

小净距换乘通道施工对既有车站隧道及地表影响研究

缪振畴¹, 赵东平^{2,3}, 朱龙², 刘晓贺¹

(1. 中国水利水电第五工程局有限公司, 四川 成都 610066;

2. 西南交通大学土木工程学院, 四川 成都 610031;

3. 西南交通大学交通隧道工程教育部重点实验室, 四川 成都 610031)

摘要: 联络通道小净距上跨施工会对既有车站隧道及地表产生不利影响, 合理的开挖方法可以有效控制施工产生的不利影响。以重庆轨道交通 4 号线西延伸段玉带山站换乘通道上跨工程为依托, 采用三维数值方法, 研究了全断面法与上下台阶法两种工法条件下换乘通道开挖对既有车站及周边环境的影响。研究表明: 换乘通道的开挖会导致车站隧道支护结构安全性降低。换乘通道的开挖会引起地表沉降的增大与沉降槽的最低点由车站隧道正中向换乘通道一侧偏移, 偏移量的值约在 2.8~5.7 m。综合比较两种工法, 在实际工程中推荐换乘通道初始开挖阶段(L1、L2 段)采用台阶法施工, 避开较大影响区以后, 采用全断面法施工, 可以在保障安全的前提下兼顾施工效率。

关键词: 暗挖施工; 换乘通道; 小净距; 上跨施工; 车站隧道

中图分类号: U459

文献标志码: B

文章编号: 1001-2184(2024)02-0141-06

Study on the Influence of Small Clearance Transfer Channel Construction on Existing Station Tunnel and Surface

MIU Zhenchou¹, ZHAO Dongping^{2,3}, ZHU Long², LIU Xiaohe¹

(1. Sinohydro Bureau 5 Co., LTD., Chengdu Sichuan 610066;

2. School of Civil Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu Sichuan 610031;

3. Key Laboratory of Traffic Tunnel Engineering, Ministry of Education, Southwest Jiaotong University, Chengdu Sichuan 610031)

Abstract: The construction of the small clearance upper span of the communication channel will have adverse effects on the existing station tunnels and the ground surface. Reasonable excavation methods can effectively control the adverse effects of construction. Based on the upper span project of the transfer channel of Yudaihan Station in the west extension section of Chongqing Rail Transit Line 4, the three-dimensional numerical method is used to study the influence of the excavation of the transfer channel on the existing station and the surrounding environment under the conditions of the full-section method and the upper and lower step method. The results show that the excavation of transfer channel will reduce the safety of station tunnel support structure. The excavation of the transfer channel will increase the surface settlement and the lowest point of the settlement trough will shift from the center of the station tunnel to one side of the transfer channel, and the offset value is about 2.8~5.7 m. By comprehensively comparing the two construction methods, it is recommended to adopt the upper and lower step method in the initial excavation stage (L1 and L2 sections) of the transfer channel in the actual project. After avoiding the large impact area, the full section method is adopted for construction, which can take into account the construction efficiency under the premise of ensuring safety.

Keywords: Underground excavation construction; Transfer channel; Small clear transfer channel; Upper span construction; Station tunnel

0 引言

随着城市地下轨道交通系统的飞速发展, 轨

道交通路网不断加密, 出现了越来越多的换乘车站, 而为了实现换乘功能, 地铁车站之间的联络通道必不可少。当联络通道与既有车站隧道距离较

近时,联络通道的施工势必会对既有结构及周边地层产生影响,所以开展联络通道近距开挖对周围结构的影响研究具有现实意义。

近年来,已有众多学者以隧道近距开挖的影响为背景做了大量的研究。吴月红等^[1]基于 MIDAS/GTS 有限元软件,研究了上跨隧道在不同开挖深度下,既有隧道的隆起变形、断面变形以及内力分布规律,并对不同的加固方案进行了研究与分析。李晓娟^[2]以华林坪隧道工程为例,采用三维数值模拟方法,对黄土隧道设置横通道进行研究分析,为实际工程中横通道设置提供设计依据和借鉴。张伟立等^[3]依托上海市某地铁联络通道工程,对联络通道明挖施工过程中对邻近隧道的影响开展了研究,评价总结了基坑施工过程中对隧道变形影响的相关规律。董新平等^[4]根据深圳某地下通道施工监测结果分析,研究了 CD 法施工中地表沉降的主要影响因素,认为开挖宽度是影响地表沉降的主要因素之一。谢明等^[5]基于某近距离上跨通道开挖工程,采用数值方法分析了上跨基坑开挖对既有隧道影响,为制定既有隧道的保护标准提供了依据。姚坚等^[6]基于上海某外滩通道工程,通过理论研究、工程比较和数值模拟的方法,研究了新建通道明挖对邻接平行和上跨的既有隧道的影响,制定了隧道的保护标准,并对既有隧道的变形和位移进行了预测。王彬^[7]以广清高速公路扩建工程天坪岭新老隧道接行人行横通道施工为例,对隧道工程开挖施工爆破地震波的振动监测方法及控制技术进行研究,结合爆破振动速度和衬砌受力联合监测结果分析判断老隧道性能。

分析上述既有研究可知,以往有关地铁联络通道的近接施工影响的研究主要针对明挖基坑对下卧隧道工程,联络通道的形式比较单一,没有涉及复杂的螺旋上升的联络通道工程。鉴于此,笔者依托重庆地铁 4 号线玉带山车站暗挖通道工程,对螺旋上升联络通道小净距上跨既有车站施工影响开展研究,相关的研究成果可为类似的工程提供参考和借鉴。

1 工程概况

重庆轨道交通 4 号线西延伸段玉带山站为地下暗挖车站隧道,该车站邻近既有轨道交通环线玉带山站。轨面设计标高约 208.944 m,为地下

三层暗挖车站,地下一层为站厅层,地下二层、三层为站台层,总长 242.200 m,总宽 25.810 m,高 28.600 m,中心里程处车站轨面埋深约 58.000 m,玉带山车站横断面图见图 1。

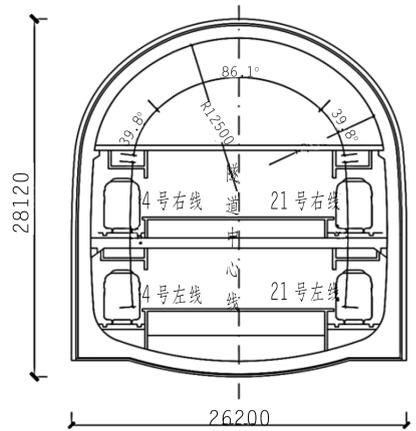


图 1 玉带山车站横断面图(单位:mm)

为了实现地铁 4 号线玉带山车站隧道与既有交通环线玉带山车站的换乘,在两座地铁车站之间设置了一条换乘通道,受空间和地形的限制,该换乘通道为“L”型,为螺旋上升的一个通道,换乘通道距离既有玉带山车站隧道最小净距仅 5 m。换乘通道与既有玉带山车站隧道平面位置及空间位置关系见图 2~6。

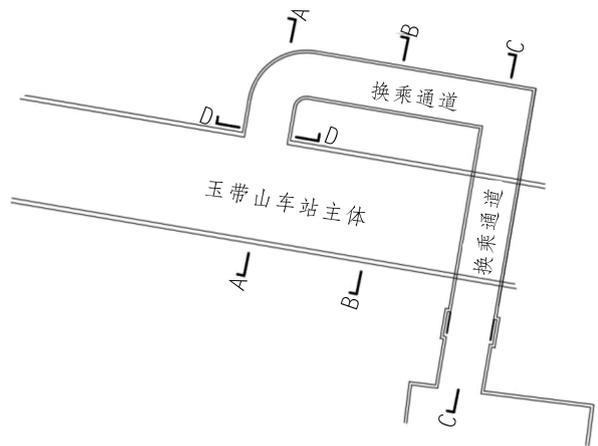


图 2 玉带山车站主体与换乘通道位置关系图

经地面地质调查的地层由上而下依次为人工填土层、砂岩及砂质泥岩。各层岩土特征分述如下:

素填土:紫褐色,以黏性土夹砂岩、泥岩碎(块)石为主,结构一般稍密~中密,稍湿。

砂岩:岩质硬,岩体较完整,其饱和抗压强度在 16.90~37.00MPa 之间,饱和抗压强度标准

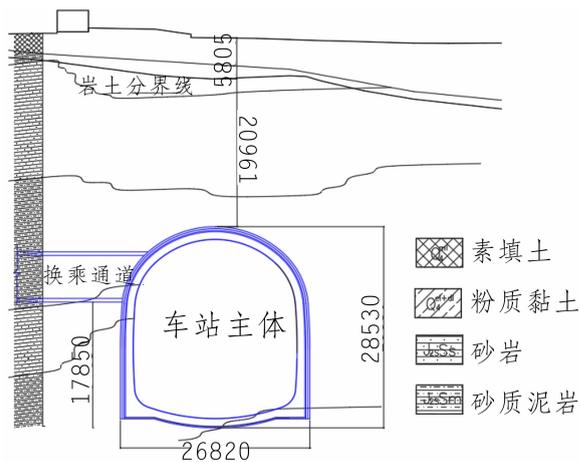


图 3 断面 A-A 图(单位:mm)

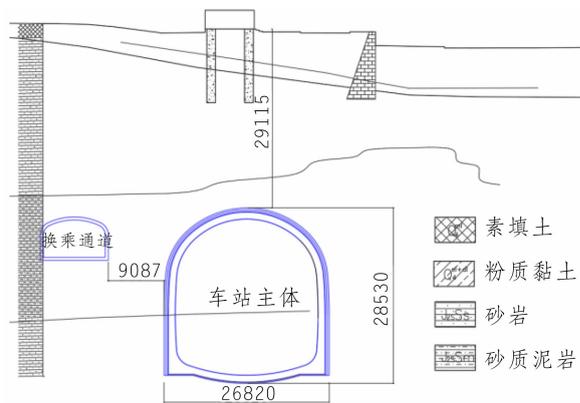


图 4 断面 B-B 图(单位:mm)

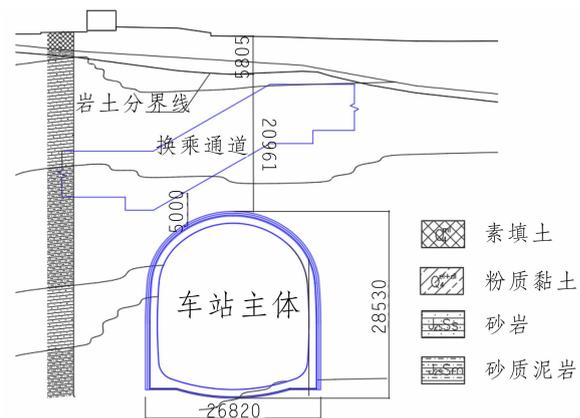


图 5 断面 C-C 图(单位:mm)

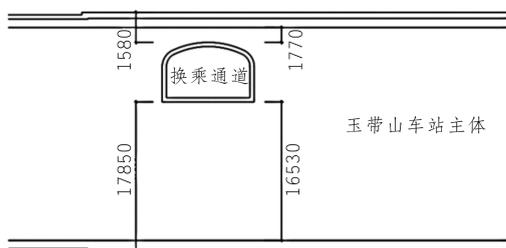


图 6 断面 D-D 图(单位:mm)

值为 26.50 MPa,综合判定其属较软岩,岩体基本质量等级为 IV 级。

砂质泥岩:岩体较完整,岩质较硬,其饱和抗压强度在 4.40~7.50 MPa 之间,饱和抗压强度标准值为 5.49 MPa,综合判定其属软岩,岩体基本质量等级为 IV 级。

换乘通道从车站中部站厅层接出,平面位置呈“L”型,图 7 和图 8 分别是换乘通道断面图和换乘出入通道平面分段示意图。换乘出入通道各段地质条件和尺寸参数见表 1。

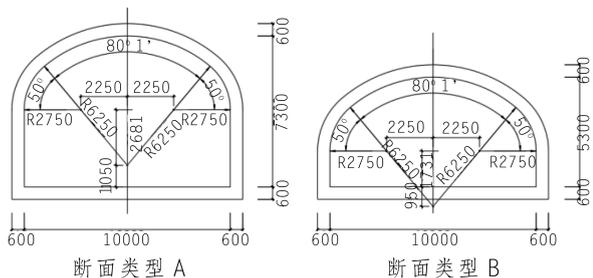


图 7 换乘通道断面图(单位:mm)

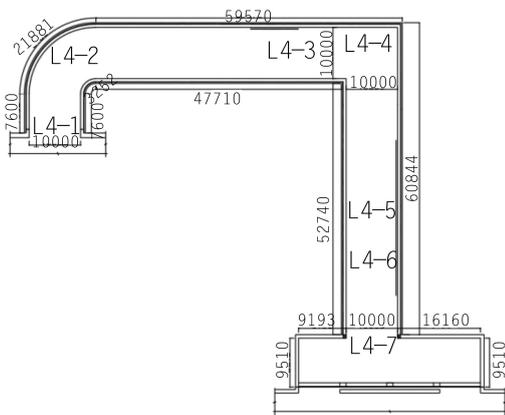


图 8 换乘出入通道平面分段示意图(单位:mm)

表 1 换乘出入通道各段地质条件和尺寸参数

| 区段 | 长度 /m | 高度 /m | 跨度 /m | 埋深 /m | 深 /浅埋 | 围岩级别 |
|-----------|-------|---------|-------|---------|-------|------|
| L4-1~L4-2 | 14.0 | 7.0 | 11.2 | 2.4~3.8 | 深 | IV |
| L4-2~L4-3 | 37.1 | 7.0~8.9 | 11.2 | 2.1~2.4 | 深 | IV |
| L4-3~L4-4 | 13.8 | 7.0~8.9 | 11.2 | 2.9~6.9 | 浅 | IV |
| L4-4~L4-5 | 29.2 | 7.0~8.9 | 11.2 | 2.5~4.5 | 浅 | IV |
| L4-5~L4-6 | 7.4 | 7.0~8.9 | 11.2 | 2.4~4.6 | 浅 | IV |
| L4-6~L4-7 | 29.9 | 7.0~8.9 | 11.2 | 4.5~8.5 | 浅 | IV |

2 换乘通道上跨开挖数值模拟

由于联络通道与既有隧道净距较小,能否采用全断面开挖是制约施工进度的一个关键问题。为此,建立三维数值模型,分别模拟了联络通道全

断面施工和台阶法施工两种工况。

2.1 数值模型与边界条件

利用 MIDAS GTS NX 程序建立三维数值模型,根据车站隧道的开挖跨度,考虑消除边界效应的影响,换乘通道与玉带山车站模型见图 9。模型计算域范围为长 226.00 m、宽 90.00 m、高 166.00 m。数值模型中,除车站隧道及联络通道支护结构采用结构单元模拟外,围岩采用实体单元模拟,数值模型中实体单元 83 366 个。车站隧道结构距左右边界 100.00 m,与模型底部边界距离 100.00 m,玉带山车站主体一端埋深为 31.00 m,另一端埋深为 38.30 m。数值模型的边界条件为,模型四周和底部约束法向位移,顶面为自由面。围岩采用采用 Mohr-Coulomb 本构模型,用三维壳单元(Shell)模拟初期支护。

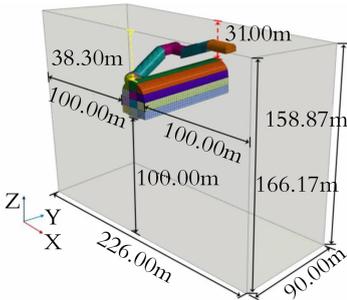


图9 换乘通道与玉带山车站模型图

2.2 数值模型计算参数

根据该工程地质勘测等资料和相关规范,可以得到以下的简化计算参数表(表 2)。

表 2 计算参数表

| 材料 | 重度 ($\text{kN} \cdot \text{m}^{-3}$) | 弹性模量 /GPa | 黏聚力 /kPa | 摩擦角 /° | 泊松比 |
|-----------------|---|--------------|-------------|-----------|------|
| 素填土 | 20.0 | 0.6 | 5 | 28.0 | 0.6 |
| 砂岩地层 | 24.9 | 4.0 | 20 | 39.7 | 0.3 |
| 砂质泥岩 地层 | 25.6 | 1.0 | 50 | 20.0 | 0.45 |
| 主体结构 初期支护 | 22 | 24.02 | — | — | 0.2 |
| 主体结构临时 支护混凝土 | 22 | 37.93 | — | — | 0.2 |
| 换乘通道初期 支护混凝土 | 22 | 24.02 | — | — | 0.2 |

2.3 模拟计算简化

在模型建立完成之后,使用 FLAC3D 6.0 软件进行开挖模拟计算,导入后计算模型土层分布见图 10。模拟开挖一共分为两个部分,一是先进

行车站隧道的开挖,模拟采用 4 台阶十二导洞工法,车站隧道四台阶十二导洞工法见图 11;二是对换乘通道进行开挖模拟,将换乘通道开挖过程分为 8 段,换乘通道开挖土体步骤见图 12,对换乘通道进行模拟开挖时对比选用了全断面法和上下台阶法两种开挖工法,以期对实际工程进行指导。

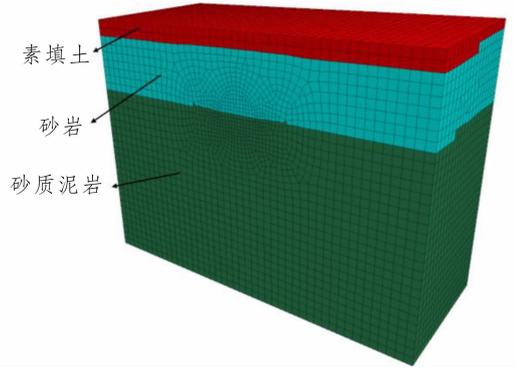


图 10 计算模型土层分布图

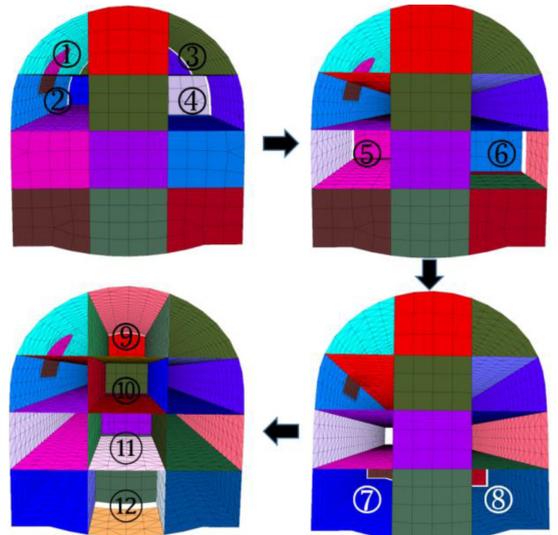
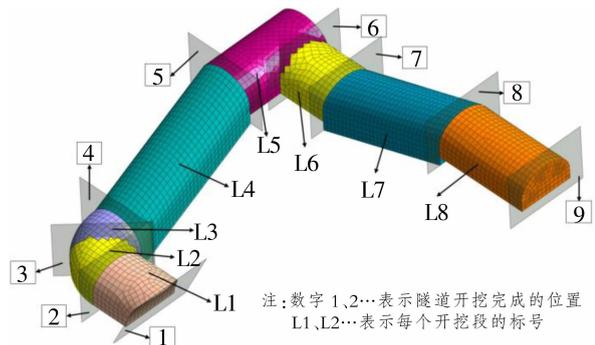


图 11 车站隧道四台阶十二导洞工法图



注:数字 1,2...表示隧道开挖完成的位置
L1,L2...表示每个开挖段的标号

图 12 换乘通道开挖土体步骤

3 换乘通道开挖影响分析

不同工法下换乘通道的开挖会对主洞既有支护和上覆土体产生不同程度的影响,所以笔者着重分析换乘通道逐步开挖对既有结构的支护影响和对土体的扰动,主要包括既有车站结构安全性、地表沉降两个方面。

3.1 断面位置与测线布设

换乘通道沿着玉带山车站隧道轴向线方向长 62.63 m,跨越的距离较大,所以选取图 2 中对应的 A-A、B-B、C-C 三个断面位置进行分析,分析断面位置见图 13。

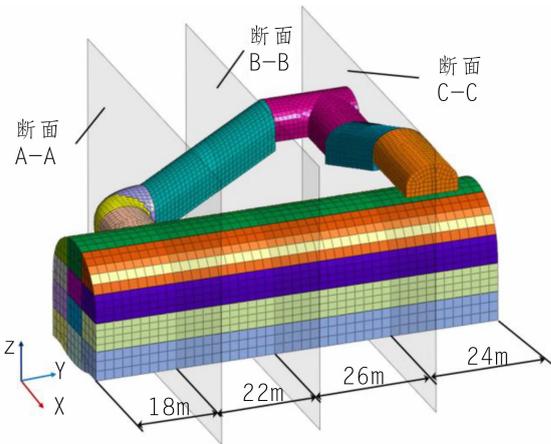


图 13 分析断面位置图

3.2 换乘通道开挖对主洞支护结构安全性的影响

在玉带山车站主体开挖完成后,换乘通道的开挖会对不同断面处车站主体支护的安全性产生影响,图 14 是车站安全性分析测点分布图。

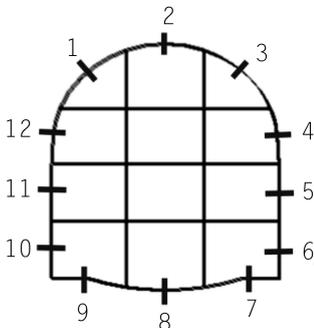


图 14 车站安全性分析测点分布图

换乘通道开挖过程中不同测点的安全系数变化见图 15~17。

通过图 15~17 可知,车站主体支护受压单元的安全系数值多数大于 2,综合符合安全规范^[8]。换乘通道的开挖对三个断面上车站主体的支护

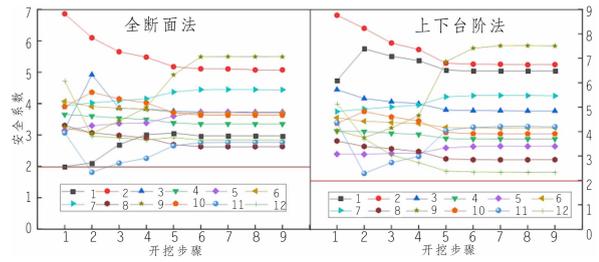


图 15 断面 A 各测点安全系数变化曲线

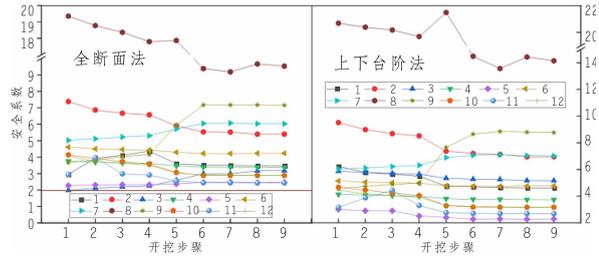


图 16 断面 B 各测点安全系数变化曲线

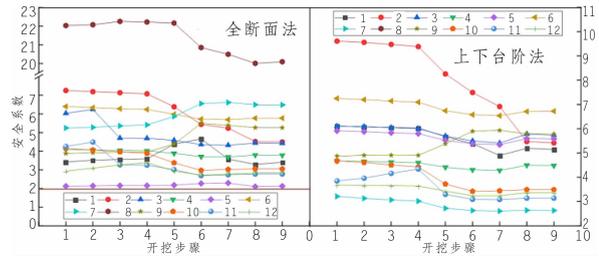


图 17 断面 C 各测点安全系数变化曲线

安全系数都没有产生比较大的改变,不会严重影响支护结构的安全性。

从工法对比来看,台阶法开挖相较全断面法开挖车站支护结构有着更大的安全系数,但是其差距并不大,并且大多都是在支护结构足够安全的情况下。

在断面 A 处,换乘通道开挖第 1~5 步的过程中,车站主体支护结构的安全系数产生较为明显的变动。拱顶的 2 号节点,在这个过程中安全系数减小最大,全断面法开挖第 2 步后出现了 11 号测点安全系数小于 2 的情况,即车站隧道结构的安全储备不足,而台阶法开挖没有出现这类情况。

在断面 B 处,通道开挖第 1~6 步的过程中,车站主体支护结构的安全系数产生较为明显的变动,且随着开挖进行影响逐渐增大,在第 4~6 步时,开挖后发生的变化最大,随后其余步骤开挖的影响并不明显。

在断面 C 处,换乘通道开挖第 4~8 步的过程中,车站主体支护结构的安全系数产生的变化

比较明显。全断面法开挖时拱顶处的2号节点减小较为突出,特别在第4~6步开挖安全系数减小了1.6,降低了23.2%;而在第4~6步开挖时,使用台阶法开挖则该处安全系数减小了1.89,降低了20.1%。

由上述分析可以得到不同断面处换乘通道开挖的关键步序,断面A处关键步序为第1~2步开挖,断面B处是第5~6步开挖,而断面C处为第4~6步开挖,实际工程中应该对此进行支护结构的加强。在开挖换乘通道靠近车站隧道的L1、L2段时可采用台阶法以保证车站隧道结构的安全性,L3~L8段开挖可采用全断面法进行施工。

3.3 换乘通道开挖对地表沉降的影响

通道的开挖会引起车站上方土体的扰动,就会对地表沉降产生一定的影响。图18是换乘通道开挖完成后地表沉降的位移云图,图19~21是在玉带山车站主体开挖完成后,换乘通道开挖的过程中,断面A、B、C处的地表沉降槽曲线。

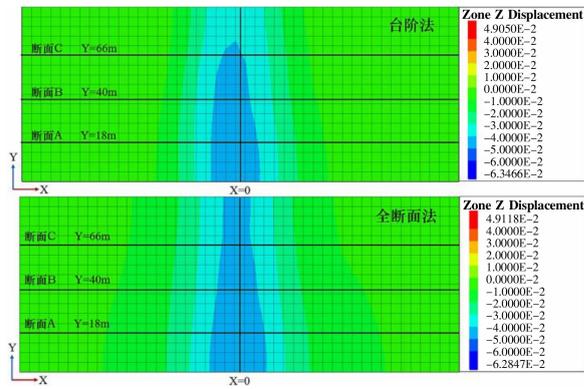


图18 换乘通道开挖完成后地表沉降的位移云图

根据图18计算结果可知,台阶法开挖相较全断面法在断面C处有着更大的沉降,其余断面沉降值也不尽相同。因此可以对每个步骤开挖后不同工法地表沉降变化进行详细分析,如图19~21是两种工法开挖过程中地表沉降变化曲线。

由三个断面地表沉降槽曲线可知,随着开挖步的增加,地表沉降逐渐增大,随着通道的开挖,沉降槽的最低点有着向换乘通道开挖的一侧偏移的趋势,但台阶法的该趋势较全断面法更小。这种偏移的产生是由于在不同的断面处仅一侧有换

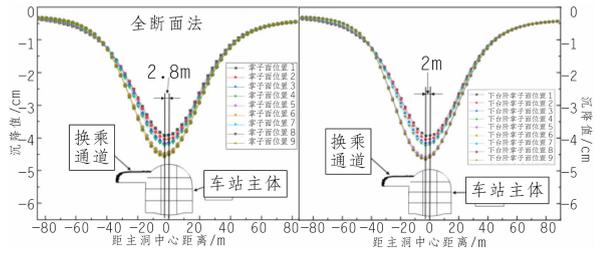


图19 断面A地表沉降变化曲线

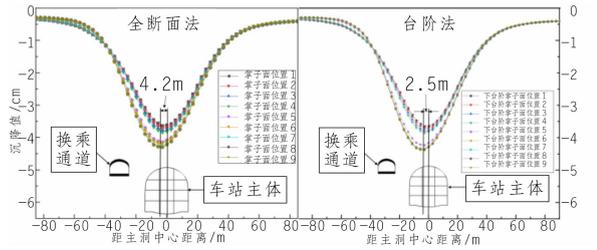


图20 断面B地表沉降变化曲线

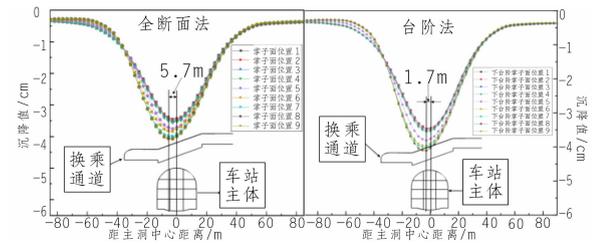


图21 断面C地表沉降变化曲线

乘通道的开挖。沉降槽中心的偏移在开挖第4~6步最为明显,并且在该处沉降最大值的增量也最大。

同时,随着换乘通道开挖的逐步进行,车站隧道上方地表沉降逐渐增大,但从整体来看,三个断面在换乘通道开挖完成后地表沉降最大值约在4.0~4.5cm,全断面法与台阶法开挖在地表沉降上并未有很大的差别。所以为了更精确分析开挖过程中地表沉降的变化规律,绘制了不同工法下地表最大沉降变化曲线(图22)。

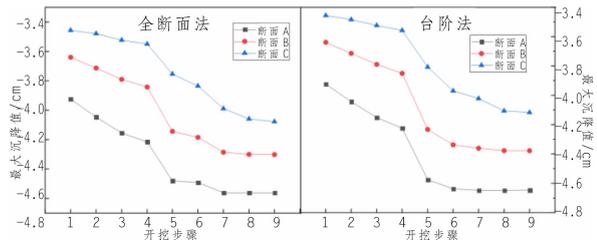


图22 不同工法下地表最大沉降变化曲线

由图22的最大沉降变化可知,随着开挖的进行,地表的最大沉降在逐渐增大,三个断面的变化 (下转第151页)

运行的可靠性和运行方式的灵活性,确保人身安全、设备安全。

参考文献:

- [1] 范皓. 水电厂在全网停电事故时的应对措施和问题[J]. 科技与企业, 2013(10):40.
- [2] 夏旭丽, 姚庆成. 预防水电厂全厂停电事故的对策[J]. 电力安全技术, 2006, 8(7):50-52.
- [3] 曾火琼. 防止水电厂全厂停电的技术措施[J]. 电力安全技术, 2004, 6(12):12-13.
- [4] 胡畅. 大岗山水电站线路事故跳闸应急处理方案[J]. 水电与新能源, 2017, 160(10):56-59.
- [5] 张百川. 土贤庄水电站厂用电消失应急预案与演练[J]. 小

水电, 2017, 194(2):30-31.

- [6] 王跃. JLTEJ 水电站厂用电消失应急处理[J]. 小水电, 2020, 214(4):75-78.
- [7] 向敏鑫, 陈灏, 彭斌. 江垭水电站全厂失压处理方案研究[J]. 湖南水利水电, 2010(5):72-75.

作者简介:

车 军(1972-),男,四川苍溪人,高级工程师,学士,从事水电站运行管理相关工作;
王 志(1985-),男,湖北黄梅人,高级工程师,学士,从事水电站运行管理相关工作;
黄金山(1989-),男,江苏兴化人,工程师,硕士,从事水电站运行值班相关工作.

(编辑:吴永红)

(上接第 146 页)

趋势基本相同,且三个断面的最大沉降值都有着不同程度的增大,在全部开挖过程中一直保持有断面 A 的最大沉降值 > 断面 B > 断面 C,相差值都在 1~3 mm。三个断面在开挖第 4~6 步时都出现较为明显的沉降变化,在这个过程中三个断面的沉降值分别占了所有 9 个开挖步的沉降变化值的 57.5%~70.0%,所以第 4~5 步的开挖是控制地表沉降变化的关键步骤。

从上述分析中也可以看出两种工法对地表沉降的影响差距并不大,而在实际工程中采用全断面法更加方便。

4 结 语

通过对地铁车站换乘通道开挖的模拟,从既有车站隧道结构安全系数以及地表沉降两个方面进行了分析与比较,可以得到以下结论。

(1)在换乘通道开挖的过程中会使车站主体结构的安全系数下降,断面 A 处关键步序为第 1~2 步开挖,断面 B 处是第 5~6 步开挖,而断面 C 处为第 4~6 步开挖。实际工程中,在开挖到关键开挖步时建议缩短开挖进尺并对既有车站隧道结构进行监测,确保既有车站隧道结构安全。

(2)随着换乘通道的开挖会逐步引起地表沉降的增大,并且在换乘通道开挖的一侧会出现一定程度沉降而导致沉降槽的最低点向这一侧偏移,偏移量在 2.8~5.7 m。

(3)全断面法初始开挖阶段导致既有车站隧道结构安全性降幅较大,而在后续施工过程中两

种工法对既有车站影响差异均较小。因此,在实际工程中推荐联络通道初始开挖阶段(L1、L2 段)采用台阶法施工,待过了较大影响区以后,采用全断面法施工,进而可以在保障安全的前提下兼顾施工效率。

参考文献:

- [1] 吴月红. 上跨隧道开挖对既有隧道的影响及加固措施研究[J]. 广东交通职业技术学院学报, 2022, 21(4):62-66.
- [2] 李晓娟. 黄土浅埋隧道横通道开挖对隧道衬砌影响的分析[J]. 河南建材, 2015(6):111-113. DOI: 10.16053/j.cnki.hnjc.2015.06.058.
- [3] 张伟立, 王承健. 联络通道开挖对已建地铁隧道的影响分析[J]. 岩土工程学报, 2008, 30(S1):452-455.
- [4] 董新平, 周顺华, 高万春, 等. 地下通道开挖宽度对地表沉降的影响[J]. 地下空间与工程学报, 2005(3):419-422.
- [5] 谢明, 姚坚, 孙巍. 外滩通道对下卧大直径隧道的开挖影响分析[J]. 城市道桥与防洪, 2010(2):69-73+81+10. DOI: 10.16799/j.cnki.csdqyfh.2010.02.024.
- [6] 姚坚, 孙巍, 谢明. 外滩通道平行开挖对既有大直径隧道的影响分析和设计方案优化[J]. 城市道桥与防洪, 2010(4):186-190+17. DOI: 10.16799/j.cnki.csdqyfh.2010.04.058.
- [7] 王彬. 横通道开挖对老隧道受力影响的监测分析及控爆措施[J]. 公路交通技术, 2012(2):114-117.
- [8] TB 10003-2016, 铁路隧道设计规范[S].

作者简介:

缪振畴(1982-),男,福建福安人,工程师,学士,从事隧道及地下工程施工技术与管理方面的工作;
朱 龙(2000-),男,四川巴中人,硕士研究生,从事隧道科研及设计工作.

(编辑:吴永红)