

探讨水利工程施工中围堰设计与安全管理

孙 瑞

枣庄市薛城区城乡水务局 山东 枣庄 277000

摘 要：本文针对水利工程围堰全过程安全管理需求，系统分析了土石围堰、钢板桩围堰、混凝土围堰及套箱围堰四类常用围堰的适用工况与结构特点，明确了前期勘测、结构稳定性及防渗防冲刷三项核心设计要点。在此基础上，重点剖析了堰体渗漏与管涌、水流冲刷与堰体失稳、水位超限漫堰溃堰及后期拆除施工四类主要安全风险的成因与危害机制，并从源头质量把控、实时在线监测预警、现场运维与拆除标准化管理三个层面提出全过程安全管控措施，为水利工程围堰安全运行提供系统性技术参考。

关键词：水利工程；围堰设计；结构稳定性；施工风险；安全管理；现场监测

引言：围堰是水利工程施工中不可或缺的临时性挡水结构，承担基坑干地施工的核心保障功能。受水文条件复杂、地质条件多变、施工工期紧张等多重因素制约，围堰在设计选型、施工建设、运行维护及后期拆除各阶段均面临严峻安全挑战。渗漏管涌、水流冲刷、漫堰溃堰及拆除失稳等病害频发，一旦处置不当将直接危及基坑内人员设备安全，造成重大经济损失。本文围绕水利工程围堰全过程安全管理，系统分析常用围堰类型适用工况、核心设计要点及各阶段主要安全风险，并提出针对性管理措施，旨在为工程实践提供系统性安全管控参考。

1 水利工程常用围堰类型及适用工况

结合河道水流速度、水深、河床地质、施工场地空间、工程造价及拆除难度等现场条件，当前水利施工现场主流围堰分为四大类，不同围堰结构受力特点、施工难度、适用场景差异明显，前期合理选型是保障围堰基础安全的前提。

1.1 土石围堰

土石围堰以当地土石方为主要填筑材料，结构由防渗心墙、上下游堆土边坡、护面结构组成，具备取材便捷、整体刚度大、抗水流冲击能力强、施工工艺简单的优势，是低流速、大水深、软土地基河道最常用的围堰形式。该围堰缺点为占地面积大、拆除工程量大，不适用于河道狭窄、行洪要求高的施工河段，多用于水库扩建、大型河道基坑开挖工程。

1.2 钢板桩围堰

钢板桩围堰采用锁口钢板桩连续插打形成封闭式挡水墙体，搭配内支撑结构维持整体稳定性，施工速度快、占地空间小、防渗效果优异，且可重复周转使用。该类型围堰适合中浅水、中等流速工况，普遍应用于河

道桥墩基础、小型水闸基坑施工；但钢板桩抗侧向土压力能力有限，深基坑、高水位工况下易出现桩体变形、锁口渗漏问题^[1]。

1.3 混凝土围堰

混凝土围堰分为常态混凝土围堰与碾压混凝土围堰，结构整体性强、抗冲刷性能极佳、防渗性能突出，可承受高水位、高流速水流冲击，多用于汛期水位涨幅大、河道行洪压力高的核心施工断面。缺点是施工成本高、施工周期长、后期拆除难度大，一般用于大型水利枢纽主体工程关键挡水断面。

1.4 套箱围堰

套箱围堰为预制钢结构整体箱体，现场直接吊装下沉就位，无需大规模水下填筑作业，水下施工工作量小，精准度高，仅适用于浅水、无明显漂浮杂物、河床平整的狭小基坑施工场景，多用于小型河道水下承台施工，适用范围相对局限。

2 水利工程围堰核心设计要点

2.1 前期现场基础数据勘测设计

围堰设计前期须完成全方位原位勘测，摒弃依赖经验的粗放式设计模式，以实测数据作为设计决策的核心依据。（1）水文数据勘测方面，需精准采集施工期日常水位、汛期最高水位、河道最大流速、波浪高度及漂浮物冲击荷载等动态参数。围堰堰顶高程须高于汛期最高水位叠加波浪爬高及安全超高值，确保极端工况下不发生漫堰事故。（2）河床地质勘测方面，需详细检测河床土层分布、地基承载力、渗透系数及软弱夹层位置。针对软土、流沙等不良地层，须提前制定地基加固方案，防止围堰基础因地层差异产生不均匀沉降，引发堰体结构失稳。（3）河道空间勘测方面，须明确原有行洪断面宽度与形态，合理规划围堰布设位置，保证施工后不过

度压缩河道过水断面,避免局部流速急剧增大而加剧对堰体迎水面的冲刷破坏^[2]。

2.2 围堰结构稳定性设计

围堰结构稳定性设计涵盖抗滑移稳定性、抗倾覆稳定性及整体地基承载力三部分计算,需根据围堰类型分别进行针对性设计。(1)针对土石围堰,重点优化上下游边坡坡率,根据水流冲击荷载适当放缓迎水侧边坡,降低水流剪切力作用下边坡滑移的风险,同时确保背水面边坡满足土体自然休止角要求。针对钢板桩围堰,须精准计算不同水位工况下的侧向水压力分布,合理布设横向与竖向内支撑体系,严格控制支撑间距与钢材规格,防止钢板桩在水压作用下产生弯曲变形或失稳。针对混凝土围堰,须优化堰体截面尺寸与配筋方案,合理平衡迎水面水压力与背水面基坑土压力,确保堰体在双向荷载作用下的结构安全。(2)所有围堰结构均须开展极端水位工况下的极限受力验算,验证非正常工况下结构整体不发生失稳破坏,为围堰安全运行提供充分保障。

2.3 围堰防渗与防冲刷专项设计

渗漏与水流冲刷是围堰运行中最常见的两类结构性病害,需在设计阶段针对性开展防渗与防冲专项设计,从根本上降低病害发生概率。(1)防渗设计方面,土石围堰须增设土工膜防渗层或黏土心墙,阻断堰体侧向渗漏及底部绕渗通道。钢板桩围堰须逐段检查锁口密封性能,对水下接缝位置增设止水棉条或止水带,防止接缝处因水压作用产生渗流。混凝土围堰须优化施工缝与变形缝的止水构造,确保堰体整体防渗性能满足要求。(2)防冲刷设计方面,围堰迎水坡面需铺设块石、铅丝石笼或混凝土预制块等防护层,针对河道主流线直接冲击的断面适当加厚防护结构厚度。同时在围堰上游侧设置简易消能设施,有效削弱高速水流对堰脚区域的淘刷作用,防止堰脚基础被水流持续掏空而引发围堰整体垮塌失稳。

3 围堰施工及运行阶段主要安全风险分析

3.1 堰体渗漏与管涌风险

堰体渗漏与管涌是围堰施工及运行阶段最具隐蔽性与突发性的安全风险。该风险主要源于设计防渗层厚度不足、施工填筑压实度不达标、河床底部杂物未彻底清理等问题。水流通过堰体缝隙及河床软弱夹层形成渗流通道,初期表现为围堰背水面出现轻微渗水现象。随着渗流持续作用,水流逐步带走土体细颗粒,渗流通道不断扩大,病害由初期渗水逐步发展为管涌、流土等渗透破坏形式。该类病害对围堰地基稳定性的破坏速度极快,短时间内即可造成围堰局部塌陷甚至整体失稳,是围堰运行

期间隐蔽性最强、发展速度最快的安全隐患^[3]。

3.2 水流冲刷与堰体失稳风险

水流冲刷与堰体失稳是围堰运行阶段最为突出的结构性安全风险。河道汛期水流流速大幅提升,加之围堰布设压缩河道原有过水断面,局部水流紊动效应加剧,对围堰迎水坡脚与堰体底部产生持续淘刷作用。若前期防冲刷设计标准不足或现场防护层出现破损,水流将持续侵蚀坡脚区域,导致坡脚土体被掏空,进而引发边坡开裂、堰体整体滑移等连锁破坏。同时在基坑抽水运行过程中,围堰内外水位差持续增大,侧向水压荷载骤增,堰体所受水平推力显著上升,极易突破抗滑移与抗倾覆稳定极限,引发围堰整体倾覆或滑移事故^[4]。

3.3 水位超限漫堰溃堰风险

水位超限漫堰溃堰是围堰运行期间后果最为严重的突发安全风险。施工现场突发暴雨或上游来水量骤增时,河道水位会在短时间内快速上涨,若前期设计安全超高预留不足,或现场未及时启动水位应急调控措施,河水将漫过堰顶形成漫堰。漫堰水流直接冲刷围堰背水侧边坡,对堰体填筑土体产生强烈剥离作用,堰体结构在短时间内遭受严重破坏,进而发展为整体溃口。溃堰后洪水将迅速淹没基坑区域,摧毁基坑内全部施工设备与临时设施,同时严重威胁基坑内作业人员的逃生安全,是围堰施工阶段须重点防范的极端工况风险。

3.4 后期拆除施工安全风险

围堰拆除阶段是施工全周期中安全风险最为集中的环节,现场普遍存在盲目施工问题。多数施工现场未遵循分层、分段、对称均衡的拆除原则,直接采用一次性爆破或整体开挖方式拆除堰体结构,导致围堰内外水位瞬间失衡,残余堰体在侧向水压突变作用下发生坍塌,极易引发基坑涌水事故。同时,水下拆除作业受水体能见度与水流条件限制,施工人员视线严重受限,水下构件在拆除过程中易出现突发位移或滑落,直接威胁水下潜水作业人员的人身安全。此外,拆除阶段若未提前排空基坑积水或未合理控制围堰内外水位差,堰体结构在不平衡荷载作用下极易发生整体失稳,须作为拆除施工的重点管控环节。

4 水利工程围堰全过程安全管理措施

4.1 源头把控设计与施工质量,消除先天安全隐患

围堰全过程安全管理须从源头入手,通过严格把控设计质量与施工工艺,系统性消除先天性结构安全隐患。(1)须建立设计图纸复核机制,安排现场技术人员与设计人员联合会审图纸,结合现场实测水文、地质数据逐一复核围堰堰顶高程、上下游边坡坡率、防渗结构

形式及支撑体系参数,及时修正图纸与现场实际不符的设计内容,从设计阶段杜绝结构性缺陷。(2)须严控现场施工工艺。土石围堰须严格执行分层填筑、分层压实作业,逐层检测填筑土体压实度,杜绝厚层虚铺问题。钢板桩围堰须保证锁口完全咬合,逐根检查桩体垂直度与锁口密封状态,杜绝错缝、漏打等施工缺陷。混凝土围堰须严格控制浇筑振捣质量与养护周期,确保结构强度满足设计要求。(3)须做好隐蔽工程验收。围堰地基清理、底部防渗层铺设、堰脚防护结构施工等隐蔽工序,必须在覆盖前逐一开展验收检查,确认合格后方可进入下一道施工工序,从源头规避结构性安全隐患^[5]。

4.2 搭建实时在线监测体系,实现风险动态预警

围堰运行期间须搭建实时在线监测体系,在围堰全域布设自动化监测设备,实现全天候无人值守连续监测,对围堰结构状态与水文工况进行动态跟踪,保障风险可控可预判。(1)水位监测方面,须实时采集围堰上下游水位差值及水位变化趋势,持续预判水压荷载的动态变化,为防漫堰决策提供实时依据。形变监测方面,在堰体上下游坡面布设位移监测点,实时监测水平位移与竖向沉降数据,一旦位移速率超出预警阈值须立即停工排查。渗流监测方面,在背水面及堰脚区域布设渗压计,持续监测渗流量与渗水压力变化,提前预判管涌等渗透破坏隐患。坡面裂缝监测方面,采取人工每日巡检与自动化裂缝监测设备相结合的方式,及时发现堰体表层细微裂缝并跟踪其发展趋势。(2)须划定三级预警标准,根据监测数据变化趋势分别执行现场巡查加固、降低基坑运行水位、人员设备紧急撤离三种分级管控动作,确保围堰运行风险始终处于可控状态。

4.3 落实现场运维与拆除标准化管理

围堰现场运维与拆除须严格执行标准化管理流程,全面覆盖日常运维、汛期专项防护及拆除施工三个阶段,确保各环节操作规范可控,杜绝盲目施工与违规作业。(1)日常运维阶段,须安排专人每日巡查围堰上下游坡面、堰脚及防渗接缝位置,及时修补破损的防冲护面结构,清理上游河道漂杂物,防止杂物撞击堰体造成局部结构损伤。同时须定期调控基坑内积水,合理控

制围堰内外水位差,减小侧向水压负荷对堰体结构的持续作用,避免因长期偏压导致堰体变形。(2)汛期专项防护阶段,须提前备足块石、沙袋、土工布等应急抢险物资,做好堰顶临时加高与坡面加固准备工作,确保突发高水位工况下围堰结构具备足够的安全余量。同时须加密监测频次,实时掌握水位变化趋势,为应急处置决策提供依据。(3)拆除施工阶段,须严格执行分层分段、对称均衡拆除工艺。先缓慢排空基坑积水,平衡围堰内外水位后,再自上而下逐层拆除堰体结构,严禁底部掏挖或一次性整体爆破拆除。水下拆除作业须提前排查水流流速,划定水下作业安全区域,安排水面监护人员全程值守,确保拆除全过程安全可控。

结束语

水利工程围堰作为临时挡水结构,贯穿施工全周期,其安全管理直接关系基坑施工安全与工程整体进度。本文从围堰类型选型、核心设计要点、施工运行阶段安全风险及全过程管理措施四个维度进行了系统梳理。实践表明,围堰安全事故多源于设计缺陷、施工偷工减料及运维管理缺位,须将安全管控关口前移至设计与施工源头,同时依托实时在线监测体系实现风险动态预警,严格执行拆除标准化流程。只有构建覆盖设计、施工、运行、拆除全生命周期的闭环管理体系,才能有效防范渗漏、管涌、冲刷、漫堰及拆除失稳等各类安全风险,保障水利工程围堰安全可控。

参考文献

- [1]孙维全.水利工程施工与维修养护中的安全管理策略[J].水上安全,2025(3):1-3.
- [2]孙户喜.农村水利工程施工管理中安全和质量控制策略研究[J].水上安全,2025(14):139-141.
- [3]王明时.水利工程施工中的质量控制与安全管理研究[J].水上安全,2025(3):83-85.
- [4]颜田田,李春波,颜峰.水利工程施工中消防风险防控与安全管理优化研究[J].消防界(电子版),2025,11(19):4-6.
- [5]刘跟路.水利工程施工中质量控制与安全管理研究[J].水上安全,2025(21):176-178.