

水平旋喷施工技术在矿山地质工程中的应用研究

余超

(安徽圣合建设工程有限公司, 安徽 合肥 230000)

摘要 随着建筑行业的蓬勃发展与新型材料的不断涌现, 施工技术正经历持续革新与优化进程。水平旋喷施工工艺作为一项新型施工技术, 表现出高效快捷、成本低的特点, 在工程施工中得到认可并被广泛应用。矿山地质工程由于施工地势较为复杂, 施工环境相比传统工程较差, 所以在技术应用上选择水平旋喷施工技术可以实现有效加固作用, 防止结构出现异常变化, 进而保证工程稳定性及安全性。基于此, 本文针对水平旋喷施工技术进行概述, 并探讨在矿山地质工程中水平旋喷施工技术应用要点, 以期为推动矿山地质工程的健康发展提供参考。

关键词 水平旋喷施工技术; 矿山地质工程; 止浆墙; 钻孔; 双浆液

中图分类号: TD265.4

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2026.16.040

0 引言

矿山地质工程项目安全防护体系存在的任何缺陷, 都会直接干扰工程建设进程, 推高项目建设成本, 还会对现场作业人员的人身安全与项目周边环境造成威胁。水平旋喷施工作为一种新型技术, 具有较高适用性及高效性, 能够有效提升不同土体的各项物理性能, 使得岩体的整体性得以增强, 在保障建筑安全的情况下还能在确保施工质量的基础上, 实现有效、稳定的施工周期控制。因此, 针对水平旋喷施工技术在矿山地质工程中的应用进行研究具有重要的现实意义。

1 水平旋喷施工技术概述

1.1 技术原理

水平旋喷施工技术是在特定平面(模板表面或地面)上, 通过精确调节喷头的倾斜角度与旋转速率, 并结合设定的喷射范围, 实现混凝土材料的高效分布, 形成均质化结构层的关键工艺方法^[1]。根据工程需要, 在施工现场或基坑底设置模具设施及其支撑架, 设置好混凝土喷射机械以及运送工具, 在其内部倒入混合均匀的混凝土, 通过高压气体将其高速喷出, 喷向模板表面或者地面, 采用即时封闭及连续保湿养护的方式直到达到规范的标准质量等级^[2]。

1.2 应用特点

水平旋喷施工技术在应用过程中表现出以下特点:

(1) 经济高效: 应用水平旋喷技术能够缩短工程工期,

并且该类型操作强度较高, 具备经济价值优势; 与以往普通形式的混凝土相比较而言, 表现更为优异, 在固化后形成稳固连接状态有利于增强基础整体稳定性及牢固程度^[3]。(2) 节约成本: 该施工方法较传统混凝土施工具有较高工作效率, 且能够降低人工成本及材料消耗量。(3) 稳定性高: 采用水平旋喷技术能够有效改善混凝土质量及匀质性, 在提升混凝土强度的基础上还能保障结构稳定性。(4) 适用范围广: 该方法主要适用于混凝土墙板、梁柱以及楼板等部位, 同时还能够对一些形状不规则或者性质不均质的构件进行应用, 并且主要在体积较大及形式复杂的混凝土工程中使用较多。

2 水平旋喷施工技术应用原则

2.1 旋喷施工时成桩效果控制

要保证旋喷桩的质量, 在旋喷桩施工过程中应对主要性能指标进行全方位测试, 主要有抗压强度、桩身直径以及注浆量这些重要指标。旋喷桩应具有较大的强度并且连续性较好。在灌注混凝土的时候必须要准确地称量出所用到的水泥的重量, 并合理调节一些工艺参数使桩径达标。另外, 还要注意相邻之间的桩体之间留有一定的重叠部分以提高其结构的整体性, 使得每一个桩体都能够达到理想的效果, 对此需按照以下原则进行: (1) 压力表应进行检测标定, 在注浆过程中可显示 35 MPa 或更高恒压值。(2) 严格按设

作者简介: 余超(1979-), 男, 本科, 高级工程师, 研究方向: 地质工程。

计配比拌制水泥浆（水灰比为 1:1），并严格按照误差在 ± 10 kg 的标准进行投放。（3）施工旋喷桩时，按照实验情况调节转速以及提升速度，保证各项指标达到规定的要求及设计的需求^[4]。

2.2 旋喷时返浆量的控制

当进行旋喷注浆工作时，通常存在两种情况：若发生非返浆现象，则为以下两种原因：一是因返浆管路阻塞导致实际不返浆的现象；二是钻进前方或周边有空隙需要用注浆料填充。如果返浆量较大，则会造成浆液大量流失，回收难度及处理难度大，容易造成浪费及污染环境；此时钻进过程中可能出现瞬时扭矩剧增的现象，易发生卡钻现象^[5]。若是采取不返浆的方式，则可能增加灌注注用量，增大施工压力，还存在地基沉降及邻近建筑物影响的风险；建议在施工过程中实时监测其沉降量、管位偏移量等参数，以确保施工质量与安全。及时对施工方案进行优化，在信息反馈的基础上实现动态调整，确保能够进行精准化控制。

2.3 施工技术应用注意事项

为确保项目连续性，应结合前一次桩体固化情况确定适宜间隔点，每间隔 1-3 个桩位实施即可；在 2 个及以上桩基联合施工过程中，需预留出 200 mm 以上的联结距离，在综合考量混凝土初凝时间等因素后实现全部桩基理想化施工。

旋喷注浆时应注意的事项有：（1）连接钻杆一定要平稳快捷，并注意清除连接部位端面的脏物，以防杂物进入而造成喷管堵塞。（2）要确保循环介质出流畅通，严禁旋喷施工中出现堵管现象，出现堵管后可适度松动密封结构，同时将反冒浆量控制在设计允许范围 20% 以下。（3）当喷射施工过程中出现故障停机后，则应按照应急方案进行处理：当机器及电气运行受阻影响正常生产时，应及时排除故障并尽快恢复正常；若停工时间超过两小时则需按预设方案采取相应措施以降低损失。在喷射重启以后，使用钻头深入 30 cm 位置进行新旧材料之间的黏结效果的检查工作。（4）对于喷射过程中出现明显冒浆的情况，则需采用自上而下封闭的方式来进行解决；如若出浆量较大则需及时对注浆泵压力及喷射速度进行调节，并适当加大速凝剂用量来改善其流动性。

3 水平旋喷施工技术在矿山地质工程中的应用

3.1 水平旋喷桩设计

技术负责人应提前认真研读设计文件，充分理解设计意图及遵循的设计规范和技术标准以及相关要求，

并将图纸中的疑问点和可优化之处做好系统记录；在此基础上，业主组织召开一次图纸会审会议，确保各方都有充分的时间进行讨论达成共识。及时对施工方案进行变更和完善，在设计交底及图纸会审过程中发现的问题也应纳入变更范围，以增强其可操作性及实施可行性，使其适应工程实践的要求。具体应用流程如下：（1）桩体孔距：一般情况下，将矿山地质工程条件的保护范围设为 0.5 ~ 1.0 m 内。从实际工作环境以及安全性角度出发，常选取 $R=0.25$ m， $L=0.3$ m 的值作为设计参数，但在矿山岩土工程的应用中，“C30 喷射混凝土 + 钢筋网”的方法能够抵抗静水压力，不过在前期硬化过程中，旋喷桩身较大的变形在 24 小时内会达到约 5 cm 并伴随面层喷射混凝土开裂等情况。由于进行注浆回填后，原采用旋喷桩作为支护体系出现了变形减缓的趋势并趋于稳定状态，结合该工艺特点，将“40 cm 厚旋喷桩实体 + 超前注浆小导管”进行复合加固，在采区中获得对覆岩静止土压力有效承载的作用。（2）桩外插角（仰角）：将 DK355+494 至 DK355+517 段旋喷桩中间位置改为 $H=23$ m；该区域已进行过加固处理，受旋喷机钻探速度、动力配置等因素影响，在 DK355+494 处旋喷桩的中间位置距原一衬墙实际间距约 15 cm；到达 DK355+517 后，旋喷桩底边刚好与前一防护工程外侧边线重合。（3）桩体直径：从该矿山地质情况看，可选用单管、双管及三管旋喷桩施工工艺。经现场勘察分析，该矿山南北方向主要以砂性土为主，同时含有少量黏土地层；结合实际工况及试验结果，建议采用双管进行旋喷作业。对黏土地基来讲，应将旋转喷射施工中钻入击数控制为 6 ~ 10；对砂性土来讲，则应将钻入击数控制为 11 ~ 21。（4）布置桩位：依据实地勘察结果明确支护区范围，能够对施工中钻喷桩的具体位置进行明确，采用精确方法测定桩距、超径、长径以及桩径等相关参数信息，就能够对钻喷桩设计中的关键指标进行全面了解。结合项目具体需求以及施工现场的实际建设情况制定桩位布置方案，能够有效地提前加固矿区岩体，从而降低矿山地质灾害发生率，还可以提升整体的质量水平。

3.2 施工工艺要点

针对矿山地质工程施工而言，水平旋喷施工技术应用要点如下。（1）设止浆墙：确定旋喷桩的倾斜角度。操作步骤包括：使用旋喷设备深入止浆帷幕层，精准地将导管放置在预定位置，然后通过高压泵注入水泥—水玻璃混合浆液，其施加压力应保持在 0.8 MPa 左右，以保证浆液能均匀地填补导管与帷幕之间的空隙。开挖

前采用超前加固措施,通常采用挂设网旋喷混凝土的方式提升初期支护强度,避免因高压喷射而引起面下沉的问题。选用 $\Phi 20$ mm 钢筋,长度60 cm的钢筋作为锚杆按照梅花型布置于掌子面上,间距需控制在 $150\text{ cm}\times 200\text{ cm}$ 范围内。另外,还需在掌子面上口及下口处各增设一道 $Q10\text{ mm}$ 钢格栅网作为辅助支撑框架。(2)机械就位:为了确保施工稳固及安全,在进行旋喷施工前需使用多台旋喷机来回在道路轨迹上运行,并使用压路机将此路段碾压至满足后续工程设备通过标准。在此期间需用水准仪精确控制旋喷设备标高。依据设计孔位坐标值,采用相应测距设备测算出钻塔与地表的高度及夹角等参数,保证钻塔中心轴位于预设外插角中间区域,误差应 $\leq \pm 1^\circ$;对于上部1号孔需利用经纬仪对方位进行校正。以上全部工作完成后才能开始进行正式的旋喷桩施工定位工作,通常在每一个横截面中设置大约30个的旋喷孔用作参考点。(3)钻孔:按照矿山地层的土质来确定钻孔速度及顶推力。主要的土质为砂土以及黏性土,所以在这个工程当中,选择钻孔的速度不低于 2 m/min ,顶推力不得少于 5 kN 。在施工过程中,要采用较小的流量帮助其进行钻进工作,避免不可分解的物质进入喷嘴内部导致设备出现故障的概率增大;在安装钻杆接头的过程中要注意将接头上的杂物清理干净,并确保钻头的密封装置完好无损;采用低速旋转的方法完成连接操作;并经检验确认连接稳固后方可开钻。(4)调制双浆液:旋喷桩工程中采用高效搅拌机,选用R(SiO₂)N型P.042.5等级硅酸盐水泥为原材料,严格按照设计配比及充分搅拌。本项目浆液比重控制在 $(0.8\sim 1):1$,必要时可适量掺加外加剂改善性能。建议采用单向持续匀速搅拌方式,避免搅拌过度或不充分的现象发生,最佳搅拌时间为 $5\sim 8\text{ min}$ 。另外,为了避免因杂质造成的管道堵塞现象,在输送管线入口处设置过滤网装置。(5)旋喷作业:旋喷施工前应全面检查高压注浆泵压力值是否合适(最佳为 $45\sim 50\text{ MPa}$),并仔细检查管路是否存在漏损隐患及喷嘴有无阻塞等情况,在确保各机械运转正常且成孔深度满足设计深度要求的情况下方可进行旋喷作业。待各项检验合格,并达到开采设计标高后进行旋喷施工。将旋喷机管插入土体深处约 $3\sim 5\text{ min}$ 后再匀速拔出喷嘴,每提升 1 m 回抽 20 cm ,在持续加压下喷射。为了获得良好的旋喷质量,先小范围旋转喷射约三十秒钟后,再向前慢走 $1\sim 2\text{ m}$,走动速度为 $15\sim 20\text{ cm/min}$,在走动的同时将旋喷转速下调到 35 R/MIN 直至达到 20 m^2 面积时即应停止前

移并校正旋喷机头部的收卷速度。在实践过程中还需要专业的技术人员对高压注浆机压力值进行实时监测,在观察其呈现出逐步下降以及稳定状态后,当钻头达到岩层及止水墙接触点的时候应及时地将旋喷停止,并将送浆管关掉,将整个钻杆全部拔出,保证下一道工序孔口处理工作顺利进行。(6)封堵孔口:在旋喷完成后应立刻将旋喷管拔走,并在此过程中停止对它的回抽工作,待可以连续转动旋喷头并且没有水泥浆流出时方可取出旋喷管;与此同时还应及时连接好注浆管道并回到旋喷桩顶端处,以便开启注浆机对旋喷头再次进行转压处理。每个孔的出口均应在距离旋喷桩旋喷头 1 m 的位置,最后慢慢将钻头提出孔内,并封堵住该孔口以免出现泄漏情况^[6]。(7)钻具清洗:当完成旋喷施工以后,应及时实施旋喷管道拔出操作,在此环节中先暂停回抽作业,并多次旋转旋喷机具,确保内部未残留任何浆液后再实施拆解处理;为保证有效施工深度,应在拔出旋喷管道后及时将输浆管接入并紧密衔接于旋喷桩主体上。同时,观察供浆系统的工作状态以及连续旋喷情况,在旋喷深度达到设计位置减去 1 m 处可以逐步提钻并及时封住孔口以防浆液外溢造成浪费或是影响后续工作面施工效果。

4 结束语

水平旋喷施工技术是近几年工程施工中逐渐广泛应用的地层加固施工技术,能够保证不同地址地层强度得到提高,并在提高工程施工安全性的基础上,促使施工周期顺利完成。施工期间水平旋喷成形的固结体提高了桩身围岩强度,经实践证明,采用水平旋喷加固技术取得了良好的效果,可有效处理该类工程难题,在一定范围内有推广意义及实用价值。

参考文献:

- [1] 刘林.隧道工程细砂地质水平旋喷桩施工技术分析[J].工程机械与维修,2021(06):129-131.
- [2] 贾良.隧道工程施工中高压水平旋喷桩超前支护技术的应用研究[J].粘接,2021,47(09):189-192.
- [3] 李杰.过街暗挖通道中水平旋喷施工技术应用研究[J].建设科技,2021(16):89-91,96.
- [4] 周益兵.富水含泥粉细砂层隧道水平旋喷加固施工技术[J].城市道桥与防洪,2019(10):145-147,19-20.
- [5] 陈程,邱涛.水平旋喷搅拌技术在地铁工程中的应用[J].中小企业管理与科技(下旬刊),2018(12):147-148.
- [6] 魏贤坤.水平旋喷工艺在砂层暗挖工法中的应用初探[J].山西建筑,2016,42(06):88-89.