

水利工程中预应力混凝土结构的设计与优化策略

冯锦华

佛山市南海区丹灶水利所

DOI:10.12238/hwr.v9i5.6319

[摘要] 本文针对水利工程预应力混凝土结构,系统梳理其在设计和应用过程中出现的材料质量把控难、设计模型与实际脱节、耐久性欠佳及施工环节质量不稳定等问题,从材料管理、设计创新、耐久性提升和施工工艺改进等方面提出相应优化策略,旨在全面提升水利工程预应力混凝土结构的设计与施工水平,保障水利工程的安全与长效运行。

[关键词] 水利工程; 预应力混凝土结构; 结构设计; 优化策略

中图分类号: TU318 **文献标识码:** A

Design and optimization strategy of prestressed concrete structure in hydraulic engineering

Jinhua Feng

Danzao Water Conservancy Institute, Nanhai District

[Abstract] Aiming at the prestressed concrete structure of hydraulic engineering, this paper systematically sorted out the problems such as difficult material quality control, disconnection between design model and practice, poor durability and unstable construction quality in the process of design and application, and proposed corresponding optimization strategies from the aspects of material management, design innovation, durability improvement and construction process improvement. The aim is to comprehensively improve the design and construction level of prestressed concrete structure in hydraulic engineering, and ensure the safety and long-term operation of hydraulic engineering.

[Key words] water conservancy project; Prestressed concrete structure; Structure design; Optimization strategy

引言

水利工程作为国家基础性设施,在调节水资源分布、防御水患灾害、推动水力发电等方面发挥着不可替代的作用。预应力混凝土结构凭借其出色的抗裂性能、较高的承载能力和良好的耐久性,在水利工程诸如大坝、水闸、渡槽等关键项目中得到广泛应用。然而,由于水利工程通常面临复杂的地理环境、恶劣的气候条件和严苛的使用要求,预应力混凝土结构在设计与施工过程中面临诸多挑战。因此,深入剖析其中存在的问题,并提出科学合理的优化策略,对提升水利工程的质量、保障其长期稳定运行具有重要的现实意义。

1 水利工程预应力混凝土结构概述

1.1 基本原理

预应力混凝土结构通过在混凝土结构受荷前,对受拉区的混凝土预先施加压应力,以此抵消或减小外荷载所引起的拉应力,进而延缓或避免混凝土裂缝的产生,增强结构的抗裂性能和刚度。依据预加应力的方式,可将其分为先张法和后张法。先张法是在混凝土浇筑前张拉预应力筋,并将其临时锚固在台座或钢模上,待混凝土达到规定强度后,放松预应力筋,通过预应力

筋与混凝土之间的粘结力,使混凝土获得预压应力;后张法是先浇筑混凝土,待其达到一定强度后,在构件上张拉预应力筋,并用锚具将其锚固在构件端部,使混凝土产生预压应力。

1.2 在水利工程中的应用优势

1.2.1 提高承载能力: 在水利工程中,许多结构需承受巨大的水压力和其他荷载。预应力混凝土结构能充分发挥钢筋和混凝土的材料性能,通过对混凝土施加预压应力,提高结构的承载能力,同时减小结构的截面尺寸,降低结构自重,从而节约建筑材料,降低工程成本。

1.2.2 增强抗裂性能: 水利工程长期处于水环境中,混凝土结构一旦出现裂缝,水和侵蚀性介质就容易渗入,导致钢筋锈蚀,严重影响结构的耐久性。预应力混凝土结构通过预先施加的压应力,有效延缓裂缝的出现,限制裂缝的开展,显著提高结构的抗渗性和抗侵蚀能力,延长结构的使用寿命。

1.2.3 控制结构变形: 部分水利工程结构,如渡槽、输水管道等,对变形要求极为严格。预应力混凝土结构在荷载作用下的变形相对较小,能够更好地满足这些结构对变形的要求,确保水利工程的正常运行。

2 水利工程预应力混凝土结构设计与施工中存在的问题

2.1 材料质量把控难题

2.1.1 预应力筋质量不稳定: 预应力筋作为预应力混凝土结构的核心材料, 其质量直接关系到结构的性能和安全。然而, 市场上预应力筋的质量参差不齐, 部分产品存在强度不足、延伸率不达标、表面锈蚀等问题。在采购环节, 由于缺乏有效的质量检测手段和严格的质量监管, 一些不合格的预应力筋进入施工现场, 给工程质量埋下隐患。此外, 预应力筋在储存和运输过程中, 若保护措施不到位, 也容易导致其性能下降。

2.1.2 混凝土原材料质量波动: 混凝土是预应力混凝土结构的主要组成部分, 其原材料的质量对混凝土的性能有着重要影响。水泥的品种、强度等级、安定性, 骨料的粒径、级配、含泥量, 外加剂的种类和掺量等因素都会导致混凝土质量的波动。在实际工程中, 由于原材料供应渠道不稳定, 质量检验不严格, 以及施工过程中配合比控制不当等原因, 混凝土的强度和耐久性难以得到有效保障。

2.2 设计理论与实际脱节

2.2.1 设计模型过于简化: 水利工程预应力混凝土结构的受力情况复杂, 不仅要承受结构自重、水压力、温度变化等常规荷载, 还可能受到地震、地基不均匀沉降等特殊荷载的作用。然而, 在设计过程中, 为了简化计算, 往往采用过于理想化的设计模型, 忽略了一些重要因素的影响, 导致设计结果与实际情况存在较大偏差。例如, 在计算水闸结构的内力时, 对水压力的动态变化和地基的相互作用考虑不够充分, 可能使结构设计偏于不安全。

2.2.2 缺乏对施工过程的考虑: 预应力混凝土结构的施工过程对结构的性能有着重要影响, 如预应力筋的张拉顺序、张拉控制应力、混凝土的浇筑质量等。在设计阶段, 部分设计人员缺乏对施工过程的深入了解, 没有充分考虑施工过程中可能出现的问题, 导致设计方案在施工过程中难以实施, 或者施工后结构的性能达不到设计要求。例如, 预应力筋的布置过于复杂, 给施工带来极大困难, 增加了施工质量控制难度。

2.3 结构耐久性不足

2.3.1 预应力筋腐蚀: 由于预应力筋处于高应力状态, 一旦发生腐蚀, 其承载能力会迅速下降, 严重威胁结构的安全。水利工程环境潮湿, 水中含有各种侵蚀性介质, 如氯离子、硫酸根离子等, 容易导致预应力筋腐蚀。此外, 施工过程中预应力孔道灌浆不密实, 使得水分和侵蚀性介质能够进入孔道, 加速了预应力筋的腐蚀。

2.3.2 混凝土碳化和冻融破坏: 混凝土碳化会使混凝土的碱度降低, 破坏钢筋表面的钝化膜, 导致钢筋锈蚀。在寒冷地区, 水利工程结构还会受到冻融循环的作用, 混凝土内部的水分在结冰时体积膨胀, 反复的冻融循环会导致混凝土开裂、剥落, 降低结构的耐久性。

2.4 施工环节质量不稳定

2.4.1 预应力张拉控制不准确: 预应力张拉是预应力混凝土

结构施工的关键环节, 张拉控制应力和伸长值的准确性直接影响结构的受力性能。在实际施工中, 由于张拉设备精度不够、操作人员技术水平参差不齐、施工管理不善等原因, 预应力张拉控制不准确的情况时有发生, 导致结构的预压应力不足或过大, 影响结构的质量和安全性。

2.4.2 混凝土浇筑质量缺陷: 混凝土浇筑过程中, 若振捣不密实、浇筑顺序不合理、施工缝处理不当等, 会导致混凝土出现蜂窝、麻面、孔洞、裂缝等质量缺陷。这些缺陷不仅会降低混凝土的强度和耐久性, 还可能影响预应力的传递, 进而影响结构的整体性能。

3 水利工程预应力混凝土结构的优化策略

3.1 强化材料质量管控

材料质量是水利工程预应力混凝土结构的根基, 直接决定着工程的整体质量与安全, 因此, 必须从预应力筋和混凝土原材料两方面, 实施全流程、高标准的质量管控。在预应力筋采购环节, 务必选择在行业内信誉良好、资质完备的生产厂家。这类厂家通常拥有成熟的生产工艺和严格的质量把控体系, 能为产品质量提供可靠保障。要求厂家提供详尽的产品质量证明文件, 如质量检验报告、产品合格证书等, 为后续的质量追溯提供依据。预应力筋进场时, 需开展严格且全面的检验。外观检查要细致查看其表面是否存在裂缝、伤痕、锈蚀等缺陷, 保障表面质量过关。精确测量尺寸偏差, 与设计及标准要求进行细致比对, 避免因尺寸不符影响结构性能。通过拉伸试验、弯曲试验等力学性能测试, 确定其强度、延伸率等关键指标是否契合设计要求。在储存和运输过程中, 应采用防潮包装, 选择干燥、通风的环境进行存放, 并垫高预应力筋使其远离地面, 防止受潮、锈蚀, 避免其性能受损。对于混凝土原材料, 建立稳定的供应渠道至关重要, 通过与优质供应商建立长期合作关系, 可有效减少因供应商频繁更换导致的质量波动。对水泥, 定期检验其强度等级、凝结时间、安定性等指标, 确保水泥质量稳定; 对骨料, 严格检查粒径、级配、含泥量等参数, 保证骨料质量符合要求; 对外加剂, 精准检测其品种、掺量是否与设计相符, 避免因外加剂问题影响混凝土性能。在混凝土配合比设计阶段, 充分考虑原材料质量的自然波动, 通过大量试验, 确定适配性最佳的配合比。施工时, 借助自动化搅拌设备, 严格按照既定配合比进行配料和搅拌, 确保每批次混凝土质量稳定。同时, 搭建完善的混凝土生产过程质量监控体系, 运用传感器、数据分析等技术, 实时监测生产环节, 一旦发现质量问题, 立即采取措施解决。

3.2 创新设计理念与方法

面对水利工程的复杂环境及要求, 创新设计理念与方法是提升预应力混凝土结构设计水平, 保障工程质量的必然选择。一方面, 借助先进的计算机技术和有限元分析软件, 搭建精细化设计模型。有限元分析软件能够模拟水利工程结构在各种复杂工况下的受力和变形情况。在模型构建过程中, 全面考虑水压力的动态变化、温度周期性波动、地基不均匀沉降等多方面因素。针对水闸结构, 精确模拟不同水位下的水压力分布, 为结构设计提

供准确的荷载数据;对于大体积混凝土结构,充分考虑温度变化对结构的影响,避免因温度应力导致裂缝产生。通过对不同设计方案的模拟分析,从结构安全性、经济性、施工便利性等多个维度进行对比,权衡各方案的优缺点,筛选出最优设计方案。同时,引入BIM技术对结构进行三维建模,直观展示结构的设计和施工过程。通过BIM模型,设计人员和施工人员能够提前发现设计和施工中可能存在的问题,如管道碰撞、施工空间不足等,从而优化设计和施工方案,提高设计和施工的效率与质量。另一方面,大力加强设计与项目参建单位的协同合作。在设计阶段,设计人员应主动与建设单位进行深入沟通,全面了解项目实施过程中的技术要求和可能出现的问题,将施工因素融入设计考量。例如,在确定预应力筋的张拉顺序和张拉控制应力时,充分考虑现场施工条件,确保施工过程中结构的稳定性和安全性。施工过程中,施工人员应及时向设计人员反馈现场实际情况。若发现设计方案与现场情况不符,如施工难度过大、与其他施工环节冲突等,应及时组织现场会议加强沟通,共同分析问题根源,调整设计方案。通过设计与项目参建单位的深度协同,实现设计目的与实际施工的有效结合,减少因设计与施工脱节导致的工程变更和质量问题,提高工程的整体质量。

3.3 提升结构耐久性设计

水利工程所处的复杂环境,对预应力混凝土结构的耐久性提出了极高要求。提升结构耐久性设计,是延长工程使用寿命、保障工程安全的关键举措。在预应力筋防腐方面,采用高性能防腐材料,如环氧涂层预应力筋、镀锌预应力筋等,这些材料能够在预应力筋表面形成致密的保护膜,有效隔离水分和侵蚀性介质。施工过程中,严格控制预应力孔道灌浆质量,采用真空辅助灌浆技术,确保孔道内浆液饱满、密实,防止水分和空气进入,降低预应力筋腐蚀风险。在结构设计时,合理设置排水系统,通过科学的坡度设计和排水管道布置,及时排除结构表面的积水,减少预应力筋与水的接触时间。此外,建立预应力筋定期检测机制,运用无损检测技术,定期对预应力筋的腐蚀情况进行检测,一旦发现腐蚀问题,及时采取机械或化学方法清除已腐蚀部位锈迹,立即涂抹环氧树脂或专用防锈涂层等修复措施。为提高混凝土的耐久性,从配合比优化入手,增加水泥用量、降低水灰比,提高混凝土的密实性和抗渗性。掺入适量的矿物掺合料,如粉煤灰、矿渣粉等,这些矿物掺合料能够与水泥水化产物发生二次反应,填充混凝土内部孔隙,改善混凝土的微观结构,显著提高混凝土的抗碳化和抗冻融性能。在混凝土表面涂覆防护涂层,如有机硅涂层、聚氨酯涂层等,这些涂层具有良好的耐水性和耐候性,能在混凝土表面形成保护膜,增强混凝土的抗侵蚀能力。此外,合理设计结构的构造形式,通过优化结构布局、设置伸缩缝等方式,避免应力集中,减少裂缝的产生,进一步提升混凝土结构的耐久性。

3.4 优化施工工艺与管理

施工工艺与管理水平直接影响预应力混凝土结构的质量,通过精确控制施工关键环节,优化施工管理,能够显著提升施工质量,保障工程顺利推进。在预应力张拉环节,采用先进的张拉设备,如智能张拉系统,这类设备能够实现张拉过程的自动化控制,提高张拉精度。定期对张拉设备进行校准和维护,确保其精度和可靠性。加强对操作人员的培训,通过理论讲解、实操演练等方式,提高其技术水平和操作技能,使其严格按照设计要求和施工规范进行预应力张拉。在张拉过程中,运用传感器实时监测张拉应力和伸长值,根据监测数据及时调整张拉参数,确保预应力张拉控制准确。在混凝土浇筑方面,制定科学合理的混凝土浇筑方案,根据结构特点和施工条件,合理安排浇筑顺序和振捣方式,确保混凝土浇筑密实。加强对混凝土浇筑过程的质量控制,安排专人负责现场监督,及时处理浇筑过程中出现的问题,如漏浆、振捣不密实等。在混凝土浇筑完成后,及时进行养护,根据混凝土的特性和环境条件,选择合适的养护方法和养护时间,如洒水养护、覆盖养护等,确保混凝土强度的正常增长。同时,建立严格的施工过程质量检验制度,对混凝土的强度、外观质量等进行严格检查,运用回弹法、钻芯法等检测手段,确保施工质量符合要求。

4 结论

水利工程预应力混凝土结构的设计与施工质量,直接关系到水利工程的安全和效益。针对当前水利工程预应力混凝土结构设计与施工中存在的问题,通过强化材料质量管控、创新设计理念与方法、提升结构耐久性设计以及优化施工工艺与管理等一系列优化策略的实施,可以有效提高预应力混凝土结构的设计和施工水平,保障水利工程的质量和寿命,延长工程的使用寿命。在未来的水利工程建设中,随着科技的不断进步和工程实践的不断积累,应持续探索和创新预应力混凝土结构的设计与施工技术,为水利事业的可持续发展提供更加坚实的技术支撑。

【参考文献】

- [1]王凯.后张法预应力混凝土梁板施工技术在水利工程中的应用[J].中国高新科技,2021,(10):71-72+109.
- [2]颜亮亮.浅谈水电水利工程中预应力混凝土施工[J].科技展望,2015,25(15):35.
- [3]李福贵.后张法预应力混凝土施工技术在水利工程中的应用[J].黑龙江科技信息,2014,(06):227.
- [4]马蕴清,白云光.预应力钢筋混凝土压力水管在水利工程中的应用[J].黑龙江水利科技,2007,(03):178.

作者简介:

冯锦华(1989--),男,汉族,广东省佛山市人,大学本科,佛山市南海区丹灶水利所,项目负责人,水利中级工程师,研究方向:水利工程。