

河道下穿涵洞土建结构加固改造施工探析

王 刚

长江水利水电开发集团（湖北）有限公司 湖北 武汉 430015

摘 要：河道下穿涵洞长期受水流冲刷、环境温差与运营荷载影响，易出现裂缝、渗漏、结构变形等病害，严重降低结构安全性与河道行洪能力。本文系统梳理涵洞典型病害类型及成因，针对性阐述表面修补、内衬加固、压力灌浆、型钢加固等核心施工工艺，结合河道特殊工况优化施工方案，明确工艺选型原则。同时从质量管控、安全环保、验收运维多维度制定保障措施，可为同类涵洞加固改造工程提供参考。

关键词：河道下穿涵洞；土建结构；加固改造施工

引言：河道下穿涵洞是水利防洪、水系连通的核心土建构筑物，长期服役过程中受自然环境、施工质量及后期运营等多重因素影响，结构老化破损问题频发。各类病害持续发展不仅削弱涵洞承载稳定性，还会压缩行洪断面、加剧洪涝风险，制约水利工程安全长效运行。为有效解决涵洞结构病害问题，提升工程服役性能，本文结合工程实际，深入探究涵洞加固改造关键施工技术，规范施工与管控流程，助力提升河道涵洞运维质量。

1 河道下穿涵洞土建结构常见病害及成因分析

1.1 涵洞结构典型病害类型

（1）结构裂缝病害：主要表现为顶板、侧墙及底板的结构性裂缝与非结构性裂缝。结构性裂缝由荷载引起，多为贯穿性裂缝，危及结构安全；非结构性裂缝主要由温度变化、收缩徐变等因素导致，表面呈龟裂形态；地基不均匀沉降可引发沉降裂缝，贯穿涵身关键部位。（2）渗漏冲刷病害：涵洞墙体与施工缝、变形缝处常出现渗水、漏水现象；高速水流长期冲刷作用导致底板表面剥蚀、粗骨料外露，严重时引发涵底土体掏空，形成空洞，威胁基础稳定。（3）结构变形破损：包括涵身整体沉降、侧墙倾斜外移、顶板下挠变形、节段间接口错位；伴随局部混凝土保护层剥落，内部钢筋锈蚀膨胀、外露断损，结构截面有效面积减小。

1.2 病害产生核心成因

（1）自然环境因素：河道水流冲刷与水位涨落造成干湿循环，使结构表面劣化；季节性温差变化引发材料热胀冷缩；河床冲淤及岸坡土体蠕变产生不均匀沉降，持续挤压涵身。（2）工程自身因素：施工中混凝土配合比控制不严、振捣不密实，强度未达设计要求；钢筋保护层厚度不足，加速锈蚀进程；防水卷材搭接与止水带安装质量缺陷，防渗体系失效。（3）后期运营因素：长期超设计荷载运行加剧结构疲劳；日常巡检维护缺位，

小病害未能及时修复；周边基坑开挖、打桩等施工扰动改变地基应力场；河道淤积缩窄过水断面，流速增大加剧冲刷磨蚀^[1]。

1.3 病害对涵洞运行的危害分析

（1）结构安全性危害：各类病害持续扩展削弱涵洞整体承载能力，当裂缝宽度超限、钢筋锈蚀截面损失达到一定程度时，易引发顶板断裂、侧墙失稳乃至整体坍塌事故。（2）防洪行洪危害：渗漏导致涵洞内外水压力失衡，严重时引发倒灌；结构变形缩小过流断面，增加阻水效应，降低河道行洪能力，汛期易致上游壅水漫溢，加剧区域洪涝风险。（3）耐久性危害：氯离子及有害介质通过裂缝、渗水通道侵入，加速钢筋电化学锈蚀，锈胀力进一步导致混凝土开裂剥落；结构老化速率加快，设计服役年限被大幅压缩，后期需投入高昂的维修加固费用，全生命周期成本显著上升。

2 河道下穿涵洞土建结构加固改造核心施工技术

2.1 加固改造施工前期准备工作

（1）现场勘察检测：系统开展涵身结构现状检测，综合运用回弹法、钻芯取样、钢筋扫描仪等手段，测定混凝土强度、碳化深度及钢筋分布状况；同步开展河道水文监测，掌握常水位、汛期水位及流速变化规律；实施周边地质补充勘察，查明地基土层分布及地下水赋存条件。通过多维数据整合，精准定位病害分布范围、判定结构受损等级，为后续加固设计提供可靠依据。（2）施工方案编制：依据勘察检测成果与病害特征，结合涵洞实际工况条件，综合比选适配的加固工艺组合。编制内容应涵盖施工总体部署、分项工艺流程、质量控制标准、进度计划安排等核心要素；同步编制专项安全施工方案，明确高处作业、临水施工、临时用电等危险源管控措施；制定突发事件应急预案，涵盖汛期洪水突涨、围堰渗漏溃决、结构失稳坍塌等典型风险场景下的应急

响应程序与处置措施^[2]。(3)物资设备与人员准备:依据加固方案,提前采购检验加固混凝土、灌浆料、环氧树脂修复材料、型钢构件、防水卷材、止水带等原材料,所有材料进场前须完成性能复验,确保质量达标;调试高压灌浆机、混凝土喷射机、切割设备、起重吊装机械等施工机具,保证设备状态良好运转正常;组织施工人员开展专项技术交底,明确各工序操作要点与质量验收标准,同时开展安全教育培训,强化全员安全意识与应急处置能力。

2.2 主流结构加固施工工艺

(1)混凝土表面修补加固工艺:适用于表层破损、蜂窝麻面及龟裂区域的修复处理。施工流程包括基层清理(采用高压水射流或人工凿除松动层)、缺陷修补(采用环氧砂浆或聚合物水泥砂浆填补)、面层找平及防渗保护层施工(涂刷水泥基渗透结晶型防水涂料或聚合物改性防水砂浆),恢复结构表层完整性并提升抗渗性能。(2)内衬加固施工工艺:针对结构承载力严重不足的涵段,采用钢筋混凝土内衬工艺,即在原涵内绑扎钢筋网、支设模板后浇筑高性能混凝土,形成复合受力结构,显著提升整体刚度与承载能力;对于以防渗为主、兼做保护层的工况,可采用HDPE内衬管或内衬板工艺,利用其耐腐蚀、低摩擦系数特性,兼具结构防护与减阻增效功能。(3)灌浆加固施工工艺:针对结构裂缝与涵底土体空隙,采用压力灌浆技术。结构裂缝灌浆选用环氧树脂类化学浆材,通过低压慢注方式填充微细裂缝,恢复截面整体性;涵底土体加固选用水泥基浆液或水泥—水玻璃双液浆,采用劈裂注浆或渗透注浆工艺填充土体孔隙,提高地基承载力,从源头遏制不均匀沉降发展。(4)型钢加固施工工艺:对于顶板正弯矩区承载力不足、侧墙侧向变形超限等工况,在涵内增设型钢支架或钢支撑体系,通过化学锚栓或植筋方式与原结构可靠连接,形成钢—混凝土组合受力体系,有效增强结构刚度与抗变形能力,适用于施工空间受限、需快速提升承载力的加固场景^[3]。

2.3 河道特殊工况专项施工技术

(1)控水排水施工技术:涵洞加固需在干地环境下作业,施工前于涵洞上下游修筑围堰截流,结合大功率水泵不间断抽排涵内积水;对无法完全截断水流的大断面涵洞,采用导流明渠或导流管分流措施,确保施工区域保持无水作业条件。施工期间须设专人监测围堰渗漏及河道水位变化,确保施工安全。(2)新旧结构衔接施工技术:加固层与原结构能否协同受力直接决定加固成效。施工中须对原混凝土结合面进行凿毛处理、清除

浮浆,涂刷界面剂或植筋胶;新设钢筋与原有主筋通过焊接或机械连接实现可靠传力;施工缝、变形缝部位增设中埋式或背贴式止水带,配合密封胶嵌缝,构建连续完整的防渗体系^[4]。(3)不停工导流施工技术:对于行洪排涝功能无法中断的河道涵洞,采用分区分段导流施工方案。将涵洞沿纵向划分为若干施工段,各段之间设置临时挡水隔墙,已完成加固段恢复通水后再进行相邻段围堰施工,循环推进。该工艺对施工组织协调要求较高,但可保障河道基本行洪功能不受影响。

2.4 加固施工技术对比与选型原则

(1)各类工艺优缺点对比:表面修补工艺施工便捷、造价低廉,适用于浅层缺陷处理,但对结构性病害治理能力有限;内衬加固工艺结构整体性强、耐久性好,但占用涵内空间大,且对原涵净空有影响;灌浆工艺可深层加固且施工空间要求小,但质量控制难度大,效果依赖于地质条件和浆液配比;型钢加固工艺施工速度快、承载力提升显著,但钢材易锈蚀且节点连接复杂。各工艺在不同工况下具有差异化的适用性,需结合工程实际综合权衡。(2)施工选型核心原则:加固方案的择优应遵循以下原则——一是针对性原则,根据病害类型及其严重程度选择主攻方向;二是适配性原则,充分考量水文地质条件、涵洞净空限界、施工可达性等因素;三是经济性原则,在满足安全和使用功能前提下控制工程造价;四是工期适配原则,结合河道防汛窗口期合理安排工期。通常需采用多种工艺组合应用,以发挥各类技术协同优势,实现综合加固效益最大化。

3 加固改造施工质量控制、安全管理与工程验收

3.1 施工全过程质量控制措施

(1)原材料质量管控:建立严格材料进场检验制度。加固用混凝土须检测抗压抗渗等级;灌浆料须检验流动性、凝结时间及结石体强度;钢材须核验质保资料并抽样复验力学性能;防水卷材与止水带须检测耐水压及拉伸性能。所有材料须监理见证取样复验合格后方可使用,从源头杜绝不合格材料进入现场。(2)施工工序质量管控:严格执行班组自检、工序互检、质检员专检三检制度,上道工序验收不合格不得转入下道工序。重点把控基面处理洁净度与粗糙度、灌浆压力与注浆量、混凝土浇筑振捣密实度、内衬模板安装精度及养护温湿度条件,确保各工序质量始终处于受控状态。灌浆结束须核查吸浆量及屏浆效果,浇筑完成后及时覆盖保湿养护。(3)成品保护质量管控:加固完成后对成品实施系统保护。新浇混凝土及修补面层在未达设计强度前设置围挡防护,严禁碰撞与荷载作用;防渗涂层施工后铺设

保护层,防止后续作业刮擦破坏;型钢构件做好防锈涂装。安排专人巡查,发现损伤及时按原工艺修复,确保加固效果完整持久。

3.2 施工现场安全与环保管理

(1)施工安全管控:涵洞加固有限空间作业须执行审批制度,施工前检测有害气体浓度及含氧量,强制通风合格后方可作业。基坑及围堰按设计放坡支护,每日巡查稳定性;临水作业人员穿戴救生衣、系安全绳,临边设置牢固防护栏杆;高处作业搭设稳固平台,系挂安全带。临时用电实行三级配电两级保护,机械作业设专人指挥,杜绝违章操作。(2)水文风险防控:建立与水文气象部门联动预警机制,实时掌握水位及降雨动态。围堰按设计洪水位加超高填筑,储备足量防汛物资及大功率排水泵。遇暴雨或超警戒水位立即启动应急预案,果断组织人员撤离并视情拆除围堰泄洪,确保施工安全与行洪安全统筹兼顾。(3)施工现场环保管控:施工废渣及凿除料定点堆放、及时清运,严禁倾入河道;施工废水、灌浆余浆经沉淀达标后方可排放;材料堆放及运输采取苫盖措施,作业面定时洒水降尘;合理安排高噪声作业时段,减少扰民。施工结束后彻底拆除临时设施,恢复河道生态环境^[5]。

3.3 工程检测与竣工验收

(1)施工过程检测:全程跟踪检测加固结构关键指标。混凝土强度采用试件与回弹法综合评定;灌浆密实度通过钻孔取芯或无损检测验证;裂缝封闭效果进行渗水试验检查;加固前后涵身沉降及位移采用全站仪、水准仪持续监测,发现异常变形立即停工排查。(2)竣工验收标准:严格执行《水利水电工程验收规程》及设计文件。重点核验结构承载力是否达标、防渗体系抗渗等

级是否满足要求、新旧结构结合面是否协同受力。审查全部质量记录、检测报告及隐蔽资料,组织现场实体检测,各项指标全部合格后方可通过验收。(3)后期运维建议:运行管理单位应建立定期巡检制度,汛前、汛后及大洪水后开展专项检查,重点关注接缝止水、涂层完好性及有无新生裂缝渗漏。建立病害发现、报告、处置闭环机制,微小损伤及时修复。结合加固资料建立结构健康档案,为涵洞全生命周期安全运行提供保障。

结束语

河道下穿涵洞病害具有复杂性与持续性特征,加固改造施工需立足病害成因与现场工况,科学搭配各类加固工艺,兼顾施工安全性、经济性与实效性。本文总结的加固施工技术、质量、安全、验收管控体系,可有效解决涵洞结构破损、渗漏等核心问题。通过标准化施工与常态化运维结合,能够有效提升涵洞结构稳定性与耐久性,保障河道行洪安全,延长工程服役年限。

参考文献

- [1]李百建,付文强,符铎.波纹钢半圆拱加固钢筋混凝土盖板涵力学特性与施工技术[J].公路交通科技,2024,41(04):89-96.
- [2]陈树礼,崔春镨,杜明康.病害涵洞波纹板加固结构受力机理与施工控制研究[J].铁道标准设计,2024,68(07):135-140.
- [3]秘文辉.钢花管注浆加固技术在软土路基涵洞沉降病害治理中的应用[J].四川水泥,2022,37(05):229-232.
- [4]李晓梅,裴如龙.城市下穿箱涵病害应急加固设计与施工优化[J].城市道桥与防洪,2025,15(01):124-127.
- [5]谭昊坤.高延性混凝土加固老旧涵洞结构施工技术与耐久性研究[J].现代工程科技,2025,4(11):53-56.