

探究如何计算超长隧洞围岩类型变化引起的降效费用

靳颖杰

中国水利水电第十一工程局有限公司, 河南 郑州 450001

[摘要]隧洞施工过程中,围岩类型变化是影响隧洞施工效率的关键因素,也是变更索赔的关键点。这就要求施工单位,在施工过程中及时统计围岩类型变化情况,对比出招标阶段和实施阶段不同围岩类型长度,以一个定量工程量为参数,计算出围岩类型变化引起的施工降效系数,从而计算出因围岩类型变化引起的降效总费用。

[关键词]围岩类别;变化;降效

DOI: 10.33142/hst.v6i9.10404

中图分类号: TU723.1

文献标识码: A

Exploration on How to Calculate the Cost of Reducing Efficiency Caused by Changes in the Type of Surrounding Rock in Ultra Long Tunnels

JIN Yingjie

Sinohydro Bureau 11 Co., Ltd., Zhengzhou, He'nan, 450001, China

Abstract: During tunnel construction, changes in the type of surrounding rock are a key factor affecting the efficiency of tunnel construction and a key point for change claims. This requires the construction unit to timely calculate the changes in surrounding rock types during the construction process, compare the lengths of different surrounding rock types during the bidding and implementation stages, and use a quantitative engineering quantity as a parameter to calculate the construction efficiency reduction coefficient caused by changes in surrounding rock types, thereby calculating the total cost of efficiency reduction caused by changes in surrounding rock types.

Keywords: surrounding rock category; changes; reduce efficiency

隧洞施工过程中,因复杂地质条件下产生的施工降效往往是工程建设重点、难点。其中围岩类型变化是影响隧洞施工效率的关键因素,也是变更索赔的关键点。降效费用能否得到及时补偿处理,是直接影响施工单位能否顺利履约的关键点。施工降效费用计算方法均不相同,其工程量、工期和资源投入是施工合同管理的三大基本因素,工程建设标准、施工条件变化等是变更索赔立项依据。鉴于施工降效费用问题处理的复杂性,在工程建设过程中常常不能得到及时解决,从而增加施工单位资金压力。即使在单价合同条件下,因我国工程管理体制,价格体系特点,很少对因赶工、窝工、施工降效进行价格补偿。

本文以实际案例出发,以一个定量工程量为参数,计算出围岩类型变化引起的施工降效系数,从而计算出因围岩类型变化引起的降效总费用。

1 项目概况

某输水工程,主要施工内容有42m长的倒虹吸出口明涵、752m长的2#隧洞钻爆法开挖洞、276m长的输水渡槽、7120m长的3#隧洞钻爆法开挖洞、70m长的倒虹吸进口明涵段及10.377km施工道路等。主要实物工程量:石方明挖15.42万 m^3 ;石方洞挖45.43万 m^3 ;常态混凝土8.45万 m^3 ,合同金额为27160万元,合同工期为2017年5月30日至2022年4月30日。

2 案例背景及诉求

3#隧洞长7120m,桩号75+252~82+372,无施工支洞,

采用钻爆法施工,分进口、出口两个工作面向中部开挖,施工时段2017年7月16日至2020年5月31日。招标文件和招标图纸显示3#隧洞围岩分布情况为II类围岩4147m、III类围岩合计2319m、IV类围岩634.217m。根据围岩类别投标文件中确定各类围岩的施工效率为II类围岩洞段150m/月、III类围岩洞段120m/月、IV类围岩段80m/月。投标文件中3#隧洞进口开挖工期713天,施工时段2017年9月21日至2020年5月31日,开挖桩号75+262~78+715,长3453m;3#隧洞出口开挖工期780天,施工时段2017年7月16日至2020年5月31日,开挖桩号78+715~82+362,长3647m。

实际实施阶段,3#隧洞实际揭露围岩类别变化较大,具体为II类围岩1244.4m、IIIa类围岩合计4015.8m、IIIb类围岩合计819.1m、IV类围岩946.749m、V类围岩合计74.168m。采用实际揭露围岩类别,根据投标文件中各类围岩的施工效率,再考虑到3#隧洞出口3次大的塌方停工处理的时间,3#隧洞进、出口进洞时间不变,隧洞整体贯通结束时间将从780天延长到1092天,实际较投标计划工期延长312天。

经对比分析,II类围岩减少,III、IV、V类围岩增加,且分布洞段发生较大变化,主要增加了喷锚支护及钢拱架,石方洞挖工效降低,钢拱架也由洞端分布变化为整洞分布,人员设备占用时间拉长,工效降低。因此提出因围岩类别变差导致工效降低引起施工降效费用。

3 变更立项原因分析

3.1 围岩类别、支护形式变化情况

对 3#隧洞围岩招标与实际施工对比分析,其围岩类别、支护形式均有不同程度变化,其具体变化情况如下表。

(1) 根据招标图纸显示 3#隧洞具体的围岩类别情况

表 1 3#隧洞各段围岩类别情况表

桩号	75252~75588	75588~76457	76457~80604	80604~82054	82054~82372
长度	336	869	4147	1450	318
围岩类别	IV	IIIA	II	IIIA	IV

(2) 招标与实际围岩类别对比情况

表 2 3#隧洞招标与实际围岩类别对比表

部位	围岩类别	单位	招标长度	实际长度	差异(招-实)
3#隧洞	V	m	0	74.168	-74.168
	IV	m	634.217	946.749	-312.532
	IIIB	m	0	819.1	-819.1
	IIIA	m	2319	4015.8	-1696.8
	II	m	4147	1244.4	2902.6
合计:			7100.217	7100.217	

(3) 招标与实际支护形式变化

表 3 招标、实际施工支护形式变化对比表

序号	围岩类别	招标支护形式	实际支护形式
1	II类围岩	上半洞布置随机中空锚杆+10cm厚C30挂网喷锚;	取消上半洞系统支护,全为随机支护
2	III类围岩	IIIA、IIIB: 上半洞布置随机中空锚杆,边墙及顶拱10cm厚C30挂网喷锚;	IIIA: 边墙及顶拱挂网喷锚
			IIIB: 边墙及顶拱挂网喷锚+钢拱架支护
3	IV类围岩	上半洞系统中空锚杆,下半洞布置砂浆锚杆,边墙及顶拱设置格栅拱架+15cm厚C30挂网喷锚;	边墙及顶拱挂网喷锚+钢拱架支护
4	V类围岩	边墙及顶拱挂网喷锚+钢拱架支护+超前支护	边墙及顶拱挂网喷锚+钢拱架支护+超前支护

3.2 工期分析

3.2.1 投标时期工期分析

(1) 工期计算原则

①洞室开挖采用手风钻钻孔,钻爆法施工,分 3#隧洞进口、出口两个施工作业面,向中间开挖;

②每年冬季 12 月-2 月不施工。

③开挖效率: II类围岩洞段: 150m/月(单工作面); III类围岩洞段: 120m/月(单工作面); IV类围岩段: 80m/月(单工作面),具体各工序施工时间见下表 4。

(2) 投标时的开挖工期分析

3#隧洞开挖分 3#隧洞进口、3#隧洞出口 2 个工作面,

向隧洞中部同时开挖。3#隧洞进口 2017 年 9 月 21 日开始进洞、3#隧洞出口 2017 年 7 月 16 日正式进洞,隧洞整体将于 2020 年 5 月 31 日于桩号 78+715 贯通。

其中:

3#隧洞进口开挖工期 713 天,施工时段 2017 年 9 月 21 日至 2020 年 5 月 31 日,开挖桩号 75+262~78+715,长 3453m。

3#隧洞出口开挖工期 780 天,施工时段 2017 年 7 月 16 日至 2020 年 5 月 31 日,开挖桩号 78+715~82+362,长 3647m。

表 4 开挖支护排炮作业循环时间估算表(投标文件)

工序部位	时间单位	测量放线	超前支护	钻孔	装药爆破	通风散烟	安全处理	围岩支护	出碴	清底	循环时间
II类围岩洞段	h	0.5	0	4.0	1	0.5	0.5	1	5	0.5	12
III类围岩洞段	h	0.5	0	4.0	1	0.5	0.5	1	5	0.5	12
IV类围岩洞段	h	0.5	2	4.0	1	0.5	1.5	2	4	0.5	16
备注	①III类围岩系统锚杆及喷砼支护与开挖平行作业,不占直线时间。 ②不良地质段超前支护结束后的待凝时间可进行钻孔、装药作业,开挖循环时间中不加钻孔、装药用时; ③II类围岩排炮循环进尺 3m, III类围岩排炮循环进尺 2.5m, IV类围岩排炮循环进尺不大于 2m。 ④月进尺估算: 根据作业循环时间,并考虑时间利用系数及支护影响等,估算结果为: II类围岩洞段: 150m/月(单工作面); III类围岩洞段: 120m/月(单工作面); IV类围岩段: 80m/月(单工作面)。										

3.2.2 施工工期计算的隧洞开挖工期

(1) 施工期间工期计算原则

①洞挖开始时间与投标文件保持一致,仍按 3#隧洞进口 2017 年 9 月 21 日开始进洞、3#隧洞出口 2017 年 7 月 16 日正式进洞的情况不变;

②仍按投标时的施工效率(II类围岩洞段 150m/月、IIIA类围岩洞段 120m/月、IV类围岩段 80m/月)计算;

③对于招投标阶段没有的围岩类别的施工进度

IIIB类围岩: 招投标阶段该类围岩类别为 0,实际过程中为 819.1m, IIIB类围岩的开挖支护形式和工序与 IV类围岩相同,每循环时间参照 IV类围岩为 16 个小时,单循环进尺数设计图纸要求为 2-3m,一般为 2.5m,因此IIIB类月进尺为 100m/月。

V类围岩: 招投标阶段该类围岩类别为 0,实际过程中为 74.168m, IIIB类围岩的开挖支护形式和工序与 IV类围岩相同,每循环时间参照 IV类围岩为 16 个小时,单循环进尺数设计图纸要求为 0.5-1m,按 1m 计算V类月进尺为 40m/月。

④每年冬季 12 月-2 月不施工。

⑤对于 2020 年 3#洞出口发生的 3 次较大的塌方,根据过程中实际处理的时间计算。

⑥对于塌方产生的超挖、超填工作,计算超挖超填所需的新增工作时间。

(2)按实际围岩类别计算所需的开挖工期

围岩变化、3#隧洞出口 3 次大的塌方停工处理导致的工期延后:

采用实际揭露围岩类别,再考虑到 3#隧洞出口 3 次大的塌方停工处理的时间(2020 年 7 月 13 日~2020 年 9 月 9 日:停工处理 3#隧洞出口 79+361 段塌方处理 58 天;2020 年 11 月 15 日~2020 年 12 月 31 日:连续两次停工处理 3#隧洞出口 79+195、79+193.7 段塌方处理共计 36 天。

3#隧洞出口为第 0 天开始,3#洞进口为第 67 天开始(投标文件 3#隧洞进口 2017 年 9 月 21 日开始进洞、3#隧洞出口 2017 年 7 月 16 日开始进洞,进口比出口进洞时间晚 67 天)。隧洞整体贯通结束时间为 1051 天。

(3)超挖、超填的时间

①超挖出渣时间:每 10000 方,每辆车装 20m³,需出渣 500 车,每辆车的装渣及车辆就位之间的衔接时间为 5-10min(按 7.5min),需要 3750min(2.6 天)。

②超填超喷时间:每 10000 方,喷混效率为 15m³/h,需要 666 个小时(27 天)。

每超挖、超填 1 万方需 29.6 天的工作时间,平均到进、出口 2 个工作面,工期延长 $29.6/2=14.8$ 天。

现场实际超挖、超填工程量 27444.92 方,需时间 $2.744492 \times 14.8=41$ 天。

因围岩变化+3 次大塌方停工、全洞的塌方引起的超挖超喷工作时间,隧洞整体贯通结束时间将从 780 天延长到为 1092 天。

4 施工降效费用应考虑的主要因素

3#隧洞 7100.217m,投标计划完成时间 780 天;围岩变化主要为 II 类减少,增加了 III、IV、V,增加了喷锚支护工序,致使石方洞挖工效降低。围岩变化后实际完成时间 1092 天,影响增加工期 312 天。II 类围岩减少,III、IV、V 类围岩增加,且分布洞段发生较大变化,主要增加了喷锚支护及钢拱架,石方洞挖工效降低,钢拱架也由洞端分布变化为整洞分布,人员设备占用时间拉长,工效降低,因此,以石方洞挖(钻爆)及钢拱架投标计划时间及合同工程量计算合同施工强度,再以实际施工时间及实际完成工程量计算实际施工强度,计算出降效系数。

4.1 因工期延长影响的施工成本

(1)开挖支护设备和人员:反铲挖掘机、装载机、自卸汽车、手风钻、喷混机、钻工、爆破工、支护工等,在工期延长期间的费用;

(2)围岩位置变化导致的支护人员和设备的新增费用:原投标文件的钢拱架(IV类)工作集中在隧洞的两端,

投标时劳动力的钢拱架支护人员和设备只在隧洞两端(IV类)配置,后期(III类和II类)未配置钢拱架支护人员;实际围岩变化比较频繁,钢拱架支护人员、设备需一直配备,导致存在闲置情况。

(3)通风排烟:各洞口配置了 1 套 4×75Kw 通风机,在工期延长期间的费用;

(4)施工排水:隧洞洞内裂隙渗水排出洞外,水泵和操作工在工期延长期间的费用;

(5)洞内照明:沿线间隔布置的照明灯具、电缆和操作人员,在工期延长期间的费用;

(6)施工供水、施工供风:设备(空压机、水泵、管道)和人员(空压机操作工、水泵工)在工期延长期间的费用;

(7)隧洞洞内道路维修:隧洞内的岩石遇水易软化且边墙和底板均存在裂隙水,10 天需对道路整体维修一次,该工作在工期延长期间的费用;

(8)钢筋加工厂、拌合站:设备(拌合机、钢筋加工机械、钢拱架加工机械)和人员(操作工、司机),在工期延长期间的费用;

(9)炸药库、安保公司:在工期延长期间的费用;

(10)项目部管理费用:人员和车辆在工期延长期间的费用。

(11)围岩变差:导致的爆破孔钻孔数量(米数)增加、炸药量和雷管数量变化、爆破循环次数增加导致的引爆工作次数增加。投标时 II 类是 124 个孔,III 类是 132 个孔,IV 类是 145 个孔。

(12)与投标对比,增加一次 2020 冬休期,以及 2021 年初开挖支护人员的进退场费用。

4.2 具体影响内容

(1)影响石方洞挖降效(扣减因围岩变差导致石方超挖费用);

(2)影响格栅拱架制安降效;

(3)工期延长增加固定费用,主要是通风排烟费用,爆破服务费用。项目部管理费用,主要是人员和车辆在工期延长期间的费用。

5 施工降效费用计算

5.1 费用计算原则

(1)降效系数=1-(实际施工强度÷合同施工强度);

(2)合同施工强度=合同工程量÷合同计划洞挖完成时间;

(3)围岩变化后施工强度=实际工程量÷围岩变化后理论计划完成时间;

(4)实际降效补偿费用=投标施工强度×变化后理论计划完成时间×合同人工、机械单价×降效系数。(扣除超挖量增加机械费用);

(5)通风排烟费按合同单价分析中通风机费用×合

同工程量÷合同计划完成时间 780 天计算出每天通风排烟费用,再乘以围岩变化增加工期 312 天计算出通风排烟增加费用;

(6) 爆破服务增加费用按实际爆破服务合同每月费用×工期增加时间计算。

5. 2 费用计算明细

石方洞挖:

(1) 洞挖投标工程量为 407112m^3 , 投标施工强度 $407112\text{m}^3 \div 780 \text{天} = 521.9\text{m}^3/\text{天}$;

(2) 实际工程量 454333m^3 , 实际施工强度 $454333\text{m}^3 \div 1092 \text{天} = 416.1\text{m}^3/\text{天}$;

(3) 降效系数为: $1 - (416.1 \div 521.9) = 0.2$;

(4) 实际降效补偿: $521.9 \times 1092 \times 167.57 \times 0.2 = 19375080 \text{元}$

(5) 超挖量增加机械费用: $68759.9\text{m}^3 \times 32.06 \text{元}/\text{m}^3 = 2204442 \text{元}$

(6) 石方洞挖降效费用: $19375080 \text{元} - 2204442 \text{元} = 17170638 \text{元}$ 。

5. 3 格册拱架制安

(1) 格册拱架投标工程量为 237t , 投标施工强度 $237\text{t} \div 780 \text{天} = 1.2\text{t}/\text{天}$;

(2) 实际工程量 852.8t , 实际施工强度 $852.8 \div 1092 = 0.8\text{t}/\text{天}$;

(3) 降效系数为: $1 - (0.8 \div 1.2) = 0.33$;

(4) 实际降效补偿: $0.8 \times 1092 \times 1690.24 \times 0.33 = 738062 \text{元}$;

5. 4 通风排烟费用

(1) 通风排烟费: 延长工期 $1092 - 780 = 312 \text{天}$, 石方洞挖单价分析表中

55Kw 轴流风机费用为 $35.11 \text{元}/\text{m}^3$, 即 $35.11 \times 407112 \div 780 = 18325 \text{元}/\text{天}$ 。实际降效补偿费用为 $312 \text{天} \times 18325 \text{元}/\text{天} = 5717481 \text{元}$ 。

(2) 爆破服务费用为: 延长工期 $1092 \text{天} - 780 \text{天} = 312 \text{天}$, 爆破服务增加费用按实际爆破服务合同每月费用 $7192 \text{元}/\text{天}$ 。实际降效补偿费用为 $312 \text{天} \times 7192 \text{元}/\text{天} = 2243800 \text{元}$ 。

综合因 3# 隧洞围岩变化降效费用为 $17170638 \text{元} + 738062 + 5717481 \text{元} + 2243800 \text{元} = 25869981 \text{元}$ 。

6 结束语

关于超长隧洞施工因围岩类别变化,导致施工降效费用计算方法,受理论和实际测算数据的影响,其结果往往存在一定的差异。在实际操作过程中需要合同与工程技术人员密切配合,及时整理分析第一手资料,根据项目施工技术特点比较选择适合的处理方法,并对其影响因素进行合理调整,达到解决问题的目的,确保施工单位的合理利润。

[参考文献]

[1] 徐鼎平, 江权, 李邵军. 地下洞室围岩整体稳定性 定量评估的方法、云系统与工程实践[J]. 岩石力学与工程学报, 2022, 41(11): 2186-2198.

[2] 谢和平. 深部岩体力学与开采理论研究进展[J]. 煤炭学报, 2019, 44(5): 1283-1305.

[3] 张肃, 丁秀丽, 黄书岭. 基于均匀设计-响应面-有限元法的软岩隧洞围岩与衬砌结构协同承载可靠性分析[J]. 长江科学院院报, 2021(5): 78.

[4] 周原. 孔隙水压力影响下隧道围岩的稳定性分析[J]. 山东科技大学, 2017(6): 56.

作者简介: 靳颖杰(1983年12月-), 毕业院校: 华北水利水电大学, 所学专业: 工程管理, 当前工作单位: 中国水利水电第十一工程局有限公司, 职务: 第五分局副总经济师, 职称级别: 高级经济师, 研究方向: 工程概预算、合同管理、成本管控、重大亏损项目减亏扭亏治理以及尾工清理等。