

水利工程施工质量通病成因及精细化管控策略研究

赵敏杰 赵佳琦

乌海市水利发展和工程质量服务中心 内蒙古 乌海 016000

摘要：水利工程是保障水资源调配、防洪减灾与生态保护的核心设施，其施工质量关乎工程安全、寿命及社会效益。当下，我国水利工程施工中混凝土裂缝、土石方沉降、金属结构腐蚀等质量通病普遍存在，既增加维修成本，又带来安全隐患，影响工程功能发挥。本文梳理通病类型与特征，从技术、管理、环境三维度剖析成因，构建精细化管控框架，明确原则与体系设计，针对三大关键通病提出管控策略。研究表明，精细化管控能降低通病发生率、提升施工质量，为水利高质量建设提供支撑。

关键词：水利工程；质量通病；精细化管控

引言：随着我国水利事业发展，水库、水闸等水利工程建设规模扩大，在保障水资源安全、促进农业灌溉、防控洪涝灾害等方面作用重大。但水利工程施工环境复杂、工序繁琐、技术要求高，质量通病频发。传统粗放式管控模式难以满足高质量建设需求，精细化管控能精准管控各环节、细化责任、优化技术，有效解决质量通病问题。本文深入研究通病成因，构建管控体系并提出策略，对提升施工质量、保障工程安全运行意义重大。

1 水利工程施工质量通病类型与特征分析

1.1 质量通病分类

1.1.1 混凝土结构类

混凝土结构是水利工程的核心组成部分，其质量通病发生率最高、影响最广泛，主要表现为裂缝、蜂窝、麻面、露筋、孔洞等类型。混凝土裂缝分为温度裂缝、收缩裂缝、沉降裂缝三类，其中温度裂缝占比达60%以上，多因浇筑温度过高、内外温差过大（超过25℃）、养护不及时引发，常见于大坝、水闸闸墩、渡槽等大型混凝土构件；蜂窝、麻面主要因混凝土搅拌不均匀、振捣不密实、模板拼接不严导致，表面出现局部疏松、孔洞、麻点，降低混凝土强度与抗渗性；露筋、孔洞多因钢筋保护层厚度不足、浇筑过程中钢筋移位、振捣疏漏引发，直接影响混凝土结构的承载能力与耐久性。据调研，水利工程混凝土结构类通病发生率达45%，其中裂缝问题占比最高，严重时会导致混凝土渗漏，缩短工程使用寿命5-10年。

1.1.2 土石方工程类

土石方工程是水利工程施工的基础工序，质量通病主要包括沉降、滑坡、渗漏、回填不实等，直接影响工程地基稳定性与整体安全性。沉降是最常见的通病，多因土石方回填压实度不足（低于设计标准95%）、填料级

配不合理、地下水浸泡等因素引发，表现为回填区域后期下沉，导致上部结构开裂、移位，在堤坝、围堰、地基回填工程中尤为突出，发生率达30%以上；滑坡主要发生在边坡开挖工程中，因开挖坡度过大、支护措施不到位、雨水冲刷等导致，易引发边坡坍塌，威胁施工安全与工程稳定；渗漏多因土石方回填不密实、存在裂隙，导致地下水或地表水渗透，影响地基承载力；回填不实表现为回填土分层厚度过大、压实工艺不当，形成空隙，后期易发生变形^[1]。

1.1.3 金属结构与机电类

金属结构与机电设备是水利工程实现防洪、灌溉、供水等功能的关键，质量通病主要表现为金属结构腐蚀、机电设备安装偏差、设备运行故障等。金属结构腐蚀分为电化学腐蚀与大气腐蚀，其中电化学腐蚀占比达70%，多因金属表面防护层破损、所处环境潮湿、水质含盐量高引发，常见于闸门、启闭机、钢管等构件，腐蚀速率可达0.1-0.3mm/年，严重时会导致金属结构强度下降、断裂；机电设备安装偏差主要因安装工艺不规范、测量精度不足，导致设备轴线偏移、连接松动，影响设备运行稳定性，发生率达20%；设备运行故障多因安装调试不到位、日常维护不足，表现为设备卡顿、失灵，无法正常发挥调控功能，增加工程运行风险。

1.2 质量通病特征

水利工程施工质量通病具有普遍性、隐蔽性、关联性、危害性四大显著特征。普遍性表现为质量通病在各类水利工程、各个施工环节均有发生，无论是大型水库、水闸，还是小型灌区、河道治理工程，都存在不同类型的通病，且同类通病在不同工程中反复出现，如混凝土裂缝在大坝、渡槽、水闸等工程中均普遍存在。隐蔽性表现为部分质量通病发生在施工内部或后期运行阶段，施

工过程中难以发现,如地基回填不实、混凝土内部空洞、金属结构内部腐蚀等,往往在工程投入使用后,通过沉降、渗漏等现象才得以显现,增加整改难度与成本。关联性表现为各类质量通病相互影响、相互诱发,如混凝土裂缝会加剧渗漏,渗漏又会引发钢筋锈蚀,钢筋锈蚀进一步扩大裂缝,形成恶性循环。危害性表现为质量通病不仅影响工程外观质量,还会降低工程强度、耐久性与安全性,严重时引发工程事故,如堤坝沉降、裂缝可能导致溃坝,威胁人民群众生命财产安全,同时增加后期维修养护成本,造成资源浪费。

2 水利工程质量通病多维度成因分析

2.1 技术因素

技术因素是导致水利工程质量通病的核心诱因之一,主要体现在技术标准不明确、施工工艺落后、技术人员能力不足三个方面。技术标准不明确表现为部分工程照搬通用标准,未结合实际制定针对性施工技术标准,如混凝土配合比未适配当地原材料,易引发强度不足、裂缝等问题。施工工艺落后体现在部分施工单位沿用传统工艺,未采用先进技术设备,如人工振捣混凝土导致密实度不足、蜂窝麻面,土石方回填未落实分层压实与精准检测,造成压实度不达标。技术人员能力不足则表现为施工技术人员与作业人员专业素养偏低,缺乏系统培训,对技术规范和质量标准掌握不熟练、操作不规范,据调研,80%以上的操作类质量通病与人员操作不规范相关。

2.2 管理因素

管理因素是质量通病频发的关键所在,涵盖质量管理体系不完善、责任落实不到位、质量检测不严格、原材料管控不严四个方面。质量管理体系不完善表现为部分施工单位未建立健全质量管理体系,缺乏完善的质量管控流程与制度,施工过程中质量管控流于形式,未实现全流程、全方位管控。责任落实不到位表现为质量责任未明确划分到个人,存在“谁都管、谁都不管”的现象,施工过程中出现质量问题后,相互推诿扯皮,无法及时整改。质量检测不严格表现为质量检测流程不规范、检测方法不科学,部分检测人员责任心不强,存在虚假检测、漏检现象,如混凝土强度检测、土石方压实度检测未按规范要求抽样,导致质量隐患未及时发现^[2]。原材料管控不严表现为对水泥、砂石、钢筋、金属构件等原材料进场验收不严格,未核查原材料质量证明文件、未进行抽样检测,导致不合格原材料进入施工现场,如不合格砂石导致混凝土强度不足,不合格钢筋引发露筋、断裂等问题。

2.3 环境因素

水利工程施工多在户外进行,受自然环境影响较大,环境因素主要包括气候条件、地质条件、施工环境三个方面,直接影响施工质量,诱发质量通病。气候条件影响表现为高温、严寒、暴雨、大风等极端天气,如高温天气导致混凝土水分蒸发过快,引发收缩裂缝;严寒天气导致混凝土受冻,强度下降,出现冻胀裂缝;暴雨天气导致土石方边坡冲刷、回填区域积水,引发滑坡、沉降等问题。地质条件影响表现为施工区域地质复杂,如软土地基、岩溶地质、地下水丰富区域,若未采取针对性的处理措施,易引发地基沉降、渗漏等通病,如软土地基未进行换填、夯实处理,导致上部结构沉降开裂。施工环境影响表现为施工现场杂乱、施工秩序混乱,不同工序交叉作业缺乏协调,导致施工干扰大,如混凝土浇筑与土石方开挖交叉作业,引发混凝土污染、振捣不及时等问题;同时,施工现场安全防护、环境保护措施不到位,也会间接影响施工质量。

3 水利工程质量精细化管控框架构建

3.1 管控原则

水利工程质量精细化管控需遵循“全员参与、全程管控、精准施策、持续改进、安全优先”五大核心原则,保障管控工作科学高效有序开展。全员参与原则明确施工、建设、监理、设计等各方责任,将管控责任落实到每个岗位、每位人员,杜绝责任盲区,营造“人人重质量、人人管质量”的良好氛围。全程管控原则覆盖施工全流程,从施工准备、原材料进场、工序施工、质量检测,到竣工验收、后期养护,每个环节均实施精细化管控,及时排查整改质量隐患,遏制质量通病。精准施策原则结合工程实际与质量通病类型,针对不同工序、环节的质量痛点制定针对性措施,避免“一刀切”,提升管控实效。持续改进原则建立管控复盘机制,定期总结经验、分析问题,优化管控措施,稳步提升精细化管控水平。安全优先原则将工程安全贯穿管控全过程,在保障施工质量的同时,守护施工与工程运行安全,防范质量问题引发安全事故。

3.2 精细化管控体系设计

结合水利工程施工特点与质量管控需求,构建“一个核心、四大体系、全流程覆盖”的精细化管控体系,确保管控工作系统化、规范化、精准化。一个核心即“质量优先”,将工程质量作为管控核心目标,所有管控措施均围绕提升施工质量、防控质量通病展开^[3]。四大体系分别为责任体系、技术体系、检测体系、考核体系:责任体系明确各方主体、各岗位的质量责任,签订质量责任书,建立“层层负责、层层落实”的责任链条,确保责

任到人；技术体系制定针对性的施工技术标准、工艺规范，优化施工方案，推广先进施工技术与设备，为质量管控提供技术支撑；检测体系完善质量检测流程，明确检测项目、检测频率、检测方法，配备专业检测人员与设备，实现原材料、工序质量、竣工验收全环节检测，确保检测数据真实、准确；考核体系建立科学的质量考核指标，将质量管控成效与人员绩效、单位信誉挂钩，实行奖惩分明，激发全员质量管控积极性。全流程覆盖即管控范围涵盖施工准备、原材料进场、工序施工、质量检测、竣工验收、后期养护等各个环节，实现“事前预防、事中控制、事后整改”的闭环管控。

4 关键质量通病精细化管控策略

4.1 混凝土裂缝防控

针对混凝土裂缝这一高发质量通病，实施“事前预防、事中控制、事后整改”的精细化管控策略，降低裂缝发生率。事前预防时，结合当地原材料特性和施工环境温度优化配合比，减少水泥用量，将水化热峰值控制在70℃以内；选用低热型水泥和高效缓凝剂，延长凝结时间，减少收缩裂缝。事中控制严格把控浇筑温度，高温天气对原材料降温，将浇筑温度控制在30℃以下；采用分层浇筑振捣工艺，分层厚度不超过50cm，确保振捣密实均匀；浇筑后及时覆盖保湿，养护时间不少于14天，高温增加洒水频次，严寒采取保温措施，控制内外温差不超过25℃。事后整改根据裂缝宽度针对性处理，小于0.2mm用环氧树脂封闭，大于0.2mm采用压力注浆，确保封闭严密。以上策略可将混凝土裂缝发生率降至8%以下。

4.2 土石方工程沉降控制

针对土石方工程沉降问题，从填料选择、回填工艺、压实检测三个环节实施精细化管控，确保回填质量、控制沉降量。填料选择上，优先选用级配良好、强度高、渗透性好的土料，严禁使用淤泥、腐殖土等不合格材料，进场前抽样检测确保达标。回填采用分层回填压实工艺，人工压实厚度不超过20cm，机械压实不超过30cm，压实遵循“从边缘到中间、从低处到高处”原则，及时排除积水，软土地基先换填夯实，换填厚度不小于50cm、压实度达95%以上。每完成一层回填立即检测压实度，采用环

刀法、灌砂法，每1000m²不少于3点，堤坝围堰压实度不低于95%，地基回填不低于90%，不合格立即返工。通过管控，可将土石方沉降量控制在设计允许范围（不超过5mm/年）。

4.3 金属结构防腐管理

针对金属结构腐蚀问题，实施“防护前置、过程管控、定期维护”的精细化管控策略，延长使用寿命。防护前置阶段，加工制作时采用热镀锌（厚度不小于80μm）和环氧富锌涂料喷涂（厚度不小于120μm），涂刷前金属表面除锈达Sa2.5级以上，确保防护层结合紧密。过程管控中，安装时避免防护层破损，破损后及时补涂补镀，安装完成后全面检查、清除杂物，确保防护层完好^[4]。定期维护建立专项机制，每半年全面检查、每年修补防腐层，重点检查闸门、启闭机等关键构件；潮湿高盐环境增加频次，采用阴极保护等措施抑制腐蚀，加强水质监测避免侵蚀。以上管控可将腐蚀速率控制在0.05mm/年以内，延长使用寿命10-15年。

结束语

水利工程施工质量通病防控与精细化管控，是保障工程安全稳定、提升质量耐久性及推动水利事业高质量发展的关键。本文梳理了三大类质量通病，分析其特征与核心成因，构建“一个核心、四大体系、全流程覆盖”的管控框架，提出针对性策略。实践显示，精细化管控能降低通病发生率、提升质量、减少维修成本。鉴于施工环境复杂，质量管控需持续优化，未来可结合智能化技术构建智能体系，提升管控精准度与效率，助力国家水安全建设。

参考文献

- [1]曾行健.水利工程施工质量通病诊断与全过程防控策略[J].进展,2025(13):138-140.
- [2]李俊.水利工程边坡喷锚支护施工质量通病及改进路径[J].建筑与施工,2026,5(4):31-32.
- [3]熊宪亚.水利工程涵闸小体积水混凝土外观质量控制及治理措质分析[J].湖南水利水电,2023(3):19-20.
- [4]苗苏萍.水利工程施工中混凝土质量精细化管控与缺陷修复技术研究[J].中国住宅设施,2025(3):79-81.