

水利工程中橡胶坝充排水系统压力检测与控制策略研究

孙伟苇

中能建（新疆）工程质量检测有限公司，新疆乌鲁木齐，830026；

摘要：橡胶坝作为水利工程中常见的挡水建筑物，其充排水系统的稳定运行直接影响工程安全与效益。本文围绕橡胶坝充排水系统的压力检测与控制展开研究，明确压力检测的核心参数与设备选型要求，分析不同工况下的压力控制策略，同时总结系统运行中的常见问题及解决措施。研究结果表明，通过科学的压力检测布局与动态控制策略，可有效降低充排水系统故障风险，提升橡胶坝运行的稳定性与安全性，为水利工程中橡胶坝系统的运维提供实践参考。

关键词：橡胶坝；充排水系统；压力检测；控制策略；水利工程运维

DOI：10.69979/3060-8767.25.12.036

引言

在中小河道治理、灌区供水、城市景观水利等工程中，橡胶坝因成本低、施工简便、适应性强等优势被广泛应用。充排水系统作为橡胶坝的核心动力单元，负责实现坝袋的充胀挡水与排空塌坝，而系统内的压力变化直接关联坝袋结构安全与运行效率。实际工程中，若充水时压力过高，易导致坝袋过度拉伸甚至破裂；排水时压力骤降或局部负压，可能引发管路气蚀、水泵损坏等问题。近年来，多地橡胶坝工程因充排水系统压力控制不当，出现坝袋渗漏、管路爆管等故障，不仅影响工程正常运行，还增加了维修成本与安全隐患。因此，开展橡胶坝充排水系统压力检测与控制研究，对保障水利工程安全、提升运维效率具有重要的实际意义。

1 橡胶坝充排水系统组成与工作原理

1.1 系统主要组成部分

橡胶坝充排水系统由动力设备、管路系统、控制单元三部分构成。动力设备以水泵为核心，充水环节多采用离心式清水泵，根据坝袋容积与充水时间要求确定水泵流量与扬程；排水环节则结合工程地形，可选用排污泵或利用重力排水，当坝址地势较低时，需增设排水泵增强排水能力。管路系统包括主输水管、分支管路、闸阀与止回阀，主输水管直径根据系统最大流量确定，通常选用钢管或 PE 管，分支管路则通过闸阀控制坝袋不同区域的充排水速度；止回阀主要安装在水泵出口与排水管路，防止水流倒流引发设备故障。控制单元由控制柜、传感器接口与执行器组成，负责接收检测信号并控

制水泵启停、阀门开度，部分大型工程还会接入 PLC 控制系统实现自动化操作。

1.2 系统工作流程

橡胶坝充排水系统的工作流程分为充水与排水两个阶段。充水阶段启动时，控制柜接收充水指令，先打开主输水管路的闸阀，再启动充水泵；水流经闸阀进入主输水管，通过分支管路分配至坝袋底部的充水接口，逐步填充坝袋内部空间；随着坝袋内水量增加，压力逐渐上升，当压力传感器检测到压力值达到设计充水压力（通常与坝袋设计高度匹配）时，控制柜发出信号，先关闭充水泵，再关闭主输水管闸阀，充水过程结束。排水阶段启动时，先打开排水管路的闸阀，若采用重力排水，依靠坝袋内水位差实现自然排水；若需加速排水或地形条件限制，则启动排水泵，通过排水接口抽取坝袋内水体；当压力传感器检测到坝袋内压力降至设计排空压力时，关闭排水泵与闸阀，完成排水。整个流程中，压力变化始终作为核心控制依据，直接决定设备的启停与运行状态。

2 充排水系统压力检测关键环节

2.1 检测参数与设备选型

充排水系统压力检测的核心参数主要包括管路压力与坝袋压力，二者共同构成系统安全运行的关键监控指标。管路压力监测涵盖水泵出口压力、主输水管路压力以及分支管路压力三个层面。其中，水泵出口压力是评估水泵运行状态的重要依据，能够直观反映水泵的扬程、负荷及是否存在气蚀或堵塞现象；主输水管路压力

用于判断整体输水效率与管路通畅性,有助于及时发现管道泄漏、结垢或阀门故障等问题;分支管路压力则关系到坝袋各区域充排水的均匀性与同步性,防止因局部压力失衡导致坝袋受力不均而引发结构损伤。坝袋压力作为直接影响橡胶坝或充气坝结构安全的核心参数,必须实现连续、实时监测,以防范超压鼓胀、负压塌陷等风险,确保坝体在洪水期或调节运行中的稳定性与可靠性。在设备选型方面,需充分考虑水利工程现场高湿、多尘、水体含沙量高等复杂环境因素。压力传感器优先选用扩散硅式压力传感器,该类型传感器具有精度高(误差范围 $\leq 0.5\%$ FS)、响应速度快、长期稳定性好等优点,同时具备良好的防水、防腐性能,适合长期浸水或潮湿环境下的稳定运行。传感器量程应根据系统设计压力合理选取,通常按照设计压力的 1.2 至 1.5 倍进行配置,例如当设计最大充水压力为 0.3MPa 时,宜选用 0.45MPa 量程的传感器,既保证测量精度,又预留足够的安全裕度,避免过载损坏。

2.2 检测点布置原则与方案

检测点布置需遵循“全覆盖、无死角、重点突出”的原则,结合系统结构与工况需求确定具体位置。水泵出口处必须设置检测点,安装在水泵出口闸阀前方,可直接监测水泵运行时的出口压力,及时发现水泵扬程异常或管路堵塞问题;主输水管路的检测点需间隔布置,对于长度超过 50 米的管路,每 30 米设置一个检测点,重点布置在管路拐点、变径处,这些位置易产生局部压力波动,需重点监测;分支管路检测点安装在分支闸阀后方,靠近坝袋充排水接口处,确保监测数据能反映坝袋实际充排水压力;坝袋压力检测点则需沿坝袋长度方向均匀布置,每 50 米设置一个,安装在坝袋中部高度位置,避免因坝袋底部淤积影响检测精度,同时确保传感器与坝袋贴合紧密,减少数据偏差。实际工程中,检测点需避开管路振动剧烈区域,传感器安装时需加装保护套管,防止水流冲击或杂物碰撞导致设备损坏。

3 充排水系统压力控制策略

3.1 常规工况下的压力控制

常规工况下的压力控制以“定值控制”为核心,结合充水与排水阶段的不同需求制定策略。充水阶段设定目标压力值(根据坝袋设计高度计算,例如 3 米高坝袋对应压力约 0.3MPa),当压力传感器检测到坝袋

压力低于目标值 10% 时,控制柜自动启动充水泵并打开闸阀,加快充水速度;当压力达到目标值的 95% 时,降低水泵转速或减小阀门开度,减缓充水速度,避免压力骤升;当压力精准达到目标值时,立即关闭水泵与闸阀,完成充水控制。排水阶段则设定最低安全压力值(通常为 0.05MPa,防止坝袋过度塌陷),排水初期打开所有排水闸阀,启动排水泵以最大流量排水;当坝袋压力降至目标压力的 1.5 倍时,关闭部分排水泵或减小阀门开度,降低排水速度;当压力达到最低安全压力值时,关闭排水泵与闸阀,避免坝袋内出现负压。常规控制策略需根据工程实际调整参数,例如在低温环境下,若水体粘度增加,需适当提高水泵出口压力设定值,确保充排水效率。

3.2 特殊工况下的压力调节与安全保护

特殊工况包括汛期应急排水、设备故障应急处理、极端天气(高温、低温)运行,需针对性制定压力调节与安全保护策略。汛期来临前,需将坝袋压力降至常规充水压力的 70%,预留坝袋变形空间,避免洪水冲击导致坝袋压力骤升;若洪水流量超过设计值,立即启动应急排水,打开所有排水管路,同时关闭充水系统,将坝袋压力快速降至最低安全压力,确保坝袋塌坝泄洪,此时压力传感器需持续监测管路压力,若出现压力骤降(低于 0.02MPa),需检查是否存在管路泄漏,及时关闭故障管路闸阀。设备故障时,例如充水泵突然停机,控制柜需立即关闭水泵出口闸阀,防止管路水流倒流引发负压,同时启动备用泵,若备用泵无法启动,则打开排水管路泄压,将坝袋压力控制在安全范围。极端高温环境下,坝袋内水体温度升高可能导致压力略有上升,需将充水目标压力下调 5%,避免坝袋热胀导致超压;极端低温环境下,管路可能出现结冰,需通过加热装置维持管路温度,同时将水泵出口压力设定值提高 10%,确保水流正常流通,防止结冰堵塞引发压力异常。

4 常见问题及解决措施

4.1 压力检测数据不准确

压力检测数据不准确是工程中常见问题,主要原因包括传感器安装不当、设备老化、信号干扰。传感器安装时若存在倾斜或与管路壁不贴合,易导致检测数据偏差,解决措施为重新调整传感器安装角度,确保传感器探头与水流方向垂直,且与管路内壁紧密贴合,安装后

进行零点校准；设备老化表现为传感器精度下降，通常运行 3-5 年后需定期校验，若校验误差超过 1% FS，需及时更换传感器；信号干扰多来自附近高压设备，可通过在传感器信号线上加装屏蔽层，将信号传输线远离高压电缆（距离 ≥ 5 米），减少干扰影响。某工程曾因信号干扰导致坝袋压力检测值比实际值高 0.03MPa，通过加装屏蔽层后，数据偏差降至 0.005MPa 以内，恢复正常检测精度。

4.2 控制响应滞后

控制响应滞后表现为压力达到设定值后，设备（水泵、阀门）未及时启停，导致压力超调或欠调，主要原因包括控制参数设置不合理、执行器故障。控制参数设置不合理时，例如充水阶段压力差值设定过大（超过 0.02MPa），易导致设备启停延迟，解决措施为根据工程实际调整参数，将压力差值缩小至 0.01MPa，同时优化

PLC 控制程序，缩短信号处理时间；执行器故障多为阀门卡涩或水泵启停机构故障，阀门卡涩需定期清理阀门内部杂物，涂抹润滑脂，确保阀门开关灵活；水泵启停机构故障则需检查电机接线与接触器，及时更换损坏部件。某工程排水阶段曾因阀门卡涩，导致压力降至 0.05MPa 后阀门未及时关闭，坝袋压力继续降至 0.02MPa，通过清理阀门杂物并涂抹润滑脂，控制响应滞后时间从原来的 5 秒缩短至 1 秒，解决了压力欠调问题。

5 结论

本文通过对橡胶坝充排水系统压力检测与控制的

研究，得出以下结论：一是压力检测需聚焦管路压力与坝袋压力两大核心参数，传感器选型需兼顾精度、抗干扰性与环境适应性，检测点布置需覆盖水泵出口、管路拐点、坝袋关键位置，确保数据全面准确；二是常规工况下采用“定值控制 + 分段调节”策略，可有效避免压力骤升骤降，特殊工况下需结合应急需求与环境因素，制定压力调节与安全保护措施，保障系统稳定运行；三是工程案例验证表明，科学的检测与控制策略能显著降低系统故障风险，提升橡胶坝运行安全性与效率，为实际工程运维提供有效参考。

参考文献

- [1] 杨俊杰, 单耀. 浅析橡胶坝在水利工程中的应用[J]. 治淮, 2024, (11): 56-58.
- [2] 邢元. 浅析橡胶坝在水利工程中的应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2023, (14): 158-160.
- [3] 林兰兰. 清河橡胶坝充排水管路设计及电气控制方式探析[J]. 地下水, 2022, 44(01): 274-275+290.
- [4] 张曙俊. 水利工程建设中橡胶坝施工技术的有效应用[J]. 城市建设理论研究(电子版), 2019, (13): 172.
- [5] 罗造时. 橡胶坝充排水系统设计探讨[J]. 治淮, 2016, (06): 29-30.

作者简介：孙伟苇（1981 年 02 月-），女，汉族，山东省烟台市人，大学本科，职称：高级工程师，研究方向：工程（建筑、水利、公路）试验检测、新型建筑材料应用。