

文章编号:1673-9469(2008)01-0025-04

## 植筋锚固梁粘结锚固性能的实验研究

刘 强<sup>1,2</sup>, 杨建华<sup>3</sup>

(1.集美大学,福建 厦门 361021;2.福州大学 土木工程学院,福州 350001;3.江苏常州建设学院,江苏 常州 213016)

**摘要:**利用钢筋混凝土结构梁式试件在静力荷载作用下的实验,分析钢筋混凝土植筋梁在静力荷载作用下的受力性能,研究混凝土植筋锚固构件的破坏机理、锚固特性。对实验的现象和数据进行了详细的分析,并对实验成果进行总结,提出了一些建议供设计人员参考。

**关键词:**植筋;粘结锚固;梁式试件

**中图分类号:** TU375.1 TU317+.1

**文献标识码:** A

### The researches of the behavior of the beam - style specimen with chemically bonded anchor

LIU Qiang<sup>1,2</sup>, YANG Jian-hua<sup>3</sup>

(1. Jimei University, Xiamen 361021, China; 2. College of Civil Engineering, Fu Zhou University, Fuzhou 350001, China; 3. Chang Zhou Architecture Technology College, Changzhou 213016, China)

**Abstract:** The experiment of the RC beam - style specimen was introduced under static load. The load - deflection behavior of the beam with chemically bonded anchor was analyzed; the mechanism of destruction was researched. The results were analyzed in detail and some suggestions for the reference to design were put forward.

**Key words:** rebar; bond and anchorage; the beam - style specimen

近年来,随着新型建筑材料的发展及新的施工工艺、施工技术的出现,也相应发展起来了新的加固技术,这些技术更加合理和安全可靠。植筋锚固技术就是近几年发展起来的结构加固的重要技术手段,由于其价格低廉和施工操作简单而应用的越来越广泛。植筋锚固技术<sup>[1,2]</sup>是在原有结构需要改造的部位按设计计算的钢筋数量、规格、位置、经过定位、钻空、清空、灌浆、植筋等工序过程进行结构改造,使结构满足设计要求,承受正常使用荷载,并保持整体稳定性。在以往的粘结锚固研究中,对钢筋与混凝土直接的粘结锚固研究较多<sup>[3]</sup>,对化学结构植筋的粘结锚固研究较少<sup>[4]</sup>;而在对建筑结构胶的粘结锚固研究中,采用棱柱体单调拉拔实验研究较多<sup>[5]</sup>,采用梁式试件进行实验方式较少<sup>[6,7]</sup>。

本文采用钢筋混凝土梁式试件在静力荷载作用下的实验和分析研究,力求弥补以上的不足。进一步研究混凝土植筋锚固构件的破坏机理、锚

固特性。为今后加固锚固工程设计提供了设计参考依据。

### 1 实验研究

#### 1.1 试件的设计及制作

试件共分三根,三根梁梁长为 2 300mm,名称 SB-1、SB-2、SB-3,分别对应钢筋搭接长度为 8d、10d、12d 的试件。实验梁的配筋如图 1 所示。受力筋采用二级钢筋,直径为 22,箍筋、架力筋采用一级钢筋,混凝土强度为 C30,实测立方体(150×150×150mm)强度  $F_{cu} = 38.37\text{N/mm}^2$ ,抗压强度  $F_c = 29.16\text{N/mm}^2$ 、抗拉强度  $F_t = 2.84\text{N/mm}^2$ 。

实验梁的施工分二次浇注,模板采用木模板,人工浇捣,使用微型插入式振动棒振实混凝土。先按正常程序浇注预埋段(图 1 中梁长的实线部分),在室内自然养护 28d 后,在浇注植筋段(图 1 中梁长的虚线部分),在新老混凝土结合界面采用

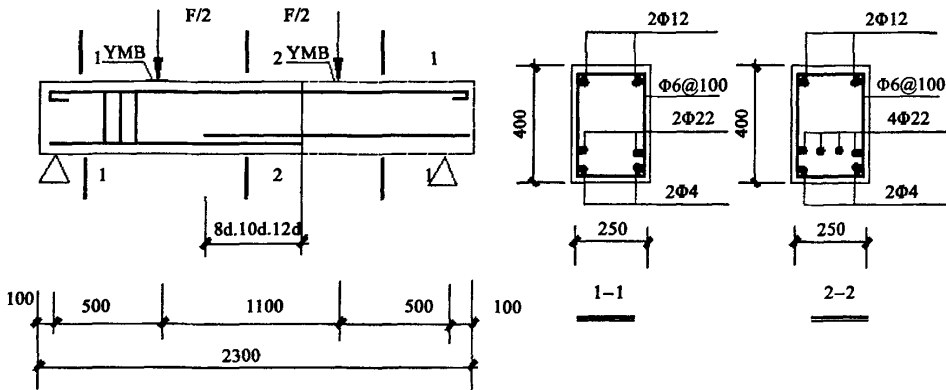


图1 试验梁尺寸及配筋 (YMB: 250×250×80mm)

Fig.1 Dimensions and reinforcement of testing beam

打毛处理。植筋工艺的钻空、清空、注胶、植筋等均由专业公司人员施工。

### 1.2 植筋施工工艺

1) 种植筋制作: 用砂纸除去种植筋端部铁锈, 然后用丙酮或酒精擦净表面, 不得有锈蚀和油污存在。

2) 定位: 按植筋梁图纸要求确定种植筋的位置, 用红色铅笔画出纵横条, 交点为植筋设计位置。

3) 成孔: 用直径为 30 的冲击钻钻孔, 深度分别为 8d、10d、12d。

4) 清空: 用毛刷将刚钻的孔侧壁上的灰尘刷净, 然后用气筒将孔内刷落的灰尘吹出。

5) 注胶: 用专用注枪将注射剂轻轻压注孔内。

6) 插筋: 匀速将种植筋边旋转边插入孔内直至孔底, 刮去多余粘结剂。

7) 养护固化: 钢筋植入定位后应加以保护, 防止碰撞和位移, 待黏合剂固化后方可进行钢筋绑扎等后续工艺。

### 1.3 实验方案

1) 加载设计。每次实验在正式实验时均先进行预加载, 检查整个实验装置是否正常。预加载值不超过最大设计荷载值的 60%。加载时, 最大荷载值分别取标准荷载值的 50%, 既 8d:  $F_{max} = 50\% \times 160kN = 80kN$ , 10d:  $F_{max} = 50\% \times 200kN = 100kN$ , 12d:  $F_{max} = 50\% \times 250kN = 125kN$ , 共加五级, 每次持续时间为 10min。

2) 实验观测。随着实验的进行, 细致观测梁

裂缝的发生。测定锚固长度范围内钢筋在实验过程中的应变值。测定植筋锚固梁跨中受压区混凝土的应变值。测定植筋锚固梁跨中的挠度值。

### 2 实验结果分析

1) 实验梁的破坏特征。从实验梁的实验过程及现象可看出, 三根梁的破坏特征大体相同。加载初期试件均无裂缝出现, 试件基本处于弹性工作阶段, 随着荷载的增加, 首先裂缝在钢筋搭接接头的两端出现, 然后, 纯弯段的其他部位产生几条近乎等距的垂直裂缝, 最后所植的钢筋带着胶与混凝土产生滑移而拔出。破坏发生在胶与混凝土界面上, 而且植筋长度越大, 构件产生的裂缝也越多, 遍布整个纯弯段, 裂缝间距较均匀。表明粘结剂与钢筋界面的粘结强度大于粘结剂与混凝土界面的粘结强度, 而且随着所植钢筋长度的增加, 钢筋与混凝土间的粘结力增大, 构件的破坏荷载越大, 裂缝发展得越充分。

2) 锚固力沿锚长的发展。由测得三个试件极限承载力可知, 锚固长度增加时, 锚固承载力加大, 但并不呈线性; 当锚长较大时, 承载力增加趋势减缓, 见表 1 所示试件承载力与锚固长度的关系。因此由这三个实验现象可以推测适当延长锚固长度可作为提高锚固抗力的措施, 但有一个限度。

3) 试件的弯矩—跨中挠度的关系。根据所测荷载算出纯弯段的纯弯矩, 可以得到三根实验梁的弯矩—挠度关系的曲线图 2, 由测得弯矩—挠度的关系可以看出, 试件的挠度变化表现为两个阶

段,这与理论分析得到的三阶段形式是不一致的。主要是因为所有试件由于植筋长度较短,试件的受力筋均未达到屈服强度,最后均因植筋与混凝土滑移而发生脆性破坏,未观察到钢筋屈服后试件的破坏特征,这是本次实验的一大缺憾。由弯矩—挠度的曲线图可见,混凝土开裂前,试件处于弹性工作阶段,挠度随着荷载均匀增加。三根试件弯矩—挠度的曲线基本重合,这反应了不同植筋深度的梁抗弯刚度在开裂前基本相同。由实验测得的数据还可知,植筋深度为 8d 的开裂荷载最小,10d 的次之,12d 的最大,说明开裂荷载随植筋长度的增加而增大。开裂后,试件挠度明显增加,但由于胶的粘弹性变形,植筋长度较大的构件,构件变形较小,梁刚度越大,试件挠度增长速度随植筋长度的增加而降低。各试件的抗弯刚度比较见表 2。

表 1 试件承载力与锚固长度的关系

Tab.1 Relation between capacity and anchorage length for specimen

试件编号	锚固长度(mm)	极限承载力(kN)
SB-1	176	108.00
SB-2	220	148.57
SB-3	264	171.00

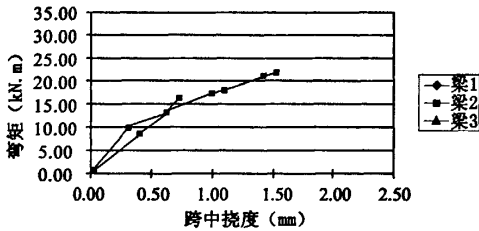


图2 弯矩—挠度曲线  
Fig.2 Bend moment-deflection curve

表 2 试件的抗弯刚度

Tab.2 The bending stiffness of specimen

梁编号	植筋深度 (mm)	开裂荷载 (kN)	梁破坏荷载 (kN)	梁破坏时的刚度 ( $10^3 \text{ kN/m}^2$ )
SB-1	8d=176	30	108	12.463
SB-2	10d=220	40	148.57	12.918
SB-3	12d=264	50	171	13.215

4) 荷载与受压区混凝土应变的关系。图 3 为外荷载与受压区混凝土应变的关系图,由图可见,荷载与受压区混凝土应变的关系基本为一直线,

随着荷载的增加,混凝土应变也增大,而且不同植筋深度的梁,荷载与受压区混凝土应变的关系曲线基本重合,这表明受压区混凝土应变的发展与植筋深度的大小无关,主要原因是受压区线性好,这时混凝土均处于弹性阶段。

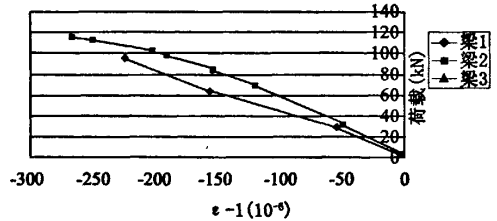
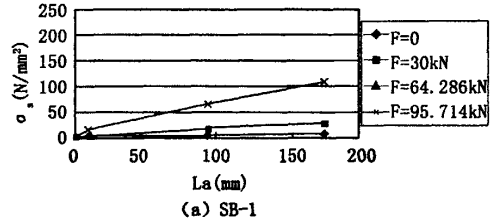


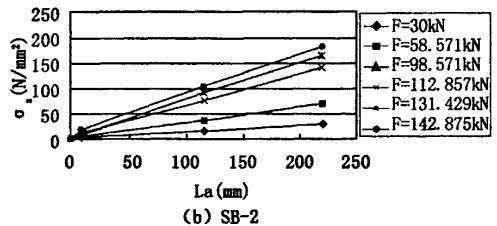
图3 荷载—梁受压区边缘混凝土应变

Fig.3 Experimental relations of load and concrete compression strain

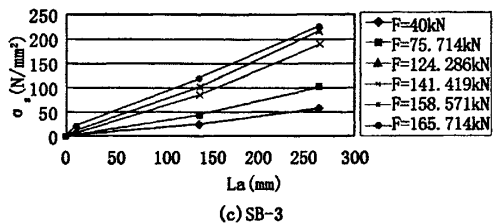
5) 搭接范围内荷载与不同截面处钢筋应力的关系。从实验可知,在构件开裂前,搭接范围内不同截面处钢筋应力基本相同,随着荷载的增加,搭接钢筋的自由端及终端的钢筋应力大于其他部位的应力,表明裂缝首先出现在钢筋搭接接头的部位,混凝土退出工作,拉力由此处的钢筋承担。



(a) SB-1



(b) SB-2



(c) SB-3

图4 钢筋应力沿锚长的变化

Fig.4 Stress distribution of reinforcement for anchorage length

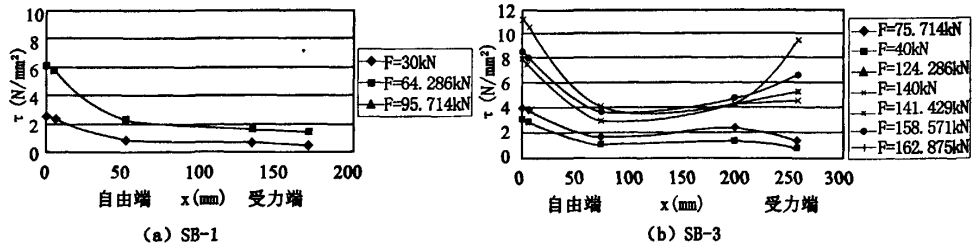


图5 植筋的粘结应力沿锚长分布

Fig. 5 Bond stress distribution of rebar for anchorage length

6) 试件的钢筋粘结应力沿锚长的分布。由实测各点的钢筋应变值,可以得到试件钢筋应力沿锚长的变化,如图4所示。由图上可以看出,钢筋应力沿锚固长度基本呈三角形分布,应力的发挥随着锚固长度的增加而提高。本次实验由于搭接长度较小,未测的钢筋屈服后的应力沿锚长的变化,但可预测搭接长度接近或大于最小搭接长度的试件,钢筋应力可以达到屈服强度。

7) 试件的粘结应力沿锚长的分布。由(1)式可算出两个测点间的平均剪应力

$$\tau_{ab} = (E\varepsilon_a - E\varepsilon_b) \pi r^2 / 2\pi r l_{ab} = (\varepsilon_a - \varepsilon_b) Ed / 4l_{ab} \quad (1)$$

$E$ —钢筋的弹性模量; $d$ —钢筋直径; $l_{ab}$ —测点  $a$ ,  $b$  的距离; $\varepsilon_a$ 、 $\varepsilon_b$ —测点  $a$ ,  $b$  的应变值。

图5为试件SB-1和SB-3在各级荷载下的粘结应力沿锚长分布。

从图5中可看出,自由端的粘结应力远小于受力端的粘结应力,当植筋达到一定长度时,随着荷载的增加,受力端的粘结应力逐渐接近自由端的粘结应力,形成两头大中间小的态势,分布曲线呈现上凹的抛物线形。与普通混凝土直接锚固钢筋的情况一致。

### 3 结论

1) 新老混凝土结合界面,应重视原混凝土表面的打毛处理,增强新老混凝土的粘结。

2) 随着植筋锚固长度的增加,裂缝发展越充分,破坏时的构件产生的裂缝越多,但产生的裂缝间距较均匀。

3) 主要竖向裂缝均产生在植筋与预埋钢筋接

头的两端。

4) 开裂前,植筋锚固长度不同的梁抗弯刚度相同,而开裂后,植筋锚固长度越长,梁抗弯刚度越大。

5) 开裂荷载随植筋锚固长度或搭接长度的增加而增大。

6) 当植筋达到一定长度,在加载后期,钢筋的粘结应力沿锚长的分布出现两头大中间小的趋势,与普通混凝土直接锚固钢筋的情况一致。

7) 对建筑结构胶植筋的临界锚固长度和极限锚固长度的实验研究,为今后工程设计提供了设计参考依据。

### 参考文献:

- [1] COOK R A, KUCHS J, FUCHS R C. Behavior and design of single anchors under tensile load in uncracked concrete[J]. Structural Journal, 1998, 95(1): 33-40.
- [2] MCVAY N, COOK R A, KRISHNAMURTHY K. Behavior of chemically bonded anchors[J]. Journal of Structural Engineering, 1993, 119(9): 143-146.
- [3] 司伟建,周新刚,黄金枝,等.混凝土结构植筋粘结锚固性能的试验研究[J]. 建筑结构, 2001, 31(3): 9-12.
- [4] 周新刚,司伟建,李春祥.钢筋混凝土植筋锚固构件受低周反复荷载的恢复力特性[J]. 建筑结构, 2002, 32(8): 38-40.
- [5] 张建荣,石丽忠,吴进,等.植筋锚固拉拔试验及破坏机理研究[J]. 结构工程师, 2004, 20(5): 47-51.
- [6] 张建荣,石丽忠,吴进,等.植筋锚固拉拔试验及破坏机理研究[J]. 结构工程师, 2004, 20(5): 47-51.
- [7] 左新建.潮湿混凝土种植钢筋锚固性能的试验研究[J]. 四川建筑科学研究, 2005, 31(5): 63-64.

(责任编辑 刘存英)