

火灾中植筋试件极限承载力试验研究

刘长青^{1,2}, 陆洲导¹, 张秀球¹, 王孔藩²

(1. 同济大学 土木工程学院, 上海 200092, 0610020109@tongji.edu.cn;

2. 上海市建筑科学研究院(集团)有限公司 上海市工程结构新技术重点实验室, 上海 200032)

摘要: 为研究火灾下植筋试件极限承载力与受火时间的关系, 进行了火灾下4个植筋试件拉拔试验. 采用自制试验炉对植筋试件受火升温, 当到达设定时间后, 进行拉拔试验, 试验中记录植筋试件的拉拔力, 植筋末端位移及受火时间. 试验结果表明: 在受火时间不超过30 min时, 15d和20d (d 为钢筋直径)植筋试件的极限承载力降低程度不同, 但当受火时间大于45 min后, 两者的极限承载力相差不大. 当受火时间超过60 min后, 两种不同植筋深度植筋试件的极限承载力下降约85%. 15d植筋试件和20d植筋试件分别在受火时间不超过15 min和30 min时可以保证钢筋屈服.

关键词: 植筋; 火灾; 受火时间; 极限承载力

中图分类号: TU317

文献标志码: A

文章编号: 0367-6234(2010)12-1958-04

Experimental study on ultimate strength of post-installed rebar subjected to fire

LIU Chang-qing^{1,2}, LU Zhou-dao¹, ZHANG Xiu-qiu¹, WANG Kong-fan²

(1. College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China, 0610020109@tongji.edu.cn;

2. Shanghai Key Laboratory of New Technology Research on Engineering Structure, Shanghai Research Institute of Building Science, Shanghai 200032, China)

Abstract: To study the relationship between ultimate strength of post-installed rebar and fire duration, 4 specimens in fire were designed and tested. The test procedure included specimen installation, heating by oil burner and testing when the heating time reached to the fixed time. Records had been made on the temperature, the ultimate strength, the rebar displacement and the heating time. The test results show that when the fire duration is less than 30 min, the ultimate strength of 15d have great difference from that of 20d. While the fire duration is more than 45 min, the ultimate strengths of 15d and 20d have little difference from each other. When the fire duration is more than 60 min, the ultimate strength at high temperature decreases about 85% of that at ambient temperature. The post-installed rebar can yield when the fire duration for 15d or 20d specimen is less than 15 min or 30 min, respectively.

Key words: post-installed bar; fire; fire duration; ultimate strength

化学植筋技术由于布置灵活、施工方便、性能可靠等优点在建筑加固改造中得到了广泛应用^[1-2]. 国内外对常温下植筋的受力性能进行了大量的研究^[3-8], 并制定了相应的规范. 然而我国

规范只是规定了植筋胶的正常固化温度范围为 $-5 \sim 40 \text{ }^\circ\text{C}$ ^[9], 采用植筋锚固的混凝土结构长期使用的环境温度不应高于 $60 \text{ }^\circ\text{C}$ ^[10], 没有涉及火灾(高温)下的植筋受力性能. 研究^[11-12]表明: 火灾(高温)下植筋胶性能恶化, 其粘结强度将有不同程度降低. 当温度高于 $120 \text{ }^\circ\text{C}$ 后, 植筋胶的粘结性能降低很大^[11]. Jakob Kunz 已经给出了粘结性能受温度影响的关系曲线^[12]. 而我国对火灾中和火灾后植筋性能的研究才刚刚起步, 仅对高温后

收稿日期: 2009-05-20.

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50778134).

作者简介: 刘长青(1979—), 男, 博士;

陆洲导(1957—), 男, 教授, 博士生导师.

植筋边框节点受反复荷载的力学性能^[13]、高温后植筋的黏结滑移性能^[14]和高温后植筋锚固性能^[15]进行了研究.因此,本文就植筋在火灾中的力学性能进行了初步的研究和探索.

1 试验

试件基材尺寸为 700 mm × 700 mm × 400 mm,共 4 块,混凝土强度等级为 C30.植筋位置和基材配筋见图 1,图中单位为 mm.植筋采用直径 16 mm 的 HRB335 级钢筋,基材中所配钢筋均为级钢筋 HRB335.植筋深度为 15*d* 和 20*d*.植筋外用硅酸铝棉包裹,并用耐高温陶瓷管套在硅酸铝棉外面.

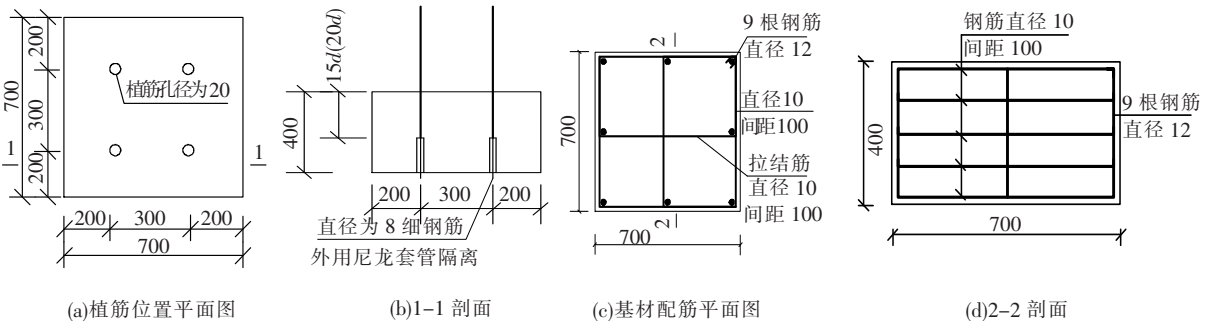


图 1 植筋位置和基材配筋图 (mm)

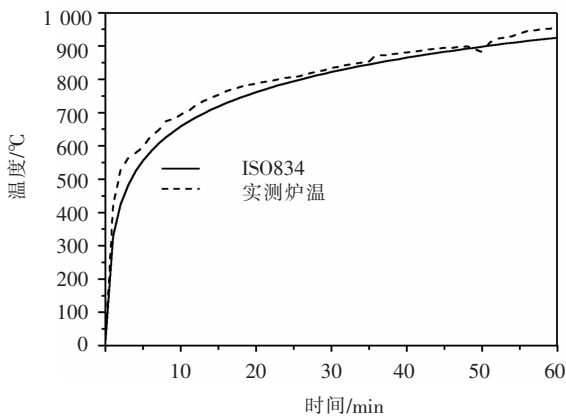


图 2 试验炉升温曲线

2 结果与分析

2.1 15*d* 植筋试件试验现象

试件 SJ15D-1 在受火 30 min 后燃烧器出现故障,故判断其受火时间只有 30 min.受火 15 min 时基材混凝土没有可见裂缝出现,植筋拉拔力很高,钢筋屈服,发生混凝土锥体-粘结复合型破坏;受火 30 min 时钢筋与混凝土之间有较大空隙,钢筋被拔出,属钢筋拔出破坏.试件 SJ15D-2 受燃烧器的直接喷火作用,表面出现爆裂现象.受火 15 min 时钢筋端有局部细小的混凝土裂缝,发生混凝土锥体-粘结复合型破坏;受火 30 min 时

采用自制试验炉进行加热升温,自制试验炉升温曲线见图 2,与国际标准升温曲线 ISO834 基本接近,因此可以认为是按 ISO834 升温的.

采用连续加载,每根植筋加载至破坏的时间控制在 1 ~ 3 min 之内.

试验装置由反力架、试验炉、燃烧器和穿心千斤顶组成.试件底部通过试验炉底部开的洞口固定在地锚上,顶部通过焊接螺杆与穿心千斤顶相连.待试件固定后点火升温,到达设定时间后,进行拉拔试验.拉拔结束后切断该处钢筋,把千斤顶移至另一根植筋上,安装好千斤顶,等到达设定时间后进行拉拔.如此反复直至把试件上的植筋测试完为止.

钢筋与混凝土之间有较大空隙,钢筋被拔出,属钢筋拔出破坏;受火 45 min 时加载的钢筋处混凝土表面酥松,表面混凝土在高温和荷载作用下破坏,属混凝土锥体-粘结复合型破坏;受火 60 min 时,植筋胶失效,钢筋被拔出,属钢筋拔出破坏.

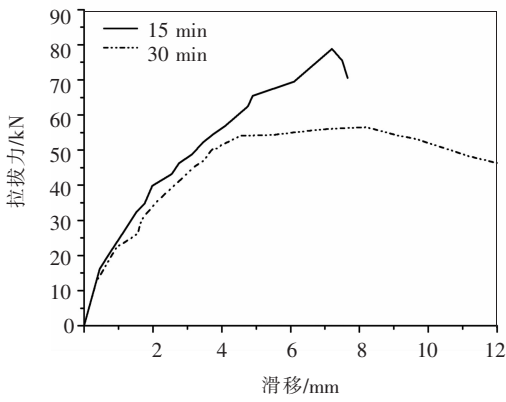
2.2 20*d* 植筋试件试验现象

试件 SJ20D-1 受火表面和侧面均有爆裂现象.受火 15 min 和 30 min 的植筋刚开始加载时加载端位移很小,随着荷载的加大,位移开始逐渐增大,钢筋被拔出,属混凝土锥体-粘结复合型破坏;受火 45 min 时钢筋与混凝土之间有空隙,钢筋被拔出,属于钢筋拔出破坏;受火 60 min 时加载端位移很大,钢筋被拔出,属于钢筋拔出破坏.

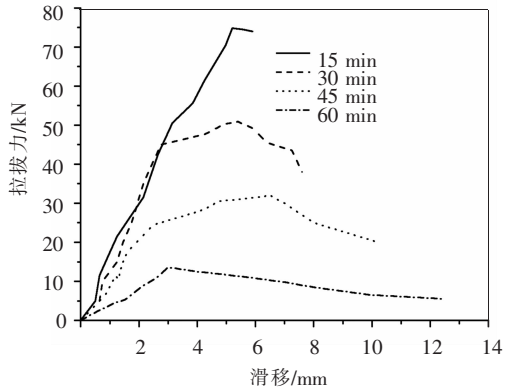
试件 SJ20D-2 受火表面有爆裂现象,由于受火 30 min 后,燃烧器出现故障,无法供油,遂停止试验.受火 15 min 和 30 min 时,加载初期加载端位移很小,随着荷载增加位移开始加大,钢筋最后被拔出,属钢筋拔出破坏.

2.3 荷载-滑移曲线分析

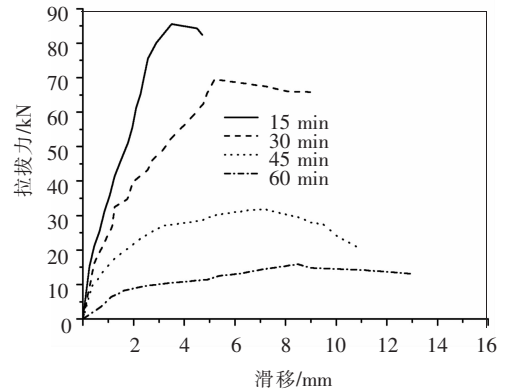
植筋试件的荷载-滑移曲线见图 3.植筋试件荷载-滑移曲线呈现明显的非线性,并有明显的屈服台阶,其屈服荷载就是其极限荷载,且这个屈服荷载随着受火时间的延长在不断地降低.



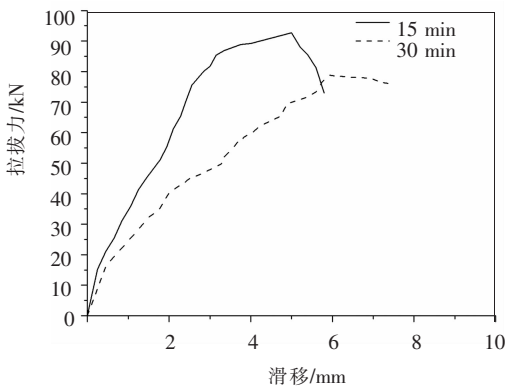
(a) SJ15D-1



(b) SJ15D-2



(c) SJ20D-1



(d) SJ20D-2

图3 荷载-滑移曲线

对比图3中15d和20d试件在相同受火时间的荷载-滑移曲线可以发现,15d试件的滑

移要大于20d试件的滑移.当受火时间为30 min,荷载为50 kN时,15d试件的滑移约为5.8 mm,20d试件的滑移约为3.8 mm.因此,当受火时间不超过60 min时,可以通过增加植筋深度来提高构件的刚度和抗滑移性能.在30 min前15d试件的极限荷载明显小于20d试件的极限荷载,但当受火时间超过45 min后,15d和20d植筋试件的极限荷载相差不大,20d试件的极限荷载只是略大于15d试件的极限荷载,尤其是到60 min后,其荷载-滑移曲线基本一致.这是由于刚开始时温度较低,植筋胶温度也较低,植筋胶虽有恶化,但并不很严重,因此可以通过增加植筋深度获得更高的承载力,所以20d试件的极限荷载比15d试件的极限荷载要高.随着受火时间的延长,温度继续升高,植筋胶性能进一步恶化,这时候已不能通过增加较小的植筋深度来提高承载力,所以60 min后,15d和20d植筋试件的极限荷载基本接近.

2.4 极限承载力分析

根据慧鱼技术手册^[11],可求得15d植筋试件粘结破坏的极限承载力 $N_{uc,5d} = 101.7$ kN.15d植筋试件的钢筋极限承载力 $N_{us,5d} = 106.4$ kN.从而可得15d植筋试件的极限承载力为101.7 kN.同理,20d植筋试件的极限承载力为106.4 kN.钢筋的屈服承载力 $N_y = 71.5$ kN.

植筋试件极限承载力与时间关系曲线见图4.从图中可以看出,15d和20d植筋试件的极限承载力随着受火时间的延长而下降.15d植筋试件在15 min前都可以保证钢筋屈服;20d植筋试件在30 min前可以保证钢筋屈服.

对比图4中的曲线可以发现,受火时间相同时,20d植筋试件的极限承载力要高于15d植筋试件的极限承载力.在受火时间小于30 min前,15d和20d植筋试件的极限承载力相差较大,在受火时间超过45 min后,15d和20d植筋试件的极限承载力相差不大,特别是在60 min后,两种植筋深度试件的极限承载力几乎接近.这是因为30 min前,植筋胶性能虽有恶化,但是其粘结强度还没有很大的降低,所以可以通过增加植筋深度来获得更高的承载力.当受火试件超过45 min后,温度进一步升高,植筋胶性能将恶化,粘结强度降低程度很大,这时需要通过增加较大的植筋深度才能获得更高的承载力,尽管20d的植筋深度大于15d植筋深度,但还不足以弥补植筋胶粘结强度降低所引起的承载力下降,所以15d和20d植筋深度的极限承载力相差不大.

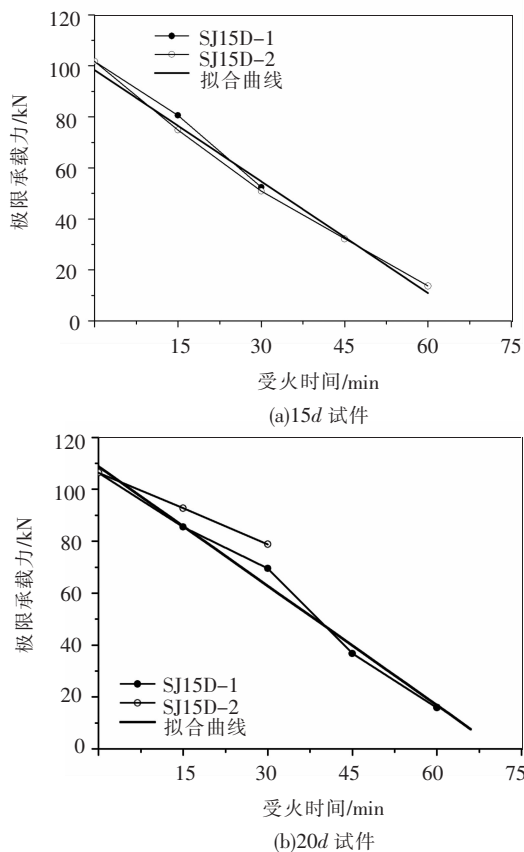


图 4 极限承载力 - 受火时间曲线

在图 4 中给出了植筋试件极限承载力随受火时间变化的拟合曲线,植筋深度为 15d 时,试件极限承载力随受火时间变化的关系为

$$N_{u,t} = 98.38 - 1.4573t \quad (1)$$

植筋深度为 20d 时,试件极限承载力随受火时间变化的关系为

$$N_{u,t} = 108.76 - 1.532t \quad (2)$$

其中: t 为受火时间, min; $N_{u,t}$ 为植筋试件在 t 时间的极限承载力, kN.

从图 4 中可以看出拟合曲线和试验曲线相差不大,可用于定量确定植筋试件的极限承载力.

2.5 极限承载力折减系数

火灾下植筋试件极限承载力折减系数见表 1. 从表 1 中可以看出在受火时间为 15 ~ 30 min 时, 15d 和 20d 植筋试件的极限承载力折减

表 1 不同受火时间植筋试件极限承载力折减系数

试件编号	折减系数			
	15 min	30 min	45 min	60 min
SJ15D-1	0.21	0.54	—	—
SJ15D-2	0.26	0.48	0.70	0.87
SJ20D-1	0.20	0.35	0.66	0.85
SJ20D-2	0.13	0.26	—	—

系数下降的幅度是不同的,但是到 45 ~ 60 min 时,它们的下降幅度基本一致,原因如前所述. 但 30 min 之前, 15d 植筋试件的极限承载力折减系

数要低于 20d 植筋试件的极限承载力折减系数.

3 结 论

1) 火灾中植筋试件的极限承载力随受火时间增加而呈线性降低. 当受火时间超过 45 min 后, 15d 和 20d 植筋试件的极限承载力下降幅度相当.

2) 20d 试件的极限承载力高于 15d 试件的极限承载力,但随着受火时间的增加,植筋深度对极限承载力的影响减小.

3) 拟合出了火灾下 15d 和 20d 植筋试件极限承载力计算公式,可用于定量计算不同受火时间的极限承载力.

参 考 文 献:

- [1] 周勇,李双. 北京五洲大酒店东楼结构改造工程植筋技术研究[J]. 建筑技术,2004,35(6): 408-411.
- [2] 蓝建勋. 化学锚栓在旧楼改造的幕墙工程中的应用[J]. 建筑技术,2006,37(9): 681-683.
- [3] 熊学玉,许立新,胡家智. 化学植筋的拉拔试验研究[J]. 建筑技术,2001,31(6): 383-384.
- [4] 阎锋,张惠英. 在钢筋混凝土基材上植筋的拉拔试验研究[J]. 建筑技术,2003,34(6): 442-444.
- [5] COOK R A. Behavior of chemically bonded anchors [J]. Journal of Structure Engineering, 1993, 119(9): 2274-2761.
- [6] ACI 355.2-01. Evaluation the performance of post-installed mechanical anchors in concrete[S]. Detroit: ACI, 2001.
- [7] ETAG001-2002. Guideline for European technical approval of metal anchors for use in concrete[S]. Brussels: EOTA, 2002.
- [8] ZAVLIARIS K D, KOLLIAS S, SPEARE P S S. An experimental study of adhesively bonded anchorages in concrete[J]. Magazine of Concrete Research, 1996, 48(6): 79-93.
- [9] JGJ145—2004. 混凝土结构后锚固技术规程[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2004.
- [10] GB 50367—2006. 混凝土结构加固设计规范[S]. 北京:中国建筑工业出版社,2006.
- [11] Fisher Group of Companies. Technical handbook—Asia[M]. 4th ed. Waldachtal: Fisher Group of Companies, 2008.
- [12] KUNZ J. Fire design: state of the art[R]. Shanghai: Hilti Corporation, 2006.
- [13] 袁广林,刘涛,闫玉红. 高温后 RC 植筋边节点反复荷载的试验研究[J]. 中国矿业大学学报,2008,37(1): 19-23.
- [14] 袁广林,刘林,闫玉红. 高温后植筋黏结滑移力学性能试验[J]. 河海大学学报:自然科学版,2008, 36(3): 358-362.
- [15] 闫玉红. 高温对钢筋混凝土结构植筋锚固性能影响的研究[D]. 徐州:中国矿业大学,2006.