

· 土 建 ·



# 中美植筋锚固技术对比分析

刘树明<sup>1</sup>, 丁志全<sup>1</sup>, Amziane Mohamed Najib<sup>2</sup>

(1. 中交第四航务工程勘察设计院有限公司, 广东 广州 510320;

2. Conseil, Ingenierie and Developpement, Rabat, B.P 1340)

**摘要:** 为了对比中美植筋锚固技术规范中的异同, 并为今后国际结构加固工程设计提供参考经验, 结合摩洛哥某电厂改造项目, 从植筋锚固构造要求和承载力设计值两个方面进行对比分析, 并介绍了按美标规范进行的植筋锚固施工。研究发现: 中美规范对植筋锚固技术的构造要求大体相同; 但与美标相比, 按中标计算的抗拉和抗剪承载力设计值偏保守。

**关键词:** 植筋锚固; 构造要求; 承载力设计值

中图分类号: TU 318.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2014)02-0155-05

## Comparison of adhesive anchor technology between Chinese and American codes

LIU Shu-ming<sup>1</sup>, DING Zhi-quan<sup>1</sup>, Mohamed Najib Amziane<sup>2</sup>

(1. CCCC-FHDI Engineering Co., Ltd., Guangzhou 510230, China; 2. Conseil, Ingenierie and Developpement, Rabat, B.P 1340, Morocco)

**Abstract:** In order to compare the differences of the anchoring technology between Chinese and American codes, and to provide the reference for the future international concrete structure reinforcement design, the configuration requirements and bearing capacity between the two are compared and analyzed. Besides, the adhesive anchoring construction is introduced as per American codes. It is found that the configuration requirements are almost the same, but compared with the American standards, the tensile bearing capacity and shear bearing capacity are more conservative in Chinese codes.

**Key words:** adhesive anchor; configuration requirements; designed bearing capacity

近年来, 由于化学植筋工艺简单、锚固快捷、安全可靠, 因此在国内外混凝土结构改造、扩建、加固和维修中被大量应用。中国规范在参考了ACI318、ICBO和EOTA等基础上, 结合我国试验数据和工程经验, 对相关内容做了一些调整和简化。但随着民用及工业结构设计走出国门, 中国工程结构设计人员发现, 在习惯中标设计思维后, 很难系统地运用美标进行结构加固设计。基于此, 本文结合摩洛哥某电厂加固工程实例, 从化学植筋构造要求和承载能力设计的角度, 对比分析中标和美标两者的不同之处, 以便于该项

目顺利开展, 同时也为今后国际结构加固设计提供参考。

### 1 符号说明

除特殊注明外, 文中有关中标和美标的符号详见GB 50367—2006<sup>[1]</sup>(简称GB 50367)、JGJ 145—2004<sup>[2]</sup>(简称JGJ 145)、ACI355.4M-11<sup>[3]</sup>(简称ACI355.4M)和ACI318-11<sup>[4]</sup>(简称ACI318)中的说明。

文中出自GB 50367和JGJ 145中的符号如下:  
 $h_{\min}$ 为混凝土构件最小厚度;  $l_d$ 为植筋锚固深度设

收稿日期: 2013-11-12

作者简介: 刘树明(1968—), 男, 硕士, 高级工程师, 从事建筑设计管理工作。

计值； $D$ 为钻孔径； $d$ 为钢筋直径； $l_s$ 为植筋的基本锚固深度； $N_{Rd,s}$ 为单根锚栓受拉承载力设计值； $A_s$ 为锚栓应力截面面积； $f_{stk}$ 为锚栓极限抗拉强度标准值； $\gamma_{RS,N}$ 为锚栓破坏时受拉承载力分项系数； $f_{yk}$ 为锚栓屈服强度标准值； $V_{Rd,s}$ 为锚栓破坏时的受剪承载力； $\gamma_{RS,V}$ 为锚栓破坏时受剪承载力分项系数。

文中出自ACI355.4M和ACI318中的符号如下： $h_{min}$ 为混凝土构件最小厚度； $h_{ef}$ 为锚栓有效锚固深度； $d_0$ 为钻孔径； $\Delta h$ 为锚栓端部距远端混凝土表面距离； $d_a$ 为钢筋直径； $N_{sa}$ 为单根锚栓受拉承载力标准值； $A_{se,N}$ 为锚栓有效横截面面积； $f_{uta}$ 为锚栓极限抗拉强度标准值； $f_{ya}$ 为锚栓屈服强度标准值； $\phi$ 为强度折减系数； $V_{sa}$ 为锚栓破坏时的受剪承载力； $A_{se,V}$ 为有效抗剪横截面积。

## 2 植筋构造要求

### 2.1 基材混凝土强度和厚度

混凝土强度过低时，锚筋容易出现拔出破坏，GB 50367中12.1.2规定，采用植筋锚固技术时，当新增构件为悬挑结构构件时其原构件的混凝土强度等级不得低于C25；当新增构件为其它结构时，其原构件的混凝土强度等级不得低于C20；JGJ 145中3.1.3规定基材混凝土强度等级不应低于C20。ACI355.4M中4.3.4和4.3.5规定混凝土圆柱体强度最小值为17 MPa，略大于国标立方体强度C20。

当基材混凝土厚度过小时，锚筋在拉力作用下会导致混凝土开裂，达不到充分利用基材混凝土强度的目的。GB 50367中12.3.5规定最小基材厚度 $h_{min}=l_d+2D$ 。ACI355.4M中10.7规定最小混凝土厚度 $h_{min}=h_{ef}+\Delta h\geq 50\text{ mm}$ ， $\Delta h\geq 2d_0\geq 30\text{ mm}$ ，即 $h_{min}\geq h_{ef}+2d_0$ 。

对比可知，中美规范中规定最小混凝土强度几乎一致，最小基材厚度大小相同。

### 2.2 植筋深度

锚固深度是影响植筋抗拔承载力极限值的一个重要因素。试验表明，深度不同时，其抗拔承载力极限值也不相同，而且不同的深度将得到不同的破坏形态。根据GB 50637中12.3.1规定，

当按构造要求植筋时，其最小锚固长度应符合如下构造要求：受拉钢筋锚固时，最小锚固长度为 $\max\{0.3l_s;10d;100\text{ mm}\}$ ；受压钢筋锚固时，最小锚固长度为 $\max\{0.6l_s;10d;100\text{ mm}\}$ 。考虑抗震要求时锚筋塑性变形，根据JGJ 145表7.0.3，除混凝土等级不小于C40的最小有效锚固深度要求不小于 $21d$ 外，其余均大于 $21d$ ；则在考虑粘接破坏形式下，最大锚固深度不大于 $20d$ （系数取整）。

ACI355.4M中1.2.1规定在粘接破坏形式下，最小锚固深度不小于 $4d_a$ 或41 mm；最大锚固深度不大于 $20d$ ；则在考虑锚筋塑性变形时，其最小锚固深度为不小于 $21d_a$ （系数取整）。

对比可知，在粘接破坏形式下，美标中最小植筋深度小于中标，但该破坏形式下最大值相同，均为20倍直径；在考虑锚筋塑性变形时，中标和美标中规定出现塑性变形最小植筋深度均为不小于21倍钢筋直径。

### 2.3 植筋间距和边距

当边距过小，在钻孔时容易使边缘混凝土开裂破坏；植筋的间距过小，混凝土破坏锥体相互交叉，导致承载能力下降；间距增大，破坏荷载也升高。

JGJ 145中8.0.2规定，植筋间距和边距应由厂家通过国家授权的检测机构检验分析后给定，否则均不应小于 $5d$ 。

ACI318中R8.1规定对于后锚筋，最大植筋间距不小于 $6d_a$ ；D8.2规定植筋边距不小于 $6d_a$ 。由于钻孔会使混凝土出现微裂缝，最小边距同时需要不小于2倍最大骨料植筋，以减小出现微裂缝的影响。

对比可知，中标规定的最小间距和边距均小于美标中的相应规定。

### 2.4 钢筋直径和钻孔孔径

用于植筋的钢筋直径越大，相对粘结面积越小，就越不利于抗拔极限强度的发挥；直径越小，粘接面积越大，就越不利于粘接强度的有效利用。钻孔孔径大小也对钢筋抗拔极限强度和锚固胶粘接强度的发挥影响较大。

中标没有规定最小和最大直径，但是根据GB 50367表12.3.5可知推荐最小植筋直径为

12 mm, 最大钢筋直径为32 mm; 钻孔直径设计值约为 $1.25d$ ; JGJ 145表5.3.1中抗剪锚筋最小为6 mm。

ACI355.4M中的1.2.1和R1.2.1规定, 最小钢筋直径不小于6 mm, 最大直径不大于50.8 mm, 最大钻孔直径不大于 $1.5d_a$ 。

对比可知, 中标要求的钢筋直径在美标的要求范围内, 但美标中最大直径大于中标的; 中标

没有规定最大钻孔直径, 只给出了不同直径对应的钻孔直径设计值, 约为 $1.25d$ , 也在美标中的要求范围内。

## 2.5 构造要求对比分析

将中美规范中基材混凝土强度和厚度、出现塑性变形时最小植筋深度、植筋间距和边距、锚筋直径和钻孔孔径的规定对比列于表1。

表1 中标和美标构造要求对比

规范	混凝土强度	最小基材厚度	最小植筋深度	间距和边距	锚筋直径/mm	钻孔孔径
中国规范	$\geq C20$	$\geq l_d + 2D$	$\geq 21d$	$\geq 5d$	6 ~ 32	约 $1.25d$
美国规范	$> C20$	$\geq h_g + 2d_0$	$\geq 21d_a$	$\geq 6d_a, 2d_{ag}$	6 ~ 50.8	$\leq 1.5d_a$

注:  $d_{ag}$ 为最大粗骨料直径。

根据表1对比可知, 最小混凝土强度要求, 美标略高于中标要求; 最小基材厚度要求一致; 出现塑性变形时最小植筋深度要求一致; 间距和边距要求, 美标略高于中标; 钢筋直径要求, 中标要求的直径范围在美标中规定的范围之内; 钻孔孔径, 中标要求的数值在美标规定的范围之内。总体来看, 中美植筋构造要求大体相同, 但应用时需要注意细微差别之处。

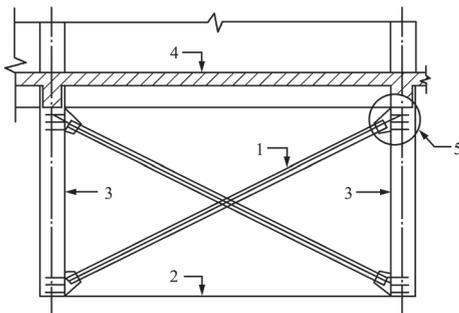
## 3 植筋承载力设计

### 3.1 植筋加固形式和模型假设

通过考察摩洛哥某电厂改造项目现场施工条件, 并与业主工程师沟通, 该工程需加固的柱和基础拟采用图1和图2的加固形式。图1中柱子加固用的斜撑两端按铰接, 图2中基础底部植筋只考虑受拉和受剪。

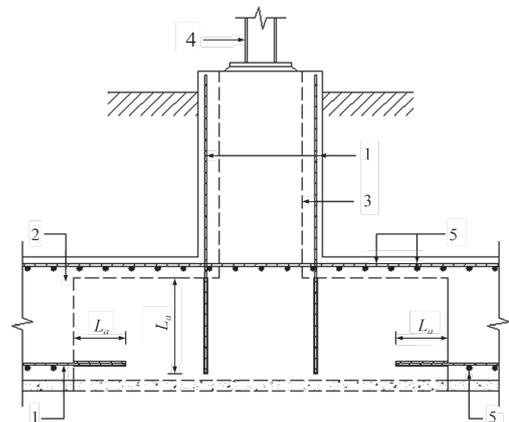
### 3.2 抗拉承载力计算

植筋锚固破坏形式分为植入钢筋破坏、混凝土



注: 1. 加固用的钢斜撑, 2. 地面层, 3. 原混凝土柱, 4. 楼面层, 5. 植筋预埋板。

图1 柱子加固典型大样



注: 1. 植入的钢筋, 2. 新加混凝土, 3. 原基础, 4. 原钢筋混凝土柱, 5. 新加钢筋,  $L_d$  植筋深度。

图2 基础加固典型大样

土锥形破坏及结构胶与混凝土粘接破坏。其中钢筋破坏为主要破坏形式, 该技术适用静力及抗震锚固要求<sup>[5]</sup>。因此, 没有加固施工困难时, 该工程植筋加固设计中仅考虑钢筋破坏, JGJ 145中的6.1.2植筋钢材破坏时的抗拉承载力设计值应按下列公式计算:

$$N_{Rd,s} = A_s f_{stk} / \gamma_{Rs,N} \quad (1)$$

根据JGJ 145表4.2.6可知, 抗拉锚固承载力分项系数为:

$$\gamma_{Rs,N} = 1.3 f_{stk} / f_{yk} \geq 1.55 \quad (2)$$

ACI318中的D5.1.2规定抗拉承载力标准值为:

$$N_{sa} = A_{se,N} f_{uta} \quad (3)$$

根据ACI318的4.3(a)可知抗拉承载力分项系数是0.75, 即可知抗拉承载力设计值为:

$$\phi N_{sa} = 0.75 A_{se,N} f_{uta} \quad (4)$$

假定锚栓抗拉截面面积相等, 即  $A_s = A_{se,N}$ , 则中美规范中抗拉承载力设计值的比值为:

$$N_{Rd,s}/(\phi N_{sa}) = \frac{f_{yk}}{0.975 f_{uta}} \quad (5)$$

由此可知, 选用 ASTM A615-12<sup>[6]</sup> 的钢筋做锚筋, 根据 ACI318 的 RD.6.1.2 可知  $f_{ya}/f_{uta} = f_{yk}/f_{stk} = 1/1.9$ , 抗拉承载力设计值比值为:

$$N_{Rd,s}/(\phi N_{sa}) \approx 0.54 < 1 \quad (6)$$

由式(6)可知, 按中标计算锚筋抗拉承载力设计值小于按美标的, 则按中标计算的设计值偏保守。

### 3.3 抗剪承载力计算

该工程所有柱和基础植筋加固均按无杠杆臂考虑, 根据 JGJ 145 的 6.2.2 规定, 植筋钢材破坏时受剪承载力设计值应按下列规定计算:

$$V_{Rd,s} = 0.5 A_s f_{stk} / \gamma_{Rs,V} \quad (7)$$

根据 ACI318 中 D6.1.2 规定,

$$V_{sa} = 0.6 A_{se,V} f_{ua} \quad (8)$$

根据 ACI318 的 4.3(a) 可知, 抗剪承载力分项系数是 0.65, 可知抗剪承载力设计值为:

$$\phi V_{sa} = 0.39 A_{se,V} f_{ua} \quad (9)$$

假定锚栓抗剪截面面积相等, 即  $A_s = A_{se,V}$ , 则中美规范中抗剪承载力设计值的比值为:

$$V_{Rd,s}/(\phi V_{sa}) = \frac{0.5 A_s f_{stk} / \gamma_{Rs,V}}{0.39 A_{se,V} f_{ua}} = \frac{f_{yk}}{0.78 f_{uta}} \quad (10)$$

由此可知, 选用 ASTM A615-12 的钢筋做锚筋时, 根据 ACI318 的 RD.6.1.2 可知,  $f_{ya}/f_{uta} = f_{yk}/f_{stk} = 1/1.9$ , 抗剪承载力设计值比值为:

$$V_{Rd,s}/(\phi V_{sa}) = \frac{1}{1.9 \times 0.78} = 0.67 < 1 \quad (11)$$

由式(11)可知, 按中标计算锚筋抗剪承载力设计值小于按美标的设计值, 按中标计算的设计值偏保守。

## 4 施工应用

### 4.1 材料准备

#### 4.1.1 质量检测

对进场钢筋的质量要严格把关, 对材质证明书、产品规格、品种、数量等进行严格验收, 并

会同各单位有关人员按规定做好现场取样, 并送由 ISO/IEC 17011<sup>[7]</sup> 认证的检测单位按照 ISO/IEC 17020<sup>[8]</sup> 标准检测, 合格后, 方可作下料成型工作。环氧树脂胶及固化剂、掺合料等也要取得相关质量证明书。

植筋施工需要有专职检测人员参照 ASTM E488<sup>[9]</sup> 和 ACI 355.4 规范全程对施工的各个方面进行检测, 包括: 钻孔设备, 以及钻孔是否按 MPII (产品安装说明书) 执行; 钻孔间距和孔边距; 钻孔直径和钻孔深度; 清空是否按 MPII 执行; 植筋锚栓种类、材质、直径和长度; 粘剂的说明书和保质期; 注胶水是否按 MPII 要求执行; 当同规格植筋施工由同一施工人员实施时, 后续施工可以在专职检测人员不在场的情况下实施, 只需要定期检测。

#### 4.1.2 除锈

若钢筋表面有锈, 植筋先用砂纸打磨除锈, 对钢筋锚固段用钢丝刷蘸 5% 浓度的盐酸除锈, 用水冲洗干净晾干后再用丙酮清洗干净。

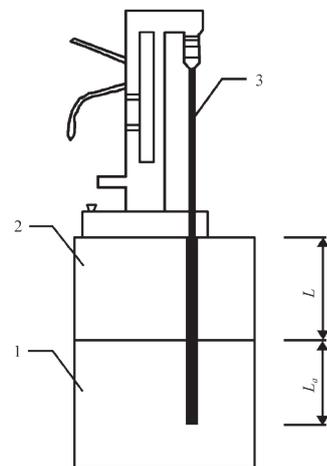
#### 4.1.3 试验用具准备

试验前应准备如下试验用具: 钻头、钻机、空气压缩机、配置粘胶的计量器皿、拉拔试验装置等。

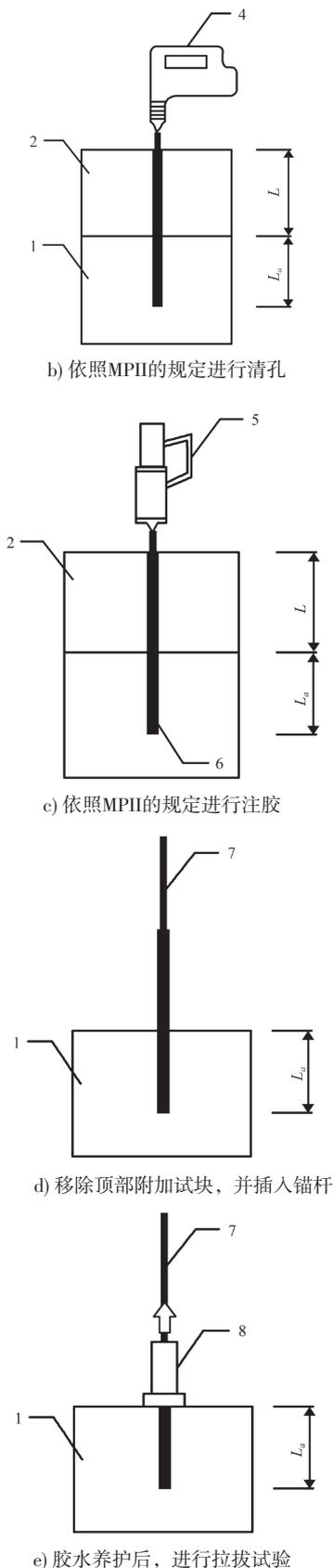
### 4.2 抗拔试验检测步骤

试验拟采用在原结构上, 在不影响原结构使用安全前提下进行抗拔试验, 通过回弹仪检测原混凝土强度。

具体试验步骤按 ACI355.4M 的要求执行, 见图 3。



a) 钻孔



注: 1. 原基础, 2. 附加混凝土块, 3. 钻机, 4. 空气压缩机, 5. 注胶机, 6. 环氧树脂药剂, 7. 锚杆, 8. 拉拔装置,  $L_a$ 为植筋深度,  $L$ 为附加混凝土垫块厚度。

图3 试验步骤

### 4.3 试验结果评价

根据ASTM E488的 8.2规定, 当出现粘结拔出破坏时每种尺寸的锚栓最少需要测试5根, 并取平均值作为试验结果; 当出现钢筋拉断破坏时最少需要测试3根, 并取平均值作为试验结果。

### 5 结论

- 1) 基材最小混凝土强度几乎一致, 最小厚度要求相同;
- 2) 出现塑性变形时的最小植筋深度均为不小于21倍锚筋直径;
- 3) 中标规定的最小植筋间距和边距小于美标中的要求;
- 4) 中标要求的钢筋直径和钻孔孔径均在美标要求范围内;
- 5) 按美标计算的抗拉和抗剪承载力设计值偏保守。

### 参考文献:

- [1] GB 50367—2006 混凝土结构加固设计规范[S].
- [2] JGJ 145—2004 混凝土结构后锚固技术规程[S].
- [3] ACI 355. 4M-11 Qualification of Post-Installed Adhesive Anchors in Concrete and Commentary[S].
- [4] ACI 318-11 Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary[S].
- [5] 李波, 李俊毅, 许建宏, 等. 化学植筋锚固技术在港口工程中的应用[J]. 中国港湾建设, 2005(3): 27-30.
- [6] ASTM A615-12: Standard Specification for Deformed and Plain Carbon-Steel Bars for Concrete Reinforcement [S].
- [7] ISO/IEC 17011: 2004 Conformity assessment -General requirements for accreditation bodies accrediting conformity assessment bodies[S].
- [8] ISO/IEC 17020: 2012. Conformity assessment - Requirements for the operation of various types of bodies performing inspection[S].
- [9] ASTM E488-96 Standard Test Methods for Strength of Anchors in Concrete and Masonry Elements [S].

(本文编辑 武亚庆)