

化学泥浆在高海拔地区砂卵石地层 旋挖钻孔施工中的应用

黄 勇

(中交二航局第二工程有限公司, 重庆 401320)

摘 要 砂卵石地层具有高渗透性和易坍塌的特性, 传统的泥浆护壁法难以满足旋挖钻孔施工的要求。在高海拔地区, 膨润土运输成本极为高昂, 使用膨润土不具备经济性。本文以聂当特大桥桩基施工为例, 阐述了化学泥浆的优缺点, 并将化学泥浆与膨润土相对比, 探讨了化学泥浆在高海拔地区旋挖钻孔施工应用中的工作性能与经济性, 以期类似工程施工作业提供实践参考。

关键词 卵石; 砂层; 旋挖钻孔; 化学泥浆; 膨润土

中图分类号: TU753.3

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.09.020

0 引言

化学泥浆在现代建筑工程中扮演着至关重要的角色, 尤其是在复杂多变的砂卵石地层中, 其应用不仅提高了施工效率, 还显著增强了工程的安全性和环保性。砂卵石地层因其独特的物理和力学特性, 一直是钻孔作业的难点, 而化学泥浆技术的引入则有效解决了这一难题。本文结合聂当特大桥项目施工实践, 对化学泥浆在高海拔地区砂卵石地层旋挖钻孔施工的应用进行了深入探讨, 旨在为复杂施工环境的技术应用提供技术参考。

1 工程概况

聂当特大桥项目起点接机场高速达东互通连接线, 主体工程聂当特大桥上部结构采用 20×40 m 预制小箱梁+(70+2 $\times$ 120+70) m 变截面连续箱梁(矮塔斜拉造型)+8 $\times$ 40 m 预制小箱梁, 下部结构主桥桥墩采用实心薄壁墩、引桥桥墩采用柱式墩、桩基础, 桥台采用肋板台、桩基础, 桥梁全长 1 508.0 m, 终点与已建聂当大道和扎西岗路路口相接, 路线全长约 1.810 km。采用城市主干路标准建设, 设计速度 50 km/h, 路基及桥梁标准段宽度均为 23.5 m, 双向 4 车道。主要建设内容包括道路工程、桥涵工程、排水工程、交通工程、照明工程、景观绿化工程等。

2 地质条件

2.1 地质构造与断裂带分析

项目区位于冈底斯~念青唐古拉板片南缘与雅鲁藏布江缝合带北缘的接触地带。雅鲁藏布江缝合带经过约 90Ma 年的地质历史演化, 成为复合断裂带, 其中

雅江断裂带主要由三条分支断裂组成, 沿雅江河谷发育。这一地质背景意味着项目区在构造上具有一定的复杂性和不稳定性, 尤其是在断裂带的影响下, 可能存在一定的地质灾害风险。尽管项目南部存在曲水—科木韧性剪切带(F65), 该区域并无显著断层, 因此对拟建项目的影响较小, 但地质环境仍需在施工过程中密切监测, 以应对潜在的地质风险^[1]。

2.2 地层特征与施工难度分析

根据工程地质测绘和钻探揭示, 项目区的地层主要为第四系全新统人工填筑土、冲洪积卵石、细砂、粗砂及圆砾等松散地层。这些砂卵石地层具有较高的渗透性和易坍塌特性, 特别是在桩基施工时, 钻孔作业面临着极大挑战。卵石层钻孔施工需要特别注意孔壁的稳定性, 避免漏浆、孔壁塌方等问题, 特别是在水上桩基施工过程中, 旋挖钻机的钻头容易磨损, 成孔进尺较慢, 施工难度大。为了确保桩基施工的质量, 需在钻孔施工中加强技术研究, 优化施工工艺, 提升施工效率。

2.3 强风低温环境影响与施工技术研究

项目区位于高原地区, 具有强风和低温的特殊气候条件。这种环境对施工, 尤其是混凝土的质量控制带来了显著影响。在低温条件下, 混凝土的凝结时间延长, 早期强度发展缓慢, 不仅可能导致混凝土出现裂缝, 还会严重影响施工进度。此外, 强风可能导致混凝土养护不充分, 影响混凝土的最终强度。因此, 针对强风低温环境下的混凝土施工, 必须进行重点技术研究, 开发适应高原环境的混凝土配比方案, 并采取保温养护等措施, 确保混凝土施工的质量和施工进度。

3 化学泥浆的优缺点

3.1 化学泥浆的优点

1. 化学泥浆制浆操作简单, 使用便捷。化学泥浆使用简单, 采用“清水+化学泥浆”或“清水+碱+化学泥浆+比重添加物”, 便于现场配置操作。用量是膨润土的 1% 以下, 节约场地, 节省人工。化学泥浆粉溶解性好, 可在 10 s 内充分溶解, 顺着水源冲入桩孔内, 可以迅速形成良好的护壁泥浆^[2]。

2. 化学泥浆含砂率低。由于化学泥浆有自洁的特性, 可与泥浆中的砂土自行分离。经多次实测得出, 化学泥浆含砂率一般在 1% 以下。

3. 化学泥浆黏度高。以主桥桩基为例, 桩基孔径 2 m, 孔深 45 m, 扩孔率在 5%, 地层为主要由中密卵石、松散细砂、中密粗砂组成, 倒入化学泥浆共 6 箱, 总重 150 kg, 掺量为 101 kg/100 m³, 可以保持泥浆黏度在 22 ~ 28 s 之间, 完全满足施工要求。

4. 化学泥浆可以自行清洁, 减少清孔次数, 提高桩基的承载与摩擦能力。通过减少桩底沉渣厚度, 化学泥浆增强了桩基基底的承载力。同时, 孔壁由于化学泥浆自洁特性可以使混凝土与土壤结合得更好, 从而增加了桩基与土壤之间的摩擦力, 提高了桩基的整体稳定性。

5. 化学泥浆有良好的护壁效果。在砂卵石地层中, 由于地质条件复杂, 传统的泥浆往往难以有效控制孔壁的稳定性, 导致塌孔和孔径不规则等问题。而化学泥浆溶解后成半透明糊状, 表观黏度大, 渗透能力强, 胶凝强度大, 能有效调节泥浆液的流变性, 通过孔内渗透和胶联在孔壁表面能形成一层致密的泥浆保护膜, 防止井漏和孔壁坍塌, 保持孔径规则, 符合验收标准^[3]。

6. 节能环保, 可循环使用, 无毒, 非常容易降解, 经过简单稀释沉淀后可达到排放标准, 而不会造成环境污染。

3.2 化学泥浆的缺点

1. 化学泥浆的泥浆比重偏低。因为化学泥浆属于轻型泥浆, 泥浆的密度较传统泥浆偏低。经过多次现场实际测量可知, 化学泥浆比重一般在 1.01 ~ 1.05 之间, 而方案控制泥浆比重指标在 1.03 ~ 1.15 之间, 有一定不达标的风险, 如果检测泥浆比重小于合格区间, 则要添加一定的比重添加物, 使泥浆指标达到合格标准^[4]。

2. 化学泥浆产品成分不一, 产品质量参差不齐, 性能也天差地别。聂当特大桥项目遴选了三家公司的产品, 分别为 A、B、C (由于未经供应商授权, 生产厂家及产品名称不便公开, 后文三家化学泥浆产品

分别由 A、B、C 代替)。三类产品使用相同掺量、相同地质条件情况下, 产品 A 制备的泥浆黏度较低, 检测结果仅 16 ~ 19 s, 护壁效果较差, 易发生缩孔、塌孔。产品 B 制备的泥浆比重较小, 仅 1.01, 且黏度同样偏低, 仅 18 ~ 22 s, 易发生塌孔, 且一次清孔后浇筑混凝土前测得沉渣较厚, 约有 40 cm, 需要二次清孔。产品 C 制备的泥浆各项指标均能符合方案要求, 施工过程很少出现塌孔、缩孔清孔, 孔底沉渣较少, 几乎不需要进行二次清孔。

3. 如果地层孔隙率较大, 桩基无法保住水头。化学泥浆是通过孔内渗透和胶联在孔壁表面形成的一层致密的保护膜, 但如果土层是松散的卵石、圆砾石或粗砂, 孔隙率较大, 那化学泥浆就很难形成护壁的保护膜, 水头就很难保持。这时不断加水并掺拌化学泥浆粉就无法保证泥浆指标的稳定性, 很容易造成塌孔等情况。

4 化学泥浆与膨润土各项指标对比

本章节采用各项性能指标符合施工方案要求产品 C 与各项指标符合施工要求的膨润土相对比分析, 从工作性能与经济性两个方面进行评价。

4.1 工作性能对比

1. 操作工序对比。膨润土要采用搅拌机按照配比要求均匀搅拌约 0.5 ~ 1 h, 化学泥浆粉操作简单, 直接在水源处倒下冲入孔中, 就能迅速溶解, 得到性能良好的浆液。

2. 泥浆质量对比。膨润土泥浆成分比较稳定, 护壁时间较长, 清孔质量较好。而化学泥浆可以让泥浆中的石渣泥沙等杂物迅速沉淀, 一次清孔过后几乎不需要进行二次清孔。

3. 环水保对比。膨润土造浆时需用量较大, 大量车辆运输, 造成大量碳排放。物品到工地后需要占用大量仓库空间, 浪费土地及存储资源。且膨润土制浆会产生大量泥渣, 不利于环保。化学泥浆粉制浆所需用量较少, 一般不循环使用, 成分中不包含有毒有害物质, 容易降解, 不会对环境及动植物造成危害^[5]。需要经过处理就可达到排放标准, 不会有大量废渣出现, 无需清理。

4.2 经济性对比

拉萨地区膨润土制浆的综合成本较高, 约为每立方米 36 元。膨润土的价格受运输距离、存储要求和用量等因素的影响, 尤其在海拔地区, 运输成本显著增加, 使得膨润土的使用成本更为昂贵。此外, 膨润土在制浆过程中需要消耗大量的原料, 并且其制浆过程较为复杂, 需要专业搅拌设备, 进一步提高了操作成本和施工时间。

相比之下,化学泥浆粉的价格虽然在拉萨地区仍高于内地,但其成本大约为每立方米16.8元,远低于膨润土的成本。化学泥浆粉的优势在于其使用量较少,且不需要复杂的搅拌过程,现场操作便捷,节省了设备和人力成本。此外,化学泥浆粉的高效性能和环保特性使得其不仅在直接经济上具有优势,而且在长远使用中能够降低因处理废料和污染带来的附加成本。

5 化学泥浆在高海拔地区应用的挑战与对策

5.1 高海拔地区的特殊环境对化学泥浆应用的影响

高海拔地区的特殊环境条件对化学泥浆的应用构成了显著挑战,尤其是在低气压、低温和稀薄氧气的环境下。低气压条件导致泥浆中的气泡容易释放,从而降低泥浆的稳定性和护壁效果。在旋挖钻孔施工中,化学泥浆需要持续在孔壁上保持一定的护壁强度,防止孔壁坍塌。然而,在高海拔地区,低气压下泥浆的黏度往往变得较低,导致泥浆流动性增强,无法有效形成稳定的护壁膜。为了应对这一挑战,化学泥浆的配方需要进行特殊调整,例如增加增粘剂或选择具有更高胶凝性的材料,以确保泥浆在低气压环境下仍能提供足够的护壁强度。

此外,低温环境也对化学泥浆的性能产生了直接影响。在高海拔地区,尤其是冬季或气温较低时,泥浆的温度会降低,导致其黏度增加,流动性减弱,可能导致泥浆在孔内不易流动和分布,影响钻孔的施工质量^[6]。为了应对低温影响,可以在泥浆中添加抗冻剂或使用特殊配方来保持泥浆的流动性。此外,低温还会影响泥浆的自洁特性,增加清孔难度,可能需要更多的清孔次数来保持钻孔的畅通。

5.2 化学泥浆的施工工艺优化

在高海拔地区应用化学泥浆进行旋挖钻孔施工时,优化施工工艺至关重要。

首先,化学泥浆的配制方法需要根据高海拔地区的特殊环境进行调整。由于低气压和低温条件可能导致化学泥浆在施工过程中黏度过高或凝固过快,因此应根据气候变化对化学泥浆的配方进行合理调整。具体来说,可以通过增加适量的表面活性剂或添加增稠剂,以确保泥浆在低温条件下依然保持良好的流动性和稳定性。同时,考虑到高海拔地区的水资源有限,应尽量减少泥浆的用水量,并通过提高泥浆的循环使用率,降低环境污染和资源消耗。

其次,施工工艺的优化还包括提高泥浆的搅拌与注入效率。在高海拔地区,由于施工现场物资运输的困难,及时且高效地配制化学泥浆是关键。可以采用

更加高效的搅拌设备,减少人工操作的复杂性和工作强度。为了保证泥浆在孔壁上的护壁效果,施工时应加强泥浆的注入速度控制,确保泥浆能够迅速而均匀地分布在钻孔的壁面上,从而形成稳定的护壁层,避免孔壁坍塌的风险。此外,泥浆的定期检测和调整也是优化工艺的一部分,施工过程中应对泥浆的密度、黏度和流变性进行实时监控,根据需要及时调整泥浆配方和施工方案,以保证其最佳性能。

5.3 未来发展趋势与技术创新

随着施工技术的不断进步和环保要求的提升,化学泥浆的未来发展将聚焦于性能的持续优化和环保效能的增强。新型材料的研发,如纳米添加剂、智能调节化学物质等,将有助于提升泥浆的稳定性和适应性,尤其是在高海拔地区和复杂地质条件下。此外,泥浆的可持续性也将成为重点,未来的化学泥浆将更加注重绿色环保,采用无毒、可降解、可循环利用的成分,减少对环境的影响。同时,随着智能化施工的普及,化学泥浆的配制、监控和调节将逐步实现自动化和智能化,从而提高施工效率,降低人工成本,并进一步提升泥浆的工作性能和适应性。

6 结束语

化学泥浆在高海拔地区砂卵石地层旋挖钻孔施工中的应用展现了其在提高施工效率、保障安全性和环保性方面的重要优势。随着技术的不断发展和创新,化学泥浆的配方和施工工艺将不断优化,以应对高海拔地区的特殊环境挑战。未来,环保型泥浆材料的研发与泥浆的循环利用将成为行业发展的关键方向,从而推动施工技术的可持续发展。化学泥浆技术的不断进步,不仅为高海拔地区的基础设施建设提供了强有力的支持,也为其他复杂施工环境的技术应用奠定了基础。

参考文献:

- [1] 马昭雄,邹俊,谢伟,等.西藏自治区萨迦县卡吾地热地质构造特征及成因初步分析[J].四川地质量,2023,43(04):597-601,614.
- [2] 申毅.水下旋挖钻孔灌注桩化学泥浆粉造浆护壁施工技术[J].施工技术,2021,50(07):60-62,68.
- [3] 中国建筑科学研究院.建筑地基基础设计规范:GB50007-2011[S].北京:中国建筑工业出版社,2011.
- [4] 卢志强.复杂地质条件下化学泥浆护壁旋挖高效成孔技术研究[J].中国设备工程,2020(23):242-243.
- [5] 朱建新.化学聚合物泥浆在旋挖钻孔桩施工中的应用[J].百科论坛电子杂志,2020(23):2948-2949.
- [6] 孙志远.旋挖钻机施工技术在高原高海拔砂卵石地层中的应用[J].工程技术研究,2022,07(19):81-83.