doi: 10. 20238/j. issn. 1671-4172. 2026. 06. 024
彭勇，石满生，王爱萍，等. 某金属矿山长距离运输巷道TBM施工造价分析[J]. 有色金属(矿山部分)，2026，78(6)：241-248.
Peng Yong, Shi Mansheng, Wang Aiping, et al. Cost analysis of TBM construction for long-distance haulage roadway in a metal mines[J]. Nonferrous Metals(Mining Section), 2026, 78(6): 241-248.

某金属矿山长距离运输巷道TBM施工造价分析

彭　勇[1]，石满生[2]，王爱萍[1]，沈楼燕[1]，樊忠华[1]，周新勋[1]
(1. 中国瑞林工程技术股份有限公司，南昌 330038；
2. 江西江铜银珠山矿业有限公司，江西 贵溪 335400)

摘　要：全断面硬岩隧道掘进机(Tunnel Boring Machine，TBM)施工技术具有高效、安全、环保、成型质量稳定等突出优势，目前已广泛应用于水利水电、轨道交通、煤炭矿山等工程建设领域。相较于其他行业，TBM技术在金属矿山井巷工程中的应用起步较晚、发展相对滞后、规模化推广程度较低。同时，当前矿用TBM施工市场定价混乱、市场价格参差不齐，施工成本管控缺乏统一标准；经济适用性不足已成为制约该技术在金属矿山领域普及推广的瓶颈之一。本文以某典型金属矿山巷道TBM施工项目为研究载体，采用实物量成本法与类似定额法相结合的综合研究方式，系统梳理金属矿山巷道工程TBM施工费用的完整构成体系，深入剖析影响施工造价的关键因素。依托现场实际施工工况、设备运行数据及材料消耗统计数据，总结提炼金属矿山TBM设备使用规律和主要耗材的消耗特征。本研究成果可为同类金属矿山TBM施工项目的造价管控、施工方案优化、降本增效等提供实操参考，也能为金属矿用TBM行业计价定额编制提供数据支撑和经验参考。

关键词：金属矿山；TBM施工；造价分析；实物量成本法；费用构成；影响因素
中图分类号：F407. 1　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1671-4172(2026)06-0241-08

Cost analysis of TBM construction for long-distance haulage roadway in a metal mines

Peng Yong[1], Shi Mansheng[2], Wang Aiping[1], Shen Louyan[1], Fan Zhonghua[1], Zhou Xinqing[1]
(1. China Nerin Engineering Co., Ltd., Nanchang 330038, China;
2. Jiangxi Copper Corporation Yinzhushan Mining Co., Ltd., Guixi 335400, Jiangxi, China)

Abstract: The construction technology of Tunnel Boring Machine (TBM) features remarkable advantages including high efficiency, safety, environmental friendliness and stable excavation profile quality. At present, it has been widely applied in engineering fields such as water conservancy and hydropower, rail transit, and coal mining. Compared with other industries, the application of TBM technology in roadway engineering of metal mines started late, with relatively slow development and low large-scale popularization. In addition, the pricing of mine TBM construction is disordered with highly variable market prices, and there is no unified standard for construction cost control. Insufficient economic applicability has become one of the core bottlenecks restricting the wide promotion of this technology in metal mines. Taking the actual TBM construction project of roadway works in a typical metal mine as the research object, this paper adopts a combined research method of physical quantity cost method and similar quota method to systematically sort out the complete composition system of TBM construction costs for metal mine roadways and thoroughly analyze the key factors affecting construction costs. Based on on-site actual construction conditions, equipment operation data and statistical data of material consumption, this paper summarizes the service rules of mine TBM equipment and consumption characteristics of major consumables. The research results can provide practical references for cost control, construction scheme optimization and cost reduction & efficiency improvement of similar TBM construction projects in metal mines, and offer data support and practical experience

收稿日期：2026-06-21
作者简介：彭　勇，硕士，高级工程师，主要从事EPC总承包项目全过程费用控制研究及相关管理工作。

for the compilation of pricing quotas dedicated to mine-used TBMs in metal mining industry.

Key words: metal mine; TBM construction; cost analysis; physical quantity cost method; cost composition; influencing factors

全断面硬岩隧道掘进机(Tunnel Boring Machine, TBM)具有机械化与自动化水平高、掘进与支护作业连续性好、掘进效率高、安全风险低、工程质量可靠、环境扰动小等显著优势,目前已被广泛应用于水利水电、铁路隧道、煤炭矿山等行业领域,尤其在长距离、大断面独头巷道施工中,其高效性、安全性、连续性及环境友好性等优势更为突出[1-4]。随着金属矿山开采深度不断增加,深井长距离独头巷道等关键线路施工面临的高地压、高地温、突涌水、通风困难、排水不畅、出渣受阻、采矿扰动强烈、连续转弯需求频繁及安全风险高等问题日益凸显。加之当前国家对矿山安全监管要求持续提高,导致矿山基建开拓周期延长,直接影响矿山整体生产效益,传统钻爆法已难以满足现代金属矿山的建设与开采需求[5-7]。

近年来,TBM在金属矿山领域的应用逐步增多,尤其是TBM掘进技术在该领域实现了多项突破,包括小转弯半径掘进、连续转弯施工、大坡度轨道运输、超前地质预报与处理、TBM成套掘进工艺及安全保障体系完善等[8]。研究表明,TBM基建成本虽高于传统钻爆法,但综合考虑工期成本、管理成本、贷款利息、提前投产收益、超欠挖控制带来的支护成本削减及安全环保效益等因素,其矿山开发整体效益及综合经济效益优于传统钻爆法[9-10]。尽管如此,目前TBM在金属矿山的应用仍局限于独头巷道、斜坡道、斜井等基建关键线路,其在基建期非关键线路及生产矿山上的推广应用仍受价格等因素制约。

当前,水利水电、铁路隧道及煤炭矿山等行业均建立TBM计价标准或相关定额体系,而金属矿山领域尚未形成相应的计价定额体系,导致该领域TBM计价工作缺乏直接参考依据。与其他行业相比,金属矿山因其独特工程特性,对TBM计价形成显著差异化影响,主要体现在以下方面:1)施工环境与地质条件更为复杂严苛。金属矿山巷道多为深部开拓工程,普遍存在高地应力、高温高压、通风不畅等恶劣作业条件,围岩破碎、地质构造复杂、不良地质频发,相较于水利、铁路工程相对稳定的隧洞围岩环境,矿山地质条件随机性、多变性更强,直接影响TBM掘进效率、刀具等部件损耗及支护成本,造成造价指标大幅波动。2)工况边界与巷道属性差异显著。水利、铁路行业TBM定额多基于长距离平直隧洞、地面整体始发、标准化支护的成熟工况编制,定额消耗量稳定可控;而金属矿山TBM施工巷道普遍存在单段掘进距离短、纵坡大、转弯半径小、频繁转向等特点,设备需多次安拆、转场移位,施工碎片化特征突出,致使人材机消耗与常规行业定额存在明显偏差。3)巷道断面与出渣转运体系受限较多。水利、铁路隧洞断面规整统一、出渣通道连续通畅,可保障TBM连续高效掘进;而金属矿山巷道断面规格多样、作业空间受限、出渣转运线路复杂、连续性差,出渣效率直接制约掘进进度,大幅提升人工、材料及机械台班消耗水平。4)设备功能选型与折旧摊销标准不同。铁路、煤炭行业TBM对围岩支护等专项功能要求更高,而且煤炭行业TBM还需满足瓦斯巷道的防爆安全配置要求,设备配置标准与金属矿山机型存在明显区别;水利、铁路工程单台TBM可实现超长距离连续掘进,安拆转场次数少,延米设备折旧成本低。而金属矿山TBM多为定制化适配机型,受短距离掘进、多次拆装转场影响,设备安拆、运维及摊销成本更高,计价规则无法直接套用其他行业定额。总体而言,金属矿山TBM施工属于典型的定制化施工模式,地质条件、设备规格、巷道断面、掘进距离、施工方案及开拓方式等多重因素相互叠加,导致其市场施工价格波动较大,与其他行业TBM计价体系存在显著区别。

基于此,本文结合某金属矿山TBM施工项目,采用实物量成本法与类似定额法,系统分析金属矿山井巷工程TBM施工费用的主要构成及影响因素,同时结合实际施工情况,总结分析TBM设备使用及主要材料消耗规律,以期为TBM在金属矿山的推广应用提供技术经济参考。

1 工程概况及技术路线

某金属基建矿山开拓系统由主井、副井、北回风井、探矿斜井以及辅助斜坡道组成,基建期设计包含-140 m、-190 m、-240 m三个中段。三个中段主井、副井与北回风井之间运输巷及石门巷长度均约2.2 km。矿区工程地质条件一般,岩石普氏系数f=8~10,围岩等级为Ⅲ~Ⅳ级,岩石局部节理裂隙发育,水文地质条件为中等复杂,施工范围内无

规模较大的断裂及构造破碎带，仅局部地段揭露小型断层，整体地层相对稳定，工作面无明显涌水。目前，该矿山基建工程的主井、副井、北回风井均已完工，辅助斜坡道已贯通。结合国家法律法规要求与项目实际情况，为缩短项目建设工期，经综合论证，－140 m、－190 m中段长距离运输巷决定采用TBM施工[9]。

经多次方案比选及现场勘察验证，确定选用直径为3.53 m的TBM，该设备可满足－140 m、－190 m两个中段巷道的施工要求，TBM最小转弯半径为30 m。运输巷直线段设计断面及TBM施工巷道断面如图1所示。

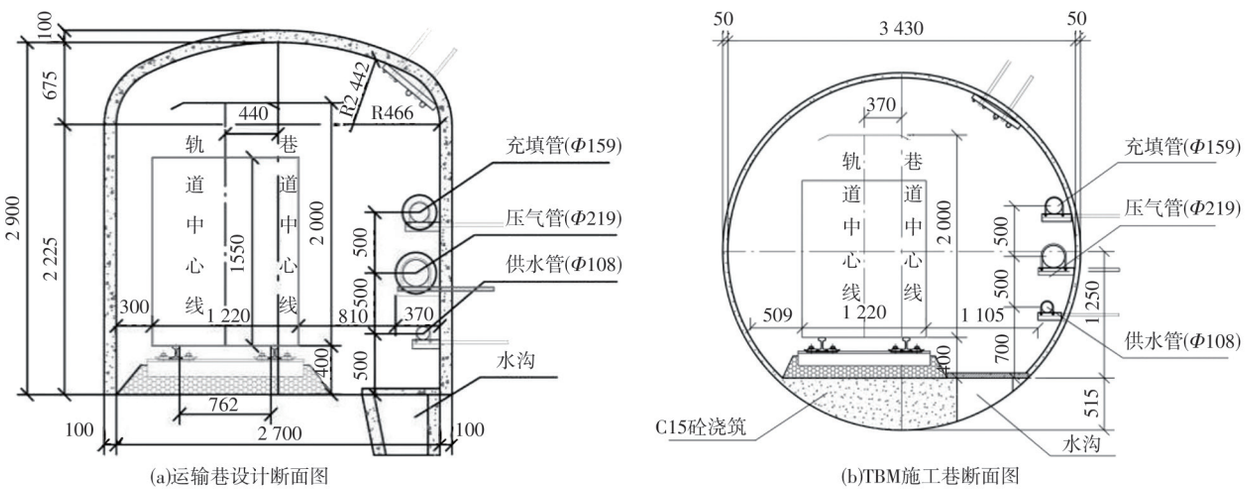


图1　运输巷设计施工断面图(单位：mm)

Fig. 1　Cross-sections of haulage roadway for design and construction(Unit: mm)

鉴于项目处于基建期，为最大限度减少对现有基建工程的影响，经综合统筹，TBM设备拆分后各构件采用平板车通过辅助斜坡道运输至井下，在井下组装硐室完成组装，随后通过步进硐室与始发硐室启动施工；－190 m中段施工完成后，通过措施斜坡道转至－140 m中段施工；最终与北回风井贯通后，后退至拆机硐室拆解，拆解后的设备通过辅助斜坡道运输至地面。本次TBM施工范围涵盖－190 m、－140 m两个中段平巷及两中段之间的斜巷，总施工距离约4 km。

2　TBM施工界区及工作内容

界区划分及工作内容界定是TBM施工价格测算的基础与前提，且与具体施工方案密切相关。矿山基建期引入TBM施工工艺，除需考虑TBM自身工艺复杂性外，还需重点厘清TBM施工系统与现有基建工程的工作界区，落实供电、供风、供水、排水及出渣运输等辅助设施的责任划分。

本项目引入1台超小转弯半径的TBM，工作范围涵盖设备场外运输、井下运输、组装调试、掘进施工、临时支护、设备拆解等全过程。井下相关辅助设施的界区划分以组装硐室为核心边界，具体TBM施工界区及工作内容详见表1(表中甲方指业主，乙方指TBM施工承包方)。

3　TBM施工费用构成及影响因素

TBM常规掘进施工费用主要由直接费、临时设施费、管理费、利润、安全生产费及税金构成，其中直接费主要包括人工费、材料费和机械费。TBM施工体系除常规掘进作业外，还包含各类措施工程及特殊作业工况。其中，措施工程主要包括TBM设备组装、调试、拆解、进出场运输及配套硐室掘砌等施工内容；特殊作业工况包括偏载掘进、空推、回退等特殊作业模式。不同措施工程及特殊作业工况的施工条件、资源投入差异显著，使得各类施工场景的费用构成区别较大。因此，上述两类费用适宜单独列项，按“项”独立计价。

3.1　人工费

TBM施工人工费主要受项目所在地经济水平、施工难度、人员配置方案及实际平均掘进进尺等因素影响。人工费构成包括基本工资、奖金、加班工资、下井补贴、社会保险及各类福利费用等。

TBM施工作业人员配置以“核心操作＋辅助施工＋技术管理”为核心框架，具体配置方案与施工组织设计、工作范围界定直接相关，例如是否包含永久支护与临时支护、是否涉及铺底施工、出渣责任界

表1 TBM施工界区及工作内容

Table 1 TBM construction scope and work content

序号		工作内容	甲方	乙方	边界说明
1	TBM设备运输	TBM进场运输、包装及保险(工厂→井下组装硐室)		√	
		TBM退场运输、包装及保险(井下拆机硐室→工厂)		√	
2	TBM组装	组装、步进、始发硐室掘进及支护	√		
		门吊供应及组装		√	
		TBM整机组装及调试		√	
3	TBM供电系统	地面至组装硐室:供配电设备及材料(含电缆、支架等)的供应及安拆等		√	
		组装硐室至TBM设备尾部:供配电设备及材料(含电缆、支架等)的供应、安拆及延伸等工作		√	
		电费		√	甲方提供,据实结算
4	TBM供排水系统	地面至组装硐室:水泵、水管和支架的供应安装及日常维护工作;污水排放处理工作	√		
		组装硐室至TBM设备尾部:水泵、水管和支架的供应安装及日常维护工作		√	
		水费		√	
5	TBM通风系统	地面至组装硐室:风机、风管的供应、架设安装及日常维护工作	√		
		组装硐室至TBM设备尾部:风机、风管的供应、架设安装及日常维护工作		√	
6	TBM照明系统	组装硐室至TBM设备尾部:线缆、灯具、支架、工具的供应、安装、拆除及日常维护工作		√	
7	TBM出渣系统	组装硐室至地面渣场的出渣工作	√		
		TBM设备尾部至组装硐室的出渣工作		√	
8	TBM设备掘进	技术及施工方案编制;TBM操作及数据分析;TBM维护保养、资料整理及提交等		√	
		巷道测量(满足TBM设备所需的导向测量)		√	
		TBM配件以及配套设备设施(含小型工机具)、TBM施工掘进耗材(含刀具、油脂油料等)的供应		√	
9	巷道支护	TBM运行巷道的临时支护		√	仅指TBM工作范围内的锚网支护工作
		超前地质加固及预处理	√		
		巷道永久支护	√		
10	TBM拆机	拆机硐室掘进及支护	√		
		TBM整机拆除		√	
		巷道轨线拆除		√	

限等。施工班次设置需结合项目实际情况确定,行业内普遍采用三班两运转或四班三运转模式。本项目在上述界区及工作内容界定前提下,实际配置施工作业人员共52人,具体配置情况详见表2。

施工作业人员工资单价参照项目所在地市非私营单位就业人员平均工资确定,并结合井下作业难度系数及企业承担的附加费用进行调整,调整后的综合薪资与项目所在地矿山井巷工程直接作业人员平均工资水平基本匹配。

本项目在技术路线及范围界区明确的前提下,平均掘进进尺按350 m/月计,则据此核算的人工费(不含税)为2 086.83元/m。

3.2 材料费

TBM施工材料包括主要材料、辅助材料、周转材料及施工所消耗的水电,不同类型材料的计价原则与核算方法存在差异。

主要材料包含刀具及油脂类材料(含配件、液压油、齿轮油、锂基脂等)。其中,刀具包含单刃滚刀、双刃中心滚刀、铲刀等,其构成复杂,涵盖刀圈、刀毂、刀轴、轴承及其他零散配件,实际消耗量较大的为刀圈及零散配件;TBM延米刀具消耗量主要取决于岩石磨蚀性指数及设备推进速度。油脂类材料消耗包括掘进前的首次加注、掘进过程中的正常消耗及定期更换量。主要材料的延米造价指标主要受围岩强度等因素影响,可采用类似定额法与实物量成本法相结合的方式核算。例如,《煤矿巷道工程全断面岩石掘进机(TBM)施工计价标准》(T/CCCAT 009—2023)中,针对断面<3.6 m、f<10的工况,明确刀具及配件消耗综合折算为640.32元/m,油脂类材料消耗综合折算为175.50元/m。本项目实际统计的延米刀具消耗为620元/m(不含税),延米油脂类材料消耗为145元/m(不含税),两项实耗指标均略低于相同断面下煤矿TBM定额消耗指标。主要材料费(不含税)按两项实耗指标累加计算,合计765元/m。

表2　TBM施工作业人员配置

Table 2　Allocation of TBM construction operating personnel

班组	工种	人数	合计	备注
掘进班(3个班)	班长	3	36	
	TBM司机	4		
	辅助用工	12		轨线、风管、水管延伸等辅助作业
	锚杆钻机司机	3		支护作业
	电工巡视工	3		
	电瓶车司机	6		
	地面调度员兼叉车司机	2		
	门吊司机	3		安装、拆除作业
保养综合班	维保班班长	1	12	
	机电液维保人员	2		
	电气维保班班长	1		
	材料搬运工	4		分为2班，每班2人
	电焊工	2		
	轨线维保工	2		轨枕加工、轨道养护作业
刀具班	刀具维修班长	1	4	
	刀具检修与更换工	3		1人负责维修，2人负责换刀
合计			52	

辅助材料指TBM主机及配套设备掘进运转过程中所需的各类耗材及备品备件，涵盖刀盘、主驱动、钢拱架安装器、锚杆钻机、撑靴系统、除尘系统、主机皮带运输系统、液压系统、润滑系统及供电、供水、排水、供气系统等的耗材。辅助材料种类繁杂，其消耗量与设备操作运转、日常维护保养密切相关，核算时需注意与TBM专项修理所需材料区分。本项目实际统计的辅助材料费(不含税)为328元/m。

周转材料主要为保障TBM正常掘进所需的供排风管、供排水管、供配电及照明电缆、轨道及配套附件(梭式矿车出渣作业用)等。其构成与矿山井巷工程预算定额(含有色金属矿山、煤炭井巷、冶金矿山等)中的辅助系统存在交叉，采用定额法核算时需与辅助费用明确区分；采用实物量成本法核算时，周转材料费主要取决于材料单价、周转次数及安拆费用。本项目实际核算工作以组装硐室为界区，且实际施工中为节约工程成本、优化施工进度，本项目将供排风管、供排水管、供配电及照明电缆等周转性临时管线与后期永久管线统筹规划，相关周转材料改由甲方提供，调整后核算仅计取周转材料安装费用，实际统计的周转材料费(不含税)为192元/m。

TBM掘进过程中所消耗的水电由甲方提供，实行单独挂表计量，费用按实际消耗量据实结算。据核算，施工水电费(不含税)合计为468元/m。

综上，本项目材料费由主要材料费、辅助材料费、周转材料费及施工水电费构成，材料费(不含税)综合单价为1 753元/m。

3.3　机械费

机械费是TBM延米造价指标中占比最高的成本项，主要由TBM主机及配套设备相关费用构成。目前国内市场上，TBM设备的选用主要有新购、租赁或旧设备改造3种模式，模式选择需综合考虑工程量大小、使用频次及技术经济可行性等因素[11]。根据住房和城乡建设部《建设工程施工机械台班费用编制规则》(2015年9月1日实施)，施工机械台班单价由折旧费、检修费、维护费、安拆费及场外运费、人工费、燃料动力费及其他费用构成。

本项目采用新购置TBM(直径为3.53 m)的方案，设备购置费为3 500万元。依据TBM施工界区界定(表1)，TBM安拆费及场外运费计入措施工程费；燃料动力(主要为电力)由甲方提供，费用据实结算；TBM操作人工费已纳入前述人工费核算，因此折旧费与维修费是机械费核算的核心。TBM折旧费主要取决于设备原值、折旧里程及折旧方式[11-13]。

由于矿用TBM为定制化产品，其主体设备折旧里程的核算方法尚未统一。目前可参考的标准定额主要有：1)《煤矿巷道工程全断面岩石掘进机(TBM)施工计价标准》(T/CCCAT 009—2023)规定，TBM折旧里程按9～9.5 km核算；2)《小直径敞开式TBM补充定额》(试行)(可再生定额〔2024〕41号)规定，TBM折旧里程按17 km核算；3)《铁路隧道TBM及超长工区施工等补充预算定额》(铁建设〔2020〕155号)明确，TBM台班费用定额基价不含折旧费与检修费，需结合施工实际单独分析计列；

4)《全断面隧道掘进机 敞开式岩石隧道掘进机》(GB/T 34652—2017)规定,主轴承为TBM核心部件,其理论设计寿命不应小于15 000 h,对应掘进里程为10～15 km。

综合参考上述标准定额、主流设备厂家的设计与运维数据(含设备设计寿命、维修成本等)、金属矿山工程特征及财务成本等多方面因素,金属矿用TBM设备折旧里程建议按12～15 km取值;结合本项目实际工况,本次核算折旧里程取12 km。结合《施工机械台班费用定额、材料及台班基价汇总表》(中色协科字〔2019〕204号)中“掘进机械残值率按5%”的规定,TBM设备折旧费(不含税)计算如下:3500万元(设备购置费)÷1.13(价税换算系数)×(1—5%)÷12 km=2452.06元/m。

TBM掘进周期内需进行3次专项维修及常规维护,单次专项维修费约占设备原值的5%,则专项维修费(不含税)计算如下:(3500÷1.13×5%)万元/次×3次÷12 km=387.17元/m。综上TBM主机费(不含税)为:2452.06元/m+387.17元/m=2839.23元/m。

TBM配套设备指为主机提供辅助服务的设备设施,包括运输设备、通风除尘设备、供配电及照明设备、供排水及制冷设备、通信设备等。其中,运输设备的费用占比最高,其选型主要取决于出渣方式;目前国内外TBM施工主流出渣方式包括有轨运输、无轨运输及带式输送机运输[11],本项目实际核算工作以组装硐室为界区,主要采用有轨梭式矿车和带式输送机出渣(用于两中段之间的斜巷)。配套设备费的计算方法与TBM主机费相同,经核算,本项目配套设备费(不含税)为561.60元/m。

综上,本项目机械费由TBM主机费和配套机械设备费构成,机械费(不含税)综合单价为3 400.83元/m。

3.4 临时设施费

本项目临时设施费用主要包括生活大临设施、生产区临建设施等发生的各项费用,其中生产区临建设施主要包括现场库房、钢结构临时厂房、临时修理间等。整个TBM施工长度约4 km,施工周期为12个月,大临设施建设按70人计算,则临时设施总费用(不含税)为:70万元(大临设施建设费)+16万元(生产区临建费)+9.6万元(房屋租赁费)=95.6万元;临时设施费(不含税)为:95.6万元÷4 km=239元/m。

3.5 管理费

TBM施工管理费由管理人员费及现场管理费构成。其中,管理人员费主要包括基本工资、奖金、加班费、下井补贴(部分岗位)、社会保险及各类福利费用等;管理费主要取决于管理人员配置、平均工资水平及月度掘进进尺。本项目中月度掘进进尺按350 m规划,管理人员实际配置方案详见表3,工资水平参照项目所在地矿山企业管理人员平均薪资标准执行。经核算,本项目的管理人员费(不含税)为904.47元/m。

表3 TBM管理人员配置

Table 3 Allocation of TBM construction management personnel

部门	人数	备注
管理层	4	项目经理、生产经理、安全总监、总工程师各1人
安环部	2	安全员
工程部	3	技术员、测量组长、测量员各1人
经营部	1	经营/财务人员
设备物资部	1	物资管理员
后勤保障部	4	综合管理人员、厨师、帮厨、司机各1人
合计	15	

现场管理费主要包括现场管理过程中发生的费用支出,包括车辆使用费(含燃油、保养等)、日常办公费(含办公设备、低值易耗品等)、员工差旅费、检验试验费等。经核算,本项目的现场管理费(不含税)为182.09元/m。

综上,本项目管理费由管理人员费和现场管理费构成,管理费(不含税)综合单价为1 086.56元/m。

3.6 利润、安全生产费、税金

利润核算方面,定额法通常以“人工费”或“人工费+机械费”为取费基数,乘以相应费率;实物量成本法则依据行业平均利润水平综合计取,一般以“人工费+材料费+机械费+管理费”为取费基数。本项目采用实物量成本法计价,利润率参照行业平均水平按10%计取,利润计算基数包含直接费、临时设施费及管理费。经计算,本项目的利润为856.62元/m。

安全生产费及税金按国家及行业相关规定计取。其中,安全生产费依据《企业安全生产费用提取和使用管理办法》(财资〔2022〕136号),按税前造价的3.5%计取,安全生产费的计算基数包括直接费、临时设施费、管理费及利润;税金统一按9%税率计取,税金的计算基数包括直接费、临时设施费、管理费、利润及安全生产费。经计算,本项目的安全生产费为329.80元/m,税金为877.74元/m。

3.7　常规掘进含税延米造价

综合上述施工费用构成及各项费用计算结果，本项目常规掘进含税延米造价为10 630.38元，详见表4。

表4　常规掘进含税延米造价计算表

Table 4　Calculation table of tax-included unit meter construction cost for conventional tunneling

序号	费用构成	延米费用/(元·m^{-1})	备注
1	人工费	2 086.83	直接费合计为7 240.66元/m
2	材料费	1 753.00	
3	机械费	3 400.83	
4	临时设施费	239.00	
5	管理费	1 086.56	
6	利润	856.62	
7	安全生产费	329.80	
8	税金	877.74	
合计		10 630.38	常规掘进含税延米造价

3.8　措施工程费用

TBM施工措施工程费受场地条件及施工组织方案影响较大，构成较为复杂，主要包括TBM设备组装、调试、拆解、进出场运输费用，以及井下组装始发所需的组装硐室、始发硐室、步进硐室、拆机硐室等配套硐室的建设费用。措施工程费通常单独列项并按“项”计取，具体可参照相关定额体系的费用构成，并结合实物量成本法进行综合核算。

以TBM设备井下拆解为例，该工作主要在拆机硐室内完成，拆解费用包括人工费、设备使用费、材料费、安全生产费、管理费及税金等。参照T/CCCAT 009—2023第4.5条关于TBM设备井下拆解的计价规定，刀盘直径Φ<3.6 m的TBM设备井下拆解工程，定额基价为72.97万元。采用实物量成本法核算时，根据井下拆机施工方案，TBM拆解工程采用分步、分系统同步作业模式。施工现场配置技术人员28人，实行两班制作业，单班配置14人，按照15 d作业周期(共计30个作业班次)、600元/(人·班)的人工单价测算，人工费合计25.2万元；汽车吊、装载机、卷扬机、叉车、空压机、电焊机等主要施工设备台班费合计16万元；另计材料费、管理费、安全措施费及税金等相关费用12万元。综上，本次TBM井下拆机工程总费用合计53.2万元。

3.9　TBM偏载、空推、回退

偏载掘进、空推、回退是TBM施工中常见的3种特殊作业状态，分别对应“掘进姿态失衡”“无切削移动”“反向撤离”3种工况，直接影响施工效率、设备安全及工程质量，其费用核算需区别于正常掘进。

偏载掘进是指TBM在常规围岩切削掘进过程中，因主机承受切削力、推进力、围岩反力等非对称荷载，导致机身偏离设计轴线的失衡掘进工况。与常规掘进相比，偏载掘进需额外消耗撑靴支撑材料(铁板、木材等)，且施工难度更大、效率更低、安全风险更高。结合工程实际数据测算，偏载掘进费用按正常掘进综合单价计取20%综合降效(降效系数0.8)，且单次偏载施工工程量严格控制在15 m以内。

空推是指TBM不进行刀盘切削作业，仅依托推进系统驱动主机沿巷道前移的无切削掘进工况。与常规掘进相比，空推无需消耗主要刀具材料，但存在设备施工降效问题。结合工程实际数据测算，空推作业费用按常规掘进综合费用的50%核算。

回退是指TBM停止刀盘切削作业后，通过反向操控推进系统驱动主机沿巷道后退的无切削撤离工况。与常规掘进相比，回退无需消耗主要刀具材料，但同样存在设备施工降效问题。结合工程实际数据测算，回退作业费用按常规掘进综合费用的60%核算。

4　结论

1)针对金属矿山TBM施工价格混乱、缺乏统一计价标准的行业痛点，结合金属矿山TBM的行业特性，采用实物量成本法与类似定额法相结合的综合研究方法，系统梳理金属矿山TBM施工的费用构成及影响因素。

2)依托某典型金属矿山TBM实际工程项目，明确研究技术路线与施工范围界区，对人工费、材料费、机械费、临时设施费、管理费、利润、安全生产费及税金等费用开展精细化核算，最终得到该金属矿山TBM常规掘进含税延米造价为10 630.38元。该量化研究成果可为同类金属矿山TBM工程的造价管控、成本测算提供实践依据，也可为行业TBM计价标准及定额编制提供基础数据支撑。

3)开展了金属矿山TBM特殊施工工况的费用核算，重点探讨了措施工程、特殊作业工况的费用计算，进一步完善了金属矿山TBM施工造价核算体系。

参　考　文　献

[1]　李勇，陈虎忠，朱航宇，等. 金属矿山TBM掘进技术的应用与推广[J]. 有色金属(矿山部分)，2024，76(6)：113-118.
Li Yong，Chen Huzhong，Zhu Hangyu，et al. Application and popularization of TBM tunneling technology in metal mines[J]. Nonferrous Metals(Mining Section)，2024，76(6)：113-118.

[2]　黄丹，杨小聪，陈何. TBM在地下金属矿山应用中的发展现状与趋势[J]. 有色金属工程，2019，9(11)：108-121.

Huang Dan, Yang Xiaocong, Chen He. Development status and trend of tunnel boring machine in underground metal mine application[J]. Nonferrous Metals Engineering, 2019, 9(11): 108-121.

[3] 刘泉声, 潘玉丛, 余宏淦, 等. 深部金属矿山巷道TBM掘进技术应用现状及研究进展[J]. 有色金属(矿山部分), 2024, 76(6): 25-41.
Liu Quansheng, Pan Yucong, Yu Honggan, et al. Application status and research progress of TBM tunnelling technology in deep metal mine roadways[J]. Nonferrous Metals(Mining Section), 2024, 76(6): 25-41.

[4] 荆留杰, 张娜, 杨晨. TBM及其施工技术在中国的发展与趋势[J]. 隧道建设, 2016, 36(3): 331-337.
Jing Liujie, Zhang Na, Yang Chen. Development of TBM and its construction technologies in China[J]. Tunnel Construction, 2016, 36(3): 331-337.

[5] 刘泉声, 黄兴, 潘玉丛, 等. TBM在煤矿巷道掘进中的技术应用和研究进展[J]. 煤炭科学技术, 2023, 51(1): 242-259.
Liu Quansheng, Huang Xing, Pan Yucong, et al. Application and research progress of TBM tunneling in coal mine roadway[J]. Coal Science and Technology, 2023, 51(1): 242-259.

[6] 王鹏星, 贺飞, 宁向可, 等. 大直径大坡度连续超小半径转弯TBM关键技术研究及应用[J]. 隧道建设(中英文), 2023, 43(9): 1614-1622.
Wang Pengxing, He Fei, Ning Xiangke, et al. Research and application of key technologies of large diameter tunnel boring machine with large slope and ultra-small turning radius[J]. Tunnel Construction, 2023, 43(9): 1614-1622.

[7] 王照亚. 金属矿山超千米深TBM主机组装硐室破坏形式分析与支护设计研究[J]. 有色金属(矿山部分), 2023, 75(5): 26-35.
Wang Zhaoya. Failure forms and support design of over kilometer-deep TBM main engine assembly chamber in metal mine[J]. Nonferrous Metals(Mining Section), 2023, 75(5): 26-35.

[8] 崔广龙, 吴立根. TBM在金属非金属地下矿山的应用前景分析[J]. 采矿技术, 2023, 23(5): 33-36.
Cui Guanglong, Wu Ligen. Application prospect analysis of TBM in metal and nonmetal underground mines[J]. Mining Technology, 2023, 23(5): 33-36.

[9] 刘荣乐, 樊忠华, 张春虎, 等. TBM施工技术在金属矿山长距离运输巷掘进的应用[J]. 现代矿业, 2024, 40(6): 179-181, 185.
Liu Rongle, Fan Zhonghua, Zhang Chunhu, et al. Application of TBM construction technology in excavation of long-distance transportation roadway in metal mines[J]. Modern Mining, 2024, 40(6): 179-181, 185.

[10] 黄建鑫. TBM在某金属矿山长距离井巷掘进中的应用[J]. 现代矿业, 2023, 39(7): 205-209.
Huang Jianxin. Application of TBM in long-distance tunneling in a metal mine[J]. Modern Mining, 2023, 39(7): 205-209.

[11] 袁应飞, 姜彦作, 孔宇田. 掘进机(TBM)在水利工程短隧洞中的费用分析[J]. 陕西水利, 2021(12): 196-198.
Yuan Yingfei, Jiang Yanzuo, Kong Yutian. Cost analysis of TBM in short tunnel of water conservancy project[J]. Shaanxi Water Resources, 2021(12): 196-198.

[12] 吴炜, 覃伟华. 铁路TBM台班组成研究分析[J]. 铁路工程技术与经济, 2020, 35(2): 14-16, 28.
Wu Wei, Qin Weihua. Study on railway TBM machine-team component[J]. Railway Engineering Technology and Economy, 2020, 35(2): 14-16, 28.

[13] 王洪玉, 朱静萍, 蒋澔, 等. 抽水蓄能电站地下隧洞TBM施工经济分析[J]. 人民黄河, 2021, 43(增刊2): 153-155.
Wang Hongyu, Zhu Jingping, Jiang Yan, et al. Economic analysis of TBM construction of underground tunnel in pumped storage power station[J]. Yellow River, 2021, 43(S2): 153-155.