

浅谈公路隧道TBM施工工艺的计价及成本管理

罗凤玉

新疆交通规划勘察设计研究院有限公司

摘要:我国的公路网络系统正迅猛发展,公路建设受到了越来越多的关注。由于公路施工所处的环境非常复杂,地形多样,施工工期较长,而公路隧道对项目工期的影响尤为关键。公路隧道不仅可以有效抵御地形、坡度的挑战,还可以优化路线的布局,降低公路的修筑成本,从而更好地满足交通需求。随着隧道施工技术不断发展,TBM技术的应用及其计价标准化的需求变得更加必不可少,其应用和管理的系统化及精细化将对公路隧道的施工成本控制和项目的可持续发展有直接影响。

关键词:公路隧道; TBM施工; 工程计价

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2022.23.051

引言:目前,TBM施工技术已被普遍应用于国际隧道建设中,在水电水利、铁路公路、市政交通等路面施工中都发挥了重要作用。在这一背景下,施工企业应用TBM施工技术施工时,做好成本控制工作,可以增加企业的经济效益。本文以实际工程隧道为背景,并基于与之相关的TBM施工合同管理,详细分析了该项目TBM施工成本控制的重点与经济效益,并提出了相关建议。

一、隧道TBM施工工艺简介

TBM是全断面隧道掘进机(Tunnel Boring Machine)的简称,是一种集机、电、液压、传感、信息技术于一体的隧道施工设备,其工作原理就是通过回转刀盘借助推进装置的作用力从而使刀盘上的滚刀切削岩体,将切削的岩石碎片通过刀盘上的铲斗收集,然后经过TBM的运输系统最后把岩体运出洞外,从而达到破岩开挖隧道(洞)的目的。采用TBM施工在隧道一次成型、施工进度、施工安全、施工环保、工程质量、作业人员工作环境和劳动强度等方面较传统钻爆法施工具有明显的优势,为隧道施工走向机械化、标准化创造了条件,使施工程序大大简化,基本实现了流水化作业。

TBM隧道掘进机按开挖岩体的类别分为硬岩隧道掘进机和软岩隧道掘进机,其中硬岩隧道掘进机又分为敞开式、护盾式。一般情况下,敞开式TBM较护盾式TBM具有造价低,转弯半径小,不需要钢筋混凝土衬砌管片、不容易卡机等诸多优势,因此实用性较广。

二、国内不同工程建设行业隧道TBM施工工艺计价的现状

近年来,隧道TBM施工工艺多用于水利、铁路、煤矿,在我国已经实施的隧道工程也已超过百公里以上,断面直径达到12m以上,积累了一定的工程经验,但

在公路工程中尚未广泛应用,故截至目前为止交通运输部及各省市公路工程造价管理机构还未正式发布公路隧道TBM施工工艺的相关定额,只能参照其他水利、铁路行业计价。下面简要介绍下水利、铁路行业管理部门隧道TBM施工工艺定额发布情况、对设计工程数量的提取要求做简要介绍。

1、水利隧道TBM施工工艺较铁路和公路要早,为进一步满足水利工程建设需要、完善水利工程定额体系、规范水利隧道TBM施工工艺计价,2007年4月5日水利部发布《水利工程概预算补充定额》(掘进机施工隧洞工程)(水总[2007]118号文)。该定额子目含全断面岩石敞开式TBM掘进、双护盾TBM掘进施工工艺的概算和预算定额,该定额作为2002版《水利建筑工程预算定额》《水利建筑工程概算定额》《水利工程台时费定额》《水利工程设计概(估)算编制规定》的补充,与其一并使用。

2、为规范铁路隧道TBM施工工艺计价,2020年9月8日中国国家铁路集团有限公司发布了《铁路隧道TBM及超长工区施工等补充预算定额》(铁建设2020年155号文),定额子目为敞开式全断面岩石掘进机(TBM)施工预算定额。该定额与2017版《铁路工程材料基期价格》《铁路工程施工机具台班费用定额》《铁路基本建设工程设计概(预)算编制办法》配套使用。

3、国内其他隧道TBM施工工艺定额情况

2017年6月28日青岛地铁集团有限公司发布了《青岛地铁双护盾TBM及复合式土压平衡盾构补充预算定额》(青地铁集团发2017年36号文),该定额只适用于青岛地铁集团管辖的青岛地铁工程,而且项目建设地点在城区,与水利、铁路、公路隧道的建设条件差距很大,不具备普适性,故这里不赘述。

三、公路隧道TBM施工工艺参照水利隧道、铁路隧道TBM施工工艺定额计价,对设计工程数量提取有其重点和难点

1、水利隧道TBM掘进机补充概预算定额对设计工程数量提供的重点和难点主要在开挖围岩类别按(1)岩石按饱和单轴抗压强度分 ≤ 50 、50~100、100~150、150~200MPa分别提供;(2)需提供以上不同强度区间内的岩石石英含量,石英含量分 $\leq 5\%$ 、5~15%、15~25%、25~35%、35~45%分别提供。这不同于公路隧道采用普通钻爆法只需提供隧道围岩等级即可。

2、铁路隧道TBM施工工艺计价定额及公路隧道参照使用对设计工程数量提供的重点和难点主要在开挖围岩类别按(1)隧道岩石首先按II、III、IV、V级围

岩分类；（2）然后再按不同磨蚀指数CAI分为<0.5、<1.0、<2.0、<3.0、<4.0、<5.0、≥5.0细分类别，以便按不同磨蚀指数CAI对定额中的人工、机具台班消耗量及刀具按规定乘调整系数。

四、公路隧道TBM施工工艺参照水利、铁路隧道TBM掘进定额计价的适用性分析

公路隧道TBM施工工艺参照水利隧道TBM施工工艺定额计价存在以下局限性：

1、工资标准存在较大差异。《水利工程设计概（估）算编制规定》人工工资标准按项目所在地区、用工技术等级分别确定工资标准，公路工程也按项目所在地、但用工不分技术等级，只分人工、机械工且工资标准相同；公路、水利定额人工工时、工日单价不具备可比性，如2018版公路工程估概预算采用的人工工资标准新疆地区为按新疆维吾尔自治区人力资源和社会保障厅、财政厅《关于完善艰苦边远地区津贴增长机制和调整艰苦边远地区津贴标准的通知》（新人社发[2016]28号）测定，2002版水利工程概预算的人工工时工资标准中的艰苦边远地区划分为2002年之前的相关规定测定，二者时间间隔太长，且随着现在工程施工机械化程度的提高，2002版水利定额相较于2018版公路工程定额的人工消耗量偏大、机械消耗量偏小。若采用铁路隧道

TBM施工工艺人工、材料、机械定额的消耗量与2018版公路工程定额匹配的人工、材料、机械台班单价匹配，会与公路隧道TBM施工工艺的实际造价存在较大差异。公路工程概预算定额较2020版铁路隧道TBM补充预算定额发布实施的时间较接近，较2007版《水利工程概预算补充定额》（掘进机施工隧洞工程）较远。

2、水利和铁路、公路工程行业定额差异较大。水利工程人工消耗量按工时且与工程类别（枢纽工程、引水工程、河道工程）、用工技术等级（分工长、高级工、中级工、初级工四个等级）有关，铁路同公路工程定额人工工日按工日且不分工程类别、用工技术等级计算，水利与铁路、公路工程行业定额的差异较大。

3、计价内容有缺项。如TBM掘进机施工时的临时供电线路、通风管道、轨道的安装和拆除工程内容未含在TBM定额内或参照水利定额其他章节的定额与公路工程定额计算的费用差距较大，而2020版铁路隧道TBM补充预算定额则已含以上工程内容。

4、材料价格基期存在较大差异。公路工程概预算定额的材料价格基期为2018年，铁路工程定额的材料价格基期为2014年，水利工程概预算定额的材料价格基期为2002年，很多材料基期价格差距非常大，对于隧道工程用到的主要材料价格基期详见下表

公路工程、铁路工程、水利工程概预算定额
材料基期价格一览表

			单位：元		
序号	材料名称	单位	公路工程	铁路工程	水利工程
1	人工	工日	106.28	196（隧道掘进机（TBM））	37.52
2	HPB300钢筋	t	3333.33	2720	3000
3	HRB400钢筋	t	3247.86	2790	3000
4	42.5级水泥	t	367.52	330	300
5	汽油	kg	8.29	6.08	3.6
6	柴油	kg	7.44	5.23	3.4
7	中（粗）砂	m ³	87.38	24.25	70
8	碎石（2cm）	m ³	88.35	38.8	70
9	大卵石	m ³	64.08	28.13	70
10	水	m ³	2.72	0.35	0.55
11	电	度	0.85	0.47	0.95

注：上表中水利工程标准工时工资参照中级工为5.36元/工时，隧道工程参照公路定额按7工时/工日，这算每工日工资标准为37.52元。

以上四点是公路隧道参照水利定额计价的主要局限性，若公路工程隧道参照2020年9月8日中国国家铁路集团有限公司发布了《铁路隧道TBM及超长工区施工等补充预算定额》计价，则消除了参照水利定额存在人工工资标准、行业定额、计价内容缺项差距差异较大的影响。从上表可以看出水利与铁路、公路工程行业定额所

采用的材料基期价格差异则各有大小，无规律可循。但基期材料价格也仅是影响工程取费，项目的总造价还是以项目实际的材料市场价格所决定。

一个公路建设项目隧道TBM工艺是参照水利还是铁路工程TBM定额计价，取决于项目本身的TBM工艺施工的直径、隧道围岩的等级、围岩的石英含量、磨蚀系数等

因素,酌情选用并进行全方位的比较,不能以偏概全,一概而论。

五、公路工程参照2020版铁路隧道TBM补充预算定额计价的注意事项

公路隧道TBM施工工艺计价在公路工程领域的应用尚属空白,只能借助其他行业定额,并结合已开工的水利、铁路项目施工合同价格确定造价,公路隧道TBM施工工艺计价时需注意以下几点:

1、隧道TBM施工工艺占用的施工场地面积较传统钻爆法大,因为需要TBM组装场地(一般TBM整机长约200米,重1500t)、管片预制场地、有轨机车编组场地、皮带出渣占地等。

2、TBM掘进设备的直径是否与设计开挖面直径一致,若不一致,在进行TBM掘进机折旧费计算时,应根据机械设备的原值重新进行折算。同时还应注意铁路隧道TBM掘进机台班费用定额基价中不含折旧费与检修费,其折旧费与检修费应结合施工项目具体情况,另行单独分析计列。

3、在使用其他工程行业隧道TBM施工工艺定额计价时建议采用公路的人工工资标准及公路行业公布的价格,按照公路工程概预算编制办法计算措施费、企业管理费、规费、利润、税金。采用公路编制办法计取工程建设其他费和预备费等。

六、TBM施工的成本控制

(一) 固定成本控制

TBM施工的固定成本包括:TBM设备的使用、设备的维护和保养、设备的更换,以及设备的更换运行时间。为了减少固定成本,应该进行大量市场调查,并使用公开招标和协议来实现。

(二) 可变成本控制

控制可变成本是TBM施工中的一个挑战,它能够反映出项目管理水平的高低,是决定项目成本效益的关键因素。为了实现这一目标,施工企业应该采取多种措施,包括施工组织、管理和经济方面,并且要特别注意项目中的关键环节。

(三) 进度敏感型可变成本要素控制

1、保守型

在保守型的基础上,将通过优化施工组织、加强工序搭接、识别、评估和采取措施来提高项目的进尺指标,以减少不必要的工作时间损失,同时也可以通过提前办理相关手续,以及缩短工作步距,来实现项目的总工期节约。特别是在线路上穿下跨建筑物的情况下,如果能够将关键线路上左右线始发步距缩短一个月,那么项目的总工期将会大大缩短,从而达到节省成本的效果。通过这种方式,可以降低TBM施工的成本。

2、激进型

激进型的施工方案可以显著降低成本,因为它们会根据不同的方案进行比较,从而更精准地估算出增加资源投入的成本,并且能够更好地控制工期,从而达到节约成本的目的。为了实现这一目标,施工企业可以采取以下措施:

(1) 针对长距离的运输,为了减少水平运输带来的工序循环时间延长,我们建议采用皮带机运输或者在洞内增加道岔、电瓶车等技术措施,以达到最佳的运输效果。

(2) 施工企业可以采取有效的经济措施,如实施劳动竞赛计划,激发员工的积极性,进而提升生产效率,实现企业发展的最大化。

3、管理敏感型可变成要素控制

TBM盾构施工的机械化程度极高,其中最重要的因素就是刀具的使用,它的消耗量也是一个可变的指标。根据地质条件、线路曲率、操作人员技能、维护管理制度等因素,TBM盾构施工的刀具消耗量会有所差异,从而影响整体机械成本的比例。因此,施工单位应该采取以下几项措施来解决这个问题:

(1) 由于国内外刀具质量参差不齐,因此,在招标时,不能仅仅依据刀具价格来确定最终的投标人,而是要综合考量刀具制造商的科研能力,在同类地层中的使用效果等多方面的因素,最终确定3~4家入围的刀具供应商。

(2) 经过多轮试刀方案的比较,以及在相同的地质条件和位置下,对刀具的磨损值的评估,我们可以确定最佳的供应商;此外,为了更好地实施项目,我们还需要不断完善和总结。

(3) 为了确保安全生产,我们应该雇佣有着丰富实践经验的刀头工,他们需要定期进行仓库检查,一旦发现掘进参数出现问题,应立即停车,并且按照实际情况更新刀具,避免造成不可挽回的损失。此外,我们也应该重视对相关技术人员的技能提升,确保他们的技能能够满足标准,从而有效控制掘进过程。

结语:TBM设备的使用对于建造复杂的隧道来说,由于它们的昂贵、耗费的财力、跨越的地域、运送的路程、费用的增加以及TBM的维修费用较高,使得它们的使用带来了风险和成本。TBM施工的关键是要通过科学的组织和管理,在设计阶段就要在计价编审方面做到科学系统,并且积极推进技术创新,达到有效控制项目投资的目的。

参考文献

- [1] 张斌. 道路施工项目成本控制问题探讨[J]. 现代商贸工业, 2015, (02): 103104.
- [2] 李仲明. 公路工程项目施工成本控制应用对比[J]. 现代企业, 2016, (03): 1920.