

文章编号:1673-2049(2013)04-0054-05

化学锚栓加固植筋混凝土构件抗震性能试验

邓宗才, 钟林杭

(北京工业大学 城市与工程安全防灾减灾省部共建教育部重点实验室, 北京 100124)

摘要:为了研究化学锚栓能否用于地震地区和受拉区混凝土构件,对化学锚栓加固植筋混凝土构件的锚固性能进行了试验。通过拟静力试验,研究了锚固构件的破坏形态、锚栓在反复荷载作用下的锚固效果和抗震性能。试验结果表明:化学锚栓的动载锚固效果良好,可以用于地震地区和受拉区混凝土构件的锚固;化学锚栓提高了构件的承载力和延性,尤其在反复荷载试验后期,在限制构件承载力下降和位移增大方面起到了重要作用;锚栓施工技术是影响构件抗震性能的重要因素。

关键词:化学锚栓;混凝土构件;抗震性能;承载力;延性

中图分类号:TU375

文献标志码:A

Experiment on Seismic Behavior of RC Members with Planting Bars Confined by Chemical Anchor

DENG Zong-cai, ZHONG Lin-hang

(Key Laboratory of Urban Security and Disaster Engineering of Ministry of Education,
Beijing University of Technology, Beijing 100124, China)

Abstract: In order to research whether the chemical anchor could be used in seismic area or tensile region of reinforced concrete (RC) members, the test on the anchor behavior of RC members confined by chemical anchor was carried out. Through quasi static test, the failure modes of RC members confined by chemical anchors, the effects of anchor and the seismic behavior were studied under cyclic load. The experiment results show that the dynamic anchor effectiveness of chemical anchor is good, and the anchor can be used in seismic area or tensile region of RC members. The bearing capacity and ductility of members are enhanced by the chemical anchor, especially in later period of cyclic load test, the chemical anchor plays an important role in preventing the decrease of bearing capacity and increase of displacement. The anchor construction technology is an important influence factor on the seismic behavior of members.

Key words: chemical anchor; RC member; seismic behavior; bearing capacity; ductility

0 引言

化学锚栓以其性能可靠、施工简便等优点被广泛应用于建筑物扩建、改造、加固和设备安装等工程^[1-3],目前,锚栓的设计主要是以单向拉拔试验为依据来确定锚固深度。中国是多地震国家,需要确

定锚栓是否能够用于地震区结构工程。由于锚栓动载性能试验装置复杂,没有统一的试验方法、设备和标准,各国学者对此研究甚少。工程中所用锚栓的种类较多^[4-5],性能各异,在地震作用下受力复杂,作为结构构件的重要连接件,有必要对锚固构件的抗震性能进行深入研究^[6]。化学锚栓在工程中常被

收稿日期:2013-10-09

基金项目:国家自然科学基金项目(51378032)

作者简介:邓宗才(1961-),男,陕西扶风人,教授,博士研究生导师,工学博士,博士后,E-mail:dengzc@bjut.edu.cn。

应用于地震地区和受拉区混凝土构件的锚固与连接,如钢板通过锚栓与原有混凝土构件连接是结构加固中粘钢、灌钢技术的必要措施,锚栓的锚固效果在这种施工工艺中起到了非常重要的作用。为了研究锚栓的抗震性能,用其连接混凝土梁与柱,采用悬臂试件进行反复加载试验。结果表明:试验中所用锚栓在承受反复拉拔力时锚固效果良好,提高了构件的承载力和延性,尤其在试验后期,锚栓在限制构件承载力下降和位移增大方面起到了重要作用;另外,试验中也发现,保证各锚栓的间距是影响锚固效果的重要因素。

1 材料性能与试件加载

1.1 材料性能

混凝土强度等级为 C30,实测立方体强度为 33.2 MPa,梁柱纵筋均采用 HRB335,箍筋采用 HPB235,试验中所使用的加固材料为韩日牌化学锚栓和韩日牌植筋胶,其力学性能指标如表 1、2 所示。表 2 中, d 为植筋(钢筋)直径。

表 1 化学锚栓力学性能指标

Tab. 1 Mechanical Property Indexes of Chemical Anchor					
型号	长度/ mm	间距/ mm	固化时 间/min	锚固于 C30 混凝土 的破坏拉力/kN	锚固于 C30 混凝土 的破坏剪力/kN
M16	190	65	20	71.6	53.4

表 2 植筋胶力学性能指标

Tab. 2 Mechanical Property Indexes of Structural Adhesive					
劈裂抗拉 强度/MPa	抗弯强 度/MPa	抗压强 度/MPa	粘结强 度/MPa	不同植筋深度下的 实际拉拔力/kN	
				10d	15d
8.66	51.90	88.80	14.20	79.4	119.1

1.2 试件加载

试验试件共 6 个,几何尺寸及配筋如图 1 所示,试件参数见表 3。表 3 中,ZJ20 表示植筋(钢筋)直径为 20 mm,10d,15d 分别表示植筋深度为 10 倍和 15 倍植筋直径,单锚与双锚表示化学锚栓的数量。

为更加真实地反映实际工程中的情况,植筋和锚栓施工的过程由北京新鑫江建筑加固工程有限公司完成。试件在制作过程中采用两次浇筑成型的方法,即先浇筑节点柱子,等混凝土完全固化后在试件节点上用电锤钻出植筋孔,经过清孔、灌胶、植筋等施工工序将钢筋植入混凝土中,在结构胶经过 24 h 固化后绑扎箍筋,浇筑节点混凝土,经过 28 d 养护后再对节点进行打孔,用化学锚栓将钢板固定在相应位置。

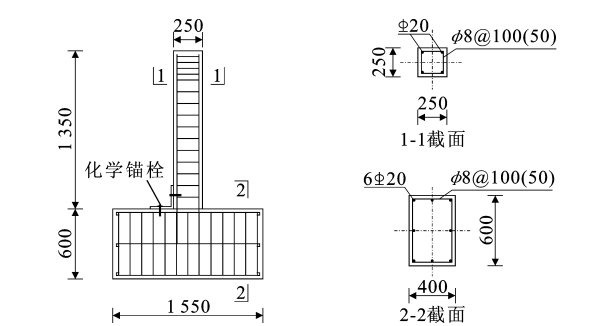


图 1 试件尺寸及配筋(单位:mm)

Fig. 1 Geometric Sizes and Reinforcement of Specimens (Unit:mm)

表 3 试件参数

Tab. 3 Parameters of Specimens

试件编号	植筋(钢筋) 直径/mm	植筋深度/mm	锚固情况
ZJ20-10d	20	200	无
ZJ20-10d 单锚	20	200	单锚栓
ZJ20-10d 双锚	20	200	双锚栓
ZJ20-15d	20	300	无
ZJ20-15d 单锚	20	300	单锚栓
ZJ20-15d 双锚	20	300	双锚栓

试件加载采用分级加载,每级的荷载增量为 10 kN,荷载稳定时间为 3 min,弹性阶段采用荷载控制加载,在出现明显的弹塑性变形后采用位移控制加载的方法,直至荷载下降到峰值荷载 85%或构件破坏之后,停止加载。

2 试验结果分析

2.1 破坏形态

试验中试件破坏形态如图 2 所示,试件的破坏过程和典型形态描述如下:

(1)ZJ20-10d 构件在受拉纵筋屈服前,混凝土及纵筋应变呈线性增长,受拉区混凝土出现少量水平裂缝;纵筋屈服后,新旧混凝土界面出现通缝,同时柱身侧面靠近钢筋位置处出现裂缝,随着加载的进行,裂缝宽度不断加大,直至构件破坏,柱身仍无明显新增裂缝,受压区混凝土也没有被压碎的现象,凿开柱脚混凝土层,发现植筋有部分被拔起,属于脆性破坏;ZJ20-15d 构件在加载过程中,裂缝均出现在柱身高度范围内,钢筋位置处无裂缝出现,最终纵向受拉钢筋屈服,受压区混凝土被压碎,这种破坏形态属于延性破坏。

(2)由锚栓加固后的构件在加载过程中,裂缝首先出现在锚栓锚固位置,紧接着在靠近钢板上沿处

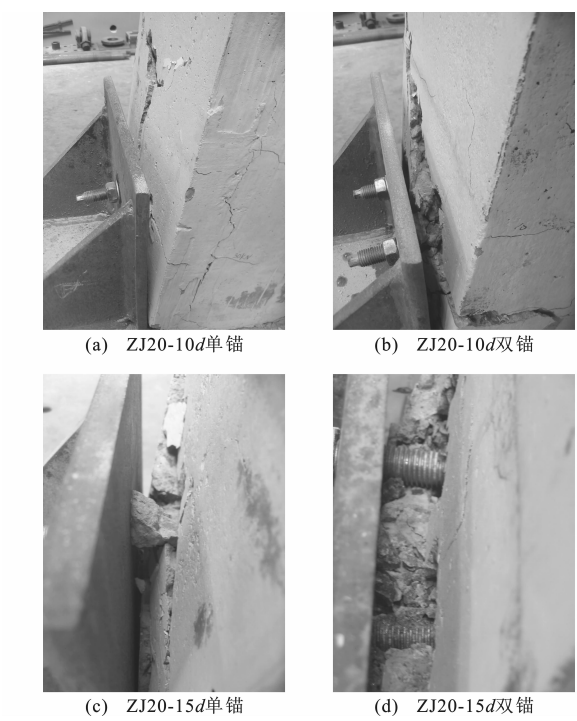


图 2 试件破坏形态

Fig. 2 Failure Modes of Specimens

出现第 2 条裂缝。ZJ20-10*d* 单锚构件也有钢筋被拔起的现象,承载力突然下降,但是随着加载的进行,锚栓的拉拔力开始发挥作用,钢筋最终在钢板高度范围内屈曲,受压区混凝土被压碎,构件破坏。双锚构件开裂情况与单锚构件类似,但构件最终在锚栓锚固截面处产生通缝现象,说明原有混凝土结构的截面受到钻孔的削弱,裂缝在两孔之间开展,影响了锚栓的锚固效果。

(3)ZJ20-15*d* 单锚构件最终破坏时在锚栓位置处出现向四周延伸的裂缝,且有大块混凝土与锚栓牢固粘结,不脱落,这说明锚栓的锚固粘结效果良好。但是 ZJ20-15*d* 双锚构件在最终破坏时可以清晰看到断面处的锚栓与混凝土柱几乎脱离,仅有部分混凝土残渣遗留在锚栓表面。这些现象同样说明

了施工时锚栓之间的距离太近会造成原结构截面的削弱,影响锚栓的锚固粘结效果。

2.2 承载力分析

试件承载力与位移试验结果如表 4 所示。由表 4 可知:

(1)与未用锚栓锚固的构件 ZJ20-10*d* 相比,单锚构件开裂荷载提高了 209.2%,屈服荷载提高了 8.44%,峰值荷载提高了 9.74%。双锚构件的开裂荷载提高了 63.1%,屈服荷载提高了 5.64%,峰值荷载提高了 10.89%。这说明在构件受到反复荷载的初期,锚栓的锚固有效限制了构件的开裂和屈服,但是双锚构件开裂和屈服均早于单锚构件,这是由于锚栓在钻孔施工时对原有混凝土构件造成了截面的削弱,峰值荷载二者差别不大。因此,锚栓的锚固效果与对原有结构的截面削弱状况有关。

(2)将 ZJ20-15*d* 锚固构件与已做过试验的未锚固构件的相关数据进行比较^[7-8]可知:单锚构件开裂荷载提高了 107.9%,屈服荷载提高了 35.79%,峰值荷载提高了 32.34%;双锚构件开裂荷载提高了 70.62%,屈服荷载提高了 27.58%,峰值荷载提高了 12.95%。比较结果再次证明了锚固效果与原结构损伤状况的关系,同时也说明锚栓的锚固效果良好,在受到反复荷载时能够有效地提高构件的承载力。

(3)对比构件 ZJ20-10*d* 和 ZJ20-15*d*,二者开裂荷载和屈服荷载差别不大,但是植筋深度 15*d* 的构件峰值荷载提高了 17.1%,说明随着植筋深度的增加,构件的最大承载力也随之增加。比较二者的极限位移可以看出,植筋深度 10*d* 的构件在屈服后承载力迅速下降,是脆性破坏,而植筋深度 15*d* 的构件承载力发展平稳,延性较好。这说明对于重要的承重构件,植筋深度 10*d* 是不可靠的,植筋深度在 15*d* 以上,构件的安全性才能得到保证。

(4)比较各构件的极限位移,除了 ZJ20-10*d* 和 ZJ 20-10*d*双锚构件在加载初期承载力下降迅速,其

表 4 承载力与位移试验结果

Tab. 4 Experiment Results of Bearing Capacity and Displacement

试件编号	P_{cr}/kN	Δ_{cr}/mm	P_y/kN	Δ_y/mm	P_{max}/kN	P_u/kN	Δ_d/mm	μ
ZJ20-10 <i>d</i>	6.21	1.34	34.96	8.83	35.62	30.28	9.41	1.07
ZJ20-10 <i>d</i> 单锚	19.20	3.33	37.91	9.58	39.09	33.20	89.94	9.38
ZJ20-10 <i>d</i> 双锚	10.13	2.35	36.93	12.44	39.50	33.60	15.80	1.27
ZJ20-15 <i>d</i>	6.33	1.28	35.35	20.10	41.71	35.45	101.00	5.02
ZJ20-15 <i>d</i> 单锚	13.16	2.47	48.00	13.01	55.20	37.40	95.60	7.35
ZJ20-15 <i>d</i> 双锚	10.80	1.99	45.10	13.70	47.10	37.40	117.50	8.58

注: P_{cr} 、 Δ_{cr} 分别为开裂荷载及对应的开裂位移; Δ_y 为与明显屈服荷载 P_y 对应的屈服位移; Δ_d 为弹塑性最大位移(骨架曲线上荷载下降至极限荷载 85%或构件破坏时的位移); P_u 为极限荷载; P_{max} 为峰值荷载; μ 为延性系数。

余构件的承载力发展都非常平稳,说明 $10d$ 植筋的构件由于自身植筋深度不够,容易发生脆性破坏。采用单根锚栓加固后,锚栓的锚固效果良好,它对构件承载力和延性的提高起到了明显的作用,但是在 2 根锚栓同时锚固以后,锚固效果大大降低,脆性增大,这是锚栓施工时对原有混凝土结构的截面削弱

造成的。

2.3 反复荷载作用下试件的力-位移关系曲线

滞回曲线是结构抗震性能的综合体现,反复荷载作用下各试件的滞回曲线如图 3 所示,其中, P 为水平荷载, Δ 为与水平加载点同一高度的相应水平位移。

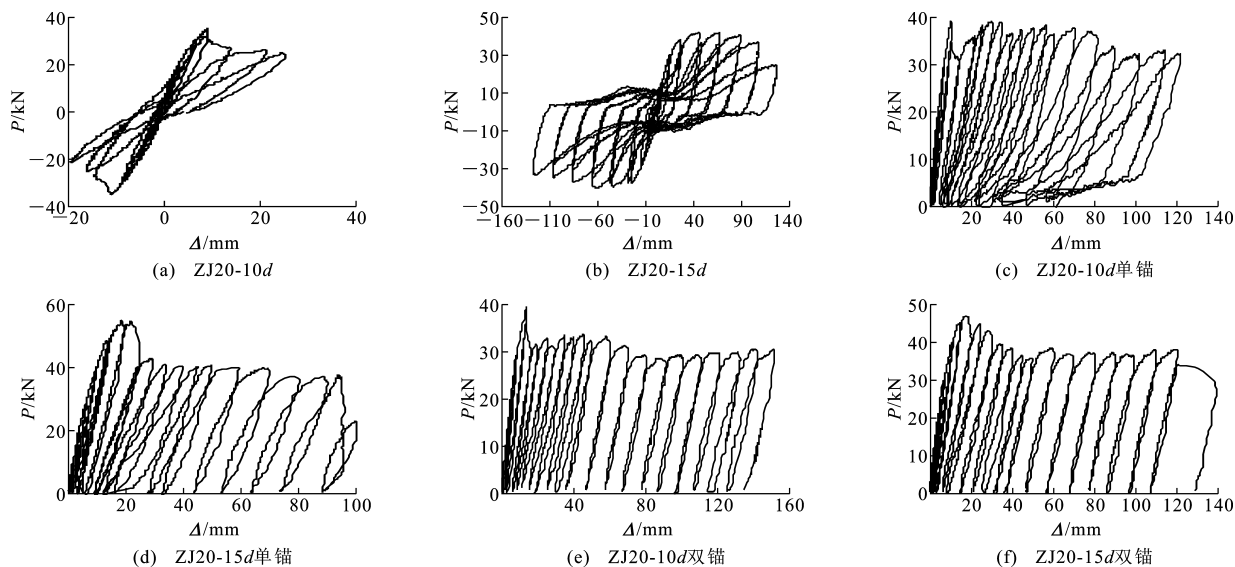


图 3 反复荷载作用下各试件的滞回曲线

Fig. 3 Hysteresis Curves of Specimens Under Cyclic Loading

由图 3 可以看出:

(1) 构件屈服前,滞回曲线基本上呈直线型;构件屈服后,随着侧向位移、加载循环次数的增加,滞回曲线弯曲,呈现出较明显的非弹性性质,并且刚度随着加载循环次数的增加而降低,滞回曲线呈梭形。

(2) 在构件达到屈服荷载后,3 个植筋锚固深度为 $10d$ 的构件承载力均迅速下降,但是随着加载的进行,构件的滞回曲线出现了不同的发展趋势:①无锚固构件的承载力下降速度快,属于脆性破坏;②单锚构件在承载力下降一段后又慢慢恢复,峰值荷载达到了 39.1 kN,最终破坏;③双锚构件在承载力突然下降以后,在 30 kN 左右保持平稳发展,下降缓慢,直至最终破坏。这说明植筋深度 $10d$ 的构件在反复荷载作用下是不可靠的,后期承载力的提高主要来自于锚栓的锚固作用,但锚栓的锚固效果对后期承载力的发展有重要影响。单锚构件属于延性破坏;虽然双锚构件破坏时的承载力小于单锚构件,但是其延性相比未加固构件有所提高,在持续反复荷载作用的后期,结构仍能够继续承载,满足了“大震不倒”的设计目标。

(3) 植筋深度 $15d$ 的构件在承载力、延性方面都较植筋深度 $10d$ 的构件有所提高,植筋锚固深度

是可靠的。从承载力的发展趋势来看,单根锚栓的锚固效果明显好于 2 根锚栓的锚固效果。

2.4 抗震性能和延性

试验对有锚栓锚固的植筋构件进行单向反复加载,锚栓始终承受着反复荷载的拉拔作用,借助构件的破坏形态和锚栓的动载锚固效果来分析锚栓的抗震性能,判断化学锚栓在地震高烈度地区用于加固、锚固或连接承重构件的适用性。

由表 4 还可知,经过锚栓加固后的植筋构件比未加固试件的延性系数均有提高,其中由单根锚栓锚固的构件延性系数提高显著,植筋深度 $10d$ 单锚构件的弹塑性位移提高了 855.8%,有效阻止构件发生脆性破坏,其主要原因是锚栓在反复荷载作用下锚固效果很好,限制了构件承载力的下降和位移的增大。

3 结 语

(1) 随着植筋深度的增加,植筋构件的破坏形态从脆性破坏变为延性破坏,构件的承载力和延性均有所提高,植筋深度 $15d$ 构件的承载力比植筋深度 $10d$ 构件提高了 17.1%,延性系数提高了 369.2%。这说明植筋深度是影响构件抗震性能的重要因素,

植筋深度 $10d$ 不可靠。

(2) 试验中所用锚栓在承受反复拉拔力时锚固效果良好,有效阻止植筋深度 $10d$ 构件发生脆性破坏,改善了植筋深度 $15d$ 构件的延性,并且提高了构件的屈服强度和峰值荷载,尤其在试验后期,锚栓在限制构件承载力下降和位移增大方面起到了重要作用。

(3) 锚栓施工技术也是影响锚栓抗震性能的重要因素,单锚构件和双锚构件在同样的加载机制下进行比较可以发现,单锚构件的承载力和延性均优于双锚构件。在有限的范围内锚固多根锚栓,容易造成原有混凝土结构截面的削弱,导致构件加固效果反而降低。

(4) 通过对试验中构件的承载力和延性分析可知,厂家提供的化学锚栓直径和锚固深度合理。在保证施工质量的前提下,化学锚栓的抗震锚固性能良好,可以用于地震高烈度地区承重构件的连接和加固,亦可以用于受拉区混凝土的锚固或连接。

参考文献:

References:

- [1] SHIRVANI M, KLINGNER R E, GRAVES H L. Breakout Capacity of Anchors in Concrete. Part 1: Tension[J]. ACI Structural Journal, 2004, 101(6): 812-820.
- [2] SHIRVANI M, KLINGNER R E, GRAVES H L. Breakout Capacity of Anchors in Concrete. Part 2: Shear[J]. ACI Structural Journal, 2004, 101(6): 821-829.
- [3] RODRIGUEZ M, LOTZE D. Dynamic Behavior of

Tensile Anchors to Concrete[J]. ACI Structural Journal, 2001, 98(4): 511-524.

- [4] JENNIFER H G, RICHARD E K. Dynamic Behavior of Single and Double Near-edge Anchors Loaded in Shear[J]. ACI Structural Journal, 2001, 98(5): 665-676.
- [5] 谢群, 陆洲导, 余江滔. 锚栓抗震性能研究综述[J]. 工业建筑, 2006, 36(4): 73-74.
XIE Qun, LU Zhou-dao, YU Jiang-tao. Summary of Anchor Behavior Under Seismic Loads[J]. Industrial Construction, 2006, 36(4): 73-74.
- [6] 王翠坤, 肖从真, 赵西安. 锚栓抗震动力性能试验[J]. 建筑技术, 2004, 35(9): 691-692.
WANG Cui-kun, XIAO Cong-zhen, ZHAO Xi-an. Test of Anti-vibration Performance of Anchor[J]. Architecture Technology, 2004, 35(9): 691-692.
- [7] 邓宗才, 钟林杭, 张永方, 等. 植筋钢筋混凝土锚固构件抗震性能试验研究[J]. 北京工业大学学报, 2011, 37(5): 707-711.
DENG Zong-cai, ZHONG Lin-hang, ZHANG Yong-fang, et al. Seismic Behavior of Research RC Structure with Post-installed Chemically Rebar[J]. Journal of Beijing University of Technology, 2011, 37(5): 707-711.
- [8] 邓宗才, 钟林杭. 植筋框架节点抗震性能研究[J]. 国防交通工程与技术, 2009(5): 11-13, 35.
DENG Zong-cai, ZHONG Lin-hang. Research into the Anti-seismic Performance of RC Structures with Post-installed Reinforcement[J]. Traffic Engineering and Technology for National Defence, 2009(5): 11-13, 35.

《空间结构》2014 年征订通知

《空间结构》是由国家教育部主管、浙江大学主办的全国性专业科技期刊,1994 年创刊,面向国内外公开发行。《空间结构》主要刊载空间结构的理论研究、分析设计、试验与实测、建筑造型、施工工艺、管理经验、工程实例、信息报道及有特色的空间结构工程照片等方面的内容。读者对象为科研单位、设计院、生产施工单位、质检管理部门的科技人员及大专院校师生。

《空间结构》为季刊,大 16 开本,96 页,每期定价 15 元,全年共 60 元;兼营广告,10 月起征订下一年度广告。《空间结构》自办发行,请直接汇款至本编辑部订阅,发行组收到汇款后即寄发票并按期寄给订户,务请在汇款用途栏或附言栏内注明订购《空间结构》份数及年限。订购款按以下方式汇寄:

开户行:工商银行杭州市浙大分理处

电话:(0571)87952414(带传真)

账号:1202024619914482876

邮编:310027

账户:浙江大学《空间结构》杂志编辑部

E-mail: kjjgzz@163.com

地址:杭州玉泉浙江大学空间结构研究中心《空间结构》杂志编辑部

