

UDC

中华人民共和国行业标准

JGJ

P

JGJ 145-2004

混凝土结构后锚固技术规程

Technical specification for post-installed fastenings in
concrete structures

2005-01-13 发布

2005-03-01 实施

中华人民共和国建设部 发布

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

JGJ 145-2004

J407-2005

批准部门：中华人民共和国建设部

施行日期：2005年3月1日

中华人民共和国建设部 公 告

第 307 号

建设部关于发布行业标准 《混凝土结构后锚固技术规程》的公告

现批准《混凝土结构后锚固技术规程》为行业标准，编号为 JGJ 145—2004，自 2005 年 3 月 1 日起实施。其中，第 4.1.3、4.2.4、4.2.7 条为强制性条文，必须严格执行。

本规程由建设部标准定额研究所组织中国建筑工业出版社出版发行。

中华人民共和国建设部
2005 年 1 月 13 日

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。

本规程由建设部负责管理和对强制性条文的解释，由主编单位负责具体技术内容的解释。

本规程主编单位：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：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：万墨林 韩继云 邸小坛 贺曼罗

吴金虎 王 稚 萧 雯

目 次

1 总则	1
2 术语和符号	2
2.1 术语	2
2.2 符号	9
3 材料	13
3.1 混凝土基材	13
3.2 锚栓	13
3.3 锚固胶	14
4 设计基本规定	17
4.1 锚栓分类及适用范围	17
4.2 锚固设计原则	17
5 锚固连接内力分析	20
5.1 一般规定	20
5.2 群锚受拉内力计算	20
5.3 群锚受剪内力计算	21
6 承载能力极限状态计算	26
6.1 受拉承载力计算	26
6.2 受剪承载力计算	32
6.3 拉剪复合受力承载力计算	39
7 锚固抗震设计	40
8 构造措施	42
9 锚固施工及验收	44
9.1 基本要求	44
9.2 锚孔	44
9.3 锚栓的安装与锚固	45
9.4 锚固质量检查与验收	46

附录 A 锚固承载力现场检验方法	48
本规程用词说明	51
条文说明	53

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，制定本规程。

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的设计、施工及验收；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 后锚固连接的设计、施工及验收，除满足本规程的规定外，尚应符合国家现行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）。

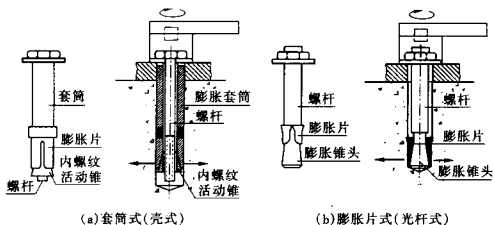


图 2.1.3-1 扭矩控制式膨胀型锚栓

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）。

2.1.5 化学植筋 bonded rebar

以化学胶粘剂——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）。

2.1.6 基材 base material

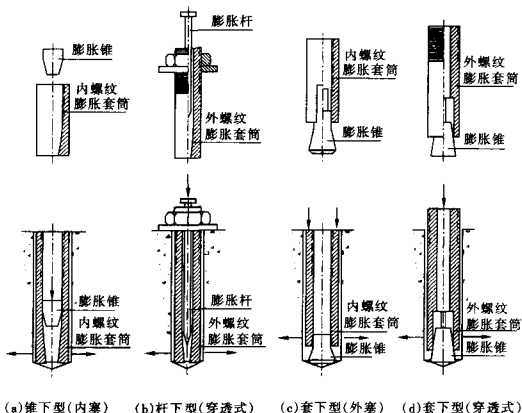


图 2.1.3-2 位移控制式膨胀型锚栓

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

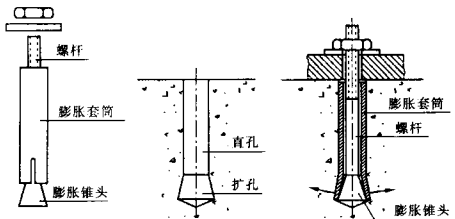
锚固到混凝土基材上的钢板。

2.1.10 破坏模式 failure mode

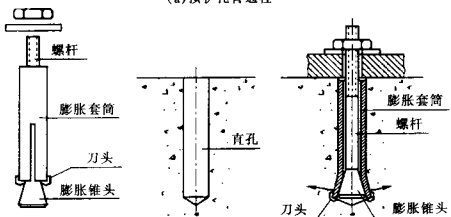
荷载下锚固连接的破坏形式。

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）。



(a) 预扩孔普通栓



(b) 自扩孔专用栓

图 2.1.4 扩孔型锚栓

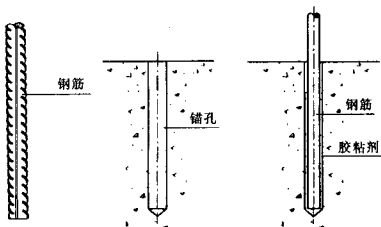


图 2.1.5 化学植筋

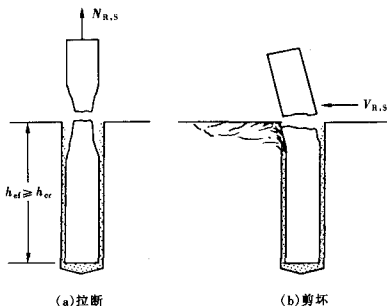


图 2.1.11 锚栓钢材破坏

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)。

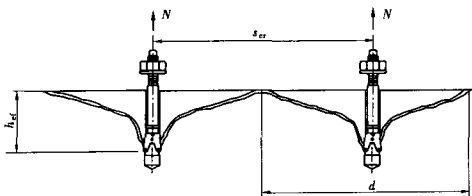


图 2.1.12 混凝土锥体受拉破坏

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)。

2.1.14 混凝土边缘破坏 concrete edge failure

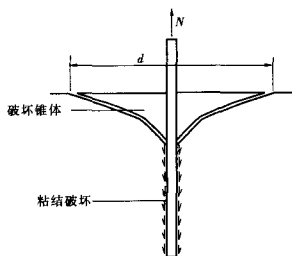


图 2.1.13 混合型受拉破坏

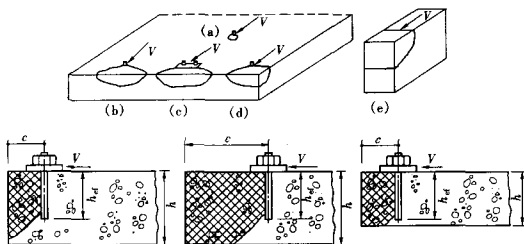


图 2.1.14 混凝土边缘楔形体受剪破坏

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)。

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)。

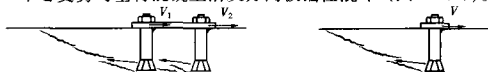


图 2.1.15 基材剪撬破坏

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）。

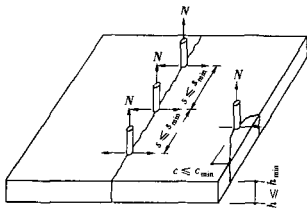


图 2.1.16 基材劈裂破坏

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）。

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）。

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。

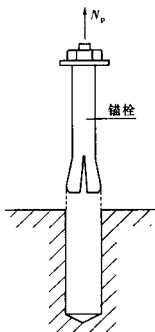


图 2.1.17 机械锚
栓整体拔出

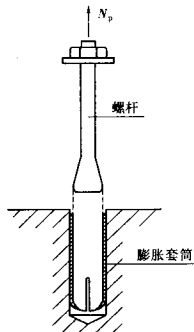


图 2.1.18 机械锚
栓穿出破坏

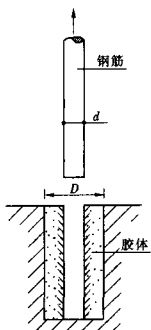


图 2.1.19 化学植筋
沿胶筋界面拔出

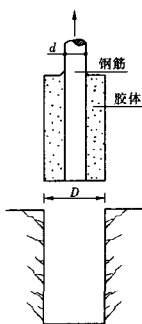


图 2.1.20 化学植筋
筋沿胶混界面拔出

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；

$V_{Rk,ep}$ ——混凝土剪撬破坏承载力标准值；

$V_{Rd,ep}$ ——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；

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_n ——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；

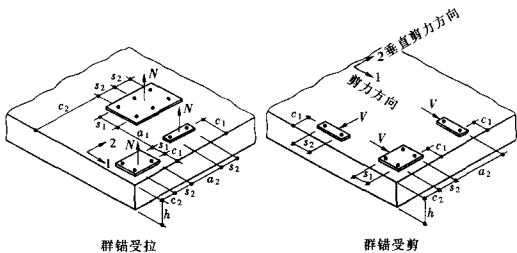
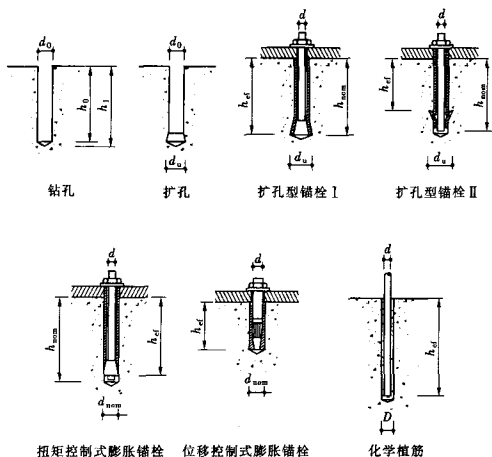


图 2.2.3 锚固几何特征值

- 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。锚栓的性能应符合现行行业标准《混凝土用膨胀型、扩孔型建筑锚栓》JG160 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} 及屈服比 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：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 A_1 、 A_2 、 A_4 ）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 2.0×10^5 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	黏度（25℃）4500 ~ 75000 mPa·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

续表 3.3.3

项 目	性 能 指 标	试 验 方 法
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 50mm × 50mm × 5mm 钢块两块，轴 对称粘贴于 70mm × 70mm × 50mm 之 C50 混凝土块大 面，固化后进行拉伸试验
耐温性能	-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 氟弧射》GB/T4865—1997
	湿热老化试验 $\geq 90\text{d}$ ， $f_{bv,k} \geq 12\text{MPa}$	相对湿度 95% ~ 100%， 温度 49℃ ~ 52℃

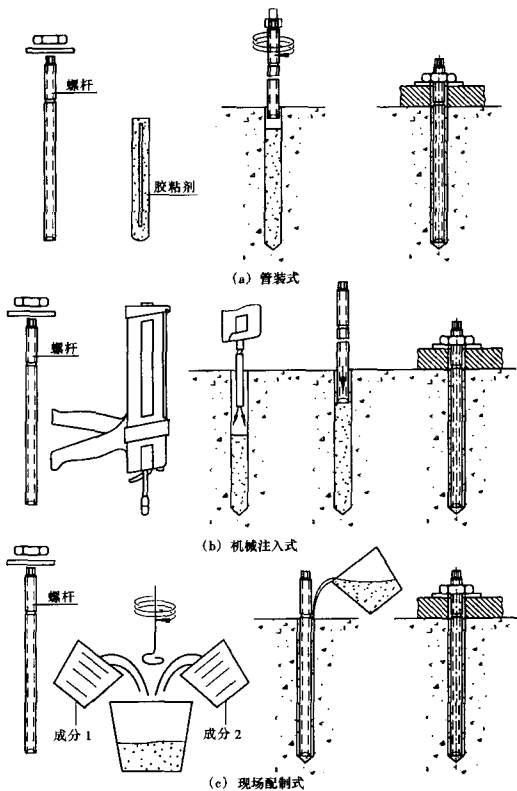


图 3.3.2 锚固胶使用形态

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、化学植筋及其他类型锚栓。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，应满足本规程 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），可应用于抗震设防烈度不大于 8 度之受拉、边缘受剪、拉剪复合受力的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，其值可做适当调整。

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_{Rp}	混凝土劈裂破坏	3.0	2.15
5	γ_{Rp}	混凝土剪撬破坏	2.5	1.8
6	$\gamma_{Rb,N}$	锚栓钢材受拉破坏	$1.3f_{tk}/f_{yk} \geq 1.55$	$1.2f_{tk}/f_{yk} \geq 1.4$
7	$\gamma_{Rb,V}$	锚栓钢材受剪破坏	$1.3f_{tk}/f_{yk} \geq 1.4$ ($f_{tk} \leq 800\text{MPa}$ 且 $f_{yk}/f_{tk} \leq 0.8$)	$1.2f_{tk}/f_{yk} \geq 1.25$ ($f_{tk} \leq 800\text{MPa}$ 且 $f_{yk}/f_{tk} \leq 0.8$)

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，并按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 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式（5.2.1）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 $N/n - My_1/\Sigma y_i^2 \geq 0$ 时

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

2 当 $N/n - My_1/\Sigma y_i^2 < 0$ 时

$$N_{\text{Sd}}^{\text{h}} = (NL + M)y_1'/\Sigma y_i'^2 \quad (5.2.2-2)$$

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。

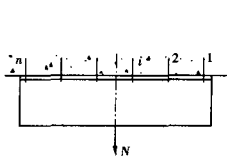


图 5.2.1 轴心受拉

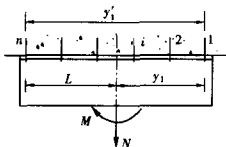


图 5.2.2 拉力和弯矩共同作用

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) $\Delta = d_f - d_{\text{nom}}$ 小于或等于表 5.3.1 的允许值 $[\Delta]$, 且边距 $c \geq 10h_{\text{ef}}$ 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_t	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

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);

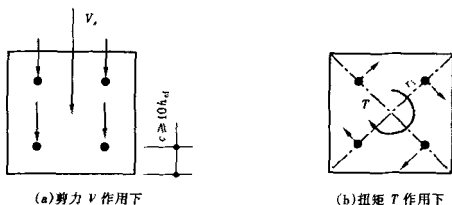


图 5.3.1-1 理想状态下受剪锚栓内力

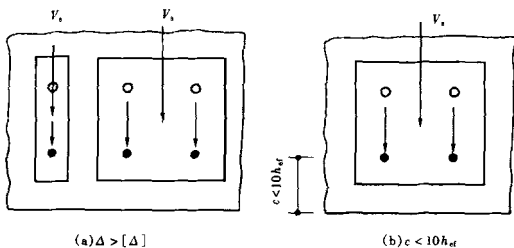


图 5.3.1-2 非理想状态下受剪锚栓内力

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)。

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:

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

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

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

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

- 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;
 $V_{Si}^{h_{sd}}$ ——承受剪力最大锚栓的剪力设计值。

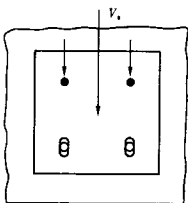


图 5.3.1-3 人工干预受剪锚栓内力

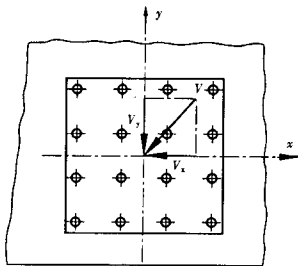


图 5.3.2 受剪

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:

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

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

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

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

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。

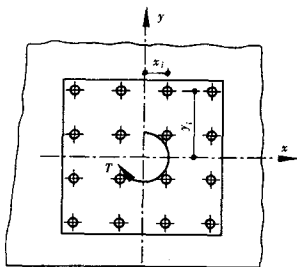


图 5.3.3 受扭

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列公式计算:

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

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

式中 V_{Si} ——锚栓 i 的剪力设计值。

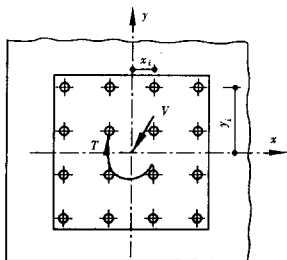


图 5.3.4 剪力和扭矩共同作用

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	$N_{Sd} \leq N_{Rd,s}$	$N_{Sd}^b \leq N_{Rd,s}$
膨胀型锚栓及扩孔型锚栓穿出破坏	$N_{Sd} \leq N_{Rd,p}$	$N_{Sd}^b \leq N_{Rd,p}$
混凝土锥体受拉破坏	$N_{Sd} \leq N_{Rd,c}$	$N_{Sd}^c \leq N_{Rd,c}$
混凝土劈裂破坏	$N_{Sd} \leq N_{Rd,sp}$	$N_{Sd}^c \leq N_{Rd,sp}$

注: N_{Sd}^b ——群锚中拉力最大锚栓的拉力设计值;
 N_{Sd}^c ——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：

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

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \psi_{s,N} \psi_{re,N} \psi_{ec,N} \psi_{ucr,N} \quad (6.1.3-2)$$

- 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，
 $\gamma_{Rc,N}$ 按本规程表 4.2.6 采用；
 $N_{Rk,c}^0$ ——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，按本规程 6.1.4 条规定计算；
 $A_{c,N}^0$ ——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，按本规程 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，按本规程 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，按本规程 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，按本规程 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，按本规程 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，按本规程 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 $N_{Rk,c}^0$ (N)，应由试验确定，在符合相应产品标准及本规程有关规定的情况下，可按下列式计算或按表 6.1.4 采用：

$$N_{Rk,c}^0 = 7.0 \sqrt{f_{cu,k}} h_{ef}^{1.5} (\text{膨胀型锚栓及扩孔型锚栓}) (N) \quad (6.1.4)$$

式中 $f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值(N/mm²),当 $f_{cu,k} = 45 \sim 60$ 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。

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 $N_{Rk,c}^0$ (kN)

混凝土强度等级 (MPa) 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

6.1.5 单根锚栓受拉，混凝土理想化破坏锥体投影面面积 $A_{c,N}^0$ 应按下列公式计算（图 6.1.5）：

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N}^2 \quad (6.1.5)$$

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 $s_{cr,N} = 3h_{ef}$

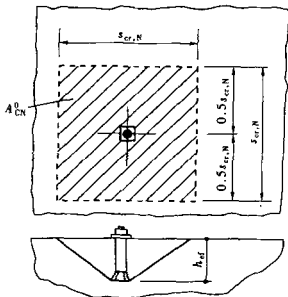


图 6.1.5 单栓受拉，理想化破坏锥体及其计算面积

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 $c_{cr,N} = 1.5h_{ef0}$

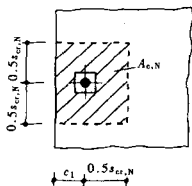


图 6.1.6-1 单栓受拉，靠近构件边缘时的计算面积

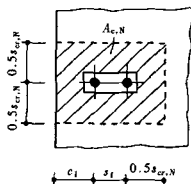


图 6.1.6-2 双栓受拉，垂直于构件边缘时的计算面积

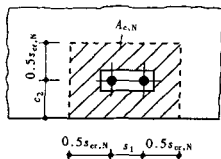


图 6.1.6-3 双栓受拉，平行于构件边缘时的计算面积

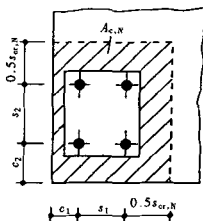


图 6.1.6-4 四栓受拉，位于构件角部的计算面积

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} 按本规程 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 应分别不小于其最小值 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, 在符合相应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, 按本规程公式 (6.1.3-2) 计算, 但 $A_{c,N}$ 、 $A_{c,N}^0$ 及相关系数计算中的 $c_{cr,N}$ 和 $s_{cr,N}$ 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, 按本规程表 4.2.6 采用;

$\psi_{h,sp}$ ——构件厚度 h 对劈裂承载力的影响系数。

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	$V_{Sd} \leq V_{Rd,s}$	$V_{Sd}^g \leq V_{Rd,s}$
混凝土剪撬破坏	$V_{Sd} \leq V_{Rd,sp}$	$V_{Sd}^g \leq V_{Rd,sp}$
混凝土楔形体破坏	$V_{Sd} \leq V_{Rd,c}$	$V_{Sd}^g \leq V_{Rd,c}$

注: V_{Sd}^g ——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;
 $V_{Rd,sp}$ ——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,

$\gamma_{Rs,v}$ 按本规程表 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(拉断伸长率不大于 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:

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

$$M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 (1 - N_{Sd} / N_{Rd,s}) \quad (6.2.2-4)$$

$$M_{Rk,s}^0 = 1.2 W_{ej} f_{stk} \quad (6.2.2-5)$$

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) $\alpha_M = 2$ 。

$M_{Rk,s}^0$ ——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_{ej} ——锚栓截面抵抗矩。

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

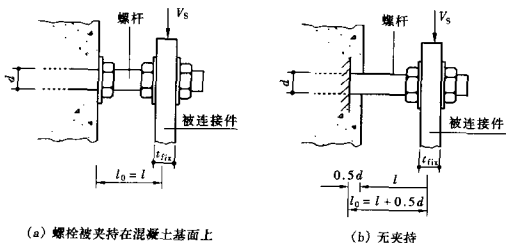


图 6.2.2-1 杠杆臂计算长度

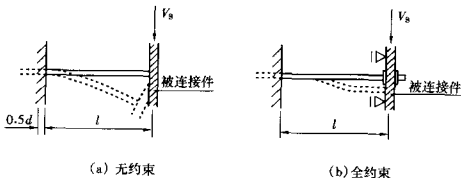


图 6.2.2-2 约束状况

下列公式计算：

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

$$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \frac{A_{c,v}}{A_{c,v}^0} \psi_s \psi_h \psi_{\alpha,v} \psi_{ec,v} \psi_{ucr,v} \quad (6.2.3-2)$$

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，
 $\gamma_{Rc,v}$ 按本规程表 4.2.6 采用；
 $V_{Rk,c}^0$ ——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，按本规程 6.2.4 条规定计算；

$A_{c,v}^0$ ——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，按本规程 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，按本规程 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，按本规程 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，按本规程 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），按本规程 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，按本规程 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，按本规程 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 $V_{Rk,c}^0$ 应由试验确定，在符合相应产品标准及本规程有关规定的情况下，可按下式计算：

$$V_{Rk,c}^0 = 0.45 \sqrt{d_{nom}} (l_f/d_{nom})^{0.2} \sqrt{f_{cu,k}} c_1^{1.5} \quad (N) \quad (6.2.4)$$

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 $l_f \leq 8d_o$ 。

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面积 $A_{c,v}^0$ （图 6.2.5），应按下式计算：

$$A_{c,v}^0 = 4.5c_1^2 \quad (6.2.5)$$

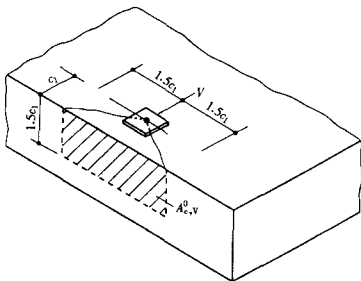


图 6.2.5 理想化的单栓受剪
混凝土破坏楔形体投影面积

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：

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

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

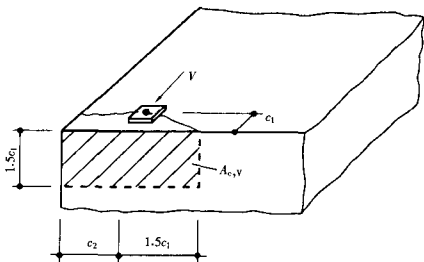


图 6.2.6-1 角部，单栓受剪

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)

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

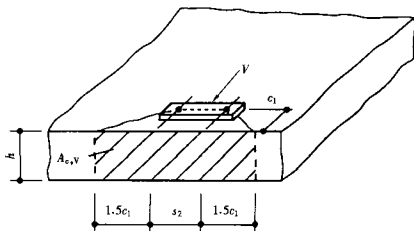


图 6.2.6-2 双栓受剪，位于构件边缘

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)

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

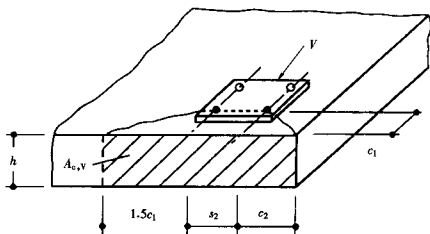


图 6.2.6-3 四栓受剪，位于构件角部

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:

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

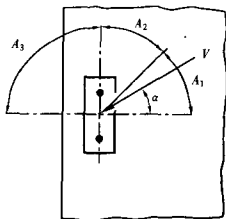


图 6.2.9 剪力角 α

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:

- 1 $\psi_{ucr,v} = 1.0$, 边缘为无筋的开裂混凝土;
- 2 $\psi_{ucr,v} = 1.2$, 边缘配有 $\phi \geq 12\text{mm}$ 直筋的开裂混凝土;

3 $\psi_{ucr,v} = 1.4$, 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:

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

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

式中 $V_{Rk,cp}$ ——混凝土剪撬破坏时的受剪承载力标准值;

γ_{Rep} ——混凝土剪撬破坏时的受剪承载力分项系数,

γ_{Rep} 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:

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

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

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

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弛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 $h_{e,min}/d$

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

破坏型态及锚栓类型	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
	膨胀型锚栓	0.7

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：

1 对于重要的锚固，直径不小于 8mm，间距不大于 150mm；

2 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: $s_{\min} \geq 5d$, $c_{\min} \geq 5d_0$ 。

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

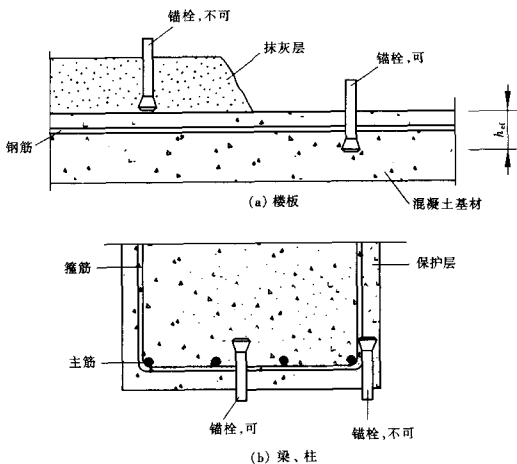


图 8.0.4 锚栓设置部位

锚栓的温度应力变幅 ($\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min}$) 不大于 100MPa。

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。

9 锚固施工及验收

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 和表 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 9.2.1-2 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	$\leq +0.4$	12~18	$\leq +0.50$
20~30	$\leq +0.6$	32~37	$\leq +0.70$
≥ 40	$\leq +0.8$		

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）。

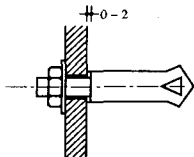


图 9.3.1-1 预插式安装

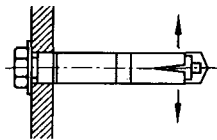


图 9.3.1-2 穿透式安装

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

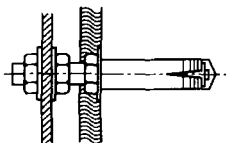


图 9.3.1-3 离开基面的安装

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不小于 $20d$ ，且不小于 200mm 。

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（或检验证明，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 2~3min。

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 1~2min，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 $0.8N_{Rk,c}$ 计算之较小值。 $N_{Rk,c}$ 为非钢材破坏承载力标准值，可按本规程 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 持荷期间荷载降低不大于 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：

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：

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：

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 规程中指明应按其他有关标准执行时的写法为：

“应符合……的规定”或“应按……执行”。

中华人民共和国行业标准

混凝土结构后锚固技术规程

JGJ 145—2004

条文说明

前 言

《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145—2004，经建设部2005年1月13日以307号公告批准，业以发布。

为便于广大设计、施工、科研、学校等单位的有关人员在使用本规程时能正确理解和执行条文规定，《混凝土结构后锚固技术规程》编制组按章、节、条顺序编制了本规程的条文说明，供使用者参考。在使用中如发现本条文说明有不妥之处，请将意见函寄中国建筑科学研究院（主编单位）。

目 次

1 总则	56
2 术语和符号	58
3 材料	61
3.1 混凝土基材	61
3.2 锚栓	61
3.3 锚固胶	61
4 设计基本规定	62
4.1 锚栓分类及适用范围	62
4.2 锚固设计原则	63
5 锚固连接内力分析	68
5.1 一般规定	68
5.2 群锚受拉内力计算	68
5.3 群锚受剪内力计算	68
6 承载能力极限状态计算	70
6.1 受拉承载力计算	70
6.2 受剪承载力计算	83
7 锚固抗震设计	85
8 构造措施	88
9 锚固施工与验收	89
9.1 基本要求	89
9.2 锚孔	89
9.3 锚栓的安装与锚固	89
9.4 锚固质量检查与验收	90
附录 A 锚固承载力现场检验方法	91

1 总 则

1.0.1 随着旧房改造的全面开展、结构加固工程的增多、建筑装修的普及，后锚固连接技术发展较快，并成为不可缺少的一种新型技术。顾名思义，后锚相应于先锚（预埋），具有施工简便、使用灵活等优点，国外应用已相当普遍，不仅既有工程，新建工程也广泛采用，欧洲、美国及日本已编有相应标准。相对而言，我国起步较晚，作为后锚固连接的主要产品——锚栓，品种较为单一，性能不够稳定。目前，德国、瑞士、日本等国的锚栓厂商已抢占了我国大半个锚栓市场，形成国产锚栓与进口产品激烈竞争与混用局面，整个锚栓市场缺乏标准、规范约束，致使生产与使用严重脱节，工程事故时有发生。为安全可靠及经济合理的使用，正确有序地引导我国后锚固技术的健康发展，特制定本规程。

1.0.2 后锚固连接的受力性能与基材的种类密切相关，目前国内外的科研成果及使用经验主要集中在普通钢筋混凝土及预应力混凝土结构，砌体结构及轻混凝土结构数据较少。本着成熟可靠原则，参考《欧洲技术指南——混凝土用（金属）锚栓》（ETAG），本规程限定其适用范围为普通混凝土结构基材，暂不适用于砌体结构和轻混凝土结构基材。

1.0.3 后锚固连接与预埋连接相比，可能的破坏形态较多且较为复杂，总体上说，失效概率较大；失效概率与破坏形态密切相关，且直接依赖于锚栓的种类和锚固参数的设定。因此，后锚固连接设计必须考虑锚栓的受力状况（拉、压、弯、剪，及其组合）、荷载类型以及被锚固结构的类型和锚固连接的安全等级等因素的综合影响。

1.0.4 本规程所用锚栓，是指满足相关产品标准并经国家权威

机构检验认证的锚栓。目前，国内各厂家所生产的锚栓，大部分未经检验认证，也无系统的性能指标或指标不全，致使设计、施工无法直接采用。为确保使用安全，应坚决纠正。

2 术语和符号

2.1 术 语

本规程采用的术语及涵义，主要是参考《混凝土用锚栓欧洲技术批准指南》(ETAG)并结合了我国的习惯叫法确定的。

2.1.1 后锚固是相对于浇筑混凝土时预先埋设其中——先锚固而命名，是在已经硬化的既有混凝土结构上通过相关技术手段的锚固。

2.1.2~2.1.5 根据国际惯例，结合我国实际情况，本规程包容定义了膨胀型锚栓、扩孔型锚栓、化学植筋和长螺杆等类型，但就国际市场和发展趋势分析，锚栓品种远不止此。本着成熟可靠原则，它种锚栓有待规程修订时增补。

2.1.10 锚固破坏类型总体上可分为锚栓或植筋钢材破坏，基材混凝土破坏，以及锚栓或植筋拔出破坏三大类。分类目的在于精确地进行承载力计算分析，最大限度地提高锚固连接的安全可靠性及使用合理性。破坏类型与锚栓品种、锚固参数、基材性能及作用力性质等因素有关，其中锚栓品种及锚固参数最为直接。

2.1.11 锚栓或锚筋钢材破坏分拉断破坏、剪坏及拉剪复合受力破坏(图 2.1.11)，主要发生在锚固深度超过临界深度 h_{cr} ，或混凝土强度高或锚固区钢筋密集，或锚栓或锚筋材质强度较低或有效截面偏小时。此种破坏，一般具有明显的塑性变形，破坏荷载离散性较小。

2.1.12 膨胀型锚栓和扩孔型锚栓受拉时，形成以锚栓为中心的倒圆锥体混凝土基材破坏形式，称之为混凝土锥体破坏(图 2.1.12)。混凝土锥体破坏是机械锚栓锚固破坏的基本形式，特别是粗短锚栓，锥顶一般位于锚栓膨胀扩大头处，锥径约为三倍锚深 ($3h_{ef}$)。此种破坏表现出较大脆性，破坏荷载离散性较大。

2.1.13 化学植筋或粘结型锚栓受拉时，形成上部锥体及深部粘结拔出之混合破坏形式（图 2.1.13）。当锚固深度小于钢材拉断之临界深度时（ $h_{ef} < h_{cr}$ ），一般多发生混合型破坏；锥径约一倍锚深。

2.1.14 基材边缘锚栓受剪时，形成以锚栓轴为顶点的混凝土楔形体破坏形式（图 2.1.14）。楔形体大小和形状与边距 c 、锚深 h_{ef} 及锚栓外径 d_{nom} 等有关。

2.1.15 基材中部锚栓受剪时，形成基材局部混凝土沿剪力反方向被锚栓撬坏的破坏形式（图 2.1.15）。剪撬破坏一般发生在埋深较浅的粗短锚栓情况。

2.1.16 基材混凝土因锚栓的膨胀挤压，形成沿锚栓轴线或群锚轴线连线之胀裂破坏形式（图 2.1.16），称为劈裂破坏。劈裂破坏与锚栓类型、边距 c 、间距 s 及基材厚度 h 有关。

2.1.17 机械锚栓受拉时，整个锚栓从锚孔中被拉出的破坏形式（图 2.1.17），称为拔出破坏。拔出破坏多发生在施工安装方法不当，如钻孔过大，锚栓预紧力不够等情况。拔出破坏承载力很低，离散性大，难于统计出有用的承载力指标。

2.1.18 膨胀型锚栓受拉时，锚栓膨胀锥从套筒中被拉出，而膨胀套筒（或膨胀片）仍留在锚孔中的破坏形式（图 2.1.18），称为穿出破坏。穿出破坏是某些锚栓常见破坏现象，主要是锚栓膨胀套筒或膨胀片材质过软，壁厚过薄，接触表面过于光滑等，因缺乏系统试验统计数据，其承载力只能由厂家提供，且荷载变形曲线存在一定滑移。

2.1.19 化学植筋受拉时，沿胶粘剂与钢筋界面之拔出破坏形式（图 2.1.19），称为胶筋界面破坏。胶筋界面破坏多发生在粘结剂强度较低，基材混凝土强度较高，锚固区配筋较多，钢筋表面较为光滑（如光圆钢筋）等情况。

2.1.20 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），称为胶混界面破坏。胶混界面破坏主要发生在锚孔表面处理不当，如未清孔（存在大量灰粉），孔道过湿，

孔道表面被油污等。

2.2 符 号

2.2.1~2.2.4 本规程采用的符号及其意义，主要是根据现行国家标准《工程结构设计基本术语和通用符号》GBJ 132—90，并参考《混凝土用锚栓欧洲技术批准指南》ETAG 制定的，即凡 GBJ 132—90 已规定的，一律加以引用，不再定义和说明，凡 GBJ 132—90 未规定的，本规程结合国际惯例自行给出定义和说明。

3 材 料

3.1 混凝土基材

3.1.1~3.1.3 作为后锚固连接的母体——基材，必须坚固可靠，相对于被连接件，应有较大的体量，以便获得较高锚固力。同时，基材结构本身尚应具有相应的安全余量，以承担被连接件所产生的附加内力。显然，存在严重缺陷和混凝土强度等级较低的基材，锚固承载力较低，且很不可靠。

3.2 锚 栓

3.2.1~3.2.3 锚栓材料性能等级及机械性能指标，系按国家标准《紧固件机械性能——螺栓、螺钉和螺柱》GB 3098.1—82 确定，为便于设计使用，本规程录用了相关项目和数据。

3.2.4 作为化学植筋使用的钢筋，一般以普通热轧带肋钢筋锚固性能最好，光圆钢筋较差。

3.3 锚 固 胶

3.3.1~3.3.3 化学植筋的锚固性能主要取决于锚固胶（又称胶粘剂、粘结剂）和施工方法，我国使用最广的锚固胶是环氧基锚固胶，因此，表 3.3.3 对环氧基锚固胶的性能指标及使用条件提出了要求。其他品种的锚固胶，主要指无机锚固胶和进口胶，其性能应由厂家通过专门的试验确定和认证。

4 设计基本规定

4.1 锚栓分类及适用范围

4.1.1 锚栓是一切后锚固组件的总称，范围很广。锚栓按其工作原理及构造的不同，锚固性能及适用范围存在较大差异，ETAG分为膨胀型锚栓、扩孔型锚栓及粘结型锚栓（包括变形钢筋）三大类，我国习惯分为膨胀型锚栓、扩孔型锚栓、粘结型锚栓及化学植筋四大类。新近出现了混凝土螺钉（Concrete Screws），制作简单，性能可靠，加之还有传统的射钉、混凝土钉等，皆因数据不够完整，暂未纳入。粘结型锚栓国外应用较多，但新近研究表明，性能欠佳，尤其是开裂混凝土基材，计算方法也不够成熟，破坏形态难于控制，故本规程也暂不列入。

锚栓的选用，除本身性能差异外，还应考虑基材是否开裂，锚固连接的受力性质（拉、压、中心受剪、边缘受剪），被连接结构类型（结构构件、非结构构件），有无抗震设防要求等因素的综合影响。

4.1.2 就国内外工程实践而言，除化学植筋外，现有各种机械定型锚栓，包括膨胀型锚栓、扩孔型锚栓、粘结型锚栓及混凝土螺钉等，绝大多数主要应用于非结构构件的后锚固连接，少数应用于受压、中心受剪（ $c \geq 10h_{ef}$ ）、压剪组合之结构构件的后锚固连接，尚未发现应用于受拉、边缘受剪及拉剪复合受力之结构构件的后锚固连接工程实践。

4.1.3 膨胀型锚栓（图 2.1.3），简称膨胀栓，是利用锥体与膨胀片（或膨胀套筒）的相对移动，促使膨胀片膨胀，与孔壁混凝土产生膨胀挤压力，并通过剪切摩擦作用产生抗拔力，实现对被连接件锚固的一种组件。膨胀型锚栓按安装时膨胀力控制方式的不同，分为扭矩控制式和位移控制式。前者以扭力控制，后者以

位移控制。膨胀型锚栓由于定型较为粗短，埋深一般较浅，受力时主要表现为混凝土基材受拉破坏，属脆性破坏，因此，按我国《建筑结构可靠度设计统一标准》精神，不适用于受拉、边缘受剪（ $c < 10h_{ef}$ ）、拉剪复合受力之结构构件及生命线工程非结构构件的后锚固连接。

扩孔型锚栓（图 2.1.4），简称扩孔栓或切槽栓，是通过在钻孔底部混凝土的再次切槽扩孔，利用扩孔后形成的混凝土承压面与锚栓膨胀扩大头间的机械互锁，实现对被连接件锚固的一种组件。扩孔型锚栓按扩孔方式的不同，分为预扩孔和自扩孔。前者以专用钻具预先切槽扩孔；后者锚栓自带刀具，安装时自行切槽扩孔，切槽安装一次完成。由于扩孔型锚栓锚固拉力主要是通过混凝土承压面与锚栓膨胀扩大头间的顶承作用直接传递，膨胀剪切摩擦作用较小。尽管如此，但扩孔型锚栓在基材混凝土锥体破坏形态上并无质的改善与提高，故其适用范围与膨胀型锚栓一样，不适用于受拉、边缘受剪（ $c < 10h_{ef}$ ）、拉剪复合受力之结构构件的后锚固连接。

4.1.4 化学植筋及螺杆（图 2.1.5），简称植筋，是我国工程界广泛应用的一种后锚固连接技术，系以化学胶粘剂——锚固胶，将带肋钢筋及长螺杆胶结固定于混凝土基材钻孔中，通过粘结与锁键（interlock）作用，以实现对被连接件锚固的一种组件。化学植筋锚固机理与粘结型锚栓相同，但化学植筋及长螺杆由于长度不受限制，与现浇混凝土钢筋锚固相似，破坏形态易于控制，一般均可以控制为锚筋钢材破坏，故适用于静力及抗震设防烈度 ≤ 8 之结构构件或非结构构件的锚固连接。对于承受疲劳荷载的结构构件的锚固连接，由于实验数据不多，使用经验（特别是构造措施）缺乏，应慎重使用。

4.2 锚固设计原则

4.2.1 目前我国后锚固连接设计计算较为混乱，有经验法、容许应力法、总安全系数法及极限状态法等多种方法。本规程根据

国家标准《建筑结构可靠度设计统一标准》GB 50068—2001，参考《混凝土用锚栓欧洲技术批准指南》(ETAG)，采用了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 我国后锚固连接多用于旧房改造，为与改造工程预期的后续使用寿命相匹配，使锚固设计更经济合理，故规定后锚固连接设计所采用的设计基准期 T ，应与整个被连接结构的设计基准期一致，显然，它比新建工程所规定的设计基准期短。

4.2.3 后锚固连接破坏型态多样且复杂，相对于结构，失效概率较大，故另设安全等级。混凝土结构后锚固连接的安全等级分为二级。所谓重要的锚固，是指后接大梁、悬臂梁、桁架、网架，以及大偏心受压柱等结构构件及生命线工程非结构构件之锚固连接，这些锚固连接一旦失效，破坏后果很严重，故定为一級。一般锚固，是指荷载较轻的中小型梁板结构，以及一般非结构件的锚固连接，此种锚固连接失效，破坏后果远不如一级严重，故定为二级。锚固连接的安全等级宜与整个被连接结构的安全等级相应或略高，即锚固设计的安全等级及取值，应取被连接结构和锚固连接二者中的较高值。

4.2.4 锚固承载力设计表达式按我国《建筑结构可靠度设计统一标准》(GB 50068—2001) 规定采用，左端作用效应引入了锚固重要性系数 γ_A ， $\gamma_A \geq \gamma_0$ 。右端锚固抗力设计值 R 与一般设计规范不完全相同，是按 $R = R_k / \gamma_{R*}$ 确定， R_k 为锚固承载力标准值， γ_{R*} 为锚固承载力分项系数，而非材料性能分项系数；锚固承载力标准值 R_k 系直接由锚固抗力试验统计平均值及其离散系数确定，而非材料强度离散系数。

后锚固连接设计全过程，应按图 1 框图进行。基本程序为：分析基材性能特征→选定锚栓品种及相关锚固参数→锚栓内力分析→锚固抗力计算→承载力分析→锚固设计完成。为获得最佳方案，其中的个别环节，有时需要作多次反复调整和修正。

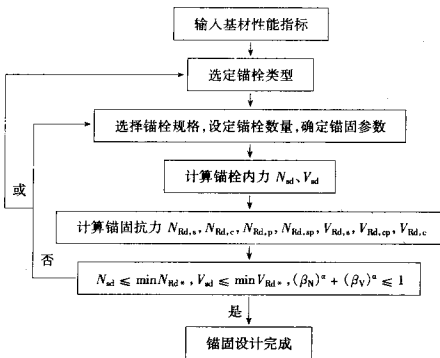


图 1 后锚固连接设计全过程

4.2.5 后锚固连接破坏类型总体上可分为锚栓或锚筋钢材破坏，基材混凝土破坏，以及锚栓或锚筋拔出破坏三大类。分类目的在于精确地进行承载力计算分析，最大限度地提高锚固连接的安全可靠性及使用合理性。锚栓或锚筋钢材破坏分拉断破坏、剪坏及拉剪复合受力破坏（图 2.1.11），主要发生在锚固深度超过临界深度 h_{cr} 时。此种破坏，一般具有明显的塑性变形，破坏荷载离散性较小。对于受拉、边缘受剪、拉剪复合受力之结构构件的后锚固连接设计，根据《建筑结构可靠度设计统一标准》精神，应控制为这种破坏形式。

膨胀型锚栓和扩孔型锚栓基材混凝土破坏，主要有四种形式。第一种是锚栓受拉时，形成以锚栓为中心的混凝土锥体受拉破坏，锥顶一般位于锚栓扩大头处，锥径约三倍锚深（ $3h_{ef}$ ）（图 2.1.12）。第二种是锚栓受剪时，形成以锚栓轴为顶点的混凝土楔形体受剪破坏（图 2.1.14）。楔形体大小和形状与边距 c 、锚深 h_{ef} 及锚栓外径 d_{nom} 或 d 有关。第三种是锚栓中心受剪时，

混凝土沿反方向被锚栓撬坏（图 2.1.15）。第四种是群锚受拉时，混凝土受锚栓的胀力产生沿锚栓连线的劈裂破坏（图 2.1.16）。基材混凝土破坏，尤其是第一、第二种破坏，是锚固破坏的基本形式，特别是短粗的机械锚栓；此种破坏表现出一定脆性，破坏荷载离散性较大。对于结构构件及生命线工程非结构构件后锚固连接设计，应避免这种破坏形式。

拔出破坏对机械锚栓有两种破坏形式，一种是锚栓从锚孔中整体拔出（图 2.1.17），另一种是螺杆从膨胀套筒中穿出（图 2.1.18）。前者主要是施工安装方法不当，如钻孔过大，锚栓预紧力不够；后者主要是锚栓设计构造不合理，如锚栓套筒材质过软，壁厚过薄，接触表面过于光滑等。整体拔出破坏，由于承载力很低，且离散性大，很难统计出有用的承载力设计指标，因此不允许发生。至于穿出破坏，偶发性检验表明虽具有一定承载力，但缺乏系统的试验统计数据供应用，且变形曲线存在较大滑移，对于受拉、边缘受剪、拉剪复合受力之锚固连接，宜避免发生，一旦发生应按附录 A 的方法，通过承载力现场检验予以评定，且检验数量加倍，以保证应有的安全可靠。

化学植筋及长螺杆基材混凝土破坏，主要有三种形式。第一种是锚筋受拉，当锚深很浅（ $h_{ef}/d < 9$ ）时，形成以基材表面混凝土锥体及深部粘结拔出之混合型破坏，这种破坏锥体一般较小，锥径约一倍锚深，锥顶位于约 $h_{ef}/3$ 处，其余 $2h_{ef}/3$ 为粘结拔出（图 2.1.13）。第二种是锚筋受剪时，形成以锚筋轴为顶点的一定深度的楔形体破坏，其情况与机械锚栓相似。第三种是锚筋受拉，当锚筋过于靠近构件边缘（ $c < 5d$ ），或间距过小（ $s < 5d$ ）时，会产生劈裂破坏。混凝土基材破坏表现出较大脆性，破坏荷载离散性较大，尤其是开裂混凝土基材。

化学植筋及长螺杆拔出破坏有两种形式：沿胶筋界面拔出和沿胶混界面拔出。正常情况，拔出破坏多发生在锚深过浅时，其性能远不如钢材破坏好。研究与实践表明，化学植筋及长螺杆因其锚固深度可任意调节，其破坏形态设计容易控制。因此，对于结构构件

的后锚连接设计, 根据我国《建筑结构可靠度设计统一标准》精神, 可用控制锚固深度办法, 严格限定为钢材破坏一种模式。

4.2.6 表 4.2.6 锚固承载力分项系数 γ_R , 主要是参考《混凝土用锚栓欧洲技术批准指南》(ETAG) 制定的, 对于非结构构件的锚固设计, γ_R 取值与 ETAG 相同。问题是本规程锚栓应用范围已涉及到一般工程结构的后锚固连接, 由于这方面国外工程经验的局限和国内经验的缺乏, 加之我国结构设计思路与 ETAG 不完全一致, 故对一般结构构件, 本规程取值较 ETAG 普遍有所提高, 提高幅度: 钢材破坏时为 11% ~ 12%, 混凝土基材破坏时为 36% ~ 44%。具体数值详见表 1, 表 4.2.6 在此基础上进行了简化处理。

本规程取消了锚栓安装质量三个等级划分, 仅保留了合格与不合格一个标准, 原因是规程难于量化区分, 工程中也很难掌握。但不可忽视施工质量高低的有利和不利影响。

表 1 锚固承载力分项系数 γ_R 取值对照

符号	名称及涵义		ETAG	本规程非结构构件	本规程结构构件
γ_c	混凝土强度分项系数		1.5		1.8
γ_1	混凝土抗拉强度附加系数		1.2		1.3
γ_2	锚栓安装质量附加系数	受拉	高精度	1.0	/
			标准精度	1.2	1.3
			可接受的低质量	1.4	/
		受剪	1.0	1.1	
$\gamma_{RC, \cdot}$	基材混凝土破坏分项系数 ($\gamma_{RC, N}$, $\gamma_{RC, V}$, γ_{RSP} , γ_{RCP})		$\gamma_c \quad \gamma_1 \quad \gamma_2$		
$\gamma_{RS, \cdot}$	锚栓或植筋钢材破坏分项系数	受拉	$1.2f_{stk}/f_{yk} \geq 1.4$	$1.3f_{stk}/f_{yk} \geq 1.55$	
		受剪	$1.2f_{stk}/f_{yk} \geq 1.25$ ($f_{stk} \leq 800\text{MPa}$ 且 $f_{yk}/f_{stk} \leq 0.8$)	$1.3f_{stk}/f_{yk} \geq 1.4$ ($f_{stk} \leq 800\text{MPa}$ 且 $f_{yk}/f_{stk} \leq 0.8$)	

4.2.7 后锚固连接改变用途和使用环境将影响其安全可靠性和耐久性, 因此必须经技术鉴定或设计许可。

5 锚固连接内力分析

5.1 一般规定

5.1.1 群锚锚固连接时，各锚栓内力是按弹性理论平截面假定进行分析，但若对锚固破坏类型加以控制，使之仅发生锚栓或植筋钢材破坏，且锚栓或植筋为低强（ ≤ 5.8 级）钢材时，则可按考虑塑性应力重分布的极限平衡理论进行简化计算，即与《混凝土结构设计规范》规定相似，拉区锚栓按均匀受力计算，压区混凝土近似按矩形应力图形计算。

除化学植筋外，一般机械锚栓是通过“膨胀—挤压—摩擦”而产生锚固力，反向则不能成立，故不能传递压力，因此，压区锚栓不考虑受力。

5.1.2 公式（5.1.2）在于精确判别基材混凝土是否开裂，以便对基材混凝土破坏锚固承载力进行相应（未裂与开裂）计算。 σ_L 为外荷载在基材锚固区所产生的应力，拉为正，压为负； σ_R 为混凝土收缩、温度变化及支座位移所产生的应力。此判别式涵义是，不管什么原因，只要基材锚固区混凝土出现拉应力，均一律视为开裂混凝土。

5.2 群锚受拉内力计算

5.2.1~5.2.2 分别给出了按弹性理论分析时，群锚在轴心受拉、偏心受拉荷载下，受力最大锚栓的内力。

5.3 群锚受剪内力计算

5.3.1 群锚在剪切荷载 V 及扭矩 T 作用下，锚栓是否受力，应根据锚板孔径与锚栓直径的适配情况及边距大小而定，当锚栓与锚板孔紧密接触（ $\Delta \leq [\Delta]$ ）且边距较大（ $c \geq 10h_{ef}$ ）时，各锚

栓平均分摊剪力，是理想的受力状态（图 5.3.1-1）；反之，各锚栓受力很不均匀，因混凝土脆性而产生各个击破现象，参照 ETAG 规定，计算上仅考虑部分锚栓受力（图 5.3.1-2）。有时，为使剪力分布更为合理，可进行人工干预，即将某些锚板孔沿剪力方向开设为长槽孔，则这些锚栓就不参与受力（图 5.3.1-3）。

5.3.2~5.3.4 分别给出了按弹性理论分析时群锚在剪力 V 作用下、扭矩 T 作用下、剪力 V 与扭矩 T 共同作用下，参与工作的各锚栓所受剪力。

6 承载能力极限状态计算

6.1 受拉承载力计算

6.1.1 后锚固连接受拉承载力应按锚栓钢材破坏、锚栓拔出、混凝土锥体受拉破坏、劈裂破坏等4种破坏类型，及单锚与群锚两种锚固连接方式，共计8种情况分别进行计算（表6.1.1）。对于单锚连接，外力与抗力比较明确，计算较为简单。对于群锚连接，情况较为复杂：当为钢材破坏和拔出破坏时，破坏主要出现在某些受力最大锚栓（假定锚栓品种规格及参数均相同），因此，一般只计算受力最大（ N_{Sd}^g ）锚栓即可；当为混凝土锥体破坏或劈裂破坏时，主要表现为群锚基材整体破坏，因此很难区分和确定每根锚栓的抗力，故取 N_{Sd}^g 进行整体锚固计算。

6.1.2 参考 ETAG，锚栓或植筋钢材破坏时的受拉承载力标准值 $N_{Rk,s}$ ，一律根据钢材的极限抗拉强度 f_{us} ，取标准值 f_{stk} 计算，而未取 f_{yk} 。主要考虑是：锚栓所用钢材，强度均较高，一般无明显屈服点，与拉断力直接对应的是 f_{us} ，取 f_{stk} 更直接；机械锚栓是在较大预紧力下工作，其性能相当于预应力筋；普通化学植筋钢材虽有明显屈服点，但表4.2.6植筋钢材破坏分项系数已按 $\gamma_{Rs} = \alpha f_{stk} / f_{yk}$ （ α 为换算系数）进行了换算。

经用扩孔型锚栓及膨胀型锚栓对锚栓钢材破坏时的受拉承载力公式（6.1.2）进行了验证，锚固深度分别为 $h_{ef} = 125\text{mm}$ 和 120mm ， $\geq h_{cr}$ ，均表现为锚栓拉断破坏，拉断承载力试验值与计算值之比 $N_{us}^0 / N_{us} = N_{us}^0 / A_s f_{us} = 1.00 \sim 1.11$ 。

6.1.3 单锚或群锚混凝土锥体受拉破坏是后锚固受拉破坏的基本形式，特别是膨胀型锚栓和扩孔型锚栓，影响因素众多，计算较为复杂。受拉承载力标准值 $N_{Rk,c}$ 公式（6.1.3-2），包含单根

锚栓在理想状态下的承载力标准值 $N_{Rk,c}^0$ 及计算面积 $A_{c,N}^0$, 单锚或群锚实际破坏面积 $A_{c,N}$, 边距影响 $\psi_{s,N}$, 钢筋剥离影响 $\psi_{re,N}$, 荷载偏心影响 $\psi_{ec,N}$ 及未裂影响 $\psi_{ucr,N}$ 等项目。

6.1.4 单根锚栓在理想锚固状态下, 混凝土基材受拉破坏承载力主要试验依据及验证情况如下:

1 受拉时混凝土锥体破坏承载力分布曲线

为检验单根锚栓受拉时混凝土锥体破坏承载力及其概率分布函数, 采用膨胀型锚栓进行了锚固抗拔力试验。基材混凝土强度等级为 C25, 厚 200mm, 锚栓数量 76 根, 锚固深度 $h_{ef} = 60\text{mm}$, 螺杆为 M12, 拧紧扭矩 $T = 65\text{Nm}$ 。试验方法按 ETAG 附录 A 拉伸试验方法进行, 支承环内径 $\geq 4h_{ef}$ 。承载力实测概率分布经整理后示于图 2。由图示可知, 该概率分布基本属于正态分布。76 根锚栓的平均极限抗拔力 $mN_u = 36.3\text{kN}$, 均为混凝土破坏, 变异系数 $\delta = 10.7\%$, 散布范围在 28 ~ 46kN 之间。平均值与众值十分接近。试验值 N_{uc}^0 与回归公式 (1) 相比, $N_{uc}^0/N_{uc} = 1.16$, 偏于安全。

2 膨胀锚栓受拉时, 混凝土锥体破坏承载力回归公式

按 ETAG 规定, 在无间距和边距影响的理想条件下, 单根膨胀型锚栓或扩孔型锚栓受拉时, 非开裂混凝土锥体破坏承载力统计公式为:

$$N_{uc} = 13.5 h_{ef}^{1.5} \sqrt{f_{cu}} \quad (1)$$

据此, 就主变量锚固深度 h_{ef} (mm) 及混凝土立方体强度 f_{cu} (MPa) 对 N_{uc} 的影响, 即公式 (1) 的适用性进行了检验。采用的锚栓为 M10、M12、M18 膨胀型锚栓和扩孔型锚栓, 锚固深度 $h_{ef} = 42.5 \sim 125\text{mm}$, 混凝土强度等级为 C25 ~ C50。试验结果表明, 锚深较浅、基材强度较低时, 主要表现为混凝土锥体破坏, 承载力 N_u 应按式 (1) 计算, 试验值与计算值之比 $N_{uc}^0/N_{uc} = 0.95 \sim 1.21$, 试验值与公式 (1) 较为吻合。

锚固承载力计算, 本规程基调是以开裂混凝土为主, 因为按公式 (5.1.2) 判别, 多数均属开裂混凝土。对于开裂混凝土锥

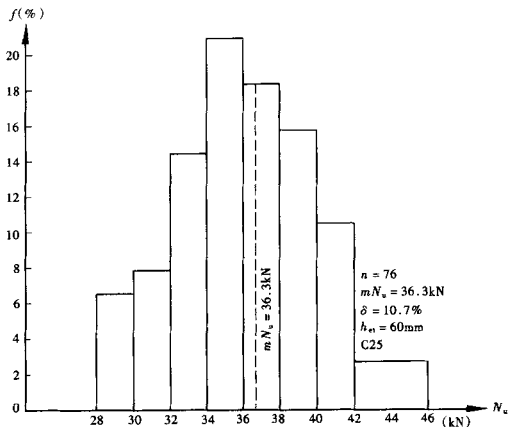


图2 膨胀型锚栓抗拔力概率分布图

体破坏承载力，ETAG 给定的统计公式为：

$$N_{uc} = 9.5 h_{ef}^{1.5} \sqrt{f_{cu}} \quad (2)$$

变异系数 $\delta = 0.15$ ，则标准值 $N_{Rk,c}^0$ 为：

$$N_{Rk,c}^0 = (1 - 1.645 \times 0.15) N_{uc} \approx 7.0 h_{ef}^{1.5} \sqrt{f_{cu,k}} \quad (6.1.4)$$

为了检验国产锚栓对公式 (1) 的适用情况，分别对六个厂家计 8 种类型锚栓，进行了锚固抗拔力试验及抗剪试验。锚栓规格为 M10 ~ M16，锚固深度 $h_{ef} = 53 \sim 100$ mm，基材为 C25 混凝土。试验结果表明，锚栓受拉时基本上为混凝土锥体破坏，极限抗拔力波动范围较大， $N_{uc}^0/N_{uc} = 0.51 \sim 1.17$ ，但多数仍与公式 (1) 计算值吻合。

目前国内一些锚栓的主要问题是：品种单一，构造简单，加工粗糙，大多为蹬粗螺杆与镀锌薄钢板套筒组成，拧紧时螺杆常

一起转；螺母太薄，丝扣易损伤；受力时松弛滑移现象严重。如图3，若以超出5%的极限变形值（ $\geq 0.05\Delta_u$ ）作为不可接受的滑移量，那么，滑移荷载 N_1 （或 V_1 ）与极限荷载 N_u （或 V_u ）之比， $N_1/N_u=0.62\sim 0.76$ ， $V_1/V_u=0.1\sim 0.32$ 。这一现象表明，国产某些锚栓应加以改进，使用应当特别注意。

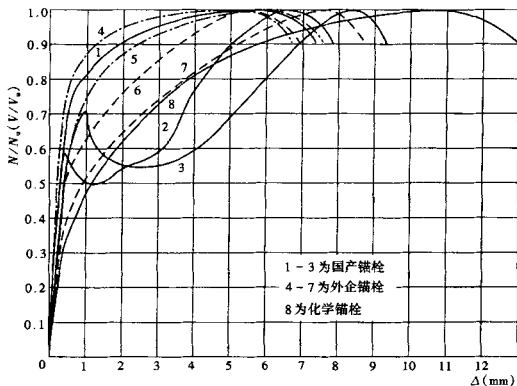


图3 锚栓受拉荷载-位移曲线

3 化学植筋受拉时，混合型破坏承载力回归公式

按 ETAG 归类，化学植筋是粘结型锚栓的一种，但 ETAG 对化学植筋及粘结型锚栓锚固混凝土锥体破坏与粘结拔出之混合型破坏时的受拉承载力，并未给定计算公式，尽管国外进行过定量的试验研究。然而，化学植筋在我国建筑工程乃至整个土木工程中，应用极为普遍，量大面广。据此，本规程结合我国具体情况，对化学植筋的极限抗拔力进行了较为系统地试验研究，所用胶种型号较多，有 DJR-DWM 胶、XH130ABC 胶、XH111AB 胶、XH131ABC 胶、HX-JMG 胶、YS-JGN 胶、YJS-1 胶、ESA 胶、RM

管装胶、ZL-JGM 胶、汇丽锚固胶、管装 JCT 胶以及 JJK 型胶等；所用钢筋为 II 级 $\phi 12 \sim \phi 20$ 及 RGM12 \times 160 螺杆，锚固深度 $h_{ef} = 32 \sim 215\text{mm}$ ($h_{ef}/d = 2 \sim 14.6$)，基材混凝土为 C25 ~ C30。试验结果列于表 2 和图 4。由列表数值可知，随着相对锚固深度 h_{ef}/d 的变化，破坏形态亦在发生变化，当 $h_{ef}/d < 9$ 时，主要表现为混凝土锥体与钢筋拔出之混合型破坏（带锥拔出），当 $h_{ef}/d \geq 9$ 时，则多表现为钢筋拉断破坏。就混合型破坏极限承载力而言，根据国内外有效试验数据，经统计分析，提出了回归公式如下：

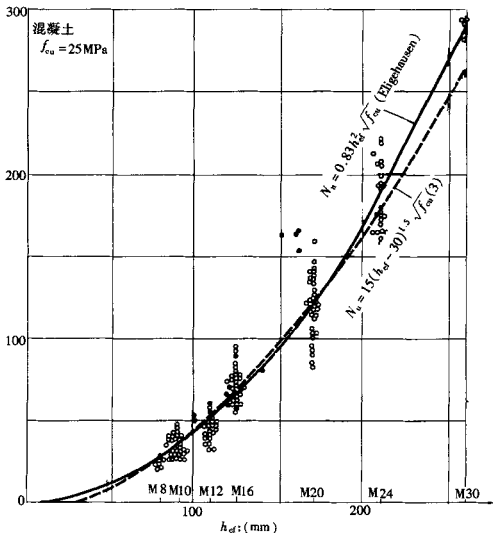


图 4 粘结型锚栓（筋）锚固未裂混凝土锥体组合型破坏受拉极限承载力与锚固深度的关系

表 2 化学植筋(栓)抗拔力试验结果汇总

胶 种	钢筋 (栓) 规格	基材 情况	锚固深度		试验破坏荷载 N_u^0 (kN)		计算破 坏荷载 N_u (kN)	$\frac{N_u^0}{N_u}$	破 坏 特 征	备 注
			h_d (mm)	h_{ed}/d	幅 度	平 均				
DJR-PTM	Φ 12	$f_{cu} = 39$ (C30)	120	10	63.3 ~ 64.7	64.2	58.8(s)	1.09	钢筋拉断或 接近 N_{us}	$N_{us} = 80\text{kN}$
			120	10	63.9 ~ 65.4	64.5		1.10		
DJR-DWM			175	14.6	64.4 ~ 67.7	65.5		1.11	钢筋拉断	$N_{us} = 163.6\text{kN}$
DJR-PTM	Φ 16	钢 质 套 筒	32	2	37		39.9(pa)	0.93	钢筋拔出	以钢质套筒为 基材,研究胶界面 破坏拉拔力: $N_{u,pa} = 17.5h_{ed}\sqrt{f_c}$ $f_c = 19.85\text{MPa}$
			48	3	63		59.9(pa)	1.05		
			64	4	82.6		79.8(pa)	1.04		
			80	5	101.2		99.8(pa)	1.01		
			96	6	118		119.8(pa)	0.98		
			80	5	100.1		96.2(pa)	1.04		
XH111AB	Φ 12	$f_{cu} = 39$ (C30)	150	12.5	63.8 ~ 66.9	65.7	58.8(s)	1.12	钢筋拉断	$f_c = 18.46\text{MPa}$ (钢-花岗岩)
			145	12.1	58.7 ~ 66.7	63.3		1.08		
			146	12.2	67.1 ~ 69.1	68.2		1.16		

续表 2

胶种	钢筋 (粒) 规格	基材 情况	锚固深度		试验破坏荷载 N_u^0 (kN)		计算破坏荷载 N_u^0 (kN)	$\frac{N_u^0}{N_u}$	破坏特征	备注
			h_{ad} (mm)	h_{ad}/d	幅度	平均				
XH130ABC XH111AB XH131ABC	Φ 20	$f_{cu} =$ 39 (C30)	160	8	161.8 ~ 163.2	162.4	138.8(c)	1.17	带锥拔出	
			158	7.9	168.6 ~ 174.0	171.4	135.7(c)	1.26		
			160	8	166.8 ~ 190.0	176.1	138.8(c)	1.27		
A1A2A3	Φ 25 D30	$f_{cu} =$ 30.91	150	6	142 ~ 149	145.5	140.1(pc)	1.04	钢筋拔出	
			200	8	185.5 ~ 187.1	186.3	186.8(pc)	1.00		
			250	10	229.7 ~ 236.1	233.5	233.5(pc)	1.00		
XH131ABC	Φ 16 D20	$f_{cu} =$ 39 (C30)	48	3	54.2 ~ 56.2	55.2	33.6(pc)	1.64	钢筋拔出	深钻孔, 部分粘接, 150, 200, 250 为底部粘结长度, 研究胶混界面破坏拉力。
			64	4	70.0	70.0	44.8(pc)	1.56		
			96	6	110.0 ~ 114.4	112.5	104.6(s)	1.08		
XH131ABC	Φ 16 D20	$f_{cu} =$ 39 (C30)	112	7	98.0 ~ 116.8	110.2	104.6(s)	1.05	钢筋缩颈, 达 N_{um}	加钢板约束破坏形态, 研究胶混界面破坏拉力。
			128	8	115.6 ~ 117.8	116.7	104.6(s)	1.16		
			144	9	96.2 ~ 112.0	104.1	104.6(s)	1.00		

续表 2

胶种	钢筋(栓)规格	基材情况	锚固深度		试验破坏荷载 N_u^0 (kN)		计算破坏荷载 N_u (kN)	$\frac{N_u^0}{N_u}$	破坏特征	备注
			h_d (mm)	h_d/d	幅度	平均				
HX-JMG	Φ 12 Φ 16 Φ 20	$f_{cu} = 39$ (C30)	120	10	69.0 ~ 70.2	69.6	58.8(s)	1.18	钢筋断 带锥拔出	$N_{uo} = 80.0\text{kN}$ $N_{uc} = 138.8\text{kN}$
			160	10	118.8 ~ 120.1	119.6	104.6(s)	1.14		
			152	7.6	177.0 ~ 180.6	178.6	126.2(c)	1.42		
YS-JGN	Φ 12 Φ 16 Φ 20	$f_{cu} = 39$ (C30)	128	10	66.8 ~ 68.9	67.9	58.8(s)	1.15	钢筋缩颈 带锥拔出	$N_{uo} = 80.0\text{kN}$ $N_{uc} = 138.8\text{kN}$
			160	10	115.8 ~ 116.5	116.1	104.6(s)	1.11		
			152	7.6	171.6 ~ 176.0	174.3	126.2(c)	1.38		
YJS-1	Φ 14 Φ 20	$f_{cu} = 36.4$ (C28)	140	10	70.9 ~ 90.5	84.3	78.5(s)	1.07	钢筋缩颈	$N_{uo} = 104.4\text{kN}$ $N_{uc} = 200.6\text{kN}$
			200	10	162.5 ~ 176.3	171.0	163.4(s)	1.05		
ESA	Φ 12 Φ 14	$f_{cu} = 36.4$ (C28)	130	10.8	58.2 ~ 67.5	63.9	58.8(s)	1.09	钢筋缩颈	$N_{uo} = 90.5\text{kN}$ $N_{uc} = 149.9\text{kN}$
			170	12.1	111.6 ~ 112.7	112.2	89.3(s)	1.26		
RM 胶管	RCM12 × 160	$f_{cu} = 33.9$ (C25)	110	9.2	53.5 ~ 55.0	54.3	62.5(c)	0.87	带锥拔出	
ZL-JGN	Φ 12 Φ 14 Φ 20	$f_{cu} = 39$ (C30)	100	8.3	37.4 ~ 59.8	52.2	54.9(c)	0.95	带锥拔出 钢筋缩颈	$N_{uo} = 153.5\text{kN}$ $N_{uc} = 235.7\text{kN}$
			169	10.6	102.8 ~ 107.3	105.6	104.6(s)	1.01		
			215	10.8	155.3 ~ 170.0	161.4	163.4(s)	0.99		

续表 2

胶种	钢筋(栓)规格	基材情况	锚固深度		试验破坏荷载 N_0^d (kN)		计算破坏荷载 N_0 (kN)	N_0^d / N_0	破坏特征	备注
			h_d (mm)	h_d/d	幅度	平均				
汇丽牌锚固胶	散装 $\Phi 14$	$f_w = 39$ (C30)	96	6.9	34.2~50.4	44.4	50.2(c)	0.88	带锥拔出	$N_w = 69.9\text{kN}$ 为实测值
			160	11.4	58.8~70.0	62.9	69.9(s)	0.90	钢筋缩颈钢筋断	
			200	14.3	61.0~79.6	71.1	69.9(s)	1.02	钢筋断	
JCT管装	管装 M12×160	$f_w = 39$ (C30)	80	6.7	40.6~55.8	46.6	33.1(c)	1.41	带锥拔出	$N_w = 80.0\text{kN}$
			100	8.3	42.6~52.5	48.7	54.9(c)	0.89	钢筋缩颈	
			120	10.0	49.6~57.1	52.7	50.6(s)	1.04	钢筋断	
JCT管装	管装 M10×130 M12×170 M12×160	$f_w = 39$ (C30)	90	9	41.4~46.8	43.5	43.5(c)	1.00	带锥拔出	
			120	10	51.2~53.4	52.1	56.2(s)	0.93	锚栓拉断	
			100	8.3	61.4~67.0	64.0	56.2(s)	1.14	锚栓拉断	
JCN-31	管装 $\Phi 12$ $\Phi 16$ $\Phi 20$	$f_w = 39$ (C30)	120	10	63.8~66.6	65.3	58.8(s)	1.11	钢筋断	
			160	10	116.4~118.1	116.0	104.6(s)	1.11	钢筋断	
			150~160	7.5~8	174~182.7	178.5	163.4(c)	1.09	钢筋断	

注: (s)表示钢材破坏, (c)表示混凝土锥体混合型破坏, (ps)表示钢筋界面拔出破坏, (pc)表示胶湿界面拔出破坏。

$$N_{uc} = 15 (h_{ef} - 30)^{1.5} \sqrt{f_{cu}} \quad (N) \quad (3)$$

式中 h_{ef} ——钢筋或螺杆锚固深度 (mm);

f_{cu} ——混凝土立方体抗压强度 (MPa)。

试验值与回归公式 (3) 计算值之比 $N_{uc}^0/N_{uc} = 0.87 \sim 1.42$, 表明按公式 (3) 计算偏于安全; 螺杆与钢筋并无本质区别。

钢筋拉断时, $N_{us}^0/N_{us} = 0.90 \sim 1.26$ 。

对于开裂混凝土, Elgehausen, R 和 Mallee, R 的研究表明, 混凝土锥体组合型破坏承载力会大幅度降低, 离散性会显著增大, 降低系数近似取 0.41, 变异系数近似取 $\delta = 0.3$, 则其标准值 $N_{Rk,C}^0$ 为:

$$N_{Rk,C}^0 = 3.0 (h_{ef} - 30)^{1.5} \sqrt{f_{cu,k}} \quad (N) \quad (4)$$

式中 $f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值 (MPa)。

6.1.7 锚栓受拉混凝土锥体破坏时, 混凝土圆锥直径, 从统计看是固定的, 对于膨胀型锚栓, ETAG 认定为 $3h_{ef}$, 本次检验结果大体相当。当锚栓位于构件边缘, 其距离 $c < 1.5h_{ef}$ 时, 破坏时就形不成完整的圆锥体, 因此, 承载力会降低。ETAG 用下列系数 $\psi_{s,N}$ 反映 c 的降低影响:

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

式中 $c_{cr,N}$ 为临界边距, 对于膨胀型锚栓 $c_{cr,N} = 1.5h_{ef}$ 。为检验公式 (6.1.7) 的适用性, 选用了 M12 之膨胀型锚栓及粘结型锚栓进行边距的影响试验, 边距 c 的变化范围为 45mm ~ ∞ 。试验结果表明, 粘结型锚栓边距 c 对承载力 N_u 的影响很小或根本就无影响, $\psi_{s,N} = 1$ 。究其原因, 主要是粘结型锚栓无膨胀挤压力, 破坏机理也不是完全的锥体理论。相反, 膨胀型锚栓 c 对 N_u 的影响较大, 公式 (6.1.7) $\psi_{s,N}$ 基本上反映了这一影响, N_{uc}^0/N_{uc} , 大多数为 1.01 ~ 1.03, 但个别为 0.45 ~ 0.86, 试验值比计算偏低较多。其原因有二: 一是该种锚栓较为特殊, 属于无套筒的简易锚栓; 二是边距过小时 ($c < c_{min}$), 会直接产生边沿

混凝土侧向胀裂破坏，而不是锥体受拉破坏，因此，边距最小值 c_{\min} 限定很有必要。 c_{\min} 应由厂家通过系统试验认证给定。

6.1.8 基材适量配筋，总体上说，对锚固性能有利。但配筋过多过密时，在混凝土锥体受拉破坏模式下，会因钢筋的隔离作用，而出现表层素混凝土壳（保护层）先行剥离，从而降低了有效锚固深度 h_{ef} 。系数 $\psi_{re,N}$ 则反应了这一影响。

6.1.10 比较公式 (1) 与 (2) 可知，膨胀型锚栓及扩孔型锚栓未裂混凝土锥体破坏承载力大约为开裂混凝土时的 1.4 倍。若以开裂混凝土为基准，则未开裂混凝土提高系数 $\psi_{ucr,N} = 1.4$ 。同理，化学植筋及粘结型锚栓未裂混凝土混合型破坏承载力约为开裂混凝土时的 2.44 倍，故 $\psi_{ucr,N} = 2.44$ 。

6.1.11 基材混凝土劈裂破坏分两种情况，一种是发生在锚栓安装阶段，主要是预紧力所引起，另一种是使用阶段，主要是外荷载所造成。但其根源，二者均是由于膨胀侧压力所致。

当 $c < c_{\min}$ 、 $s < s_{\min}$ 、 $h < h_{\min}$ 时，易发生安装劈裂破坏，一旦发生，整个锚固系统就失去了继续承载的能力，故不允许锚栓安装劈裂破坏现象发生。 c_{\min} 、 s_{\min} 及 h_{\min} 应由锚栓生产厂家委托国家法定检验单位，通过系统的试验分析提出。

当 $c \geq c_{\min}$ 、 $s \geq s_{\min}$ 、 $h \geq h_{\min}$ ，但不满足荷载劈裂条件时，随着锚栓所受外荷载的增大，锚栓对混凝土孔壁的膨胀挤压力会随之增加，此时的劈裂破坏则属荷载造成的劈裂破坏，其量值 $N_{Rk,sp}$ 与混凝土锥体破坏承载力 $N_{Rk,c}$ 大体相应，但 $A_{c,N}$ 、 $A_{c,N}^0$ 计算中的 $c_{cr,N}$ 和 $s_{cr,N}$ 应由 $c_{cr,sp}$ 和 $s_{cr,sp}$ 替代，且多了一项构件相对厚度影响系数 $\psi_{h,sp}$ 。

关于机械锚栓穿出破坏，因缺乏系统试验资料，且性能欠佳，本规程除在适用条件给予严格控制外，未具体给定承载力计算值，其值应由厂家通过试验认证后提供。

化学植筋或粘结型锚栓受拉拔出破坏理论上有两种模式，一种是沿着胶体与钢筋界面破坏，另一种是沿着胶体与混凝土孔壁界面破坏。

1 沿着锚固胶与钢筋界面拉剪破坏时，承载力主要取决于锚固胶与钢筋的粘结抗剪强度。为迫使破坏仅沿锚固胶与钢筋界面发生，要求基材强度足够高，可采用花岗岩和大理石，本试验采用钢质基材，如图 5 所示，即以钢棒钻孔（钢套筒）作为锚固体，以 DJR-PTM 胶和 XH131ABC 胶，植入 $\Phi 16$ 钢筋进行了抗拔试验，其锚深与钢筋直径之比 $h_{ef}/d = 2 \sim 7$ 。试验结果列于表 2。由表列数值可知， $h_{ef}/d = 2 \sim 4$ 时，主要表现为拔出破坏， $h_{ef}/d = 4 \sim 5$ 时，钢筋全部进入流限， $h_{ef}/d = 6 \sim 7$ 时，绝大部分为钢筋拉断破坏。据此，可以近似得到胶筋界面破坏的受拉承载力计算公式如下：

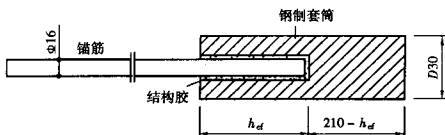


图 5 胶筋界面破坏试验简图

$$N_{u,pa} = 17.5h_{ef}d\sqrt{f_v} \quad (\text{N}) \quad (5)$$

式中 f_v ——锚固胶的钢-钢粘结抗剪强度 (MPa)；

d ——钢筋直径 (mm)。

$N_u^0/N_u = 0.93 \sim 1.05$ ，表明试验值与计算值吻合 (图 6)。

对于开裂混凝土，若承载力降低系数近似取 0.6，变异系数取 0.16，则可得到胶筋界面破坏时的受拉承载力标准值 $N_{Rk,pa}$ 为：

$$N_{Rk,pa} = 7.7h_{ef}d\sqrt{f_{vk}} \quad (\text{N}) \quad (6)$$

式中 f_{vk} ——锚固胶的钢-钢粘结抗剪强度标准值 (MPa)。

2 由于混凝土的抗剪强度比胶的粘结抗剪强度低，故沿着

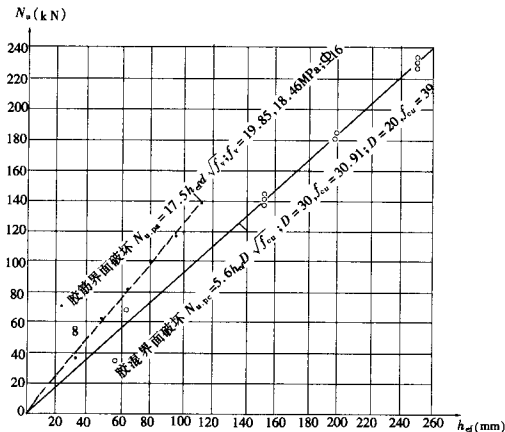


图 6 拔出破坏承载力与埋深关系

锚固胶与钻孔混凝土界面拉剪破坏时，承载力主要取决于混凝土的抗剪强度。为模拟胶混凝土界面破坏，哈尔滨工业大学采用深钻孔，仅底部局部灌胶粘结办法，植入 $\Phi 25$ 钢筋（图 7a）；中国建筑科学研究院采用穿心式千斤顶，拉拔时套入一块孔径与钢筋直径一致的钢垫板，植入 $\phi 16$ 钢筋（图 7b）。二者均沿胶与混凝土界面拉剪破坏，故其结果（表 2）可认为是胶混凝土界面破坏的代表。根据其试验结果，可近似得到胶混凝土界面破坏的受拉承载力计算公式如下：

$$N_{u,pc} = 5.6 h_{ef} D \sqrt{f_{cu}} \quad (N) \quad (7)$$

式中 D ——锚孔直径（mm）。

由表 2 可知， $N_u^0/N_u = 1.00 \sim 1.64$ （图 6）。

开裂混凝土情况与混凝土锥体混合型破坏相近，降低系数近

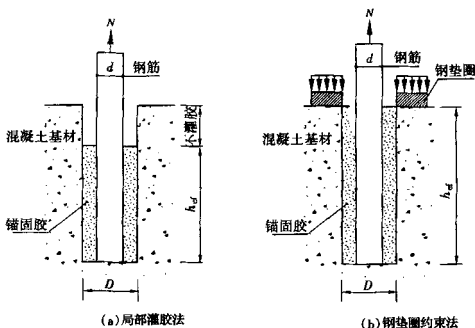


图 7 胶混界面破坏试验简图

似取 0.41，变异系数取 0.16，则胶混凝土界面破坏时的受拉承载力标准值 $N_{Rk,pc}$ 为：

$$N_{Rk,pc} = 1.7 h_{ef} D \sqrt{f_{cu,k}} \quad (N) \quad (8)$$

6.2 受剪承载力计算

6.2.1 后锚固连接受剪承载力应按锚栓钢材破坏、混凝土剪撬破坏、混凝土边缘楔形体破坏等 3 种破坏类型，以及单锚与群锚两种锚固方式，共计 6 种情况分别进行计算（表 6.2.1）。对于群锚连接，当为钢材破坏时，主要表现为某根受力最大锚栓的破坏，故取 V_{Sd}^e 计算即可；当为边缘混凝土楔形体破坏及混凝土撬坏时，则主要表现为群锚整体破坏，故取 V_{Sd}^e 进行整体锚固计算。

6.2.2 锚栓钢材受剪破坏分纯剪和拉弯剪复合受力两种情况。对于无杠杆臂纯剪钢材破坏时的承载力标准值 $V_{Rk,s}$ ，参照 ETAG 取：

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

但对延性较低的硬钢群锚，因各锚栓应力分布不可能很均匀，故乘以 0.8 降低系数。

为检验式 (6.2.2-2)，选用了 M10 和 M12 膨胀锚栓和粘结型锚栓进行抗剪试验，锚固深度在 50 ~ 90mm 之间。试验按 ETAG 附录 A 剪切试验方法进行。试验结果可知， $N_u^0/N_u = 1.06 \sim 1.18$ ，式 (6.2.2-2) 偏于安全。

对于有杠杆臂的受剪，因锚栓处在拉、弯、剪的复合受力状态，根据钢材破坏强度理论，其折算受剪承载力标准值 $V_{Rk,s}$ 可由公式 (6.2.2-3)、(6.2.2-4) 和 (6.2.2-5) 联解获得。其中所谓无约束，是指被连接件锚板在受力过程中，既产生平移又发生转动 (图 6.2.2-2a)，锚栓杆相当于悬臂杆，故弯矩较大；所谓全约束，是指被连接件锚板在受力过程中只产生平移，不发生转动 (图 6.2.2-2b)，故弯矩亦较小。

6.2.3 ~ 6.2.11 构件边缘 ($c < 10h_{ef}$) 受剪混凝土楔形体破坏时的受剪承载力标准值计算公式，主要是参考 ETAG 制定的，其中公式 (6.2.4) 中的锚栓有效长度 l_f ，ETAG 未说明。从安全考虑，本规程近似取 $l_f \leq h_{ef}$ 且 $l_f \leq 8d$ 。此项规定主要针对的是植筋，因为植筋锚固深度一般较大， $h_{ef} = 17 \sim 29d$ ；而锚栓一般较短，锚固深度也较小，限定已失去意义。

6.2.12 基材混凝土剪撬破坏主要发生在中心受剪 ($c \geq 10h_{ef}$) 之粗短锚栓埋深较浅情况，系剪力反方向混凝土被锚栓撬坏，承载力计算公式 (6.2.12) 系参考 ETAG 制定。

7 锚固抗震设计

7.0.1 地震作用是一个反复动力作用，从滞回性能和耗能角度分析，锚固连接破坏应控制为锚栓钢材破坏，避免混凝土基材破坏。化学植筋，因其锚固深度无限，且无膨胀挤压力，完全具备此项功能，因此，作为地震区应用的首选。膨胀型锚栓和扩孔型锚栓破坏形态主要为混凝土基材破坏和拔出破坏，抗震性能较差，故不得用于受拉、边缘受剪、拉剪复合受力之结构构件及生命线工程之非结构构件的后锚固连接。对于非结构构件锚固连接，以及受压、中心受剪、压剪复合受力之结构构件锚固连接，则不受其限制。

7.0.2 锚固连接的可靠性和锚固能力，除锚栓品种外，锚固基材的品质及应力状况至关重要，裂缝开展失控区及素混凝土区，一般均不应作为有抗震设防要求的锚固区。

7.0.3 植筋受拉存在钢材破坏、混凝土基材破坏及拔出破坏等模式，而混凝土混合型受拉破坏承载力 N_{uc} 式 (3)、(4) 及拔出破坏承载力 $N_{u,pa}$ 式 (5)、(6) 和 $N_{u,pc}$ 式 (7)、(8) 均与锚固深度 h_{ef} 直接相关，因此，由下列平衡关系可得 h_{cr*} ，此时的锚固深度 h_{cr*} 称为临界锚固深度 $h_{cr,c}$ ， $h_{cr,pa}$ ， $h_{cr,pc}$ ：

$$N_{u,s} = N_{uc} \quad (9)$$

$$N_{u,s} = N_{u,pa} \quad (10)$$

$$N_{u,s} = N_{u,pc} \quad (11)$$

对于常用的 II 级螺纹钢筋，相对临界锚固深度可按下列公式计算，其变化规律示于图 8：

基材混凝土混合型受拉破坏

$$h_{cr,c}/d = 0.1399 [f_{us} \sqrt{d/f_{cu}}]^{0.6667} + 30/d \quad (\text{未裂混凝土}) \quad (12)$$

$$h_{cr,c}/d = 0.2536 [f_{us} \sqrt{d/f_{cu}}]^{0.6667} + 30/d \quad (\text{开裂混凝土})$$

胶混界面拔出破坏

$$h_{cr,pc}/d = 0.099f_{us}/\sqrt{f_{cu}} \quad (\text{未裂混凝土}) \quad (13)$$

$$h_{cr,pc}/d = 0.24f_{us}/\sqrt{f_{cu}} \quad (\text{开裂混凝土})$$

胶筋界面拔出破坏

$$h_{cr,pa}/d = 0.049f_{us}/\sqrt{f_v} \quad (\text{未裂混凝土}) \quad (14)$$

$$h_{cr,pa}/d = 0.075f_{us}/\sqrt{f_v} \quad (\text{开裂混凝土})$$

上列公式中 f_{us} ——植筋极限抗拉强度 (MPa);

f_v ——锚固胶的钢-钢粘结抗剪强度 (MPa);

f_{cu} ——混凝土立方体抗压强度 (MPa);

d ——植筋直径 (mm)。

表 7.0.3 植筋的最小锚固深度是按开裂混凝土上述三种临界深度最大值 $\max \{h_{cr,c}, h_{cr,pa}, h_{cr,pc}\}$ 确定的, 目的在于保证钢材破坏, 避免混凝土基材破坏及拔出破坏等不良破坏形式。以非结构构件锚固连接及 6 度区受压、中心受剪、压剪组合之结构构件锚固连接为最低, 取该临界值; 受拉、边缘受剪、拉剪复合受力之结构构件连接, 乘以 1.1; 7~8 度区, 分别在 6 度区的基础上再乘以 1.1。当混凝土强度等级 $\geq C40$ 时, 按 C40 取值, 以与《混凝土结构设计规范》GB 50010—2002 钢筋的锚固规定协调。锚筋的直径限定为 $d \leq 25\text{mm}$ 。膨胀型锚栓及扩孔型锚栓原则上不适于地震区之受拉、边缘受剪、拉剪复合受力之结构构件的锚固。

7.0.5 根据试验研究, 低周反复荷载下锚固承载力呈现出一定的退化现象, 其量值随破坏形态、锚栓类型及受力性质而变, 幅度变化在 0.6~1.0R 之间。

7.0.6 抗震设计期望的是延性破坏, 锚固参数, 特别是锚固深度 h_{er} 直接关系着锚固连接破坏类型及承载力量值, 隔震和消能减震措施可降低锚固连接的地震反应。对于受拉、边缘受剪、拉

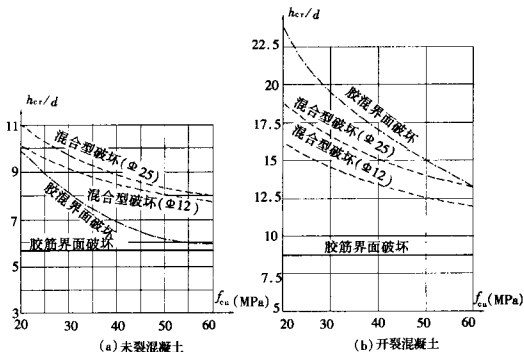


图 8 植筋临界锚固深度比

剪复合受力之结构构件锚固连接抗震设计，应控制为锚栓钢材延性破坏，避免基材混凝土脆性破坏和锚栓拔出破坏，(7.0.6)式是从锚固承载力计算方面保证锚固连接仅发生钢材破坏。

7.0.7 膨胀型锚栓和扩孔型锚栓不能直接承受压力，但工程中的锚固连接在反向荷载下则可能产生压力，问题是此压力不能传给锚栓，必须通过构造措施，如锚板，传给混凝土基材。即或如此，基材在压缩变形下还会导致锚栓预紧力相应降低；另一方面，锚栓膨胀片在长期使用中也会产生松弛。为保证锚栓始终处在受拉状态，规定两种内力损失叠加后，锚栓的实有拉力最小值 $N_{sk, \min}$ 应满足公式 (7.0.7) 规定。

7.0.8 试验和经验表明，锚固区具有定量的钢筋，锚固性能可大为改善。与既有工程不同，新建工程有条件满足此项要求，为提高锚固连接的可靠性，减小基材混凝土破坏的可能性，可在预设的锚固区配置必要的钢筋网。

8 构造措施

8.0.1、8.0.2 与 6.1.11 条相应，锚固基材厚度、群锚间距及边距等最小值规定，除避免锚栓安装时或减小锚栓受力时基材混凝土劈裂破坏的可能性外，主要在于增强锚固连接基材破坏时的承载能力和安全可靠，其值应通过系统性试验分析后给定。

8.0.3 基材结构由于增加了后锚固依附结构，其内力会发生变化，一般会增大，因此，原结构承载力应重新验算。作为简化计算，公式 (8.0.3-1) 是控制局部破坏，公式 (8.0.3-2) 是控制整体破坏。

8.0.4 作为基材锚固区的理想条件是，混凝土坚实可靠，且配有适量钢筋。混凝土保护层、建筑抹灰层及装修层等，因结构疏松或粘结强度低，均不得作为设置锚栓的锚固区。

8.0.5 处在室外条件下的被连接钢件，会因钢件与基材混凝土的温度差异和变化，而使锚栓产生较大的交变温度应力。为避免锚栓因温度应力过大而遭致疲劳破坏，故规定应从锚固方式采取措施，控制温度应力变幅 $\Delta\sigma = \sigma_{\max} - \sigma_{\min} \leq 100\text{MPa}$ 。

8.0.6 外露后锚固连接件防腐措施应与其耐久性要求相适应，耐久性要求较高时可选用不锈钢件，一般情况可选用电镀件及现场涂层法。外露后锚固连接件耐火措施应与结构的耐火极限相一致，有喷涂法、包封法等。

9 锚固施工与验收

9.1 基本要求

9.1.1~9.1.3 基本要求强调了三点,锚栓品质、基材性状及安装方法应符合设计及有关标准、规程的要求。

9.2 锚 孔

9.2.1~9.2.3 锚孔对锚固质量影响较大,本节对各类锚栓锚孔尺寸偏差、清孔要求、废孔处理等,做了具体规定。

9.3 锚栓的安装与锚固

9.3.1 预插式安装(图 9.3.1-1)是先安装锚栓后装被连接件,锚板与基材钻孔要求同心,但孔径不一定相同;穿透式安装(图 9.3.1-2),锚板与基材一道钻孔(配钻),孔径相同,整个锚栓从外面穿过锚板插入基材锚孔,锚板钻孔与锚栓套筒紧密接触,多用于抗剪能力要求较高的锚固;离开基面的安装(图 9.3.1-3),主要是指具有保温层或空气层的外饰面板安装,该安装所用锚栓杆头较长,采用三个螺母,先装锚栓,以第一道螺母紧固于基材,铺贴保温层,以第二道螺母调平,装饰面板,以第三道螺母拧紧固定。

9.3.3 扩孔型锚栓安装,应先按规定钻直孔,然后再分类扩孔安装。对于预扩孔,需另换专用钻头进行扩孔,安装时扭矩控制应准确。对于自扩孔,因锚栓自带刀头,只需将锚栓插入孔底,开动钻机转动锚栓,扩孔与膨胀同时完成。

9.3.4~9.3.5 化学植筋安装工艺流程为:钻孔→清孔→配胶→植筋→固化→质检。应按设计锚固深度钻孔,孔径 $D = d + (4 \sim 10) \text{ mm}$,小直径机械安装取低限,大直径灌注安装取高限,清

孔应彻底。胶起着关键作用，应采用国家认证过的胶，使用前应进行现场试验和复检，胶称量应准确，搅拌应均匀，灌注应充实。

9.4 锚固质量检查与验收

9.4.1~9.4.4 锚固质量检查是确保后锚固连接工程可靠性的重要环节，应重点检查锚固参数、基材质量、尺寸偏差、抗拔力；对于化学植筋，尚应检查胶粘剂的性能。

附录 A 锚固承载力现场检验方法

A.1 基本规定

A.1.1、A.1.2 后锚固连接抗拔承载力现场检验，ETAG 未作规定，西方国家大多着重原材料质量检验和施工程序控制，一般不作现场检验；但按我国《建筑工程质量验收统一标准》精神，则为必检项目。然而，破坏性检验会造成一定程度难于处理的基材结构的破坏，故本规程规定，承载力现场检验，对于一般结构及非结构构件，可采用非破坏性检验；对于重要结构及生命线工程非结构构件，应采用破坏性检验，并尽量选在受力较小的次要连接部位。

A.4 检验方法

A.4.1 加荷设备支撑环内径 $D_0 \geq 4h_{ef}$ 或 $D_0 \geq \max(12d, 250\text{mm})$ 要求，主要考虑是基材混凝土破坏圆锥体直径，即锚栓的临界间距 $s_{cr,N}$ ，因为，环径过小就不可能产生锥体破坏，承载力会显著偏高。

A.4.3 非破坏性检验荷载取 $0.9A_s f_{yk}$ ，主要考虑的是钢材屈服；而取 $0.8N_{Rk,c}$ ，主要在于检验锚栓或植筋滑移及混凝土基材破坏前的初裂。

A.5 检验结果评定

A.5.1~A.5.3 根据试验及锚固承载力标准值取值，在非破坏检验荷载下，一般不应该出现钢筋屈服、滑移、基材裂缝及持荷不稳等征兆。但非破坏性检验对锚固承载力毕竟无法量化，为避免误判，规定当该检验不合格时，则应补作破坏性检验判定。除特殊情况下，现场破坏性检查，一般仅检查锚栓的极限抗拔力。

因数量有限，评定方法采用双控，即极限抗拔力平均值应满足公式 (A.5.2-1)，最小值应 \geq 标准值 (A.5.2-2)。当检验不合格时，应采取专门措施处理。