

模袋混凝土施工技术在沟道砌护工程中的应用探讨

渠立龙

(宁夏昌昊建设工程有限公司, 宁夏 银川 750000)

摘 要 沟道砌护工程作为水土保持的关键措施, 在山区防洪减灾中具有不可替代的作用。模袋混凝土技术凭借整体连续覆盖特性克服了传统砌块拼接结构的渗漏风险与施工低效难题。现有沟道生态治理需求对柔性防护体系提出更高适配性要求, 本文立足于解决陡坡地形现浇混凝土滑移失稳与伸缩缝渗漏技术瓶颈, 通过整合织物模袋约束效应与自密实混凝土流变特性形成立体防护结构, 聚焦材料界面协同机理与三维曲面铺设工艺提升沟道抗冲能力, 旨在为复杂水文地质环境下永久性防护工程施工提供参考。

关键词 模袋混凝土技术; 沟道砌护体系; 水力充灌工艺; 生态防护工程

中图分类号: TV8

文献标志码: A

DOI: 10.3969/j.issn.2097-3365.2025.28.020

0 引言

沟道水力侵蚀引发的岸坡垮塌问题是山区基础设施面临的重要安全风险, 传统干砌石与预制混凝土块结构受限于离散式单元连接缺陷, 导致防护体系整体性不足。模袋混凝土技术将充填聚合物织物作为永久性模板兼具成型控制与增强功能, 其包裹约束机制可有效抑制沟道动水荷载下的浆体离析与骨料迁移。当前亟需系统建立适应不同沟道曲率与坡比条件的施工控制标准。本文重点阐释模袋材料参数设计准则与混凝土流变性能协同关系, 解析三维空间定位铺设与压力充灌工艺关键控制节点, 构建覆盖全生命周期的质量控制与风险预控实施体系。

1 模袋混凝土材料质量控制

1.1 模袋材料选用

模袋作为混凝土成型的关键载体, 其物理力学性能直接决定护坡结构的抗冲刷性与整体耐久性。选用高强聚丙烯纤维编织的模袋织物需具备充分柔韧性以适应沟道坡面曲率变化, 同时经纬纱线交叠结构必须满足抵御混凝土灌注冲击的最低撕破强度要求。材料进场阶段需逐批核验厂家提供的力学性能检测报告与生产合格文件, 质量必须符合设计要求, 模袋混凝土灌注口按设计要求制定。模袋铺设前, 要按施工编号进行详细检查, 看有无孔洞, 缺经、缺纬、蛛网、跳花等缺陷, 检查完后, 模袋铺平、卷紧、扎牢, 按编号顺序运至铺设现场。打模袋要检查搭接布、充灌袖口等是否缝制有误, 是否破坏。如果正常, 则进行相邻模袋布的缝接; 如果发现异常情况则要尽快解决^[1]。

1.2 混凝土配制与控制

沟道护坡所需的模袋混凝土需在保坍性与密实度之间建立平衡。采用一级配骨料与中砂细骨料的混合体系可显著降低粗颗粒阻滞泵管的概率, 水胶比控制直接影响浆体包裹骨料的均匀程度。拌合阶段持续监测坍落特征值需维持在高流动区间但杜绝离析泌水迹象, 拌合楼出料口配置振动筛滤除超粒径杂质。为补偿运输过程中的浆体水分蒸发损失, 罐车配备喷雾保湿装置调节仓内湿度环境, 长距离输送则优先选用具备恒速搅拌功能的混凝土专用运输设备。施工前在作业面进行落料流速测试以验证混凝土实际工作性, 若流动速率超出可控范围应作废料处理, 不得勉强灌注。

2 模袋混凝土核心施工工艺流程

2.1 施工前准备

1. 测量放样: 采用 RTK 和水准仪进行测量放样, 依据设计图纸标定标准断面和异形断面的控制点。沟道中心线和坡顶控制点采用木桩与钢筋固定, 确保位置准确。在施工过程中, 按模袋幅面尺寸测放轴线及方位控制点, 并设置高程复核点, 便于实时校准。

2. 机械整坡、开挖沟槽: 分段完成土方开挖后, 进行坡面轮廓放样, 每 30 ~ 50 m 设置整坡样架。采用两台挖掘机协同作业: 前机负责初步整坡及排水沟开挖, 后机进行坡面精修和锚固槽开挖。整坡过程中需同步复测沟道轮廓线和高程, 确保符合设计要求。

3. 人工修坡: 整坡及锚固槽完成一块、验收一块、立即施工一块, 确保模袋在无水或少水环境下作业。先排干作业区积水, 再人工清除坡面杂物、浮土; 局

部超挖或冲刷坑槽,采用人工配合机械分层夯实回填;锚固槽几何尺寸一次验收合格后方可进入下一工序。

2.2 模袋铺设与固定

1. 铺设模袋:铺设前检查模袋无破损、褶皱,纵横向预留 6% 收缩余量,分段铺设长度控制在 100 m 以内。自上而下滚铺模袋,边铺边插锚固桩定位,确保铺设平整、位置准确。铺设质量需满足“平直、端正、充足”的要求。

2. 固定模袋:坡顶采用封顶混凝土锚固槽+定位桩双重防滑。定位桩间距根据坡长、坡度及模袋厚度动态调整,通常 2~4 m 布置一根,必要时加密。

3. 模袋搭接:模袋布按从上游至下游的顺序铺设,相邻单元搭接时,下层布需平整铺展,采用手提缝纫机缝合。坡面较长时需前后搭接,由人工现场缝联;左右模袋铺设后同样需缝合,确保整体性。

2.3 混凝土充灌工艺

模袋混凝土充灌是质量控制的关键环节,必须在厂家技术人员的全程指导下进行。充灌前要用高压水枪将模袋充分润湿,泵送系统要经过严格调试,确保工作压力稳定在 0.25±0.05 MPa 范围内。

1. 充灌混凝土遵循“四先原则”:即先下后上,先左右后中间,先上游后下游,先标准断面后异形断面,防止模袋在充灌过程产生偏移和移位。

2. 冲灌方法和程序:模袋混凝土充灌是整个施工过程的关键工序,须高度重视、严格要求,施工前应对动力设备进行检查,对施工部位操作方法、质量要求、安全要求及劳动组织进行统筹考虑,施工过程采用如下充灌方法和程序:

(1) 正式泵送前,先用洁净清水冲洗整条管路 2~3 min,确保内壁充分润湿并形成水膜;随后将泵出口橡胶软管插入模袋注入口,插入深度不得小于 30 cm,用 12# 铁丝双股反向缠绕、拧紧不少于 4 圈,最后用胶锤轻敲确认无松动。再次沿线复检所有快速接头,观察 O 形圈是否完好,发现渗漏立即更换。混凝土搅拌运输车到场后,取样做坍落度试验,确保值域 23±2 cm;目测粘聚性、保水性合格后,由质检员签字放行,泵压设定 0.2~0.3 MPa。(2) 遵循“先低后高、先边后中、先标准后异形”的三维推进原则,注入口自下而上水平切换,防止因侧向压力差造成袋体滑移或鼓包。若发现浆体流动迟缓,可使用 $\phi 25$ mm 轻质竹制导流棒,沿袋壁轻触助推,严禁使用金属锐器或人员踩踏袋面。当某一区域厚度检测达到设计值 ± 5 mm 时,立即关闭当前注入口,打开上方注入口继续灌注,确保整幅厚度均匀;初凝前安排 1 名工人穿软底布鞋,用木质拍板轻压表面,使平整度满足 2 m 直尺 ≤ 10 mm^[2]。(3)

机口设总指挥 1 名,与泵工、坡面观测员保持对讲机联络;坡面每 10 m 设 1 名观测员,实时汇报袋内浆面上升速度、鼓胀高度、流速变化。若出现局部鼓包或流速骤降,由观测员穿软底鞋进入作业面,利用身体重量进行“点踩”导流,严禁用铁锹、撬棍等硬质工具刺袋。每 5 min 用 $\phi 12$ mm 钢钎随机插入检测厚度,发现偏差立即调整泵速或转移注入口,确保无爆袋隐患。(4) 另设 1 名专职机修工,沿线监听泵管脉冲声音、手触管壁温度,发现异常振动、温升或漏浆立即吹哨停机,排查接头、垫片、弯管磨损情况。(5) 同一单元模袋必须连续灌注,不得中途停机形成冷缝;如因机械故障必须中断,须在 30 min 内完成故障排除,否则立即启动备用泵接力,确保浆面衔接无痕迹。(6) 当模袋接近设计饱满度时,停泵静置 5~10 min,使多余水分及气泡充分析出;随后微量补灌至完全饱满,此举可显著提高硬化后强度 5%~8%。结束后平移设备至下一单元,相邻袋体接缝处用人工踩压贴紧,确保无错台。(7) 一个单元浇筑完成后在铺设、搭接、浇筑下一个单元,在每次混凝土浇灌完毕后的施工间歇期间,都应把输送泵与管道清理干净,泵送 1:2 水泥砂浆 1.0 m³,然后再加球(或大径骨料)加水清洗管路,以免混凝土粘附于机械和管道表面而影响再次浇灌混凝土。(8) 做好模袋混凝土的原始施工记录,记录内容包括:浇筑桩号、顺号、起止时间、天气、温度、混凝土配合比、原材料批次、机障及处理措施、影像资料(不少于每单元 3 张照片:开浇、过程、结束),由质检员、施工员、监理三方签字确认,归档备查。

3. 模袋混凝土保护、养护:模袋充满结束后,用绳将充灌袖口系紧,防止混凝土外溢,待混凝土稍微凝固,用人工将袖口混凝土掏出,将袖口布塞入布袋内,用水将模袋表面冲洗干净;及时用水将模袋表面和滤点孔内的灰渣冲洗、清理干净;对施工中难以避免的脚印尽量消除,然后进行保护,防止人畜踩踏或其它物品撞、压;充灌后的模袋坡顶及时进行锚槽回填覆盖和压顶混凝土施工;模袋混凝土充灌完成后应及时进行保湿养护,养护时间不宜少于 14 d,若高温干燥增加浇水次数,混凝土未凝固前,严禁任何人在模袋表面踩踏行走。

2.4 后期处理

混凝土初凝 12 小时后开始切割灌注袖口并使用同强度等级水泥砂浆实施孔洞封闭修复作业,切口边缘须保留织物毛边结构以增强修补界面粘结强度,表面平整工序采用特制柔性刮板沿模袋纹理走向对局部凸起浆体进行旋压式抹平消除骨料尖角外露风险。养护管理建立分时控制体系,初始 48 小时覆盖双层保水型

土工布维持表面湿度饱和状态,中期阶段可以切换为单层遮阳网配合自动喷雾装置,实现周期性温湿度平衡调节,沟道底部积水需通过预设导流槽,即时疏排防止静水压力侵蚀新生混凝土结构^[3]。坡顶回填土实施分层沉降水密性压实且压实轨迹垂直于坡面走向,防止剪切位移,全部遗留施工废料及时清理,分类转运至规定区域进行处理。

3 模袋混凝土施工技术质量控制与安全措施

3.1 质量控制标准

模袋织物物理性能检测依据水利工程土工合成材料应用规范逐卷展开抗拉强度与等效孔径验证,混凝土配合比设计采用双组份膨胀剂调控硬化阶段体积稳定性,拌合物塌落度偏差上限不得突破骨料最大粒径决定的可泵送临界值。充灌过程中实时监控混凝土输送压力、流速、塌落度等并及时记录,发现混凝土输送压力、流速、塌落度等数据出现偏差的及时进行调整。

3.2 控制关键点

施工动态质量管理的核心在于建立预判性干预机制。整坡阶段质检人员同步复核样架控制点的坐标参数,土体压实后即刻采用环刀法检验超挖区域回填密实度是否达到邻接坡面同等状态。混凝土充灌过程设置双岗位联控体系,主控人员监控泵压仪表数值的连续性波动特征。当泵车仪表显示混凝土流速、压力等超出预设工作参数时,管理人员要及时发出指令,采取调整输送压力,控制混凝土流速等方式保证灌注质量。模袋接缝检验在缝制完毕后进行反向撕扯测试验证线迹抗剪力^[4]。

3.3 安全管理措施

施工现场安全管理依赖结构化流程设计与岗位责任分解。作业区域划分执行“分区隔离、物理屏障”原则,高坡作业带架设安全防护网并对机械旋转半径设置警戒线。施工人员上岗前需持特种设备操作证件,安全员每日巡查边坡锚固固定情况和施工现场安全作业情况。暴雨预警时段切断电源,转移充灌设备至安全平台,高温工况下缩短单班作业时长、分时段作业和配置流动降温供给站。危险源清单更新机制要求班前会议补充前日操作记录中的异常工况描述,及时消除安全隐患。

4 模袋混凝土施工技术挑战与优化探讨

4.1 施工技术挑战

沟道急弯区段模袋织物受三维曲面张力分布不均引发局部褶皱,导致混凝土充灌连续性中断。高寒地区冻融循环过程产生的冰楔效应使模袋接缝处聚合物纤维反复屈曲疲劳累积隐形损伤,地下水位骤变时透

水型模袋内部真空负压状态诱发沟道基底粉砂层潜蚀掏空风险。大型沟道施工中充灌设备最大水平输送距离限值制约单次作业覆盖范围,纵坡超过二十五度区域混凝土自流平特性消失,迫使采用多级接力泵站增加浆体流态调控难度。高温环境混凝土初凝时间缩短至常规值三分之一,造成模袋表面整平工序与充灌节奏失配,坡面局部凹陷区因振动压实不足残留空隙致使后续锚固桩抗拔力分布离散度超出设计允许值。腐蚀性地质层渗出的硫酸根离子迁移至混凝土骨料界面诱发延迟性钙矾石膨胀开裂。

4.2 施工优化策略

引入基于三维曲面张力分布算法的自适应模袋设计技术,预置梯度导流槽结构消除急弯区域褶皱效应^[5]。针对冻融循环损伤采用聚丙烯纤维表面接枝亚克力弹性单体的复合织物,对灌注的混凝土选用抗冻抗渗混凝土。远距离输送瓶颈采用变频压力波干涉原理改进混凝土流变特性,二十五度纵坡段设置旋流式缓冲腔室,利用离心力补偿浆体自流平缺失段,实现连续充盈。高温施工环境可以选用掺入粉煤灰、缓凝剂等外加剂的施工配合比,选择早晚温度较低时进行混凝土浇筑的错峰施工方案进行浇筑等,将混凝土初凝时间延长。对抗腐蚀渗流选用抗硫酸盐水泥配合比,增强混凝土的抗腐蚀性。

5 结束语

模袋混凝土沟道砌护需严格遵循材料—结构—环境三者适配原则,聚合物织物耐候等级选择应结合当地极端温度值综合判定,混凝土塌落度控制宜根据坡比梯度实施动态分级调整。施工过程需特别重视弯道区段模袋预张力释放措施与异型部位三维拟合精度,压力充灌阶段保持流量稳定性对消除内部空洞具有决定性影响。养护管理需区别干燥区水化放热效应与潮湿区水分饱和状态,采取分区调控策略。

参考文献:

- [1] 李海雷,陈丹丹.模袋混凝土施工工艺在沂河岸坡防护工程中的应用[J].治淮,2025(03):65-67.
- [2] 冯德新.模袋混凝土护坡技术在南江河道整治中的应用[J].黑龙江水利科技,2024,52(11):105-108.
- [3] 尚国栋.水利灌渠模袋混凝土渠底砌护施工技术探讨[J].中国水泥,2024(07):103-105.
- [4] 罗冰.模袋混凝土护坡技术在河道护坡工程中的应用分析[J].工程技术研究,2024,09(08):66-68.
- [5] 魏淑娟.浅谈模袋混凝土衬砌在宁夏七星渠灌区的应用[J].农业开发与装备,2024(08):124-126.