

小型开敞式溢洪道常见设计问题与改进

张 政

河北省水利水电勘测设计研究院集团有限公司 天津 300202

摘 要: 小型开敞式溢洪道是中小型水库最重要的泄洪设施,其设计质量直接关系到水库度汛安全。本文系统梳理了溢洪道的工程特点与设计依据,从水文水力、结构设计、布置构造及运行管理四个维度深入剖析了常见设计问题。分析表明,设计洪水计算偏差、泄流能力不足、消能工缺陷及结构稳定性欠缺是最为突出的共性问题。据此提出了设计改进对策,并针对已建工程提出了泄流能力提升、消能工改造及结构补强等除险加固技术。研究表明,提升设计质量须从规范选取设计参数、精细开展水力计算、重视结构构造细节、强化全生命周期管理四方面协同发力。

关键词: 小型水库;开敞式溢洪道;水力设计;消能防冲;结构改进

引言: 小型水库量大面广,开敞式溢洪道因结构简单、管理方便、可靠性高,被广泛用作小型水库的泄洪设施,其设计质量直接决定工程度汛安全。然而,当前小型水库溢洪道设计普遍存在重视不足、规范执行不严、设计参数选取随意等问题。近年来极端暴雨事件频发,许多已建溢洪道暴露出泄流能力不足、消能设施损毁、结构开裂等安全隐患,已成为小型水库安全运行的突出短板。本文立足于小型水库工程实际,系统分析开敞式溢洪道的常见设计问题,从设计改进与除险加固两个层面提出对策,以期提升溢洪道设计质量和工程安全水平提供参考。

1 小型开敞式溢洪道概述

1.1 定义与功能定位

开敞式溢洪道是指不设闸门控制,依靠抬高堰顶形成自由溢流,库水位超过堰顶后自动泄洪的泄水建筑物,是小型水库中最常见的泄洪设施。其核心功能是安全可靠地将入库洪水泄放至下游,保障大坝不因洪水漫顶而失事。与有闸控制溢洪道相比,开敞式溢洪道具有结构简单、无需启闭设备、管理维护方便、运行可靠性高等优点,尤其适合管理技术力量薄弱的小型水库。其局限性在于无法主动调节泄量,泄流完全依赖库水位变化自然调节,对设计洪水计算和泄流能力确定的准确性要求极高。作为水库最后一道安全防线,开敞式溢洪道设计必须遵循“泄得畅、消得稳、结构安”的基本原则。

1.2 主要组成部分

开敞式溢洪道由引水渠、控制段、泄槽、消能工及尾水渠五部分组成。引水渠引导库水平顺进入控制段,要求水流平稳、避免回流漩涡。控制段是核心区段,安

装堰体控制泄流量,堰型以宽顶堰最为常见,部分采用实用堰。泄槽连接控制段与消能工,水流处于急流状态,对底板和边墙抗冲耐磨性能要求较高。消能工位于泄槽末端,消减水流余能,常用底流消能(消力池)和挑流消能(挑坎)。尾水渠将消能后水流归入下游河道,防止回水顶托。各组成部分须统筹设计,任何一环缺陷都可能影响整体功能^[1]。

1.3 设计依据与常用规范

小型开敞式溢洪道设计应严格遵循国家和行业标准规范。《溢洪道设计规范》(SL 253)是基本依据,规定了水力计算、结构设计、消能防冲及布置要求。洪水标准方面,小型水库设计洪水重现期一般为20~50年,校核洪水为100~300年。《小型水利水电工程碾压式土石坝设计规范》(SL 189)中坝体与溢洪道结合部位设计要求亦需参照执行。《水工建筑物荷载设计规范》(SL 744)规定了荷载取值方法,《水工混凝土结构设计规范》(SL 191)对结构设计提出要求。设计洪水计算应依据《水利水电工程设计洪水计算规范》(SL 44),结合暴雨洪水查算手册推算。

2 小型开敞式溢洪道常见设计问题分析

2.1 水文与水力设计问题

水文与水力计算是溢洪道设计的首要环节,也是问题最为集中的领域。设计洪水方面,小型水库流域缺乏实测水文资料,多依靠暴雨洪水查算手册推求。因查算方法选用不当、产汇流参数选取随意、暴雨成果偏小等,导致设计洪水显著偏低,使溢洪道实际遭遇洪水远超设计标准,这是汛期出险的根本原因。泄流能力方面,堰流系数选取与实际情况不符,流量系数、侧收缩

系数及淹没系数多凭经验取上限值,造成泄流能力偏高估计;下游水位顶托影响往往被忽视,糙率取值偏小同样导致实际过流能力不足。水面线推算方面,急流缓流判断失误造成水跃位置不当;弯道段超高和超宽考虑不足导致漫槽;掺气水深计算简化,边墙高度预留不够。上述问题叠加,常使溢洪道实际泄洪能力严重不足。

2.2 结构设计问题

结构设计问题直接关系到运行中的结构安全与耐久性。控制段堰体方面,堰顶高程确定不合理最为常见——偏低则压缩库容,偏高则加大堰前水深。堰体抗滑和抗倾覆稳定安全系数不足,尤其软基或斜坡地基上更为突出;排水措施缺失造成扬压力升高;不均匀沉降导致堰体开裂。泄槽方面,底板厚度不足是普遍问题,高速水流冲击下易被掀起破坏;钢筋配置不足加剧风险;分缝止水不当导致渗漏,缝下扬压力增大;边墙高度不足导致漫槽失稳^[2]。消能工方面,消力池深度和长度不足最为常见,水跃未能控制在池内,余能冲刷下游;挑流消能中挑坎参数缺乏充分水力计算,水舌落点距坝脚过近;护坦和防冲槽深度不足加剧下游冲刷破坏。

2.3 布置与构造问题

总体布置和细部构造同样存在诸多问题,溢洪道与坝体空间关系处理不当最为突出,挑流冲刷坑可能危及坝脚和坝肩。进水渠布置不顺直、不对称,导致偏流、回流和漩涡,降低实际泄流能力。弯道段曲率半径过小,产生冲击波和水面横向比降,凹岸侧水深显著升高造成漫槽;底板分缝间距过大导致温度应力和不均匀沉降引发裂缝,止水失效造成基岩冲刷掏空。边墙与底板连接处理不当,产生结构性裂缝。基础处理重视不足,对软弱夹层、断层破碎带认识不够,灌浆设计不符合实际地质条件。进出口与河道连接不顺,造成冲刷或淤积。缺少水位观测和流量监测设施,给运行管理带来不便。

2.4 环境与运行管理相关问题

环境因素和运行管理的影响在设计中常被低估。泥沙淤积方面,入库泥沙在进水渠和消力池内逐年淤积,降低过流断面和消能效果,设计阶段缺乏对冲淤演变的系统分析,未预留淤积容积或制定清淤方案。泄洪雾化方面,高速水流消能产生的雾化雨对下游岸坡和环境影响范围可能超预期,评估往往偏于保守,实际运行中造成岸坡冲刷失稳。抗震设计方面,规范对小型工程规定相对简化,但强震区溢洪道同样面

临严重地震损害风险。运行管理方面,设计阶段对管理设施配置不足——缺乏检修通道和交通设施,未设置水位标尺和流量监测设施。设计文件对运行管理要求过于笼统,未针对具体工程制定操作规程和管理制度,工程效益难以充分发挥。

3 设计改进对策

3.1 水文水力设计优化

水文水力设计优化应从洪水计算方法和水力参数选取两方面入手。洪水计算方面,应合理选用计算方法,优先采用综合单位线法或推理公式法,对暴雨洪水查算图集参数认真复核。资料匮乏地区建议采用多种方法对比分析,合理确定设计洪水成果。应重视近年来极端暴雨频率增大的趋势,条件允许时适当考虑气候变化对设计洪水的影响。水力参数选取方面,宽顶堰流量系数应根据堰型、堰高和上下游水位条件合理选用,不宜一律取上限值;侧收缩系数应依据闸墩和边墩尺寸精确计算;下游水位流量关系应准确建立,避免低估回水顶托影响。泄槽糙率系数应依据衬砌材料和施工质量合理确定。水面线推算应采用能量方程逐段计算,对急流缓流状态准确判断,弯道段超高按规范公式计算并留足裕度。复杂或重要工程应通过水工模型试验验证关键水力参数,确保设计成果可靠性。

3.2 结构设计改进

结构设计改进的核心在于合理确定结构参数、确保稳定安全并重视构造细节。控制段设计方面,堰顶高程应在满足正常蓄水要求的前提下,通过调洪计算综合比选,使设计洪水位和校核洪水位均低于坝顶且留有足够安全超高。堰体断面应满足抗滑和抗倾覆稳定要求,软基上应增设齿墙或加深基础。堰体内部应设置完善排水系统,降低扬压力。泄槽设计方面,底板厚度应根据流速、脉动压力和基础条件综合确定,一般不宜小于30~40cm(有筋混凝土),钢筋配置应满足抗裂和温度应力要求。分缝间距宜控制在10~15m,设置可靠止水。边墙高度应在推算水面线基础上增加足够超高(一般不小于50~80cm),墙后设置完善排水设施。消能工设计方面,消力池深度和长度应通过水跃方程精确计算,确保各种下游水位下均能稳定消能;挑流消能应通过水力计算确定最优挑射参数,验算冲刷坑深度和范围,确保水舌落点距坝脚有足够安全距离。

3.3 总体布置优化

总体布置优化应从选址、轴线确定及细部构造三方面系统考虑。选址应充分利用地形有利条件,优先

选择垭口或鞍部等天然垭口,减少土石方开挖量。轴线布置关键是处理好与坝体空间关系——溢洪道宜布置在坝肩稳定、地形完整的山体一侧,确保挑流冲刷坑不危及坝脚和坝肩。当受地形限制难以满足时,应通过调整挑射角度和距离或设置防护工程确保坝体安全^[3]。进水渠应尽可能顺直、对称,避免偏流和回流。必须设置弯道时,曲率半径不宜小于4~6倍渠宽,凹岸侧设置导流墙或调整边墙高度适应横向水面比降。泄槽纵坡应根据地形地质条件通过技术经济比较确定。断面设计应预留足够过流能力裕度,适应超标准洪水运行。进出口段应与上下游河道平顺连接,设置导流翼墙或护岸工程防止冲刷淤积。应设置必要的水位观测和流量监测设施,交通设施应满足日常巡检和应急抢险需要。

3.4 运行管理改进

运行管理改进应从制度建设、定期检查和维护管理三方面着力。制度建设方面,应制定完善的运行管理规程,明确不同水位条件下的运行要求和应急响应程序,内容包括汛前检查、汛中巡查、汛后检查及特殊工况检查的频次和要求。值班人员应经过专业培训,熟悉结构特征和操作规程。定期检查方面,应建立安全监测体系,重点监测泄槽底板变形、边墙位移、堰体沉降及渗流变化。汛前应对关键部位全面检查,汛中加密巡查频次,大雨暴雨期间安排专人值守。每次检查形成记录,建立健康档案。维护管理方面,应定期清理进水渠和消力池淤积物,保证过流断面和消能效果;对伸缩缝止水、排水孔等易损部位定期维护更换;对混凝土裂缝和剥落及时修补。对于已建病险溢洪道,应根据安全鉴定结论分类制定除险加固方案,优先安排险情严重的工程实施加固。

4 除险加固技术

4.1 泄流能力提升加固技术

泄流能力不足的溢洪道可因地制宜采取多种加固方案。控制段改造是最直接有效的方式——降低堰顶高程增加泄流水头(需复核堰体稳定并重新调算水位),或拓宽溢洪道(需评估开挖可行性)。控制段布置受限时,可增设导水墩或改造堰型提高泄流系数。改造后须与进水渠和泄槽平顺衔接,避免流态恶化。进水渠和泄槽局部卡口段应扩挖疏通,重点排查边坡坍塌、淤积造成的断面缩窄。下游水位顶托严重的,可降低尾水渠底高程或疏浚河道。

4.2 消能工改造技术

消能工改造应根据消能方式、破坏程度和地形条件综合确定。底流消能加固可延长消力池、加深池深及调整尾坎高度,使水跃完全控制在池内,尺寸根据设计洪水重新计算。消力池规模不足且不宜扩建时,可增设消力墩、悬栅等辅助设施增强消能,但需重新验算底板和边墙受力。挑流消能危及坝脚或岸坡安全的,可改建挑坎优化挑射参数,或增设二道坝形成水垫塘。尾水渠冲刷严重的,应延长护坦、加深防冲槽或设置柔性防护。方案应结合下游水位变化、河床地质及施工条件综合比选,优先采用施工简便的方案^[4]。

4.3 结构补强与防渗加固

结构补强针对泄槽底板冲刷和边墙失稳两类问题。底板修复应清除破坏混凝土和松动基岩,固结灌浆后重新浇筑配筋混凝土,厚度不小于30cm,新旧底板间设置锚筋和键槽。仅表面磨损时可浇筑10~15cm耐磨面层。扬压力造成抬动破坏的,应完善排水系统。边墙加固可增加扶壁、对拉锚杆或墙后回填压重——扶壁间距和尺寸根据稳定计算确定,锚杆锚入稳定岩体足够深度,回填压重分层夯实并设排水。防渗加固方面,堰体及基础渗漏采用帷幕灌浆或充填灌浆,软弱夹层采用固结灌浆,裂缝采用化学灌浆封闭。

结束语

小型开敞式溢洪道是保障小型水库度汛安全的关键设施,本文从水文水力、结构设计、布置构造及运行管理四个维度剖析了常见设计问题,并提出了改进对策与除险加固技术。研究表明,提升设计质量须从规范选取设计参数、精细开展水力计算、重视结构构造细节、强化全生命周期管理四方面协同发力。当前小型水库溢洪道安全隐患仍大量存在,建议主管部门加大安全鉴定投入,推动病险设施系统化治理。设计人员应摒弃“重坝体轻泄洪设施”的观念,将溢洪道安全提升至与大坝同等重要的高度,从设计源头保障工程安全。

参考文献

- [1] 张文皎,刘磊,武彩萍,等.开敞式宽大单泄槽溢洪道水力特性及优化布置研究[J].水利水运工程学报,2022(6):25-34.
- [2] 韦应堂,魏凯.槐树关水库开敞式溢洪道设计浅析[J].陕西水利,2021(1):153-155.
- [3] 夏鹏飞,郝红科,韩红亮,等.开敞式变坡溢洪道消能工数值计算分析[J].吉林水利,2023(1):26-30.
- [4] 刘宛贞.某防洪调蓄工程水库溢洪道设计方案[J].河南水利与南水北调,2024,53(7):74-75.