

水利工程中混凝土施工技术应用研究

周银翠

河北冀泽水利水电勘测设计有限公司

DOI: 10.12238/jpm.v6i12.8610

[摘要] 为解决水利工程中混凝土施工质量受材料选择、施工工艺及环境因素影响问题, 本文对混凝土原材料优化、拌合与运输、浇筑与振捣、温控防裂、养护及新型混凝土技术的应用展开系统分析。针对大体积混凝土的水化热控制、抗裂措施及高性能混凝土的推广, 提出优化配合比、应用纤维增强材料、采用智能温控系统等技术方案, 提升工程耐久性和安全性。通过精细化施工管理与新材料应用, 提高混凝土结构的抗冲刷性、抗冻融性及承载能力, 为水利工程施工与质量控制提供科学参考, 促进水利建设的技术进步和可持续发展。

[关键词] 水利工程; 混凝土施工技术; 应用

Research on the Application of Concrete Construction Technology in Water Conservancy Engineering

Zhou Yincui

Hebei Jize Water Resources and Hydropower Survey and Design Co., Ltd.

[Abstract] In order to solve the problem of the influence of material selection, construction technology, and environmental factors on the quality of concrete construction in hydraulic engineering, this article systematically analyzes the optimization of concrete raw materials, mixing and transportation, pouring and vibration, temperature control and crack prevention, curing, and the application of new concrete technologies. Regarding the hydration heat control, crack resistance measures, and promotion of high-performance concrete for large volume concrete, technical solutions such as optimizing mix proportions, applying fiber-reinforced materials, and adopting intelligent temperature control systems are proposed to enhance the durability and safety of the project. Through refined construction management and the application of new materials, the anti erosion, frost resistance, and bearing capacity of concrete structures are improved, providing scientific references for water conservancy engineering construction and quality control, promoting technological progress and sustainable development of water conservancy construction.

[Key words] water conservancy engineering; Concrete construction technology; application

一、水利建筑混凝土结构施工特点

一般来讲, 水利工程建筑大多为混凝土结构, 因此为切实保证工程施工质量, 施工单位及施工人员必须明确掌握其结构特点, 以此为基础, 选用恰当的工艺技术, 唯有如此, 方可使水利工程建筑在合同规定期限内如期完工, 进一步提升水利工程建筑的综合效益。经研究, 其施工特点主要体现在如下几个方面: 第一, 对温度要求较高。针对水利工程建筑而言, 其施工地点通常处在野外环境当中, 且其混凝土结构的面积与体积相对较大, 往往采用分块形式展开混凝土浇筑。为此, 为有效避免混凝土浇筑施工结束后, 混凝土的结构表面因出现温度裂缝、冻害等问题而使其质量大打折扣, 必须对施工现场的

温度、天气等因素进行综合考量, 以此为基础, 科学开展混凝土表面保护工作, 并且对接缝处实施灌浆处理; 第二, 水利工程建筑工程体量大, 施工周期长。据调查可知, 现阶段, 部分水利工程建筑工程的混凝土用量已高达上万立方米, 特别是大、中型水利工程, 其水利工程建筑工程建设周期有时甚至会以年为单位, 整个工程施工全生命周期均存在混凝土结构施工的身影。

二、水利建筑混凝土结构施工存在的问题

(一) 结构产生裂缝

在新时代背景下, 混凝土结构裂缝问题可以说是水利工程建筑混凝土施工中最为常见的一个质量问题, 一旦有此类情况

的发生,势必会严重影响到混凝土结构的耐久性和安全性。通常来讲,造成此现象出现的根本原因,主要是因为混凝土材料质量较差、配合比设计不合理、钢筋配置不科学以及养护措施不到位等因素的存在。首先,如果混凝土原材料中含有过量的杂质或者是不良成分,那么将很有可能会导致混凝土内部应力不均,进而产生裂缝问题;其次,在进行混凝土材料配合比设计时,倘若施工人员并未对水胶比、砂率等参数进行有效控制,将很有可能会导致混凝土收缩过大,进而形成裂缝现象。另外,在混凝土施工结束后,养护人员若是并未严格依据规范要求进行养护管理,那么也难以充分保证混凝土施工质量,从而大幅度增加了裂缝问题出现的可能性。为此,在水利工程建筑混凝土结构施工环节,施工人员必须采取有效的应对措施,以减少裂缝问题的出现,切实保证工程质量和结构安全。

(二) 冻胀裂缝问题

与其它普通民用建筑工程相比较为不同,在水利工程建筑工程施工中,极易受到气候、水文、地质等一系列因素的直接影响,因此,在实际施工环节中,很有可能会出现大量的技术性问题,在这其中,以冻胀裂缝问题最为常见,此技术问题是现代水利工程建筑工程施工期间出现最为频繁的危害问题。现阶段,在民用工程中,虽然混凝土裂缝在不超出一定界限值时,对其结构并无太大影响,这是因为混凝土带缝作业本是常态。然而,水利工程建筑工程受到水文、地质等因素的影响较大,所以在实际施工环节应尽量避免其带缝作业。另外,冻胀问题与外界环境之间存在较大的关联性,尤其是在昼夜温差较大的区域中,非常容易因冻胀问题而导致混凝土质量受到影响,一旦应力集中并达到一定界限,就会使其结构出现破坏现象,从而使水利工程建筑混凝土工程质量大打折扣。为此,在实际施工环节,施工单位及施工人员必须对冻胀裂缝问题予以密切关注,采用有效对策对其加以解决,以进一步提升水利工程建筑施工的整体质量。

三、水利工程混凝土施工流程

(一) 施工准备工作

在中型水库除险加固项目中,原材料的选择与检验工作严格按照相关标准和规范执行,为混凝土的质量奠定了坚实基础。水泥作为混凝土的关键胶凝材料,其质量直接影响混凝土的强度和耐久性。该项目选用了 42.5 级普通硅酸盐水泥,这种水泥具有凝结时间适中、早期强度高、抗渗性好等特点,能够满足水库工程对混凝土性能的要求。在选择水泥时,考虑了水泥的安定性、凝结时间、强度等级等关键指标,安定性必须合格,以确保水泥在硬化过程中不产生不均匀的体积变化,避免混凝土开裂;初凝时间不得早于 45 分钟,终凝时间不得迟于 10 小时,保证混凝土在施工过程中有足够的操作时间;强度等级符合设计要求,确保混凝土达到预期的强度。同时,对水泥的生产厂家进行了严格考察,选择了信誉良好、质量稳定

的厂家,以保证水泥质量的可靠性。骨料分为粗骨料和细骨料,是混凝土的主要组成部分。粗骨料选用了质地坚硬、级配良好的碎石,粒径控制在 5-20mm 之间。良好的级配能够使骨料在混凝土中形成紧密的堆积结构,提高混凝土的密实度和强度,减少水泥用量,降低成本。细骨料采用了中砂,其细度模数控制在 2.3-3.0 之间,含泥量不超过 3%。

(二) 预埋冷却水管

为有效控制大体积混凝土内部温度,在混凝土浇筑时预埋冷却水管。选用规格为 DN50、壁厚为 4mm、材质为 20#钢的无缝钢管作为冷却水管,以 1.2m×1.2m 的矩形网格形式布置,可使冷却水更高效地带走水化热,保证混凝土内部温度均匀性。冷却水管外接一套威乐 PH-123E 型冷却系统,该系统流量为 12m³/h、扬程为 40m,可提供强劲且稳定的水流。该系统通过进水管将冷却水输入过滤箱,经过过滤处理后,清洁的水通过导管流入冷却水槽,在混凝土内部循环带走热量。从冷却水槽流出的热水经出水管进入水箱,在水箱中进行初步的热量交换和沉淀,随后通过回流管回到冷却水槽进一步降温冷却系统运行期间,使用 Pt100 热电阻温度传感器对混凝土内部温度进行实时监测,且每 1.5h 记录一次温度数据,并自动绘制温度变化曲线。若监测到混凝土内部温度超过预设的 65℃控制温度,便立即将冷却水泵流量提升至 15m³/h,增强散热效率。经实际监测,冷却水管运行 12~14d 后,混凝土内部温度逐渐平稳,最高温度峰值相较于未采取冷却措施时降低了 18~22℃,有效缓解了混凝土内部温度应力,极大降低了裂缝产生的风险。

(三) 混凝土配合比设计

对于大坝主体混凝土,设计强度等级为 C30,抗渗等级为 P8,抗冻等级为 F200。在初步配合比设计时,选用 42.5 级普通硅酸盐水泥,水胶比初步设定为 0.45,砂率为 38%,并掺加了适量的粉煤灰和高效减水剂。通过试配,发现混凝土的坍落度为 120mm,工作性较好,但 7 天抗压强度仅达到设计强度的 70%,28 天抗压强度为 32MPa,略高于设计强度。为了进一步提高混凝土的早期强度,同时保证耐久性,对配合比进行了优化。适当增加了水泥用量,由原来的每立方米 320kg 增加到 340kg;调整了粉煤灰的掺量,由原来的 20%降低到 15%;同时优化了减水剂的配方,提高其减水率。经过优化后的配合比,再次进行试配,混凝土的坍落度保持在 120mm 左右,7 天抗压强度达到了设计强度的 80%,28 天抗压强度达到 35MPa,抗渗和抗冻性能也均满足设计要求。

(四) 混凝土拌合及运输技术

拌合过程直接影响混凝土均质性及最终工程质量,需严格控制搅拌时间、转速及环境条件。采用双卧轴强制式搅拌机,可提供 35-40 r/min 转速,确保水泥浆均匀包裹骨料,提高拌合质量。搅拌时间依据混凝土类别确定,一般为 90-120 s。高

强混凝土或掺合料较多时延长至 150 s, 保证均匀性。水温控制在 5-35 ℃, 降低拌合水对混凝土性能的不利影响。运输阶段需防止混凝土离析和坍落度损失。罐车运输时宜保持缓慢匀速旋转 (2-6 r/min), 而长距离输送则应采取二次搅拌措施, 防止混凝土凝结。输送方式包括泵送、溜槽和皮带机输送。其中, 泵送混凝土坍落度宜控制在 160-220 mm, 以保证泵送顺畅并避免堵管。冬季施工需采取加热搅拌水、覆盖保温等措施, 防止混凝土因低温导致早期强度不足, 影响工程耐久性。

(五) 混凝土浇筑

对于大坝这种大体积混凝土结构, 主要采用斜面分层浇筑工艺。在浇筑时, 混凝土从浇筑层的下端开始, 逐渐上移, 每层浇筑厚度控制在 30-50cm, 以保证混凝土的散热和振捣效果。浇筑斜面的坡度一般控制在 1: 3-1: 5 之间, 这样既能保证混凝土在浇筑过程中能够自然流淌, 又能避免坡度太陡导致混凝土下滑过快, 影响浇筑质量。随着浇筑的推进, 振捣设备紧跟其后进行振捣, 确保混凝土的密实性。在每层混凝土初凝前, 及时浇筑上一层混凝土, 避免出现冷缝。例如, 在大坝某仓面的浇筑过程中, 按照斜面分层浇筑工艺, 从仓面的一端开始, 沿着斜面逐步向上浇筑, 每层浇筑厚度严格控制在 40cm 左右, 通过合理安排混凝土的供应和振捣设备的运行, 顺利完成了该仓面的浇筑, 经检测, 混凝土的质量符合设计要求。

四、混凝土温控与防裂控制技术

(一) 设置伸缩缝

伸缩缝能够有效释放混凝土因温度变化和干缩变形而产生的应力, 避免应力集中导致裂缝的出现。在软件中选用 CONTAC174 和 TARGE170 接触单元对分别定义伸缩缝两侧的混凝土表面, 并通过设置法向接触刚度、切向摩擦系数等接触参数, 以模拟伸缩缝在结构受力和变形过程中的实际力学行为。通过多次模拟计算不同伸缩缝间距下的法向接触刚度变化, 确定当伸缩缝间距为 20-25m 时, 混凝土结构内部应力分布最为合理, 能有效降低温度应力和干缩变形产生的不利影响。伸缩缝切缝时间选择在混凝土浇筑完成后的 3-5d, 此时混凝土强度达到设计强度的 30%~50%, 既能保证切缝顺利进行, 又能有效避免过早切缝导致混凝土边缘破碎或过晚切缝失去释放应力的效果。施工过程中, 使用 HCR-300 混凝土切缝机确保切缝的精度和质量。

(二) 表面保温养护

大体积混凝土浇筑后, 表面与内部散热条件不同, 易形成较大的温度梯度, 从而产生表面拉应力, 导致裂缝出现。鉴于此, 在混凝土浇筑作业完毕后, 即刻覆盖一层 0.6-0.9mm 的针刺无纺布, 迅速吸附混凝土表面多余水分, 降低表面热量散失。待混凝土表面收浆后, 再覆盖一层厚度为 0.1mm 的塑料薄膜阻挡水分向外界蒸发, 确保混凝土表面始终处于湿润状态。最后, 再覆盖一层与首层相同规格的针刺无纺布, 进

一步强化保温保湿效果。在养护期间, 安排专人每 4h 对土工布和塑料薄膜的完整性展开细致检查。若发现土工布或塑料薄膜存在破损, 立即采用与原材质相同的材料进行修补。对于土工布的破损处, 使用专门的土工布缝合机进行缝合修补; 对于塑料薄膜的破损, 采用热合机将相同材质的塑料薄膜补丁热合在破损处, 确保修补后的密封性与完整性。同时, 使用温湿度记录仪对混凝土表面的温度和湿度进行实时监测, 确保混凝土表面温度与内部温度差值控制在 25℃以内, 表面湿度保持在 90%以上, 总体养护时间不少于 14d。通过这种保温保湿养护方式, 能有效减少混凝土表面的温度应力和干缩变形, 降低裂缝产生的可能性。

(三) 裂缝修复

当大体积混凝土出现裂缝后, 需及时采取有效的修复措施。首先, 对于宽度小于 0.2mm 的表面细微裂缝, 采用表面封闭法进行修复: 首先使用钢丝刷将裂缝表面的灰尘、浮浆等杂质清理干净, 其次用丙酮或酒精等有机溶剂擦拭裂缝表面, 以保证表面清洁干燥, 最后沿裂缝表面均匀涂抹环氧胶泥或聚合物水泥砂浆等材料, 控制涂抹厚度在 1-2mm, 以封闭裂缝通道, 防止水分和有害介质侵入。其次, 对于宽度在 0.2-0.5mm 的裂缝, 可采用压力灌浆法修复: 先在裂缝两侧每隔 10-15cm 钻孔, 孔深为混凝土厚度的 1/3-1/2, 然后安装灌浆嘴, 并使用环氧胶泥密封裂缝表面及灌浆嘴周边, 最后通过灌浆设备以 0.2-0.4MPa 的压力将环氧树脂浆液注入裂缝中。灌浆过程中密切观察浆液的流动情况, 直至所有裂缝被浆液填满。

结论

通过对多项水利工程项目的深入研究, 在混凝土施工及养护管理方面取得了一系列重要成果。在混凝土施工方面, 严格把控施工流程与技术要点是确保工程质量的关键。从施工准备阶段对原材料的精心选择与检验, 到施工设备与场地的充分准备, 为后续施工奠定了坚实基础。混凝土配合比设计充分考虑工程需求, 通过多次试配和优化, 确定了满足强度、耐久性和工作性要求的配合比。在搅拌与运输过程中, 采用科学的搅拌工艺和合理的运输方式, 有效控制了混凝土的质量和性能。浇筑与振捣环节, 根据不同结构特点选择合适的浇筑方法和振捣技术, 确保了混凝土的密实度和成型质量。

[参考文献]

- [1]秦松林.水利工程施工中混凝土裂缝控制技术及应用案例分析[J].数字农业与智能农机, 2025(1): 70-73.
- [2]孟翔.水利工程施工中混凝土裂缝防治技术分析[J].水上安全, 2025(1): 183-185.
- [3]罗成.混凝土原材料对混凝土性能的影响与检测控制研究[J].大众标准化, 2024(19): 176-178.
- [4]林森森.水利工程施工过程中混凝土浇筑技术分析[J].城市建设理论研究(电子版), 2024(26): 208-210.