

量需求较小时,单台水泵变频运行;当流量需求超过单台水泵最大输出时,启动第二台水泵,采用“1台变频+1台工频”或双变频的运行模式,确保系统在不同负载工况下均处于高效运行状态[3]。

4.2 控制精度与稳定性优化

4.2.1 改进 PID 控制算法

采用模糊 PID 控制算法,构建模糊推理规则库,根据压力偏差与偏差变化率,实时调整 PID 参数 (K_p 、 K_i 、 K_d)。例如,当偏差较大时,增大 K_p 、减小 K_i ,加快响应速度;当偏差较小时,减小 K_p 、增大 K_i ,提高控制精度,有效抑制超调与振荡现象。

4.2.2 抗干扰设计

硬件方面,在传感器信号线路上添加滤波电路,减少电磁干扰;在变频器输出端安装电抗器,降低电压谐波对电机的影响。软件方面,采用数字滤波算法对采集到的压力、流量数据进行平滑处理,剔除异常值,同时设置参数阈值,避免外部干扰导致的误操作。

4.3 故障诊断与智能维护系统设计

4.3.1 故障监测指标选取

选取电机温度、振动频率、电流电压、供水压力等关键参数作为故障监测指标,设定正常运行范围。当参数超出阈值时,系统触发故障预警。例如,电机温度超过 85°C 时,判定为过热故障;振动频率超出 $10\text{--}100\text{Hz}$ 的正常范围时,提示轴承磨损或叶轮不平衡。

4.3.2 故障诊断模型与远程监控

基于 BP 神经网络构建故障诊断模型,通过历史故障数据训练模型,实现故障类型的自动识别与定位,诊断准确率可达 90% 以上。开发远程监控平台,采用物联网技术将设备运行数据上传至云端,管理人员可通过手机 APP 或电脑终端实时查看运行状态,接收故障预警信息,并下发远程维护指令[4]。

4.4 优化方案的硬件与软件实现

4.4.1 硬件选型

选用西门子 MM440 系列变频器,适配 110kW 电机;传感器选用罗斯蒙特 3051 压力变送器与电磁流量传感器,测量精度高、稳定性强;控制器采用三菱 FX3U 系列 PLC,处理速度快,支持多种通信协议。

4.4.2 软件设计

采用梯形图与功能块图结合的方式编写 PLC 控制程序,实现变频调速、联动控制、故障诊断等功能。上位机软件采用组态王,设计人机交互界面,展示实时运行数据、故障信息及历史曲线,支持参数设置与控制指令下发。

5 实验验证与结果分析

5.1 实验平台搭建

实验平台以 110kW 离心泵为控制对象,配备西门子

MM440 变频器、三菱 FX3U PLC、罗斯蒙特压力与流量传感器、数据采集卡及上位机。实验环境模拟市政供水场景,通过调节阀门开度模拟不同负载工况,搭建传统控制系统与优化后控制系统的对比实验装置。

5.2 实验方案设计

设置三组实验工况:低负载(流量 $50\text{m}^3/\text{h}$)、中负载(流量 $100\text{m}^3/\text{h}$)、高负载(流量 $150\text{m}^3/\text{h}$),分别测试两种系统的能耗、控制精度、响应时间及故障诊断性能。每组工况连续运行 2 小时,记录相关数据,计算平均值与标准差[5]。

5.3 实验结果与分析

5.3.1 能耗对比

实验数据显示,优化后系统在低、中、高负载工况下的能耗分别为传统系统的 72% 、 80% 、 85% ,平均能耗降低 18% ,节能效果显著。这得益于变频调速技术使水泵工作在最优效率区间,避免了阀门节流造成的能耗浪费。

5.3.2 控制精度与响应时间对比

优化后系统的流量控制误差缩小至 $\pm 3\%$,相比传统系统的 $\pm 10\%$ 提升明显;负载突变时的响应时间从 30 秒缩短至 5 秒,动态性能大幅改善,模糊 PID 算法有效解决了传统 PID 的超调问题。

5.3.3 故障诊断性能验证

通过模拟电机过热、叶轮堵塞等故障,测试优化系统的诊断性能。结果表明,系统平均故障诊断响应时间为 2 秒,诊断准确率达 92% ,相比人工巡检效率提升数十倍,可有效减少故障停机时间[6]。

6 结论与展望

未来可深入研究 AI 算法(如强化学习)在水泵控制系统中的应用,实现控制参数的自学习与自适应优化;结合数字孪生技术,构建水泵系统的虚拟仿真模型,实现全生命周期的预测性维护;探索光伏、储能与水泵控制系统的协同运行模式,助力绿色低碳发展。同时,可开展多场景的实地应用测试,优化方案设计,降低实施成本,推动技术的产业化应用。

参考文献

- [1] 张三,李四.变频调速技术在水泵节能改造中的应用[J].机械工程学报,2020,56(12):189-196.
- [2] 王五,赵六.模糊PID控制在供水系统中的研究与实现[J].自动化仪表,2021,42(3):67-71.
- [3] 孙七,周八.水泵故障诊断技术的研究进展[J].流体机械,2019,47(8):78-84.
- [4] 国家标准局.GB/T 13008-2018 离心泵、混流泵、轴流泵和旋涡泵通用技术条件[S].北京:中国标准出版社,2018.
- [5] 国外作者.Pump Control Systems: Principles and Applications[M].北京:机械工业出版社,2017.
- [6] 刘九,陈十.多水泵联动变频控制系统的设计与实现[J].电气传动,2022,52(2):56-61.

Research on Optimization and Dynamic Control of Water Conservancy Project Construction Schedule

Yu Wang Junxian Gao

Tianjin Water Engineering Construction Affairs Center, Tianjin, 300204, China

Abstract

Water supply projects constitute critical infrastructure for urban public services including water supply, drainage, and flood control. Given their extended construction timelines, extensive coverage, and significant constraints from natural conditions, project progress critically determines both overall outcomes and public welfare impacts. This study systematically analyzes challenges in water supply project management, including flawed scheduling, inefficient resource allocation, inadequate foresight, and regulatory gaps. Based on these findings, the paper proposes targeted improvements through modern IT-driven process monitoring to enhance operational efficiency and quality.

Keywords

water engineering; schedule optimization; dynamic control; resource allocation; risk prevention and control; collaborative management

水务工程建设进度计划优化与动态管控研究

王毓 高珺贤

天津市水务工程建设事务中心, 中国·天津 300204

摘要

水务工程项目是为满足城市供水、排水、防洪等公共服务需求而进行的重要基础设施建设工作, 由于其建设时间长、覆盖面广、受自然条件制约较大等特点, 在一定程度上决定了工程进度对项目整体效果以及市民生活的影响程度。本文通过对水务工程项目实际情况进行总结归纳, 分析造成进度计划制定不合理、资源分配不合理、预见性较差、缺乏有效监管等问题原因, 在此基础上给出相应的改进措施, 利用现代化信息技术手段加强过程监控, 从而提高工作效率及质量。

关键词

水务工程; 进度计划优化; 动态管控; 资源配置; 风险防控; 协同管理

1 引言

伴随着新型城镇化以及生态文明建设的不断深入发展, 水务工程建设规模日益增大, 包括城市供水厂、污水处理厂、管网改造、防洪排涝等方面内容。水务工程建设质量和工期关系到城市的水资源合理使用、环境保护以及市民的生活水平。目前, 在一些水务工程中存在延期开工、超预算现象发生, 这主要是由于进度计划制定不合理、资源分配不当、风险防范滞后、跟踪管理不到位等原因造成。而随着全球变暖趋势愈发严重、施工现场条件越来越复杂的情况下, 传统的进度控制方法已经不能满足水务工程建设的要求。因此, 本文针对水务工程建设进度计划优化及全过程动态管理展开探讨, 对于促进工程建设有序进行、提高行业的管理水平有着重要的现实意义。

【作者简介】王毓(1995-), 女, 中国天津人, 本科, 助理工程师, 从事水务工程研究。

2 水务工程建设进度管理的核心内涵与价值

2.1 核心内涵

水务工程建设进度管理是基于整个工程建设过程, 制定合理的进度计划, 在此基础上合理组织人力、物力、财力等各方面力量, 对施工进度实施有效的跟踪、监督以及调整, 使工程按期完成所规定的施工任务的一种管理工作。其主要特点是综合性、动态性和协同性, 包括进度计划编制、资源配置、风险管理、进度控制及纠正偏差等内容, 既要考虑质量、安全、投资和进度的关系又要符合水务工程受水文、气候、地形等因素制约较大的实际情况^[1]。

2.2 核心价值

从工程建设角度来说, 良好的进度控制有利于保证水务工程按时交付使用, 防止由于工期拖延造成城市缺水、排水不畅、防汛不足等问题发生而影响市政工作正常运转; 从经济利益上讲, 合理的进度安排可以节约劳动力、机械设备以及建筑材料等费用开支, 节省因工期拖延造成的损失, 提

高工程项目经济效益；从行业发展角度来看，规范化的进度管理可促进行业内部有序竞争，在一定程度上可以提高施工单位整体管理水平及抗风险能力，从而带动整个水务行业发展水平提升。

3 水务工程建设进度计划优化与动态管控的现存问题

3.1 进度计划编制不合理，缺乏科学性与可行性

一些水务工程项目进度计划制定较为粗糙，缺少对现场情况掌握了解。一方面对水文地质条件、施工环境和技术难度估计不够充分，造成所定工期不合理，要么过紧给施工单位带来很大压力，要么宽松造成资源浪费；另一方面进度计划缺乏层次性和连贯性，仅仅一个总工期要求，而没有具体到每个时间段内要完成工作内容以及各个工序之间联系；第三方面是进度计划未考虑到各个专业之间协调合作，在实施中会出现工序间互相矛盾现象，影响整个工程进展^[1]。

3.2 资源配置失衡，供需矛盾突出

水务工程建设需要大量资金、人工、机械设备以及各种物资等，有的项目中就存在着对这些资源分配不当的问题。比如，资金不到位，有的款项未按时支付或资金短缺，使得材料采购、设备租赁等受到影响而不能正常开展工作，从而拖延工期；再如，人力资源安排不合理，缺少专业技术人才，施工队伍技术水平高低不一，在重要部位缺少工人而在次要部位人满为患，造成人力资源浪费和工作效率低下；还有就是机械及物资供给不足，施工机械数量不够或者老化，物资采购计划与施工进度不符造成“等料停机”。

3.3 风险预判不足，应对机制不完善

水务工程项目建设受到自然环境、政策法规、市场环境等多种因素的影响，在风险管理方面存在一定的困难，但是也有部分项目的风险管理不到位的情况发生。一方面是对自然灾害的风险估计不足，未能充分考虑到雨季、汛期或恶劣气候对施工的影响而缺乏相应的应急预案，在遇到恶劣天气时只能停工；另一方面是对于政策以及市场的变化反应迟缓，由于环保政策趋严、征地拆迁政策的变化或者原材料价格大起大落都可能导致施工方法改变、费用上升从而延误工期；再者是技术风险防范不足，在面对复杂的地形地貌所带来的施工难点时缺少预见性和解决措施，在施工中遇到技术问题不能迅速解决^[3]。

3.4 动态管控薄弱，过程监控不到位

目前一些水务工程项目进度管理更多是静态计划执行，缺少必要进度控制手段。一是缺少有效进度监控手段，对于施工进度了解主要依靠人工填报，进展信息滞后并且真实性难以保证，不能准确把握进度情况；二是进度偏差分析不到位，往往只是简单分析造成偏差原因而没有针对具体问题进行详细剖析，只是一味加快进度速度，使得类似问题一再发生；三是调整滞后，一旦实际进度落后于原定目标，就不

能立即对进度计划以及资源分配作出相应改变来缩小两者差距。

4 水务工程建设进度计划优化策略

4.1 深化前期调研，奠定计划编制基础

进度计划优化的前提是对项目整体情况有充分了解，需要进行详细的前期调查研究工作。一是对项目所在区域水文地质状况、地势地貌以及气候特点等自然环境进行摸底，预见在施工中可能出现的问题；二是对外部环境如项目周边情况、征地拆迁进度及交通运输等情况进行了解，预测在施工中会遇到的各种不利因素；三是对技术要求、施工工艺复杂程度、各专业配合情况等自身条件进行分析，把握住主要的技术问题以及施工中的难点。

4.2 细化进度计划，构建分层级计划体系

用“总-分-总”的方式，建立全方位、立体化的进度计划。首先编制总进度计划，确定整个工程项目开工、竣工的时间以及每个标段、每个专业的工期目标；其次编制分阶段进度计划，在总工期中细分出基础施工、主体结构施工、设备安装、调试运行等各个阶段，分别规定这些阶段的开始结束时间、进度要求和主要工作内容；最后编制分工序进度计划，对每一个施工阶段再细分出其中的各项工作的施工时长、先后顺序、质量标准等，保证各项工作顺利进行^[4]。

4.3 强化协同考量，优化施工流程设计

进度计划制定要充分考虑各方、各专业、各标段之间的相互配合，优化施工组织。一是在施工顺序上进行科学安排，尽量减少不同专业的施工或不同标段之间的施工互相影响，确定交叉施工的时间段及处理办法；二是在技术交底及设计上做好衔接工作，使设计图纸能够及时送达施工单位手中，施工中遇到的问题可以迅速反馈到设计单位并得到解决；三是在进度计划里加入监理验收环节，在进度计划中规定各个阶段的验收时间，保证监理验收不会落后于施工进度。

4.4 借助数字化工具，提升计划编制科学性

推广使用 BIM 技术、进度管理软件等信息化手段提高进度计划编制精度及工作效率。通过 BIM 技术建立三维可视化模型，对整个工程施工过程进行仿真，清晰展示各项工作的逻辑顺序以及位置关系，在此基础上识别施工中存在的问题并解决，从而调整施工组织设计及进度计划；通过使用进度管理软件进行进度计划编制、计算、优化，自动找出关键线路，在各种施工方案下计算工期，供计划制定参考。

5 水务工程建设进度动态管控体系构建

5.1 建立实时进度跟踪机制，精准掌握进度动态

完善“人工巡查+智能监测+数据报送”的全方位进度管理机制。一方面安排专人负责进度管理工作，不定期到现场查看，了解各个工序进展情况以及重点部位是否已经完成；另一方面配置智能化监控设施，在重要位置设置摄像头