

套筒式钢筋连接技术在预制桥墩中的试验研究

苏强 谢正元 卢双桂 周红梅 王强 陈竞

(柳州欧维姆机械股份有限公司 柳州 545005)

摘要:钢筋连接技术在装配式混凝土结构中是关键施工技术之一,一般采用灌浆套筒进行钢筋连接。近几年来,在国内的房屋建筑预制构件中灌浆套筒得到越来越多的应用,而在桥梁中应用研究的时间较短。本文介绍灌浆套筒式钢筋连接技术在预制桥墩中的试验研究情况,主要从研究背景、连接构造与材料性能、粘结应力研究、型式试验、预制拼装立柱抗震试验等方面,对该项新技术进行较全面介绍。

关键词:钢筋 连接 灌浆套筒 预制拼装 高强砂浆

1 研究背景

混凝土结构体系作为应用规模最大的建筑结构类型,是建筑业产业化发展的重要组成部分,因此装配式混凝土结构将成为产业化发展的主要方向。预制混凝土构件的连接,特别是钢筋的连接,是装配式混凝土结构的关键技术。在传统的现浇混凝土结构中,钢筋的连接多采用搭接连接、焊接连接或挤压套筒等机械连接方法,钢筋连接的施工较为复杂,且必须在浇注混凝土前完成钢筋的连接,不适用于预制混凝土结构的装配式施工,而在装配式结构施工中主要采用灌浆套筒进行钢筋的连接。

灌浆式钢筋接头主要由带有内螺纹的套筒、无收缩高强度水泥砂浆和两端的带肋钢筋组成。其原理是:将无收缩高强度水泥砂浆灌入套筒,填满套筒与钢筋之间的间隙,水泥硬化后,与带肋钢筋和带有内螺纹的套筒紧密结合。该套筒的连接强度可以达到1.25倍钢筋屈服强度以

上,甚至超过钢筋母材,且在接头试件单向拉伸试验时,断于钢筋上。我国标准JGJ107-2010《钢筋机械连接技术规程》是在参考有关国际标准和国外先进标准,在广泛征求意见的基础上修订的,灌浆式钢筋接头适用于本标准。

最早的灌浆式钢筋连接技术见于前苏联、美国、日本,近十多年来国外的装配式混凝土结构得到较广泛的应用。近几年来,国内也开始研究并得到初步应用^{[1][2][3]},但技术还不完善,应用范围有限,主要在房屋建筑方面应用,且产业化程度低,有待发展空间大。随着城市化建设的逐步推进,城市高架、轻轨的施工任务也逐步成为我国大中型城市基础设施建设的主要内容之一,在这些基础设施建设中,预制拼装可能成为最主要的施工方法,桥梁预制桥墩中的套筒式钢筋连接为最关键的技术。

2 连接构造与材料性能

灌浆式钢筋连接构造由连接套筒、螺纹钢筋、高强砂浆(或称灌浆料)及配件组成(如图1)。

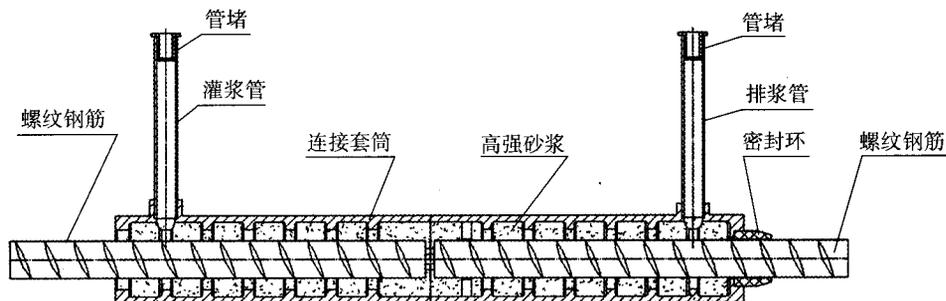


图1 灌浆式钢筋连接构造

2.1 螺纹钢

所连接的螺纹钢应满足GB1499.2及GB 13014的要求, 钢筋直径为12mm-50mm。

对于预制桥墩, 因受力较大, 一般设计采用较大直径规格的钢筋, 钢筋强度有HRB335、HRB400、HRB500三种级别。

2.2 连接套筒

连接套筒的内壁设有交替布置的凹槽与凸肋, 这种结构有利于螺纹钢与高强砂浆、高强砂浆与套筒之间力的传递, 有效减少钢筋的锚固长度。连接套筒一端孔口尺寸较小(如图1中的右端), 右端的螺纹钢先插入套筒内进行预埋安装, 该端还设有一密封环, 保证浇筑混凝土时浆体不渗入套筒。在连接套筒中部位置分别设有轴向定位与横向定位的凸台, 保证右端的螺纹钢在套筒定位与对中。连接套筒的另一端(如图1中的左端)孔口尺寸较大, 与螺纹钢有较大的间隙, 保证现场安装时能吸收构件制造上的误差与安装偏差。在大孔口端附近设一灌浆管, 在小孔口附近设一排浆管, 用于连接套筒内高强砂浆的灌入与排出, 灌浆后用管堵堵住浆体。

连接套筒的外形尺寸应能保证其屈服承载力和受拉承载力的标准值不小于被连接钢筋的屈服力和受拉承载力标准值的1.1倍。套筒的长度应根据试验确定, 灌浆锚固长度不宜小于8倍钢筋直径, 套筒中间轴向定位点两侧应预留钢筋安装调整长度, 预制端不应小于10mm, 现场装配端不应小于20mm。

连接套筒一般采用球墨铸铁精铸而成, 符合GB/T 1348的规定, 其材料性能应符合以下规定:

1) 抗拉强度不小于600MPa; 2) 延伸率不小于3%; 3) 球化率不小于85%。如连接套筒采用机加工钢材的工艺制造, 其材料性能应符合以下规定: 1) 抗拉强度不小于600MPa; 2) 屈服强度不小于355MPa; 3) 延伸率不小于16%。因铸件的生产率较高, 产品供货及时, 建议采用球墨铸铁的铸造工艺。所生产的连接套筒铸件表面不应有夹渣、冷隔、砂眼、气孔、裂纹等铸造缺陷, 出厂前应用防锈措施。见国家住房与城乡建设部国家建筑行业标准《钢筋连接用灌浆套筒》(征求意见稿)^[4]。

2.3 高强砂浆

高强砂浆, 此处也称“套筒灌浆料”, 是一种以水泥为基本材料, 配以适当的细骨料, 以及少量的混凝土外加剂和其它材料组成的干混料, 加水搅拌后具有较大流动度、早强、高强、微膨胀等性能, 填充于套筒与连接钢筋间隙内, 形成钢筋灌浆连接接头。(见国家住房与城乡建设部国家建筑行业标准《钢筋套筒连接用灌浆料》(征求意见稿)^[5])。

一般地, 套筒灌浆料应按备案的企业标准要求要求进行生产, 按设计要求的用水量进行配制, 其性能应符合表1的规定。

表1 套筒灌浆料的技术性能

检测项目		性能指标
流动度	初始	≥300mm
	30min	≥260mm
抗压强度	1d	≥35MPa
	3d	≥60MPa
	28d	≥85MPa
	24h与3h差值	0.02%~0.5%
氯离子含量		0.03%
泌水率(%)		0

3 粘结应力研究

国外对于这种灌浆式钢筋连接技术进行过较多的理论分析与试验研究, 总结出了一些经验。已有的研究认为提高钢筋与砂浆的粘结应力是该技术的关键, 除粘结应力受套筒构造影响外, 还与砂浆抗压强度、构造对砂浆的约束程度有关。

1965年Untrauer与Henry^[6]对钢筋与砂浆的粘结应力进行研究, 通过给试件两个平行面施加正压力并同时拉拔钢筋, 发现其粘结应力随着正压力的增长而线性增长。

1979年Losberg与Olssen^[7]研究认为钢筋的粘结失效是周围砂浆受劈裂力作用纵向开裂所致。

1985年Yankelevsky^[8]提出一个分析方法去推导钢筋轴向应力与粘结强度的关系。

1989年Soroushian与choi^[9]对受约束的砂浆中钢筋的粘结应力进行研究, 研究认为粘结应力随着钢筋直径的增加线性减少。

1991年Soroushian等人^[10]研究认为最大的粘结应力与砂浆抗压强度的平方根成比例关系。

1993年Hayashi等人^[11]研究认为粘结应力随砂

浆抗压强度线性增加只是在钢筋的弹性范围内,在钢筋屈服后其粘结应力保持不变。

另外,还有灌注高膨胀砂浆的研究、增加搭接钢筋或螺旋钢筋的研究、对砂浆进行约束的研究等,研究的目的在于设法提高钢筋与砂浆的粘结应力。

4 型式试验

4.1 接头的制作

以 $\phi 20$ 钢筋接头为试验样品,试件不少于9个,同时另取3根钢筋试件做母材试验,试验长度根据检测设备的要求确定(试件如图2所示),本试验用套筒样品采用铸造生产工艺。

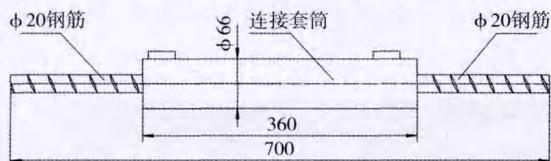


图2 $\phi 20$ 钢筋接头试件

制作接头试件前,应将钢筋、套筒、灌浆材料、拌合水、辅助机具等材料备齐,之后按工艺要求制作接头试件,试件制作工艺大致如下:清洗套筒内腔—预埋端钢筋插入—密封处理—套筒固定—灌入砂浆—另一端钢筋插入—养护(如图3、图4所示)。

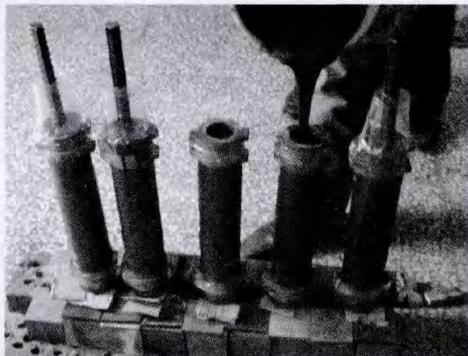


图3 灌入砂浆

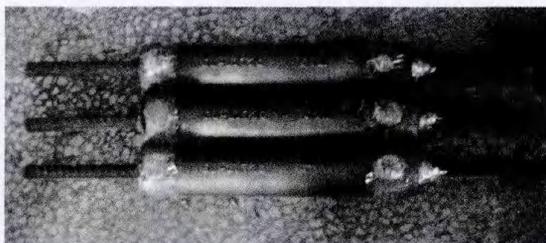


图4 钢筋接头试件

4.2 型式试验

套筒形成连接接头的抗拉强度和变形性能应符合JGJ107《钢筋机械连接技术规程》中I级接头的规定:接头抗拉强度等于被连接钢筋的实际拉断强度或不小于1.10倍钢筋抗拉强度标准值,残余变形小并具有高延性及反复拉压性能^[12]。

1) 标准中要求, I级、II级、III级接头的抗拉强度必须符合表2的规定。

2) 标准中要求, I级、II级、III级接头应能经受规定的高应力和大变形反复拉压循环,其变形性能应符合表3的规定,且在经历拉压循环后,其抗拉强度仍应符合表2的规定。

当试件的砂浆强度超过85MPa后开始试验,其中单向拉伸试件3个,高应力反复拉压试件3个,大变形反复拉压试件3个,同时另取3根钢筋试件作抗拉试验。全部试件均在同一根钢筋上截取。本型式试验在国家建筑工程质量监督检测中心进行,试验结果如表4所示,结果表明:所检验的项目符合JGJ107《钢筋机械连接技术规程》规定的I级接头性能要求。

试验后的连接头试件(见图5)。

表2 接头的抗拉强度

接头等级	I级	II级	III级
抗拉强度	$f_{msl}^0 \geq f_{stk}$ 或 $f_{msl}^0 \geq 1.10f_{stk}$	断于钢筋 断于接头	$f_{msl}^0 \geq f_{stk}$ $f_{msl}^0 \geq 1.25f_{yk}$

表3 接头的变形性能

接头等级		I级	II级	III级
单向拉压	残余变形 (mm)	$U_0 \leq 0.10(d \leq 32)$ $U_0 \leq 0.14(d > 32)$	$U_0 \leq 0.14(d \leq 32)$ $U_0 \leq 0.16(d > 32)$	$U_0 \leq 0.14(d \leq 32)$ $U_0 \leq 0.16(d > 32)$
	最大力总伸长率(%)	$A_{sgt} \geq 6.0$	$A_{sgt} \geq 6.0$	$A_{sgt} \geq 3.0$
高应力反复拉压	残余变形 (mm)	$U_{20} \leq 0.3$	$U_{20} \leq 0.3$	$U_{20} \leq 0.3$
大变形反复拉压	残余变形 (mm)	$U_4 \leq 0.3$ 且 $U_8 \leq 0.6$	$U_4 \leq 0.3$ 且 $U_8 \leq 0.6$	$U_4 \leq 0.6$

表4 钢筋及接头型式试验结果

母材检验数据					
母材试件编号	1	2	3	平均值	标准值
钢筋直径 (mm)	20				
屈服强度 R_{el} (MPa)	440	445	445	-	≥ 400
抗拉强度 R_m (MPa)	605	605	605	-	≥ 540
单向拉伸性能检验数据					
单向拉伸试件编号	4	5	6	平均值	标准值
抗拉强度 f_{mst}^0 (MPa)	605	605	610	-	$f_{mst}^0 \geq f_{sk}$ $f_{mst}^0 \geq 1.10f_{sk}$
残余变形 U_0 (mm)	0.08	0.08	0.07	0.08	$U_0 \leq 0.10$
总伸长率 A_{sgt} (%)	14.0	14.0	13.5	13.7	$A_{sgt} \geq 6.0$
破坏情况	钢筋断钢筋断钢筋断			-	-
高应力反复拉压性能检验数据					
高应力反复拉压试件编号	7	8	9	平均值	标准值
抗拉强度 f_{mst}^0 (MPa)	610	610	610	-	$f_{mst}^0 \geq f_{sk}$ $f_{mst}^0 \geq 1.10f_{sk}$
残余变形 U_{20} (mm)	0.25	0.28	0.20	0.24	$U_{20} \leq 0.3$
破坏情况	钢筋断钢筋断钢筋断			-	-
大变形反复拉压性能检验数据					
大变形反复拉压试件编号	10	11	12	-	-
抗拉强度 f_{mst}^0 (MPa)	610	610	610	-	$f_{mst}^0 \geq f_{sk}$ $f_{mst}^0 \geq 1.10f_{sk}$
残余变形 U_4 (mm)	0.16	0.15	0.20	0.17	$U_4 \leq 0.3$
残余变形 U_8 (mm)	0.28	0.28	0.27	0.28	$U_8 \leq 0.6$
破坏情况	钢筋断钢筋断钢筋断			-	-

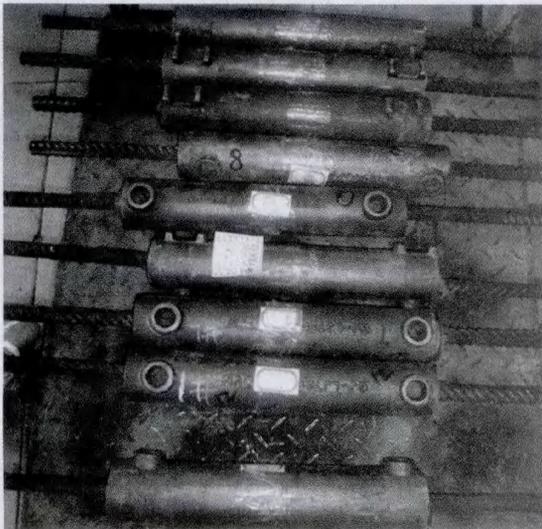


图5 试验后的连接头试件

5 预制拼装立柱抗震试验

为了解灌浆式钢筋套筒在实际工程的应用效果,有关单位模拟实际工程对采用灌浆式套筒的

预制拼装桥墩进行了抗震试验研究。每个拼装面设有10个 $\phi 20$ 钢筋连接套筒。试验过程主要有:承台与立柱预制—承台与立柱拼装—砂浆制备与灌注—抗震试验。

5.1 承台与立柱预制

按设定尺寸制作模子与配筋,在承台顶部或立柱底部预埋套筒,套筒安装时,采用橡胶密封柱塞将其固定在构件底模上,套筒与构件底模应垂直;连接钢筋从套筒预埋端插入,采取措施固定并作好密封,防止漏浆。与套筒连接的灌浆管也需定位准确,安装稳固。之后浇筑混凝土并养护至拼装所需的强度(如图6、图7所示)。

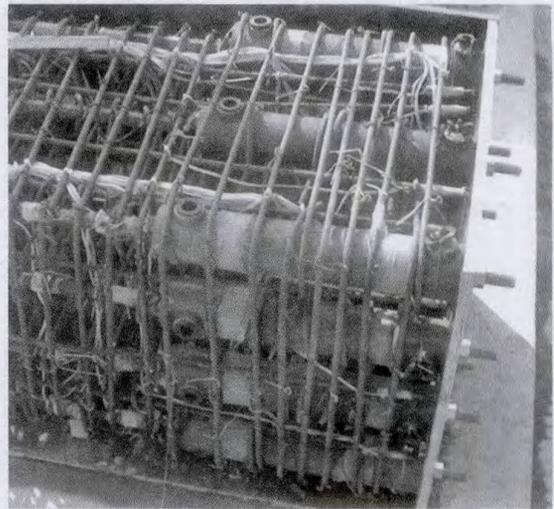


图6 预埋套筒

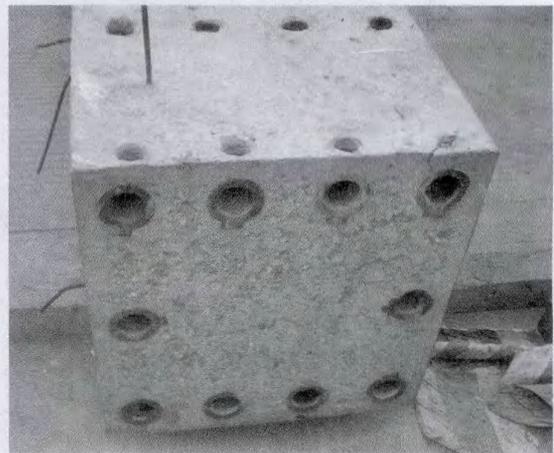


图7 立柱底部



5.2 承台与立柱拼装

拼装前,清洗预制承台与立柱的连接面,并确认套筒内无异物。预制构件安装过程中,根据基准点和轴线校正位置。立柱安装时,承台顶面可配置薄垫片来调整其垂直度。之后采取临时措施固定立柱(如图8、图9所示)。



图8 立柱与承台准备拼装



图9 立柱与承台拼装

5.3 砂浆制备与灌注

按设定配比称重灌浆料,用高速电动搅拌机进行搅拌,搅拌时间不宜少于5min。灌浆前,应对立柱与承台之间的缝隙进行密封,密封材料应能承受1MPa以上的灌浆压力,或者在承台与立

柱拼装前,在承台顶部连接面处铺设垫层混凝土。灌浆时,由套筒下方注浆口注入,待其它套筒的出浆口连接流出浆液时,对出浆口进行封堵(如图10、图11所示)。

5.4 抗震试验

当砂浆强度达到要求后,把已拼装好的承台与立柱运至试验室,在试验台上安装好后进行抗震研究,通过抗震试验,了解拼装构件的承载能力及各部份的应力、变形情况。经试验取得了较好的效果(如图12、图13所示)。

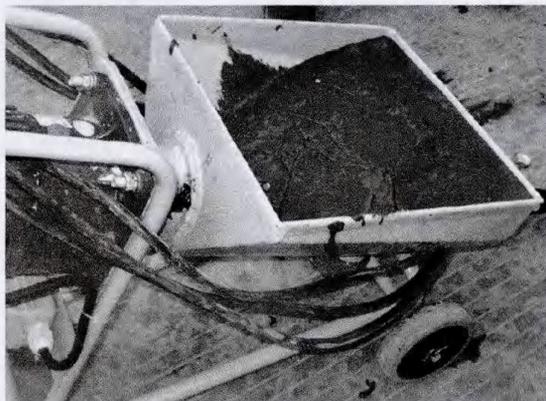


图10 砂浆制备

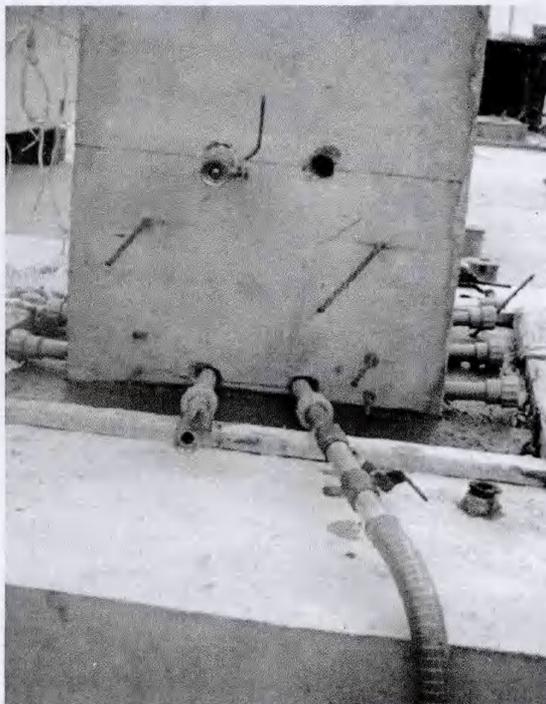


图11 砂浆灌注



图12 抗震试验



图13 试验后的承台与立柱

6 研究结论

为满足我国桥梁立柱预制拼装施工工艺的需要而研发的灌浆套筒式钢筋连接技术,经型式试验、抗震试验研究表明,该技术已基本完善,为实际工程的应用奠定了基础。

(1) 研发的灌浆式钢筋套筒铸造生产工艺已成熟,已能实现批量生产。

(2) 研发的专用高强砂浆满足有关规范的要求。

(3) 研发的灌浆式钢筋套筒满足JGJ107标准中I级性能要求。

(4) 灌浆式钢筋套筒在桥梁预制立柱中的施工工艺已基本成熟。

(5) 灌浆式钢筋套筒在模拟实际工程的抗震试验中受力可靠。

参考文献

- [1] 王爱军. 钢筋灌浆直螺纹连接技术及应用[J]. 建筑机械, 2010(增刊):21-25.
- [2] 吴子良. 钢筋套筒灌浆连接技术[J]. 住宅产业, 2011.06: 59-61.
- [3] 杨杨. 钢筋的套筒灌浆连接新技术[J]. 施工技术, 1995 (5):23-25.
- [4] JG/TXXXX-XXXX《钢筋连接用灌浆套筒》(征求意见稿).
- [5] JG/TXXXX-XXXX《钢筋套筒连接用灌浆料》(征求意见稿).
- [6] Untrauer,R.E.,and Henry,R.L., "Influence of Normal Pressure on Bond Strength" ACI Journal,V.62,No.5,May 1965,pp.577-585.
- [7] Losberg,A.,and Olssen,P., "Bond Failure of Deformed Main Bars Based on the Longitudinal Splitting Effect of the Bars" ACI Journal,V.76,No.1,January 1979,pp.5-18.
- [8] Yankelevsky,D.Z., "Bond Action Between Concrete and a Deformed Bar-A New Mode" ACI Journal,V.82,No.2,March-April 1985,pp.154-162.
- [9] Soroushian,P.,and Choi,K., "Local Bond of Deformed Bars with Different Diameters in Confined Concrete" ACI Structural Journal,V.86,No.2,March-April 1989,pp.217-222.
- [10] Soroushian,P.,and Choi,K., Park,G.,and Aslani,F., "Bond of Deformed Bars to Concrete:Effects of Confinement and Strength of Concrete." ACI Materials Journal,V.88,No.3,May-June 1991,pp.227-232.
- [11] Hayashi,Y.,Shimizu,R.,Nakatsuka,T.,and Suzuki,K., "Bond Stress-Slip Characteristic of Reinforcing Bar in Grout-Filled Coupling Steel Sleeve." Proceedings,Japan Concrete Institute V.15,No.2,1993,pp.265-270.
- [12] 中华人民共和国行业标准 JGJ107-2010《钢筋机械连接技术规程》[S].