

水利水电工程施工技术开发与应用进展

赵正良

中国水利水电第十四工程局有限公司, 云南 昆明 650216

[摘要]水利水电工程属于能源生产以及水资源调控方面的关键基础设施,其施工技术的发展状况同工程所具备的安全性、经济性以及可持续发展的程度有着极为紧密的关联。此文全面且细致地对水利水电工程施工所涉及的传统技术体系予以了梳理,着重针对坝体填筑、混凝土施工、预应力锚固还有基础处理等一系列核心工艺当下的实际状况展开分析,并且还进一步就混凝土抗滑结构、土坝防渗以及智能装备等新型技术在研发以及应用方面所取得的进展进行了探讨。把 BIM 技术、智能感知以及绿色施工理念相互结合起来,对施工技术朝着数字化、智能化转变的路径以及未来可能的发展趋向展开深入的阐述与评析,从而给提升水利水电工程施工的质量以及效率给予相应的技术方面的参考以及理论层面的支持。

[关键词]水利工程;水电工程;施工技术

DOI: 10.33142/hst.v8i7.17103

中图分类号: TV52

文献标识码: A

Progress in the Development and Application of Construction Technology for Water Conservancy and Hydropower Engineering

ZHAO Zhengliang

Sinohydro Bureau 14 Co., Ltd., Kunming, Yunnan, 650216, China

Abstract: Water conservancy and hydropower engineering is a key infrastructure for energy production and water resource regulation. The development of its construction technology is closely related to the safety, economy, and sustainable development of the project. This article comprehensively and meticulously reviews the traditional technical system involved in the construction of water conservancy and hydropower projects, with a focus on analyzing the current practical situation of a series of core processes such as dam filling, concrete construction, prestressed anchoring, and foundation treatment. Furthermore, it explores the progress made in the research and application of new technologies such as concrete anti-skid structures, earth dam anti-seepage, and intelligent equipment. By combining BIM technology, intelligent perception, and green construction concepts, this article provides a deep explanation and analysis of the path of digital and intelligent transformation of construction technology, as well as possible future development trends, in order to provide corresponding technical references and theoretical support for improving the quality and efficiency of water conservancy and hydropower engineering construction.

Keywords: water conservancy engineering; hydroelectric engineering; construction technology

引言

国家愈发重视清洁能源以及生态环境保护,水利水电工程身为可再生能源的关键构成部分,其建设规模以及技术复杂程度都在持续提升,施工技术由此面临了从未有过的挑战以及机遇。传统施工技术经过长时间的积累与发展,已然构建起较为成熟的体系,然而却很难契合现代工程在效率、质量以及智能化方面所提出的更高要求。近些年来,随着新材料、新工艺还有信息技术的迅猛发展,施工技术正朝着集成化、智能化以及绿色化的方向不断演进。深入探讨信息化与智能化技术相互融合应用的最新进展动态,剖析绿色施工理念的具体落地实施情况,同时展望水利水电工程施工技术在未来可能的发展走向,盼望着能为相关领域内的技术研发以及工程实践给予一定的参考。

1 水利水电工程施工的基本特点

水利水电工程一般设立在沿江河、沿湖泊或沿海等地。需根据当地自然条件差异如水文、地形、地质、气象等,

确定施工种类导流施工、截流施工或水下施工。施工进展受施工导流、围堰填筑及基坑排水等几大施工板块影响。水利水电工程常利用水流的流速、流量、落差等自然性质进行生产,且水利水电工程的择址常与城市建设产生矛盾,因此工程需远离物资丰富、人口集中的地区,但工程建设的各项费用也明显增大,技术难度和强度也因此增加。水利水电常面临对水流进行挡堵和泄闸等关键任务,因此工程建筑的稳定性、抗压性、抗寒性等性能都必须符合相应的建设标准和技术规则。必须保证正确的施工建筑方法,从而保证高质量的施工进度。

2 传统施工技术体系及其应用现状

2.1 坝体填筑与碾压施工技术

坝体填筑施工属于水利水电工程当中的核心工序之一,其技术成熟与否会直接对坝体的稳定性以及工程安全产生影响。传统上,坝体填筑施工大多运用分层铺筑并且均匀压实的碾压工艺,以此来保证坝体具备一定的密实度

以及抗渗性能。在开展碾压施工的时候,得依据不同材料所具有的物理性质去挑选合适的压实机械以及确定合理的压实遍数,要充分借助机械振动以及静压力来获取最佳的密实效果。在施工进程当中,填料的级配还有含水率的控制情况关乎着碾压效果是否能够得以保障。在填筑操作的过程中,遵循分层厚度设置合理且连续施工的原则,这样便有效地防止了因施工出现间断而致使产生的冷缝以及结构弱区等问题。就大型水电工程而言,坝体施工往往会伴随着复杂多变的水文以及地质条件,在施工期间务必要同时考虑到坝基处理、围堰稳定以及施工排水等一系列配套技术。传统坝体填筑技术虽说经过了长时间的应用,其工艺流程也较为成熟,不过依旧存在着机械化程度不够高、施工周期偏长等诸多局限性,这些局限性对施工效率以及工程质量的一致性都产生了影响。所以,围绕传统碾压工艺展开优化并推动机械设备实现升级换代,这已然成为了提升坝体填筑施工水平的一个重要方向。

2.2 混凝土施工与温控裂缝防治技术

混凝土施工技术在水利水电工程里占据着极为重要的位置,其中大体积混凝土的浇筑质量,同坝体的整体稳定状况以及使用寿命紧密相关联。传统混凝土施工着重于浇筑的连续性,还有分层之间要有良好的黏结情况,以此来保证混凝土具备应有的密实度以及均匀性。在开展大体积混凝土施工的时候,因为水泥水化过程中会放出热量,进而形成温度梯度,这就很容易出现温度裂缝的情况,而且要是情况严重的话,甚至还会致使结构遭到破坏。所以,温控裂缝防治技术便成了保障工程质量的一项关键举措,一般会采用分层浇筑的方式,同时合理地去设计浇筑的顺序,并且对浇筑的速度加以控制,通过这些办法来降低内部的温差。与此还会实施一些外部冷却方面的措施,像是喷洒冷却水,又或者是安装冷却管道系统等,借此来加快水化热的散发速度。对温度的变化情况以及应力的分布状况进行监测,然后及时地去调整施工工艺,这也是传统混凝土温控裂缝防治当中颇为重要的手段之一。虽说传统的方法在实际的工程当中有着较为广泛的运用,不过其施工过程对于环境以及工期都会产生一定的影响,这也就推动了针对温控裂缝防治在材料方面改进以及施工智能化方向上的技术研发工作开展。

2.3 预应力锚固与结构加固技术

预应力锚固技术是提升水利水电工程结构整体性与稳定性的行之有效的举措,在坝体、溢洪道以及隧洞等极为重要的部位有着广泛的应用。传统的预应力锚固主要是借助锚索、锚杆把预应力作用到结构内部,以此来有效地抵御水压力、地震力以及其他来自外部的载荷。在施工的时候,锚固系统的相关设计务必要充分考量锚固体与周围土体或者岩体之间的结合性能,从而保证锚索的受力传递能够做到安全且可靠。就施工工艺而言,锚索在布置、张

拉以及固定这些环节当中,必须对张力和变形予以严格的把控,防止出现锚索损伤或者是应力集中的情况。在结构加固这个层面,传统的方法往往会和钢筋网、钢板加固以及混凝土补强相结合,针对那些受力比较薄弱的部位展开局部的强化处理。通过运用锚固技术以及采取结构加固方面的措施,可以大幅度地提升坝体的抗滑稳定性以及整体的刚度。当下,传统预应力锚固技术已经较为成熟且稳定,不过它面临着施工难度颇高、现场工序繁杂等一系列问题,这就推动了智能化检测以及施工装备的引入,使之成为技术发展的重要方面。

3 新型施工技术的开发与工程集成

3.1 混凝土抗滑与抗震结构新技术

随着水利水电工程规模变得越来越大,自然环境的复杂性也在不断增加,在这样的情况之下,混凝土结构的抗滑以及抗震性能已然成为了施工技术研发方面极为重要的重点方向。新型混凝土抗滑结构技术着重去优化混凝土的配比,另外还会掺入高性能的添加剂,并且采用较为先进的施工工艺,以此来促使结构的摩擦系数得以提升,让整体的稳定性也有所增强。通过对混凝土界面粗糙度进行合理的把控,同时进一步强化锚固的效果,如此便可以有效地阻止坝体结构在受到剪切力作用时出现滑移破坏的情况。与此抗震结构技术会综合运用地震力学原理,采用柔性连接的方式以及设置能量耗散装置,进而大幅度提升建筑物在遭遇地震时的耐久性以及安全性。新技术的应用并不是仅仅依靠材料性能的提高,而是要结合结构力学仿真分析,以此达成在施工过程里能够实时进行优化调整的目的。该技术在现实当中的推广应用,切实有效地弥补了传统结构设计当中抗滑以及抗震能力存在不足的缺陷,给水利水电工程的安全运营给予了十分坚实的保障。

3.2 土坝防渗、减载与排水处理新工艺

土坝属于水利水电工程里的关键部分,其防渗处理对于保证坝体安全来讲极为重要。新型防渗技术着重于综合运用多种材料以及工艺,在提升防渗效果之际,还要考虑施工的经济性和环保性。比如使用高分子复合材料还有膨润土这类新型防渗材料,同时配合先进的注浆以及膜覆盖技术,以此来有效地阻断水流渗透的路径。减载技术借助合理设计坝体结构的形态,对材料配置以及内力分布加以优化,从而降低坝体的承载压力,强化整体的稳定性。排水处理技术在传统的基础上,加入了智能监控以及自动调节的功能,达成排水系统能够动态适应且实现高效排水的效果。此类新工艺关注工程与环境的协调情况,促使防渗减载排水技术朝着绿色、智能化的方向去发展,进而为提高土坝的安全性能以及延长其使用寿命给予技术层面的保障。

3.3 智能装备与自动化施工系统

智能装备以及自动化施工系统的引入,这在提升水利

水电施工效率以及质量控制方面,是一项颇为重要的技术方面的突破。其中,基于传感器、人工智能还有大数据技术而打造出来的智能施工装备,它可达成对施工现场的环境状况、机械运行的实际状态以及整个施工过程的实时且细致的监测,同时还能开展智能调度相关事宜。而自动化施工系统所包含的内容就丰富了,像无人驾驶推土机、智能碾压机械以及自动化混凝土浇筑设备等等都囊括在内,它们的出现,明显地提高了施工的精度以及效率,同时也使得人工操作过程中易出现的误差得以减少,还降低了施工环节里的安全隐患。借助施工过程当中的数字化管理手段,智能系统能够对资源配置加以优化,有效预防施工风险的发生,并且还能够实现施工方案的动态调整。智能装备的集成并加以应用,一方面提升了传统施工工艺的自动化程度,另一方面也有力地推动了施工技术朝着数字化以及智能化的方向去转型,进而促使水利水电工程朝着高质量以及高效率这样的方向不断发展前行。

4 信息化、智能化与绿色施工的发展趋势

4.1 BIM 与数字建造在施工中的集成运用

建筑信息模型(BIM)技术在水利水电施工方面的应用,达成了从设计阶段、施工阶段一直到运维阶段整个过程的数字化管理目标。借助三维模型的构建工作,BIM技术促使各个施工环节的相关信息得以高度集成,进而实现了设计方案的可视化呈现、冲突检测功能以及施工模拟效果,大幅提升了施工方案所具备的科学性以及可操作性水平^[1]。数字建造平台把BIM技术和物联网技术结合起来,从而实现对施工资源、设备以及人员的动态监控与调度安排,对施工流程予以优化,使得误差以及返工率都得以降低。对BIM技术加以集成运用,既提高了项目管理的效率以及质量,又推动了施工过程当中的协同与透明度,促使水利水电工程施工朝着智能化、信息化的方向不断迈进,为达成智慧水利的目标奠定了较为坚实的基石。

4.2 智能感知、监测与安全控制技术

智能感知技术借助传感器、无人机以及遥感设备,达成对施工现场环境、设备运行状况和结构安全的实时监测目标。凭借数据采集与分析操作,智能监测系统可对潜在的安全风险发出预警,引导施工做出相应调整,以此来确保施工安全。安全控制技术联合人工智能算法,能够实现危险状况的快速识别与及时响应,进而提升应急处置的能力水平^[2]。这一技术体系不但涵盖施工期,而且还延伸到运行维护阶段,从而为水利水电工程在整个生命周期内的安全管理给予技术方面的有力支撑。伴随智能技术的持

续发展,安全监测系统朝着更高的智能化、精准化以及自动化程度的方向不断演进,有效地防范施工事故的发生。

4.3 水利水电施工技术的未来演进方向

在未来,水利水电施工技术的发展会着重聚焦在数字化、智能化以及绿色化这三个不同的方向之上。其中,数字孪生技术在得到广泛的推广应用之后,能够达成施工全流程的虚拟仿真效果,并且可以实现实时的优化操作,如此一来便能够让决策具备更高的科学性。而人工智能技术、大数据相关技术以及5G通信技术等,将会促使施工智能装备以及自动化系统得以快速地普及开来,进而推动施工现场朝着无人化以及智慧化的方向去进行转变^[3]。与此绿色施工技术也会不断地持续深化下去,推动施工所涉及的材料、工艺以及管理等方面都实现全面的绿色升级,从而满足节能减排以及生态环保方面所提出的新要求。除此之外,多学科之间的交叉融合以及与国际技术标准进行对接,同样也会成为提升施工技术水平的一项重要发展趋势,以此来助力水利水电工程建设顺利迈向高质量发展的全新阶段。

5 结语

水利水电工程施工技术已经历了从传统工艺朝着新型技术和信息化智能化所发生的重大变革。传统施工技术体系为其打下了稳固的基础,新技术不断得以开发并投入使用,这在很大程度上提高了施工效率以及工程质量。信息化以及绿色施工呈现出的发展趋向,不但契合现代工程对于安全、环保以及效率的综合性要求,而且还指引着行业未来发展的走向。在施工环境复杂且多变、质量标准日趋严格的当下,持续对施工技术加以创新,将智能化手段融入其中,并且践行绿色理念,这将会成为确保水利水电工程能够安全、高效且可持续地开展建设工作的关键所在。在未来,应当加快技术的集成工作以及跨学科之间的协同合作,推动标准化进程以及国际化发展,从而全面提升水利水电工程施工的现代化程度。

[参考文献]

- [1]柏淑霞,郭瑜瑜.水利水电工程中土石方施工技术要点分析[J].水上安全,2025(8):196-198.
 - [2]马洋,陈焕凤,马卫,等.水利水电工程防渗施工技术研究[J].工程技术研究,2025,10(8):72-74.
 - [3]姚向阳,庞超,施江峰.探讨水利施工技术与水利施工应用[J].城市建设理论研究(电子版),2025(8):217-219.
- 作者简介:赵正良(1981.11—),男,毕业院校:中南民族大学,大学本科,所学专业:工程管理;当前就职单位:中国水利水电第十四工程局有限公司,职称级别:工程师。