

高速公路桥梁基础施工中的钻孔灌注桩技术研究

王欣宇¹ 秦 媛²

1. 陕西路桥集团有限公司 陕西 西安 710000

2. 陕西交通控股集团有限公司宝鸡分公司 陕西 宝鸡 721000

摘 要：文章聚焦高速公路桥梁基础施工，深入探究钻孔灌注桩技术。详细阐述其工作原理，明确施工各环节技术要求。施工前，强调现场勘察、地质分析及设备材料准备等要点；施工中，解析钻孔、清孔、钢筋笼作业及混凝土灌注关键技术；同时构建质量控制体系并落实安全管理。研究旨在为提升高速公路桥梁钻孔灌注桩施工质量与安全性提供理论与实践指导。

关键词：高速公路桥梁；基础施工；钻孔灌注桩；施工技术

1 钻孔灌注桩技术理论基础

1.1 钻孔灌注桩的工作原理

钻孔灌注桩是一种常见的基础施工技术，其工作原理基于桩土相互作用机制。在施工时，先使用专门的钻孔设备在地基土中钻出符合设计要求的桩孔。这一过程中，通过控制钻孔的垂直度、孔径等参数，确保桩孔的质量。成孔后，将钢筋笼吊入桩孔内，钢筋笼起到增强桩身强度和整体性的作用。随后，通过导管向桩孔内灌注混凝土，混凝土在自重及一定压力作用下，自下而上填充桩孔空间，直至达到设计标高。在建筑结承受上部荷载时，荷载通过基础传递给桩。钻孔灌注桩主要通过桩侧摩阻力和桩端阻力共同承担荷载。桩侧摩阻力是桩身与周围土体之间由于相对位移趋势而产生的摩擦力，它沿着桩身侧面分布，其大小与桩土之间的接触面积、土的性质以及桩身表面的粗糙度等因素有关。桩端阻力则是桩端对下部持力层土体产生的压力，持力层土体对桩端产生反作用力，以此来抵抗桩身传递下来的荷载。

1.2 钻孔灌注桩施工的技术要求

在钻孔灌注桩施工过程中，有着诸多严格的技术要求。首先是桩位测量放线，必须使用高精度的测量仪器，依据设计图纸准确确定桩位，误差应控制在极小范围内，一般平面位置偏差不得超过50mm，以确保桩位符合设计布局。钻孔环节，对泥浆性能要求极高。泥浆起到护壁、携渣、冷却钻头重要作用。泥浆的相对密度一般控制在1.1-1.3之间，黏度保持在18-22s，含砂率不大于4%。合适的泥浆性能可防止孔壁坍塌，保证钻孔顺利进行。同时要严格控制钻孔垂直度，采用先进的钻孔设备和垂直度监测装置，使垂直度偏差不得超过1%桩长，避免因倾斜过大影响桩的承载能力^[1]。钢筋笼制作与安装也不容忽视。钢筋笼的钢筋规格、数量、间距等必须符合

设计要求，焊接或机械连接质量要可靠，确保钢筋笼的整体强度。在安装时，要保证钢筋笼中心与桩孔中心一致，偏差不超过10mm，并且控制好钢筋笼的标高，误差在±50mm以内。混凝土灌注是关键步骤，混凝土的坍落度应控制在180-220mm，具有良好的和易性与流动性，便于灌注。灌注过程要连续进行，避免断桩等质量事故，首批混凝土灌注量要能保证埋管深度不小于1m，在灌注过程中，导管埋深宜控制在2-6m，确保混凝土灌注质量。

2 高速公路桥梁钻孔灌注桩施工前准备

2.1 施工现场勘察与地质分析

在高速公路桥梁钻孔灌注桩施工前，全面且深入的施工现场勘察与精准的地质分析至关重要。施工团队需对施工现场进行实地考察，详细了解场地的地形地貌。记录场地的起伏状况、是否存在障碍物以及周边的交通状况等信息。考察周边交通条件，以便合理安排施工材料与设备的运输路线，确保运输顺畅，减少施工延误。地质分析更是重中之重，通过收集区域地质资料以及进行现场地质勘探，获取详细的地质信息。勘探过程中，利用专业设备采集不同深度的土样和岩样，分析其物理力学性质，如土层的类型、密实度、含水量，岩石的硬度、完整性等。

2.2 施工设备与材料准备

施工设备的准备直接关系到施工进度与质量。根据工程规模、桩径、桩长以及地质条件，选择合适的钻孔设备。常见的有旋挖钻机、冲击钻机等。旋挖钻机适用于各类土层和部分软岩地层，具有成孔速度快、垂直度高的优势；冲击钻机则在坚硬岩石地层中表现出色。配备相应的辅助设备，如泥浆制备与循环系统设备，确保泥浆能够满足钻孔护壁和排渣的需求。准备好钢筋笼加工设备，保证钢筋笼制作的精度与效率。施工材料的

质量是钻孔灌注桩质量的基础,钢筋作为钢筋笼的主要材料,必须严格把控其质量。采购符合国家标准和设计要求的钢筋,检查钢筋的外观质量,确保无锈蚀、无裂缝等缺陷。对每批次钢筋进行抽样检验,检测其力学性能,如抗拉强度、屈服强度等。对于混凝土,要选择优质的水泥、骨料和外加剂。根据设计强度等级,通过试配确定混凝土的配合比,保证混凝土具有良好的和易性、流动性和强度。准备足够数量的导管、护筒等辅助材料,且对这些材料的规格、质量进行严格检查,杜绝不合格材料进入施工现场。

2.3 施工方案制定与技术交底

施工方案是指导整个钻孔灌注桩施工过程的纲领性文件。施工团队需结合施工现场勘察结果、地质条件、施工设备与材料情况,制定详细且可行的施工方案。方案中明确施工工艺流程,从测量放线、场地平整、钻孔、钢筋笼制作与安装到混凝土灌注等各个环节,都要有清晰的操作步骤和技术要求。制定质量控制措施,对每个施工环节设定质量检验标准和检验方法,如桩位偏差、桩身垂直度、混凝土强度等的检验标准。还需制定安全保障措施,针对施工过程中可能出现的安全风险,如高处坠落、机械伤害等,提出具体的预防和应对措施。技术交底是确保施工方案有效实施的关键环节,在施工前,由技术负责人向参与施工的全体人员进行详细的技术交底。讲解施工方案的重点,使施工人员清楚了解每个施工步骤的操作方法和技术要求^[2]。强调质量控制的重点和安全注意事项,提高施工人员的质量意识和安全意识。

3 高速公路桥梁钻孔灌注桩关键施工技术

3.1 钻孔施工技术

钻孔是灌注桩施工的起始关键步骤。在正式开钻前,需精确调试钻孔设备,确保钻机稳固安装,钻杆垂直对准桩位中心,偏差控制在极小范围内,一般不超过20mm,这对保证桩身垂直度至关重要。根据地质条件,合理选择钻进参数。若为软土地层,可适当加快钻进速度,以提高施工效率,但需密切关注泥浆护壁情况;若遇硬土层或岩层,则应降低钻进速度,增大钻压与扭矩,防止钻头过度磨损及钻孔偏斜。钻进过程中,泥浆起着举足轻重的作用。优质泥浆能有效护壁、携带钻渣并冷却钻头。要实时监测泥浆性能指标,如泥浆相对密度宜保持在1.1-1.3之间,黏度控制在18-22s,含砂率不超过4%。通过泥浆循环系统,及时清除钻渣,维持孔内清洁,确保钻孔顺利进行。借助先进的钻孔垂直度监测设备,如电子测斜仪,动态监控钻孔垂直度,一旦发现偏

差,立即调整钻机位置或钻进参数,确保桩身垂直度偏差不超过1%桩长。

3.2 清孔施工技术

清孔的目的是清除孔底沉渣,降低泥浆含砂率,以提高灌注桩的承载能力。当钻孔达到设计深度后,立即进行第一次清孔。常用的清孔方法有换浆法、抽浆法等。换浆法是通过不断注入新鲜泥浆,置换孔内含有大量钻渣的泥浆,直至孔内泥浆指标符合要求。在清孔过程中,要严格控制泥浆的各项参数,使孔底500mm以内的泥浆相对密度不大于1.25,含砂率不大于8%,黏度不大于28s。第一次清孔完成后,需及时吊放钢筋笼和导管。在混凝土灌注前,还需进行第二次清孔,进一步清除因吊放钢筋笼和导管过程中沉淀的少量沉渣。此时可采用气举反循环等高效清孔方式,确保孔底沉渣厚度符合设计要求,一般端承桩沉渣厚度不超过50mm,摩擦桩不超过100mm,为后续混凝土灌注创造良好条件。

3.3 钢筋笼制作与安装技术

钢筋笼的制作质量直接影响灌注桩的结构强度。制作钢筋笼时,严格按照设计图纸要求,选用符合国家标准钢筋。钢筋的调直、切断、弯曲等加工工序,均要保证尺寸精度,误差控制在允许范围内。采用焊接或机械连接方式连接钢筋,确保连接牢固,焊缝饱满、无夹渣、气孔等缺陷,机械连接的接头强度要满足相关规范要求。钢筋笼安装时,利用吊车等起重设备将其垂直吊起,缓慢放入桩孔内。在下放过程中,要时刻保持钢筋笼垂直,避免碰撞孔壁造成塌孔。通过定位筋等措施,准确控制钢筋笼的中心位置和标高,使其与设计位置偏差不超过10mm,标高误差在±50mm以内。在钢筋笼外侧设置混凝土垫块,确保钢筋笼在桩孔内有足够的混凝土保护层厚度,一般保护层厚度偏差不超过±10mm,以增强钢筋笼的耐久性和灌注桩的整体质量^[3]。

3.4 混凝土灌注技术

混凝土灌注是钻孔灌注桩施工的最后一道关键工序,对成桩质量起着决定性作用。灌注前,再次检查混凝土的坍落度,要求控制在180-220mm,确保混凝土具有良好的和易性与流动性,便于顺利灌注。首批混凝土灌注量要经过精确计算,必须保证能将导管底端一次性埋入混凝土中不小于1m,以防止泥浆混入混凝土内。灌注过程中,保持混凝土灌注的连续性,避免出现断桩等质量事故。导管埋深应控制在2-6m之间,过小易导致泥浆混入,过大则可能造成导管拔不出。通过测量混凝土顶面标高,实时掌握灌注情况,及时提升或拆卸导管。控制混凝土的灌注速度,不宜过快或过慢,过快可能导致

钢筋笼上浮,过慢则影响施工效率且易使混凝土初凝。在灌注接近桩顶设计标高时,要准确计算混凝土的灌注量,适当超灌一定高度,一般为0.5-1.0m,以保证桩顶混凝土的强度和品质。

4 高速公路桥梁钻孔灌注桩施工质量控制与安全管理

4.1 施工质量控制体系建立与运行

为保障高速公路桥梁钻孔灌注桩施工质量,建立完善且有效的质量控制体系是首要任务。该体系涵盖从施工准备到竣工验收的全过程。在体系建立阶段,明确各部门与人员的质量职责。项目经理作为质量第一责任人,统筹管理;技术负责人负责制定详细的施工技术方案与质量标准;质检员则专职监督施工过程中的质量执行情况。制定全面的质量控制计划,依据工程特点与设计要求,确定关键质量控制点。针对每个控制点,设定明确的质量标准与检验方法。桩位偏差允许范围控制在极小值,通过高精度测量仪器进行复核;钻孔垂直度借助先进测斜仪实时监测,偏差不得超过规定比例。质量控制体系的有效运行依赖于严格的质量检验制度。施工过程中,实行“三检”制度,即施工班组自检、施工队复检、项目部终检。每完成一道工序,先由施工班组自行检查,确认合格后提交施工队复检,最后由项目部质检员进行最终检验。

4.2 安全管理制度与责任落实

建立健全安全管理制度,涵盖安全生产责任制、安全教育培训制度、安全检查制度等。安全生产责任制明确规定从项目经理到一线施工人员的安全职责,使每个人清楚知晓自身在施工过程中的安全义务。安全教育培训制度确保施工人员具备必要的安全知识与技能。在施工前,对所有施工人员进行入场安全教育,包括安全法规、安全操作规程、施工现场安全风险等内容。针对特殊工种,如钻机操作工、电工等,进行专门的安全技术培训,经考核合格取得相应资格证书后方可上岗作业。定期组织安全培训与演练,如消防演练、触电急救演练等,提高施工人员应对突发安全事故的能力^[4]。安全检查制度是及时发现安全隐患的重要手段,定期进行安全检查,项目部每周组织一次全面安全检查,施工队每天进行日常巡查。检查内容包括施工设备的安全性能、施工

现场的安全防护设施、施工人员的安全操作行为等。

4.3 施工现场安全防护与风险防范

施工现场的安全防护措施直接关系到施工人员的生命安全。在钻孔灌注桩施工现场,设置明显的安全警示标志,如“禁止合闸”“注意高空坠落”等,提醒施工人员注意安全。对钻机等大型施工设备,安装牢固的防护装置,如防护罩、防护栏等,防止施工人员接触运转部件造成伤害。针对不同施工工序,采取相应的安全防护措施,在钻孔作业时,钻机操作平台要稳固,四周设置防护栏杆,防止人员坠落。清孔过程中,保证泥浆循环系统正常运行,防止泥浆泄漏对环境与人员造成危害。钢筋笼制作与安装时,起重设备要严格按照操作规程作业,设置警戒区域,严禁无关人员进入。风险防范是安全管理的核心内容,对施工现场进行全面的风险评估,识别可能存在的安全风险,如高处坠落、物体打击、触电、机械伤害等。针对不同风险,制定相应的防范措施。对于高处作业风险,要求施工人员正确佩戴安全带,设置安全网等防护设施;为预防物体打击风险,在施工现场设置防护棚,施工人员佩戴安全帽。

结束语

综上所述,钻孔灌注桩技术在高速公路桥梁基础施工中地位关键。通过对其理论基础、施工准备、关键技术以及质量安全管理的研究可知,严格遵循各环节规范操作,能有效保障工程质量与安全。未来,随着技术不断进步,钻孔灌注桩技术有望在施工效率、质量控制及适应复杂地质条件等方面取得更大突破,为高速公路桥梁建设提供更坚实支撑。

参考文献

- [1]郝诚辉.钻孔灌注桩施工技术在高速公路桥梁施工中的应用[J].四川建材,2020,46(8):221-222.
- [2]闫晓新.钻孔灌注桩施工技术在公路桥梁工程中的应用[J].交通科技与管理,2023(22):149-151.
- [3]师晓辉.钻孔灌注桩施工技术在公路桥梁施工中的应用[J].运输经理世界,2023(30):98-100.
- [4]尹乾坤.基于钻孔灌注桩施工技术在公路桥梁施工中的应用分析[J].中国设备工程,2020(22):186-188.