

UDC

中华人民共和国国家标准

P



GB 50367—2006

# 混凝土结构加固设计规范

Design code for strengthening concrete structure

中华人民共和国建设部  
国家质量监督检验检疫总局

联合发布

# 目 次

|     |              |    |
|-----|--------------|----|
| 1   | 总则           | 1  |
| 2   | 术语、符号        | 2  |
| 2.1 | 术语           | 2  |
| 2.2 | 符号           | 4  |
| 3   | 基本规定         | 6  |
| 3.1 | 一般规定         | 6  |
| 3.2 | 设计计算原则       | 7  |
| 3.3 | 加固方法及配套使用的技术 | 9  |
| 4   | 材料           | 10 |
| 4.1 | 水泥           | 10 |
| 4.2 | 混凝土          | 10 |
| 4.3 | 钢材及焊接材料      | 11 |
| 4.4 | 纤维和纤维复合材     | 12 |
| 4.5 | 结构加固用胶粘剂     | 14 |
| 4.6 | 混凝土裂缝修补材料    | 18 |
| 4.7 | 阻锈剂          | 19 |
| 5   | 增大截面加固法      | 20 |
| 5.1 | 设计规定         | 20 |
| 5.2 | 受弯构件正截面加固计算  | 20 |
| 5.3 | 受弯构件斜截面加固计算  | 22 |
| 5.4 | 受压构件正截面加固计算  | 23 |
| 5.5 | 构造规定         | 26 |
| 6   | 置换混凝土加固法     | 28 |
| 6.1 | 设计规定         | 28 |
| 6.2 | 加固计算         | 28 |
| 6.3 | 构造规定         | 30 |
| 7   | 外加预应力加固法     | 31 |
| 7.1 | 设计规定         | 31 |



|      |                |    |
|------|----------------|----|
| 7.2  | 加固计算           | 32 |
| 7.3  | 构造规定           | 38 |
| 8    | 外粘型钢加固法        | 42 |
| 8.1  | 设计规定           | 42 |
| 8.2  | 加固计算           | 42 |
| 8.3  | 构造规定           | 45 |
| 9    | 粘贴纤维复合材加固法     | 47 |
| 9.1  | 设计规定           | 47 |
| 9.2  | 受弯构件正截面加固计算    | 48 |
| 9.3  | 受弯构件斜截面加固计算    | 52 |
| 9.4  | 受压构件正截面加固计算    | 54 |
| 9.5  | 受压构件斜截面加固计算    | 56 |
| 9.6  | 大偏心受压构件加固计算    | 57 |
| 9.7  | 受拉构件正截面加固计算    | 57 |
| 9.8  | 提高柱的延性的加固计算    | 58 |
| 9.9  | 构造规定           | 59 |
| 10   | 粘贴钢板加固法        | 64 |
| 10.1 | 设计规定           | 64 |
| 10.2 | 受弯构件正截面加固计算    | 64 |
| 10.3 | 受弯构件斜截面加固计算    | 68 |
| 10.4 | 大偏心受压构件正截面加固计算 | 70 |
| 10.5 | 受拉构件正截面加固计算    | 70 |
| 10.6 | 构造规定           | 71 |
| 11   | 增设支点加固法        | 74 |
| 11.1 | 设计规定           | 74 |
| 11.2 | 加固计算           | 74 |
| 11.3 | 构造规定           | 75 |
| 12   | 植筋技术           | 77 |
| 12.1 | 设计规定           | 77 |
| 12.2 | 锚固计算           | 77 |
| 12.3 | 构造规定           | 79 |

|                                               |     |
|-----------------------------------------------|-----|
| 13 锚栓技术·····                                  | 82  |
| 13.1 设计规定·····                                | 82  |
| 13.2 锚栓钢材承载力验算·····                           | 83  |
| 13.3 基材混凝土承载力验算·····                          | 84  |
| 13.4 构造规定·····                                | 90  |
| 14 裂缝修补技术·····                                | 91  |
| 14.1 设计规定·····                                | 91  |
| 14.2 裂缝修补要求·····                              | 92  |
| 附录 A 已有建筑物结构荷载标准值的确定·····                     | 94  |
| 附录 B 已有结构混凝土回弹值龄期修正的规定·····                   | 96  |
| 附录 C 纤维材料主要力学性能·····                          | 97  |
| 附录 D 纤维复合材层间剪切强度测定方法·····                     | 98  |
| 附录 E 粘接材料粘合加固材与基材的正拉粘结强度<br>现场测定方法及评定标准·····  | 103 |
| 附录 F 粘接材料粘合加固材与基材的正拉粘结强度<br>试验室测定方法及评定标准····· | 108 |
| 附录 G 富填料胶体、聚合物砂浆体劈裂抗拉强度测定方法·····              | 114 |
| 附录 H 高强聚合物砂浆体抗折强度测定方法·····                    | 118 |
| 附录 J 富填料粘接材料拉伸抗剪强度测定方法（钢套筒法）·····             | 122 |
| 附录 K 约束拉拔条件下胶粘剂粘接钢筋与基材混凝土的<br>粘结强度测定方法·····   | 126 |
| 附录 L 结构用胶粘剂湿热老化性能测定方法·····                    | 130 |
| 附录 M 锚栓连接受力分析方法·····                          | 133 |
| 附录 N 锚固承载力现场检验方法及评定标准·····                    | 137 |
| 附录 P 钢丝绳网片-聚合物砂浆外加层加固法·····                   | 142 |
| 附录 Q 绕丝加固法·····                               | 155 |
| 附录 R 已有混凝土结构钢筋阻锈方法·····                       | 157 |
| 本规范用词说明·····                                  | 160 |
| 条文说明                                          |     |

# 前 言

本规范是根据建设部建标[1999]308号文的要求,由四川省建筑科学研究院会同有关的高等院校及科研、设计、企业等单位共同修订而成。

在修订过程中,规范修订组开展了多项专题研究,进行了大量的调查分析和验证性试验,总结了近年来我国混凝土结构加固设计的实践经验;与国外先进的标准规范进行了比较和借鉴;与相关的标准规范进行了协调。在此基础上以多种方式广泛征求了有关单位和社会公众的意见,并进行了试设计和试点工程的试用,对重点章节进行了反复修改,最后经审查定稿。

本规范主要规定的内容有:混凝土结构加固设计的基本规定、材料、增大截面加固法、置换混凝土加固法、外加预应力加固法、外粘型钢加固法、粘贴纤维复合材加固法、粘贴钢板加固法、增设支点加固法、绕丝加固法、钢丝绳网片-聚合物砂浆外加层加固法等的设计、计算与构造规定以及有关的附录。此外,还有与各种加固方法配套使用的植筋技术、锚栓技术、混凝土裂缝修补技术和钢筋阻锈技术等。

本规范以黑体字标志的条文为强制性条文,必须严格执行。

为充实提高规范的质量,请各使用单位在施行本规范过程中,结合工程实践,认真总结经验,并将意见和建议寄交成都市一环路北三段55号(四川省建筑科学研究院内)建设部建筑物鉴定与加固规范管理委员会(邮编:610081;  
<http://www.astcc.com/>)。

本规范主编单位:四川省建筑科学研究院

参加单位:同济大学、西南交通大学、福州大学、湖南大学、重庆大学、重庆市建筑科学研究院、辽宁省建设科学研究院、中国科学院大连化学物理研究所、中国建筑西南设计院、上海市工程建设标准化办公室、上海加固行建筑技术工程有限公司、北京东洋机械建筑工程有限公司、喜利得(中国)有限公司、慧鱼(太仓)建筑锚栓有限公司、厦门中连结构胶有限公司、亨斯迈先进化工材料(广东)有限公司、北京风行技术有限责任公司、上海库力浦实业有限公司、湖南固特邦土木技术发展有限公司、大连凯华新技术工程有限公司、台湾安固工程股份有限公司、武汉长江加固技术有限公司

本规范主要起草人:

|     |     |     |     |     |     |     |     |
|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| 梁 坦 | 王永维 | 陆竹卿 | 梁 爽 | 吴善能 | 黄 棠 | 林文修 | 卓尚木 |
| 古天纯 | 贺曼罗 | 倪士珠 | 张书禹 | 莫群速 | 侯发亮 | 卜良桃 | 屈文俊 |
| 陈大川 | 王立民 | 李力平 | 王 稚 | 吴 进 | 陈友明 | 张成英 | 线运恒 |
| 张 剑 | 单远铭 | 张首文 | 唐超伦 | 张 欣 | 温 斌 |     |     |

# 1 总 则

1.0.1 为使混凝土结构的加固，做到技术可靠、安全适用、经济合理、确保质量，制定本规范。

1.0.2 本规范适用于房屋和一般构筑物钢筋混凝土承重结构加固的设计。

1.0.3 混凝土结构加固前，应根据建筑物的种类，分别按现行国家标准《工业厂房可靠性鉴定标准》GB50144 和《民用建筑可靠性鉴定标准》GB50292 进行可靠性鉴定。当与抗震加固结合进行时，尚应按现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB50011 或《建筑抗震鉴定标准》GB50023 进行抗震能力鉴定。

1.0.4 混凝土结构加固的设计，除应遵守本规范规定外，尚应符合国家现行有关标准的要求。

## 2 术语、符号

### 2.1 术语

#### 2.1.1 已有结构加固 *strengthening of existing structures*

对可靠性不足或业主要求提高可靠度的承重结构、构件及其相关部分采取增强、局部更换或调整其内力等措施,使具有现行设计规范及业主所要求的安全性、耐久性和适用性。

#### 2.1.2 原构件 *existing structure member*

实施加固前的原有构件。

#### 2.1.3 重要构件 *important structure member*

其自身失效将影响或危及承重结构体系整体工作的承重构件。

#### 2.1.4 一般构件 *general structure member*

其自身失效为孤立事件,不影响承重结构体系整体工作的承重构件。

#### 2.1.5 增大截面加固法 *structure member strengthening with R.C*

增大原构件截面面积或增配钢筋,以提高其承载力和刚度,或改变其自振频率的一种直接加固法。

#### 2.1.6 外粘型钢加固法 *structure member strengthening with externally bonded steel frame*

对钢筋混凝土梁、柱外包型钢、扁钢焊成构架并灌注结构胶粘剂,以在到整体受力,共同约束原构件要求的加固方法。

#### 2.1.7 复合截面加固法 *structure member strengthening with externally bonded reinforced materials*

通过采用结构胶粘剂粘接或高强聚合物砂浆喷抹,将增强材料粘合于原构件的混凝土表面,使之形成具有整体性的复合截面,以提高其承载力和延性的一种直接加固法。根据增强材料的不同,可分为外粘型钢、外粘钢板、外粘纤维增强复合材料和外加钢丝绳网片-聚合物砂浆层等多种加固法。

### 2.1.8 绕丝加固法 compression member confined by reinforcing wire

该法系通过缠绕退火钢丝使被加固的受压构件混凝土受到约束作用，从而提高其极限承载力和延性的一种直接加固法。

### 2.1.9 外加预应力加固法 structure member strengthening with externally applied prestressing

通过施加体外预应力，使原结构、构件的受力得到改善或调整的一种间接加固法。

### 2.1.10 植筋 bonded rebars

以专用的结构胶粘剂将带肋钢筋或全螺纹螺杆锚固于基材混凝土中。

### 2.1.11 结构胶粘剂 structural adhesives

用于承重结构构件粘接的、能长期承受设计应力和环境作用的胶粘剂，简称结构胶。

### 2.1.12 纤维复合材 fibre reinforced ploymer (FRP)

采用高强度的连续纤维按一定规则排列，经用胶粘剂浸渍、粘接固化后形成的具有纤维增强效应的复合材料，通称纤维复合材。

### 2.1.13 聚合物砂浆 polymer mortar

掺有改性环氧乳液或其他改性共聚物乳液的高强度水泥砂浆。承重结构用的聚合物砂浆除了应能改善其自身的物理力学性能外，还应能显著提高其锚固钢筋和粘结混凝土的能力。

### 2.1.14 有效截面面积 effective cross-section area

扣除孔洞、缺损、锈蚀层、风化层等削弱、失效部分后的截面。

### 2.1.15 加固设计使用年限 design working life for strengthening of existing structure or its member

加固设计规定的结构、构件加固后无需重新进行检测、鉴定即可按其预定目的使用的时间。



## 2.2 符 号

### 2.2.1 材料性能

$E_{so}$ ——原构件钢筋弹性模量;

$E_s$ ——新增钢筋弹性模量;

$E_a$ ——新增型钢弹性模量;

$E_{sp}$ ——新增钢板弹性模量;

$E_f$ ——新增纤维复合材弹性模量;

$f_{co}$ ——原构件混凝土轴心抗压强度设计值;

$f_{yo}$ 、 $f'_{yo}$ ——原构件钢筋抗拉、抗压强度设计值;

$f_y$ 、 $f'_y$ ——新增钢筋抗拉、抗压强度设计值;

$f_a$ 、 $f'_a$ ——新增型钢抗拉、抗压强度设计值;

$f_{sp}$ 、 $f'_{sp}$ ——新增钢板抗拉、抗压强度设计值;

$f_f$ ——新增纤维复合材抗拉强度设计值;

$f_{f,v}$ ——纤维复合材与混凝土粘结强度设计值;

$f_{bd}$ ——结构胶粘剂粘结强度设计值;

$f_{ud}$ ——锚栓抗拉强度设计值;

$\varepsilon_f$ ——纤维复合材拉应变设计值;

$\varepsilon_{fe}$ ——纤维复合材环向围束有效拉应变设计值。

### 2.2.2 作用效应及承载力

$N$ ——构件加固后轴向力设计值;

$M$ ——构件加固后弯矩设计值;

$V$ ——构件加固后剪力设计值;

$M_{ok}$ ——加固前受弯构件验算截面上原作用的初始弯矩标准值;

$\sigma_s$ ——新增纵向钢筋受拉应力;

$\sigma_{so}$ ——原构件纵向受拉钢筋或受压较小边钢筋的应力;

$\sigma_a$ ——新增型钢受拉肢或受压较小肢的应力;

$\varepsilon_{fo}$ ——纤维复合材滞后应变;

$\omega$ ——构件挠度或预应力反拱。

### 2.2.3 几何参数

$h_o$ 、 $h_{oi}$  ——构件加固后和加固前的截面有效高度；

$h_w$  ——构件截面的腹板高度；

$h_n$  ——受压区混凝土的置换深度；

$h_{sp}$  ——梁侧面粘贴钢箍板的竖向高度；

$h_f$  ——梁侧面粘贴纤维箍板的竖向高度；

$h_{ef}$  ——锚栓有效锚固深度；

$A_{so}$ 、 $A'_{so}$  ——原构件受拉区、受压区钢筋截面面积；

$A_s$ 、 $A'_s$  ——新增构件受拉区、受压区钢筋截面面积；

$A_{fe}$  ——纤维复合材有效截面面积；

$A_{cor}$  ——环向围束内混凝土截面面积；

$A_{sp}$ 、 $A'_{sp}$  ——新增受拉钢板、受压钢板截面面积；

$A_a$ 、 $A'_a$  ——新增型钢受拉肢、受压肢截面面积；

$l_s$  ——植筋基本锚固深度；

$l_d$  ——植筋锚固深度设计值；

$l_l$  ——植筋受拉搭接长度；

$D$  ——钻孔直径；

### 2.2.4 计算系数

$\alpha_l$  ——受压区混凝土矩形应力图的应力值与混凝土轴心抗压强度设计值的比值；

$\beta_c$  ——混凝土强度影响系数；

$\beta_l$  ——矩形应力图受压区高度与中和轴高度的比值；

$\alpha_c$  ——新增混凝土强度利用系数；

$\alpha_s$  ——新增钢筋强度利用系数；

$\alpha_a$  ——新增型钢强度利用系数；

$\alpha_{sp}$  ——防止混凝土劈裂引用的计算系数；

$\psi$  ——折减系数、修正系数或影响系数；

$\eta$  ——增大系数或提高系数。

## 3 基本规定

### 3.1 一般规定

3.1.1 混凝土结构经可靠性鉴定确认需要加固时，应根据鉴定结论和委托方提出的要求，由有资质的专业技术人员按本规范的规定和业主要求进行加固设计。加固设计的范围，可按整幢建筑物或其中某独立区段确定，也可按指定的结构、构件或连接确定，但均应考虑该结构的整体性。

3.1.2 加固后混凝土结构的安全等级，应根据结构破坏后果的严重性、结构的重要性和加固设计使用年限，由委托方与设计方按实际情况共同商定。

3.1.3 混凝土结构的加固设计，应与实际施工方法紧密结合，采取有效措施，保证新增构件和部件与原结构连接可靠，新增截面与原截面粘结牢固，形成整体共同工作；并应避免对未加固部分，以及相关的结构、构件和地基基础造成不利的影响。

3.1.4 对高温、高湿、低温、冻融、化学腐蚀、振动、温度应力、地基不均匀沉降等影响因素引起的原结构损坏，应在加固设计中提出有效的防治对策，并按设计规定的顺序进行治理和加固。

3.1.5 混凝土结构的加固设计，应综合考虑其技术经济效果，避免不必要的拆除或更换。

3.1.6 对加固过程中可能出现倾斜、失稳、过大变形或坍塌的混凝土结构，应在加固设计文件中提出相应的临时性安全措施，并明确要求施工单位必须严格执行。

3.1.7 混凝土结构的加固设计使用年限，应按下列原则确定：

- 1 结构加固后的使用年限，应由业主和设计单位共同商定；
- 2 一般情况下，宜按 30 年考虑；到期后，若重新进行的可靠性鉴定认为该结构工作正常，仍可继续延长其使用年限；
- 3 对使用胶粘方法或掺有聚合物加固的结构、构件，尚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。

3.1.8 未经技术鉴定或设计许可，不得改变加固后结构的用途和使用环境。

## 3.2 设计计算原则

3.2.1 混凝土结构加固设计采用的结构分析方法，应遵守现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 规定的结构分析基本原则，且在一般情况下，应采用线弹性分析方法计算结构的作用效应。

3.2.2 加固混凝土结构时，应按下列规定进行承载能力极限状态和正常使用极限状态的设计、验算：

1 结构上的作用，应经调查或检测核实，并应按本规范附录 A 的规定和要求确定其标准值或代表值，若此项工作已在可靠性鉴定中完成，宜加以引用。

2 被加固结构、构件的作用效应，应按下列要求确定：

1) 结构的计算图形，应符合其实际受力和构造状况；

2) 作用效应组合和组合值系数以及作用的分项系数，应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB50009 确定，并应考虑由于实际荷载偏心、结构变形、温度作用等造成的附加内力。

3 结构、构件的尺寸，对原有部分应采用实测值；对新增部分，可采用加固设计文件给出的名义值。

4 原结构、构件的混凝土强度等级和受力钢筋抗拉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本规范附录 B 的规定进行龄期修正，且仅可用于结构的加固设计。

5 加固材料的性能和质量，应符合本规范第 4 章的规定；其性能的标准值应按本规范第 3.2.3 条确定；其性能的设计值应按本规范各相关章节的规定采用。

6 验算结构、构件承载力时，应考虑原结构在加固时的实际受力状况，包括加固部分应变滞后的特点，以及加固部分与原结构共同工作程度。

7 加固后改变传力路线或使结构质量增大时，应对相关结构、构件及建筑物地基基础进行必要的验算。

8 地震区结构、构件的加固，除应满足承载力要求外，尚应复核其抗震能力；不应存在因局部加强或刚度突变而形成的新薄弱部位；同时，还应考虑结构刚度增大而导致地震作用效应增大的影响。

注：本规范的各种加固方法，一般情况下可用于结构的抗震加固，但具体采用时，尚应在设计、计算和构造上执行现行国家标准《建筑抗震设计规范》GB 50011 和《建筑抗震加固技术规范》JGJ 116 的规定和要求。

3.2.3 加固材料性能的标准值 ( $f_k$ )，应根据抽样检验结果按下式确定：

$$f_k = m_f - k s \quad (3.2.3)$$

式中  $m_f$ ——按  $n$  个试件算得的材料强度平均值；

$s$ ——按  $n$  个试件算得的材料强度标准差；

$k$ ——与  $\alpha$ 、 $c$  和  $n$  有关的材料强度标准值计算系数，由表 3.2.3 查得。

$\alpha$ ——正态概率分布的分位值；根据材料强度标准值所要求的 95% 保证率，取  $\alpha = 0.05$ ；

$c$ ——检测加固材料性能所取的置信水平（置信度），由本规范有关章节作出规定。

表 3.2.3 材料强度标准值计算系数  $k$  值

| $n$ | $\alpha = 0.05$ 时的 $k$ 值 |          |          |          | $n$ | $\alpha = 0.05$ 时的 $k$ 值 |          |          |          |
|-----|--------------------------|----------|----------|----------|-----|--------------------------|----------|----------|----------|
|     | $c=0.99$                 | $c=0.95$ | $c=0.90$ | $c=0.75$ |     | $c=0.99$                 | $c=0.95$ | $c=0.90$ | $c=0.75$ |
| 4   | —                        | 5.145    | 3.957    | 2.680    | 15  | 3.102                    | 2.566    | 2.329    | 1.991    |
| 5   | —                        | 4.202    | 3.400    | 2.463    | 20  | 2.807                    | 2.396    | 2.208    | 1.933    |
| 6   | 5.409                    | 3.707    | 3.092    | 2.336    | 25  | 2.632                    | 2.292    | 2.132    | 1.895    |
| 7   | 4.730                    | 3.399    | 2.894    | 2.250    | 30  | 2.516                    | 2.220    | 2.080    | 1.869    |
| 10  | 3.739                    | 2.911    | 2.568    | 2.103    | 50  | 2.296                    | 2.065    | 1.965    | 1.811    |

3.2.4 为防止结构加固部分意外失效而导致的坍塌，在使用胶粘剂或掺有聚合物（如改性混凝土、复合砂浆等）的加固方法时，其加固设计除应按本规范的规定进行外，尚应对原结构进行验算。验算时，应要求原结构、构件能承担  $n$  倍恒载标准值的作用。当可变荷载（不含地震作用）标准值与永久荷载标准值之比值不大于 1 时，取  $n=1.2$ ；当该比值等于或大于 2 时，取  $n=1.5$ ；其间按线性内插法确定。

### 3.3 加固方法及配合使用的技术

3.3.1 混凝土结构的加固可分为直接加固与间接加固两类，设计时，可根据实际条件和使用要求选择适宜的加固方法及配合使用的技术。

3.3.2 直接加固宜根据工程的实际情况选用增大截面加固法、置换混凝土加固法、外粘型钢加固法、外粘钢板加固法、粘贴纤维复合材加固法、绕丝加固法或高强度钢丝绳网片-聚合物砂浆外加层加固法等。

3.3.3 间接加固宜根据工程的实际情况选用外加预应力加固法或增设支点加固法等。

3.3.4 与结构加固方法配合使用的技术应采用符合本规范要求的裂缝修补技术、锚固技术和阻锈技术。



## 4 材 料

### 4.1 水 泥

4.1.1 混凝土结构加固用的水泥，应采用强度等级不低于 32.5 级的硅酸盐水泥和普通硅酸盐水泥，也可采用矿渣硅酸盐水泥或火山灰质硅酸盐水泥，但其强度等级不应低于 42.5 级，必要时，还可采用快硬硅酸盐水泥。

注：1 当混凝土结构有耐腐蚀、耐高温要求时，应采用相应的特种水泥。

2 配制复合砂浆用的水泥，其强度等级不应低于 42.5 级，且应符合复合砂浆产品说明书的规定。

4.1.2 水泥的性能和质量应分别符合现行国家标准《硅酸盐水泥、普通硅酸盐水泥》GB 175、《快硬硅酸盐水泥》GB 199 和《矿渣硅酸盐水泥、火山灰质硅酸盐水泥》GB 1344 的规定。

### 4.2 混凝土

4.2.1 结构加固用的混凝土，其强度等级应比原结构、构件提高一级，且不得低于 C20 级。

4.2.2 配制结构加固用的混凝土，其骨料的品种和质量应符合下列要求：

1 粗骨料应选用坚硬、耐久性好的碎石或卵石。其最大粒径：对现场拌合混凝土，不宜大于 20mm；对喷射混凝土，不宜大于 12mm；对短纤维混凝土，不宜大于 10mm；粗骨料的质量应符合现行行业标准《普通混凝土用卵石和碎石质量标准及检验方法》JGJ 53 的规定；不得使用含有活性二氧化硅石料制成的粗骨料；

2 细骨料应选用中、粗砂；对喷射混凝土，其细度模数尚不宜小于 2.5；细骨料的质量应符合现行行业标准《普通混凝土用砂质量标准及检验方法》JGJ 52 的规定。

4.2.3 混凝土拌合用水应采用饮用水或水质符合现行行业标准《混凝土拌合用水标准》JGJ 63 规定的天然洁净水。

4.2.4 结构加固用的混凝土，可使用商品混凝土，但所掺的粉煤灰应为 I 级灰，且烧失量不应大于 5%。

4.2.5 当结构加固工程选用聚合物混凝土、微膨胀混凝土、钢纤维混凝土、合成短纤维混凝土或喷射混凝土时，应在施工前进行试配，经检验其性能符合设计要求后方可使用。

注：不得使用铝粉作为混凝土的膨胀剂。

### 4.3 钢材及焊接材料

4.3.1 混凝土结构加固用的钢筋，其品种、质量和性能应符合下列要求：

1 应优先选用 HRB 335 级热轧带肋钢筋或 HPB 235 级（Q235 级）的热轧钢筋；当有工程经验时，也可使用 HRB 400 级或 RRB 400 级的热轧带肋钢筋；

2 钢筋的质量应分别符合现行国家标准《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》GB 1499、《钢筋混凝土用热轧光圆钢筋》GB 13013 和《钢筋混凝土用余热处理钢筋》GB 13014 的规定；

3 钢筋的性能设计值应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定采用；

4 不得使用无出厂合格证、无标志或未经进场检验的钢筋以及再生钢筋。

4.3.2 混凝土结构加固用的钢板、型钢、扁钢和钢管，其品种、质量和性能应符合下列要求：

1 应采用 Q235 级（3 号钢）或 Q345 级（16Mn 钢）钢材；对重要结构的焊接构件，若采用 Q235 级钢，应选用 Q235-B 级钢；

2 钢材质量应分别符合现行国家标准《碳素结构钢》GB/T 700 和《低合金高强结构钢》GB/T 1591 的规定；

3 钢材的性能设计值应按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定采用；

4 不得使用无出厂合格证、无标志或未经进场检验的钢材。

4.3.3 当混凝土结构锚固件为植筋时，应使用热轧带肋钢筋，不得使用光圆钢筋。植筋用的钢筋，其质量应符合本规范第 4.3.1 条的规定。

4.3.4 当锚固件为钢螺杆时，应采用全螺纹的螺杆，不得采用锚入部位无螺纹的螺杆。螺杆的钢材等级应为 Q345 级或 Q235 级；其质量应分别符合现行国家标准《低合金高强结构钢》GB/T 1591 和《碳素结构钢》GB/T 700 的规定。

4.3.5 当承重结构的锚固件为锚栓时，其钢材的性能指标必须符合表 4.3.5 - 1 或表 4.3.5 - 2 的规定。

表 4.3.5 - 1 碳素钢及合金钢锚栓的钢材抗拉性能指标

| 性能等级         |                                       | 4.8 | 5.8 | 6.8 | 8.8 |
|--------------|---------------------------------------|-----|-----|-----|-----|
| 锚栓钢材<br>性能指标 | 抗拉强度标准值 $f_{uk}$ (MPa)                | 400 | 500 | 600 | 800 |
|              | 屈服强度标准值 $f_{yk}$ 或 $f_{s,0.2k}$ (MPa) | 320 | 400 | 480 | 640 |
|              | 伸长率 $\delta_5$ (%)                    | 14  | 10  | 8   | 12  |

注：性能等级 4.8 表示： $f_{stk}=400\text{MPa}$ ； $f_{yk}/f_{stk}=0.8$ 。

表 4.3.5 - 2 不锈钢锚栓（奥氏体 A1、A2、A4、A5）的钢材性能指标

| 性能等级            |                                       | 50        | 70        | 80        |
|-----------------|---------------------------------------|-----------|-----------|-----------|
| 螺纹公称直径 $d$ (mm) |                                       | $\leq 39$ | $\leq 24$ | $\leq 24$ |
| 锚栓钢材<br>性能指标    | 抗拉强度标准值 $f_{uk}$ (MPa)                | 500       | 700       | 800       |
|                 | 屈服强度标准值 $f_{yk}$ 或 $f_{s,0.2k}$ (MPa) | 210       | 450       | 600       |
|                 | 伸长值 $\delta$ (mm)                     | $0.6d$    | $0.4d$    | $0.3d$    |

4.3.6 混凝土结构加固用的焊接材料，其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 焊缝连接的设计原则及计算指标应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定。

## 4.4 纤维和纤维复合材料

4.4.1 纤维复合材料用的纤维必须为连续纤维，其品种和性能必须符合下列要求：

- 1 承重结构加固用的碳纤维，必须选用聚丙烯腈基（PAN 基）12k 或 12k 以下的小丝束纤维，严禁使用大丝束纤维；
- 2 承重结构加固用的玻璃纤维，必须选用高强度的 S 玻璃纤维或含碱量低于 0.8% 的 E 玻璃纤维，严禁使用 A 玻璃纤维或 C 玻璃纤维；
- 3 纤维的主要力学性能必须符合本规范附录 C 的规定。

4.4.2 结构加固用的纤维复合材必须采用连续纤维与改性环氧树脂胶粘剂复合而成。使用前必须按本规范表 4.4.2-1 或表 4.4.2-2 规定的性能指标和质量要求进行安全性及适配性检验。检验时,实测的纤维复合材抗拉强度标准值应根据置信水平  $C=0.99$ 、保证率为 0.95 的要求,按本规范第 3.2.3 条计算确定。

表 4.4.2-1 碳纤维复合材安全性及适配性检验合格指标

| 项目 \ 类别                    | 单向织物 (布)                               |                        | 条形板                    |                        |
|----------------------------|----------------------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
|                            | 高强度 I 级                                | 高强度 II 级               | 高强度 I 级                | 高强度 II 级               |
| 抗拉强度标准值 $f_{tk}$ (MPa)     | $\geq 3400$                            | $\geq 3000$            | $\geq 2400$            | $\geq 2000$            |
| 受拉弹性模量 $E_r$ (MPa)         | $\geq 2.4 \times 10^5$                 | $\geq 2.1 \times 10^5$ | $\geq 1.6 \times 10^5$ | $\geq 1.4 \times 10^5$ |
| 伸长率 (%)                    | $\geq 1.7$                             | $\geq 1.5$             | $\geq 1.7$             | $\geq 1.5$             |
| 弯曲强度 $f_{fb}$ (MPa)        | $\geq 700$                             | $\geq 600$             | —                      | —                      |
| 层间剪切强度 (MPa)               | $\geq 45$                              | $\geq 35$              | $\geq 50$              | $\geq 40$              |
| 仰贴条件下纤维复合材与混凝土正拉粘结强度 (MPa) | $\geq \max\{2.5, f_{tk}\}$ , 且为混凝土内聚破坏 |                        |                        |                        |
| 纤维体积含量 (%)                 | —                                      | —                      | $\geq 65$              | $\geq 55$              |
| 单位面积质量 ( $g/m^2$ )         | 200、250、300                            | 200、250、300            | —                      | —                      |

注: 1  $f_{tk}$  为原构件混凝土的抗拉强度标准值, 应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定采用。

2 L 形板的安全性及适配性检验合格指标按高强度 II 级条形预成型板 (条形板) 采用。

表 4.4.2-2 玻璃纤维单向织物复合材安全性及适配性检验合格指标

| 项目<br>类别 | 抗拉强度<br>标准值<br>(MPa) | 受拉弹性<br>模量<br>(MPa)  | 伸长<br>率<br>(%) | 弯曲强度<br>(MPa) | 仰贴条件下纤<br>维复合材-混<br>凝土粘接正拉<br>强度 (MPa)               | 单位面<br>积质量<br>(g/m <sup>2</sup> ) | 层间剪<br>切强度<br>(MPa) |
|----------|----------------------|----------------------|----------------|---------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------|---------------------|
| S 玻璃     | ≥2200                | ≥1.0×10 <sup>5</sup> | ≥3.2           | ≥600          | ≥max {2.5, <i>f<sub>tk</sub></i> },<br>且为混凝土内聚<br>破坏 | 300~450                           | ≥40                 |
| E 玻璃     | ≥1500                | ≥7.2×10 <sup>4</sup> | ≥2.8           | ≥500          |                                                      | 300~450                           | ≥35                 |

4.4.3 对符合第 4.4.2 条安全性及适配性检验要求的纤维织物复合材或板材, 当它与其他改性环氧树脂胶粘剂配套使用时, 必须按下列项目重新做适配性检验, 且检验结果必须符合本规范表 4.4.2-1 或表 4.4.2-2 的规定。

- 1 抗拉强度标准值;
- 2 仰贴条件下纤维复合材与混凝土正拉粘结强度;
- 3 层间剪切强度。

4.4.4 纤维复合材的安全性及适配性检验指标的测定方法应符合下列规定:

- 1 对抗拉强度、受拉弹性模量及伸长率,应采用现行国家标准《定向纤维增强塑料拉伸性能试验方法》GB/T 3354 进行测定;
- 2 对抗弯强度,应采用现行国家标准《单向纤维增强塑料弯曲性能试验方法》GB/T 3356 进行测定;
- 3 对层间剪切强度,应按本规范附录 D 的规定进行测定;
- 4 对仰贴条件下纤维复合材与混凝土正拉粘结强度,应按本规范附录 E 的有关规定进行测定;
- 5 对纤维体积含量,应采用现行国家标准《碳纤维增强塑料纤维体积含量试验方法》GB/T 3366 进行测定;
- 6 对纤维织物单位面积质量,应采用现行国家标准《增强制品试验方法第 3 部分:单位面积质量的测定》GB/T 9914.3 进行测定。

4.4.5 当进行材料性能检验和加固设计时,纤维复合材截面面积的计算应符合下列规定:

- 1 纤维织物应按纤维的净截面面积计算。净截面面积取纤维织物的计算厚度乘以宽度。纤维织物的计算厚度应按其单位面积质量除以纤维密度确定。
- 2 单向纤维预成型板应按不扣除树脂体积的板截面面积计算,即应按实测的板厚乘以宽度计算。

注:纤维密度应由厂商提供,并应出具独立检验或鉴定机构的抽样检测证明文件。

4.4.6 承重结构的现场粘贴加固,严禁使用单位面积质量大于  $300\text{g/m}^2$  的碳纤维织物或预浸法生产的碳纤维织物。

## 4.5 结构加固用胶粘剂

4.5.1 承重结构用的胶粘剂,宜按其基本性能分为 A 级胶和 B 级胶;对重要结构、悬挑构件、承受动力作用的结构、构件,应采用 A 级胶;对一般结构可采用 A 级胶或 B 级胶。



4.5.2 承重结构用的胶粘剂，必须按本节的规定进行安全性检验。检验时，实测的粘接抗剪强度标准值应根据置信水平  $C=0.90$ 、保证率为 0.95 的要求，按本规范第 3.2.3 条计算确定。

4.5.3 浸渍、粘接纤维复合材的胶粘剂必须采用专门配制的改性环氧树脂胶粘剂，其安全性检验指标必须符合表 4.5.3 的规定。承重结构加固工程中不得使用不饱和聚酯树脂、醇酸树脂等作浸渍、粘接胶粘剂。

表 4.5.3 碳纤维复合材浸渍/粘接用胶粘剂安全性检验合格指标

| 性能项目              |                    | 性能要求                                           |                      | 试验方法标准    |
|-------------------|--------------------|------------------------------------------------|----------------------|-----------|
|                   |                    | A 级胶                                           | B 级胶                 |           |
| 胶体性能              | 抗拉强度 (MPa)         | ≥40                                            | ≥30                  | GB/T 2568 |
|                   | 受拉弹性模量 (MPa)       | ≥2.5×10 <sup>3</sup>                           | ≥1.5×10 <sup>3</sup> |           |
|                   | 伸长率 (%)            | ≥1.5                                           |                      |           |
|                   | 抗弯强度 (MPa)         | ≥50                                            | ≥40                  | GB/T 2570 |
|                   |                    | 且不得呈脆性 (碎裂状) 破坏                                |                      |           |
|                   | 抗压强度 (MPa)         | ≥70                                            |                      | GB/T 2569 |
| 粘接能力              | 钢-钢拉伸抗剪强度标准值 (MPa) | ≥14                                            | ≥10                  | GB/T 7124 |
|                   | 钢-钢不均匀扯离强度 (kN/m)  | ≥20                                            | ≥15 (—)              | GJB 94    |
|                   | 与混凝土的正拉粘结强度 (MPa)  | ≥max {2.5, <i>f<sub>tk</sub></i> } , 且为混凝土内聚破坏 |                      | 本规范附录 F   |
| 不挥发物含量 (固体含量) (%) |                    | ≥99                                            |                      | GB/T 2793 |

注：1 表中括号 (—) 表示 B 级胶不用于粘贴预成型板；

2 表中的性能指标，除标有强度标准值外，均为平均值；

3  $f_{tk}$  为被加固构件混凝土的抗拉强度标准值，应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定采用；

4 当预成型板为仰面或立面粘贴时，其所使用胶粘剂的下垂度 (40℃ 时) 不应大于 3mm。

4.5.4 底胶和修补胶应与浸渍、粘接胶粘剂相适配，其性能应分别符合表 4.5.4-1 和表 4.5.4-2 的要求。

注：粘贴纤维和混凝土的胶粘剂按其工艺的不同分为两种类型：一类由配套的底胶、修补胶和浸渍、粘接胶组成；另一类为免底涂，且浸渍、粘接与修补兼用的单一胶粘剂；可根据工程需要任选一种类型，但厂商应出具免底涂胶粘剂的证书，使用单位应留档备查。



表 4.5.4 - 1 底胶的主要性能指标

| 性 能 项 目               | 性 能 要 求                                    |                          | 试验方法标准       |
|-----------------------|--------------------------------------------|--------------------------|--------------|
| 钢-钢拉伸抗剪强度标准值(MPa)     | 当与 A 级胶<br>匹配: $\geq 14$                   | 当与 B 级胶<br>匹配: $\geq 10$ | GB/T 7124    |
| 与混凝土的正拉粘结强度(MPa)      | $\geq \max\{2.5, f_{tk}\}$ , 且为混凝土<br>内聚破坏 |                          | 本规范附录 F      |
| 不挥发物含量 (固体含量) (%)     | $\geq 99$                                  |                          | GB/T 2793    |
| 混和后初粘度 (23℃时) (mPa·s) | $\leq 6000$                                |                          | GB/T 12007.4 |

表 4.5.4 - 2 修补胶的主要性能指标

| 性 能 项 目              | 性 能 要 求                                | 试验方法标准    |
|----------------------|----------------------------------------|-----------|
| 胶体抗拉强度 (MPa)         | $\geq 30$                              | GB/T 2568 |
| 胶体抗弯强度 (MPa)         | $\geq 40$ , 且不得呈脆性 (碎裂状) 破坏            | GB/T 2570 |
| 与混凝土的正拉粘结强度<br>(MPa) | $\geq \max\{2.5, f_{tk}\}$ , 且为混凝土内聚破坏 | 本规范附录 F   |

注: 表中的性能指标均为平均值;

4.5.5 粘贴钢板或外粘型钢的胶粘剂必须采用专门配制的改性环氧树脂胶粘剂, 其安全性检验指标必须符合表 4.5.5 的规定。

表 4.5.5 粘钢及外粘型钢用胶粘剂安全性检验合格指标

| 性 能 项 目          |                    | 性 能 要 求                               |                      | 试验方法标准    |
|------------------|--------------------|---------------------------------------|----------------------|-----------|
|                  |                    | A 级胶                                  | B 级胶                 |           |
| 胶<br>体<br>性<br>能 | 抗拉强度 (MPa)         | ≥30                                   | ≥25                  | GB/T 2568 |
|                  | 受拉弹性模量 (MPa)       | ≥4.0×10 <sup>3</sup>                  | ≥3.0×10 <sup>3</sup> |           |
|                  | 伸长率 (%)            | ≥1.3                                  |                      |           |
|                  | 抗弯强度 (MPa)         | ≥45                                   | ≥35                  | GB/T 2570 |
|                  |                    | 且不得呈脆性(碎裂状)破坏                         |                      |           |
|                  | 抗压强度 (MPa)         | ≥65                                   |                      | GB/T 2569 |
| 粘<br>接<br>能<br>力 | 钢-钢拉伸抗剪强度标准值 (MPa) | ≥15                                   | ≥12                  | GB/T 7124 |
|                  | 钢-钢不均匀扯离强度 (kN/m)  | ≥16                                   | ≥12                  | GJB 94    |
|                  | 钢-钢粘接抗拉强度 (MPa)    | ≥33                                   | ≥25                  | GB/T 6329 |
|                  | 与混凝土的正拉粘结强度 (MPa)  | ≥max{2.5, f <sub>tk</sub> }，且为混凝土内聚破坏 |                      | 本规范附录 F   |
|                  | 不挥发物含量 (固体含量) (%)  | ≥99                                   |                      | GB/T 2793 |

4.5.6 种植锚固件的胶粘剂，必须采用专门配制的改性环氧树脂胶粘剂或改性乙烯基酯类胶粘剂（包括改性氨基甲酸酯胶粘剂），其安全性检验指标必须符合表 4.5.6 的规定。

种植锚固件的胶粘剂，其填料必须在工厂制胶时添加，严禁在施工现场掺入。

表 4.5.6 锚固用胶粘剂安全性检验合格指标

| 性 能 项 目         |                                  |                        | 性 能 要 求 |       | 试验方法标准    |
|-----------------|----------------------------------|------------------------|---------|-------|-----------|
|                 |                                  |                        | A 级胶    | B 级胶  |           |
| 胶体性能            | 劈裂抗拉强度（MPa）                      |                        | ≥8.5    | ≥7.0  | 本规范附录 G   |
|                 | 抗弯强度（MPa）                        |                        | ≥50     | ≥40   | GB/T 2570 |
|                 | 抗压强度（MPa）                        |                        | ≥60     |       | GB/T 2569 |
| 粘 接 能 力         | 钢-钢（钢套筒法）拉伸<br>抗剪强度标准值（MPa）      |                        | ≥16     | ≥13   | 本规范附录 J   |
|                 | 约束拉拔条<br>件下带肋钢<br>筋与混凝土<br>的粘结强度 | C30<br>φ 25<br>l=150mm | ≥11.0   | ≥8.5  | 本规范附录 K   |
|                 |                                  | C60<br>φ 25<br>l=125mm | ≥17.0   | ≥14.0 |           |
| 不挥发物含量（固体含量）（%） |                                  |                        | ≥99     |       | GB/T 2793 |

注：1 表中各项性能指标，除标有强度标准值外，均为平均值；

2 当按现行国家标准《树脂浇注体弯曲性能试验方法》GB/T 2570 进行胶体抗弯强度试验时，其试件厚度  $h$  应改为 8mm。

4.5.7 钢筋混凝土承重结构加固用的胶粘剂，其钢-钢粘接抗剪性能必须经湿热老化检验合格。湿热老化检验应在 50℃ 温度和 98% 相对湿度的环境条件下按本规范附录 L 规定的方法进行；老化时间：重要构件不得少于 90d；一般构件不得少于 60d。经湿热老化后的试件，应在常温条件下进行钢-钢拉伸抗剪试验，其强度降低的百分率 (%) 应符合下列要求：

1 A 级胶不得大于 10%；

2 B 级胶不得大于 15%。

4.5.8 混凝土结构加固用的胶粘剂必须通过毒性检验。对完全固化的胶粘剂，其检验结果应符合实际无毒卫生等级的要求。

4.5.9 在承重结构用的胶粘剂中严禁使用乙二胺作改性环氧树脂固化剂；严禁掺加挥发性有害溶剂和非反应性稀释剂。

4.5.10 寒冷地区加固混凝土结构使用的胶粘剂，应具有耐冻融性能试验合格的证书。冻融环境温度应为  $-25^{\circ}\text{C} \sim 35^{\circ}\text{C}$ （允许偏差  $-0^{\circ}\text{C}$ ； $+2^{\circ}\text{C}$ ）；循环次数不应少于 50 次；每一次循环时间应为 8h；试验结束后，试件在常温条件下测得的强度降低百分率不应大于 5%。

## 4.6 混凝土裂缝修补材料

4.6.1 混凝土裂缝修补胶的基本性能指标应符合表 4.6.1 的规定。

表 4.6.1 裂缝修补胶（注射剂）基本性能指标

| 检 验 项 目              |              | 性能或质量指标                        | 试验方法标准        |
|----------------------|--------------|--------------------------------|---------------|
| 钢 - 钢拉伸抗剪强度标准值 (MPa) |              | $\geq 10$                      | GB/T 7124     |
| 胶<br>体<br>性<br>能     | 抗拉强度 (MPa)   | $\geq 20$                      | GB/T 2568     |
|                      | 受拉弹性模量 (MPa) | $\geq 1500$                    | GB/T 2568     |
|                      | 抗压强度 (MPa)   | $\geq 50$                      | GB/T 2569     |
|                      | 抗弯强度 (MPa)   | $\geq 30$ ，且不得呈脆性（碎裂状）破坏       | GB/T 2570     |
| 不挥发物含量（固体含量）         |              | $\geq 99\%$                    | GB/T 14683    |
| 可灌注性                 |              | 在产品使用说明书规定的压力下能注入宽度为 0.1mm 的裂缝 | 现场试灌注固化后取芯样检查 |

注：当修补目的仅为封闭裂缝，而不涉及补强、防渗的要求时，可不作可灌注性检验。

4.6.2 混凝土裂缝修补用注浆料的基本性能指标应符合表 4.6.2 的规定。

表 4.6.2 修补裂缝用聚合物水泥注浆料基本性能指标

| 检 验 项 目              |              | 性能或质量指标             | 试验方法标准    |
|----------------------|--------------|---------------------|-----------|
| 浆<br>体<br>性<br>能     | 劈裂抗拉强度 (MPa) | $\geq 5$            | 本规范附录 G   |
|                      | 抗压强度 (MPa)   | $\geq 40$           | GB/T 2569 |
|                      | 抗折强度 (MPa)   | $\geq 10$           | 本规范附录 H   |
| 注浆料与混凝土的正拉粘接强度 (MPa) |              | $\geq 2.5$ ，且为混凝土破坏 | 本规范附录 F   |

## 4.7 阻锈剂

4.7.1 混凝土结构钢筋的防锈，宜采用喷涂型阻锈剂。承重构件应采用烷氧基类或氨基类喷涂型阻锈剂。

4.7.2 喷涂型阻锈剂的质量应符合表 4.7.2 的规定。

表 4.7.2 喷涂型阻锈剂的质量

| 烷氧基类阻锈剂  |           | 氨基类阻锈剂     |          |
|----------|-----------|------------|----------|
| 检验项目     | 合格指标      | 检验项目       | 合格指标     |
| 外观       | 透明、琥珀色液体  | 外观         | 透明、微黄色液体 |
| 浓度       | 0.88g/ml  | 密度（20℃时）   | 1.13     |
| PH 值     | 10~11     | PH 值       | 10~12    |
| 粘度（20℃时） | 0.95mPa·s | 粘度（20℃时）   | 25mPa·s  |
| 烷氧基复合物含量 | ≥98.9%    | 氨基复合物含量    | >15%     |
| 硅氧烷含量    | ≤0.3%     | 氯离子 $CL^-$ | 无        |
| 挥发性有机物含量 | <400g/L   | 挥发性有机物含量   | <200g/L  |

4.7.3 喷涂型阻锈剂的性能应符合表 4.7.3 的规定。

表 4.7.3 喷涂型阻锈剂的性能

| 检验项目     | 合格指标                        | 检验方法标准         |
|----------|-----------------------------|----------------|
| 氯离子含量降低率 | ≥90%                        | JTJ 275-2000   |
| 盐水浸渍试验   | 无锈蚀，且电位为 0~-250mv           | YB/T 9231-1998 |
| 干湿冷热循环试验 | 60 次，无锈蚀                    | YB/T 9231-1998 |
| 电化学试验    | 电流应小于 150 $\mu A$ ，且破样检查无锈蚀 | YB 9222        |
| 现场锈蚀电流检测 | 喷涂 150d 后现场测定的电流降低率 ≥80%    | 本规范附录 R        |

注：对亲水性的阻锈剂，宜在增喷附加涂层后测定其氯离子含量降低率。

4.7.4 对掺加氯盐、使用除冰盐和使用海水、海砂的混凝土承重结构加固时，必须采用喷涂型阻锈剂，并在构造上采取措施进行补救。

4.7.5 对混凝土承重结构破损界面的修复，不得在新浇的混凝土中采用以亚硝酸盐类成份为主的阳极型阻锈剂。

## 5 增大截面加固法

### 5.1 设计规定

5.1.1 本方法适用于钢筋混凝土受弯和受压构件的加固。

5.1.2 采用本方法时,按现场检测结果确定的原构件混凝土强度等级不应低于 C10。

5.1.3 当被加固构件界面处理及其粘结质量符合本规范要求时,可按整体截面计算。

5.1.4 采用增大截面加固钢筋混凝土结构构件时,其正截面承载力应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的基本假定进行计算。

### 5.2 受弯构件正截面加固计算

5.2.1 采用增大截面加固受弯构件时,应根据原结构构造和受力的实际情况,选用在受压区或受拉区增设现浇钢筋混凝土外加层的加固方式。

5.2.2 当仅在受压区加固受弯构件时,其承载力、抗裂度、钢筋应力、裂缝宽度及挠度的计算和验算,可按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 关于叠合式受弯构件的规定进行。若验算结果表明,仅需增设混凝土叠合层即可满足承载力要求时,也应按构造要求配置受压钢筋和分布钢筋。

5.2.3 当在受拉区加固矩形截面受弯构件时(图 5.2.3),其正截面受弯承载力应按下列公式确定:

$$M \leq \alpha_s f_y A_s \left( h_0 - \frac{x}{2} \right) + f_{y0} A_{s0} \left( h_{01} - \frac{x}{2} \right) + f'_{y0} A'_{s0} \left( \frac{x}{2} - a' \right) \quad (5.2.3-1)$$

$$\alpha_1 f_{c0} b x = f_{y0} A_{s0} + \alpha_s f_y A_s - f'_{y0} A'_{s0} \quad (5.2.3-2)$$

$$2a' \leq x \leq \xi_b h_0 \quad (5.2.3-3)$$

式中:  $M$ ——构件加固后弯矩设计值;

$\alpha_s$ ——新增钢筋强度利用系数;取  $\alpha_s = 0.9$ ;

$f_y$ ——新增钢筋的抗拉强度设计值;

$A_s$ ——新增受拉钢筋的截面面积;

$h_o$ 、 $h_{oi}$ ——构件加固后和加固前的截面有效高度；

$x$ ——等效矩形应力图形的混凝土受压区高度，简称混凝土受压区高度；

$f_{yo}$ 、 $f'_{yo}$ ——原钢筋的抗拉、抗压强度设计值；

$A_{so}$ 、 $A'_{so}$ ——原受拉钢筋和原受压钢筋的截面面积；

$a'$ ——纵向受压钢筋合力点至混凝土受压区边缘的距离；

$\alpha_1$ ——受压区混凝土矩形应力图的应力值与混凝土轴心抗压强度设计值的比值；当混凝土强度等级不超过 C50 时，取  $\alpha_1=1.0$ ；当混凝土强度等级为 C80 时，取  $\alpha_1=0.94$ ；其间按线性内插法确定；

$f_{co}$ ——原构件混凝土轴心抗压强度设计值；

$b$ ——矩形截面宽度；

$\xi_b$ ——构件增大截面加固后的相对界限受压区高度，按本规范第 5.2.4 条的规定计算。

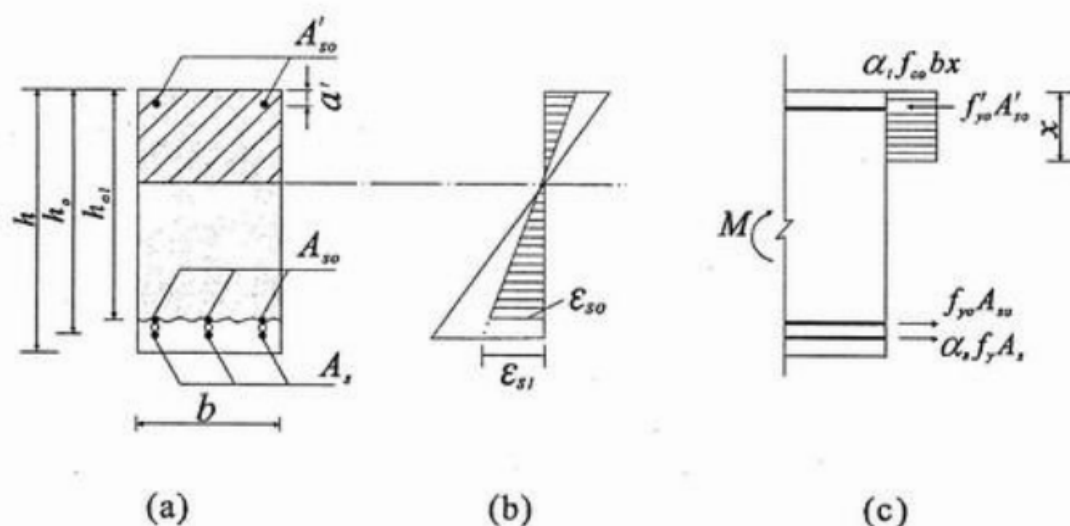


图 5.2.3 受弯构件加固计算

5.2.4 受弯构件增大截面加固后的相对界限受压区高度  $\xi_b$ ，应按下列公式确定：

$$\xi_b = \frac{\beta_1}{1 + \frac{\alpha_s f_y}{\epsilon_{cu} E_s} + \frac{\epsilon}{\epsilon_{cu}}_{sl}} \quad (5.2.4-1)$$

$$\epsilon_{sl} = (1.6 \frac{h_o}{h_{o1}} - 0.6) \epsilon_{so} \quad (5.2.4-2)$$



$$\varepsilon_{so} = \frac{M_{ok}}{0.87h_{o1}A_{so}E_{so}} \quad (5.2.4-3)$$

式中  $\beta_f$ ——计算系数, 当混凝土强度等级不超过 C50 时,  $\beta_f$  值取为 0.8; 当混凝土强度等级为 C80 时,  $\beta_f$  值取为 0.74, 其间接线性内插法确定;

$\varepsilon_{cu}$ ——混凝土极限压应变, 取  $\varepsilon_{cu}=0.0033$ ;

$\varepsilon_{sf}$ ——新增钢筋位置处, 按平截面假设确定的初始应变值; 当新增主筋与原主筋的连接采用短钢筋焊接时, 可近似取  $h_{o1}=h_o$ ,  $\varepsilon_{sf}=\varepsilon_{so}$ ;

$M_{ok}$ ——加固前受弯构件验算截面上原作用的弯矩标准值;

$\varepsilon_{so}$ ——加固前, 在初始弯矩  $M_{ok}$  作用下原受拉钢筋的应变值。

5.2.5 当按公式 (5.2.3-1) 及 (5.2.3-2) 算得的加固后混凝土受压区高度  $x$  与加固前原截面有效高度  $h_{o1}$  之比  $x/h_{o1}$  大于原截面相对界限受压区高度  $\xi_{bo}$  时, 应考虑原纵向受拉钢筋应力  $\sigma_{so}$  尚达不到  $f_{yo}$  的情况。此时, 应将上述两公式中的  $f_{yo}$  改为  $\sigma_{so}$ , 并重新进行验算。验算时,  $\sigma_{so}$  值可按式确定:

$$\sigma_{so} = \left( \frac{0.8h_{o1}}{x} - 1 \right) \varepsilon_{cu} E_s \leq f_{yo} \quad (5.2.5)$$

若算得的  $\sigma_{so} < f_{yo}$ , 则应按此验算结果确定加固钢筋用量; 若算得的结果  $\sigma_{so} \geq f_{yo}$ , 则表示原计算结果无需变动。

5.2.6 对翼缘位于受压区的 T 形截面受弯构件, 其受拉区增设现浇配筋混凝土层的正截面受弯承载力, 应按本规范第 5.2.3 条至第 5.2.5 条的计算原则和现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 关于 T 形截面受弯承载力的规定进行计算。

### 5.3 受弯构件斜截面加固计算

5.3.1 受弯构件加固后的斜截面应符合下列条件

当  $h_w/b \leq 4$  时

$$V \leq 0.25 \beta_c f_c b h_o \quad (5.3.1-1)$$

当  $h_w/b \geq 6$  时

$$V \leq 0.20 \beta_c f_c b h_o \quad (5.3.1-2)$$

当  $4 < h_w/b < 6$  时, 按线性内插法确定。

式中  $V$ ——构件加固后剪力设计值;

$\beta_c$ ——混凝土强度影响系数；按现行国家标准《混凝土结构设计规范》

GB 50010 的规定值采用；

$b$ ——矩形截面的宽度或 T 形、I 形截面的腹板宽度；

$h_w$ ——截面的腹板高度；对矩形截面，取有效高度；对 T 形截面，取有效高度减去翼缘高度；对 I 形截面，取腹板净高。

5.3.2 采用增大截面法加固受弯构件时，其斜截面受剪承载力应符合下列规定：

1 当受拉区增设配筋混凝土层，并采用 U 形箍与原箍筋逐个焊接时：

$$V \leq 0.7 f_{to} b h_{o1} + 0.7 \alpha_c f_t b (h_o - h_{o1}) + 1.25 f_{yvo} \frac{A_{svo}}{s_o} h_o \quad (5.3.2-1)$$

2 当增设钢筋混凝土三面围套，并采用加锚式或胶锚式箍筋时：

$$V \leq 0.7 f_{to} b h_{o1} + 0.7 \alpha_c f_t A_c + 1.25 \alpha_s f_{yv} \frac{A_{sv}}{s} h_o + 1.25 f_{yvo} \frac{A_{svo}}{s_o} h_{o1} \quad (5.3.2-2)$$

式中  $\alpha_c$ ——新增混凝土强度利用系数，取  $\alpha_c = 0.7$ ；

$f_t$ 、 $f_{to}$ ——新、旧混凝土轴心抗拉强度设计值；

$A_c$ ——三面围套新增混凝土截面面积；

$\alpha_s$ ——新增箍筋强度利用系数，取  $\alpha_s = 0.9$ ；

$f_{sv}$  和  $f_{svo}$ ——新箍筋和原箍筋的抗拉强度设计值；

$A_{sv}$  及  $A_{svo}$ ——同一截面内新箍筋各肢截面面积之和及原箍筋各肢截面面积之和；

$s$  或  $s_o$ ——新增箍筋或原箍筋沿构件长度方向的间距。

## 5.4 受压构件正截面加固计算

5.4.1 采用增大截面加固钢筋混凝土轴心受压构件（图 5.4.1）时，其正截面受压承载力应按式确定：

$$N = 0.9 \varphi [f_{co} A_{co} + f'_{yo} A'_{so} + \alpha_{cs} (f_c A_c + f'_y A'_s)] \quad (5.4.1)$$

式中  $N$ ——构件加固后的轴向压力设计值；

$\varphi$ ——构件稳定系数，根据加固后的截面尺寸，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定值采用；

$A_{co}$  和  $A_c$ ——构件加固前混凝土截面面积和加固后新增部分混凝土截面面积；

$f'_y, f'_{yo}$ ——新增纵向钢筋和原纵向钢筋的抗压强度设计值;

$A'_s$ ——新增纵向受压钢筋的截面面积;

$\alpha_{cs}$ ——综合考虑新增混凝土和钢筋强度利用程度的修正系数, 取  $\alpha_{cs}$  值为 0.8。

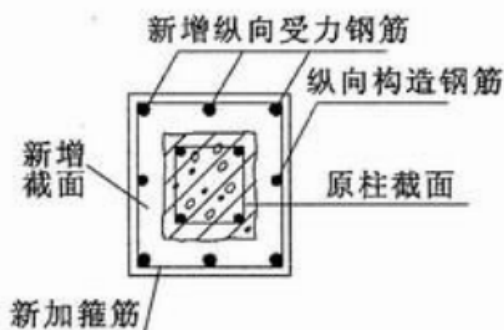


图 5.4.1 轴心受压构件增大截面加固

5.4.2 采用增大截面加固钢筋混凝土偏心受压构件时, 其矩形截面正截面承载力应按下列公式确定 (图 5.4.2):

$$N \leq \alpha_1 f_{cc} b x + 0.9 f'_y A'_s + f'_{yo} A'_{so} - 0.9 \sigma_s A_s - \sigma_{so} A_{so} \quad (5.4.2-1)$$

$$Ne \leq \alpha_1 f_{cc} b x (h_0 - \frac{x}{2}) + 0.9 f'_y A'_s (h_0 - a'_s) + f'_{yo} A'_{so} (h_0 - a'_{so}) + \sigma_{so} A_{so} (a_{so} - a_s) \quad (5.4.2-2)$$

$$\sigma_{so} = [\frac{0.8h_0}{x} - 1] E_s \varepsilon_{cu} \leq f_{yo} \quad (5.4.2-3)$$

$$\sigma_s = (\frac{0.8h_0}{x} - 1) E_s \varepsilon_{cu} \leq f_y \quad (5.4.2-4)$$

式中  $f_{cc}$ ——新旧混凝土组合截面的混凝土轴心抗压强度设计值, 可按  $f_{cc} = \frac{1}{2} (f_{co} + 0.9 f_c)$  确定;

$f_c, f_{co}$ ——分别为新旧混凝土轴心抗压强度设计值;

$\sigma_{so}$ ——原构件受拉边或受压较小边纵向钢筋应力; 当算得  $\sigma_{so} > f_{yo}$  时, 取  $\sigma_{so} = f_{yo}$ ;

$\sigma_s$ ——受拉边或受压较小边的新增纵向钢筋应力; 当算得  $\sigma_s > f_y$  时, 取  $\sigma_s = f_y$ ;

$A_{so}$ ——原构件受拉边或受压较小边纵向钢筋截面面积;

$A'_{so}$ ——原构件受压较大边纵向钢筋截面面积;

$e$ ——偏心距，为轴向压力设计值  $N$  的作用点至新增受拉钢筋合力点的距离，

按本节第 5.4.3 条确定；

$a_{so}$ ——原构件受拉边或受压较小边纵向钢筋合力点到加固后截面近边的距离；

$a'_{so}$ ——原构件受压较大边纵向钢筋合力点到加固后截面近边的距离；

$a_s$ ——受拉边或受压较小边新增纵向钢筋合力点至加固后截面近边的距离；

$a'_s$ ——受压较大边新增纵向钢筋合力点至加固后截面近边的距离；

$h_o$ ——受拉边或受压较小边新增纵向钢筋合力点至加固后截面受压较大边缘的距离。

$h_{oi}$ ——原构件截面有效高度；

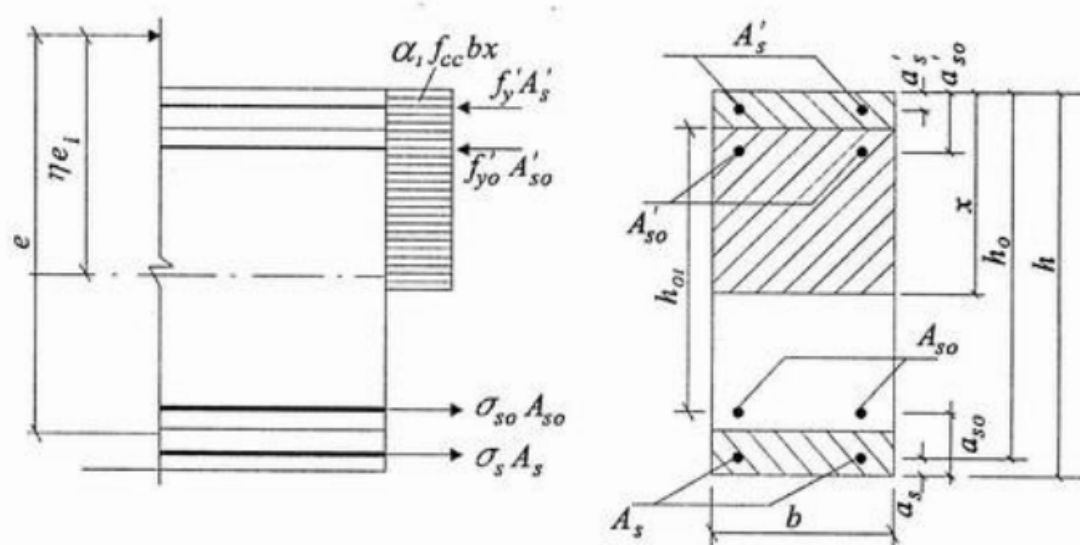


图 5.4.2 矩形截面偏心受压构件加固的计算

注：当为小偏心受压构件时，图中  $\sigma_{so}$  可能变向

5.4.3 偏心距  $e$  应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定进行计算，但其增大系数  $\eta$  尚应乘以下列修正系数  $\psi_\eta$ ：

1 对围套或其他对称形式的加固：

当  $e_o/h \geq 0.3$  时：  $\psi_\eta = 1.1$ ；

当  $e_o/h < 0.3$  时：  $\psi_\eta = 1.2$ 。

2 对非对称形式的加固：

当  $e_o/h \geq 0.3$  时：  $\psi_\eta = 1.2$ ；

当  $e_o/h < 0.3$  时：  $\psi_\eta = 1.3$ 。

## 5.5 构造规定

5.5.1 新增混凝土层的最小厚度，板不应小于 40mm；梁、柱，采用人工浇筑时，不应小于 60mm，采用喷射混凝土施工时，不应小于 50mm。

5.5.2 加固用的钢筋，应采用热轧钢筋。板的受力钢筋直径不应小于 8mm；梁的受力钢筋直径不应小于 12mm；柱的受力钢筋直径不应小于 14mm；加锚式箍筋直径不应小于 8mm；U 形箍直径应与原箍筋直径相同；分布筋直径不应小于 6mm。

5.5.3 新增受力钢筋与原受力钢筋的净间距不应小于 20mm，并应采用短筋或箍筋与原钢筋焊接；其构造应符合下列要求：

1 当新增受力钢筋与原受力钢筋的连接采用短筋（图 5.5.3, a）焊接时，短筋的直径不应小于 20mm，长度不应小于其直径的 5 倍，各短筋的中距不应大于 500mm。

2 当截面受拉区一侧加固时，应设置 U 形箍筋（图 5.5.3, b）。U 形箍筋应焊在原有箍筋上，单面焊缝长度应为箍筋直径的 10 倍，双面焊缝长度应为箍筋直径的 5 倍。

3 当用混凝土围套加固时，应设置环形箍筋或加锚式箍筋（图 5.5.3, d 或 e）。

注：当受构造条件限制必需采用植筋方式埋设 U 形箍（图 5.5.3, c）时，应采用锚固专用的结构胶种植；不得采用自行配制的环氧树脂砂浆或其他水泥砂浆。

5.5.4 梁的新增纵向受力钢筋，其两端应可靠锚固；柱的新增纵向受力钢筋的下端应伸入基础并应满足锚固要求；上端应穿过楼板与上层柱脚连接或在屋面板处封顶锚固。

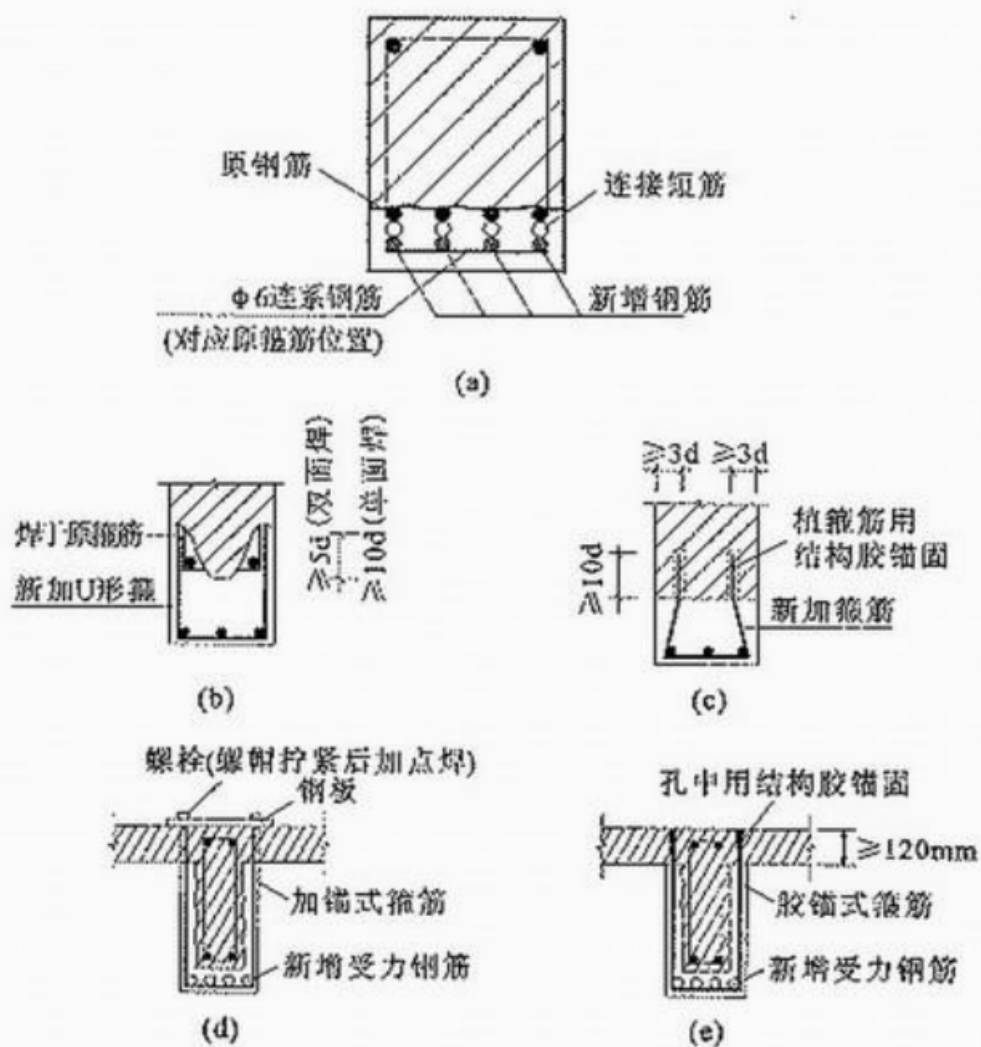


图 5.5.3 增大截面配置新增箍筋的连接构造

注:  $d$  为箍筋直径



## 6 置换混凝土加固法

### 6.1 设计规定

6.1.1 本方法适用于承重构件受压区混凝土强度偏低或有严重缺陷的局部加固。

6.1.2 采用本方法加固梁式构件时，应对原构件加以有效的支顶。当采用本方法加固柱、墙等构件时，应对原结构、构件在施工全过程中的承载状态进行验算、观测和控制，置换界面处的混凝土不应出现拉应力，若控制有困难，应采取支顶等措施进行卸荷。

6.1.3 采用本方法加固混凝土结构构件时，其非置换部分的原构件混凝土强度等级，按现场检测结果不应低于该混凝土结构建造时规定的强度等级。

6.1.4 当混凝土结构构件置换部分的界面处理及其施工质量符合本规范的要求时，其结合面可按整体工作计算。

### 6.2 加固计算

6.2.1 当采用置换法加固钢筋混凝土轴心受压构件时，其正截面承载力应符合下列规定：

$$N \leq 0.9\varphi (f_{co}A_{co} + \alpha_c f_c A_c + f'_{yo} A'_{so}) \quad (6.2.1)$$

式中  $N$ ——构件加固后的轴向压力设计值；

$\varphi$ ——受压构件稳定系数，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定值采用；

$\alpha_c$ ——置换部分新增混凝土的强度利用系数，当置换过程无支顶时，取  $\alpha_c = 0.8$ ；当置换过程采取有效的支顶措施时，取  $\alpha_c = 1.0$ ；

$f_{co}$  和  $f_c$ ——分别为原构件混凝土和置换部分新混凝土的抗压强度设计值；

$A_{co}$  和  $A_c$ ——分别为原构件截面扣去置换部分后的剩余截面面积和置换部分的截面面积。

6.2.2 当采用置换法加固钢筋混凝土偏心受压构件时，其正截面承载力应按下列两种情况分别计算：

1 压区混凝土置换深度  $h_n \geq x_n$ , 按新混凝土强度等级和现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定进行正截面承载力计算。

2 压区混凝土置换深度  $h_n < x_n$ , 其正截面承载力应符合下列规定:

$$N \leq \alpha_1 f_c b h_n + \alpha_1 f_{co} b (x_n - h_n) + f'_y A'_s - \sigma_s A_s \quad (6.2.2-1)$$

$$Ne \leq \alpha_1 f_c b h_n h_{on} + \alpha_1 f_{co} b (x_n - h_n) h_{oo} + f'_y A'_s (h_o - a'_s) \quad (6.2.2-2)$$

式中  $N$ ——构件加固后轴向压力设计值;

$e$ ——轴向压力作用点至受拉钢筋合力点的距离;

$f_c$ ——构件置换用混凝土抗压强度设计值;

$f_{co}$ ——原构件混凝土的抗压强度设计值;

$x_n$ ——加固后混凝土受压区高度;

$h_n$ ——受压区混凝土的置换深度;

$h_o$ ——纵向受拉钢筋合力点至受压区边缘的距离;

$h_{on}$ ——纵向受拉钢筋合力点至置换混凝土形心的距离;

$h_{oo}$ ——受拉区纵向钢筋合力点至原混凝土  $(x_n - h_n)$  部分形心的距离;

$A_s$ 、 $A'_s$ ——分别为受拉区、受压区纵向钢筋的截面面积;

$b$ ——矩形截面的宽度;

$a'_s$ ——纵向受压钢筋合力点至截面近边的距离;

$f'_y$ ——纵向受压钢筋的抗压强度设计值;

$\sigma_s$ ——纵向受拉钢筋的应力;

6.2.3 当采用置换法加固钢筋混凝土受弯构件时, 其正截面承载力应按下列两种情况分别计算:

1 压区混凝土置换深度  $h_n \geq x_n$ , 按新混凝土强度等级和现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定进行正截面承载力计算。

2 压区混凝土置换深度  $h_n < x_n$ , 其正截面承载力应按下列公式计算:

$$M \leq \alpha_1 f_c b h_n h_{on} + \alpha_1 f_{co} b (x_n - h_n) h_{oo} + f'_y A'_s (h_o - a'_s) \quad (6.2.3-1)$$

$$\alpha_1 f_c b h_n + \alpha_1 f_{co} b (x_n - h_n) = f_y A_s - f'_y A'_s \quad (6.2.3-2)$$

式中  $M$ ——构件加固后的弯矩设计值;

$f_{yo}$ 、 $f'_{yo}$ ——原构件纵向钢筋的抗拉、抗压强度设计值;

### 6.3 构造规定

6.3.1 置换用混凝土的强度等级应比原构件混凝土提高一级，且不应低于 C25。

6.3.2 混凝土的置换深度，板不应小于 40mm；梁、柱，采用人工浇筑时，不应小于 60mm，采用喷射法施工时，不应小于 50mm。置换长度应按混凝土强度和缺陷的检测及验算结果确定，但对非全长置换的情况，其两端应分别延伸不小于 100mm 的长度。

6.3.3 置换部分应位于构件截面受压区内，且应根据受力方向，将有缺陷混凝土剔除；剔除位置应在沿构件整个宽度的一侧或对称的两侧；不得仅剔除截面的一隅。

## 7 外加预应力加固法

### 7.1 设计规定

7.1.1 本方法适用于下列场合的梁、板、柱和桁架的加固：

- 1 原构件截面偏小或需要增加其使用荷载；
- 2 原构件需要改善其使用性能；
- 3 原构件处于高应力、应变状态，且难以直接卸除其结构上的荷载。

7.1.2 采用外加预应力方法加固混凝土结构时，应根据被加固构件的受力性质、构造特点和现场条件，选择适用的预应力方法：

1 对正截面受弯承载力不足的梁、板构件，可采用预应力水平拉杆进行加固；若正截面和斜截面均需加固的梁式构件，可采用下撑式预应力拉杆进行加固。若工程需要，且构造条件允许，也可同时采用水平拉杆和下撑式拉杆进行加固。

2 对受压承载力不足的轴心受压柱、小偏心受压柱以及弯矩变号的大偏心受压柱，可采用双侧预应力撑杆进行加固；若弯矩不变号，也可采用单侧预应力撑杆进行加固；

3 对桁架中承载力不足的轴心受拉构件和偏心受拉构件，可采用预应力拉杆进行加固；对受拉钢筋配置不足的大偏心受压柱，也可采用预应力拉杆进行加固。

7.1.3 当采用外加预应力方法对钢筋混凝土结构、构件进行加固时，其原构件的混凝土强度等级应基本符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 对预应力结构混凝土强度等级的要求。

7.1.4 当采用本方法加固混凝土结构时，其新增的预应力拉杆、撑杆、缀板以及各种紧固件和锚固件等均应进行可靠的防锈蚀处理。

7.1.5 采用本方法加固的混凝土结构，其长期使用的环境温度不应高于 60℃。

7.1.6 当被加固构件的表面有防火要求时，应按现行国家标准《建筑防火设计规范》GB 50016 规定的耐火等级及耐火极限要求，对预应力构件及其连接进行防护。

## 7.2 加固计算

7.2.1 当采用预应力水平拉杆加固钢筋混凝土梁时, 应按下列规定进行计算。

1 估算预应力水平拉杆的总截面面积  $A_p$ :

$$A_{p,est} \geq \frac{\Delta M}{f_{py} \cdot \eta_1 h_{o1}} \quad (7.2.1-1)$$

式中  $\Delta M$  ——加固梁验算点处受弯承载力需要的增量;

$f_{py}$  ——预应力钢拉杆抗拉强度设计值;

$h_{o1}$  ——由被加固梁上缘到水平拉杆截面形心的距离;

$\eta_1$  ——内力臂系数, 取 0.85。

2 计算在新增外荷载作用下该拉杆产生的作用效应增量  $\Delta N$ 。

3 确定水平拉杆应施加的预应力值  $\sigma_p$ 。确定时, 除应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定控制张拉应力并计入预应力损失值外, 尚应按下式进行验算:

$$\sigma_p + (\Delta N/A_p) \leq \beta_1 f_{py} \quad (7.2.1-2)$$

式中  $A_p$  ——实际选用的预应力水平拉杆总截面面积;

$\beta_1$  ——两根水平拉杆的协同工作系数, 取 0.85。

4 验算被加固梁跨中和支座截面的偏心受压承载力, 以及支座附近斜截面的受剪承载力。验算时, 应将水平拉杆的作用效应作为外力。若验算结果不能满足现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的要求, 应加大拉杆截面或改用其他加固方法。

5 施工控制量应按采用的施加预应力方法计算。若采用千斤顶张拉, 可按张拉力  $\sigma_p A_p$  控制; 若按伸长率控制, 伸长率中应计入裂缝闭合的影响。

7.2.2 采用两根预应力水平拉杆横向拉紧时, 横向张拉量  $\Delta H$  (图 7.2.2), 可近似按下式计算:

$$\Delta H \leq L_1 \sqrt{2\sigma_p / E_s} \quad (7.2.2)$$

式中  $\Delta H$  ——横向张拉量;

$L_1$  ——张拉后的斜段在张拉前的长度;

$E_s$  ——拉杆钢筋的弹性模量。

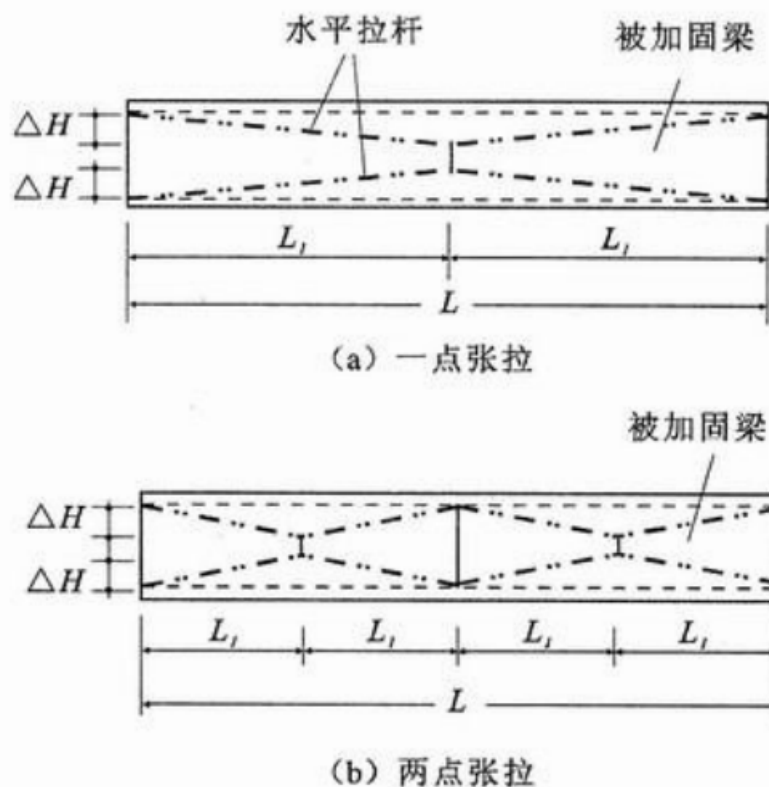


图 7.2.2 水平拉杆横向张拉量计算

7.2.3 采用预应力下撑式拉杆加固钢筋混凝土梁时，应按下列规定进行计算：

- 1 估算预应力下撑式拉杆的截面面积  $A_p$ ：

$$A_p = \frac{\Delta M}{f_{py} \eta_2 h_{02}} \quad (7.2.3 - 1)$$

式中  $A_p$  ——预应力下撑式拉杆的总截面面积；

$f_{py}$  ——下撑式钢拉杆抗拉强度设计值；

$h_{02}$  ——由下撑式拉杆中部水平段的截面形心到被加固梁上缘的垂直距离；

$\eta_2$  ——内力臂系数，取 0.80。

- 2 计算在新增外荷载作用下该拉杆中部水平段产生的作用效应增量  $\Delta N$ 。

- 3 确定下撑式拉杆应施加的预应力值  $\sigma_p$ 。确定时，除应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的确定控制张拉应力并计入预应力损失值外，尚应按下式进行验算：

$$\sigma_p + (\Delta N / A_p) < \beta_2 f_{py} \quad (7.2.3 - 2)$$

式中  $\beta_2$  ——下撑式拉杆的协同工作系数，取 0.80。



4 验算被加固梁在跨中和支座截面的偏心受压承载力，以及由支座至拉杆弯折处的斜截面受剪承载力。验算时，应将下撑式拉杆中的作用效应作为外力。若验算结果不能满足现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的要求时，应加大拉杆截面或改用其他加固方法。

5 施工控制量应按本规范第 7.2.1 条第 5 款的规定计算。

7.2.4 当采用两根预应力下撑式拉杆进行横向张拉时，其拉杆中部横向张拉量  $\Delta H$  可按下列公式计算：

$$\Delta H \leq (L_2/2) \sqrt{2\sigma_p/E_s} \quad (7.2.4)$$

式中  $L_2$ ——拉杆中部水平段的长度。

7.2.5 加固梁的挠度  $\omega$ ，可用下列公式进行近似计算：

$$\omega = \omega_1 - \omega_p + \omega_2 \quad (7.2.5)$$

式中  $\omega_1$ ——加固前梁在原荷载标准值作用下产生的挠度；计算时，梁的刚度  $B_1$ ，可根据原梁开裂情况，近似取  $0.35E_cI_o \sim 0.50E_cI_o$ 。

$\omega_p$ ——张拉预应力引起的梁的反拱；计算时，梁的刚度  $B_p$  可近似取为  $0.75 E_cI_o$ ；

$\omega_2$ ——加固结束后，在后加荷载作用下梁所产生的挠度；计算时，梁的刚度  $B_2$  可取等于  $B_p$ 。

$E_c$  和  $I_o$ ——分别为原梁的混凝土弹性模量和换算截面惯性距。

7.2.6 采用预应力拉杆加固桁架受拉杆件时，应按下列规定进行计算：

- 1 计算在设计荷载作用下原桁架各杆件的作用效应；
- 2 根据被加固杆件的原拉力设计值  $N_i$  与原截面受拉承载力设计值  $N_{ui}$  的差值，按下式估算预应力拉杆的总截面面积  $A_{p,est}$ ：

$$A_{p,est} \geq (N_i - N_{ui}) / \beta_1 f_{yp} \quad (7.2.6)$$

- 3 选定预应力拉杆的总截面面积  $A_p$  和应施加的预应力值  $\sigma_p$ ，并将  $N_p = A_p \sigma_p$  视为外力（图 7.2.6），计算其在桁架各杆件中引起的作用效应；

- 4 将 1、3 两款的作用效应叠加，验算各杆件承载力，必要时，还应验算其抗裂度及桁架挠度等，若验算结果不符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的要求，应调整  $A_p$  值或  $\sigma_p$  值，直至  $N_i \leq N_{ui}$ ；

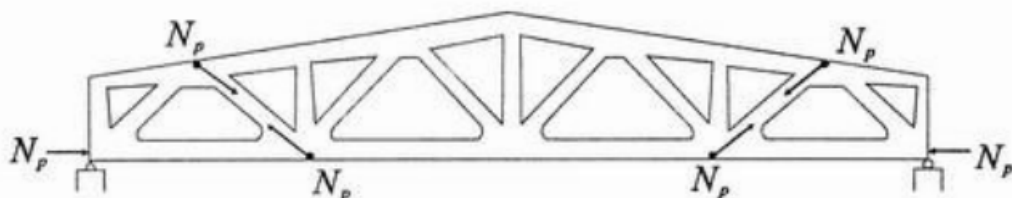


图 7.2.6 预应力拉杆加固桁架杆件

7.2.7 采用预应力双侧撑杆加固轴心受压的钢筋混凝土柱时, 应按下列规定进行计算:

- 1 确定加固后轴向压力设计值  $N$ ;
- 2 按下式计算原柱的轴心受压承载力  $N_o$  设计值:

$$N_o = 0.9\varphi (f_{co}A_{co} + f'_{yo}A'_{so}) \quad (7.2.7-1)$$

式中  $\varphi$  ——原柱的稳定系数;

$A_{co}$  ——原柱的截面面积;

$f_{co}$  ——原柱的混凝土抗压强度设计值;

$A'_{so}$  ——原柱的受压纵向钢筋总截面面积;

$f'_{yo}$  ——原柱的纵向钢筋抗压强度设计值。

- 3 按下式计算需由撑杆承受的轴向压力  $N_i$  设计值:

$$N_i = N - N_o \quad (7.2.7-2)$$

式中  $N$  ——柱加固后轴向压力设计值。

- 4 按下式计算预应力撑杆的总截面面积:

$$N_i \leq \varphi \beta_s f'_{py} A'_p \quad (7.2.7-3)$$

式中  $\beta_s$  ——撑杆与原柱的协同工作系数, 取 0.9;

$f'_{py}$  ——撑杆钢材的抗压强度设计值;

$A'_p$  ——预应力撑杆的总截面面积。

预应力撑杆每侧杆肢由两根角钢或一根槽钢构成。

- 5 柱加固后轴心受压承载力设计值可按下式验算:

$$N \leq 0.9\varphi (f_{co}A_{co} + f'_{yo}A'_{so} + \beta_s f'_{py}A'_p) \quad (7.2.7-4)$$

6 缀板应按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 进行设计计算, 其尺寸和间距应保证撑杆受压肢及单根角钢在工时不致失稳。

7 撑杆施工时应预加的压应力值  $\sigma'_p$ ，可按下式近似计算：

$$\sigma'_p \leq \varphi_1 \beta_4 f'_{py} \quad (7.2.7-5)$$

式中  $\varphi_1$ ——撑杆的稳定系数。确定该系数所需的撑杆计算长度，当采取横向张拉方法时，取其全长的 1/2；当采用顶升方法时，取其全长；按格构式压杆计算其稳定系数；

$\beta_4$ ——经验系数，取 0.75。

8 施工控制量应按采用的施加预应力方法计算：

1) 当用千斤顶、楔子等进行竖向顶升安装撑杆时，顶升量  $\Delta L$  可按下式计算：

$$\Delta L = \frac{L \sigma'_p}{\beta_5 E_a} + a_1 \quad (7.2.7-6)$$

式中  $E_a$ ——撑杆钢材的弹性模量；

$L$ ——撑杆的全长；

$a_1$ ——撑杆端顶板与混凝土间的压缩量，取 2~4mm；

$\beta_5$ ——经验系数，取 0.90。

2) 当用横向张拉法（图 7.2.7）安装撑杆时，横向张拉量  $\Delta H$  按下式近似计算：

$$\Delta H \leq \frac{L}{2} \sqrt{\frac{2.2 \sigma'_p}{E_a}} + a_2 \quad (7.2.7-7)$$

式中  $a_2$ ——综合考虑各种误差因素对张拉量影响的修正项，可取  $a_2 = 5\text{mm} \sim 7\text{mm}$ 。

实际弯折撑杆肢时，宜将长度中点处的横向弯折量取为  $\Delta H + (3\text{mm} \sim 5\text{mm})$ ，但施工中只收紧  $\Delta H$ ，使撑杆处于预压状态。

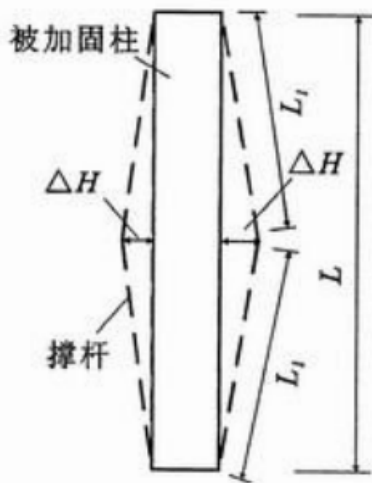


图 7.2.7 预应力撑杆横向张拉量计算图

7.2.8 采用单侧预应力撑杆加固弯矩不变号的偏心受压柱时,应按下列规定进行计算:

1 确定该柱加固后轴向压力  $N$  和弯矩  $M$  的设计值;

2 确定撑杆肢承载力,可试用两根较小的角钢或一根槽钢作撑杆肢,其有效受压承载力取为  $0.9 f'_{py} A'_p$ ;

3 原柱加固后需承受的偏心受压荷载应按下列公式计算:

$$N_{o1} = N - 0.9 f'_{py} A'_p \quad (7.2.8-1)$$

$$M_{o1} = M - 0.9 f'_{py} A'_p a/2 \quad (7.2.8-2)$$

4 原柱截面偏心受压承载力应按下列公式验算:

$$N_{o1} \leq \alpha_1 f_{co} b x + f'_{yo} A'_{so} - \sigma_{so} A_{so} \quad (7.2.8-3)$$

$$N_{o1} e \leq \alpha_1 f_{co} b x (h_o - 0.5x) + f'_{yo} A'_{so} (h_o - a'_{so}) \quad (7.2.8-4)$$

$$e = e_o + 0.5h - a'_{so} \quad (7.2.8-5)$$

$$e_o = M_{o1} / N_{o1} \quad (7.2.8-6)$$

式中  $b$ ——原柱宽度;

$x$ ——原柱的混凝土受压区高度;

$\sigma_{so}$ ——原柱纵向受拉钢筋的应力;

$e$ ——轴向力作用点至原柱纵向受拉钢筋合力点之间的距离;

$a'_{so}$ ——纵向受压钢筋合力点至受压边缘的距离。

当原柱偏心受压承载力不满足上述要求时,可加大撑杆截面面积,再重新验算。

5 缀板的设计应符合现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的有关规定,并应保证撑杆肢或角钢在施工时不失稳。

6 撑杆施工时应预加的压应力值  $\sigma'_p$  宜取为 50 MPa ~80 MPa。

7 横向张拉量  $\Delta H$  按公式 (7.2.7-7) 确定。

7.2.9 采用双侧预应力撑杆加固弯矩变号的偏心受压钢筋混凝土柱时,可按受压荷载较大一侧用单侧撑杆加固的步骤进行计算。选用的角钢截面面积应能满足柱加固后需要承受的最不利偏心受压荷载;柱的另一侧应采用同规格的角钢组成压杆肢,使撑杆的双侧截面对称。

缀板设计、预加压应力值 $\sigma_p$ 的确定以及施工时横向张拉量 $\Delta H$ 或竖向顶升量 $\Delta L$ 的计算可按本规范第 7.2.7 和第 7.2.8 条进行。

### 7.3 构造规定

7.3.1 采用预应力拉杆进行加固时，其构造设计应考虑施工采用的张拉方法。当采用机张法时，应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 及《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定进行设计；当采用横向张拉法时，应按下列规定进行设计：

1 采用预应力水平拉杆或下撑式拉杆加固梁，且加固的张拉力在 150kN 以下时，可用两根直径为 12mm~30mm 的 HPB 235 级钢筋；若加固的预应力较大，应用 HRB 335 级钢筋。当加固梁的截面高度大于 600mm 时，应用型钢拉杆。

采用预应力拉杆加固桁架时，可用 HRB 335 钢筋、HRB 400 钢筋、精轧螺纹钢、碳素钢丝或钢绞线等高强度钢材。

2 预应力水平拉杆或预应力下撑式拉杆中部的水平段距被加固梁或桁架下缘的净空宜为 30mm~80mm。

3 预应力下撑式拉杆（图 7.3.1）的斜段宜紧贴在被加固梁的梁肋两旁；在被加固梁下应设厚度不小于 10mm 的钢垫板，其宽度宜与被加固梁宽相等，其梁跨度方向的长度不应小于板厚的 5 倍；钢垫板下应设直径不小于 20mm 的钢筋棒，其长度不应小于被加固梁宽加 2 倍拉杆直径再加 40mm；钢垫板宜用结构胶固定位置，钢筋棒可用点焊固定位置。

4 预应力拉杆端部的锚固构造：

1) 被加固构件端部有传力预埋件可利用时，可将预应力拉杆与传力预埋件焊接，通过焊缝传力。

2) 当无传力预埋件时，宜焊制专门的钢套箍，套在混凝土构件上与拉杆焊接。钢套箍可用型钢焊成，也可用钢板加焊加劲肋（图 7.3.1②）。钢套箍与混凝土构件间的空隙，应用细石混凝土填塞。钢套箍对构件混凝土的局部受压承载力应经验算合格。

5 横向张拉应采用工具式拉紧螺杆（图 7.3.1④）。拉紧螺杆的直径应按张拉力的大小计算确定，但不应小于 16mm，其螺帽的高度不得小于螺杆直径的 1.5 倍。

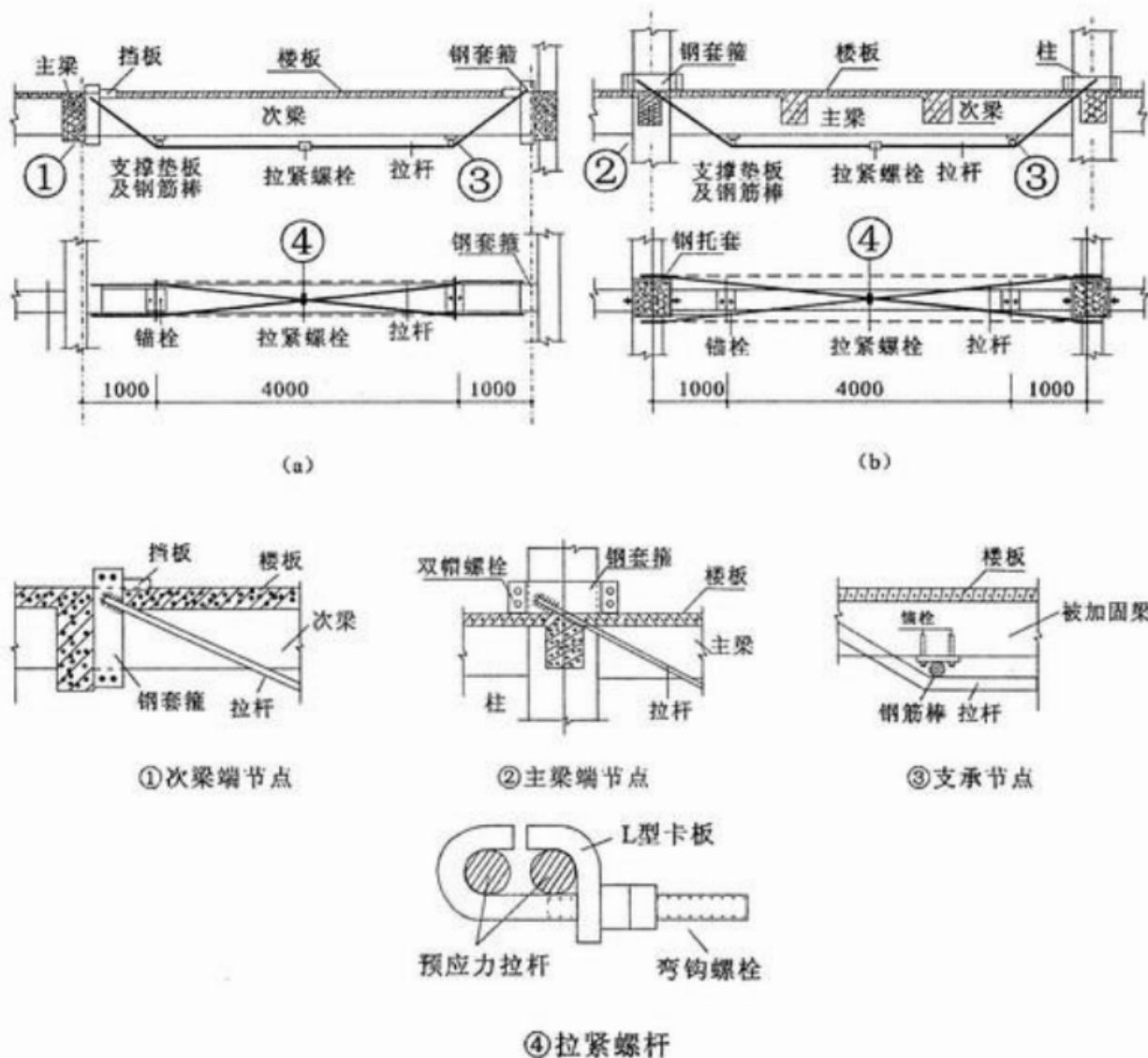


图 7.3.1 预应力下撑式拉杆构造

### 7.3.2 采用预应力撑杆进行加固时，其构造设计应遵守下列规定：

1 预应力撑杆用的角钢，其截面不应小于  $50\text{mm} \times 50\text{mm} \times 5\text{mm}$ 。压杆肢的两根角钢用缀板连接，形成槽形的截面；也可用单根槽钢作压杆肢。缀板的厚度不得小于  $6\text{mm}$ ，其宽度不得小于  $80\text{mm}$ ，其长度应按角钢与被加固柱之间的空隙大小确定。相邻缀板间的距离应保证单个角钢的长细比不大于 40。

2 压杆肢末端的传力构造（图 7.3.2），应采用焊在压杆肢上的顶板与承压角钢顶紧，通过抵承传力。承压角钢嵌入被加固住的柱身混凝土或柱头混凝土内不应少于  $25\text{mm}$ 。传力顶板宜用厚度不小于  $16\text{mm}$  的钢板，其与角钢肢焊接的板面及与承压角钢抵承的面均应刨平。承压角钢截面不得小于  $100\text{mm} \times 75\text{mm} \times 12\text{mm}$ 。



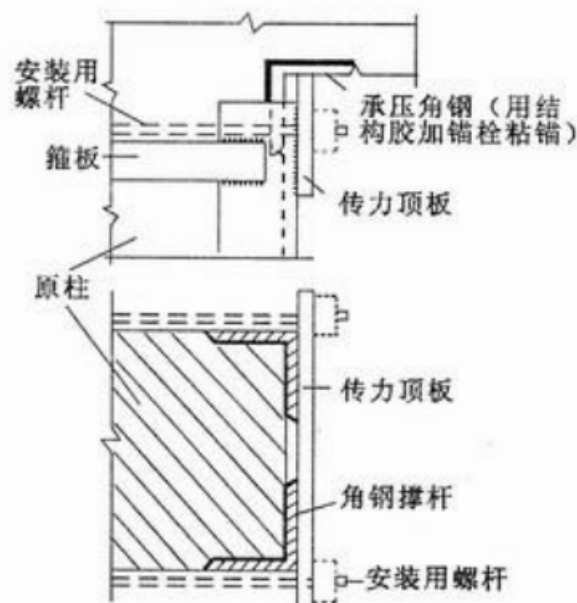


图 7.3.2 - 1 撑杆端传力构造

7.3.3 当预应力撑杆采用螺栓横向拉紧的施工方法时，双侧加固的撑杆，其两个压杆肢的中部应向外弯折，并应在弯折处采用工具式拉紧螺杆建立预应力并复位（图 7.3.3 - 1）。单侧加固的撑杆只有一个压杆肢，仍应在中点处弯折，并应采用工具式拉紧螺杆进行横向张拉与复位（图 7.3.3 - 2）。

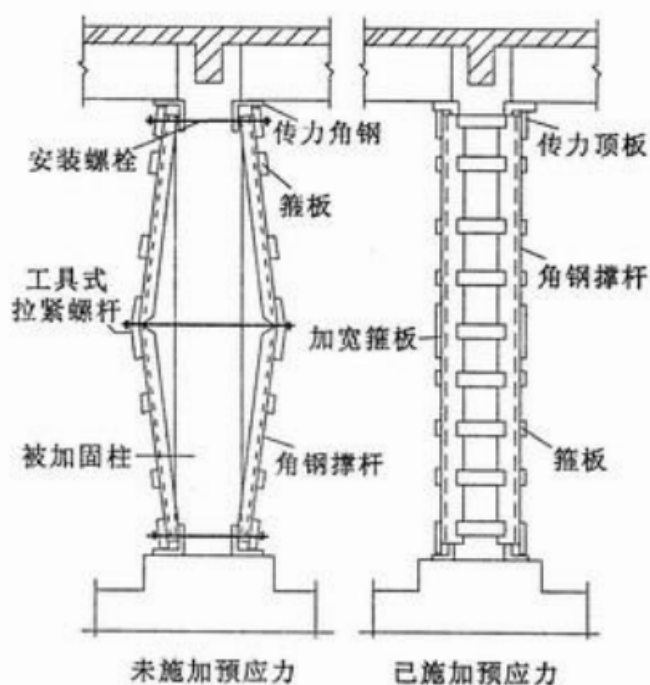


图 7.3.3 - 1 钢筋混凝土柱双侧预应力加固撑杆构造

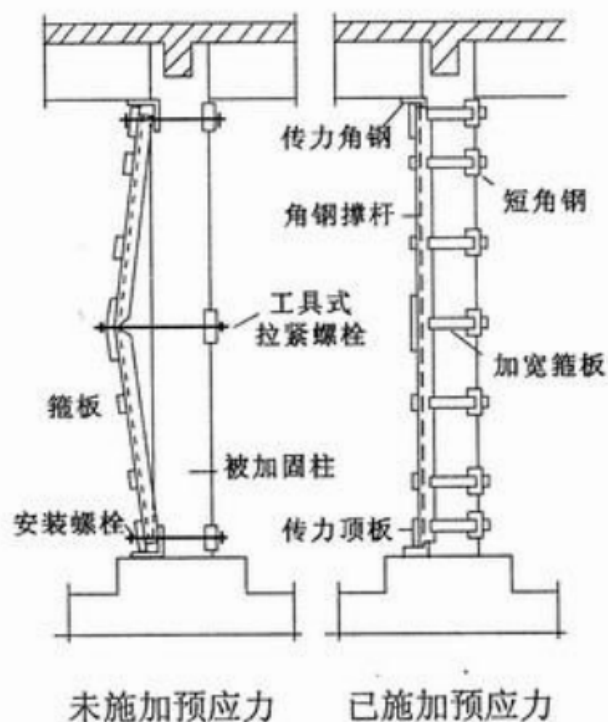


图 7.3.3 - 2 钢筋混凝土柱单侧预应力加固撑杆构造

7.3.4 压杆肢的弯折与复位应符合下列规定：

1 弯折压杆肢前，应在角钢的侧立肢上切出三角形缺口。缺口背面，应补焊钢板予以加强（图 7.3.4）。

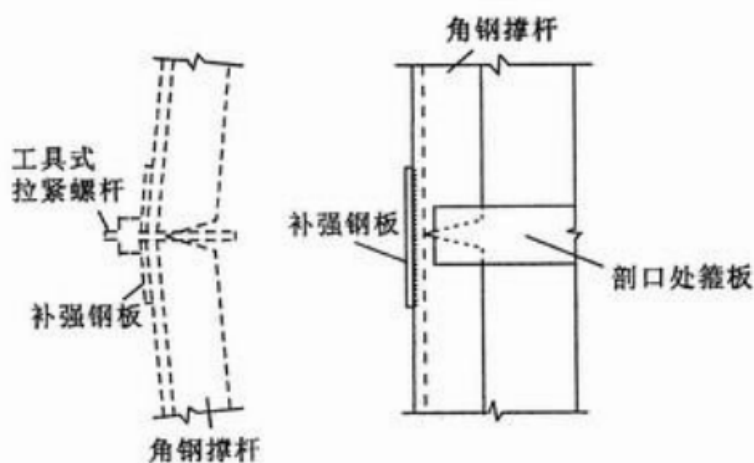


图 7.3.4 角钢缺口处加焊钢板补强

2 弯折压杆肢的复位应采用工具式拉紧螺栓，其直径应按张拉力的大小计算确定，但不应小于 16mm，其螺帽高度不应小于螺杆直径的 1.5 倍。

## 8 外粘型钢加固法

### 8.1 设计规定

8.1.1 外粘型钢（角钢或槽钢）加固法适用于需要大幅度提高截面承载能力和抗震能力的钢筋混凝土梁、柱结构的加固。

8.1.2 采用外粘型钢加固混凝土结构构件（图 8.1.1）时，应采用改性环氧树脂胶粘剂进行灌注。

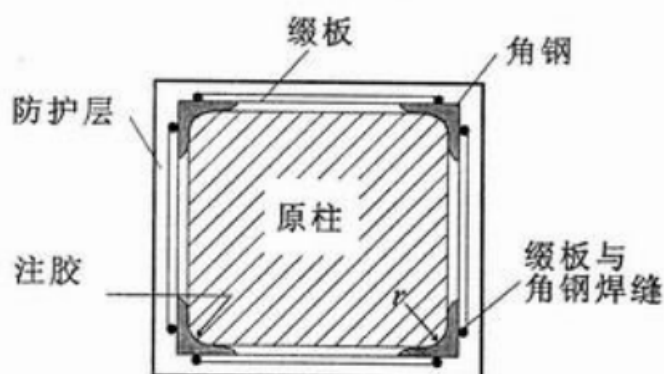


图 8.1.1 外粘型钢加固

8.1.3 混凝土结构构件采用符合本规范设计要求的外粘型钢加固时，其加固后的承载力和截面刚度可按整截面计算；其截面刚度  $EI$  的近似值，可按下式计算：

$$EI = E_{co}I_{co} + 0.5E_a A_a a_a^2 \quad (8.1.3)$$

式中  $E_{co}$  和  $E_a$ ——分别为原构件混凝土和加固型钢的弹性模量；

$I_{co}$ ——原构件截面惯性矩；

$A_a$ ——加固构件一侧外粘型钢截面面积；

$a_a$ ——受拉与受压两侧型钢截面形心间的距离。

### 8.2 加固计算

8.2.1 采用外粘角钢或槽钢加固钢筋混凝土轴心受压构件时，其正截面承载力应按下式计算：

$$N \leq 0.9\varphi (f_{co} A_{co} + f'_{yo} A'_{so} + \alpha_a f'_a A'_a) \quad (8.2.1)$$

式中  $N$ ——构件加固后轴向压力设计值；

$\varphi$ ——轴心受压构件的稳定系数，应根据加固后的截面尺寸，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 采用；

$\alpha_a$ ——新增型钢强度利用系数，除抗震设计取  $\alpha_a = 1.0$  外，其他取  $\alpha_a = 0.9$ ；

$f'_a$ ——新增型钢抗压强度设计值，应按现行国家标准《钢结构设计规范》GB 50017 的规定采用；

$A'_a$ ——全部受压肢型钢的截面面积。

8.2.2 采用外粘型钢加固钢筋混凝土偏心受压构件时，其矩形截面正截面承载力应按下列公式确定：

$$N \leq \alpha_1 f_{co} b x + f'_{yo} A'_{so} - \sigma_{so} A_{so} + \alpha_a f'_a A'_a - \alpha_a \sigma_a A_a \quad (8.2.2-1)$$

$$Ne \leq \alpha_1 f_{co} b x (h_o - \frac{x}{2}) + f'_{yo} A'_{so} (h_o - a'_{so}) + \sigma_{so} A_{so} (a_{so} - a_a) + \alpha_a f'_a A'_a (h_o - a'_a) \quad (8.2.2-2)$$

$$\sigma_{so} = \left[ \frac{0.8 h_{o1}}{x} - 1 \right] E_{so} \varepsilon_{cu} \quad (8.2.2-3)$$

$$\sigma_a = \left( \frac{0.8 h_o}{x} - 1 \right) E_a \varepsilon_{cu} \quad (8.2.2-4)$$

式中  $N$ ——构件加固后轴向压力设计值；

$b$ ——原构件截面宽度；

$x$ ——混凝土受压区高度；

$f_{co}$ ——原构件混凝土轴心抗压强度设计值；

$f'_{yo}$ ——原构件受压区纵向钢筋抗压强度设计值；

$A'_{so}$ ——原构件受压较大边纵向钢筋截面面积；

$\sigma_{so}$ ——原构件受拉边或受压较小边纵向钢筋应力，当  $\sigma_{so} > f_{yo}$  时，应取  $\sigma_{so} = f_{yo}$ ；

$A_{so}$ ——原构件受拉边或受压较小边纵向钢筋截面面积；

$\alpha_a$ ——新增型钢强度利用系数，除抗震设计取  $\alpha_a = 1.0$  外，其他取  $\alpha_a = 0.9$ ；

$f'_a$ ——型钢抗压强度设计值；

$A'_a$ ——全部受压肢型钢截面面积；

$\sigma_a$ ——受拉肢或受压较小肢型钢的应力，可按式 8.2.2-4 式计算，也可近似

取  $\sigma_a = \sigma_{so}$ ；

$A_a$ ——全部受拉肢型钢截面面积；

$e$ ——偏心距，为轴向压力设计值作用点至受拉区型钢形心的距离，按本规范第 5.4.3 条计算确定；

$h_{o1}$ ——加固前原截面有效高度；

$h_o$ ——加固后受拉肢或受压较小肢型钢的截面形心至原构件截面受压较大边的距离；

$a'_{so}$ ——原截面受压较大边纵向钢筋合力点至原构件截面近边的距离；

$a'_a$ ——受压较大肢型钢截面形心至原构件截面近边的距离；

$a_{so}$ ——原构件受拉边或受压较小边纵向钢筋合力点至原截面近边的距离；

$a_a$ ——受拉肢或受压较小肢型钢截面形心至原构件截面近边的距离；

$E_a$ ——型钢的弹性模量。

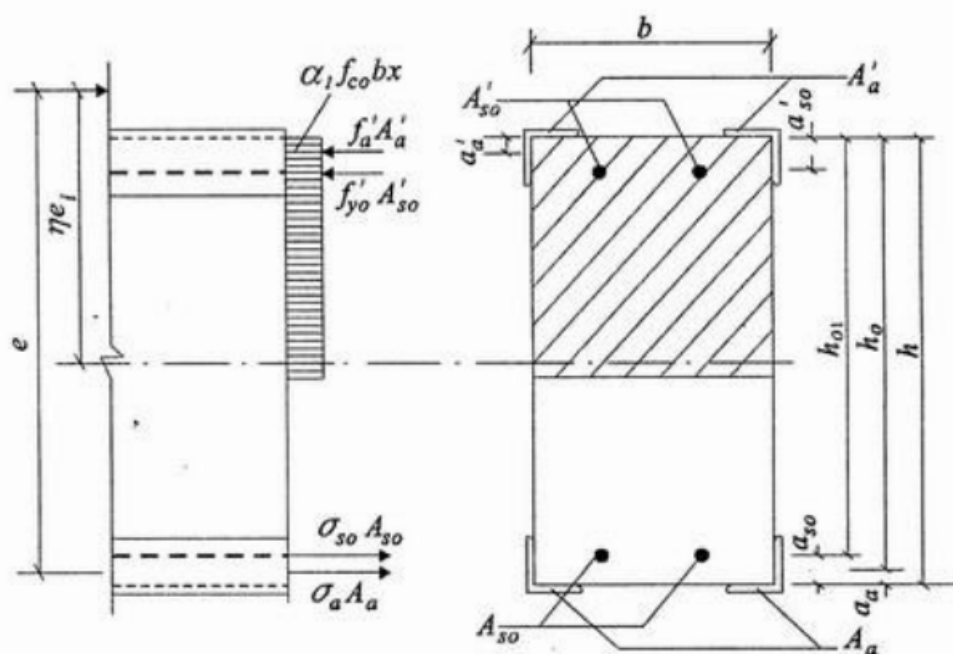


图 8.2.2 外粘型钢加固柱的截面计算简图

注：当为小偏心受压构件时，图中  $\sigma_{so}$  可能变号

8.2.3 采用外粘型钢加固钢筋混凝土梁时，应在梁截面的四隅粘贴角钢，若梁的受压区有翼缘或有楼板时，应将梁顶面两隅的角钢改为钢板。当梁的加固构造符合本规范第 8.3 节规定时，其正截面及斜截面的承载力可按本规范第 10 章进行计算，但应将对应的钢板截面面积改为角钢截面面积。

## 8.3 构造规定

8.3.1 采用外粘型钢加固法时, 应优先选用角钢; 角钢的厚度不应小于 5mm, 角钢的边长, 对梁和桁架, 不应小于 50mm, 对柱不应小于 75mm。沿梁、柱轴线方向应每隔一定距离用扁钢制作的箍板 (图 8.3.1) 或缀板 (图 8.3.2,a、b) 与角钢焊接。当有楼板时, U 形箍板或其附加的螺杆应穿过楼板, 与另加的条形钢板焊接 (图 8.3.1,a、b) 或嵌入楼板后予以胶锚 (图 8.3.1,c)。箍板与缀板均应在胶粘前与加固角钢焊接。箍板或缀板截面不应小于  $40\text{mm} \times 4\text{mm}$ , 其间距不应大于  $20r$  ( $r$  为单根角钢截面的最小回转半径), 且不应大于 500mm; 在节点区, 其间距应适当加密。

注: 当钢箍板需穿过楼板或胶锚时, 可采用半重叠钻孔法, 将圆孔扩成矩形扁孔; 待箍板穿插安装、焊接完毕后, 再用结构胶注入孔中予以封闭或锚固。

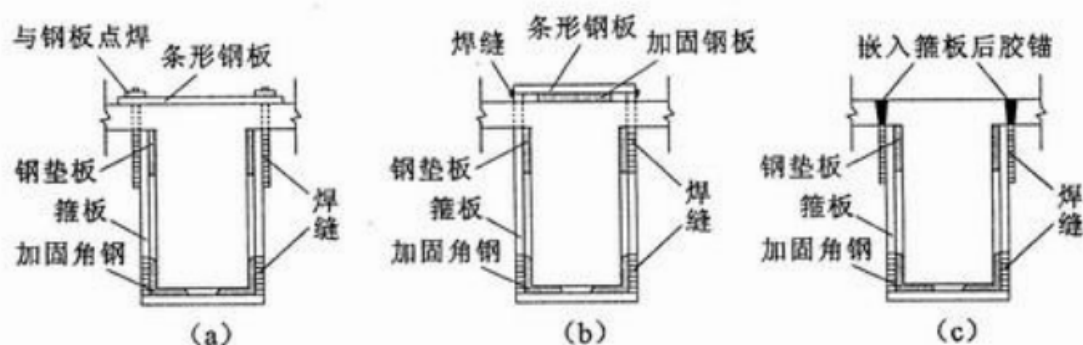


图 8.3.1 加锚式箍板

8.3.2 外粘型钢的两端应有可靠的连接和锚固 (图 8.3.2)。对柱的加固, 角钢下端应锚固于基础中; 中间应穿过各层楼板, 上端应伸至加固层的上一层楼板底或屋面板底; 若相邻两层柱的尺寸不同, 可将上下柱外粘型钢交汇于楼面, 并利用其内外间隔嵌入厚度不小于 10mm 的钢板焊成水平钢框, 与上下柱角钢及上柱钢箍相互焊接固定。对梁的加固, 梁角钢 (或钢板) 应与柱角钢相互焊接。必要时, 可加焊扁钢带或钢筋条, 使柱两侧的梁相互连接 (图 8.3.2, c); 对桁架的加固, 角钢应伸过该杆件两端的节点, 或设置节点板将角钢焊在节点板上。



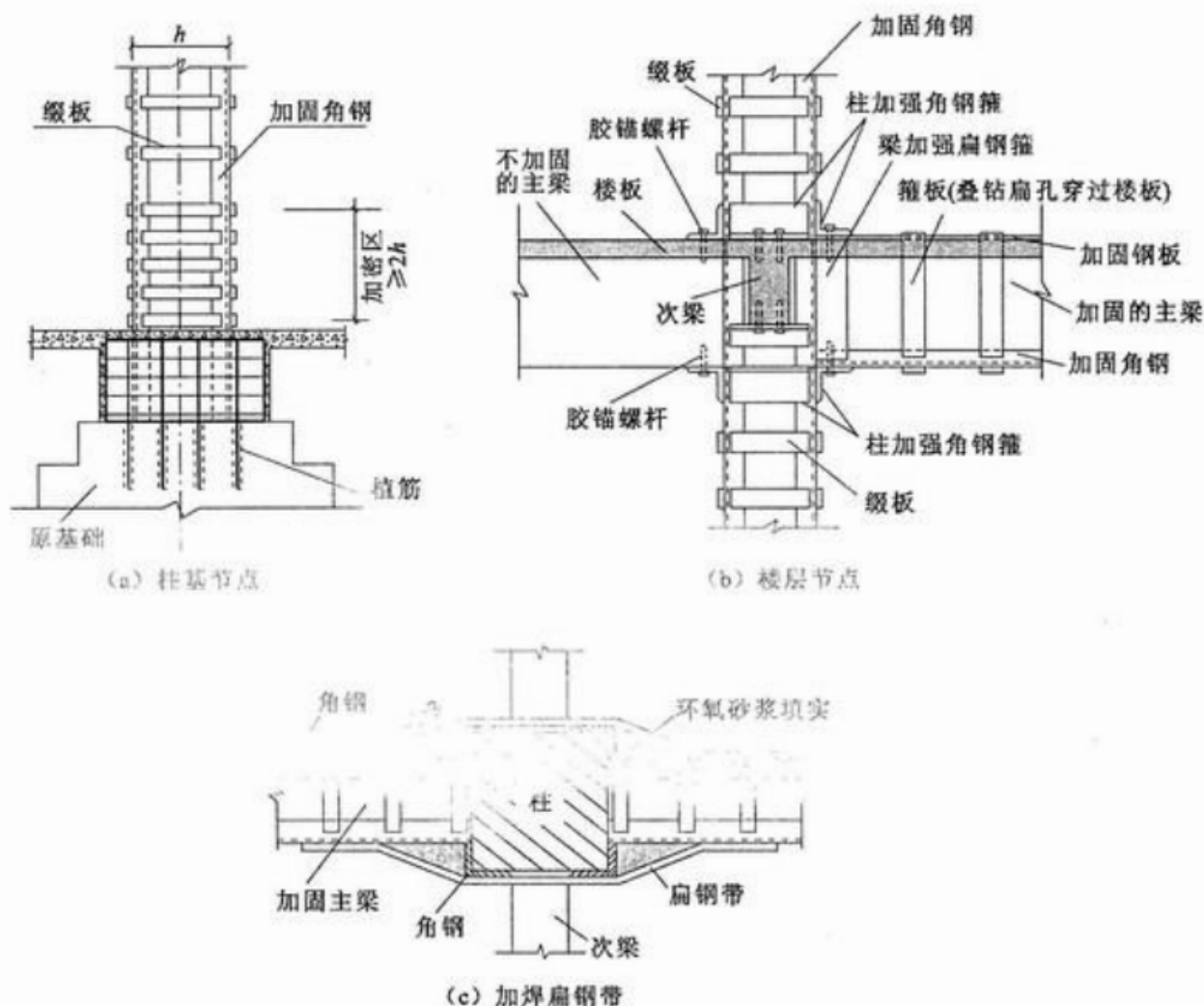


图 8.3.2 外粘型钢梁、柱、基础节点构造

8.3.3 当按本规范构造要求采用外粘型钢加固排架柱时，应将加固的型钢与原柱头顶部的承压钢板相互焊接。对于二阶柱，上下柱交接处及牛腿处的连接构造应予以加强。

8.3.4 外粘型钢加固梁、柱时，应将原构件截面的棱角打磨成半径  $r \geq 7\text{mm}$  的圆角。外粘型钢的注胶应在型钢构架焊接完成后进行。外粘型钢的胶缝厚度宜控制在  $3\text{mm} \sim 5\text{mm}$ ；局部允许有长度不大于  $300\text{mm}$ 、厚度不大于  $8\text{mm}$  的胶缝，但不得出现在角钢端部  $600\text{mm}$  范围内。

8.3.5 采用外粘型钢加固钢筋混凝土构件时，型钢表面（包括混凝土表面）应抹厚度不小于  $25\text{mm}$  的高强度等级水泥砂浆（应加钢丝网防裂）作防护层，也可采用其他具有防腐蚀和防火性能的饰面材料加以保护。

## 9 粘贴纤维复合材加固法

### 9.1 设计规定

9.1.1 本方法适用于钢筋混凝土受弯、轴心受压、大偏心受压及受拉构件的加固。

本方法不适用于素混凝土构件，包括纵向受力钢筋配筋率低于现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 规定的最小配筋率的构件加固。

9.1.2 被加固的混凝土结构构件，其现场实测混凝土强度等级不得低于 C15，且混凝土表面的正拉粘结强度不得低于 1.5MPa。

9.1.3 外贴纤维复合材加固钢筋混凝土结构构件时，应将纤维受力方式设计成仅承受拉应力作用。

9.1.4 粘贴在混凝土构件表面上的纤维复合材，不得直接暴露于阳光或有害介质中，其表面应进行防护处理。表面防护材料应对纤维及胶粘剂无害，且应与胶粘剂有可靠的粘结强度及相互协调的变形性能。

9.1.5 采用本方法加固的混凝土结构，其长期使用的环境温度不应高于 60℃；处于特殊环境（如高温、高湿、介质侵蚀、放射等）的混凝土结构采用本方法加固时，除应按国家现行有关标准的规定采取相应的防护措施外，尚应采用耐环境因素作用的胶粘剂，并按专门的工艺要求进行粘贴。

9.1.6 纤维复合材的设计、计算指标必须按表 9.1.6-1 及表 9.1.6-2 的规定采用。

表 9.1.6-1 碳纤维复合材设计计算指标

| 性 能 项 目                |      | 单向织物（布）           |                   | 条形板               |                   |
|------------------------|------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
|                        |      | 高强度 I 级           | 高强度 II 级          | 高强度 I 级           | 高强度 II 级          |
| 抗拉强度设计值 $f_f$ (MPa)    | 重要构件 | 1600              | 1400              | 1150              | 1000              |
|                        | 一般构件 | 2300              | 2000              | 1600              | 1400              |
| 弹性模量设计值 $E_f$ (MPa)    | 重要构件 | $2.3 \times 10^5$ | $2.0 \times 10^5$ | $1.6 \times 10^5$ | $1.4 \times 10^5$ |
|                        | 一般构件 |                   |                   |                   |                   |
| 拉应变设计值 $\varepsilon_f$ | 重要构件 | 0.007             | 0.007             | 0.007             | 0.007             |
|                        | 一般构件 | 0.01              | 0.01              | 0.01              | 0.01              |

注：L 形板按高强度 II 级条形板的设计计算指标采用。

表 9.1.6-2 玻璃纤维复合材（单向织物）设计计算指标

| 项目<br>类别 | 抗拉强度设计值<br>$f_f$ (MPa) |      | 弹性模量 $E_f$ (MPa)  |      | 拉应变设计值<br>$\varepsilon_f$ (MPa) |      |
|----------|------------------------|------|-------------------|------|---------------------------------|------|
|          | 重要结构                   | 一般结构 | 重要结构              | 一般结构 | 重要结构                            | 一般结构 |
| S 玻璃纤维   | 500                    | 700  | $7.0 \times 10^4$ |      | 0.007                           | 0.01 |
| E 玻璃纤维   | 350                    | 500  | $5.0 \times 10^4$ |      | 0.007                           | 0.01 |

9.1.7 当被加固构件的表面有防火要求时，应按现行国家标准《建筑防火设计规范》GBJ 16 规定的耐火等级及耐火极限要求，对纤维复合材进行防护。

9.1.8 采用纤维复合材对钢筋混凝土结构进行加固时，应采取措施卸除或大部分卸除作用在结构上的活荷载。

## 9.2 受弯构件正截面加固计算

9.2.1 采用纤维复合材对梁、板等受弯构件进行加固时，除应遵守现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 正截面承载力计算的基本假定外，尚应遵守下列规定：

1 纤维复合材的应力与应变关系取直线式，其拉应力  $\sigma_f$  取等于拉应变  $\varepsilon_f$  与弹性模量  $E_f$  的乘积；

2 当考虑二次受力影响时，应按构件加固前的初始受力情况，确定纤维复合材的滞后应变；

3 在达到受弯承载能力极限状态前，加固材料与混凝土之间不致出现粘结剥离破坏。

9.2.2 受弯构件加固后的相对界限受压区高度  $\xi_{fb}$  应按下列规定确定：

1 对重要构件，采用构件加固前控制值的 0.75 倍，即：

$$\xi_{fb}=0.75 \xi_b \quad (9.2.2-1)$$

2 对一般构件，采用构件加固前控制值的 0.85 倍，即：

$$\xi_{fb}=0.85 \xi_b \quad (9.2.2-2)$$

式中  $\xi_b$ ——构件加固前的相对界限受压区高度，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定计算。

9.2.3 在矩形截面受弯构件的受拉边混凝土表面上粘贴纤维复合材进行加固时，其正截面承载力应按下列公式确定：

$$M \leq \alpha_1 f_{co} b x (h - \frac{x}{2}) + f'_{yo} A'_{so} (h - a') - f_{yo} A_{so} (h - h_o) \quad (9.2.3 - 1)$$

$$\alpha_1 f_{co} b x = f_{yo} A_{so} + \psi_f f_f A_{fe} - f'_{yo} A'_{so} \quad (9.2.3 - 2)$$

$$\psi_f = \frac{(0.8 \varepsilon_{cu} h / x) - \varepsilon_{cu} - \varepsilon_{fo}}{\varepsilon_f} \quad (9.2.3 - 3)$$

$$x \geq 2a' \quad (9.2.3 - 4)$$

式中  $M$ ——构件加固后弯矩设计值；

$x$ ——等效矩形应力图形的混凝土受压区高度，简称混凝土受压区高度；

$b$ 、 $h$ ——矩形截面宽度和高度；

$f_{yo}$ 、 $f'_{yo}$ ——原截面受拉钢筋和受压钢筋的抗拉、抗压强度设计值；

$A_{so}$ 、 $A'_{so}$ ——原截面受拉钢筋和受压钢筋的截面面积；

$a'$ ——纵向受压钢筋合力点至截面近边的距离；

$h_o$ ——构件加固前的截面有效高度；

$f_f$ ——纤维复合材的抗拉强度设计值，应根据纤维复合材的品种，分别按本规范表 9.1.6 - 1 及表 9.1.6 - 2 采用；

$A_{fe}$ ——纤维复合材的有效截面面积；

$\psi_f$ ——考虑纤维复合材实际抗拉应变达不到设计值而引入的强度利用系数，当  $\psi_f > 1.0$  时，取  $\psi_f = 1.0$ ；

$\varepsilon_{cu}$ ——混凝土极限压应变，取  $\varepsilon_{cu} = 0.0033$ ；

$\varepsilon_f$ ——纤维复合材拉应变设计值，应根据纤维复合材的品种，分别按本规范表 9.1.6 - 1 及表 9.1.6 - 2 采用；

$\varepsilon_{fo}$ ——考虑二次受力影响时，纤维复合材的滞后应变，应按本规范第 9.2.8 条的规定计算，若不考虑二次受力影响，取  $\varepsilon_{fo} = 0$ 。

加固设计时，可根据公式(9.2.3 - 1)计算出混凝土受压区高度  $x$ ，并按公式(9.2.3 - 3)计算出强度利用系数  $\psi_f$ ，并代入公式(9.2.3 - 2)，即可求出受拉面应粘贴的纤维复合材的有效截面面积  $A_{fe}$ ；然后按本规范第 9.2.4 条的规定换算为实际应粘贴的纤维复合材截面面积  $A_f$ 。

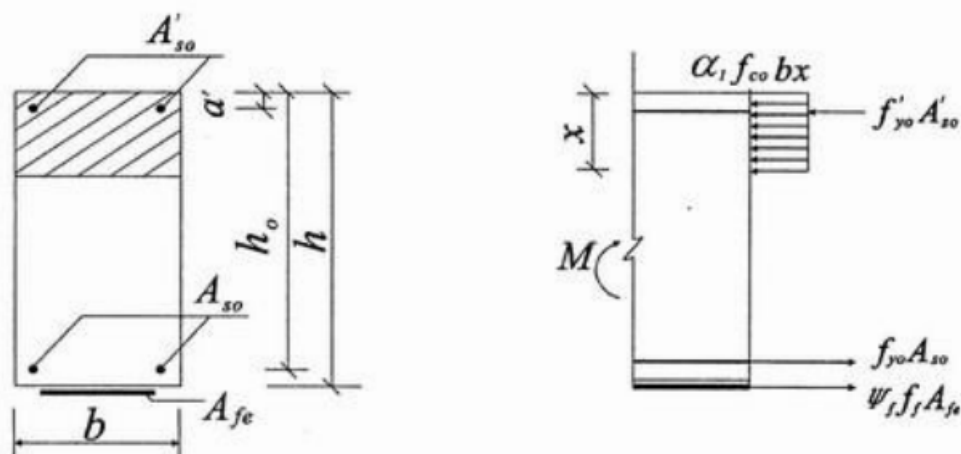


图 9.2.3 矩形截面构件正截面受弯承载力计算

9.2.4 实际应粘贴的纤维复合材截面面积  $A_f$ , 应按下列公式计算:

$$A_f = A_{fe} / k_m \quad (9.2.4 - 1)$$

纤维复合材厚度折减系数  $k_m$ , 应按下列规定确定:

- 1 当采用预成型板时,  $k_m=1.0$ ;
- 2 当采用多层粘贴的纤维织物时,  $k_m$  值按下式计算:

$$k_m = 1.16 - \frac{n_f E_f t_f}{308,000} \leq 0.90 \quad (9.2.4 - 2)$$

式中  $E_f$ ——纤维复合材弹性模量设计值 (MPa), 应根据纤维复合材的品种, 分别按本规范表 9.1.6 - 1 及表 9.1.6 - 2 采用;

$n_f$  和  $t_f$ ——分别为纤维复合材 (单向织物) 层数和单层厚度。

9.2.5 对受弯构件正弯矩区的正截面加固, 其粘贴纤维复合材的截断位置应从其充分利用的截面算起, 取不小于按下式确定的粘贴延伸长度 (图 9.2.5):

$$l_c = \frac{f_f A_f}{f_{f,v} b_f} + 200 \quad (9.2.5)$$

式中  $l_c$ ——纤维复合材粘贴延伸长度 (mm);

$b_f$ ——对梁为受拉面粘贴的纤维复合材的总宽度 (mm), 对板为 1000mm 板宽范围内粘贴的纤维复合材总宽度;

$f_f$ ——纤维复合材抗拉强度设计值, 按本规范表 9.1.6 - 1 或表 9.1.6 - 2 采用;

$f_{f,v}$ ——纤维与混凝土之间的粘结强度设计值 (MPa), 取  $f_{f,v}=0.40f_t$ ;  $f_t$  为混凝土抗拉强度设计值, 按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 规定值采用; 当  $f_{f,v}$  计算值低于 0.40 时, 取  $f_{f,v}=0.40\text{MPa}$ ; 当  $f_{f,v}$  计算值高于 0.70 时, 取  $f_{f,v}=0.7\text{MPa}$ 。

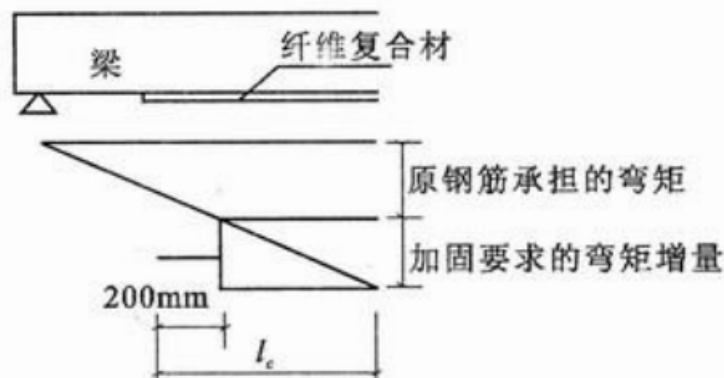


图 9.2.5 纤维复合材料的粘贴延伸长度

9.2.6 对受弯构件负弯矩区的正截面加固, 纤维复合材料的截断位置距支座边缘的距离, 除应根据负弯矩包络图按上式确定外, 尚应符合本规范第 9.9.3 条的构造规定。

9.2.7 对翼缘位于受压区的 T 形截面受弯构件的受拉面粘贴纤维复合材料进行受弯加固时, 应按本规范第 9.2.1 条至第 9.2.4 的计算原则和现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中关于 T 形截面受弯承载力的计算方法进行计算。

9.2.8 当考虑二次受力影响时, 纤维复合材料的滞后应变  $\varepsilon_{fo}$  应按下列公式计算:

$$\varepsilon_{fo} = \frac{\alpha_f M_{ok}}{E_s A_s h_0} \quad (9.2.8)$$

式中  $M_{ok}$ ——加固前受弯构件验算截面上原作用的弯矩标准值;

$\alpha_f$ ——综合考虑受弯构件裂缝截面内力臂变化、钢筋拉应变不均匀以及钢筋排列影响等的计算系数, 应按表 9.2.8 采用。

表 9.2.8 计算系数  $\alpha_f$  值

| $\rho_{te}$ | $\leq 0.007$ | 0.010 | 0.020 | 0.030 | 0.040 | $\geq 0.060$ |
|-------------|--------------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| 单排钢筋        | 0.70         | 0.90  | 1.15  | 1.20  | 1.25  | 1.30         |
| 双排钢筋        | 0.75         | 1.00  | 1.25  | 1.30  | 1.35  | 1.40         |

注: 1 表中  $\rho_{te}$  为混凝土有效受拉截面的纵向受拉钢筋配筋率, 即  $\rho_{te} = A_s / A_{te}$ ,  $A_{te}$  为有效受拉混凝土截面面积, 按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定计算。

2 当原构件钢筋应力  $\sigma_{so} \leq 150 \text{ MPa}$ , 且  $\rho_{te} \leq 0.05$  时, 表中  $\alpha_f$  值可乘以调整系数 0.9。

9.2.9 当纤维复合材料全部粘贴在梁底面 (受拉面) 有困难时, 允许将部分纤维复合材料对称地粘贴在梁的两侧面。此时, 侧面粘贴区域应控制在距受拉区边缘  $1/4$  梁高范围内, 且应按下列公式计算确定梁的两侧面实际需要粘贴的纤维复合材料截面面积  $A_{f,l}$ :

$$A_{f,l} = \eta_f A_{f,b} \quad (9.2.8)$$



式中  $A_{f,b}$ ——按梁底面计算确定的,但需改贴到梁的两侧面的纤维复合材截面积;  
 $\eta_f$ ——考虑改贴梁侧面引起的纤维复合材受拉合力及其力臂改变的修正系数,应按表 9.2.8 采用。

表 9.2.8 修正系数  $\eta_f$  值

| $h_f/h$  | 0.05 | 0.10 | 0.15 | 0.20 | 0.25 |
|----------|------|------|------|------|------|
| $\eta_f$ | 1.09 | 1.19 | 1.30 | 1.43 | 1.59 |

注:表中  $h_f$  为从梁受拉边缘算起的侧面粘贴高度;  $h$  为梁截面高度。

9.2.10 钢筋混凝土结构构件加固后,其正截面受弯承载力的提高幅度,不应超过 40%,并且应验算其受剪承载力,避免因受弯承载力提高后而导致构件受剪破坏先于受弯破坏。

9.2.11 纤维复合材的加固量,对预成型板,不宜超过 2 层,对湿法铺层的织物,不宜超过 4 层,超过 4 层时,宜改用预成型板,并采取可靠的加强锚固措施。

### 9.3 受弯构件斜截面加固计算

9.3.1 采用纤维复合材条带(以下简称条带)对受弯构件的斜截面受剪承载力进行加固时,应粘贴成垂直于构件轴线方向的环形箍或其他有效的 U 形箍(图 9.3.1)。

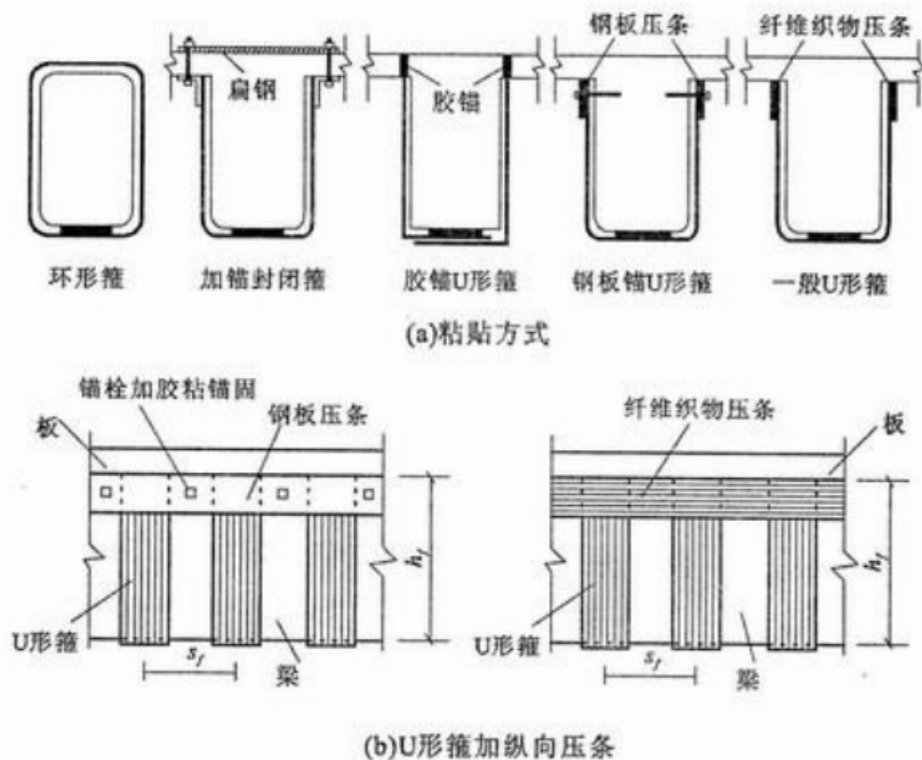


图 9.3.1 纤维复合材抗剪箍及其粘贴方式

### 9.3.2 受弯构件加固后的斜截面应符合下列条件:

当  $h_w/b \leq 4$  时

$$V \leq 0.25 \beta_c f_{co} b h_o \quad (9.3.2 - 1)$$

当  $h_w/b \geq 6$  时

$$V \leq 0.20 \beta_c f_{co} b h_o \quad (9.3.2 - 2)$$

当  $4 < h_w/b < 6$  时, 按线性内插法确定。

式中  $V$ ——构件斜截面加固后的剪力设计值;

$\beta_c$ ——混凝土强度影响系数, 按现行国家标准《混凝土结构设计规范》的规定值采用;

$f_{co}$ ——原构件混凝土轴心抗压强度设计值;

$b$ ——矩形截面的宽度、T形或I形截面的腹板宽度;

$h_o$ ——截面有效高度;

$h_w$ ——截面的腹板高度: 对矩形截面, 取有效高度; 对T形截面, 取有效高度减去翼缘高度; 对I形截面, 取腹板净高。

### 9.3.3 当采用条带构成的环形(封闭)箍或U形箍对钢筋混凝土梁进行抗剪加固时, 其斜截面承载力应按下式确定:

$$V \leq V_{bo} + V_{bf} \quad (9.3.3 - 1)$$

$$V_{bf} = \psi_{vb} f_f A_f h_f / s_f \quad (9.3.3 - 2)$$

式中  $V_{bo}$ ——加固前梁的斜截面承载力, 应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 计算;

$V_{bf}$ ——粘贴条带加固后, 对梁斜截面承载力的提高值;

$\psi_{vb}$ ——与条带加锚方式及受力条件有关的抗剪强度折减系数;

$f_f$ ——受剪加固采用的纤维复合材抗拉强度设计值, 按表 9.1.6 的规定的抗拉强度设计值乘以调整系数 0.56 确定; 当为框架梁或悬挑构件时, 调整系数改取 0.28;

$A_f$ ——配置在同一截面处构成环形或U形箍的纤维复合材条带的全部截面面积:  $A_f = 2n_f b_f t_f$ , 此处:  $n_f$  为条带粘贴的层数;  $b_f$  和  $t_f$  分别为条带宽度和条带单层厚度;

$h_f$ ——梁侧面粘贴的条带竖向高度; 对环形箍,  $h_f = h$ ;

$s_f$ ——纤维复合材条带的间距 (图 9.3.1, b)。

表 9.3.3 抗剪强度折减系数  $\psi_{vb}$  值

| 条带加锚方式   |                           | 环形箍及加锚<br>封闭箍 | 胶锚或钢板<br>锚 U 形箍 | 加织物压条的<br>一般 U 形箍 |
|----------|---------------------------|---------------|-----------------|-------------------|
| 受力<br>条件 | 均布荷载或剪跨比 $\lambda \geq 3$ | 1.0           | 0.92            | 0.85              |
|          | $\lambda \leq 1.5$        | 0.68          | 0.63            | 0.58              |

注：当  $\lambda$  为中间值时，按线性内插法确定  $\psi_{vb}$  值。

## 9.4 受压构件正截面加固计算

9.4.1 轴心受压构件可采用沿其全长无间隔地环向连续粘贴纤维织物的方法（简称环向围束法）进行加固。

9.4.2 采用环向围束加固轴心受压构件仅适用于下列情况：

1 长细比  $l/d \leq 12$  的圆形截面柱；

2 长细比  $l/b \leq 14$ 、截面高宽比  $h/b \leq 1.5$ 、截面高度  $h \leq 600\text{mm}$ ，且截面棱角经过圆化打磨的正方形或矩形截面柱。

9.4.3 采用环向围束的轴心受压构件，其正截面承载力应符合下列规定：

$$N \leq 0.9[(f_{co} + 4\alpha_1)A_{cor} + f'_{yo} A'_{so}] \quad (9.4.3 - 1)$$

$$\alpha_1 = 0.5\beta_c k_c \rho_f E_f \varepsilon_{fe} \quad (9.4.3 - 2)$$

式中  $N$ ——轴向压力设计值；

$f_{co}$ ——原构件混凝土轴心抗压强度设计值；

$\alpha_1$ ——有效约束应力；

$A_{cor}$ ——环向围束内混凝土面积；圆形截面  $A_{cor} = \frac{\pi D^2}{4}$ ，正方形和矩形截面：

$$A_{cor} = bh - (4 - \pi)r^2;$$

$D$ ——圆形截面柱的直径；

$b$ ——正方形截面边长或矩形截面宽度；

$h$ ——矩形截面高度；

$r$ ——截面棱角的圆化半径（倒角半径）；

$\beta_c$ ——混凝土强度影响系数；当混凝土强度等级不大于 C50 时， $\beta_c = 1.0$ ；当混凝土强度等级为 C80 时， $\beta_c = 0.8$ ；其间按线性内插法确定；

$k_c$ ——环向围束的有效约束系数，按本规范第 9.4.4 条的规定采用；

$\rho_f$ ——环向围束体积比，按本规范第 9.4.4 条的规定计算；

$E_f$ ——纤维复合材的弹性模量；

$\varepsilon_{fe}$ ——纤维复合材的有效拉应变设计值；重要构件取  $\varepsilon_{fe}=0.0035$ ；一般构件取  $\varepsilon_{fe}=0.0045$ ；

9.4.4 环向围束的计算参数  $k_c$  和  $\rho_f$ ，应按下列规定确定：

1 有效约束系数  $k_c$  值的确定：

1) 圆形截面柱：  $k_c=0.95$ ；

2) 正方形和矩形截面柱，应按下式计算：

$$k_c = 1 - \frac{(b-2r)^2 + (h-2r)^2}{3A_{cor}(1-\rho_s)} \quad (9.4.4-1)$$

式中  $\rho_s$ ——柱中纵向钢筋的配筋率；

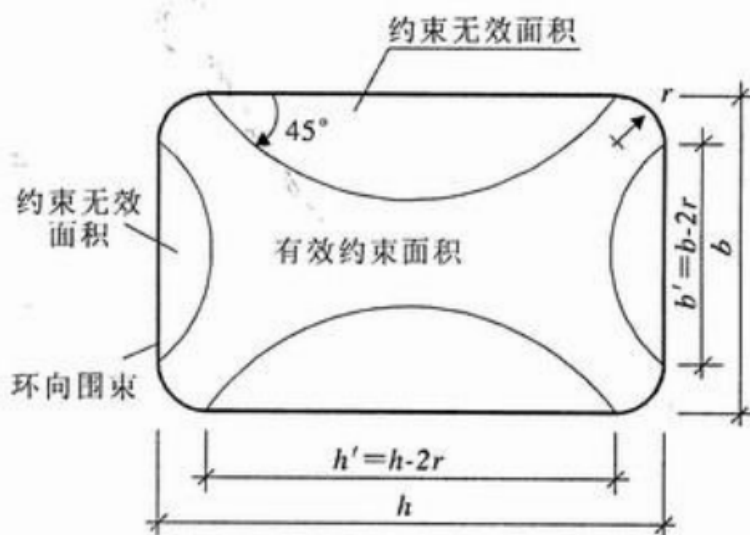


图 9.4.4 环向围束内矩形截面有效约束面积

2 环向围束体积比  $\rho_f$  值的确定：

对圆形截面柱：

$$\rho_f = 4n_f t_f / D \quad (9.4.4-2)$$

对正方形和矩形截面柱：

$$\rho_f = 2n_f t_f (b+h) / A_{cor} \quad (9.4.4-3)$$

式中  $n_f$  和  $t_f$ ——纤维复合材的层数及每层厚度。

## 9.5 受压构件斜截面加固计算

9.5.1 当采用纤维复合材的条带对钢筋混凝土柱进行受剪加固时，应粘贴成环形箍，且纤维方向应与柱的纵轴线垂直；

9.5.2 采用环形箍加固的柱，其斜截面受剪承载力应符合下列规定：

$$V \leq V_{co} + V_{cf} \quad (9.5.2-1)$$

$$V_{cf} = \psi_{vc} f_f A_f h / s_f \quad (9.5.2-2)$$

$$A_f = 2n_f b_f t_f \quad (9.5.2-3)$$

式中  $V$ ——构件加固后剪力设计值；

$V_{co}$ ——加固前原构件斜截面受剪承载力，按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定计算；

$V_{cf}$ ——粘贴纤维复合材加固后，对柱斜截面承载力的提高值；

$\psi_{vc}$ ——与纤维复合材受力条件有关的抗剪强度折减系数，按表 9.5.2 的规定值采用；

$f_f$ ——受剪加固采用的纤维复合材抗拉强度设计值，按本规范第 9.1.6 条规定的抗拉强度设计值乘以调整系数 0.5 确定；

$A_f$ ——配置在同一截面处纤维复合材环形箍的全截面面积；

$n_f$ 、 $b_f$  和  $t_f$ ——分别为纤维复合材环形箍的层数、宽度和每层厚度；

$h$ ——柱的截面高度；

$s_f$ ——环形箍的中心间距；

表 9.5.2  $\psi_{vc}$  值

| 轴 压 比            |                          | $\leq 0.1$ | 0.3  | 0.5  | 0.7  | 0.9  |
|------------------|--------------------------|------------|------|------|------|------|
| 受<br>力<br>条<br>件 | 均布荷载或 $\lambda_c \geq 3$ | 0.95       | 0.84 | 0.72 | 0.62 | 0.51 |
|                  | $\lambda_c \leq 1$       | 0.90       | 0.72 | 0.54 | 0.34 | 0.16 |

注：1  $\lambda_c$  为柱的剪跨比；对框架柱  $\lambda_c = H_n / 2h_o$ ； $H_n$  为柱的净高； $h_o$  为柱截面有效高度。

2 中间值按线性内插法确定。

## 9.6 大偏心受压构件加固计算

9.6.1 当采用纤维增强复合材加固大偏心受压的钢筋混凝土柱时, 应将纤维复合材粘贴于构件受拉区边缘混凝土表面, 且纤维方向应与柱的纵轴线方向一致。

9.6.2 矩形截面大偏心受压柱的加固, 其正截面承载力应符合下列规定:

$$N \leq \alpha_1 f_{co} bx + f'_{yo} A'_{so} - f_{yo} A_{so} - f_f A_f \quad (9.6.2-1)$$

$$Ne \leq \alpha_1 f_{co} bx(h_o - \frac{x}{2}) + f'_{yo} A'_{so}(h_o - a') + f_f A_f(h - h_o) \quad (9.6.2-2)$$

$$e = \eta e_i + \frac{h}{2} - a \quad (9.6.2-3)$$

$$e_i = e_o + e_a \quad (9.6.2-4)$$

式中  $e$ ——轴向压力作用点至纵向受拉钢筋  $A_s$  合力点的距离;

$\eta$ ——偏心受压构件考虑二阶弯矩影响的轴向压力偏心距增大系数, 除应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定计算外, 尚应乘以本规范第 5.4.3 条规定的修正系数  $\psi_\eta$ ;

$e_i$ ——初始偏心距;

$e_o$ ——轴向压力对截面重心的偏心距:  $e_o = M/N$ ;

$e_a$ ——附加偏心距, 按偏心方向截面最大尺寸  $h$  确定: 当  $h \leq 600\text{mm}$  时,

$e_a = 20\text{mm}$ ; 当  $h > 600\text{mm}$  时,  $e_a = h/30$ ;

$a, a'$ ——纵向受拉钢筋合力点、纵向受压钢筋合力点至截面近边的距离;

$f_f$ ——纤维复合材抗拉强度设计值, 应根据其品种, 分别按本规范表 9.1.6-1 及表 9.1.6-2 采用。

## 9.7 受拉构件正截面加固计算

9.7.1 当采用外贴纤维复合材加固钢筋混凝土受拉构件(如水塔、水池等环形或其他封闭形结构)时, 应按原构件纵向受拉钢筋的配置方式, 将纤维织物粘贴于相应位置的混凝土表面上, 且纤维方向应与构件受拉方向一致, 并处理好围拢部位的搭接和锚固。

9.7.2 轴心受拉构件的加固, 其正截面承载力应按下列公式确定:

$$N \leq f_{yo} A_{so} + f_f A_f \quad (9.7.2)$$

式中  $N$ ——轴向拉力设计值;



$f_f$ ——纤维复合材抗拉强度设计值, 应根据其品种, 分别按本规范表 9.1.6 - 1 及表 9.1.6 - 2 的规定采用;

9.7.3 矩形截面大偏心受拉构件的加固, 其正截面承载力应符合下列规定:

$$N \leq f_{yo} A_{so} + f_f A_f - \alpha_1 f_{co} bx - f'_{yo} A'_{so} \quad (9.7.3 - 1)$$

$$Ne \leq \alpha_1 f_{co} bx(h_o - \frac{x}{2}) + f'_{yo} A'_{so}(h_o - a'_s) + f_f A_f(h - h_o) \quad (9.7.3 - 2)$$

式中  $N$ ——轴向拉力设计值;

$e$ ——轴向拉力作用点至纵向受拉钢筋合力点的距离;

$f_f$ ——纤维复合材抗拉强度设计值, 应根据其品种, 分别按本规范表 9.1.6 - 1 及表 9.1.6 - 2 采用。

## 9.8 提高柱的延性的加固计算

9.8.1 钢筋混凝土柱因延性不足而进行抗震加固时, 可采用环向粘贴纤维复合材构成的环向围束作为附加箍筋。

9.8.2 当采用环向围束作为附加箍筋时, 应按下列公式计算柱箍筋加密区加固后的箍筋体积配筋率  $\rho_v$ , 且应满足现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 规定的要求。

$$\rho_v = \rho_{v,e} + \rho_{v,f} \quad (9.8.2 - 1)$$

$$\rho_{v,f} = k_c \rho_f \frac{b_f f_f}{s_f f_{ywo}} \quad (9.8.2 - 2)$$

式中  $\rho_{v,e}$ ——被加固柱原有箍筋的体积配筋率; 当需重新复核时, 应按箍筋范围内的核心截面进行计算;

$\rho_{v,f}$ ——环向围束作为附加箍筋算得的箍筋体积配筋率的增量;

$\rho_f$ ——环向围束体积比, 按本规范第 9.4.4 条计算;

$k_c$ ——环向围束的有效约束系数, 圆形截面,  $k_c=0.90$ ; 正方形截面,  $k_c=0.66$ ; 矩形截面  $k_c=0.42$ ;

$b_f$ ——环向围束纤维条带的宽度;

$s_f$ ——环向围束纤维条带的中心间距;

$f_f$ ——环向围束纤维复合材的抗拉强度设计值, 应根据其品种, 分别按本规范表 9.1.6 - 1 及表 9.1.6 - 2 采用;

$f_{ywo}$ ——原箍筋抗拉强度设计值;

## 9.9 构造规定

9.9.1 对钢筋混凝土受弯构件正弯矩区进行正截面加固时，其受拉面沿轴向粘贴的纤维复合材应延伸至支座边缘，且应在纤维复合材的端部（包括截断处）及集中荷载作用点的两侧，设置纤维复合材的 U 形箍（对梁）或横向压条（对板）。

9.9.2 当纤维复合材延伸至支座边缘仍不满足本规范第 9.2.5 条延伸长度的要求时，应采取下列锚固措施：

1 对梁，应在延伸长度范围内均匀设置 U 形箍锚固（图 9.9.2a），并应在延伸长度端部设置一道。U 形箍的粘贴高度应为梁的截面高度，若梁有翼缘或有现浇楼板，应伸至其底面。U 形箍的宽度，对端箍不应小于加固纤维复合材宽度的  $\frac{2}{3}$ ，且不应小于 200mm；对中间箍不应小于加固纤维复合材宽度的  $\frac{1}{2}$ ，且不应小于 100mm。U 形箍的厚度不应小于受弯加固纤维复合材厚度的  $\frac{1}{2}$ 。

2 对板，应在延伸长度范围内通长设置垂直于受力纤维方向的压条（图 9.9.2b）。压条应在延伸长度范围内均匀布置。压条的宽度不应小于受弯加固纤维复合材条带宽度的  $\frac{3}{5}$ ，压条的厚度不应小于受弯加固纤维复合材厚度的  $\frac{1}{2}$ 。

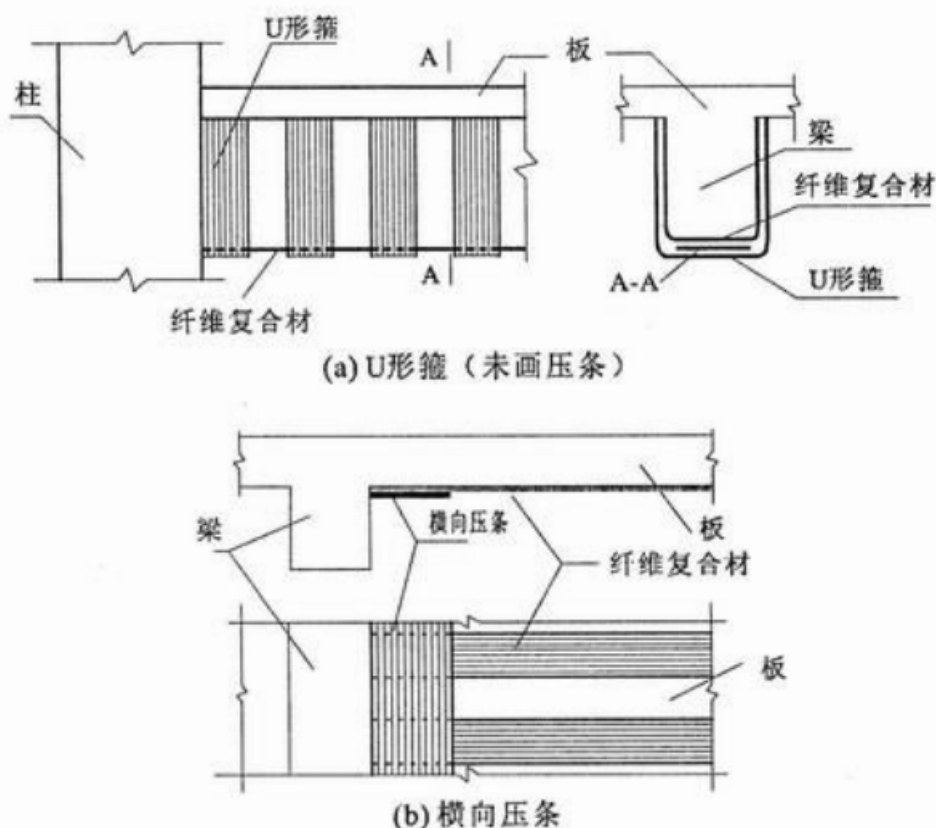


图 9.9.2 梁、板粘贴纤维复合材端部锚固措施

9.9.3 当采用纤维复合材对受弯构件负弯矩区进行正截面承载力加固时，应采取下列构造措施：

1 支座处无障碍时，纤维复合材应在负弯矩包络图范围内连续粘贴；其延伸长度的截断点应位于正弯矩区，且距正负弯矩转换点不应小于 1m。

2 支座处虽有障碍，但梁上有现浇板，且允许绕过柱位时，宜在梁侧 4 倍板厚（ $h_b$ ）范围内，将纤维复合材粘贴于板面上（图 9.9.3 - 1）。

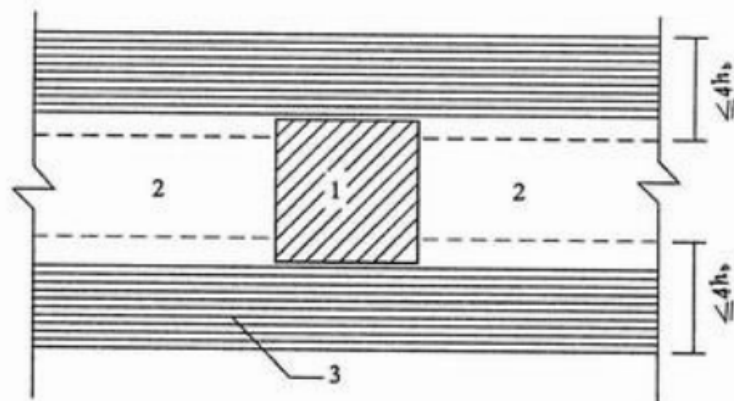


图 9.9.3 - 1 绕过柱位粘贴纤维复合材

3 在框架顶层梁柱的端节点处，纤维复合材只能贴至柱边缘而无法延伸时，应加贴 L 形钢板和 U 形钢箍板进行锚固（图 9.9.3 - 2），L 形钢板的总截面面积应按下式进行计算：

$$A_{a,l} = 1.2 \psi_f f_f A_f / f_y \quad (9.3.3)$$

式中  $A_{a,l}$ ——支座处需粘贴的 L 形钢板截面面积；

$\psi_f$ ——纤维复合材的强度利用系数，按本规范第 9.2.3 条采用；

$f_f$ ——纤维复合材的抗拉强度设计值，按本规范第 9.1.6 条采用；

$A_f$ ——支座处实际粘贴的纤维复合材截面面积；

$f_y$ ——L 形钢板抗拉强度设计值。

L 形钢板总宽度不宜小于 0.9 倍梁宽，且宜由多条钢板组成；钢板厚度不应小于 3mm。

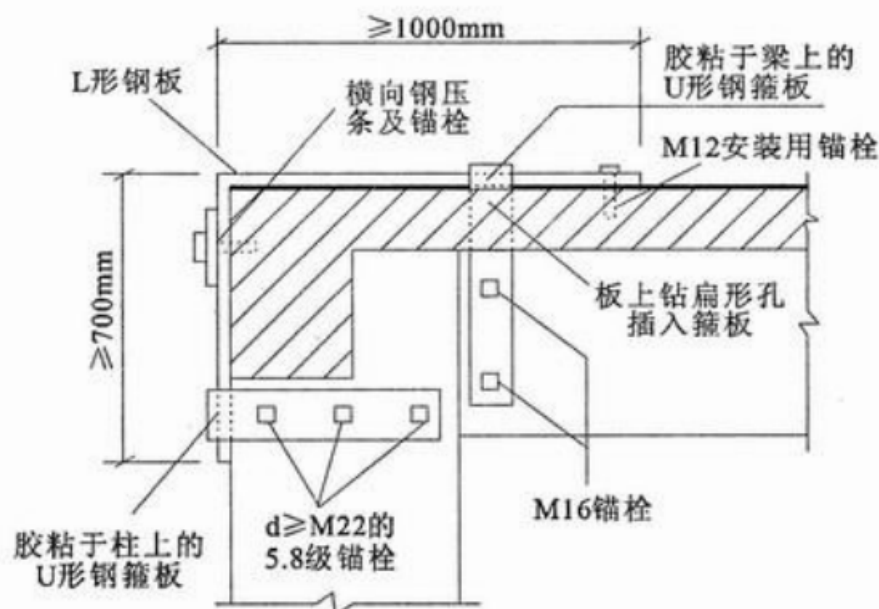


图 9.9.3 - 2 柱顶加贴 L 形钢板及 U 形钢箍板的锚固构造示例

4 当梁上无现浇板，或负弯矩区的支座处需采取加强的锚固措施时，可采取图 9.9.3-3 的构造方式。但柱中箍板的锚栓等级、直径及数量应经计算确定。

注：若梁上有现浇板，也可采取这种构造方式进行锚固，其 U 形钢箍板穿过楼板处，应采用半叠钻孔法，在板上钻出扁形孔以插入箍板，再用结构胶予以封固。

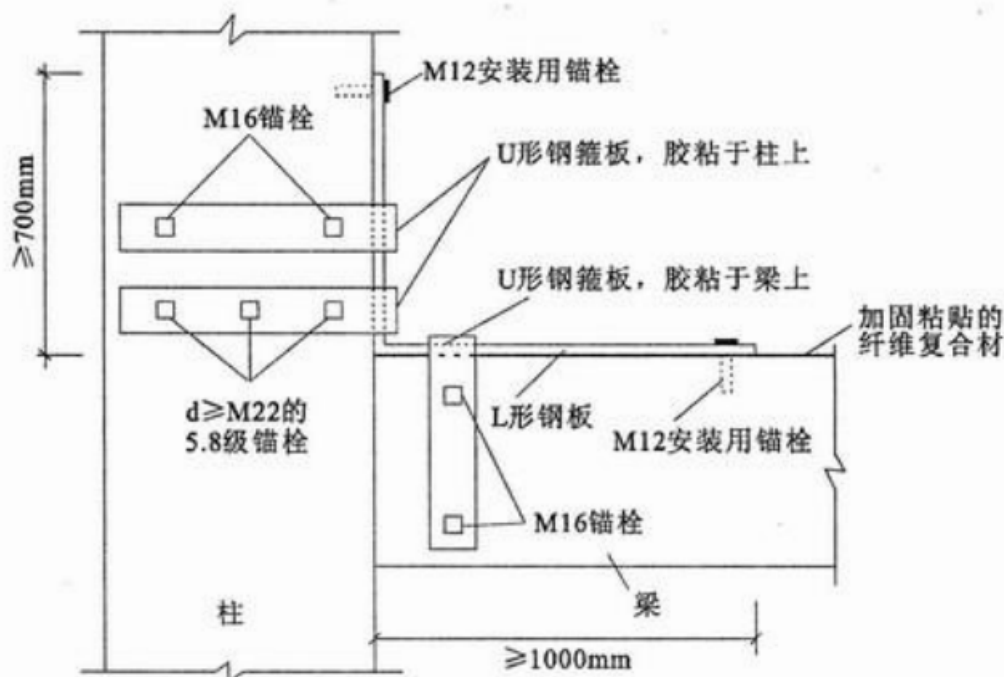


图 9.9.3 - 3 柱中部加贴 L 形钢板及 U 形钢箍板的锚固构造示例

9.9.4 当加固的受弯构件为板、壳、墙和筒体时，纤维复合材料应选择多条密布的方式进行粘贴，不得使用未经裁剪成条的整幅织物满贴。

9.9.5 当受弯构件粘贴的多层纤维织物允许截断时，相邻两层纤维织物宜按内短

外长的原则分层截断；外层纤维织物的截断点宜越过内层截断点 200mm 以上，并应在截断点加设 U 形箍。

9.9.6 当采用纤维复合材对钢筋混凝土梁或柱的斜截面承载力进行加固时，其构造应符合下列规定：

- 1 宜选用环形箍或加锚的 U 形箍；当仅按构造需要设箍时，也可采用一般 U 形箍。
- 2 U 形箍的纤维受力方向应与构件轴向垂直。
- 3 当环形箍或 U 形箍采用纤维复合材条带时，其净间距  $s_{f,n}$ （图 9.9.6）不应大于现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 规定的最大箍筋间距的 0.7 倍，且不应大于梁高的 0.25 倍。
- 4 U 形箍的粘贴高度应符合本规范第 9.9.2 条的要求；U 形箍的上端应粘贴纵向压条予以锚固。
- 5 当梁的高度  $h \geq 600\text{mm}$  时，应在梁的腰部增设一道纵向腰压带（图 9.9.6）。

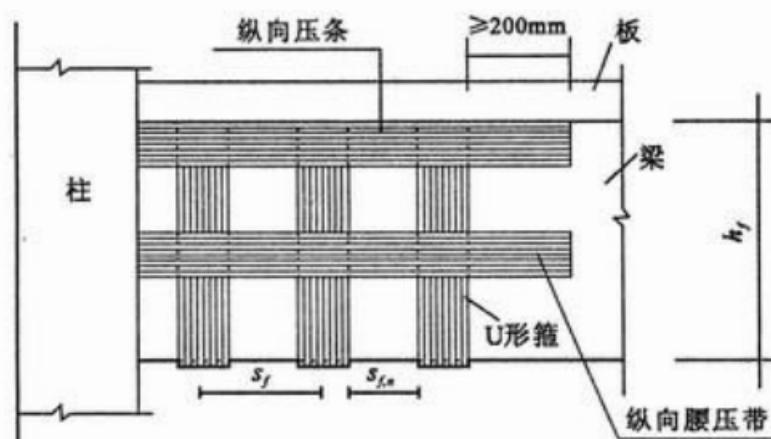


图 9.9.6 纵向腰压带

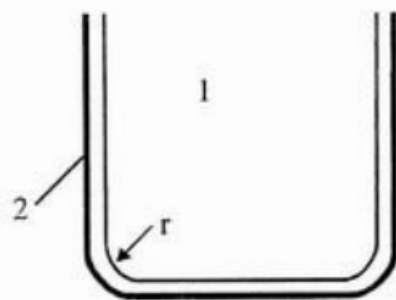
9.9.7 当采用纤维复合材的环向围束对钢筋混凝土柱进行正截面加固或提高延性的抗震加固时，其构造应符合下列规定：

- 1 环向围束的纤维织物层数，对圆形截面不应少于 2 层，对正方形和矩形截面柱不应不少于 3 层；
- 2 环向围束上下层之间的搭接宽度不应小于 50mm，纤维织物环向截断点的延伸长度不应小于 200mm，且各条带搭接位置应相互错开。

9.9.8 当沿柱轴向粘贴纤维复合材对大偏心受压柱进行正截面承载力加固时，除

应按受弯构件正截面和斜截面加固构造的原则粘贴纤维复合材外，尚应在柱的两端增设机械锚固措施。

9.9.9 当采用环形箍、U 形箍或环向围束加固正方形和矩形截面构件时，其截面棱角应在粘贴前通过打磨加以圆化（图 9.9.9）；梁的圆化半径  $r$ ，对碳纤维不应小于 20mm；对玻璃纤维不应小于 15mm，柱的圆化半径，对碳纤维不应小于 25mm；对玻璃纤维不应小于 20mm。



1—构件截面外表面 2—纤维复合材  
 $r$ —棱角圆化半径

图 9.9.9 构件截面棱角的圆化打磨



## 10 粘贴钢板加固法

### 10.1 设计规定

10.1.1 本方法适用于对钢筋混凝土受弯、大偏心受压和受拉构件的加固。

本方法不适用于素混凝土构件，包括纵向受力钢筋配筋率低于现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 规定的最小配筋率的构件加固。

10.1.2 被加固的混凝土结构构件，其现场实测混凝土强度等级不得低于 C15，且混凝土表面的正拉粘结强度不得低于 1.5MPa。

10.1.3 粘贴钢板加固钢筋混凝土结构构件时，应将钢板受力方式设计成仅承受轴向应力作用。

10.1.4 粘贴在混凝土构件表面上的钢板，其外表面应进行防锈蚀处理。表面防锈蚀材料对钢板及胶粘剂应无害。

10.1.5 采用本规范规定的胶粘剂粘贴钢板加固混凝土结构时，其长期使用的环境温度不应高于 60℃；处于特殊环境（如高温、高湿、介质侵蚀、放射等）的混凝土结构采用本方法加固时，除应按国家现行有关标准的规定采取相应的防护措施外，尚应采用耐环境因素作用的胶粘剂，并按专门的工艺要求进行粘贴。

10.1.6 当被加固构件的表面有防火要求时，应按现行国家标准《建筑防火设计规范》GB 50016 规定的耐火等级及耐火极限要求，对胶粘剂和钢板进行防护。

10.1.7 采用粘贴钢板对钢筋混凝土结构进行加固时，应采取措施卸除或大部分卸除作用在结构上的活荷载。

### 10.2 受弯构件正截面加固计算

10.2.1 采用粘贴钢板对梁、板等受弯构件进行加固时，除应遵守现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 正截面承载力计算的基本假定外，尚应遵守下列规定：

1 构件达到受弯承载能力极限状态时，外贴钢板的拉应变  $\varepsilon_{sp}$  应按截面应变

保持平面的假设确定:

2 钢板应力  $\sigma_p$  取等于拉应变  $\varepsilon_{sp}$  与弹性横量  $E_{sp}$  的乘积;

3 当考虑二次受力影响时, 应按构件加固前的初始受力情况, 确定粘贴钢板的滞后应变;

4 在达到受弯承载能力极限状态前, 外贴钢板与混凝土之间不致出现粘结剥离破坏。

10.2.2 受弯构件加固后的相对界限受压区高度  $\xi_{b,sp}$  应按下列规定计算确定:

1 对重要构件, 采用加固前控制值 0.9 倍, 即:

$$\xi_{b,sp} = 0.9 \xi_b \quad (10.2.2 - 1)$$

2 对一般构件, 采用加固前控制值, 即:

$$\xi_{b,sp} = \xi_b \quad (10.2.2 - 2)$$

式中  $\xi_b$ ——构件加固前的相对界限受压高度, 按现行设计规范 GB 50010 的规定计算。

10.2.3 在矩形截面受弯构件的受拉面和受压面粘贴钢板进行加固时, 其正截面承载力应符合下列规定:

$$M \leq \alpha_1 f_{co} b x \left( h - \frac{x}{2} \right) + f'_{yo} A'_{so} (h - a') + f'_{sp} A'_{sp} h - f_{yo} A_{so} (h - h_o) \quad (10.2.3 - 1)$$

$$\alpha_1 f_{co} b x = \psi_{sp} f_{sp} A_{sp} + f_{yo} A_{so} - f'_{yo} A'_{so} - f'_{sp} A'_{sp} \quad (10.2.3 - 2)$$

$$\psi_{sp} = \frac{(0.8 \varepsilon_{cu} h / x) - \varepsilon_{cu} - \varepsilon_{po,sp,o}}{f_{sp} / E_{sp}} \quad (10.2.3 - 3)$$

$$x \geq 2a' \quad (10.2.3 - 4)$$

式中  $M$ ——构件加固后弯矩设计值;

$x$ ——等效矩形应力图形的混凝土受压区高度, 简称混凝土受压区高度;

$b$ 、 $h$ ——矩形截面宽度和高度;

$f_{sp}$ 、 $f'_{sp}$ ——加固钢板的抗拉、抗压强度设计值;

$A_{sp}$ 、 $A'_{sp}$ ——受拉钢板和受压钢板的截面面积;

$a'$ ——纵向受压钢筋合力点至截面近边的距离；

$h_0$ ——构件加固前的截面有效高度；

$\psi_{sp}$ ——考虑二次受力影响时，受拉钢板抗拉强度有可能达不到设计值而引用的折减系数；当  $\psi_{sp} > 1.0$  时，取  $\psi_{sp} = 1.0$ ；

$\varepsilon_{cu}$ ——混凝土极限压应变，取  $\varepsilon_{cu} = 0.0033$ ；

$\varepsilon_{sp,o}$ ——考虑二次受力影响时，受拉钢板的滞后应变，应按本规范第 10.2.6 条的规定计算；若不考虑二次受力影响，取  $\varepsilon_{sp,o} = 0$ ；

若受压面没有粘贴钢板（即  $A'_{sp} = 0$ ），可根据式 10.2.3 - 1 计算出混凝土受压区的高度  $x$ ，按式 10.2.3 - 3 计算出强度折减系数  $\psi_{sp}$ ，然后代入式 10.2.3 - 2，求出受拉面应粘贴的钢板加固量  $A_{sp}$ 。

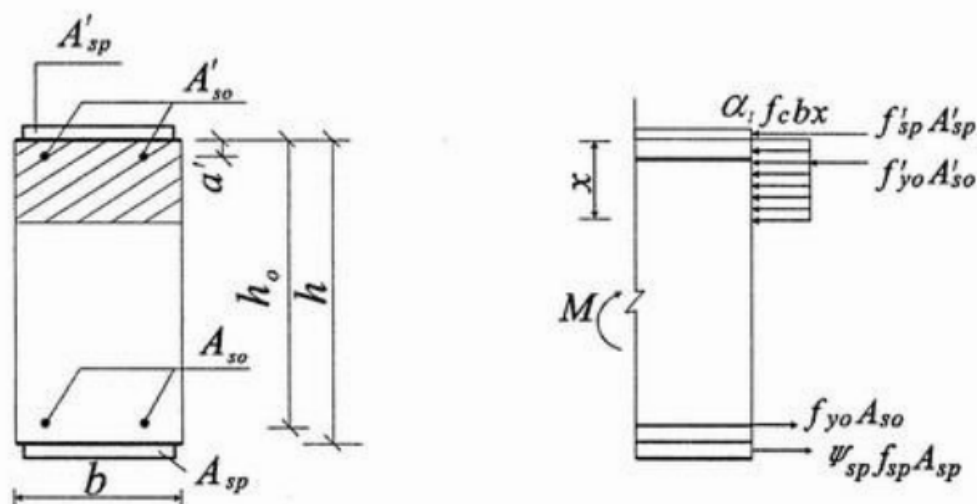


图 10.2.3 矩形截面正截面受弯承载力计算

10.2.4 对受弯构件正弯矩区的正截面加固，受拉钢板的截断位置距其充分利用截面的距离不应小于按下式确定的粘贴延伸长度；

$$l_{sp} = f_{sp} t_{sp} / f_{bd} \geq 170 t_{sp} \quad (10.2.4)$$

式中  $l_{sp}$ ——受拉钢板粘贴延伸长度 (mm)；

$t_{sp}$ ——粘贴的钢板总厚度 (mm)；

$f_{sp}$ ——加固钢板的抗拉强度设计值；

$f_{bd}$ ——钢板与混凝土之间的粘结强度设计值 (MPa)，按表 10.2.4 采用。

对受弯构件负弯矩区的正截面加固,钢板的截断位置距支座边缘的距离,除应根据负弯矩包络图按上式确定外,尚宜按本规范第 9.9.3 条的构造规定进行设计。

表 10.2.4 钢板与混凝土之间的粘结强度设计值  $f_{c,v}$  (MPa)

| 混凝土强度等级           | C15  | C20  | C25  | C30  | C35  | C40  | C45  | C50  | $\geq C60$ |
|-------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------------|
| 粘结强度设计值 $f_{c,v}$ | 0.61 | 0.80 | 0.94 | 1.05 | 1.14 | 1.21 | 1.26 | 1.31 | 1.35       |

10.2.5 对翼缘位于受压区的 T 形截面受弯构件的受拉面粘贴钢板进行受弯加固时,应按本规范第 10.2.1 条至第 10.2.3 条的原则和现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 中关于 T 形截面受弯承载力的计算方法进行计算。

10.2.6 当考虑二次受力影响时,加固钢板的滞后应变  $\varepsilon_{sp,o}$  应按式计算:

$$\varepsilon_{sp,o} = \frac{\alpha_{sp} M_{ok}}{E_s A_s h_o} \quad (10.2.6)$$

式中:  $M_{ok}$ ——加固前受弯构件验算截面上作用的弯矩标准值;

$\alpha_{sp}$ ——综合考虑受弯构件裂缝截面内力臂变化、钢筋拉应变不均匀以及钢筋排列影响的计算系数,按表 10.2.6 的规定采用。

表 10.2.6 计算系数  $\alpha_{sp}$  值

| $\rho_{te}$ | $\leq 0.007$ | 0.010 | 0.020 | 0.030 | 0.040 | $\geq 0.060$ |
|-------------|--------------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| 单排钢筋        | 0.70         | 0.90  | 1.15  | 1.20  | 1.25  | 1.30         |
| 双排钢筋        | 0.75         | 1.00  | 1.25  | 1.30  | 1.35  | 1.40         |

注: 1 表中  $\rho_{te}$  为原有混凝土有效受拉截面的纵向受拉钢筋配筋率,即  $\rho_{te} = A_s / A_{te}$ ;

$A_{te}$  为有效受拉混凝土截面面积,按现行设计规范 GB 50010 的规定计算。

2 当原构件钢筋应力  $\sigma_{so} \leq 150 \text{MPa}$ , 且  $\rho_{te} \leq 0.05$  时,表中  $\alpha_{sp}$  值可乘以调整系数 0.9。

10.2.7 当钢板全部粘贴在梁底面(受拉面)有困难时,允许将部分钢板对称地粘贴在梁的两侧面。此时,侧面粘贴区域应控制在距受拉边缘 1/4 梁高范围内,且应按式计算确定梁的两侧面实际需粘贴的钢板截面面积  $A_{sp,l}$ 。

$$A_{sp,l} = \eta_{sp} A_{sp,b} \quad (10.2.7)$$

式中  $A_{sp,b}$ ——按梁底面计算确定的、但需改贴到梁的两侧面的钢板截面面积;

$\eta_{sp}$ ——考虑改贴梁侧面引起的钢板受拉合力及其力臂改变的修正系数，应按表 10.2.7 采用。

表 10.2.7 修正系数 $\eta_{sp}$ 值

| $h_{sp}/h$  | 0.05 | 0.10 | 0.15 | 0.20 | 0.25 |
|-------------|------|------|------|------|------|
| $\eta_{sp}$ | 1.11 | 1.23 | 1.37 | 1.54 | 1.75 |

注：表中  $h_{sp}$  为从梁受拉边缘算起的侧面粘贴高度； $h$  为梁截面高度。

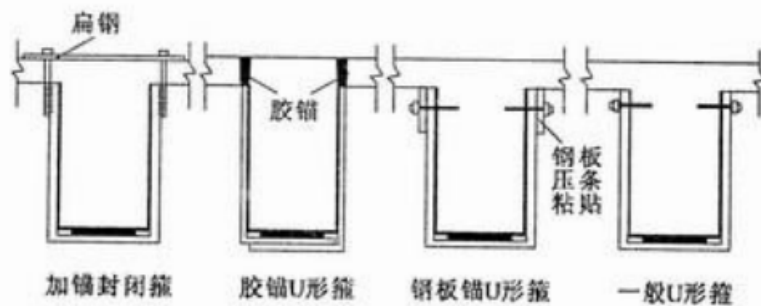
10.2.8 钢筋混凝土结构构件加固后，其正截面受弯承载力的提高幅度，不应超过 40%，并且应验算其受剪承载力，避免受弯承载力提高后而导致构件受剪破坏先于受弯破坏。

10.2.9 粘贴钢板的加固量，对受拉区和受压区，分别不应超过 3 层和 2 层，且钢板总厚度不应大于 10mm。

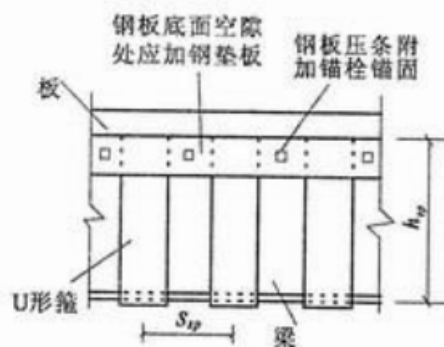
### 10.3 受弯构件斜截面加固计算

10.3.1 采用扁钢条带对受弯构件的斜截面受剪承载力进行加固时，应粘贴成垂直于构件轴线方向的加锚封闭箍或其他有效的 U 形箍（图 10.3.1）。

注：扁钢也可用钢板替代，但切割的边缘应加工平整。



(a)构造方式



(b)U形箍加纵向钢板压条

图 10.3.1 扁钢抗剪箍及其粘贴方式

### 10.3.2 受弯构件加固后的斜截面应符合下列条件

当  $h_w/b \leq 4$  时

$$V \leq 0.25 \beta_c f_{co} b h_o \quad (10.3.2-1)$$

当  $h_w/b \geq 6$  时

$$V \leq 0.20 \beta_c f_{co} b h_o \quad (10.3.2-2)$$

当  $4 < h_w/b < 6$  时，按线性内插法确定。

式中  $V$ ——构件斜截面加固后的剪力设计值；

$b$ ——矩形截面的宽度；T形或I形截面的腹板宽度；

$h_w$ ——截面的腹板高度：对矩形截面，取有效高度；对T形截面，取有效高度减去翼缘高度；对I形截面，取腹板净高。

10.3.3 采用加锚封闭箍或其他U形箍对钢筋混凝土梁进行抗剪加固时，其斜截面承载力应符合以下规定：

$$V \leq V_{bo} + V_{b,sp} \quad (10.3.3-1)$$

$$V_{b,sp} = \psi_{vb} f_{sp} A_{sp} h_{sp} / s_{sp} \quad (10.3.3-2)$$

式中  $V_{bo}$ ——加固前梁的斜截面承载力，按现行设计规范 GB 50010 计算；

$V_{b,sp}$ ——粘贴钢板加固后，对梁斜截面承载力的提高值；

$\psi_{vb}$ ——与钢板的粘贴方式及受力条件有关的抗剪强度折减系数；

$A_{sp}$ ——配置在同一截面处箍板的全部截面面积： $A_{sp} = 2b_{sp}t_{sp}$ ，此处： $b_{sp}$  和  $t_{sp}$  分别为箍板宽度和箍板厚度；

$h_{sp}$ ——梁侧面粘贴箍板的竖向高度；

$s_{sp}$ ——箍板的间距（图 10.3.1,b）。

表 10.3.3 抗剪强度折减系数  $\psi_{vb}$  值

| 箍板构造 |                           | 加锚封闭箍 | 胶锚或钢板锚 U 形箍 | 一般 U 形箍 |
|------|---------------------------|-------|-------------|---------|
| 受力条件 | 均布荷载或剪跨比 $\lambda \geq 3$ | 1.0   | 0.92        | 0.85    |
|      | 剪跨比 $\lambda \leq 1.5$    | 0.68  | 0.63        | 0.58    |

注：当  $\lambda$  为中间值时，按线性内插法确定  $\psi_{vb}$  值。



## 10.4 大偏心受压构件正截面加固计算

10.4.1 采用粘贴钢板加固大偏心受压钢筋混凝土柱时,应将钢板粘贴于构件受拉区,且钢板长向应与柱的纵轴线方向一致。

10.4.2 在矩形截面大偏心受压构件受拉边混凝土表面上粘贴钢板加固时,其正截面承载力应按下列公式确定:

$$N \leq \alpha_1 f_{co} b x + f'_{yo} A'_{so} + f'_{sp} A'_{sp} - f_{yo} A_{so} - f_{sp} A_{sp} \quad (10.4.2-1)$$

$$Ne \leq \alpha_1 f_{co} b x \left( h_0 - \frac{x}{2} \right) + f'_{yo} A'_{so} (h_0 - a') + f'_{sp} A'_{sp} h_0 + f_{sp} A_{sp} (h - h_0) \quad (10.4.2-2)$$

$$e = \eta e_i + \frac{h}{2} - a \quad (10.4.2-3)$$

$$e_i = e_o + e_a \quad (10.4.2-4)$$

式中  $N$ ——轴向拉力设计值;

$e$ ——轴向拉力作用点至纵向受拉钢筋合力点的距离;

$\eta$ ——偏心受压构件考虑二阶弯矩影响的轴向压力偏心距增大系数,除应按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定计算外,尚应乘以本规范第 5.4.3 条规定的修正系数  $\psi_\eta$ ;

$e_i$ ——初始偏心距;

$e_o$ ——轴向压力对截面重心的偏心距:  $e_o = M/N$ ;

$e_a$ ——附加偏心距,按偏心方向截面最大尺寸  $h$  确定;当  $h \leq 600\text{mm}$  时,  $e_a = 20\text{mm}$ ;当  $h > 600\text{mm}$  时,  $e_a = h/30$ ;

$a, a'$ ——纵向受拉钢筋合力点、纵向受压钢筋合力点至截面近边的距离;

$f_{sp}, f'_{sp}$ ——加固钢板的抗拉、抗压强度设计值。

## 10.5 受拉构件正截面加固计算

10.5.1 采用外贴钢板加固钢筋混凝土受拉构件(如贮仓、水池等)时,应按原构件纵向受拉钢筋的配置方式,将钢板粘贴于相应位置的混凝土表面上,且应处理好拐角部位的连接构造及其锚固。

10.5.2 轴心受拉构件的加固,其正截面承载力应按下列公式确定:

$$N \leq f_{yo} A_{so} + f_{sp} A_{sp} \quad (10.5.2)$$

式中  $N$ ——轴向拉力设计值；

$f_{sp}$ ——加固钢板的抗拉强度设计值；

10.5.3 矩形截面大偏心受拉构件的加固，其正截面承载力应符合下列规定：

$$N \leq f_{yo} A_{so} + f_{sp} A_{sp} - \alpha_1 f_{co} b x - f'_{yo} A'_{so} \quad (10.5.3-1)$$

$$Ne \leq \alpha_1 f_{co} b x \left( h_0 - \frac{x}{2} \right) + f'_{yo} A'_{so} (h_0 - a') + f_{sp} A_{sp} (h - h_0) \quad (10.5.3-2)$$

式中  $N$ ——轴向拉力设计值；

$e$ ——轴向拉力作用点至纵向受拉钢筋合力点的距离；

## 10.6 构造规定

10.6.1 采用手工涂胶粘贴的钢板厚度不应大于 5mm。采用压力注胶粘结的钢板厚度不应大于 10mm，且应按外粘型钢加固法的焊接节点构造进行设计。

10.6.2 对钢筋混凝土受弯构件进行正截面加固时，其受拉面沿构件轴向连续粘贴的加固钢板宜延长至支座边缘，且应在钢板的端部（包括截断处）及集中荷载作用点的两侧，设置 U 形钢箍板（对梁）或横向钢压条（对板）进行锚固。

10.6.3 当粘贴的钢板延伸至支座边缘仍不满足本规范第 10.2.4 条延伸长度的要求时，应采取下列锚固措施：

1 对梁，应在延伸长度范围内均匀设置 U 形箍（图 10.6.3），且应在延伸长度的端部设置一道加强箍。U 形箍的粘贴高度应为梁的截面高度；若梁有翼缘（或有现浇楼板），应伸至其底面。U 形箍的宽度，对端箍不应小于加固钢板宽度的 2/3，且不应小于 80mm；对中间箍不应小于加固钢板宽度的 1/2，且不应小于 40mm。U 形箍的厚度不应小于受弯加固钢板厚度的 1/2，且不应小于 4mm。U 形箍的上端应设置纵向钢压条；压条下面的空隙应加胶粘钢垫块填平。

2 对板，应在延伸长度范围内通长设置垂直于受力钢板方向的钢压条。钢压条应在延伸长度范围内均匀布置，且应在延伸长度的端部设置一道。压条的宽度不应小于受弯加固钢板宽度的 3/5，钢压条的厚度不应小于受弯加固钢板厚度的 1/2。

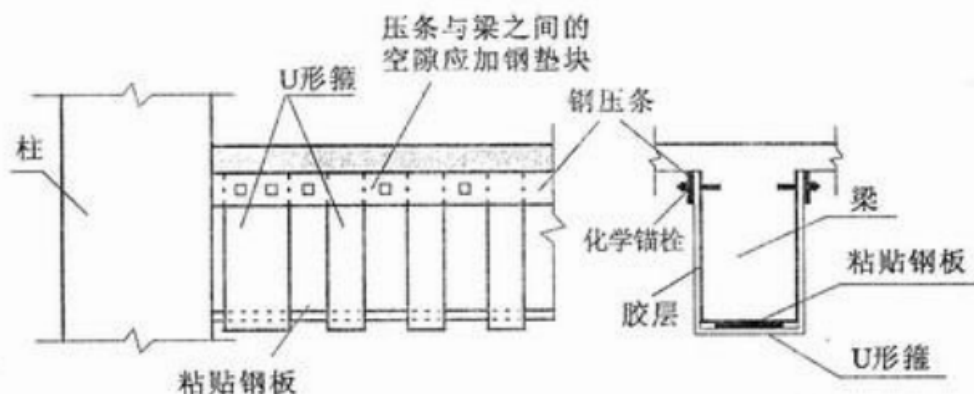


图 10.6.3 梁粘贴钢板端部锚固措施

10.6.4 当采用钢板对受弯构件负弯矩区进行正截面承载力加固时，应采取下列构造措施：

1 支座处无障碍时，钢板应在负弯矩包络图范围内连续粘贴；其延伸长度的截断点应按本规范第 10.2.4 条的原则确定。在端支座无法延伸的一侧，尚应按本规范图 9.9.3 - 2 或图 9.9.3 - 3 的构造方式进行锚固处理。

2 支座处虽有障碍，但梁上有现浇板时，允许绕过柱位，在梁侧 4 倍板厚( $4h_b$ )范围内，将钢板粘贴于板面上（图 10.6.4）。

3 当梁上无现浇板，或负弯矩区的支座处需采取加强的锚固措施时，可按本规范图 9.9.3 - 3 的构造方式进行锚固处理。

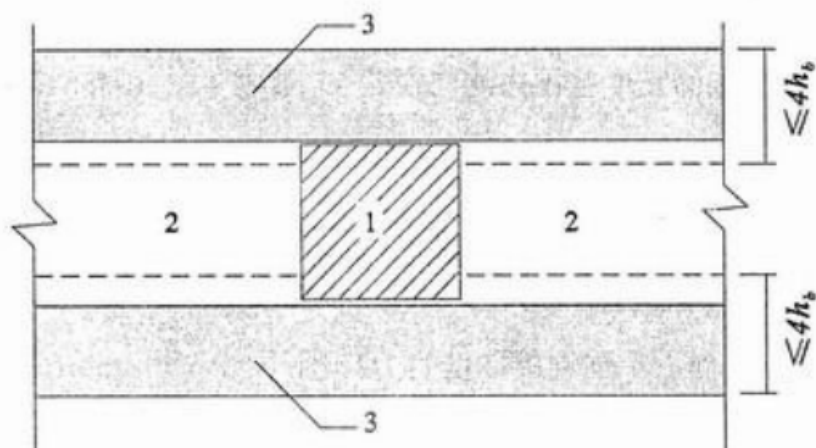


图 10.6.4 绕过柱位粘贴钢板

1—柱；2—梁；3—板顶面粘贴的钢板； $h_b$ —板厚

10.6.5 当加固的受弯构件需粘贴不止一层钢板时，相邻两层钢板的截断位置应错开不小于 300mm，并应在截断处加设 U 形箍（对梁）或横向压条（对板）进行锚固。

10.6.6 当采用粘贴钢板箍对钢筋混凝土梁或大偏心受压构件的斜截面承载力进行加固时，其构造应符合下列规定：

- 1 宜选用封闭箍或加锚的 U 形箍；若仅按构造需要设箍，也可采用一般 U 形箍；
- 2 受力方向应与构件轴向垂直；
- 3 封闭箍及 U 形箍的净间距  $s_{f,n}$  不应大于现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 规定的最大箍筋间距的 0.7 倍，且不应大于梁高的 0.25 倍。
- 4 箍板的粘贴高度应符合本规范第 10.6.3 条的要求；一般 U 形箍的上端应粘贴纵向钢压条予以锚固。钢压条下面的空隙应加胶粘钢垫板填平。
- 5 当梁的截面高度（或腹板高度） $h \geq 600\text{mm}$  时，应在梁的腰部增设一道纵向腰间钢压条（图 10.6.6）。

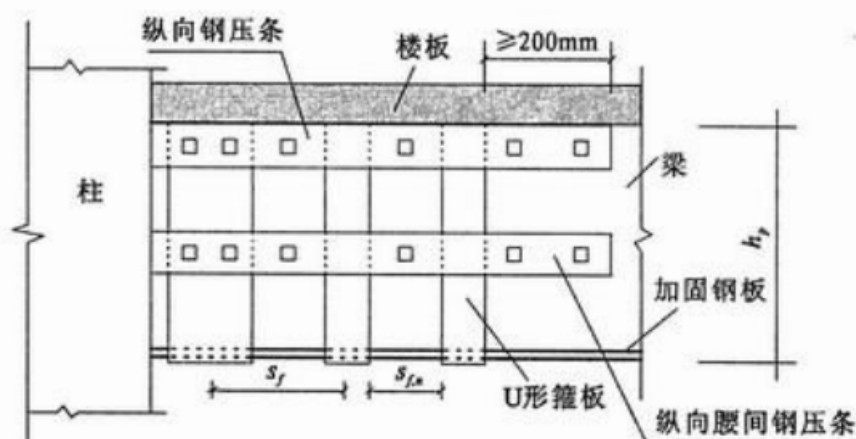


图 10.6.6 纵向腰间钢压条

## 11 增设支点加固法

### 11.1 设计规定

11.1.1 本方法适用于梁、板、桁架、网架等结构的加固。

11.1.2 本方法按支承结构受力性能的不同可分为刚性支点加固法和弹性支点加固法两种。设计时,应根据被加固结构的构造特点和工作条件选用其中一种。

11.1.3 设计支承结构或构件时,宜采用有预加力的方案。预加力的大小,应以支点处被支顶构件表面不出现裂缝和不增设附加钢筋为度。

11.1.4 制作支承结构和构件的材料,应根据被加固结构所处的环境及使用要求确定。当在高湿度或高温环境中使用钢构件及其连接时,应采用有效的防锈、隔热措施。

### 11.2 加固计算

11.2.1 采用刚性支点加固梁、板时,其结构计算应按下列步骤进行:

- 1 计算并绘制原梁的内力图;
- 2 初步确定预加力(卸荷值),并绘制在支承点预加力作用下梁的内力图;
- 3 绘制加固后梁在新增荷载作用下的内力图;
- 4 将上述内力图迭加,绘出梁各截面内力包络图;
- 5 计算梁各截面实际承载力;
- 6 调整预加力值,使梁各截面最大内力值小于截面实际承载力;
- 7 根据最大的支点反力,设计支承结构及其基础。

11.2.2 采用弹性支点加固梁时,应先计算出所需支点弹性反力的大小,然后根据此力确定支承结构所需的刚度,具体步骤如下:

- 1 计算并绘制原梁的内力图;
- 2 绘制原梁在新增荷载下的内力图;
- 3 确定原梁所需的预加力(卸荷值),并由此求出相应的弹性支点反力值  $R$ ;
- 4 根据所需的弹性支点反力  $R$  及支承结构类型,计算支承结构所需的刚度;
- 5 根据所需的刚度确定支承结构截面尺寸,并验算其地基基础。

## 11.3 构造规定

11.3.1 采用增设支点加固法新增的支柱、支撑，其上端应与被加固的梁可靠连接：

### 1 湿式连接：

当采用钢筋混凝土支柱、支撑为支承结构时，可采用钢筋混凝土套箍湿式连接（图 11.3.1,a）；被连接部位梁的混凝土保护层应全部凿掉，露出箍筋；起连接作用的钢筋箍可做成  $\Pi$  型；也可做成  $\Gamma$  型，但应卡住整个梁截面，并与支柱或支撑中的受力筋焊接。钢筋箍的直径应由计算确定，且不应少于 2 根直径为 12mm 的钢筋。节点处后浇混凝土的强度等级，不应低于 C25。

### 2 干式连接：

当采用型钢支柱、支撑为支承结构时，可采用型钢套箍干式连接（图 11.3.1,b）。

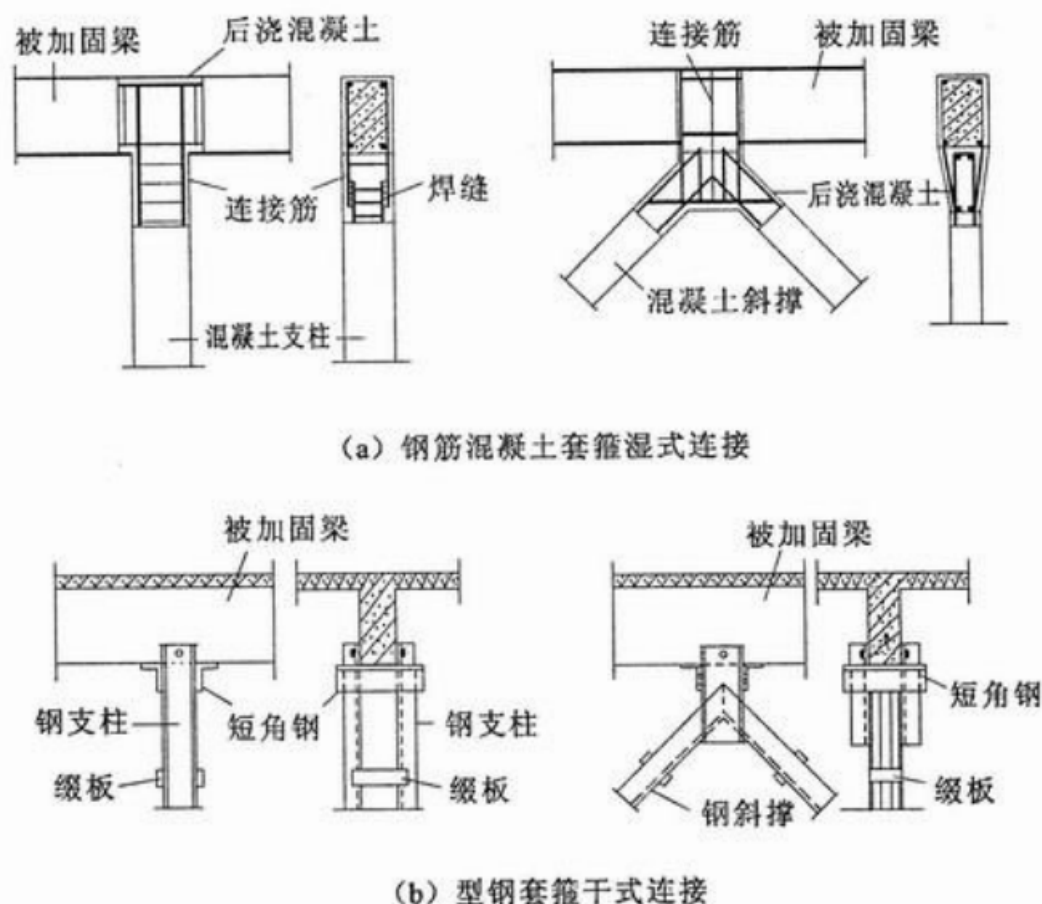


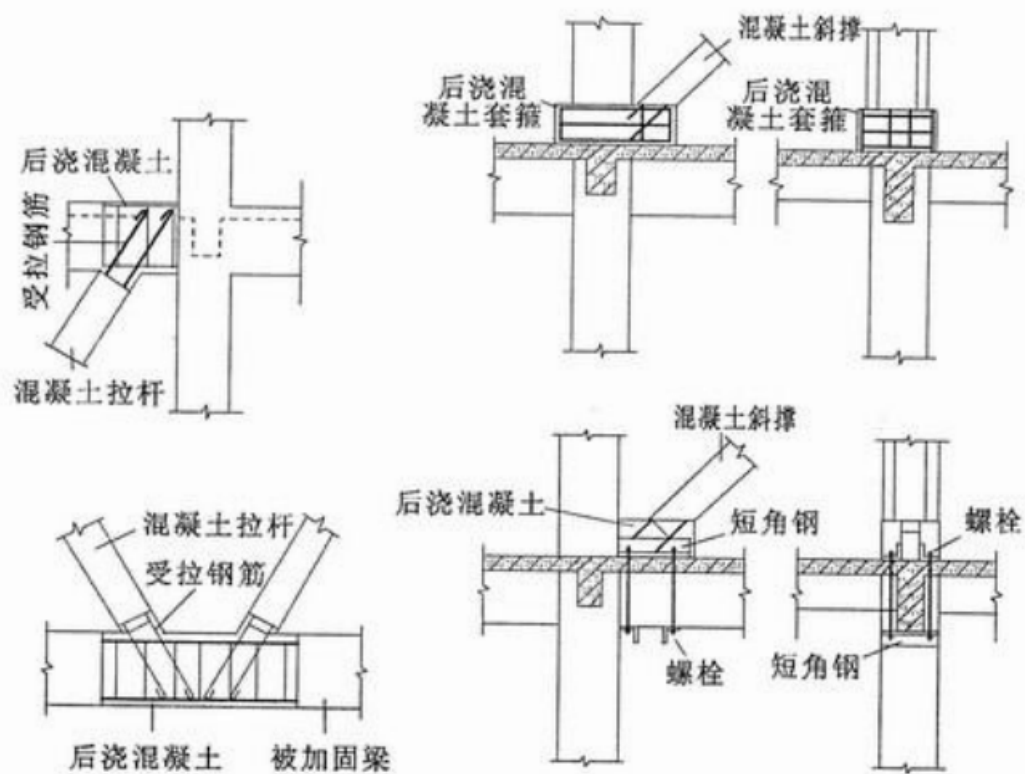
图 11.3.1 支柱、支撑上端与原结构的连接构造

11.3.2 增设支点加固法新增的支柱、支撑，其下端连接，若直接支承于基础，可按一般地基基础构造进行处理；若斜撑底部以梁、柱为支承时，可采用以下构造：

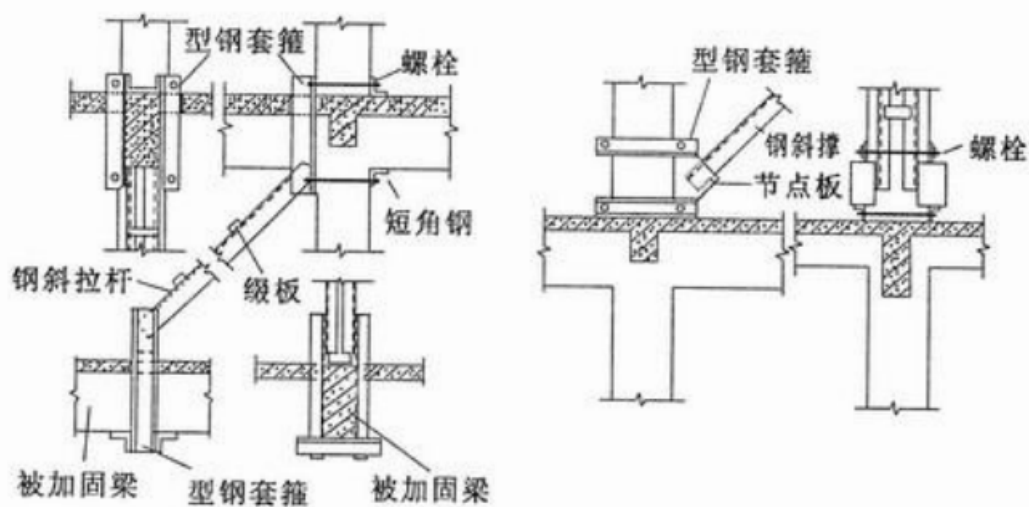
1 对钢筋混凝土支撑，可采用湿式钢筋混凝土围套连接（图 11.3.2,a）。对受拉支撑，其受拉主筋应绕过上、下梁（柱），并采用焊接。

2 对钢支撑，可采用型钢套箍干式连接（图 11.3.2,b）。





(a) 钢筋混凝土围套湿式连接



(b) 型钢套箍干式连接

图 11.3.2 斜撑底部与梁柱的连接构造

## 12 植筋技术

### 12.1 设计规定

12.1.1 本章适用于钢筋混凝土结构构件的锚固；不适用于素混凝土构件，包括纵向受力钢筋配筋率低于最小配筋百分率规定的构件锚固。素混凝土构件及低配筋率构件的植筋应按锚栓进行设计计算。

12.1.2 采用植筋技术时，原构件的混凝土强度等级应符合下列规定：

- 1 当新增构件为悬挑结构构件时，其原构件混凝土强度等级不得低于 C25；
- 2 当新增构件为其他结构构件时，其原构件混凝土强度等级不得低于 C20。

12.1.3 采用植筋锚固时，其锚固部位的原构件混凝土不得有局部缺陷。若有局部缺陷，应先进行补强或加固处理后再植筋。

12.1.4 种植用的钢筋，应采用质量和规格符合本规范第 4 章规定的带肋钢筋。当采用进口带肋钢筋时，除应按现行专门规程检验其性能外，尚应要求其相对肋面积  $A_r$  符合  $0.055 \leq A_r \leq 0.08$  的规定。

12.1.5 植筋用的胶粘剂必须采用改性环氧类和改性乙烯基酯类（包括改性氨基甲酸酯）的胶粘剂。当植筋的直径大于 22mm 时，应采用 A 级胶。锚固用胶粘剂的质量和性能应符合本规范第 4 章的规定。

12.1.6 采用植筋锚固的混凝土结构，其长期使用的环境温度不应高于 60℃；处于特殊环境（如高温、高湿、介质腐蚀等）的混凝土结构采用植筋技术时，除应按国家现行有关标准的规定采取相应的防护措施外，尚应采用耐环境因素作用的胶粘剂。

### 12.2 锚固计算

12.2.1 承重构件的植筋锚固计算应遵守下列规定：

- 1 植筋设计应在计算和构造上防止混凝土发生劈裂破坏；
- 2 植筋仅承受轴向力，且仅允许按充分利用钢材强度的计算模式进行设计；
- 3 植筋胶粘剂的粘结强度设计值应按本章的规定值采用；

4 地震区的承重结构,其植筋承载力仍按本节的规定进行计算,但其锚固深度设计值应乘以考虑位移延性要求的修正系数。

12.2.2 单根植筋锚固的承载力设计值应符合下列规定:

$$N_t^b = f_y A_s \quad (12.2.2-1)$$

$$l_d \geq \psi_n \psi_{ae} l_s \quad (12.2.2-2)$$

式中  $N_t^b$ ——植筋钢材轴向受拉承载力设计值;

$f_y$ ——植筋用钢筋的抗拉强度设计值;

$A_s$ ——钢筋截面面积;

$l_d$ ——植筋锚固深度设计值;

$l_s$ ——植筋的基本锚固深度,按本规范第 12.2.3 条确定;

$\psi_n$ ——考虑各种因素对植筋受拉承载力影响而需加大锚固深度的修正系数,按本规范第 12.2.5 条确定;

$\psi_{ae}$ ——考虑植筋位移延性要求的修正系数:当混凝土强度等级低于 C30 时,对 6 度区及 7 度区一、二类场地,取  $\psi_{ae}=1.1$ ;对 7 度区三、四类场地及 8 度区,取  $\psi_{ae}=1.25$ 。当混凝土强度高于 C30 时,取  $\psi_{ae}=1.0$ 。

12.2.3 植筋的基本锚固深度  $l_s$ 应按下列公式确定:

$$l_s = 0.2 \alpha_{spt} d f_y / f_{bd} \quad (12.2.3)$$

式中  $\alpha_{spt}$ ——为防止混凝土劈裂引用的计算系数,按本规范表 12.2.3 的确定;

$d$ ——植筋公称直径;

$f_{bd}$ ——植筋用胶粘剂的粘结强度设计值,按本规范表 12.2.4 的规定值采用。

表 12.2.3 考虑混凝土劈裂影响的计算系数  $\alpha_{spt}$

| 混凝土保护层厚度 $c(\text{mm})$ |                      | 25                         |        | 30   |        | 35       | $\geq 40$ |
|-------------------------|----------------------|----------------------------|--------|------|--------|----------|-----------|
| 箍筋设置情况                  | 直径 $\phi(\text{mm})$ | 6                          | 8 或 10 | 6    | 8 或 10 | $\geq 6$ | $\geq 6$  |
|                         | 间距 $s(\text{mm})$    | 在植筋锚固深度范围内, $s$ 不应大于 100mm |        |      |        |          |           |
| 植筋直径 $d(\text{mm})$     | $\leq 20$            | 1.0                        |        | 1.0  |        | 1.0      | 1.0       |
|                         | 25                   | 1.1                        | 1.05   | 1.05 | 1.0    | 1.0      | 1.0       |
|                         | 32                   | 1.25                       | 1.15   | 1.15 | 1.1    | 1.1      | 1.05      |

注:当植筋直径介于表列数值之间时,可按线性内插法确定  $\alpha_{spt}$  值。

12.2.4 植筋用胶粘剂的粘结强度设计值  $f_{bd}$  应按表 12.2.4 的规定值采用。

表 12.2.4 粘结强度设计值  $f_{bd}$

| 胶粘剂等级      | 构造条件                            | 混凝土强度等级 |     |     |     |            |
|------------|---------------------------------|---------|-----|-----|-----|------------|
|            |                                 | C20     | C25 | C30 | C40 | $\geq C60$ |
| A 级胶或 B 级胶 | $s_1 \geq 5d$ 、 $s_2 \geq 2.5d$ | 2.3     | 2.7 | 3.4 | 3.6 | 4.0        |
| A 级胶       | $s_1 \geq 6d$ ； $s_2 \geq 3.0d$ | 2.3     | 2.7 | 3.6 | 4.0 | 4.5        |
|            | $s_1 \geq 7d$ ； $s_2 \geq 3.5d$ | 2.3     | 2.7 | 4.0 | 4.5 | 5.0        |

注：1 当使用表中的  $f_{bd}$  值时，其构件的混凝土保护层厚度，应不低于现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定值；

2 表中  $s_1$  为植筋间距； $s_2$  为植筋边距；

3 表中  $f_{bd}$  值仅适用于带肋钢筋的粘结锚固。

12.2.5 考虑各种因素对植筋受拉承载力影响而需加大锚固深度的修正系数  $\psi_N$ ，应按下列公式计算：

$$\psi_N = \psi_{br} \psi_w \psi_T \quad (12.2.5)$$

式中  $\psi_{br}$ ——考虑结构构件受力状态对承载力影响的系数：当为悬挑结构构件时， $\psi_{br}=1.5$ ；当为非悬挑的重要构件接长时， $\psi_{br}=1.15$ ；当为其他构件时， $\psi_{br}=1.0$ ；

$\psi_w$ ——混凝土孔壁潮湿影响系数，对耐潮湿型胶粘剂，按产品说明书的规定值采用，但不得低于 1.1。

$\psi_T$ ——使用环境的温度 ( $T$ ) 影响系数，当  $T \leq 60^\circ\text{C}$  时，取  $\psi_T=1.0$ ；当  $60^\circ\text{C} < T \leq 80^\circ\text{C}$  时，应采用耐中温胶粘剂，并应按产品说明书规定的  $\psi_T$  值采用；当  $T > 80^\circ\text{C}$  时，应采用耐高温胶粘剂，并应采取有效的隔热措施。

12.2.6 承重结构植筋的锚固深度必须经设计计算确定；严禁按短期拉拔试验值或厂商技术手册的推荐值采用。

## 12.3 构造规定

12.3.1 当按构造要求植筋时，其最小锚固长度  $l_{min}$  应符合下列构造要求：

- 1 受拉钢筋锚固： $\max \{0.3l_s; 10d; 100\text{mm}\}$ ；

2 受压钢筋锚固:  $\max \{0.6l_s; 10d; 100\text{mm}\}$ 。

注: 对悬挑结构、构件尚应乘以 1.5 的修正系数。

12.3.2 当所植钢筋与原钢筋搭接(图 12.3.2)时, 其受拉搭接长度  $l_l$ , 应根据位于同一连接区段内的钢筋搭接接头面积百分率, 按下列公式确定:

$$l_l = \zeta l_d \quad (12.3.2)$$

式中  $\zeta$  ——受拉钢筋搭接长度修正系数, 按表 12.3.2 取值。

表 12.3.2 纵向受拉钢筋搭接长度修正系数

| 纵向受拉钢筋搭接接头面积百分率(%) | $\leq 25$ | 50  | 100 |
|--------------------|-----------|-----|-----|
| $\zeta$ 值          | 1.2       | 1.4 | 1.6 |

注: 1 钢筋搭接接头面积百分率定义按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 的规定采用;

- 2 当实际搭接接头面积百分率介于表列数值之间时, 按线性内插法确定  $\zeta$  值;
- 3 对梁类构件, 受拉钢筋搭接接头面积百分率不应超过 50%。

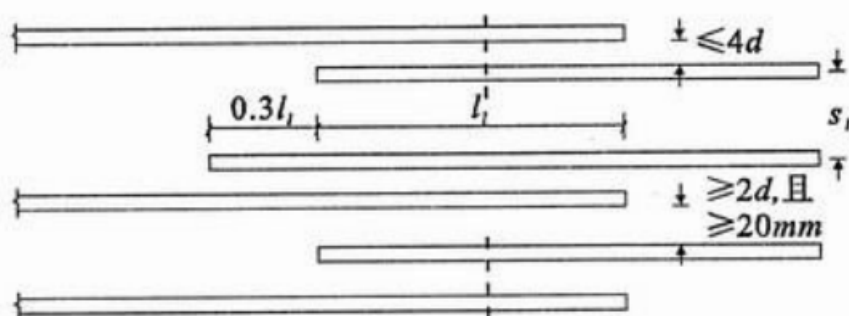


图 12.3.2 钢筋搭接

12.3.3 当植筋搭接部位的箍筋间距  $s$  不符合表 12.2.3 的规定时, 应进行防劈裂加固。此时, 可采用纤维织物复合材的围束作为原构件的附加箍筋进行加固。围束可采用宽度为 150mm, 厚度不小于 0.111mm 的条带缠绕而成, 缠绕时, 围束间应无间隔, 且每一围束, 其所粘贴的条带不应少于 3 层。对方形截面尚应打磨棱角, 打磨的质量应符合本规范第 9.9.10 条的要求。若采用纤维织物复合材的围束有困难, 也可剔去原构件混凝土保护层, 增设新箍筋(或钢箍板)进行加密(或增强)后再植筋。

12.3.4 新植钢筋与原有钢筋在搭接部位的净间距, 应按本规范图 12.3.2 的标示值确定。若净间距超过  $4d$ , 则搭接长度  $l_l$  应增加  $2d$ , 但净间距不得大于  $6d$ 。

12.3.5 用于植筋的钢筋混凝土构件, 其最小厚度  $h_{min}$  应符合下列规定:

$$h_{min} \geq l_d + 2D$$

(12.3.5)

式中 D 为钻孔直径，应按表 12.3.5 确定。

表 12.3.5 植筋直径与对应的钻孔直径设计值

| 钢筋直径 d (mm) | 钻孔直径设计值 D (mm) |
|-------------|----------------|
| 12          | 15             |
| 14          | 18             |
| 16          | 20             |
| 18          | 22             |
| 20          | 25             |
| 22          | 28             |
| 25          | 31             |
| 28          | 35             |
| 32          | 40             |

12.3.6 植筋时，其钢筋宜先焊后种植；若有困难而必需后焊，其焊点距基材混凝土表面应大于 15d，且应采用冰水浸渍的湿毛巾包裹植筋的根部。



## 13 锚栓技术

### 13.1 设计规定

13.1.1 本章适用于普通混凝土承重结构；不适用于轻质混凝土结构及严重风化的结构。

13.1.2 混凝土结构采用锚栓技术时，其混凝土强度等级：对重要构件不应低于 C30 级；对一般构件不应低于 C20 级。

13.1.3 承重结构用的锚栓，应采用有机械锁键效应的后扩底锚栓（图 13.1.3），也可采用适应开裂混凝土性能的定型化学锚栓。当采用定型化学锚栓时，其产品说明书标明的有效锚固深度：对承受拉力的锚栓，不得小于  $8.0d_0$ （ $d_0$  为锚栓公称直径）；对承受剪力的锚栓，不得小于  $6.5d_0$ 。

当定型化学锚栓产品说明书标明的有效锚固深度大于  $10d_0$  时，应按植筋的设计规定核算其承载力。

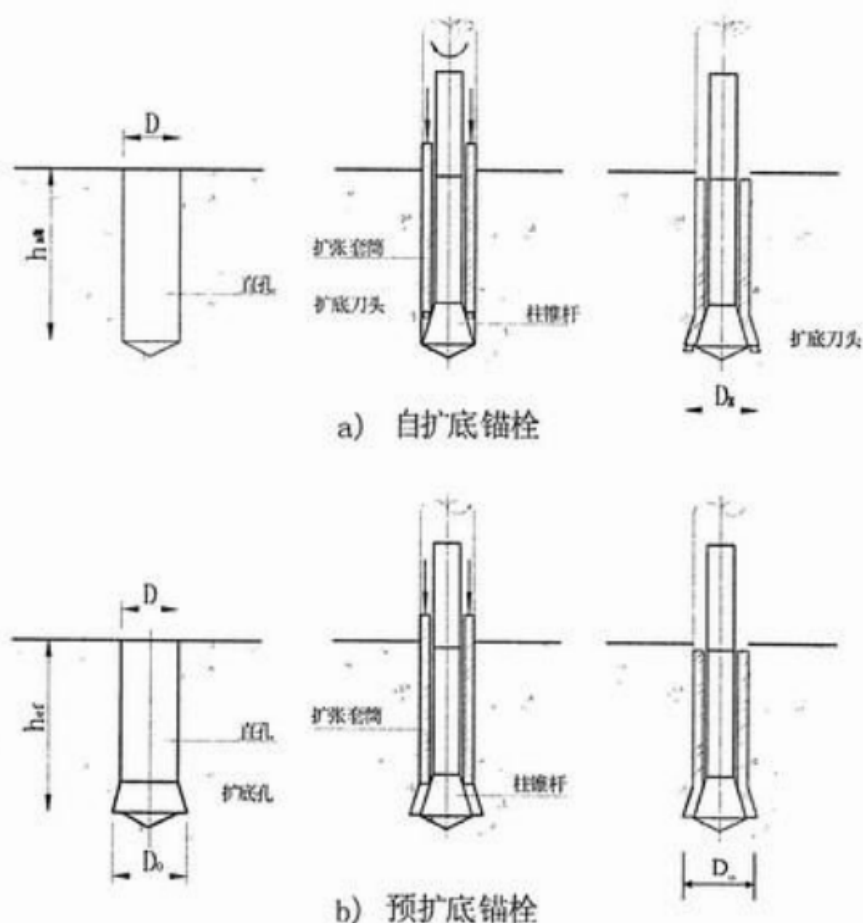


图 13.1.3 后扩底锚栓 ( $D_0$  为扩底直径)

13.1.4 承重结构中严禁采用膨胀型锚栓。

13.1.5 当在抗震区承重结构中采用锚栓时,应采用加长型后扩底锚栓,且仅允许用于设防烈度不高于 8 度、建于 I、II 类场地的建筑物;定型化学锚栓仅允许用于设防烈度不高于 7 度的建筑物。

13.1.6 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。

13.1.7 锚栓受力分析应符合本规范附录 M 的规定。

## 13.2 锚栓钢材承载力验算

13.2.1 锚栓钢材的承载力验算,应按锚栓受拉、受剪及同时受拉剪作用等三种受力情况分别进行。

13.2.2 锚栓钢材受拉承载力设计值,应符合下列规定:

$$N_t^a = f_{ud,t} A \quad (13.2.2)$$

式中  $N_t^a$ ——锚栓钢材受拉承载力设计值;

$f_{ud,t}$ ——锚栓钢材用于抗拉计算的强度设计值,必须按本规范第 13.2.3 条的规定采用;

$A_s$ ——锚栓有效截面面积。

13.2.3 碳钢、合金钢及不锈钢锚栓的钢材强度设计指标必须符合表 13.2.3-1 和表 13.2.3-2 的规定。

表 13.2.3-1 碳钢及合金钢锚栓钢材强度设计指标

| 性能等级         |                   | 4.8 | 5.8 | 6.8 | 8.8 |
|--------------|-------------------|-----|-----|-----|-----|
| 锚栓强度设计值(MPa) | 用于抗拉计算 $f_{ud,t}$ | 250 | 310 | 370 | 490 |
|              | 用于抗剪计算 $f_{ud,v}$ | 150 | 180 | 220 | 290 |

注:锚栓受拉弹性模量  $E_s$  取  $2.0 \times 10^5 \text{MPa}$ ;

表 13.2.3-2 不锈钢锚栓钢材强度设计指标

| 性能等级         |                   | 50        | 70        | 80        |
|--------------|-------------------|-----------|-----------|-----------|
| 螺纹直径(mm)     |                   | $\leq 32$ | $\leq 24$ | $\leq 24$ |
| 锚栓强度设计值(MPa) | 用于抗拉计算 $f_{ud,t}$ | 175       | 370       | 500       |
|              | 用于抗剪计算 $f_{ud,v}$ | 105       | 225       | 300       |

13.2.4 锚栓钢材受剪承载力设计值,应区分无杠杆臂和有杠杆臂两种情况(图 13.2.4)进行计算:

## 1 无杠杆臂受剪

$$V^a = f_{ud,v} A_s \quad (13.2.4-1)$$

## 2 有杠杆臂受剪

$$V^a = 1.2 W_{el} f_{ud,t} \left( 1 - \frac{\sigma}{f_{ud,t}} \right) \frac{\alpha_m}{l_o} \quad (13.2.4-2)$$

式中  $V^a$ ——锚栓钢材受剪承载力设计值；

$A_s$ ——锚栓的有效截面面积；

$W_{el}$ ——锚栓截面抵抗矩；

$\sigma$ ——被验算锚栓承受的轴向拉应力，其值按  $N/A_s$  确定；符号  $N$  和  $A_s$  的意义见 (13.2.2) 式注；

$\alpha_m$ ——约束系数，对图 13.2.4 (a) 的情况，取  $\alpha_m=1$ ；对图 13.2.4 (b) 的情况，取  $\alpha_m=2$ ；

$l_o$ ——杠杆臂计算长度；当基材表面有压紧的螺帽时，取  $l_o=l$ ；当无压紧螺帽时，取  $l_o=l+0.5d$ 。

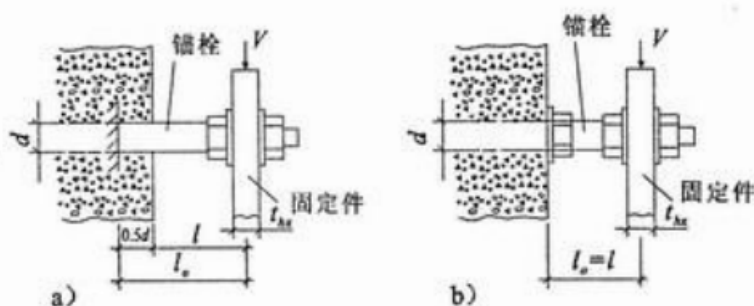


图 13.2.4 锚栓杠杆臂计算长度的确定

## 13.3 基材混凝土承载力验算

13.3.1 基材混凝土的承载力验算，应考虑三种破坏模式：混凝土呈锥形受拉破坏（图 13.3.1-1）、混凝土边缘呈楔形受剪破坏（图 13.3.1-2）以及同时受拉、剪作用破坏。对混凝土剪撬破坏（图 13.3.1-3）和混凝土劈裂破坏，应通过采取构造措施予以防止，不参与验算。

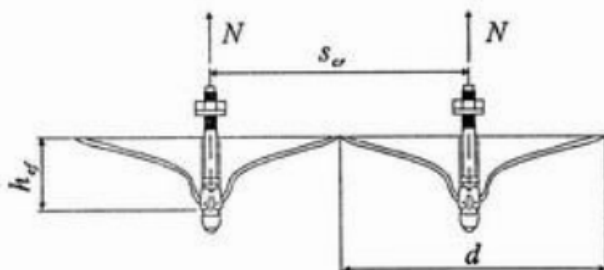


图 13.3.1-1 混凝土呈锥形受拉破坏

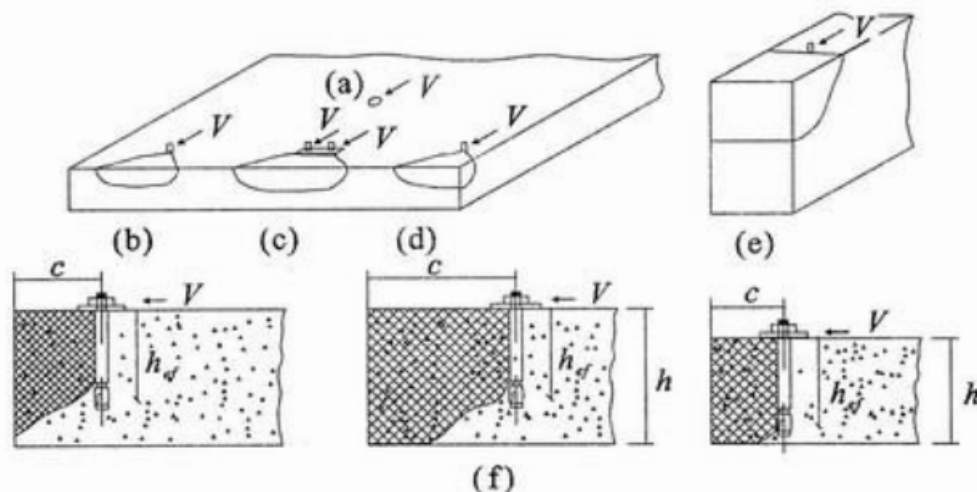


图 13.3.1 - 2 混凝土边缘呈楔形受剪破坏

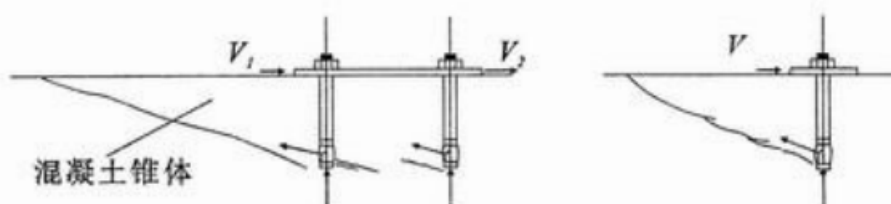


图 13.3.1 - 3 混凝土剪撬破坏

13.3.2 基材混凝土的受拉承载力设计值，应按下列公式进行验算：

1 对后扩底锚栓

$$N_t^c = 2.8 \psi_a \psi_N \sqrt{f_{cu,k}} h_{ef}^{1.5} \quad (13.3.2 - 1)$$

2 对定型化学锚栓

$$N_t^c = 2.4 \psi_b \psi_N \sqrt{f_{cu,k}} h_{ef}^{1.5} \quad (13.3.2 - 2)$$

式中  $N_t^c$ ——锚栓连接的基材混凝土受拉承载力设计值；

$f_{cu,k}$ ——混凝土立方体抗压强度标准值 (MPa)，按现行设计规范 GB 50010 的规定采用；

$h_{ef}$ ——锚栓的有效锚固深度 (mm)；应按锚栓产品说明书标明的有效锚固深度采用；

$\psi_a$ ——基材混凝土强度等级对锚固承载力的影响系数；当混凝土强度等级低于 C30 时，对自扩底锚栓：取  $\psi_a=0.95$ ；对预扩底锚栓，取  $\psi_a=0.86$ ；当混凝土强度等级在 C30 及以上时，取  $\psi_a=1.0$ ；

$\psi_b$ ——定型化学锚栓直径对粘结强度的影响系数，当  $d_o \leq 16\text{mm}$ ，取  $\psi_b=0.95$ ；当  $d_o=24\text{mm}$  时，取  $\psi_b=0.85$ ；介于两者之间的  $\psi_b$  值，按线性内插法确定；

$\psi_N$ ——考虑各种因素对基材混凝土受拉承载力影响的修正系数，按本规范第 13.3.3 条计算。

13.3.3 基材混凝土受拉承载力修正系数  $\psi_N$  值应按下列公式计算:

$$\psi_N = \psi_{s,N} \psi_{e,N} A_{c,N} / A_{c,N}^0 \quad (13.3.3 - 1)$$

$$\psi_{e,N} = 1 / [1 + (2e_N / s_{cr,N})] \leq 1 \quad (13.3.3 - 2)$$

式中  $\psi_{s,N}$  ——考虑构件边距及锚固深度等因素对基材受力的影响系数, 取  $\psi_{s,N} = 0.8$ ;

$\psi_{e,N}$  ——荷载偏心对群锚受拉承载力的影响系数;

$A_{c,N} / A_{c,N}^0$  ——考虑锚栓边距和间距对锚栓受拉承载力影响的系数, 按本规范第 13.3.4 条确定;

$c$  ——锚栓的边距 (mm);

$s_{cr,N}$  和  $c_{cr,N}$  ——混凝土呈锥形受拉时, 确保每一锚栓承载力不受间距和边距效应影响的最小间距 (mm) 和最小边距 (mm), 按本规范表 13.4.3 的规定值采用;

$e_N$  ——拉力 (或其合力) 对受拉锚栓形心的偏心距。

13.3.4 当锚栓承载力不受其间距和边距效应影响时, 由单个锚栓引起的基材混凝土呈锥形受拉破坏的锥体投影面积基准值  $A_{c,N}^0$  (图 13.3.4) 可按下列公式确定:

$$A_{c,N}^0 = s_{cr,N}^2 \quad (13.3.4)$$

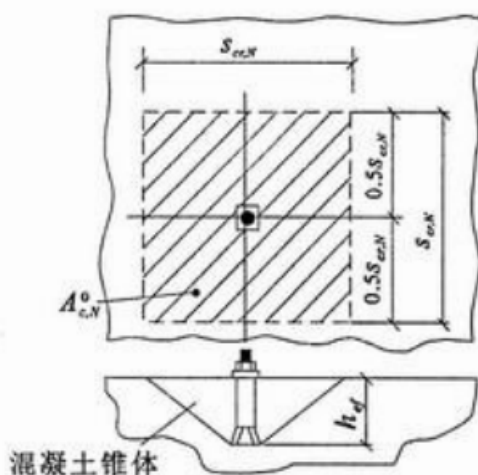


图 13.3.4 单锚混凝土锥形破坏理想锥体投影面积

13.3.5 混凝土呈锥形受拉破坏的实际锥体投影面积  $A_{c,N}$ , 可按下列规定计算:

1 当边距  $c > c_{cr,N}$ , 且间距  $s > s_{cr,N}$  时

$$A_{c,N} = n A_{c,N}^0 \quad (13.3.5 - 1)$$

式中  $n$  ——参与受拉工作的锚栓个数。

2 当边距  $c \leq c_{cr,N}$  (图 13.3.5) 时

1) 对  $c_1 \leq c_{cr,N}$  (图 13.3.5.a) 的单锚情形

$$A_{c,N} = (c_1 + 0.5s_{cr,N})s_{cr,N} \quad (13.3.5-2)$$

2) 对  $c_1 \leq c_{cr,N}$ , 且  $s_1 \leq s_{cr,N}$  (图 13.3.5-2, b) 的双锚情形

$$A_{c,N} = (c_1 + s_1 + 0.5s_{cr,N})s_{cr,N} \quad (13.3.5-3)$$

3) 对  $c_1, c_2 \leq c_{cr,N}$ , 且  $s_1, s_2 \leq s_{cr,N}$  时 (图 13.3.5, c) 的角部四锚情形

$$A_{c,N} = (c_1 + s_1 + 0.5s_{cr,N})(c_2 + s_2 + 0.5s_{cr,N}) \quad (13.3.5-4)$$

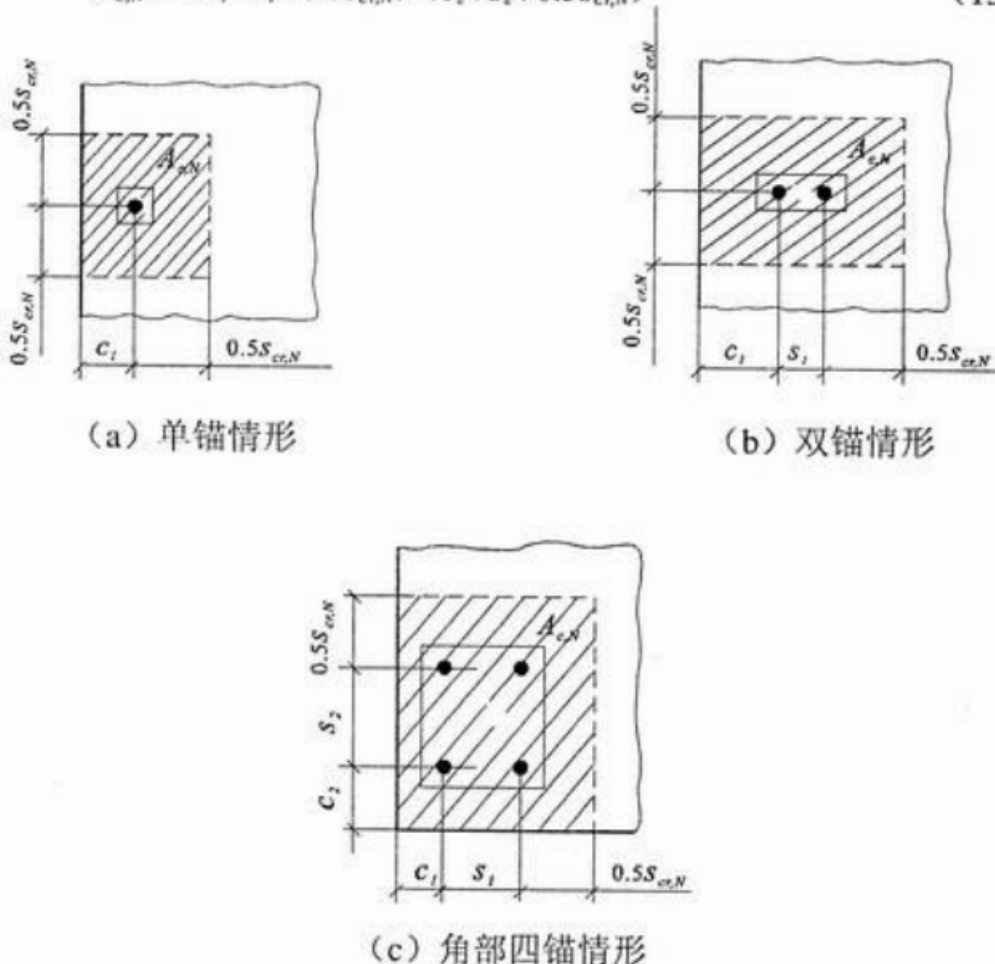


图 13.3.5 近构件边缘混凝土锥形受拉破坏实际锥体投影面积

13.3.6 基材混凝土的受剪承载力设计值, 应按下式验算:

$$V^c = 0.18 \psi_v \sqrt{f_{cu,k}} c_1^{1.5} d_o^{0.3} h_{ef}^{0.2} \quad (13.3.6)$$

式中  $V^c$ ——锚栓连接的基材混凝土受剪承载力设计值;

$\psi_v$ ——考虑各种因素对基材混凝土受剪承载力影响的修正系数, 应按本规范第 13.3.7 条计算;

$c_1$ ——平行于剪力方向的边距 (mm);

$d_o$ ——锚栓外径 (mm);

$h_{ef}$ ——锚栓的有效锚固深度 (mm); 当  $h_{ef} > 10d_o$  时, 按  $h_{ef} = 10d_o$  计算。



13.3.7 基材混凝土受剪承载力修正系数  $\psi_v$  值, 应按下列公式计算:

$$\psi_v = \psi_{s,v} \psi_{h,v} \psi_{\alpha,v} \psi_{e,v} \psi_{u,v} A_{cv} / A_{c,v}^0 \quad (13.3.7-1)$$

$$\psi_{s,v} = 0.7 + 0.2 \frac{c_2}{c_1} \leq 1 \quad (13.3.7-2)$$

$$\psi_{h,v} = (1.5c_1/h)^{1/3} \geq 1 \quad (13.3.7-3)$$

$$\psi_{\alpha,v} = \begin{cases} 1.0 & (0^\circ \leq \alpha_v \leq 55^\circ) \\ 1/(\cos \alpha_v + 0.5 \sin \alpha_v) & (55^\circ \leq \alpha_v \leq 90^\circ) \\ 2.0 & (90^\circ \leq \alpha_v \leq 180^\circ) \end{cases} \quad (13.3.7-4)$$

$$\psi_{e,v} = 1/[1 + (2e_v/3c_1)] \leq 1 \quad (13.3.7-5)$$

$$\psi_{u,v} = \begin{cases} 1.0 & (\text{边缘没有配筋}) \\ 1.2 & (\text{边缘配有直径 } d \geq 12\text{mm} \text{ 钢筋}) \\ 1.4 & (\text{边缘配有直径 } d \geq 12\text{mm} \text{ 钢筋及 } s \geq 100\text{mm} \text{ 箍筋}) \end{cases} \quad (13.3.7-6)$$

式中:  $\psi_{s,v}$ ——边距比  $c_2/c_1$  对受剪承载力的影响系数;

$\psi_{h,v}$ ——边距厚度比  $c_1/h$  对受剪承载力的影响系数;

$\psi_{\alpha,v}$ ——剪力与垂直于构件自由边的轴线之间的夹角  $\alpha_v$  对受剪承载力的影响系数;

$\psi_{e,v}$ ——荷载偏心对群锚受剪承载力的影响系数;

$\psi_{u,v}$ ——构件锚固区配筋对受剪承载力的影响系数。

$A_{cv}/A_{c,v}^0$ ——锚栓边距、间距等几何效应对抗剪承载力的影响系数, 按本规范第 13.3.8 条及第 13.3.9 条确定;

$c_2$ ——垂直于  $c_1$  方向的边距;

$h$ ——构件厚度 (基材混凝土厚度);

$e_v$ ——剪力对受前锚栓形心的偏心距。

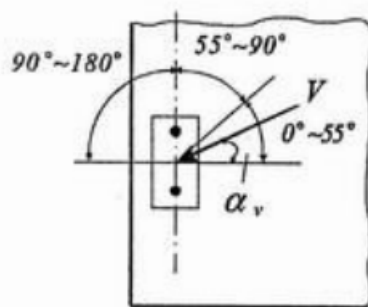


图 13.3.7 剪切角  $\alpha_v$

13.3.8 当锚栓受剪承载力不受其边距、间距及构件厚度的影响时, 其基材混凝土呈半锥体破坏的侧向投影面积基准值  $A_{c,v}^0$ , 可按下列公式计算:

$$A_{c,v}^0 = 4.5c_1^2 \quad (13.3.8)$$

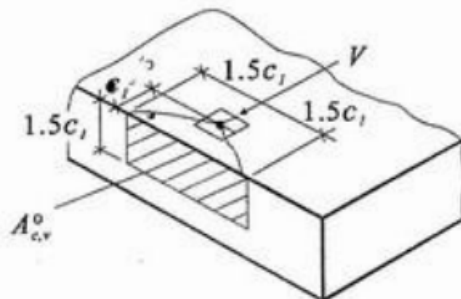


图 13.3.8 近构件边缘的单锚受剪混凝土楔形投影面积

13.3.9 当单锚或群锚受剪时，若锚栓间距  $s \geq 3c_1$ 、边距  $c_2 \geq 1.5c_1$ ，且构件厚度  $h \geq 1.5c_1$  时，混凝土破坏锥体的侧向实际投影面积  $A_{c,v}$ ，可按下列公式计算：

$$A_{c,v} = n A_{c,v}^0 \quad (13.3.9)$$

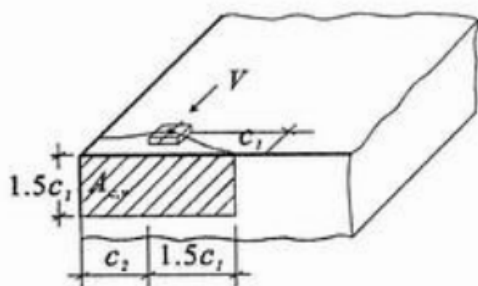
式中： $n$  为参与受剪工作的锚栓个数。

13.3.10 当锚栓间距、边距或构件厚度不满足本规范第 13.3.9 条要求时，侧向实际投影面积  $A_{c,v}$  应按下列公式的计算方法进行确定。

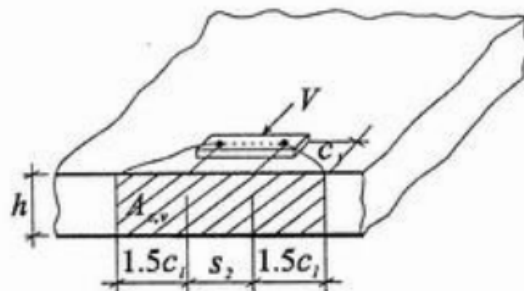
$$1 \text{ 当 } h > 1.5c_1, c_2 \leq 1.5c_1 \text{ 时: } A_{c,v} = 1.5c_1 (1.5c_1 + c_2) \quad (13.3.10 - 1)$$

$$2 \text{ 当 } h \leq 1.5c_1, s_2 \leq 3c_1 \text{ 时: } A_{c,v} = (3c_1 + s_2) h \quad (13.3.10 - 2)$$

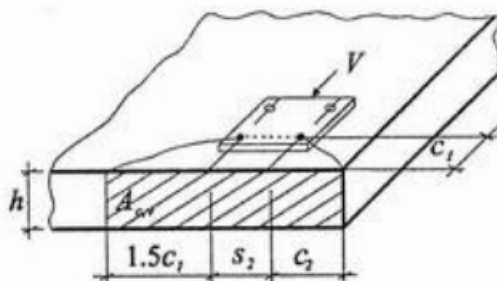
$$3 \text{ 当 } h \leq 1.5c_1, s_2 \leq 3c_1, c_2 \leq 1.5c_1 \text{ 时: } A_{c,v} = (1.5c_1 + s_2 + c_2) h \quad (13.3.10 - 3)$$



a) 角部单锚



b) 薄构件边缘双锚



c) 薄构件角部双锚

图 13.3.10 剪力作用下混凝土楔形破坏侧向投影面积

13.3.11 对基材混凝土角部的锚固，应取两个方向计算承载力的较小值（图 13.3.11）。

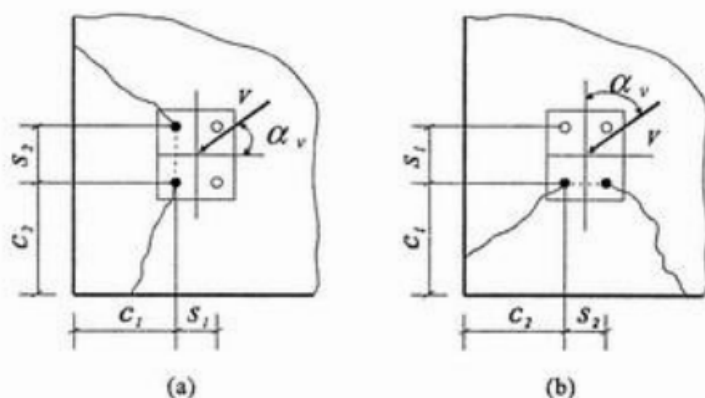


图 13.3.11 剪力作用下的角部群锚

13.3.12 当锚栓连接承受拉力和剪力复合作用时，混凝土承载力应符合下列公式的要求：

$$(\beta_N)^\alpha + (\beta_V)^\alpha \leq 1 \quad (13.3.12)$$

式中  $\beta_N$  ——拉力作用设计值与混凝土抗拉承载力设计值之比；

$\beta_V$  ——剪力作用设计值与混凝土抗剪承载力设计值之比；

$\alpha$  ——指数，当两者均受锚栓钢材破坏模式控制时，取  $\alpha = 2.0$ ；当受其他破坏模式控制时，取  $\alpha = 1.5$ 。

## 13.4 构造规定

13.4.1 混凝土构件的最小厚度  $h_{min}$  不应小于  $1.5h_{ef}$ ，且不应小于  $100mm$ 。

13.4.2 承重结构用的锚栓，其公称直径不得小于  $12mm$ ；按构造要求确定的锚固深度  $h_{ef}$  不应小于  $60mm$ ，且不应小于混凝土保护层厚度。

13.4.3 锚栓的最小边距  $c_{min}$ 、临界边距  $c_{cr,N}$  和群锚最小间距  $s_{min}$ 、临界间距  $s_{cr,N}$  应符合表 13.4.3 的要求。

表 13.4.3 锚栓的边距和间距

| $c_{min}$        | $c_{cr,N}$       | $s_{min}$        | $s_{cr,N}$       |
|------------------|------------------|------------------|------------------|
| $\geq 0.8h_{ef}$ | $\geq 1.5h_{ef}$ | $\geq 1.0h_{ef}$ | $\geq 3.0h_{ef}$ |

13.4.4 地震区锚栓的实际锚固深度，应按本规范计算确定的有效锚固深度乘以抗震构造修正系数  $\psi_{aE}$  后采用：对 6 度区，取  $\psi_{aE} = 1.0$ ；对 7 度区，取  $\psi_{aE} = 1.1$ ；对 8 度区 I、II 类场地，取  $\psi_{aE} = 1.2$ 。

13.4.5 锚栓防腐蚀标准应高于被固定物的防腐蚀要求。

## 14 裂缝修补技术

### 14.1 设计规定

14.1.1 本章适用于承重构件混凝土裂缝的修补；对承载力不足引起的裂缝，除应按本章适用的方法进行修补外，尚应采用适当的加固方法进行加固。

14.1.2 经可靠性鉴定确认为必需修补的裂缝，应根据裂缝的种类进行修补设计，确定其修补材料、修补方法和时间。

14.1.3 混凝土结构的裂缝依其形成可分为以下三类：

1 静止裂缝：形态、尺寸和数量均已稳定不再发展的裂缝。修补时，仅需依裂缝粗细选择修补材料和方法。

2 活动裂缝：宽度在现有环境和工作条件下始终不能保持稳定、易随着结构构件的受力、变形或环境温、湿度的变化而时张、时闭的裂缝。修补时，应先消除其成因，并观察一段时间，确认已稳定后，再依静止裂缝的处理方法修补；若不能完全消除其成因，但确认对结构、构件的安全性不构成危害时，可使用具有弹性和柔韧性的材料进行修补。

3 尚在发展的裂缝：长度、宽度或数量尚在发展，但经历一段时间后将会终止的裂缝。对此类裂缝应待其停止发展后，再进行修补或加固。

14.1.4 裂缝修补方法应符合下列规定：

1 表面封闭法：利用混凝土表层微细独立裂缝（裂缝宽度  $\omega \leq 0.2\text{mm}$ ）或网状裂纹的毛细作用吸收低粘度且具有良好渗透性的修补胶液，封闭裂缝通道。对楼板和其他需要防渗的部位，尚应在混凝土表面粘贴纤维复合材料以增强封护作用。

2 注射法：以一定的压力将低粘度、高强度的裂缝修补胶液注入裂缝腔内；此方法适用于  $0.1\text{mm} \leq \omega \leq 1.5\text{mm}$  静止的独立裂缝、贯穿性裂缝以及蜂窝状局部缺陷的补强和封闭。注射前，应按产品说明书的规定，对裂缝周边进行密封。

3 压力注浆法：在一定时间内，以较高压力（按产品使用说明书确定）将修补裂缝用的注浆料压入裂缝腔内；此法适用于处理大型结构贯穿性裂缝、大体积混凝土的蜂窝状严重缺陷以及深而蜿蜒的裂缝。

4 填充密封法：在构件表面沿裂缝走向骑缝凿出槽深和槽宽分别不小于20mm和15mm的U形沟槽，然后用改性环氧树脂或弹性填缝材料充填，并粘贴纤维复合材以封闭其表面；此法适用于处理 $\omega > 0.5\text{mm}$ 的活动裂缝和静止裂缝。填充完毕后，其表面应做防护层。

注：当为活动裂缝时，槽宽应按不小于 $15\text{mm} + 5t$ 确定（ $t$ 为裂缝最大宽度）。

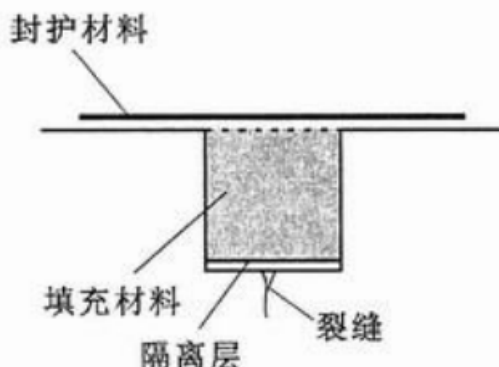


图 14.1.4 裂缝处开 U 形槽充填修补材料

#### 14.1.5 裂缝修补材料应符合下列规定：

1 改性环氧树脂类、改性丙烯酸酯类、改性聚氨酯类等的修补胶液（包括配套的打底胶和修补胶）和聚合物注浆料等的合成树脂类修补材料，适用于裂缝的封闭或补强，可采用表面封闭法、注射法或压力注浆法进行修补。

修补裂缝的胶液和注浆料的基本性能指标，应符合本规范第 4.6 节的规定。

2 无流动性的有机硅酮、聚硫橡胶、改性丙烯酸酯、聚氨酯等柔性的嵌缝密封胶类修补材料，适用于活动裂缝的修补，以及混凝土与其他材料接缝界面干缩性裂隙的封堵。

3 超细无收缩水泥注浆料、改性聚合物水泥注浆料以及不回缩微膨胀水泥等的无机胶凝材料类修补材料，适用于 $\omega > 1\text{mm}$ 的静止裂缝的修补。

4 E 玻璃或 S 玻璃纤维织物、碳纤维织物等的纤维复合材与其适配的胶粘剂，适用于裂缝表面的封护与增强。

## 14.2 裂缝修补要求

14.2.1 当加固设计对修补混凝土裂缝有补强要求时，应在设计图上规定：当胶粘材料到达完全固化期时，应立即钻取芯样进行检验。

#### 14.2.2 钻取芯样应符合下列规定：

- 1 取样的部位应由设计单位决定；
- 2 取样的数量应按裂缝注射或注浆的分区确定，但每区应不少于 2 个芯样；
- 3 芯样应骑缝钻取，但应避开内部钢筋；
- 4 芯样的直径不应小于 50mm；
- 5 取芯造成的孔洞，应立即采用强度等级较原构件提高一级的豆石混凝土填实。

#### 14.2.3 芯样检验应采用劈裂抗拉强度测定方法。当检验结果符合下列条件之一时判为符合设计要求：

- 1 沿裂缝方向施加的劈力，其破坏应发生在混凝土内部（即内聚破坏）；
- 2 破坏虽有部分发生在界面上，但这部分破坏面积不大于破坏面总面积的

15%。

注：劈裂抗拉性能应按本规范附录 G 进行测定。



## 附录 A 已有建筑物结构荷载标准值的确定

A.0.1 对已有结构上的荷载标准值取值,除应符合现行国家标准《建筑结构荷载规范》(GB 50009)的规定外,尚应遵守本附录的规定。

A.0.2 结构和构件自重的标准值,应根据构件和连接的实测尺寸,按材料或构件单位自重的标准值计算确定。对难以实测的某些连接构造的尺寸,允许按结构详图估算。

A.0.3 常用材料和构件的单位自重标准值,应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定采用。当该规范的规定值有上、下限时,应按下列规定采用:

- 1 当荷载效应对结构不利时,取上限值;
- 2 当荷载效应对结构有利(如验算倾覆、抗滑移、抗浮起等)时,取下限值。

A.0.4 当遇到下列情况之一时,材料和构件的自重标准值应按现场抽样称量确定:

- 1 现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 尚无规定;
- 2 自重变异较大的材料或构件,如现场制作的保温材料、混凝土薄壁构件等;
- 3 有理由怀疑材料或构件自重的原设计采用值与实际情况有显著出入。

A.0.5 现场抽样检测材料或构件自重的试样数量,不应少于 5 个。当按检测的结果确定材料或构件自重的标准值时,应按下列规定进行计算:

- 1 当其效应对结构不利时

$$g_{k,sup} = m_g + \frac{t}{\sqrt{n}} s_g \quad (\text{A.0.5 - 1})$$

式中  $g_{k,sup}$ ——材料或构件自重的标准值;

$m_g$ ——试样称量结果的平均值;

$s_g$ ——试样称量结果的标准差;

$n$ ——试样数量;

$t$ ——考虑抽样数量影响的计算系数,按表 A.0.5 采用。

- 2 当其效应对结构有利时

$$g_{k,sup} = m_g - \frac{t}{\sqrt{n}} s_g \quad (\text{A.0.5 - 2})$$

表 A.0.5 计算系数  $t$  值

| $n$ | $t$ 值 | $n$ | $t$ 值 | $n$ | $t$ 值 | $n$       | $t$ 值 |
|-----|-------|-----|-------|-----|-------|-----------|-------|
| 5   | 2.13  | 8   | 1.89  | 15  | 1.76  | 30        | 1.70  |
| 6   | 2.02  | 9   | 1.86  | 20  | 1.73  | 40        | 1.68  |
| 7   | 1.94  | 10  | 1.80  | 25  | 1.71  | $\geq 60$ | 1.67  |

A.0.6 对非结构的构、配件，或对支座沉降有影响的构件，若其自重效应对结构有利时，应取其自重标准值  $g_{k,sup}=0$ 。

A.0.7 当房屋结构进行加固验算时，对不上人的屋面，应计入加固工程的施工荷载，其取值应符合下列规定：

1 当估算的荷载低于现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 规定的屋面均布活荷载或集中荷载时，应按该规范采用。

2 当估算的荷载高于现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定值时，应按实际估算值采用。

当施工荷载过大时，宜采取措施予以降低。

A.0.8 对加固改造设计的验算，其基本雪压值、基本风压值和楼面活荷载的标准值，除应按现行国家标准《建筑结构荷载规范》GB 50009 的规定采用外，尚应按下一目标使用年限，乘以本附录表 A.0.8 的修正系数  $\psi_a$  予以修正。

下一目标使用年限，应由委托方和鉴定方共同商定。

表 A.0.8 基本雪压、基本风压及楼面活荷载的修正系数  $\psi_a$ 

| 下一目标使用年限 | $10a$ | $20a$ | $30\sim 50a$ |
|----------|-------|-------|--------------|
| 雪荷载或风荷载  | 0.85  | 0.95  | 1.0          |
| 楼面活荷载    | 0.85  | 0.90  | 1.0          |

注：1 对表中未列出的中间值，可按线性内插法确定，当  $a < 10$  时，应按  $a = 10$  取  $\psi_a$  值。

2 符号  $a$  为年。

## 附录 B 已有结构混凝土回弹值龄期修正的规定

B.0.1 本规定适用于龄期已超过 1000d、且由于结构构造等原因无法采用取芯法对回弹检测结果进行修正的混凝土结构构件。

B.0.2 当采用本规定的龄期修正系数对回弹法检测得到的测区混凝土抗压强度换算值进行修正时，应符合下列条件：

- 1 龄期已超过 1000d，但处于干燥状态的普通混凝土；
- 2 混凝土外观质量正常，未受环境介质作用的侵蚀；
- 3 经超声波或其他探测法检测结果表明，混凝土内部无明显的不密实区和蜂窝状局部缺陷；
- 4 混凝土抗压强度等级在 C20 级~C50 级之间，且实测的碳化深度已大于 6mm。

B.0.3 混凝土抗压强度换算值可乘以表 B.0.3 的修正系数  $\alpha_n$  予以修正。

表 B.0.3 测区混凝土抗压强度换算值龄期修正系数

| 龄期 d               | 1000 | 2000 | 4000 | 6000 | 8000 | 10000 | 15000 | 20000 | 30000 |
|--------------------|------|------|------|------|------|-------|-------|-------|-------|
| 修正系数<br>$\alpha_n$ | 1.00 | 0.98 | 0.96 | 0.94 | 0.93 | 0.92  | 0.89  | 0.86  | 0.82  |

B.0.4 龄期修正系数  $\alpha_n$  应用示例如下：

现场测得某测区平均回弹值  $R_m=50.8$ ；其平均碳化深度  $d_m>0.6\text{mm}$ ；由 JGJ/T23-2001 附录 A 查得：测区混凝土换算值  $f_{cu}^c(1000\text{d})=40.3\text{MPa}$ 。若被测混凝土的龄期已达 15000d，则由本规定表 B.0.3 可查得龄期修正系数  $\alpha_n=0.89$ ；  
 $f_{cu}^c(15,000\text{d})=40.3\times 0.89=35.8\text{MPa}$ 。

## 附录 C 纤维材料主要力学性能

C.0.1 复丝浸胶后的纤维材料，其主要力学性能应符合表 C.0.1 的规定。

表 C.0.1 纤维材料的主要力学性能

| 性能项目<br>纤维类别 |               | 抗拉强度<br>(MPa) | 弹性模量<br>(MPa)          | 伸长率 (%)    |
|--------------|---------------|---------------|------------------------|------------|
| 碳纤维          | 高强度 I 级       | $\geq 4900$   | $\geq 2.4 \times 10^5$ | $\geq 2.0$ |
|              | 高强度 II 级      | $\geq 4100$   | $\geq 2.1 \times 10^5$ | $\geq 1.8$ |
| 玻璃<br>纤维     | S 玻璃 (高强、无碱型) | $\geq 3500$   | $\geq 8.0 \times 10^4$ | $\geq 4.0$ |
|              | E 玻璃 (无碱型)    | $\geq 2800$   | $\geq 7.0 \times 10^4$ | $\geq 3.0$ |

注：本表的分级方法及其性能指标仅适用于结构加固；与其他用途的等级划分无关。

C.0.2 纤维织物和预成型板等纤维制品可不抽检纤维而直接抽检纤维制品性能，但厂商应书面保证该批制品所使用的纤维材料的性能符合本附录的规定。该书面保证应随同工程施工验收文件存档备查。

## 附录 D 纤维复合材层间剪切强度测定方法

### D.1 适用范围

D.1.1 本方法适用于测定以湿法铺层、常温固化成型的单向纤维织物复合材的层间剪切强度；也可用于测定叠合胶粘、常温固化的多层预成型板的层间剪切强度。

对多向纤维织物复合材，若其试件长度方向的纤维体积含量在 25% 以上时，也可按本方法测定其层间剪切强度。

D.1.2 本方法测定的纤维复合材层间剪切强度可用于纤维材料与胶粘剂的适配性评定。

### D.2 试样成型模具

D.2.1 试样成型模具的制备应符合下列规定：

1 成型模具由一对尺寸为  $400 \times 300 \times 25\text{mm}$  光洁的钢板组成，其中一块作为压板，另一块作为织物铺层的模板。在模具的上下各有一对长 500mm 的 10 号或 12 号槽钢；在槽钢端部钻有  $D=18\text{mm}$  的螺孔，并配有 4 根用于拧紧施压的  $\Phi 16$  螺杆、螺帽及套在螺杆上的压力弹簧，作为纤维织物粘合成试样时的施压工具。

2 成型模具的钢板，应经刨平后在铣床上铣平，其加工面的表面光洁度应为 6.3。

3 成型模具尚应配有 2 块长 300mm、宽 20mm、厚 4mm 的钢垫板，用于控制织物铺层经加压后应达到的标准厚度。

D.2.2 辅助工具及材料应符合下列规定：

- 1 可测力的活动扳手 4 把；
- 2 厚 0.1mm、平面尺寸为  $500 \times 400\text{mm}$  的聚酯薄膜若干张；
- 3 专用滚筒一支；
- 4 刮板若干个。

### D.3 试样制备

D.3.1 备料应符合下列规定：

1 受检的纤维织物应按抽样规则取得；并应裁成  $300 \times 200\text{mm}$  的大小。其片数：对  $200\text{g/m}^2$  的碳纤维织物，一次成型应为 14 片；对  $300\text{g/m}^2$  的碳纤维织物，一次成型应为 10 片；对玻璃纤维或芳纶纤维织物，应经试制确定其所需的片数。受检的纤维织物，应展平放置，不得折叠；其表面不应有起毛、断丝、油污、粉尘和皱褶。

2 受检的预成型板应按抽样规则取得；并截成长  $300\text{mm}$  的片材 3 片，但不得使用板端  $50\text{mm}$  长度内的材料做试样。受检的板材，应平直，无划痕，纤维排列应均匀，无污染。

3 受检的胶粘剂，应按抽样规则取得；并应按一次成型需用量由专业人员配制；用剩的胶液不得继续使用。配制及使用胶液的工艺要求应符合产品使用说明书的规定。

### D.3.2 试样制备应符合下列规定：

#### 1 纤维织物复合材

##### 1) 湿法铺层工序

在室温条件下，安装好钢模板，经清理洁净后，将聚酯薄膜铺在其板面上，铺时应充分展平，不得有皱褶和破裂口。在薄膜上用刮板均匀涂布胶液，随即进行铺层（即敷上一层纤维织物）；铺层时，应用刮板和滚筒刮平、压实，使胶液充分浸渍织物，使纤维顺直、方向一致；然后再涂胶、再铺层，逐层重复上述操作，直至全部铺完，并在最上层纤维织物面上铺放一张聚酯薄膜。

##### 2) 施压成型工序

在顶层铺放聚酯薄膜后，即可安装钢压板，准备进入施压成型工序。施压成型全过程也应在室温条件下进行。此时，应先在钢模板长度方向两端置放本附录 D.2.1 第 4 款规定的钢垫板，以控制层积厚度。在安装好钢压板、槽钢和螺杆，并经检查无误后，即可拧紧螺杆进行施压，使层积厚度下降，直至钢压板触及两端钢垫板为止，并应在施压状态下静置  $24\text{h}$ 。

##### 3) 养护工序

试样从成型模具中取出后，尚应继续养护  $144\text{h}$ ，养护温度应控制在  $23^\circ\text{C} \pm 2^\circ\text{C}$ 。严禁采用人工高温的养护方法。在养护期间不得扰动或进行任何机械加工，也不得受到日晒、雨淋或受潮。

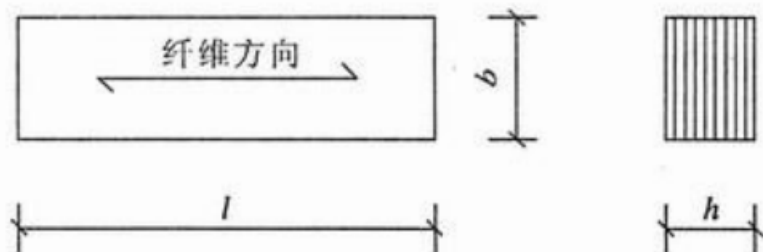
#### 2 预成型板

采用 3 块条形板胶粘叠合而成的试样。制备时,可利用上述成型模具进行涂胶、粘贴、加压(不加垫板)和养护,且加压和养护时间也应符合本条第 1 款第 (3) 项的规定。

#### D.4 试件制作

D.4.1 试件应从试样中部切取;最外一个试件距试样边缘不应小于 30mm,加工试件宜用金刚石车刀,且宜在用水润滑后进行锯、刨或磨光等作业。试件边缘应光滑、平整、相互平行。试件加工人员应戴防尘眼镜、应着防护衣帽及口罩;严防粉尘粘附皮肤。

D.4.2 一般情况下,应取试件长度  $l=30\text{mm}\pm 1\text{mm}$ ;宽度  $b=6.0\text{mm}\pm 0.5\text{mm}$ ;对纤维织物制成的试件,其厚度按模压确定,即  $h=4\text{mm}\pm 0.2\text{mm}$ ;对预成型板粘合成的试样,其厚度若大于 4mm,允许在机床上单面细加工到 4mm。每组试件数量不应少于 5 个;若需确定试验结果的标准差,每组试件数量不应少于 15 个;仲裁试验的试件数量应加倍。



D.4.2 试件形状及尺寸符号

$l$ —试件长度;  $h$ —试件高度;  $b$ —试件宽度

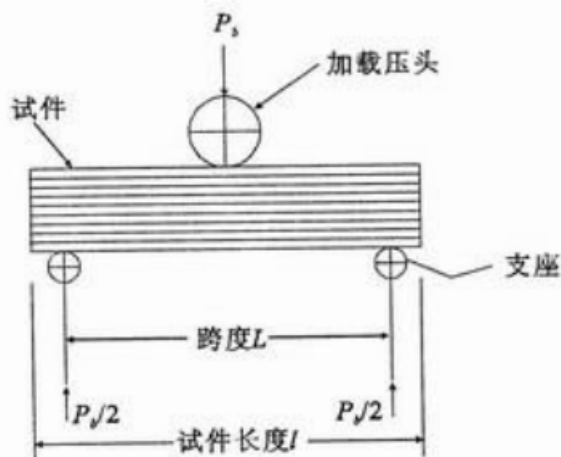
#### D.5 试验条件

D.5.1 试件状态调节、试验设备及试验的标准环境应符合现行国家标准《纤维增强塑料性能试验方法总则》GB 1446 的规定。

D.5.2 试验装置(图 D.5.2)的加载压头及支座与试件的抵承面应为圆柱曲面;加载压头及支座应采用 45 号钢制作,其表面应光滑,无凹陷及疤痕等缺陷。

加载压头的半径  $R$  应为  $3\text{mm}\pm 0.1\text{mm}$ ;支座圆柱半径  $r$  应为  $(1.5\sim 2.0\text{mm})\pm 0.1\text{mm}$ ,加载压头和支座的长度宜比试件的宽度大 4mm。





D.5.2 试验装置示意图

## D.6 试验步骤

D.6.1 试验前应对试件外观进行检查，其外观质量应符合现行国家标准《纤维增强塑料性能试验方法总则》GB 1446 的要求。

D.6.2 试件应置于试验装置的中心位置上。其跨度应调整为  $L=20\text{mm}$ ，且误差不应大于  $0.3\text{mm}$ ；加载压头的轴线应位于两支座之间的中央；且应与支座轴线平行。

D.6.3 以  $1\sim 2\text{mm/min}$  的加荷速度连续加荷至试件破坏；记录最大荷载  $P_b$  及试件破坏形式。

D.6.4 当试验出现下列情形之一时，即可确认试件已破坏，并可立即停止试验：

- 1 荷载读数已较峰值下降 30%；
- 2 加荷压头移动的行程已超过试件的名义厚度（即  $4\text{mm}$ ）；
- 3 试件分离成两片。

## D.7 试验结果

D.7.1 试件层间剪切强度应按下式计算：

$$f_s = \frac{3P_b}{4bh} \quad (\text{D.7.1})$$

式中  $f_s$ ——层间剪切强度，MPa；

$P_b$ ——试件破坏时的最大载荷，N；

$b$ ——试件宽度，mm；

$h$ ——试件厚度，mm。

D.7.2 试件破坏形式及正常性判别，应符合下列规定：

1 试件的破坏典型形式 (图 D.7.2):

1) 层间剪切破坏 (图 D.7.2,a);

2) 弯曲破坏: 或呈上边缘纤维压皱, 或呈下边缘纤维拉断 (图 D.7.2,b);

3) 非弹性变形破坏 (图 D.7.2,c)。

2 破坏正常性判别及处理:

1) 当发生图 D.7.2,a 的破坏时, 属层间剪切正常破坏; 当发生图 D.7.2,b 或 c 的破坏时, 属非层间剪切的不正常破坏。

2) 当一组试件中仅有一根破坏不正常时, 可重做试验, 但试件数量应加倍。若重做试验全数破坏正常, 仍可认为该组试验结果可以使用; 若仍有试件破坏不正常, 则应认为该种纤维与所配套的胶粘剂在适配性上不良, 并应重新对胶粘剂进行改性, 或改用其他型号胶粘剂配套。

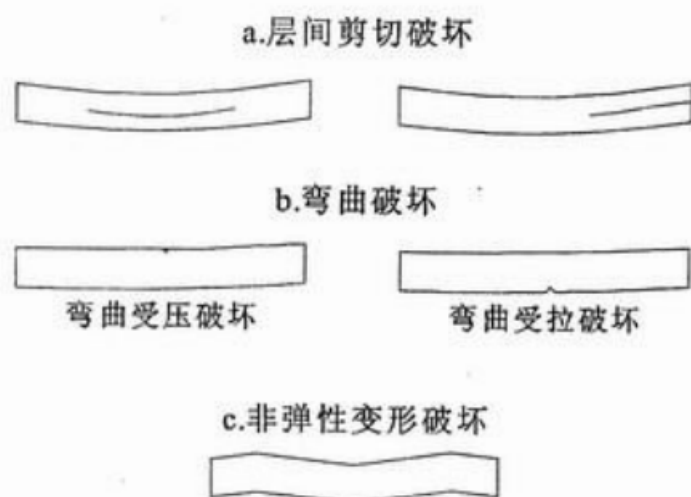


图 D.7.2 试件的破坏形式

D.7.3 试验报告应包括下列内容:

- 1 受检纤维材料及其胶粘剂的品种、型号和批号;
- 2 抽样规则及抽样数量;
- 3 试件制备方法及养护条件;
- 4 试件的编号和尺寸;
- 5 试验环境的温度和相对湿度;
- 6 试验设备的型号、量程及检定日期;
- 7 加荷方式及加荷速度;
- 8 试样的破坏荷载及破坏形式;
- 9 试验结果的整理和计算;
- 10 试验人员、校核人员及试验日期。

## 附录 E 粘接材料粘合加固材与基材的正拉粘结强度

### 现场测定方法及评定标准

#### E.1 适用范围

E.1.1 本方法适用于现场条件下以结构胶粘剂或高强聚合物砂浆为粘接材料，粘合（包括浇注、喷抹）下列加固材料与基材，在均匀拉应力作用下发生内聚、粘附或混合破坏的正拉粘结强度测定：

- 1 结构胶粘剂粘合纤维复合材与基材混凝土；
- 2 结构胶粘剂粘合钢板与基材混凝土；
- 3 高强聚合物砂浆喷抹层粘合钢丝绳网片与基材混凝土。

E.1.2 当承重结构加固设计要求做纤维织物与胶粘剂的适配性检验时，应采用本方法进行正拉粘结强度项目的测定。

#### E.2 试验设备

E.2.1 结构加固工程现场使用的粘结强度检测仪，应坚固、耐用且携带和安装方便；其技术性能不应低于现行国家标准《数显式粘结强度检测仪》GB 3056 的要求。检测仪应每年检定一次。

E.2.2 钢标准块的形状可根据实际情况选用方形或圆形。方形钢标准块的尺寸为  $40\text{mm} \times 40\text{mm}$ ；圆形钢标准块的直径为  $50\text{mm}$ ；钢标准块的厚度不应小于  $20\text{mm}$ ，且应采用 45 号钢制作。

钢标准块应带有传力螺杆，其尺寸和夹持构造，应根据所使用的检测仪确定。

E.2.3 当适配性检验需在模拟现场条件下进行时，应配备仰贴纤维复合材用的钢架。该钢架宜采用角钢制作，其顶部构造应能搁置并固定 3 块板面尺寸不小于  $600\text{mm} \times 2100\text{mm}$  的预制混凝土板；其板下的空间应能满足仰贴作业的需要。预制混凝土板的强度等级应接受检产品的适用范围确定，但不得低于 C30。

## E.3 取样规则

### E.3.1 粘贴、喷抹质量检验的取样,应符合下列规定:

1 梁、柱类构件以同规格、同型号的构件为一检验批。每批构件随机抽取的受检构件应按该批构件总数的 10% 确定,但不得少于 3 根;以每根受检构件为一检验组;每组 3 个检验点。

2 板、墙类构件应以同种类、同规格的构件为一检验批,每批按实际粘贴、喷抹的加固材料表面积(不论粘贴的层数)均匀划分为若干区,每区  $100\text{m}^2$  (不足  $100\text{m}^2$ ,按  $100\text{m}^2$  计),且每一楼层不得少于 1 区;以每区为一检验组,每组 3 个检验点。

3 现场检验的布点应在粘接材料(胶粘剂或聚合物砂浆等)固化已达到可以进入下一工序之日进行。若因故需推迟布点日期,不得超过 3d。

4 布点时,应由独立检验单位的技术人员在每一检验点处,粘贴钢标准块以构成检验用的试件。钢标准块的间距不应小于 500mm,且有一块应粘贴在加固构件的端部。

### E.3.2 适配性检验

1 应由独立检验机构会同有关单位,在  $12^\circ\text{C}$  和  $35^\circ\text{C}$  的气温(自然或人工环境均可)中各制备 3 个试样,并分别进行检验;

2 应以安装在钢架上的 3 块预制混凝土板为基材,在两种气温中,每块板分别仰贴一条尺寸为  $0.25\text{m} \times 2.1\text{m}$ 、由 4 层纤维织物粘合而成的试样;

3 应以每一试样为一检验组,每组 5 个检验点。每一检验点粘贴钢标准块后即构成一个试件。

## E.4 试件制备

### E.4.1 试件制备应符合下列要求:

1 基材表面处理:检测点的基材混凝土表面应清除污渍并保持干燥。

2 切割预切缝:从清理干净的表面向混凝土基材内部切割预切缝,切入混凝土深度为 10~15mm,缝的宽度约 2mm。预切缝形状为边长 40mm 的方形或直径 50mm 的圆形,视选用的切缝机械而定。切缝完毕后,应再次清理混凝土表面。

3 粘贴钢标准块:应选用快固化、高强胶粘剂进行粘贴。钢标准块粘贴后应立即固定;在胶粘剂完全固化前,不得受到任何扰动。

## E.5 试验步骤

E.5.1 试验应在布点日期算起的第8天进行。试验时应按粘结强度测定仪的使用说明书正确安装仪器，并连接钢标准块（图 E.5.1）。

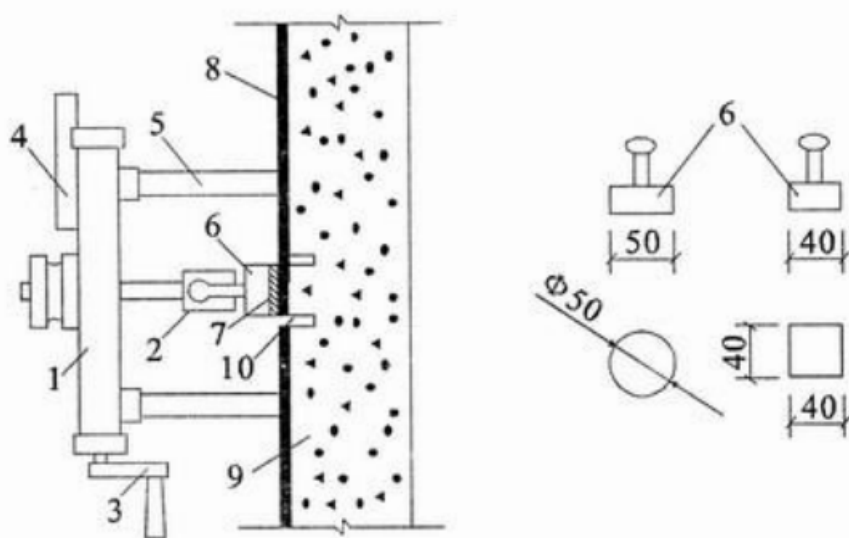


图 E.5.1 仪器安装及与钢标准块连接示意图

- 1 - 粘结强度测定仪；2 - 夹具；3 - 加荷摇柄；4 - 数字式测力计；5 - 反力支承架  
6 - 钢标准块；7 - 高强、快固化的粘结剂；8 - 基材表面粘贴或喷抹的加固材料层  
9 - 基材混凝土；10 - 混凝土表面预切缝

E.5.2 以均匀速率连续加荷，控制在 1~1.5min 内破坏；记录破坏时的荷载值，并观测其破坏形式。

## E.6 试验结果

E.6.1 正拉粘结强度应按下式计算：

$$f_{ti} = P_i / A_{ai} \quad (\text{E.4.1})$$

式中  $f_{ti}$ ——试件  $i$  的正拉粘结强度，MPa；

$P_i$ ——试件  $i$  破坏时的荷载值，N；

$A_{ai}$ ——钢标准块  $i$  的粘合面面积， $\text{mm}^2$ 。

E.6.2 破坏形式及其正常性判别

### 1 破坏形式

#### 1) 内聚破坏

——基材混凝土内聚破坏：即混凝土内部发生破坏；

- 胶粘剂内聚破坏：可见于使用低性能、低质量胶粘剂的胶层中；
- 聚合物砂浆内聚破坏：可见于使用低强度水泥，或低性能、低质量聚合物的聚合物砂浆层中。

## 2) 粘附破坏（层间破坏）

- 胶层与基材混凝土之间的界面破坏；
- 聚合物砂浆层与基材混凝土之间的界面破坏。

## 3) 混合破坏

粘合面出现两种或两种以上的破坏形式。

注：钢标准块与高强、快固化胶粘剂之间的界面破坏，属检验技术问题，与破坏形式判别无关，应重新粘贴，重做试验。

## 2 试验结果正常性判别

若破坏形式为基材混凝土内聚破坏，或虽出现两种或两种以上的破坏形式，但基材混凝土内聚破坏形式的破坏面积占粘合面面积 85% 以上，均可判为正常破坏。若破坏形式为粘附破坏、胶粘剂或聚合物砂浆内聚破坏，以及基材混凝土内聚破坏的面积少于 85% 的混合破坏，均应判为不正常破坏。

## E.7 检验结果的合格评定

### E.7.1 加固材料粘贴、喷抹质量的合格评定：

#### 1 组检验结果的合格评定，应符合下列规定：

- 1) 当组内每一试样的正拉粘结强度均达到本规范相应指标的要求，且其破坏形式正常时，应评定该组为检验合格组；
- 2) 若组内仅一个试样达不到上述要求，允许以加倍试样重新做一组检验，如检验结果全数达到要求，仍可评定该组为检验合格组；
- 3) 若重做试验中，仍有一个试样达不到要求，则应评定该组为检验不合格组。

#### 2 检验批的粘贴、喷抹质量的合格评定，应符合下列规定：

- 1) 当批内各组均为检验合格组时，应评定该检验批构件加固材料与基材混凝土的粘合质量合格；

2) 若有一组或一组以上为检验不合格组, 则应评定该检验批构件加固材料与基材混凝土的粘合质量不合格;

3) 若检验批由不少于 20 组试样组成, 且检验结果仅有一组因个别试样粘结强度低而被评为检验不合格组, 则仍可评定该检验批构件的粘合质量合格。

E.7.2 适配性检验的正拉粘结性能合格评定, 应符合下列规定:

1 当不同气温条件下检验的各组均为检验合格组时, 应评定该型号纤维织物与拟配套使用的胶粘剂, 其适配性检验的正拉粘结性能合格;

2 若本次检验中, 有一组或一组以上检验不合格, 应评定该型号纤维织物与拟配套使用的胶粘剂, 其适配性检验的正拉粘结性能不合格。

3 当仅有一组, 且组中仅有一个检测点不合格时, 允许以加倍的检测点数重做一次检验。若检验结果全组合格, 仍可评定为适配性检验的正拉粘结性能合格。



# 附录 F 粘接材料粘合加固材与基材的正拉粘结强度试验室测定方法及评定标准

## F.1 适用范围

F.1.1 本方法适用于试验室条件下以结构胶粘剂或高强聚合物砂浆为粘接材料粘合（包括喷抹、浇注）下列加固材料与基材，在均匀拉应力作用下发生内聚、粘附或混合破坏的正拉粘结强度测定：

- 1 纤维复合材与基材混凝土；
- 2 钢板与基材混凝土；
- 3 现浇的高强聚合物砂浆层与基材混凝土。

F.1.2 本方法不适用于以结构胶粘剂粘合质量大于  $300\text{g/m}^2$  碳纤维织物与基材混凝土的正拉粘结强度测定。

## F.2 试验设备

F.2.1 拉力试验机力值量程的选择，应使试样的破坏荷载，在该机标定的满负荷的 20%~80%之间；力值的示值误差不得大于 1%。

F.2.2 试验机夹持器的构造应能使试件垂直对中固定，不产生偏心和扭转的作用。

F.2.3 试件夹具应由带拉杆的钢夹套与带螺杆的钢标准块构成，且应以中碳钢制作；其形状及主要尺寸如图 F.2.3 所示。

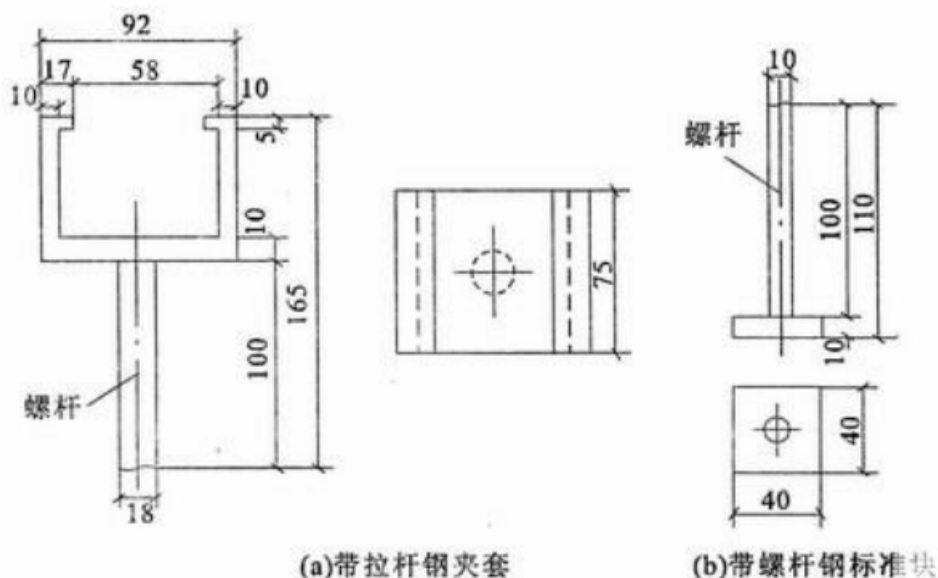


图 F.2.3 试件夹具及钢标准块尺寸

注：图中尺寸为 mm

## F.3 试件

F.3.1 试验室条件下测定正拉粘结强度应采用组合式试件，其构造应符合下列规定：

1 以胶粘剂为粘接材料的试件应由混凝土试块（图 F.3.1 - 1）、胶粘剂、加固材料（如纤维复合材或钢板等）及钢标准块相互粘合而成（图 F.3.1 - 2,a）。

2 以高强聚合物砂浆为粘接材料的试件应由混凝土试块（图 F.3.1 - 1）、现浇的聚合物砂浆及钢标准块相互粘合而成（图 F.3.1 - 2,b）。

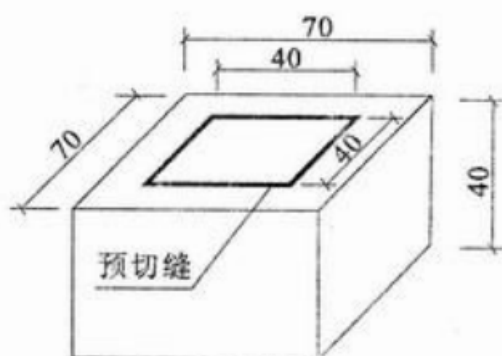
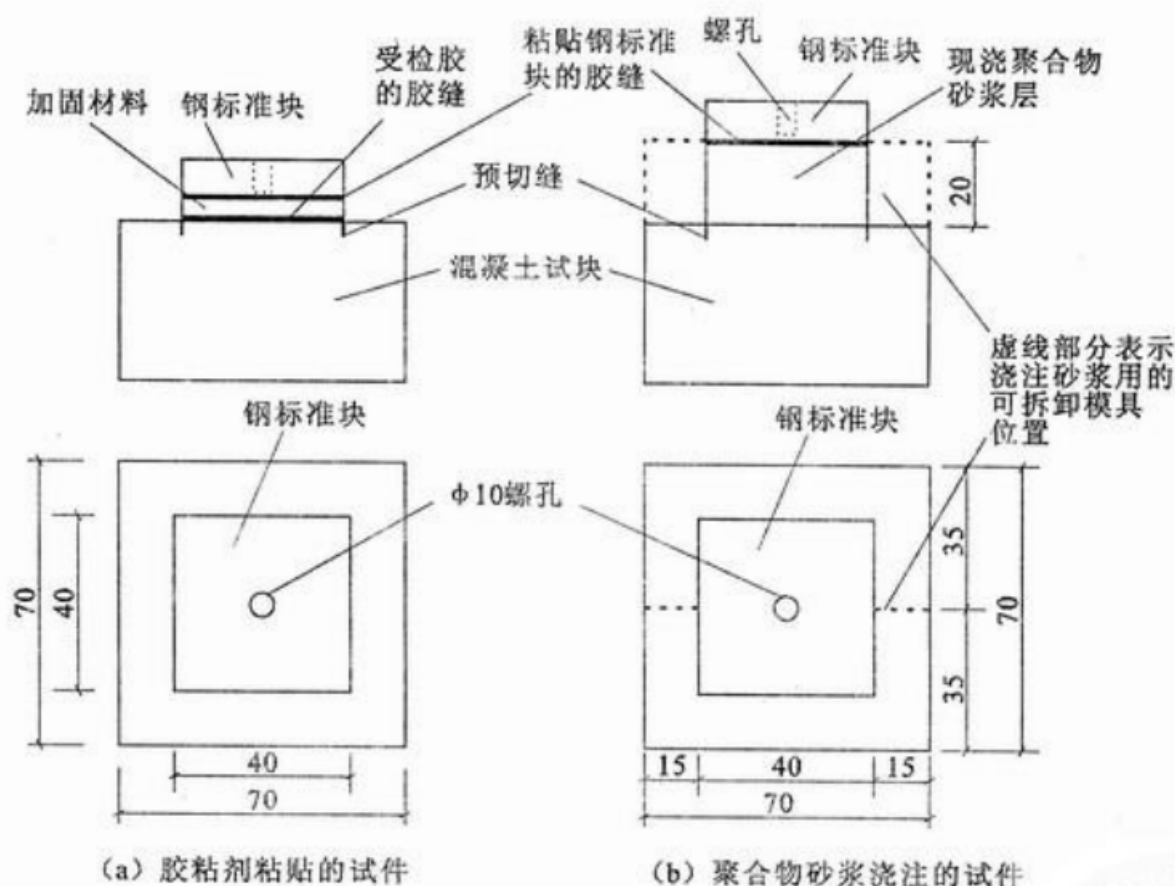


图 F.3.1 - 1 混凝土试块形式及尺寸

注：图中尺寸为 mm



(a) 胶粘剂粘贴的试件

(b) 聚合物砂浆浇注的试件

图 F.3.1 - 2 正拉粘结强度试验的试件

注：图中尺寸为 mm

### F.3.2 试样组成部分的制备应符合下列规定：

- 1 受检粘接材料应按产品使用说明书规定的工艺要求进行配制和使用。
- 2 混凝土试块的尺寸应为  $70 \times 70 \times 40 \text{mm}$ ；其混凝土强度等级，对 A 级和 B 级胶粘剂均应为 C40~C45；对 I 级和 II 级聚合物砂浆，应分别为 C45 和 C25。试块浇注后应经 28d 标准养护；试块使用前，应以专用的机械切出深度为 4~5mm 的预切缝，缝宽约 2mm，如图 F.3.1 - 1 所示。预切缝围成的方形平面，其尺寸应为  $40 \times 40 \text{mm}$ ，并应位于试块的中心。混凝土试块的粘贴面（方形平面）应作糙化处理；必要时，还可用界面剂处理；处理后的粘贴面应保持洁净、平整。
- 3 受检的纤维复合材应按规定的抽样规则取样；从纤维复合材中间部位裁剪出尺寸为  $40 \times 40 \text{mm}$  的试件；试件外观应无划痕和折痕；粘合面应洁净，无油脂、粉尘等影响胶粘的污染物。
- 4 受检的钢板应从施工现场取样，并切割成  $40 \times 40 \text{mm}$  的试件，其板面及周边应加工平整，且应经除油污处理和喷砂处理；粘合前，尚应用丙酮擦洗干净。

#### 5 钢标准块

钢标准块（图 F.2.3.b）宜用 45 号碳钢制作；其中心应车有安装  $\phi 10$  螺杆用的螺孔。标准块与加固材料接触的表面应经喷砂或其他机械方法的糙化处理。标准块可重复使用，但重复使用前应完全清除粘合面上的粘接材料层和污迹，并重新进行表面处理。

### F.3.3 试件的粘合、浇注与养护

首先在混凝土试块的中心位置，按规定的粘合工艺粘贴加固材料（如纤维复合材或薄钢板），若为多层粘贴，应在胶层指干时立即粘贴下一层。当检验聚合物砂浆时，应在试块上先安装模具，再浇注砂浆层。试件粘贴或浇注完毕后，应按产品使用说明书规定的工艺要求进行加压、养护；待完全固化后，用快固化的高强胶粘剂将钢标准块粘贴在试件表面。每一道作业均应检查各层之间的对中情况。

F.3.4 试件应安装在钢夹具（图 F.3.4）内并拧上传力螺杆。安装完成后各组成部分的对中标志线应在同一轴线上。

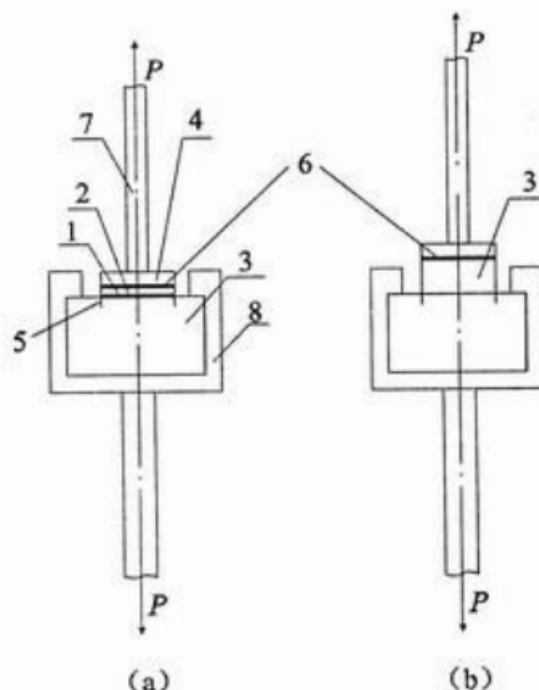


图 F.3.4 试件组装

- 1 - 受检胶粘剂 2 - 被粘合的纤维复合材或钢板 3 - 聚合物砂浆层 4 - 钢标准块  
5 - 混凝土试块预切缝 6 - 快固化高强胶粘剂 7 - 传力螺杆 8 - 钢夹具

F.3.5 常规试验的试样数量每组不应少于 5 个；仲裁试验的试样数量应加倍。

## F. 4 试验环境

F.4.1 试验环境应保持在：温度  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 、相对湿度 60%~70%。

注：对湿度敏感的胶粘剂或为仲裁性试验，其试验室的相对湿度应控制在 45%~55%。

F.4.2 若试样系在异地制备后送检，应在试验标准环境条件下至少放置 24h 后，方可进行试验。

## F. 5 试验步骤

F.5.1 将安装在夹具内的试件（图 F.3.4）置于试验机上下夹持器之间，并调整至对中状态后夹紧。

F.5.2 以均匀速率加荷，控制在 1.5~3min 内破坏。记录试样破坏时的荷载值，并观测其破坏形式。

## F.6 试验结果

F.6.1 正拉粘结强度应按下式计算:

$$f_{ti} = P_i / A_{ai} \quad (F.6.1)$$

式中  $f_{ti}$ ——试样  $i$  的正拉粘结强度, MPa;

$P_i$ ——试样  $i$  破坏时的荷载值, N;

$A_{ai}$ ——金属标准块  $i$  的粘合面面积,  $\text{mm}^2$ 。

F.6.2 试样破坏形式及其正常性判别:

1 试样破坏形式应按下列规定划分:

1) 内聚破坏: 应分为基材混凝土内聚破坏和受检粘接材料的内聚破坏; 后者可见于使用低性能、低质量胶粘剂或聚合物砂浆的场合。

2) 粘附破坏 (层间破坏): 应分为胶层或砂浆层与基材之间的界面破坏及胶层与纤维复合材或钢板之间的界面破坏。

3) 混合破坏: 粘合面出现两种或两种以上的破坏形式。

2 破坏形式正常性判别, 应符合下列规定:

1) 当破坏形式为基材混凝土内聚破坏, 或虽出现两种或两种以上的破坏形式, 但基材混凝土内聚破坏形式的破坏面积占粘合面面积 85% 以上, 均可判为正常破坏。

2) 当破坏形式为粘附破坏、粘接材料内聚破坏或基材混凝土内聚破坏面积少于 85% 的混合破坏, 均应判为不正常破坏。

注: 钢标准块与检验用高强、快固化胶粘剂之间的界面破坏, 属检验技术问题, 应重新粘贴; 不参与破坏形式正常性评定。

## F.7 试验结果的合格评定

F.7.1 组试验结果的合格评定, 应符合下列规定:

1 当一组内每一试件的破坏形式均属正常时, 应舍去组内最大值和最小值, 而以中间三个值的平均值作为该组试验结果的正拉粘结强度推定值; 若该推定值不低于本规范第 4 章规定的相应指标, 则可评该组试件正拉粘结强度检验结果合格;

2 当一组内仅有一个试件的破坏形式不正常，允许以加倍试件重做一组试验。若试验结果全数达到上疑要求，则仍可评该组为试验合格组。

#### F.7.2 检验批试验结果的合格评定应符合下列要求：

1 若一检验批的每一组均为试验合格组，则应评该批粘接材料的正拉粘结性能符合安全使用的要求；

2 若一检验批中有一组或一组以上为不合格组，则应评该批粘接材料的正拉粘结性能不符合安全使用要求；

3 若检验批由不少于 20 组试件组成，且仅有一组被评为试验不合格组，则仍可评该批粘接材料的正拉粘接性能符合使用要求。

#### F.7.3 试验报告应包括下列内容：

- 1 受检胶粘剂或复合砂浆的品种、型号和批号；
- 2 抽样规则及抽样数量；
- 3 试件制备方法及养护条件；
- 4 试件的编号和尺寸；
- 5 试验环境的温度和相对湿度；
- 6 仪器设备的型号、量程和检定日期；
- 7 加荷方式及加荷速度；
- 8 试件的破坏荷载及破坏形式；
- 9 试验结果整理和计算；
- 10 试验人员、校核人员及试验日期。

## 附录 G 富填料胶体、聚合物砂浆体劈裂抗拉强度测定方法

### G.1 适用范围

G.1.1 本方法适用于测定粘接锚固件用胶粘剂、粘接钢丝绳网片用聚合物砂浆以及其他富填料胶体的劈裂抗拉强度。

G.1.2 本方法仅适用于园柱体试件的劈裂抗拉试验；不得引用于立方体劈裂抗拉试验。

### G.2 试件

G.2.1 劈裂抗拉试件的直径为 20mm；长度为 40mm；允许偏差为 $\pm 0.1\text{mm}$ ；由受检的胶粘剂或聚合物砂浆浇注而成。试件的养护方法及养护时间应符合产品使用说明书的规定。

G.2.2 试件拆模后，应检查其表面的缺陷；凡有裂纹、麻面、孔洞、缺陷的试件不得使用。

G.2.3 劈裂抗拉试验的试件数量，每组不应少于 3 个。

### G.3 试验设备及装置

G.3.1 劈裂抗拉试件的制作应在专门的模具中浇注而成。模具可自行设计，但应便于脱模，且不应伤及试件；模具的内壁应经抛光，其光洁度应达到  $\nabla 6.3$ 。其他技术要求应符合现行行业标准《混凝土试模》JG 3019 的规定。

G.3.2 劈裂抗拉试件的加载，应采用最大压力标定值不大于 4000N 的压力试验机；其力值的示值误差不应大于 1%；每年应检定一次。试件的破坏荷载应处于试验机标定满负荷的 20%~80%之间。

G.3.3 劈拉试验装置，由加载钢压头、带小压头钢底座及钢定位架等组成（图 G.3.3）。



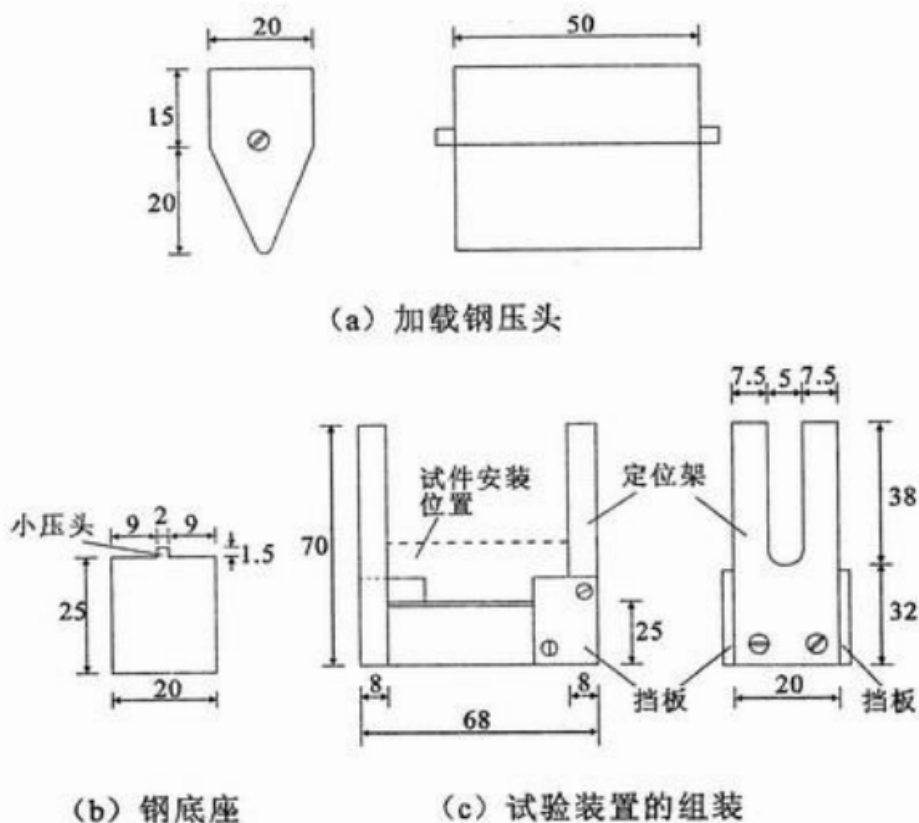


图 G.3.3 劈拉试验装置

注：单位为 mm

#### G.4 试验步骤

G.4.1 圆柱体劈裂抗拉强度试验步骤应符合下列规定：

- 1 试件从养护室取出后应及时进行试验；先将试件擦拭干净，与垫层接触的试件表面应清除掉一切浮渣和其他附着物。
- 2 标出两条承压线。这两条线应位于同一轴向平面，并彼此相对，两线的末端应能在试件的端面上相连，以判断划线的正确性。
- 3 将嵌有试件的试验装置于试验机中心，在上下压头与试件承压线之间各垫一条截面尺寸为  $2 \times 2\text{mm}$  木垫条，圆柱体试件的水平轴线应在上下垫条之间保持水平，与水平轴线相垂直的承压线应位于垫条的中心，其上下位置应对准（图 G.4.1）。
- 4 施加荷载应连续均匀地进行，并控制在  $1 \sim 1.5\text{min}$  内破坏。
- 5 试件破坏时，应记录其最大荷载值及破坏形式。

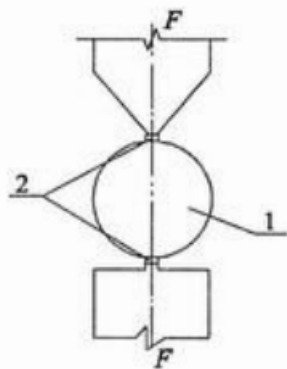


图 G.4.1 试件安装示意图

1—试件；2—木垫条

G.4.2 当按本附录第 G.4.1 条规定的试验步骤进行试验时，若试件的破坏形式不是劈裂破坏，应检查试件的上下对中情况是否符合要求；若对中没有问题，应检查试件的原材料是否尚未完全固化，或不属于富填料的粘接材料。

## G. 5 试验结果

G.5.1 圆柱体试件劈裂抗拉强度试验结果的整理应符合下列规定：

1 圆柱体劈裂抗拉强度应按下列公式计算：

$$f_{ct} = \frac{2F}{\pi d l} = \frac{0.637F}{d l} \quad (G.5.1)$$

式中  $f_{ct}$ ——圆柱体劈裂抗拉强度测试值 (MPa)；

$F$ ——试件破坏荷载 (N)；

$d$ ——劈裂面的试件直径 (mm)；

$l$ ——试件的长度 (mm)；

圆柱体劈裂抗拉强度计算精确至 0.01MPa。

2 圆柱体劈裂抗拉强度有效值应按下列规定进行确定：

1) 以三个测值的算术平均值作为该组试件的有效强度值；

2) 若一组测值中，有一最大值或最小值，与中间值之差大于 15% 时，以中间值作为该组试件的有效强度值；

3) 若最大值和最小值与中间值之差均大于 15%，则该组试验结果无效，应重做。

G.5.2 当需要计算劈裂抗拉试验结果的标准差及变异系数时，应至少有 15 个有效强度值。

G.5.3 试验报告应包括下列内容：

- 1 受检富填料胶粘剂或聚合物砂浆的品种、型号和批号；
- 2 抽样规则及抽样数量；
- 3 试件制备方法及其养护条件；
- 4 试件的编号和尺寸；
- 5 试验环境的温度和相对湿度；
- 6 试验设备的型号、量程及检定日期；
- 7 加荷方式及加荷速度；
- 8 试样的破坏荷载及破坏形式；
- 9 试验结果的整理和计算；
- 10 试验人员、校核人员及试验日期。

## 附录 H 高强聚合物砂浆体抗折强度测定方法

### H.1 适用范围

H.1.1 本方法适用于高强聚合物砂浆体抗折强度的测定。

### H.2 试验装置和设备

H.2.1 浇注试件用的模具应符合下列要求：

1 应为可拆卸的钢制模具；其钢材宜为 45 号钢；模具内表面的光洁度应达  $\nabla 6.3$ ；

2 模具尺寸的允许偏差应符合下列规定：

1) 模内净截面各边尺寸的偏差不得超过 0.20mm；模内净长度的偏差不得超过 1mm；

2) 模内相邻面的夹角应为  $90^\circ$ ，其偏差不得超过  $0.5^\circ$ 。

3) 模具各边组成的上表面，其平面度偏差不得超过短边长度的 1.5%。

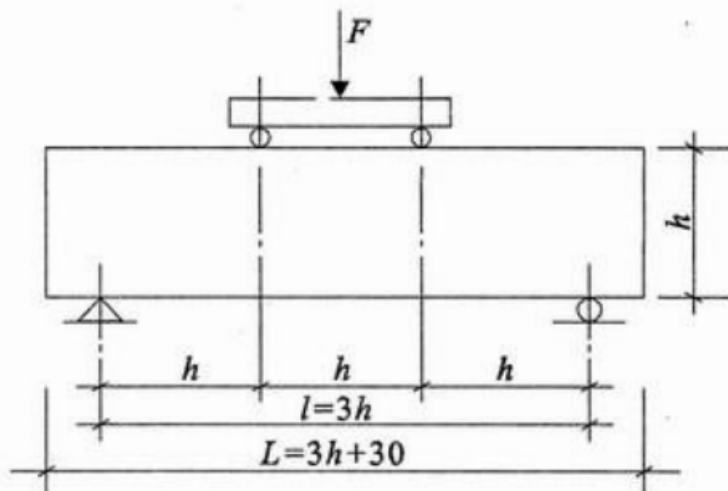
3 模具的拆卸构造不应在操作时伤及试件。

H.2.2 当浇注试件需经振捣成型时，振动台的技术性能和质量应符合现行行业标准《混凝土试验室用振动台》JG/T 3020 的规定。

H.2.3 抗折试验使用的压力试验机应为液压式压力试验机，其测量精度应达  $\pm 1.0\%$ ；试验机应能均匀、连续、速度可控地施加荷载；试件破坏荷载应处于压力机标定满负荷的 20%~80%之间。

H.2.4 试件的支座和加载压头应为直径 10mm、长 35mm 的 45 号钢圆柱体；分配荷载的钢板，也应采用 45 号钢制成；其尺寸应为  $10 \times 35 \times 50\text{mm}$ 。

H.2.5 抗折试验装置，应为图 H.2.5 所示的三分点加荷装置。



H.2.5 抗折试验装置

注：单位为 mm

### H. 3 取样规则

H.3.1 验证性试验用的抗折试样，应在试验室按产品使用说明书的要求专门配制，并按每盘拌合物取样制作一组试件，每组不少于 5 个试件的原则确定应拌合的盘数。拌合时试验室的温度应在  $23 \pm 2^\circ\text{C}$ 。

H.3.2 工程质量检验用的抗折试样，应在现场随机选取 3 盘拌合物，每盘取样制作一组试件，每组试件不应少于 3 个。

H.3.3 拌合物取样后，应在产品说明书规定的适用期（按分钟计）内浇注成试件；不得使用逾期的拌合物浇注试件。

### H. 4 试件制备

H.4.1 高强聚合物砂浆的抗折强度测定，应采用截面为  $30 \times 30\text{mm}$ 、长度为  $120\text{mm}$  的棱柱形试件。

H.4.2 试件应在符合本附录第 H.2.1 条要求的模具中制作、浇注、捣实和养护；其养护制度和养护、拆模时间应按复合砂浆产品使用说明书确定。

H.4.3 试件拆模后，应检查试件表面的缺陷；凡有裂纹、麻点、孔洞、缺损的试件应弃用。

## H.5 试验步骤

H.5.1 试件养护到期后应及时进行试验，若因故需推迟试验不得超过 1d。

H.5.2 在试验机中按图 H.2.5 安装试件时，应以试件成型时的侧面作为加荷的承压面，并应从试验机前后两面对试件进行对中，若发现试件与支座或施力点接触不严或不稳时，应予以垫平。

H.5.3 试件加荷应均匀、连续，并应控制在 1.5~2.0min 内破坏，破坏时除应记录试验机荷载示值外，还应记录破坏点位置及破坏形式。

当试件的破坏点位于两集中荷载作用线之间时为正常破坏；若破坏点位于集中荷载作用线与支座之间时为非正常破坏。

## H.6 试验结果

H.6.1 正常破坏的试件，其抗折强度值  $f_b$  应按下式计算：

$$f_b = Pl_b / bh^2 \quad (\text{H.6.1})$$

式中  $P$ ——试件破坏荷载，N；

$l_b$ ——试件跨度，mm；

$b$  和  $h$ ——试件截面的宽度和高度。

抗折强度计算应精确至 0.1MPa。

H.6.2 一组试件的抗折强度值的确定应符合下列规定：

- 1 当一组试件的破坏均属正常破坏时，以全组测值的算术平均值表示；
- 2 当一组试件中仅有一个测值为非正常破坏时，应弃去该测值，而以其余测值的算术平均值表示；
- 3 当一组试件中非正常破坏值不止一个时，该组试验无效。

H.6.3 试验报告应包括下列内容：

- 1 受检材料的品种、型号和批号；
- 2 抽样规则及抽样数量；
- 3 试件制备方法及其养护条件；

- 4 试件的编号和尺寸;
- 5 试验环境的温度和相对湿度;
- 6 仪器设备的型号、量程和检定日期;
- 7 加荷方式及加荷速度;
- 8 试件破坏荷载及破坏形式;
- 9 试验结果的整理和计算;
- 10 试验人员、校核人员及试验日期。



## 附录 J 富填料粘接材料拉伸抗剪强度测定方法

### (钢套筒法)

#### J.1 适用范围及应用条件

J.1.1 本方法适用于以富填料结构胶粘剂为粘接材料粘合带肋钢筋与钢套筒的拉伸抗剪强度测定；也可用于高强聚合物砂浆粘合钢丝绳与钢套筒的拉伸抗剪强度测定。

J.1.2 本方法为富填料粘接材料的专用方法，不得用于测定其他用途胶粘剂的拉伸抗剪强度。

#### J.2 试验设备及装置

J.2.1 试验机的加荷能力，应使试件的破坏荷载处于试验机标定满负荷的 20%~80%之间。试验机力值的示值误差不应大于 1%。

试验机应能连续、平稳、速率可控地施荷。

##### J.2.2 夹持器及其夹具

试验配备的夹持器及其夹具，应能自动对中，使力线与试样的轴线始终保持一致。

#### J.3 试件

J.3.1 试件由受检胶粘剂粘接直径为 12mm 的带肋钢筋与专用钢套筒组成（图 J.3.1）。试件的剪切面长度为  $36\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ 。当检验聚合物砂浆时，应采用钢丝绳替代带肋钢筋。此时，试件的剪切面长度为  $35\text{mm} \pm 0.5\text{mm}$ ，即钢丝绳埋深为  $7d$ （ $d$  为绳径），其他不变。

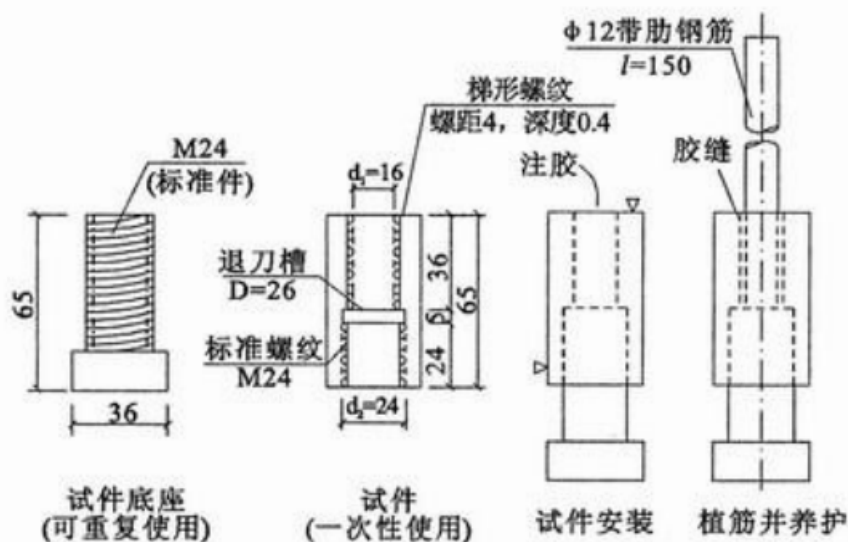


图 J.3.1 标准试件的形式与尺寸 (mm)

J.3.2 受检胶粘剂或聚合物砂浆应按规定的抽样规则从一定批量的产品中抽取。

J.3.3 专用钢套筒应采用 45 号碳钢制作。套筒内壁应有螺距为 4mm、深度为 0.4mm 的梯形螺纹。

J.3.4 试件数量应符合下列规定：

- 1 常规检验的试件：每组不应少于 5 个；
- 2 确定抗剪强度标准值的试件数量应按本规范第 3.2 节确定。

## J.4 试件制备

J.4.1 钢筋、钢丝绳和钢套筒，应经除锈、除油污；套筒内壁尚应无毛刺；粘结前，钢筋和套筒应用工业丙酮清洗一遍。

J.4.2 钢筋、钢丝绳的直径以及套筒的内径和深度，应用量具测量，精确到 0.05mm。

J.4.3 粘接时，胶粘剂或聚合物砂浆的配合比及其粘接工艺要求应按该产品的使用说明书确定。

## J.5 试验条件

J.5.1 试件应在胶粘剂或聚合物砂浆达到完全固化时间的当日进行试验。若因故

需推迟试验日期, 应征得有关方面一致同意, 且不得超过 1d。胶粘剂或聚合物砂浆的完全固化时间应由其生产厂家提供。

J.5.2 试验应在室温为  $23^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$  的环境中进行。仲裁性试验或对环境湿度敏感的胶粘剂, 其相对湿度应控制在 45%~55% 之间。

J.5.3 对温度、湿度有要求的试验, 其试件在测试前的调控时间不应少于 24h。

## J. 6 试验步骤

J.6.1 试验时应将试件(图 J.6.1)对称地夹持在夹具中; 夹持长度不应少于 50mm。

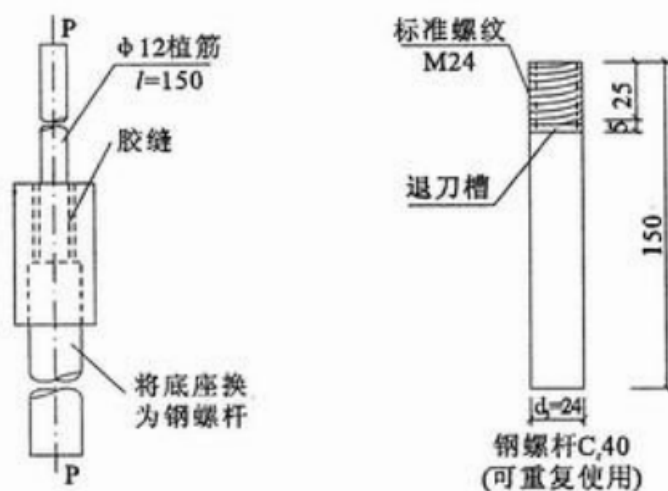


图 J.6.1 试件安装钢螺杆

J.6.2 开动试验机, 以连续、均匀的速率加荷; 自试样加荷至破坏的时间应控制在 1~3min 内。

J.6.3 试样破坏时, 应记录其最大荷载值, 并记录粘接的破坏形式(如内聚破坏、粘附破坏等)。

## J. 7 试验结果

J.7.1 胶粘剂或聚合物砂浆的抗剪强度  $f_{vu}$ , 应按下列公式计算:

### 1 胶粘剂

$$f_{vu} = P / 0.8 \pi D l \quad (\text{J.7.1-1})$$

### 2 聚合物砂浆

$$f_{vu} = P / \pi d l \quad (\text{J.7.1-2})$$

式中  $P$ ——拉伸的破坏荷载, N;

$D$ ——钢套筒的内径, mm;

$l$ ——粘接面长度, mm;

$d$ ——钢丝绳的公称直径。

J.7.2 试验结果的计算应取三位有效数字。

J.7.3 试验报告应包括下列内容:

- 1 受检粘接材料的品种、型号和批号;
- 2 抽样规则及抽样数量;
- 3 试件制备方法及养护条件;
- 4 试件的编号及其剪切面的尺寸;
- 5 试验环境的温度和相对湿度;
- 6 仪器设备的型号、量程和检定日期;
- 7 加荷方式及加荷速度;
- 8 试件破坏荷载及破坏形式;
- 9 试验结果的整理和计算;
- 10 试验人员、校核人员及试验日期。

## 附录 K 约束拉拔条件下胶粘剂粘接 钢筋与基材混凝土的粘结强度测定方法

### K.1 适用范围

K.1.1 本方法适用于以锚固型胶粘剂粘接带肋钢筋与基材混凝土，在约束拉拔条件下测定其粘结强度。

K.1.2 对下列材料的拉拔粘结强度测定也可使用本方法：

- 1 以专用胶粘剂粘合加长型定型化学锚栓与基材；
- 2 以全螺纹螺杆替代带肋钢筋的粘结强度测定。

### K.2 试验设备和装置

K.2.1 由油压穿心千斤顶、力值传感器、钢制夹具、约束用的钢垫板等组成的约束拉拔式粘结强度检测仪（图 K.2.1）；宜配备 300kN 和 60kN 穿心千斤顶各一台；其力值传感器测量精度应达 $\pm 1.0\%$ ；试件破坏荷载应处于拉拔装置标定满负荷的 20%~80%之间。若需测定拉拔过程的位移，尚应配备位移传感器和力-位移数据同步采集仪及笔记本电脑和适用的绘图程序。

拉拔仪应每年检定一次。

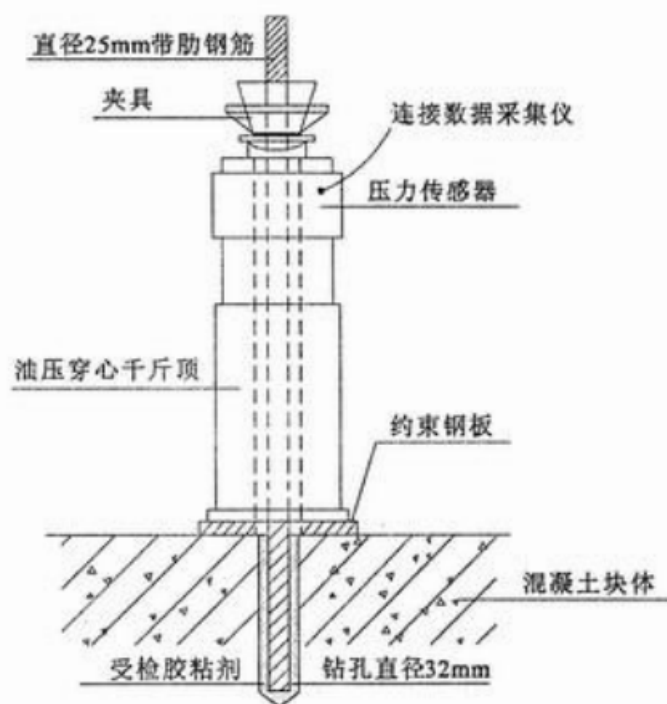


图 K.2.1 约束拉拔式粘结强度检测仪示意图

K.2.2 约束用的钢垫板应为中心开孔的圆形钢板；钢板直径不应小于 180mm；板中心应开有直径为 36mm 的圆孔；板厚为 15~20mm；上下板面应刨平。

K.2.3 植筋用的混凝土块体应按种植 15 根  $\Phi 25$  带肋钢筋进行设计，并应符合下列规定：

- 1 块体尺寸：其长度、宽度和高度应分别不小于 1260mm、1060mm 和 250mm。
- 2 块体混凝土强度等级：一块应为 C30 级；另一块应为 C60 级。
- 3 块体配筋：仅配置架立钢筋和箍筋；若需吊装，尚应设置吊环；必要时，还可在块体底部配少量纵向钢筋；具体构造如图 K.2.3 所示。钢筋保护层厚度为 30mm、吊环预埋位置及底部配筋位置可根据实际情况确定。
- 4 外观要求：混凝土表面应抹平整。

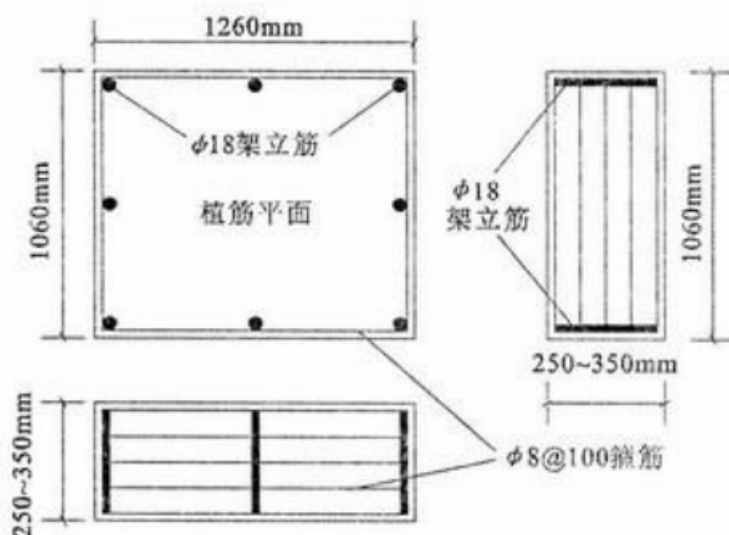


图 K.2.3 植筋用混凝土块体配筋图

K.2.4 植筋用的钻孔机械，可根据试验设计的要求进行选择。当采用水钻机械时，钻孔后，应对孔壁进行糙化处理。

### K.3 试件

K.3.1 本试验的试件由受检胶粘剂和植入混凝土块体的热轧带肋钢筋组成。每组试件不少于 5 个。

K.3.2 热轧带肋钢筋的公称直径应为 25mm；钢筋等级不宜低于 400 级；其表面应无锈迹、油污和尘土污染；外观应平直，无弯曲，其肋面积应在 0.055~0.065 之间。钢筋的长度应根据其埋深及夹具尺寸和检测仪的千斤顶高度确定。

钢筋的植入深度，对 C30 混凝土块体应为 150mm（6 倍钢筋直径）；对 C60 混凝土块体应为 125mm（5 倍钢筋直径）。

K.3.3 受检的胶粘剂应由独立检验单位从成批的产品中通过随机抽样取得；其包装和标志应完好无损，不得采用散装的胶粘剂或过期的胶粘剂进行试验。

## K.4 植 筋

K.4.1 植筋前应检测混凝土块材钻孔部位的含水率，其检测结果应符合试验设计的要求。

K.4.2 钻孔的直径及其实测的偏差应符合胶粘剂产品使用说明书的规定。

K.4.3 植筋前的清孔，应采用胶粘剂厂家提供的专用设备，但清孔的吹和刷的次数应比产品使用说明书规定的次数减少一半；若产品说明书的规定为两吹一刷，则实际操作时只吹一次而不再刷；若产品说明书未规定清孔的方法和次数，则试验时不得进行清孔。

K.4.4 植筋胶液的调制和注胶方法应严格按胶粘剂产品使用说明书的规定执行。

K.4.5 在注入胶液的孔中，应立即插入钢筋，并按顺时针方向边转边插，直至达到规定的深度。

K.4.6 植筋完毕应静置养护；养护的条件和时间应按产品使用说明书的规定执行；养护到期的当天应立即进行拉拔试验；若因故推迟不得超过 1d。

## K.5 拉拔试验

K.5.1 试验环境的温度应为  $23 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ；相对湿度应为 60%~70%。若受检的胶粘剂对湿度敏感，相对湿度应控制在 45%~55%。

K.5.2 试验步骤应符合下列规定：

- 1 将粘结强度检测仪的空心千斤顶穿过钢筋安装在混凝土块体表面的钢垫板上，并通过其上部的夹具，夹持植筋试件，并仔细对中、夹持牢固；
- 2 启动可控油门，均匀、连续地施荷，并控制在 2~3min 内破坏；
- 3 记录破坏时的荷载值及破坏形式。



## K.6 试验结果

K.6.1 约束拉拔条件下的粘结强度  $f_{b,c}$ ，应按下式计算：

$$f_{b,c} = N_u / \pi d_o l_b \quad (\text{K.6.1})$$

式中  $N_u$ ——拉拔的破坏荷载，N；

$d_o$ ——钢筋公称直径，mm；

$l_b$ ——钢筋锚固深度，mm。

K.6.2 破坏形式应符合下列情况，若遇到钢筋先屈服的情况，应检查其原因，并重新制作试件进行试验。

- 1 胶粘剂与混凝土粘合面粘附破坏；
- 2 胶粘剂与钢筋粘合面粘附破坏；
- 3 混合破坏。

K.6.3 试验报告应包括下列内容：

- 1 受检胶粘剂的品种、型号和批号；
- 2 抽样规则及抽样数量；
- 3 钻孔、清孔及植筋方法；
- 4 植筋实测的埋深及植筋编号；
- 5 试验环境的温度和相对湿度；
- 6 仪器设备的型号、量程和检定日期；
- 7 加荷方式及加荷速度；
- 8 试件破坏荷载及破坏形式；
- 9 试验结果的整理和计算；
- 10 试验人员、校核人员及试验日期。

## 附录 L 结构用胶粘剂湿热老化性能测定方法

### L.1 适用范围及应用条件

L.1.1 本方法适用于结构胶粘剂耐老化基本性能的测定。

注：当高强聚合物砂浆采用钢套筒法（本规范附录 J）测定其耐老化基本性能时，也可采用本方法。

L.1.2 采用本方法进行老化试验的胶粘剂应符合下列条件：

- 1 该结构胶粘剂产品已通过胶体性能和胶粘剂粘接能力的检验；
- 2 被检验的结构胶粘剂应来源于成批产品的随机抽样。

### L.2 试验设备及试验用水

L.2.1 试件的老化应在可程式恒温恒湿试验机中进行。该机老化箱内的温度和相对湿度应能自动控制、连接记录，并保持稳定；箱内的空气流速应能保持在 0.5~1.0m/s；箱壁和箱顶的冷凝水应能自动除去，不得滴在试件上。

L.2.2 试验机用水应采用蒸馏水或去离子水；未经纯化的冷凝水不得再重复利用。仲裁性试验机用水，还应要求其电阻率不得小于  $500\ \Omega \cdot \text{m}$ 。湿球系统也应采用相同水质的水。每次试验前应更换湿球纱布及剩水，且纱布使用期不得超过 30d。

L.2.3 试验机电源应为双电源，并应能在工作电源断电时自动切换；任何原因引起的短时间断电，均应记录在案备查。

### L.3 试件

L.3.1 老化性能的测定应采用钢对钢拉伸剪切试件，并按现行国家标准《胶粘剂拉伸剪切强度测定方法（金属对金属）》GB 7124 的规定和要求制备，粘接用的金属试片应为粘合面经过喷砂处理的 45 号钢。

对富填料粘接材料的老化性能测定应采用本规范附录 J 规定的套筒式试件。

L.3.2 试件的数量不应少于 15 个，且应随机均分为 3 组；其中一组为对照组，另两组为老化试验组。

L.3.3 试件胶缝完全固化后，应对金属外露表面涂以防锈油漆进行密封，但应防止油漆沾染胶缝。

## L.4 试验条件

L.4.1 湿热条件应符合下列规定：

- 1 温度 应保持  $50 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ；
- 2 相对湿度 应保持 95%~100%；
- 3 恒温、恒湿时间 自箱内温、湿度达到规定值算起，应为 60d 或 90d。

L.4.2 升温、恒温及降温过程的控制

### 1 升温制度

应在 1.5~2h 内，使老化箱内温度自  $25 \pm 3^{\circ}\text{C}$  连续、均匀地升至  $50 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ；相对湿度也应升至 95% 以上；此过程中试样表面应有凝结水出现。

### 2 恒温、恒湿制度

老化箱内有效工作区的温、湿度应均匀，且无明显波动；应按传感器的示值进行实时监控。

### 3 降温制度

应在连续恒温达到 90d 时立即开始降温，且应在 1.5~2h 内从  $50^{\circ}\text{C}$  连续、均匀地降至  $25 \pm 2^{\circ}\text{C}$ ；但相对湿度仍应保持在 95% 以上。

## L.5 试验步骤

L.5.1 老化性能测定的步骤应符合下列规定：

- 1 试件完全固化时应立即按现行国家标准《胶粘剂拉伸剪切强度测定方法（金属对金属）》GB 7124 的规定，先测定对照组试件的初始抗剪强度。
- 2 将老化试验组的试件放入老化箱内，试件相互之间、试件与箱壁之间不得接触。对仲裁性试验，试样与箱壁、箱底和箱顶的距离不应少于 150mm。
- 3 老化试验的温度和湿度控制应按本附录 L.4 节的规定和要求进行。
- 4 在试验过程中，若需取出或放入试样，开启箱门的时间应短暂，防止试样表面出现凝结水珠。

5 在恒温、恒湿达到 30d 时,应取出一组试件进行抗剪试验。若试件抗剪强度降低百分率大于 15%,该老化试验即可中止。若抗剪强度降低百分率小于 15%,应继续进行至规定时间。

6 试验达到 90d (对 II 级胶为 60d),并降温至 35℃时,即可将试样取出置于密闭器皿中,待与室温平衡后,逐个进行抗剪破坏试验,且每组试验均应在 30min 内完成。

## L. 6 试验结果

L.6.1 老化试验完成后,应按下式计算抗剪强度降低百分率,取二位有效数字:

$$\rho_{R,i} = \frac{R_{o,i} - R_i}{R_{o,i}} \times 100\% \quad (\text{L.6.1})$$

式中  $\rho_{R,i}$  ——第  $i$  组老化试验后抗剪强度降低百分率, %;

$R_{o,i}$  ——对照组试样初始抗剪强度算术平均值;

$R_i$  ——经老化试验后第  $i$  组试样抗剪强度算术平均值。

## L. 7 试验报告

L.7.1 湿热老化试验报告应包括下列各项内容:

- 1 试验项目名称;
- 2 试样来源及试件制备情况;
- 3 试件试验前外观状态;
- 4 采用的试验条件和试件状态调节过程;
- 5 采用的设备、仪器型号及其检定日期;
- 6 试验开始和结束日期、实验室的温度及相对湿度;
- 7 试验过程老化箱内温湿度控制情况 (若遇短时间停电,应作记录);
- 8 试件的破坏荷载及破坏形式;
- 9 试验结果的整理和计算;
- 10 试验人员、校核人员及试验负责人。

## 附录 M 锚栓连接受力分析方法

### M.1 锚栓拉力作用值计算

M.1.1 锚栓受拉力作用（图 M.1.1 - 1 及图 M.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。

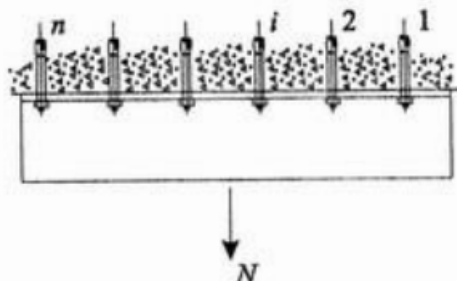


图 M.1.1 - 1 轴向拉力作用

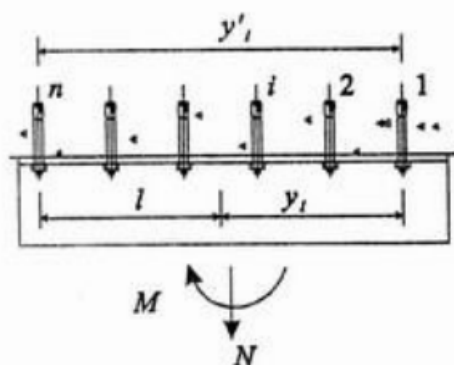


图 M.1.1 - 2 拉力和弯矩共同作用

M.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  $N/n - My_i / \sum y_i^2 \geq 0$  时

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

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

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

式中  $N$  和  $M$ ——分别为轴向拉力和弯矩的设计值；

$y_i$ 、 $y_l$ ——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  $N_i$ 。

## M.2 锚栓剪力作用值计算

M.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 M.2.1 的规定，且边距大于  $10h_{ef}$ ，则所有锚栓均匀承受剪力（图 M.2.1 - 1）；

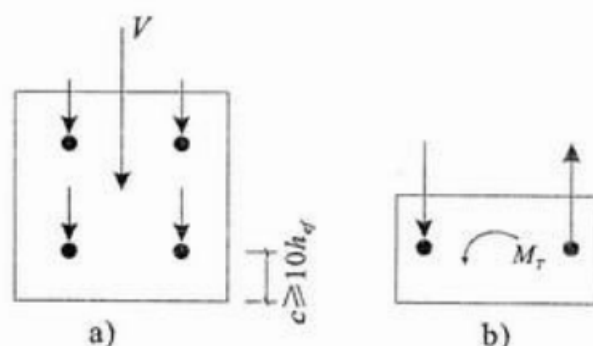


图 M.2.1 - 1 锚栓均匀受剪

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

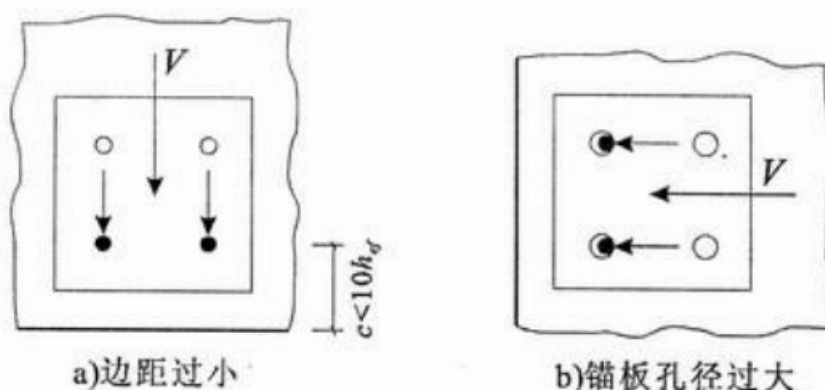


图 M.2.1 - 2 锚栓处于不利情况下受剪

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 M.2.1 - 3）。

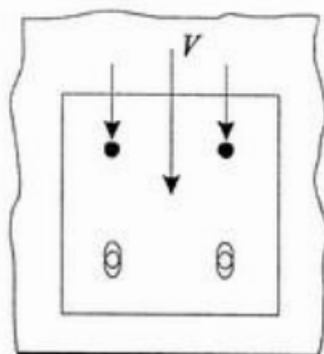


图 M.2.1 - 3 控制剪力分配方法

表 M.2.1 锚板孔径 (mm)

|                      |   |   |    |    |    |    |    |    |    |    |    |    |
|----------------------|---|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| 锚 栓 公 称<br>直 径 $d_o$ | 6 | 8 | 10 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 27 | 30 |
| 锚板孔径 $d_f$           | 7 | 9 | 12 | 14 | 16 | 18 | 20 | 22 | 24 | 26 | 30 | 33 |

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

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

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

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

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。

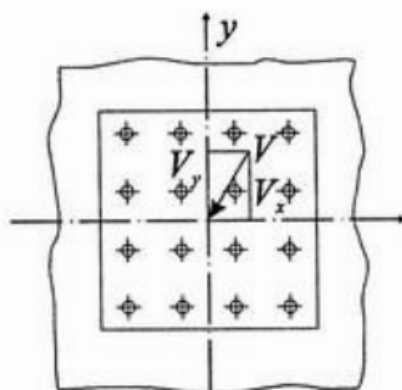


图 M.2.2 受剪力作用

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

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

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

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

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坐标距离。

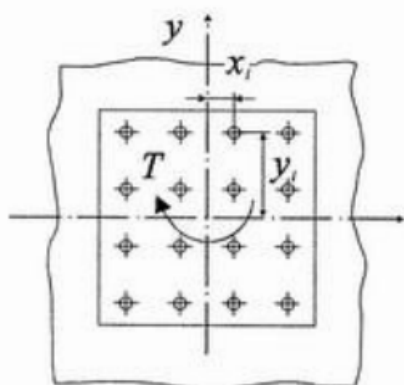


图 M.2.3 受扭矩作用

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

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

式中  $V_i^g$ ——群锚中锚栓所受组合剪力设计值。

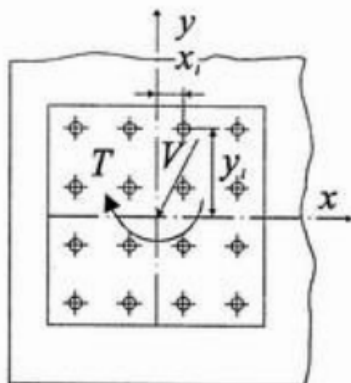


图 M.2.4 剪力与扭矩共同作用

## 附录 N 锚固承载力现场检验方法及评定标准

### N.1 适用范围及应用条件

N.1.1 本方法适用于混凝土结构锚固工程质量的现场检验。

N.1.2 锚固工程质量应按其锚固件抗拔承载力的现场抽样检验结果进行评定。

注：本附录的锚固件仅指种植带肋钢筋、全螺纹螺杆和锚栓。

N.1.3 锚固件抗拔承载力现场检验分为非破损检验和破坏性检验。选用时应符合本附录第 N.1.4 条和第 N.1.5 条的规定。

N.1.4 对下列场合应采用破坏性检验方法对锚固质量进行检验：

- 1 重要结构构件；
- 2 悬挑结构、构件；
- 3 对该工程锚固质量有怀疑；
- 4 仲裁性检验。

N.1.5 当按本附录 N.1.4 第 1 款的规定，对重要结构构件锚栓锚固质量采用破坏性检验方法确有困难时，若该批锚栓连接系按本规范的规定进行设计计算，可在征得业主和设计单位同意的情况下，改用非破损抽样检验方法，但必须按表 N.2.3 确定抽样数量。

N.1.6 对一般结构构件，其锚固件锚固质量的现场检验可采用非破损检验方法。

N.1.7 若受现场条件限制，无法进行原位破坏性检验操作时，允许在工程施工的同时（不得后补），在被加固结构近旁，以专门浇筑的同强度等级的混凝土块体为基材种植锚固件，并按规定的时间进行破坏性检验；但应事先征得设计和监理单位的书面同意，并在场见证试验。

本条规定不得引用于仲裁性检验。

### N.2 抽样规则

N.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。

N.2.2 现场破坏性检验的抽样,应选择易修复和易补种的位置,取每一检验批锚固件总数的 1%,且不少于 5 件进行检验。若锚固件为植筋,且种植的数量不超过 100 件时,可仅取 3 件进行检验。仲裁性检验的取样数量应加倍。

N.2.3 现场非破损检验的抽样,应符合下列规定:

1 锚栓锚固质量的非破损检验:

1) 对重要结构构件,应在检查该检验批锚栓外观质量合格的基础上,按表 N.2.3 规定的抽样数量,对该检验批的锚栓进行随机抽样。

表 N.2.3 重要结构构件锚栓锚固质量非破损检验抽样表

| 检验批的锚栓总数             | $\leq 100$       | 500 | 1000 | 2500 | $\geq 5000$ |
|----------------------|------------------|-----|------|------|-------------|
| 按检验批锚栓总数<br>计算的最小抽样量 | 20%,<br>且不少于 5 件 | 10% | 7%   | 4%   | 3%          |

注:当锚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,可按重要结构构件抽样量的 50%,且不少于 5 件进行随机抽样。

2 植筋锚固质量的非破损检验:

1) 对重要结构构件,应按其检验批植筋总数的 3%,且不少于 5 件进行随机抽样。

2) 对一般结构构件,应按 1%,且不少于 3 件进行随机抽样。

N.2.4 当不同行业标准的抽样规则与本规范不一致时,对承重结构加固工程的锚固质量检验,必须按本规范的规定执行。

N.2.5 胶粘的锚固件,其检验应在胶粘剂达到其产品说明书标示的完全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,且不得超过 3d。

### N.3 仪器设备要求

N.3.1 现场检测用的加荷设备,可采用专门的拉拔仪或自行组装的拉拔装置,但应符合下列要求:

1 设备的加荷能力应比预计的检测荷载值至少大 20%,且应能连续、平稳、速度可控地运行;

2 设备的测力系统,其整机误差不得超过全量程的 $\pm 2\%$ ,且应具有峰值贮

存功能;

3 设备的液压加荷系统在短时 ( $\leq 5\text{min}$ ) 保持荷载期间, 其降荷值不得大于 5%;

4 设备的夹持器应能保持力线与锚固件轴线的对中;

5 设备的支承点与植筋之间的净间距, 不应小于  $3d$  ( $d$  为植筋或锚栓的直径), 且不应小于  $60\text{mm}$ ; 设备的支承点与锚栓的净间距不应小于  $1.5h_{ef}$  ( $h_{ef}$  为有效埋深)。

N.3.2 当委托方要求检测重要结构锚固件连接的荷载一位移曲线时, 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  $50\text{mm}$ ; 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, 并绘制荷载一位移的全程曲线。

注: 若受条件限制, 允许采用百分表, 以手工操作进行分段记录。此时, 在试样到达荷载峰值前, 其位移记录点应在 12 点以上。

N.3.3 现场检验用的仪器设备应定期送检定机构检定。若遇到下列情况之一时, 还应及时重新检定:

1 读数出现异常;

2 被拆卸检查或更换零部件后。

## N. 4 拉拔检验方法

N.4.1 检验锚固拉拔承载力的加荷制度分为连续加荷和分级加荷两种, 可根据实际条件进行选用, 但应符合下列规定:

1 非破损检验

1) 连续加荷制度

应以均匀速率在  $2\sim 3\text{min}$  时间内加荷至设定的检验荷载, 并在该荷载下持荷  $2\text{min}$ 。

2) 分级加荷制度

应将设定的检验荷载均分为 10 级, 每级持荷  $1\text{min}$  至设定的检验荷载, 且持荷  $2\text{min}$ 。

3) 非破损检验的荷载检验值应符合下列规定:

a. 对植筋, 应取  $1.15N_t$  作为检验荷载;

b. 对锚栓, 应取  $1.3N_t$  作为检验荷载。

注:  $N_t$  为锚固件连接受拉承载力设计值, 应由设计单位提供; 检测单位及其他单位均无权自行确定。

## 2 破坏性检验

### 1) 连续加荷制度

对锚栓应以均匀速率控制在 2~3min 时间内加荷至锚固破坏;

对植筋应以均匀速率控制在 2~7min 时间内加荷至锚固破坏。

### 2) 分级加荷制度

应按预估的破坏荷载值  $N_u$  作如下划分: 前 8 级, 每级  $0.1N_u$ , 且每级持荷 1~1.5min; 自第 9 级起, 每级  $0.05N_u$ , 且每级持荷 30s, 直至锚固破坏。

## N.5 检验结果的评定

N.5.1 非破损检验的评定, 应根据所抽取的锚固试样在持荷期间的宏观状态, 按下列规定进行:

1 当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, 且施荷装置的荷载示值在 2min 内无下降或下降幅度不超过 5% 的检验荷载时, 应评定其锚固质量合格。

2 当一个检验批所抽取的试样全数合格时, 应评定该批为合格批。

3 当一个检验批所抽取的试样中仅有 5% 或 5% 以下不合格 (不足一根, 按一根计) 时, 应另抽 3 根试样进行破坏性检验。若检验结果全数合格, 该检验批仍可评为合格批。

4 当一个检验批抽取的试样中不止 5% (不足一根, 按一根计) 不合格时, 应评定该批为不合格批, 且不得重做任何检验。

N.5.2 破坏性检验结果的评定, 应按下列规定进行:

1 当检验结果符合下列要求时, 其锚固质量评为合格:

$$N_{u,m} \geq [\gamma_u] N_t \quad (\text{N.5.2-1})$$

且 
$$N_{u,min} \geq 0.85 N_{u,m} \quad (\text{N.5.2-2})$$

式中  $N_{u,m}$ ——受检验锚固件极限抗拔力实测平均值；

$N_{u,min}$ ——受检验锚固件极限抗拔力实测最小值；

$N_t$ ——受检验锚固件连接的轴向受拉承载力设计值；

$[\gamma_u]$  ——破坏性检验安全系数，按表 N.5.2 取用。

2 当  $N_{u,m} < [\gamma_u]N_t$ ，或  $N_{u,min} < 0.85N_{u,m}$  时，应评该锚固质量不合格。

表 N.5.2 检验用安全系数 $[\gamma_u]$

| 锚固件种类 | 破 坏 类 型     |            |
|-------|-------------|------------|
|       | 钢材破坏        | 非钢材破坏      |
| 植 筋   | $\geq 1.45$ | —          |
| 锚 栓   | $\geq 1.65$ | $\geq 3.5$ |

## 附录 P 钢丝绳网片-聚合物砂浆外加层加固法

### P.1 设计规定

P.1.1 本方法适用于钢筋混凝土受弯和大偏心受压构件的加固。

本方法不适用于素混凝土构件，包括纵向受力钢筋配筋率低于现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 规定的最小配筋率的构件的加固。

P.1.2 采用本方法时，原结构、构件按现场检测结果推定的混凝土强度等级不应低于 C15 级，且混凝土表面的正拉粘结强度不应低于 1.5MPa。

P.1.3 采用钢丝绳网片-聚合物砂浆外加层加固混凝土结构构件时，应将网片设计成仅承受拉应力作用，并能与混凝土变形协调、共同受力。

注：单股钢丝绳也称钢绞线（图 P.5.1）。

P.1.4 钢丝绳网片-聚合物砂浆外加层应采用下列构造方式对混凝土结构构件进行加固：

- 1 梁和柱，应采用三面或四面围套的外加层构造（图 P.1.4,a 和 b）；
- 2 板和墙，可采用单面的外加层构造（图 P.1.4,c）；也可采用对称的双面外加层构造（图 P.1.4,d）。

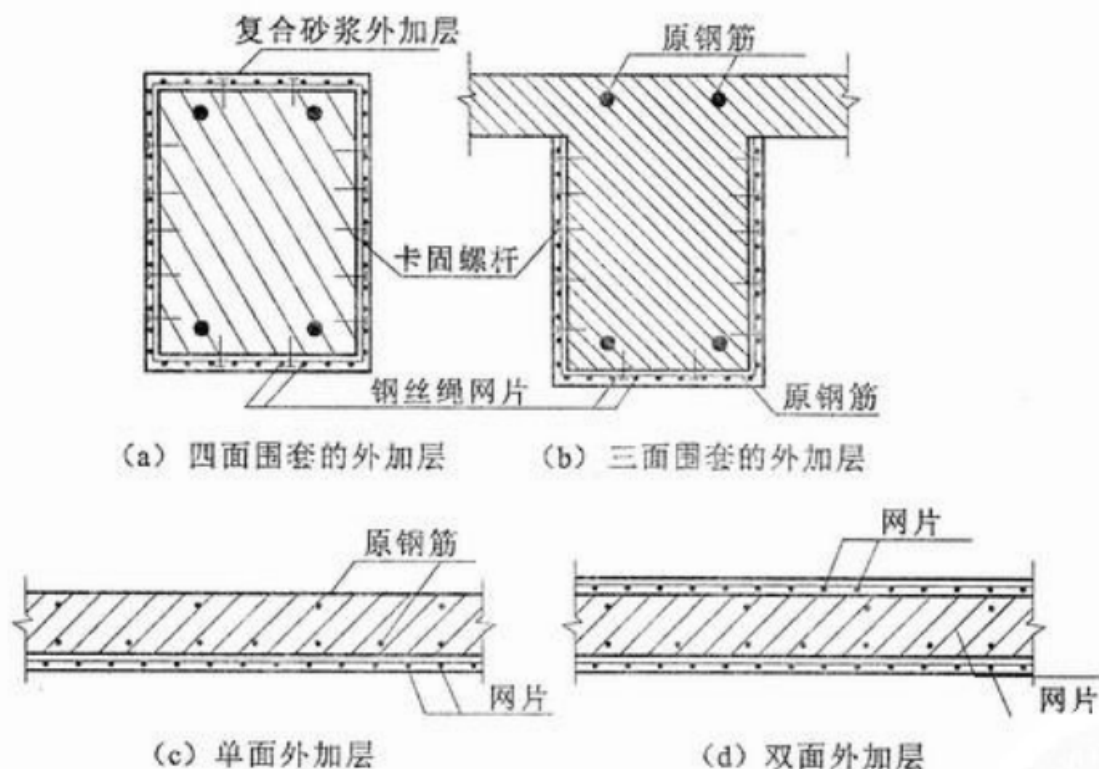


图 P.1.4 钢丝绳网片-聚合物砂浆外加层构造示意图



P.1.5 采用本方法加固的混凝土结构，其长期使用的环境温度不应高于 60℃。处于特殊环境下（如介质腐蚀、高温、高湿、放射等）的混凝土结构，其加固除应采用耐环境因素作用的聚合物配制砂浆外，尚应遵守现行国家标准《工业建筑防腐蚀设计规范》GB 50046 的规定，并采取相应的防护措施。

P.1.6 当被加固结构、构件的表面有防火要求时，应按现行国家标准《建筑防火设计规范》GB 50016 规定的耐火等级及耐火极限要求，对钢丝绳网片聚合物砂浆外加层进行防护。

P.1.7 采用本方法加固时，应采取措施卸除或大部分卸除作用在结构上的活荷载。

## P.2 材 料

P.2.1 采用钢丝绳网片-聚合物砂浆外加层加固钢筋混凝土结构、构件时，其钢丝绳的选用应符合下列规定：

1 重要结构、构件，或结构处于腐蚀介质环境、潮湿环境和露天环境时，应选用高强度不锈钢钢丝绳制作的网片；

2 处于正常温、湿度环境中的一般结构、构件，可采用高强度镀锌钢丝绳制作的网片，但应采取有效的阻锈措施。

P.2.2 制绳用的钢丝应符合下列规定：

1 当采用高强度不锈钢丝时，应采用碳含量不大于 0.15% 及硫、磷含量不大于 0.025% 的优质不锈钢制丝；

2 当采用高强度镀锌钢丝时，应采用硫、磷含量均不大于 0.03% 的优质碳素结构钢制丝；其锌层重量及镀锌质量应符合现行国家标准《钢丝镀锌层》GB/T 15393 对 AB 级的规定。

P.2.3 钢丝绳的强度标准值 ( $f_{rk}$ ) 应按其极限抗拉强度确定，并应具有不小于 95% 的保证率以及不低于 90% 的置信度。

不锈钢钢丝绳和镀锌钢丝绳的强度标准值应符合表 P.2.3 的规定。

表 P.2.3 高强度钢丝绳抗拉强度标准值 (MPa)

| 种 类     | 符 号      | 不 锈 钢 丝 绳           |                             | 镀 锌 钢 丝 绳           |                             |
|---------|----------|---------------------|-----------------------------|---------------------|-----------------------------|
|         |          | 钢丝绳<br>公称直径<br>(mm) | 钢丝绳抗拉<br>强度标准值<br>$f_{stk}$ | 钢丝绳<br>公称直径<br>(mm) | 钢丝绳抗拉<br>强度标准值<br>$f_{stk}$ |
| 6×7+IWS | $\phi^r$ | 2.4~4.5             | 1800、1700                   | 2.5~4.5             | 1650、1560                   |
| 1×19    | $\phi^s$ | 2.5                 | 1560                        | 2.5                 | 1560                        |

注：1×19 钢丝绳也称钢绞线。

P.2.4 钢丝绳计算用的截面面积及其参考重量，可按表 P.2.4 的规定值采用。

表 P.2.4 钢丝绳计算用截面面积及参考重量

| 种类          | 钢丝绳<br>公称直径<br>(mm) | 钢丝<br>直径<br>(mm <sup>2</sup> ) | 计算用<br>截面面积<br>(mm <sup>2</sup> ) | 参考重<br>量(kg/<br>100m) | 种类          | 钢丝绳<br>公称直径<br>(mm) | 钢丝<br>直径<br>(mm <sup>2</sup> ) | 计算用<br>截面面积<br>(mm <sup>2</sup> ) | 参考重<br>量(kg/<br>100m) |
|-------------|---------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|-------------|---------------------|--------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|
| 6×7<br>+IWS | 2.4                 | (0.27)                         | 2.81                              | 2.40                  | 6×7<br>+IWS | 3.6                 | 0.40                           | 6.16                              | 6.20                  |
|             | 2.5                 | 0.28                           | 3.02                              | 2.73                  |             | 4.0                 | (0.44)                         | 7.45                              | 6.70                  |
|             | 3.0                 | 0.32                           | 3.94                              | 3.36                  |             | 4.2                 | 0.45                           | 7.79                              | 7.05                  |
|             | 3.05                | (0.34)                         | 4.45                              | 3.83                  |             | 4.5                 | 0.50                           | 9.62                              | 8.70                  |
|             | 3.2                 | 0.35                           | 4.71                              | 4.21                  | 1×19        | 2.5                 | 0.50                           | 3.73                              | 3.10                  |

注：括号内的钢丝直径为建筑结构加固非常用的直径。

P.2.5 高强度不锈钢钢丝绳和高强度镀锌钢丝绳的强度设计值应按表 P.2.5 采用。

表 P.2.5 高强钢丝绳抗拉强度设计值 (MPa)

| 种 类     | 符 号      | 高强不锈钢丝绳             |                         |                         | 高强镀锌钢丝绳             |                         |                         |
|---------|----------|---------------------|-------------------------|-------------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|
|         |          | 钢丝绳<br>公称直径<br>(mm) | 抗拉强度<br>标准值<br>$f_{tk}$ | 抗拉强度<br>设计值<br>$f_{rw}$ | 钢丝绳<br>公称直径<br>(mm) | 抗拉强度<br>标准值<br>$f_{tk}$ | 抗拉强度<br>设计值<br>$f_{rw}$ |
| 6×7+IWS | $\phi^r$ | 2.4~4.0             | 1800                    | 1100                    | 2.5~4.5             | 1650                    | 1050                    |
|         |          |                     | 1700                    | 1050                    |                     | 1560                    | 1000                    |
| 1×19    | $\phi^s$ | 2.5                 | 1560                    | 1050                    | 2.5                 | 1560                    | 1100                    |

P.2.6 高强度不锈钢丝绳和高强度镀锌钢丝绳的弹性模量设计值及拉应变设计值应按表 P.2.6 采用。

表 P.2.6 高强钢丝绳弹性模量及拉应变设计值

| 类 别   | 弹性模量设计值 $E_{rw}$              | 拉应变设计值 $\epsilon_{rw}$ |
|-------|-------------------------------|------------------------|
| 不锈钢丝绳 | $1.05 \times 10^5 \text{MPa}$ | 0.01                   |
| 镀锌钢丝绳 | $1.30 \times 10^5 \text{MPa}$ | 0.008                  |

P.2.7 混凝土结构加固用的钢丝绳不得涂有油脂。

P.2.8 采用钢丝绳网片-聚合物砂浆外加层加固钢筋混凝土结构时,其聚合物砂浆品种的选用应符合下列规定:

- 1 对重要构件的加固,应选用改性环氧类聚合物砂浆;
- 2 对一般构件的加固,可选用改性环氧类聚合物砂浆或改性丙烯酸酯共聚物乳液配制的聚合物砂浆;
- 3 乙烯-醋酸乙烯共聚物配制的聚合物砂浆,仅允许用于非承重结构构件;
- 4 苯丙乳液配制的聚合物砂浆不得用于结构加固;
- 5 在结构加固工程中不得使用主成分及主要添加剂成分不明的任何型号聚合物砂浆;不得使用未提供安全数据清单的任何品种聚合物;也不得使用在产品说明书规定的贮存期内已发生分相现象的乳液。

P.2.9 承重结构用的聚合物砂浆分为 I 级和 II 级,应分别按下列规定采用:

- 1 板和墙的加固:
  - 1) 当原构件混凝土强度等级为 C30~C50 时,应采用 I 级聚合物砂浆;

2) 当原构件混凝土强度等级为 C25 及其以下时, 可采用 I 级或 II 级聚合物砂浆。

2 梁和柱的加固, 均采用 I 级聚合物砂浆。

P.2.10 I 级和 II 级聚合物砂浆的基本性能应分别符合表 P.2.10 的规定。

表 P.2.10 承重结构加固用聚合物砂浆基本性能指标

| 检验项目<br>砂浆等级 | 劈裂抗拉强度<br>(MPa) | 正拉粘结强度<br>(MPa)           | 抗折强度<br>(MPa) | 抗压强度<br>(MPa) | 钢套筒粘接<br>抗剪强度<br>标准值<br>(MPa) |
|--------------|-----------------|---------------------------|---------------|---------------|-------------------------------|
| I 级          | $\geq 7.0$      | $\geq f_{tk}$ , 且为混凝土内聚破坏 | $\geq 12$     | $\geq 55$     | $\geq 12$                     |
| II 级         | $\geq 5.5$      |                           | $\geq 10$     | $\geq 45$     | $\geq 9$                      |
| 试验方法标准       | 本规范附录 G         | 本规范附录 F                   | 本规范附录 H       | JGJ 70        | 本规范附录 J                       |

注: 1 表中  $f_{tk}$  为被加固结构构件混凝土的抗拉强度标准值。

2 检验应在浇注的试件达到 28d 养护期时立即进行, 若因故需推迟检验日期, 除应征得有关各方同意外, 尚不应超过 3d。

3 表中的性能指标除标有强度标准值外, 均为平均值。

P.2.11 混凝土结构加固用的聚合物砂浆, 其粘接剪切性能必须经湿热老化检验合格。湿热老化检验应在 50℃ 温度和 95% 相对湿度环境条件下, 采用钢套筒粘接剪切试件 (本规范附录 J), 按本规范附录 L 规定的方法进行; 老化试验持续的时间: 重要构件不得少于 90d; 一般构件不得少于 60d。老化结束后, 在常温条件下进行的剪切破坏试验, 其平均强度降低的百分率 (%) 均应符合下列规定:

1 重要构件用的聚合物砂浆不得大于 10%;

2 一般构件用的聚合物砂浆不得大于 15%。

P.2.12 寒冷地区加固混凝土结构使用的聚合物砂浆, 应具有耐冻融性能检验合格的证书。冻融环境温度应为 -25℃~35℃; 循环次数不应少于 50 次; 每次循环应为 8h; 试验结束后, 钢套筒粘接剪切试件在常温条件下测得的平均强度降低百分率均不应大于 10%。

P.2.13 配制聚合物砂浆用的聚合物乳液, 必须进行毒性检验。乳液完全固化后的检验结果应达到实际无毒的卫生等级。

### P.3 受弯构件正截面加固计算

P.3.1 采用高强度钢丝绳网片-聚合物砂浆外加层对受弯构件进行加固时,除应遵守现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 正截面承载力计算的基本假定外,尚应遵守下列规定:

- 1 构件达到受弯承载能力极限状态时,钢丝绳网片的拉应变 $\varepsilon_{rw}$ 可按截面应变保持平面的假设确定;
- 2 钢丝绳网片应力 $\sigma_{rw}$ 可近似取等于拉应变 $\varepsilon_{rw}$ 与弹性模量 $E_{rw}$ 的乘积;
- 3 当考虑二次受力影响时,应按构件加固前的初始受力情况,确定钢丝绳网片的滞后应变;
- 4 在达到受弯承载能力极限状态前,钢丝绳网片与混凝土之间不出现粘结剥离破坏;
- 5 对梁的不同外加层构造,统一采用仅按梁的受拉区底面有外加层的计算简图,但在验算梁的正截面承载力时,应引入修正系数 $\eta_{rl}$ 考虑梁侧面围套内钢丝绳网片对承载力提高的作用。

P.3.2 受弯构件加固后的相对界限受压区高度 $\xi_{b,rw}$ 应按下列规定计算:

- 1 对重要构件,采用加固前控制值的 0.8 倍,即:

$$\xi_{b,rw}=0.8 \xi_b \quad (\text{P.3.2-1})$$

- 2 对一般构件,采用加固前控制值的 0.9 倍,即

$$\xi_{b,rw}=0.9 \xi_b \quad (\text{P.3.2-2})$$

式中  $\xi_b$ ——构件加固前的相对界限受压区高度,按现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定计算。

P.3.3 矩形截面受弯构件采用钢丝绳网片-聚合物砂浆外加层进行加固时,其正截面承载力应按下列公式确定:

$$M \leq \alpha_1 f_{cu} b_x \left( h - \frac{x}{2} \right) + f'_{yo} A'_{so} (h - a') - f_{yo} A_{so} (h - h_o) \quad (\text{P.3.3-1})$$

$$\alpha_1 f_{cu} b_x = f_{yo} A_{so} + \eta_{rl} \psi_{rw} f_{rw} A_{rw} - f'_{yo} A'_{so} \quad (\text{P.3.3-2})$$

$$\psi_{rw} = \frac{(0.8 \varepsilon_{cu} h / x) - \varepsilon_{cu} - \varepsilon_{rw,o}}{f_{rw} / E_{rw}} \quad (\text{P.3.3-3})$$

$$2a' \leq x \leq \xi_{b,rw} h_0$$

(P.3.3 - 4)

式中  $M$ ——构件加固后的弯矩设计值；

$x$ ——等效矩形应力图形的混凝土受压区高度；

$b$ 、 $h$ ——矩形截面的宽度和高度；

$f_{rw}$ ——钢丝绳网片抗拉强度设计值；

$A_{rw}$ ——钢丝绳网片受拉截面面积；

$a'$ ——纵向受压钢筋合力点至混凝土受压区边缘的距离；

$h_0$ ——构件加固前的截面有效高度；

$\eta_{rl}$ ——考虑梁侧面围套  $h_{rl}$  高度范围内配有与梁底部相同的受拉钢丝绳网片时，该部分网片对承载力提高的系数；对围套式外加层按表 P.3.3 的规定值采用；对单面外加层，取  $\eta_{rl} = 1.0$ ；

$h_{rl}$ ——自梁侧面受拉区边缘算起，配有与梁底部相同的受拉钢丝绳网片的高度；设计时应取  $h_{rl} \leq 0.25h$ 。

$\psi_{rw}$ ——考虑受拉钢丝绳网片的实际拉应变可能达不到设计值而引入的强度利用系数；当  $\psi_{rw} > 1.0$  时，取  $\psi_{rw} = 1.0$ ；

$\varepsilon_{cu}$ ——混凝土极限压应变，取  $\varepsilon_{cu} = 0.0033$ ；

$\varepsilon_{rw,0}$ ——考虑二次受力影响时，钢丝绳网片的滞后应变，按本附录第 P.3.4 条的规定计算。若不考虑二次受力影响，取  $\varepsilon_{rw,0} = 0$ 。

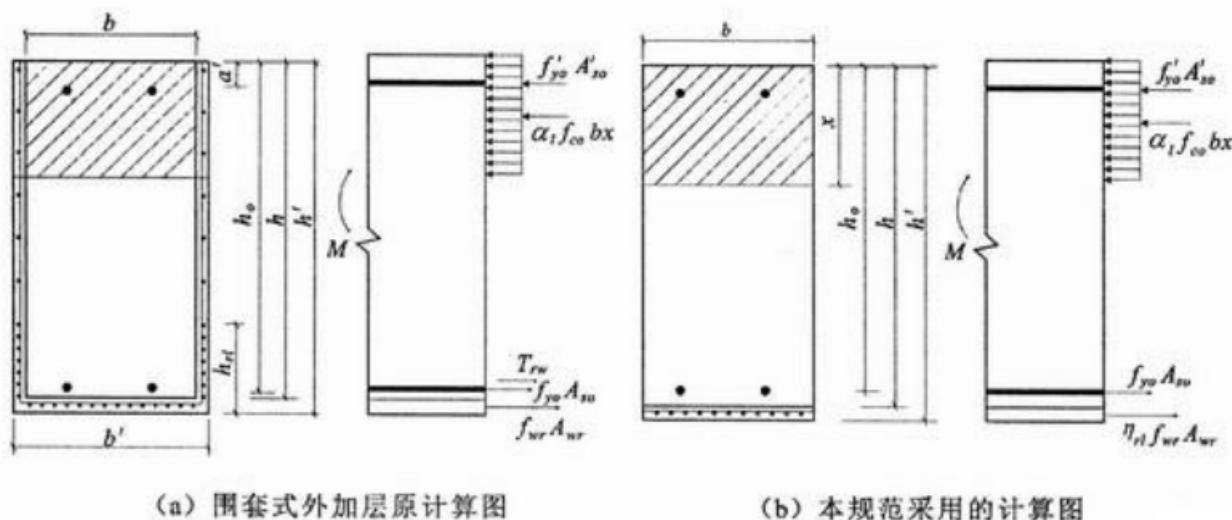


图 P.3.3 受弯构件正截面承载力计算



表 P.3.3 梁侧面  $h_{rl}$  高度范围配置网片的承载力提高系数

| $\begin{matrix} h/b \\ h_{rl}/h \end{matrix}$ | 1.0  | 1.5  | 2.0  | 2.5  | 3.0  | 3.5  | 4.0  | 4.5  |
|-----------------------------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| 0.05                                          | 1.09 | 1.14 | 1.18 | 1.23 | 1.28 | 1.32 | 1.37 | 1.41 |
| 0.10                                          | 1.17 | 1.25 | 1.34 | 1.42 | 1.50 | 1.59 | 1.67 | 1.76 |
| 0.15                                          | 1.23 | 1.34 | 1.46 | 1.57 | 1.69 | 1.80 | 1.92 | 2.03 |
| 0.20                                          | 1.28 | 1.42 | 1.56 | 1.70 | 1.83 | 1.97 | 2.11 | 2.25 |
| 0.25                                          | 1.32 | 1.47 | 1.63 | 1.79 | 1.95 | 2.10 | 2.26 | 2.42 |

P.3.4 当考虑二次受力影响时, 钢丝绳网片的滞后应变  $\varepsilon_{rw,o}$  应按下式计算:

$$\varepsilon_{rw,o} = \frac{\alpha_{rw} M_{ok}}{E_{so} A_{so} h_o} \quad (\text{P.3.4})$$

式中  $M_{ok}$ ——加固前受弯构件验算截面上原作用的弯矩标准值;

$E_{so}$ ——原钢筋的弹性模量;

$\alpha_{rw}$ ——综合考虑受弯构件裂缝截面内力臂变化、钢筋拉应变不均匀以及钢筋排列影响的计算系数, 按表 P.3.4 的规定采用。

表 P.3.4 计算系数  $\alpha_{rw}$  值

| $\rho_{te}$ | $\leq 0.007$ | 0.010 | 0.020 | 0.030 | 0.040 | $\geq 0.060$ |
|-------------|--------------|-------|-------|-------|-------|--------------|
| 单排钢筋        | 0.70         | 0.90  | 1.15  | 1.20  | 1.25  | 1.30         |
| 双排钢筋        | 0.75         | 1.00  | 1.25  | 1.30  | 1.35  | 1.40         |

注: 1 表中  $\rho_{te}$  为混凝土有效受拉截面的纵向受拉钢筋配筋率, 即  $\rho_{te} = A_{so}/A_{te}$ ,  $A_{te}$  为有效受拉混凝土截面面积, 按现行设计规范 GB 50010 的规定计算。

2 当原构件钢筋应力  $\sigma_{so} \leq 150\text{MPa}$ , 且  $\rho_{te} \leq 0.05$  时, 表中  $\alpha_{rw}$  值可乘以调整系数 0.9。

P.3.5 对翼缘位于受压区的 T 形截面受弯构件的受拉面粘结钢丝绳网片-聚合物砂浆外加层进行受弯加固时, 应按本附录第 P.3.1 条至第 P.3.4 条的规定和现行设计规范 GB 50010 中关于 T 形截面受弯承载力的计算方法进行计算。

P.3.6 钢筋混凝土结构构件加固后, 其正截面受弯承载力的提高幅度, 不宜超过 30%, 当有可靠试验依据时, 也不应超过 40%; 并且应验算其受剪承载力, 避免



因受弯承载力提高后而导致构件受剪破坏先于受弯破坏。

P.3.7 采用钢丝绳网片-聚合物砂浆外加层加固的钢筋混凝土矩形截面受弯构件, 其短期刚度  $B_s$  应按下列公式确定:

$$B_s = \frac{E_{so} A_s h_0^2}{1.15\psi + 0.2 + 0.6\alpha_E \rho} \quad (\text{P.3.7 - 1})$$

$$A_s = A_{so} + A'_{rw} = A_{so} + \frac{E_{rw}}{E_{so}} A_{rw} \quad (\text{P.3.7 - 2})$$

$$\psi = 1.1 - \frac{0.65 f_{tk}}{\rho_{te} \sigma_{ss}} \quad (\text{P.3.7 - 3})$$

$$\rho = \frac{A_s}{bh_0} \quad (\text{P.3.7 - 4})$$

$$\rho_{te} = \frac{A_s}{0.5bh} = \frac{A_s}{0.5b(h_1 + \delta)} \quad (\text{P.3.7 - 5})$$

$$\sigma_{ss} = \frac{M_k}{0.87h_0 A_s} \quad (\text{P.3.7 - 6})$$

式中  $E_{so}$ ——原构件纵向受力钢筋的弹性模量;

$A_s$ ——结构加固后的钢筋换算截面面积;

$h_0$ ——加固后截面有效高度;

$\psi$ ——原构件纵向受拉钢筋应变不均匀系数; 当  $\psi < 0.2$  时, 取  $\psi = 0.2$ ;

当  $\psi > 1$  时, 取  $\psi = 1$ ;

$\alpha_E$ ——钢筋弹性模量与混凝土弹性模量比值:  $\alpha_E = E_{so} / E_c$ ;

$\rho_{te}$ ——按有效受拉混凝土截面面积计算, 并按纵向受拉配筋面积  $A_s$  确定的配筋率; 当  $\rho_{te} < 0.01$  时, 取  $\rho_{te} = 0.01$ ;

$A_{so}$ ——原构件纵向受拉钢筋的截面面积;

$A_{rw}$ ——新增纵向受拉钢丝绳网片截面面积;

$A'_{rw}$ ——新增钢丝绳网片换算成钢筋后的截面面积;

$h$ ——加固后截面高度;

$h_1$ ——原截面高度;

$\delta$ ——截面外加层厚度；

$\sigma_{ss}$ ——截面受拉区纵向配筋合力点处的应力；

$M_k$ ——按荷载效应的标准组合计算的弯矩值。

## P. 4 受弯构件斜截面加固计算

P.4.1 采用钢丝绳网片-聚合物砂浆外加层对受弯构件斜截面进行加固时，应在围套中配置以钢丝绳构成的环形箍筋或U形箍筋，如图 P.4.1 所示(梁的三面展开图)。

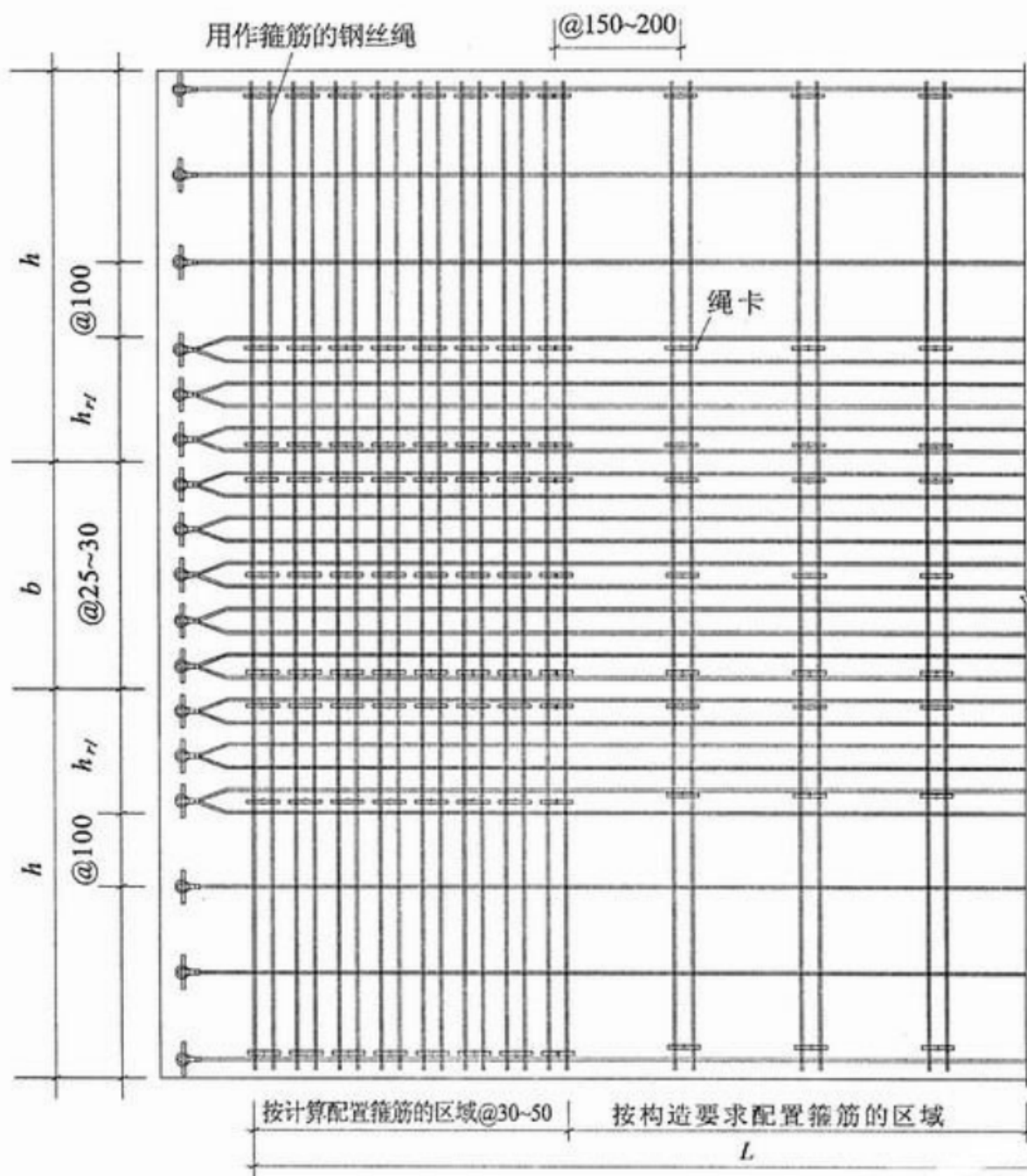


图 P.4.1 采用钢丝绳网片加固的受弯构件三面展开图

P.4.2 受弯构件加固后的斜截面应符合下列条件:

当  $h_w/b \leq 4$  时

$$V \leq 0.25 \beta_c f_{co} b h_o \quad (\text{P.4.2 - 1})$$

当  $h_w/b \geq 6$  时

$$V \leq 0.20 \beta_c f_{co} b h_o \quad (\text{P.4.2 - 2})$$

当  $4 < h_w/b < 6$  时, 按线性内插法确定。

式中  $V$ ——构件斜截面加固后的剪力设计值;

$\beta_c$ ——混凝土强度影响系数, 当原构件混凝土强度等级不超过 C50 时, 取  $\beta_c = 1.0$ ; 当混凝土强度等级为 C80 时, 取  $\beta_c = 0.8$ ; 其间按直线内插法确定;

$f_{co}$ ——原构件混凝土轴心抗压强度设计值;

$b$ ——矩形截面的宽度或 T 形截面的腹板宽度;

$h_o$ ——截面有效高度;

$h_w$ ——截面的腹板高度; 对矩形截面, 取有效高度; 对 T 形截面, 取有效高度减去翼缘高度。

P.4.3 采用钢丝绳网片-聚合物砂浆外加层对钢筋混凝土梁进行抗剪加固时, 其斜截面承载力应按下列公式确定:

$$V \leq V_{bo} + V_{br} \quad (\text{P.4.3 - 1})$$

$$V_{br} \leq \psi_{vb} f_{rw} A_{rw} h_{rw} / S_{rw} \quad (\text{P.4.3 - 2})$$

式中  $V_{bo}$ ——加固前, 梁的斜截面承载力, 按现行设计规范 GB 50010 计算;

$V_{br}$ ——配置钢丝绳网片加固后, 对梁斜截面承载力的提高值;

$\psi_{vb}$ ——计算系数, 与钢丝绳箍筋构造方式及受力条件有关的抗剪强度折减系数, 按表 P.4.3 采用;

$f_{rw}$ ——受剪加固采用的钢丝绳网片强度设计值, 按本规范 P.2.5 规定的强度设计值乘以调整系数 0.50 确定; 当为框架梁或悬挑构件时, 该调整系数取为 0.25;

$A_{rw}$ ——配置在同一截面处构成环形箍或 U 形箍的钢丝绳网片的全部截面面积;

$h_{rw}$ ——梁侧面配置的钢丝绳箍筋的竖向高度; 对矩形截面,  $h_{rw} = h$ ; 对 T 形截面,  $h_{rw} = h_w$ ;  $h_w$  为腹板高度;

$S_{rv}$ ——钢丝绳箍筋的间距。

表 P.4.3 抗剪强度折减系数  $\psi_{vb}$  值

| 钢丝绳箍筋构造  |                           | 环形箍  | U 形箍 |
|----------|---------------------------|------|------|
| 受力<br>条件 | 均布荷载或剪跨比 $\lambda \geq 3$ | 1.0  | 0.85 |
|          | $\lambda \leq 1.5$        | 0.65 | 0.55 |

注：当  $\lambda$  为中间值时，按线性内插法确定  $\psi_{vb}$  值。

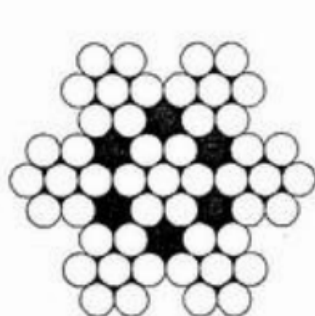
## P. 5 构造规定

P.5.1 钢丝绳网片的设计与制作应符合下列规定：

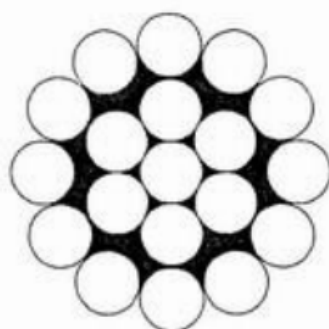
1 网片应采用小直径不松散的高强度钢丝绳制作；绳的直径宜在 2.5~4.5mm 范围内；当采用航空用高强度钢丝绳时，也可使用规格为 2.4mm 的高强度钢丝绳。

2 绳的结构型式（图 P.5.1）应为 6×7+IWS 金属股芯右交互捻钢丝绳或 1×19 单股左捻钢丝绳（钢绞线）。

3 网片的主筋（即纵向受力钢丝绳）与横向筋（即横向钢丝绳，也称箍筋）的交点处，应采用同品种钢材制作的绳扣束紧；主筋的端部应采用带套环的绳扣（如压管套环等）通过加压进行锚固；套环及其绳扣或压管的构造与尺寸应经设计计算确定。



(a) 6×7+IWS 钢丝绳



(b) 1×19 钢绞线

图 P.5.1 钢丝绳的结构型式

4 网片中受拉主筋的间距应经计算确定，但不应小于 20mm，也不应大于

40mm。

5 网片中横向筋的间距，当用作梁、柱承受剪力的箍筋时，应经计算确定，但不应大于 50mm；当用作构造箍筋时，梁、柱不应大于 150mm；板和墙，可按实际情况取为 150~200mm。

6 网片应在工厂使用专门的机械和工艺制作。板和墙加固用的网片，宜按标准规格成批生产；梁和柱加固用的围套或网片，宜按设计图纸专门生产。

P.5.2 采用钢丝绳网片-聚合物砂浆外加层加固钢筋混凝土构件前，应先清理、修补原构件，并按聚合物砂浆产品使用说明书的规定进行界面处理；当原构件钢筋有锈蚀现象时，应对外露的钢筋进行除锈及阻锈处理；若原构件钢筋经检测认为已处于“有锈蚀可能”的状态，但混凝土保护层尚未开裂时，宜采用喷涂型阻锈剂进行处理。

P.5.3 钢丝绳网片与基材混凝土的固定，应在网片就位并张拉绷紧的情况下进行。一般情况下，应采用尼龙锚栓或胶粘螺杆植入混凝土中作为支点，以开口销（绳端用套环）作为绳卡连结网片。锚栓的长度不应小于 55mm；其直径  $d$  不应小于 4.0mm；净埋深不应小于 40mm；间距不应大于 150mm。

构件端部固定套环用的锚栓，其净埋深不应小于 60mm。

P.5.4 当钢丝绳网片的主筋需要搭接时，其搭接长度不应小于 600mm，且不应位于最大弯矩区。

P.5.5 聚合物砂浆外加层的厚度，不应小于 25mm，也不宜大于 35mm。当采用镀锌钢丝绳时，其保护层厚度不应小于 15mm。

P.5.6 聚合物砂浆外加层的表面应喷涂一层与该品种砂浆相适配的防护材料，提高外加层耐环境因素作用的能力。

## 附录 Q 绕丝加固法

### Q.1 设计规定

Q.1.1 本方法适用于提高钢筋混凝土柱的位移延性的加固。

Q.1.2 采用绕丝法时,原构件按现场检测结果推定的混凝土强度等级不应低于 C10 级,但也不得高于 C50 级。

Q.1.3 采用绕丝法时,若柱的截面为方形,其长边尺寸  $h$  与短边尺寸  $b$  之比,应不大于 1.5。

Q.1.4 当绕丝的构造符合本规范的规定时,采用绕丝法加固的构件可按整体截面进行计算。

### Q.2 柱的抗震加固计算

Q.2.1 采用环向绕丝法提高柱的位移延性时,其柱端箍筋加密区的总折算体积配箍率  $\rho_v$  应按下列公式计算:

$$\rho_v = \rho_{v,e} + \rho_{v,s} \quad (\text{Q.2.1-1})$$

$$\rho_{v,s} = \psi_{v,s} \frac{A_{ss} l_{ss}}{s_s A_{cor}} \cdot \frac{f_{ys}}{f_{yv}} \quad (\text{Q.2.1-2})$$

式中  $\rho_{v,e}$ ——被加固柱原有的体积配箍率,当需重新复核时,应按原箍筋范围内核心面积计算;

$\rho_{v,s}$ ——以绕丝构成的环向围束作为附加箍筋计算得到的箍筋体积配箍率的增量;

$A_{ss}$ ——单根钢丝截面面积;

$f_{yv}$ ——原箍筋抗拉强度设计值;

$f_{ys}$ ——绕丝抗拉强度设计值,取  $f_{ys}=300\text{MPa}$ ;

$l_{ss}$ ——绕丝的周长;

$s_s$ ——绕丝间距;

$\psi_{v,s}$ ——环向围束的有效约束系数,对圆形截面,  $\psi_{v,s}=0.75$ ,对正方形截面,  $\psi_{v,s}=0.55$ ,对矩形截面,  $\psi_{v,s}=0.35$ 。

### Q.3 构造规定

Q.3.1 绕丝加固法的基本构造方式如图 Q.3.1 所示。绕丝用的钢丝，应为  $\Phi 4$  冷拔钢丝，但应经退火处理后方可使用。

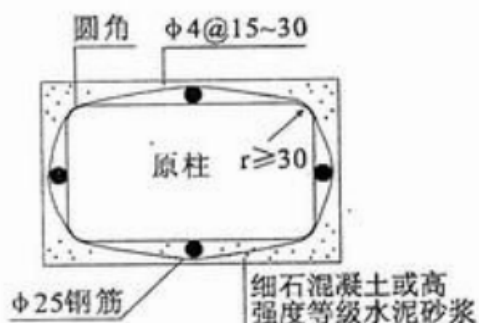


图 Q.3.1 绕丝构造示意图

Q.3.2 原构件截面的四角保护层应凿除，并应打磨成圆角（图 Q.3.1），圆角的半径  $r$  应不小于 30mm。

Q.3.3 绕丝加固用的细石混凝土应优先采用喷射混凝土；但也可采用现浇混凝土；混凝土的强度等级不应低于 C30 级。

Q.3.4 绕丝的间距，对重要构件，应不大于 15mm；对一般构件，应不大于 30mm。

绕丝的间距应分布均匀，绕丝的两端应与原构件主筋焊牢。

Q.3.5 绕丝的局部绷不紧时，应加钢楔绷紧。



## 附录 R 已有混凝土结构钢筋阻锈方法

### R.1 设计规定

R.1.1 本方法适用于以喷涂型阻锈剂对已有混凝土结构、构件中的钢筋进行防锈与锈蚀损坏的修复。

R.1.2 在下列情况下，应进行阻锈处理：

1 结构安全性鉴定发现下列问题之一时：

1) 承重构件混凝土的密实性差，且已导致其强度等级低于设计要求的等级两档以上；

2) 混凝土保护层厚度平均值不足现行设计规范 GB50010 规定值的 75%；或两次抽检结果，其合格点率均达不到现行国家标准《混凝土结构工程施工质量验收规范》GB 50204 的规定；

3) 锈蚀探测表明：内部钢筋已处于“有腐蚀可能”状态；

4) 重要结构的使用环境或使用条件与原设计相比，已显著改变，其结构可靠性鉴定表明这种改变有损于混凝土构件的耐久性。

2 未作钢筋防锈处理的露天重要结构、地下结构、文物建筑、使用除冰盐的工程以及临海的重要工程结构；

3 委托方要求对已有结构、构件的内部钢筋进行加强防护时。

R.1.3 采用阻锈剂时，应选用对氯离子、氧气、水以及其他有害介质滤除能力强、不影响混凝土强度和握裹力，并不致在修复界面形成附加阳极的阻锈剂。

### R.2 喷涂型钢筋阻锈剂使用规定

R.2.1 喷涂型钢筋阻锈剂的使用，应符合下列要求：

1 喷涂前应仔细清理混凝土的表层，不得粘有浮浆、尘土、油污、水渍、霉菌或残留的装饰层；

2 剔凿、修复局部劣化的混凝土表面，如空鼓、松动、剥落等；

3 喷涂阻锈剂前，混凝土龄期不应少于 28d；局部修补的混凝土，其龄期应不少于 14d；

4 混凝土表面温度应在 5~45℃之间;

5 阻锈剂应连续喷涂,使被涂表面饱和溢流。喷涂的遍数及其时间间隔应按产品说明书和设计要求确定;

6 每一遍喷涂后,均应采取措施防止日晒雨淋;最后一遍喷涂后,应静置 24h 以上,然后用压力水将表面残留物清除干净。

R.2.2 对露天工程或在腐蚀性介质的环境中使用亲水性阻锈剂时,应在构件表面增喷附加涂层进行封护。

R.2.3 若混凝土表面原先刷过涂料或各种防护液,已使混凝土失去可渗性且无法清除时,本附录规定的喷涂阻锈方法无效,应改用其他阻锈技术。

### R.3 阻锈剂使用效果检测与评定

R.3.1 本方法适用于已有混凝土结构喷涂阻锈剂前后,通过量测其内部钢筋锈蚀电流的变化,对该阻锈剂的阻锈效果进行评估。

R.3.2 评估用的检测设备和条件应符合下列规定:

1 应采用专业的钢筋锈蚀电流测定仪及相应的数据采集分析设备,仪器的测试精度应能达到  $0.1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 。

2 电流测定可采用静态化学电流脉冲法(GPM),也可采用线性极化法(LPM)。当为仲裁性检测时,应采用静态化学电流脉冲法。

3 仪器的使用环境要求及测试方法应按厂商提供的仪器使用说明书执行,但厂商必须保证该仪器测试的精度能达到使用说明书规定的指标。

R.3.3 测定钢筋锈蚀电流的取样规则应符合下列规定:

1 梁、柱类构件,以同规格、同型号的构件为一检验批。每批构件的取样数量不少于该批构件总数的 1/5,且不得少于 3 根;每根受检构件不应少于 3 个测值。

2 板、墙类构件,以同规格、同型号的构件为一检验批。至少每  $200\text{m}^2$  (不足者按  $200\text{m}^2$  计) 设置一个测点,每一测点不应少于 3 个测值。

3 露天、地下结构以及临海混凝土结构,取样数量应加倍。

4 测量钢筋中的锈蚀电流时,应同时记录环境的温度和相对湿度。条件允许

时，宜同步测量半电池电位、电阻抗和混凝土中的氯离子含量。

R.3.4 混凝土结构中钢筋锈蚀程度及锈蚀破坏开始产生的时间预测可按表 R.3.4 进行估计。

表 R.3.4 混凝土构件中钢筋锈蚀程度判定及破坏发生时间预测

| 锈蚀电流                               | 锈蚀程度 | 锈蚀破坏开始时间预测 |
|------------------------------------|------|------------|
| $<0.2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$     | 无    | 不致发生锈蚀破坏   |
| $0.2\sim1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ | 轻微锈蚀 | $>10$ 年    |
| $1\sim10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  | 中度锈蚀 | 2~10 年     |
| $>10 \mu\text{A}/\text{cm}^2$      | 严重锈蚀 | $<2$ 年     |

注：对重要结构，当检测结果 $>2 \mu\text{A}/\text{cm}^2$ 时，应加强锈蚀监测。

R.3.5 喷涂阻锈剂效果的评估应符合下列规定：

1 应在喷涂阻锈剂 150d 后，采用同一仪器（至少应采用相同型号的测试仪）对阻锈处理前测试的构件进行原位复测。其锈蚀电流的降低率应按下式计算：

$$\text{锈蚀电流的降低率} = \frac{I_o - I}{I_o} \times 100\% \quad (\text{R.3.5})$$

式中  $I$  为 150d 后的锈蚀电流平均值， $I_o$  为喷涂阻锈剂前的初始锈蚀电流平均值。

2 当检测结果达到下列指标时，可认为该工程的阻锈处理符合本规范要求，可以重新交付使用：

(1) 初始锈蚀电流 $>1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  的构件，其 150d 后锈蚀电流的降低率不小于 80%；

(2) 初始锈蚀电流 $<1 \mu\text{A}/\text{cm}^2$  的构件，其 150d 后锈蚀电流的降低率不小于 50%。

## 本规范用词说明

一、为便于在执行本规范条文时区别对待，对要求严格程度不同的用词说明如下：

1 表示很严格，非这样做不可的用词：

正面词采用“必须”；

反面词采用“严禁”。

2 表示严格，在正常情况下均应这样做的用词：

正面词采用“应”；

反面词采用“不应”或“不得”。

3 表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的用词：

正面词采用“宜”；

反面词采用“不宜”。

表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

二、条文中指定应按其他有关标准、规范执行时，写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。