

# 水利工程基础处理和防渗工程探讨

郭允

菏泽天源水务发展有限公司 山东菏泽 274000

DOI: 10.32629/ems.v8i4.19682

**[摘要]** 水利工程的安全与耐久在很大程度上取决于基础承载与渗流控制两条主线。面对复杂的地基条件,基础处理应在勘察认知、方案比选和施工质量闭环的关系中构建一致逻辑,杜绝单纯依靠经验造成过度处理或漏掉薄弱环节,防渗工程应兼顾渗流场重新构造、结构变形适配以及长期运行的可维护性,防范因接缝、过渡区和隐蔽部位施工控制薄弱而产生渗漏通道。本文围绕水利工程基础处理与防渗工程的关键问题,从勘察评价、处理方法选择、施工控制与运行维护等方面进行系统论述,并结合某工程案例总结可复用的技术要点,以期为类似工程的方案制定与质量管理提供参考。

**[关键词]** 水利工程;基础处理;防渗工程

## 引言

水利工程往往处于河谷冲洪积层、软弱土层、溶蚀岩体或强透水砂砾层等复杂地质环境中,基础承载不足、变形过大与渗透破坏风险相互耦合,任何一条控制链条薄弱都可能放大为整体安全隐患。近年来在工程实施过程里能看到两类典型问题:其一为基础处理方面认识欠缺,勘察成果未有效转变为设计参数以及处理边界,造成处理深度、加固范围与工艺控制没有针对性;其二是防渗体系设计合理,但施工执行时走了样,尤其是接缝、过渡区和地下隐蔽部位,其质量的可追溯性较差,运行时出现渗漏、管涌以及渗透变形的现象,造成加固返修花销大、对工期影响大,基础处理及防渗工程并非孤立的专业问题,而是贯穿勘察、设计、施工与运行的系统工程,需要以风险为导向,以试验与监测为抓手,建立可验证、可调整的技术路线。基于这一认识,本文在保持工程论文逻辑的基础上,对关键技术要点进行梳理与讨论。

### 1. 基础处理与防渗工程的耦合特征与主要风险

水利工程基础处理的核心目标是满足承载力、变形与稳定要求,并为上部结构提供均匀可靠的受力条件;防渗工程的核心目标是控制渗流量与渗透坡降,重构渗流路径并降低渗透破坏概率。二者在实际工程里紧密耦合:基础处理可令土体的密实度、结构性和渗透系数产生改变,进而使渗流场发生改变;防渗体系会令孔压分布和有效应力水平产生变动,影响基础的形变与抗滑的稳定性,常见风险包含强透水层引发的渗流集中、基岩裂隙或溶蚀通道造成的绕渗现象、坝基或闸基接触面结合不好而形成的渗漏带、细粒土在高水头作用下出现的渗透变形与管涌,还有就是处理区与非处理区刚

度不一样,造成了不均匀沉降和结构开裂。工程上应避免把基础处理简单理解为“加固越多越安全”,也应避免把防渗理解为“材料越密越可靠”,而要在地质条件、结构型式与运行工况的共同约束下形成针对性方案。

### 2. 基础处理关键技术与实施控制

#### 2.1 勘察与评价对处理边界的决定作用

基础处理方案的合理性首先取决于对地基条件的真实识别。勘察工作不仅要查明土层分布、压缩性与承载指标,更要把与工程安全直接相关的风险要素查清楚,例如透水层厚度与连续性、砂砾层级配与渗透稳定性、软弱夹层与古河道分布、基岩风化分带与裂隙发育程度、地下水位与季节性变化以及可能的溶蚀空洞。对关键部位应采用多手段互证思路,将钻探取样、原位测试、地球物理与水文地质试验结合起来,把“可能的最不利通道”与“可能的最大变形区”明确出来。评价阶段应将勘察成果转化为可用于设计的控制指标体系,既包括承载力与压缩模量等传统参数,也应包含渗透系数、临界水力坡降、细颗粒流失敏感性等与渗透破坏相关的参数,并在此基础上划定处理范围、处理深度与施工分区,使处理边界具备可解释性与可验证性。

#### 2.2 处理方法比选与组合设计思路

基础处理方法选择应遵循“问题驱动、组合优化、施工可控”的原则。对于浅层软弱或松散地基,换填压实与强夯等方法具有工艺简单、质量易检验的优势,但需控制施工扰动与含水率条件,避免对周边结构与边坡稳定产生不利影响。就饱和软粘土以及淤泥质土层而言,排水固结与预压更贴合土体的固结规律,可借助砂井、塑料排水板再结合堆载预压

提升强度、减少沉降量, 不过要结合工期以及荷载条件, 合理设定预压的程度与卸载的时机, 对于需要迅速增强强度且降低压缩性的情形, 深层搅拌、旋喷加固以及 CFG 桩等复合地基手段效率更佳, 设计的时候要留意加固体强度离散情况、桩土应力比以及处理区外缘沉降差, 可采用加密布置或过渡区处理措施减小差异变形, 针对基岩裂隙或者砂砾层透水性强这一问题, 可采用帷幕灌浆以及高压旋喷形成连续的止水或加固体, 但不应只追求高注浆量, 主要把控浆液可灌性、扩散范围以及有效封堵率, 并凭借试验段对参数加以校正。实际工程中往往需要“承载与止水同步”的组合方案, 例如上部采用复合地基控制沉降, 下部以灌浆或防渗墙控制渗流, 从而在安全与经济之间取得平衡。

### 2.3 施工质量控制与监测闭环

基础处理成败很大程度上取决于施工过程控制。首先要建立试验段制度, 通过代表性地层段落进行工艺参数验证, 明确压实度与含水率控制窗口, 确定搅拌桩转速、提升速度、浆液配比与注浆压力等关键参数, 并形成可执行的工艺卡。其次应强化过程数据记录与可追溯管理, 将成孔深度、注浆量、注浆压力曲线、搅拌电流或扭矩变化等数据纳入质量证明材料, 避免只靠抽检判断隐蔽工程质量。再次应把现场检测从“完工后验收”前移到“过程即纠偏”, 例如通过旁站与取芯检验加固体强度与完整性, 通过静载或载荷试验验证复合地基承载与沉降特征, 通过孔压与沉降观测识别固结进程是否达到预期。对关键部位应设置监测预警阈值, 当沉降速率、孔压消散或强度指标偏离目标时及时调整施工参数或补强范围, 形成“施工参数—检测结果—调整措施”的闭环控制, 使基础处理从经验驱动转为证据驱动。

## 3. 防渗工程体系构建与关键控制点

### 3.1 渗流机理与防渗控制的总体原则

防渗设计必须以渗流机理为基础, 明确渗流路径、渗透坡降与潜在破坏模式。针对土石坝或堤防而言, 需着重留意渗流由上游到下游的主通道, 还有在坝基、岸坡以及接触带位置发生绕渗的可能性, 控制目标不只是削减渗流量, 尤为关键的是降低出口坡降和抬升压力, 为防止出现渗透变形和管涌现象, 就闸坝以及泵站等混凝土结构而言, 需关注底板下游出现的抬升力变化、接缝渗漏情形以及绕渗通道。防渗跟排水往往需相互协作, 依靠减压排水与反滤体系一起降低

风险, 防渗控制应依照“截、排、导、控”协同原则: 依靠防渗体截断主要的水流线路, 经由排水设施降低孔隙压力, 凭借反滤过渡保障细颗粒的稳定性, 利用运行调度把握水头变化的速率, 防止短时间内高水头让结构和地基无法及时适应。特别需要强调的是, 防渗体系要与结构变形相协调, 任何刚性防渗体都可能因差异沉降或温度变形产生裂缝与开口, 因此设计阶段必须把变形作为约束条件纳入方案选择。

### 3.2 防渗型式与材料选择的适配关系

常见防渗型式包括黏土心墙、上游铺盖、防渗斜墙、防渗墙与帷幕灌浆等, 不同型式适用于不同地质与结构条件。黏土类防渗体适合材料来源稳定、施工条件可控的场景, 其优势在于变形适应性好, 但对含水率与压实质量敏感, 且需控制干缩裂缝与雨季施工影响; 上游铺盖适用于透土层较浅且铺盖范围可展开的地形条件, 通过延长渗流路径降低坡降, 但应与反滤与排水体系匹配, 避免铺盖末端渗流集中。地下连续防渗墙适用于砂砾层厚、渗透系数大或需在狭窄场地形成深厚防渗帷幕的工程, 墙体材料可选塑性混凝土、水泥石或复合浆液体系, 关键是保证连续性、垂直度与接头质量。帷幕灌浆更适用于基岩裂隙、砂砾层局部通道或接触带渗漏治理, 其材料与工艺需与可灌性和扩散特征匹配, 必要时采用分序灌浆、限压限量与化学浆液配合以提高封堵效果。材料选择应把耐久性作为重要约束, 考虑水化热、抗渗等级、抗裂性能与长期水化稳定性, 同时关注施工可操作性与现场质量检验手段, 确保“设计选材”能够落地为“可施工、可验收、可维护”的工程实体。

### 3.3 施工过程中的薄弱环节与控制要点

防渗工程的质量风险往往集中在隐蔽部位与过渡部位, 控制重点应从整体连续性转向细节可控性。防渗墙施工中, 槽段成槽稳定性、泥浆性能控制、垂直度与接头处理是决定连续性的关键, 任何偏斜、缩颈或夹泥都可能形成渗漏薄弱带, 因此应通过实时测斜、成槽参数记录与墙体完整性检测加强过程控制。处于黏土防渗体施工阶段时, 应将把控含水率、确定分层厚度、敲定碾压遍数和处理接茬视为核心工序, 特别是得处理好新老填层的衔接面, 不可形成层间渗透通道, 就施工组织层面而言, 应杜绝长时间暴晒或雨淋造成的结构破坏, 处于帷幕灌浆施工阶段, 孔位的偏差现象、孔深的控制手段、压水试验以及灌浆结束标准会直接影响封堵成效。

要借助试验段去确定分段长度、浆液配比以及压力上限,并按照吸浆量及压力变化的状况,动态调整浆液稠度以及灌注程序,避免在盲目高压情况下劈裂扩散,形成新的渗漏通道,针对结构接缝跟穿堤建筑物的周边范围,需着重把控制水带安装质量、保证混凝土振捣到位以及完成界面清理工作,保障接触带不出现空隙与弱层状况。整体上,防渗工程应建立以过程数据为核心的质量证据链,使每一段防渗体都能对应到可追溯的施工记录与检测结果。

### 3.4 运行期监测、评价与修复策略

防渗工程的可靠性需要在运行期接受持续检验,运行监测既是发现问题的手段,也是评估体系有效性的依据。监测内容应覆盖渗流量、浑水与细颗粒外逸迹象、下游坡脚湿润范围、孔压与水位线变化、结构裂缝与接缝渗水等,并根据工程型式布设渗压计、量水堰、渗流观测井与变形监测点,形成长期序列数据。评价时应关注趋势而非单点值,识别在库水位升降、汛期高水位或低温期等工况变化下的响应差异,当渗流量持续上升、浑水含砂增大或孔压异常抬升时,应启动专项诊断,结合现场勘查与必要的探测手段确定渗漏路径与原因。修复策略应坚持“先控风险、再治根因”的思路,短期可通过降低水头、加强排水与坡脚反滤保护控制风险,长期则依据渗漏通道性质选择灌浆堵漏、防渗墙补强、接缝重做或铺盖加厚等措施。修复实施同样需要试验段与过程监测,避免修复引起新的应力与渗流重分布,从而形成二次薄弱环节。通过运行期监测与维护制度化,可把防渗工程从一次性建设转为全寿命管理,显著提升工程韧性与安全储备。

### 4. 案例分析:某水库枢纽基础处理与防渗加固实践

某水库枢纽工程位于河谷冲洪积平原地段,坝基覆盖层以粉质黏土夹细砂为主,下伏中粗砂与砂砾层,局部存在古河道透水带,基岩为强风化至中风化砂岩,裂隙发育且局部渗透性较强。工程于初步设计阶段做预测,在正常蓄水位的情形中,坝基绕渗的风险比较高,而且覆盖层软弱的部分也许会造成不均匀下沉,影响坝体跟溢洪道连接部位的变形协调状况,为同时实现承载与防渗的既定任务,项目工程采用分区处理方案:针对覆盖层有软弱问题的段落,选用复合地基开展加固事宜,采用水泥土搅拌桩构建承载架构并控制沉降,桩间土采用分层压实的办法提升整体的密实度;针对古

河道透水区域,依靠高压旋喷形成连续性的加固体,减小渗透系数并舒缓渗流集中现象;在基岩段安排帷幕灌浆体系,借助先导孔压水试验得出分段灌浆参数,利用由稀至稠的浆液顺序逐步把裂隙封堵。就防渗体系而言,在坝轴线布置地下防渗墙跟帷幕灌浆的组合物,墙体搭建采用分槽段形成墙体之方式,还需严格把控垂直度跟接头的质量,灌浆施工借助试验段对压力上限与结束标准进行核查,杜绝出现因过压而劈裂的情形,施工阶段建立沉降、孔压以及渗流量同步监测机制,当发现个别区域的吸浆量出现异样后,赶紧实施补孔加密处理,以保证防渗的连贯性。工程蓄水运行后,渗流量与孔压响应总体稳定,下游坡脚未出现异常浑水与集中渗漏,坝体沉降发展均匀,连接部位未见明显开裂,表明“承载控制与防渗控制同步、过程监测驱动纠偏”的技术路线能够有效提升复杂地基条件下水利工程的整体安全性与耐久性。

### 结束语

基础处理与防渗工程是水利工程安全控制中最基础、最系统的工作。前者对工程地基的承载能力和变形控制起到决定性作用,后者起到保障渗流场稳定的功效,工程实践表明,合理的方案需要精准鉴别地质风险、充分论证方法的适配效果、严格把控施工的具体细节,同时运行期的监测及维护同样不能少。未来应强化勘察成果向设计参数的转化,完善试验段与数据证据链,推动管理由经验型向可验证、可追溯的精细化转变,实现工程全寿命周期安全、经济与耐久。

### [参考文献]

- [1]张忠成. 混凝土防渗墙施工技术在水库防渗加固工程中的应用[J]. 科学技术创新, 2025 (30): 139-142.
- [2]刘德祥, 汪秋明. 液压抓斗法混凝土防渗墙技术在丰源水库施工中的应用[J]. 科技广场, 2023 (4): 200-202.
- [3]温祖经. 软土地基处理技术在水利施工中的应用[J]. 黑龙江水利科技, 2023, 47 (2): 160-162.
- [4]李化. 液压抓斗防渗墙施工技术在水库防渗处理中的应用[J]. 水利建设与管理, 2024, 38 (9): 25-28.
- [5]周晓磊. 塑性混凝土防渗墙在水库除险加固工程中的应用[J]. 湖南水利水电, 2023 (6): 97-99.