

隧道高地应力条件下超挖测算研究

汪明

中铁十五局集团第五工程有限公司

摘要:在最近几十年,我国的经济和科技都取得长足的进步与发展,在这种情况下我国的铁路建设也在大跨步的前进,铁路施工建设的里程和项目都在稳步增长。铁路的施工建设大多数在野外,受不良地质条件的影响,隧道开挖施工作业的超挖量远大于设计规范要求数值。本文以张坊隧道施工建设为实例,对现场实际施工情况进行了超挖量测算研究,希望能够对我国铁路工程的施工建设中因特殊地质条件导致的超挖量计算提供参考。

关键词:隧道;不良地质;高地应力;超挖;超挖量测算

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.06.021

一、工程概况

新建蒙西至华中地区铁路煤运通道张坊隧道位于湖南省浏阳市境内,穿越山脉正东稍偏北走向。起讫里程DK1640+109~DK1645+864,进口位于张坊镇福树坳村,出口位于张坊镇肖家湾村,全长5755m,最大埋深292.5m,为单线单洞隧道。隧道设1座斜井,均位于线路左侧,与正线相交于DK1642+600处,与正线大里程夹角 94° ,斜井长513m。

(一) 工程地质及水文地质条件

隧址区属于剥蚀低山区,测区内沟谷纵横,植被发育,自然坡度约为 $25^\circ \sim 45^\circ$,隧道轴线最高海拔533.6m。通过对地质调绘、遥感解译、机动钻探和物探资料的综合分析,判定隧址区共发育有4条断层,及隧道洞身侵入接触带4条。

隧址处于剥蚀低山区,沟谷深切,冲沟常年有水,呈树枝状分布,径流条件良好,以山脊为分水岭,向两侧洼地冲沟排泄,流量主要受大气降雨影响较大,季节性变化影响显著。隧道区地下水类型主要为基岩裂隙水和构造裂隙水,受大气降水补给,向低洼处排泄。由于山体切割强烈,沟谷纵横,地下水径流途径较短,受大气降雨影响较大,局部浅埋及构造带处直接受附近地表溪流短距离补给。

隧址区的断层在地貌上大都沿两侧的冲沟洼地展布,岩体破碎,节理裂隙发育,导水性较好,地下水较丰富。

(二) 不良地质条件

隧道开挖后,在高、极高地应力段隧道超挖较为突出。开挖破坏了围岩的稳定结构,存在岩爆、大面积掉块、洞壁剥离、塌方等地质灾害。

二、超挖测算的必要性及目的

蒙华铁路湘赣段张坊隧道地层复杂,隧道DK1640+400~DK1643+420段3000m为高、极高地应力地段。硬质岩区段,开挖过程中可能发生岩爆,洞壁岩体可能有剥离和掉块现象、新生裂隙多、成洞性差。较质

岩地段、构造破碎带或节理密集带等可能存在小范围的软岩塑性变形或楔体破坏问题。隧道开挖后,受高地应力影响,破碎带及节理密集带围岩洞段碎裂状岩体自稳性差,容易频繁产生小规模坍塌和掉块,完整围岩洞段易产生弱至中等强度岩爆,造成张坊隧道特殊工程地质段落超挖量较大,超挖会增加施工成本,破坏围岩稳定^[1],对隧道不良地质引起的超挖数量研究是合理且必需的。

三、隧道超挖测算依据与方法

(一) 隧道超欠挖定义及相关规范要求

以设计的隧道开挖轮廓线为基准,实际开挖的断面在基准线以外的部分称为超挖,在基准线以内的部分称为欠挖。隧道超挖横断面积(简称喷砼面积)是实际开挖断面在设计轮廓线以外部分的面积。

目前主要从最大超挖值和平均喷砼厚度两个方面对超欠挖进行定义,《铁路隧道工程施工技术指南》(TZ204-2008)、《高速铁路隧道工程施工技术规程》(Q/CR 9604-2015)关于隧道超欠挖的规定如下:

(1) 隧道施工应严格控制超挖,允许超挖值应按表3-1进行控制。

表 3-1 隧道允许超挖值 (cm)

开挖部位		围岩级别		
		I	II~IV	V、VI
拱部	平均线形超挖	10	15	10
	最大超挖	20	25	15
边墙线形超挖		10	10	10
仰拱、隧底	平均线形超挖	10		
	最大超挖	25		

(2) 隧道开挖应严格控制欠挖,当围岩完整、石质坚硬时,允许岩石个别突出部分侵入衬砌不大于5cm(每 $1m^2$ 不大于 $0.1m^2$);拱脚和墙脚以上1m范围内严禁欠挖。

(二) 超欠挖的测算方法

隧道超欠挖的测算需要现场数据和资料的支撑,在隧道超欠挖的测定上主要有以下几种常用方法。(1) 激光束测定法(2) 全站仪三维坐标法(3) 激光隧道限界测定法(4) 数字图像技术法(5) 在获取现场数据和资料的情况下,对大量的样本数据进行统计分析,寻找超欠挖在不同围岩条件以及隧道断面不同位置的分布规律(6) 基于节理裂隙、结构面特征及特殊围岩物理参数等主要因素建立数值分析模型,综合分析各因素的影响,对超欠挖进行预测。徐胜利^[2]在CAD中利用VBA进行二次开发,对隧道超欠挖计算和标注工作进行了研究。郑祥乐^[3]以二维激光扫描仪和车载云台为主搭建三维扫描装置,运用微元的思想对隧道各检测区域内的超欠挖

量进行计算。

本次超挖数量测算主要采用全站仪断面扫描法、施工台账分析以及现场取芯验证三种方法。

依据的相关文件、资料如下：

- (1) 张坊隧道设计图纸
- (2) 张坊隧道超前地质预报资料
- (3) 张坊隧道施工台账
- (4) 张坊隧道开挖断面全站仪扫描数据
- (5) 张坊隧道地应力测试结果
- (6) 张坊隧道现场初支取芯结果

(三) 超挖数量测算内容

选取典型段落进行超挖数量测算评估，得到不同里程段、不同围岩级别下隧道超挖数量测算值。数量测算采用除仰拱外的断面超挖量和喷砼施工台账数据。选取以下段落进行超挖数量测算：

- (1) 进口DK1640+400~DK1641+050段隧道超挖数量统计分析、施工台账统计分析及超挖数量测算；
- (2) 斜井DK141+600~DK1643+400段隧道超挖数量统计分析、施工台账统计分析及超挖数量测算；
- (3) 正洞随机选取断面进行现场初期支护取芯验证。

四、基于开挖断面扫描数据的超挖数量测算

(一) 隧道开挖断面全站仪扫描方法介绍

在施工过程中，现场对隧道开挖轮廓进行测绘，张坊隧道采用激光隧道限界测定法进行断面量测，该方法使用免棱镜测距全站仪和手提电脑（手机），对开挖面（或任一断面）测量，通过外业软件和本地化解决方案处理直接打印出设计断面与实际断面，并标出设定点的超欠挖值。张坊隧道采用的全站仪型号为GeMax ZT20R Pro，标准测角精度为2'，测距精度为2mm+2ppm，满足量测的要求。本次超挖测算包括拱脚及以上部分（不包含仰拱）。隧道测绘扫描所得结果包括：工程名称、围岩级别、支护类型、超挖面积、超挖值等，具体说明如图4-1。

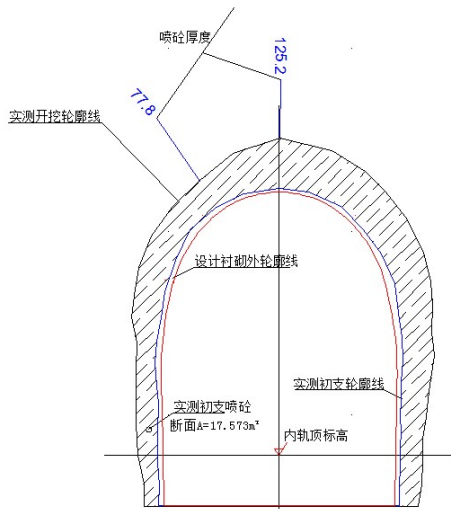


图 4-1 张坊隧道开挖断面全站仪扫描测算

(二) 断面扫描数据数理统计分析

1. 断面扫描数据处理

对选取的典型地质段的全站仪扫描数据分类处理，通过K-S拟合检验方法对开挖断面超挖面积进行正态分布检验。采用T分布方法估计隧道开挖断面超挖面积均值，并给出置信度为95%的均值置信区间，根据置信区间来预测开挖断面超挖面积。

2. 开挖断面超挖数量统计分析

对进口里程DK1640+400~DK1641+050段开挖断面超挖面积进行统计分析。统计段落长650m，每5m取1个全站仪扫描断面，共计130个超挖面积样本统计量，如表4-1所示。

表 4-1 进口里程 DK1640+400 ~ DK1641+050 段统计量

围岩等级	长度	统计量个数
III	53m	10
IV	471m	95
V	126m	25

对斜井正洞DK1641+600~DK1643+400段开挖断面超挖面积进行统计分析。统计段落长1800m，每约5m取1个全站仪扫描断面，共计360个超挖面积样本统计量，如表4-2所示。

表 4-2 斜井 DK1641+600 ~ DK1643+400 段统计量

围岩等级	长度	统计量个数
II	399m	80
III	1061m	212
IV	340m	68

经过对进口和斜井样本统计，分析研究了样本的有效值、缺失值、均值、均值的标准误差、中值、众数、标准差、方差、全距、极小值、极大值，同时采用K-S检验法对不同围岩级别超挖面积样本进行非参数检验，不同围岩级别隧道超挖面积的渐进显著性（2-sided检验）大于显著性水平0.05，即超挖面积服从正态分布。对不同围岩级别隧道超挖面积总体均值进行区间估计，得到置信度为95%的置信区间。

通过以上数据分析处理，得出统计测算结果如下：

(1) 进口DK1640+400~1641+050段统计长度为650m，其中III级围岩统计段落长度为53m，开挖断面平均超挖面积为4.96m²，超挖面积在4.245m²~5.675m²之间的可信度为95%；IV级围岩统计段落长度为471m，开挖断面平均超挖面积为4.27m²，超挖面积在3.721m²~4.819m²之间的可信度为95%；V级围岩统计段落长度为126m，开挖断面平均超挖面积为43.34m²，超挖面积在0m²~1450.628m²之间的可信度为95%（V级围岩段存在塌方情况，统计结果偏大）。

(2) 斜井DK1641+600~DK1643+400段统计总长度为1800m，其中II级围岩统计段落长度为399m，开挖断面平均超挖面积为4.96m²，超挖面积在4.245m²~5.675m²之间的可信度为95%；III级围岩统计段落长度为

1061m, 开挖断面平均超挖面积为4.96m², 超挖面积在4.245m²~5.675m²之间的可信度为95%; IV级围岩统计段落长度为340m, 开挖断面平均超挖面积为4.27m², 超挖面积在3.721m²~4.819m²之间的可信度为95%。

五、已完成初期支护隧道实际喷砼统计分析

对张坊隧道进口DK1640+400~1641+050段、斜井DK1641+600~1643+400段、进行初支喷砼方量(去除仰拱部分)的统计分析。综合统计上述段落各级围岩段的喷砼方量。

隧道进口DK1640+400~1641+050段主要为III、IV、V级围岩。根据实际混凝土施工台账统计分析, 结果为: 其中III级围岩统计段落长度为53m, 设计喷砼平均值为2.176m³, 实际喷砼平均值为5.482m³; IV级围岩统计段落长度为471m, 设计喷砼平均值为2.176m³, 实际喷砼平均值为5.482m³; V级围岩统计段落长度为126m, 设

计喷砼平均值为2.176m³, 实际喷砼平均值为5.482m³。

斜井DK1641+600~DK1643+400段主要为II、III、IV级围岩。根据实际混凝土施工台账统计分析, 结果为: 其中II级围岩段, 进尺总长度为399m, 设计喷砼平均值为1.888m³, 实际喷砼平均值为5.417m³; III级围岩段, 进尺总长度为1061m, 设计喷砼平均值为1.888m³, 实际喷砼平均值为5.417m³; IV级围岩段, 进尺总长度为340m, 设计喷砼平均值为2.39m³, 实际喷砼平均值为5.338m³。

六、隧道初期支护断面现场取芯验证

(一) 张坊隧道典型初期支护断面取芯验证结果

在张坊隧道的进口、斜井小里程和斜井大里程段进行现场初支取芯, 以对超挖回填测算结果进行验证。将取芯测算的超挖均值与通过全站仪断面扫描测算的平均线性超挖值进行比较复核, 如表6-1所示。

表 6-1 隧道平均线性超挖值与实测超挖厚度复核表

里程桩号	衬砌类型	超挖面积 (m ²)	设计拱墙爆破周长 (m)	平均线性超挖值 (cm)	取芯实测超挖均值 (cm)	偏差
DK1640+560	V b	18.18	19.761	92.00	69.84	24.09%
DK1641+020	V b	12.43	19.117	65.02	59.16	9.01%
DK1640+670	IV c	11.86	20.005	59.29	59.94	-1.10%
DK1642+935	IV c	12.45	19.785	62.93	55	12.60%
DK1640+425	IV a	5.5	19.367	28.40	19.38	31.76%
DK1641+650	IV a	4.88	18.797	25.96	21.88	15.72%
DK1640+960	III a	3.95	18.78	21.03	19.64	6.62%
DK1643+315	III a	6.56	18.78	34.93	32.62	6.62%
DK1642+185	II a	5.19	19.748	26.28	25.26	3.89%
DK1642+385	II a	2.69	19.748	13.62	15.9	-16.73%

取芯位置超挖严重, 局部超挖过大。考虑到现场施工对初支进行外放, 超挖的一部分用二衬回填。因此, 取芯实测超挖均值比平均线性超挖值小35%左右处在正常范围。根据全站仪扫描数据进行现场初期支护钻孔取芯抽检、验证, 抽检结果表明超挖回填情况与全站仪断面扫描测算数据吻合。

结束语

通过在现场采用全站仪扫描方法、喷砼台账统计分析以及现场取芯等多种手段, 从多个角度对张坊隧道进行超挖数量相关资料进行收集, 经过综合分析测算和评价, 多种方法测算超挖数量均相互验证, 得出的结果均

吻合。由于此测算结果未考虑施工控制等因素对隧道超挖的影响, 在计算具体费用时, 可对不同围岩级别下超挖量进行适当折减。

参考文献

- [1]方剑, 周雪云, 盛吉崇, 许涛, 查文华. 基于三维激光点云数据隧道超欠挖分析及应用[J]. 科学技术创新, 2022, 11(04): 145-148.
- [2]徐胜利. 利用CAD VBA进行隧道超欠挖标注绘图[J]. 科学技术创新, 2021, 33(11): 80-82.
- [3]郑祥乐. 基于激光扫描的隧道超欠挖量检测方法[J]. 城市勘测, 2022, 01(02): 145-148.