

水利工程施工中基础防渗墙的施工工艺与质量控制

马时春 周晶晶 吴露琰

江苏省鸿源招标代理股份有限公司 江苏 南京 210019

摘要：基础防渗墙是水利工程地基防渗处理的核心技术手段，其施工质量直接决定大坝、水闸等水工建筑物的运行安全。本文系统梳理了防渗墙的主要类型与技术特点，围绕成槽施工、泥浆护壁、墙体浇筑及接头处理等关键工序展开工艺分析，明确了各工序的操作要点与技术参数。在此基础上，从原材料检验、过程质量监测、成墙质量检验三个层面构建了质量控制体系，重点探讨了槽壁稳定性控制、混凝土浇筑连续性和墙体完整性的保障措施。研究表明，防渗墙质量控制须坚持“全过程、全要素”的动态管控理念，实现工艺参数精准执行与质量隐患及时消除的协同统一。

关键词：水利工程；基础防渗墙；成槽工艺；质量控制；泥浆护壁

引言：水利工程的基础渗漏问题直接威胁水工建筑物的结构安全与运行效益。防渗墙通过在地下形成连续墙幕，有效截断渗流通道、降低渗透压力，已广泛应用于土石坝坝基防渗、堤防加固、围堰防渗及病险水库除险加固等领域。防渗墙工程施工工序复杂、隐蔽性强，成槽垂直度、泥浆性能、墙体连续性与混凝土质量等任何一个环节出现偏差，均可能导致墙体防渗效果不达标甚至工程失效。因此，系统研究基础防渗墙的施工工艺与质量控制方法具有重要的工程实践意义。

1 基础防渗墙的工程应用与技术类型

1.1 防渗墙的工程应用与作用机理

防渗墙在水利工程中应用广泛。在土石坝工程中，防渗墙作为坝基垂直防渗的核心设施，与坝体防渗体共同构成完整的防渗体系，有效降低坝基扬压力、控制渗流量，保障大坝渗透稳定性。在堤防工程中，防渗墙用于截断堤基透水层，防止管涌和流土等渗透变形破坏。在水闸和泵站工程中，防渗墙布置于闸底板上下游，延长渗径长度、减小渗透坡降。在病险水库除险加固中，防渗墙是修复坝基渗漏隐患的主流技术方案。防渗墙的作用机理可概括为“截断与减消”。截断是通过连续墙体将透水地层中的渗流路径切断，阻止地下水绕坝渗流；减消是通过墙体降低渗流出口处的渗透压力，防止渗透破坏。墙体的防渗效果取决于连续性、完整性和抗渗性能。连续性要求各槽段之间可靠连接，不出现冷缝或夹泥层；完整性要求墙体混凝土均匀致密，无蜂窝孔洞和裂缝；抗渗性能要求渗透系数满足设计要求（通常 $K \leq 1 \times 10^{-7} \text{cm/s}$ ）。理解这一作用机理是合理选择墙型和制定施工方案的理论基础。

1.2 防渗墙的主要类型与工艺特点

防渗墙按墙体材料分为刚性防渗墙和塑性防渗墙。刚性防渗墙采用普通混凝土或掺膨润土混凝土浇筑，弹性模量高、抗压强度大，适用于水头高、受力复杂的重要工程，但对地基变形适应性较差。塑性防渗墙掺入大量膨润土或粘土，弹性模量低、变形适应性好，适用于软土地基或变形较大的条件^[1]。按成槽工艺分类：抓斗法采用液压抓斗直接抓取地层成槽，适用于土层和软岩，成槽速度快、精度高，是应用最广泛的方法；铣槽法采用双轮铣槽机铣削成槽，适用于坚硬岩层和复杂地层，精度高但设备昂贵；冲击钻法利用冲击钻头反复冲击破碎成槽，适用于漂石层和坚硬岩层，但工效较低。工程应根据地质条件、墙深、墙厚及工期综合选择成槽工艺。槽段划分一般将墙体划分为若干单元槽段，长度根据设备能力和地层稳定性确定，通常为2.0~6.0m，原则是保证槽壁稳定且便于钢筋笼吊装和混凝土浇筑。

2 基础防渗墙施工工艺技术分析

2.1 施工准备与导墙施工

施工准备工作的质量直接影响后续工序的顺利推进。准备阶段的核心工作包括场地平整、测量放样、原材料准备和设备调试。场地平整应满足施工设备和运输车辆的通行要求，同时设置泥浆制备和循环系统。测量放样应精确放出防渗墙的轴线位置和槽段分界线，轴线的平面位置允许偏差不超过 $\pm 20 \text{mm}$ 。导墙是防渗墙施工的关键辅助设施，其作用包括：为成槽设备提供导向，保证槽段的方向和位置准确；支撑槽口，防止槽口坍塌；作为泥浆液面的围堰，保持槽内泥浆高度；承受施工荷载，为吊放钢筋笼和浇筑混凝土提供操作平台。导墙通常采用现浇钢筋混凝土结构，断面形状有“L”形和“┐”形两种，导墙顶面应平整（平整度允

许偏差 $\pm 5\text{mm}$),导墙中心线与防渗墙轴线偏差不超过 $\pm 10\text{mm}$ 。导墙混凝土的强度等级不应低于C20,厚度一般为200~300mm,导墙底部的持力层应密实稳固,防止不均匀沉降导致导墙变形。导墙施工完成后,应在导墙顶面准确标出各槽段的分界线位置,为成槽作业提供精确控制依据。

2.2 成槽施工工艺

成槽是防渗墙施工的核心工序,直接决定墙体的几何尺寸和垂直度。成槽设备应根据地层条件和墙深选择:土层和软岩地层优先选用液压抓斗,硬岩和漂石地层选用冲击钻或铣槽机。抓斗成槽的工艺要点包括:抓斗入槽时应缓慢下放,避免撞击槽壁;每次抓取深度控制在0.5~1.0m,抓斗宽度与槽段宽度匹配;抓斗提升过程中应缓慢均匀,防止产生负压导致槽壁坍塌。垂直度控制是成槽质量的核心指标,规范要求成槽垂直度偏差不超过墙深的0.5%(重要工程不超过0.3%)。控制措施包括:成槽设备安装时调平校正,使用垂直度监测仪器实时监控抓斗姿态;在槽段两端设置导向板或导向架约束抓斗运行方向;发现偏差超限时及时采取纠偏措施。槽壁稳定性控制是成槽施工的难点,槽壁失稳将导致塌槽、缩径等质量事故^[2]。影响槽壁稳定的因素包括:地层性质(砂层、碎石层稳定性差)、泥浆性能(比重、黏度、静切力)、槽段深度(越深越不稳定)、地下水位(水位高则泥浆压力要求大)。施工中应通过合理设置泥浆比重和液面高度维持槽壁稳定,泥浆液面应高于地下水位1.0~2.0m。

2.3 泥浆护壁与清底换浆

泥浆护壁是维持槽壁稳定和悬浮钻渣的关键技术。泥浆在槽壁上形成薄而致密的泥皮起临时支护作用,同时其静水压力平衡地层侧向土压力和水压力,防止槽壁坍塌。泥浆性能指标直接影响护壁效果:比重宜控制在 $1.05\sim 1.25\text{g/cm}^3$ 之间,黏度控制在 $18\sim 30\text{s}$ (马氏漏斗),含砂率不超过5%,胶体率不低于95%,pH值控制在 $8\sim 11$ 之间。泥浆制备应采用优质膨润土,配合适量分散剂(纯碱)和增粘剂(CMC),拌合时间保证膨润土充分水化(不少于10分钟)。施工过程中应定期检测泥浆性能指标,及时调整配比,劣化严重的泥浆必须废弃。清底换浆是成槽后的关键工序,目的是清除槽底沉渣和置换劣化泥浆,为混凝土浇筑创造良好条件。规范要求沉渣厚度不超过100mm(重要工程不超过50mm)。清底方法包括气举反循环法和泵吸法,清底时应缓慢移动吸管逐段清理,同步补充新鲜泥浆保持液面稳定。清底完成后应进行换浆,将槽内泥浆指标调整至与新鲜泥

浆接近,确保混凝土浇筑前泥浆性能满足要求。

2.4 墙体材料制备与浇筑

墙体材料制备是保证墙体质量的关键环节。刚性防渗墙的混凝土配合比设计应遵循以下原则:强度等级满足设计要求(通常为C20~C40);渗透系数不大于 $1\times 10^{-7}\text{cm/s}$;坍落度宜为180~220mm(便于导管法浇筑),并应具有良好的流动性和粘聚性;初凝时间应根据单槽段浇筑时间确定,一般不少于6小时。塑性防渗墙的配合比中膨润土掺量较大(通常为水泥用量的10%~30%),墙体强度较低(2~5MPa)但变形性能好。墙体浇筑采用导管法水下混凝土浇筑工艺。浇筑前应进行导管水密性试验,确保导管不渗水。导管内径宜为200~300mm,导管间距不宜超过3.0m,导管底端距槽底距离宜为200~400mm。浇筑过程中应遵循以下原则:首批混凝土浇筑量应保证导管底端埋入混凝土面不小于1.0m;浇筑应连续进行,中断时间不得超过混凝土的初凝时间;导管埋深应保持在2.0~6.0m之间(过浅易使泥浆卷入,过深则压力过大不利于浇筑);混凝土面上升速度不宜小于2m/h;浇筑顶面宜高出设计墙顶标高0.5m以上,作为凿除部分确保墙顶质量。

2.5 接头处理与墙段连接

接头处理是确保防渗墙整体连续性的关键工序,也是质量控制的重点和难点。常规的墙段连接方式包括钻凿法、接头管法和铣削法。钻凿法是在一期槽段混凝土达到一定强度后,在相邻槽段端头用冲击钻凿除部分混凝土形成新接头,该方法工艺成熟但效率较低。接头管法是目前应用最广泛的方法,在一期槽段浇筑前于槽段端头预埋接头管(钢管),混凝土初凝后拔除,形成半圆形凹槽,二期槽段浇筑时混凝土充填凹槽形成“工”字形接缝,接头管法接缝质量可靠、施工效率高。铣削法是采用铣槽机直接铣削一期槽段接头处的混凝土,形成新鲜接触面,该方法接缝质量好但设备要求高。接头处防渗处理除物理连接外,还可在接头处设置止水带或预埋注浆管,提高接缝的抗渗能力^[3]。施工中应建立接头台账制度,详细记录每个接头的处理方式和质量检查结果,确保接头可追溯。接缝的质量检查可采用钻孔取芯和压水试验方法,验证接缝处混凝土的完整性和抗渗性能。

3 基础防渗墙施工质量控制体系

3.1 施工前质量控制

施工前质量控制是确保防渗墙工程质量的前提,应覆盖原材料检验、施工方案审查和现场条件确认三个层面。原材料检验包括:水泥的强度、安定性和凝结时间;膨润土的黏度、滤失量和胶体率;骨料的级配、含

泥量和坚固性；外加剂的减水率和适应性。所有原材料须在进场后按批号进行复验，不合格材料严禁使用。混凝土配合比应通过试验确定，验证其强度、抗渗性和工作性是否满足设计要求。施工方案的审查应重点关注成槽设备的选型是否合理、槽段划分是否科学、泥浆配比是否适应地层条件、浇筑方案是否具备连续性和应急预案。现场条件确认包括：导墙的强度和平整度是否达标、泥浆制备系统是否正常、混凝土供应保障是否可靠、水电供应是否满足连续施工要求。施工前还应进行成槽试验，在实际施工部位进行试成槽，验证成槽工艺参数和泥浆配比的合理性，据此调整优化施工参数。施工前的技术交底应覆盖全体作业人员，确保每个岗位的人员清晰掌握各自的操作要求和质量控制标准。

3.2 施工过程质量控制

施工过程质量控制是防渗墙质量管理的主体环节，应将控制重心前移至工序之中，强调旁站监督与数据监测的有机结合。成槽过程中，应实时监测成槽垂直度和槽壁稳定性，垂直度每2小时检测一次，发现偏差超限及时纠偏；泥浆性能每2小时检测一次（新制泥浆每批检测），检测指标包括比重、黏度、含砂率和pH值，不合格泥浆不得使用。槽深和槽宽应在成槽完成后逐槽检验，槽深允许偏差不超过 $\pm 200\text{mm}$ ，槽宽不小于设计厚度。清底换浆完成后应检测槽底沉渣厚度，不合格的需重新清底。混凝土浇筑过程中应连续记录混凝土浇筑量、浇筑面升高高度和导管理深，绘制浇筑记录曲线，确保导管理深始终控制在合理范围内。浇筑过程中应保持槽内泥浆液面稳定，防止液面下降导致槽壁失稳。接头管的拔除时间应通过试验确定，一般在混凝土浇筑完成后4~8小时进行，拔除过程中应观察接头管是否变形或被混凝土固结，确保拔除顺利。过程控制的核心在于建立“检查—记录—分析—反馈”的闭环管理机制，使每一道工序的质量状态始终处于受控之中^[4]。

3.3 成墙质量检验与验收

成墙质量检验与验收是评价防渗墙工程质量的最终环节。墙体完整性检测是成墙质量检验的首要内容，方

法包括超声波透射法（在墙体内预埋声测管，检测声波传播速度判断墙体均匀性）、钻孔取芯（在墙体钻取芯样，直观检查混凝土密实度和接缝质量）和地质雷达检测（适用于浅层墙体普查）。墙体抗渗性能检测采用钻孔压水试验，在墙体钻孔后分段进行压水试验，测定墙体的透水率，要求透水率不超过设计值（通常不大于1Lu）。墙体强度检测通过取芯试件的抗压试验进行，芯样强度应满足设计要求。墙体厚度和垂直度的检查通过钻孔或物探手段进行，验证是否满足设计要求。质量评定标准应依据设计文件和规范要求：墙体的渗透系数、强度等级、厚度、垂直度和连续性是五大核心评价指标。检验结果不合格的部位应进行补充灌浆或局部修补，严重不合格的应报废重做。成墙质量的检验资料（含原始记录、检测报告和影像资料）应完整归档，作为工程验收的重要依据，确保质量全流程可追溯。

结束语

基础防渗墙施工是一项工序复杂、隐蔽性强、质量控制要求高的地下工程。本文从施工工艺与质量控制两个维度对防渗墙施工全流程进行了系统分析，明确了导墙施工、成槽作业、泥浆护壁、墙体浇筑及接头处理等关键工序的技术要点与操作标准，并构建了覆盖施工准备、过程管控与成墙检验三个阶段的完整质量控制体系。将质量控制从“结果验收”前移至“过程控制”，实现施工全链条的精细化管理，方能确保防渗墙工程安全可靠、长效服役。

参考文献

- [1]陆朝友.水利工程施工中混凝土防渗墙施工技术的应用分析[J].科技资讯,2025,23(12):156-158.
- [2]蒋琪.水利工程中防渗墙施工技术 with 质量控制研究[J].中国新技术新产品,2023(4):79-81.
- [3]陈成.水利工程施工中混凝土防渗墙施工研究[J].水电水利,2023,7(8):4-6.
- [4]陈金芝.水利工程施工中混凝土防渗墙施工工艺研究[J].工程管理,2022,3(7):236-238.