

固定坝升级视角下活动蓄水坝设计要点分析

李丽华, 方昊, 黄文华, 许家龙

(南京市水利规划设计院股份有限公司, 江苏 南京 210000)

摘要:为解决河道防洪治理工程中现状固定坝影响行洪的问题,通过优化堰坝结构型式,实现河道行洪、蓄水与景观功能协同。以二十埠河堰坝改建工程为实例,将原有固定坝改建为活动坝,结合工程工况与技术要求,选取底轴翻板闸、液压坝、橡胶坝、气盾坝四种典型活动坝型进行技术比选,经综合论证确定气盾坝为推荐方案。围绕气盾坝的工程布置、水力特性计算、防渗排水设置及坝体稳定复核四项核心内容展开设计分析,相关设计要点可为此类固定坝改建工程的设计实践提供技术参考。

关键词: 固定坝改建; 坝型比选; 气盾坝设计

中图分类号: TV85

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2026)08-0237-04

Analysis on Key Points in Design of Movable Water Storage Dams from Perspective of Upgrading Fixed Dams

LI Lihua, FANG Hao, HUANG Wenhua, XU Jialong

(Nanjing Water Conservancy Planning and Design Institute Co., Ltd., Nanjing 210000, China)

Abstract: In order to solve the problem of fixed dams affecting flood discharge in river flood control projects, the optimization of dam structure is carried out to achieve the synergy of river flood discharge, water storage and landscape functions. Taking the reconstruction project of the Ershibu River Weir Dam as an example, the original fixed dam is converted into a movable dam. Combined with the engineering conditions and technical requirements, four typical movable dam types of bottom shaft flap gate, hydraulic dam, rubber dam and gas shield dam are selected for technical comparison. After comprehensive demonstration, the gas shield dam is determined as the recommended scheme. The design analysis is carried out around the four core contents of the engineering layout, hydraulic characteristic calculation, anti-seepage and drainage settings, and dam stability review of the gas shield dam. The relevant design points can provide technical references for the design practice of such fixed dam reconstruction projects.

Keywords: fixed dam reconstruction; comparison and selection of dam types; design of gas shield dam

0 引言

在以行洪为主要功能的天然河道中,固定式堰坝通常会对河道行洪的水力特性和过流能力产生显著影响。为实现行洪通畅与蓄水、景观等多功能目标的协同,对既有固定坝实施活动化改造是一种重要的工程技术路径。气盾坝作为新型活动式挡水建筑物,在大跨度、低水头和要求设计新颖、布置紧凑的堰坝工程中具有广阔的应用前景^[1-2]。据李铁等^[3]所述,气盾坝是一种能在保障河道基础蓄水功能与生态景观需求的前提下,实现“一坝多能”综合效益的新型蓄水建筑物。结合二十埠河堰坝改建工程实

例,阐述气盾坝在固定坝改造为活动坝中的应用路径及其独特优势。

1 工程概况

二十埠河位于合肥市,为南淝河一级支流,河道全长约27 km,流域面积136 km²。该河道中上游一处堰坝为固定式钢筋混凝土坝。根据堰坝计算及2024年实际发生洪水情况分析,固定式堰坝对河道行洪存在较大影响。《合肥市城市防洪规划(2023—2035)》中的洪水出路方案和防洪体系布局均指出,需对河道内现状影响行洪的堰坝进行结构型式改造。

本次结合河道防洪治理工程对该蓄水坝进行拆除改造,将现状固定坝改建为活动坝,平时升坝蓄水,保持景观水位;汛期防洪压力较大时打开堰坝,

收稿日期: 2026-01-01

作者简介: 李丽华(1987—),女,本科,工程师,从事河道综合整治设计工作。

保证河道行洪通道畅通。

2 堰坝型式选定

2.1 堰坝型式比选

根据工程蓄水建筑物的功能和特点分析,本次蓄水建筑物不应选用影响行洪安全的固定式拦水坝和启闭设备设于上方的传统闸门,宜选用低水头、宽河道、大流量的活动式堰坝。

针对本工程实际特点,对国内目前运用较多的底轴翻板闸、液压坝、橡胶坝和气盾坝四种活动式堰坝进行比选。

(1)底轴翻板闸

底轴翻板闸是近年来广泛应用的低水头蓄水闸(坝)型,由固定在底板上的传动轴、固定在轴上的钢闸门和液压驱动装置组成。此类坝多位于平原河道^[4],特别适合超大孔宽、水头较低(不大于6 m)的场合,景观效果较好。

(2)液压坝

液压坝(即液压升降坝)是近年来广泛应用在景观蓄水工程的新型活动坝,由分块钢坝体、液压支撑启闭机构、液压泵站组成,具备挡水和泄水双重功能^[5]。

(3)橡胶坝

橡胶坝是一种由高分子材料合成的,新型薄壁柔性结构水工建筑物^[6]。此坝型充排水设备隐藏,形成上下游通透的视觉效果,坝顶过水形成瀑布景观,景观效果较好。

(4)气盾坝

气盾坝是一种利用气体压力来支撑水体的坝体结构,广泛应用于水利工程中。它的工作原理是通过控制气体的压力,使气体充满坝体内部的腔室,从而形成一个稳定的气垫,起到阻挡水流的作用。气盾坝的景观效果佳,坝顶溢流会形成瀑布,十分美观^[7-9]。

(5)坝型比选

底轴翻板闸、液压坝、橡胶坝、气盾坝四种蓄水坝坝型综合比选如表1所示。

表1 坝型比选

比较项目	方案一(底轴翻板闸)	方案二(液压坝)	方案三(橡胶坝)	方案四(气盾坝)
施工难度	大跨度结构,基坑及地基处理复杂,安装要求高	需液压支撑土建结构,施工难度较高	对土建结构要求不高,施工难度一般	对土建结构要求不高,施工难度一般
运行可靠性	高强钢结构,室内启闭设备,运行可靠性好	油缸启闭设备长时间泡水运行,运行可靠性一般	坝袋强度相对较弱,易受漂浮物刺破,造成坝袋磨损 ^[10] ,运行可靠性一般	弧形盾板扣覆于气囊上,不使囊体受伤,运行可靠性较好
防洪保障率	闸门系统可靠,启闭速度快,防洪保障高	启闭系统可靠性一般,但启闭速度快,防洪保障率一般	充坝耗时较长,坝袋易被漂浮物损毁,破损后应急处置难度大,防洪保障率一般	系统可靠,虽塌坝时间较长,但可借助智慧水利系统实现洪水的提前预报与调度管理,防洪保障率较高
运行管理	对管理要求高,维护检修难度一般	管理较为方便,维护检修难度一般	管理较为方便,维护检修难度一般	管理较为方便,维护检修难度一般
外观效果	外观效果好	外观效果较好	外观效果较好	外观效果较好
投资	投资最高	投资适中	投资较低	投资较低

2.2 坝型选定

由表1可知,底轴翻板闸的安全性和外观效果最好,但土建施工难度较大、设备安装和运行管理要求较高,且投资最高,性价比不高,本工程不作为推荐坝型采用。

气盾坝和橡胶坝相比:(1)气盾坝上部结构使用年限优于橡胶坝;(2)气盾坝调水、控水能力与充气式橡胶坝相当,优于充气式橡胶坝;(3)气盾坝启闭时间较橡胶坝更加迅速,并可通过增加空压机功率、扩大供排气管直径加速启闭;(4)气盾坝弧形盾板扣覆于气囊上,保护气囊不受水流影响,且使推移质从盾板上平滑通过坝体,不使囊体受伤,运行可靠性、安全性优于橡胶坝;(5)气盾坝与水环境相融性更好。

气盾坝和液压坝相比:(1)气盾坝以干净空气为动力,不存在液压杆润滑油污染,且气袋材料为食品级,对作为饮用水的河道是安全的;(2)不存在液压驱动的卡死点;(3)即使在断电时仍能手工控制安全泄洪,不存在断电不能塌坝情况;(4)土建比较简单,无液压支撑土建结构;(5)气动部件避免了液压件的内漏和外漏问题。

综上所述,本次选取气盾坝作为推荐方案。

3 气盾坝设计

3.1 水文数据及气盾坝运行水位设计

本工程坝址位于二十埠河上游约8 km处,坝址以上流域集水面积45.7 km²,河道平均比降1.23‰;

采用“84办法”计算设计洪水,200年一遇校核洪峰流量 $170\text{ m}^3/\text{s}$,相应校核洪水位 19.73 m ;枯水期(每年10月至次年4月)最小流量 $21.0\text{ m}^3/\text{s}$,相应最低水位 17.16 m 。

结合工程防洪、蓄水、生态供水及改造衔接要求,确定气盾坝运行水位组合及调度原则:非汛期(每年10月至次年4月),按正常蓄水位 19.0 m 控制;汛期(每年5月至9月),控制水位降至 17.5 m ,兼顾防洪与生态基流;遭遇200年一遇设计洪水时,气盾坝完全塌坝至坝底高程 16.5 m ,保障行洪畅通。

3.2 工程布置

新建坝体中心线与河道中心线基本重合,净宽 20.0 m ,设计挡水高度 2.5 m 。上游来水高于气盾坝顶 0.5 m 时,堰坝自动塌坝。从上游至下游依次布置有上游护底段、铺盖段、坝身段、消力池段、海漫段及抛石防冲槽,顺水流向总长 72.88 m 。气盾坝纵剖面布置示意图如图1所示。

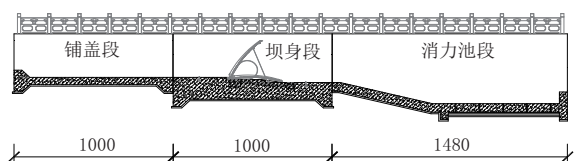


图1 气盾坝纵剖面布置示意图(单位:cm)

(1)上游护底段:气盾坝上游河道河底高程 16.5 m ,底宽 $18.0\sim 20.0\text{ m}$,采用 0.4 m 厚毛石混凝土护底,下设 0.1 m 厚碎石垫层。

(2)铺盖段:气盾坝上游进口段设 10.0 m 长钢筋混凝土铺盖,底板顶面高程 16.5 m ,与堰坝底板顺接,侧墙顶高程 19.5 m ,底板厚 0.5 m ,上下游均设齿坎。

(3)坝身段:气盾坝安装锚固在坝身段钢筋混凝土底板上,坝身段底板顺水流方向长 10.0 m ,底板垂直水流方向净宽 20.0 m ,底板顶面高程 $16.5\sim 16.15\text{ m}$,厚 $1.5\sim 1.15\text{ m}$ 。气盾坝坝顶高程 19.0 m ,气盾坝高 2.5 m ,钢筋混凝土U形墙厚 0.8 m ,顶高程 19.5 m 。

(4)消力池:消力池长 14.8 m ,净宽 20.0 m ,底板顶面高程 14.7 m ,消力坎顶高 15.5 m ,侧墙顶高程 19.5 m ,底板及墙厚均为 0.6 m 。

(5)海漫段:海漫顺河道方向长度 18.0 m ,坝顶高程 15.5 m ,底宽 $20.0\sim 16.0\text{ m}$,采用 0.4 m 厚毛石混凝土护底,下设 0.1 m 厚碎石垫层及 0.1 m 厚中粗砂层。

(6)抛石防冲槽段:顺河道方向抛石 10.0 m ,抛石厚 1.5 m ,宽 15.2 m 。

3.3 水力计算

(1)过流能力计算

蓄水堰坝需满足汛期行洪流量要求。本工程气盾坝为活动坝,汛期高水位时塌坝行洪,气盾坝行洪流量为 $170.0\text{ m}^3/\text{s}$ 。

根据《水闸设计规范》(SL 265—2016)^[11-12]附录A,由单孔平底闸过流能力计算公式得出,气盾坝设计过流能力 $198.0\text{ m}^3/\text{s}$,设计闸孔宽度满足行洪需求。

(2)消能防冲计算^[13]

工况一:根据气盾坝调度运行原则,上游水位超过气盾坝坝顶高程 0.5 m ,即超过 19.5 m 时,应塌坝排洪,此时下游水位为 16.02 m ;流量取非汛期5年一遇 $22.3\text{ m}^3/\text{s}$ 。

工况二:上游水位超过气盾坝坝顶高程 0.5 m ,即超过 19.5 m 时,考虑气盾坝下游检修或者放空。此时坝下水位较低,此工况水头差最大,流量取非汛期5年一遇 $22.3\text{ m}^3/\text{s}$ 。

根据《水闸设计规范》(SL 265—2016)附录B,堰坝消能防冲经计算,消能工主要参数计算成果如下。

工况一:池深 0.8 m ,长 7.1 m ,底板厚 0.3 m ,海鳗长 15.9 m ,冲刷深度 0.9 m 。

工况二:池深 0.6 m ,长 7.0 m ,底板厚 0.3 m ,海鳗长 15.8 m ,冲刷深度 1.0 m 。

根据工况一和工况二计算并结合相关工程布置,拟定消能工参数如下:气盾坝消力池采用下挖式消力池,池底高程拟定为 14.7 m (池深 0.8 m),消力池 $1:4$ 斜坡段水平投影 5.8 m ,消力池水平段长 8.0 m ,消力池底板厚 0.60 m ;海漫段长 18.0 m ,末端设置 1.5 m 厚抛石防冲槽。

3.4 防渗排水设置

防渗排水布置方案,需结合坝身构造、消能防冲设计及两岸衔接情况,依据坝基地质条件和堰坝上下游水位差等因素综合确定^[14]。

(1)防渗布置

气盾坝上下游水头差最大工况为:上游水位 19.0 m (平坝顶),下游无水;其中下游水位按平消力池底板顶 14.7 m 考虑(检修工况),则最大水头差 4.3 m 。

为验算气盾坝闸基渗流稳定性,依据《水闸设计规范》(SL 265—2016)附录C,采用改进阻力系数法进行渗流计算^[15]。计算参数如下:铺盖长 10 m ,坝身底板长 10 m ,地下轮廓总水平投影 20 m ;上下游最大水头差 4.3 m ;闸基坐落于④重粉质壤土层(厚

4.2 m, $K=4.5\times10^{-5}$ cm/s, $[J]=0.49$), 其下为轻粉质壤土层及黏土层(均视为弱透水/不透水层), 地基有效深度取9 m。

计算时将闸基渗流区划分为进口段、水平段、垂直段及出口段, 计算各段阻力系数并分配水头损失, 经进出口修正后, 得出出口出逸坡降0.405、水平段平均坡降0.121, 均小于重粉质壤土层允许水力坡降0.49, 下层土层渗流坡降更小, 满足规范要求。

计算结论: 本工程气盾坝闸基渗流稳定, 防渗设计符合安全要求。

(2) 止水布置

铺盖段、坝身段和消力池段之间均设永久缝, 并设一道橡胶止水。永久缝缝宽均为2 cm, 嵌缝材料采用聚乙烯闭孔泡沫板。

(3) 排水布置

坝基为单向渗流, 为排水减压, 降低溢流坝下游消力池底板的扬压力, 在消力池水平段底板下设反滤层, 底板上设DN50 mm排水孔、间排距1.5 m, 梅花形

布置。在渗流出口处设置级配良好的排水反滤层, 反滤层由上到下结构为: 中石子厚150 mm, 瓜子片厚150 mm, 中粗砂厚150 mm, 350 g/m²无纺土工布一层。

3.5 坝身稳定复核

(1) 计算工况

选取相对不利工况进行坝身稳定计算, 计算工况组合如下:

工况一(完建工况): 上游无水, 下游无水。

工况二(正常蓄水工况): 上游水位19.30 m(考虑坝顶0.3 m溢流), 下游水位16.02 m。

工况三(设计洪水工况): 上游水位19.73 m, 下游水位19.63 m。

工况四(检修工况): 上游水位19.00 m(考虑上游水位平坝顶), 下游无水。

(2) 堰坝基底应力和抗滑稳定安全系数

根据《水闸设计规范》(SL 265—2016) 7.3.4-2和7.3.6-1, 改建堰坝基底应力和抗滑稳定安全系数计算结果如表2所示。

表2 基底应力、抗滑稳定安全系数计算成果(天然地基)

计算工况	水位/m		基底应力/KPa				不均匀系数		抗滑稳定安全系数 K_s		备注
	坝上	坝下	最大值	最小值	平均值	地基允许承载力	计算值	允许值	计算值	允许值	
工况一	无水	无水	47.60	36.38	41.99	150	1.31	2.0	—	1.35	基本组合
工况二	19.30	16.02	44.01	24.48	34.24		1.80	2.0	1.53	1.35	
工况三	19.73	19.63	32.29	26.42	29.35		1.22	2.0	6.74	1.35	
工况四	19.00	无水	41.11	17.79	29.45		2.31	2.5	1.51	1.20	特殊组合

由表2可知, 各工况抗滑稳定安全系数均满足要求。

4 结 语

(1) 堰坝结构型式的不合理选择, 会对河道防洪安全、蓄水效能及景观功能构成显著制约。结合二十埠河堰坝改建工程实例, 系统分析固定坝改建为气盾坝的设计要点, 技术成果可为同类工程设计提供重要技术参照, 对气盾坝的工程推广与应用具有长远的实践意义。

(2) 工程的实施, 不仅有效解决了原固定式堰坝雍水引发的系列问题, 还推动堰坝从传统单一的蓄水功能发展为集防洪、蓄水、景观等多种功能于一体的综合性工程。

参考文献:

[1] 刘锦堂. 气盾坝技术在提升修竹溪下党乡集镇河段水景观中的应用[J]. 水利科技, 2024(2): 43-44; 48.
[2] 郭攀攀, 焦洁, 裴珺. 气盾坝在得胜河综合治理工程设计中的应用[J]. 水利建设与管理, 2021, 41(2): 17-21.
[3] 李铁, 王福生, 翁明皓, 等. 新型蓄水建筑物在城市生态河道治理

工程中的应用[J]. 水利规划与设计, 2023(9): 128-132.
[4] 陈开宇. 生态潜坝在武夷山“水美城市”工程中的应用[J]. 城市道桥与防洪, 2019(11): 97-99; 106.
[5] 朱楚敏. 液压坝技术在城市河道景观工程中的应用[J]. 治淮, 2018(8): 35-36.
[6] 王志云, 陈佰福, 吴海燕. 现代中小河流常用有坝壅水建筑物型式探讨[J]. 黑龙江水利科技, 2020, 48(8): 110-112.
[7] 刘加龙, 杨杰, 黄润波, 等. 气盾坝在城市河道治理中的应用[J]. 云南水力发电, 2023, 39(12): 175-177.
[8] 侯俊宇, 尚琦智, 朱晨辉. 气袋升降式翻板闸门安装质量控制[J]. 江苏水利, 2023(12): 48-50; 72.
[9] 池丽敏, 胡峥嵘, 苏琴. 气盾坝在长治市黑水河治理工程中的应用[J]. 城市道桥与防洪, 2016(10): 96-97.
[10] 郭连峰, 陈亚军, 汪洁晶, 等. 李庄闸拆建工程总体布置与设计分析[J]. 江苏水利, 2023(9): 42-44.
[11] SL 265—2016 水闸设计规范[S].
[12] 刘红伟, 窦洪国. 平原区水闸闸孔净宽的简化计算[J]. 江西水利科技, 2025, 51(4): 285-289.
[13] 陈汉杰. 花都湖橡胶坝工程消能防冲计算方法分析[J]. 广东水利水电, 2014(10): 4-6; 20.
[14] 陈义浦, 管辉, 章道生. 生态景观堰坝在山区中小河流中的应用及探讨[J]. 水利技术监督, 2025(4): 311-315.
[15] 张祥, 张生太. 拦河堰深厚砂石地基围封防渗设计[J]. 安徽水利水电职业技术学院学报, 2024, 24(3): 18-23.