

公路桥梁施工中钻孔灌注桩施工技术的应用分析

刘 僕

新疆北新路桥集团股份有限公司，新疆 乌鲁木齐 830000

[摘要]在公路桥梁施工建设中，钻孔灌注桩施工技术作为基础结构的关键形式，其施工质量直接影响到桥梁的整体稳定性和耐久性。基于此，本篇文章就公路桥梁施工中钻孔灌注桩技术流程与控制要点展开探究，并从成孔、清孔、缩颈、注浆等多个方面进行分析，能有效强化公路桥梁路基的物理性能。而在后续类似工程项目中，科学选用施工设备、精细化控制施工参数及强化全过程质量监测，能最大限度确保钻孔灌注桩的承载性能与施工效率，旨在为同类型工程项目提供必要的技术参考。

[关键词]公路桥梁；钻孔；灌注桩技术

DOI: 10.33142/aem.v7i11.18385

中图分类号: U445

文献标识码: A

Application Analysis of Drilling and Grouting Pile Construction Technology in Highway Bridge Construction

LIU Bei

Xinjiang Beixin Road and Bridge Group Co., Ltd., Urumqi, Xinjiang, 830000, China

Abstract: In the construction of highway bridges, the drilling and grouting pile construction technology is a key form of foundation structure, and its construction quality directly affects the overall stability and durability of the bridge. Based on this, this article explores the technical process and control points of drilled pile technology in highway bridge construction, and analyzes it from multiple aspects such as hole formation, hole cleaning, necking, and grouting, which can effectively strengthen the physical performance of highway bridge subgrade. In subsequent similar engineering projects, scientifically selecting construction equipment, finely controlling construction parameters, and strengthening quality monitoring throughout the entire process can maximize the bearing performance and construction efficiency of bored piles, so as to provide necessary technical references for similar engineering projects.

Keywords: highway bridges; drilling; grouting pile technology

对于公路桥梁项目而言，基础工程作为桥梁结构的根基，需具备足够的承载力与抗变形能力，才能更好地应对复杂地质条件与长期荷载的作用。而钻孔灌注桩技术凭借其施工适应性强、承载性能优异等特点，则成为当前公路桥梁基础施工的主流技术。但钻孔灌注桩技术涉及到地质勘察、设备选型等诸多施工环节的协同，因此很容易在施工中受地层变化、设备性能以及人为操作等因素影响而造成桩身缺陷与承载力不足等问题。所以，深入分析钻孔灌注桩施工技术的关键控制要点，并优化其工艺参数，才能最大限度地确保公路桥梁建设的质量，这对保障公路桥梁工程的安全具有至关重要的作用。

1 钻孔灌注桩施工技术解析

1.1 钻孔灌注桩工程学基础

钻孔灌注桩施工技术的应用，旨在通过现场钻机平台在预定位置，以形成特定直径桩孔，然后将钢筋笼骨架放置其中，并向孔内灌注混凝土，有助于使混凝土与钢筋笼骨架形成整体的桩基结构。在钻孔灌注桩施工技术中，其施工流程包含多个方面，如图 1 所示为钻孔灌注施工示意图。

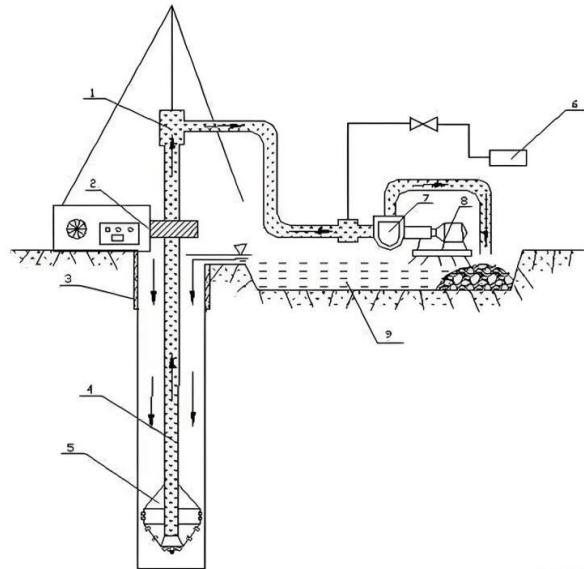


图 1 钻孔灌注桩示意图

(1.水龙头；2.钻机；3.护筒；4.钻杆；5.钻头；6.真空泵；7.砂石泵；8.电机；9.泥浆池)

而从工程力学角度分析，钻孔灌注桩的承载机制由两

个部分构成,其一是承担上部结构自重以及外部荷载的竖向承载力。其二为桩身与周围土体之间产生的侧向摩阻力,以及桩端深入基岩与密实土层所形成的端部支撑力^[1]。而桩侧摩阻力与端部支承共同决定着桩基承载力在长期使用中的沉降特性,针对软土地基条件,需要在桩顶设置承台等连接结构,有利于更好地优化上部侧向摩阻力的利用效率,并以此实现提升桥梁结构的整体承载性能和稳定性目的。而影响钻孔灌注桩承载力的关键因素,则涵盖施工质量控制与水文地质两个方面。一方面,由于桩身成孔质量、钢筋笼安装精度、混凝土灌注工艺等施工环节的质量控制直接影响到桩基承载力。另一方面,土层物理力学性质、基岩埋深和强度等水文地质条件所提供的支撑也是决定承载力的重要因素。对于成孔质量,通常受钻机选型、孔壁粗糙度等诸多因素影响,如清孔会影响到孔底沉渣厚度以及孔壁扰动程度,所以,对于桩端深入持力层的深度与性质,以及桩周土体的密实程度,都能对桩基承载力造成决定性的影响。

1.2 钻孔灌注桩群桩荷载效应

基于公路桥梁的钻孔灌注桩群在软基水文地质条件下的荷载效应分析可以发现,其公路桥梁上的荷载承载力与沉降之间有着直接关联性^[2]。群桩的沉降量通常可借助Mindlin公式对其进行计算以得出沉降量数据,其计算公式如下所示:

$$s = \varphi_p \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^{n_j} \frac{\sigma_{j,i} \Delta h_{j,i}}{E_{n_j,i}}$$

式中: s 是指桩基最终沉降量;

m 是指桩端平面以及压缩层内土层的总数;

$E_{n_j,i}$ 是指桩端平面下第 j 土层第 i 分层其自重应力至自重应力附加应力的压缩模量;

N_j 是指桩端平面下第 j 土层计算分层数量;

$\Delta h_{j,i}$ 则为桩端平面下第 j 土层第 i 分层厚度;

$\sigma_{j,i}$ 则是桩端平面下第 j 土层第 i 分层竖向附加应力;

φ_p 是指桩基沉降计算经验系数。

但由于该公式的计算较为复杂,所以,在实际钻孔灌注施工过程中,可采用 Bonssinesq 解,并借助查阅 K 均值的附加应力方式,能有效确定基底计算点到 i 土层底面的范围平均附加应力系数。但需要注意的是,在实际工程项目施工中,群桩沉降涉及到的因素较多,且计算比较复杂,使得沉降因素较大程度上取决于桩端下土层压缩性和基础桩的刚度。

2 公路桥梁施工中钻孔灌注桩施工流程分析

2.1 成孔

在公路桥梁施工的钻孔灌注施工过程中,成孔工序其工艺质量对桩基承载性能有着决定性的影响。这是由于钻机选型需基于工程项目的地质条件与设计要求进行选择,而钻进时采用减压钻进工艺下,钻压设定一般是自重的

80%左右,才能实现以主吊钩悬吊重量为基准而进行精确的控制。对于钻进过程中,需实时监测孔壁稳定性和孔斜率,避免孔径扩大或者发生位移偏移等现象。而旋挖钻机施工时,则应依据地层特性合理配置专用钻斗类型,并在初始注浆阶段,做好灌浆垂直入孔的需求,同时,确保出浆口和孔底保持在 50cm 的净距离^[3]。其钻进速率则需保持匀速稳定性,确保其进尺速率被控制在 80cm/min 内,尤其是对粉砂层等软弱地层而言,还需进一步降低进尺速率,才能最大限度防止孔壁失稳的风险发生。在成孔精度控制过程中,初始钻进阶段应采用低速钻进的方式,当钻具完全进入孔位后,需逐步提高钻进的速度,并同步监测泥浆注入量和孔内水位的实际变化情况。随后依据地质反馈的情况,动态调整钻进的参数,以最大限度保证成孔质量满足设计需求。

2.2 清孔

当成孔工序完工后,需对公路桥梁钻孔灌注桩立即进行清孔作业,以避免孔底沉渣对桩基质量造成的影响。在清孔时,其清孔工艺一般可采用以下两种不同方式进行,首先,对于钻至设计深度后,需暂缓提钻,并将钻头微提 1cm 并空转 2min,借助机械扰动的方式,能使孔内泥浆被稀释,以更好地维持孔壁的稳定性目的。其次,采用 1:0.5 的泥浆配比方式对其进行二次循环置换,并利用泥浆的流动性冲击破碎孔底松散土体和岩屑,以最大限度确保孔底沉渣厚度符合行业标准要求,即《建筑桩基技术规范》(JGJ 94—2008)中端承桩不得超过 5cm,摩擦桩不得超过 30cm 的标准规定。钻孔灌注施工中的清孔作业,能有效确保桩端承载力和桩身的完整性外,还能避免因沉渣过厚导致的桩机承载力下降问题发生。

2.3 缩颈

对于公路桥梁工程而言,所使用的混凝土材料在硬化过程中会发生缩颈反应,从而直接影响到公路桥梁工程的施工质量。为提高公路桥梁工程的质量,则需抑制缩颈现象,并采取以下措施抑制缩颈^[4]。首先,在凝胶材料的选择上,可选用高标号硅酸盐水泥,其标准参数如表 1 所示,通过优化水泥性能,以达到降低硬化失水率的目的,这种方法可有效抑制混凝土体积的收缩幅度。其次,在注浆工艺控制环节,可对砂浆超灌技术进行严格管控,并精心计算出注浆量,以防止地层渗水而造成施工土体膨胀的问题发生。然后,在成孔完成后,需进行泥浆护壁的质量检测,如果检测指标无法满足工程项目的施工需求时,则可通过添加增稠剂或者纤维增强材料等多种不同的方式,以提升泥浆的稳定性外,还能确保孔壁支撑符合行业标准要求。最后,在孔口预处理阶段,可在导正器的外侧焊接环形刀片装置,并对桩孔周围进行清扫处理,以彻底清除周围的杂物和残渣,避免施工中的残渣落入到孔内而影响到整个桩体完整性。

表 1 高标号硅酸盐水泥参数标准表

序号	检测项目	标准要求
1	细度 (筛余%)	≤3.0 (80μm 筛)
2	比表面积 (m ² /kg)	≥350
3	凝结时间 (min)	初凝≥45, 终凝≤600
4	安定性 (沸煮法)	合格 (无膨胀、无裂纹)
5	抗压强度 (MPa)	3 天: ≥30 28 天: ≥52.5
6	抗折强度 (MPa)	3 天: ≥5.5 28 天: ≥7.0
7	烧失量 (%)	≤3.0
8	三氧化硫含量 (%)	≤3.5
9	氧化镁含量 (%)	≤5.0 (若水泥压蒸安定性合格, 则≤6.0)
10	氯离子含量 (%)	≤0.06

2.4 注浆

在公路桥梁的钻孔灌注施工技术中, 基于注浆作业的启动前, 需全面检查导管的施工质量。而相关人员在检查时, 可通过对导管链接接头的紧固性进行严格检查, 以确保导管各部件之间连接的牢固可靠, 从而有利于规避接头松动导致的注浆压力损失问题发生, 这对确保桩身强度和承载能力的稳定性有着至关重要的作用。同时, 针对连接部位的密封性进行系统性检查时, 如若存在密封性缺陷, 必然会造成注浆过程中的浆液渗入导管内壁现象发生, 相关人员如未能及时对其进行清理, 当泥浆凝固后, 会严重堵塞管路。为了避免在施工过程中出现此类问题, 需构建导管系统的常态化检测制度, 并在每日施工前彻底清理导管内壁的附着物, 可有效确保流通导管的畅通无阻, 而注浆前, 还需复查各连接部位的密封状态, 当各部位存在密封缺陷时, 必须立即对缺陷位置进行返工或者更换全新的且合格的导管。对于整个注浆施工操作, 需保持匀速推进的方式进行, 待孔口的浆液呈现出连续溢出且表面无气泡时, 才可进行导管作业。而当施工结束后, 还需立即采用高压水冲洗导管内残留的砂浆, 避免这些残留砂浆后续硬化而堵塞导管。如果导管内的杂物堆积影响到导管注浆的连续性, 则应暂停注浆作业, 并且将导管拔出后使用专业的钻具对导管内进行清孔处理, 直到确认导管密封性完好且内壁干净无残留后, 才可继续进行注浆作业。

2.5 钢筋笼下放

在钢筋笼下放时, 如遇卡阻现象, 施工单位需立即停止施工作业, 避免强行下压而造成钢筋笼变形或损坏^[5]。因此, 在钢筋笼下放施工阶段, 需相关人员及时检验钢筋笼的规格参数是否符合公路桥梁项目的设计要求, 并全面排查清除孔口可能存在的相关障碍物, 在清理完毕后, 可尝试二次下放钢筋笼。但如果出现钢筋笼上浮的情况, 其主要原因是由于孔底沉渣堆积导致桩端密封失效导致, 在

这种情况下, 必然会引发钢筋笼上浮。为抑制钢筋笼上浮问题, 可在套管预处理环节下放前严格检查套管内壁的清洁度, 并及时将附着的杂质进行清除, 以确保注浆通道的通畅, 随后, 精准下放控制, 并用慢速垂直下放工艺, 当遇到阻碍时, 需立即停止并回提调整, 禁止对其进行暴力操作, 随着钢筋笼下放到位后, 可增设机械卡具或者焊接支撑的装置, 以降低混凝土浮力对钢筋笼造成的顶托效应。在深孔注浆优化时, 需在桩孔深度超出设计标准前, 适当的延长注浆的持续时间和灌注速度, 能最大限度削弱浮力对其造成的影响。

3 公路桥梁施工中钻孔灌注桩施工技术质量问题及控制措施

3.1 质量问题

对于公路桥梁工程项目而言, 其施工质量的关键是预防钻进和灌注这两个阶段。在以往的公路桥梁施工中, 钻进阶段存在的缺陷包括孔壁坍塌、桩孔偏斜以及吊脚桩等质量问题, 而造成这些质量问题的主要原因是泥浆比重不足或钻进速度过快导致孔壁失稳导致。而灌注阶段的质量问题则是由于封底失效、导管卡组或进水导致, 在施工过程中, 由于初灌混凝土量未能达到 1.0m³ 的标准, 很容易造成封底失效等问题^[6]。此外, 导管进水也是一大主要原因, 当混凝土灌注速度与提管操作不同步时, 会使浆液回流至导管内, 这些质量问题的发生, 都会给公路桥梁施工中钻孔灌注桩施工埋下严重的安全隐患。

3.2 质量控制

为确保公路桥梁工程钻孔灌注桩施工的质量满足施工要求, 在对其进行质量控制时, 需从以下多个方面加强质量管控。第一步, 对于松散砂土层或者流砂层地质条件, 应降低钻进速率, 从而用来提升泥浆的比重, 有利于更好地增强孔壁的稳定性。第二步, 在施工阶段, 需严格确保场地的平整度和钻机的定位精度, 根据公路桥梁工程项目的实际地层物理力学特性动态, 以此精确调整钻进的速度, 能最大限度预防钻进时的桩孔偏斜问题。而在清孔作业时, 还需严格按照标准规范进行操作, 防止清孔时钢筋或者孔壁发生碰撞, 从而实现规避吊脚桩的问题发生。第三步, 在初灌混凝土阶段, 应确保初灌混凝土深埋, 其深度不得小于 1m, 可确保封底作业的有效性。对于混凝土外加剂掺量的控制中, 需确保灌注设备运行的稳定性, 才能降低导管卡阻事故率的发生。第四步, 对于钢筋笼的制作工艺, 需符合相应的设计标准, 以实现同步协调导管的拔出速率和混凝土灌注参数, 该方法能有效预防埋管、脱管以及导管进水等故障的频发问题。第五步, 由于桩基施工工艺属于成熟工艺, 因此, 在钻孔灌注桩施工时, 需严格遵循标准化流程, 当成孔完成后, 需延迟实施钢筋笼和导管的安放作业, 并在钢筋笼和导管安放后及时进行二次清孔作业外, 还需连续实施混凝土灌注, 以确保桩基施工质量符合

行业标准要求。

4 结束语

当前,钻孔灌注桩施工技术已逐渐应用成熟,但其施工质量的提升依旧需依托技术创新和精细化管控。而未来随着智能化监测设备与数字化管理平台的普及,钻孔灌注桩施工技术必然会向着更加标准化、智能化的方向发展,最终实现质量可控、效率提升以及成本优化等多重目标,而这也为公路桥梁的长期安全运营奠定了坚实的基础。

[参考文献]

- [1]张理智.钻孔灌注桩施工技术在公路桥梁施工中的运用分析[J].时代汽车,2025(20):189-191.
- [2]余科宏.山区公路桥梁钻孔灌注桩施工关键技术研究[J].工程技术研究,2025,10(11):77-79.
- [3]何印洪.高速公路桥梁桩基钻孔灌注施工技术分析[J].交通科技与管理,2025,6(5):52-54.
- [4]李祥,陈明玉.现代工业化背景下钻孔灌注桩施工技术在公路桥梁建设中的应用研究[J].建设机械技术与管理,2023,36(5):125-127.
- [5]陈振刚.喀斯特地区公路桥梁钻孔灌注桩施工技术分析[J].工程技术研究,2023,8(16):46-48.
- [6]黄志雄.人工挖孔桩接力反循环钻孔灌注桩施工技术在公路桥梁中的应用[J].交通世界,2022(32):119-121.

作者简介: 刘蓓 (1991.11—), 女, 毕业院校: 西安建筑科技大学, 所学专业: 土木工程, 当前就职单位: 新疆北新路桥集团股份有限公司, 职务: 安全环保部职员, 职称级别: 中级工程师。