

植筋搭接混凝土柱偏心受压性能试验研究<sup>\*</sup>

高 飞，陈 刚，张建荣

(同济大学 建筑工程系，上海 200092)

**摘 要：**对钢筋混凝土植筋搭接柱在静载作用下的偏心受压破坏进行了探索性的研究。通过试验，得到了试验柱的承载力与锚固长度、跨中弯矩与挠度、荷载与位于搭接段跨中截面受压区混凝土应变等关系曲线。试验结果认为，钢筋混凝土搭接柱在混凝土未被压坏的前提下，发生的钢筋锚固失效主要是锚固强度失效，并确认了植筋试件的薄弱面。另外，试件破坏时的粘结应力随锚固长度的增加逐渐减小。而对 FISV360S 植筋胶来说，锚固长度的增加能明显地提高试验梁的极限承载力。最后分别提出了临界锚固长度计算公式和试验柱极限承载力计算公式。

**关键词：**植筋；锚固粘结；偏心受压；挠度；锚固长度

**中图分类号：**TU375.3；P315.9      **文献标识码：**A      **文章编号：**1000-811X(2010)S0-0085-04

0 引言

植筋技术作为后锚固技术的一种手段，可以取代预埋件，在设备安装、幕墙安装、附属设施固定等方面有其独特的优势，因而得到了广泛的应用。此外，建筑中设备安装，管道布置以及幕墙装修等等，也都采用化学植筋技术与原结构进行连接<sup>[1]</sup>。到目前为止，国内外对植筋的受力性能进行了大量的研究<sup>[2-5]</sup>，并制定了相应的规范。

然而，以往的粘结锚固研究对建筑结构胶应用于工程构件的应用研究较少。本文对采用植筋搭接的钢筋混凝土试验柱在静力荷载作用下性能进行试验和分析研究。在实际工程当中，尤其是在结构加层、改建中，广泛采用植筋搭接柱来对结构进行加固、延拓，对在偏心受压构件中植筋的研究将有助于更好的指导工程实践。

1 试件制作

此次试验室在同济大学土木工程防灾与减灾国家重点实验室完成的。混凝土植筋试验柱如图 1 所示。试验柱共有 6 根，矩形截面  $b \times h = 300\text{ mm} \times 300\text{ mm}$ ，柱高 2 200 mm。混凝土强度等级为 C30。纵向主筋采用直径为 22 mm 的 HRB335 级钢筋，箍

筋为直径为 10 mm 的 HPB235 级钢筋。

6 根试件柱的区别仅在于钢筋搭接长度(即植筋植入深度)和植筋胶，其余条件完全一致，施工制作业在同时同地进行。试件编号明细详见表 1。

表 1                      试验柱编号明细表

试件柱编号	植筋胶类型	植入长度/mm	保护层厚度/mm
CV1	FISV360S	12d = 264	30
CV2		16d = 352	
CV3		20d = 440	
CEM1	FISEM390	12d = 264	
CEM2		16d = 352	
CEM3		20d = 440	

为了使受拉钢筋应变的测量既不破坏钢筋与建筑结构胶的粘接，又能保证应变测量值的可靠性，试件采用在钢筋内开槽、贴片精确测量的方法进行试验。各根试验柱分两次浇筑。为了测试在搭接区域内的受拉钢筋内的应变值，采用在受拉钢筋内贴应变片的方法，应变片沿钢筋搭接长度均匀布置，不同的搭接长度试验柱测点之间的间距  $b$  不同，具体如表 2 所示。

表 2                      钢筋应变片测点位置图

柱编号	搭接长度/mm	$a = 4b/\text{mm}$	$b/\text{mm}$
CV1、CEM1	264	254	63.5
CV2、CEM2	352	342	85.5
CV3、CEM3	440	430	107.5

<sup>\*</sup> 收稿日期：2010-09-25  
基金项目：德国慧鱼公司中国慧鱼技术部(德国技术合作公司(GTZ)PPP项目)  
作者简介：高飞(1986-)，男，山东人，硕士研究生，主要从事结构工程研究。E-mail: jinqingdefei@yahoo.com.cn  
通讯作者：张建荣(1962-)，男，浙江人，教授，博导，主要从事结构工程研究。E-mail: zhangjr@tongji.edu.cn

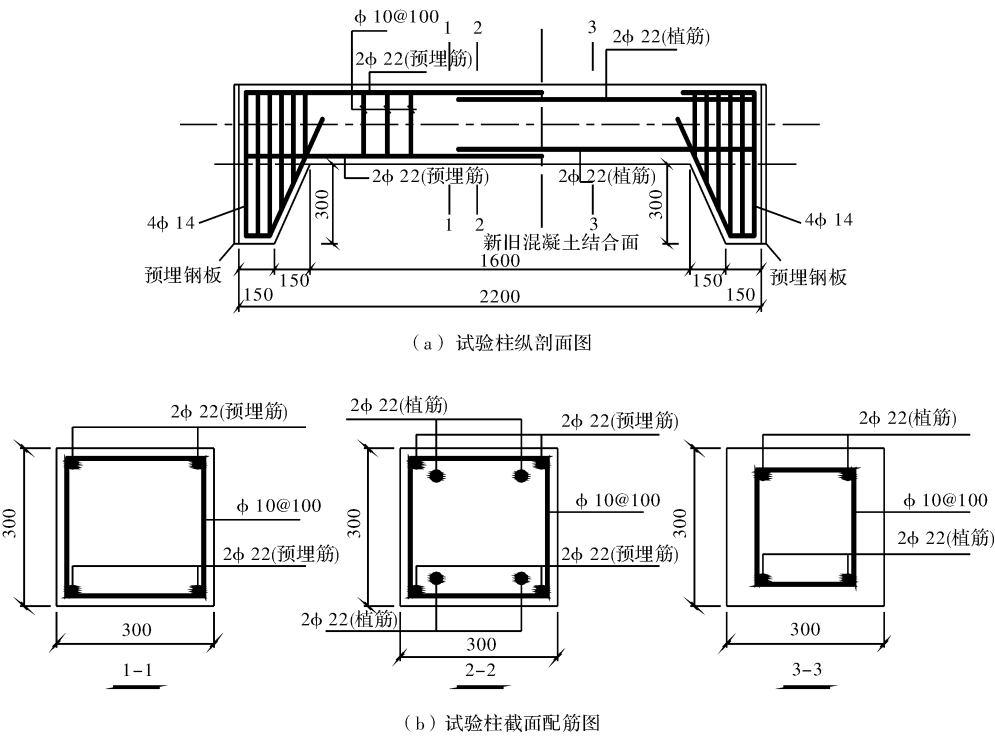


图1 试验柱几何尺寸和截面配筋

2 试验结果

2.1 试验柱的极限承载力

6根试验柱的极限承载力如表3所示，表中同

时给出了试验柱的计算承载力。试验实测的钢筋屈服强度为333.3 MPa，极限抗拉强度为513.2 MPa，实测混凝土立方体（150 mm × 150 mm × 150 mm）抗压强度第一期为32.56 MPa，第二期为36.9 MPa。

试验柱承载力实验和极限挠度试验结果								
试件编号	搭接长度 /mm	胶的种类	开裂荷载 /kN	极限承载力 /kN	计算承载力 /kN	极限承载力/ 计算承载力	极限弯矩 /(kN·m)	极限挠度 /mm
CV1	264	FISV360S	40	396	621	0.64	94.63	16.17
CV2	352		40	622	608	1.02	146.79	21.14
CV3	440		40	487	646	0.75	101.30	24.79
CEM1	264	FISEM390	40	696	598	1.16	147.55	29.85
CEM2	352		40	800	665	1.20	180.80	32.94
CEM3	440		40	722	627	1.15	153.06	25.08

2.2 试验柱的跨中弯矩－挠度关系

图2为6根试验柱的实测弯矩—挠度关系曲线，由图中可以看出，除CV1试验柱由于植筋植入的锚固长度较短，导致钢筋未屈服而发生脆性破坏外，其余5根试验柱都发生了钢筋屈服。

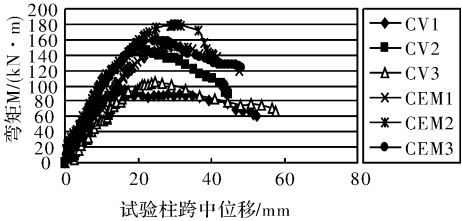


图2 弯矩－挠度曲线

2.3 试验柱的荷载—受压区混凝土应变关系

试验柱荷载与受压区混凝土应变关系见图3，各根试验柱在加载过程中SC1（SC3）的荷载－应变曲线在加载到最大荷载80%之前基本呈线性，说明受压区混凝土在加载过程中基本处于弹性状态，

其中SC1(SC3)取的是SC1和SC3的平均值。由图3可见试验柱CV1和CEM1中应变片SC1(SC3)在将要达到最大荷载之前曲线开始反向弯曲，说明此处的混凝土受压的程度在逐渐减轻，而逐步开

始向受拉的趋势发展;而其余四根试验柱的曲线在达到最大荷载后,荷载值迅速下降,此时的混凝土应变也随之基本线性下降,此时的应变下降主要是由于卸荷产生的。

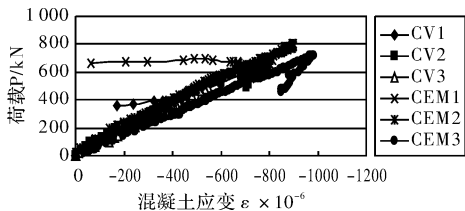


图3 跨中混凝土受压区 SC1(SC3)处荷载-应变曲线

## 2.4 试验柱植筋粘结应力沿锚固长度的变化

由图4可知,随着荷载的增加粘结应力沿锚固长度也随之增加,在锚固长度的自由端附近的粘结应力稍小于受力端附近的粘结应力,锚固长度中断的粘结应力相差不大,可近似为均匀分布。随着锚固深度的增加,最大粘结应力减小,试验柱中有钢筋拔出的其粘结应力较大,说明此时结构胶的粘结能力完全发挥。

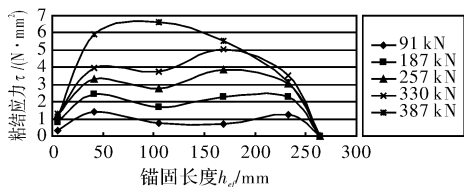


图4 植筋 CV1-rebar2 粘结应力沿锚固长度的分布

## 3 公式提出

### 3.1 临界锚固长度计算公式

对于确定的钢筋和锚固材料,钢筋的屈服强度不变,而锚固材料对钢筋的锚固强度随锚固长度而异,因此,在某一特定的锚固长度下,锚固失效与钢筋屈服将同时发生,这一特定的锚固长度称为“临界锚固长度”。文献[6]通过大量的试验回归提出了混合界面拔出破坏的受拉承载力计算公式,由试验结果与回归公式比较,在本次试验条件下取 FISV360S 植筋胶的取  $\varphi = 0.37$ , 极限平均粘结强度为  $3.8 \text{ N/mm}^2$ ; FISEM390 植筋胶的取  $\varphi = 0.54$ , 极限平均粘结强度为  $5.5 \text{ N/mm}^2$ 。基于可靠理论,在实际工程中,钢筋强度和植筋胶的粘结强度在计算临界锚固长度时需乘以相关系数<sup>[7]</sup>,以此来保证植筋系统在工程中有足够的安全储备,由此可得工程中应用的临界锚固长度计算公式:

$$l_{a,c}^{cr} = \gamma_s \gamma_b \frac{f_{yk} A_s}{\pi D \tau_{u,c}}, \quad (1)$$

式中:  $\gamma_s$  为钢筋分项系数取 1.5;  $\gamma_b$  为植筋胶的分项系数,根据不同胶种类由试验确定,  $\gamma_b$  大于 1。

### 3.2 植筋柱极限承载力计算公式

本次试验中,锚固长度超过临界锚固长度的 5 根植筋试验柱的破坏过程和破坏形态都类似于普通混凝土偏心受压构件的破坏形态,都是受拉区植筋屈服而破坏,其极限承载力按照普通混凝土大偏压构件的计算理论计算。

而对于锚固长度小于临界锚固长度的植筋试验柱(本试验中的 CV1),它的破坏时由于植筋搭接区锚固失效,在受拉植筋屈服之前,钢筋拔出破坏,此时植筋胶与混凝土界面之间的粘结强度得到充分发挥。基于平均粘结应力理论和文献[8],可推导得植筋搭接柱的极限承载力。

$$N_u = \frac{\tilde{\tau}_{u,c} \pi D h_e \eta h_0}{(e - \eta h_0)}, \quad (2)$$

式中:  $\tilde{\tau}_{u,c}$  为胶混界面的平均粘结强度。

根据式(2)得到植筋搭接长度小于 CV1 承载力 453kN, 大于实际的 396kN, 主要因为其中一根植筋由于施工等原因植筋胶与混凝土界面的粘结应力没有达到极限粘结强度,提前破坏。

## 4 结论

(1)在试验柱的新旧混凝土结合面处,注意了打毛加糙和粘结剂的质量,但是裂缝仍然在此处首先出现,说明此处截面是试件的薄弱截面。

(2)由于植筋的混凝土保护层大于原有的保护层,一旦裂缝在新旧混凝土结合面形成,就很快延伸至植筋表面,随着荷载的增加,裂缝将集中在此处发展。且由于植筋比预置钢筋更近里面,对混凝土保护层的约束力较弱,使得混凝土上段柱身的裂缝宽度较宽。建议实际工程中类似的情况,在混凝土保护层较厚处另设小直径的钢筋加以改善。

(3)采用 FISV360 植筋胶的试验柱当植筋的锚固长度小于 16 d 时,锚固长度的增加能明显地提高试验梁的极限承载力;但当植筋的锚固长度超过 16 d 以后,对试验梁的极限承载力的提高影响不大。而采用 FISEM390 植筋胶的试验柱在锚固长度大于 12 d 时,试验柱极限承载力差别不大。

(4)试件破坏时的粘结应力随着锚固长度的增

加逐渐减小。

参考文献：

[1] 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.

[2] 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.

[3] 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.

[4] Ronald A C. Behavior of chemically bonded anchors [J]. Journal of Structure Engineering, 1993, 119(9): 2274 – 2761.

[5] 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.

[6] 中华人民共和国建设部. JGJ. 145 – 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.

[7] HILITI Product Information PI 431 – 233/4 [S]. September 1994.

[8] 中华人民共和国建设部. GB 50010 – 2002. 混凝土结构设计规范[J]. 北京: 中国建筑工业出版社, 2005.

Experimental Study on the Behavior of Columns with Bonder Rebars under Eccentric Compression

Gao Fei, Chen Gang and Zhang Jianrong

(Department of Building Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China)

**Abstract:** This paper presents experimental research on RC columns with bonded rebars under eccentric compression. From the text, we get the load-embedded depth curve, the moment-deflection curve, and the load-concrete stress curve. Before the concrete was crushed, the main reason of anchorage invalidation is the strength of the anchoring adhesive is not enough. We still learn that as the ultimate strength increasing, the bond stress is decreasing. And for FISV360S, the ultimate strength can be raised by increase the anchorage length. Finally, we give the formula of the critical anchorage length and the formula of the ultimate strength.

**Key words:** bonded rebars; adhesive properties; eccentric compression; deflection; anchorage length