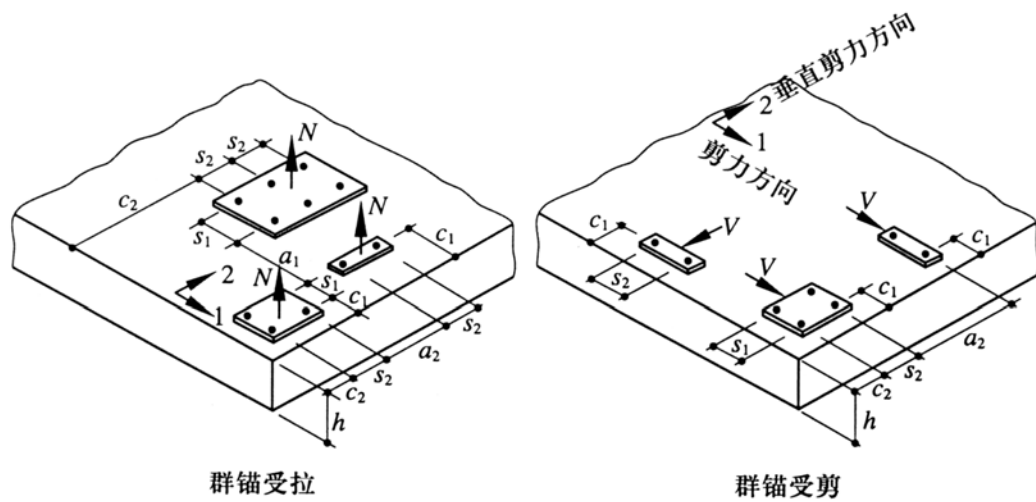
扩孔型锚栓I

扩孔型锚栓II

扭矩控制式膨胀锚栓

位移控制式膨胀锚栓

化学植筋



群锚受拉

群锚受剪

图2.2.3 锚固几何特征值

d ——锚栓杆、螺杆外螺纹公称直径及钢筋直径；

d_0 、 D ——锚孔直径；

d_u ——扩孔直径；

d_f ——锚板钻孔直径；

d_{nom} ——锚栓外径；

h ——混凝土基材厚度；

h_0 ——钻孔深度；
 h_1 ——钻孔底尖端深度；
 h_{ef} ——锚栓有效锚固深度；
 h_{min} ——不发生安装造成的混凝土劈裂破坏的混凝土基材厚度最小值；
 h_{nom} ——锚栓埋置深度；
 s 、 s_1 、 s_2 ——锚栓之间的距离；
 $s_{cr,N}$ ——混凝土理想锥体受拉破坏的锚栓临界间距；
 s_{min} ——不发生安装造成的混凝土劈裂破坏的锚栓间距最小值；
 t_{fix} ——被连接件厚度或锚板厚度；
 $A_{c,N}^0$ ——单根锚栓受拉，混凝土破坏理想锥体投影面面积；
 $A_{c,N}$ ——混凝土破坏计算锥体投影面面积；
 $A_{c,V}^0$ ——单根锚栓受剪混凝土破坏理想楔形体在侧向的投影面面积；
 $A_{c,V}$ ——混凝土破坏计算楔形体在侧向的投影面面积；
 l_f ——剪切荷载下，锚栓的计算长度。

2.2.4 分项系数及计算系数

γ_A ——锚固重要性系数；
 γ_{R*} ——锚固承载力分项系数；
 $\psi_{\alpha,V}$ ——角度对受剪承载力的影响系数；
 $\psi_{ec,N}$ ——荷载偏心对受拉承载力的影响系数；
 $\psi_{ec,V}$ ——荷载偏心对受剪承载力的影响系数；
 $\psi_{h,V}$ ——边距与混凝土基材厚度比对受剪承载力的影响系数；
 $\psi_{re,N}$ ——表层混凝土因密集配筋的剥离作用对受拉承载力的影响系数；
 $\psi_{s,N}$ ——边距 c 对受拉承载力的影响系数；
 $\psi_{s,V}$ ——边距 c 对受剪承载力的影响系数；
 $\psi_{ucr,N}$ ——未裂混凝土对受拉承载力的提高系数；
 $\psi_{ucr,V}$ ——未裂混凝土对受剪承载力的提高系数。

3 材料

3.1 混凝土基材

3.1.1 混凝土基材应坚实，且具有较大体量，能承担对被连接件的锚固和全部附加荷载。

3.1.2 风化混凝土、严重裂损混凝土、不密实混凝土、结构抹灰层、装饰层等，均不得作为锚固基材。

3.1.3 基材混凝土强度等级不应低于 C20。基材混凝土强度指标及弹性模量取值应根据现场实测结果按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 确定。

3.2 锚栓

3.2.1 混凝土结构所用锚栓的材质可为碳素钢、不锈钢或合金钢，应根据环境条件的差异及耐久性要求的不同，选用相应的品种。锚栓的性能应符合中华人民共和国建筑工业行业标准《混凝土用膨胀型、扩孔型建筑锚栓》的相关规定。

3.2.2 碳素钢和合金钢锚栓的性能等级应按所用钢材的抗拉强度标准值 f_{stk} 及屈强比 f_{yk}/f_{stk} 确定，相应的性能指标应按表 3.2.2 采用。

表 3.2.2 碳素钢及合金钢锚栓的性能指标

性能等级		3.6	4.6	4.8	5.6	5.8	6.8	8.8
抗拉强度标准值	f_{stk} (MPa)	300	400		500		600	800
屈服强度标准值	f_{yk} 或 $f_{s0.2k}$ (MPa)	180	240	320	300	400	480	640
伸长率	δ_5 (%)	25	22	14	20	10	8	12

注：材质性能等级 3.6 表示： $f_{stk}=300(\text{MPa})$ ， $f_{yk}/f_{stk}=0.6$ 。

3.2.3 不锈钢锚栓的性能等级应按所用钢材的抗拉强度标准值 f_{stk} 及屈服强度标准值 f_{yk} 确定，相应的性能指标应按表 3.2.3 采用。

表 3.2.3 不锈钢（奥氏体 A₁、A₂、A₄）锚栓的性能指标

性能等级	螺纹直径 (mm)	抗拉强度标准值 f_{stk} (MPa)	屈服强度标准值 f_{yk} (MPa)	伸长值 δ
50	≤ 39	500	210	0.6d
70	≤ 20	700	450	0.4d
80	≤ 20	800	600	0.3d

注：锚栓伸长量 δ 按 GB3098.6-86 标准 7.1.3 条方法测定。

3.2.4 化学植筋的钢筋及螺杆，应采用 HRB400 级和 HRB335 级带肋钢筋及 Q235 和 Q345 钢螺杆。钢筋的强度指标按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 规定采用。

3.2.5 锚栓弹性模量可取 $E_s=2.0 \times 10^5 \text{MPa}$ 。

3.3 锚固胶

3.3.1 化学植筋所用锚固胶的锚固性能应通过专门的试验确定。对获准使用的锚固胶，除说明书规定可以掺入定量的掺和剂(填料)外，现场施工中不宜随意增添掺料。

3.3.2 锚固胶按使用形态的不同分为管装式、机械注入式和现场配制式（图 3.3.2），应根据使用对象的特征和现场条件合理选用。

3.3.3 环氧基锚固胶的性能指标应满足表 3.3.3 的要求。

表 3.3.3 环氧基锚固胶性能指标

项 目	性 能 指 标	试验方法
物理性能	粘度（25℃）4500~75000mp _a .s， 安装温度在-5℃~40℃内能正常固化，固化时间可调	《胶粘剂粘度测定方法》 GB2794-81
胶体强度及 变形性能	抗压强度标准值 $f_{bc,k} \geq 60 \text{N/mm}^2$ 抗拉强度标准值 $f_{bt,k} \geq 18 \text{N/mm}^2$ 受拉弹性模量 $E \geq 5.2 \times 10^3 \text{N/mm}^2$ 受拉极限变形 $\epsilon_u \geq 0.01$	《塑料压缩试验方法》GB1041-79 《塑料拉伸试验方法》GB1040-79
钢—钢 粘结强度	抗剪强度标准值 $f_{bv,k} \geq 14 \text{N/mm}^2$ 抗拉强度标准值 $f_{bt,k} \geq 20 \text{N/mm}^2$ 不均匀扯离强度标准值 $f_{bp,k} \geq 20 \text{kN/m}$	《胶粘剂拉伸剪切强度测定方法》GB7124-86 《胶粘剂拉伸强度试验方法》 GB6329-86 《金属粘接不均匀扯离强度试验方法》HB5166
钢—混凝土 粘结强度	钢—混凝土的粘结抗拉，其破坏应发生在混凝土中，不允许发生在胶层	用带拉杆之 50×50×5 钢块两块，轴对称粘贴于 70×70×50 之 C50 混凝土块大面，固化后进行拉伸试验
耐高温性能	-45℃~80℃瞬态温度下及-35℃~60℃稳态温度下， $f_{bv,k} \geq 14 \text{MPa}$	GB7124-86
冻融性能	在-25℃~25℃范围内，经受 50 次冻融循环后， $f_{bv,k} \geq 14 \text{MPa}$	GB7124-86
耐老化性能	人工老化试验 $\geq 3000\text{h}$ ， $f_{bv,k} \geq 14 \text{MPa}$	GB7124-86 及《色漆和清漆—人工气候老化和人工辐射暴露—滤过的氙弧射》GB/T4865-1997

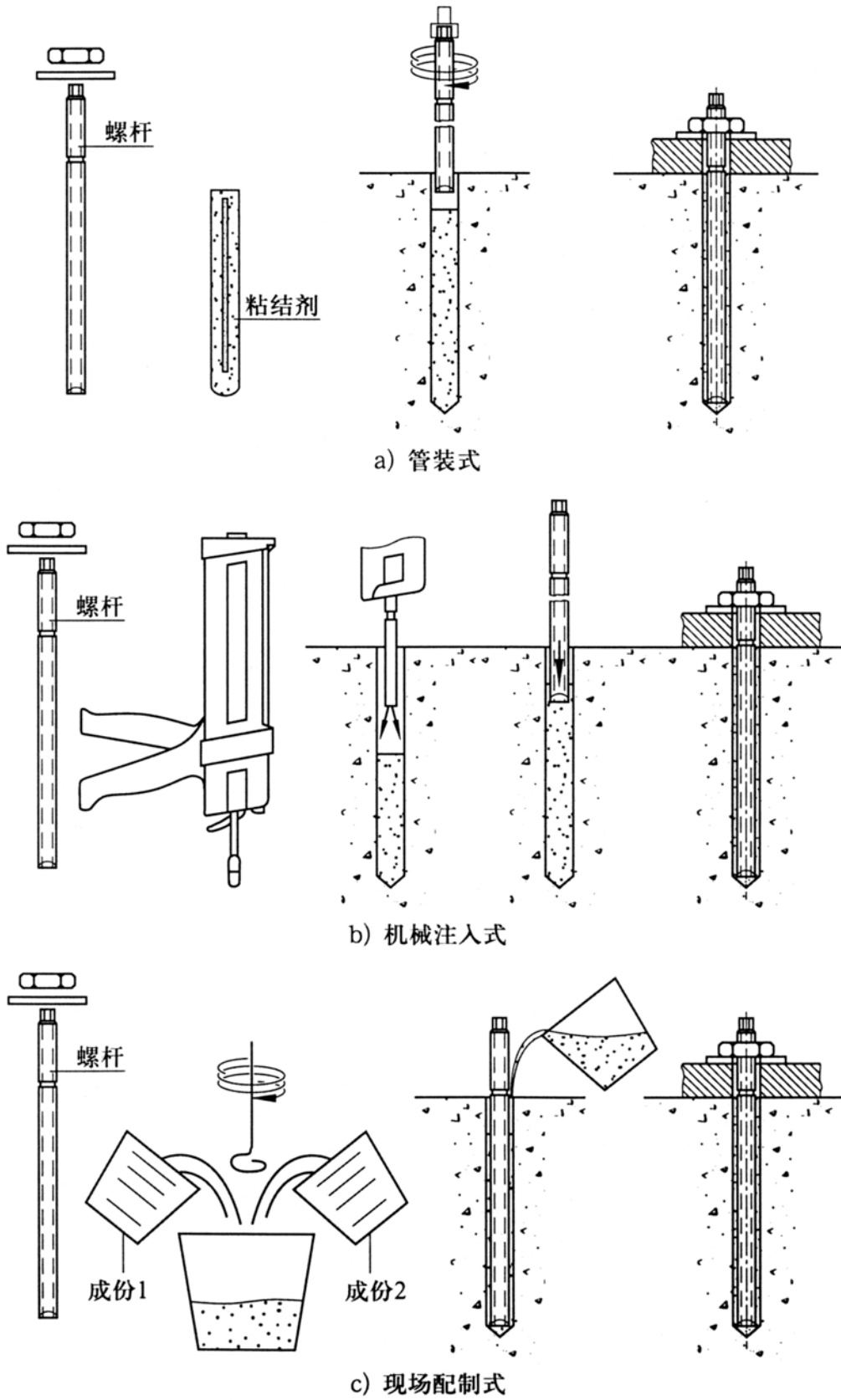


图3.3.2 锚固胶使用形态

4 设计基本规定

4.1 锚栓分类及适用范围

4.1.1 锚栓按工作原理及构造的不同可分为膨胀型锚栓、扩孔型锚栓、化学植筋及其它类型锚栓。各类锚栓的选用除考虑锚栓本身性能差异外，尚应考虑基材性状、锚固连接的受力性质、被连接结构类型、有无抗震设防要求等因素的综合影响。

4.1.2 膨胀型锚栓、扩孔型锚栓、化学植筋可用作非结构构件的后锚固连接，也可用作受压、中心受剪 ($c \geq 10h_{ef}$)、压剪组合之结构构件的后锚固连接。各类锚栓的特许适用和限定范围，应满足 4.1.3 条~4.1.4 条有关规定。

注：非结构构件包括建筑非结构构件（如围护外墙、隔墙、幕墙、吊顶、广告牌、储物柜架等）及建筑附属机电设备的支架（如电梯，照明和应急电源，通信设备，管道系统，采暖和空调系统，烟火监测和消防系统，公用天线等）等。

4.1.3 膨胀型锚栓和扩孔型锚栓不得用于受拉、边缘受剪 ($c < 10h_{ef}$)、拉剪复合受力的结构构件及生命线工程非结构构件的后锚固连接。

4.1.4 满足锚固深度要求的化学植筋及螺杆（图 2.1.5），可应于抗震设防烈度 ≤ 8 度之受拉、边缘受剪、拉剪复合受力之结构构件及非结构构件的后锚固连接。

4.2 锚固设计原则

4.2.1 本规程采用以试验研究数据和工程经验为依据，以分项系数为表达形式的极限状态设计方法。

4.2.2 后锚固连接设计所采用的设计使用年限应与整个被连接结构的设计使用年限一致。

4.2.3 根据锚固连接破坏后果的严重程度，后锚固连接划分为二个安全等级。混凝土结构后锚固连接设计，应按表 4.2.3 的规定，采用相应的安全等级，但不应低于被连接结构的安全等级。

表 4.2.3 锚固连接安全等级

安全等级	破坏后果	锚固类型
一级	很严重	重要的锚固
二级	严重	一般的锚固

4.2.4 后锚固连接承载力应采用下列设计表达式进行验算：

$$\text{无地震作用组合} \quad \gamma_A S \leq R \quad (4.2.4-1)$$

$$\text{有地震作用组合} \quad S \leq kR/\gamma_{RE} \quad (4.2.4-2)$$

$$R = R_k/\gamma_R \quad (4.2.4-3)$$

式中 γ_A —锚固连接重要性系数，对一级、二级的锚固安全等级，分别取 1.2、

1.1；且 $\gamma_A \geq \gamma_0$ ， γ_0 为被连接结构的重要性系数；

S —锚固连接荷载效应组合设计值，按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009 和《建筑抗震设计规范》GB50011 的规定进行计算；

R —锚固承载力设计值；

R_k —锚固承载力标准值；

k —地震作用下锚固承载力降低系数；

γ_{RE} —锚固承载力抗震调整系数；

γ_R —锚固承载力分项系数。

公式 (4.2.4-1) 中的 $\gamma_A S$ ，在本规程各章中用内力设计值 (N 、 M 、 V) 表示。

4.2.5 后锚固连接设计，应根据被连接结构类型、锚固连接受力性质及锚栓类型的不同，对其破坏形态加以控制。对受拉、边缘受剪、拉剪组合之结构构件及生命线工程非结构构件的锚固连接，应控制为锚栓或植筋钢材破坏，不应控制为混凝土基材破坏；对于膨胀型锚栓及扩孔型锚栓锚固连接，不应发生整体拔出破坏，不宜产生锚杆穿出破坏；对于满足锚固深度要求的化学植筋及长螺杆，不应产生混凝土基

材破坏及拔出破坏（包括沿胶筋界面破坏和胶混界面破坏）。

4.2.6 混凝土结构后锚固连接承载力分项系数 γ_R ，应根据锚固连接破坏类型及被连接结构类型的不同，按表 4.2.6 采用。当有充分试验依据和可靠使用经验，并经国家指定的机构技术认证许可后，其值可作适当调整。

表 4.2.6 锚固承载力分项系数 γ_R

项次	符号	被连接结构类型		
		锚固破坏类型	结构构件	非结构构件
1	$\gamma_{Rc,N}$	混凝土锥体受拉破坏	3.0	2.15
2	$\gamma_{Rc,V}$	混凝土楔形体受剪破坏	2.5	1.8
3	γ_{Rp}	锚栓穿出破坏	3.0	2.15
4	γ_{Rsp}	混凝土劈裂破坏	3.0	2.15
5	γ_{Rcp}	混凝土剪撬破坏	2.5	1.8
6	$\gamma_{Rs,N}$	锚栓钢材受拉破坏	$1.3 f_{stk}/f_{yk} \geq 1.55$	$1.2 f_{stk}/f_{yk} \geq 1.4$
7	$\gamma_{Rs,V}$	锚栓钢材受剪破坏	$1.3 f_{stk}/f_{yk} \geq 1.4$ ($f_{stk} \leq 800\text{MPa}$ 且 $f_{yk}/f_{stk} \leq 0.8$)	$1.2 f_{stk}/f_{yk} \geq 1.25$ ($f_{stk} \leq 800\text{MPa}$ 且 $f_{yk}/f_{stk} \leq 0.8$)

4.2.7 未经有资质的技术鉴定或设计许可，不得改变后锚固连接的用途和使用环境。

5 锚固连接内力分析

5.1 一般规定

5.1.1 锚栓内力宜按下列基本假定进行计算：

1. 被连接件与基材结合面受力变形后仍保持为平面，锚板出平面刚度较大，其弯曲变形忽略不计；

2. 锚栓本身不传递压力（化学植筋除外），锚固连接的压力应通过被连接件的锚板直接传给混凝土基材；

3. 群锚锚栓内力按弹性理论计算。当锚固破坏为锚栓或植筋钢材破坏，且为低强（ ≤ 5.8 级）钢材时，可考虑塑性应力重分布，按弹塑性理论计算。

5.1.2 当式 5.1.2 成立时，锚固区基材可判定为非开裂混凝土，否则宜判定为开裂混凝土，并按《混凝土结构设计规范》计算其裂缝宽度：

$$\sigma_L + \sigma_R \leq 0 \quad (5.1.2)$$

式中 σ_L —外荷载（包括锚栓荷载）及预应力在基材结构锚固区混凝土中所产生的应力标准值，拉为正，压为负；

σ_R —由于混凝土收缩、温度变化及支座位移等在锚固区混凝土中所产生的拉应力标准值，若不进行精确计算，可近似取 $\sigma_R = 3\text{MPa}$ 。

5.2 群锚受拉内力计算

5.2.1 轴心拉力作用下(图 5.2.1)，各锚栓所承受的拉力设计值应按下列式计算：

$$N_{sd} = N/n \quad (5.2.1)$$

式中 N_{sd} —锚栓所承受的拉力设计值；

N —总拉力设计值；

n —群锚锚栓个数。

5.2.2 轴心拉力与弯矩共同作用下（图 5.2.2），弹性分析时，受力最大锚栓的拉力设计值应按下列规定计算：

1. 当 $N/n - My_1/\sum y_i^2 \geq 0$ 时

$$N_{sd}^h = N/n + My_1/\sum y_i^2 \quad (5.2.2-1)$$

2. 当 $N/n - My_1/\sum y_i^2 < 0$ 时

$$N_{sd}^h = (NL + M)y'_i / \sum y_i'^2 \quad (5.2.2-2)$$

式中 M —弯矩设计值；

N_{sd}^h —群锚中受力最大锚栓的拉力设计值；

y_1, y_i —锚栓 1 及 i 至群锚形心轴的垂直距离；

y'_1, y'_i —锚栓 1 及 i 至受压一侧最外排锚栓的垂直距离；

L —轴力 N 作用点至受压一侧最外排锚栓的垂直距离。

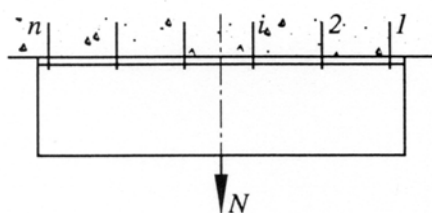


图 5.2.1 轴心受拉

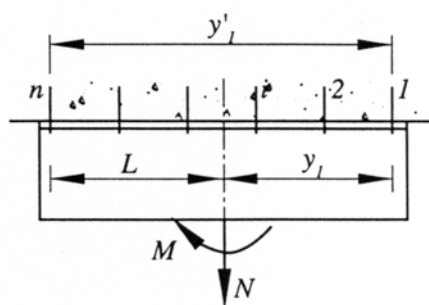


图 5.2.2 拉力和弯矩共同作用

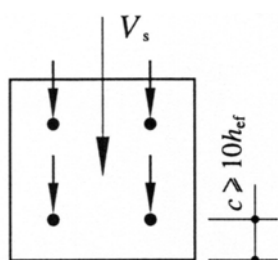
5.3 群锚受剪内力计算

5.3.1 群锚在剪切荷载 V 或扭矩 T 作用下，锚栓所承受的剪力，应根据被连接件锚板孔径 d_f 与锚栓直径 d 的适配情况，锚栓与混凝土基材边缘的距离 c 值大小等，分别按下列规定确定：

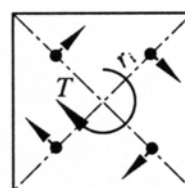
1. 锚板钻孔与锚杆之间的空隙 $\Delta = d_f - d$ 或钻孔与套筒之间的空隙（穿透式安装情况） $\Delta = d_f - d_{nom}$ 小于或等于表 5.3.1 的允许值 $[\Delta]$ ，且边距 $C \geq 10h_{ef}$ 时，所有锚栓均匀分摊剪切荷载(图 5.3.1-1)；

表 5.3.1 被连接件孔径、孔隙规定 (mm)

锚栓 d 或 d_{nom}	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24	27	30
锚板孔径 d_f	7	9	12	14	16	18	20	22	24	26	30	33
最大间隙 $[\Delta]$	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	3	3



a) 剪力 V 作用下



b) 扭矩 T 作用下

图 5.3.1-1 理想状态下受剪锚栓内力

2. $\Delta > [\Delta]$ 或 $c < 10h_{ef}$ 时, 只有部分锚栓承受剪切荷载 (图 5.3.1-2);

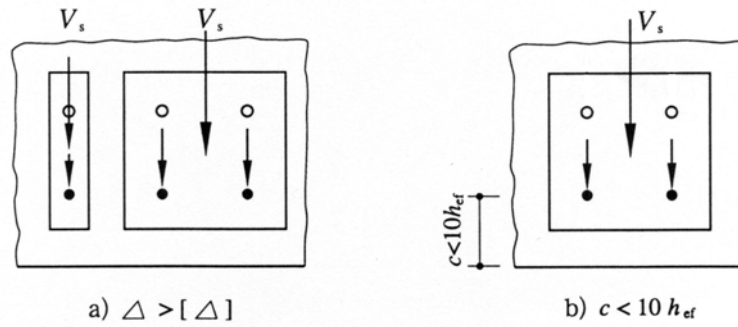


图 5.3.1-2 非理想状态下受剪锚栓内力

3. 当部分锚栓的锚板孔沿剪切荷载方向为长槽孔时, 可不考虑这些锚栓承受剪力 (图 5.3.1-3)。

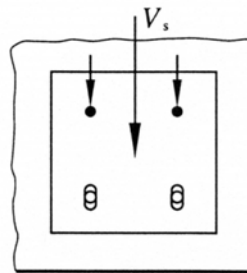


图 5.3.1-3 人工干预受剪锚栓内力

5.3.2 剪切荷载 V 作用下 (图 5.3.2), 锚栓的剪力设计值应按下列公式计算:

$$V_{Si,x}^V = V_x / n_x \quad (5.3.2-1)$$

$$V_{Si,y}^V = V_y / n_y \quad (5.3.2-2)$$

$$V_{Si}^V = \sqrt{(V_{Si,x}^V)^2 + (V_{Si,y}^V)^2} \quad (5.3.2-3)$$

$$V_{Sd}^h = V_{Si,max}^V \quad (5.3.2-4)$$

式中 $V_{Si,x}^V$ —锚栓 i 所受剪力的 x 分量;
 $V_{Si,y}^V$ —锚栓 i 所受剪力的 y 分量;
 V_{Si}^V —锚栓 i 所受的组合剪力值;
 V_x —剪切荷载设计值 V 的 x 分量;
 n_x —参与 V_x 受剪的锚栓数目;
 V_y —剪切荷载设计值 V 的 y 分量;
 n_y —参与 V_y 受剪的锚栓数目;

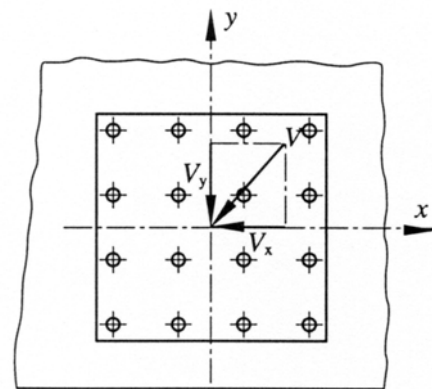


图 5.3.2 受剪

V_{Sd}^h —承受剪力最大锚栓的剪力设计值。

5.3.3 按弹性分析时, 群锚在扭矩 T 作用下 (图 5.3.3), 锚栓的剪力设计值应按下列公式计算:

$$V_{Si,x}^T = T y_i / (\sum x_i^2 + \sum y_i^2) \quad (5.3.3-1)$$

$$V_{Si,y}^T = T x_i / (\sum x_i^2 + \sum y_i^2) \quad (5.3.3-2)$$

$$V_{si}^T = \sqrt{(V_{si,x}^T)^2 + (V_{si,y}^T)^2} \quad (5.3.3-3)$$

$$V_{Sd}^h = V_{si,max}^T \quad (5.3.3-4)$$

式中 T —扭矩设计值；

$V_{Si,x}^T$ — T 作用下锚栓 i 所受剪力的 x 分量；

$V_{Si,y}^T$ — T 作用下锚栓 i 所受剪力的 y 分量；

V_{Si}^T — T 作用下锚栓 i 所受组合剪力值；

x_i —锚栓 i 至以群锚形心为原点的 y 坐标轴的垂直距离；

y_i —锚栓 i 至以群锚形心为原点的 x 坐标轴的垂直距离。

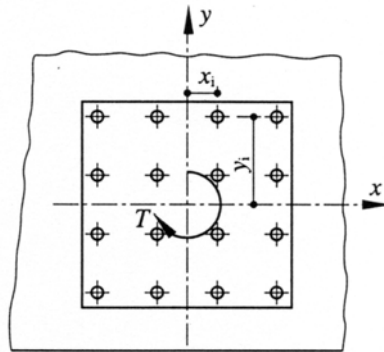


图 5.3.3 受扭

5.3.4 群锚在剪力 V 和扭矩 T 共同作用下(图 5.3.4)，锚栓的剪力设计值应按下式计算：

$$V_{si} = \sqrt{(V_{si,x}^V + V_{si,x}^T)^2 + (V_{si,y}^V + V_{si,y}^T)^2} \quad (5.3.4-1)$$

$$V_{Sd}^h = V_{si,max} \quad (5.3.4-2)$$

式中 V_{Si} —锚栓 i 的剪力设计值。

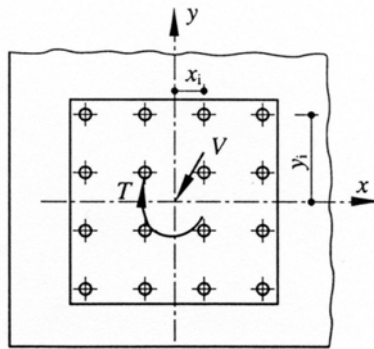


图 5.3.4 剪力和扭矩共同作用

6 承载能力极限状态计算

6.1 受拉承载力计算

6.1.1 锚固受拉承载力应符合表 6.1.1 的规定：

表 6.1.1 锚固受拉承载力设计规定

破坏类型	单一锚栓	群 锚
锚栓钢材破坏	$N_{Sd} \leq N_{Rd,s}$	$N_{Sd}^h \leq N_{Rd,s}$
膨胀型锚栓及扩孔型锚栓穿出破坏	$N_{Sd} \leq N_{Rd,p}$	$N_{Sd}^h \leq N_{Rd,s}$
混凝土锥体受拉破坏	$N_{Sd} \leq N_{Rd,c}$	$N_{Sd}^e \leq N_{Rd,c}$
混凝土劈裂破坏	$N_{Sd} \leq N_{Rd,sp}$	$N_{Sd}^e \leq N_{Rd,sp}$
注： N_{Sd}^h — 群锚中拉力最大锚栓的拉力设计值； N_{Sd}^e — 群锚受拉区总拉力设计值； $N_{Rd,s}$ — 锚栓钢材破坏受拉承载力设计值； $N_{Rd,c}$ — 混凝土锥体破坏受拉承载力设计值； $N_{Rd,p}$ — 膨胀型锚栓及扩孔型锚栓穿出破坏受拉承载力设计值； $N_{Rd,sp}$ — 混凝土劈裂破坏受拉承载力设计值。		

6.1.2 锚栓或植筋钢材破坏时的受拉承载力设计值 $N_{Rd,s}$ ，应按下列公式计算：

$$N_{Rd,s} = N_{Rk,s} / \gamma_{RS,N} \quad (6.1.2-1)$$

$$N_{Rk,s} = A_s f_{stk} \quad (6.1.2-2)$$

式中 $N_{Rk,s}$ — 锚栓或植筋钢材破坏受拉承载力标准值；

$\gamma_{RS,N}$ — 锚栓或植筋钢材破坏受拉承载力分项系数，按表 4.2.6 采用；

A_s — 锚栓或植筋应力截面面积；

f_{stk} — 锚栓或植筋极限抗拉强度标准值。

6.1.3 单锚或群锚混凝土锥体受拉破坏时的受拉承载力设计值 $N_{Rd,c}$ ，应按下列公式计算：

$$N_{Rd,c} = N_{Rk,c} / \gamma_{Rc,N} \quad (6.1.3-1)$$

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^o \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^o} \psi_{s,N} \psi_{re,N} \psi_{ec,N} \psi_{ucr,N} \quad (6.1.3-2)$$

式中 $N_{Rk,c}$ —混凝土锥体破坏时的受拉承载力标准值。
 $\gamma_{Rc,N}$ —混凝土锥体破坏时的受拉承载力分项系数, $\gamma_{Rc,N}$ 按表 4.2.6 采用;

$N_{Rk,c}^{\circ}$ —开裂混凝土单根锚栓受拉,理想混凝土锥体破坏时的受拉承载力标准值,按 6.1.4 条规定计算;

$A_{c,N}^{\circ}$ —间距、边距很大时,单根锚栓受拉,理想混凝土破坏锥体投影面面积,按 6.1.5 条规定计算;

$A_{c,N}$ —单根锚栓或群锚受拉,混凝土实有破坏锥体投影面面积,按 6.1.6 条有关规定计算;

$\psi_{s,N}$ —边距 c 对受拉承载力的降低影响系数,按 6.1.7 条规定计算;

$\psi_{re,N}$ —表层混凝土因密集配筋的剥离作用对受拉承载力的降低影响系数,按 6.1.8 条规定计算;

$\psi_{ec,N}$ —荷载偏心 e_N 对受拉承载力的降低影响系数,按 6.1.9 条规定计算;

$\psi_{ucr,N}$ —未裂混凝土对受拉承载力的提高系数,按 6.1.10 条规定取用。

6.1.4 开裂混凝土单根锚栓,理想混凝土锥体破坏受拉承载力标准值 $N_{Rk,c}^{\circ}$ (N),应由试验确定,在符合产品标准及本规程有关规定的情况下,可按下式计算或按表 6.1.4 采用:

$$N_{Rk,c}^{\circ} = 7.0 \sqrt{f_{cu,k}} h_{ef}^{1.5} \quad (\text{膨胀型锚栓及扩孔型锚栓}) \quad (\text{N}) \quad (6.1.4)$$

式中 $f_{cu,k}$ —混凝土立方体抗压强度标准值(N/mm²),当 $f_{cu,k}=45\sim 60\text{Mpa}$ 时,应乘以降低系数 0.95;

h_{ef} —锚栓有效锚固深度(mm),对于膨胀型锚栓及扩孔型锚栓,为膨胀锥体与孔壁最大挤压点的深度。

6.1.5 单根锚栓受拉,混凝土理想化破坏锥体投影面面积 $A_{c,N}^{\circ}$ 应按下列公式计算(图 6.1.5):

$$A_{c,N}^{\circ} = s_{cr,N}^2 \quad (6.1.5)$$

式中 $s_{cr,N}$ —混凝土锥体破坏情况下,无间距效应和边缘效应,确保每根锚栓受拉承载力标准值的临界间距。对于膨胀型锚栓及扩孔型锚栓,取

$$s_{cr,N} = 3h_{ef}。$$

表 6.1.4 单根膨胀型锚栓、扩孔型锚栓受拉，混凝土锥体破坏承载力标准值 $N_{Rk,c}^o$ (kN)

混凝土强度等级 有效锚固深度 h_{ef} (mm)	C20	C25	C30	C35	C40	C45	C50	C55	C60
30	5.14	5.75	6.30	6.80	7.27	7.52	7.93	8.31	8.68
35	6.48	7.25	7.94	8.58	9.17	9.48	9.99	10.48	10.94
40	7.92	8.85	9.70	10.48	11.20	11.58	12.20	12.80	13.37
45	9.45	10.57	11.57	12.50	13.36	13.82	14.56	15.27	15.95
50	11.07	12.37	13.56	14.64	15.65	16.18	17.06	17.89	18.68
55	12.77	14.28	15.64	16.89	18.06	18.67	19.68	20.64	21.56
60	14.55	16.27	17.82	19.25	20.58	21.27	22.42	23.52	24.56
70	18.33	20.50	22.45	24.25	25.93	26.80	28.25	29.63	30.95
80	22.40	25.04	27.43	29.63	31.68	32.75	34.52	36.21	37.82
90	26.73	29.88	32.74	35.36	37.80	39.08	41.19	43.20	45.12
100	31.30	35.00	38.34	41.41	44.27	45.77	48.24	50.60	52.85
120	41.15	46.01	50.40	54.44	58.20	60.16	63.42	66.51	69.47
140	51.86	57.98	63.51	68.60	73.34	75.82	79.92	83.82	87.54
160	63.36	70.84	77.60	83.81	89.60	92.63	97.64	102.41	106.96
180	75.60	84.52	92.59	100.01	106.91	110.53	116.51	122.19	127.63
200	88.54	98.99	108.44	117.13	125.22	129.45	136.46	143.12	149.48
250	123.74	138.35	151.55	163.70	175.00	180.92	190.70	200.01	208.90
300	162.67	181.87	199.22	215.19	230.04	237.82	250.68	262.92	274.61
350	204.98	229.18	251.05	271.17	289.89	299.69	315.90	331.32	346.05
400	250.44	280.00	306.72	331.13	354.18	366.15	385.59	404.79	422.79
450	298.84	334.11	366.00	395.32	426.62	436.90	460.54	483.01	504.49
500	350.00	391.31	428.66	463.01	494.97	511.71	539.39	565.71	590.87

6.1.6 群锚受拉，混凝土破坏锥体投影面面积 $A_{c,N}$ ，应根据锚栓排列布置情况的不同，分别按下列规定计算：

- 1) 单栓，靠近构件边缘布置， $c_1 \leq c_{cr,N}$ 时 (图 6.1.6-1)

$$A_{c,N} = (c_1 + 0.5s_{cr,N})s_{cr,N} \quad (6.1.6-1)$$

- 2) 双栓，垂直构件边缘布置， $c_1 \leq c_{cr,N}$ ， $s_1 \leq s_{cr,N}$ 时 (图 6.1.6-2)

$$A_{c,N} = (c_1 + s_1 + 0.5s_{cr,N})s_{cr,N} \quad (6.1.6-2)$$

- 3) 双栓，平行构件边缘布置， $c_1 \leq c_{cr,N}$ ， $s_1 \leq s_{cr,N}$ 时 (图 6.1.6-3)

$$A_{c,N}=(c_2+0.5s_{cr,N})(s_1+s_{cr,N}) \quad (6.1.6-3)$$

4) 四栓，位于构件角部， $c_1 \leq c_{cr,N}$, $c_2 \leq c_{cr,N}$, $s_1 \leq s_{cr,N}$, $s_2 \leq s_{cr,N}$ 时(图 6.1.6-4)

$$A_{c,N}=(c_1+s_1+0.5s_{cr,N})(c_2+s_2+0.5s_{cr,N}) \quad (6.1.6-4)$$

上列公式中 c_1, c_2 —方向 1 及 2 的边距；

s_1, s_2 —方向 1 及 2 的间距；

$c_{cr,N}$ —混凝土锥体破坏，无间距效应及边缘效应，确保每根锚栓受拉承载力标准值的临界边距，对于膨胀型锚栓、扩孔型锚栓

$$c_{cr,N}=1.5h_{ef}$$

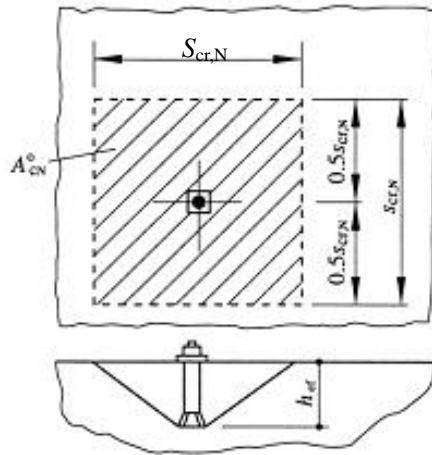


图 6.1.5 单栓受拉，理想化破坏锥体及其计算面积

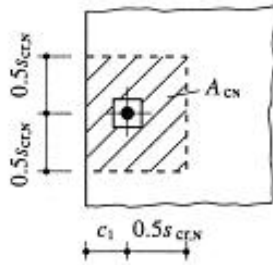


图 6.1.6-1 单栓受拉，靠近构件边缘时的计算面积

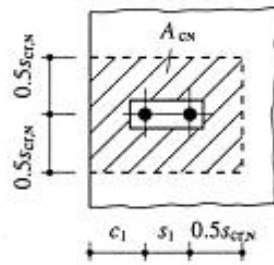


图 6.1.6-2 双栓受拉，垂直于构件边缘时的计算面积

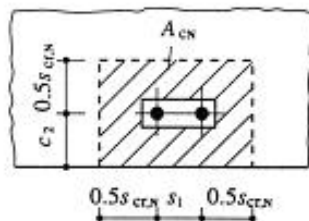


图 6.1.6-3 双栓受拉，平行于构件边缘时的计算面积

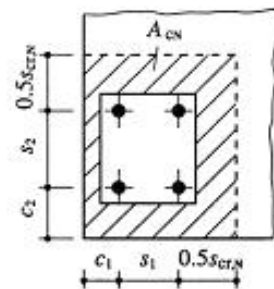


图 6.1.6-4 四栓受拉，位于构件角部的计算面积

6.1.7 边距 c 对受拉承载力降低影响系数 $\psi_{s,N}$ 应按下列式计算：

$$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \frac{c}{c_{cr,N}} \leq 1 \quad (6.1.7)$$

式中 c — 边距，若有多个边距时，取最小值。 $c_{\min} \leq c \leq c_{cr,N}$ ， c_{\min} 按 6.1.11 条规定采用。

6.1.8 表层混凝土因密集配筋的剥离作用对受拉承载力降低影响系数 $\psi_{re,N}$ 按下式计算。当锚固区钢筋间距 $s \geq 150\text{mm}$ 时，或钢筋直径 $d \leq 10\text{mm}$ 且 $S \geq 100\text{mm}$ 时，则取 $\psi_{re,N} = 1.0$ 。

$$\psi_{re,N} = 0.5 + \frac{h_{ef}}{200} \leq 1 \quad (6.1.8)$$

6.1.9 荷载偏心对受拉承载力的降低影响系数 $\psi_{ec,N}$ 按下式计算：

$$\psi_{ec,N} = \frac{1}{1 + 2e_N / s_{cr,N}} \leq 1 \quad (6.1.9)$$

式中 e_N — 外拉力 N 相对于群锚重心的偏心距；若为双向偏心，应分别按两个方向计算，取 $\psi_{re,N} = \psi_{(ec,N)1} \psi_{(ec,N)2}$ 。

6.1.10 未裂混凝土对受拉承载力的提高系数 $\psi_{ucr,N}$ ，对膨胀型锚栓及扩孔型锚栓可取 1.4。

6.1.11 锚栓边距 c 、间距 s 及基材厚度 h 应分别 \geq 其最小值 c_{\min} 、 s_{\min} 、 h_{\min} 。锚栓安装过程中不产生劈裂破坏的最小边距 c_{\min} 、最小间距 s_{\min} 及最小厚度 h_{\min} ，应由锚栓生产厂家通过系统的试验认证后提供，在符合产品标准及本规程有关规定情况下，可采用下列数据：

$$h_{\min} = 1.5h_{ef}, \text{ 且 } h_{\min} \geq 100\text{mm}$$

膨胀型锚栓(双锥体)	$c_{\min} = 3h_{ef}$,	$s_{\min} = 1.5h_{ef}$
------------	------------------------	------------------------

膨胀型锚栓	$c_{\min} = 2h_{ef}$,	$s_{\min} = h_{ef}$
-------	------------------------	---------------------

扩孔型锚栓	$c_{\min} = h_{ef}$,	$s_{\min} = h_{ef}$
-------	-----------------------	---------------------

当满足下列条件时，可不考虑荷载条件下的劈裂破坏作用：

1. 锚栓位于构件受压区或配有能限制裂缝宽度 $\leq 0.3 \text{ mm}$ 的钢筋；
2. $c \geq 1.5c_{cr,sp}$ ，及 $h \geq 2h_{ef}$ ，其中 $c_{cr,sp}$ 为基材混凝土劈裂破坏的临界边距，对于扩孔型锚栓 $c_{cr,sp} = 2h_{ef}$ ，膨胀型锚栓 $c_{cr,sp} = 3h_{ef}$ 。

当不满足上述要求时，则应验算荷载条件下的基材混凝土劈裂破坏承载力，并按下列公式计算混凝土劈裂破坏承载力设计值 $N_{Rd,sp}$ ：

$$N_{Rd,sp} = N_{Rk,sp} / \gamma_{Rsp} \quad (6.1.11-1)$$

$$N_{Rk,sp} = \psi_{h,sp} N_{Rk,c} \quad (6.1.11-2)$$

$$\psi_{h,sp} = (h/2h_{ef})^{2/3} \leq 1.5 \quad (6.1.11-3)$$

式中 $N_{Rd,sp}$ —混凝土劈裂破坏受拉承载力设计值；
 $N_{Rk,sp}$ —混凝土劈裂破坏受拉承载力标准值；
 $N_{Rk,c}$ —混凝土锥体破坏时的受拉承载力标准值，按公式(6.1.3-2)计算，
 但 $A_{c,N}$ 、 $A_{c,N}^{\circ}$ 计算中的 $C_{cr,N}$ 和 $C_{cr,N}$ 应由 $C_{cr,sp} = 2h_{ef}$ (扩孔型锚栓)、
 $3h_{ef}$ (膨胀型锚栓) 和 $S_{cr,sp} = 2C_{cr,sp}$ 替代；
 γ_{Rsp} —混凝土劈裂破坏受拉承载力分项系数，按表 4.2.6 采用；
 $\psi_{h,sp}$ —构件厚度 h 对劈裂抗力的影响系数。

6.2 受剪承载力计算

6.2.1 锚固受剪承载力应按表 6.2.1 规定计算：

表 6.2.1 锚固受剪承载力设计规定

破坏类型	单一锚栓	群 锚
锚栓钢材破坏	$V_{Sd} \leq V_{Rd,s}$	$V_{Sd}^h \leq V_{Rd,s}$
混凝土剪撬破坏	$V_{Sd} \leq V_{Rd,cp}$	$V_{Sd}^g \leq V_{Rd,cp}$
混凝土楔形体破坏	$V_{Sd} \leq V_{Rd,c}$	$V_{Sd}^g \leq V_{Rd,c}$

表中 V_{Sd}^h —群锚中剪力最大锚栓的剪力设计值；
 V_{Sd}^g —群锚总剪力设计值；
 $V_{Rd,s}$ —锚栓钢材破坏时的受剪承载力设计值；
 $V_{Rd,c}$ —混凝土楔形体破坏时的受剪承载力设计值；
 $V_{Rd,cp}$ —混凝土剪撬破坏时的受剪承载力设计值。

6.2.2 锚栓或植筋钢材破坏时的受剪承载力设计值 $V_{Rd,s}$ 应按下列规定计算：

$$V_{Rd,s} = V_{Rk,s} / \gamma_{Rs,v} \quad (6.2.2-1)$$

式中 $V_{Rk,s}$ —锚栓或植筋钢材破坏时的受剪承载力标准值；
 $\gamma_{Rs,v}$ —锚栓或植筋钢材破坏时的受剪承载力分项系数， $\gamma_{Rs,v}$ 按表 4.2.6 采用。

1. 无杠杆臂的纯剪， $V_{Rk,s}$ 按下式计算：

$$V_{Rk,s} = 0.5 A_s f_{stk} \quad (6.2.2-2)$$

式中 f_{stk} —锚栓或植筋极限抗拉强度标准值，按表 3.2.2 和表 3.2.3 采用；

A_s —锚栓或植筋应力段截面面积较小值。

注：对于群锚，若锚栓钢材延性较低（拉断伸长率 $\leq 8\%$ ）， $V_{Rk,s}$ 应乘以 0.8 的降低系数。

2. 有杠杆臂的拉、弯、剪复合受力， $V_{Rk,s}$ 可按下列公式计算：

$$V_{Rk,s} = \alpha_M M_{Rk,s} / l_0 \quad (6.2.2-3)$$

$$M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^\circ (1 - N_{sd} / N_{Rd,s}) \quad (6.2.2-4)$$

$$M_{Rk,s}^\circ = 1.2 W_{el} f_{stk} \quad (6.2.2-5)$$

式中 l_0 —杆杠臂计算长度，当用垫圈和螺母压紧在混凝土基面上时（图 6.2.2-1a）， $l_0 = l$ ，无压紧时（图 6.2.2-1b）， $l_0 = l + 0.5d$ ；

α_M —被连接件约束系数，无约束时（图 6.2.2-2a） $\alpha_M = 1$ ，有约束时（图 6.2.2-2b） $\alpha_M = 2$ 。

$M_{Rk,s}^\circ$ —单根锚栓抗弯承载力标准值；

N_{sd} —单根锚栓轴拉力设计值；

$N_{Rd,s}$ —单根锚栓钢材破坏受拉承载力设计值；

W_{el} —锚栓截面抵抗矩。

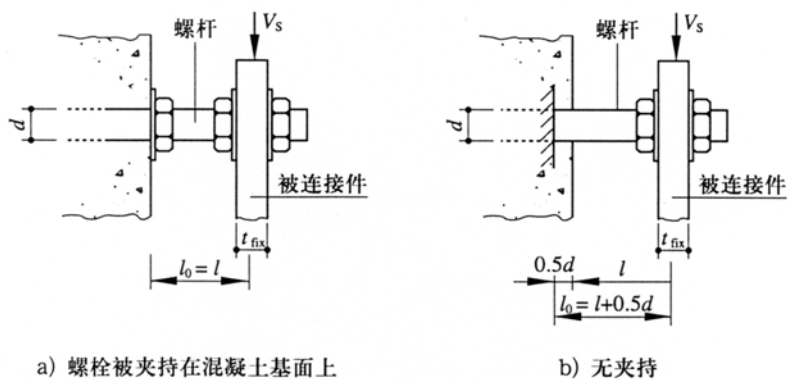


图6.2.2-1 杠杆臂计算长度

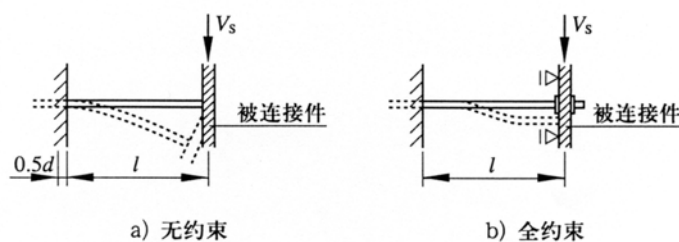


图6.2.2-2 约束状况

6.2.3 构件边缘受剪 ($c < 10h_{ef}$) 混凝土楔形体破坏(图 2.1.14、图 6.2.5、图 6.2.6)时, 受剪承载力设计值 $V_{Rd,c}$ 应按下列公式计算:

$$V_{Rd,c} = V_{Rk,c} / \gamma_{Rc,v} \quad (6.2.3-1)$$

$$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^{\circ} \frac{A_{c,v}}{A_{c,v}^{\circ}} \psi_{s,v} \psi_{h,v} \psi_{\alpha,v} \psi_{ec,v} \psi_{ucr,v} \quad (6.2.3-2)$$

式中 $V_{Rk,s}$ —构件边缘混凝土破坏时受剪承载力标准值;

$\gamma_{Rc,v}$ —构件边缘混凝土破坏时受剪承载力分项系数, $\gamma_{Rc,v}$ 按表 4.2.6 采用;

$V_{Rk,c}^{\circ}$ —开裂混凝土, 单根锚栓垂直构件边缘受剪, 混凝土理想楔形体破坏时的受剪承载力标准值, 按 6.2.4 条规定计算;

$A_{c,v}^{\circ}$ —单根锚栓受剪, 在无平行剪力方向的边界影响、构件厚度影响或相邻锚栓影响, 混凝土破坏理想楔形体在侧向的投影面面积, 按 6.2.5 条规定计算;

$A_{c,v}$ —群锚受剪, 混凝土破坏楔形体在侧向的投影面面积, 按 6.2.6 条规定计算;

$\psi_{s,v}$ —边距比 c_2/c_1 对受剪承载力的降低影响系数, 按 6.2.7 条规定计算;

$\psi_{h,v}$ —边距与厚度比 c_1/h 对受剪承载力的提高影响系数, 按 6.2.8 条规定计算;

$\psi_{\alpha,v}$ —剪力角度对受剪承载力的影响系数(图 6.2.9), 按 6.2.9 条规定计算;

$\psi_{ec,v}$ —荷载偏心 e_v 对群锚受剪承载力的降低影响系数, 按 6.2.10 条规定计算;

$\psi_{ucr,v}$ —未裂混凝土及锚区配筋对受剪承载力的提高影响系数, 按 6.2.11 条规定取用。

6.2.4 开裂混凝土, 单根锚栓垂直于构件边缘受剪, 混凝土楔形体破坏时的受剪承载力标准值 $V_{Rk,c}^{\circ}$ 应由试验确定, 在符合产品标准及本规程有关规定的情况下, 可按下列式计算:

$$V_{Rk,c}^{\circ} = 0.45 \sqrt{d_{nom}} (l_f / d_{nom})^{0.2} \sqrt{f_{cu,k}} c_1^{1.5} \quad (N) \quad (6.2.4)$$

式中 d_{nom} —锚栓外径(mm);

l_f —剪切荷载下锚栓的有效长度(mm), 可取 $l_f \leq h_{ef}$ 且 $l_f \leq 8d$ 。

6.2.5 单根锚栓受剪, 在无平行剪力方向的边界影响、构件厚度影响或相邻锚栓影

响，混凝土破坏楔形体在侧向的投影面积 $A_{c,v}^{\circ}$ (图 6.2.5)，应按下式计算：

$$A_{c,v}^{\circ} = 4.5c_1^2 \quad (6.2.5)$$

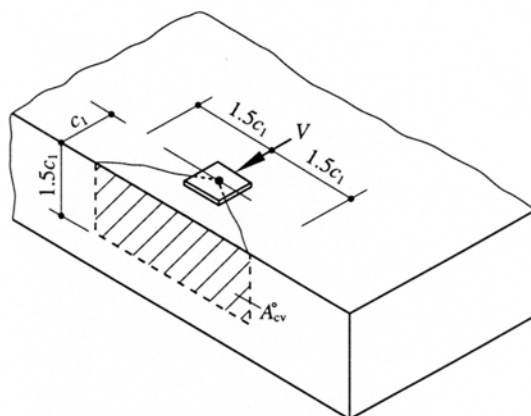


图 6.2.5 理想化的单栓受剪混凝土破坏楔形体投影面积

6.2.6 群锚受剪，混凝土破坏楔形体在侧面的投影面面积 $A_{c,v}$ ，应按下列规定计算：

1) 单栓，位于构件角部， $h > 1.5c_1$, $c_2 \leq 1.5c_1$ 时 (图 6.2.6-1)

$$A_{c,v} = 1.5c_1(1.5c_1 + c_2) \quad (6.2.6-1)$$

2) 双栓，位于构件边缘，厚度较小， $h \leq 1.5c_1$, $s_2 \leq 3c_1$ 时 (图 6.2.6-2)

$$A_{c,v} = (3c_1 + s_2)h \quad (6.2.6-2)$$

3) 四栓，位于构件角部，厚度较小， $h \leq 1.5c_1$, $s_2 \leq 3c_1$, $c_2 \leq 1.5c_1$ 时 (图 6.2.6-3)

$$A_{c,v} = (1.5c_1 + s_2 + c_2)h \quad (6.2.6-3)$$

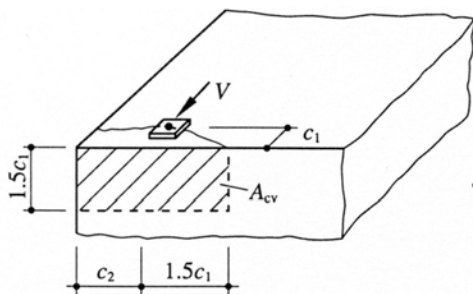


图 6.2.6-1 角部，单栓受剪

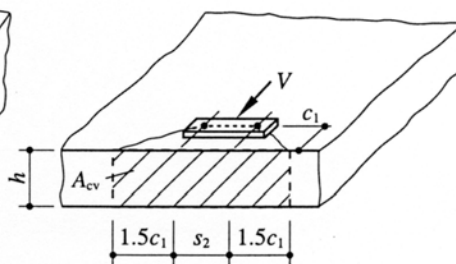


图 6.2.6-2 双栓受剪，位于构件边缘

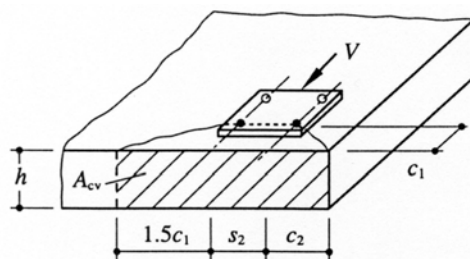


图 6.2.6-3 四栓受剪，位于构件角部

6.2.7 边距比 c_2/c_1 对受剪承载力的降低影响系数 $\psi_{s,v}$ ，应按下式计算：

$$\psi_{s,v} = 0.7 + 0.3 \frac{c_2}{1.5c_1} \leq 1 \quad (6.2.7)$$

6.2.8 边距与构件厚度比 c_1/h 对受剪承载力的提高影响系数 $\psi_{h,v}$ ，应按下式计算：

$$\psi_{h,v} = \left(\frac{1.5c_1}{h}\right)^{1/3} \geq 1 \quad (6.2.8)$$

6.2.9 剪力与垂直于构件自由边方向轴线之夹角 α （图 6.2.9）对受剪承载力的影响

系数 $\psi_{\alpha,v}$ ，应按下式计算：

$$\begin{aligned} \psi_{\alpha,v} &= 1.0 & (0^\circ \leq \alpha \leq 55^\circ) \\ \psi_{\alpha,v} &= 1/(\cos \alpha + 0.5 \sin \alpha) & (55^\circ < \alpha < 90^\circ) \\ \psi_{\alpha,v} &= 2.0 & (90^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ) \end{aligned} \quad (6.2.9)$$

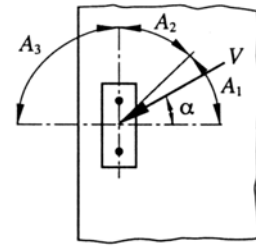


图 6.2.9 剪力角 α

6.2.10 荷载偏心对群锚受剪承载力的降低影响系数 $\psi_{ec,v}$ ，应按下式计算：

$$\psi_{ec,v} = \frac{1}{1 + 2e_v/3c_1} \leq 1 \quad (6.2.10)$$

式中 e_v —剪力合力点至受剪锚栓重心的距离。

6.2.11 未裂混凝土及锚固区配筋对受剪承载力的提高影响系数 $\psi_{ucr,v}$ ，应按下列规定采用：

$\psi_{ucr,v} = 1.0$ ，边缘为无筋的开裂混凝土

$\psi_{ucr,v} = 1.2$ ，边缘配有 $\phi \geq 12\text{mm}$ 直筋的开裂混凝土

$\psi_{ucr,v} = 1.4$ ，未裂混凝土，或边缘配有 $\phi \geq 12\text{mm}$ 直筋及 $a \leq 100\text{mm}$ 箍筋的开裂混凝土

6.2.12 混凝土剪撬破坏(图 2.1.15)时的受剪承载力设计值 $V_{Rd,cp}$ ，应按下列公式计算：

$$V_{Rd,cp} = V_{Rk,cp} / \gamma_{Rcp} \quad (6.2.12-1)$$

$$V_{Rk,cp} = k N_{Rk,c} \quad (6.2.12-2)$$

式中 $V_{Rk,cp}$ —混凝土剪撬破坏时的受剪承载力标准值；

γ_{Rcp} —混凝土剪撬破坏时的受剪承载力分项系数， γ_{Rcp} 按表 4.2.6 采用；

k —锚固深度 h_{ef} 对 $V_{Rk,cp}$ 影响系数，当 $h_{ef} < 60\text{mm}$ 时，取 $k=1.0$ ，当 $h_{ef} \geq 60\text{mm}$ 时，取 $k=2.0$ 。

6.3 拉剪复合受力承载力计算

6.3.1 拉剪复合受力下锚栓或植筋钢材破坏时的承载力，应按下列公式计算：

$$\left(\frac{N_{sd}^h}{N_{Rd,s}}\right)^2 + \left(\frac{V_{sd}^h}{V_{Rd,s}}\right)^2 \leq 1 \quad (6.3.1-1)$$

$$N_{Rd,s} = N_{Rk,s} / \gamma_{Rs,N} \quad (6.3.1-2)$$

$$V_{Rd,s} = V_{Rk,s} / \gamma_{Rs,V} \quad (6.3.1-3)$$

6.3.2 拉剪复合受力下混凝土破坏时的承载力，应按下列公式计算：

$$\left(\frac{N_{sd}^g}{N_{Rd,c}}\right)^{1.5} + \left(\frac{V_{sd}^g}{V_{Rd,c}}\right)^{1.5} \leq 1 \quad (6.3.2-1)$$

$$N_{Rd,c} = N_{Rk,c} / \gamma_{Rc,N} \quad (6.3.2-2)$$

$$V_{Rd,c} = V_{Rk,c} / \gamma_{Rc,V} \quad (6.3.2-3)$$

7 锚固抗震设计

7.0.1 有抗震设防要求的锚固连接所用之锚栓，应选用化学植筋和能防止膨胀片松驰的扩孔型锚栓或扭矩控制式膨胀型锚栓，不应选用锥体与套筒分离的位移控制式膨胀型锚栓。

7.0.2 抗震设计锚栓布置，除应遵守本规程第 8 章有关规定外，宜布置在构件的受压区、非开裂区，不应布置在素混凝土区；对于高烈度区一级抗震之重要结构构件的锚固连接，宜布置在有纵横钢筋环绕的区域。

7.0.3 抗震锚固连接锚栓的最小有效锚固深度宜满足表 7.0.3 的规定，当有充分试验依据及可靠工程经验并经国家指定机构认证许可时可不受其限制。

表 7.0.3 锚栓最小有效锚固深度 $h_{ef,min}/d$

锚栓类型	设防烈度	锚栓受拉、边缘受剪、拉剪复合受力之结构构件连接及生命线工程非结构构件连接			非结构构件连接及受压、中心受剪、压剪复合受力之结构构件连接		
		C20	C30	≥C40	C20	C30	≥C40
化学植筋及螺杆	≤6	26	22	19	24	20	17
	7~8	29	24	21	26	22	19
扩孔型锚栓	≤6	不得采用			4		
	7				5		
	8				6		
膨胀型锚栓	≤6				5		
	7				6		
	8				7		

注：植筋系指 HRB335 级钢筋，螺杆系指 5.6 级钢材，对于非 HRB335 级和 5.6 级钢材，锚固深度应作相应增减；d 为螺杆或植筋直径， $d \leq 25\text{mm}$ 。

7.0.4 锚固连接地震作用内力计算应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 进行。

7.0.5 抗震设计时，地震作用下锚固承载力降低系数 k 应由锚栓生产厂家通过系统的试验认证后提供，在无系统试验情况下，可按表 7.0.5 采用；承载力抗震调整系数 γ_{RE} ，取 1.0。

表 7.0.5 地震作用下锚固承载力降低系数 k

破坏形态及锚栓类型		受力性质	
		受拉	受剪
锚栓或植筋钢材破坏		1.0	1.0
混凝土基材破坏	扩孔型锚栓	0.8	0.7
	膨胀型锚栓	0.7	0.6

7.0.6 锚固连接抗震设计，应合理选择锚固深度、边距、间距等锚固参数，或采用有效的隔震和消能减震措施，控制为锚固连接系统延性破坏。对于受拉、边缘受剪、拉剪组合之结构构件，不得出现混凝土基材破坏及锚栓拔出破坏。当控制为锚栓钢材破坏时，锚固承载力应满足下列要求：

$$\text{混凝土锥体破坏情况} \quad N_{Rd,c} \geq N_{Rd,s} \quad (7.0.6-1)$$

$$\text{混凝土劈裂破坏情况} \quad N_{Rd,sp} \geq N_{Rd,s} \quad (7.0.6-2)$$

$$\text{拔出破坏情况} \quad N_{Rd,p} \geq N_{Rd,s} \quad (7.0.6-3)$$

$$\text{混凝土剪坏情况} \quad V_{Rd,c} \geq V_{Rd,s} \quad (7.0.6-4)$$

$$\text{混凝土撬坏情况} \quad V_{Rd,cp} \geq V_{Rd,s} \quad (7.0.6-5)$$

7.0.7 除化学植筋外，地震作用下锚栓应始终处在受拉状态下，锚栓最小拉力 $N_{sk,min}$ 宜满足下式要求：

$$N_{sk, min} \geq 0.2N_{inst} \quad (7.0.7)$$

式中 N_{inst} —考虑松弛后，锚栓的实有预紧力。

7.0.8 新建工程采用锚栓锚固连接时，锚固区应具有下列规格的钢筋网：

对于重要的锚固，直径不小于 8mm，间距不大于 150mm；

对于一般锚固，直径不小于 6mm，间距不大于 150mm。

8 构造措施

8.0.1 混凝土基材的厚度 h 应满足下列规定:

1. 对于膨胀型锚栓和扩孔型锚栓, $h \geq 1.5h_{ef}$ 且 $h > 100\text{mm}$;
2. 对于化学植筋, $h \geq h_{ef} + 2d_0$ 且 $h > 100\text{mm}$, 其中 h_{ef} 为锚栓的埋置深度, d_0 为锚孔直径。

8.0.2 群锚锚栓最小间距值 s_{\min} 和最小边距值 c_{\min} , 应由厂家通过国家授权的检测机构检验分析后给定, 否则不应小于下列数值:

1. 膨胀型锚栓: $s_{\min} \geq 10d_{\text{nom}}$; $c_{\min} \geq 12d_{\text{nom}}$;
2. 扩孔型锚栓: $s_{\min} \geq 8d_{\text{nom}}$; $c_{\min} \geq 10d_{\text{nom}}$;
3. 化学植筋: $s_{\min} \geq 5d$; $c_{\min} \geq 5d$ 。

其中 d_{nom} 为锚栓外径。

8.0.3 锚栓在基材结构中所产生的附加剪力 $V_{\text{Sd,a}}$ 及锚栓与外荷载共同作用所产生的组合剪力 V_{Sd} , 应满足下列规定:

$$V_{\text{Sd,a}} \leq 0.16f_t b h_0 \quad (8.0.3-1)$$

$$V_{\text{Sd}} \leq V_{\text{Rd,b}} \quad (8.0.3-2)$$

式中 $V_{\text{Rd,b}}$ — 基材构件受剪承载力设计值;

f_t — 基材混凝土轴心抗拉强度设计值;

b — 构件宽度;

h_0 — 构件截面计算高度。

8.0.4 锚栓不得布置在混凝土的保护层中, 有效锚固深度 h_{ef} 不得包括装饰层或抹灰层(图 8.0.4)。

8.0.5 处在室外条件的被连接钢构件, 其锚板的锚固方式应使锚栓不出现过大交变温度应力, 在使用条件下, 应控制受力最大锚栓的温度应力变幅 $\Delta \sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} \leq 100\text{MPa}$ 。

8.0.6 一切外露的后锚固连接件, 应考虑环境的腐蚀作用及火灾的不利影响, 应有可靠的防腐、防火措施。

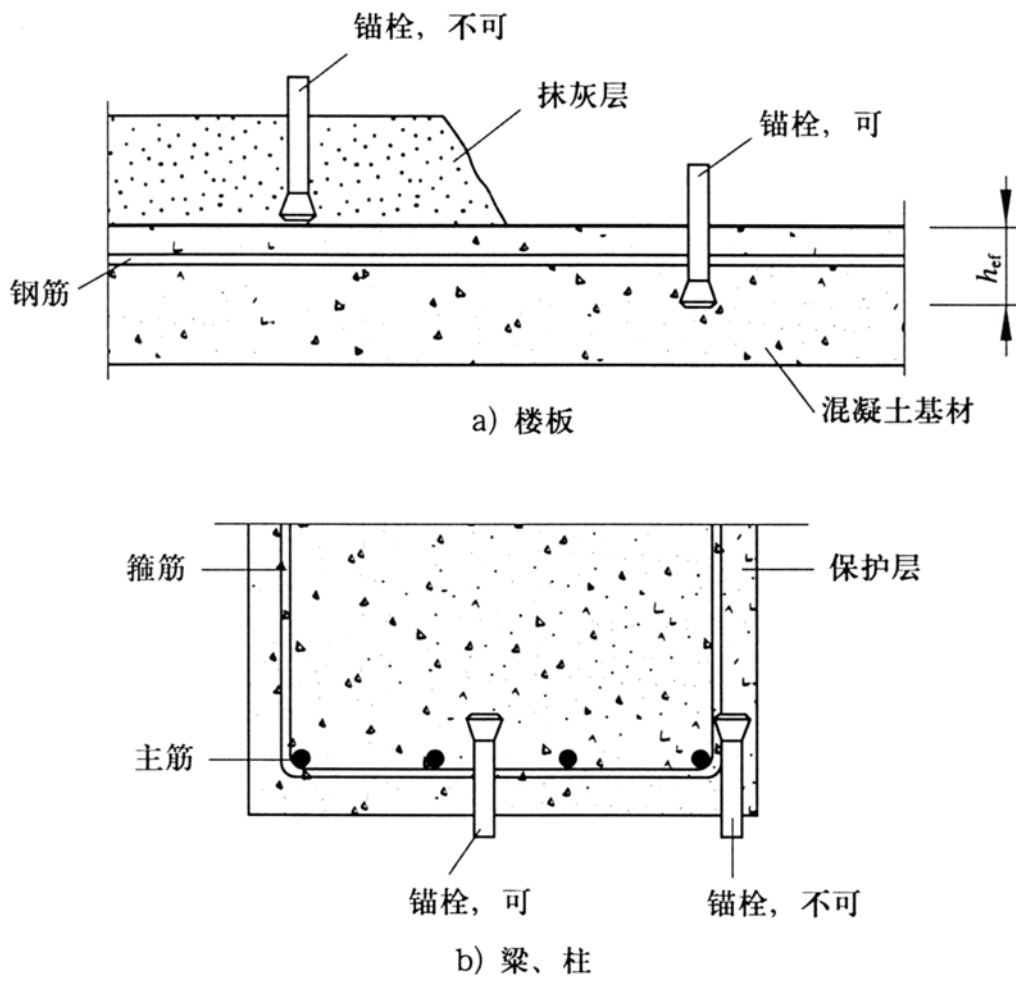


图8.0.4 锚栓设置部位

9 锚固施工与验收

9.1 基本要求

9.1.1 锚栓的类别和规格应符合设计要求，应有该产品制造商提供的产品合格证书和使用说明书，且应根据相关产品标准的有关规定进行施工和验收。

9.1.2 锚栓安装时，锚固区基材应符合下列要求：

- 1 混凝土强度应满足设计要求，否则应修订锚固参数。
- 2 表面应坚实、平整，不应有起砂、起壳、蜂窝、麻面、油污等影响锚固承载力的现象；
- 3 若设计无说明，在锚固深度的范围内应基本干燥。

9.1.3 锚栓安装方法及工具应符合该产品安装说明书的要求。

9.2 锚孔

9.2.1 锚孔应符合设计或产品安装说明书的要求，当无具体要求时，应符合表 9.2.1-1 和 9.2.1-2 的要求。

表 9.2.1-1 锚孔质量的要求

锚栓种类	锚孔深度允许偏差 (mm)	垂直度允许偏差 (°)	位置允许偏差 (mm)
膨胀型锚栓和 扩孔型锚栓	+10 -0	5	5
扩孔型锚栓的扩孔	+5 -0	5	
化学植筋	+20 -0	5	

表 9.1.1-2 膨胀型锚栓及扩孔型锚栓锚孔直径允许公差 (mm)

锚栓直径	锚孔公差	锚栓直径	锚孔公差
6~10	≤+0.4	12~18	≤+0.50
20~30	≤+0.6	32~37	≤+0.70
≥40	≤+0.8		

9.2.2 对于膨胀型锚栓和扩孔型锚栓的锚孔，应用空压机或手动气筒吹净孔内粉屑；对于化学植筋的锚孔，应先用空压机或手动气筒彻底吹净孔内碎渣和粉尘，再用丙酮擦拭孔道，并保持孔道干燥。

9.2.3 锚孔应避免受力主筋，对于废孔，应用化学锚固胶或高强度等级的树脂水泥

砂浆填实。

9.3 锚栓的安装与锚固

9.3.1 锚栓的安装方法，应根据设计选型及连接构造的不同，分别采用预插式安装（图 9.3.1-1）、穿透式安装（图 9.3.1-2）或离开基面的安装（图 9.3.1-3）。

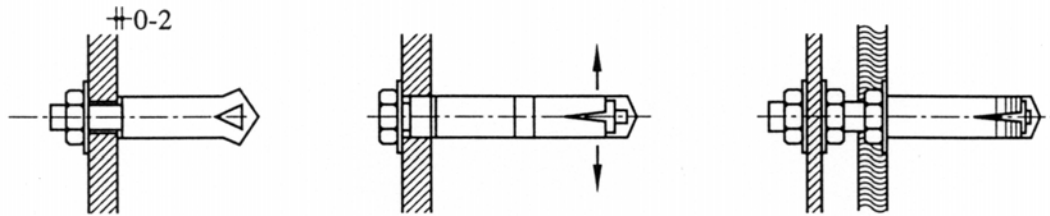


图 9.3.1-1 预插式安装 图 9.3.1-2 穿透式安装 图 9.3.1-3 离开基面的安装

9.3.2 锚栓安装前，应彻底清除表面附着物、浮锈和油污。

9.3.3 扩孔型锚栓和膨胀型锚栓的锚固操作应按产品说明书的规定进行。

9.3.4 化学植筋的安装应根据锚固胶施用形态（管装式、机械注入式、现场配制式）和方向（向上、向下、水平）的不同采用相应的方法。化学植筋的焊接，应考虑焊接高温对胶的不良影响，采取有效的降温措施，离开基面的钢筋预留长度应 $\geq 20d$ ，且 $\geq 200\text{mm}$ 。

9.3.5 化学植筋置入锚孔后，在固化完成之前，应按照厂家所提供的养生条件进行固化养生，固化期间禁止扰动。

9.3.6 后锚固连接施工质量应符合设计要求和产品说明书的规定，当设计无具体要求时，应符合表 9.3.6 的要求。

表 9.3.6 锚固质量要求

锚栓种类	预紧力	锚固深度 (mm)	膨胀位移 (mm)
扭矩控制式膨胀型锚栓	$\pm 15\%$	0, +5	-----
扭矩控制式扩孔型锚栓	$\pm 15\%$	0, +5	-----
位移控制式膨胀型锚栓	$\pm 15\%$	0, +5	0, +2

9.4 锚固质量检查与验收

9.4.1 锚固质量检查应包括下述内容：

- 1、文件资料检查；
- 2、锚栓、锚固胶的类别、规格是否符合设计和标准要求；
- 3、锚栓的位置是否符合设计要求；
- 4、基材混凝土强度是否符合设计要求；

- 5、锚孔质量检查；
- 6、锚固质量；
- 7、群锚纵横排列应符合规定，安装后的锚栓外观应整齐洁净；
- 8、按附录 A 对锚栓的实际抗拔力进行抽样检验。

9.4.2 文件资料检查应包括：设计施工图纸及相关文件、锚固胶的出厂质量保证书（或实检证明，其中应有主要组成及性能指标，生产日期，产品标准号等等）、锚杆的质量合格证书（含钢号、尺寸规格等等）、施工工艺记录及操作规程和施工自检人员的检查结果等文件。

9.4.3 锚孔质量检查应包括下述内容：

- 1、锚孔的位置、直径、孔深和垂直度，当采用预扩孔扩孔型锚栓时，尚应检查扩孔部分的直径和深度；
- 2、锚孔的清孔情况；
- 3、锚孔周围混凝土是否存在缺陷、是否已基本干燥，环境温度是否符合要求；
- 4、钻孔是否伤及钢筋。

9.4.4 锚固质量的检查应符合下列要求：

1、对于化学植筋应对照施工图检查植筋位置、尺寸、垂直（水平）度及胶浆外观固化情况等；用铁钉刻划检查胶浆固化程度，以手拔摇方式初步检验被连接件是否锚牢锚实等。

2、膨胀型锚栓和扩孔型锚栓应按设计或产品安装说明书的要求检查锚固深度、预紧力控制、膨胀位移控制等。

9.4.5 锚固工程验收，应提供下列文件和记录：

- 1、设计变更；
- 2、锚栓的质量合格证书、产品安装（使用）说明书和进场后的复验报告；
- 3、锚固安装工程施工记录；
- 4、锚固工程质量检查记录；
- 5、锚栓抗拔力现场抽检报告；
- 6、分项工程质量评定记录；
- 7、工程重大问题处理记录；
- 8、竣工图及其他有关文件记录。

附录 A 锚固承载力现场检验方法

A.1 基本规定

A.1.1 混凝土结构后锚固工程质量应进行抗拔承载力的现场检验。

A.1.2 锚栓抗拔承载力现场检验可分为非破坏性检验和破坏性检验。对于一般结构及非结构构件,可采用非破坏性检验;对于重要结构构件及生命线工程非结构构件,应采用破坏性检验。

A.2 试样选取

A.2.1 锚固抗拔承载力现场非破坏性检验可采用随机抽样办法取样。

A.2.2 同规格,同型号,基本相同部位的锚栓组成一个检验批。抽取数量按每批锚栓总数的 1%计算,且不少于 3 根。

A.3 检验设备

A.3.1 现场检验用的仪器、设备,如拉拔仪、 $x-y$ 记录仪、电子荷载位移测量仪等,应定期检定。

A.3.2 加荷设备应能按规定的速度加荷,测力系统整机误差不应超过全量程的 $\pm 2\%$ 。

A.3.3 加荷设备应能保证所施加的拉伸荷载始终与锚栓的轴线一致。

A.3.4 位移测量记录仪宜能连续记录。当不能连续记录荷载位移曲线时,可分阶段记录,在到达荷载峰值前,记录点应在 10 点以上。位移测量误差不应超过 0.02mm。

A.3.5 位移仪应保证能够测量出锚栓相对于基材表面的垂直位移,直至锚固破坏。

A.4 检验方法

A.4.1 加荷设备支撑环内径 D_0 应满足下述要求:化学植筋 $D_0 \geq \max(12d, 250\text{mm})$,膨胀型锚栓和扩孔型锚栓 $D_0 \geq 4h_{ef}$ 。

A.4.2 锚栓拉拔检验可选用以下两种加荷制度:

1. 连续加载,以匀速加载至设定荷载或锚固破坏,总加荷时间为 2min~3min。
2. 分级加载,以预计极限荷载的 10%为一级,逐级加荷,每级荷载保持 1min~2min,至设定荷载或锚固破坏。

A.4.3 非破坏性检验,荷载检验值应取 $0.9A_s f_{yk}$ 及 $0.8 N_{Rk,c}$ 计算之较小值。 $N_{Rk,c}$ 为非钢材破坏承载力标准值,可按 6.1 节有关规定计算。

A.5 检验结果评定

A.5.1 非破坏性检验荷载下，以混凝土基材无裂缝、锚栓或植筋无滑移等宏观裂损现象，且 2min 持荷期间荷载降低 $\leq 5\%$ 时为合格。当非破坏性检验为不合格时，应另抽不少于 3 个锚栓做破坏性检验判断。

A.5.2 对于破坏性检验，该批锚栓的极限抗拔力满足下列规定为合格：

$$N_{Rm}^c \geq [\gamma_u] N_{sd} \quad (\text{A.5.2-1})$$

$$N_{Rmin}^c \geq N_{Rk,*} \quad (\text{A.5.2-2})$$

式中 N_{sd} —锚栓拉力设计值；

N_{Rm}^c —锚栓极限抗拔力实测平均值；

N_{Rmin}^c —锚栓极限抗拔力实测最小值；

$N_{Rk,*}$ —锚栓极限抗拔力标准值，根据破坏类型的不同，分别按 6.1 节有关规定计算；

$[\gamma_u]$ —锚固承载力检验系数允许值，近似取 $[\gamma_u] = 1.1\gamma_{R*}$ ， γ_{R*} 按表 4.2.6 取用。

A.5.3 当试验结果不满足 A.5.1 条及 A.5.2 条相应规定时，应会同有关部门依据试验结果，研究采取专门措施处理。

本规程用词用语说明

1、为了便于在执行本规程条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1) 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；反面词采用“严禁”。

2) 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；反面词采用“不应”或“不得”。

3) 表示允许稍有选择，在条件许可时首先这样做的用词：

正面词采用“宜”；反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2、规程中指定应按其他有关标准、规程执行时，写法为：

“应符合.....的规定”或“应按.....执行”。