

# 杨洼拦河闸闸门除锈防腐及护坡修复工程

张剑全 周亮 马骏

北京市北运河管理处 北京 101100

**【摘要】**：杨洼拦河闸作为北运河水系北京境内出境控制性枢纽，其运行安全直接关系到区域防洪度汛大局。受长期水文作用及环境因素影响，闸门锈蚀、上游右岸护坡损坏问题突出，且环保政策限制传统喷砂喷锌作业，给维修工程带来挑战。本文结合工程实际，围绕闸门除锈防腐与护坡修复两大核心任务，系统阐述工程概况、施工准备、专项施工方案、过程管理及验收保修全流程，采用激光除锈+冷喷锌防腐工艺及针对性护坡修复技术，配套完善的质量、安全、进度及成本管控措施。工程实践表明，所选工艺符合环保要求，修复效果良好，有效提升了水闸结构稳定性和防洪能力，可为同类水利工程维修养护提供参考。

**【关键词】**：杨洼拦河闸；闸门防腐；冷喷锌工艺；护坡修复；施工管理

DOI:10.12417/2705-0998.26.02.080

## 引言

杨洼拦河闸坐落于通州区西集镇杨家洼村南，是北运河水系北京段最下游的出境控制性拦河建筑物。因闸体位于河道转弯末端，暴雨后大洪水冲刷导致上游右岸护坡及右侧闸体受损严重，闸门出现不同程度锈蚀、防腐层脱落现象，直接影响水闸运行安全和使用寿命。传统喷砂、喷锌作业因环保要求被禁止，亟需采用环保高效的维修工艺。基于此，开展杨洼拦河闸闸门除锈防腐及护坡修复工程，通过优化施工方案、强化过程管理，解决工程难点，保障水闸安全稳定运行，对区域防洪度汛具有重要现实意义。

## 1 工程概况

### 1.1 项目背景与意义

杨洼拦河闸运行至今已逾十年，长期受水流冲刷、大气腐蚀及干湿交替作用，闸门面板锈蚀、防腐层脱落问题日益突出，部分区域锌层破损失效，影响闸门结构强度和止水性能。上游右岸方砖护坡出现裂缝、脱落、水沟浪窝等病害，坡体稳定性不足，汛期易引发滑坡、渗水等险情。本项目实施可有效修复闸体及护坡病害，提升闸门防腐能力和护坡结构稳定性，解决环保政策限制下传统工艺应用难题，确保水闸满足防洪度汛要求，延长工程使用寿命，为北运河水系水资源调控和区域水安全提供保障。本人全程参与项目前期调研、病害排查及方案研讨，精准梳理闸门与护坡病害痛点，为项目立项及方案设计提供了可靠的现场数据支撑。

### 1.2 工程范围与内容

本工程范围涵盖杨洼拦河闸闸室段闸门及上游右岸方砖护坡。主要施工内容分为两部分：一是闸门除锈防腐，包括15孔平板钢闸门的表面除锈、冷喷锌底漆涂装及面漆防护，涉及闸门面板、行走支撑装置、吊点等关键部位，针对15孔平板钢闸门的结构特点，重点优化除锈防腐的针对性和全面性，确保每孔闸门的关键受力部位及隐蔽区域均得到有效防护；二是护坡修复，按专家咨询意见保留原稳定齿墙，在其外侧开挖反

滤槽，回填碎石并铺设防水膜，护坡自下而上设置两道通长混凝土梁，采用大方砖铺设护坡并预留引水口，同步处理原有水沟浪窝、裂缝等病害。

## 2 施工准备

### 2.1 技术准备

组织技术人员深入研读设计图纸、专家咨询意见及相关规范标准，开展图纸会审工作，明确冷喷锌工艺技术指标、护坡修复结构尺寸等关键要求。编制专项施工方案，重点细化激光除锈参数、冷喷锌涂装流程、混凝土梁浇筑工艺及干槽作业排水措施，针对施工难点制定应对方案。邀请冷喷锌技术专家开展现场交底，对施工人员进行技术培训，明确各工序操作要点、质量标准及验收要求，确保技术要点传达到位。同步完成施工测量放线工作，精准定位反滤槽、混凝土梁及护坡铺设范围，本人负责复核测量数据，确保放线精度符合施工要求。

### 2.2 物资准备

根据施工方案编制物资采购计划，优先选用符合环保标准及技术要求材料设备，所有物资进场前需进行质量检验，出具合格证明后方可使用。主要施工物资清单如下表所示。

表1 主要施工物资清单

物资类别	物资名称	规格型号	数量	用途
除锈防腐材料	冷喷锌涂料	灰色，干膜含锌量≥96%	500kg	闸门底漆涂装
	防腐面漆	耐水型	300kg	闸门面漆防护
	专用稀释剂	冷喷锌配套	80kg	涂料稀释
	砂纸、钢丝刷	粗细规格齐全	若干	表面预处理
护坡修复	碎石	粒径20-40mm	20m <sup>3</sup>	反滤槽回填

材料	防水膜	厚度 1.5mm	100 m <sup>2</sup>	反滤槽防渗
	混凝土	C30	30m <sup>3</sup>	混凝土梁浇筑
	大方砖	600×600×80mm	800 块	护坡铺设
施工设备	激光除锈机	功率 30kW	2 台	闸门深层除锈
	无气喷涂机	压力≥10MPa	2 台	涂料涂装
	抽水泵	流量 50m <sup>3</sup> /h	4 台	现场排水
	挖掘机、装载机	小型	各 1 台	反滤槽开挖、材料转运
安全环保物资	防尘棚、防护网、救生衣	符合安全标准	若干	安全防护、防尘降噪

### 2.3 人员准备

组建专业施工团队，明确岗位职责分工，配备项目经理、技术负责人、质量员、安全员、材料员及施工班组，团队成员均具备相应岗位资质及水利工程施工经验。项目经理全面负责工程统筹协调，技术负责人把控施工技术及方案落实，质量员和安全员全程监督施工质量与安全。施工班组分为除锈防腐组、护坡修复组、机械操作组，每组配备组长 1 名，负责现场作业组织。进场前开展全员安全教育及技术培训，重点培训激光除锈、冷喷锌涂装等关键工序操作，考核合格后方可上岗作业，同时明确环保要求及应急处置流程。进场前开展全员安全教育及技术培训，同时明确环保要求及应急处置流程，本人全程参与培训方案制定及培训实施，确保施工人员熟练掌握操作技能及安全环保要求。

### 2.4 现场准备

按施工方案清理施工现场，平整作业场地，划分材料堆放区、加工区及作业区，设置明显标识。在闸门作业区域搭设防尘棚，配备降尘设备，防止除锈及涂装过程中产生的粉尘扩散，符合环保要求。护坡修复区域搭设临时围堰，采用土袋堆砌加固，配备抽水泵组，提前排出区域内积水，尽量实现干槽作业，保障施工条件。完善现场临时供电、供水设施，铺设临时电缆及水管，确保设备正常运行。设置安全警示标志，划定危险作业区域，搭设安全防护栏，配备消防器材，做好现场安全防护布置。本人负责现场准备工作的统筹协调，重点检查防尘棚搭设、临时供电等关键环节，及时整改现场存在的安全隐患及施工不便问题，为后续施工顺利开展奠定基础。

## 3 施工方案

### 3.1 闸门除锈防腐施工

闸门除锈防腐施工遵循表面预处理、底漆涂装、面漆涂装的流程，全程严格控制工艺参数，确保防腐效果。

表面预处理阶段，先采用人工清理闸门表面浮尘、油污及疏松锈蚀层，再使用激光除锈机对金属深层锈蚀点进行烧灼处理，激光功率控制在 25-30kW，移动速度 10cm/s，确保彻底清除锈蚀及破损锌层。对于锈蚀较轻区域，仅进行表面打磨，避免破坏底层完好锌层。除锈后及时检查表面质量，手工打磨区域需达到 ISO St3 等级标准，激光除锈区域表面粗糙度符合冷喷锌涂装要求，无残留锈蚀、油污及杂质，处理合格后 2 小时内进入涂装工序。

冷喷锌底漆涂装前，将涂料充分搅拌均匀，10L 装涂料采用电动搅拌机搅拌，确保罐底无沉淀，必要时加入专用稀释剂，稀释比例不超过 5%。采用无气喷涂机涂装，喷口口径 1.5-2.0mm，气压 0.29MPa，涂装距离保持 30cm，匀速喷涂，确保涂膜均匀，干膜厚度控制在 40μm，理论涂装量为 4.0 m<sup>2</sup>/kg。涂装后自然干燥，表面干燥时间不少于 30 分钟，完全干燥后进行二次涂装，两道底漆间隔时间不少于 24 小时。涂装过程中经常搅拌涂料，防止锌粉沉淀，避免出现刷痕、气泡等缺陷。

底漆完全干燥后进行面漆涂装，选用耐水型防腐面漆，与冷喷锌底漆配套使用。采用喷涂方式涂装，先涂刷一层稀释 50% 的面漆封闭底漆空隙，再进行正式面漆涂装，涂刷两道，干膜厚度控制在 60μm，两道面漆间隔时间不少于 12 小时。涂装完成后检查涂膜附着力，采用划格法检测，附着力不大于 1 级，确保无脱落、开裂现象。

### 3.2 护坡修复施工

首先对原齿墙进行清理检查，确认结构稳定后保留使用，清除齿墙表面浮土、杂草及破损部位，对局部裂缝采用水泥砂浆修补。随后在原齿墙外侧开挖反滤槽，槽宽 30cm、深 40cm，开挖过程中控制槽壁坡度，避免坍塌，开挖完成后清理槽底杂物及松土，平整槽底。反滤槽内分层回填碎石，每层厚度 10cm，采用小型振捣设备夯实，确保密实度，回填完成后铺设 1.5mm 厚防水膜，防水膜搭接宽度不少于 10cm，采用热熔法粘结牢固，防止渗水。

混凝土梁施工在反滤槽完成后进行，护坡自下而上在 4m、10m 高度处设置两道通长混凝土梁，尺寸为 25cm×40cm。先绑扎钢筋骨架，安装模板，模板采用钢模板，支撑牢固，确保垂直度及平整度。浇筑 C30 混凝土，采用插入式振捣器振捣密实，振捣过程中避免触碰模板及钢筋。浇筑完成后及时覆盖保温材料养护，养护时间不少于 7 天，确保混凝土强度达标。

混凝土梁达到设计强度后进行大方砖护坡铺设，铺设前清理坡面，挖除松土，将坡面修整为缓坡，确保坡面平整。大方

砖铺设自下而上进行，采用水泥砂浆砌筑，砖与砖之间缝隙控制在 2-3cm，砂浆饱满，铺设过程中调整砖的平整度及坡度，确保整体顺直。根据现场情况在坡脚处设置引水口，保障排水通畅。对原有水沟浪窝病害，先清理沟内杂物及松土，挖至沟底以下 30cm，将沟壁切削为缓坡，采用符合要求的土料分层回填夯实，回填土干密度不小于原护坡标准，顶部高出周围地面，回填完成后进行植草防护。

## 4 施工过程管理

### 4.1 质量管理

建立“班组自检、技术复检、监理验收”三级质量管理体系，明确各环节质量责任，全程把控施工质量。制定关键工序质量验收标准，重点验收闸门除锈等级、防腐层厚度及附着力，护坡反滤槽回填密实度、混凝土梁强度、方砖铺设平整度等指标。关键工序质量验收情况如下表所示。

表 2 关键工序质量验收情况

关键工序	验收项目	质量标准	验收方法	验收结果
闸门除锈	除锈等级	手工打磨≥ISO St3，激光除锈达标	目测、划格检测	合格
	表面粗糙度	符合冷喷锌涂装要求	粗糙度仪检测	合格
冷喷锌涂装	涂膜厚度	干膜厚度 40μm±5μm	涂层测厚仪检测	合格
	附着力	不大于 1 级	划格法检测	合格
护坡修复	反滤槽密实度	≥95%	环刀法检测	合格
	混凝土梁强度	达到 C30 设计强度	试块抗压试验	合格
方砖铺设	平整度、缝隙	平整度偏差≤3mm，缝隙饱满	水平尺、目测检测	合格

加强材料质量管控，所有进场材料均登记备案，不合格材料严禁进场使用。施工过程中做好质量记录，包括施工日志、检测报告、验收记录等，确保质量可追溯。对发现的质量问题及时整改，整改完成后重新验收，合格后方可进入下道工序。

### 4.2 安全管理

制定专项安全管理制度及应急预案，落实安全责任制，安全员全程在岗监督，每日开展安全巡查，每周组织安全例会，排查安全隐患。加强作业人员安全防护，除锈、涂装作业人员佩戴防尘口罩、防护眼镜、防护服等防护用品，高空作业佩戴安全带，搭设安全防护平台。规范现场用电管理，临时供电设施符合安全标准，电缆架空铺设，避免破损漏电，电工持证上岗，定期检查用电设备。机械作业前检查设备性能，操作人员持证上岗，严格遵守操作规程，避免违规作业。

### 4.3 进度管理

根据工程总量及施工条件，编制详细的施工进度计划，明确各工序起止时间、作业时长及衔接关系，将进度目标分解至各施工班组。闸门除锈防腐与护坡修复并行施工，合理调配人力、物力资源，确保工序衔接顺畅。设置关键节点控制，其中闸门除锈完成时间、混凝土梁浇筑完成时间、护坡方砖铺设完成时间为核心节点，严格把控节点进度。

### 4.4 成本管理

建立成本管控体系，编制详细的成本预算，明确人工、材料、机械等费用控制目标，严格按照预算执行。加强材料成本控制，优化材料采购方案，批量采购降低采购成本，合理规划材料用量，避免浪费，剩余材料统一回收利用。优化施工方案，提高施工效率，减少机械闲置时间，降低机械使用成本。合理调配人力资源，避免人员冗余，提高劳动生产率。加强现场管理，减少施工损耗，杜绝返工浪费，严格控制临时设施费用。

## 5 竣工验收与后续工作

### 5.1 竣工验收

工程完工后，施工单位自行组织自检，自检合格后向监理单位及建设单位提交竣工验收申请，并提供完整的竣工资料，包括施工方案、质量记录、检测报告、竣工图纸等。建设单位组织监理单位、施工单位、设计单位及专家组成验收小组，开展竣工验收工作。验收内容包括工程外观质量、实体质量及资料完整性，采用目测、仪器检测等方式对闸门防腐层质量、护坡结构稳定性等关键指标进行检测，核查竣工资料是否齐全、规范。验收合格后，各方签署竣工验收报告；若存在问题，明确整改要求及整改期限，施工单位完成整改后重新申请验收，直至验收合格。

### 5.2 工程移交

竣工验收合格后，办理工程移交手续，施工单位向建设单位及杨洼管理所移交工程实体及相关资料，包括竣工图纸、质量检测报告、设备说明书、维护手册等。移交过程中明确双方责任，对工程使用注意事项、维护要求进行详细交底，确保管理单位掌握相关操作及维护技能。双方签署移交证书，正式完

成工程移交。

### 5.3 后期维护与保修

本工程保修期为1年，保修期内施工单位负责免费维修因施工质量问题引发的病害。建立后期维护机制，指导杨洼管理所制定日常维护计划，闸门防腐层定期检查，每年汛期前开展全面排查，发现破损、脱落及时修补；护坡定期巡查，清理坡面杂物，检查引水口排水情况，发现裂缝、松动等问题及时处理。

### 参考文献:

- [1] 张旭康,隗永龙,蔡歆屿,等.闸门原位除锈防腐技术在卢沟桥分洪枢纽工程中的应用[J].北京水务,2025,(02):36-40.
- [2] 刘忠群.东圳水库钢闸门现场喷砂除锈施工经验[J].福建水力发电,2021,(01):32-37.
- [3] 李毅,刘培林.嶂山闸闸门和启闭机维修养护技术浅析[J].治淮,2025,(03):88-90.
- [4] 张堃,王维维,张慧.钢闸门现场防腐技术在济平干渠中的应用[J].山东水利,2021,(02):18-19+21.

## 6 结论

杨洼拦河闸闸门除锈防腐及护坡修复工程针对环保限制及工程病害特点，采用激光除锈+冷喷锌防腐工艺，结合优化的护坡修复技术，配套完善的施工管理措施，顺利完成全部施工任务。工程实践表明，冷喷锌工艺具有环保高效、防腐性能优良的特点，耐盐雾性能及附着力均满足标准要求，有效解决了传统喷砂喷锌作业的环保难题；护坡修复严格遵循专家意见，通过反滤槽、混凝土梁等结构优化，提升了坡体稳定性，有效抵御洪水冲刷。