

临近既有上下行隧道斜交处小洞室开凿施工监测

夏良杰

中国铁路北京局集团有限公司北京工电大修段，北京，100071；

摘要：基于丰沙上行线 39#隧道出口与丰沙下行线 38#隧道出口新建棚洞项目，此项目两隧道斜交成 36.3° ，下行线路为桥隧相连，上行线路为路隧相连，下行线路在上行线路上方，根据设计方案要求，在下行隧道右侧开凿一处小洞室，用于放置下行右侧纵梁。针对临近既有隧道小洞室开凿施工可能引起施工问题及安全风险进行风险研判，制定洞室开凿的施工方 案，在隧道洞口及小洞室开凿上方采用自动化监测，全过程监测小洞室开凿施工对既有隧道与山体的影响，通过采集分析现场监控数据，论证小洞室开凿过程管控措施，优化小洞室开凿施工方案，可为日后类似工程施工具有一定参考价值。

关键词：隧道斜交；洞室开凿；既有线；监控量测

DOI：10.69979/3029-2727.26.03.013

1 工程概况

丰上 39#隧道出口处工程边界条件复杂，该处为上行线和下行线的交汇处。上行线丰上 39#隧道出口处同时为丰下 38#隧道出口处（下行线在上方）。两个隧道洞口仰坡外均为陡崖地形，基岩裸露，存在高位崩塌危岩体，地层主要为白云岩。两个隧道洞口斜交成 36.3° 。两个隧道出口段位于低山区，地形陡峻，自然边坡坡率约 $60^\circ - 70^\circ$ ，出口大里程接永定河，河谷呈“U”型，两侧为深切峡谷。两隧道口修建棚洞来抵抗山体落石、泥石流上线，下行棚洞修建需开凿小洞室，用于放置下行右侧纵梁。小洞室位于丰下 38#隧道出口线路右侧，距丰下 38#隧道洞口右边墙水平距离 3.07m，距离丰上 39#隧道拱顶垂直距离 2.16m。距既有出渣导洞边缘 1.28m。丰下 38#隧道洞线路中心距离丰上 39#隧道线路中心 7.2m。

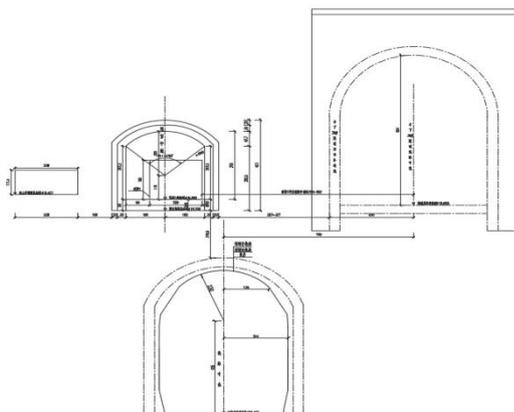


图 1 相对位置关系

出渣导洞为丰下 38#隧道施工期间的隧道内右侧第 80 个避车洞引出。出渣导洞长约 12m（含避车洞），宽约 2.3m-4.3m，高约 2.0-2.8m。导洞侧壁（洞口侧）

距离隧道洞口约 6.65m-9m。出渣导洞除避车洞外均未支护。2023 年 7 月 29 日泥石流水害造成该处出渣洞掩埋，查阅竣工图未发现该处出渣导洞，推测隧道修建时用于倒运弃渣的出渣导洞，隧道修建后该出渣导洞未做任何处理。

2 地质条件

2.1 地质构造

施工范围内基岩岩层较平缓，产状为 $110^\circ \angle 10^\circ$ ，发育两组主要节理，其中节理 J1 产状为 $50^\circ \angle 86^\circ$ ，节理 J2 产状 $325^\circ \angle 76^\circ$ ，节理裂隙发育，受地质构造影响较严重，岩体破碎，其中节理 J2 是控制危岩体的主要结构面。

2.2 地质情况

出渣导洞处地层主要为强风化-弱风化白云岩，节理裂隙发育，岩体破碎，多呈碎石状镶嵌结构，基岩裂隙水不发育，隧道洞口分布危岩落石，右侧分布泥石流沟，围岩级别按 IV 级考虑。强风化 $\sigma_0=400\text{kPa}$ ，弱风化 $\sigma_0=1200\text{kPa}$ 。

3 施工方案及风险研判

3.1 施工方案

小洞室采用超前小导管注浆加固进洞，使用水磨钻开挖台阶法施工减小对山体的扰动，采用钢拱架径向支护。施工期间安排人员 24 小时对山体岩石状态、上下行的线路及隧道状态进行巡视检查，巡视检查频率间隔 2 小时。开槽洞室拱墙初期支护采用 23cm 厚 C25 网喷混凝土+工 16 型钢钢架（间距 0.5m/榀）+ $\phi 22$ 砂浆锚杆（长 2m），拱墙二次衬砌采用 C35 混凝土，厚度为 30cm。底板采用 50cm 厚 C35 钢筋混凝土。

3.2 风险研判

小洞室开凿的周边环境复杂,距离上下行隧道、既有出渣导洞均较近,小洞室开凿直接影响山体整体稳定,危及行车安全稳定。主要风险:①上行隧道稳定,②下行隧道稳定,③出渣导洞稳定,④开凿小洞室顶部山体稳定。

为确保小洞室开凿期间不影响避车洞安全稳定,中夹岩支撑能力不足,小洞室开凿前采用C25混凝土对出渣导洞进行回填,要求严格卡控封堵施工质量。回填时顶部需带压注浆,一次灌注不密实,及时跟进补灌。预留开槽导洞部分跟避车洞不封堵,施工前做好测量放样。

4 监控量测方案

4.1 监测点位

为保证对施工风险项点的有效控制,监测的主要内容:为丰上39#与丰下38#隧道的隧道拱腰、隧道拱底、开槽洞室顶部岩石外立面的倾斜变形进行自动化监测。丰下38#隧道、既有丰上39#隧道采用全站仪机器人自动化系统监测,开凿小洞室顶部岩石外立面监测采用姿态传感器自动化监测。

4.2 监测等级及控制值

监测精度结合实际情况并按照《铁路工程测量规范》及《铁路隧道监控量测技术规程》要求,水平位移监测为一等,垂直位移监测为三等,变形监测点的高程中误差为 $\pm 1.0\text{mm}$,相邻变形监测点的高差中误差 $\pm 0.5\text{mm}$,变形监测点的点位中误差 $\pm 1.5\text{mm}$ 。

监测方案以设计图纸中的控制值作为控制标准的依据,并参考既有铁路的控制标准,隧道结构竖向位移、竖向位移累计量预警值 $\pm 4.8\text{mm}$,累计量报警值 $\pm 6.4\text{mm}$,控制值 $\pm 8\text{mm}$ 。

4.3 监测布点

4.3.1 既有隧道监测

既有隧道监测项目为隧道拱腰水平位移、隧道拱底沉降、轨道位移和开槽洞室位移监测。根据《邻近铁路营业线安全施工监测技术规程》的相关要求并考虑开凿洞室采用水磨钻开挖扰动小的特点:

(1)开凿小洞室与既有丰下38#隧道间净距约3.07m,小于1倍洞室的直径(洞室宽4.06m,高4.13m),开凿洞室对应的既有线隧道位置布置4个监测断面,断面间距3米。监测点范围为下行K64+174-下行K64+162间4个点,采用自动化监测,每个断面测5个点位,每个点监测部位为隧道拱腰、拱底及轨道。丰下38#隧道共20监测点。

(2)开凿小洞室与既有丰上39#隧道间净距约2.16m,小于1倍开凿洞室的直径,开凿洞室对应的既有线隧道位置布置6个监测断面,断面间距4米。监测点范围为上行K62+390-上行K62+370间6个点,采用自动化监测,每个断面测4个点位,每个点监测部位为隧道拱腰、拱底。丰上39#隧道共24个监测点。



图2 左图为丰下38#隧道测点位置、右图为丰上39#隧道测点位置示意图

4.3.2 开凿小洞室监测

开凿洞室上方岩体布置姿态位移监测仪,共布置5个测点,测点上下左右间距2m设置,测点横向放置监测整块岩体结构位移,上部布置2个测点,下部布置3个测点。

4.4 监测点测量

(1)隧道监测点初始值测量不少于3组,取其稳定后的平均值作为最终初始值,仪器等级 $0.5''$ 时,测回数2次,半测回归零差 $6''$,不同测回同一方向 $2C$ 互差 $9''$,同一方向归零后方向值较差 $6''$ 。仪器等级 $0.5''$ 时,测回数3次,其他要求与仪器等级 $0.5''$ 时相同。监测点测量距离观测技术要求:测回 ≥ 2 ,半测回间距离较差 $\pm 1\text{mm}$,测回间距离较差 $\pm 1\text{mm}$ 。

(2)姿态位移监测点的信号通信采用无线通信方式,将数据传输至平台数据管理系统。传输设备主要包括计算机部分和网络部分。计算机部分包括主控计算机与分控计算机。主控计算机负责测量整体安排,并对各站测量数据进行统一处理计算。分控计算机用来接受主控计算机的指令,通过相应端口控制相应全站仪。网络设备由GPRS数据传输模块完成主控计算机通过网络设备实现与分控计算机连接与数据的传输。综合设备箱采用膨胀螺栓刚性固定在隧道侧壁上,设备箱固定与隧道一侧侧壁,全站仪通过电源线、数据线、数据采集箱相连,全站仪电源线、信号采集线、网线用膨胀螺栓锚固的扎带刚性固定于隧道侧壁上。

5 基准网布设

5.1 隧道自动化监测全站仪及基准点布设

在丰下 38#隧道、丰上 39#隧道洞口附近各布设 1 台全站仪,在远离监测区域大小里程端各布设 2 个基准点。基准点要求稳定可靠,在变形区外布设 1 个基准点组,每个基准点组布设 4 个棱镜。

丰下 38#隧道全站仪设置里程下行 K64+140,基准点设置里程下行 K64+105、110、180、185。全站仪通过固定支架安装在线路的洞壁上,架设高度为道床面以上 2.5m 左右,安装全站仪限界要求全站仪最外侧不超过既有线缆架。

丰上 39#隧道洞口全站仪设置里程上行 K62+440,基准点设置里程上行 K62+360、370、460、470。丰上 39#隧道由于限界要求,全站仪安装在隧道洞外,通过固定支架安装在观测墩上,观测墩高度为道床面以上 1.8m 左右,距离线路中心 3.1m。

基准点作为变形监测的起始依据,其稳定性十分重要。在监测过程中,由于通视的问题或地形条件限制等原因,不可避免地要将仪器安放在变形区域。由于测站坐标本身的不稳定必然会对监测点测量精度造成一定的影响。为了解决这个问题,将所有的监测仪器放到一个控制网中进行平差处理,通过稳固点来计算出待定点的位置坐标,定时对测站周围的固定点进行测量,通过平差的方法实时对测站坐标和后视方向进行修正,有效解决基站不稳定的问题。保证在不稳定的环境下,即使测站点发生了变动,其测量的监测点坐标也能够一直在一个固定的坐标系中,不影响到监测点的精度。

5.2 姿态位移监测仪布设

安装时将外壳与姿态结构板固定,使用配套 M6 螺丝;之后将带有外壳的姿态结构板固定于危岩体表面,观察水平仪气泡是否居中,两端各使用 1 颗螺丝,螺丝请使用专门的岩土用膨胀螺丝。

6 监测结果分析

6.1 隧道监测点

从 2024 年 8 月 30 日起至 11 月 29 日(工后开始时间为 10 月 29 日),整个施工过程共采集 92 期数据。隧道侧壁监测纵向累积位移最大点位 64+171-2 最大值 -0.9mm,横向累积位移最大点位 64+165-1 最大值 -0.69mm,竖向累积位移最大点位 64+165-4 最大值 -0.96mm;工后一个月内纵向累积位移最大点位 64+171-1 最大值 0.97mm,横向累积位移最大点位 64+162-2 最大值 -0.83mm,竖向累积位移最大点位 64+165-3 最大值 0.98mm。通过综合数据统计、巡视检查现场施工情况等资料分析可知,隧道拱腰、隧道拱底、

开槽洞室处于平稳状态,累计位移数据未超过预警值,工后一个月内变化速率未超过 1.0mm/月,因此可以看出由施工引起的变化量未对既有隧道及运营安全产生不良影响。

6.2 姿态位移监测点

姿态传感器角度值累积最大点位 3/ZT0035N9 最大值 1.8°,点位 3 即是开凿小洞室正上方点位,工后一个月角度值累积最大点位 4/ZT0035Q9 最大值 1.3°,均为未超过预警值。

7 结束语

(1)临近既有有线隧道小洞室开凿施工宜组织专家会进行方案论证,严格执行经过路局鉴定后的施工方案,施工过程中严格控制微振动的原则,凿除小洞室应利用列车间隙进行。采用人工开凿的方案为最稳妥有效的作业方案,但是施工效率较低,机械开凿效率高但是对山体振动大,选择何种施工方案应结合是现场实际情况,通过铁路各系统的会商、专家方案论证会等多种方式进行比选。

(2)今后类似邻近既有运营线路的岩体施工过程中,尤其在洞室开凿采用机械开挖过程中,需密切关注各监测点的累计位移变化情况,监测单位宜提高监测频率到 1 次/0.5 小时。

(3)由于担心对行车安全的影响,监测过程中未对既有隧道洞内净空收敛及位移监测,类似项目尽可能须监测全既有隧道内壁形变情况。

(4)在施工监测期间隧道侧壁发生明显位移和沉降时,建议后续类似项目增加基于液位计原理的物位计监测系统,进行监测对比,以便于给施工方提供更高精度且实时的监测数据。

参考文献

- [1] 国家铁路局. 邻近铁路营业线施工安全监测技术规范: TB 10314—2021[S]. 北京: 中国铁道出版社, 2021.
- [2] 赖仁纯. 自动监测系统在建筑工程高支模监测中的应用[J]. 广州建筑, 2015(2): 35-39.
- [3] 赵斗. 高速铁路基小角度跨越既有浅埋隧道工程对策[J]. 铁道工程学报, 2024, 41(8): 39-44.

作者简介: 夏良杰, 性别: 男, 民族: 汉, 出生日期: 1988.07.12, 籍贯: 湖北省孝感市, 职务/职称: 科员/工程师, 学历: 全日制, 硕士研究生, 研究方向: 既有线路基、桥梁、隧道大修施工。