

水利工程混凝土施工技术要点与质量管控

岳 涛

河南省水利第二工程局集团有限公司 河南 郑州 450000

摘 要：混凝土作为水利工程的核心结构材料，其施工质量直接决定了工程的安全性、耐久性。鉴于水利工程所处环境的复杂性与严酷性，对混凝土施工提出了远高于普通建筑工程的技术要求。本文系统阐述了水利工程混凝土从原材料选择、配合比设计到浇筑、振捣、养护等关键工序的技术要点，并在此基础上，构建了一套涵盖全过程、全方位的质量管控体系。该体系强调以预防为主、过程控制为核心，通过严格的原材料检验、科学的工艺控制、规范的操作流程以及完善的检测验收标准，确保混凝土工程质量全面受控，为水利基础设施的百年大计提供坚实保障。

关键词：水利工程；混凝土施工；技术要点；质量管控；全过程控制

引言

水利工程是国家重要的基础设施，承担着防洪、灌溉、供水、发电、航运及生态保护等多重功能，其安全稳定运行关乎国计民生与经济社会的可持续发展。在众多水利构筑物中，如大坝、水闸、渡槽等，混凝土因其优异的力学性能、可塑性和相对经济性，成为最主要的建筑材料。水工混凝土（尤其是大体积混凝土）具有其鲜明的特点：首先，工程量巨大，施工周期长，对施工组织与连续性要求高；其次，结构断面尺寸大，内部水化热积聚易产生温度裂缝，温控防裂是核心难题；再次，不同部位（如水下区、水位变动区、水上区）对混凝土性能指标要求各异，需针对性设计多种配合比；最后，对耐久性的要求远高于强度，90天甚至180天的后期强度往往是主要设计依据。因此，传统的、粗放式的混凝土施工管理模式已无法满足现代高质量水利工程建设的需求。

1 水利工程混凝土施工技术关键要点

1.1 原材料选择与质量控制

优质原材料是高性能水工混凝土制备的关键，选择须严格遵循国家及行业标准并契合工程需求：水泥优先选用低热或中热水泥以降低大体积混凝土温升、减少裂缝，有抗硫酸盐侵蚀要求时用抗硫酸盐硅酸盐水泥，且强度等级要与混凝土设计强度匹配，关键指标如安定性（沸煮法检测，初凝 $\geq 45\text{min}$ 、终凝 $\leq 600\text{min}$ ）、比表面积（ $\geq 300\text{m}^2/\text{kg}$ ）、碱含量等需达标；骨料中，细骨料选级配良好、吸水率 $\leq 2\%$ 、含泥量 $\leq 1.0\%$ 等的天然河砂或机制砂（细度模数 $2.3 \sim 3.0$ ），粗骨料选粒径连续、针片状 $\leq 10\%$ 、压碎指标（卵石 $\leq 12\%$ ）等达标的碎石或卵石，最大粒径依结构、钢筋、泵送要求确定，且实时监测含水率调整配合比；矿物掺合料如粉煤

灰（烧失量 $\leq 5\%$ 、需水量比 $\leq 105\%$ ）、矿渣粉、硅灰等，品质与掺量须试验验证；外加剂中高效减水剂可降低用水量 $15\% \sim 30\%$ 、降水胶比，引气剂改善抗冻性、缓凝剂调节凝结时间，选用其他外加剂要做相容性试验；拌合用水应符合生活饮用水标准，用其他水源要检验有害物质含量，防影响混凝土性能与钢筋。

1.2 混凝土配合比设计

配合比设计是连接原材料与最终混凝土性能的桥梁，是确保混凝土满足设计要求的关键技术环节。水工混凝土的配合比设计必须遵循“低水胶比、低水泥用量、高耐久性”的原则。其设计应以满足工程设计要求的强度、耐久性（抗渗、抗冻、抗侵蚀等）和施工工作性（坍落度、扩展度等）为基本目标，在保证上述性能的前提下，力求经济合理，并充分考虑施工条件和原材料的实际状况^[1]。通常采用绝对体积法或假定容重法进行初步计算，并通过系统的试配试验进行调整和验证，重点考察不同水胶比、胶凝材料总量、砂率及外加剂掺量对混凝土各项性能的影响。对于大体积混凝土，还必须进行绝热温升试验，评估其温控防裂风险。实验室确定的基准配合比在施工现场应用时，必须根据砂、石骨料的实际含水率进行换算，得出施工配合比，以确保混凝土的实际水胶比与设计值一致，这一调整过程必须精准、及时，并由专人负责。

1.3 混凝土浇筑施工

浇筑是将拌合好的混凝土输送到模板内并使其成型的过程，是保证混凝土均匀密实的关键步骤。在浇筑前，必须对模板、钢筋、预埋件等进行全面检查，确保其位置、尺寸、保护层厚度等符合设计要求，并清理干净模板内的杂物和积水，基面或施工缝也应按要求进行凿毛、冲洗和湿润处理，但不得有积水。对于大体积混

凝土结构,必须制定详细的浇筑方案,包括分层分块的方式、浇筑顺序、浇筑速度、设备配置等,其中分层厚度应根据振捣设备的有效作用深度确定,通常不宜超过振捣棒有效长度的1.25倍(约40~50cm),合理的分层分块可以有效控制水化热的积聚和释放,减少温度裂缝。在浇筑过程中,混凝土应连续、均衡地入仓,避免出现冷缝,其自由下落高度不宜超过2米,否则应设置溜槽、串筒等设施,防止混凝土发生离析,在钢筋密集或结构复杂的区域,应采取措施确保混凝土能充分填充至各个角落。

1.4 混凝土振捣施工

振捣的目的是排除混凝土中的气泡,使其密实填充模板空间,保证混凝土的均匀性和整体性。应根据结构特点和钢筋疏密程度,选用合适的振捣设备,如插入式振动棒、平板振动器或附着式振动器。操作时应遵循“快插慢拔”的基本要领,振捣棒应垂直插入混凝土,并插入下层已振混凝土5~10cm,以保证层间结合良好。振捣点间距不应大于振动棒有效作用半径的1.5倍(通常为30~50cm),做到“行列式”或“交错式”布点,避免漏振^[2]。振捣时间应以混凝土表面不再显著下沉、无气泡冒出、呈现均匀水泥浆为度,一般为20~30秒,严防欠振导致蜂窝、孔洞或过振引发离析、泌水。对于模板角落、钢筋密集区、预埋件周围等不易振捣的部位,应辅以人工插捣或使用小直径振动棒,确保混凝土密实。

1.5 混凝土养护施工

养护是保证水泥充分水化、混凝土强度正常发展、防止早期塑性收缩和干缩裂缝的关键措施,对水工混凝土尤为重要。应在混凝土终凝后立即开始养护,对于塑性混凝土,可在浇筑后6~18小时内开始洒水养护;对于低塑性或干硬性混凝土,应在浇筑完毕后立即进行喷雾养护,并尽早转入洒水养护。常用的养护方法包括覆盖保湿(如草袋、土工布、塑料薄膜)和持续洒水,覆盖物应保持湿润,洒水应均匀、不间断。在寒冷季节,应采取保温措施(如覆盖保温被),防止混凝土受冻;在炎热干燥季节,则需增加洒水频率,防止水分过快蒸发。水工混凝土的养护时间通常较长,对于普通混凝土,养护期不应少于28天;对于有特殊耐久性要求或大体积混凝土,养护期可能长达60天甚至90天以上,直至蓄水或达到设计要求的强度。

2 水利工程混凝土施工全过程质量管控体系

2.1 质量管控的基本原则

(1) 预防为主,过程控制:质量管控的重点应放在事前预防和事中控制上,而非事后补救。通过对施工全

过程的精细化管理,将质量问题消灭在萌芽状态。(2) 全员参与,责任到人:质量是所有参建人员共同的责任。必须建立健全岗位责任制,将质量目标层层分解,落实到每个班组、每个岗位、每个人员。(3) 标准化、规范化作业:所有施工活动都应有章可循,严格按照经批准的施工方案、技术交底和操作规程执行,杜绝经验主义和随意性。(4) 数据驱动,持续改进:利用信息化手段,对原材料检验、配合比调整、施工参数、检测结果等数据进行实时采集、分析和反馈,为质量决策提供依据,并不断优化施工工艺。

2.2 全过程质量管控的关键环节

2.2.1 施工准备阶段的质量控制

在此阶段,必须组织深入的图纸会审和技术交底工作,确保所有参与施工的技术人员和操作工人能够准确无误地理解设计意图、技术规范及质量标准,并编制出详细、科学且具备高度可操作性的施工组织设计以及针对特殊工艺(如大体积混凝土温控防裂)的专项施工方案^[3]。与此同时,资源准备工作同样不可忽视,所有拟投入工程的机械设备都必须经过全面的检修、调试和必要的校准,以保证其在施工过程中性能稳定、运行可靠;对于施工队伍,则需进行系统性的岗前培训和严格的技能考核,确保每一位作业人员都具备完成其岗位职责所需的专业素养和操作能力,从而为后续的高质量施工奠定坚实的人力与物力基础。

2.2.2 原材料进场与检验控制

首先,应通过严谨的评估程序优选合格的供应商,并建立长期、稳定的供应合作关系,从出厂材料的基本质量。其次,所有原材料运抵施工现场时,必须对其随附的质量证明文件(如出厂合格证、第三方检验报告等)进行仔细核查,并严格按照国家及行业规范规定的批次和频率,由监理单位见证取样,送至有资质的试验室进行复检。任何未经检验或检验结果不合格的材料,都必须坚决清退出场,严禁使用。此外,良好的仓储管理也是质量控制的重要一环,各类材料应分类分区堆放,标识清晰明确,采取有效措施防止不同材料之间的混用、受潮、污染或变质,特别是水泥等易受环境影响的材料,应遵循“先进先出”的原则进行管理,确保其使用时的性能处于最佳状态。

2.2.3 混凝土生产与运输过程控制

在搅拌站,计量系统的准确性是生命线,必须定期进行法定计量部门进行检定,确保水泥、水、骨料、掺合料及外加剂等各种组分的称量误差严格控制在规范允许范围内。搅拌过程也需精细化管理,不仅要严格控制总

的搅拌时间,还需优化投料顺序,以确保各种材料能够充分、均匀地混合,形成性能稳定的拌合物。在运输阶段,应根据施工现场的具体情况,合理规划运输路线和调度车辆,力求缩短运输时间,减少转运次数。运输车辆在装料前必须保持清洁,罐体在运输途中应保持匀速转动,以防止混凝土在运输途中发生离析、泌水或坍落度损失过大等现象,确保送达浇筑点的混凝土依然保持着良好的工作性能。

2.2.4 现场浇筑与成型过程控制

每班次正式开盘浇筑前,必须对首盘或首批次生产的混凝土进行开盘鉴定,检测其坍落度、含气量、温度等关键指标是否符合施工配合比的要求,只有在各项指标均合格后,方可批准大规模连续浇筑。在整个浇筑过程中,专职质检人员必须进行全过程旁站监督,密切关注模板支撑系统的稳定性,随时检查钢筋保护层垫块是否到位、预埋件位置是否准确,并对混凝土的入仓方式、分层厚度、振捣密实度以及早期养护的及时性等关键操作进行实时监控和指导,确保每一项工艺要求都得到不折不扣的执行。同时,必须按规定的时间、地点和方法,规范制作用于强度评定的标准养护试件和反映结构实体状况的同条件养护试件,为后续的质量验收提供真实、可靠的依据。

2.2.5 质量检测与验收控制

除了常规的试块强度试验外,在必要时可采用回弹法、超声回弹综合法乃至钻芯取样等非破损或微破损的检测手段,对已成型混凝土结构的实体强度、内部均匀性以及是否存在空洞、疏松等缺陷进行客观评估。模板拆除后,应立即组织对混凝土外观质量的全面检查,对发现的蜂窝、麻面、孔洞、露筋或裂缝等缺陷进行详细记录,并依据相关规范判定其性质和严重程度,制定并实施相应的处理方案^[4]。最终,整个施工过程的质量成

果需要通过单元工程验收来确认,必须严格遵循《水利水电工程单元工程施工质量验收评定标准——混凝土工程》等行业权威标准,对每一个划分的单元工程进行细致的质量评定,只有当所有主控项目和一般项目均满足设计及规范要求时,才能予以验收通过,从而确保整个水利工程的混凝土结构质量全面受控、万无一失。

3 结语

水利工程混凝土施工是一项技术密集、质量要求极高的系统工程。其成功与否,不仅取决于先进的施工技术,更依赖于一套科学、严谨、高效的质量管控体系。本文系统梳理了从原材料选择、配合比设计到浇筑、振捣、养护等核心工序的技术要点,并构建了一个以“预防为主、过程控制”为核心思想的全过程质量管控框架。实践证明,只有将精细化的技术管理与制度化的质量控制深度融合,严格落实各项标准和规范,才能有效规避施工风险,杜绝质量通病,最终打造出内实外美、坚如磐石的优质水工混凝土结构。这不仅是对工程本身负责,更是对人民生命财产安全和国家长远发展负责。未来,随着新材料、新工艺、智能化技术的不断发展,水利工程混凝土施工技术与质量管控水平必将迈向新的高度,为建设更多经得起历史检验的精品水利工程奠定坚实基础。

参考文献

- [1]路静,刘瑞中.水利工程施工中混凝土材料与施工技术优化[J].粘接,2026,53(03):859-862.
- [2]张永新.水利工程施工中大体积混凝土温控技术研究[J].水上安全,2026,(03):100-102.
- [3]王征.水利工程混凝土施工技术及其设备质量控制措施研究[J].中国设备工程,2026,(05):217-219.
- [4]周银,丁竹青,刘雪飞.水利工程混凝土施工和养护技术研究[J].全面腐蚀控制,2025,39(12):74-76.