

水利工程混凝土施工质量通病成因及防治措施

李文斌

新疆科新工程管理咨询有限公司 新疆 巴州库尔勒 841000

摘要: 混凝土作为水利工程中应用最广泛、最重要的建筑材料之一,其施工质量直接关系到工程结构的安全性、耐久性和使用寿命。然而,在实际施工过程中,受材料、工艺、环境及管理等多重因素影响,混凝土结构常出现各种质量通病,如裂缝、蜂窝麻面、强度不足、渗漏等,严重威胁工程安全。本文系统梳理了水利工程混凝土施工中常见的质量通病类型,深入剖析了其产生的根本原因,并针对性地提出了科学、有效的综合防治措施。旨在为水利工程施工技术人员提供理论参考与实践指导,全面提升水利工程混凝土结构的施工质量与服役性能。

关键词: 水利工程;混凝土施工;质量通病;成因分析;防治措施

引言

水利工程是国家基础设施建设的重要组成部分,承担着防洪、灌溉、供水、发电、航运等多重功能。混凝土因其优异的力学性能、可塑性、耐久性以及相对低廉的成本,成为水工建筑物(如大坝、水闸、隧洞、渡槽、泵站等)最主要的结构材料。一座高质量的混凝土水工建筑物,不仅需要科学的设计,更依赖于精细化的施工过程控制。然而,由于水利工程往往具有体积庞大、结构复杂、施工周期长、所处环境恶劣(如高湿度、冻融循环、化学侵蚀等)等特点,混凝土在拌合、运输、浇筑、振捣、养护等各个环节极易产生各类质量缺陷。这些缺陷若未能及时发现和有效处理,轻则影响外观和使用功能,重则会削弱结构承载能力,加速钢筋锈蚀,导致渗漏甚至引发灾难性事故。因此,系统研究水利工程混凝土施工质量通病的成因,并制定行之有效的防治策略,对于保障国家水安全、延长工程寿命、节约后期维护成本具有极其重要的现实意义。

1 水利工程混凝土施工常见质量通病类型

根据大量工程实践和文献资料,水利工程混凝土施工中常见的质量通病主要包括以下几类:

1.1 裂缝

裂缝是混凝土结构中最普遍、危害最大的质量通病。按成因可分为塑性收缩裂缝、干缩裂缝、温度裂缝、沉降裂缝和荷载裂缝等多种类型。塑性收缩裂缝通常发生在混凝土初凝前,因表面水分蒸发过快而形成;干缩裂缝则出现在硬化后阶段,源于内部水分持续散失引起的体积收缩受到约束;温度裂缝多见于大体积混凝土结构,由水泥水化热积聚造成内外温差过大,从而产生拉应力;沉降裂缝则是地基不均匀变形或模板支撑体系失稳所致;而荷载裂缝则可能源于施工超载或设计承

载能力不足。

1.2 表面缺陷

混凝土表面缺陷主要包括蜂窝、麻面、孔洞和露筋等形式。蜂窝表现为局部酥松、石子间空隙明显,形似蜂巢,通常由振捣不密实或混凝土离析引起;麻面则是指混凝土表面局部缺浆、粗糙,呈现密集小凹坑,多因模板未充分湿润、脱模剂涂刷不均或模板拼缝漏浆所致;孔洞是指结构内部存在较大空腔,往往由严重离析、杂物堵塞或振捣严重不足造成;露筋则指钢筋未被混凝土完全包裹而外露,常见于保护层垫块移位、钢筋骨架变形或混凝土泌水离析等情况^[1]。

1.3 强度与耐久性问题

混凝土强度不足是直接影响结构承载能力的关键问题,通常表现为实际抗压强度低于设计值。此外,碳化现象会降低混凝土碱度,使钢筋失去钝化膜保护,进而诱发锈蚀;在寒冷地区,饱水状态下的混凝土易遭受冻融破坏,内部孔隙水反复冻结膨胀,导致表层剥落甚至结构性开裂;而在某些地下水或土壤环境中,硫酸盐、氯离子等侵蚀性介质渗透进入混凝土,与其水化产物发生化学反应,造成膨胀、开裂乃至粉化,严重影响结构的长期服役性能。

1.4 渗漏问题

渗漏是水利工程中最直接的功能性失效表现。一旦混凝土结构出现裂缝、孔洞、施工缝处理不当或接缝密封失效等问题,便极易形成渗水通道,导致水工建筑物无法正常蓄水或挡水,不仅影响工程效益,还可能加剧内部钢筋锈蚀和混凝土劣化,形成恶性循环。

2 质量通病成因深度剖析

上述质量通病的产生并非单一因素所致,而是材料、设计、施工、环境及管理等多个环节综合作用的结果。

2.1 材料因素

原材料质量是决定混凝土性能的基础。若水泥安定性不良、骨料含泥量超标或含有有机杂质、外加剂与水泥适应性差,都将直接影响混凝土的和易性、强度发展及长期耐久性。此外,配合比设计不合理同样是关键诱因。水胶比过大不仅会显著降低混凝土强度,还会增大干缩变形和渗透性;砂率选择不当则会影响拌合物的流动性和保水能力,容易引发离析和泌水现象,进而导致结构内部不均匀和表面缺陷。

2.2 设计因素

结构设计的合理性对预防质量通病至关重要。尤其在大体积混凝土结构中,若未充分考虑温度应力的影响,配筋不足或构造措施缺失,将难以有效约束由水化热引起的体积变形,从而诱发温度裂缝。同时,细部构造设计如施工缝、伸缩缝、后浇带等位置设置不当或节点详图不明确,也会在施工和使用阶段形成薄弱环节,成为裂缝和渗漏的高发区域。

2.3 施工工艺与操作因素(核心原因)

施工过程是质量通病产生的最主要环节。混凝土拌合不均会导致组分分布紊乱,性能波动大;运输与浇筑过程中若自由下落高度过大、时间过长或方式不当,极易造成离析和泌水。浇筑时若未严格分层或分层过厚,将使振捣难以覆盖整个断面。振捣不密实是蜂窝、孔洞、露筋等缺陷的直接原因,这往往源于操作人员技术不熟练、责任心不强,或振捣设备选型不当、插入间距过大、振捣时间不足甚至过振^[2]。模板工程同样不可忽视,刚度不足或支撑不牢会导致跑模变形,拼缝不严引发漏浆,脱模剂涂刷不均则影响表面观感。尤为关键的是养护环节,早期养护不到位——如覆盖不及时、洒水不连续、养护时间不足——会使混凝土内部水分过早散失,不仅阻碍强度正常发展,更会显著加剧干缩裂缝的产生。

2.4 环境与气候因素

外部环境对混凝土施工质量具有显著影响。高温天气会加速水分蒸发,增大塑性收缩和干缩风险,同时缩短凝结时间,增加施工组织难度;低温环境下,水化反应缓慢甚至停滞,强度增长受阻,且新拌混凝土易受冻害;大风干燥气候则会急剧加剧表面失水,极易在初凝前形成塑性收缩裂缝。此外,复杂的水文地质条件,如地下水丰富、地基软弱或不均匀,也可能诱发结构不均匀沉降,进而产生沉降裂缝。

2.5 质量管理体系因素

完善的质量管理体系是保障施工质量的制度基础。

若施工前技术交底不清,操作人员对工艺要求理解模糊,极易导致操作偏差;过程监控缺失,特别是对振捣、养护等关键工序缺乏有效旁站和检查,会使隐患难以及时发现;而质量责任制落实不到位,则会导致问题发生后责任不清、整改不力,形成管理漏洞。

3 综合防治措施

针对上述成因,必须采取全过程、全方位、多层次的综合防治措施,将质量控制贯穿于施工的每一个环节。

3.1 严控原材料质量与优化配合比设计

防治质量通病应从源头抓起。所有进场原材料,包括水泥、骨料、掺合料及外加剂,必须严格执行“先检后用”制度,确保其物理化学性能符合国家及行业标准。在此基础上,科学设计混凝土配合比至关重要。应在满足工作性、强度等级和耐久性要求的前提下,尽可能采用低水胶比,并合理掺加粉煤灰、矿粉等优质矿物掺合料,以降低水化热、改善和易性、提高密实度和抗渗性^[3]。对于大体积混凝土,更应进行专项温控配合比设计,通过试验验证其温升特性和收缩性能。

3.2 强化施工过程精细化管理

3.2.1 模板工程控制

模板系统是保证混凝土几何尺寸和表面质量的前提。应选用刚度大、稳定性好的模板材料,并确保支撑体系牢固可靠,防止在混凝土侧压力作用下发生变形或跑模。模板拼缝必须严密,必要时采用双面胶带或海绵条封堵,杜绝漏浆现象。脱模剂应选用不影响混凝土表面色泽和粘结性能的优质产品,并做到均匀涂刷,避免局部堆积或遗漏。

3.2.2 混凝土拌合与运输

搅拌过程应严格控制投料顺序和搅拌时间,确保混凝土拌合物均匀一致。运输环节需合理规划路线与时长,优先采用带搅拌功能的运输车,并在途中保持罐体匀速转动,防止离析。在极端气候条件下,夏季运输车罐体应采取遮阳降温措施,冬季则需进行保温处理,以维持混凝土入模温度的稳定性。

3.2.3 浇筑与振捣工艺

混凝土浇筑必须遵循分层原则,每层厚度不宜超过振捣棒有效作用长度的1.25倍,并确保上层混凝土在下层初凝前完成覆盖,以避免冷缝产生。振捣是保证密实度的核心工序,应采用“快插慢拔”的操作方法,振捣点布置均匀,间距控制在振捣棒作用半径的1.5倍以内,并插入下层混凝土5至10厘米。振捣时间以混凝土表面泛浆、无明显气泡冒出为宜,既要防止欠振导致空洞,也要避免过振引起离析。对于钢筋密集区、预埋件周边等特殊

部位,应辅以小型振捣器或人工插捣,确保无死角。

3.2.4 科学养护

养护是混凝土强度发展和裂缝控制的关键环节。应在混凝土终凝前(通常在收面完成后)立即开始养护,优先采用覆盖土工布、麻袋片并持续洒水的方式,始终保持表面湿润。普通硅酸盐水泥混凝土的养护时间不应少于7天,掺有缓凝型外加剂或有抗渗要求的混凝土则不少于14天,大体积混凝土应适当延长^[4]。对于温控要求高的工程,还需结合测温数据动态调整养护策略,如通过预埋冷却水管通循环水降温,或在表面覆盖保温材料以减小内外温差,将温差严格控制在25℃以内。

3.3 针对性防治关键技术

3.3.1 裂缝综合防治

裂缝防治需多措并举。在设计阶段,应合理设置伸缩缝、后浇带,并配置足够的温度-收缩钢筋以增强抗裂能力。在材料层面,优先选用低热水泥并掺加矿物掺合料,从源头上抑制水化热。施工中必须实施全过程温控,通过埋设温度传感器实时监测内部温升,并据此调整冷却与保温措施。此外,在混凝土初凝前后进行二次抹压,能有效弥合早期塑性收缩微裂缝,提升表面完整性。

3.3.2 提升混凝土密实度与抗渗性

密实度是抗渗性的基础。除规范振捣外,应积极推广高性能混凝土(HPC)技术,通过优化骨料级配、使用高效减水剂等手段,获得高密实、低孔隙率的微观结构。施工缝作为薄弱环节,必须精细处理:凿毛、冲洗干净后,铺设一层与结构混凝土同成分的水泥砂浆,再进行新混凝土浇筑,确保新旧界面紧密结合,杜绝渗漏路径。

3.4 健全质量保证体系

制度保障是质量控制的长效机制。施工前必须进行详尽的技术交底,将设计意图、工艺难点、质量标准清晰传达至每一位操作人员。推行“样板引路”制度,在大面积施工前制作实体样板,统一操作标准。监理单位应对关键工序和隐蔽工程实施全过程旁站监督,确保施工方案不折不扣执行。同时,建立完善的质量追溯机制,对每一批次混凝土的原材料来源、配合比参数、浇筑部位、养护记录等信息进行详细归档,实现质量问题可查、可溯、可究。

4 工程实例简析

某大型水库碾压混凝土重力坝在夏季高温施工期间,3#~6#坝段出现多条贯穿性温度裂缝,宽度0.2~0.4mm,深度达2.5m。经分析,主要因混凝土入仓温度高达32℃以上,内部最高温升至58℃,而表面散热快,内外温差超28℃,远超规范限值;同时早期养护覆盖不足,加剧了温度应力。项目部随即采取综合温控措施:将浇筑作业调整至夜间进行,在拌合水中掺加约30kg/m³冰屑,使入仓温度降至26℃以下;在每3m高程预埋φ25mmHDPE冷却水管(间距1.5m),通12℃深井水循环降温,并依据光纤测温数据动态调控流量与时长;初凝后立即覆盖双层土工布,配合自动喷淋系统定时洒水,保湿养护21天,并在迎阳面增设遮阳棚。实施后,后续坝块内外温差稳定控制在22℃以内,未再出现贯穿裂缝,仅见少量表层微裂纹,通过二次抹压即可处理。该实践表明,结合材料降温、内部通水冷却与精细化表面养护的全过程温控体系,可有效防控大体积水工混凝土温度裂缝,保障结构安全与耐久性。

5 结语

水利工程混凝土施工质量通病的防治是一项复杂的系统工程,绝非依靠单一措施即可奏效。必须树立“预防为主、防治结合”的理念,从源头抓起,对材料、设计、施工、管理等全链条进行精细化管控。通过严控原材料质量、优化配合比设计、规范施工工艺、强化过程监管,并辅以科学的温控、养护等关键技术手段,才能从根本上减少乃至杜绝各类质量通病的发生。唯有如此,才能打造出安全可靠、经久耐用的精品水利工程,为国家经济社会发展和人民生命财产安全提供坚实保障。

参考文献

- [1]张炳辉.水利工程混凝土施工质量隐患识别与应对措施探讨[J].低碳世界,2025,15(08):124-126.
- [2]范伟,孙丽梅.水利工程混凝土施工质量通病及处理策略[J].建材与装饰,2016,(32):274-275.
- [3]魏炜.水利工程施工中混凝土裂缝防治技术研究[J].城市建设理论研究(电子版),2025,(31):175-177.
- [4]李福,王浩,沈海昌.水利工程混凝土渗漏的原因分析及防治策略研究[J].水上安全,2025,(17):162-164.