

市政桥梁预制墩柱套筒灌浆连接施工质量控制

王 坤

润德建设投资（长春）有限公司，吉林 长春 130000

[摘要]套筒灌浆是市政预制墩柱与承台关键连接形式，其质量关乎桥梁结构整体的安全性和耐久性。本文阐述套筒灌浆原理与施工流程，从材料、施工工艺分析质量影响因素，围绕材料验收、墩柱吊装、浆料调配、饱满度管控及后期养护明确质控要点。结合施工便捷与经济性优化连接构造，针对出浆口附近灌浆料回流、空腔缺料问题，采用灌浆令制度、全过程视频监控、严格人员和工艺管理，形成施工准备、过程监督、质量验收全过程监理控制体系，可以保证灌浆饱满度和连接可靠。工程资料表明灌浆饱满度决定连接性能，据此提出责任追溯、标准化交底、智能信息化监测等管控举措，给同类型市政桥梁预制拼装施工提供借鉴。

[关键词]市政桥梁预制墩柱；套筒灌浆连接；质量控制

DOI: 10.64635/ja.2026.1188

中图分类号: U445.4

文献标识码: A

Construction Quality Control of Sleeve Grouting Connections for Precast Pier Columns in Municipal Bridges

Wang Kun

Runde Construction Investment (Changchun) Co., Ltd., Changchun, Jilin 130000, China

Abstract: Sleeve grouting serves as the critical connection between precast pier columns and bearing caps in municipal bridges, with its quality determining the overall safety and durability of bridge structures. This paper elaborates on the technical principle and construction procedure of sleeve grouting, analyzes quality influencing factors from material and construction process perspectives, and specifies key quality control measures covering material inspection, pier hoisting, grout mixing, grout fullness control and post-grouting curing. To balance construction efficiency and cost-effectiveness, the connection structure is optimized. Aiming at grout backflow and void defects near sleeve outlet holes, a full-process supervision system spanning preparation, on-site supervision and acceptance is established via grouting permit regulation, full-time video monitoring and strict management of operators and construction techniques to secure sufficient grout filling and reliable connections. Engineering references prove grout fullness dominates connection performance. Accordingly, management solutions including full-life responsibility tracing, standardized technical disclosure and intelligent information-based monitoring are proposed to provide references for precast assembly construction of similar municipal bridges.

Keywords: precast pier columns in municipal bridges; sleeve grouting connection; quality control

引言

伴随着城市交通建设的飞速发展，装配式施工技术被广泛地应用于市政桥梁工程当中。预制墩柱是装配式桥梁的主要构件，预制墩柱和承台之间的连接质量对结构的整体性能起着决定性的作用。套筒灌浆连接技术由于连接可靠、施工方便、适应性强等特点，被用作预制墩柱和承台连接的一种主要形式。但是套筒灌浆连接施工包含材料、工艺、检测等诸多环节，质量控制难度大，灌浆不饱满、套筒定位不准等质量问题时有发生，直接危及桥梁结构的

安全。因此，对市政桥梁预制墩柱套筒灌浆连接施工质量进行系统的研究，有重大的工程实践意义。

1 预制墩柱套筒灌浆连接施工概述

1.1 套筒灌浆连接技术原理

套筒灌浆连接是用高强灌浆料把预制墩柱内预埋钢筋和承台预留钢筋连接成一体的一种机械连接方式。基本原理就是把墩柱预埋钢筋和承台预留钢筋在套筒内部对位，注入高强、微膨胀的灌浆料，灌浆料硬化后与套筒内壁的环肋、钢筋表面形成机械咬合和摩擦粘结，达到力的

有效传递。不同参数下新型灌浆套筒的力学性能研究结果表明,环肋数量、环肋间距、环肋深度、钢筋锚固长度、钢筋直径等都会对套筒连接性能产生明显的影响。套筒是连接的主要部件,它的构造设计会直接影响到荷载传递的效率。灌浆料要具有高强、早强、微膨胀、流动性好的特点,保证灌浆密实并形成良好的粘结强度。该技术的本质就是用灌浆料把钢筋和套筒连成一体,使接头的力学性能不小于母材钢筋。

1.2 套筒灌浆连接施工工艺流程

套筒灌浆连接施工工艺流程主要包含施工准备、墩柱吊装就位、套筒与钢筋对位、灌浆料配制、灌浆作业、保压养护、质量检测等。施工前要对套筒、灌浆料等材料进行进场检验,对墩柱成品进行质量检查。墩柱吊装就位后要准确调整墩柱的位置和垂直度,保证承台预留钢筋能正确插入套筒内。灌浆料配制时要严格控制水料比和搅拌时间,流动性检测合格后才能进行灌浆作业。灌浆时应按自下而上顺序进行,直到全部出浆孔都连续均匀地排出浆液为止,再依次封堵。灌浆完成后需要有一定的保压时间,以保证浆液不回流。灌浆套筒内普遍存在着灌浆料回流的现象,套筒内不饱满的地方主要分布在套筒出浆口附近,所以保压、养护环节对于保证灌浆饱满度来说尤其重要。

2 影响套筒灌浆连接施工质量的关键因素

2.1 材料因素(套筒、钢筋、灌浆料)

套筒灌浆连接所用材料质量是决定施工效果的前提条件。套筒的材质、尺寸精度、环肋构造等都会影响到连接的力学性能。用 Q390B 低合金无缝钢管为原料的新型灌浆套筒,环肋的设计参数对连接性能起决定性的作用。套筒内径与钢筋直径不匹配、套筒长度和环肋数量不符合设计要求都会造成粘结锚固不足。套筒环肋构造是形成机械咬合力的重要因素,环肋高度、间距和数量的设计好坏会直接关系到荷载传递效率的好坏。环肋过浅或者间距太大,灌浆料硬化后不能和套筒内壁形成有效的机械互锁,接头承载力会大大降低。套筒材质要符合抗拉强度、屈服强度和断后伸长率等力学性能的要求,材质强度不够会使套筒在受力时产生塑性变形或者破裂^[1]。钢筋方面预埋钢筋位置偏差、锚固长度、表面清洁度都会影响灌浆后粘结效果。钢筋锚固长度是保证钢筋在套筒内获得足够的粘结力的重要参数,锚固长度不够容易造成钢筋拔脱破坏。预埋钢筋位置偏差过大,会使得钢筋不能正确进入套筒,从而造成钢筋偏心受力或者无法全部嵌入。钢筋表面如果有锈蚀、油污、泥土等附着物,就会使灌浆料和钢筋

的粘结力降低,严重的会造成粘结失效。因此钢筋安装前要进行表面清理,保证锚固段的清洁。灌浆料的流动性、强度、膨胀率是主要的性能指标。流动度是衡量灌浆料填充能力的重要指标,初始流动度不低于 300mm,30min 流动度保留值不低于 260mm 是保证灌浆作业顺利进行的基本条件。强度上要求灌浆料具有早强、高强的特点,1d 抗压强度不小于 35MPa,28d 抗压强度不小于 85MPa,满足施工速度快、长期承载可靠的要求。膨胀率控制在 0.02%~0.5%之间,在硬化过程中会产生一定的体积膨胀,补偿收缩,提高与套筒内壁、钢筋表面的密贴程度。灌浆料如果出现泌水或者离析现象,就会使灌浆密实度下降,造成套筒内产生空隙或者水囊,从而大大降低连接的可靠性。材料进场检验不到位或者材料性能不稳定,都是造成施工质量问题的主要原因,应该从采购源头到进场验收实施全过程进行材料控制。

2.2 施工工艺因素(定位、灌浆、养护)

施工工艺是决定套筒灌浆连接质量的主要因素。墩柱吊装时套筒和承台预留钢筋对位误差过大,会直接导致钢筋锚固长度不够、灌浆质量不好。偏差过大会造成钢筋不能有效地锚入套筒,在灌浆后产生偏心受力。灌浆工艺上,灌浆料配制的水料比控制不好、搅拌时间不足、流动度检测不及时都会造成灌浆料的流动性差、硬化强度低。灌浆过程中出浆顺序控制、封堵时机、保压压力、保压时间等都会影响到灌浆的饱满度。养护条件上,灌浆后要维持适宜的温度和湿度,保证灌浆料能正常水化硬化。现场施工时,环境温度低于 5℃时应采取保温措施,高于 35℃时应避开高温时段作业。灌浆饱满度对套筒连接强度有较大影响,灌浆不饱满会使连接件的力学性能大大降低。施工工艺执行不规范是造成灌浆不饱满、套筒空鼓等质量问题的主要原因。

3 套筒灌浆连接施工质量控制核心要点

3.1 套筒与钢筋材料进场检验控制

材料进场检验属于质量控制的第一道防线。套筒进场时要核对产品的合格证、型式检验报告等质量证明文件,对套筒的外观质量、尺寸偏差、材质性能做抽样复检。重点对套筒内壁环肋完整性、套筒内外径尺寸、长度等进行检查,保证与设计图纸一致。钢筋进场时要检查钢筋牌号、规格、表面质量,预留钢筋长度、弯曲度、锚固段加工精度应符合设计要求。灌浆料进场时要核查生产日期、保质期和性能指标,每一批次都必须做流动度、泌水率、抗压强度等性能复检。材料检验要创建可追溯的检验台账,记

载每一批次材料的使用部位和检验结果,保证不合格材料不进到施工现场。

3.2 墩柱吊装与套筒定位精度控制

墩柱吊装定位精度是保证套筒与钢筋正确对位的保证。吊装前应在承台顶面放出墩柱安装轴线和轮廓线,在墩柱底面标出中心线。吊装过程中用全站仪或者经纬仪实时监测墩柱平面位置和垂直度,墩柱下落到距承台顶面约10cm时停止,微调墩柱位置使所有预留钢筋准确进入套筒^[2]。可利用定位导向架或者定位板来控制钢筋的对位精度,防止钢筋碰触套筒内壁而造成损伤。墩柱落位后要再进行复测,保证轴线偏差和垂直度偏差符合规范要求。山区装配式桥梁施工中使用自动追踪照准全站仪、数据分析系统、三维激光雷达等软硬件,用虚拟环境预拼装构件,大大提高了现场组装的精度和效率。

3.3 灌浆料配制与灌浆饱满度控制

灌浆料配制和灌浆饱满度控制属于套筒灌浆连接施工的主要部分。灌浆料配制时必须严格按照产品说明书推荐的水料比计量加水,使用专用搅拌机搅拌,搅拌时间一般为3~5min至浆液均匀。灌浆料配制完成后要进行流动度检测,初始流动度不应小于300mm,30min流动度保留值不应小于260mm。流动度不符合要求时不得使用。灌浆作业前要对套筒和灌浆孔进行检查,保证没有异物堵塞。灌浆时应从套筒下方灌浆孔注入,待上方出浆孔连续均匀排出浆液且无气泡后,依次封堵出浆孔和灌浆孔。灌浆后保压0.1~0.2MPa、保压时间1~2min,防止浆液回流。灌浆饱满度检测可用预埋钢丝拉拔法或者工业内窥镜法来检验,预埋钢丝拉拔法操作简单、成本低,适合现场批量检测。根据试验结果,饱满度监测器、工业内窥镜这两种技术已经被应用到某超高层装配式整体式混凝土结构预制剪力墙的套筒灌浆饱满度实测上。

表 1 灌浆料性能指标与检测要求

检测项目	技术指标	检测方法	检测频率
流动度(初始)	≥300mm	截锥流动度试验	每批次
流动度(30min)	≥260mm	截锥流动度试验	每批次
泌水率	0	量筒静置法	每批次
抗压强度(1d)	≥35MPa	水泥胶砂强度试验	每3批次
抗压强度(28d)	≥85MPa	水泥胶砂强度试验	每3批次
竖向膨胀率	0.02%~0.5%	膨胀率测定仪	每批次

3.4 灌浆后养护与成品保护控制

灌浆完毕后要及时进行养护和成品保护。灌浆后24小时内不得给连接部位加荷,防止因振动、冲击而影响质

量。养护期间环境温度应大于5℃,当环境温度低于5℃时应采取保温措施,当环境温度高于35℃时应采取降温措施。养护期间不能使灌浆部位直接受到水流的冲刷。成品保护上应设明显保护标志,防止后面工序施工时对墩柱底部连接部位造成碰撞或损坏。套筒灌浆连接施工质量控制要创建起包含施工准备、过程监管和质量验收的全过程控制体系,养护及成品保护属于质量控制的收尾部分,也应纳入全过程管理之中。

4 提升套筒灌浆连接施工质量的综合措施

4.1 建立全过程质量责任追溯体系

建立全过程质量责任追溯制度,是保证套筒灌浆连接质量的基础性制度。将施工过程中的每一个环节分解成可以追溯的质量控制点,确定各个工序的质量责任人,形成从材料进场到成品验收的全过程质量责任链[3]。材料进场检验、墩柱吊装定位、灌浆料配制、灌浆作业、质量检测等重要工序都必须有操作人员、检查人员签字的记录。灌浆作业要留有影像资料,达到施工过程可追溯的目的。质量责任追溯体系要同绩效考核相联系,加强各个岗位的质量责任意识。

4.2 推行标准化作业与工艺交底制度

标准化作业和工艺交底属于规范施工行为,削减人为失误的有力办法。根据工程实际情况编制套筒灌浆连接施工专项方案,确定各个工序操作要点及质量验收标准。施工前应就全体作业人员做详细的交底工作,主要对灌浆料的配比、流动度检测的方法、灌浆顺序、出浆孔封堵的时间等做出明确的规定。关键工序要设质量控制点,实行旁站监督。灌浆令制度在灌浆作业前,经检查确认各项条件满足要求后方可签发灌浆令进行灌浆施工。标准化作业文件要依照工程实践持续改良完善,塑造起企业工法或者标准作业程序。

4.3 应用信息化智能监测技术

信息化智能监测技术应用后可以提高灌浆施工质量的可控性。灌浆过程中可以安装灌浆饱满度监测器,实时监测套筒内浆液液位的变化,当监测器显示浆液充满时就可以准确判断灌浆饱满。基于图像识别的套筒灌浆监管技术就是通过提取工人灌浆工序起止动作,建立灌浆工序监管预警模型,从而达到对灌浆施工过程智能化监控的目的。全灌浆过程视频监控系统可以对灌浆作业全过程进行录像,有利于质量追溯和问题查找。BIM技术应用可以提前进行虚拟预拼装,改善吊装定位方案,缩减现场调整工作量。智能监测数据要纳入施工质量档案,成为质量验收

的参考。

5 结语

市政桥梁预制墩柱套筒灌浆连接施工质量控制属于一个系统工程,牵涉到材料、工艺、检测、管理等诸多方面。本文从技术原理和工艺流程入手,对影响套筒灌浆连接质量的主要因素进行系统的分析,并就材料进场检验、墩柱吊装定位、灌浆料配制及饱满度控制、养护及成品保护等主要方面给出质量控制要点。预制桥墩灌浆套筒连接要达到力学性能和施工方便、经济的目的。灌浆饱满度对于套筒连接强度有着明显的影响,提高灌浆饱满度的检测是保证连接可靠性的方法。利用信息化监测技术以及全过程质量追溯体系可以达到灌浆施工质量精细化管理的目的。不断改进质量控制措施,可以提高市政桥梁预制墩柱

套筒灌浆连接施工质量水平,为装配式桥梁技术的推广应用提供支持。

【参考文献】

- [1]史明霞,魏振北,张前明,等.预制桥墩灌浆套筒连接型式研究现状综述[J].科技和产业,2024,24(1):178-188.
- [2]刘灵.预制拼装式桥梁灌浆套筒灌浆饱满度对连接件强度影响分析[J].价值工程,2024,43(15):141-143.
- [3]逢鲁峰,庞伟琪,郎慧东,等.纳米 SiO₂ 增强高强套筒灌浆料及高温后性能试验研究[J].混凝土与水泥制品,2024,(1):24-29.

作者简介:王坤(1991.09—),男,民族:汉,籍贯:吉林东丰,学历:本科,职称:副高级工程师,研究方向:市政道桥方向。