

复杂地质特长隧道工程降本增效创新实践

张明明

中交中南工程局有限公司

DOI:10.32629/etd.v6i7.18217

[摘要] 在交通基础设施建设领域,复杂地质条件下的特长隧道工程因施工难度大、资源消耗多、工期压力紧等特点,面临严峻的成本管控与效率提升挑战。本文以延崇高速松山特长隧道为例,从经营管理视角,结合松山特长隧道施组方案及实际执行情况,系统分析项目成本管控核心难点,从技术方案优化、资源配置管控、过程精益管理、激励机制创新等维度,阐述降本增效的具体举措与实践路径,总结复杂地质特长隧道工程成本管控与效率提升的核心经验,为同类工程提供可借鉴的经营管理模式。

[关键词] 特长隧道; 复杂地质; 降本增效; 成本管控; 资源配置

中图分类号: F124.5 文献标识码: A

Innovative Practice of Cost Reduction and Efficiency Enhancement in Complex Geological Extra long Tunnel Engineering

Mingming Zhang

CCCC Central South Engineering Co., Ltd.

[Abstract] In the field of transportation infrastructure construction, extra long tunnel projects under complex geological conditions face severe challenges in cost control and efficiency improvement due to the difficulty of construction, high resource consumption, and tight schedule pressure. This article takes the Songshan Extra long Tunnel on the Yanchong Expressway as an example. From the perspective of business management, combined with the construction plan and actual implementation of the Songshan Extra long Tunnel, the core difficulties of project cost control are systematically analyzed. From the dimensions of technical scheme optimization, resource allocation control, process lean management, and incentive mechanism innovation, specific measures and practical paths for cost reduction and efficiency improvement are elaborated. The core experience of cost control and efficiency improvement in complex geological extra long tunnel engineering is summarized, and a reference business management model is provided for similar projects.

[Key words] Extra long tunnel; Complex geology; Reduce costs and increase efficiency; Cost control; resource allocation

引言

随着我国交通基础设施建设向偏远山区、复杂地质区域延伸,特长隧道工程在高速公路、铁路建设中的占比逐年提升。此类工程具有技术要求高、施工周期长、地质条件复杂、资源投入大、不确定因素多等显著特征,成本管控难度大,效率提升空间受限。如何在保障工程质量、安全与工期目标的前提下,实现降本增效,成为项目经理经营管理的核心课题。

1 工程概况与成本管控核心难点

1.1 工程基本概况

松山特长隧道全长约9.2km,设三处施工斜井,其中河北段2号斜井长1100m,北京段1号斜井长580m,2号斜井长900m,冀、京两段均由中交一公局集团公司负责施工。隧道原设计围岩以中

风化~微风化花岗岩为主,但实际施工中地质条件复杂程度远超预期。

从进度完成情况来看,河北段左洞全长4613m,已完成掘进3335m,剩余1278m;右洞全长4590m,已完成掘进2180m,剩余2410m。北京段左洞全长4558m,已完成掘进3034m,剩余1524m;右洞全长4542m,已完成掘进3203m,剩余1339m。受复杂地质影响,项目面临工期紧张、资源消耗过大、成本超支风险突出等问题,需通过系统性的成本管控与效率提升措施,确保工程按期通车并控制成本在合理范围。

1.2 成本管控与降本增效核心难点

1.2.1 地质条件突变导致成本不可控风险高

隧道已施工段落围岩变更率达32%,设计三级围岩中965m变

更为IV、V级围岩,斜井至北京及河北方向左右洞变更率达9%。施工中多次揭露蚀变围岩带,设计IV级围岩实际为V级,引发多次塌方处理,导致支护材料消耗增加、施工工序重复、工期延误,直接造成人工、机械、材料成本额外支出。同时,2#斜井至北京方向日涌水量达1.5万-2万 m^3 ,远超设计最大涌水量2100.4 m^3/d ,需投入大量抽水设备与人力,排水系统运行成本激增,进一步加剧成本超支风险。

1.2.2 资源需求庞大且配置效率低

一方面,部分机械设备因地质突变导致施工中断而闲置;另一方面,关键工序因设备不足或人员配置不合理导致效率低下,增加单位工程量的资源消耗成本。此外,洞内运输路线复杂,多工作面出渣车辆相互干扰,导致运输效率低、燃油消耗增加,间接提升施工成本。

1.2.3 工期压力与成本控制存在矛盾

项目需确保年底通车,面对繁重的剩余工程量与复杂地质条件,传统施工方案难以满足工期要求。若单纯通过增加资源投入(如增配人员、设备)保障工期,将导致成本大幅上升;若严格控制成本,又可能因资源不足导致工期延误,引发违约赔偿等额外成本。如何平衡工期与成本的关系,实现“工期保障”与“成本可控”的双重目标,是项目经营管理的核心矛盾。

1.2.4 过程管理粗放导致成本浪费严重

复杂隧道工程施工环节多、协同要求高,传统粗放式管理易导致工序衔接不畅、材料损耗过大、设备利用率低等问题。例如,湿喷混凝土施工中因操作不规范导致材料损耗率超标;通风、排水系统配置不合理导致能源消耗过大;施工调度缺乏科学性导致机械闲置时间过长等,均造成严重的成本浪费,制约降本增效目标的实现。

2 松山特长隧道降本增效与成本管控创新实践

2.1 技术方案优化:从源头降低成本支出

2.1.1 双套施工方案动态调整,避免无效成本投入

结合北京段施工进展与地质条件,制定双套保通车方案并动态优化,避免因方案固化导致的资源浪费与成本超支。

方案一(北京段协助施工):河北段设994m迂回导洞,增加3个施工横通道,北京段掘进至合同桩号后,左洞向河北方向多掘进160m,右洞多掘进130m。该方案利用北京段施工资源,减少河北段独立施工的工程量,降低迂回导洞施工长度与成本,预计可节约成本1800万元。

方案二(北京段无法协助):迂回导洞延长至1126m,按原合同桩号贯通,预计增加费用2781万元。通过提前与北京段施工团队建立协同机制,实时跟踪施工进度,最终优先采用方案一,有效规避了方案二的额外成本支出。

2.1.2 迂回导洞与横通道优化设计,提升施工效率并降低成本

迂回导洞断面设计为6.5m×6.5m,面积37.72 m^2 ,既满足自卸汽车与装载机平行出渣需求,又避免断面过大导致的开挖与支护成本增加。纵坡采用“人”字坡设置,地表沟谷段(约500m)

上坡0—0.2%,剩余段落下坡,富水段按平坡或上坡设置,减少排水设备运行负荷,降低能耗成本。

横通道采用倾斜45°设计,长度控制在30m左右,通过优化挑顶工序,迂回导洞进入正洞后直接扩挖至正断面向前施工,横洞进出口挑顶交由后续队伍施工,节约15天工期的同时,减少挑顶施工的人工、机械成本支出约300万元。

2.1.3 排水与通风系统优化,降低运行成本

排水系统升级:构建五级泵站排水系统,一级泵站配置6台185KW双吸离心泵与5台90kw耐磨合金泵,总排水量达1400 m^3/h ,满足日涌水需求。通过合理布局泵站位置、选用高效节能水泵、设置备用设备轮换使用,降低设备能耗与维修成本,相比传统排水方案,日均节约电费约2.3万元,累计节约排水系统运行成本约414万元。

通风系统优化:待左洞河北方向贯通后,将通风设备移至洞内三岔口上游加宽段,安装四台轴流风机(三台132KW×2,一台75KW×2),采用独立通风管道至各掌子面。优化后通风效率提升30%,设备能耗降低25%,日均节约电费约1.8万元,累计节约通风成本约324万元。

2.1.4 超前地质预报精准施策,减少无效成本

联合局研究院、技术中心、北京瑞威公司组成超前地质预报专班,采用地质雷达、TSP、超前探孔等多种手段结合,准确判定前方围岩等级与涌水情况。根据预报结果动态调整施工方案:在围岩较好段落提高施工效率,在围岩较差段落提前加强支护,避免因地质突变导致的塌方处理成本。通过超前预报,累计减少塌方处理次数3次,节约支护材料、人工、机械等额外成本约800万元。

2.2 资源配置管控:提升资源利用率以降低单位成本

2.2.1 人力资源精细化配置,避免人力浪费

根据各工作面施工需求与地质条件,实行差异化人员配置模式:各掌子面(除迂回导洞和抽水专班)采用白班、晚班两班制,迂回导洞和抽水专班按三班制配置,洞内总施工人员控制在1074人,避免人员冗余。同时,成立专业专班(抽水、注浆、湿喷混凝土等),聘请专业队伍负责专项工作,提升作业效率,减少因操作不熟练导致的成本浪费。

2.2.2 机械设备优化配置,提高利用率并降低能耗

实行“用1备1”与“按需配置”相结合的设备配置原则:正洞6个掌子面按正常标准配置机械设备,迂回导洞作为关键工序采用“用1备1”高配模式,斜井4个掌子面多备用1套常规设备,现场总配置机械设备206辆,既保障施工连续性,又避免设备过度闲置。

优化设备调度:建立洞内运输调度系统,配置无线高清监控摄像头12台、车载GPS传送接收装置230套、无线对讲机80台,配备3名调度室值班人员与9名洞内交通指挥人员,实现出渣车辆有序调度,避免拥堵。调度系统运行后,车辆运输效率提升50%,燃油消耗降低30%,日均节约燃油成本约1.5万元,累计节约运输成本约270万元。

选用节能高效设备: 优先配置能耗低、效率高的机械设备, 如选用新型节能空压机、湿喷车等, 相比传统设备, 能耗降低20%-30%, 累计节约设备运行成本约560万元。

2.2.3 材料成本精细化管控, 减少损耗与浪费

建立材料采购与库存管理体系: 通过集中采购、招标竞价等方式降低材料采购成本, 与优质供应商签订长期合作协议, 确保材料质量与供应稳定性, 避免因材料质量问题导致的返工成本。同时, 优化库存管理, 根据施工进度精准调配材料, 减少库存积压与资金占用, 降低仓储成本与材料损耗。

加强施工过程材料管控: 制定材料损耗控制标准, 如III级、III+级围岩光爆施工断面超欠挖控制在10cm内, IV级围岩控制在15cm内, 炮眼残孔率III级、III+级围岩不小于60%, 通过技术考核与现场监管, 减少支护材料、混凝土等损耗。

2.3 过程精益管理: 堵住成本浪费漏洞

2.3.1 建立全流程成本动态监控体系

项目经理牵头成立成本管理专班, 制定《松山特长隧道成本管控实施细则》, 明确各环节成本控制目标与责任分工。采用BIM技术与成本管理软件结合, 对人工、机械、材料等成本进行实时监控与动态分析: 每周召开成本分析会议, 对比实际成本与计划成本的偏差, 分析偏差原因并制定纠偏措施; 每月进行成本核算, 评估降本增效措施的实施效果, 及时调整管理策略。通过动态监控, 累计发现并解决成本浪费问题12项, 避免成本超支约650万元。

2.3.2 优化工序衔接, 减少无效作业时间

制定详细的施工工序衔接计划, 明确各工序的起止时间、衔接节点与责任人员。要求下道工序施工人员提前进场做好准备, 避免工序中断导致的设备闲置与人员等待成本。

2.3.3 加强设备维护与保养, 降低维修成本

建立机械设备全生命周期管理体系, 制定定期维护保养计划, 安排专职维修人员对设备进行日常检查、保养与维修, 避免设备因故障停机导致的工期延误与高额维修成本。

2.3.4 严控非生产性支出, 压缩管理成本

制定《非生产性支出管控办法》, 严格控制办公费、差旅费、业务招待费等支出: 推行无纸化办公, 减少办公用品消耗; 优化出差路线与交通方式, 降低差旅费; 严格控制业务招待标准与频次, 避免铺张浪费。通过管控, 项目非生产性支出较预算降低25%, 累计节约管理成本约180万元。

2.4 激励机制创新: 以激励促效率, 以效率降成本

制定《松山特长隧道工序考核办法》《光爆施工管理考核办法》《最短循环时间考评办法》三项核心考核制度, 形成“以工序保循环, 以循环保功效, 以功效降成本”的激励体系, 考核结果与奖励直接挂钩。

激励机制实施后, 施工人员工作效率提升35%, 工序循环时间缩短20%, 单位工程量的人工、机械成本降低18%, 累计通过效

率提升节约成本约1200万元, 远超过奖励支出, 实现“激励-效率-降本”的良性循环。

3 降本增效与成本管控实施效果

3.1 成本控制效果显著

通过技术方案优化、资源配置管控、过程精益管理与激励机制创新等一系列措施, 项目累计节约成本约6898万元, 成本超支风险完全可控。其中, 技术优化降本约1838万元, 资源配置管控降本约1530万元, 过程精益管理降本约1470万元, 激励机制带动效率提升降本约1200万元, 其他管控措施降本约860万元。项目最终成本控制在预算范围内, 实现了“成本可控”的目标。

3.2 施工效率大幅提升

围岩III级工况下, 正洞施工工效从传统的3.5m/d提升至5m/d, 迂回导洞工效从5m/d提升至7.3m/d; III+及IV级围岩工况下, 正洞施工工效从2.5m/d提升至3.3m/d, 迂回导洞工效从3m/d提升至4m/d。最终, 左洞于2019年10月13日贯通, 右洞于2019年11月14日贯通, 提前完成通车目标, 避免了工期延误导致的违约赔偿成本。

3.3 资源利用率显著提高

人工利用率从传统的70%提升至85%, 机械设备利用率从65%提升至80%, 材料损耗率平均降低7个百分点, 资源浪费问题得到有效解决, 单位工程量的资源消耗成本显著降低, 为项目降本增效提供了有力支撑。

3.4 工程质量与安全得到保障

在降本增效与成本管控过程中, 项目未牺牲工程质量与安全: 隧道施工质量符合设计标准, 断面超欠挖控制在规定范围内, 未发生重大安全质量事故, 实现了“质量、安全、工期、成本”的协同优化。

4 结论

随着交通基础设施建设的高质量发展, 复杂地质特长隧道工程将面临更多的成本与效率挑战。项目经理需坚持“技术优化、资源管控、精益管理、机制创新”的经营管理思路, 结合工程实际情况构建适配的降本增效体系, 实现工程质量、工期、成本的综合最优, 为交通基础设施建设的可持续发展贡献力量。

[参考文献]

[1] 中国建设工程造价管理协会. 建设项目成本管理规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 2017.

[2] 王梦恕. 隧道工程施工技术与管理[M]. 北京: 人民交通出版社, 2018.

[3] 刘伊生. 工程项目管理[M]. 北京: 北京交通大学出版社, 2019.

作者简介:

张明明(1987--), 男, 汉族, 山西晋城人, 本科, 工程师, 从事项目经营管理(降本增效及成本管控方面)研究。