

“一控二”橡胶坝充排水控制系统选型设计

严 畅

(山东省水利勘测设计院有限公司, 山东 济南 250014)

【摘 要】橡胶坝是工程中重要的水工建筑物,兼顾挡水、景观、生态功能,应用广泛。为优化充水橡胶坝充排水系统结构,实现精准、快速充塌坝控制,提高工程稳定运行能力,合理的选型设计是至关重要的。文章提出一种“一控二”橡胶坝充排水控制系统,重点阐述了系统设备选型、布置型式及控制运行方案,简化了运行管理模式,实现了工程经济性与管理效率的协同优化,有效节省工程投资,为类似项目提供参考。

【关键词】充水橡胶坝;一控二;充排水系统;设备选型;控制运行

【中图分类号】TV644

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2026)-09-0009-04

Type Selection Design of Water Filling & Draining Control System for "Double Functions for One Controller" in Rubber Dams

YAN Chang

(Shandong Survey and Design Institute of Water Conservancy co., Ltd, Jinan, Shandong 250014, China)

Abstract: As critical hydraulic structures, rubber dams are widely applied with integrated functions of water retaining, landscape construction and ecological regulation. Rational type selection design is essential to optimize the structure of water filling and draining system, realize accurate and rapid inflation/deflation control of rubber dams and guarantee stable operation of projects. This paper discusses a novel system of "double functions for one controller" in rubber dams i. e. water filling and draining control system, elaborates equipment selection, layout form and operational control scheme of the system. The proposed design simplifies operation and management mode, achieves coordinated optimization of project economy and management efficiency via innovative structural principle, reduces construction investment, and provides reference for similar projects.

Key words: Inflatable rubber dam; Double functions for one controller; Water filling and draining system; Equipment type selection; Operational control

1 工程概况

工程所在巨峰河流域横穿日照市岚山区中北部和东港区南部,呈东西向,于东港区涛雒镇分流成南店河和竹子河,总流域面积 262.7 km²,平均干流比降 2.2‰,干流长 30.8 km。工程位于巨峰河流域下游冲积平原区,多年平均来水量为 5 650 万 m³,区域地下水流向总体趋势由西向东。

基于区域内水资源短缺、地下水水质不良现状,为保障沿河两岸农业灌溉用水,工程于巨峰河分岔口鱼嘴处新建橡胶坝 2 座。1[#]橡胶坝位于干流分流后的 1[#]支流首端,设计 20 年一遇洪峰

流量 690.0 m³/s;2[#]橡胶坝位于干流分流后的 2[#]支流首端,设计 20 年一遇洪峰流量 618.0 m³/s。两座橡胶坝、两岸翼墙、上游铺盖、下游消力池、泵房底高程在 -0.20~0.70 m 范围,位于①-1 层壤土/①-1 层黏土、②层中粗砂,均可作为地基持力层。坝址两岸及坝基分布的②层中粗砂、④层砾质粗砂渗透系数 5.11~36.62 m/d,具中等~强透水性,存在坝基渗漏、绕坝渗漏及渗透稳定问题。两座橡胶坝承担协同工作、联合运行的工程任务,直线距离 200 m。根据以上天然条件,为实现橡胶

收稿日期:2026-04-15

作者简介:严畅(1990—),女,工程师

坝的高效联合运行,简化管理运行模式,节省土建及设备投资,两座橡胶坝共用1套充排水系统。

橡胶坝工程总体布置如图1所示,主要建筑物包括1#橡胶坝、2#橡胶坝、充排水泵房、坝前取水井,均坐落于干流分岔口鱼嘴处。充坝时,河道内的水通过无砂混凝土管汇至坝前取水井,再由充水泵抽水供往橡胶坝坝袋;塌坝时,坝袋内的水由泵房强排泵组抽排至坝后消力池,或经阀门切换自流塌坝。

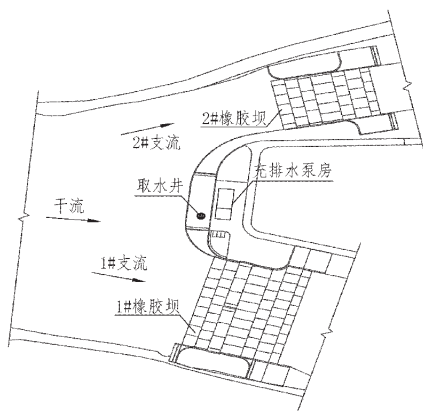


图1 工程布置总图

2 充排水系统结构设计

充排水系统主要设备包括充水泵组、强排泵组、充排水管路、控制阀门、平压溢流管等。充水泵组自取水井取水,通过泵房阀门控制,可实现单独或同时向1#橡胶坝、2#橡胶坝坝袋充水;强排泵组自坝袋取水,经充排水总管排水至下游消力池,根据坝袋监测数据及控制阀门切换,可实现单独或同时令1#橡胶坝、2#橡胶坝坝袋紧急强排或自流塌坝。

2.1 设计参数

1)1#橡胶坝。1#橡胶坝设计共2孔,单孔净宽46 m,总净宽92 m,坝高3.0 m,坝袋内压比 α 为1.40,橡胶坝单宽米容积13.977 m³。橡胶坝底板顶高程1.5 m,正常挡水位4.30 m,橡胶坝坝顶高程4.50 m,坝袋容积1285.884 m³。充坝时间建议10~20 h,设计流量64.29~128.59 m³/h;塌坝时间 ≤ 2 h,设计流量 ≥ 642.94 m³/h。

2)2#橡胶坝。2#橡胶坝设计共1孔,单孔净宽50 m,坝高3.0 m,坝袋内压比 α 为1.40,橡胶坝单宽米容积13.977 m³。橡胶坝底板顶高程1.5 m,正常挡水位4.30 m,橡胶坝坝顶高程4.50 m,坝

袋容积698.85 m³。充坝时间建议10~20 h,设计流量34.95~69.89 m³/h;塌坝时间 ≤ 2 h,设计流量 ≥ 349.43 m³/h。

3)充排水泵组流量确定。橡胶坝充、排水流量需求相差较大,宜采用小泵充水、大泵排水方式。考虑两坝同时充、排水极端工况,即10~20 h内充满、2 h内排空所有坝袋:当充坝设计流量99.24~198.47 m³/h,综合坝前取水井出水量限制,选取2台充水泵同时运行,单泵流量60 m³/h,总供水能力120 m³/h;当塌坝设计流量 ≥ 992.37 m³/h,选取3台强排泵同时运行,单泵流量360 m³/h,总排水能力1 080 m³/h。

2.2 充水泵组选型设计

1)扬程计算。充水泵扬程计算公式如下:

$$H_{\text{充}} = (\alpha \times H_{\text{坝高}} + \nabla_{\text{底板}} - \nabla_{\text{吸水}}) + \Delta H \quad (1)$$

式中: $H_{\text{充}}$ 为充水泵设计扬程,m; α 为坝袋内压比,取1.4; $H_{\text{坝高}}$ 为橡胶坝坝高,m; $\nabla_{\text{底板}}$ 为坝底板高程,m; $\nabla_{\text{吸水}}$ 为充水泵取水头,m; ΔH 为充坝工况水泵及管路附件水力损失总和,m。

橡胶坝充水存在3种工况:1#橡胶坝单独充水,开启2台充水泵;2#橡胶坝单独充水,开启1台充水泵;1#、2#橡胶坝同时充水,开启2台充水泵。经分析计算,1#橡胶坝单独充水时, ΔH 取到最大值为2.05 m,则 $H_{\text{充}}=9.65$ m。

2)水泵选型。经比选,选取80QW充水泵2台,单泵设计流量60 m³/h,设计扬程11.0 m,配套电机功率4 kW,总装机容量8 kW。

2.3 强排泵组选型设计

1)扬程计算。强排泵扬程计算公式如下:

$$H_{\text{排}} = (\nabla_{\text{出水管}} - \nabla_{\text{底板}} - \nabla_{\text{坝高}}) + \Delta H \quad (2)$$

式中: $H_{\text{排}}$ 为强排泵设计扬程,m; $\nabla_{\text{出水管}}$ 为强排泵出水管中心高程,m; $\nabla_{\text{底板}}$ 为坝底板高程,m; $\nabla_{\text{坝高}}$ 为橡胶坝坝高,m; ΔH 为水泵吸水管和出水管水头损失总和,m。

橡胶坝强排同样存在3种工况:1#橡胶坝单独排水,开启2台强排泵;2#橡胶坝单独排水,开启1台强排泵;1#、2#橡胶坝同时排水,开启3台强排泵。经分析计算,两座橡胶坝同时强排工况, ΔH 取到最大值为5.96 m,则 $H_{\text{排}}=6.45$ m。

2)水泵选型。经比选,选取200HW-10强排泵3台,单泵设计流量360 m³/h,设计扬程7.0 m,配套电机功率11 kW,总装机容量33 kW。

2.4 泵房及管路布置

根据工程运行特点,两座橡胶坝坝袋充排水共用一套控制系统,系统内充水泵、强排泵、充排水管路、控制阀门布置如图2所示。

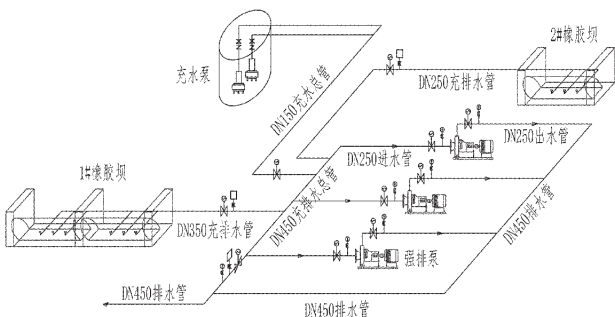


图2 控制系统图

橡胶坝坝前岸边设取水井,取水井内安装2台充水泵,水泵出水管为DN100钢管,2台水泵出水管合并为1根DN150充水总管。泵房内充水总管设电动蝶阀1台。

充排水泵房至1#橡胶坝采用1根DN350充排水管,设电动蝶阀1台,每孔坝袋均设3根DN200充排水支管,共计6根,支管出口处设水帽;泵房至2#橡胶坝采用1根DN250充排水管,设电动蝶阀1台,坝袋设3根DN200充排水支管,共计3根,支管出口处设水帽。

橡胶坝充、排水泵房建在鱼嘴管理区,泵房内设3台强排泵,单列并列布置,水泵倒灌淹没,不另设抽真空系统。每台水泵进、出水管均设DN250电动蝶阀和橡胶接头各1台,自DN450充排水总管取水,向DN450排水管排水。

2.5 检修及渗漏排水

泵房内设有集水井1处,安装2台50WQ25-10-1.5型潜污泵和1套液位控制器,潜污泵排水管与DN450排水管连接。

2.6 平压及溢流

1#橡胶坝总设计2孔,为保证2孔坝袋的平压和安全,中墩设DN200平压连通管和溢流管,两座橡胶坝边墩均设DN200溢流管,溢流管出口高程满足坝袋内压比1.4的要求。

2.7 用电负荷及供电电源

工程实际运行时,机组最大用电负荷状态为3台强排泵、2台潜污泵、1台DN250机组出水管电动蝶阀同时工作,考虑泵站监视监控及照明用电,无功补偿后视在功率最大值为55.4 kW。综合

橡胶坝农业灌溉工程任务,确定用电负荷为二级负荷,设置2个独立电源且每1个电源均满足用电设施工作负荷要求。两路供电电源中,一路电源采用0.4 kV线路供电,由附近的变压器低压侧引接,引接线由电缆穿管敷设至低压配电室;另一路电源采用自备柴油发电机组供电,当0.4 kV线路停电时,发电机组投入运行。

3 控制运行方案

3.1 工程监测

工程监测系统构建立体感知体系,为工程运行提供全要素感知数据,实时监控橡胶坝工作状态,橡胶坝监测数据采集通常涉及水位、压力、坝袋变形等关键参数。

1) 压力监测。在充排水泵房内1#橡胶坝DN350、2#橡胶坝DN250以及DN450充排水总管上布置压力变送器,实时监测管道压力,数据远传到中控室平台服务器。

2) 水位及坝袋高度监测。在坝袋正上方和上、下游分别设置雷达液位计,监测站采用太阳能加蓄电池供电,水位及高程数据通过网络传输到中控室平台服务器。

3) 渗流监测。在橡胶坝边墩及中墩布置测压管、渗压计、无线通信管理网关、太阳能供电装置,实时采集信号远传到中控室平台服务器。

4) 变形监测。在两座橡胶坝边墩及边墩消力池翼墙处安装监测站,监测分析橡胶坝表面变形的垂直位移和倾斜,实时采集信号远传到中控室平台服务器。

3.2 机组控制运行

1) 橡胶坝充坝。充水泵的启停和管路电动蝶阀的开关由人工在中控室控制,阀门开度只有全开或全关状态。检查取水井水位是否高于水泵最低启泵水位,检查坝袋溢流口是否有堵塞。在中控室控制打开DN150充水总管电动蝶阀,关闭DN450充排水总管、各机组DN250进水管电动蝶阀。若1#橡胶坝单独充坝,控制打开DN350电动蝶阀,关闭DN250电动蝶阀;若2#橡胶坝单独充坝,则打开DN250电动蝶阀,关闭DN350电动蝶阀;若1#、2#橡胶坝同时充坝,则DN350、DN250电动蝶阀均打开。上述条件均满足后,在中控室控制依次启动2台充水泵向坝袋充水。观

察坝袋高度监测数据,待坝袋已充水至指定高度或完全充满,在中控室控制依次停泵,水泵完全停运后,关闭泵房内各电动蝶阀。至此,坝袋充水完成。

2)橡胶坝强排塌坝。强排泵的启停和管路电动蝶阀的开关由人工在中控室控制,阀门开度只有全开或全关状态。检查泵房内复合式进排气阀、坝袋溢流口是否有堵塞。在中控室控制打开各机组 DN250 进水管电动蝶阀,关闭 DN150 充水总管、DN450 充排水总管、各机组 DN250 出水管电动蝶阀。若 1# 橡胶坝单独塌坝,控制打开 DN350 电动蝶阀,关闭 DN250 电动蝶阀;若 2# 橡胶坝单独塌坝,控制打开 DN250 电动蝶阀,关闭 DN350 电动蝶阀;若 1#、2# 坝袋同时塌坝,则 DN350、DN250 电动蝶阀均打开。上述条件均满足后,控制启动强排泵 A,完全启动后打开泵后 DN250 出水管电动蝶阀;同样操作流程启动强排泵 B、C。若 1# 橡胶坝单独塌坝,只需开启 2 台水泵;若 2# 橡胶坝单独塌坝,只需开启 1 台水泵;若 1#、2# 坝袋同时塌坝,需 3 台水泵全开启。以 3 台强排泵均开启为例:观察坝袋高度监测数据,待坝袋塌落至设定高程或完全塌落以上 0.4 m 时,关闭强排泵 A 出水管电动蝶阀后,控制该水泵停机;继续观察,待坝袋塌落至设定高程或完全塌落以上 0.2 m 时,关闭强排泵 B 出水管电动蝶阀后,控制该水泵停机;继续观察,待坝袋塌落至设定高程或完全塌落时,关闭强排泵 C 出水管电动蝶阀后,控制该水泵停机。至此,坝袋强排塌坝完成。

3)橡胶坝自流塌坝。非汛期、非紧急工况及电力无法供应情况时可自流塌坝,阀门开度只有全开或全关状态。检查下游水位是否具备自流排水条件。在中控室控制关闭 DN150 充水总管、各机组 DN250 进水管电动蝶阀。若 1# 橡胶坝单独塌坝,控制打开 DN350 电动蝶阀,关闭 DN250 电动蝶阀;若 2# 橡胶坝单独塌坝,控制打开 DN250 电动蝶阀,关闭 DN350 电动蝶阀;若 1#、2# 坝袋同时塌坝,则 DN350、DN250 电动蝶阀均打开。上述条件均满足后,控制打开 DN450 充排水总管

电动蝶阀,观察坝袋高度监测数据,待坝袋塌落至设定高程或完全塌落,关闭该阀门。至此,坝袋自流塌坝完成。

3.3 工程运行成果

根据运行管理部门反馈,橡胶坝工程于 2025 年 7 月通过验收并投入使用,顺利完成当年秋灌及防汛任务。1#、2# 坝体单独或联合运行无障碍,工况切换操作流程可在控制室独立完成,调度灵活,管理方便。坝体运行平稳,挡墙防渗效果好,上游蓄水位距工程实施前增高 1 m,效果显著,达到工程预期目标。

4 结 语

针对橡胶坝充排水系统控制效率低、管理复杂等问题,此文研究设计了一种“一控二”充排水控制系统,优化水泵选型、管道布置以及集中运维控制,简化了管理流程,实现了双坝的高效联动。该系统已在实际工程案例中实施完成并投入使用,橡胶坝调度运行灵活,工作状态良好,为今后类似工程的模块化设计提供了参考案例。

该系统在监测数据实时采集、多工况自适应调控等方面仍存在优化空间,后续可从以下方面改进:完善数据采集方案,提升关键参数的监测频率与传输可靠性;构建运行状态预测模型,提高系统智能决策能力;设计人机协同控制机制,强化异常工况下的应急处理能力。在保障工程安全的前提下,逐步实现数字化运维从“半自动化”向“全智慧化”转变,以提升工程长期运行效能。

参考文献

- [1] 姚彩升,高本奎,周业友.大庄橡胶坝塌坝问题的分析处理与加强管理的建议[J].水利建设与管理,2021,41(2):68-71.
- [2] 韩飞.橡胶坝充排水系统常见故障分析与维护措施探讨[J].中国水能及电气化,2021(9):12-14.
- [3] 褚洋.枣庄市山城橡胶坝水泵选型设计分析[J].山东水利,2022(6):51-52.
- [4] 李亮.橡胶坝充排水系统水泵选型及电气设计[J].山东水利,2019(7):25-26.
- [5] 中华人民共和国住房和城乡建设部.橡胶坝工程技术规范 GB/T50979-2014[S].北京:中国计划出版社,2014.

(责任编辑 赵其芬)