

黄河下游堤防工程险工段加固施工技术与管理优化研究

石小昊 韩江涛

郑州黄河河务局中牟黄河河务局 河南 郑州 451450

摘 要：黄河下游堤防险工段是防洪体系中的薄弱环节，其加固施工质量直接关系到堤防整体安全。本文立足于险工段的工程特征与加固需求，系统分析当前常用的防渗加固、堤身加固及基础处理等施工技术及其适用条件，揭示施工中面临的地质复杂、水位变动、场地受限及工期紧迫等突出难点。在此基础上，从施工组织、进度管控、质量及安全及信息协同等维度剖析管理层面的突出问题，进而提出包括风险分级施工组织、一体化管控体系、信息化管理手段及协同优化路径在内的管理优化策略。研究表明，险工段加固施工需将技术适用性与管理精细化紧密结合，构建“技术-管理”协同的优化框架，方能有效提升加固效果与施工效率，为黄河下游堤防安全保障提供支撑。

关键词：黄河下游；堤防险工段；加固施工；施工技术；管理优化

引言

黄河下游堤防是防御洪水的重要屏障，其安全运行关乎黄淮海平原亿万人民的生命财产安全。由于黄河下游河道为地上悬河，堤防长期承受高水头压力，加之历史施工条件有限，部分堤段存在堤身填筑质量差、基础渗漏严重、边坡稳定性不足等隐患，形成一系列险工段。险工段在汛期高水位条件下极易发生管涌、滑坡、渗漏等险情，是防洪体系中最需优先加固改造的对象。近年来，国家持续加大黄河下游治理投入，险工段加固工程陆续实施。加固施工涉及防渗墙、压渗盖重、堤身加高培厚、填塘固基、护坡等多种技术手段，施工条件复杂、技术要求高、管理协调难度大。然而，当前加固施工中仍存在技术方案选择缺乏针对性、施工组织与防汛要求衔接不足、质量管理粗放等问题，制约了加固效果。因此，系统研究险工段加固施工技术的适用要点，并优化配套管理措施，具有重要的理论意义和现实价值。

1 黄河下游堤防险工段加固施工的技术特点与难点

1.1 险工段的工程特征与加固需求

黄河下游险工段主要指历史上曾发生重大险情、堤身或堤基存在明显缺陷、经安全鉴定为三类堤段的部位。其工程特征表现为：堤身填筑土料杂乱、压实度偏低；堤基多为粉砂或砂壤土，渗透系数大，存在渗透稳定问题；部分堤段迎流顶冲，坡脚淘刷严重；穿堤建筑物周边结合不良。针对上述缺陷，加固需求主要集中在三个方面：防渗——截断或延长渗径，降低浸润线；加固——提高堤身强度和边坡稳定性；防护——增强抗冲

和抗风浪能力。

1.2 主要加固施工技术类型及适用条件

险工段加固施工技术可按功能划分为防渗技术、加固技术和防护技术三大类。防渗技术包括：垂直防渗墙（水泥土搅拌桩、高压喷射灌浆、塑性混凝土墙），适用于堤基或堤身深度范围内的透水层截断；水平防渗（铺盖、压渗盖重），适用于堤后洼地或背水坡脚^[1]。加固技术包括：堤身加高培厚——采用粘性土或砂壤土分层碾压填筑，用于堤顶高程不足或堤身断面偏小；填塘固基——用透水或不透水材料填平堤后水塘，减少渗流出逸坡降；坡面护砌（干砌石、浆砌石、混凝土预制块），用于抗冲防护。防护技术包括：抛石护脚、铅丝石笼，用于防止坡脚淘刷。各种技术的选择需根据险情类型、地质条件、材料供应和施工环境综合确定。

1.3 加固施工面临的主要技术难点

险工段加固施工面临多方面的技术挑战。第一，地质条件复杂且探查难度大。险工段往往存在隐伏的薄弱层、古河道、洞穴等，常规勘察手段难以完全查明，施工中常遇到设计地质条件与实际不符的情况，需动态调整技术方案。第二，地下水位高且水位变幅大。黄河下游汛期非汛期水位变幅达数米，施工期间地下水位的升降直接影响基坑开挖、防渗墙成槽和混凝土浇筑质量，需采取有效的降排水措施，但过度降水又可能引起周边沉降。第三，施工场地狭窄与交通受限。堤顶宽度有限，大型施工设备布置困难，材料运输和机械转场受制于堤顶道路承载力，严重影响施工效率。第四，工期受

防汛窗口严格约束。加固施工必须在非汛期完成主体工程,施工时段集中且常遇低温或冻土问题,工期紧张与质量控制之间矛盾突出。

2 险工段加固施工关键技术的应用要点

2.1 防渗墙施工技术要点

防渗墙是险工段加固最常用的垂直防渗手段。水泥土搅拌桩防渗墙适用于粉土、砂土层,施工中应严格控制水泥掺量、水灰比和搅拌提升速度,确保桩体连续性和均匀性,搭接宽度不得小于设计值。高压喷射灌浆适用于砂卵石层或含有障碍物的地层,需根据地层特性选择合适的喷射压力、旋转速度和提升速度,并采用复喷工艺保证墙体的有效厚度。塑性混凝土防渗墙适用于深度较大、水头较高的险段,成槽施工中须控制泥浆比重和槽壁稳定性,混凝土浇筑应采用导管法连续进行,避免断桩和夹泥。三种技术共同的质控要点包括:墙体渗透系数必须满足设计要求,墙底须进入相对不透水层一定深度,墙体垂直度偏差应控制在允许范围内。

2.2 堤身加高培厚与填塘固基技术要点

堤身加高培厚应在老堤坡面清基处理后进行,清基厚度不小于设计值,坡面须开挖台阶(宽度不小于1米,内倾坡度约5%)以增强新老结合。填筑土料含水率应控制在最优含水率附近(偏差不超过 $\pm 2\%$),分层铺土厚度不宜超过30厘米,碾压遍数和压实机具须经现场试验确定,压实度不低于设计标准(一般不小于0.94)^[2]。填塘固基应先抽排积水、清除淤泥,然后分层回填透水材料或粘性土,回填高度应高于周围地面,并预留沉降量。在填筑过程中,应严格控制每层填料粒径和压实度,避免不均匀沉降导致后期裂缝。

2.3 基础处理与坡面防护技术要点

对于软基或承载力不足的险段,可采用振冲或碎石桩进行基础处理,桩位布置、桩径和桩长应根据计算确定,施工中应控制密实电流和留振时间。坡面护砌施工前需对坡面进行整平压实,铺设反滤层(土工布或碎石垫层),护砌材料应满足抗冻和抗冲刷要求,砌筑应咬合紧密、砂浆饱满。抛石护脚的石料粒径和重量应满足抗冲稳定要求,抛投范围和厚度须符合设计,施工宜采用水上抛填与陆上补抛相结合的方式,确保坡脚防护连续完整。

2.4 施工质量控制与检验

加固施工质量控制应贯穿全过程。材料进场须检验合格,土料按每5000立方米取样一次,水泥、钢材按批次检验。施工过程实施旁站监理和工序验收制度,关

键工序(如防渗墙成槽、混凝土浇筑、土方碾压)须经监理验收合格后方可进入下一工序。完工后应进行专项质量检测,防渗墙需进行钻孔取芯和注水试验,堤身填筑需进行压实度检测和沉降观测,护砌工程需进行平整度和厚度抽检。所有检验数据应整理归档,作为验收依据。

3 险工段加固施工管理的现状与突出问题

3.1 施工组织模式与资源配置的不足

当前险工段加固施工的组织模式多沿用常规堤防工程的“分段平行施工”方式,各标段相对独立,缺乏对险工段特殊性的针对性安排。资源配置上,大型机械(如搅拌桩机、高压喷射设备)数量有限,往往在多个标段之间轮流使用,导致作业面闲置和进度不均衡。技术工种(如防渗墙操作手、碾压司机)储备不足,临时调配人员操作熟练度参差不齐,影响施工效率和质量稳定性。

3.2 进度计划与防汛要求的矛盾

加固施工必须抢在汛前完成主体工程,进度计划受制于绝对工期限制。然而,实际施工中常遭遇恶劣天气(如冬季冻土、春季多雨)、地下水位异常、材料供应延迟等不可控因素,导致工期压缩,进而引发“抢进度”与“保质量”的冲突。部分工程为赶工期而缩减碾压遍数、减少养护时间,甚至违规在不利气象条件下施工,埋下质量隐患。

3.3 质量管理体系衔接不紧

险工段加固质量安全管理涉及建设、监理、施工、设计等多方主体,各方的质量责任和安全职责虽有制度规定,但实际执行中存在衔接不紧、责任模糊的问题。例如,地质条件变化后的设计变更流程繁琐,导致施工暂停等待决策;安全监测数据与施工控制之间缺乏联动,监测到异常位移时不能及时反馈至作业面调整施工参数^[3]。此外,现场质量检验频次不足、检测手段落后,隐蔽工程验收往往流于形式。

3.4 信息传递与协同决策效率低下

险工段加固施工信息涉及地质资料、设计变更、进度报表、质量检验、安全监测等多个方面,当前仍以纸质或电子文档分散传递为主,信息更新不及时、共享不充分。现场问题从发现到反馈至决策层再到指令下达,环节多、耗时长。各参建单位之间缺乏统一的信息平台,协同决策主要依靠定期会议和电话沟通,效率偏低,不适应险工段施工快速响应的要求。

4 施工管理优化策略与协同路径

4.1 基于风险分级的施工组织优化

根据险工段的险情等级、施工难度和防汛重要性,将加固工程划分为高风险、中风险和一般风险三个等级,实施差异化的施工组织方案。高风险段实行“一险段一方案”,配置专职管理团队和充足设备资源,采用连续作业或两班制施工,确保主体工程优先完成;中风险段推行标准化流水作业;一般风险段采用常规组织方式。同时,建立设备统一调度中心,按各标段作业面进展动态调配大型机械,减少闲置和等待。技术工种实行“持证上岗+技能分级”,根据操作水平分配相应难度的工作面。

4.2 构建进度-质量-安全一体化管控体系

将进度、质量、安全纳入统一管控框架,打破部门分割。制定联合管控计划,在进度计划中同步标注质量验收节点和安全控制要点。实行“日调度、周平衡、月分析”制度——每日召开现场碰头会协调次日作业安排,每周进行进度与质量安全的综合平衡,每月开展全面分析并调整下月资源^[4]。当进度滞后时,通过增加作业面、延长有效工作时间或优化工序交叉来追赶,但不得降低质量标准和缩减安全防护措施;质量安全出现问题时,自动触发进度暂停机制,整改完成后方可复工。

4.3 信息化管理手段的引入

建立险工段加固施工管理信息系统,集成进度填报、质量验评、安全检查、材料管理和文档归档等功能。现场人员通过移动终端实时上传施工数据和影像资料,系统自动汇总生成进度曲线和质量统计报表。在关键施工区域部署物联网传感器(如碾压遍数监测、搅拌桩施工参数记录),实现施工过程数据的自动采集,减少人为误差。建立风险预警模块,设定进度偏差、质量指标超差、安全监测超限等预警阈值,触发后自动推送至相关责任人,缩短响应时间。利用 BIM 技术对防渗墙、加培堤段进行三维可视化展示,辅助施工方案交底和验收比对。

4.4 施工技术方案与现场管理的动态适配

技术方案的制定应充分考虑施工可行性,在开工前组织设计、施工、监理三方进行“施工适宜性评审”,评估各技术方案在当前场地、水文、气候条件下的可操作性,提前排除不合理设计。施工中一旦出现地质条件

变化或工况偏差,应启动快速变更程序——预置常见变更情形(如地层变化时防渗墙深度调整、土料含水率波动时碾压参数修正)的标准化处理方案,减少临时议定时间。同时,建立施工参数动态调整机制,根据现场质量检测结果实时优化碾压遍数、灌浆压力和混凝土坍落度等控制指标,实现“按实调整、动态优化”。

4.5 施工后评估与维护衔接

加固施工完成后,不应视为管理的终点。应对加固效果进行系统评估,包括防渗墙渗透性、堤身沉降稳定性、坡面完好性等,评估结果作为竣工验收的重要依据。将施工过程积累的质量数据、变更记录、检测报告整理成电子档案,移交运行管理单位,为后续巡堤查险和养护维修提供完整的基础资料。明确加固工程的维护责任和检查周期,在运行初期加密观测频率,发现异常及时处理,确保加固效果长期可靠。

结束语

黄河下游堤防险工段加固施工是一项技术与管理的复合性工程。本文系统梳理了险工段加固的主要施工技术及其应用要点,揭示了防渗墙、堤身填筑、基础处理和坡面防护等技术实施中的关键控制环节,同时剖析了当前管理层面的突出短板。在此基础上,提出了涵盖风险分级组织、一体化管控体系、信息化手段、动态适配机制及后评估衔接的管理优化策略。研究表明,险工段加固施工的有效性不仅取决于技术方案的合理性,更依赖于管理措施能否与技术实施深度协同。唯有将技术精控与管理精细有机统一,方能确保险工段加固“治标又治本”,切实提升黄河下游堤防的整体安全水平。未来应进一步探索智能化监测与施工控制的深度融合,推动加固施工管理向数字化、精准化方向持续演进。

参考文献

- [1] 张金良,李超,王卫东.黄河下游堤防险工段安全评价与加固技术研究[J].人民黄河,2022,44(9):1-7.
- [2] 刘建伟,赵宇,陈刚.堤防垂直防渗墙施工质量控制关键技术[J].水利水运工程学报,2023(2):78-85.
- [3] 王立成,孙涛,周明.黄河下游堤防加高培厚施工的压实质量控制研究[J].岩土工程学报,2023,45(增刊2):212-218.
- [4] 陈晓东,杨磊,张华.堤防加固施工进度与质量协同管控策略[J].水利水电技术,2024,55(3):92-99.