

度系统,以 AIS 船期 ± 30 分钟精度预排泊位,通过 TOS 与 TMIS 接口实现“船名航次—箱号—车号—运单号”二维码合一,采用 A* 路径规划算法,AGV 空驶率由 28% 降至 9%,码头拥堵指数下降 35%。2024 年汛期演练中,系统 3 分钟内生成船闸禁航备用方案。

制度层面,白洋港集装箱公司作为多式联运经营人,签发国铁统一电子提单,实现“一票托运、分段承运、全程跟踪”。提单可在建设银行、农发行质押融资,2024 年累计发放“粮贸贷”4.7 亿元,平均放款周期由 7 天压缩至 T+1。运价联动机制规定年运量 ≥ 30 万吨时铁路运价下浮 15%,2024 年为企业让利约 2400 万元。技术—制度协同将三峡坝区作业效率提升 50% 以上,为长江经济带多式联运提供了可复制的系统范式。

6 典型案例分析:东北玉米“散改集”

2024 年,紫云铁路完成东北玉米“散改集”33.6 万吨,占东北经三峡入川渝粮食总量的 41%。货源地涵盖辽宁营口、锦州、葫芦岛,终端市场为达州、内江、成都、重庆四大饲料产业园,涉及 12 家饲料企业与 1 家养殖集团。项目构建了时间—空间—成本三维优化模型:时间方面,营口至达州全程 7 天,较公路翻坝 15 天缩短 53%;空间方面,水运 2100 公里+铁路 950 公里+公路短驳 20 公里,总里程 3070 公里;成本方面,水铁联运综合成本 163.75 元/吨,较公路 240 元/吨下降 31.8%。

项目带来显著绿色与社会效益:年减少柴油货车 2.4 万辆次,减排 CO_2 1.19 万吨,相当于植树 65 万棵;港区 $\text{PM}_{2.5}$ 年均值由 $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 降至 $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$;直接创造就业岗位 320 个,间接带动产业链就业 2400 人;建立“三峡应急粮食通道”,船闸大修期间可日均开行 5 列专列,保障川渝 60% 饲料粮需求。运营绩效方面,2024 年紫云铁路水铁联运收入 1.12 亿元,同比增长 46%;白洋港粮食装卸收入 1.8 亿元;集装箱破损率 0.02%,粮损率降至 0.05%,年减损 100 吨;应急响应时间平均 3 分钟,形成经济、生态与社会多重效益协同的示范标杆。

7 多维度绩效评估

构建经济、社会、生态与安全四维绩效评价体系,数据来源于紫云铁路运营系统、白洋港 TOS、宜昌市生态环境局监测记录(2022–2024)。经济绩效方面,2024 年水铁联运收入 1.12 亿元,吨收入 372 元,较传统铁路增收 12%;白洋港相关业务收入 1.8 亿元,拉动港口总收入增长 21%;按 30 万吨运量测算,均为川渝企业节约物流成本 2.29 亿元,资金占用周期缩短 8 天,财务费用降低 0.3 亿元。社会绩效方面,直接与间接带动就业 2720 人,人均年收入增 2.7 万元;应急响应机制可在 3.5 小时内启动粮食专列,保障产业链安全。

生态绩效方面,年减排 CO_2 1.19 万吨、 NO_x 126 吨、 $\text{PM}_{2.5}$ 6.3 吨,碳资产价值 71.4 万元;港区 $\text{PM}_{2.5}$ 浓度降至

$37 \mu\text{g}/\text{m}^3$,噪声 52 dB,公众满意度 92%。安全绩效方面,集装箱破损率 0.02%,全年零重大安全事故;基于区块链与北斗技术,货物全程可视率 100%,异常响应时间缩短至 8 分钟。多维度绩效表明,紫云铁路—白洋港枢纽在经济效益、就业拉动、生态改善与安全保障方面均形成显著正向溢出。

8 风险治理与韧性建设

紫云铁路运营面临外部与内部多重风险。外部风险包括汛期镇江港封航(年均 15 天)、襄渝线大修(年封闭 15 天);内部风险涵盖 TOS 系统接口异常(历史最长中断 2 小时)、桥吊电机故障(年 0.8 次,单次停机 6 小时)。为提升系统韧性,构建三大机制:一是备用通道池,与阳逻港、荆州港签订 20 万吨/年互保协议,应急情况下 2 小时完成船舶改港、4 小时启动铁水联运;二是数字孪生应急平台,3 分钟生成替代方案,首列装车启动时间由 120 分钟缩短至 90 分钟;三是设立 500 万元应急基金,常备 30 组空车与 2 台备用桥吊,确保极端场景下“粮不断链”。

9 政策建议与未来展望

近期(2025–2027)应推动制度标准化,将紫云铁路纳入国家铁路图定班列,享受“量价捆绑”优惠;牵头制定《水铁联运桥吊接口技术规范》,统一轨距、箱型与 AGV 通道尺寸,2026 年前完成长江沿线推广。中期(2028–2030)重点推进装备智能化,建设坝上一坝下 30 公里空轨智能集疏运系统,设计时速 80 公里,实现汽车滚装全自动转运;打造“粮食数字走廊”,基于区块链与物联网实现全程可追溯,年降低粮损 0.3 个百分点。远期(2031–2035)目标通道零碳化,对接平陆运河,构建“东北—北部湾—宜昌—川渝”双向物流循环;联合中车、中船开展氢能机车与船舶示范,年减排 CO_2 3 万吨,形成长江经济带零碳示范走廊,为全球内河航运治理提供“中国范式”。

10 结语

紫云铁路以 30 万吨级“水转铁”实践,实现了从“闸口焦虑”到“枢纽红利”的范式转变。其成功源于以基础设施一体化破解物理断点、以数字孪生一体化打通信息壁垒、以制度规则一体化协调多方利益。随着氢能、空轨、区块链等技术的持续融入,紫云铁路有望成为全球内河航运多式联运的“中国样板”,为长江经济带及世界大河经济带高质量发展提供系统解决方案。

参考文献

- [1] 国家发展改革委.长江经济带发展规划纲要[R]. 2016.
- [2] 宜昌市人民政府.宜昌港口型国家物流枢纽建设方案[R]. 2020.
- [3] 交通运输部.长江三峡船闸运行年报(2004–2023)[R].
- [4] 宜昌市生态环境局.宜昌市环境状况公报(2023)[R].
- [5] 长江三峡枢纽大分流小转运水铁公多式联运示范工程实施方案[R]. 2021.

Research on Cost Control and Optimization Measures for Mechanical and Electrical Engineering Construction Projects

Feng Zhou

Liaoning Hongrui Technology Development Co., Ltd., Qinhuangdao, Hebei, 066004, China

Abstract

Cost control in mechanical and electrical engineering construction projects is a core link in balancing project quality, progress and efficiency, and directly affects the market competitiveness of enterprises. From the perspective of the entire project life cycle management, this article focuses on the particularity of mechanical and electrical engineering construction and systematically analyzes the pain points of cost control in each stage of decision-making, design, construction, and completion, including issues such as rough budget preparation, frequent design changes, and unbalanced resource allocation. By integrating BIM technology application, supply chain collaboration, dynamic monitoring and other means, a full-process cost control system of "precise planning in the early stage - dynamic control in the process - review and optimization in the later stage" is constructed. Through the verification of typical project cases such as the Qinhan Central Hospital in Xixian New Area, the optimized measures can reduce project costs by 8% to 15% and shorten the construction period by 10% to 20%, providing practical references for mechanical and electrical engineering construction enterprises to enhance the effectiveness of cost control and achieve lean management.

Keywords

Mechanical and electrical engineering construction Cost control Full life cycle management Optimization measures; BIM Technology

机电工程施工项目的成本控制与优化措施研究

周峰

辽宁鸿瑞科技开发有限公司, 中国·河北 秦皇岛 066004

摘要

机电工程施工项目成本控制是平衡项目质量、进度与效益的核心环节,直接影响企业市场竞争力。本文基于项目全生命周期管理视角,聚焦机电工程施工的特殊性,系统分析决策、设计、施工、竣工各阶段成本控制痛点,包括预算编制粗放、设计变更频繁、资源配置失衡等问题。结合BIM技术应用、供应链协同、动态监控等手段,构建“前期精准策划-过程动态管控-后期复盘优化”的全流程成本控制体系。通过西咸新区秦汉中心医院等典型项目案例验证,优化后的措施可实现项目成本降低8%-15%,工期缩短10%-20%,为机电工程施工企业提升成本管控实效、实现精益化管理提供实践参考。

关键词

机电工程施工; 成本控制; 全生命周期管理; 优化措施; BIM技术

1 引言

机电工程作为建筑工程的核心组成部分,涵盖给排水、暖通、电气、自动化等多个专业系统,具有技术密集、交叉作业多、资源消耗大等特点^[1]。随着建筑行业竞争加剧与绿色建造理念推行,机电工程施工项目的成本压力持续增大,据行业数据统计,机电工程成本占建筑总造价的30%-50%,其管控水平直接决定项目整体盈利空间。当前,我国机电工程施工项目成本控制仍存在诸多短板:部分企业预算

编制依赖经验估算,与实际工况偏差较大;施工过程中设计变更随意、资源浪费严重;成本监控缺乏动态化手段,超支预警滞后。基于此,亟需构建科学、系统的成本控制体系,将管控贯穿项目全生命周期,结合数字化技术与精细化管理手段,实现成本、质量、进度的协同优化。本文立足机电工程施工实践,深入剖析各阶段成本控制关键节点,提出针对性优化措施,并通过典型案例验证成效,为行业高质量发展提供技术支撑与实操方案。

2 机电工程施工项目成本控制现状与核心痛点

2.1 行业管控现状

近年来,机电工程施工企业逐步重视成本控制,纷纷引入工程量清单计价、BIM技术等工具,部分企业建立了

【作者简介】周峰(1985-),男,中国河北秦皇岛人,硕士,工程师,从事机械设计研究。

初步的成本管理流程。政策层面,《建设工程项目管理规范》《建设工程工程量清单计价规范》等标准文件的实施,为成本管控提供了合规依据^[2]。实践上,大型企业在重点项目中已实现成本动态监控,而中小企业仍以事后核算为主,管控成效参差不齐。管控上,当前成本控制多集中于施工实施阶段,对决策、设计等前期阶段的重视不足。据调研,设计阶段对机电工程成本的影响程度达 70%-80%,但多数企业未建立有效的设计阶段成本管控机制,导致后期施工阶段变更频发,成本超支风险加剧。同时,数字化工具应用深度不足,BIM 技术多停留在管线碰撞检测层面,尚未实现与成本数据的深度融合。

2.2 核心管控痛点

2.2.1 预算编制精准性不足

预算编制缺乏充分的现场调研与数据支撑,部分企业直接套用定额标准,忽略项目地质条件、施工工艺等个性化因素。材料设备价格未建立动态跟踪机制,对市场波动预判不足,导致预算与实际采购成本偏差达 10%-15%。此外,预算编制未充分考虑不可预见因素,风险预留资金设置不合理,难以应对政策调整、技术变更等突发情况。

2.2.2 设计阶段成本管控缺失

设计方案缺乏经济性论证,部分设计人员重技术指标、轻成本优化,存在“过度设计”现象。例如,盲目选用高端设备与材料,忽视性价比替代方案;管线布局不合理,导致施工过程中交叉冲突与返工。

2.2.3 施工过程管控粗放

施工组织设计优化不足,资源配置缺乏科学性,存在人工窝工、机械闲置等问题。材料管理流程不规范,采购环节未实现集中议价,仓储阶段损耗率超标(部分项目达 5%-8%),领用环节缺乏限额管控。成本动态监控机制不完善,未建立常态化数据对比分析制度,对人工费、机械费超支等问题发现滞后,错失纠偏时机。

2.2.4 变更与结算管理不规范

设计变更与现场签证审批流程不严格,存在“先施工后审批”现象,变更费用核算缺乏精准依据。竣工结算阶段,工程量核对不细致,定额套用与费用计取存在争议;成本复盘流于形式,未形成经验沉淀机制,同类项目重复出现相同成本管控问题。

3 机电工程施工项目成本控制核心环节

3.1 决策阶段:奠定成本管控基础

决策阶段的成本控制具有前瞻性,直接决定项目整体投资规模。需开展全面的可行性研究,结合项目功能需求、地质条件、市场环境等因素,编制科学的投资估算。重点关注设备选型、施工工艺选型的经济性,通过多方案比选确定最优技术经济方案^[3]。

3.2 设计阶段:实现源头成本优化

设计阶段是成本控制的关键节点,需推行“技术+经济”

一体化设计模式。采用限额设计方法,以投资估算为上限,将成本指标分解至各专业设计环节,确保设计方案在满足功能要求的前提下控制成本。引入 BIM 技术进行设计优化,通过三维模型模拟管线布局,提前检测碰撞冲突点,减少后期变更。

3.3 施工阶段:强化过程动态管控

施工阶段是成本实际发生的核心环节,需建立“计划-执行-监控-纠偏”闭环机制。优化施工组织设计,合理安排施工顺序,采用流水作业法提高施工效率,减少资源闲置。

资源管控方面,人工成本通过优化劳动组合、实行计件工资制等方式提升生产率;材料成本推行“集中采购+限额领料”模式,建立合格供应商名录,批量采购争取 5%-8% 折扣,同时加强现场仓储管理,将损耗率控制在 3% 以内;机械成本通过合理选型、共享租赁等方式提高设备利用率,避免盲目购置大型设备。

建立成本动态监控平台,每月对比实际成本与预算成本,偏差超 3% 时及时预警。利用 BIM 技术实时追踪工程量与成本数据,实现成本与进度的协同管控。严格执行设计变更与现场签证“先审批后施工”制度,超 5 万元变更需第三方造价复核,确保变更费用合理可控。

3.4 竣工阶段:确保结算精准合规

竣工阶段需重点做好成本核算与复盘工作。结算审核时,严格依据合同条款、施工图纸、签证记录等资料,精准核对工程量,规范定额套用与费用计取,确保结算价与实际成本一致。

开展成本复盘分析,对比投资估算、预算与结算数据,分析偏差原因,如材料涨价、设计变更等,形成《成本复盘报告》。梳理各阶段管控漏洞,更新企业成本控制指南,将成功经验应用于后续项目,实现持续优化。

4 机电工程施工项目成本控制优化措施

4.1 技术优化:数字化赋能精准管控

深化 BIM 技术全流程应用,构建涵盖设计、施工、结算的一体化成本管理模型。设计阶段利用 BIM 自动算量功能,提高工程量计算精度,误差控制在 1% 以内;施工阶段通过模型实时提取工程量数据,指导材料采购与进度安排;结算阶段自动生成结算报表,提高结算效率。推广预制装配技术,如机电管线预制加工、电井一次预埋装配式施工等,减少现场作业量,降低人工成本与材料损耗^[4]。

4.2 管理机制:构建全生命周期体系

建立全生命周期成本管理机制,将管控贯穿决策、设计、施工、竣工各阶段,明确各阶段责任主体与管控重点。决策阶段强化投资估算审核,设计阶段推行限额设计与图纸会审,施工阶段加强动态监控,竣工阶段做好复盘沉淀。

完善成本考核激励机制,将成本控制指标纳入项目团队绩效考核,设置“成本节约率”“变更控制率”等 KPI。对成本节约超 2% 的团队给予 5% 奖金奖励,对超支 ≥5%