

水利水电工程施工组织设计优化与实施路径研究

张望舒 陈培

长江勘测规划设计研究有限责任公司, 中国·湖北 武汉 430010

摘要: 当下, 水利水电工程建设得热火朝天, 施工组织设计是项目往前推进的核心, 它的科学性和合理性, 直接关系到工程的质量、进度还有成本。不过, 传统的施工组织设计常常靠经验来规划, 遇到现在这种复杂多变的施工环境、严格的生态保护要求, 还有不断增长的社会需求, 逐渐暴露出许多问题。比如说, 施工资源分配不均, 导致资源浪费; 没有生态环境保护得系统办法, 产生生态问题。为此, 本文将详述水利水电工程施工组织设计优化与实施路径, 希望能为相关施工人员提供一些有效的参考。

关键词: 水利水电工程; 施工组织; 设计优化; 实施路径

Research on the Optimisation and Implementation Path of Hydropower Project Construction Organisation Design

Zhang Wangshu, Chen Pei

Yangtze River Survey, Planning and Design Research Co., Ltd., China Hubei Wuhan 430010

Abstract: Currently, the construction of water conservancy and hydropower projects is in full swing. Construction organisation design is the core for advancing the project, and its scientific and rational approach directly affects the quality, progress, and cost of the project. However, traditional construction organisation design often relies on experience for planning. In the context of today's complex and changing construction environment, strict ecological protection requirements, and growing social demands, many problems have gradually emerged. For example, uneven allocation of construction resources leads to waste, and the lack of systematic ecological protection measures causes ecological issues. Therefore, this article will detail the optimisation and implementation paths of construction organisation design for water conservancy and hydropower projects, hoping to provide some effective reference for relevant construction personnel.

Keywords: Water conservancy and hydropower projects; Construction organisation; Design optimisation; Implementation path

0 引言

水利水电工程是国家基础设施建设里的关键一环, 施工组织设计得重要性不言而喻。它不只决定着工程能不能顺利推进, 对区域经济发展、生态环境保护还有社会稳定也有着深远的影响。现在, 科技进步飞速, 可持续发展的理念深入人心, 水利水电工程施工面临着前所未有的挑战与机遇。一方面, 新的施工技术和设备不断冒出来, 给提高施工效率和质量提供了可能; 另一方面, 社会对工程建设在生态、安全这些方面的要求越来越严格。在这种大背景下, 传统的施工组织设计模式已经跟不上新形势的步伐。相关人员必须打破传统思维的限制, 探索出一条符合时代发展要求的创新路径, 让水利水电工程建设能再上一个新台阶。

1 水利水电工程施工组织设计优化原则

1.1 整体效益最大化原则

水利水电工程庞大, 环节复杂, 施工组织设计必须把经济、社会还有生态效益等整体效益最大化放在核心位置。经济效益方面, 要明确规划资源投入, 人力、物力、财力共同调配、工作, 避免浪费。比如在大型水库建设里, 不同标段的施工力量调配就需要相关人员深入思考, 工程进度产生变化, 设备和人员也要跟着动态调整, 否则局部施工力量不均, 成本必然增加。社会效益上, 施工组织设计应把周边社区的情况考虑进去。就比如说施工时间, 要安排合理, 避免夜间施工造成噪音影响居民休息。还有, 尽量为当地多提供些就业岗位, 这对地方经济发展大有裨益。生态效益方面, 整个施工过程中, 要保护好周边生态环境。

比如在河流上建水电站,优化施工方案,尽量减少对水域生态的破坏,还要设置鱼类洄游通道,避免生态系统乱套。只有把经济、社会和生态效益都统筹好了,水利水电工程整体效益才能达到最大化。

1.2 科学合理性原则

施工流程安排需遵循工程建设的客观规律,比如土石坝施工,从基础的开挖、填筑到后面的护坡处理,每一步都有先后顺序和技术要求,不能随意颠倒或者省略。施工方法的选择也有讲究,需根据工程特点、地质条件还有技术可行性来。要是地质复杂,就要用先进的勘探技术把地下情况摸清楚,然后选合适的开挖和支护方式,这样才能保证施工安全和质量。制定施工进度计划的时候,要用科学的项目管理方法,比如关键路径法(CPM)和计划评审技术(PERT)。通过这些方法,相关人员能精确算出各项工作要花多长时间,工序之间的逻辑关系也能安排妥当,避免不合理赶工或者窝工的情况。同时,还要考虑那些不可预见的因素对进度的影响,留出弹性时间,这样工程才能按预定计划顺利推进^[1]。

1.3 可持续发展原则

如今这社会,可持续发展理念深入人心,水利水电工程施工组织设计也要跟上这步伐。从工程规划的时候,就要把资源节约和循环利用考虑进去。对于施工用水,可以用节水型设备和工艺,废水处理后再回用,这样水资源就不会浪费。材料选择上,优先选环保、可再生的材料,降低对自然资源的依赖。同时,工程的长期运营和维护也不能忽视。设计施工方案的时候,要预留点维护空间和设施,以后检修和更新就会更方便。还有,要关注工程对区域可持续发展的带动作用,合理规划,促进当地产业结构优化升级,促使经济效益、社会效益和生态效益长期共赢。

1.4 灵活适应性原则

水利水电工程施工环境复杂多变,自然条件、政策法规还有市场变化,这些因素都能对施工产生影响。所以,施工组织设计要具备灵活适应性。自然条件方面,要是遇到恶劣天气、地质灾害这些突发情况,施工方案要能迅速调整。就像暴雨季节,提前做好排水措施,安排室内作业,这样因天气停工的损失就能减少。政策法规的变化对施工影响也不小,要是环保政策收紧了,施工组织设计就要赶紧调整环保措施,多投入点环保方面的精力,确保施工活动符合新要求。市场变化也不容小觑,材料价格波动、劳动力市场供需变化,这些在施工组织设计里都要体现出来。相关人员可以构建动态调整机制,及时优化资源配置,这

样市场风险对工程的影响就能得到降低。

2 水利水电工程施工组织设计优化与实施路径

2.1 基于多目标协同的动态规划框架构建

传统水利水电工程施工组织设计常常只盯着一个目标,比如工期最短或者成本最低等。但实际上,在工程里,工期、成本、质量、安全还有生态影响这些目标,是相互纠缠、互相制约的。要想实现全面优化,就要构建一个多目标协同的动态规划框架,以系统论为根基,把整个水利水电工程当成一个复杂的系统,各个施工环节和要素就是系统里的小模块^[2]。从时间这个维度看,施工过程是不断变化的,不同阶段各个目标的重要性也不一样。就比如在基础开挖阶段,安全和质量是头等大事;到了后期附属设施建设的时候,工期和成本控制就变得更重要了。在构建框架的时候,相关人员可以引入模糊综合评价法来确定各个目标的权重。假设目标集是 $U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\}$, 权重集是 $A = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$, 这里面 $\sum_{i=1}^n a_i = 1$, 通过专家打分和层次分析法的结合使用,来确定每个目标在不同施工阶段的权重。比如说在某个大型水库工程里,初期围堰填筑阶段,安全目标权重 a_1 可以设成 0.4, 质量目标权重 a_2 是 0.3, 工期目标权重 a_3 是 0.2, 成本目标权重 a_4 是 0.1。随着施工往前推进,这些权重还需动态调整。权重确定好了之后,就运用多目标线性规划模型

$$\max(\min) Z = \sum_{i=1}^n a_i f_i(x)$$

进行优化,这里 $f_i(x)$ 是各个目标的函数表达式。通过不停地迭代计算,在满足各项约束条件的情况下,找到最优解,实现多目标的协同优化。这种动态规划框架能根据工程实际情况灵活变动,避免因为只盯着一个目标,导致决策出现偏差,让施工组织设计更科学、更合理。

2.2 融合大数据与人工智能的资源精准调配

水利水电工程施工是个庞大工程,人力、物力、财力这些资源丰富,资源调配得合不合理,对工程进度和成本影响很大。传统资源调配方式大多依靠经验,遇上复杂多变的施工环境,很难应付过来。要是能把大数据和人工智能技术融合起来,就能实现资源的精准调配。对此,首先要建立施工资源大数据平台,把工程各个环节的资源信息都整合起来,比如人员技能水平如何、设备性能参数是多少、材料库存还有供应周期这些,都要搞清楚。同时,依靠传感器、物联网这些技术手段,实时采集施工现场的资源数据,保证数据又准又及时。比如,在混凝土搅拌站装上传感器,实时监测水泥、砂石这些材料的库存和消耗情

况。有了大数据,还要用人工智能算法来分析和挖掘。机器学习里的神经网络算法能对历史施工数据进行学习,预测不同施工阶段的资源需求。比如水电站工程通过分析过去类似工程在基础施工、主体建设等阶段的资源消耗数据,建立神经网络模型,把当前工程的进度、规模等参数输进去,就能预测后续施工需要哪些资源、要多少。另外,还要用智能优化算法,像遗传算法、蚁群算法这些,对资源调配方案进行优化。遗传算法是模拟生物进化过程,通过选择、交叉和变异这些操作,不断迭代,生成更优的资源调配方案。把大数据和人工智能融合起来,就能实现资源的精准预测和动态调配,减少资源浪费,提升工程经济效益^[3]。

2.3 考虑环境敏感性的施工工序优化

水利水电工程一般都在自然环境复杂的地方,施工活动很容易对周边生态环境造成明显影响。所以,施工工序优化需充分考虑环境敏感性,既要保证工程能顺利进行,又要最大程度减少对环境的破坏。从生态学角度看,要先识别工程周边的环境敏感要素,像水源保护区、野生动物栖息地、珍稀植物生长区域这些。在安排施工工序的时候,尽量避开生态脆弱期和关键生态过程。比如说水生生物繁殖季节,就别进行水下爆破、疏浚这些可能影响生物繁殖的作业,以免造成生态破坏。同时,要引入环境影响评估模型,把不同施工工序对环境的影响程度量化出来。就拿水质影响来说,相关人员要建立水质预测模型,考虑施工过程中污水排放、泥沙淤积这些因素对周边水体水质的影响。通过模型计算,就能评估不同施工工序对水质的恶化程度,为工序优化提供依据。工序优化过程中,还要采用绿色施工技术。像土石方开挖的时候,用湿法作业,能减少扬尘污染;混凝土浇筑的时候,用环保型外加剂,能降低对水体的污染。同时,合理安排施工工序的衔接,减少施工场地占用时间,降低对生态环境的长期干扰^[4]。

2.4 基于风险传导的施工安全管控体系升级

水利水电工程施工里,安全风险具有复杂性、动态性以及传导性等特点,很容易因为一个环节出错而影响整体。为此,必须升级施工安全管控体系,基于风险传导原理,先构建风险传导模型,把施工过程中的风险源、风险传导路径还有风险承受体都找出来。风险源包括人的不安全行为、物的不安全状态、环境的不良因素,举例来说就是操作不规范、设备老化、损坏以及恶劣天气、复杂地质条件等。风险传导路径有物理传导——比如高处作业人员坠落砸到下面东西;管理传导——比如一个环节出问题影

响整个管理流程;行为传导——一个人不安全行为带动其他人也这样。风险承受体主要就是施工人员、施工设备和工程结构这些。就说高处作业,施工人员没系安全带,这就是不安全行为风险源,人要是坠落了,这就是物理传导,对自己造成伤害不说,要是砸到下面设备或者人员,还会通过管理传导和行为传导影响其他风险承受体。风险评估也要用风险矩阵法,综合考虑风险发生的可能性和后果严重程度,把风险分成低、中、高三个等级。对于高等级风险要制定专门的管控措施,加强安全培训,让施工人员知道如何规范操作;增加安全防护设施,多一层保障。还要建立风险预警机制,实时盯着风险源的变化。在施工现场装上传感器、监控设备等,对人的行为、物的状态还有环境参数进行实时监测。要是监测数据超过预设阈值,就要迅速发出预警信号,启动应急预案。比如对于深基坑施工,就可以装上位移传感器监测基坑边坡位移情况,位移超过警戒值,就要马上停止施工,疏散人员,及时采取加固措施。通过这些,就能实现对施工安全的动态、全面管控,有效预防安全事故发生^[5]。

2.5 依托 BIM 技术的施工进度可视化模拟与调整

施工进度管理在水利水电工程施工组织设计里是核心内容之一,以前传统进度管理方式,大多靠二维图纸和进度报表,很难直观看施工过程的动态变化。要是依托 BIM(建筑信息模型)技术,就能实现施工进度的可视化模拟与动态调整。对此,相关人员要先建立水利水电工程的 BIM 模型,把工程的三维几何信息、施工进度信息、资源信息等集成在一个模型里。用 BIM 软件,像 Revit、Navisworks 这些,对施工过程进行可视化模拟。在模拟的时候,能很直观看到各施工环节的先后顺序、时间节点还有空间关系,这样就能及时发现进度计划里存在的冲突和问题。比如对于模拟大坝混凝土浇筑,能发现不同浇筑块施工顺序不合理,导致模板拆除和钢筋绑扎工序冲突,通过调整模拟参数,就能优化施工顺序。利用 BIM 模型还能对进度计划进行动态调整,要是实际施工进度和计划进度有偏差,相关人员就要先分析偏差原因,然后在 BIM 模型里快速调整施工任务的时间参数、资源分配等。而且 BIM 模型能自动计算调整后的进度计划对其他施工环节的影响,给决策提供全面、准确的信息。比如因为天气原因,某段堤防施工进度延迟了,相关人员就可以在 BIM 模型里调整这段堤防施工时间,再分析对相邻堤防施工和整体工程竣工时间的影响,根据分析结果制定合理调整方案。BIM 技术还能和施工管理系统集成,实现进度的实时监控和动态

管理。相关人员可以在施工现场安装定位设备和传感器，把实际施工进度数据实时反馈到 BIM 模型里，和计划进度对比分析，及时发现问题并调整。通过这些，依托 BIM 技术的施工进度可视化模拟与调整，就能提高进度管理的效率和准确性，确保工程按计划顺利推进。

3 总结

总体而言，水利水电工程施工组织设计的优化需要构建多目标协同动态规划框架，把多个目标统筹起来；融合大数据与人工智能，让资源调配更精准；还要考虑环境敏感性来优化工序，兼顾生态保护；升级基于风险传导的安全管控体系，预防安全事故发生；依托 BIM 技术对进度进行可视化模拟与调整，提升管理效率。通过这些路径，从多个维度提升施工组织设计的科学性、合理性与有效性，

保障工程能顺利推进，实现可持续发展。

参考文献：

- [1] 李远威, 张玲洁, 康超. 施工组织设计在水利工程施工管理中的应用[J]. 水利技术监督, 2025,(03):90-92.
- [2] 邵金娜. 水利工程设计概算与施工组织设计的关联性探讨[J]. 黑龙江水利科技, 2024,52(07):153-156.
- [3] 赵玮璠. 水利水电工程施工组织设计编制探讨[J]. 工程与建设, 2024,38(01):165-167.
- [4] 陈时彬, 李学智. 水利水电工程项目投标施工组织设计编制方法探讨[J]. 四川水利, 2023,44(03):143-144+152.
- [5] 甘巨强. 水利水电工程施工组织设计与工程造价关系[J]. 云南水力发电, 2022,38(08):319-322.