

水利施工中水坝堤防堵口施工技术研究

单雅婷¹ 赵子俊² 吴娟¹

1. 徐州鼎源水务工程有限公司 江苏 徐州 221111

2. 徐州市正源水利建筑工程检测有限公司 江苏 徐州 221116

摘要: 本文针对水坝堤防溃口堵口施工的技术难点与管控要点进行系统阐述。溃口成因主要包括土体渗透破坏、水流冲刷、结构衔接缺陷及极端水力冲击四类。堵口施工以立堵法、平堵法及混合堵口法为核心工艺,分别适用于中小型应急溃口、大宽度稳定流速工况及复杂综合工况。质量控制聚焦水下基底清理、龙口合拢物料管控及闭气防渗三大关键工序。安全管控涵盖陆上与水上机械交叉作业、人员分区防护及水下潜水专项管理,为堵口施工全过程提供系统化技术支持。

关键词: 水利施工; 水坝堤防; 堵口施工; 技术

引言: 水坝堤防溃口是流域防洪体系中最严峻的突发险情,一旦发生将直接威胁下游居民生命财产与基础设施安全。堵口施工作为溃口抢险的决定性环节,需在高流速紊流、水下可视度极低、施工空间受限等多重不利条件下,快速构建密实连续的封堵体并实现有效防渗。当前施工实践中,立堵法、平堵法及混合堵口法各有适用边界,质量控制与安全管控贯穿全过程。本文围绕溃口成因、堵口工艺、质量控制及安全管控四个维度展开系统论述,旨在为一线抢险施工提供技术参考。

1 水坝堤防溃口成因及堵口施工核心难点

1.1 堤防与水坝溃口主要成因

结合现场水利工程病害检测与抢险数据,排除政策及外界管控因素,水坝堤防溃口全部源于构筑物自身结构缺陷和水流外力破坏两大类。(1)土体渗透破坏,堤防及坝体填筑土体压实度不足,土体内部存在孔隙通道,高水位下水体沿着孔隙形成渗流,逐步带走土体细颗粒,形成管涌、流土病害,最终贯穿坝体形成溃口;(2)水流冲刷破坏,河道主流线偏移,高速水流直接淘刷堤防迎水面坡脚、坝体基础,坡脚土体流失后护坡结构悬空坍塌,进而引发上部坝体整体开裂溃口;(3)结构衔接缺陷,水坝与堤防衔接部位、新旧坝体拼接部位施工接缝处理不到位,接缝处防渗性能薄弱,在水压力作用下接缝开裂扩展,最终形成贯通性溃口;(4)极端水力冲击,短时暴雨导致河道水位骤升,超出堤防设计挡水高度,水体漫顶后直接冲刷堤防背水面,快速冲开堤防形成漫溢型溃口^[1]。

1.2 堵口施工现场核心施工难点

(1)水流工况不可控,溃口处水流呈现紊流状态,流速、流向时刻变化,常规土石方填筑物料极易被水流

冲走,难以快速成型封堵体;(2)水下施工可视度极低,溃口基底淤积大量泥沙、乱石,人工无法直接观测基底平整度,基底清理不彻底会导致封堵体不均匀沉降;(3)衔接防渗难度大,封堵体为后期临时/永久填筑结构,与老旧原坝体接触面存在天然缝隙,是渗漏高发区域;(4)施工空间受限,汛期河道周边道路积水、泥泞,大型土石方施工机械、运输船舶进场及作业空间狭小,物料转运效率偏低。

2 水坝堤防主流堵口施工技术及工艺流程

2.1 立堵法堵口施工技术

立堵法是施工现场最常用的应急堵口工艺,核心原理是从溃口两侧堤头同步向中间抛投土石方、钢筋笼石兜、土袋等物料,逐步缩窄溃口过水断面,最后实现龙口合拢,全程无需搭设浮桥、施工栈桥,施工准备周期短,适合突发应急抢险。具体施工流程分为三步:(1)堤头加固处理,溃口两侧原有堤头土体受水流冲刷已经松动,施工前先采用厚土工布包裹土袋堆砌加固堤头,防止缩口过程中堤头二次坍塌;(2)双向进占施工,选用自卸汽车直接在堤头前沿抛投大块石、钢筋笼,大块石起到抗冲稳定作用,后方跟进抛投土方、编织袋土料,逐步向龙口推进;(3)龙口合拢,当溃口剩余宽度缩小至3-5m龙口段时,集中一次性抛投大块石组合物料,快速阻断主水流,完成初步堵口。该工艺优势为施工速度快、设备要求低,缺点是龙口段水流流速会急剧增大,对抛投物料抗冲性要求高,适合水深小于3m、溃口宽度20m以内的中小型溃口。

2.2 平堵法堵口施工技术

平堵法核心原理为提前沿着溃口纵向搭设施工浮桥或栈桥,施工人员与运输设备在桥上均匀分层横向抛投

填筑物料,从溃口底部自下而上逐层抬高封堵体,直至封堵体高出水面,彻底阻断水流。该工艺不会改变溃口过水断面,全程水流流速保持稳定,对周边原有坝体结构冲击极小。施工流程:(1)测量放线,精准测量溃口水深、宽度、水流流速,确定栈桥搭设长度与高度;(2)装配式栈桥搭设,采用钢制标准构件搭建水上施工栈桥,保证栈桥整体抗水流冲击稳定性;(3)分层均匀抛填,按照下层大块石、中层碎石反滤层、上层防渗土方的分层结构,横向均匀抛投物料,每层填筑厚度控制在80cm以内;(4)整体加高成型,持续分层填筑直至封堵体超出最高洪水位0.8m以上。该工艺适合水深大于4m、水流流速平稳、溃口宽度较大的工况,缺点是栈桥搭设周期长,应急抢险时效性不足,多用于非紧急窗口期的计划性堵口修复施工^[2]。

2.3 混合堵口法堵口施工技术

混合堵口法综合立堵法与平堵法的技术优势,是当前应对宽幅、大流速溃口工况的最优施工方案。(1)该工艺前期采用立堵法从溃口两侧同步快速进占,有效缩窄溃口宽度,大幅降低整体过水流量与龙口段流速。待龙口缩窄至可控范围后,在剩余龙口段搭设轻型浮式栈桥作为作业平台,转用平堵法进行竖向分层抛填,逐层推进直至龙口完全合拢,兼顾施工进度与合拢稳定性。

(2)实操要点方面,前期须严格控制两侧堤头立堵进占节奏,当龙口宽度缩窄至适宜合拢范围时立即停止横向进占,防止龙口流速急剧增大导致合拢失败。龙口区域须搭设轻型浮式栈桥,利用栈桥平台进行分层竖向抛填作业,避免直接立堵合拢时高速水流对封堵体产生强烈冲刷破坏。龙口合拢完成后,须同步对两侧立堵段与平堵龙口段进行整体坡面修整,严格消除两段封堵体衔接部位的缝隙与高差,确保封堵体整体密实连续。该工艺适配绝大多数复杂溃口工况,但现场施工组织难度较大,须实现水上机械与陆上机械协同配合作业,对施工调度与现场管控能力要求较高。

3 堵口施工全过程关键质量控制要点

3.1 溃口水下基底清理质量控制

溃口水下基底清理是堵口施工质量控制的首要工序。基底淤积泥沙与松散土体是导致封堵体不均匀沉降及底部绕渗通道形成的核心原因。由于水下可视度极低,无法依靠目视判断清理效果,须采用多波束水下地形探测仪配合声呐设备进行基底地形扫描,精准确定淤泥层厚度与基底起伏状况。施工时先使用长臂挖掘机伸入溃口区域,配合水下清淤泵对底部软弱淤泥层进行机械清除,须彻底清除至露出原状密实土层或完整岩石基

面,清除范围覆盖溃口全断面并向两侧各延伸不少于3m。清淤完成后,在基底铺设一层厚度不小于50cm的大块石垫层,块石粒径控制在30~50cm,用于找平基底高差并分散上部封堵体荷载。严禁在未清除淤泥层的基底上直接抛投土方,否则封堵体将因基底承载力不足发生整体下沉开裂,导致堵口工程失效^[3]。

3.2 龙口合拢施工质量控制

龙口是堵口工程最薄弱的部位,合拢阶段需严格管控抛投物料规格和抛投顺序。首先,龙口段优先选用单块重量大于80kg的大块石、钢筋石笼作为抗冲骨架,禁止直接抛投素土、细砂等易被水流冲走的细颗粒物料;其次,合拢施工需选择河道水位相对平稳、水流流速最低的窗口期集中施工,杜绝分段间断抛投;最后,合拢后立即对龙口上下游坡面进行补抛加固,降低水流对龙口坡面的淘刷作用,防止龙口再次开口。

3.3 封堵体闭气防渗施工质量控制

水流阻断后,封堵体内部及衔接缝隙依然存在渗水通道,闭气防渗是杜绝二次险情的关键工序。首先采用水下土工膜铺设工艺,在封堵体迎水面整体铺设复合土工膜,土工膜搭接宽度不小于1m,底部延伸至原状土层以下1.5m,阻断底部绕渗通道;其次在土工膜外侧堆砌土袋压重,防止土工膜被水流掀起;最后在封堵体背水面设置排水反滤体,排出封堵体内部渗水,避免水压力撑裂封堵结构,全程不添加化学防渗材料,贴合水利常规施工物料要求。

4 水坝堤防堵口施工现场安全施工管控措施

4.1 陆上及水上施工机械安全管控

堵口施工现场涉及自卸运输车、长臂挖掘机、水上运输船舶、栈桥起重设备等多类型机械交叉作业,机械安全管控是现场安全管理的首要环节。所有机械设备进场前须完成全面检修与性能检测,重点检查船舶锚定系统是否可靠、挖掘机液压系统是否存在泄漏、起重设备钢丝绳是否存在断丝与磨损超标等关键部位,确认设备状态达标后方可投入作业。(1)陆上作业区域须在堤头设置安全警示线,严格限制机械靠近堤头边缘作业,保留足够安全距离,防止因堤头土体松动坍塌导致机械倾覆事故。堤头区域土体含水率高、承载力低,重型机械反复碾压极易引发局部塌陷,须安排专人实时监测堤头稳定性,发现异常立即撤离机械与人员。(2)水上作业区域须统一划定船舶航行路线与作业范围,严禁船舶在溃口紊流区域停留或低速徘徊,避免船舶受紊流冲击失控后撞击已施工封堵体,造成封堵结构局部损毁。同时须配备水上救生设备与专职安全监护人员,全程保障水

上作业安全可控^[4]。

4.2 现场作业人员安全防护管控

堵口施工现场环境复杂,水上与堤头作业风险并存,须严格落实现场作业人员安全防护管控措施,从个人防护、区域管控、气象预警三个层面保障人员安全。

(1)个人防护方面,所有参与水上及堤头作业的人员必须全程穿戴符合标准的救生衣与防滑劳保鞋,严禁赤足或穿着非防滑鞋进入作业区域。高空栈桥作业人员须额外配备安全绳并与固定锚点可靠连接,栈桥平台须设置防护栏杆与防滑铺板,防止人员坠落或滑倒事故。(2)区域管控方面,须在现场明确划分陆上作业区、水上作业区与龙口危险区,设置醒目隔离标识与安全围挡。龙口危险区为溃口合拢核心区域,水流紊乱、流速极高,非施工人员严禁进入。各区域须安排专职安全员值守,严格控制人员进出,杜绝无关人员误入危险区域。(3)气象预警方面,须在现场配备风速仪与流速监测设备,实时掌握河道风速与水流流速变化。当河道瞬时流速超过规定限值或风力达到规定等级时,须立即停止所有水上及堤头露天作业,组织全部人员有序撤离至预设安全区域,待气象条件恢复安全范围后方可恢复作业。

4.3 水下隐蔽施工安全管控

堵口施工中涉及水下清淤、水下土工膜铺设等潜水作业,水下环境不可视、水流紊乱,安全风险极高,须实行专项安全管控。(1)潜水作业须严格执行双人潜水监护制度,每次下水作业须配备一名潜水员与一名水面监护员,监护员全程不得脱离岗位,实时掌握水下作业人员状态。单次潜水作业时间须严格控制在规定时长以内,超时须强制出水休息,避免潜水员因长时间水下作业导致减压病或体力透支。潜水设备须在每次下水前完成气密性检测与通讯系统调试,确保水下通讯畅通、供气稳定。(2)施工前须提前检测水下水流紊流分布情况,明确标识水下漩涡区域与高速水流带,潜水施工

须避开上述危险区域开展,严禁在紊流集中区域强行作业。潜水员须系挂导向绳与安全绳,确保在突发水流冲击时可沿导向绳快速撤离。(3)水上须配备应急救援船舶与专业救援设备,安排专职救援人员全程待命,一旦发生水下人员被困、水流冲击失控等突发状况,须立即启动应急救援预案,第一时间实施水下人员打捞与转移,最大限度降低水下作业安全事故损失^[5]。

结束语

水坝堤防堵口施工是水利工程抢险中技术难度最高、风险最为集中的核心环节。本文系统梳理了溃口成因、三种主流堵口工艺及全过程质量与安全管控要点,明确了立堵法重时效、平堵法重稳定、混合堵法重协同的技术选型逻辑。实际工程中,堵口方案须严格匹配溃口宽度、水深、流速等水文条件,任何环节的质量失控均可能导致二次溃决。未来应进一步推广水下探测与智能化调度技术,提升复杂工况下堵口施工的精准性与时效性,切实保障堤防工程安全运行。

参考文献

- [1]刘进关,张姝.水利施工中水坝堤防堵口施工技术研究[J].工程技术研究,2025,10(18):68-70.
- [2]赵芳芳.水利施工中水坝堤防堵口施工技术研究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(7):172-175.
- [3]杨中平.水利施工中水坝堤防堵口施工技术分析[J].全面腐蚀控制,2025,39(8):98-100.
- [4]杨希圣.水利施工中水坝堤防堵口施工技术应用与优化分析[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(9):073-076.
- [5]陶超,顾心莲.水利施工中水坝堤防堵口施工技术应用探究[J].中文科技期刊数据库(引文版)工程技术,2025(3):142-145.