***CECS***

**T/CECS ×××**- 20**××**

****

**中国工程建设标准化协会标准**

混凝土结构植筋系统应用技术规程

**Technical specification for post-installed rebar system for use**

**in concrete structures**

（征求意见稿）

**××××出版社**

中国工程建设标准化协会标准

**混凝土结构植筋系统应用技术规程**

Technical specification for post-installed rebar system for us

in concrete structures

**T/CECS ×××-20×××**

|  |  |
| --- | --- |
| 主编单位： | 中建研科技股份有限公司 |
| 批准部门： | 中国工程建设标准化协会 |
| 施行日期： | 20××年××月××日 |

××××出版社

**202X**北　　京

前 言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2020年第二批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字[2020]23号）的要求，规程编制组经广泛调查研究，认真总结工程实践经验，参考有关国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制订本规程。

本规程共分为6章和10个附录，主要技术内容包括：总则、术语和符号、材料、设计、构造措施、施工要求与质量验收等。

本规程的某些内容可能直接或间接涉及专利，本规程的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本规程由中国工程建设标准化协会混凝土结构专业委员会归口管理，由中建研科技股份有限公司负责具体内容的解释。执行过程中如有意见或建议，请寄送解释单位（地址：北京市北三环东路30号；邮政编码：100013）。

主编单位：中建研科技股份有限公司

参编单位：

主要起草人：

主要审查人：

**目 次**

[1 总 则 1](#_Toc28564)

[2 术语和符号 2](#_Toc21525)

[2.1 术 语 2](#_Toc24564)

[2.2 符 号 3](#_Toc25571)

[3 材料 8](#_Toc9824)

[3.1 一般要求 8](#_Toc25913)

[3.2 植筋系统的要求 10](#_Toc558)

[4 设计 12](#_Toc6530)

[4.1 一般规定 12](#_Toc22749)

[4.2 基于充分利用钢材强度的植筋锚固长度验算 15](#_Toc23290)

[4.3 搭接植筋长度计算 23](#_Toc25482)

[4.4 拉结植筋锚固承载力计算 23](#_Toc28367)

[4.5 火灾下的植筋锚固计算 27](#_Toc10511)

[5 构造措施 30](#_Toc17749)

[6 施工要求与质量验收 32](#_Toc12769)

[6.1 一般规定 32](#_Toc209)

[6.2 施工要求 33](#_Toc3123)

[6.3 施工质量验收 40](#_Toc8104)

[附录A 植筋系统试验通用要求 43](#_Toc10731)

[附录B 植筋基准试验方法及评估 50](#_Toc3938)

[附录C 干燥混凝土清孔敏感性试验方法与评估 56](#_Toc29588)

[附录D 潮湿混凝土清孔敏感性试验方法与评估 58](#_Toc30793)

[附录E 垂直向上安装试验方法与评估 60](#_Toc15732)

[附录F 水平方向安装试验方法与评估 62](#_Toc2430)

[附录G常温长期荷载性能试验方法与评估 64](#_Toc27435)

[附录H 最高长期使用温度下长期荷载性能试验方法与评估 67](#_Toc6975)

[附录J 植筋抗震性能试验方法与评估 70](#_Toc13877)

[附录K最高使用温度试验方法与评估 78](#_Toc3023)

[本规程用词说明 80](#_Toc24010)

[引用标准名录 81](#_Toc25848)

Contents

|  |  |
| --- | --- |
| 1 General Provisions……………………………………………………………………… | 1 |
| 2 Terms and Symbols …………………………………………………………………… | 2 |
| 2.1 Terms……………………………………………………………………………… | 2 |
| 2.2 Symbols…………………………………………………………………………… | 3 |
| 3 Materials ……………………………………………………………………………… | 8 |
| 3.1 General Requirements ………………………………………………………… | 8 |
| 3.2 Requirements on Post-installed Rebar System ………………………………… | 10 |
| 4 Design Requirements …………………………………………………………………… | 12 |
| 4.1 General Requirements……………………………………………………………… | 12 |
| 4.2 Anchorage Design Based on Yield Strength of Rebar Fully Utilized …………… | 15 |
| 4.3 Lap Splice Design of PIR in Existing Concrete Members ………………………… | 23 |
| 4.4 Design of Post-Installed Shear Connection for Two Concrete Layers …………… | 23 |
| 4.5 Fire Resistance of Post-Installed Rebar…………………………………………… | 27 |
| 5 Detailing Requirements………………………………………………………………… | 30 |
| 6 Construction and Acceptance …………………………………………………………… | 32 |
| 6.1 General Requirements …………………………………………………………… | 32 |
| 6.2 Construction Requirements ……………………………………………………… | 33 |
| 6.3 Inspection and Acceptance Criteria ……………………………………………… | 40 |
| Appendix A General Requirement on Post-Installed Rebar System Tests ……………… | 43 |
| Appendix B Reference Tests and Assessments for Post-Installed Rebar………………… | 50 |
| Appendix C Robustness in Dry Concrete Test and Assessment………………………… | 56 |
| Appendix D Robustness in Wet Concrete Test and Assessment………………………… | 58 |
| Appendix E Vertical Upwards Installation Direction Test and Assessment……………… | 60 |
| Appendix F Horizontal Installation Direction Test and Assessment……………………… | 62 |
| Appendix G Normal Temperature Sustain Load Test and Assessment ………………… | 64 |
| Appendix H Maximum Long Term Temperature Sustain Load Test and Assessment …… | 67 |
| Appendix J Seismic Performance Test and Assessment ………………………………… | 70 |
| Appendix K High Temperature Test and Assessment …………………………………… | 78 |
| Explanation of Wording in This Code …………………………………………………… | 80 |
| List of Quoted Standards ………………………………………………………………… | 81 |

# 1 总 则

**1.0.1** 为在混凝土结构后锚固植筋系统的应用中做到安全、适用、经济，保证质量，制定本规程。

**1.0.2** 本规程适用于以钢筋混凝土及预应力混凝土为基材的后锚固植筋系统的检验、设计、施工及验收；不适用于以砌体、轻骨料混凝土及特种混凝土为基材的后锚固植筋。

**1.0.3** 混凝土结构植筋系统的检验、设计、施工及验收，除应符合本规程的规定外，尚应符合国家现行有关标准的规定。

*【条文说明】**根据国家标准《既有建筑物鉴定与加固通用规范》GB55021的规定，植筋不得用于素混凝土构件。当锚固基材为素混凝土或低配筋混凝土时，应按锚栓理论进行设计。本规程的植筋，主要应用于受拉锚固植筋、搭接植筋、新旧混凝土构件界面的拉结植筋及受压锚固植筋。*

# 2 术语和符号

## 2.1 术 语

**2.1.1** 植筋 post-installed rebar

以专用胶粘剂将带肋钢筋或全螺纹螺杆种植于混凝土基材中的一种后锚固连接方法。

**2.1.2** 植筋系统 post-installed rebar system

采用植筋方法将新增构件与既有混凝土基材形成整体共同受力的体系。

**2.1.3** 混凝土基材 concrete base structure

用于承载植筋锚固的母体结构或非结构混凝土构件，可以是钢筋混凝土构件也可以是预应力混凝土构件等。

**2.1.4** 锚固用胶粘剂 adhesive material for anchorage

植筋系统的组成部分，用于将钢筋应力传递至混凝土的胶粘材料。

**2.1.5** 锚固长度 anchorage length

受力钢筋依靠其表面与胶粘剂的粘结作用和胶粘剂与混凝土的粘结作用而将设计荷载传递至混凝土基材的有效粘结长度。

**2.1.6** 锚固用植筋 post-installed rebar for embedment

通过植筋实现钢筋有效锚固的内力传递形式，包含受拉锚固植筋和受压锚固植筋。

**2.1.7** 搭接用植筋 post-installed rebar used for lap splice

与既有混凝土内既有钢筋平行安装的植筋，通过搭接长度上的钢筋与混凝土的粘结锚固作用，实现植筋与既有钢筋之间的拉力传递。

**2.1.8** 拉结用植筋 post-installed tie bar

通过植筋实现新旧混凝土有效连接的内力传递形式，植筋主要用于抵抗新旧混凝土界面的受力及变形，保证共同工作。

**2.1.9** 短期使用温度 short term temperature

植筋系统的混凝土构件在正常使用条件下短时间内允许发生的温度变化范围，通常指昼夜或冻融循环内温度变化范围。

**2.1.11** 长期使用温度 long term temperature

保证植筋系统能够正常使用的数周或数月期间内的大部分时间所保持的基本稳定的温度范围。

**2.1.12** 可操作时间 operation time

锚固胶粘剂允许进行植筋安装操作（从搅拌完成到注胶并植入钢筋就位）的最长时间。

**2.1.13** 固化时间 curing time

从胶粘剂注入混凝土钻孔到植筋可以完全承受最大设计荷载的最短时间。

**2.1.14** 混凝土保护层厚度 concrete cover thickness

结构构件中钢筋外边缘至构件表面范围用于保护钢筋的混凝土厚度，简称保护层厚度。

**2.1.15** 植筋边距 edge distance of post-installed rebar

结构构件中钢筋中心点至构件表面的距离，通常为保护层厚度与钢筋半径之和。

## 2.2 符 号

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| a | — | 植筋净距； |
|  | — | 单根锚栓或群锚受拉时，混凝土实际锥体破坏投影面面积； |
|  | — | 单根锚栓受拉且无间距、边距影响时，混凝土理想锥体破坏投影面面积； |
|  | — | 单根钢筋的截面面积； |
| *A*s,old | — | 原截面受拉钢筋截面面积； |
| *A*s,new | — | 新增截面受拉钢筋截面面积； |
| *A*t,new | — | 新增截面受拉区混凝土面积； |
| *A*t,old | — | 原截面混凝土受拉区截面面积； |
| *b*j | — | 构件截面的计算宽度； |
| *c* | — | 植筋表面至构件表面的最小距离，即植筋共有的保护层厚度； |
| *c*2 | — | 角部植筋在相临边的保护层厚度； |
| *c*d | — | 等效保护层厚度； |
| *c*r | — | 界面混凝土粗糙度影响系数； |
| *d* | — | 钢筋公称直径； |
| *d*0 | — | 钻头直径； |
| *d*m | — | 中等钻头直径； |
| *D* | — | 钻孔直径； |
|  | — | 第i段植筋长度在温度（q）条件下的粘结强度设计值； |
| *f*bd,PIR | — | 植筋用胶粘剂的粘结强度设计值； |
| *f*bd,PIR,A | — | 有认证报告时植筋用胶粘剂的粘结强度设计值； |
|  | — | 混凝土立方体抗压强度标准值； |
|  | — | 植筋用钢筋的抗拉强度设计值，一般情况下； |
|  | — | 植筋用钢筋的抗拉强度设计值； |
|  | — | 植筋用钢筋的屈服强度标准值； |
| *f*yk,fi (q) | — | 钢材在指定火灾温度下的屈服强度； |
|  | — | 混凝土基材的最小厚度； |
|  | — | 考虑不同因素对植筋系统粘结强度的折减（影响）系数； |
| *k*b,seis | — | 仅考虑地震作用时植筋系统粘结强度的折减系数； |
|  | — | 考虑火灾高温（）影响的植筋粘结强度折减系数； |
| *k*s,fi (q) | — | 热轧带肋钢筋高温（）环境下的强度折减系数； |
|  | — | 植筋的最小基本锚固长度； |
|  | — | 植筋锚固长度设计值； |
|  | — | 第i段植筋长度； |
|  | — | 锚固钢筋的搭接长度； |
|  | — | 植筋的最小锚固长度； |
|  | — | 植筋的基本锚固长度； |
| min*b*cv | — | 所考虑因素对应的各单项试验结果变异系数对应的折减系数的最小值； |
| min*a* | — | 所考虑因素对应的各单项试验承载力折减系数的最小值； |
|  | — | 单根拉结植筋发生混凝土锥体破坏的承载力设计值； |
|  | — | 在温度（q）条件下锚固胶粘剂的粘结承载力设计值； |
|  | — | 拉结植筋发生粘结破坏的承载力设计值； |
| *N*Rd,s,fi(q) | — | 在温度（q）条件下钢材强度的设计值； |
|  | — | 拉结植筋发生钢材破坏的承载力设计值； |
|  | — | 在温度（q）条件下锚固胶粘剂的粘结承载力标准值； |
|  | — | 植筋系统的混凝土锥体破坏承载力标准值； |
| *N*Rk,s,fi(q) | — | 在温度（q）条件下钢材强度的标准值； |
|  | — | 单根植筋理想混凝土锥体破坏标准值； |
|  | — | 植筋钢材受拉承载力设计值； |
| *R*d,fi | — | 火灾条件下植筋的承载力设计值； |
| *s* | — | 钢筋间距，即相邻钢筋中心点间的距离； |
| *Sd,fi* | — | 火灾条件下的荷载设计值； |
|  | — | 火灾条件下的荷载特征值； |
| *V*Ed,*i* | — | 截面受到的总剪力设计值； |
| *z* | — | 节点外弯矩*M*产生的拉力合力作用点与压力合力作用点之间的距离； |
| *Z*new | — | 新增截面受拉区到混凝土受压区合力点的距离； |
| *Z*old | — | 原截面混凝土受拉区到混凝土受压区合力点的距离； |
|  | — | 考虑混凝土保护层厚度和间距对植筋系统锚固长度的修正系数； |
|  | — | 锚固胶粘剂性能对植筋最小锚固长度的放大系数； |
| *a*seis | — | 抗震性能试验中承载力折减系数的最小值。 |
|  | — | 考虑混凝土劈裂影响的计算系数； |
|  | — | 拉结钢筋的破坏应力设计值； |
|  | — | 混凝土基材内位于植筋锚固长度范围内的横向钢筋对植筋系统锚固长度的修正系数； |
|  | — | 植筋延性影响系数； |
| *b* | — | 受拉或受压区新混凝土上受到的拉力或压力与全截面混凝土受拉或受压区受到的总拉力或压力的比值； |
| *b*cv,seis | — | 抗震性能试验中变异系数对应的折减系数的最小值； |
| *t*Ed | — | 由外荷载产生新旧混凝土层间剪应力设计值； |
| *t*Rd | — | 带有拉结抗剪功能的植筋在新旧混凝土界面的抗剪强度设计值； |
| *t*Rd | — | 拉结钢筋销栓作用的抗剪强度设计值；带有拉结抗剪功能的植筋在新旧混凝土界面的抗剪强度设计值； |
|  | — | 剪切摩擦提供的抗剪强度设计值； |
|  | — | 新、旧混凝土骨料咬合作用产生的粘结抗剪强度设计值； |
|  | — | 植筋系统中最不利植筋的抗拉胶粘劈裂强度； |
|  | — | 常温下的材料分项系数； |
|  | — | 火灾条件下的荷载分项系数； |
| gMs,fi | — | 火灾下钢材的分项系数； |
| （q） | — | 混凝土构件内植筋所处位置的最高温度； |
|  | — | 纵向受拉钢筋搭接长度修正系数； |
| *y*ae | — | 考虑植筋位移延性要求的修正系数； |
|  | — | 考虑结构构件受力状态对承载力影响的系数： |
| *y*ec,N | — | 荷载偏 *e*对受拉承载力的影响系数； |
| *y*M,N | — | 考虑弯矩作用对结构构件截面产生压力区约束作用对受拉承载力的影响系数； |
| *y*N | — | 考虑各种因素对植筋受拉承载力影响而需加大锚固长度的修正系数； |
| *y*re,N | — | 表层混凝土因密集配筋的剥离作用对受拉承载力的影响系数；考虑各种因素对植筋受拉承载力影响而需加大锚固长度的修正系数； |
| *y*re,N | — | 表层混凝土因密集配筋的剥离作用对受拉承载力的影响系数； |
| *y*s,N | — | 边距*c*对受拉承载力的影响系数； |
|  | — | 使用环境的温度影响系数； |
|  | — | 考虑新增结构构件受力状态对植筋承载力影响的系数：使用环境的温度影响系数； |
|  | — | 混凝土孔壁潮湿影响系数；考虑新增结构构件受力状态对植筋承载力影响的系数： |
| S*A*s | — | 植筋系统中受拉钢筋总截面面积；混凝土孔壁潮湿影响系数； |
| S*A*st | — | 整个植筋锚固区域内横向约束钢筋（箍筋）截面面积之和；植筋系统中受拉钢筋总截面面积； |
| S*A*st | — | 整个植筋锚固区域内横向钢筋（箍筋）截面面积之和； |
| *l* | — | 考虑植筋锚固长度范围内的横向钢筋总截面面积与单根植筋截面积比的计算系数； |
| *zl* | — | 纵向受拉钢筋搭接长度修正系数； |
| *r* | — | 拉结钢筋的配筋率； |
| *r*t | — | 同一连接区段内纵向受力钢筋搭接接头面积百分率。 |

# 3 材料

## 3.1 一般要求

**3.1.1** 植筋锚固基材应为钢筋混凝土或预应力混凝土构件，受力钢筋的配筋率不宜低于现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010 中规定的最小配筋率。作为植筋系统锚固基材的混凝土力学性能应符合现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB50010的规定。

*【条文说明】****3.1.1*** *根据国家标准《既有建筑物鉴定与加固通用规范》GB55021的规定，植筋不得用于素混凝土构件。当锚固基材为素混凝土或低配筋混凝土时，应按锚栓理论进行设计，这时建议考虑基材为开裂混凝土，除非可以充分证明和保证基材混凝土不发生开裂。受拉锚固植筋和搭接植筋是按照钢筋受拉屈服原则设计，只有当原构件混凝土具有正常的配筋率和足够箍筋时，植筋连接才是有效而可靠的；拉结用植筋主要用于抵抗新旧混凝土界面的受力及变形，保证共同工作，基材及新混凝土不易采用素混凝土。*

**3.1.2** 新增构件为悬挑结构构件时，其用于锚固植筋系统的基材混凝土强度等级不得低于C25，当新增构件为其它结构构件时，用于植筋系统的基材混凝土强度等级不得低于C20。

*【条文说明】****3.1.2*** *与现行全文强制性标准《既有建筑物鉴定与加固通用规范》GB55021-2021一致。原构件植筋部位的混凝土强度等级直接影响植筋的粘结强度和承载力。为此，必须对原构件的混凝土强度等级提出要求。*

*基于目前的经验，对C20及以上混凝土上的植筋系统可以得到其粘结强度。但实际工程中很多时候混凝土强度等级不足C20。如果一定要在这种低强度混凝土构件上进行植筋，应先采用必要措施提高原构件的抗劈裂能力。同时，不应仅仅基于设计的混凝土强度进行折减，更需要原状混凝土的现场植筋拉拔测试和评估。由工程师判断植筋粘结强度可靠性并在工程竣工后严格进行承载力检测，保证植筋工程的安全性。*

**3.1.3** 冻融受损混凝土、腐蚀受损混凝土、严重裂损混凝土、不密实混凝土、带有空腔的混凝土，不应作为植筋系统的锚固基材。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。

*【条文说明】****3.1.3*** *承重构件植筋部位的混凝土应坚实、无局部缺陷，且宜配有适量钢筋和箍筋，才能使植筋正常受力。因此，不允许有局部缺陷存在于锚固部位；即使处于锚固部位以外，也应先加固后植筋，以保证安全和质量。*

**3.1.4** 用于植筋的锚固用结构胶粘剂应符合现行国家标准《混凝土结构工程用锚固胶》GB/T 37127的有关规定。植筋宜采用按混合比例封装的带有自动混和的注射筒包装，自动混合器应能保证胶粘剂混合均匀。

*【条文说明】****3.1.4*** *过去植筋工程中很多时候会采用桶装A、B组分胶粘剂，现场根据说明进行比例调配和搅拌混合。这种方式的胶粘剂很难有效保证调配比例的准确性和混合充分及混合时间，也难免会在搅拌过程中混入杂质影响植筋胶质量；另外，也为调配后的植筋胶的灌注带来不便，很多时候施工人员仅通过钢筋蘸取胶液插入钻孔即完成植筋作业，根本无法保证植筋施工质量，为植筋工程带来安全隐患。故桶装（散装）A、B组分胶粘剂不宜作为植筋胶使用。*

*近年来随着制造业的发展，锚固用植筋胶大部分已经采用注胶筒式的独立包装A、B组份产品。现场通过专用自动混合器和注胶枪即可实现胶粘剂的按比例混合和注胶。这种产品可以较好的保证植筋过程中的注胶质量和植筋的安装质量。*

**3.1.5** 植入混凝土内的钢筋应使用热轧带肋钢筋或全螺纹螺杆，不得使用光圆钢筋或无螺纹的螺杆，钢筋直径不宜超过25mm。钢筋和螺杆尚应符合如下规定：

1 宜选用HRB400级钢筋，钢筋质量应符合现行国家标准《钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋》GB 1499.2的规定；

2 植筋用钢螺杆的钢材等级宜为Q345级；其质量应符合现行国家标准《低合金高强度结构钢》GB/T 1591的规定。

*【条文说明】****3.1.5*** *试验表明光圆钢筋或无螺纹螺杆即便通过胶粘剂可以锚固在混凝土内部，也无法提供有效的锚固承载力，故不应作为植筋使用。根据目前植筋工程调研结果的分析，较大直径钢筋用于植筋时较难保证施工质量，目前国内关于大直径植筋的承载力研究也比较少。故本规范的植筋直径建议不宜超过25mm。*

## 3.2 植筋系统的要求

**3.2.1** 植筋系统应根据安装和使用条件考虑钻孔方式、钻孔方向、混凝土基材潮湿程度、长期使用温度、长期拉力荷载作用、地震作用、火灾等因素的影响。

*【条文说明】* ***3.2.1****植筋系统中由于植筋胶的存在，其承载力性能会严重受到钻孔方式等外在因素的影响。传统的植筋钻孔工具为锤击钻配常规钻头，近年来随着钻孔工具的发展和工程实际需求，真空吸尘钻头和水钻钻孔也开始在植筋钻孔中采用。但这两种钻孔方式会导致孔壁粗糙度下降，这会直接影响到植筋的锚固强度。因此，当需要采用非传统的锤击钻孔和常规钻头时，植筋设计时的粘结强度的应充分考虑可能带来的不利影响。另外，根据现有的研究表明，对于不同种类的植筋胶粘剂的粘结强度会对钻孔时的钻孔（安装）方向、孔洞干燥程度、使用阶段的高温环境、以及长期持续荷载的敏感度不同。这就导致很难用单一的设计安全系数来考虑这些因素的影响。因此，本规程特别提出应在设计时考虑这些因素，并给出了这些影响因素的测试和评估方法。*

*长期使用温度是指植筋系统的混凝土基材的恒定或接近恒定的温度，例如在保持恒温的房间或热源旁边的温度。通常，可以假定长期使用温度的范围接近于短期使用温度范围的0.6倍。如短期使用温度上限是40°C，则长期使用温度上限是24°C。*

**3.2.2** 植筋系统应满足基本的粘结强度和性能要求，试验方法和评估要求应符合本规程附录A和附录B的规定。

**3.2.3** 当植筋系统采用不同钻孔方式和在潮湿环境下进行植筋安装作业时，植筋系统应满足对应钻孔方式和潮湿混凝土敏感性试验的要求，试验方法和评估要求应符合本规程附录C和附录D的规定。

*【条文说明】****3.2.3*** *植筋钻孔方式包括采用传统电锤钻头的锤击钻孔、采用水钻钻头的钻石钻孔和采用真空吸尘钻头钻孔等方式。因为每种钻孔方式采用的钻头不同，钻孔孔壁的粗糙度甚至潮湿度也不同，植筋胶的锚固粘接强度也会不同。因此，需要对植筋胶粘剂进行与钻孔方式匹配的系统粘结性能测试，保证植筋系统的粘结强度与钻孔工艺匹配。*

**3.2.4** 当植筋系统采用不同钻孔方向钻孔、安装时，应满足对应钻孔方向的系统粘接性能要求，试验方法和评估要求应符合本规程附录E和附录F的规定。

*【条文说明】****3.2.4*** *钻孔方向不仅会影响清孔质量，也会影响注胶质量和植筋后的胶粘效果。本规程第6章有关于不同钻孔方向施工的明确要求以保证施工质量。但在植筋系统的性能仍会受到钻孔方向的影响。*

**3.2.5** 当植筋系统需要承受长期拉力作用时，植筋用锚固胶粘剂应满足耐长期应力作用能力的要求，植筋系统也应满足长期荷载性能要求，试验方法和评估要求应符合本规程附录G的规定。

*【条文说明】****3.2.5*** *基于植筋系统50年使用寿命的考虑，对于承受长期持续荷载的植筋系统应满足长期应力性能要求。*

**3.2.6** 植筋系统最高短期使用温度不宜高于60°C且最高长期使用温度不宜高于36°C；当植筋系统最高短期使用温度高于60°C或最高长期使用温度高于36°C时，植筋系统应满足相应最高使用温度下的性能要求，试验方法和评估要求应符合本规程附录K的规定。

*【条文说明】****3.2.6*** *通常情况下最高短期温度60°C对应最高长期使用温度36°C。对于某些生产商生产的植筋胶或基于某些项目的实际工程需要，植筋系统使用环境的长期使用温度和粘结强度高于基本要求时，应按照实际温度和强度要求进行环境温度试验。*

**3.2.7** 当植筋系统有抗震需求时，应满足抗震性能试验要求，试验方法和评估要求应符合本规程附录J的规定。

**3.2.8** 当植筋系统有防火需求时，应满足火灾性能要求。

# 4 设计

## 4.1 一般规定

**4.1.1** 植筋的设计应符合下列规定：

1 受拉锚固植筋及搭接植筋应按照充分利用钢材强度设计；

2 拉结植筋可按照锚栓理论进行设计；

3受压锚固植筋应满足本规程第5章的最小锚固长度要求。

*【条文说明】****4.1.1*** *受拉锚固植筋及搭接植筋是按照充分发挥钢材强度的钢筋受拉屈服原则设计，只有当原构件混凝土具有正常的配筋率和足够箍筋时，植筋连接才是有效而可靠的，不满足时，应对原混凝土构件进行加固；对于新、旧混凝土构件界面起拉结功能的植筋，应验算新、旧混凝土构件的抗剪承载力，植筋承载力按锚栓理论计算。*

**4.1.2** 植筋锚固的设计工作年限应与被连接结构的设计工作年限一致且不宜小于30年。采用了植筋系统锚固的工程应定期对植筋系统关联的结构构件进行安全性鉴定，检验的时间间隔可由设计单位确定，但第一次检验时间应在植筋工程完工10年之内。

*【条文说明】****4.1.2*** *为使植筋设计更经济合理，故规定植筋系统所采用的设计工作年限，应与新增的被连接结构的设计工作年限一致。*

*根据《建筑物鉴定与加固标准》GB55021，既有建筑物的抗震鉴定，根据后续工作年限分为三类：后续工作年限为30年以内（含30年）的建筑为A类建筑；后续工作年限为30年以上40年以内（含40年）的建筑为B类建筑；后续工作年限为40年以上50年以内（含50年）的为C类建筑。因此，本规程规定后锚固连接的设计使用年限不宜小于30 年。*

*对于植筋，不可避免地存在着胶粘剂的老化问题，只是程度不同而已。为了防范这类隐患，宜加强检查或监测，但检查时间的间隔可由设计单位作出规定，第一次检查时间宜定为投入使用后的6 年～8 年，且至迟不应晚于10 年。*

**4.1.3** 植筋系统可参考本规程第4.5节的要求进行火灾条件下的承载力验算，所连接的基材构件和新构件防火设计应符合国家现行有关标准的规定。

*【条文说明】* ***4.1.3*** *用于混凝土与混凝土连接的植筋系统的防火能力可以根据植筋的保护层厚度和植筋胶粘剂在高温环境下的承载能力进行评估设计，新增构件的保护层厚度应满足相应防火等级的要求，但是仅依靠钢混设计规范规定的保护层厚度未必能保证植筋系统在火灾条件下的安全，故应进行火灾条件下的承载力验算。必要情况下可通过可靠的隔热措施达到国家现行有关标准的规定。*

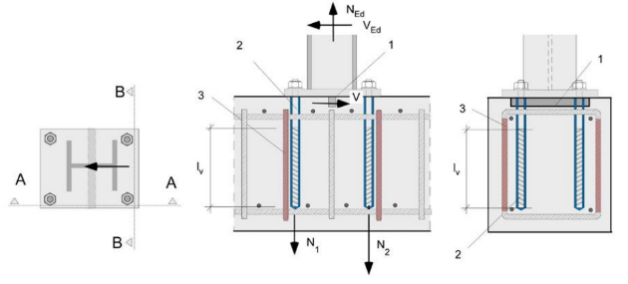
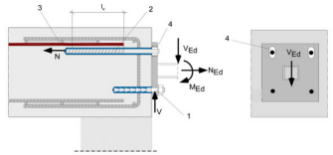
*对于植筋连接构件的耐火极限，可先进行植筋锚固长度范围内混凝土的温度场分析，再根据不同温度条件下锚固胶粘剂的粘结强度计算出植筋的承载力。在进行植筋锚固承载力计算时不宜考虑温度超过150°C的区段内植筋的承载力贡献。*

**4.1.4** 用于连接钢结构的植筋，外露部分的钢筋或螺杆端头应有可靠的防腐措施。防腐蚀标准不应低于被连接构件的防腐蚀要求。

*【条文说明】****4.1.4*** *外露部分的植筋或螺杆端头的防腐措施应与其耐久性要求相适应。*

**4.1.5** 受拉锚固植筋不宜考虑直接承担抗剪，用于混凝土与混凝土连接时，应进行混凝土抗剪承载力验算；用于既有混凝土结构与钢结构连接时，宜由锚栓或剪力键承担被固定构件传递到混凝土上的剪力。当采用植筋进行抗剪设计时，可按现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145中关于化学锚栓的设计方法进行计算。

*【条文说明】****4.1.5*** *植筋用于新、旧混凝土连接时，界面应进行凿毛且在新增构件内配置拉结抗剪钢筋，不宜直接采用植筋抗剪。对于新增钢构件，宜采用剪力键或通过锚板长槽孔配合锚栓的方式避免植筋直接承受剪力。*



*【条文说明】图 植筋用于钢构件连接时界面抗剪措施示意*

**4.1.6** 植筋系统的应用方式宜符合表4.1.6的规定。

表4.1.6植筋系统的应用方式

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 应用方式 | | 图示 | 受力和基材条件\* | 植筋系统的锚固要求 |
| 新增混凝土水平构件 | (a)既有构件的延长–梁、板构件端部的接长 | 、 | V、M；  既有构件内有可搭接预埋纵筋；锚固范围内有横向约束钢筋 | 上部为搭接植筋，且搭接长度应符合受拉包络的规定；  下部为受压锚固植筋。 |
| (b)竖向构件新增水平简支受弯构件 – 柱上增梁、墙上增梁/板 |  | N 、V；  既有构件内无可搭接预埋钢筋；  锚固范围内无横向约束钢筋 | 上部为构造受拉锚固植筋；  下部为受拉锚固植筋。 |
| (c) 竖向构件新增水平刚结受弯构件 – 柱上增梁、墙上增梁/板 |  | N, V, M；  既有构件内无可搭接预埋钢筋；  锚固范围内无横向约束钢筋 | 上部为受拉锚固植筋；  下部为受压锚固植筋。 |
| 新增钢结构水平构件 | (d) 新增钢构件与既有混凝土结构构件的连接 |  | N、V、M；  锚固范围内有横向钢筋 | 上部受拉锚固植筋或搭接植筋；  下部为锚栓抗剪。 |
| 新增混凝土竖向构件 | (e)水平构件上新增竖向受压构件 - 柱/楼板或梁上增加柱/墙 |  | N\* | 均为受压锚固植筋。 |
| (f)水平构件上新增竖向压弯构件 –楼板/梁或基础底板上新增柱或墙 |  | N、V、M；  既有构件内无可搭接预埋钢筋；  锚固范围内无横向约束钢筋 | 受拉锚固植筋。 |
| 新增钢结构竖向构件 | (g)新增柱脚连接板带剪力键的刚接钢结构竖向构件 |  | N、V、M；  既有构件内有可搭接预埋箍筋；  锚固范围内无横向约束钢筋 | 受拉锚固植筋。 |
| (h) 新增钢构件铰接节点与既有混凝土结构构件的连接 |  | N、V；  既有构件内钢筋无要求 | 等同化学锚栓的植筋拉剪复合作用 |
| 增大构件截面 | (i) 增大截面 |  | N、V  既有构件内钢筋无要求 | 新旧混凝土拉结植筋 |

**注：指当轴向压力占主导作用时，即植筋连接节点可以同时受到压力和弯矩作用，但经内力分析后的植筋均承受压力。**

*【条文说明】****4.1.6*** *横向约束钢筋指为提高混凝土抗劈裂破坏能力而专门布置的钢筋。通常，既有混凝土中的箍筋可以认为是横向约束钢筋，而对于既有混凝土基材内与植筋方向垂直的主筋（如以柱为混凝土基材时，柱侧面植筋时柱的纵向钢筋）一般不认为是横向约束钢筋。*

**4.1.7**用于连接同一被连接结构构件的植筋应根据所有植筋中处于最不利位置的单根植筋进行锚固设计。

*【条文说明】****4.1.7*** *当植筋群中的个体植筋存在角部或边缘布置时，应充分考虑混凝土劈裂破坏对植筋承载力的影响。*

**4.1.8** 承重结构植筋的锚固长度应经设计计算确定，不得按短期拉拔试验值或厂商技术手册的推荐值采用。

*【条文说明】****4.1.8*** *植筋间距和边距严重影响单根和多根植筋的承载力。即便厂商技术手册推荐的单根钢筋承载力数据真实甚至经过现场的单根钢筋拉拔测试证明能够达到一定力值，也严禁将其作为设计参数直接用于植筋设计。*

**4.1.9** 作为植筋连接的混凝土基材结构构件完成植筋锚固后形成的节点内力分析和设计应满足现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的有关规定。

*【条文说明】****4.1.9*** *既有构件的设计不属于本规范范畴。后锚固后引起的新荷载（内力）条件应该按照现行相关规范进行验算或设计。*

## 4.2 基于充分利用钢材强度的植筋锚固长度验算

**I 无认证报告时的锚固长度验算**

**4.2.1** 对于受拉锚固植筋，单根植筋锚固的锚固长度设计值和受拉承载力设计值应符合下列规定：

＝*f*y∙*A*s（4.2.1-1）

（4.2.1-2）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中：— | 植筋钢材受拉承载力设计值（N）； |
| — | 植筋用钢筋的抗拉强度设计值（）； |
| — | 钢筋截面面积（mm2）； |
| — | 植筋锚固长度设计值（mm）； |
| — | 植筋的基本锚固长度（mm），按本规程第4.2.2条计算； |
| — | 考虑各种因素对植筋受拉承载力影响而需加大锚固长度的修正系数，按本规程第4.2.4条计算； |
| — | 考虑植筋位移延性要求的修正系数；当混凝土强度等级不高于C30时，对6度区及7度区I、II类场地，应取1.1；对7度区III、IV类场地及8度区，应取1.25；当混凝土强度等级高于C30时，应取1.0。 |

*【条文说明】****4.2.1*** *本规定与现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB 50367和行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145中关于植筋的相关计算公式内容基本一致。即以充分利用钢材强度和延性为条件的，但在确定其基本锚固长度时，以可发生粘结破坏时的承载力不低于钢材屈服时的承载力为条件进行计算。同时考虑了包括施工阶段（如钻孔方向、潮湿环境安装等）与使用阶段（长期应力、高温、地震）植筋可能遇到的外界因素对植筋承载力的影响。*

**4.2.2** 植筋的基本锚固长度应按下式计算：

（4.2.2）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： |  | — | 考虑混凝土劈裂影响的计算系数。当植筋表面至构件表面的最小距离不大于时，按表4.2.2取用；当植筋表面至构件表面的最小距离大于时，应； |
|  |  | — | 植筋公称直径（ mm）； |
|  |  | — | 植筋用胶粘剂的粘结强度设计值（），按本规程表4.2.3取用。 |

**表4.2.2 考虑混凝土劈裂影响的计算系数**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 植筋表面至构件表面的最小距离（） | | 25 | | 30 | | 35 | ≥40 |
| 横向约束钢筋 | 直径（） | 6 | 8或10 | 6 | 8或10 | ≥6 | ≥6 |
| 间距（） | 在植筋锚固长度范围内，不应大于100 | | | | | |
| 植筋直径（） | ≤20 | 1.00 | | 1.00 | | 1.00 | 1.00 |
| 25 | 1.10 | 1.05 | 1.05 | 1.00 | 1.00 | 1.00 |

*【条文说明】****4.2.2*** *实际工程中，除结构构件单元如梁、柱接长等特殊工况外，很难保证植筋的保护层范围内存在箍筋的情况，特别是箍筋间距不大于100mm的要求很难满足，这时应先对混凝土基材进行加固。*

**4.2.3** 构件的混凝土保护层厚度不低于现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010的规定时，植筋用胶粘剂的粘结强度设计值*f*bd,PIR可按表4.2.3规定值取用。当基材混凝土强度等级大于C30，且使用快固型胶粘剂时，表中的*f*bd,PIR值应乘以0.8的折减系数。

**表4.2.3 粘结强度设计值*f*bd,PIR（N/mm2）**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 粘结剂等级 | 构造条件 | 混凝土强度等级 | | | | |
| C20 | C25 | C30 | C40 | ≥60 |
| A级胶 |  | 2.3 | 2.7 | 3.7 | 4.0 | 4.5 |
| A级胶 |  | 2.3 | 2.7 | 4.0 | 4.5 | 5.0 |
|  | 2.3 | 2.7 | 4.5 | 5.0 | 5.5 |

**注：1 表中为植筋间距；为植筋边距；**

**2 表中*f*bd,PIR值仅适用于带肋钢筋的粘结锚固。**

*【条文说明】****4.2.3****目前市场上B级胶和无机胶市场使用经验较少，因此本规程不包括对这两类胶的要求。*

**4.2.4** 考虑各种因素对植筋受拉承载力影响的锚固长度修正系数应按下式计算：

 （4.2.4）

|  |  |
| --- | --- |
| 式中：— | 考虑新增结构构件受力状态对植筋承载力影响的系数：当为悬挑结构构件时，宜取1.5；当为非悬挑的重要构件接长时，宜取1.15；当为其他构件时，宜取1.0； |
| — | 混凝土孔壁潮湿影响系数。对耐潮湿型胶粘剂，应按产品说明书的规定值采用，且不应低于1.1； |
| — | 使用环境的温度影响系数。当最高长期使用温度不大于36℃且最高短期使用温度不大于60°C时，可取1.0；当最高长期使用温度大于36℃或最高短期使用温度大于60°C时，应采用耐高温胶粘剂，应按照本规程附录K的方法评估确定。 |

*【条文说明】****4.2.4****本条参考现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB50367和行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ145的规定。与预埋钢筋与混凝土的共同工作性能保障不同，植筋系统的锚固性能不仅与锚固胶粘剂的力学性能有关，还与施工安装质量和使用阶段的外界调剂有关。比如钻孔清孔、植筋安装方向、潮湿混凝土孔壁、长期持续拉力荷载下的徐变、高温环境、冻融循环环境、高碱性酸性环境、钢筋锈蚀以及抗震带来的基材混凝土裂缝和动态荷载等因素都会影响植筋承载力，必须要经过一系列的验证试验。考虑到植筋胶的相关产品标准，比如GBT37127-2018《结构工程锚固胶粘剂》和GB50728-2011《工程结构加固材料安全性鉴定技术规范》等，已经涵盖了部分植筋用锚固胶粘剂的材料性能测试，比如冻融循环、耐酸碱介质、耐湿热老化等，所以本标准对既有产品标准中已经规定的测试不再要求，仅对植筋的系统性能试验提出要求。*

*现行国标和行业标准中规定用于连接悬挑结构构件的植筋锚固长度应采用1.5的系数，这条规定应指悬挑构件中受拉区的钢筋，主要考虑在长期拉力作用下锚固胶粘剂会在徐变作用下可能发生承载力下降。*

*使用环境的温度目前现行标准并无明确的长期使用环境和短期使用环境的定义。本规程进行了定义并明确了高于正常环境温度条件下的测试要求。*

**4.2.5** 当植筋系统采用真空吸尘钻头或水钻方式安装时，应考虑钻孔方式对植筋系统承载力的影响，其锚固长度的修正系数应按照本规程第4.2.11条确定，若该因素与混凝土潮湿孔壁条件下安装同时发生，应取较大值作为锚固长度修正系数。

**4.2.6** 当植筋系统采用水平方向钻孔或垂直向上钻孔时，应考虑安装方向对植筋系统承载力的影响，其锚固长度的修正系数应按照本规程第4.2.11条确定，若该因素与混凝土潮湿孔壁条件下安装同时发生，应取较大值作为锚固长度修正系数；若与4.2.5条规定的条件同时发生，也应取较大值作为锚固长度修正系数。**4.2.7** 在植筋锚固长度长度范围内横向钢筋间距*s*大于100时，应进行加固，加固要求应符合现行国家标准《混凝土结构加固设计规范》GB50367的相关规定。

**II 有认证报告时的锚固长度计算**

**4.2.8** 受拉锚固植筋，单根植筋锚固的锚固长度设计值和受拉承载力设计值应符合下列规定：

(4.2.8-1)

(4.2.8-2)

(4.2.8-3)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： |  | — | 考虑各种因素对植筋受拉承载力影响而需加大锚固长度的修正系数； |
|  |  | — | 考虑不同因素对植筋系统粘结强度的折减（影响）系数，应符合本规程4.2.11条的规定。 |

**4.2.9** 考虑混凝土保护层厚度（图4.2.9）和横向钢筋影响的植筋的基本锚固长度 *ls* 应按下列公式计算：

(4.2.9-1)

(4.2.9-2)

(4.2.9-3)

=1-0.05*l* (4.2.9-4)

*l*=S*A*st /*A*s - 0.25 (4.2.9-5)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: | *l*b | — | 植筋的锚固长度基准值，应按本规程4.2.10条计算； |
|  |  | — | 考虑混凝土保护层厚度和间距对植筋系统锚固长度的修正系数，当小于0.7时取0.7； |
|  | a | — | 植筋净距； |
|  | *c* | — | 植筋共有的保护层厚度； |
|  | *c*2 | — | 角部植筋在相临边的保护层厚度； |
|  | *c*d | — | 等效保护层厚度； |
|  |  | — | 混凝土基材内位于植筋锚固长度范围内的横向钢筋对植筋系统锚固长度的修正系数，对于带有箍筋的梁、柱轴向构件接长，当小于0.7时取0.7，对于在板面或垂直于既有结构主筋方向的植筋，可取1.0； |
|  | S*A*st | — | 整个植筋锚固区域内横向约束钢筋（箍筋）截面面积之和（mm2）； |
|  | *A*s | — | 单根植筋钢筋的截面积，有不同直径的钢筋时取最大直径钢筋的截面积（mm2）； |
|  | *l* | — | 考虑植筋锚固长度范围内的横向钢筋总截面面积与单根植筋截面积比的计算系数，当小于0时取0。 |

*c*

*c2*

*a*

**图4.2.9 植筋的净距、保护层厚度示意**

【条文说明】***4.2.9****关于和的计算参照了欧标EN1992-1中关于钢筋设计锚固长度计算公式中的系数和* a3*的计算方法。对于多根植筋在同一构件截面的同一区域锚固时，植筋的锚固长度设计值应根据最不利因素加以考虑。通常情况下，角部植筋为最不利条件，计算的锚固长度可能会比根据其它部位植筋条件计算出的锚固更长。这时应按照角部植筋条件计算植筋的锚固长度，相同受力区域的植筋宜按最大锚固长度统一取值，且同一截面的受拉钢筋应选择相同直径和强度的钢筋。*

**4.2.10** 植筋的锚固长度基准值*l*b应按下式计算。

(4.2.10)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: |  | — | 植筋用钢筋的抗拉强度设计值，一般情况下 (N/mm2)； |
|  |  | — | 植筋用胶粘剂的粘结强度设计值，可按表4.2.13取值。 |

**表4.2.10 有认证报告时植筋用胶粘剂的粘结强度设计值*****f*bd,PIR,A (N/mm2)**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 混凝土强度 | C20 | C25 | C30 | C35 | C40 | C45 | C50 | C55 | C60 |
| *f*bd,PIR,A | 2.0 | 2.3 | 2.7 | 2.9 | 3.2 | 3.4 | 3.7 | 4.0 | 4.3 |

*【条文说明】****4.2.10*** *本公式参考的是现行欧洲标准EN1992-1中预埋钢筋的锚固长度的计算公式，欧洲的植筋设计与预埋钢筋的设计方法相似，考虑钢筋处于最小保护层厚度1d时对应的粘结强度。基于公式（4.2.10）计算得到的植筋长度为不考虑外部因素和横向约束钢筋及保护层厚度等对钢筋劈裂的影响条件下的植筋锚固长度，是一个相对保守的植筋锚固长度。植筋的保护层厚度和横向钢筋对植筋粘结强度及劈裂的影响，可通过第4.2.9条的中基本锚固长度计算公式中的长度修正系数得以体现。本表给出的粘结强度对应钢筋直径不大于25mm。*

**4.2.11** 植筋系统粘结强度的折减（影响）系数*k*b可根据产品的认证报告确定，也可按照附录C到附录K的试验结果按下列规定取值：

1 当考虑附录C到附录H和附录K的一项或多项施工条件、长期应力和高环境温度影响时，应按下式计算：

*k*b=min*b*cv∙min*a* （4.2.11-1）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | min*b*cv | — | 所考虑因素对应附录C到附录H和附录K中各单项试验结果变异系数对应的折减系数的最小值； |
|  | min*a* | — | 所考虑因素对应附录C到附录H和附录K中各单项试验承载力折减系数的最小值。 |

2 当同时考虑地震作用时，应按下式计算：

*k*b = *k*b,seis∙min*b*cv∙min*a* （4.2.11-2）

*k*b,seis= *b*cv,seis∙*a*seis （4.2.11-3）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *k*b,seis | — | 仅考虑地震作用时植筋系统粘结强度的折减系数； |
|  | *b*cv,seis | — | 附录J抗震性能试验中变异系数对应的折减系数的最小值； |
|  | *a*seis | — | 附录J抗震性能试验中承载力折减系数的最小值。 |

*【条文说明】****4.2.11*** *除混凝土强度影响外，当采用不同的钻孔方式、或在设计过程中考虑不同的使用年限、抗震等工况时，应根据认证报告中相应条件下提供的粘结强度影响系数kb对植筋的锚固长度进行调整。*

**III 构造要求**

**4.2.12** 受拉植筋锚固应控制为植筋钢材受拉延性破坏，钢筋强度等级不宜超过HRB400，应满足下式要求：

(4.2.12)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： |  | — | 植筋系统中受拉钢筋总截面面积（mm2）； |
|  |  | — | 植筋系统的混凝土锥体破坏承载力标准值（kN）。 |

*【条文说明】****4.2.12*** *受拉植筋锚固时，由于不是搭接，植筋锚固有可能发生锥体破坏，尤其是植筋数量较大且边间距较小时，应进行限制，以保证植筋钢材受拉延性破坏。本规范的规定与现行行业标准JGJ145中锚栓抗震设计中控制锚栓钢材受拉延性破坏的要求一致。*

**4.2.13** 混凝土锥体破坏承载力标准值应按下列公式计算 ，当植筋锚固长度超过20*d*时，计算有效锚固长度取20*d*：

(4.2.13-1)

(4.2.13-2)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： |  | — | 单根植筋理想混凝土锥体破坏标准值，应按现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ145的规定计算； |
|  |  | — | 单根锚栓受拉且无间距、边距影响时，混凝土理想锥体破坏投影面面积（mm2），应按现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ145的规定计算； |
|  |  | — | 单根锚栓或群锚受拉时，混凝土实际锥体破坏投影面面积（mm2），应按现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ145的规定计算； |
|  | *y*s,N | — | 边距*c*对受拉承载力的影响系数，应按现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ145的规定计算； |
|  | *y*ec,N | — | 荷载偏 *e*对受拉承载力的影响系数，应按现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ145的规定计算； |
|  | *y*re,N | — | 表层混凝土因密集配筋的剥离作用对受拉承载力的影响系数，应按现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ145的规定计算； |
|  | *y*M,N | — | 考虑弯矩作用对结构构件截面产生压力区约束作用对受拉承载力的影响系数，不应小于1.0；当任一植筋的边距*c*小于1.*5ld*时或当植筋边距*c*不小于1.5*ld*且*N*大于0.22*M/z*时，可取为1.0； |
|  | *z* | — | 节点外弯矩*M*产生的拉力合力作用点与压力合力作用点之间的距离。 |

*【条文说明】****4.2.13*** *参考欧洲标准TR069和EN1992-4:2018中的规定，考虑了弯矩作用下受压区对锥体破坏承载力的贡献。*

## 4.3 搭接植筋长度计算

**4.3.1**当植筋与纵向受拉钢筋搭接时 ，其搭接接头应相互错开，且不宜布置在受拉力较大的区域。结构构件同一截面的同一层植筋应尽可能对称布置。纵向钢筋受拉搭接长度，应根据位于同一连接区段内的钢筋搭接接头面积百分率，按下式计算：

（4.3.1）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： |  | — | 锚固钢筋的搭接长度； |
|  |  | — | 纵向受拉钢筋搭接长度修正系数，可按表4.3.1取值。 |

表4.3.1 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，*r*t (%) | ≤25’ | 50 | 100 |
|  | 1.2 | 1.4 | 1.6 |

**注：1 当实际搭接接头面积百分率介于表列数值之间时，按线性内插法确定值；**

**2 对梁类构件，纵向受拉钢筋搭接接头面积百分率不宜超过50%。**

*【条文说明】****4.3.1*** *当植筋与纵向受拉钢筋搭接时，不宜布置在受拉力较大的区域如弯矩作用较大的受拉区（塑性铰区）。*

*同一连接区段内纵向受力钢筋搭接接头面积百分率，为该区段内有搭接接头的纵向受力钢筋占全部纵向受力钢筋截面面积的百分比。当直径不同的钢筋搭接时，按直径较小的钢筋计算。*

**4.3.2**  植筋与纵向受拉钢筋在搭接部位的净间距，不应大于4*d*和50mm。若净间距超过4*d*或50mm，则搭接长度*l*l应增加间距超出的同样长度且不小于2*d*。

## 4.4 拉结植筋锚固承载力计算

**4.4.1** 新、旧混凝土连接前，原混凝土表面应进行修整及打毛处理，应满足现行国家标准《建筑工程加固工程施工质量验收规范》GB 50550的要求。

*【条文说明】****4.4.1*** *新、旧混凝土连接前，应先对旧混凝土界面进行凿毛处理，凿毛的粗糙度应能满足可通过界面有效传递剪力的功能，并根据需要设置拉结钢筋。*

**4.4.2** 新、旧混凝土界面不宜直接承受拉力荷载，为保证新旧混凝土共同工作而增设的拉结植筋应符合下式规定：

*t*Ed≤*t*Rd （4.4.2）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *t*Ed | — | 由外荷载产生新旧混凝土层间剪应力设计值（MPa），应按本规程第4.4.3条计算； |
|  | *t*Rd | — | 带有拉结抗剪功能的植筋在新旧混凝土界面的抗剪强度设计值（MPa），应按本规程第4.4.4条计算。 |

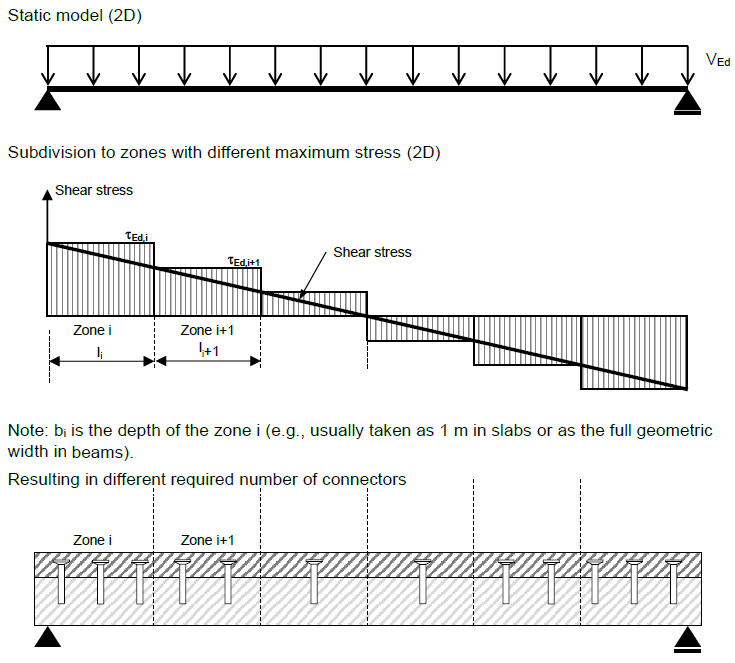
*【条文说明】****4.4.2****增大截面中的拉结抗剪植筋的承载力应不小于因外荷载产生的新旧截面剪力，应保证组合结构在发生允许变形的时候新旧界面之间不会发生剥离。计算中，采用剪应力计算。新旧混凝土之间承受的拉应力不超过0.05MPa时可不考虑拉力作用影响。*

**4.4.3** 由外荷载产生的新旧混凝土界面层间剪应力*t*Ed,*i*可依据结构构件内力分析计算（图4.4.3），对于下部增大截面，可按下列公式计算。

 （4.4.3-1）

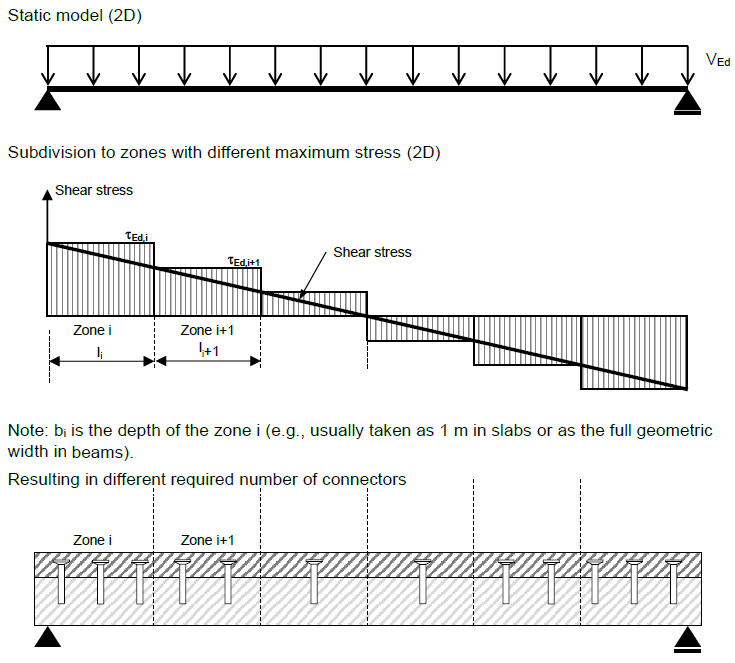
 （4.4.3-2）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *b* | — | 受拉或受压区新混凝土上受到的拉力或压力与全截面混凝土受拉或受压区受到的总拉力或压力的比值，取开裂前混凝受力及开裂后钢筋受力的较大值； |
|  | *V*Ed,*i* | — | 截面受到的总剪力设计值（N），取相应区段剪力的最大值； |
|  | *z* | — | 混凝土内力臂（mm）； |
|  | *b*j | — | 构件截面的计算宽度，对于板、墙等可取1.0m单位宽度，对于梁、柱等可取构件实际宽度（mm）； |
|  | *A*t,new | — | 新增截面受拉区混凝土面积（mm2）； |
|  | *Z*new | — | 新增截面受拉区到混凝土受压区合力点的距离（mm）； |
|  | *A*t,old | — | 原截面混凝土受拉区截面面积（mm2）； |
|  | *Z*old | — | 原截面混凝土受拉区到混凝土受压区合力点的距离（mm）； |
|  | *A*s,new | — | 新增截面受拉钢筋截面面积（mm2）； |
|  | *A*s,old | — | 原截面受拉钢筋截面面积（mm2）； |



**（a）简支梁受均布荷载**

剪应力



*V*Ed,*i*+1

*V*Ed,*i*

剪力

**（b）剪力及剪应力分布**

****

**（c）底面加固示意**



**截面 开裂前内力 开裂后内力**

**（d） 截面内力示意图**

**图4.4.3 剪应力计算示意图**

**4.4.4** 带有拉结抗剪功能的植筋在新旧混凝土界面的抗剪强度设计值应按下式计算：

(4.4.4-1)

(4.4.4-2)

(4.4.4-3)

(4.4.4-4)

(4.4.4-5)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： |  | — | 新、旧混凝土骨料咬合作用产生的粘结抗剪强度设计值（MPa），不应大于； |
|  |  | — | 剪切摩擦提供的抗剪强度设计值（MPa）； |
|  |  | — | 拉结钢筋销栓作用的抗剪强度设计值（MPa）； |
|  | *c*r | — | 界面混凝土粗糙度影响系数，当外荷载对界面产生拉力或新旧界面光滑时，取0；当界面打毛处理且外荷载对界面不产生拉力时，取0.1； |
|  |  | — | 植筋延性影响系数，对于钢筋，取1.0，当采用螺杆时，取0.8； |
|  | *r* | — | 拉结钢筋的配筋率； |
|  |  | — | 拉结钢筋的破坏应力设计值，不应大于0.87倍钢材屈服强度标准值（MPa）； |
|  |  | — | 拉结植筋发生钢材破坏的承载力设计值（kN）； |
|  |  | — | 单根拉结植筋发生混凝土锥体破坏的承载力设计值（kN）； |
|  |  | — | 拉结植筋发生粘结破坏的承载力设计值（kN）。 |

**4.4.5** 在既有混凝土内植筋的抗拉承载力计算公式如下：

（4.4.5-1）

（4.4.5-2）

（4.4.5-3）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： |  | — | 混凝土立方体抗压强度标准值（MPa）； |

*【条文说明】****4.4.5*** *考虑到拉结植筋间距通常超过3倍有效锚固长度，且不会存在附加弯矩、边距等的影响，故对混凝土锥体破坏的承载力计算在基于锚栓混凝土锥体破坏承载力计算公式基础上进行了简化；粘结破坏的粘结强度采用现行行业标准《混凝土结构后锚固计术规程》JGJ145中关于室内非开裂混凝土化学锚栓的粘结强度值；同时考虑拉结筋为非结构受力连接，钢材破坏的承载力分项系数别取1.2，混凝土破坏和粘结破坏的承载力分项系数取1.8。*

**4.4.6** 新浇混凝土中的拉结钢筋的锚固长度宜满足现行国家标准《混凝土结构设计规范》的有关要求。

**4.4.7** 拉结植筋的最低配筋率应满足下列规定：

通常情况， （4.4.7-1）

板或墙， （4.4.7-2）

（4.4.7-3）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： |  | — | 拉结钢筋的最低配筋率； |
|  |  | — | 混凝土抗拉强度平均值（MPa）； |
|  |  | — | 新、旧混凝土单位界面上的最小拉结筋截面积（mm2）； |
|  |  | — | 新、旧混凝土单位界面面积（mm2）。 |

***【条文说明】4.4.7*** *对于板、墙等双向受力构件一般不易发生粘结失效。因此，相对于梁、柱等线性构件，最低配筋率可以减半。*

**4.4.8** 拉结植筋最小保护层厚度和净间距不应小于5*d*。

***【条文说明】4.4.8*** *本规定为避免拉结筋过密或离边缘太近而导致基材混凝土发生劈裂破坏。*

## 4.5 火灾下的植筋锚固计算

**4.5.1** 火灾下植筋的锚固计算应符合下列规定：

1 应根据植筋的锚固情况和锚固部位的受火情况计算植筋锚固范围内的温度场分布；

2 可跟据混凝土构件内植筋所处位置的最高温度计算火灾下钢材破坏的承载力；

3 可跟据植筋锚固范围内的温度场分布及温度对应的植筋粘结强度，进行植筋系统在火灾下的粘结破坏承载力计算。

**4.5.2** 植筋在火灾下的承载力应按下列公式计算：

（4.5.2-1）

（4.5.2-2）

（4.5.2-3）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *Sd,fi* | — | 火灾条件下的荷载设计值（kN）； |
|  | *R*d,fi | — | 火灾条件下植筋的承载力设计值，取火灾条件下钢筋钢材破坏的承载力设计值和火灾条件下粘结破坏的承载力设计值中的较小值（kN）； |
|  |  | — | 火灾条件下的荷载分项系数，可取 =1.0； |
|  |  | — | 火灾条件下的荷载特征值（kN）； |

**4.5.3** 植筋在火灾下钢筋钢材的承载力设计值应按下式计算：

*R*d,s,fi= *N*Rk,s,fi(q) /gMs,fi （4.5.3-1）

*N*Rk,s,fi(q) = *A*s∙*f*yk,fi(q) （4.5.3-2）

（4.5.3-3）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： | *N*Rk,s,fi(q) | — | 在温度（q）条件下钢材破坏承载力标准值（kN）； |
|  | gMs,fi | — | 火灾下钢材的分项系数，可取1.0； |
|  | （q） | — | 混凝土构件内植筋所处位置的最高温度（°C）； |
|  | *f*yk,fi (q) | — | 钢材在指定火灾温度（）下的屈服强度（MPa）； |
|  | *k*s,fi (q) | — | 热轧带肋钢筋高温（）环境下的强度折减系数，可按表4.5.4取值。 |

**4.5.4** 热轧带肋钢筋在不同温度下的强度折减系数可按表4.5.4选取。

**表4.5.4不同温度下热轧带肋钢筋强度折减系数*k*s,fi**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 温度（q） (°C) | ≤400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 | 1200 |
| *k*s,fi | 1.00 | 0.78 | 0.47 | 0.23 | 0.11 | 0.06 | 0.04 | 0.02 | 0.00 |

***【条文说明】 4.5.4*** *本表格所采用的折减系数参考了欧盟标准EC2第二部分《结构耐火设计》中对极限强度不超过500MPa直径10mm~40mm范围内的正常延性热轧带肋钢筋的有关参数。*

**4.5.5** 锚固胶粘剂在高温下的粘结承载力设计值应按下列公式计算：

*R*d,adh,fi= *N*Rk,adh,fi /gMadh,fi （4.5.5-1）

（4.5.5-2）

（4.5.5-3）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中： |  | — | 在温度（q）条件下锚固胶粘剂的粘结承载力标准值（kN）； |
|  |  | — | 第i段植筋长度在温度（q）条件下的粘结强度设计值（MPa）； |
|  |  | — | 第i段植筋长度（mm）； |
|  | (q) | — | 混凝土构件内植筋段所处位置的温度最大值（°C）； |
|  |  | — | 考虑火灾高温（）影响的植筋粘结强度折减系数，可根据植筋产品的认证报告确定；无认证报告时，可按表4.5.5取用； |
|  | ， | — | 常温下和火灾下的材料分项系数，可分别取为1.5。 |

**表4.5.5 不同温度下植筋粘结强度折减系数*k*b,fi**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 温度s (°C) | ≤40 | 50 | 75 | 100 | 150 | ＞150 |
| *k*b,fi | 1.00 | 0.70 | 0.40 | 0.30 | 0.18 | 0.00 |

# 5 构造措施

**5.0.1** 植筋的最小基本锚固长度*lmin,b*，对受拉钢筋，应取0.3*l*s、10d 和100mm 三者之间的最大值；对受压钢筋，应取0.6*l*s、10d 和100mm 三者之间的最大值；对拉结钢筋，应取5*d*和60mm二者之间的较大值。

**5.0.2** 基材在植筋方向的最小厚度*hmin*应满足下式的要求：

*hmin* ≥ *ld* 十2D (5.0.2)

式中：D —钻孔直径，宜按表5.0.2的规定取用。

**表5.0.2 钢筋和螺杆直径与对应的钻孔直径**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 钢筋直径(mm) | 钻孔直径D (mm) | 螺杆直径(mm) | 钻孔直径D (mm) |
| 8 | 12 | M8 | 10 |
| 10 | 14 | M10 | 12 |
| 12 | 16 | M12 | 14 |
| 14 | 18 | M16 | 18 |
| 16 | 20 | M20 | 24 |
| 18 | 22 | M24 | 28 |
| 20 | 25 |  |  |
| 22 | 28 |  |  |
| 25 | 32 |  |  |

**5.0.3**用于植筋系统锚固的混凝土结构构件基材的植筋保护层厚度不应低于现行国家标准《混凝土结构设计规范》GB 50010 的规定，且植筋与混凝土边缘之间的距离[不宜小于5](不宜小于5d及100mm。当植筋与混凝土边缘之间有垂直于植筋方向的横向约束钢筋，且横向约束钢筋的配筋量不小于f8@100或其等量截面积，植筋锚固深度范围内横向约束钢筋不少于2根时，植筋与边缘的最小距离可适当减少，但不应小于2.5d及50mm)*[d](不宜小于5d及100mm。当植筋与混凝土边缘之间有垂直于植筋方向的横向约束钢筋，且横向约束钢筋的配筋量不小于f8@100或其等量截面积，植筋锚固深度范围内横向约束钢筋不少于2根时，植筋与边缘的最小距离可适当减少，但不应小于2.5d及50mm)*[及100mm。当植筋与混凝土边缘之间有垂直于植筋方向的横向约束钢筋，且横向约束钢筋的配筋量不小于](不宜小于5d及100mm。当植筋与混凝土边缘之间有垂直于植筋方向的横向约束钢筋，且横向约束钢筋的配筋量不小于f8@100或其等量截面积，植筋锚固深度范围内横向约束钢筋不少于2根时，植筋与边缘的最小距离可适当减少，但不应小于2.5d及50mm)*[f](不宜小于5d及100mm。当植筋与混凝土边缘之间有垂直于植筋方向的横向约束钢筋，且横向约束钢筋的配筋量不小于f8@100或其等量截面积，植筋锚固深度范围内横向约束钢筋不少于2根时，植筋与边缘的最小距离可适当减少，但不应小于2.5d及50mm)*[8@100或其等量截面积，植筋锚固深度范围内横向约束钢筋不少于2根时，植筋与边缘的最小距离可适当减少，但不应小于2.5](不宜小于5d及100mm。当植筋与混凝土边缘之间有垂直于植筋方向的横向约束钢筋，且横向约束钢筋的配筋量不小于f8@100或其等量截面积，植筋锚固深度范围内横向约束钢筋不少于2根时，植筋与边缘的最小距离可适当减少，但不应小于2.5d及50mm)*[d](不宜小于5d及100mm。当植筋与混凝土边缘之间有垂直于植筋方向的横向约束钢筋，且横向约束钢筋的配筋量不小于f8@100或其等量截面积，植筋锚固深度范围内横向约束钢筋不少于2根时，植筋与边缘的最小距离可适当减少，但不应小于2.5d及50mm)*[及50mm](不宜小于5d及100mm。当植筋与混凝土边缘之间有垂直于植筋方向的横向约束钢筋，且横向约束钢筋的配筋量不小于f8@100或其等量截面积，植筋锚固深度范围内横向约束钢筋不少于2根时，植筋与边缘的最小距离可适当减少，但不应小于2.5d及50mm)。

**5.0.4** 当植筋系统要承担地震作用时，植筋到基材混凝土结构构件边缘的距离应满足下列要求：

1 角部植筋，距离两个相邻混凝土边缘的距离不应小于6*d*；

2 非角部植筋，距离最近混凝土边缘距离不应小于4*d*，且距离其它混凝土边缘距离不应小于8*d*。

*参考欧洲技术文件EAD330087的有关规定。对于不同使用要求的植筋的构造措施进行研究，提出植筋锚固连接的抗震构造措施。*

**5.0.5** 作为结构受力钢筋的植筋间距不应小于5*d*。

**5.0.6** 拉结钢筋的间距不宜小于100mm且不宜大于400mm。

# 6 施工要求与质量验收

## 6.1 一般规定

**6.1.1** 植筋产品进场时，应按合同核对植筋胶粘剂及钢筋的类别、规格和数量等。植筋用锚固胶粘剂应出具由产品生产商提供的产品合格证书、使用说明书、国家认可的检测机构的检验报告或认证报告。对于特殊使用环境要求的植筋用锚固胶粘剂，检测报告或认证报告中应能体现相应的专项检测结果。应保证胶粘剂保质期限能够覆盖植筋工程工期。

*【条文说明】****6.1.1*** *目前市场上有不同品牌的植筋胶粘剂产品可供选择，生产厂家的产品质量参差不齐，但施工所用的产品质量应符合相应产品质量检验标准，现行的和植筋相关的规范主要有《混凝土结构加固设计规范》GB 50367、《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB 50550、《混凝土结构工程用锚固胶》GB/T 37127等。植筋钢筋的质量亦应符合相应国家现行规范的要求。*

*施工前应检查锚固胶粘剂是否在保质期内，对于工期较长的工程，可以考虑胶粘剂材料分阶段进场，但每次都应按进场要求进行检验。*

**6.1.2** 植筋用锚固胶粘剂进场后，应按下列规定进行进场检验：

1 外观检查 胶粘剂外包装应无破损、泄露，胶粘剂应无结块、分层或沉淀。胶粘剂应全数检查，合格者方可进入后续检验。

2 材料力学性能试验 胶粘剂应进行C30混凝土的约束拉拔条件下带肋钢筋与混凝土的粘结强度试验。试验时，每种钢筋直径的植筋应抽样一组，并按照现行国家标准《混凝土结构工程用锚固胶》GB/T37127的有关要求进行试验。改性环氧树脂类胶粘剂的粘结强度平均值不应低于11MPa，改性乙烯基酯类胶粘剂的粘结强度平均值不应低于12MPa。

*【条文说明】****6.1.2*** *对材料的进场验收作出了明确的规定。由于相关产品已经进行了试验验证或认证，在出厂前又进行了有关实测检验，因此在进场验收时，以简化进场验收手续，同时又能确保产品质量为原则确定产品抽样数量及试验项目。*

**6.1.3** 植筋系统的安装工艺及工具应符合产品说明书的要求，对于有特殊工具或工艺要求的植筋施工，操作人员应经过专门的技能培训和安全技术交底。

*【条文说明】****6.1.3*** *不同厂家的植筋系统及产品对钻孔方式、注胶工艺、安装方法会有所不同，如水钻钻孔、真空吸尘钻孔、潮湿环境钻孔、顶面钻孔和注胶、超长钻孔和注胶等会有不同的要求，只有按照各自产品安装说明书，使用配套的专用工具才能正确的完成植筋系统的施工。本条规定是为了确保植筋系统的安装质量，达到锚固的要求。*

**6.1.4** 植筋工程的施工环境应符合下列规定：

1 基材温度应符合胶粘剂使用说明书要求；当未标明温度要求时，应按不低于15℃进行控制；

2 基材孔内表层含水率应符合胶粘剂产品说明书的规定。当基材孔内表层含水率无法降低至胶粘剂使用说明书的要求时，应改用高潮湿面专用的胶粘剂；

3 严禁在大风、雨雪天气进行露天作业。

*【条文说明】****6.1.4*** *规定了植筋系统施工对施工环境的要求。*

**6.1.5** 施工单位应按产品说明书的要求对植筋材料的运输、储存与使用进行专门管理。

**6.1.6** 施工人员应加强劳动保护，配备安全帽、工作服、胶皮手套、护目镜、口罩等劳保用品。

*【条文说明】****6.1.6****为保证后锚固施工人员的安全，对施工应配备的劳动保护用具作具体的说明。*

**6.1.7** 植筋工程应对下列项目按隐蔽工程的要求进行验收：

1 植筋钻孔的位置、孔径、长度和垂直度；

2 植筋用钢筋或螺杆的除锈处理效果；

3 植筋钻孔的清孔质量；

4 植筋孔壁完整性和干燥度；

5 注胶质量及注胶量。

## 6.2 施工要求

**6.2.1** 植筋工程的施工，应按图6.2.1所示流程进行，应包括下列主要步骤：

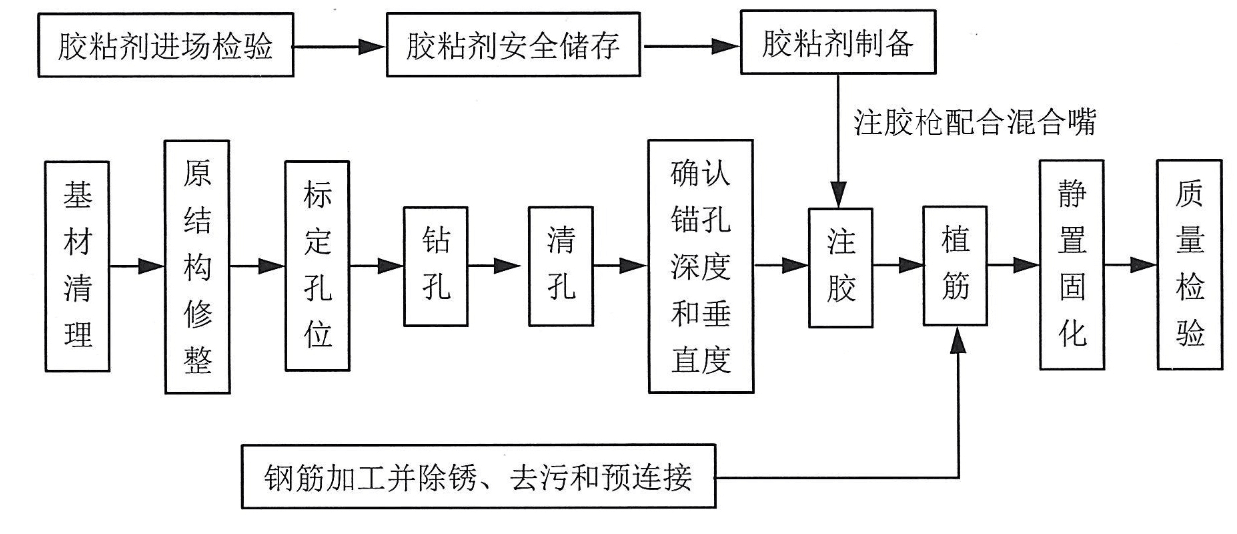
1 清理、修整原结构、构件以及新旧混凝土接触面的凿毛；

2 测量既有混凝土内钢筋位置、标定植筋孔位及制孔；

3 植筋胶粘剂的制备；

4 植筋安装及固化养护；

5 施工质量检查。

**

原结构修整和表面凿毛

**图6.2.1 植筋施工工序**

*【条文说明】****6.2.1*** *植筋施工程序正确与否对施工质量影响很大。因此，必须加以明确并按照图6.2.1规定的工序执行。与现行《混凝土后锚固技术规程》JGJ145-2013和《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB50550-2010不同，本规程不再建议使用散装锚固胶粘剂，故也未涉及其施工工序。*

**6.2.2** 植筋系统施工前应先对基材进行清理和修整，植筋前锚固区基材应符合下列规定：

1 基材上的抹灰层、装饰层、附着物、油污应清除干净；

2 基材表面应坚实且无局部缺陷，连接新混凝土构件的基材构件界面区域应凿毛并清除表面浮浆和灰尘。

*【条文说明】****6.2.2*** *锚固基材强度和本身的质量直接关系锚固强度及锚固安全性，如混凝土施工质量、锚固区潮湿、基体开裂都在不同程度上影响锚固强度，降低使用的安全性，故对锚固区基材作出规定。*

**6.2.3** 混凝土基材与新混凝土界面间的凿毛处理应在钻孔前进行，可采用高压水冲刷、人工混凝土凿毛法、钻孔法、抛丸、喷砂、压痕等方式完成。

*【条文说明】****6.2.3****既有老混凝土基材界面的粗糙程度即混凝土界面凿毛质量，对新老混凝土粘结补强工程质量具有重要意义。凿毛主要是为了凿除混凝土表面的浮浆，使新老结合处的混凝土结合牢固形成整体。所以凿毛后的混凝土表面不但要去除浮浆还要形成凹凸麻面，而不是平整的毛面。*

**6.2.4** 植筋位置应先放线并探测既有混凝土内的钢筋位置后再标定植筋孔位。钻孔不得损伤原有钢筋。当植筋孔位受原钢筋干扰，应通知设计单位变更植筋位置，并应出具变更设计通知书。

*【条文说明】****6.2.4*** *检测钢筋的位置是为了在钻孔时避开钢筋，以免影响锚固基材的原有强度及安全性。如果原构件内钢筋位置不明确，应在钻孔前利用专业的钢筋探测仪检测钢筋位置，以便在钻孔时避开既有钢筋。对于较密集配筋的塑性铰区如果无法准确探明钢筋位置，也可采用剔除表明混凝土保护层直接暴露既有钢筋的方法判断植筋孔位是否合适。如果钻孔过程中（特别是采用水钻时）对部分既有钢筋造成损伤，应及时通知设计单位评估潜在危害，采用合适的加固补救措施。*

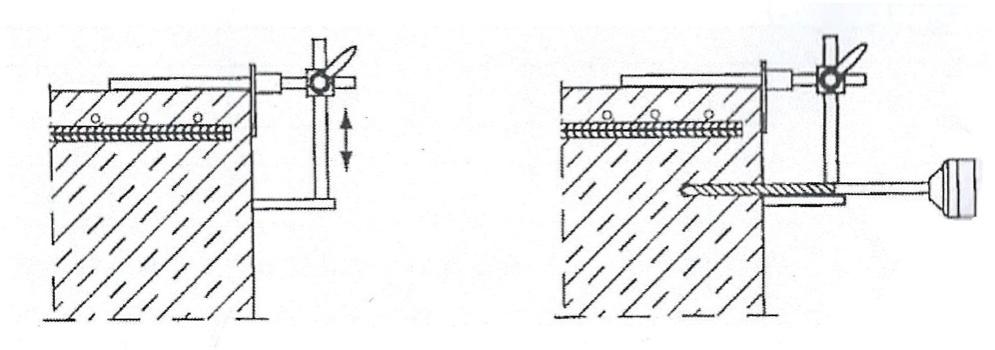
**6.2.5** 在混凝土面上的植筋孔位除应满足本规程第5.0.3条的规定外，尚应考虑钻孔方式和钻孔长度对可能存在的植筋偏差的影响。应保证相邻植筋之间的间距不小于5*d*；基材表面的钻孔中心点到平行植筋轴线方向的最近混凝土表面之间的距离不应小于*c*min+*d*/2，*c*min为植筋到最近的混凝土边缘的最小允许保护层厚度，应满足表6.2.5的规定。

**表6.2.5植筋钻孔时的最小允许保护层厚度*c*min**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 钻孔方式 | 钢筋直径 | 最小保护层厚度 | |
| 无钻头导向辅助 | 带钻头导向辅助（图6.2.5） |
| 电锤锤击钻或钻石钻孔 | <25mm | 30mm +0.06*lv*≥max(2*d*，50mm) | 30mm+0.02*lv*≥max(2*d*，50mm) |
| ≥25mm | 40mm+0.06*lv*≥2*d* | 40mm+0.02*lv*≥2*d* |
| 气动锤击钻 | <25mm | 50mm+0.08*lv*≥2*d* | 50mm+0.02*lv*≥2*d* |
| ≥25mm | 60mm+0.08*lv*≥2*d* | 60mm+0.02*lv*≥2*d* |

*【条文说明】****6.2.5*** *植筋与混凝土边缘的净距离除考虑胶粘劈裂承载力以外，还应考虑施工偏差的影响。故提出与钻孔方式和植筋长度有关的最小钻孔位置的要求。当采用钻头导向辅助装置时，可以减小钻孔偏差，故要求略有防松。本规定参考了EAD33086和TR069的相关规定。*

*植筋钻孔时，特别是较长锚固长度的植筋钻孔时，为保证钻孔垂直度，宜采用带钻头导向辅助装置的钻机（图6.2.5）。*



**（a）定位 （b）钻孔**

**图6.2.5 钻头导向辅助装置示意图**

**6.2.6** 植筋钻孔完成后，应进行清孔。清孔应根据产品说明书的规定选用下列方式：

1 手动气泵清孔宜用于钻孔直径不超过20mm、钻孔深度不超过20 倍植筋直径或不超过250mm 时的电锤钻孔。清孔程序应为吹-刷-吹。应使用洁净无油的手动吹气筒清除孔内粉尘，并应用配套钢刷清洁孔壁。每个步骤的次数应符合产品说明书的安装要求，且不应少于4 次。吹气筒出气管长度和钢刷长度应能保证吹气嘴和钢刷端部达到钻孔底部；钢刷应略大于孔洞。

2 电动气泵清孔宜用于任何孔径和深度的电锤钻孔，清孔程序为吹-刷-吹。应使用洁净无油的电动气泵清除孔内粉尘，并应用配套钢刷清洁孔壁。每个步骤的次数应符合产品说明书的安装要求，且不应少于2 次。最小气压应为6 bar，出气量不应低于6m3/h。应采用延长杆使得吹、刷工具能达到钻孔底部，刷杆应能与电机连接，对孔底进行有效清刷。

3 采用水钻钻孔清孔时，清孔程序应为水冲-刷-水冲-气吹-刷-气吹。应先用高压水枪清除潮湿孔洞内的粉尘和灰浆，然后用配套钢刷清洁孔壁；再次用高压水枪清除孔内残渣，并用电动气泵清除孔内积水，再次用钢刷清洁孔壁。每个步骤的次数应符合产品说明书的安装要求，且不应少于2 次。最小气压应为6bar，出气量不应低于6m3/h。吹气筒出气管长度和钢刷长度应保证吹气嘴和钢刷端部能达到钻孔底部；钢刷应略大于孔洞。

4 采用真空吸尘钻孔时，应采用产品说明书指定的配套真空吸尘钻头及工具，并应符合相对应的施工步骤。

*【条文说明】****6.2.6*** *对植筋胶而言，钻孔孔壁上的积灰和孔内积水会对植筋胶的粘结力产生很大影响，因此清孔作业是植筋工程中一道必不可少的工序。*

*当采用电锤钻孔时由于钻头的挤压作用有一部分粉尘会随钻头带出来，另一部分会被挤压到钻孔壁上，单纯依靠吹孔的方式不能完全清理干净，必须使用产品使用说明书中规定的配套的钢质毛刷刷孔，不可使用尼龙或其它软质毛刷。另外，植筋的锚固长度可达35～60倍的植筋直径，当配套钢刷和吹气嘴长度无法抵达钻孔底部不能有效清除孔壁时，应采用延长管实现有效清洁。钢刷直径通常略大于钻孔直径，如果钢刷小于孔洞，则需要依靠外力提供对侧壁的压力，清洁效果不好。*

*目前常用的清孔无论是手动还是电动吹孔的方式，但其缺点是会造成粉尘在空气中弥漫，对环境造成污染和影响施工操作人员的健康。因此可采用吸尘的方式，在吸尘管端部连接细长吸嘴深入孔内进行除尘清孔。目前较先进的钻孔技术是采用真空吸尘钻孔。它由端部带有吸尘孔的中空钻头和吸尘器组成，钻孔的同时完成吸尘清孔工序。虽然单从钻孔速度上比较未必有传统电锤钻孔或水钻钻孔快，但免去了清孔工序，整体效率更高且不会对环境造成污染。需要注意的是目前国际上真空吸尘钻虽然种类繁多，但真空吸尘钻孔的除尘效果却因产品而异。故宜在试用前通过完整的植筋作业与传统钻孔清孔的植筋做对比，以检验真空吸尘钻孔后植筋承载力。*

**6.2.7** 植筋孔壁应完整，不得有裂缝和其他局部损伤。清孔完成后，当未立即植筋时，应暂时封闭孔口，防止尘土、碎屑、油污和水分落入孔内影响植筋质量。废弃的钻孔应采用结构胶填充密实。

*【条文说明】****6.2.7*** *锚固胶粘剂的粘结强度不同程度地会受到尘土、油污和水分的影响。所以，本条对清孔后的钻孔保护提出了要求。*

**6.2.8** 植筋钻孔的孔径、孔深应符合设计文件要求，对孔径、孔深、垂直度进行测量，允许偏差应符合本规程6.3.8的规定。当钻孔垂直度偏差超过表6.3.8-2的允许值时，应由设计单位确认该孔洞是否可用；返工时，应由施工单位提出技术处理方案，经设计单位认可后实施。对经处理的孔洞，应重新检查验收。临近锚固区的废弃锚孔应采用高强度无收缩砂浆填充密实。

**6.2.9** 植筋系统注胶前，应检查其孔壁的干燥程度，并宜用混凝土含水率测定仪检测。基材表面温度和孔内表层含水率应符合设计和胶粘剂使用说明书要求，无明确要求时，基材表面温度不应低于15°C；植筋施工严禁在大风、雨雪天气露天环境下进行。对于钻孔内存在潮湿或明水环境的施工，如不能有效进行钻孔干燥处理，应采用适用于潮湿环境的植筋胶粘剂。

*【条文说明】****6.2.9*** *规定了植筋工艺对施工环境的要求。*

**6.2.10** 应按植筋胶产品说明书要求配备完整的注胶工具和相关配件，采用与植筋胶配套的自动混合注射筒，自动混合器应能保证胶粘剂混合均匀。在使用过程中，应防止灰尘、油、水等杂质混入，并应按规定的可操作时间完成植筋作业。

*【条文说明】****6.2.10*** *注胶时采用厂家配套的植筋胶混合与注射的专用工具，并按照安装说明书进行操作，注胶嘴应在注胶过程中略低于胶液表面，边注胶边退出，这样可以避免注胶过程中产生气泡，影响粘接质量。当孔深大于等于150mm 时，注胶导管应采用接长装置，并应在导管上标注注胶结束位置，自孔底向外缓慢均匀注胶。才能保证种植应有的效果。*

**6.2.11** 注入胶粘剂的灌注方式应不妨碍孔中的空气排出，灌注量应按产品使用说明书确定，植入钢筋后应有少许胶液溢出。在任何工程中，均不得采用钢筋从胶桶中粘胶后插进孔洞的施工方法。

*【条文说明】****6.2.11*** *注胶过程中一旦产生气泡。可能会减少胶体与植筋或胶体与孔壁的接触面积，减少粘结力。同时，注胶中产生的气泡也可能会导致植筋安装过程中将胶液挤出钻孔。另外，气泡还会对植筋锈蚀带来不利影响。目前有些现场采用钢筋从胶桶中蘸胶后插入孔中的做法必定不会有效地排空钻孔内空气，也无法保证孔洞内胶粘剂的密实度，势必会严重影响植筋的承载力。故禁止在施工中采用。*

**6.2.12** 注入胶粘剂后，应立即插入钢筋，并沿单一方向边转边插，直至达到规定的深度。从胶粘剂开始混合至钢筋安装到位所需的时间，应在产品使用说明书规定的可操作时间之内。

*【条文说明】****6.2.12*** *钢筋的插入方式为边单向旋转边插入，其目的是为了避免在插入钢筋的过程中带入气泡。*

**6.2.13** 植入的钢筋必须立即校正方向，使植入的钢筋与孔壁间的间隙均匀。胶粘剂未达到产品使用说明书规定的固化时间前，应静置养护，不应扰动植筋。

**6.2.14** 需要垂直向上安装的植筋系统其胶粘剂应能满足本规程附录E关于植筋垂直向上安装的性能要求，且在注胶时应采用专门装置，防止胶粘剂垂流；钢筋插入后应采取临时固定措施，防止钢筋从植筋孔中掉落。

*【条文说明】****6.2.14*** *仰面施工时，一方面要防止由于胶液下垂造成植筋孔内缺胶，另一方面，要注意避免胶粘剂滴落在施工人员身上或地面。另外在胶粘剂固化前应对植筋进行临时固定，避免植筋因重力作用下滑甚至掉落影响植筋长度和植筋效果。*

**6.2.15** 植筋系统与外接新建混凝土构件内的钢筋连接时，宜采用搭接连接或机械连接接头，也可采用焊接连接。采用焊接接头时，应符合下列规定：

1焊接宜在注胶前进行，如确需后焊接时，应对焊接植筋进行等条件现场破坏性检验，检验应符合现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ145的规定。

2 当个别钢筋确需后焊时，除应采取断续施焊的降温措施外，尚应要求施焊部位距注胶孔顶面的距离不应小于钢筋直径的15 倍，且不应小于200mm；且必须用冰水浸渍的多层湿巾包裹钢筋外露的根部，施焊过程中钢筋根部的温度不应超过胶粘剂产品说明书规定的最高短期温度。

3 焊接时，不应将焊接的接地线连接到施焊植筋的根部。

*【条文说明】****6.2.15*** *对植筋系统钢筋的连接接头的处理进行了详细的规定：*

*1 若采用机械连接接头，可以在植筋以后进行。*

*2 当采用焊接接头时，不管是采用电渣压力焊还是电弧焊，都或多或少地会引起钢筋温度的升高，直接影响到胶粘剂的粘结强度和耐久性。倘若采取了有效的降温措施，虽然仍可对个别植筋进行补焊，但总归存在着一定风险。故在实际工程中，对成批的植筋仍应坚持先焊接后植筋的原则，以确保胶层不致因受高温作用而受损。*

*3 植筋系统的钢筋连接采用后焊接时，将电焊机的接地线放到植筋钢筋的根部，容易引起胶粘剂局部温度升高、碳化，影响其粘结强度，施工时应避免。*

**6.2.16** 新增构件的安装、钢筋笼绑扎与混凝土浇筑应在植筋胶粘剂固化时间不少于产品使用说明规定的最短固化时间之后进行。

## 6.3 施工质量验收

**6.3.1** 植筋系统施工时，下列工序完成后，应按隐蔽工程的要求进行检查，全部合格后，方可进入下一工序：

1 植筋钻孔位置、孔径及垂直度；

2 植筋用钢筋或螺杆的除锈处理效果；

3 植筋钻孔的清孔质量；

4 植筋孔壁完整性和干燥度；

5 注胶操作及注胶量。

**6.3.2** 在对需要进行植筋工程的原结构、构件完成清理和修整后应检验基材表面的清洁度和完整性。基材表面不应有油污、缺陷和裂缝。

检查数量：全数检查。

检验方法：肉眼观察。

**6.3.3** 植筋用钢筋在植入前应复查有无未打磨干净的新旧锈斑。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察。

**6.3.4**植筋钻孔位置和偏差应满足设计要求并符合表6.3.8的规定。

检查数量：全数检查。

检验方法：钢尺量测，并检查施工记录。

**6.3.5** 完成钻孔和清孔后，应检查钻孔的清洁度，孔壁应无油污，无粉尘和碎屑残留。

检查数量：全数检查。

检验方法：观察、触摸孔壁。

**6.3.6** 植筋前，应检查孔壁的干燥程度，含水率不得超过设计规定或所采用的植筋胶产品规定的最高含水率的要求。

检查数量：全数检查。

检验方法：混凝土用含水率测定仪检测。

**6.3.7** 植筋孔壁应完整，不得有裂缝和其它局部损伤。

检查数量：全数检查。

检验方法：在有照明条件下观察，并检查施工记录。

**6.3.8** 植筋钻孔孔径允许偏差应满足表6.3.8-1的要求；钻孔深度、垂直度和位置允许偏差应满足表6.3.8-2的要求。

检查数量：每种规格植筋随机抽查5%，且不少于5根。

检验方法：量角规、靠尺、钢尺量测；重新钻孔时，尚应检查技术处理方案。

**表6.3.8-1 植筋钻孔孔径允许偏差（mm）**

|  |  |
| --- | --- |
| 钻孔直径（mm） | 孔径允许偏差（mm） |
| <14 | 0~+1.0 |
| 14~20 | 0~+1.5 |
| 22~32 | 0~+2.0 |

**表6.3.8-2 植筋钻孔深度、垂直度和位置的允许偏差（mm）**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 植筋部位 | 钻孔深度允许偏差  （mm） | 钻孔垂直度允许偏差  （mm/m） | 位置允许偏差  （mm） |
| 基 础 | 0~+20 | 50 | 10 |
| 上部构件 | 0~+10 | 30 | 5 |
| 连接节点 | 0~+5 | 10 | 5 |

注：当钻孔垂直度偏差超过允许值时，应由设计单位确认该孔洞是否可用；若需返工，应由施工单位提出技术处理方案，经设计单位认可后实施。对经处理孔洞，应重新检查验收。

*【条文说明】****6.3.8*** *本条规定的植筋钻孔的孔径允许偏差，及钻孔深度、垂直的和位置允许偏差，时参照《建筑结构加固工程施工质量验收规范》GB50550的有关规定制定。钻孔偏差以钻孔前或钻孔过程中使用的新钻头最大直径和钻孔后钻头为依据确定的。因为该直径对制定允许偏差较有参照价值，也便于复核设计的有关参数。同时，工程实践也表明，只要使用质量合格的钻头，一般孔径偏差均能控制在允许范围内。*

*另外，应指出的是，本标准对钻孔垂直度允许偏差的规定，系参照国内外施工经验制定的。以上部结构构件的钻孔为例，基本上是取倾斜角的为1.8º进行控制的。这对一般长度的钢筋是合适的，但在某些情况下可能偏严。为此，加上一注：当钻孔垂直度偏差较大时，该孔洞是否可用，应由设计单位进行确认。这也就意味着该允许偏差值可根据工程实际要求的控制程度进行调整*

**6.3.9** 植筋胶粘剂固化养护达到7d 的当日，应抽样进行现场锚固承载力检验。其检验方法及质量合格评定标准应符合现行行业标准《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ145的规定。

*【条文说明】****6.3.9*** *对现场拉拔检验不合格的植筋工程，若现场考察认为与胶粘剂质量有关，可委托当地具备检测资质的独立检测机构对锚固胶粘剂进行基本力学性能和施工性能的试验室检验与评定。其检验项目指标应符合现行国家标准《混凝土结构工程用锚固胶》GB/T 37127的有关规定。检查数量：每一检验项目的试件数量应按常规检验加倍。检验方法：按现行国家标准《混凝土结构工程用锚固胶》GB/T 37127和本规程规定的试验方法进行。若怀疑使用了劣质胶粘剂，尚应取样进行化学分析。一般情况下，宜在使用剩余的乙组分（固化剂）包装中取样，较为容易得到化验结果；只有在不得已的情况下，才对已固化的植筋进行抽样化验。*

# 附录A 植筋系统试验通用要求

## A.1 试验用混凝土试件和钢筋

**A.1.1** 试验用混凝土原材料应符合现行行业标准《混凝土用机械锚栓》JG/T 160的有关规定。

**A.1.2** 混凝土试件的强度应分为两种：抗压强度为30MPa±5MPa的低强度混凝土；抗压强度为60MPa±5MPa的高强度混凝土。

**A.1.3** 试件混凝土强度应符合下列规定：

1 试件混凝土抗压强度应依据同条件养护的混凝土立方体试块确定，混凝土的龄期不宜少于21d。

2 应在植筋试验的同时试压试块强度，同一龄期的试块数量不应少于3个，取3个试件混凝土实测强度的平均值作为试件的实测强度值，精确到0.1 N/mm2。

3当试验持续时间较长时，应在试验的开始、过程中和结束时分别试压试块强度。当连续两次试压试块的强度差不超过5MPa，可取强度的平均值作为试件混凝土抗压强度。

4 当对预留试块强度的代表性存疑时，应在混凝土试件上钻取芯样检测推定试件混凝土强度。

5 对试样进行约束拉拔后，均应根据相关要求对测试结果换算为指定混凝土强度对应的值。

*【条文说明】以上要求是参照GB/T 50107 《混凝土强度检验评定标准》5.2的相关规定。结合《混凝土用机械锚栓》JGJ/T160附录G和欧洲认证标准《混凝土后锚固植筋》EAD 330087附录B的有关规定。*

**A.1.4** 混凝土试件应无裂缝，且应符合下列规定：

1 混凝土试件宜为素混凝土，可适当配置构造钢筋，植筋的混凝土锥体顶点角120°范围内不宜布置钢筋。

2 混凝土试件宜水平浇筑，若垂直浇筑，浇筑的最大高度不应大于1.5m，且应均匀致密。

3 混凝土试件尺寸应满足下列要求：

1）混凝土试件最小厚度*h*min应满足下式要求：

*h*min ≥*l*v+2*D* (A.1.4)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: |  | — | 试件混凝土最小厚度（mm），取植筋方向的最小尺寸； |
|  |  | — | 用于植筋性能测试的植筋锚固长度（mm）； |
|  |  | — | 钻孔直径（mm）。 |

2）若混凝土试件是用来植入单一测试钢筋，则试件尺寸应保证植筋距试件边缘距离不宜小于*l*v且不应小于100mm。若混凝土试件中配置了构造钢筋，应保证钢筋不影响测试结果。

3）若混凝土试件是用来植入多根测试用钢筋，则试件尺寸除了符合上述要求外，还应保证任何相邻植筋的钢筋间距不应小于3.5*l*v。若混凝土试件中配置了构造钢筋，还应保证构造钢筋不影响测试结果。

**A.1.5** 测试用钢筋宜采用HRB600，钢筋相对肋面积*f*R应在0.05~0.10之间；测试用钢筋也可采用HRB500，应保证该牌号钢筋的钢筋相对肋面积*f*R与HRB600相同。

## A.2 钻头和钻孔

**A.2.1** 试验用钻头应使用生产商产品说明书规定的钻头；当未规定钻头时, 可选用符合现行行业标准《混凝土用机械锚栓》JG/T 160中规定的*d*m直径范围内的通用钻头；对于使用水钻钻孔的产品，应根据生产商的产品说明书钻孔，并按照试验要求进行干燥或湿润处理。

**A.2.2** 钻孔直径宜根据对应的钢筋或螺杆直径，应按本规程5.0.2的规定取用。

**A.2.3** 植筋钻孔孔径允许偏差、钻孔深度、垂直度和位置允许偏差应符合本规程第6.3.8条的规定。

## A.3 试验用仪器设备

**A.3.1** 植筋抗拉锚固性能试验应采用约束抗拉试验。可采用图A.3.1的试验装置。



**1—球铰；2—压力传感器；3—千斤顶；4—位移传感器；5—支撑；6—转接头；7—约束钢板；8—混凝土试件；9—植筋杆件；**

**图A.3.1 抗拉试验装置示意**

**A.3.2** 非约束抗拉试验应符合下列规定：

1 植筋与加载设备支撑点净距不应小于2*h*ef。

2 位移测量参考点与植筋净距不应小于1.5*h*ef。

3 荷载应通过铰接传递给植筋杆件。

4 在不受边距和间距影响的单钢筋试验中，中心距和中心到自由边缘的距离应足够大，以允许在混凝土中形成顶角为 120° 的不受限制的破坏锥体。

**A.3.3** 约束抗拉试验应符合下列规定：

1 应在反力架支撑脚下设置约束钢板，约束钢板应具有足够的刚度；

2 约束钢板中心孔直径应为植筋杆件直径的1.5倍~ 2.0 倍；

3 钢板下的混凝土压应力应小于混凝土抗压强度的0.7倍。

4 荷载应通过铰接传递给植筋杆件。

**A.3.4** 试验装置及设备应能连续平稳加载，加载速度可控，荷载施加设备应避免荷载突然增加。

**A.3.5** 抗震性能等专项试验宜采用电液伺服加载设备。

**A.3.6** 力值测量设备的系统误差不应大于±1.0%F.S，分辨率宜为0.1kN。

**A.3.7** 位移应连续记录，位移测量设备的系统误差不应大于±0.5%F.S，分辨率宜为0.02mm。

**A.3.8** 扭矩扳手的准确度宜优于±5%F.S。

## A.4 植筋安装

**A.4.1** 植筋应安装在混凝土试件的模板支撑，保证混凝土试件测试面平整光洁。

**A.4.2** 除有特殊要求的试验外，应采用植筋产品生产商产品说明书规定的安装工具，应按生产商产品说明书规定的方法对混凝土试件进行钻孔、清孔、注入胶粘材料，并应在允许安装温度对应的允许操作时间内植入钢筋。当生产商产品说明书未规定安装操作时间时，应在5min内植入钢筋。

**A.4.3** 混凝土上钻孔应垂直于混凝土试件表面，孔壁应整齐，孔径应准确。

**A.4.4** 试验用锤击钻钻头钻孔时的钻头直径应符合表A.4.4试验用钻头中等直径*d*m的相关要求，每完成10个钻孔应检查钻头直径是否符合要求，不符合时应更换钻头。

**表 A.4. 试验用钻头直径、偏差范围**

|  |  |
| --- | --- |
| 钻头公称直径 | 偏 差 范 围*d*m (mm) |
| 10 | 10.25～10.35 |
| 12 | 12.25～12.35 |
| 14 | 14.25～14.35 |
| 16 | 16.25～16.35 |
| 18 | 18.25～18.35 |
| 20 | 20.30～20.40 |
| 22 | 22.30～22.40 |
| 24 | 24.30～24.40 |
| 25 | 25.30～25.40 |
| 28 | 28.30～28.40 |
| 30 | 30.30～30.40 |
| 32 | 32.35～32.50 |

***【条文说明】A.4.4*** *表5.0.2规定了植筋规格对应的钻孔直径。钻孔直径应通过采用相同直径的钻头实现。本条规定了钻头直径的允许偏差。*

**A.4.5** 当植筋产品生产商在其产品说明书中同时允许采用电锤钻孔和水钻钻孔方式时，在试验时可只采用水钻钻孔或分别采用电锤钻孔和水钻钻孔方式，并应按照生产商说明书的要求进行孔洞干燥、打毛等处理。

**A.4.6** 除对养护温度和时间有特殊要求的试验外，植筋安装后应在常温下养护。养护时间不应少于生产商产品说明书规定的对应养护温度下胶粘材料的最短固化时间。

**A.4.7** 粘结材料在达到试验要求的固化时间前，应有防护措施保证植入的钢筋不受扰动。

## A.5 植筋系统试验内容

**A.5.1** 植筋系统试验应采用约束拉拔，约束钢板开孔直径宜为混凝土植筋孔洞直径的2倍。

**A.5.2** 植筋基准试验项目应符合表A.5.2的规定。

**表A.5.2 植筋基准试验项目**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试目的 | 混凝土  强度等级 | 钢筋直径*d* （mm） | 植筋长度 *l*v（mm） | 测试数量 |
| 荷载-位移性能可作为其它相关测试的基准参数 | C25 | 12、18、25 | 10*d* | 5 |
| C60 | 25 | 7*d* | 5 |

**A.5.3** 干燥混凝土清孔敏感性试验项目应符合表A.5.3 的规定。

**A.5. 3 植筋干燥混凝土清孔敏感性试验项目**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试目的 | 混凝土  强度等级 | 钢筋直径*d* （mm） | 植筋长度 *l*v（mm） | 测试数量 |
| 检验植筋系统在干燥混凝土条件下清孔质量对植筋系统承载力的影响 | C25 | 12、18、25 | 10*d* | 5 |

**A.5.4** 潮湿混凝土清孔敏感性试验项目应符合表A.5.4 的规定。

**表A.5.4 植筋潮湿混凝土清孔敏感性试验项目**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试目的 | 混凝土  强度等级 | 钢筋直径*d* （mm） | 植筋长度 *l*v（mm） | 测试数量 |
| 检验植筋系统在潮湿混凝土条件下清孔质量对植筋系统承载力的影响 | C25 | 12、18、25 | 10*d* | 5 |

**A.5.5** 垂直向上安装试验项目应符合表A.5.5的规定。

**表A.5.5 植筋垂直向上安装试验项目**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试目的 | 混凝土  强度等级 | 钢筋直径*d* （mm） | 植筋长度 *l*v（mm） | 测试数量 |
| 检验垂直向上安装条件对植筋系统承载力的影响 | C25 | 25 | 10*d* | 5 |

**A.5.6** 水平方向安装试验项目应符合表A.5.6的规定。

**表A.5.6 水平方向安装试验项目**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试目的 | 混凝土  强度等级 | 钢筋直径*d* （mm） | 植筋长度 *l*v（mm） | 测试数量 |
| 检验水平方向安装条件对植筋系统承载力的影响 | C25 | 25 | 10*d* | 5 |

**A.5.7** 常温下长期荷载性能试验项目应符合表A.5.7的规定。

**表A.5.7 常温下长期荷载性能试验项目**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试目的 | 混凝土  强度等级 | 钢筋直径*d* （mm） | 植筋长度 *l*v（mm） | 测试数量 |
| 检验植筋系统在常温条件下长期持续荷载下的徐变性能 | C25 | 12 | 10*d* | 5 |

**A.5.8** 最高长期使用温度下长期荷载性能试验项目应符合表A.5.8的规定。

**表A.5.8 最高长期使用温度下长期荷载性能试验项目**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试目的 | 混凝土  强度等级 | 钢筋直径*d* （mm） | 植筋长度 *l*v（mm） | 测试数量 |
| 检验植筋系统在最高长期使用温度条件下长期持续荷载下的徐变性能 | C25 | 12 | 10*d* | 5 |

**A.5.9** 植筋抗震性能试验项目应符合表A.5.9的规定。

**表A.5.9 植筋抗震性能试验项目**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试目的 | 混凝土  强度等级 | 钢筋直径*d* （mm） | 植筋长度 *l*v（mm） | 测试数量 |
| 检验、评估植筋系统承受地震作用时的锚固性能 | C20 | 12、18、25 | 7*d* | 5 |
| C60 | 7*d* | 5 |

**A.5.10** 最高使用温度试验项目应符合表A.5.10的规定。

**表A.5.10 最高使用温度试验项目**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 测试目的 | 混凝土  强度等级 | 钢筋直径*d* （mm） | 植筋长度 *l*v（mm） | 测试数量 |
| 检验植筋系统生产商规定的使用环境温度条件对植筋系统抗拉承载力的影响 | C25 | 12 | 10*d* | 5 |

**A.5.11** 植筋系统各项试验中，植筋长度可适当折减，以避免发生钢筋屈服或拉断破坏，但在每一项试验所有的测试中应采用统一的折减系数。

**A.5.12** 植筋系统试验的养护条件应为空气温度（23±2）℃，相对湿度（50±5）%。

# 附录B 植筋基准试验方法及评估

## B.1 基准试验流程

**B.1.1** 基准试验试样混凝土在完成养护后，应按本规程附录A进行植筋安装；当生产商允许采用任意钻孔方式安装植筋，则可只进行水钻钻孔条件下的试验，可不另外采用其它方式钻孔安装。

*【条文说明】****B.1.1*** *本规程允许植筋钻孔采用不同的钻孔方式，对于直径较大的钻孔，相对深度也会较深，采用传统锤击钻钻孔效率较低，这时可以考虑水钻钻孔。但是水钻钻孔通常孔壁光滑，这可能会对植筋的粘结强度有影响。因此，当生产商允许使用水钻钻孔时，应对其进行匹配的承载力测试。水钻钻孔可以被认为是最不利钻孔方式因为其孔壁较其它方式钻孔孔壁更光滑。这时可以只进行水钻钻孔条件下的植筋粘结强度测试，当然也可以根据不同的钻孔方式分别评估植筋的粘结强度。*

**B.1.2** 基准植筋试样应进行约束拉拔试验，试验应符合下列规定：

1 约束拉拔的试验装置可按本规程附录A采用。

2 荷载方向应与植筋保持同轴，加载应当连续平稳，加载时间（从开始加载至荷载到达最大值，直到破坏的时间）宜为1~3min。应连续记录荷载和位移，荷载和位移数据记录频率宜为3Hz~5Hz。

3 加载方式可采用位移控制或力值控制。采用位移控制方式时，在荷载到达最大值后，还应继续测试直到荷载-位移曲线至少达到最大荷载值的75%。

4 植筋相对于混凝土表面的位移可采用1个位移计来记录钢筋端部的位移，也可采用2个位移计，从钢筋两侧距离钢筋不小于1.5*l*v的地方同时记录钢筋位移，并以它们的平均值作为钢筋的位移代表值。

5 约束拉拔测试结束以后，应绘制荷载-位移曲线，记录破坏形式、裂缝宽度等。

## B.2 试验数据处理与评估

**Ⅰ 基准试验变异系数对应的折减系数**

**B.2.1** 基准试验变异系数对应折减系数的计算可按表B.2.1执行，计算流程应符合下列规定：

1 根据C25、C60基准试验条件下的极限荷载测试值，分别计算其变异系数、、和；

2 按本规程第B.2.2条计算每组基准试验变异系数对应的折减系数、、、；

3 按本规程第B.2.3条计算基准试验变异系数对应的折减系数*β*cv,r。

**表B.2.1 基准试验变异系数对应折减系数的计算**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 混凝土强度 | 钢筋直径 *d* （mm） | 极限荷载测试值 | 对应的变异系数 | 每组基准试验变异系数对应的折减系数 |
| C25 | 12 | *N*u,r,test,c25,d12-1 ~*N*u,r,test,c25,d12-5 |  |  |
| 18 | *N*u,r, test,c25,d18-1  ~*N*u,r,test,c25,d18-5 |  |  |
| 25 | *N*u,r, test,c25,d25-1  ~*N*u,r,test,c25,d25-5 |  |  |
| C60 | 25 | *N*u,r,test,c60,d25-1  ~*N*u,r,test,c60,d25-5 |  |  |

**B.2.2** 变异系数对应的折减系数、、、，应符合下列规定。

1 当变异系数不大于15%时，对应折减系数应取为1.0；

2 当变异系数大于15%且不大于20%， 对应折减系数应按下式计算：

(B.2.2)

式中：*i*—混凝土标号，分别为25、60；

*j*—钢筋直径，分别为12mm、18mm、25mm。

**B.2.3** 基准试验变异系数对应的折减系数*β*cv,r应按下式计算：

(B.2.3)

**Ⅱ 基准测试极限粘结强度平均值**

**B.2.4** 基准试验极限粘结强度平均值的计算可按表B.2.4执行，计算流程应符合下列规定：

1 根据C25、C60基准试验条件下的极限荷载测试值，可按照本规程第B.2.5条计算混凝土强度归一化处理后的极限荷载值，并计算各组的平均值；

2 按本规程第B.2.6条计算各组按钢筋相对肋面积归一化处理后的极限粘结强度；

3 按本规程第B.2.7条规定计算C25、C60条件下基准测试的极限粘结强度平均值。

**表B.2.4 基准试验极限粘结强度平均值计算**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 混凝土强度 | 钢筋直径*d* (mm) | 极限荷载测试值 | 按混凝土强度归一化处理后的极限荷载值 | 左侧荷载的平均值 | 按钢筋相对肋面积归一化处理后的极限粘结强度 | 极限粘结强度平均值*f*bm,r,c25或*f*bm,r,c60 |
| C25 | 12 | *N*u,r, test,c25,d12-1  ~ *N*u,r,test,c25,d12-5 | *N*u,r,c25,d12-1  ~*N*u,r,c25,d12-5 | *N*u,r,c25,d12,m | *f*u,r,c25,d12 | *f*bm,r,c25 |
| 18 | *N*u,r, test,c25,d18-1  ~*N*u,r,test,c25,d18-5 | *N*u,r,c25,d18-1  ~*N*u,r,c25,d18-5 | *N*u,r,c25,d18,m | *f*u,r,c25,d18 |
| 25 | *N*u,r, test,c25,d25-1  ~*N*u,r,test,c25,d25-5 | *N*u,r,c25,d25-1  ~ *N*u,r,c25,d25-5 | *N*u,r,c25,d25,m | *f*u,r,c25,d25 |
| C60 | 25 | *N*u,r, test,c60,d25-1  ~*N*u,r,est,c60,d25-5 | *N*u,r,c60,d25-1  ~*N*u,r,c60,d25-5 | *N*u,r,c60,d25,m | *f*u,r,c60,d25 | *f*bm,r,c60 |

**B.2.5** 根据基准试验的极限荷载测试值，可按下式计算混凝土强度归一化处理后的极限荷载值*N*u,r,c25,dj-k和*N*u,r,c60,d25-k：

（B.2.5-1）

（B.2.5-2）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: | *k* | — | 极限荷载测试值编号1~5； |
|  |  | — | 按混凝土强度归一化处理后的C25混凝土基准测试的极限荷载值（N）； |
|  |  | — | 按混凝土强度归一化处理后的C60混凝土基准测试的极限荷载值（N）； |
|  |  | — | C25混凝土基准测试的单个极限荷载测试值（N）； |
|  |  | — | C60混凝土基准测试的单个极限荷载测试值（N）； |
|  |  | — | 本次测试批次C25混凝土样品的实测强度（N/mm2）； |
|  |  | — | 本次测试批次C60混凝土样品的实测强度（N/mm2）； |
|  |  | — | C25混凝土的抗压强度标准值，取25N/mm2； |
|  |  | — | C60混凝土的抗压强度标准值，取60N/mm2； |

**B.2.6** 根据按混凝土强度归一化处理后的各组极限荷载平均值，由三种植筋直径12，18，25的相对肋面积，可按下式计算对应的按钢筋相对肋面积归一化处理后的极限粘结强度值：

（B.2.6-1）

（B.2.6-2）

（B.2.6-3）

（B.2.6-4）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: |  | — | 混凝土等级Ci及钢筋直径*d*j条件下，按钢筋相对肋面积归一化处理后的极限粘结强度值（N/mm2）； |
|  |  | — | 混凝土等级Ci及钢筋直径*d*j条件下，按混凝土强度归一化处理后的极限荷载值的平均值（N）； |
|  |  | — | 测试钢筋直径为*d*j时的相对肋面积，可参考现行国家标准《钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋》GB/T 1499.2的规定。 |

**B.2.7** 可按下式计算C25、C60条件基准试验的极限粘结强度平均值*f*bm,r,c25或*f*bm,r,c60：

(B.2.7-1)

(B.2.7-2)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: |  | — | 混凝土强度等级C25基准试验的极限粘结强度平均值（N/mm2）； |
|  |  | — | 混凝土强度等级C60基准试验的极限粘结强度平均值（N/mm2）。 |

**Ⅲ 粘结失效位移平均值**

**B.2.8** 粘结失效位移平均值的计算流程应符合下列规定：

1 应按团体标准《混凝土用胶粘型锚栓》T/CECS 10148-2021附录S.1 求出C25条件下直径12mm植筋的粘结失效荷载实测值*N*r,adh,test,c25,d12-k，并记录对应的粘结失效位移*s*r,adh,test,c25,d12-k；

2 按下式计算该粘结失效位移的平均值*s*r,adh,m：

(B.2.8)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: |  | — | 基准试验粘结失效位移平均值（mm）； |
|  |  | — | C25条件下直径12mm植筋的粘结失效荷载实测值对应的粘结失效位移, *k*=1~5。 |

**IV指定位移的粘结强度平均值**

**B.2.9** 指定位移的粘结强度平均值的计算可按表B.2.9执行，计算流程应符合下列规定：

1 依据本规程第B.2.10条，确定C25条件下直径12mm植筋的指定位移的荷载测试值*N*r,δ,test,c25,d12-k；

2 依据本规程第B.2.11条计算混凝土强度归一化处理后的对应荷载值，并计算其平均值；

3 依据本规程第B.2.12条计算按钢筋相对肋面积归一化处理后的指定位移的粘结强度平均值。

**表B.2.9 指定位移的粘结强度平均值计算**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 混凝土强度 | 钢筋直径 *d* (mm) | 指定位移的荷载测试值 | 按混凝土强度归一化处理后的荷载值 | 左侧荷载值的平均值 | 按钢筋相对肋面积归一化处理后的指定位移的粘结强度平均值 |
| C25 | 12 |  |  |  |  |

**B.2.10** C25条件下直径12mm植筋的指定位移的荷载测试值*N*r,δ,test,c25,d12-k，应符合下列规定。

1约束拉拔基准试验的位移-荷载曲线中，当极限荷载值对应的位移δ不大于1.5mm时，则指定位移的荷载测试值取该极限荷载值；

2 当极限荷载值对应的位移*δ*大于1.5mm时，指定位移的荷载测试值取位移为1.5mm时的荷载值。

**B.2.11** 混凝土强度归一化处理后的对应荷载值应按下式计算：

（B.2.11）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: |  | — | 按混凝土强度归一化处理后的指定位移荷载值（N）； |
|  |  | — | 指定位移的荷载测试值（N）； |
|  |  | — | 该批次C25混凝土样品实测强度（MPa）； |

**B.2.12** 按钢筋相对肋面积归一化处理后的指定位移的粘结强度平均值*f*bm,δ,c25应按下式计算：

（B.2.12）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: |  | — | C25混凝土基准试验（直径12mm植筋）归一化处理后指定位移荷载值的平均值（N）； |
|  |  | — | 以上指定位移对应的粘结强度平均值（N/mm2）； |
|  |  | — | 测试钢筋的相对肋面积，可参考现行国家标准《钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋》GB/T1499.2的规定。 |

**B.2.13**植筋系统的基准试验得到指定位移的粘结强度平均值应满足≥10.0 N/mm2。

# 附录C 干燥混凝土清孔敏感性试验方法与评估

## C.1 干燥混凝土清孔敏感性试验流程

**C.1.1** 试样应按照下列流程制作和安装：

1 按植筋孔径对应的直径*d*m钻头在混凝土上钻孔，钻孔深度宜为钢筋直径的10倍；

2 钻孔完成后，应按照生产商产品说明书要求的清孔次数的一半进行清孔，折减后的次数应向下修约到整数。当生产商产品说明书要求的清孔次数为4次吹孔2次刷孔，应按照2次吹孔1次刷孔进行清孔；当生产商产品说明书要求的清孔次数为3次吹孔2次刷孔，应按照1次吹孔1次刷孔进行清孔；当生产商产品说明书要求的清孔次数为2次吹孔1次刷孔，则应只进行1次吹孔不刷孔；当生产商的产品说明书要求使用真空吸尘钻头，钻孔和清孔操作同时完成，应将真空压力设定为指定压力范围的最小值；钻孔过程中不进行排尘操作，即不进行将钻头移出钻孔将灰尘排出的操作。

3按照生产商产品说明书的要求注入胶粘剂并完成植筋安装，养护时间不应小于生产商产品说明书要求的胶粘材料常温下最短固化时间。

**C.1.2**试验环境应为空气温度（23±2）℃，相对湿度（50±5）%。应分别对三种直径的植筋试样进行约束拉拔试验，记录其极限荷载测试值。

## C.2 干燥混凝土清孔敏感性植筋性能评估

**C.2.1**干燥混凝土清孔敏感性试验粘结强度平均值的计算可按表C.2.1执行，归一化计算方法可按本规程附录B执行。

**表C.2.1 干燥混凝土清孔敏感性试验粘结强度平均值计算**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 混凝土强度 | 钢筋直径*d* (mm) | 极限荷载测试值 | 按混凝土强度归一化处理后的荷载值 | 左侧荷载值的平均值 | 按钢筋相对肋面积归一化处理后的粘结强度平均值 | 干燥混凝土清孔敏感性试验的粘结强度平均值 |
| C25 | 12 | ~ | ~ |  |  |  |
| 18 | ~ | ~ |  |  |
| 25 | ~ | ~ |  |  |

**C.2.2**应根据三种钢筋直径对应的清孔条件下极限承载力测试值*N*u,dry,test,dj-k (*j*=12、18、25; *k*=1、2、3、4、5)，分别求得其变异系数、、。

**C.2.3** 三种钢筋直径变异系数对应的折减系数、、计算应符合下列规定。

1当变异系数不大于20%时，对应折减系数可取为1.0；

2当变异系数大于20%且不大于30%时， 对应折减系数应按下式计算。

(C.2.3)

式中：— 不同钢筋直径干燥清孔敏感性试验承载力变异系数对应的折减系数，*j*分别对应12mm、18mm和25mm。

**C.2.4**干燥混凝土清孔敏感性试验承载力变异系数对应的折减系数应按下式计算：

(C.2.4)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: |  | — | 干燥混凝土清孔敏感性试验承载力变异系数对应的折减系数。 |

**C.2.5** 干燥混凝土清孔敏感性试验的承载力折减系数应按下式计算：

(C.2.5)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: |  | — | 干燥混凝土清孔敏感性试验的承载力折减系数； |
|  |  | — | 干燥混凝土清孔敏感性试验的粘结强度（N/mm2）。 |

# 附录D 潮湿混凝土清孔敏感性试验方法与评估

## D.1 潮湿混凝土清孔敏感性试验流程

**D.1.1** 试样应按照下列流程制作和安装：

1 用0.5*d*m的钻头在试验位置钻取辅助孔，钻孔深度为钢筋直径的10倍；

2 在辅助孔内注满清水，并保持孔内满水状态8天，直到水已经渗透到距离孔中心1.5~2*d*m的范围内；

3 安装植筋前，将辅助孔内的水吸干；

4 用直径*d*m的钻头将辅助孔扩孔成为试验用孔，钻孔深度宜为钢筋直径的10倍；

5钻孔完成后，应按照本规程附录C的C.1.1第2条的规定进行清孔；

6 按照生产商产品说明书的要求注入胶粘剂并完成植筋安装，养护时间应不小于生产商产品说明书要求的胶粘材料常温下最短固化时间。

**D.1.2**试验环境应为空气温度（23±2）℃，相对湿度（50±5）%。应分别对三种直径的植筋试样进行约束拉拔试验，记录其极限荷载测试值。

## D.2 潮湿混凝土清孔敏感性试验植筋性能评估

**D.2.1**潮湿混凝土清孔敏感性试验粘结强度平均值的计算可按表D.2.1执行，归一化计算方法可按本规程附录B执行。

**表D.2.1 潮湿混凝土清孔敏感性试验粘结强度平均值计算**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 混凝土强度 | 钢筋直径*d* (mm) | 极限荷载测试值 | 按混凝土强度归一化处理后的荷载值 | 左侧荷载值的平均值 | 按钢筋相对肋面积归一化处理后的粘结强度平均值 | 潮湿混凝土清孔敏感性试验的粘结强度平均值 |
| C25 | 12 | ~ | ~ |  |  |  |
| 18 | ~ | ~ |  |  |
| 25 | ~ | ~ |  |  |

**D.2.2**应根据三种钢筋直径对应的潮湿孔洞下极限承载力测试值*N*u,t,w,test,dj-k (*j*=12、18、25; *k*=1、2、3、4、5)，分别求得其变异系数、、。

**D.2.3** 三种钢筋直径变异系数对应的折减系数、、的计算应符合下列规定。

1 当变异系数不大于20%时，对应折减系数可取为1.0；

2 当变异系数大于20%且不大于30%时， 对应折减系数应按下式计算。

(D.2.3)

式中：— 不同钢筋直径潮湿混凝土清孔敏感性试验承载力变异系数对应的折减系数，*j*分别对应12mm、18mm和25mm。

**D.2.4**潮湿混凝土清孔敏感性试验承载力变异系数对应的折减系数应按下式计算：

(D.2.4)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: |  | — | 潮湿混凝土清孔敏感性试验承载力变异系数对应的折减系数。 |

**D.2.5** 潮湿混凝土清孔敏感性试验的承载力折减系数应按下式计算：

(D.2.5)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: |  | — | 潮湿混凝土清孔敏感性试验的承载力折减系数； |
|  |  | — | 潮湿混凝土清孔敏感性试验的粘结强度（N/mm2）。 |

# 附录E 垂直向上安装试验方法与评估

## E.1 垂直向上安装试验流程

**E.1.1** 试样应按照下列流程制作和安装：

1 按植筋尺寸对应的钻头直径*d*m在混凝土上钻孔，钻孔深度宜为钢筋直径的10倍；

2 钻孔完成后，应按照生产商产品说明书的要求进行清孔；

3 采取垂直向上注胶的方式，按产品说明书要求向钻孔中注入胶粘剂并完成植筋安装；

4 按照生产商产品说明书的要求进行养护，养护时间应不小于生产商产品说明书要求的胶粘材料常温下最短固化时间。

**E.1.2** 试验环境为空气温度（23±2）℃，相对湿度（50±5）%。应对植筋试样进行约束拉拔试验，记录其极限承载力测试值。

## E.2 垂直向上安装植筋性能评估

**E.2.1**垂直向上安装试验的粘结强度的计算可参见表E.2.1，归一化计算方法可参考附录B。

**表E.2.1 垂直向上安装试验粘结强度平均值计算**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 混凝土强度 | 钢筋直径*d* (mm) | 极限荷载测试值 | 按混凝土强度归一化处理后的荷载值 | 左侧荷载值的平均值 | 按钢筋相对肋面积归一化处理后的粘结强度平均值 | 垂直向上安装植筋试验的粘结强度 |
| C25 | 25 | ~ | ~ |  |  |  |

**E.2.2**应根据垂直向上安装试验极限承载力测试值*N*u,up,test,d25-k (*k*=1、2、3、4、5)，求得其变异系数。

**E.2.3** 变异系数对应的折减系数的计算应符合下列规定。

1 当变异系数不大于20%时，对应折减系数可取为1.0；

2 当变异系数大于20%且不大于30%时， 对应折减系数应按下式计算。

(E.2.3)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: |  | — | 垂直向上安装试验的承载力变异系数对应的折减系数。 |

**E.2.4** 垂直向上安装试验承载力的折减系数应按下式计算：

(E.2.4)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: |  | — | 垂直向上安装试验的承载力折减系数； |
|  |  | — | 垂直向上安装试验的粘结强度（N/mm2）。 |

# 附录F 水平方向安装试验方法与评估

## F.1 水平方向安装试验流程

**F.1.1** 试样应按照下列流程制作和安装：

1 按植筋孔径对应的直径*d*m钻头在混凝土上钻孔，钻孔深度宜为钢筋直径的10倍；

2 钻孔完成后，应按照生产商产品说明书的要求进行清孔；

3 采取水平方向注胶的方式，按产品说明书要求向钻孔中注入胶粘剂并完成植筋安装；

4 按照生产商产品说明书的要求进行养护，养护时间应不小于生产商产品说明书要求的胶粘材料常温下最短固化时间。

**F.1.2** 试验环境应为空气温度（23±2）℃，相对湿度（50±5）%。应对植筋试样进行约束拉拔试验，记录其极限承载力测试值。

## F.2 水平方向安装植筋性能评估

**F.2.1**水平方向安装试验粘结强度的计算可参见表F.2.1，归一化计算方法可参考附录B。

**表F.2.1 水平方向安装试验粘结强度平均值计算**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 混凝土强度 | 钢筋直径*d* (mm) | 极限荷载测试值 | 按混凝土强度归一化处理后的荷载值 | 左侧荷载值的平均值 | 按钢筋相对肋面积归一化处理后的粘结强度平均值 | 垂直向上安装植筋试验的粘结强度 |
| C25 | 25 | ~ | ~ |  |  |  |

**F.2.2**应根据水平方向试验极限承载力测试值*N*u,hor,test,d25-k(*k*=1、2、3、4、5)，求得其变异系数。

**F.2.3** 变异系数对应的折减系数的计算应符合下列规定。

1 当变异系数不大于20%时，对应折减系数宜取为1.0；

2 当变异系数大于20%且不大于30%时， 对应折减系数应按下式计算。

(F.2.3)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: |  | — | 水平方向安装试验的承载力变异系数对应的折减系数。 |

**F.2.4**水平方向安装试验承载力的折减系数应按下式计算：

(F.2.4)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: |  | — | 水平方向安装条件试验的承载力折减系数； |
|  |  | — | 水平方向安装条件试验的粘结强度（N/mm2）。 |

# 附录G常温长期荷载性能试验方法与评估

## G.1常温长期荷载试验流程

**G.1.1** 试样应与基准试验同时进行植筋安装，养护时间不小于植筋系统生产商要求的胶粘材料常温下最短固化时间。

**G.1.2** 常温下长期荷载试验应符合下列规定：

1 在常温条件下，对植筋施加恒定拉伸荷载*Nsust*，可按照下式计算：

（G.1.2）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: |  | — | 长期荷载试验要求的恒定拉伸荷载（N）； |
|  |  | — | C25混凝土基准测试指定位移荷载对应的粘结强度平均值（N/mm2），≤10N/mm2； |
|  |  | — | 该批次混凝土试样的实测强度（N/mm2）； |

2 在与基准试验相同的环境条件下，应保持恒定拉伸荷载不小于90d，期间应记录位移变化，当观测到位移已经稳定下来，则在90d时可卸载，当位移还没有稳定，则应继续保持荷载，直到位移已经稳定；

3 试验中，对承受恒定拉伸荷载的植筋，应按下列时间间隔测量植筋位移：

1）第1h范围内：每10min进行一次测量；

2） 接下来的6h范围内：每1h进行一次测量；

3）接下来的10天范围内：每1d进行一次测量；

4）其余时间：每5d~10d进行一次测量。

4 试验中，对承受恒定拉伸荷载的植筋，应按下列要求判断植筋位移是否稳定：

1）至少最后三个月的记录位移数据应放到一个坐标曲线图中进行审核，横坐标为持续加载时间的对数，纵坐标为位移值的对数；

2）步骤1中的曲线显示为下凹形状，或接近于线性时，植筋位移可判定为稳定；

3）若不满足2的要求，则需要保持加载，直到满足为止；

5 若在测试中植筋的位移一直都无法达到稳定状态，可以选择重新测试，此时测试荷载可降低10%，即*N*sust, red. = 0.9*N*sust ；

6 位移已经稳定且加载时间达到90d以后，对植筋系统进行卸载；

7 试验环境应为空气温度（23±2）℃，相对湿度（50±5）%，应对试样进行长期荷载后的约束拉拔试验，测量剩余承载力的极限荷载值。

***【条文说明】****G.1.2该荷载可通过以下方式施加：液压千斤顶，弹簧或恒定重量块通过一个杠杆进行受力等。*

## G.2 常温下长期荷载性能评估

**G.2.1**常温下长期荷载性能试验粘结强度的计算可参见表G.2.1，归一化计算方法可参考附录B。

**表G.2.1 常温下长期荷载性能试验粘结强度计算**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 混凝土强度 | 钢筋直径*d* (mm) | 长期荷载后剩余承载力极限荷载测试值 | 按混凝土强度归一化处理后的极限荷载值 | 左列荷载的平均值 | 按钢筋相对肋面积归一化处理后的极限粘结强度 | 粘结强度 |
| C25 | 12 | *N*u,sust,test,c25,d12-1  ~*N*u,sust,test,c25,d12-5. | *N*u,sust,c25,d12-1  ~*N*u,sust,c25,d12-5. | *N*u,sust,c25,d12,m | *f*bm,sust,c25,d12 | *f*bm,sust,T1 =*f*bm,sust,c25,d12 |

**G.2.2**完成常温长期荷载试验后，应取最后不少于20个位移测量值及对应的时间进行数据回归，确定公式G.2.1的常量*a*、*b*、*s*0。

(G.2.2)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: | s(t) | — | 植筋长期荷载下的位移（mm）； |
|  |  | — | 常数，根据试验数据推算（mm）； |
|  |  | — | 常数，根据试验数据推算； |
|  |  | — | 恒定荷载加载时间，单位取小时（h）。 |

**G.2.3** 按照公式（G.2.2）推算出常温持荷条件下50年的植筋位移值，应小于基准试验中常温条件下对应的粘结失效位移*s*r,adh,m。若不满足要求，应重新进行试验，此时测试荷载可降低10%，即*N*sust, red. = 0.9*N*sust 。

**G.2.4** 长期荷载性能影响系数应符合下列规定：

1 常温条件下长期荷载剩余承载力折减系数*α*q,sust,T1应按下式计算：

(G.2.4-1)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: |  | — | 常温条件下长期荷载试验剩余承载力折减系数； |
|  |  | — | 长期荷载测试后植筋的粘结强度（N/mm2）。 |

2当测试过程中根据本规程G.1.3条或G.2.3条规定降低了施加的恒定荷载，则应按下式计算加载折减系数*α*p,sust,T1，若没有降低该恒定荷载，则取*α*p,sust,T1=1.0。

(G.2.4-2)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: |  | — | 常温条件下长期荷载试验测试荷载降低对应折减系数； |
|  |  | — | 折减后的测试荷载（N）； |
|  |  | — | 初始测试荷载，按本规程G.1.2条取用（N）。 |

3 考虑植筋系统在常温使用条件时长期持续拉力荷载下的植筋系统粘结强度的影响系数应按下式计算：

(G.2.4-3)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: |  | — | 常温条件下长期荷载试验的承载力折减系数。 |

# 附录H 最高长期使用温度下长期荷载性能试验方法与评估

## H.1 最高长期使用温度下长期荷载试验流程

**H.1.1**最高长期使用温度试验环境应为空气温度（T3±2）℃，相对湿度（50±10）%。最高长期使用温度T3可取50℃，植筋系统生产商也可采用其它自定义的温度作为其产品的最高长期使用温度。

**H.1.2**试样应与基准试验同时进行植筋安装，养护时间不小于植筋系统生产商要求的胶粘材料常温下最短固化时间。

**H.1.3** 最高长期使用温度下长期荷载试验应符合下列规定：

1 在常温条件下，对植筋施加恒定拉伸荷载*Nsust*，可按公式（G.1.2）计算；

2 将试样放置到最高长期使用温度试验环境条件下，应保持恒定拉伸荷载不小于90d，期间应记录位移变化，若观测到位移已经稳定下来，则在90d时可卸载；若位移还没有稳定，则应继续保持荷载，直到位移已经稳定；

3 试验中，对承受恒定拉伸荷载的植筋，应按下列时间间隔测量植筋位移：

1）第1h范围内：每10min进行一次测量；

2） 接下来的6h范围内：每1h进行一次测量；

3）接下来的10天范围内：每1d进行一次测量；

4）其余时间：每5d~10d进行一次测量。

4 试验中，对承受恒定拉伸荷载的植筋，应按下列要求判断植筋位移是否稳定：

1）记录下来的位移数据应放到一个坐标曲线图中进行审核。横坐标为持续加载时间的对数，纵坐标为位移值的对数；

2）步骤1中的曲线显示为下凹形状，或接近于线性时，植筋位移可判定为稳定；

3）若不满足2的要求，则需要保持加载，直到满足为止。

5 若在测试中植筋的位移一直都无法达到稳定状态，可以选择重新测试，此时测试荷载可降低10%，即*N*sust, red. = 0.9*N*sust；

6 位移已经稳定且加载时间达到90d以后，对植筋系统进行卸载。

## H.2最高长期使用温度下长期荷载性能评估

**H.2.1**最高长期使用温度下长期荷载性能试验粘结强度*f*bm,sust,T3的计算可按表H.2.1执行，归一化计算方法可按本规程附录F执行。

**表H.2.1 最高长期使用温度下长期荷载性能试验粘结强度计算**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 混凝土强度 | 钢筋直径*d* (mm) | 极限荷载测试值 | 按混凝土强度归一化处理后的极限荷载值 | 左侧荷载的平均值 | 按钢筋相对肋面积归一化处理后的极限粘结强度 | 粘结强度 |
| C25 | 12 | *N*u,sust,test,T3,c25,d12-1  ~ *N*u,sust,test,T3,c25,d12-5 | *N*u,sust,T3,c25,d12-1  ~ *N*u,sust,T3,c25,d12-5 | *N*u,sust,T3,c25,d12,m | *f*bm,sust,T3,c25,d12 | *f*bm,sust,T3 =  *f*bm,sust,T3,c25,d12 |

**H.2.2**完成最高长期使用温度长期荷载试验后，应取最后不少于二十个位移测量值及对应的时间进行数据回归，确定公式H.2.1的常量a、b、s0。

(H.2.2)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: | s(t) | — | 植筋长期荷载下的位移（mm）； |
|  |  | — | 常数，根据试验数据推算（mm）； |
|  |  | — | 常数，根据试验数据推算 |
|  |  | — | 恒定荷载加载时间，单位取小时（h）。 |

**H.2.3** 按照公式（H.2.2）推算出最高长期使用温度受荷条件下50年后的植筋位移值，应小于基准试验中常温条件下对应的粘结失效位移*s*r,adh,m。若不满足要求，应重新进行试验，此时测试荷载可降低10%，即*N*sust, red,T3 = 0.9*N*sust。

**H.2.4** 最高长期温度下长期荷载性能影响系数应符合下列规定:

1最高长期使用温度条件下长期荷载残余承载力折减系数*α*q,sust,T3应按下式计算：

(H.2.4-1)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: |  | — | 最高长期使用温度条件下长期荷载试验残余承载力对应折减系数； |
|  |  | — | 最高长期使用温度条件下长期荷载测试后的粘结强度，N/mm2。 |

2 当测试过程中根据本规程第H.1.3条或H.2.3条规定降低了施加的恒定荷载，则应按下式计算加载折减系数*α*p,sust,T3，当没有降低该恒定荷载，则取*α*p,sust,T3=1.0。

(H.2.4-2)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: |  | — | 最高长期使用温度条件下测试荷载折降对应的折减系数； |
|  |  | — | 折减后的测试荷载（N）。 |

3 考虑植筋系统在指定高温使用条件下长期持续拉力荷载下的植筋系统粘结强度的影响系数应按下式计算：

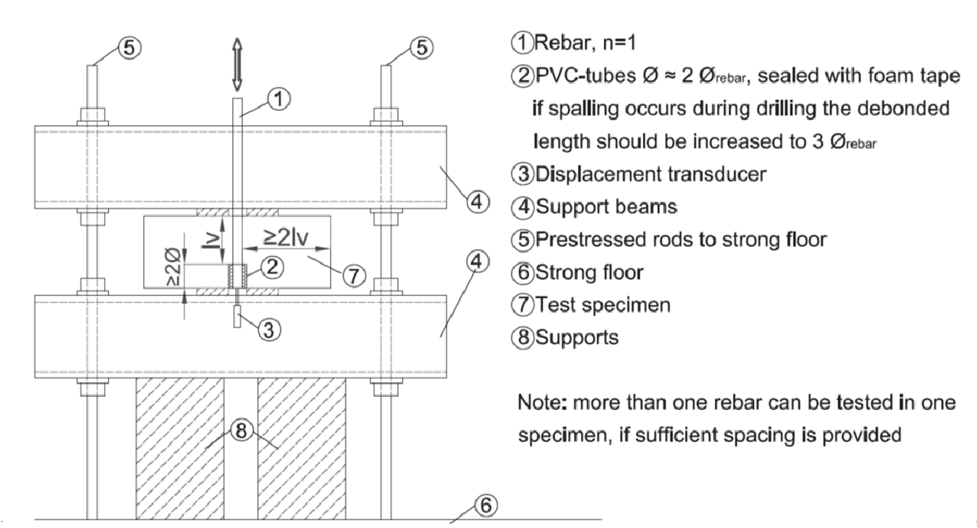
(H.2.4-3)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: |  | — | 指定高温条件下长期荷载试验的承载力折减系数。 |

# 附录J 植筋抗震性能试验方法与评估

## J.1 抗震试验的加载方式及流程

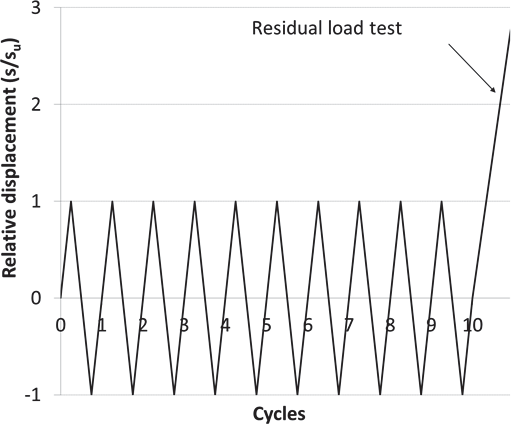
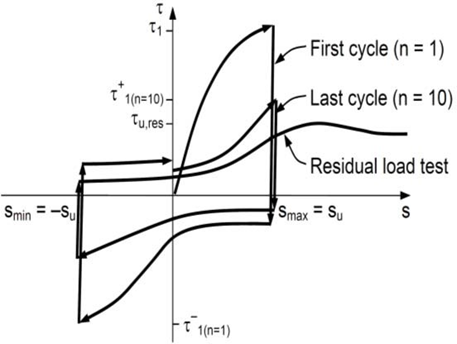
**J.1.1**植筋抗震性能试验可采用下图的试验装置。PVC管的直径宜为2倍钢筋直径，可采用胶带密封，当钻孔过程中发生孔底混凝土剥落时，PVC管长度应增加到3倍钢筋直径。当有足够的间距时，可在同一基材上进行多根植筋试验。



**1—植筋钢筋；2—PVC管； 3—位移传感器; 4—支撑钢梁；5—预应力连接杆；6—坚实地面；7—测试用混凝土基材；8—支撑物**

**图 J.1.1 在钢筋非加载端进行位移测量的拉拔试验装置示例**

**J.1.2** 抗震测试应以位移控制方式进行加载，按恒定的植筋滑移位移进行加卸载循环，位移应控制在+su(拉向)和-su(压向)之间，共进行10次位移循环（图J.1.2（a）），循环频率不应高于0.5 Hz。在试验过程中，应连续记录试件所受的荷载及相对于混凝土外固定点（位移测量基准点）的位移，并绘制荷载-位移曲线（图J.1.2（b））。

**（a）位移控制方式示意图 （b）典型荷载-位移滞回曲线（只显示了第1次和第10次循环）**

**图 J.1.2 位移控制方式加载示意图**

**J.1.3** 循环加载结束后，应测试残余承载力，并应记录在残余承载力测试中的荷载最大值及其对应的位移值。

**J.1.4** 循环加载过程所需的位移限值*s*u应按照表J.1.4取值。

**表J.1.4 位移限值su**

|  |  |
| --- | --- |
| 钢筋直径*d* (mm) | 位移限值*s*u (mm) |
| *＜* 25 | 1,5 |
| 25 | 2,0 |

## J.2 抗震试验结果记录和数据处理

**J.2.1** 试验完成后，应记录循环1、2、5、10结束时的加载荷载值*N*u,i (i=1、2、5、10)，以及残余承载力测试的荷载最大值*N*u,11和其对应位移值*δ*。

**J.2.2** 测试结果的记录可参照表J.2.2 。

**表J.2.2 抗震测试试验结果记录表**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 混凝土  强度 | 钢筋  直径  *d* (mm) | 循环1结束时的加载荷载值 (N) | 循环2结束时的加载荷载值(N) | 循环5结束时的加载荷载值(N) | 循环10结束时的加载荷载值 (N) | 残余承载力测试的最大荷载值(N) | 残余承载力测试的对应位移值 (mm) |
| C20 | 12 | Nu,1, test,c20,d12-1  ~  Nu,1, test,c20,d12-5 | Nu,2, test,c20,d12-1  ~  Nu,2, test,c20,d12-5 | Nu,5, test,c20,d12-1  ~  Nu,5, test,c20,d12-5 | Nu,10, test,c20,d12-1  ~  Nu,10, test,c20,d12-5 | Nu,11, test,c20,d12-1  ~  Nu,11, test,c20,d12-5 | δ11, test,c20,d12-1  ~  δ11, test,c20,d12-5 |
| 18 | Nu,1, test,c20,d18-1  ~  Nu,1, test,c20,d18-5 | Nu,2, test,c20,d18-1  ~  Nu,2, test,c20,d18-5 | Nu,5, test,c20,d18-1  ~  Nu,5, test,c20,d18-5 | Nu,10, test,c20,d18-1  ~  Nu,10, test,c20,d18-5 | Nu,11, test,c20,d18-1  ~  Nu,11, test,c20,d18-5 | δ11, test,c20,d18-1  ~  δ11, test,c20,d18-5 |
| 25 | Nu,1, test,c20,d25-1  ~  Nu,1, test,c20,d25-5 | Nu,2, test,c20,d25-1 ~  Nu,2, test,c20,d25-5 | Nu,5, test,c20,d25-1 ~  Nu,5, test,c20,d25-5 | Nu,10, test,c20,d25-1 ~  Nu,10, test,c20,d25-5 | Nu,11, test,c20,d25-1 ~  Nu,11, test,c20,d25-5 | δ11, test,c20,d25-1 ~  δ11, test,c20,d25-5 |
| C60 | 12 | Nu,1, test,c60,d12-1  ~  Nu,1, test,c60,d12-5 | Nu,2, test,c60,d12-1 ~  Nu,2, test,c60,d12-5 | Nu,5, test,c60,d12-1 ~  Nu,5, test,c60,d12-5 | Nu,10, test,c60,d12-1 ~  Nu,10, test,c60,d12-5 | Nu,11, test,c60,d12-1 ~  Nu,11, test,c60,d12-5 | δ11, test,c60,d12-1  ~  δ11, test,c60,d12-5 |
| 18 | Nu,1, test,c60,d18-1  ~  Nu,1, test,c60,d18-5 | Nu,2, test,c60,d18-1 ~  Nu,2, test,c60,d18-5 | Nu,5, test,c60,d18-1 ~  Nu,5, test,c60,d18-5 | Nu,10, test,c60,d18-1 ~  Nu,10, test,c60,d18-5 | Nu,11, test,c60,d18-1 ~  Nu,11, test,c60,d18-5 | δ11, test,c60,d18-1 ~  δ11, test,c60,d18-5 |
| 25 | Nu,1, test,c60,d25-1  ~  Nu,1, test,c60,d25-5 | Nu,2, test,c60,d25-1 ~  Nu,2, test,c60,d25-5 | Nu,5, test,c60,d25-1 ~  Nu,5, test,c60,d25-5 | Nu,10, test,c60,d25-1 ~  Nu,10, test,c60,d25-5 | Nu,11, test,c60,d25-1 ~  Nu,11, test,c60,d25-5 | δ11, test,c60,d25-1 ~  δ11, test,c60,d25-5 |

注：每种钢筋直径在对应测试条件下有5个测试数据。

**J.2.3** 测试荷载值*N*u,i,test,c20,dj 及*N*u,i,test,c60,dj应进行归一化换算，对应混凝土抗压强度C20的荷载值*N*u,i,c20,dj，可按公式（J.2.3-1）计算，对应混凝土抗压强度C60的荷载值*N*u,i,c60,dj，可按公式（J.2.3-2）计算。

（J.2.3-1）

（J.2.3-2）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: |  | — | 归一化换算后的C20混凝土试样对应荷载值（N）； |
|  | *N*u,i,c60,dj | — | 归一化处理后的C60混凝土试样对应荷载值（N）； |
|  |  | — | 抗震测试得到的C20混凝土试样荷载测试值（N）； |
|  |  | — | 抗震测试得到的C60混凝土试样荷载测试值（N）； |
|  |  | — | 该批次混凝土样品实测强度（MPa）； |
|  |  | — | C20混凝土的抗压强度标准值，取20N/mm2； |
|  |  | — | C60混凝土的抗压强度标准值, 取60N/mm2； |
|  | *i* | — | 指定循环数，*i*=1、2、5、10、11。 |

## J.3 植筋抗震性能评估

**J.3.1** 植筋抗震性能评估应包含测试结果离散性评估和粘结强度评估两部分。

**J.3.2** 测试结果离散性评估应按以下流程进行。

1 对于C20及C60试件，应根据三种钢筋直径对应的承载力测试值*N*u,i,test，分别计算其变异系数，变异系数宜按照表J.3.2-1进行汇总。

**表J.3.2-1 测试结果变异系数汇总**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 混凝土强度 | 钢筋直径*d* (mm) | 循环1结束时加载荷载的变异系数 | 循环2结束时加载荷载的变异系数 | 循环5结束时加载荷载的变异系数 | 循环10结束时加载荷载的变异系数 | 残余承载力测试的荷载变异系数 | 残余承载力测试的位移值变异系数 |
| C20 | 12 | ѵ1,test,c20,d12 | ѵ2,test,c20,d12 | ѵ5,test,c20,d12 | ѵ10 test,c20,d12 | ѵ11, test,c20,d12 | ѵ11δ, test,c20,d12 |
| 18 | ѵ1,test,c20,d18 | ѵ2,test,c20,d18 | ѵ5,test,c20,d18 | ѵ10,test,c20,d18 | ѵ11,test,c20,d18 | ѵ11δ,test,c20,d18 |
| 25 | ѵ1,test,c20,d25 | ѵ2, test,c20,d25 | ѵ5,test,c20,d25 | ѵ10, test,c20,d25 | ѵ11,test,c20,d25 | ѵ11δ,test,c20,d25 |
| C60 | 12 | ѵ1,test,c60,d12 | ѵ2,test,c60,d12 | ѵ5,test,c60,d12 | ѵ10 test,c60,d12 | ѵ11, test,c60,d12 | ѵ11δ, test,c60,d12 |
| 18 | ѵ1,test,c60,d18 | ѵ2,test,c60,d18 | ѵ5,test,c60,d18 | ѵ10,test,c60,d18 | ѵ11,test,c60,d18 | ѵ11δ,test,c60,d18 |
| 25 | ѵ1,test,c60,d25 | ѵ2, test,c60,d25 | ѵ5,test,c60,d25 | ѵ10, test,c60,d25 | ѵ11,test,c60,d25 | ѵ11δ,test,c60,d25 |

注：基于每种钢筋直径在对应测试条件下的5个测试数据，按正态分布来计算其变异系数。

2 根据各个循环后对应的变异系数，相应折减系数及的取值应符合下列规定。

1）当某规格钢筋的残余承载力测试的位移值变异系数大于40%时，则应增加该钢筋直径的测试数量，直到求得的变异系数不大于40%；

2）当某规格钢筋的荷载变异系数大于30%时，则应增加该钢筋直径的测试数量，直到求得的变异系数不大于30%；

3）当荷载变异系数不大于20%时，则对应折减系数或取为1.0；

4）当荷载变异系数大于20%且不大于30%时， 则对应的折减系数及应按下式计算。

(J.3.2-1)

(J.3.2-2)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: |  | — | C20混凝土强度下三种钢筋直径在指定循环后加载荷载值的变异系数对应的折减系数 |
|  |  | — | C60混凝土强度下三种钢筋直径在指定循环后加载荷载值的变异系数对应的折减系数 |
|  | *i* | — | 指定循环数，*i*=1、2、5、10、11 |

5）变异系数对应的折减系数可按表J.3.2-2汇总。

**表J.3.2-2 变异系数对应折减系数汇总**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 混凝土强度 | 钢筋直径 *d* (mm) | 循环1变异系数对应折减系数 | 循环2变异系数对应折减系数 | 循环5结束变异系数对应折减系数 | 循环10变异系对应折减系数 | 残余承载力测试变异系数对应折减系数 | 按钢筋规格对应折减系数的平均值 |
| C20 | 12 | β1,cv, seis,c20,d12 | β2,cv, seis,c20,d12 | β5,cv, seis,c20,d12 | β10,cv, seis,c20,d12 | β11,cv, seis,c20,d12 | βm,cv, seis,c20,d12 |
| 18 | β1,cv,seis,c20,d18 | β2,cv,seis,c20,d18 | β5,cv,seis,c20,d18 | β10,cv,seis,c20,d18 | β11,cv,seis,c20,d18 | βm,cv,seis,c20,d18 |
| 25 | β1,cv, seis,c20,d25 | β2,cv, seis,c20,d25 | β5,cv, seis,c20,d25 | β10,cv, seis,c20,d25 | β11,cv, seis,c20,d25 | βm,cv, seis,c20,d25 |
| C60 | 12 | β1,cv, seis,c60,d12 | β2,cv, seis,c60,d12 | β5,cv, seis,c60,d12 | β10,cv, seis,c60,d12 | β11,cv, seis,c60,d12 | βm,cv, seis,c60,d12 |
| 18 | β1,cv,seis,c60,d18 | β2,cv,seis,c60,d18 | β5,cv,seis,c60,d18 | β10,cv,seis,c60,d18 | β11,cv,seis,c60,d18 | βm,cv,seis,c60,d18 |
| 25 | β1,cv, seis,c60,d25 | β2,cv, seis,c60,d25 | β5,cv, seis,c60,d25 | β10,cv, seis,c60,d25 | β11,cv, seis,c60,d25 | βm,cv, seis,c60,d25 |

注：根据钢筋直径归类求平均值。

**J.3.3** C20及C60混凝土条件下最终的测试结果离散性折减系数可分别按公式(J.3.3-1)及(J.3.3-2)计算。

(J.3.3-1)

(J.3.3-2)

**J.3.4** 混凝土粘结强度评估应按以下流程进行。

1 应根据J.2.2 中归一化处理后的抗震试验后荷载值，按钢筋种类和循环数分别计算各组的荷载平均值，宜按照表J.3.4-1进行汇总。

**表J.3.4-1 抗震荷载平均值汇总**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 混凝土强度 | 钢筋  直径  *d* (mm) | 循环1结束时的加载荷载值 (N) | 循环2结束时的加载荷载值(N) | 循环5结束时的加载荷载值(N) | 循环10结束时的加载荷载值 (N) | 残余承载力测试的荷载平均值 (N) |
| C20 | 12 | Num,1,c20,d12 | Num,2,c20,d12 | Num,5,c20,d12 | Num,10,c20,d12 | Num,11,c20,d12 |
| 18 | Num,1,c20,d18 | Num,2,c20,d18 | Num,5,c20,d18 | Num,10,c20,d18 | Num,11,c20,d18 |
| 25 | Num,1,c20,d25 | Num,2,c20,d25 | Num,5,c20,d25 | Num,10,c20,d25 | Num,11,c20,d25 |
| C60 | 12 | Num,1,c60,d12 | Num,2,c60,d12 | Num,5,c60,d12 | Num,10,c60,d12 | Num,11,c60,d12 |
| 18 | Num,1,c60,d18 | Num,2,c60,d18 | Num,5,c60,d18 | Num,10,c60,d18 | Num,11,c60,d18 |
| 25 | Num,1,c60,d25 | Num,2,c60,d25 | Num,5,c60,d25 | Num,10,c60,d25 | Num,11,c60,d25 |

注：以上平均值均基于归一化处理后的数据。

2 C20及C60试件测试粘结强度值应分别按照公式（J.3.4-1）及（J.3.4-2）计算：

（J.3.4-1）

（J.3.4-2）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: |  | — | C20混凝土试样抗震试验粘结强度平均值（N/mm2）； |
|  |  | — | C60混凝土试样抗震试验粘结强度平均值（N/mm2）； |
|  |  | — | C20混凝土试样抗震试验荷载平均值（N）； |
|  |  | — | C60混凝土试样抗震试验荷载平均值（N）； |
|  | *i* | — | 指定循环数，*i*=1、2、5、10、11。 |

3 抗震试验的测试粘结强度宜按照表J.3.4-2进行汇总。

**表J.3.4-2 抗震测试粘结强度汇总**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 混凝土强度等级 | 钢筋  直径  *d* (mm) | 循环1结束时的测试粘结强度 | 循环2结束时的测试粘结强度 | 循环5结束时的测试粘结强度 | 循环10结束时的测试粘结强度 | 循环11结束时的测试粘结强度 |
| C20 | 12 |  |  |  |  |  |
| 18 |  |  |  |  |  |
| 25 |  |  |  |  |  |
| C60 | 12 |  |  |  |  |  |
| 18 |  |  |  |  |  |
| 25 |  |  |  |  |  |

注：测试粘结强度由归一化处理后的荷载值计算得出。

4 C20及C60试件粘结强度对应的折减系数应分别按照公式（J.3.4-3）及（J.3.4-4）计算。

（J.3.4-3）

（J.3.4-4）

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: |  | — | C20混凝土试样抗震试验粘结强度对应折减系数； |
|  |  | — | C60混凝土试样抗震试验粘结强度对应折减系数； |
|  |  | — | C20混凝土试样抗震试验测试粘结强度平均值（N/mm2）； |
|  |  | — | C60混凝土试样抗震试验测试粘结强度平均值（N/mm2）； |
|  |  | — | 基准粘结强度，可取8.6N/mm2； |
|  |  | — | 基准粘结强度，可取18.4N/mm2； |
|  |  | — | 预埋钢筋粘结强度退化系数。*i*=1时，取1.00；*i*=2时，取0.55；*i*=5时，取0.35；*i*=10时，取0.25；*i*=11时，取0.40； |
|  | *i* | — | 指定循环数，*i*=1、2、5、10、11。 |

5 抗震试验后的测试粘结强度对应折减系数宜按照表J.3.4-3进行汇总。并应计算对应钢筋直径的折减系数平均值。

**表J.3.4-3 抗震测试粘结强度对应折减系数**

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 混凝土强度等级 | 钢筋  直径  *d* (mm) | 循环1 | 循环2 | 循环5 | 循环10 | 循环11 | 折减系数平均值 |
| C20 | 12 |  |  |  |  |  |  |
| 18 |  |  |  |  |  |  |
| 25 |  |  |  |  |  |  |
| C60 | 12 |  |  |  |  |  |  |
| 18 |  |  |  |  |  |  |
| 25 |  |  |  |  |  |  |

6 C20及C60试件抗震试验的粘结强度对应的总折减系数应分别按照公式（J.3.4-5）及（J.3.4-6）计算：

(J.3.4-5)

(J.3.4-6)

**J.3.5** 综合抗震测试结果离散性和粘结强度的总折减系数应符合下列规定：

1 C20混凝土的抗震性能折减系数

≤1.0 (J.3.5-1)

2 C60混凝土的抗震性能折减系数

≤1.0 (J.3.5-2)

3 综合抗震测试结果离散性和粘结强度的总折减系数应按照下式计算：

} ≤1.0 (J.3.5-3)

# 附录K最高使用温度试验方法与评估

## K.1最高使用温度试验流程

**K.1.1**最高使用温度试验环境应为空气温度（T4±2）℃，相对湿度（50±10）%。植筋系统生产商可根据产品使用环境定义温度条件。

*【条文说明】该试验与评估可作为高温适用胶粘剂粘结强度折减系数的评定也可作为火灾下植筋承载力设计中植筋粘结强度的取值参考依据。当作为火灾下植筋粘结强度的取值参考时，应根据火灾下植筋所处环境实际温度条件设定试验环境温度。对于梯度温度可采用分段取值逐一测试的方式评定不同温度下的粘结强度折减系数。*

**K.1.2**试样应与基准试验同时进行植筋安装，养护时间不小于植筋系统生产商要求的胶粘材料常温下最短固化时间。

**K.1.3**最高使用温度试验应符合下列规定。

1 以20℃/h的升温速度将试样所处环境温度升温至规定的最高使用温度，并应保持24h，温度允许波动范围为±2℃；

2 应在试验温度（T4±2）℃的环境中，进行约束拉伸试验，记录其极限承载力测试值。

## K.2 最高使用温度下的植筋性能评估

**K.2.1** 最高使用温度试验的粘结强度 *f*bm,T4的计算可参见表K.2.1，归一化计算方法可参考附录B。

**表K.2.1 最高使用环境温度试验粘结强度计算**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 混凝土强度 | 钢筋  直径  *d* (mm) | 极限荷载测试值 | 按混凝土强度归一化处理后的极限荷载值 | 左侧荷载的平均值 | 按钢筋相对肋面积归一化处理后的极限粘结强度 | 粘结强度 |
| C25 | 12 | *N*u,T4,test,c25,d12-1  ~*N*u,T4,test,c25,d12-5 | *N*u,T4,c25,d12-1  ~*N*u,T4,c25,d12-5 | *N*u,T4,c25,d12,m | *f*bm,T4,c25,d12 | *f*bm,T4 =  *f*bm,T4,c25,d12 |

**K.2.2** 可按下式计算植筋系统的在给定使用温度环境下的承载力折减系数*α*T4：

(K.2.2)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: |  | — | 植筋系统的使用环境温度折减系数； |
|  |  | — | 最高使用温度试验后极限承载力归一化处理后的粘结强度（N/mm2）； |

**K.2.2** 应根据测得的最高使用温度条件下极限承载力测试值*N*u,T4,test,c25,d12-k，计算其变异系数。

**K.2.3** 变异系数对应的折减系数的取值应符合下列规定。

1 当变异系数不大于20%时，则对应折减系数取为1.0；

2 当变异系数大于20%且不大于30%时， 则对应折减系数应按下式计算：

(K.2.3)

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 式中: |  | — | 植筋系统的最高使用温度下承载力变异系数对应的折减系数； |

# 本规程用词说明

1 为便于在执行本标准条文时区别对待，对执行标准严格程度的用词说明如下：

1）表示很严格，非这样做不可的：

正面词采用“必须”，反面词采用“严禁”；

2）表示严格，在正常情况下均应这样做的：

正面词采用“应”，反面词采用“不应”或“不得”；

3）表示允许稍有选择，在条件许可时首先应这样做的：

正面词采用“宜”，反面词采用“不宜”；

4）表示有选择，在一定条件下可以这样做的，采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为：“应符合……的规定”或“应按……执行”。

引用标准名录

1 《钢筋混凝土用钢 第2部分：热轧带肋钢筋》GB 1499.2

2 《低合金高强度结构钢》GB/T 1591

3 《混凝土结构工程用锚固胶》GB/T 37127

4 《混凝土结构设计规范》GB50010

5 《混凝土结构加固设计规范》GB50367

6 《建筑工程加固工程施工质量验收规范》GB 50550

7 《混凝土结构后锚固技术规程》JGJ 145

8 《混凝土用机械锚栓》JG/T 160