

格宾石笼在潜坝坝面稳定性提升中的应用

周晨曦, 韩 斌

(山东菏泽黄河工程有限公司, 山东 菏泽 274000)

【摘要】黄河下游河道宽浅散乱、河势演变频繁, 潜坝是稳定河势、保障堤防安全的关键建筑物。传统浆砌石、混凝土刚性坝顶存在地基适应性差、透水性弱、施工复杂、后期维护成本高等问题。文章结合黄河下游防洪工程实践, 提出一种以格宾石笼为核心的潜坝坝面稳定性提升施工工法, 系统阐述工法特点与原理、施工工艺、质量安全控制要点。该工法具备柔性适应变形、透水消压、施工高效、生态友好、经济节约等显著优势, 已在山东黄河多项工程中成功应用, 效果显著。

【关键词】潜坝; 坝面稳定; 格宾石笼; 防洪工程

【中图分类号】TV85

【文献标志码】A

【文章编号】1009-6159(2026)-09-0023-04

Application of Gabion Mesh Cages in Stability Improvement of Submerged Dam Surface

ZHOU Chenxi, HAN Bin

(Heze Yellow River Engineering Co., Ltd., of Shandong Province, Heze, Shandong 274000, China)

Abstract: The lower Yellow River features wide, shallow and scattered river channels with frequent river regime evolution. Submerged dams are key structures for stabilizing river regime and ensuring embankment safety. Traditional rigid dam surfaces built with stone masonry and concrete have disadvantages such as poor foundation adaptability, weak water permeability, complicated construction and high costs for post-maintenance. Combined with flood control engineering practices in the lower Yellow River, this paper proposes a construction method for improving submerged dam surface stability with gabion mesh cages as core components. Its technical features, working principle, construction procedures, quality-safety control points are illustrated. This method has prominent advantages including flexible deformation adaptability, water permeation and pressure dissipation, efficient construction, eco-friendliness and cost effectiveness. It has been successfully applied in multiple Yellow River projects in Shandong with sound performance.

Key words: Submerged dam; Dam surface stability; Gabion mesh cage; Flood control engineering

黄河下游菏泽段河道呈现上宽下窄、宽浅不一的平面形态, 排洪能力上大下小。遇大洪水时易形成横河、斜河, 甚至顺堤行洪, 严重威胁堤防安全^[1]。潜坝作为调整河势、约束主流、保护岸堤的重要整治建筑物, 在黄河下游防洪控导工程中应用广泛^[2-3]。长期以来, 潜坝坝顶多采用浆砌石、混凝土等刚性结构。这类结构虽抗冲性能较好, 但在软土地基、水流冲刷、冻融循环等复杂条件下, 易出现开裂、渗漏、整体失稳等问题; 同时存在透水性差、施工工序多、受季节影响大、修复难度高、生态阻隔明显等缺陷, 难以满足现代水利工程安全、高效、绿色的建设要求。

为破解上述技术瓶颈, 依托多年黄河治理施工经验, 创新研发潜坝坝顶格宾石笼防护施工, 以柔性格宾结构替代传统刚性坝顶, 通过优化结构布置与施工工艺, 显著提升坝面稳定性、耐久性与生态性。

1 格宾石笼作用特点与施工工艺

1.1 作用特点

0.5 m 厚格宾石笼为坝顶主体防护结构, 坝顶宽 6 m, 上下游坝坡外设混合抛筑备塌体, 顶高

收稿日期: 2026-04-14

作者简介: 周晨曦(1986—), 男, 高级工程师

程与坝顶齐平,形成整体稳定体系。其设计原理 图如图 1 所示。

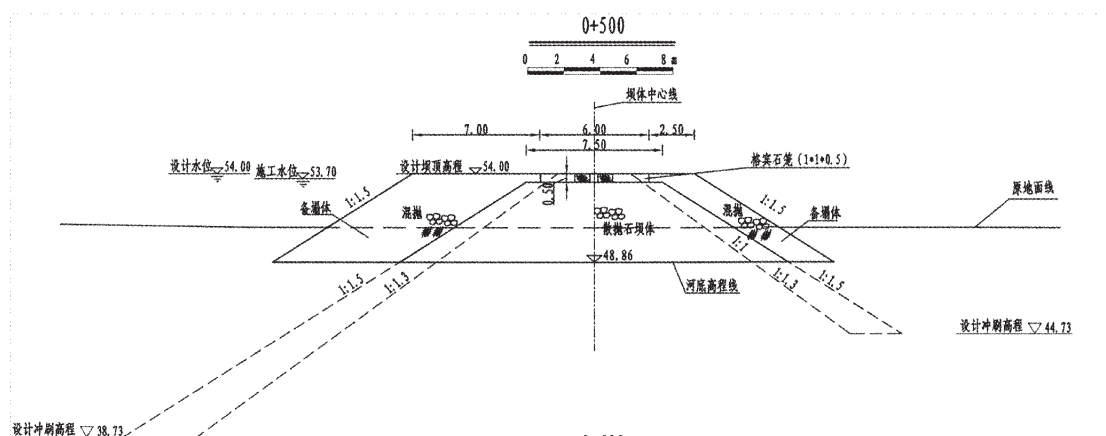


图 1 潜坝采用格宾石笼的设计图

1) 与传统工艺相比,该工艺变形适应能力强,格宾石笼为柔性蜂巢结构,可随地基不均匀沉降自适应变形,钢丝网与块石协同变位,不产生应力集中,不易断裂破坏,适配黄河下游软土地基条件。同时,其透水排水性能优越,石笼内部石块间存在连续孔隙,具备良好透水性,可快速消散坝体背后孔隙水压力,消除渗透破坏风险,施工简便、工期短,提升坝体整体稳定安全性。

2) 格宾石笼可工厂预制、现场组装,人工即可完成编笼、装石、封口,无需专业技工与大型复杂设备。格宾石笼设计如图 2 所示。

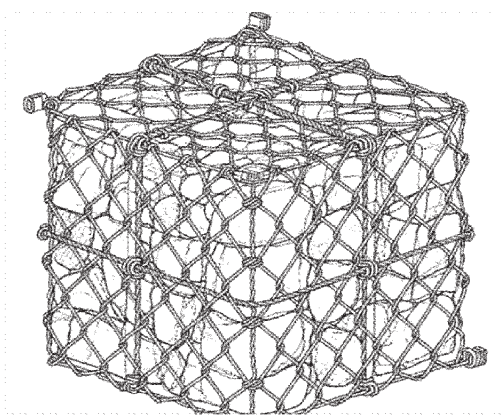


图 2 格宾石笼设计图

3) 受季节影响小,冬季可正常施工,施工效率为传统工艺的 2~3 倍,有效缩短工期。耐久性好、维护成本低。钢丝采用镀高尔凡+高耐磨有机涂层双重防腐,抗老化、抗冲刷、耐腐蚀,使用寿命达 40~50 年;局部损坏仅需更换对应石笼,维护简便、成本低。生态友好、景观协调石笼缝隙可自然积土长草,实现工程与植物防护结合;石块间隙

为水生生物提供栖息空间,保持水土-水体交换,修复河道生态,打破传统刚性结构的生态阻隔。

1.2 工艺原理

1) 抗冲刷作用。一是阻挡水流并削弱动能,当水流流经坝顶石笼时,石笼结构增加水流阻力,使水流速度在石笼表面及周边显著降低,将水流动能转化为其他形式能量,直接削弱冲刷强度;二是分散水流并促进泥沙沉积,石笼内石块间的间隙可将水流分散为多股小水流,进一步消耗水流能量,减小对坝顶的局部冲刷力。同时,复杂的内部流态增强水流紊动,利于水流中泥沙在石笼周围及内部沉积,形成保护层,进一步提升坝顶抗冲刷效果。变形适应作用。

2) 变形适应性强。一方面,柔性网箱可适应坝顶可能出现的不均匀沉降或变形,当坝体因地基压缩、水流冲刷等发生变形时,石笼钢丝网可随石块移动产生拉伸、扭曲,整体结构不被破坏,仍能有效约束石块,保障坝顶结构稳定;另一方面,石笼内石块可在外力作用下相对移动、调整位置,当坝顶变形时,石块可重新排列,填充变形产生的空隙,避免应力集中,确保坝顶在变形状态下仍能保持稳定。

3) 整体稳定性好。一是施工中通过钢丝及连接件将各石笼紧密连接,形成连续整体结构,当坝顶受到水流水平推力等外力时,各石笼协同工作、传递外力,以整体形式承受荷载,提升坝顶整体抗外力能力;二是装满石块的格宾石笼自重较大,可增加坝顶自重,进而提高坝顶与坝体的摩擦力及坝体对地基的压力,有效防止坝顶因水流

水平推力滑动、上举力浮起,保障潜坝坝顶的整体稳定。

2 施工质量控制要点

2.1 施工过程质量控制

需严格遵循施工准备、格宾石笼组装、测量定位铺设、石料填充、封顶绑扎、质量检查的全流程管控原则,确保各工序符合设计标准。施工准备阶段,需重点完成格宾网片与块石的验收工作,同时对坝顶进行清理、平整与压实处理,并严格按照设计方案进行放线,为后续施工奠定基础;格宾石笼组装时,需将网片完整展开,确保隔片与网身保持 90° 垂直,四角各绑扎1道,交接处每15 cm绑扎一道,保障网笼结构的稳定性;测量定位铺设环节,需按照放线位置精准摆放石笼,确保相邻石笼紧密拼接,缝隙控制在20 mm以内;石料填充需选用坚硬块石,粒径控制在12~50 cm,采用分层均匀填充方式,每层填充厚度不超过30 cm,保证石笼空隙率小于0.3,确保结构的抗冲刷性与透水性;封顶绑扎需在石料填充完成后及时进行,绑扎间距控制在15~20 cm,确保网笼整体封闭密实,避免后续使用中出現石料脱落现象;全流程需同步开展质量检查,及时发现并整改施工偏差。此外,施工过程中需严格控制关键偏差指标,其中组装垂直度偏差 $\leq \pm 5^\circ$,平面位置偏差 $\leq \pm 50$ mm,顶面高程偏差 $\leq \pm 20$ mm,平整度偏差 $\leq \pm 30$ mm,确保施工精度符合要求。

2.2 材料质量控制

格宾网丝选用镀高尔凡覆高耐磨有机涂层低碳钢丝,网孔规格为M8/80 mm,施工前需重点检查网丝直径、镀层重量及防腐性能,确保其符合设计要求,保障网笼的耐久性与抗腐蚀性;填充石料需满足软化系数大于0.8、比重大于 2.0 t/m^3 的要求,同时严格验收石料的粒径级配,确保石料坚硬、无破损,且粒径符合12~50 cm的规范标准,避免因石料质量问题影响结构整体稳定性。施工所用设备需配套齐全,主要包括挖掘机、装载机、自卸汽车、全站仪、水准仪、手动葫芦等,设备使用前需进行调试与校验,确保其性能良好、精度达标,为材料运输、网笼组装、测量定位等工序的顺利开展提供保障。材料验收与设备校验均需做好记录,留存验收资料,作为质量追溯的依

据,同时严格执行水利规范与设计要求,确保材料质量与设备性能满足施工质量控制需求。

2.3 安全质量控制

施工前安全准备包括三部分:人员需经三级安全教育考核合格上岗,特种作业人员持有效证件并定期复审,同时开展专项安全技术交底;施工设备需年检合格、定期维保,格宾材料进场检验,配备合格的安全防护用品;施工现场临水区域设防护栏杆及警示标识,施工道路畅通并设相关标志,临时用电遵循规范,严禁私拉乱接。作业过程中,网箱安装需佩戴防护手套,吊装时用专用吊具、设警戒区;石料搬运时机械与基坑保持 ≥ 2 m安全距离,人工搬运协同作业,填充时分层夯实、严禁抛掷;焊接切割作业需持证上岗,做好防护并清除易燃物、配备灭火器材。安全管理方面,设专职安全员巡查,建立施工日志并定期召开安全例会;每日排查隐患并立即整改;制定专项应急预案,配备应急物资并定期演练,确保突发事件及时处置。

3 工程应用

3.1 工程概况

黄河菏泽段河道上宽下窄、河床宽浅散乱,主流摆动幅度大,汛期极易形成横河、斜河,威胁堤防与滩区安全,潜坝作为控导河势的核心构筑物,在区域防洪工程中大量布设。以往潜坝坝顶多采用浆砌石、混凝土刚性结构,软土地基不均匀沉降、长期水流冲刷、内部渗压累积等因素,常造成坝顶开裂、滑坡、局部冲毁,后期维修投入大、施工受季节制约明显。为解决传统坝顶稳定性短板,格宾石笼柔性防护工法先后在黄河下游“十三五”“十四五”防洪工程落地应用,桑庄控导下延工程是该工艺首批试点项目。

桑庄控导下延潜坝总长582 m,坝体采用散抛石填筑,上下游坝坡使用铅丝石笼裹护,坝顶设计宽度6 m,坝顶防护层选用厚度0.5 m格宾石笼;上下游外侧设置混合抛筑备塌体,由1/3铅丝石笼搭配2/3散抛石组成,备塌体顶高程与坝顶54.00 m齐平,与格宾石笼形成一体化抗冲稳定体系。场区河底高程低、设计冲刷高程44.73 m,汛期水流落差大、淘刷作用剧烈,河床以粉砂、细砂软土为主,地基易变形,对坝顶结构变形适应、

透水泄压、抗冲刷能力提出极高要求。若沿用传统刚性坝顶,易出现裂缝渗漏、整体失稳,因此项目全程采用格宾石笼施工工法提升坝面稳定性。

3.2 应用情况

桑庄下延潜坝坝顶采用格宾石笼施工,填充石料大小与护坡坦石、护脚根石石料要求一致,提高了防护效果。格宾石笼采用人工编笼、人工装石、封口,在旱地装封,装封时将编好的网片铺平,然后按网片规格装排块石,装排块石时要先装四边,后装中间,大石排紧,小石填严,大石在外,小石在内。按此装排方法自下而上逐层上排,待装到规定的尺寸后,将网片的其它面向上拢起,用铅丝扎口,并用手钳拧紧。装填后的石笼填石饱满,外形方正,扎口结实,能够起到坝顶压重,提高安全性的效果。

格宾石笼从三方面提升坝面稳定性能:一是柔性变形适配,镀高尔凡覆塑钢丝网具备延展性,当地基产生不均匀沉降时,网笼可随坝体同步扭曲拉伸,内部石块自主调整填充空隙,不会产生应力集中开裂;二是透水消压,石块间连续孔隙快速疏导渗透水流,消散坝体背部孔隙水压力,消除渗透滑移隐患;三是整体抗冲抗滑,所有

石笼通过绑扎丝连成连续整体,协同分担水流水平推力,石笼自重增加坝顶压重,提升坝体摩擦力,抵御水流上举力与冲刷破坏。同时石笼缝隙可淤积泥沙、生长植被,植被根系进一步锚固块石,形成“网笼+块石+植被”复合防护结构,兼顾生态修复与长效稳定。

4 结 语

实践表明,格宾石笼在桑庄控导下延工程中有效解决传统刚性坝顶变形适配差、透水性弱、维护成本高的问题,显著提升潜坝抗冲能力与整体稳定性,同时促进了河道生态修复与工程绿色建设。未来,应进一步深入研究格宾石笼在不同地质、水文条件下的应用效果,优化设计与施工工艺,实现工程防护与生态保护的协同发展。

参考文献

- [1] 李西刚,黄莹.黄河滩区生产堤对下游防洪影响分析[J].中国防汛抗旱,2025,35(S1):29-31.
- [2] 梁小飞.水利工程中河道堤防护岸施工技术研究[J].水上安全,2025(6):79-81.
- [3] 孙健.丁坝群在塔里木河中游防洪中的运用效果探析[J].内蒙古水利,2021(1):34-35.

(责任编辑 崔春梅)

(上接第15页)问题平均处置时间缩短50%。三是资源集约化。“管养分离+”模式及平台资源调度功能,使有限的人力、物力、财力聚焦核心风险与任务,资源配置效率显著提高。四是监管透明化。责任人履职在线可查、过程可溯,监管穿透力显著增强。

3.2 安全保障增强

一是风险感知超前。AI识别、自动化监测、无人机巡等手段使安全隐患发现更早、更全、更准,实现了从被动应对向主动防控的转变。二是应急能力提升。基于精准预演的应急预案和常态化演练,大幅提升了应对水质污染、工程险情等突发事件的能力。三是本质安全强化。动态清零的除险机制、专业化的维修养护、严格的依法监管,持续夯实工程安全基础。2024年汛期成功应对多次强降雨过程,工程运行安全无虞。

3.3 综合效益显著

一是供水保障增强。智能化的供水调度预警和水质安全保障体系确保了城乡居民饮用水源

的稳定、优质供应,社会效益突出。二是经济效益显现。绿化养护等外包模式节省运维成本约40%;精准调度和损失预测优化了水资源配置,降低了引水能耗和无效损耗;产权明晰为未来水权交易、资产盘活(如已实现的全省水权融资参考)创造条件。三是生态效益提升。库区环境持续改善,水质稳定达标,生物多样性得到保护。

4 结 语

双龙湖水库通过现代化矩阵建设,实现了从传统经验管理向数字化、智能化管理的转型升级,形成了具有平原水库特色的“庆云样板”。矩阵建设不仅显著提升了水库运行管理效率和安全保障能力,而且产生了显著的经济和社会效益,为全国平原水库现代化运行管理提供了可复制、可推广的经验。未来将持续深化矩阵建设成果应用,加强新技术应用,完善标准规范体系,为筑牢国家水安全屏障贡献更大力量。

(责任编辑 赵其芬)