

Analysis of the Rapid Wall Construction Technology of the Step-type Seepage-proof Wall with Large Drift Stone and Gravel Layer

Ziquan Gao

Sinohydro Bureau 7 CO., Ltd., Chengdu, Sichuan, 610213, China

Abstract

Under conditions of deep cover layers and highly permeable riverbeds, dam foundation seepage prevention is often constrained by the random accumulation of large boulders, coarse sand, and gravel. This leads to easy deviation of the slot formation, instability of the slot walls, and issues such as slurry leakage and difficulty in joint formation. In engineering practice, a stepped arrangement is commonly adopted to create a gradual transition of the seepage prevention wall at different burial depths, balancing the depth of rock embedding and construction accessibility. Combined with a rapid wall-forming organization in layers and sections, the rhythm of “first breaking, then grabbing; first stabilizing the wall, then pouring” is solidified into each process. This paper discusses the stepped seepage prevention wall from the perspectives of its connotation, layered and sectional slot formation, and the coordination of wall protection and pouring, based on the common equipment and field control experience of China’s water conservancy and hydropower projects.

Keywords

Water Conservancy and Hydropower Engineering; Large Drift Stone and Gravel Layer; Step-type Seepage Retaining Wall; Layered and Segmented Construction; Rapid Wall-forming Technology

大漂石砂砾石层台阶式防渗墙分层分段快速成墙工艺探析

高自全

中国水利水电第七工程局有限公司, 中国·四川成都 610213

摘要

在深厚覆盖层与强透水河床条件下, 坝基防渗常被大漂石、粗砂与卵砾石的随机堆积所制约, 成槽易偏斜、槽壁易失稳, 并伴随泥浆漏失与接头成型困难等问题。工程上多采用台阶式布置, 使防渗墙在不同埋深区段形成逐级过渡, 兼顾嵌岩深度与施工可达性, 再配合分层分段的快速成墙组织, 把“先破碎后抓取、先稳壁后浇筑”的节奏固化到各道工序。本文结合中国水利水电工程常见装备与现场控制经验, 从台阶式防渗墙内涵、分层分段成槽、护壁与浇筑协同等角度展开讨论。

关键词

水利水电工程; 大漂石砂砾石层; 台阶式防渗墙; 分层分段; 快速成墙工艺

1 引言

在水利水电工程防渗墙施工中, 复杂地质条件往往制约着造孔进度、成孔质量, 特别是在含有大漂石、大孤石的砂卵砾石地层中施工难度更大^[1]。如何有针对性地采取措施以保障防渗墙施工质量成为一项重要研究内容。传统连续墙在此类地层中容易出现成槽效率低、泥浆被稀释以及接头套接不顺等现象, 工期与质量风险叠加。依据现行行业规范对导墙、泥浆、槽孔建造和墙段连接的要求, 可将台阶式布置与分层分段施工相结合, 形成可复制的快速成墙流程。

【作者简介】高自全(1983—), 男, 中国四川简阳人, 本科, 工程师, 从事水利水电施工及管理研究。

2 大漂石砂砾石层台阶式防渗墙

大漂石砂砾石层台阶式防渗墙, 是指在含漂石、卵砾石与粗砂互层的强透水地基中, 沿防渗轴线修建的地下连续墙体, 其墙底或墙顶随基岩起伏、覆盖层厚度变化分区, 在纵向剖面上形成“深浅相接”的台阶过渡, 并以一期、二期槽段套接构成连续止水帷幕。大漂石砂砾石层台阶式防渗墙构造特点是在同一防渗轴线上, 根据覆盖层厚度、基岩起伏和施工可达性, 把墙底高程分区控制, 使纵剖面呈阶梯式变化, 并在台阶交接处通过墙段搭接实现连续止水。该型式多见于山区河谷电站围堰及坝肩连接段, 当河床漂石粒径大且分布离散时, 若全线采用同一深度与同一成槽装备, 往往会出现深段工效过低或浅段扰动过大等矛盾。台阶式布置把超深段、常规段和过渡段分开控制, 使漂石密集区采用“钻孔

破碎+抓斗取渣”的强攻方案，而在砂砾为主区段采用效率更高的抓取或铣削工艺，从而兼顾速度与线形。墙体材料常选泥浆下混凝土或塑性混凝土，以满足抗渗与变形协调要求，墙厚与墙深可按渗流条件与施工能力综合确定。现行水利水电工程混凝土防渗墙施工技术规范将适用范围拓展至墙深不大于100 m、墙厚200~1200 mm，并对导墙、泥浆与槽孔建造提出要求。工程实施时，台阶交接段是控制重点，需要保证接头套接顺畅、墙底入岩连续、槽壁不塌不缩，并通过及时的清孔换浆与连续浇筑，避免台阶处形成局部渗流薄弱带^[2]。

3 大漂石砂砾石层台阶式防渗墙分层分段快速成墙工艺探析

3.1 台阶分区与槽段排布

在大漂石砂砾石层台阶式防渗墙施工中，台阶分区与槽段排布应先把地层差异转化为可执行的施工单元。分区实施时，测量人员将勘探剖面、钻孔岩样与试验槽记录对照，沿里程逐桩标识漂石密集带、砂砾主控带及入岩过渡带，在台阶起止布设双控制点并写明目标孔深和允许超挖，控制点采用钢钉定位并设置保护桩，台阶高差以设计嵌岩深度控制且预留0.5~1.0m搭接，遇孤石先向导孔探深并随钻修正分区界线，避免同槽突然加深导致卡钻与偏孔。槽段排布以抓斗开度、起吊能力和钻机回转半径为约束，槽段长度常取3~6m，深段宜短以压低偏斜累积，浅段可适度加长提升单幅效率，接头宜布置在粒径变化小的均质段并避开卵漂混杂区，一期槽段端孔加强垂直度检查并必要时先钻后抓校孔，二期套接孔沿同一垂直面下设接头管，接头管入槽前清刷槽壁并校直定位，控制错台与缩颈。平台与导墙随台阶转折同步加宽硬化，平台平整度满足设备行走且转折处设置排水坡和沉浆沟，导墙轴线复核不少于两次并预留抓斗换位和吊管净宽，导墙内侧可设置限位块便于抓斗对中，导墙强度与刚度满足孔口约束要求，孔口标高统一到同一基准面，泥浆面保持在导墙顶下0.3~0.5m并及时补浆稳壁。组织节拍采用深段先行、浅段跟进，深段成槽后立即转入清孔、换浆及导管下设准备，浅段同步完成钢筋笼、接头管和导管试拼装，泥浆站按峰值连续供浆并配置不少于一槽段置换量的应急储浆，备用泥浆泵与一套导管随班待命，抓取出渣、吊装下管与水下浇筑错峰衔接，确保同一作业面连续转序^[3]。

3.2 先导孔破碎与复合成槽

为实现大漂石砂砾石层台阶式防渗墙分层分段快速成墙，先导孔破碎与复合成槽需按漂石尺度精细组织。其一，漂石富集且粒径跨度大的部位应沿墙轴线成列或错列布置先导孔，孔距宜控制在0.8至1.5 m并随漂石含量加密，孔深下穿漂石层并超出本层底界0.5至1.0 m，钻进采用短护筒保护孔口并以黏土浆稳壁，随时校核孔位与孔斜，先导孔形成可贯通的破碎带后再进入成槽。其二，成槽宜采用冲击

反循环钻机配合液压抓斗的钻抓节拍，主孔以冲击破碎控制进尺并及时排渣，抓斗从主孔向两侧分次扩挖副孔并做到随挖随清，遇大漂石先抓取外露块再回补破碎，槽内保持稳定水头与浆液性能，分段接头处加密复抓确保槽宽一致。其三，遇孤石或硬夹层卡阻时应先复测导墙、槽壁稳定及垂直度偏差，设置警戒线后采用重凿冲砸或短时间歇冲击处理，控制冲击能量避免过破扰壁，处理后先捞除大块再用反循环带走碎屑并复核孔斜，必要时补设旁孔分散受力，防止碎块堆积引起抓斗抱死与偏槽扩大。其四，分层成槽遵循上部整形下部攻坚的次序，浅层先成形控制槽口尺寸与台阶顺度，下挖每1.0至1.5 m即进行垂直度校核与槽宽复测，过渡段通过加密先导孔和分次抓取保证转折顺直，临近本层设计底界时改用小开口慢抓并清理台阶面，分层接续处及时补浆封闭防止回填，并将破碎、扩槽、清渣在同一班次闭合完成，段间接续短槽先行长槽跟进，减少停机回弹和重复进退。每段完槽后测量槽底高程并核对渣浆密度，确认无回填后转入下一段。

3.3 护壁泥浆与漏失抑制

针对大漂石砂砾石层台阶式防渗墙分层分段快速成墙，护壁泥浆宜按配制、使用、再生建立可核查指标体系，开槽前以膨润土或聚合物复配成基浆，依据抓斗进尺与层位变化分级调控黏度、比重、静切力和失水量，随槽抽检含砂率与胶体率并形成批次台账，成槽期间泥浆面稳定控制在导墙顶面下0.3~0.5m且高于外水位以保证护壁压差，补浆遵循随缺随补并同步校核密度回升速度。当地下水补给强引起泥浆被稀释时，应在槽口设置挡水坡与回浆沟形成封闭循环，净化端采用旋流除砂与沉淀分级回收，补配端按耗浆量连续加料并控制搅拌时间，现场同时布置水位观测孔，避免降排水过猛造成水位突降，数值研究提示泥浆面波动与水位下降会显著放大槽壁变形风险。对易漏失的漂石架空带应提前布置堵漏料和投料工具，发现漏失后先暂停抓挖并抬高浆面，按细料先行、粗料跟进的原则分次投放粘土团或纤维类堵漏料，短时静置促成泥皮封堵，再以复抓挤密校正槽底松散区，必要时在孔口回填压重并记录漏失速率，确保渗流只在局部耗散而不发展为贯通通道。渗透压力过大导致进尺变慢时，可在台阶段外侧临时施打拉森钢板桩或设置黏土封闭带，并配合井点降排水分层降头并记录泵排量，控制槽外水头梯度与抓斗抽吸扰动，缩短单段暴露时间，接头段优先布置在浅部并采用短槽段组织，成槽合格后立即换浆清孔并连续水下浇筑，避免停工引起护壁压力衰减^[4]。

3.4 清孔换浆与连续浇筑

为保持大漂石砂砾石层台阶式防渗墙成墙节拍，应把清孔、换浆与导管浇筑压缩成紧凑的连续工序。其一，终孔后立即以反循环抽吸配合抓斗多次捞渣，清孔管分靠近端头、中部及台阶转折处移位作业，使孔底高黏砂浆和漂石间软泥团被充分带出，台阶内侧角隅用小抓斗细捞，并用测深

锤复核沉渣,槽底沉渣宜控制在 50 mm 以内,并同步清理孔口废浆废渣,复测槽宽、垂直度与台阶面平整度后再转入换浆。其二,换浆以一次置换为原则,置换量不小于槽内容积 1.0 倍,先排出高含砂旧浆再补入低含砂新浆,循环时连续检测密度、漏斗黏度和回浆含砂率,宜将密度控制在 1.03 ~ 1.10 g/cm³、黏度 16 ~ 20 s、含砂量 ≤1%,新浆宜提前熟化,补浆时保持液面稳定并随挖随补,并把换浆完成到下放导管的间隔压缩在短时间内,避免泥皮增厚导致混凝土上返阻力增大或孔壁失稳。其三,浇筑采用导管法分段连续下料,首盘混凝土宜增大入管量并保持导管距槽底 5 ~ 10 cm 起灌,待形成稳定通道后将埋深控制在 2 ~ 6 m,浇筑中维持料面均匀上升,导管提升宜小幅、缓慢并随时校核埋深,当遇漂石孔隙贯通时可适度提高坍落度并保持连续供料,必要时在台阶转角处加密导管微调位置,导管接头需试压检查,停料时间宜控制在 20 min 以内,减少夹泥、离析与局部断料。其四,接头管或止浆板起拔应结合现场同条件试验确定初凝窗口,一期槽段控制浇筑速度使接头管底端持续埋入混凝土并保持合理埋深,起拔采用小行程分次拔管并及时拆节,实时记录起拔阻力变化,常见阻力可按 0.3 ~ 0.5 t/m 核算机械能力,当阻力突增应暂停起拔并补料稳面,拔出后对接头孔与台阶面用刮刀清理附着泥皮,套接前对接头孔口用小抓斗修边,二期槽开挖前完成接头面修整与尺寸复核。

3.5 套接接头与台阶过渡处理

针对大漂石砂砾石层台阶式防渗墙分层分段快速成墙,接头套接与台阶过渡必须在成槽阶段前置控制,并将接头区作为先导控制线。其一,墙段连接宜采用接头管或止浆板预制搭接边,入槽前逐项检查管体直线度、锁口间隙与密封件压缩量,清理锁口内泥砂并涂抹润滑剂,下放时设置导向架和保持架限位,锁口顶部宜设置防泥帽并加密测斜复核,遇漂石碰撞应及时回提校正,必要时在接头区预埋灌浆管并封堵管口以便后续补强。其二,一期槽浇筑后拔管以同条件初凝与起拔阻力变化为判据,采取分级匀速提拔并维持浆液液面稳定,避免负压回吸夹泥,出现抱死倾向先小幅往复松动

再起拔,拔管完成后立即用扫孔器或抓斗扫孔整形,清除碎渣与漂石小块并以稠浆回填保护界面,扫孔后复测孔径与垂直度并及时补抓修正。其三,台阶过渡段按深段压浅段布置,深段端部预留嵌入长度并设置护角块或加密切削轨迹控制塌边,二期成槽优先沿接头面侧切入并限制侧向超挖,通过短进尺反复修整接头线形与台阶拐点,必要时采用小冲程反打剔除夹带漂石和软弱夹层,避免形成反台阶、局部偏薄或夹石夹泥导致渗流短路^[9]。其四,二期清孔阶段采用钢丝刷钻头与换浆循环联合刷洗接头面,清孔过程中复测孔底沉渣厚度并控制终孔指标,待返浆含砂率和黏度稳定后再浇筑,浇筑时保持导管埋深连续并记录混凝土面提升速度与回浆量,接缝返浆偏稀或夹砂时及时停灌复刷并补灌微膨浆液,成墙后采用槽段测厚与线形复核,对疑似缺陷区取芯检验并实施封堵修补。

4 结语

大漂石砂砾石层台阶式防渗墙施工的难点集中在成槽可达性、槽壁稳定与接头可靠性三方面。采用分层分段快速成墙工艺时,应把台阶分区、复合成槽、泥浆护壁、清孔浇筑与套接处理形成连续的作业链,并在漂石密集区预留充足的工序机动空间。实践表明,只要关键控制点被固化到班组作业标准中,台阶式防渗墙完全可以实现高效率、稳定成墙。

参考文献

- [1] 陈帅,张微,于志进.含大孤石、漂石的砂卵砾石地层防渗墙造孔技术研究[J].水利水电施工,2024(6):36-38.
- [2] 赵先锋,罗庆松.长河坝水电站特大漂石架空地层防渗墙施工技术[C]//中国水利学会地基与基础工程专业委员会第十一次全国学术技术研讨会.0[2026-01-24].
- [3] 陈远大.砂砾石地层混凝土防渗墙槽孔建造质量控制[J].建筑工程技术与设计,2021(6).
- [4] 张太波.块碎石架空地层深孔防渗墙施工塌孔预防措施[J].水利建设与管理,2022,42(6):4.
- [5] 张廷华,蒋景东,李卓,等.何家沟水库大坝"台阶式"混凝土防渗墙质量综合物探检测与评价[J].水电能源科学,2023.