

新型角钢锚固构造试验与研究

吴培烽¹, 章东鸿¹, 王宏²

(1. 中国能源建设集团广东省电力设计研究院有限公司, 广州 510663; 2. 华南理工大学, 广州 510641)

摘要: 提出采用钢筋和钢板作为锚固件的插入式角钢锚固技术, 以不同锚固型式、角钢锚固长度、锚固件深度、锚固件道数、锚固件间距和混凝土强度等级为参数进行试验, 研究各类锚固型式的极限承载力与试验参数之间的关系, 分析插入式角钢的破坏形态和破坏机理, 给出各类锚固型式的极限承载力计算公式。

关键词: 插入式角钢; 锚固技术; 角钢抗拔试验

中图分类号: TM476

文献标志码: A

文章编号: 2095-8676(2016)S1-0143-05

Test and Study on New Anchorage Type of Angle Steel

WU Peifeng¹, ZHANG Donghong¹, WANG Hong²

(1. China Energy Engineering Group Guangdong Electric Power Design Institute Co., Ltd., Guangzhou 510663, China;

2. South China University of Technology, Guangzhou 510641, China)

Abstract: This paper puts forward a new type of anchorage, which uses steel bar and steel plate as anchorage element. Based on the main parameters of anchorage type, length, depth, number and spacing of anchorage element and concrete strength, we design a test to analyze the relationship between the ultimate bearing capacity and test parameters, the failure patterns and mechanism, and provide calculation formulas of ultimate bearing capacity of different types of anchorage.

Key words: inserted angle steel; angle steel anchorage; angle steel pull-out test

输电铁塔的基础多用现浇混凝土结构, 塔腿的角钢承受压力和拉力, 通常采用直接插入混凝土, 或者在混凝土内预埋地脚螺丝与角钢连接来提供抗拉和抗压承载力。传统的插入式角钢与混凝土的连接, 采用角钢或脚钉作为锚固件, 仅考虑以锚固件的抗剪能力作为极限承载力^[1-2]。国内外相关文献^[3-8]指出, 这种设计方法过于保守, 受力模型也与试验结果不完全相符, 插入角钢的极限承载力与角钢屈服强度、角钢与混凝土的粘结力、插入角钢的锚固长度、混凝土保护层厚度和混凝土强度等级和龄期等诸多因素有关, 在设计方法中应予以考虑。

本文提出了在插入角钢外侧焊接锚固钢筋, 内

侧焊接锚固钢板的新式角钢锚固技术, 通过锚固件的组合分为四类锚固型式, 如图 1 所示。设计并完成 46 个角钢抗拔试验, 研究角钢抗拔极限承载力与角钢锚固型式、锚固长度、锚固件深度、锚固件道数、锚固件间距和混凝土强度等参数的关系, 分析插入角钢的破坏形态和破坏机理。提出抗拔承载力公式及相关的构造要求和设计建议。

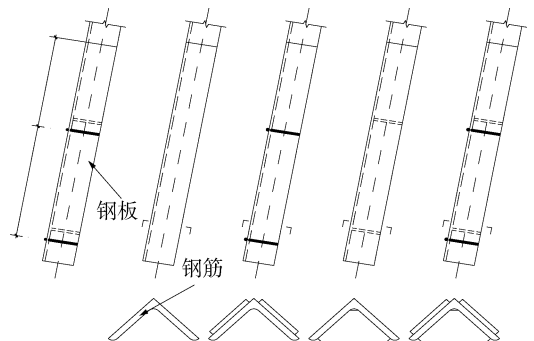


图 1 四种锚固型式示意图

Fig. 1 The diagrams of four anchor types

收稿日期: 2016-03-10

作者简介: 吴培烽(1988), 男, 广东茂名, 工程师, 硕士, 主要从事输电线路结构设计研究的工作 (e-mail) wupeifeng@gedi.com.cn。

1 试验概况

1.1 试件参数

本文设计了四类锚固型式的角钢进行试验,即无锚固件的 A 类型式、仅设置焊接钢筋的 B 类型式、仅设置焊接钢板的 C 类型式和同时设置焊接钢筋与钢板的 D 类型式,分别进行拉力试验,研究不同锚固型式的破坏形态和受力性能。

插入角钢尺寸为 $125\text{ mm} \times 10\text{ mm}$,采用 Q420 钢材,实测屈服应力 $\sigma_y = 460\text{ MPa}$,极限应力 $\sigma_u = 640\text{ MPa}$ 。混凝土基础的尺寸为 $600\text{ mm} \times 600\text{ mm}$,并按工程实际配筋率布置纵向钢筋和环形箍筋。采用两种强度等级的混凝土,实测得混凝土立方体抗压强度分别为 23 MPa 和 18 MPa 。

试验对比设置一道锚固件和设置两道锚固件两种不同情况。设置一道锚固件或不设置锚固件时,锚固长度取为 300 、 500 、 700 和 900 mm ;设置两道锚固件时,锚固总长度取为 600 mm ,锚固件的间距取为 250 、 200 和 150 mm 。

试件参数如表 1 所示。

表 1 试件参数

Tab. 1 The parameters of specimens

编号	锚固件数/道	第一道锚固件/mm	第二道锚固件/mm	总锚固长度/mm	锚固件尺寸/mm
A1-1/2	0	—	—	300	—
A2-1/2	0	—	—	500	—
A3-1/2	0	—	—	700	—
A4-1/2	0	—	—	900	—
B1-1/2	1	250	—	300	6
B2-1/2	1	450	—	500	6
B3-1/2	1	650	—	700	6
B4-1/2	2	250	450	600	6
B5-1/2	2	250	400	600	6
B6-1/2	2	250	350	600	6
B7-1/2	1	250	—	300	10
C1-1/2	1	250	—	300	4
C2-1/2	1	450	—	500	4
C3-1/2	1	650	—	700	4
C4-1/2	2	250	450	600	4
C5-1/2	2	250	400	600	4
C6-1/2	2	250	350	600	4
D1-1/2	1	250	—	300	6/4
D2-1/2	1	450	—	500	6/4
D3-1/2	1	650	—	700	6/4
D4-1/2	2	250	450	600	6/4
D5-1/2	2	250	400	600	6/4
D6-1/2	2	250	350	600	6/4

注:编号 A1-1/2 表示 A 类锚固型式的 A1-1 (混凝土强度 23 MPa) 和 A1-2 试件 (混凝土强度 18 MPa); 锚固件尺寸表示焊接钢筋的直径或焊接钢板的厚度。

1.2 加载方案

试件按下列要求进行拉力试验:

1) 试件准备。在角钢上均匀粘贴应变片以测定角钢沿埋入深度的应力分布,浇筑混凝土并制作混凝土标准试块。

2) 试验加载。采用慢速维持荷载法,分级荷载为最大加载量的 $1/10$,第一级荷载可取分级荷载的 2 倍,以后的每级取为分级荷载,达到 0.7 倍的最大加载量后减少为按 0.5 倍的分级荷载加载,每级荷载达到相对稳定后加下一级荷载。

3) 位移和应变观测。每级加载稳定后,读取角钢的位移量和角钢轴向拉应变,再施加下一级荷载。位移量采用位移传感器测量,拉应变采用应变片测量。

4) 终止加载条件。当角钢的位移量达到 50 mm 或角钢受拉屈服,即停止加载,然后逐级卸载到零。

拉力试验的装置图,如图 2 所示。

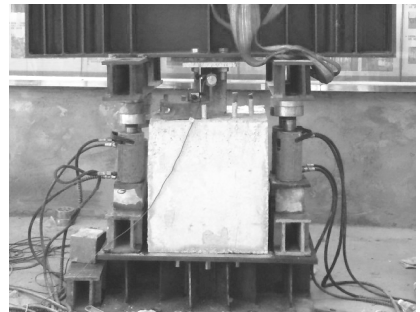


图 2 拉力试验的装置图

Fig. 2 The device for tension test

2 试验结果分析

2.1 破坏形态

不设置锚固件 A 类试件受拉,破坏形态为角钢拔出破坏;设置锚固件的 B、C 和 D 试件受拉,锚固件可有效地阻止角钢被拔出,破坏形态为冲切破坏和劈裂破坏。

A 类试件的破坏形态均为角钢拔出破坏。混凝土没有出现破坏裂缝,钢筋也没有屈服,材料的性能均没有充分发挥,故应适当设置锚固件,见图 3。

B 类试件的破坏形态以劈裂破坏为主。主要特征为劈裂裂缝较大,角钢外侧与混凝土的接触界面破坏分离,如图 4 所示。

C 类试件的破坏形态有冲切破坏和劈裂破坏两

种。当锚固件较浅(C1-1/2、C2-1/2), 发生冲切破坏, 主要特征为冲切体冲出, 冲切裂缝在环形纵筋内呈锥体, 如图 5 所示。当锚固件较深(C3-1/2), 发生劈裂破坏, 如图 6 所示。



图 3 A 类试件的拔出破坏

Fig. 3 The pull-out failure of specimen A

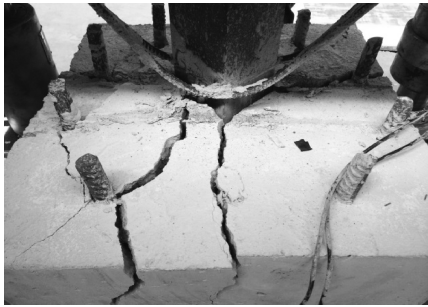


图 4 B 类试件劈裂破坏

Fig. 4 The splitter failure of specimen B



图 5 C 类试件的冲切破坏

Fig. 5 The punch failure of specimen C



图 6 C 类试件的劈裂破坏

Fig. 6 The splitter failure of specimen C

D 类试件的破坏形态与 C 类试件比较接近, 也包括冲切破坏(D1-1/2、D2-1/2)和劈裂破坏(D3-1/2)两种。

2.2 抗拔极限承载力

不同锚固类型试件的抗拔极限承载力见表 2。

表 2 抗拔极限承载力

Tab. 2 The ultimate tensile strength

编号	极限承载力 F_u/kN	破坏形态	编号	极限承载力 F_u/kN	破坏形态
A1-1	200	拔出	A1-2	180	拔出
A2-1	260	拔出	A2-2	260	拔出
A3-1	340	拔出	A3-2	320	拔出
A4-1	520	拔出	A4-2	420	拔出
B1-1	280	劈裂	B1-2	240	劈裂
B2-1	540	劈裂	B2-2	340	劈裂
B3-1	680	劈裂	B3-2	440	劈裂
B4-1	440	劈裂	B4-2	400	劈裂
B5-1	460	劈裂	B5-2	420	劈裂
B6-1	440	劈裂	B6-2	400	劈裂
B7-1	280	劈裂	B7-2	240	劈裂
C1-1	220	冲切	C1-2	240	冲切
C2-1	380	冲切	C2-2	380	冲切
C3-1	448	劈裂	C3-2	620	劈裂
C4-1	460	冲切	C4-2	380	冲切
C5-1	400	冲切	C5-2	360	冲切
C6-1	400	冲切	C6-2	340	冲切
D1-1	240	冲切	D1-2	180	冲切
D2-1	420	冲切	D2-2	400	冲切
D3-1	670	劈裂	D3-2	620	劈裂
D4-1	500	冲切	D4-2	440	冲切
D5-1	400	冲切	D5-2	420	冲切
D6-1	500	冲切	D6-2	460	冲切

注: 编号“XX-1”表示混凝土强度为 23 MPa 的试件; “XX-2”表示混凝土强度为 18 MPa 的试件。

由试验结果可知:

- 1) 混凝土强度等级与极限承载力呈正相关。
- 2) A 类试件的极限承载力由锚固长度决定, 锚固长度越大, 极限承载力越高。
- 3) B 类试件的极限承载力与焊接钢筋的直径没有直接关系。
- 4) B、C 和 D 类试件的极限承载力与锚固件深度呈正相关; 并且锚固件道数的增加并不能显著提高极限承载力, 相反有时会导致其降低。

5)当锚固件深度较小时,容易发生冲切破坏,冲切破坏的极限承载力小于劈裂破坏。

2.3 应力分布曲线

插入角钢的轴向拉应力 σ_n 沿锚固深度 L 的分布规律,称为应力分布曲线。无锚固件试件的应力分布曲线在各级荷载下接近线性;带锚固件试件的应力分布曲线在设锚固件处,应力有明显的下降段,反映了锚固件承担的承载力。不同锚固类型试件的应力分布曲线如图 7~图 13 所示。

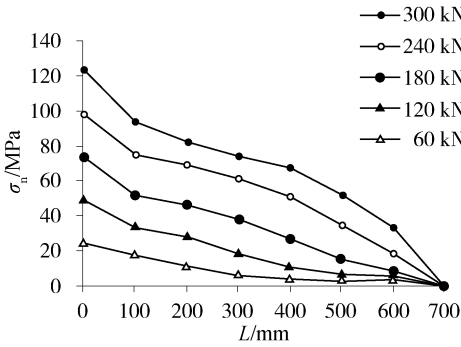


图 7 A 类试件应力分布曲线 (A3)

Fig. 7 The stress curve of specimen A (A3)

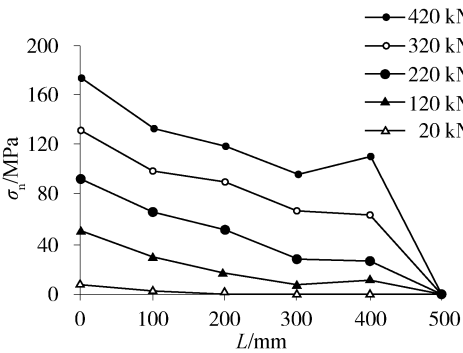


图 8 B 类试件应力分布曲线 (B2)

Fig. 8 The stress curve of specimen B (B2)

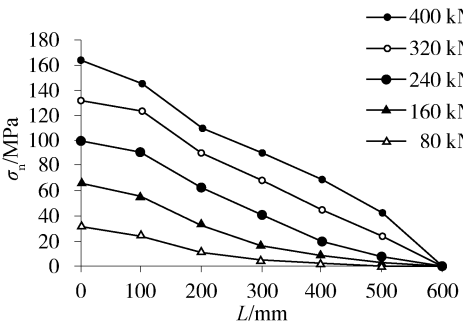


图 9 B 类试件应力分布曲线 (B4)

Fig. 9 The stress curve of specimen B (B4)

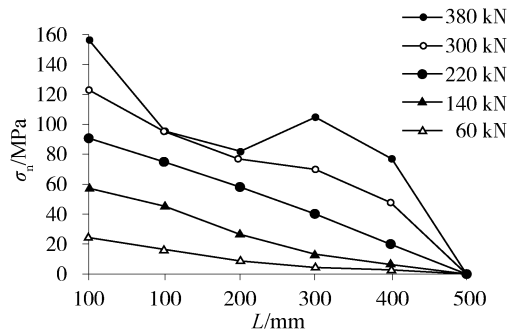


图 10 C 类试件应力分布曲线 (C2)

Fig. 10 The stress curve of specimen C (C2)

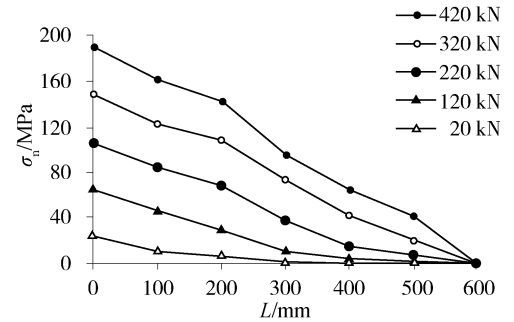


图 11 C 类试件应力分布曲线 (C4)

Fig. 11 The stress curve of specimen C (C4)

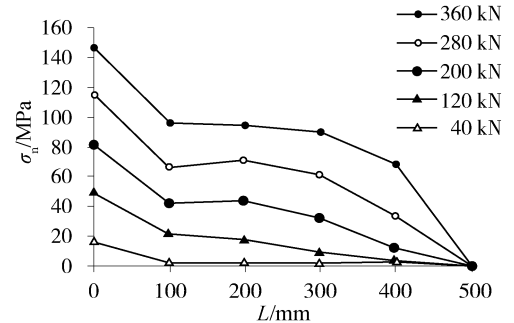


图 12 D 类试件应力分布曲线 (D2)

Fig. 12 The stress curve of specimen D (D2)

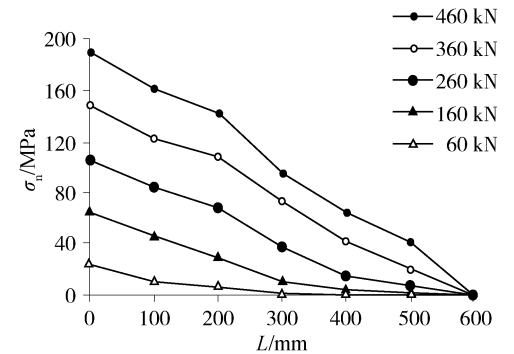


图 13 D 类试件应力分布曲线 (D4)

Fig. 13 The stress curve of specimen D (D4)

由试验结果可知:

1) 在各级荷载下, A 类试件应力分布曲线接近直线, 轴向拉力可由粘结力较均匀地传递给混凝土。

2) 带单道锚固件的试件, 当荷载较小时, 由粘结力承担, 随着荷载的增加锚固件逐步发挥作用, 随着角钢锚固长度的增加, 锚固件承担的承载力比例降低。

3) 带两道锚固件的试件, 应力分布曲线接近直线, 相比一道锚固件的试件, 应力可更均匀地传给混凝土, 各锚固件承担的承载力接近。

4) 插入角钢与混凝土的粘结力与锚固件能有效地协同工作, 锚固件之间也能有效的协同工作。

3 抗拔极限承载力公式

通过分析试验数据^[9], 可以得出插入角钢的抗拔极限承载力公式如下:

A 类试件的极限承载力公式为:

$$R_A = cL\tau_m \quad (1)$$

B、C 和 D 类试件应按劈裂破坏和冲切破坏两种情况验算, 取较小值。

劈裂破坏的极限承载力由粘结力与混凝土受拉端部箍筋的约束力构成, 其公式为:

$$R_s = cL\tau_m + \alpha \frac{n_v f_{yk} A_{sv1}}{s} \bar{h}_a \quad (2)$$

冲切破坏的极限承载力与锚固件深度有关, 当锚固件较浅, 发生素混凝土冲切时, 其公式为:

$$R_{p1} = 0.5cL\tau_m + \beta f_{tk} u_m h_a \quad (3)$$

当锚固件较深, 冲切体受到纵向钢筋的约束, 直到纵向钢筋屈服, 其公式为:

$$R_{p2} = n f_{yk} A_s \quad (4)$$

式中: c 为插入角钢周长, mm; L 为角钢锚固长度, mm; τ_m 为角钢与混凝土的平均粘结强度, MPa, 对 C₂₀ 混凝土可取 1.0 MPa; α 为劈裂破坏回归系数, 对 B 类试件可取 2.0, C 类和 D 类试件可取 2.4; n_v 为箍筋肢数; f_{yk} 为箍筋的强度标准值, MPa; A_{sv1} 为单根箍筋的面积, mm²; s 为箍筋间距, mm; \bar{h}_a 为锚固件的平均深度, mm; β 为冲切破坏的回归系数, 可取 0.83; f_{tk} 为混凝土抗拉强度标准值, MPa; h_a 为锚固件深度, mm; u_m 为混凝土冲切体在 1/2 冲切高度处的周长, mm; n 为纵筋数; f_{yk} 为纵筋的强度标准值, MPa; A_s 为纵筋的横截面面积, mm²。

4 结论

本文通过试验和理论分析, 得出以下结论:

1) 插入角钢与混凝土的粘结力对极限承载力有重要贡献, 在设计中应予以考虑。

2) A 类试件的极限承载力由拔出破坏控制, B、C 和 D 类试件的极限承载力由劈裂破坏和冲切破坏控制。

3) 增加插入角钢的长度、锚固件的深度和提高混凝土强度等级有利于提高极限承载力, 而改变锚固件间距对极限承载力影响不大。

4) 插入角钢应设置锚固件, 以 D 类锚固型式最优, 焊接钢筋和焊接钢板可共同发挥作用。

5) 锚固件的道数不宜过多, 各道锚固件的深度均宜满足最小深度的要求, 各道锚固件受力不同步, 而在极限承载力状态下可共同发挥作用。

6) 混凝土端部的箍筋应加密。

7) 焊接钢筋的直径不宜过大。

8) 焊接钢板的厚度宜满足下式要求:

$$t \geq [t] = \sqrt{\frac{0.08F_a}{\sigma_y}} \quad (5)$$

$$F_a = R - 0.5cL\tau_m \quad (6)$$

式中: F_a 为焊接钢板承担的承载力, kN; R 为试件设计承载力, kN。

9) 为避免素混凝土冲切破坏, 锚固件最小深度宜满足下式要求:

$$h_{\min} \geq [h_a] = l_a + h_c \quad (7)$$

式中: h_c 为锚固件处沿 45° 冲切线交纵向钢筋的高度, mm; l_a 为受拉钢筋的锚固长度, 详见《混凝土结构设计规范》的计算方法。

参考文献:

- [1] 中华人民共和国国家发展和改革委员会. 架空送电线路基础设计技术规定: DL/T5219—2005 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2005.
- [2] 国家能源局. 架空输电线路杆塔结构设计技术规定: DL/T5154—2012 [S]. 北京: 中国电力出版社, 2012.
- [3] 杨利容, 郑勇. 插入角钢锚固试验研究 [J]. 四川建筑科学研究, 2010, 36(2): 131-133.
- [4] 李黎, 唐家祥. 角钢插入式基础抗拔试验与分析 [J]. 实验力学, 1999, 14(3): 316-322.
- [5] 鲁先龙, 程永锋. 输电线路角钢斜插式基础抗拔试验研究 [J]. 电力建设, 2004, 25(10): 41-44.

根据线路故障和特殊巡检需求而开展的,对线路巡检的需求更具针对性和现势性,提出了更高要求。

除了使用半自动化精细巡检的方式获取钉销级缺陷、通过生成的高清正射影像获取通道的环境信息的方法外,根据现场情况进行高清视频的实时图传和现场视频直播,全方位辅助管理人员进行快速应急响应和现场决策。

3.4 无人机巡检数据的管理和应用

无人机所采集的影像资料和生成的影像成果具有高分辨率、高时效性、海量数据等特点,地理信息系统综合管理平台可利用其所在的地理位置信息,将其和基础地理信息数据(如遥感影像资料)和电网基础数据等多源数据进行统一的管理和应用,包括实时查询检索具体杆塔位置所拍摄的影像资料;利用无人机生成的正射影像对基础地理信息进行实时更新;历史影像资料数据的多维度管理和查询;辅助判读杆塔缺陷的状态和空间位置信息;对通道内隐患相对于电网路径的空间位置关系查询;将所得到的杆塔缺陷隐患分析结果结合其空间位置信息、所属线路路径、杆塔编号、所在行政区域、缺陷隐患类型和紧急程度、判读影像资料生成相应的巡检结果报表并输出。

地理信息系统综合管理平台为无人机影像资料的管理和应用提供了一套科学、完整的解决方案,能将无人机数据进行组织化和集成化管理,极大程度提高无人机数据的管理水平;数据的价值得到了充分的挖掘和应用,并辅助管理人员进行快速判断和决策。

4 结论

结合工程实践可知,采用本文所提出的无人机巡检技术流程进行无人机巡检相较于传统无人机巡检具备如下优势:

1)半自动化巡检方式能一定程度上减少操控手的劳动工作量,提高巡检效率。

2)高清正射影像的生成真实反映了线路通道环境内缺陷隐患的空间信息,为巡检取证、缺陷管理和应急决策提供了可量化依据。

3)地理信息系统综合管理平台能加载海量无人机影像数据,并提供多源数据的集成应用、空间查询和分析、故障判读、巡检结果输出等综合应用,实现无人机数据的科学管理、辅助管理人员进行综合决策。

参考文献:

- [1] 丘灵平,袁旭泳,韦舒天.输电线路无人机和人工协同巡检模式研究[C]//中国电力企业联合会科技服务中心.2009年全国输变电设备状态检修技术交流研讨会论文集.西安:[s.n.].2009.
- [2] 何健,罗映昀,范畅,等.架空输电线路无人机人工联合巡检模式的初探[J].电子测试,2015(21):99-101.
- [3] MEJAS L, CORREA J F. A vision-guided UAV for surveillance and visual inspection [C]//IEEE. 2007 IEEE International Conference on Robotics and Automation. New York: IEEE, 2007.
- [4] 陈晓兵,马玉林,徐祖舰.无人飞机输电线路巡检技术探讨[J].南方电网技术,2008,2(6):56-61.
- [5] 张祖勋,张剑清.数字摄影测量学[M].武汉:武汉大学出版社,2007.

(责任编辑 隋卿毅)

(下转第 147 页 Continued from Page 147)

- [6] CHARLES C. W. Bond stress of embedded steel shapes in concrete. composite and mixed construction [M]. New York: ASCE, 1984: 227-240.
- [7] BRYSON J. O., MATHEY R. G. Surface condition effect on bond strength of steel beams in concrete [J]. Journal of the American Concrete Institute, 1962, 59(3): 397-406.

- [8] YASSER M. HU N T. Bond strength in battened composite columns[J]. Journal of Structural Engineering, 1991, 117(3): 699-714.
- [9] 王宏.新型角钢锚固构造试验与研究[D].广州:华南理工大学,2015.

(责任编辑 郑文棠)