

中国工程建设标准化协会标准

自攻型锚定螺栓应用技术规程

CECS ** : ****

(征求意见稿)

主编单位：同济大学

嘉善永大螺丝有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

始行日期：2014年 月 日

目 次

1	总则	3
2	术语和符号	4
2.1	术语	4
2.2	符号	6
3	材料	9
3.1	基材混凝土	9
3.2	锚定螺栓材料	9
3.3	锚固胶粘剂	11
4	设计基本规定	12
5	锚定螺栓承载力计算	14
5.1	受拉承载力计算	14
5.2	受剪承载力计算	20
5.3	拉剪复合受力承载力计算	29
6	构造措施	30
7	锚固施工及验收	32
7.1	基本要求	32
7.2	锚孔	32
7.3	锚定螺栓的安装与锚固	34
7.4	锚固质量检查与验收	35
附录 A	锚栓连接受力分析方法	37
附录 B	自攻型锚定螺栓性能的现场检验方法	41
	本规范用词说明	*
	引用标准名录	*
	条文说明	*

1 总 则

1.0.1 为使混凝土结构的自攻型锚定螺栓设计和施工加固做到技术可靠、安全适用、经济合理、确保质量，制定本规程。

1.0.2 本规程适用于以钢筋混凝土、预应力混凝土以及素混凝土为基材的后锚固连接的设计、施工及验收；不适用于以砌体、轻骨料混凝土为基材的后锚固连接。

1.0.3 采用自攻型锚定螺栓连接的设计、施工与验收，除满足本规程外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 混凝土结构 concrete structure

以混凝土为主制成的结构，包括素混凝土结构、钢筋混凝土结构和预应力混凝土结构等。

2.1.2 后锚固 post-installed fastening

通过相关技术手段在已有混凝土结构上的锚固。

2.1.3 自攻型锚定螺栓 concrete anchor

利用锚定螺栓螺纹与混凝土之间的锁键作用形成锚固的后锚固件，分为注胶自攻型锚定螺栓和非注胶自攻型锚定螺栓。

2.1.4 基材 base material

承载锚栓的母体结构，本规程指混凝土构件。

2.1.5 群锚 anchor group

间距不超过临界间距，共同工作的同类型、同规格的多个锚栓。

2.1.6 被连接件 fixture

将荷载传递到锚栓上的金属部件。

2.1.7 破坏模式 failure mode

荷载作用下锚固连接的破坏形式，分为锚栓钢材破坏、混凝土破坏、混合型破坏、拔出破坏、穿出破坏及界面破坏。

2.1.8 锚定螺栓破坏 concrete screw failure

锚定螺栓本身钢材被拉断、剪坏或复合受力破坏形式。

2.1.9 混凝土锥体破坏 concrete cone failure

锚定螺栓受拉时混凝土基材形成以锚定螺栓为中心的倒锥体破坏形式。

2.1.10 剪撬破坏 pryout failure

中心受剪时基材混凝土沿反方向被锚定螺栓撬坏。

2.1.11 劈裂破坏 splitting failure

基材混凝土因锚定螺栓膨胀挤压力而沿锚定螺栓轴线或若干锚定螺栓轴线连线之开裂破坏形式。

2.1.12 拔出破坏 pull-out failure

拉力作用下锚定螺栓整体从锚孔中被拉出的破坏形式。

2.1.13 短期温度 short term temperature

锚栓正常使用期间短时期内温度的变化范围，通常指昼夜或冻融循环内温度变化范围。

2.1.14 长期温度 long term temperature

锚栓正常使用期间数周或数月内保持恒定或近似恒定的温度。

2.1.15 不开裂混凝土 uncracked concrete

正常使用极限状态下，考虑混凝土收缩、温度变化及支座位移的影响，锚固区混凝土受压。

2.1.16 开裂混凝土 cracked concrete

正常使用极限状态下，考虑混凝土收缩、温度变化及支座位移的影响，锚固区混凝土受拉。

2.2 符号

2.2.1 作用与抗力

M —— 弯矩；

N —— 轴向力；

$N_{Rd,c}$ —— 混凝土锥体破坏受拉承载力设计值；

$N_{Rd,p}$ —— 混合破坏受拉承载力设计值；

$N_{Rd,s}$ —— 锚定螺栓钢材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；

$N_{Rk,c}$ —— 混凝土锥体破坏受拉承载力标准值；

$N_{Rk,p}$ —— 混合破坏受拉承载力标准值；

$N_{Rk,s}$ —— 锚定螺栓钢材破坏受拉承载力标准值；

$N_{Rk,sp}$ —— 混凝土劈裂破坏受拉承载力标准值；

N_{sd} —— 拉力设计值；

N_{sd}^g —— 群锚受拉区总拉力设计值；

N_{sd}^h —— 群锚中拉力最大锚栓的拉力设计值；

R —— 承载力；

S —— 作用效应；

T —— 扭矩；

T_{inst} —— 按规定安装，施加于锚栓的扭矩；

V —— 剪力；

$V_{Rd,c}$ —— 混凝土边缘破坏受剪承载力设计值；

$V_{Rd,cp}$ —— 混凝土剪撬破坏受剪承载力设计值；

$V_{Rd,s}$ —— 锚定螺栓钢材破坏受剪承载力设计值；

$V_{Rk,c}$ —— 混凝土边缘破坏受剪承载力标准值；

$V_{Rk,cp}$ ——混凝土剪撬破坏受剪承载力标准值；

$V_{Rk,s}$ ——锚定螺栓钢材破坏受剪承载力标准值；

V_{sd} ——剪力设计值；

V_{sd}^g ——群锚受剪锚栓总剪力设计值；

V_{sd}^h ——群锚中剪力最大锚定螺栓的剪力设计值。

2.2.2 材料强度

$f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值；

f_{stk} ——锚定螺栓极限抗拉强度标准值；

f_{yk} ——锚定螺栓屈服强度标准值；

2.2.3 几何特征值

$A_{c,N}$ ——混凝土实际锥体破坏投影面面积；

$A_{c,N}^0$ ——单根锚定螺栓受拉，混凝土理想锥体破坏投影面面积；

$A_{c,V}$ ——混凝土实际边缘破坏在侧向的投影面面积；

$A_{c,V}^0$ ——单根锚定螺栓受剪，混凝土理想边缘破坏在侧向的投影面面积；

A_s ——锚定螺栓应力截面面积；

c ——锚定螺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 ——锚定螺栓杆、螺杆外螺纹公称直径及钢筋直径；

h ——混凝土基材厚度；

h_{ef} ——锚定螺栓有效锚固深度；

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的最小值；

l_f ——剪切荷载下，锚栓的有效长度；

s ——锚定螺栓之间的距离；

$s_{cr,N}$ ——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；

W_{el} ——锚定螺栓应力截面抵抗矩。

2.2.4 分项系数及计算系数

k ——地震作用下锚固承载力降低系数；

γ_0 ——锚固连接重要性系数；

$\gamma_{Rc,N}$ ——混凝土锥体破坏受拉承载力分项系数；

$\gamma_{Rc,V}$ ——混凝土边缘破坏受剪承载力分项系数；

γ_{Rcp} ——混凝土剪撬破坏受剪承载力分项系数；

γ_{Rp} ——混合破坏受拉承载力分项系数；

$\gamma_{Rs,N}$ ——锚定螺栓钢材破坏受拉承载力分项系数；

$\gamma_{Rs,V}$ ——锚定螺栓钢材破坏受剪承载力分项系数；

γ_{Rsp} ——混凝土劈裂破坏受拉承载力分项系数；

v_N ——抗拉承载力变异系数；

$\psi_{\alpha,V}$ ——剪力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；

$\psi_{h,sp}$ ——构件厚度 h 对劈裂破坏受拉承载力的影响系数；

$\psi_{re,N}$ ——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；

$\psi_{re,V}$ ——锚固区配筋对受剪承载力的影响系数；

$\psi_{s,N}$ ——边距对受拉承载力的影响系数；

$\psi_{s,V}$ ——边距对受剪承载力的影响系数。

3 材 料

3.1 混凝土基材

3.1.1 自攻型锚定螺栓的锚固基材可为钢筋混凝土、预应力混凝土或素混凝土。

3.1.2 冻融受损混凝土、腐蚀受损混凝土、严重裂损混凝土、疏松混凝土等，不应作为锚固基材。

3.1.3 基材混凝土强度等级不应低于 C20，且不宜高于 C60；安全等级为一级的后锚固连接，其基材混凝土强度等级不应低于 C30。

3.1.4 对既有混凝土结构，基材混凝土立方体抗压强度标准值应按下列规定取值：

1) 当原设计文件有效，且不怀疑结构有严重的性能退化时，可采用原设计
的标准值；

2) 当结构可靠性鉴定认为应重新进行现场检测时，应采用检测结果推定的
标准值；

3) 当原构件混凝土强度等级的检测受实际条件限制而无法取芯时，可采用
回弹法检测，但其强度换算值应按混凝土结构加固设计规范（GB50367 附录 B）
的规定进行龄期修正，且仅可用于结构的加固设计。

3.2 锚定螺栓材料

3.2.1 自攻型锚定螺栓的材质宜为碳素钢、合金钢、不锈钢或高抗腐不锈钢，应
根据环境条件及耐久性要求选用。

3.2.2 自攻型锚定螺栓成品钢材的性能指标应符合表 3.2.2 规定。

表 3.2.2 自攻型锚定螺栓的钢材力学性能指标

性能等级		9.8	10.9	12.9
极限抗拉强度标准值	f_{stk} (N/mm ²)	900	1000	1200
屈服强度标准值	$f_{s,0.2k}$ (N/mm ²)	720	900	1080
螺栓弯曲度	度	≥30		

注：1. 性能等级 10.9 表示： $f_{stk}=1000\text{MPa}$ ； $f_{s,0.2k}/f_{stk}=0.9$ 。

2. 当锚定螺栓与外部连接件焊接连接时，锚定螺栓的抗拉强度标准值应考虑 0.65 倍折减系数。
3. 螺栓弯曲度测试应按照现行国家标准《金属材料弯曲试验方法》GB/T232 的要求执行。

3.2.3 当自攻型锚定螺栓需要与连接件焊接连接时，焊接材料的型号和质量应符合下列要求：

- 1 焊条型号应与被焊接钢材的强度相适应；
- 2 焊条的质量应符合现行国家标准《碳钢焊条》GB 5117 和《低合金钢焊条》GB 5118 的规定；
- 3 焊接工艺应符合现行行业标准《钢筋焊接及验收规程》JGJ 18 或《建筑钢结构焊接规程》JGJ 81 的规定；
- 4 焊缝连接应按照现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定进行设计计算。

3.2.4 自攻型锚定螺栓尺寸应符合表 3.2.4 要求。

表 3.2.4 自攻型锚定螺栓尺寸要求 (mm)

规格	锚定螺栓丝牙外径 D (mm)	锚定螺栓螺杆直径 d (mm)
M6	8.00 ±0.15	5.30 ±0.10
M8	10.35 ±0.15	7.15 ±0.15
M10	12.35 ±0.15	9.15 ±0.15
M12	14.35 ±0.15	11.15 ±0.15
M14	16.35 ±0.15	13.15 ±0.15

M16	18.45 ±0.15	14.45 ±0.15
M20	22.55 ±0.15	18.35 ±0.15
M22	24.55 ±0.15	20.35 ±0.15
M24	26.55 ±0.15	22.35 ±0.15

3.3 锚固胶粘剂

3.3.1 胶粘剂应采用专门配制的改性环氧类结构胶粘剂或改性乙烯基酯类结构胶粘剂，其安全性能必须符合现行国家标准《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》GB 50728 的要求。承重结构的植筋和锚栓，不得使用不饱和聚酯树脂作为胶粘剂。

种植锚固件的结构胶粘剂，其填料必须在工厂制胶时添加，严禁在施工现场掺入。

3.3.2 注胶型锚定螺栓采用的胶粘剂，宜按其基本性能分为 A 级胶和 B 级胶；对承重结构构件，应采用 A 级胶；对非结构构件可采用 A 级胶或 B 级胶。

3.3.3 承重结构用的胶粘剂，必须进行安全性能检验。检验时，其粘接抗剪强度标准值，应根据置信水平为 0.90、保证率为 95% 的要求确定。

4 设计基本规定

4.0.1 自攻型锚定螺栓的连接设计使用年限应与被连接结构的使用年限一致，并不宜少于 30 年，且应定期检查其工作状态，检查的时间间隔可由设计单位确定，但第一次检查时间不应迟于 10 年。

4.0.2 根据连接破坏后果的严重程度，自攻型锚定螺栓的连接设计应按表 4.0.2 的规定确定相应的安全等级，且不应低于被连接结构的安全等级。

表 4.0.2 自攻型锚定螺栓的锚固连接安全等级

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

4.0.3 当在抗震设防区承重结构中使用自攻型锚定螺栓时，应采用注胶自攻型锚定螺栓，且仅允许用于设防烈度不高于 8 度、且建于 I、II、III 类场地的建筑物。

4.0.4 普通自攻型锚定螺栓可用于非地震区的承重结构以及设防烈度不高于 7 度的非结构构件。

4.0.5 地震区承重结构锚栓连接的设计计算，应采用开裂混凝土的假定；不得考虑非开裂混凝土对其承载力的提高作用。

4.0.6 未经技术鉴定和设计许可，不得改变后锚固连接的用途和使用环境。

4.0.7 锚栓连接设计应考虑被连接构件的类型、受力状况、荷载类型及锚固连接的安全等级等因素。

4.0.8 锚栓连接承载力应采用下列设计表达式进行验算：

1. 无地震作用组合

$$\gamma_0 S \leq R_d \quad (4.0.8-1)$$

$$R_d = R_k / \gamma_R \quad (4.0.8-2)$$

2. 有地震作用组合

$$S \leq k R_d / \gamma_{RE} \quad (4.0.8-3)$$

式中： γ_0 ——锚固连接重要性系数，对一、二级锚固安全等级，应分别取不小于 1.2、1.1，且不应小于被连接构件的重要性系数；

S ——承载力极限状态下，锚固连接作用组合的效应设计值；对无

地震作用采用基本组合计算,对有地震作用应采用地震组合计算;

R_d ——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,建议一般情况下抗震承载力调整系数至 0.5,如需使用更高的调整系数,则应根据 JG160 的抗震试验结果确定;

γ_{RE} ——锚固承载力抗震调整系数,取 1.0;

γ_R ——锚固承载力分项系数,按本规程第 4.0.11 条取用。

4.0.9 自攻型锚定螺栓受力分析可按照本规程附录 A 的规定进行。

4.0.10 当锚固区基材满足公式 (4.0.10) 时,可评定为不开裂混凝土,否则宜判定为开裂混凝土。

$$\sigma_L + \sigma_R \leq 0 \quad (4.0.10)$$

式中 σ_L ----- 正常使用极限状态下,锚固区混凝土按荷载标准组合计算的应力值(拉为正,压为负),当活荷载有利时,不应计入。

σ_R ----- 由于混凝土收缩、温度变化以及支座位移等在锚固区混凝土中产生的拉应力标准值,若不精确计算,可近视取

$$\sigma_R = 3N / mm^2。$$

4.0.11 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 4.0.11 采用。

表 4.0.11 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		
1	$\gamma_{Rc,N}$	混凝土锥体受拉破坏	3.0	1.8
2	γ_{Rsp}	混凝土劈裂破坏	3.0	1.8
3	γ_{Rp}	混合破坏	3.0	1.8
4	$\gamma_{Rc,V}$	混凝土边缘受剪破坏	2.5	1.5
5	γ_{Rcp}	混凝土剪撬破坏	2.5	1.5
6	$\gamma_{Rs,N}$	锚栓钢材受拉破坏	1.3	1.2
7	$\gamma_{Rs,V}$	锚栓钢材受剪破坏	1.3	1.2

5 锚定螺栓承载力计算

5.1 受拉承载力计算

5.1.1 锚定螺栓受拉承载力应符合下列规定：

1. 单锚

$$N_{Sd} \leq N_{Rd,s} \quad (5.1.1-1)$$

$$N_{Sd} \leq N_{Rd,c} \quad (5.1.1-2)$$

$$N_{Sd} \leq N_{Rd,sp} \quad (5.1.1-3)$$

2. 群锚

$$N_{Sd}^h \leq N_{Rd,s} \quad (5.1.1-4)$$

$$N_{Sd}^g \leq N_{Rd,c} \quad (5.1.1-5)$$

$$N_{Sd}^g \leq N_{Rd,sp} \quad (5.1.1-6)$$

式中： N_{Sd} —— 单锚拉力设计值；

N_{Sd}^h —— 群锚中拉力最大锚定螺栓的拉力设计值；

N_{Sd}^g —— 群锚受拉区总拉力设计值；

$N_{Rd,s}$ —— 锚定螺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；

$N_{Rd,sp}$ —— 混凝土劈裂破坏受拉承载力设计值。

5.1.2 锚定螺栓钢材破坏受拉承载力设计值 $N_{Rd,s}$ 应按下列公式计算：

$$N_{Rd,s} = N_{Rk,s} / \gamma_{Rs,N} \quad (5.1.2-1)$$

$$N_{Rk,s} = A_s f_{yk} \quad (5.1.2-2)$$

式中： $N_{Rk,s}$ —— 锚定螺栓钢材破坏时的受拉承载力标准值；

$\gamma_{Rs,N}$ —— 锚定螺栓钢材破坏时的受拉承载力分项系数，按本规程表

4.1.11 采用；

A_s —— 锚定螺栓应力段截面面积较小值；

f_{yk} —— 锚定螺栓屈服强度标准值。

5.1.3 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：

$$N_{Rd,c} = N_{Rk,c} / \gamma_{Rc,N} \quad (5.1.3-1)$$

$$N_{Rk,c} = N_{Rk,c}^0 \frac{A_{c,N}}{A_{c,N}^0} \psi_{s,N} \psi_{re,N} \psi_{ec,N} \quad (5.1.3-2)$$

式中 $N_{Rk,c}$ ——混凝土锥体破坏受拉承载力标准值；

$\gamma_{Rc,N}$ ——混凝土锥体破坏受拉承载力分项系数，按本规程表 4.1.11 采用；

$N_{Rk,c}^0$ ——单锚受拉时，混凝土理想锥体破坏时的受拉承载力标准值，按 5.1.4 条规定计算；

$A_{c,N}^0$ ——单根锚定螺栓受拉且无间距、边距影响时，混凝土理想锥体破坏投影面面积，按 5.1.5 条规定计算；

$A_{c,N}$ ——单根锚定螺栓或群锚受拉时，混凝土实际锥体破坏投影面面积，按 5.1.6 条有关规定计算；

$\psi_{s,N}$ ——边距 c 对受拉承载力的影响系数，按 5.1.7 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影响系数，按 5.1.8 条规定计算；

$\psi_{ec,N}$ ——荷载偏心 e_N 对受拉承载力的影响系数，按 5.1.9 条规定计算；

5.1.4 单锚在理想混凝土锥体破坏情况下受拉承载力标准值 $N_{Rk,c}^0$ 可按下列式计算：

普通自攻型锚定螺栓：

$$\text{开裂混凝土} \quad N_{Rk,c}^0 = 6.3 \sqrt{f_{cu,k}} h_{ef}^{1.5} \quad (\text{N}) \quad (5.1.4-1)$$

$$\text{不开裂混凝土} \quad N_{Rk,c}^0 = 8.8 \sqrt{f_{cu,k}} h_{ef}^{1.5} \quad (\text{N}) \quad (5.1.4-2)$$

$$h_{ef} = 0.85(h_{nom} - 0.5h_t - h_s) \quad (5.1.4-3)$$

注胶自攻型锚定螺栓：

$$\text{开裂混凝土} \quad N_{Rk,c}^0 = 7.0 \sqrt{f_{cu,k}} h_{nom}^{1.5} \quad (\text{N}) \quad (5.1.4-4)$$

$$\text{不开裂混凝土} \quad N_{Rk,c}^0 = 9.8 \sqrt{f_{cu,k}} h_{nom}^{1.5} \quad (\text{N}) \quad (5.1.4-5)$$

式中 $f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值 (N / mm^2)，当 $f_{cu,k} = 45 \sim 60 \text{ N} / \text{mm}^2$ 时，应乘以降低系数 0.95；

h_{nom} ——锚定螺栓锚固深度(mm)；

h_{ef} ——锚定螺栓有效锚固深度(mm) (图 5.1.4)；

h_t ——锚定螺栓的相邻两个螺纹的间距；
 h_s ——锚定螺栓端部到螺纹起始端的距离。

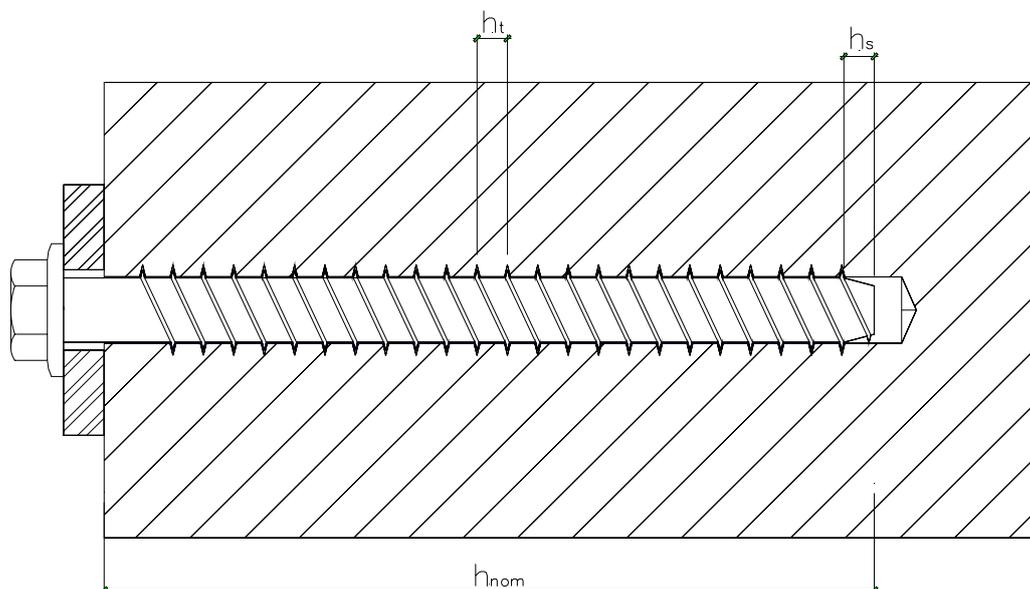


图 5.1.4 自攻型锚定螺栓有效锚固深度的影响因素

5.1.5 单锚受拉的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 5.1.5）：

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N}^2 \quad (5.1.5)$$

式中 $s_{cr,N}$ ——混凝土锥体破坏且无间距效应和边缘效应情况下，每根锚定螺栓达到受拉承载力标准值的临界间距。对于普通自攻型锚定螺栓，取 $s_{cr,N} = 2h_{nom}$ 和 $s_{cr,N} = 16d$ 的较大值，对于注胶型自攻型锚定螺栓，取 $s_{cr,N} = 3h_{nom}$ 和 $s_{cr,N} = 20d$ 的较大值。

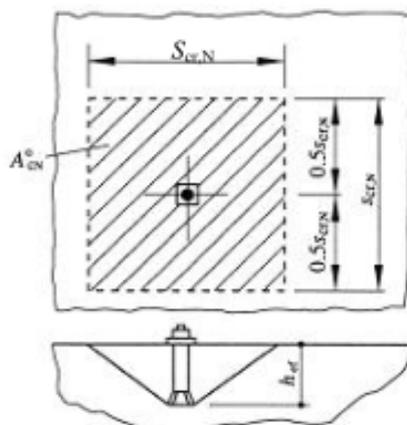


图 5.1.5 单栓受拉，理想化破坏锥体及其计算面积

5.1.6 单锚或群锚受拉时，混凝土实际锥体破坏投影面面积 $A_{c,N}$ ，应根据锚定螺栓排列布置情况，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 5.1.6-1)

$$A_{c,N} = (c_1 + 0.5s_{cr,N})s_{cr,N} \quad (5.1.6-1)$$

2) 双栓，垂直于构件边缘布置，且 $c_1 \leq c_{cr,N}$ ， $s_1 \leq s_{cr,N}$ 时 (图 5.1.6-2)

$$A_{c,N} = (c_1 + s_1 + 0.5s_{cr,N})s_{cr,N} \quad (5.1.6-2)$$

3) 双栓，平行于构件边缘布置， $c_2 \leq c_{cr,N}$ ， $s_1 \leq s_{cr,N}$ 时 (图 5.1.6-3)

$$A_{c,N} = (c_2 + 0.5s_{r,N})(s_1 + s_{cr,N}) \quad (5.1.6-3)$$

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 5.1.6-4)

$$A_{c,N} = (c_1 + s_1 + 0.5s_{cr,N})(c_2 + s_2 + s_{cr,N}) \quad (5.1.6-4)$$

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；

$c_{cr,N}$ ——混凝土锥体破坏且无间距效应及边缘效应情况下，每根锚定螺栓达到受拉承载力标准值的临界边距，对于普通自攻型锚定螺栓取 $c_{cr,N} = 1.0h_{nom}$ 和 $C_{cr,N} = 8d$ 的较大值，对注胶型自攻型锚定螺栓取 $c_{cr,N} = 1.5h_{nom}$ 和 $C_{cr,N} = 10d$ 的较大值。

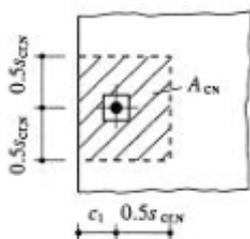


图 5.1.6-1 单栓受拉，靠近构件边缘时的计算面积

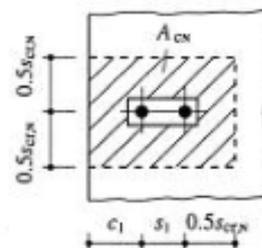


图 5.1.6-2 双栓受拉，垂直于构件边缘时的计算面积

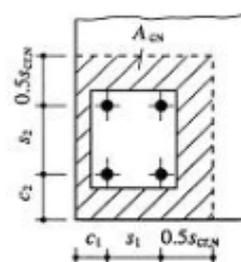
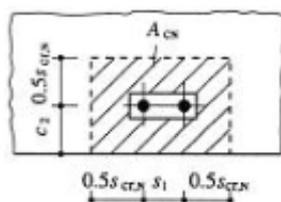


图 5.1.6-3 双栓受拉，平行于
构件边缘时的计算面积

图 5.1.6-4 四栓受拉，位于构
件角部的计算面积

5.1.7 边距 c 对受拉承载力影响系数 $\psi_{s,N}$ 应按下列公式计算：

$$\psi_{s,N} = 0.7 + 0.3 \frac{c}{c_{cr,N}} \quad (5.1.7)$$

当 $\psi_{s,N}$ 的值大于 1.0 时，应取 1.0。

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 5.1.11 条规定采用。

5.1.8 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 $\psi_{re,N}$ 应按下列公式计算。

$$\psi_{re,N} = 0.5 + \frac{h_{ef}}{200} \quad (5.1.8)$$

当 $\psi_{re,N}$ 的计算值大于 1.0 时，应取 1.0；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，应取 $\psi_{re,N} = 1.0$ 。

5.1.9 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：

$$\psi_{ec,N} = \frac{1}{1 + 2e_N / s_{cr,N}} \quad (5.1.9)$$

当 $\psi_{ec,N}$ 的计算值大于 1.0 时，应取 1.0；若为双向偏心，应分别按两个方向计算，取 $\psi_{ec,N} = \psi_{(ec,N)1} \psi_{(ec,N)2}$ 。

式中： e_N ——受拉锚栓合力点相对于群锚受拉锚栓重心的偏心距。

5.1.10 群锚有三个及以上边缘且锚定螺栓的最大边距 c_{\max} 不大于 $c_{cr,N}$ (图 6.1.9)，计算混凝土锥体受拉破坏的受拉承载力设计值 $N_{Rd,c}$ 时，应取 h'_{ef} 代替 h_{ef} 、 $S'_{cr,N}$ 代替 $S_{cr,N}$ 、 $C'_{cr,N}$ 代替 $C_{cr,N}$ 用于计算 $S_{Rk,c}^0$ 、 $A_{c,N}^0$ 、 $A_{c,N}$ 、 $\psi_{s,N}$ 及 $\psi_{ec,N}$ 。 h'_{ef} 应为 $h_{ef} \cdot C_{\max} / C_{cr,N}$ 和 $h_{ef} \cdot S_{\max} / S_{cr,N}$ 中的较大值， $S'_{cr,N}$ 应为 $S_{cr,N} \cdot h'_{ef} / h_{ef}$ ， $C_{cr,N}$ 应为 $0.5S'_{cr,N}$ 。

5.1.11 锚定螺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} ，应根据锚定螺栓产品的认证报告确定；无认证报告时，在符合相应产品标准及本规程有关规定情况下，可按下列规定采用：

1. $h_{\min} = 1.5h_{nom}$ ，且 $h_{\min} \geq 100mm$

2. 普通自攻型锚定螺栓以及注胶自攻型锚定螺栓： c_{\min} 、 s_{\min} 均按 $0.75h_{nom}$ 和 $5d$ 取大值。

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. $c \geq 1.5c_{cr,sp}$ ，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，应根据锚栓产品的认证报告确定；无认证报告时，在符合相应产品标准及本规程有关规定情况下，对于普通型自攻锚定螺栓 $c_{cr,sp} = 2h_{nom}$ ，注胶型锚定螺栓 $c_{cr,sp} = 3h_{nom}$ 。

2 对于开裂混凝土，按照开裂混凝土计算承载力，且考虑劈裂力时基材裂缝宽度不大于 $0.3mm$ 。

当不满足上述要求时，则混凝土劈裂破坏承载力设计值 $N_{Rd,sp}$ ：

$$N_{Rd,sp} = N_{Rk,sp} / \gamma_{Rsp} \quad (5.1.11-1)$$

$$N_{Rk,sp} = \psi_{h,sp} N_{Rk,c} \quad (5.1.11-2)$$

$$\psi_{h,sp} = (h / h_{\min})^{2/3} \quad (5.1.11-3)$$

当 $\psi_{h,sp}$ 的计算值大于 1.5 时，应取 1.5。

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_{cN}^0 及相关系数计算中的 $c_{cr,N}$ 和 $s_{cr,N}$ 应由 $c_{cr,sp}$ 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 采用；

$\psi_{h,sp}$ ——构件厚度 h 对劈裂受拉承载力的影响系数。

5.2 受剪承载力计算

5.2.1 锚定螺栓受剪承载力应符合下列规定：

1. 单锚

$$V_{Sd} \leq V_{Rd,s} \quad (5.2.1-1)$$

$$V_{Sd} \leq V_{Rd,c} \quad (5.2.1-2)$$

$$V_{Sd} \leq V_{Rd,cp} \quad (5.2.1-3)$$

2. 群锚

$$V_{Sd}^h \leq V_{Rd,s} \quad (5.2.1-4)$$

$$V_{Sd}^g \leq V_{Rd,c} \quad (5.2.1-5)$$

$$V_{Sd}^g \leq V_{Rd,cp} \quad (5.2.1-6)$$

式中： V_{sd} —— 单一锚栓剪力设计值；

V_{Sd}^h —— 群锚中剪力最大锚定螺栓的剪力设计值；

V_{Sd}^g —— 群锚总剪力设计值；

$V_{Rd,s}$ —— 锚定螺栓钢材破坏受剪承载力设计值；

$V_{Rd,c}$ —— 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。

5.2.2 普通型锚定螺栓或注胶型锚定螺栓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：

$$V_{Rd,s} = V_{Rk,s} / \gamma_{Rs,V} \quad (5.2.2-1)$$

式中 $V_{Rk,s}$ —— 锚定螺栓钢材破坏时的受剪承载力标准值，应按公式 (5.2.2-2) 或公式 (5.2.2-3)、公式 (5.2.2-4) 计算确定；对于群锚，锚栓钢材断后伸长率不大于 8% 时， $V_{Rk,s}$ 应乘以 0.8 的降低系数。

$\gamma_{Rs,V}$ —— 锚定螺栓钢材破坏时的受剪承载力分项系数， $\gamma_{Rs,V}$ 按表 4.1.11 采用。

1. 无杠杆臂的纯剪， $V_{Rk,s}$ 按下式计算：

$$V_{Rk,s} = 0.5A_s f_{yk} \quad (5.2.2-2)$$

式中 f_{yk} —— 锚定螺栓屈服强度标准值，按本规程表 3.2.2 采用；

A_s —— 锚定螺栓应力段截面面积较小值。

2. 有杠杆臂的拉、剪复合受力， $V_{Rk,s}$ 应取按下列公式计算的 $V_{Rk,s1}$ 和 $V_{Rk,s2}$ 的较小值：

$$V_{Rk,s1} = 0.5A_s f_{yk} \quad (5.2.2-3)$$

$$V_{Rk,s2} = \alpha_M M_{Rk,s} / l_0 \quad (5.2.2-4)$$

$$M_{Rk,s} = M_{Rk,s}^0 (1 - N_{Sd} / N_{Rd,s}) \quad (5.2.2-5)$$

$$M_{Rk,s}^0 = 1.2W_{el} f_{stk} \quad (5.2.2-6)$$

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

5.2.2-1a）， $l_0 = l$ ，无压紧时（图 5.2.2-1b）， $l_0 = l + 0.5d$ ；

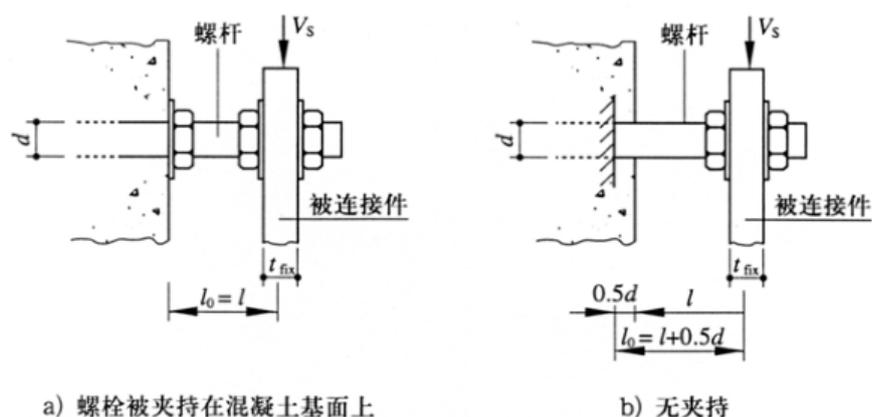


图 5.2.2-1 杆杠臂计算长度

α_M —— 被连接件约束系数，无约束时（图 5.2.2-2a） $\alpha_M = 1$ ，有约束时

（图 5.2.2-2b） $\alpha_M = 2$ ；部分约束时，依据约束刚度取值。

$M_{Rk,s}^0$ —— 单根锚定螺栓抗弯承载力标准值；

N_{Sd} —— 单根锚定螺栓拉力设计值；

$N_{Rd,s}$ —— 单根锚定螺栓钢材破坏受拉承载力设计值；

W_{el} —— 锚定螺栓截面抵抗矩。

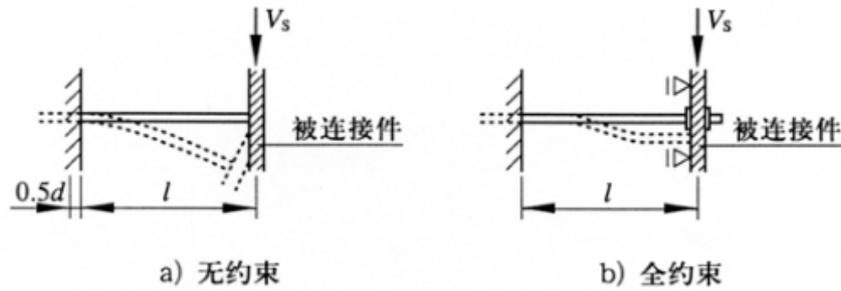


图 5.2.2-2 约束状况

3 满足下列条件时，作用于锚定螺栓上的剪力可按无杠杆臂的纯剪计算：

- 1) 锚板为钢材，直接固定于基材上，锚板与基材间无垫层；锚板与基材间有砂浆垫层时，垫层厚度小于 $d/2$ ，砂浆抗压强度不低于 30N/mm^2 ；
- 2) 在锚板厚度范围内，锚板与锚定螺栓全接触。

5.2.3 锚定螺栓边距 c 不大于 $5h_{ef}$ 或 c 不大于 $30d$ 时，混凝土边缘破坏受剪承载力设计值 $V_{Rd,c}$ 应按下列公式计算：

$$V_{Rd,c} = V_{Rk,c} / \gamma_{Rc,V} \quad (5.2.3-1)$$

$$V_{Rk,c} = V_{Rk,c}^0 \frac{A_{c,V}}{A_{c,V}^0} \psi_{s,V} \psi_{h,V} \psi_{\alpha,V} \psi_{re,V} \psi_{ec,V} \quad (5.2.3-2)$$

式中 $V_{Rk,c}$ ——混凝土边缘破坏受剪承载力标准值；

$\gamma_{Rc,V}$ ——混凝土边缘破坏受剪承载力分项系数， $\gamma_{Rc,V}$ 按表 4.1.11 采用；

$V_{Rk,c}^0$ ——单根锚定螺栓垂直构件边缘受剪时，混凝土理想边缘破坏时的受剪承载力标准值，按 5.2.4 条规定计算；

$A_{c,V}^0$ ——单根锚定螺栓受剪，在无平行剪力方向的边界影响、构件厚度影响或相邻锚定螺栓影响，混凝土理想边缘破坏在侧向的投影面积，按 5.2.5 条规定计算；

$A_{c,V}$ ——单根锚栓或群锚受剪时，混凝土实际边缘破坏在侧向的投影面积，按 5.2.6 条规定计算；

$\psi_{s,V}$ ——边距比 c_2/c_1 对受剪承载力的影响系数，按 5.2.7 条规定计算；

$\psi_{h,V}$ ——边距与厚度比 c_1/h 对受剪承载力的影响系数，按 5.2.8 条规定

计算；

$\psi_{\alpha,V}$ ——剪力角度对受剪承载力的影响系数，按 5.2.9 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 5.2.10 条规定计算；

$\psi_{re,V}$ ——锚固区配筋对受剪承载力的影响系数，按本规程第 5.1.23 条的规定取用。

5.2.4 单根锚定螺栓垂直于构件边缘受剪时，混凝土理想边缘破坏的受剪承载力标准值 $V_{Rk,c}^0$ 应根据锚定螺栓的认证报告确定；无认证报告时，在符合产品标准及本规程有关规定的情况下，可按下公式计算：

$$\text{开裂混凝土} \quad V_{Rk,c}^0 = 1.3d^\alpha h_{ef}^\beta \sqrt{f_{cu,k}} c_1^{1.5} \quad (5.2.4)$$

$$\text{不开裂混凝土} \quad V_{Rk,c}^0 = 1.9d^\alpha h_{ef}^\beta \sqrt{f_{cu,k}} c_1^{1.5} \quad (5.2.4)$$

$$\alpha = 0.1(l_f / c_1)^{0.5}$$

$$\beta = 0.1(d_{nom} / c_1)^{0.2}$$

式中 α ——系数；

β ——系数；

$f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值 (N/mm^2)，当 $f_{cu,k} = 45 \sim 60\text{MPa}$ 时，应乘以降低系数 0.95；

d_{nom} ——锚定螺栓外径(mm)；

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

5.2.5 单根锚定螺栓受剪，在无平行剪力方向的边界影响、构件厚度影响或相邻锚定螺栓影响，混凝土破坏楔形体在侧向的投影面面积 $A_{c,v}^0$ (图 5.2.5)，应按下式计算：

$$A_{c,v}^0 = 4.5c_1^2 \quad (5.2.5)$$

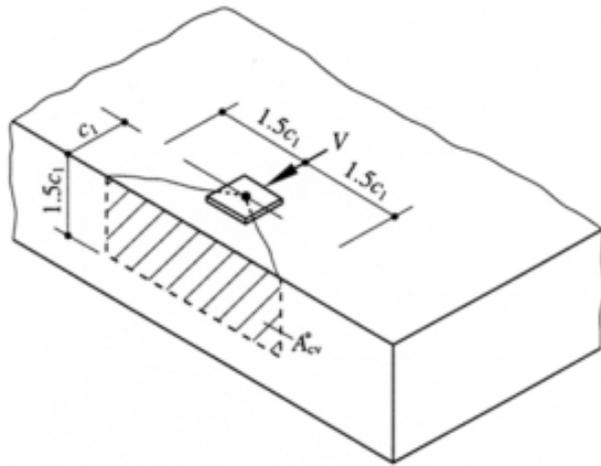


图 5.2.5 混凝土理想边缘破坏投影面积示意

5.2.6 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 5.2.6-1）

$$A_{c,v} = 1.5c_1(1.5c_1 + c_2) \quad (5.2.6-1)$$

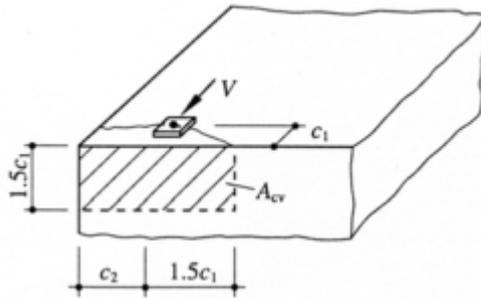


图 5.2.6-1 单栓受剪，位于构件角部示意

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 5.2.6-2）

$$A_{c,v} = (3c_1 + s_2)h \quad (5.2.6-2)$$

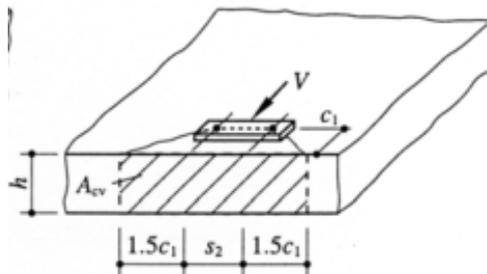


图 5.2.6-2 双栓受剪，位于构件边缘示意

3 四栓，位于构件角部，厚度较小， $h \leq 1.5c_1$ ， $s_2 \leq 3c_1$ ， $c_2 \leq 1.5c_1$ (图 5.2.6-3)

$$A_{c,v} = (1.5c_1 + s_2 + c_2)h \quad (5.2.6-3)$$

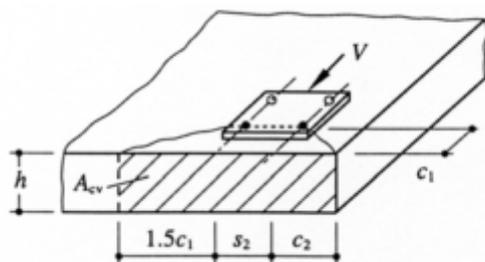


图 5.2.6-3 四栓受剪，位于构件角部示意

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

$$\psi_{s,v} = 0.7 + 0.3 \frac{c_2}{1.5c_1} \quad (5.2.7)$$

当 $\psi_{s,v}$ 的计算值大于 1.0 时，应取 1.0。

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

$$\psi_{h,v} = \left(\frac{1.5c_1}{h} \right)^{1/2} \quad (5.2.8)$$

当 $\psi_{h,v}$ 的计算值小于 1.0 时，应取 1.0。

5.2.9 剪力与垂直于构件自由边方向轴线之夹角 α_v （图 6.2.9）对受剪承载力的影响系数 $\psi_{\alpha,v}$ ，应按下列式计算：

$$\psi_{\alpha,v} = \frac{1}{\sqrt{(\cos \alpha)^2 + \left(\frac{\sin \alpha_v}{2.5} \right)^2}} \quad (5.2.9)$$

当 $\psi_{\alpha,v}$ 的计算值小于 1.0 时，应取 1.0。

式中： α_v —剪力与垂直于构件自由边方向轴线之夹角， α_v 不大于 90° 。当 α_v 大于 90° 时，

只计算平行于边缘的剪力分量，背离混凝土基材边缘的剪力分量可不计算。

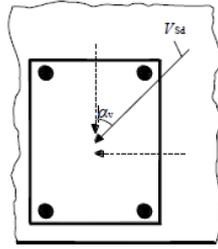


图 5.2.9 剪力角 α

5.2.10 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：

$$\psi_{ec,V} = \frac{1}{1 + 2e_v / 3c_1} \quad (5.2.10)$$

当 $\psi_{ec,V}$ 的值大于 1.0 时，应取 1.0。

式中 e_v ——剪力合力点至受剪锚定螺栓重心的距离。

5.2.11 锚固区配筋对受剪承载力的提高影响系数 $\psi_{re,V}$ ，应按下列规定采用：

- 1 $\psi_{re,V} = 1.0$ ，不开裂混凝土及边缘为无筋或少筋的开裂混凝土；
- 2 $\psi_{re,V} = 1.2$ ，边缘配有直径不小于 12mm 纵筋的开裂混凝土；
- 3 $\psi_{re,V} = 1.4$ ，边缘配有直径不小于 12mm 纵筋及间距不大于 100mm 箍筋的开裂混凝土。

5.2.12 位于角部的群锚，应分别计算两个边缘的受剪承载力设计值，并应取两者中的较小值作为群锚的边缘受剪承载力设计值。

5.2.13 计算锚定螺栓边缘受剪承载力，后锚固基材厚度 h 小于 $1.5c_1$ 且平行于剪力作用方向的锚栓边距 $c_{2,1}$ 不大于 $1.5c_1$ 、 $c_{2,2}$ 不大于 $1.5c_1$ 时（图 5.1.25），应分别用 c_1' 代替相应公式中的 c_1 计算 $V_{Rk,c}^0$ 、 $A_{c,V}^0$ 、 $A_{c,V}$ 、 $\psi_{s,V}$ 和 $\psi_{h,V}$ 值。 c_1' 取 $c_{2,1}/1.5$ 、 $c_{2,2}/1.5$ 、 $h/1.5$ 及 $S_{2,max}/3$ 的最大值。

5.2.14 混凝土剪撬破坏(图 5.2.14)时的受剪承载力设计值 $V_{Rd,cp}$ ，应按下列公式计算：

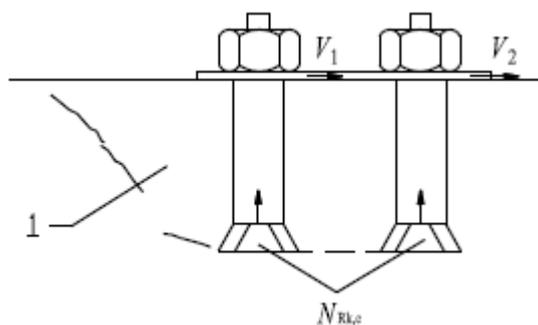
$$V_{Rd,cp} = V_{Rk,cp} / \gamma_{Rcp} \quad (5.2.14-1)$$

$$V_{Rk,cp} = kN_{Rk,c} \quad (5.2.14-2)$$

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} 按本规程表 4.1.11 采用;

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



1—混凝土破坏锥体

图5.2.14 锚定螺栓剪撬破坏示意

5.2.15 混凝土剪撬破坏, 群锚在剪力和扭矩作用下, 各锚栓所受剪力方向相反时 (图 5.2.15-1), 应分别验算单根锚栓剪撬破坏承载力。

按照本规程第 5.2.14 条的规定, 计算单根锚栓混凝土锥体破坏受拉承载力标准值 $N_{Rk,c}$ 时, 单根锚栓混凝土实际锥体破坏投影面面积 $A_{c,N}$ 应按下列规定进行计算:

1 双栓, 位于构件角部, 且 c_1 不大于 $c_{cr,N}$ 、 c_2 不大于 $c_{cr,N}$ 、 s_1 不大于 $s_{cr,N}$ 时 (图 5.2.15-2)

$$A_{c,N,1} = (0.5s_{cr,N} + s_1 / 2)(0.5s_{cr,N} + c_2) \quad (5.2.15-1)$$

$$A_{c,N,1} = (c_1 + s_1 / 2)(0.5s_{cr,N} + c_2) \quad (5.2.15-2)$$

2 四栓, 无边距影响, 且 s_1 不大于 $s_{cr,N}$ 、 s_2 不大于 $s_{cr,N}$ 时 (图 5.2.15-3)

$$A_{c,N,1} = (0.5s_{cr,N} + s_1 / 2)(0.5s_{cr,N} + s_2 / 2) \quad (5.2.15-3)$$

$$A_{c,N,2} = A_{c,N,3} = A_{c,N,4} = A_{c,N,1} \quad (5.2.15-4)$$

式中: c_1 —方向 1 的边距;

c_2 —方向 2 的边距;

s_1 —方向 1 的间距;

s_2 —方向 2 的间距;

$c_{cr,N}$ —混凝土锥体破坏, 无间距效应及边缘效应, 每根锚栓达到受

拉承载力标准值的临界边距，应取为 $1.5h_{ef}$ ；

$s_{cr,N}$ —混凝土锥体破坏，无间距效应和边缘效应，每根锚栓达到受

拉承载标准值的临界间距，应取为 $3h_{ef}$ ；

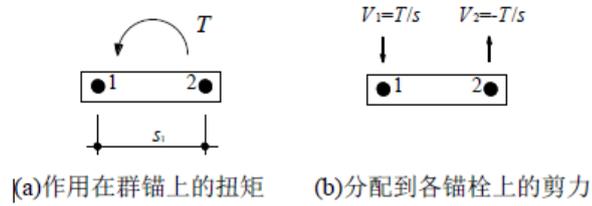


图 5.2.15-1 锚栓所受剪力方向相反示意

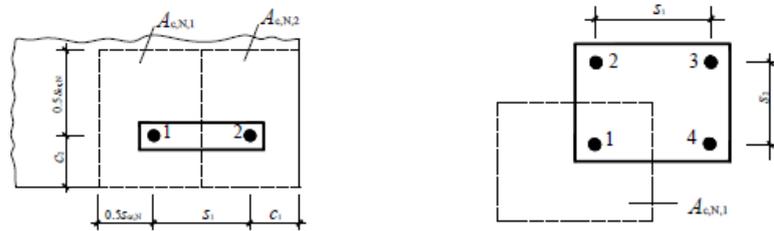


图 5.2.15-2 双栓，位于构件角部示意

5.2.15-3 四栓，无边距影响示意

5.3 拉剪复合受力承载力计算

5.3.1 弹性设计时，拉剪复合受力下钢材破坏时的承载力，应按下列公式验算：

$$\left(\frac{N_{sd}}{N_{Rd,s}}\right)^2 + \left(\frac{V_{sd}}{V_{Rd,s}}\right)^2 \leq 1 \quad (5.3.1-1)$$

$$N_{Rd,s} = N_{Rk,s} / \gamma_{Rs,N} \quad (5.3.1-2)$$

$$V_{Rd,s} = V_{Rk,s} / \gamma_{Rs,V} \quad (5.3.1-3)$$

式中： N_{sd} ——锚栓拉力设计值；

$N_{Rd,s}$ ——锚栓钢材破坏受拉承载力设计值；

V_{sd} ——锚栓剪力设计值；

$V_{Rd,s}$ ——锚栓钢材破坏受剪承载力设计值；

对于群锚，应分别用 N_{sd}^h 、 V_{sd}^h 代替 N_{sd} 和 V_{sd} 进行计算，当 N_{sd}^h 、 V_{sd}^h 为群锚中不同锚栓时，群锚中所有的锚栓均应计算。

5.3.2 弹性设计时，拉剪复合受力下混凝土破坏时的承载力，应按下列公式验算：

$$\left(\frac{N_{sd}}{N_{Rd,c}}\right)^{1.5} + \left(\frac{V_{sd}}{V_{Rd,c}}\right)^{1.5} \leq 1 \quad (5.3.2-1)$$

$$N_{Rd,c} = N_{Rk,c} / \gamma_{Rc,N} \quad (5.3.2-2)$$

$$V_{Rd,c} = V_{Rk,c} / \gamma_{Rc,V} \quad (5.3.2-3)$$

式中： N_{sd} ——锚栓拉力设计值；

$N_{Rd,c}$ ——混凝土破坏受拉承载力设计值；

V_{sd} ——锚栓剪力设计值；

$V_{Rd,c}$ ——混凝土破坏受剪承载力设计值；

6 构造措施

6.0.1 混凝土基材的厚度 h 应满足下列规定：

1. 对于普通自攻型锚定螺栓： $h \geq 1.5h_{ef}$ 且 $h \geq 100mm$ ；
2. 对于注胶自攻型锚定螺栓： $h \geq h_{ef} + 2d_0$ 且 $h \geq 100mm$ ，其中 h_{ef} 为锚定螺栓的有效埋置深度， d_0 为锚孔直径。

6.0.2 群锚锚定螺栓最小间距值 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. 普通自攻型锚定螺栓： $s_{min} \geq 8d$ ； $c_{min} \geq 10d$ ；
2. 注胶自攻型锚定螺栓： $s_{min} \geq 10d$ ； $c_{min} \geq 12d$ ；

其中 d 为锚定螺栓底径。

6.0.3 锚定螺栓在基材结构中所产生的附加剪力 $V_{Sd,a}$ 及锚定螺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：

$$V_{Sd,a} \leq 0.16f_t b h_0 \quad (6.0.3-1)$$

$$V_{Sd} \leq V_{Rd,b} \quad (6.0.3-2)$$

式中 $V_{Rd,b}$ —— 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。

6.0.4 普通自攻型锚定螺栓与钢筋的连接可以采用焊接和机械连接方式，而注胶自攻型锚定螺栓与钢筋的连接宜采用机械连接方式。机械连接方式应符合现行国家行业标准《钢筋机械连接通用技术规程》JGJ107 的规定。

6.0.5 锚定螺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 6.0.5)。

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

6.0.7 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。

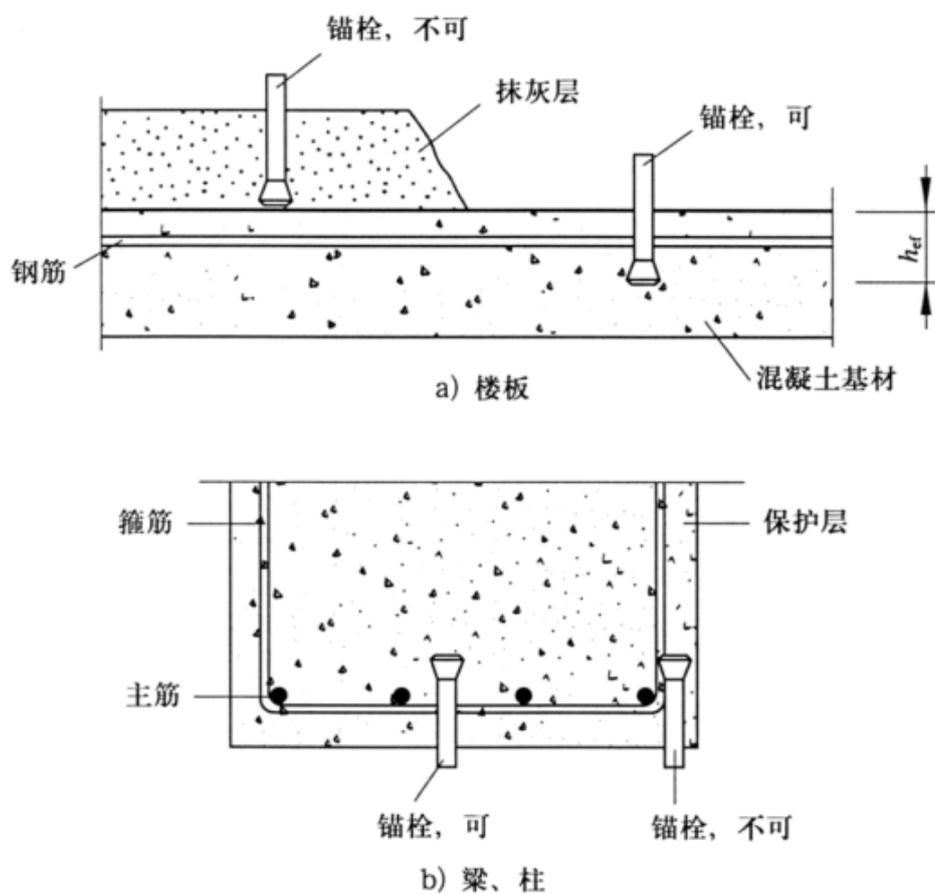


图 6.0.5 自攻型锚定螺栓设置位置

7 锚固施工与验收

7.1 基本要求

7.1.1 锚定螺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。

7.1.2 锚定螺栓安装时，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。

7.1.3 锚定螺栓安装方法及工具应符合该产品安装说明书的要求。

7.2 锚孔

7.2.1 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 7.2.1-1、表 7.2.1-2 及表 7.2.1-3 的要求。

表 7.2.1-1 锚孔质量的要求

类型	锚孔深度允许偏差 (mm)	锚孔垂直度允许偏差 (度)	锚孔位置允许偏差 (mm)
普通自攻型锚定螺栓	+10, -0	5	5
注胶自攻型锚定螺栓	+20, -0	5	5

表 7.2.1-2 自攻型锚定螺栓的锚孔直径允许公差 (mm)

规格	普通型打孔尺寸 (mm)	注胶型打孔尺寸 (mm)
M6	6.25 ±0.15	6.55 ±0.15
M8	8.25 ±0.15	8.55 ±0.15
M10	10.25 ±0.15	10.55 ±0.15
M12	12.35 ±0.15	12.55 ±0.15

M14	14.35 ±0.15	14.55 ±0.15
M16	16.15 ±0.15	16.55 ±0.15
M20	20.15 ±0.15	20.55 ±0.15
M22	22.35 ±0.15	22.55 ±0.15
M24	24.35 ±0.15	24.55 ±0.15

注：锚孔深度按照锚固深度加深 15mm。

表 7.2.1-3 自攻型锚定螺栓的电动或气动扳手最大力矩

锚定螺栓规格	电动或气动扳手力矩
M6	≤30N·m
M8	≤60N·m
M10	≤150N·m
M12	≤250N·m
M14	≤300N·m
M16	≤500N·m
M18	≤600N·m
M20	≤800N·m
M22	≤800N·m
M24	≤800N·m

7.2.2 对于普通自攻型锚定螺栓的锚孔，应用空压机或手动气筒吹净孔内粉屑；对于注胶自攻型锚定螺栓的锚孔，应先用空压机或手动气筒彻底吹净孔内碎碴和粉尘，再用丙酮擦拭孔道，并保持孔道干燥。

7.2.3 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。

7.3 锚定螺栓的安装与锚固

7.3.1 锚定螺栓安装前，应彻底清除表面附着物、浮锈和油污。

7.3.2 普通自攻型锚定螺栓的锚固操作应按产品说明书的规定进行。

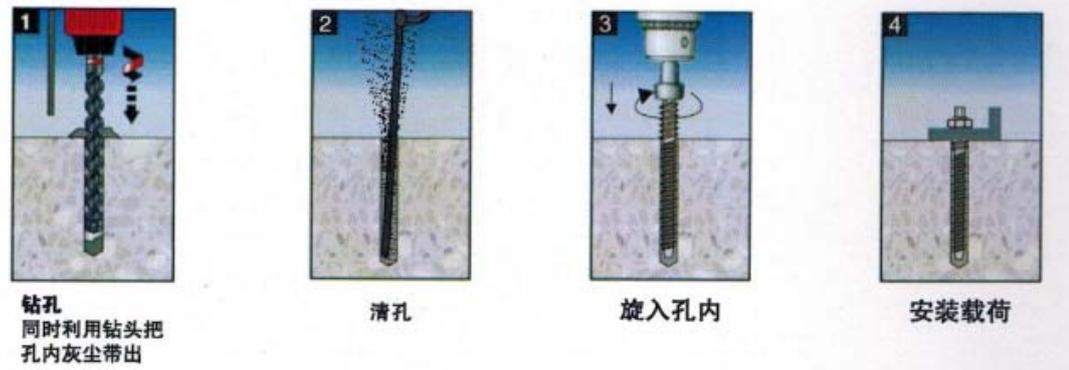


图 7.3.2 普通自攻型锚定螺栓安装步骤

7.3.3 注胶自攻型锚定螺栓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。注胶型自攻型锚定螺栓的焊接，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 。

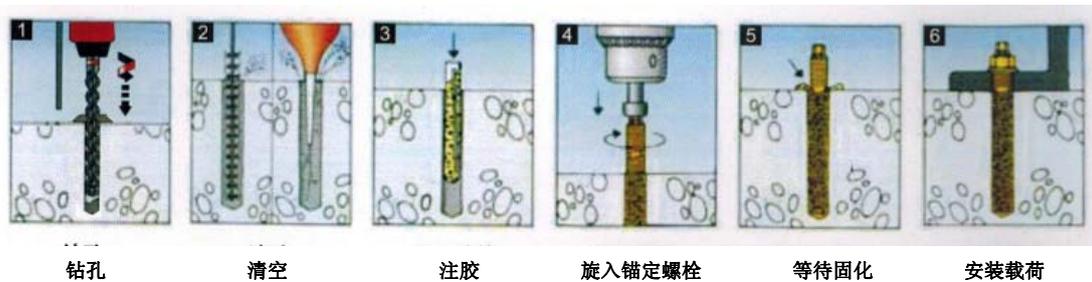


图 7.3.3 注胶自攻型锚定螺栓安装步骤

7.3.4 注胶自攻型锚定螺栓置入锚孔后，在固化完成之前，应按照厂家所提供的养护条件进行固化养护，固化期间禁止扰动。

7.4 锚固质量检查与验收

7.4.1 锚固质量检查应包括下述内容：

- 1、文件资料检查；
- 2、锚定螺栓、锚固胶的类别、规格是否符合设计和标准要求；
- 3、锚定螺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，安装后的锚定螺栓外观应整齐洁净。

7.4.2 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。

7.4.3 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定螺栓时，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。

7.4.4 锚固质量的检查应符合下列要求：

- 1、对于注胶型锚定螺栓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、未注胶型锚定螺栓应按设计或产品安装说明书的要求检查锚固深度、预紧力控制等。

7.4.5 锚固工程验收，应提供下列文件和记录：

- 1、锚固工程设计文件；

- 2、锚定螺栓的质量合格证书、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、锚定螺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 锚定螺栓连接受力分析方法

A.1 锚定螺栓拉力作用值计算

A.1.1 锚定螺栓受拉力作用（图 A.1.1 - 1 及图 A.1.1 - 2）时，其受力分析应遵守下列基本假定：

- 1 锚板具有足够的刚度，其弯曲变形可忽略不计；
- 2 同一锚板的各锚栓，具有相同的刚度和弹性模量；其所承受的拉力，可按弹性分析方法确定；
- 3 处于锚板受压区的锚栓不承受压力，该压力直接由锚板下的混凝土承担。

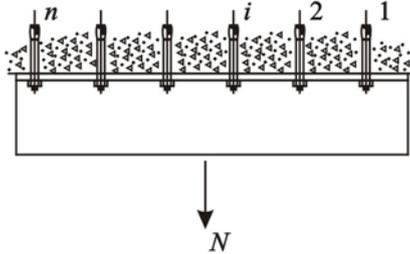


图 A.1.1 - 1 轴向拉力作用

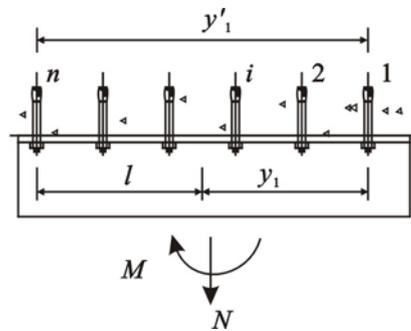


图 A.1.1 - 2 拉力和弯矩共同作用

A.1.2 在轴向拉力与外力矩共同作用下，应按下列公式计算确定锚板中受力最大锚栓的拉力设计值 N_h ：

- 1 当 $N/n - My_i / \Sigma y_i^2 \geq 0$ 时

$$N_h = N/n + (My_i / \Sigma y_i^2) \quad (\text{A.1.2 - 1})$$

- 2 当 $N/n - My_i / \Sigma y_i^2 < 0$ 时

$$N_h = (M + N \cdot l) y'_i / \Sigma (y'_i)^2 \quad (\text{A.1.2 - 2})$$

式中 N 和 M ——分别为轴向拉力和弯矩的设计值；

y_i 、 y_i ——锚栓 l 及 i 至群锚形心的距离；

y'_1 、 y'_i ——锚栓 l 及 i 至最外排受压锚栓的距离；

l ——轴力 N 至最外排受压锚栓的距离；

n ——锚栓个数。

注：当外边距 $M=0$ 时，上式计算结果即为轴向拉力作用下每一锚栓所承受的拉力设计值 N_i 。

A.2 锚定螺栓剪力作用值计算

A.2.1 作用于锚板上的剪力和扭矩在群锚中的内力分配，按下列三种情况计算：

1 若锚板孔径与锚栓直径符合表 E.2.1 的规定，且边距大于 $10h_{ef}$ ，则所有锚栓均匀承受剪力（图 A.2.1 - 1）；

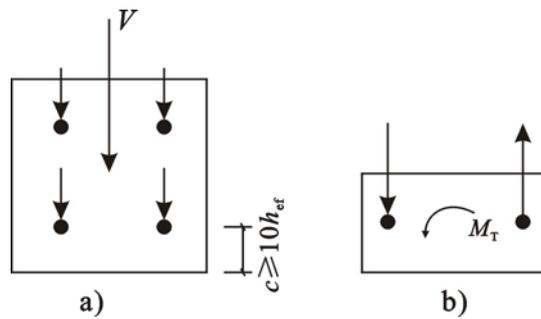


图 A.2.1 - 1 锚栓均匀受剪

2 若边距小于 $10h_{ef}$ （图 A.2.1 - 2,a）或锚板孔径大于表 A.2.1 的规定值（图 A.2.1 - 2,b），则只有部分锚栓（以图中黑色者表示）承受剪力；

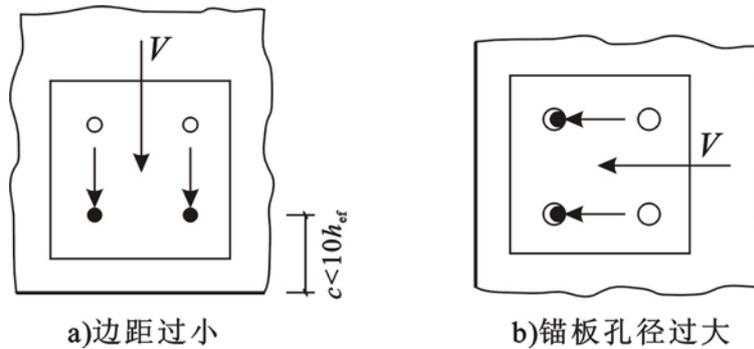


图 A.2.1 - 2 锚栓处于不利情况下受剪

3 为使靠近混凝土构件边缘锚栓不承受剪力，可在锚板相应位置沿剪力方向开椭圆形孔（图 A.2.1 - 3）。

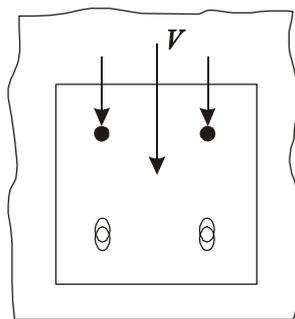


图 A.2.1 - 3 控制剪力分配方法

表 A.2.1 锚板孔径 (mm)

锚栓公称直径 d_0	6	8	10	12	14	16	18	20	22	24
锚板孔径 d_f	10	12	14	16	18	20	22	24	26	28

A.2.2 剪切荷载通过受剪锚栓形心 (图 A.2.2) 时, 群锚中各受剪锚栓的受力应按下列式确定:

$$V_i^V = \sqrt{(V_{ix}^V)^2 + (V_{iy}^V)^2} \quad (\text{A.2.2-1})$$

$$V_{ix}^V = V_x / n_x \quad (\text{A.2.2-2})$$

$$V_{iy}^V = V_y / n_y \quad (\text{A.2.2-3})$$

式中 V_{ix}^V 、 V_{iy}^V ——分别为锚栓 i 在 x 和 y 方向的剪力分量;

V_i^V ——剪力设计值 V 作用下锚栓 i 的组合剪力设计值;

V_x 、 n_x ——剪力设计值 V 的 x 分量及 x 方向参与受剪的锚栓数目;

V_y 、 n_y ——剪力设计值 V 的 y 分量及 y 方向参与受剪的锚栓数目。

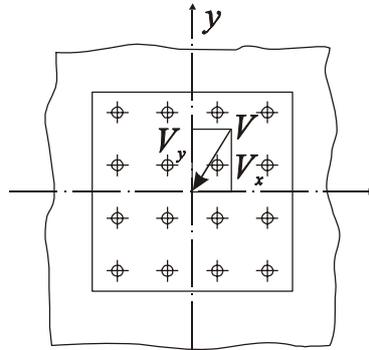


图 A.2.2 受剪力作用

A.2.3 群锚在扭矩 T (图 E.2.3) 作用下, 各受剪锚栓的受力应按下列公式确定:

$$V_i^T = \sqrt{(V_{ix}^T)^2 + (V_{iy}^T)^2} \quad (\text{A.2.3-1})$$

$$V_{ix}^T = \frac{T \cdot y_i}{\sum x_i^2 + \sum y_i^2} \quad (\text{A.2.3-2})$$

$$V_{iy}^T = \frac{T \cdot x_i}{\sum x_i^2 + \sum y_i^2} \quad (\text{A.2.3-3})$$

式中 T ——外扭矩设计值;

V_{ix}^T 、 V_{iy}^T —— T 作用下锚栓 i 所受剪力的 x 分量和 y 分量；

V_i^T —— T 作用下锚栓 i 的剪力设计值；

x_i 、 y_i ——锚栓 i 至以群锚形心为原点的座标距离。

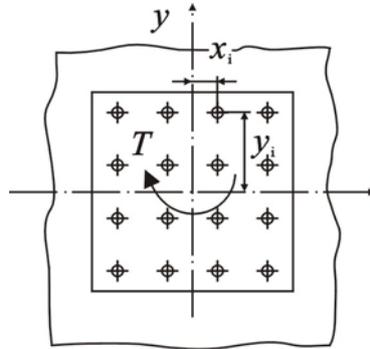


图 A.2.3 受扭矩作用

A.2.4 群锚在剪力和扭矩（图 E.2.4）共同作用下，各受剪锚栓的受力应按下列式确定：

$$V_i^s = \sqrt{(V_{ix}^V + V_{ix}^T)^2 + (V_{iy}^V + V_{iy}^T)^2} \quad (\text{A.2.4})$$

式中 V_i^s ——群锚中锚栓所受组合剪力设计值。

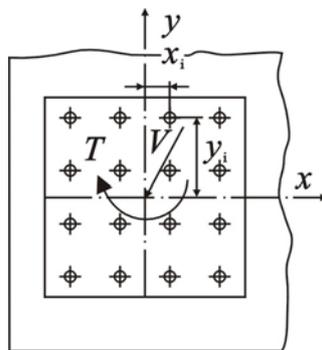


图 A.2.4 剪力与扭矩共同作用

附录 B 自攻型锚定螺栓性能的现场检验方法

B.1 适用范围及应用条件

B.1.1 本方法适用于自攻型锚定螺栓性能的现场检验。

B.1.2 后锚固工程质量应按自攻型锚定螺栓抗拔承载力的现场抽样检验结果进行评定。

B.1.3 后锚固件应进行抗拔承载力现场非破损检验，满足下列条件之一时，尚应进行破坏性检验：

- 1 安全等级为一级的后锚固构件；
- 2 悬挑结构和构件；
- 3 对后锚固设计参数有疑问；
- 4 对该工程锚固质量有怀疑。

B.1.4 受现场条件限制无法进行原位破坏性检验时，可在工程施工的同时，现场浇筑同条件的混凝土块体做为基材种植锚固件，并应按规定的时间进行破坏性检验，且应事先征得设计和监理单位的书面同意，并在场见证试验。

B.2 抽样规则

B.2.1 锚固质量现场检验抽样时，应以同品种、同规格、同强度等级的锚固件安装于锚固部位基本相同的同类构件为一检验批，并应从每一检验批所含的锚固件中进行抽样。

B.2.2 现场破坏性检验宜选择锚固区以外的同条件位置，应取每一检验批锚固件总数的0.1%且不少于3件进行检验。锚固件为植筋且数量不超过100件时，可取3件进行检验。

B.2.3 现场非破损检验的抽样数量，应符合下列规定：

1) 对重要结构构件及生命线工程的非结构构件，应按表 B.2.3 规定的抽样数量对该检验批的锚栓进行检验；

表 B.2.3 重要结构构件及生命线工程的非结构构件锚栓锚固质量非破损检验抽样表

检验批的锚定螺栓总数	≤100	500	1000	2500	≥5000
按检验批锚栓总数计算的最小抽样量	20%且不少于5件	10%	7%	4%	3%

注：当锚定螺栓总数介于两栏数量之间时，可按线性内插法确定抽样数量。

- 2) 对一般结构构件, 应取重要结构构件抽样量的50%且不少于5件进行检验;
- 3) 对非生命线工程的非结构构件, 应取每一检验批锚固件总数的0.1%且不少于5件进行检验。

B.2.4 胶粘的锚固件, 其检验宜在胶粘剂达到其产品说明书标示的固化时间的当天进行。若因故需推迟抽样与检验日期, 除应征得监理单位同意外, 推迟不应超过3d。

B.3 仪器设备要求

B.3.1 现场检测用的加荷设备, 可采用专门的拉拔仪, 应符合下列要求:

- 1 设备的加荷能力应比预计的检验荷载值至少大20%, 且不大于检验荷载的2.5倍, 应能连续、平稳、速度可控地运行;
- 2 加载设备应能够按照规定的速度加载, 测力系统整机误差不应超过全量程的 $\pm 2\%$;
- 3 设备的液压加荷系统持荷时间不超过5min 时, 其降荷值不应大于5%;
- 4 加载设备应能够保证所施加的拉伸荷载始终与后锚固构件的轴线一致;
- 5 加载设备支撑环内径 D_0 应满足 $D_0 \geq 4h_{ef}$ 。

B.3.2 当委托方要求检测重要结构锚固件连接的荷载-位移曲线时, 现场测量位移的装置应符合下列要求:

- 1 仪表的量程不应小于50mm; 其测量的误差不应超过 $\pm 0.02\text{mm}$;
- 2 测量位移装置应能与测力系统同步工作, 连续记录, 测出锚固件相对于混凝土表面的垂直位移, 并绘制荷载-位移的全程曲线。

B.3.3 现场检验用的仪器设备应定期由法定计量检定机构进行检定。遇到下列情况之一时, 还应重新检定:

- 1 读数出现异常;
- 2 拆卸检查或更换零部件后。

B.4 加载方式

B.4.1 检验锚固拉拔承载力的加载方式可为连续加载或分级加载, 可根据实际条件选用。

B.4.2 进行非破损检验时, 施加荷载应符合下列规定:

- 1 连续加载时, 应以均匀速率在2min~3min 时间内加载至设定的检验荷载, 并持荷2min;

2 分级加载时，应将设定的检验荷载均分为10级，每级持荷1min，直至设定的检验荷载，并持荷2min；

3 荷载检验值应取 $0.9f_{yk}A_s$ 和 $0.8N_{Rk,*}$ 的较小值。 $N_{Rk,*}$ 为非钢材破坏承载力标准值，可按本规程第5章有关规定计算。

B.4.3 进行破坏性检验时，施加荷载应符合下列规定：

- 1 连续加载时，对锚定螺栓应以均匀速率在2min~3min时间内加荷至锚固破坏；
- 2 分级加载时，前8级，每级荷载增量应取为 $0.1N_u$ ，且每级持荷1min~1.5min；自第9级起，每级荷载增量应取为 $0.05N_u$ ，且每级持荷30s，直至锚固破坏。 N_u 为计算的破坏荷载值。

B.5 检验结果评定

B.5.1 非破损检验的评定，应按下列规定进行：

1 试样在持荷期间，锚固件无滑移、基材混凝土无裂纹或其他局部损坏迹象出现，且加载装置的荷载示值在2min内无下降或下降幅度不超过5%的检验荷载时，应评定为合格；

2 一个检验批所抽取的试样全部合格时，该检验批应评定为合格检验批；

3 一个检验批中不合格的试样不超过5%时，应另抽3根试样进行破坏性检验，若检验结果全部合格，该检验批仍可评定为合格检验批；

4 一个检验批中不合格的试样超过5%时，该检验批应评定为不合格，且不应重做检验。

B.5.2 锚栓破坏性检验发生混凝土破坏，检验结果符合下列要求时，其锚固质量应评定为合格：

$$N_{Rm}^c \geq \gamma_{u,lim} \times N_{Rk,*} \quad (B.5.2-1)$$

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

其中： N_{Rm}^c ——受检验锚固件极限抗拔力实测平均值；

N_{Rmin}^c ——受检验锚固件极限抗拔力实测最小值；

$N_{Rk,*}$ ——混凝土破坏受检验锚固件极限抗拔力标准值，按本规程第6章有关规定计算。

$\gamma_{u,lim}$ ——锚固承载力检验系数允许值，取为1.1。

B.5.3 锚定螺栓破坏性检验发生钢材破坏，检验结果符合下列要求时，其锚固

质量应评定为合格。

$$N_{Rmin}^c \geq \frac{f_{stk}}{f_{yk}} N_{Rk,s} \quad (\text{B.5.3})$$

其中： N_{Rmin}^c —— 受检验锚固件极限抗拔力实测最小值；

$N_{Rk,s}$ —— 锚栓钢材破坏受拉承载力标准值，按本规程第 5 章有关规定计算。

B.5.4 当检验结果不满足第 B.5.1 条、第 B.5.2 条及第 B.5.3 条的规定时，应判定该检验批后锚固连接不合格，并应会同有关部门依据检验结果，研究采取专门措施处理。