

均质土坝渗流控制与降排水措施效果研究

沈扬波

新疆水利水电勘测设计研究院有限责任公司

DOI:10.32629/hwr.v10i3.6886

[摘要] 均质土坝作为水利工程中应用广泛的坝型,其渗流控制与降排水效果直接关系到工程安全与稳定。本文以红海水库除险加固工程为依托,系统分析均质土坝在平原库区条件下的渗流形成机理、渗流场分布特征及主要影响因素,构建适用于长坝线、弱透水性与强透水性地层交互分布的综合降排水技术体系,重点阐述初期排水与经常性排水协同运行模式,深入研究管井降水的井位布置、井深、间距、滤水管结构等关键参数设计、施工工艺要点及全过程质量控制措施。通过现场试验数据验证降排水方案的有效性,为同类工程提供技术参考。

[关键词] 均质土坝; 渗流控制; 降排水; 管井降水; 效果验证

中图分类号: TV641.2 **文献标识码:** A

Study on Seepage Control and Drainage Measures Effectiveness in Homogeneous Earth Dams

Yangbo Shen

Xinjiang Water Conservancy and Hydropower Survey and Design Institute Co., Ltd

[Abstract] As a widely used dam type in hydraulic engineering, the seepage control and drainage effectiveness of homogeneous earth dams are directly related to the safety and stability of the project. Based on the reinforcement project of the Red Sea Reservoir, this paper systematically analyzes the seepage formation mechanism, distribution characteristics of the seepage field, and main influencing factors of homogeneous earth dams under plain reservoir conditions. It constructs a comprehensive drainage technology system suitable for long dam lines and alternating distributions of weak and strong permeable strata, focusing on the collaborative operation mode of initial drainage and regular drainage. It delves into the key parameters design, construction process points, and whole-process quality control measures for well location arrangement, well depth, spacing, and filter tube structure in tube well dewatering. The effectiveness of the drainage scheme is verified through field test data, providing technical reference for similar projects.

[Key words] homogeneous earth dam; seepage control; dewatering; tube well dewatering; effect verification

引言

均质土坝具有取材方便、施工简便等特点,在中小型水利工程中占有重要地位,然而,由于坝体材料均一性强、渗透系数大,渗流问题一直是影响工程安全的主要因素。渗流会造成坝体含水量增加,抗剪强度下降,还会造成管涌、流砂等地质灾害,严重时会导致坝体失稳^[1]。因此,建立科学合理的渗流控制体系,优化降排水技术措施,就成了均质土坝工程设计和施工的主要任务。红海水库是中型引水注入式平原水库,均质土坝长16.479km,通过多年的运行后需要进行除险加固,工程实践所形成的降排水技术方案,为均质土坝渗流控制研究提供了重要实践样本。

1 均质土坝渗流特性与影响因素

1.1 渗流基本特性

均质土坝渗流呈典型的层间渗透性,受地层岩性影响大。红

海水库库区地层为第四系上更新统一全新统冲洪积层,主要由低液限粉土、低液限黏土、粉土质砂组成,各土层渗透系数相差较大,其中粉细砂渗透系数为 $7.1 \times 10^{-3} \text{cm/s}$,黏土渗透系数为 $5.14 \times 10^{-6} \text{cm/s}$,因此渗流场分布呈现显著非均质性,容易在土层界面产生渗透集中现象。此外,水库运行过程中,由于蓄水的影响,地下水位变化幅度较大,4月埋深0.3~2.0m,8月到9月埋深1.6~3.4m,水位的变化进一步加剧了渗流对坝体的不利作用。

1.2 关键影响因素

地质条件是决定渗流特性的重要因素,土层的渗透系数、厚度以及分布状况,都会对渗流路径和强度产生显著影响。在坝体结构设计中,坝坡比、防渗设施的布置情况以及排水沟结构参数对于渗流控制效果有着至关重要的影响,红海水库上游坝坡1:3.5、下游坝坡1:2.5的设计,搭配水平铺盖防渗+框格梁护坡

排水,构成了基础的渗流控制框架,施工方面,坝体压实度、降排水措施及时性与合理性,关乎施工期渗流状态,若排水不及时,坝基含水率过高,碾压机械难以正常作业,施工质量与进度将受到严重影响。

2 均质土坝降排水技术体系构建

2.1 降排水方案设计原则

根据红海水库均质土坝的工程特点及渗流特性,降排水方案设计以因地制宜、分区施策、永临结合、协同高效为原则,满足工程不同施工阶段排水要求,以实现控制渗流、快速排水的目标。

2.1.1 因地制宜:根据库区各区域的地质条件、地下水位埋深、地形高程等差异来选择适合的排水方式,库区初期排水优先采用明排,坝基经常性排水采用管井降水,料场排水结合明排和扬水措施。

2.1.2 分区施策:将工程分为库区、坝体、料场三个排水区域,针对各个区域的排水重点和难点制定相应的排水方案,库区重点解决库盘余水排出,坝体重点降低坝基地下水位,料场重点控制土料含水量。

2.1.3 永临结合:将临时排水设施和永久排水工程相结合,例如,坝体下游侧利用永久排水沟,设置临时排水通道,在施工完成后,直接改造为永久排水系统,减少工程重复建设,降低工程造价^[2]。

2.1.4 协同高效:采用初期明排+经常性管井降水的联合排水方式,初期明排快速排出表层水和库盘余水,为管井降水施工创造条件,管井降水深度降低地下水位,确保坝基干地施工,发挥排水效果最大化的作用。

2.2 核心降排水技术措施

2.2.1 库区初期明排技术:库区初期排水的主要目的是迅速排除库盘内的余水、表层地下水和基坑积水,为坝体、坝基施工创造干地作业条件,红海水库初期排水采用多点布置、抽排与自流相结合的明排方案,在库区最低点和相对低点设置3个排水点,实现库水的分级、快速排出。

在桩号K0+000m处的老泄水闸,由于水位低于泄水闸底板,布置7台600-900m³/h的大功率水泵强排,将库水抽排到泄水闸尾渠;在桩号K3+640m库盘最低点,开挖老坝并埋设双排Φ1.2m预制圆管涵,利用水位差自流排水到库区外排水渠,该排水点日均自流排放量达34万m³,是库区初期排水的主要通道;在老放水闸处,初期利用水位差自流排水,当水位低于闸底板后,布设4台1000m³/h水泵抽排到闸尾渠,日均抽排量达9.4万m³。为了确保排水畅通,使用水陆两栖挖掘机对库盘内2km长导水渠进行清淤疏通,并新建1.0km长梯形引水渠,将库内上游深水区库水引入K3+640m自流排水点,同时疏通库外1.5km长排水沟,确保排水通道畅通。

通过计算,3个排水点共同工作,可在19天内排空500万m³库水,满足工程施工进度要求,成功将库区水位降至施工设计高程,为后续坝基管井降水施工创造了干地施工条件。

2.2.2 坝体经常性管井降水技术:经常性排水主要是解决坝基地下水涌水问题,将地下水位降至基坑底面以下不少于1m,确保坝基开挖、填筑的干地作业条件。红海水库坝体经常性排水以管井降水为核心技术,根据施工实际优化管井布置方案,形成适用于长坝线均质土坝的管井降水技术体系。

管井参数设计:根据地质勘察资料及现场试验,确定管井主要参数为:井深25m,间距30m,成孔直径600mm,采用Φ400mm无砂混凝土滤水管,滤水管外缠土工布,管壁外侧填充砂砾滤料,沉淀管长度2.0m。单井涌水量达24.5m³/h,井内水位降8m,可使基坑中心水位降深达3.36m,满足设计要求的3m降深标准。

管井布置优化:原设计为坝体上下游双排梅花形布置,上游侧管井设在阻滑墙外1.5m处,下游侧管井设在永久排水沟外1.5m处。在施工时,根据三工段K12+000-K16+400段坝基清废后含水率大、明排效果差的情况,结合现场实际条件,将管井布置改为下游侧单排布置,管井沿坝体下游永久排水沟外侧1.5m布设,减少了管井施工数量,简化了施工流程,利用永久排水沟实现抽排水的快速汇集与高效排出,实现了“永临结合”的设计原则。

降水运行方式:采用“分段施工、分段降水、边打井边抽水”的运行方式。根据坝体施工进度,将16.479km坝线分成若干施工段。每完成一个施工段的管井施工后,立即开始抽水,单井配1台5.5kW、流量50m³/h潜水泵,24小时不间断抽水。管井抽排水经DN100消防带引入临时排水沟,汇入永久排水沟,最后排入库区外渠道,形成完整的排水通道。

2.2.3 料场专项降排水技术:料场作为坝体填筑土料的供应基地,土料含水量直接影响坝体填筑质量,因此料场降排水的主要目的是将土料含水量控制在最佳含水率范围内。红海水库料场位于库区内原老库区上库盘区域,地下水位平均高程为1119.50m,渗流量大,采用“环向截渗+横向排水+集水抽排+分段扬水”的三维降排水体系,实现料场地下水的有效控制^[3]。

沿料场四周开挖2.0-3.0m深的环形纵向排水深沟,切断外围地下水向料场的补给;料场内按100m间距开挖横向排水沟,纵向和横向排水沟连通,形成料场内排水网络,将地下水汇集到料场端部集水坑,集水坑尺寸为20×15×3.5m,采用50m³/h水泵将坑内水抽排到料场外排水沟,最终自流到库外排碱渠。对于3工段料场,由于排水终点卫星水库外混凝土渠道高程高于起点高程,无法实现自流排水,采用分段扬水方式,设置3个扬水点,将纵向排水沟内的水逐级扬排到混凝土渠道,解决高程差导致的排水难题。同时,料场穿越施工道路、老坝处理埋设DN1500预制圆管涵,确保排水通道连续,防止道路阻断排水。

3 降排水措施效果验证与质量控制

3.1 现场试验效果验证

基于管井降水试验段数据验证方案的有效性,红海水库三工段在K14+200-K13+900段布置9眼试验管井,4月17日至5月2日抽水试验显示,初始水位3.8-6.9m,经24小时抽水后前期水位降幅1.1-2.0m,后期逐渐趋于稳定,降幅0.08-0.45m。截至5月

2日,水位降深最浅为12.97m,最深为18.89m,10天平均降深为13.94m,坝基通过22t振动碾试碾满足填筑要求,单排管井布置方案可行。

降水效果可以用基坑涌水量和水位降深指标来量化评价,根据潜水非完整井计算公式,结合红海水库地质参数计算,单井涌水量 $24.5\text{m}^3/\text{h}$,基坑中心水位降深3.36m,满足设计要求的3m降深标准,说明管井参数设计合理。

3.2 全过程质量控制措施

降排水措施发挥的功效取决于施工及运行过程的质量控制水平。红海水库工程从管井成井施工、降水运行管理、设备设施维护这三个方面建立了全过程的质量控制体系,确保降排水系统稳定有效运行。

3.2.1 管井成井施工质量控制:成井施工是管井降水的基础,施工质量的高低直接决定了滤水管在实际使用过程中的进水效率,并进一步对整个降水工程的效果产生显著影响,重点控制以下关键工序:

钻孔施工:利用反循环钻机HG-150型或旋挖钻进行钻孔,钻孔深度超设计深度 $0.3\sim 0.5\text{m}$,确保滤水管触及含水层;钻进时做好地质记录,发现实际地质与勘察资料不符时及时调整井深及滤水管布置位置。

井管安装:采用人工配合麻绳兜底的方式下放井管,确保井管垂直、居中,下管前测量孔深,井管上口高出地面30cm,防止地表水下渗;井管进场前检查滤水管圆孔完整性,确保渗水畅通^[4]。

滤料回填:通过回填前测量井管内外深度,滤料采用级配砂砾料,回填时均匀连续,随填随测滤料高度,确保回填至设计高程;滤料回填完成后,井口上部1.0m用黏土封填,防止漏气、漏水。

洗井试抽工序:采用“井底泵抽法”进行洗井,将高扬程底吸式潜水泵下入井底抽水,上下窜动水泵扰动沉淀,反复抽排至水质清澈、无泥沙,防止滤管淤积造成渗水不畅。

3.2.2 降水运行过程质量控制:降水运行期间实行24小时值班制,由专人负责水位观测、设备运转检查及排水通道的维修工作,确保降排水系统持续稳定运行:

水位监测方面:采用每3小时测一次管井水位,记录水位变化数据,绘制水位降深-时间变化曲线,若发现水位降深不满足设计要求,及时分析原因并采取加密管井、增大水泵流量等措施。

设备运行管理方面:针对水泵、发电机等进行定期检查,

备足多于井数10%以上的备用水泵,发现设备故障立即更换,现场配置30kW、50kW、100kW柴油发电机,应对电网停电风险,确保抽水不间断。

排水通道维护方面:通过每天对排水管路及电缆进行检查,及时处理管路跑水、冒水、滴水、漏水等问题,沿排水沟在管路、电缆上设置明显标识,防止施工机械碾压、碰撞,定期疏通排水沟,防止淤泥、杂物堵塞排水通道。

3.2.3 施工协同质量控制:降排水施工与坝体开挖、填筑施工紧密衔接,加强工序协同控制,坝基开挖时,井点管附近土方人工修挖,专人看护,防止挖掘机破坏管井及排水管路,管井管口设置警示标志,提高施工人员管井保护意识,分段施工时,相邻分段的降排水系统相互衔接,无排水盲区,确保坝基整体降水效果^[5]。

4 结论

本文以红海水库除险加固工程为依托,得出以下结论:平原库区均质土坝渗流受地层岩性、水位波动等因素影响,具有复杂的层间渗透特性。建立初期明排、经常性管井降水和料场专项排水相结合的综合体系,根据因地制宜、永临结合等原则,可以有效地控制渗流,降低地下水位。管井降水优化参数及布置方案科学合理,现场试验验证其能满足坝基干地施工要求。全过程质量控制体系,确保了降排水措施的稳定高效运行,该研究成果,可为同类长坝线、复杂地层均质土坝的渗流控制与降排水工程提供可靠的技术参考。

【参考文献】

[1]徐建成,韩玮.均质土坝渗流量计算新方法的研究与应用[J].江苏水利,2025,(02):18-22.

[2]徐喜刚.黄土高原地区均质土坝渗流分析[J].中国水运,2023,(17):111-113.

[3]刘书军.基于有限元法的均质土坝渗流安全评价分析与应用[J].水利建设与管理,2023,43(08):18-23+17.

[4]邓烈,陈文斌.水库均质土坝渗流稳定分析及防渗加固设计[J].水利技术监督,2023,(06):271-274.

[5]潘玉坤.某水库均质土坝稳定性及加固方案分析[J].云南水力发电,2023,39(01):108-111.

作者简介:

沈扬波(1994--),男,汉族,新疆乌鲁木齐市人,硕士研究生,助理工程师,研究方向:从事合同管理、造价结算、项目管理等工作。