

浅埋暗挖风道进主体施工技术优化分析*

戴文亭,王振,孙明志,闫思檬,孙思博
(吉林大学 交通学院,长春 130022)

摘 要:地铁开挖过程中引起的地表沉降对周边建筑及道路有很大的影响,浅埋暗挖风道与主体交叉段的施工是工程中的重难点工序,为控制施工过程中地表沉降量,并对施工进行指导,做出以下研究:以长春地铁解放大路换乘工程为依托,采用 FLAC-3D 程序数值模拟的方法对 CRD 风道转入 PBA 工法车站主体进洞施工进行优化分析;通过对比双拱挑高进洞方案、加强环梁进洞方案与直接进洞方案在风道和主体开挖阶段地表沉降量,发现在风道开挖阶段,双拱挑高进洞方案沉降量较小,而主体开挖阶段,加强环梁进洞方案沉降量较小,得到如下结论:(1)双拱挑高进洞方案在风道开挖阶段对地表沉降控制较好;(2)加强环梁进洞方案在主体开挖阶段对地表沉降控制较好。

关键词:地铁车站;施工方法;风道;数值模拟;地表沉降

中图分类号:U231 文献标识码:A 文章编号:1673-0836(2018)03-0748-13

Optimization of Construction Methods for Shallow Buried Covered Excavation Air Duct Enter Tunnel

Dai Wenting, Wang Zhen, Sun Mingzhi, Yan Simeng, Sun Sibao
(School of Transportation, Jilin University, Changchun 130022, P.R. China)

Abstract: The ground surface settlement caused by metro construction has a great influence on surrounding buildings and roads. The construction of cross section of shallow buried covered excavation air duct and metro is the key and difficult process. In order to control the surface settlement in the construction process, and to guide the construction, the paper makes the following research: for the purpose of optimization of construction methods for shallow buried covered excavation CRD air duct enter PBA tunnel, we have established the numerical simulation model of Jiefanglu Station of Changchun Metro with the program of FLAC-3D. Comparison and contrast is made among direct broken horsehead, double arch hoist and strengthened ring beam, after analysis the ground surface settlements when excavating air duct and tunnels, we find that when the air duct is excavated, the settlement of double arch hoist is minimum, and when the tunnel is excavated, the settlement of strengthened ring beam is minimum. we can get the result: (1) The cast double arch hoist is superior to other methods, when the air duct is excavated, (2) The cast strengthened ring beam is superior to other methods, when the tunnel is excavated.

Keywords: metro station; construction method; air duct; numerical simulation; ground surface settlement

0 引言

随着城市交通的不断发展,人们对城市空间的

要求也越来越多,城市地下空间的开发(尤其是地铁的出现),为解决城市交通问题提供了新的出路^[1-3]。但在施工过程中,通风一直是一个不能忽

* 收稿日期:2017-11-29(修改稿)
作者简介:戴文亭(1964-),男,江苏徐州人,博士,硕士生导师,主要从事地质、隧道及地下工程方面的教学与研究工作。E-mail:daiwenting64@163.com

略的问题,而浅埋暗挖风道与主体交叉段的施工则是工程中的重点难点工序。

樊常青^[4]以北京磁器口车站为例,介绍了风井和风道的施工方法,探讨了车站主体开挖方法,阐述了加强环进洞施工方案的具体施工方法;苏斌^[5-6]对由风道内进行车站主体开挖的方法进行研究和探讨,并比较了双拱挑高等5种进洞方案的工期、造价、安全、方便施工,对加强环梁的具体做法进行了阐述并做出了总结评价。

中铁十四局的谢秀涛等^[7]以北京地铁10号线海淀黄庄站为例,详细阐述了风道施工、风道转体施工车站主体导洞相关措施、施工风险、施工对策及技术控制要点。

近年来,由于电子计算机和计算科学的快速发展,对交叉隧道动态施工之复杂力学行为开展了一些研究^[8-9];重庆大学靳晓光等^[10]通过3D弹塑性有限元数值仿真模拟,分析横通道不同施工方案和动态施工对主隧道围岩与初期支护结构力学行为的影响。分析结果显示,风道等横通道的开挖对交叉侧主隧道侧壁初期支护应力及交叉对侧主隧道侧初期支护 δ_3 和XY平面的剪应力影响较大。

在前人研究基础上^[11],以长春地铁站为依托进行研究。风道较高为主体施工提供了工作平面,为防止施工过程中出现过大大沉降或者不均匀沉降,就地表沉降量进行优化;直接破马头门进洞方案是最常见也是最方便的施工方案,双拱挑高施工方案在风道开挖时发挥了地层自承能力,加强环梁则是在主体开洞处施做加强环梁进行受力转换,这两种方案理论上可以减小地表沉降,要优于其他施工方

案,如小导洞施工方案。
采用FLAC-3D程序数值模拟的方法对比直接破马头门、双拱挑高和加强环梁进洞方案引起的地表沉降,并对设计方法进行优化。与其他已有的研究工作相比,本研究通过两两对比各工序产生的沉降量,使三种方案对沉降控制的优劣好坏更加直观具体。

1 工程概况

长春地铁解放大路站位于人民大街与解放大路十字路口交汇处,沿南北向跨路口设置。本站为地铁1号线和2号线换乘车站,在区间配有联络线和单渡线。施工过程分为两个过程:阶段一,风道施工,风道由竖井破除马头门进洞施工,采用10导洞CRD法施工,从上到下进行导洞开挖,开挖顺序如图1所示;阶段二,风道进入主体施工,即地铁2号线施工,2号线车站主体为侧式站台,标准双层、双跨拱顶直墙结构,采用6导洞PBA工法施工。为建模方便,将整体施工阶段分为以下工序:①车站主体1、3导洞开挖;②车站主体2导洞开挖;③车站主体导洞4、6导洞开挖;④车站主体5导洞开挖;⑤车站主体施做底板;⑥车站主体施做边桩和中桩;⑦车站主体施做车站上部拱顶初支;⑧车站主体施做车站拱顶二次衬砌;⑨车站主体施做车站中板;⑩车站主体施做车站下部二次衬砌。对于加强环梁进洞方案,需要增加施做加强环梁,拆除加强环梁两个工序,将其编号为0和11工序,车站主体施工结构如图2所示。

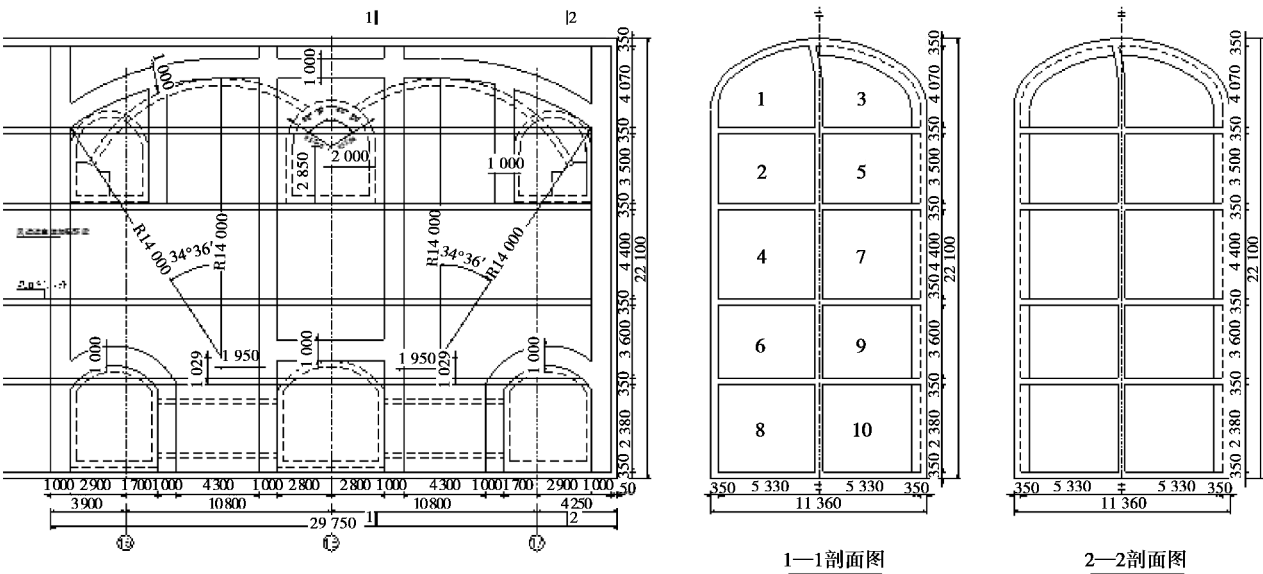


图1 加强环梁与风道几何尺寸及风道开挖顺序(单位:mm)

Fig. 1 The geometry of strengthened ring beam and air duct and the excavation sequence of air duct (unit: mm)

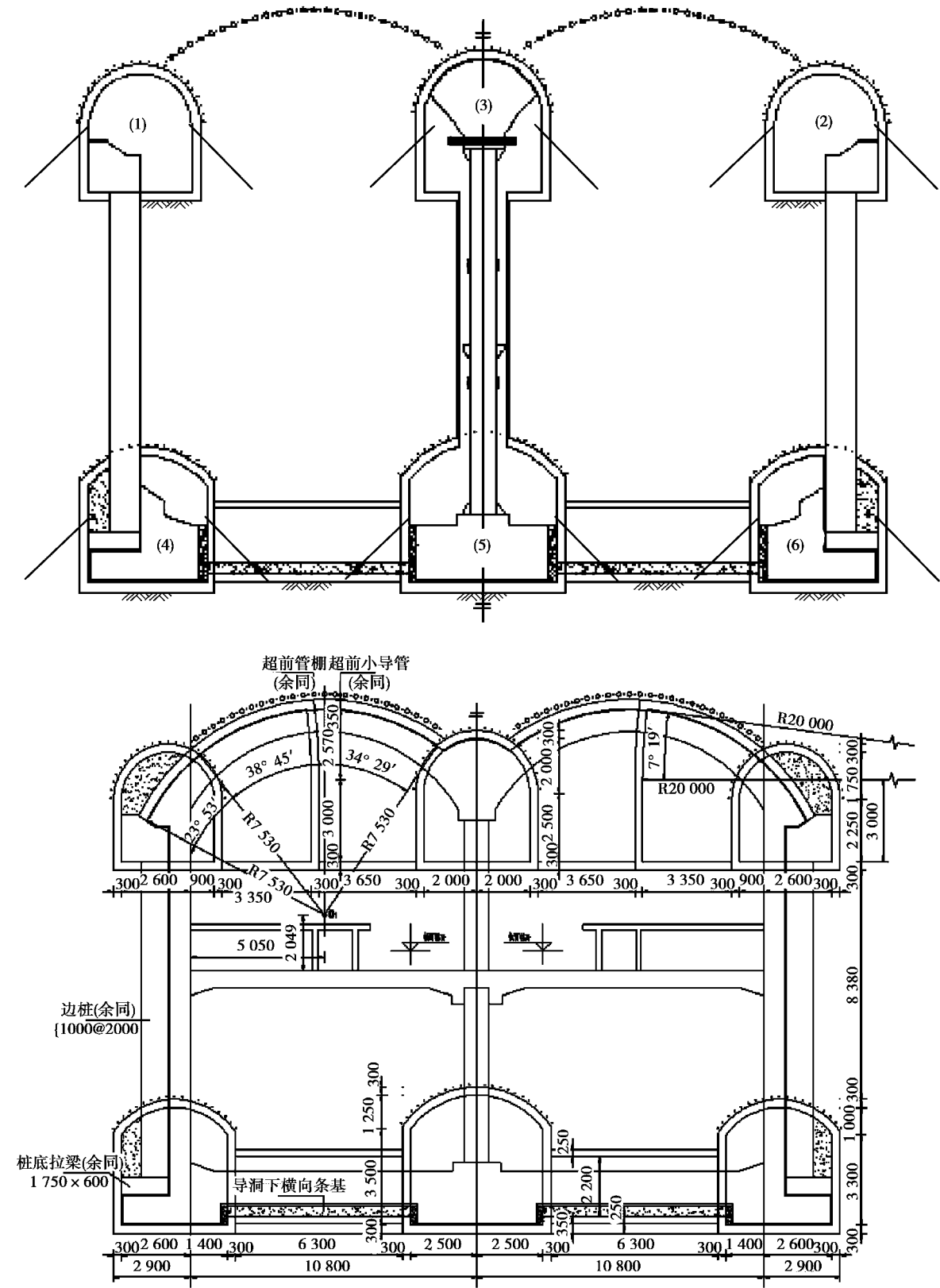


图 2 2 号线主体结构几何尺寸及开挖顺序 (单位:mm)

Fig. 2 The geometry and the excavation sequence of Line 2 main structure (unit: mm)

工程范围内地层由第四系全新统人工填土层、第四系中更新统冲洪积黏性土和砂土、白垩系泥岩组成;地层存在 3 层地下水,第 1 层为孔隙性潜水,第 2 层为浅层承压水,第 3 层为岩石裂隙水,无稳定地下水位。

2 建立模型及沉降分析点布置

2.1 建立模型

数值模拟采用 FLAC^{3D} 有限差分程序,根据地质勘测单位提供土工试验数据及原位试验结果将模型简化为 3 个土层。3 个土层厚度从上到下依次为:填土层 3 m,黏土层 7 m,泥岩层 40 m。假定地表和各土层均匀水平分布,且不考虑地下水的影响,土体采用摩尔-库伦本构模型,混凝土材料采用弹性材料模拟。导洞超前支护管棚和小导管注浆简化为厚的注浆加固层,采用全断面开挖方式。地层和材料的应力应变均在弹塑性范围内变化,地应力场由自重应力自动生成,初始应力按照将材料取为弹性材料,运行平衡后再将材料改成摩尔-库伦材料进行计算。

整合勘测单位所提供的土工试验数据及原位实验结果,并结合本地经验,选取各个土体的材料参数,最终结果见表 1。

表 1 土体的物理力学性能参数

Table 1 Physico-mechanical parameters of soil					
材料	弹性模量 /Pa	泊松比	内聚力 /Pa	内摩擦角 /(°)	密度 /(kg·m ⁻³)
填土	5×10 ⁶	0.3	1.6×10 ⁷	20	2×10 ³
粘土	8×10 ⁶	0.3	4×10 ⁷	20	2×10 ³
泥岩	2×10 ⁸	0.3	8×10 ⁷	25	2.3×10 ³
二衬	2×10 ¹⁰	0.2			2.5×10 ³
喷射砼	1×10 ¹⁰	0.2			2.5×10 ³
加固区	2×10 ⁸	0.2	150	25	2.2×10 ³

建模范围考虑到尺寸效应,两侧至 2 倍风道宽度,所以整个模型取宽 50 m,高 50 m,纵向取 70 m;模型力学边界上表面为自由表面,对其他 5 个表面进行法向约束。3 种施工工法模型如图 3,土层分为 3 层,分别为填土、粘土、泥岩,厚度分别为 3 m、7 m、40 m,地铁底面距离模型底面距离为 20 m,加强环梁进洞方案中加强环梁的模型如图 4。

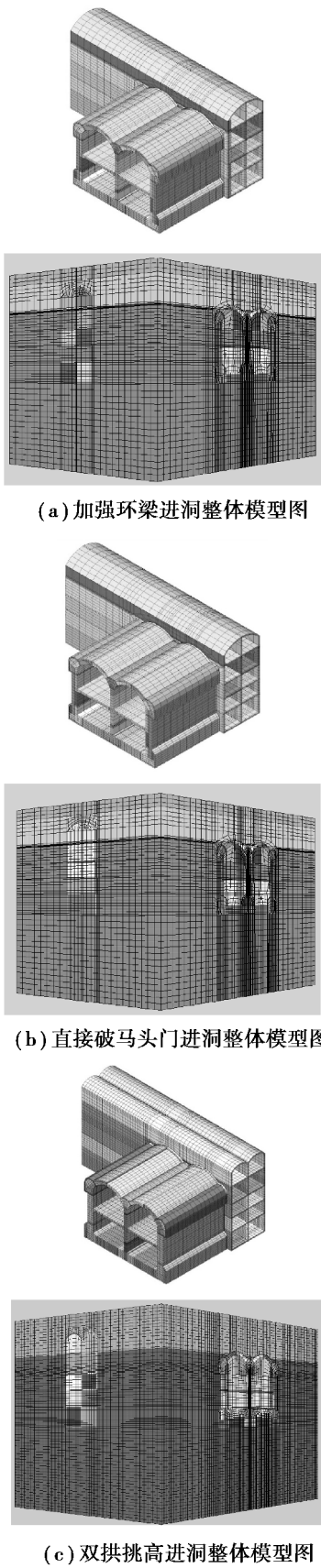


图 3 三种工法整体模型图
Fig. 3 Models of three methods

续表 3								
测点编号	DK-10	DK-11	DK-12	DK-13	DK-14	DK-15	DK-16	DK-17
X	2	4	6.4	9.8	13.7	15	20	24
坐标 Y	29	29	29	29	29	29	29	29
Z	0	0	0	0	0	0	0	0

3 直接破马头门与双拱挑高方案对比分析

3.1 风道开挖阶段对地表影响

3.1.1 2 号线正上方位移分析

在风道开挖过程中,2 号线正上方地表竖向位移变化规律如图 6 所示。

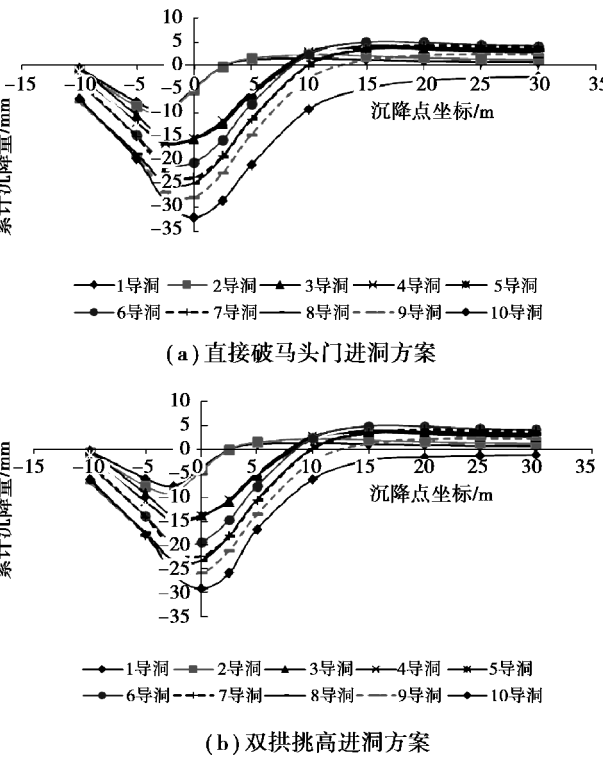


图 6 两种方案在风道开挖时 2 号线正上方地表沉降
Fig. 6 Settlement above Line 2 when excavating air duct with two methods

由图 6 分析可得:DH-1~DH-6 沉降分析点受风道开挖影响较大,由此可推测风道开挖过程对中轴线 5 m 范围内影响较大,施工过程中要尽量减少或者禁止重型车辆进入该范围之内。1、2 号导洞开挖时 DH-3 号点沉降量最大,当 3 号导洞开挖后拱顶的中轴线处 DH-4 号点沉降量迅速增大并逐渐超过 DH-3 号点,直至风道开挖完成,DH-4 号点

沉降量都一直为最大。最后两种施工方案最大沉降量分别为-32.10 mm、-29.24 mm,中轴线处于沉降量最大且在影响范围内沉降量从中轴线向两侧依次减小,形成沉降槽。

DH-7~DH-11 沉降分析点受到风道开挖影响较小。由图中可知,沉降曲线已经逐渐趋于稳定,而且在前期开挖过程中沉降值为正值,随着导洞开挖,沉降值变为负值,最大沉降量分别为-2.34 mm 和-1.03 mm。DH-7~DH-11 沉降分析点处地表在开挖初期出现上拱的原因主要是:隧道开挖后向土体内注浆及 DH-1~DH-6 沉降点范围内沉降的土体对周边土体造成挤压效果,从而引起了 DH-7~DH-11 范围内地表出现上拱现象。

DH-4 点沉降量在两方案中均为最大值,故取该点做沉降历史分析并进行对比,对比结果如图 7 所示。

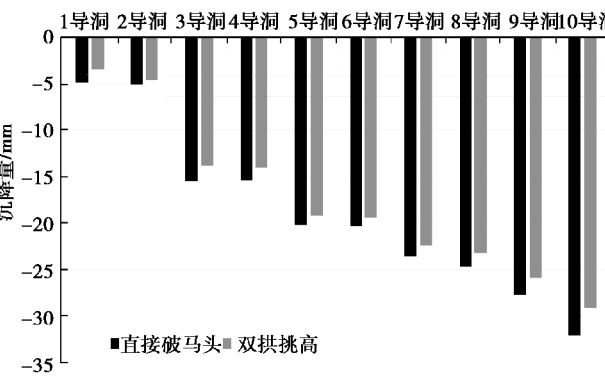


图 7 两方案在风道开挖时对 DH-4 点沉降影响对比
Fig. 7 Comparison of DH-4 settlement of two methods when excavating air duct

对图 7 中两方案分别进行分析,3、10 号导洞开挖引起的沉降量较大,这主要是 1、2 号导洞开挖后 3 号导洞开挖引起了群洞效应,而 10 号导洞沉降较大则是因为 1~9 号导洞开挖引起群洞效应的积累所造成的。

对图 7 进行分析对比,在风道开挖过程中,双

拱挑高进洞方案的沉降量要小于直接破马头门进洞方案,两者最终沉降量分别为-32.1 mm 和-29.24 mm,相差 2.86 mm,双拱挑高方案比直接破马头门方案约小了 8.9%;两方案沉降量之差依次为 0.9、0.5、1.5、1.45、1.15、1.01、1.15、1.4、1.75、2.86,沉降量之差相差较大的工序分别为 3 号导洞开挖、10 号导洞开挖;双拱挑高进洞方案多挑出一跨风道,这样单拱拱顶上的应力能够释放到双拱之上,缓解了拱顶上的应力集中,这在一定程度上减小了地表沉降量,但效果不太明显。

3.1.2 风道与 2 号线连接部位沉降分析

在风道开挖过程中,风道与 2 号线连接部位地表竖向位移变化规律如图 8 所示。

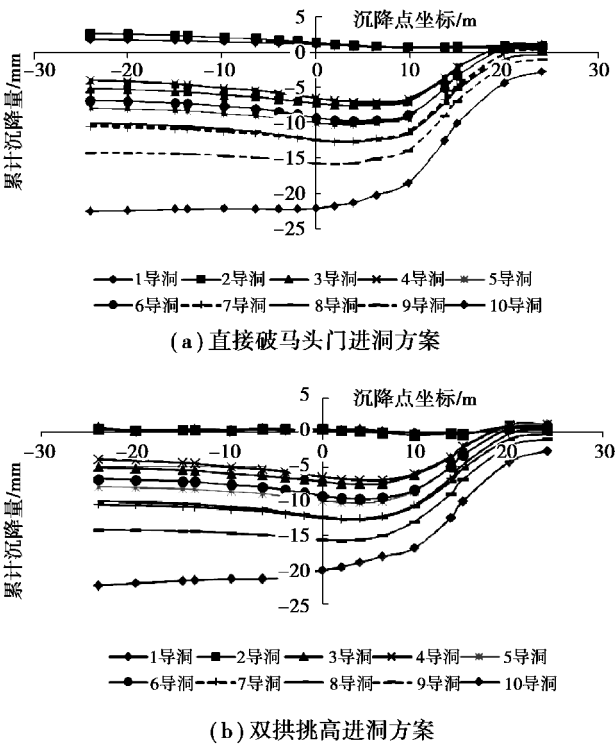


图 8 两种方案在风道开挖时风道与 2 号线连接部位地表沉降

Fig. 8 Settlement of monitoring point on the cross of air duct and Line 2 when excavating air duct with two methods

风道从 DK-1 沉降分析点向 DK-17 沉降分析点方向开挖。DK-1~DK-13 范围内的地面沉降可以看作是隧道的纵向沉降,由图分析可知两种方案在施工过程中纵向沉降曲线较为平缓,且最大沉降量均在 DK-13 沉降分析点,沉降量分别为-22.47 mm、-20.85 mm,地表沉降量较小。DK-13~

DK-17 范围内纵向沉降曲线迅速收敛,且最终收敛到-2.70 mm、-2.49 mm。

在图 8(a)(b)中均是 DK-13 点沉降最显著,因此,取 DK-13 点进行沉降历史分析,并作出各个阶段沉降历史柱状图,如图 9 所示。

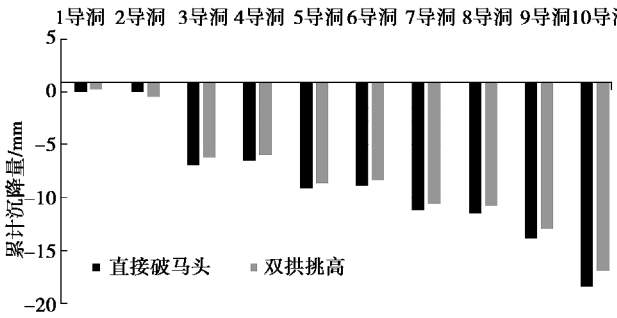


图 9 两方案在风道开挖时对 DK-13 点沉降影响对比

Fig. 9 Comparison of two methods in terms of settlement of DK-13 when excavating air duct

分析图 9 可知,导洞 3 和导洞 10 开挖过程中引起的地表沉降量较大;1、2 号导洞开挖后 3 号导洞的开挖导致群洞效应,此外,3 号导洞的开挖出现了较大的临空面,故而 3 号导洞开挖过程中引起的沉降量较大;对于 10 号导洞,主要是由于前期导洞开挖造成群洞效应累计的结果。

通过图 9 的对比可知,相对于直接破马头门进洞方案,双拱挑高进洞方案所引起的最终沉降量明显减小,减小量约 10%,最大沉降量相差 1.2 mm;两方案沉降量之差依次为-0.7、-1.2、0.7、0.5、0.6、0.4、0.6、0.7、0.9、1.6。刚开始差值为负是由于直接破马头门进洞方案使地表产生了较大的上拱量,而双拱挑高进洞方案将单拱拱顶上的应力能够释放到双拱之上,缓解了拱顶上的应力集中,因此沉降土量较少,对周边土体产生的挤压力较小,并未产生较大上拱量,差值变化较大的的工序为 3 号导洞开挖、10 号导洞开挖。由此可得,双拱挑高进洞方案可以有效减小风道与 2 号线连接部位沉降量,也可以有效减小地表上拱和群洞效应产生的沉降。

3.2 主体结构开挖阶段对地表影响

3.2.1 2 号线正上方地表竖向位移

在主体开挖过程中,2 号线正上方地表竖向位移变化规律如图 10 所示。

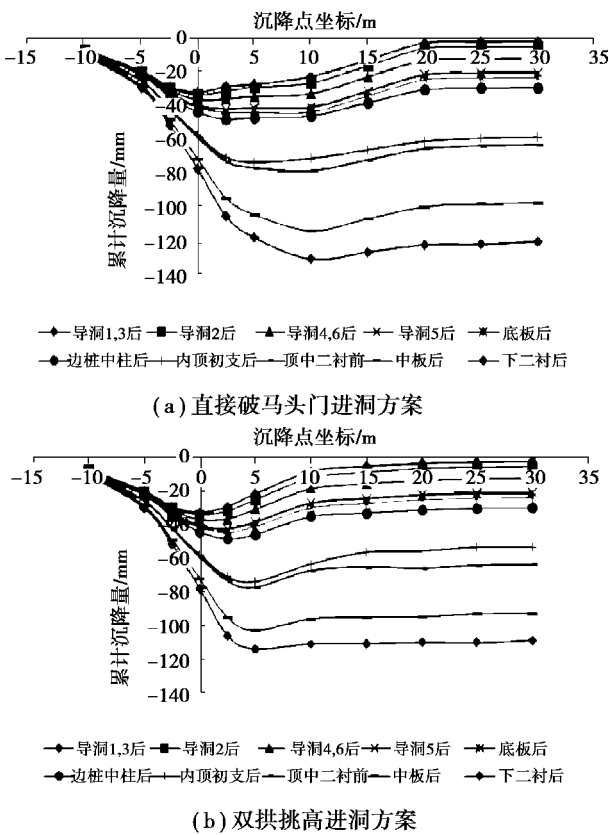


图 10 两种方案在主体开挖时 2 号线正上方地表沉降
Fig. 10 Settlement of monitoring point on Line 2 when excavating main structure with two methods

两方案在导洞开挖阶段最大沉降点位于沉降分析点 DH-4,随着后期施工的进行沉降分析点 DH-5~DH-11 的沉降速率快速增大,最后 DH-4~DH-11 的沉降曲线变得平缓。施工完成后,相比直接破马头门进洞方案,双拱挑高进洞方案最终沉降量有明显减少,取两方案中沉降量较大的 DH-7 点进行对比分析。

由图 11 分析可知,在导洞开挖过程中,双拱挑高方案沉降量仅是直接进洞方案沉降量的 50% 左右,最终沉降量双拱挑高进洞方案要比直接进洞方案小 11.74 mm,约小 9.8%;两方案沉降量之差分别为:13.33、13.48、13.74、13.83、14.03、10.83、5.06、2.27、9.26、11.74,其变化量较大的施工过程为车站主体施做底板(变化量为负)、车站主体施做边桩和中桩(变化量为负)、车站主体施做车站中板(变化量为正)。由此可知:双拱挑高进洞方案在沉降量控制上一直优于直接进洞方案,且对车站主体施做车站中板产生的沉降有显著的减小作用,但对车站主体施做底板与车站主体施做边桩和中桩产生沉降的控制并不太理想。

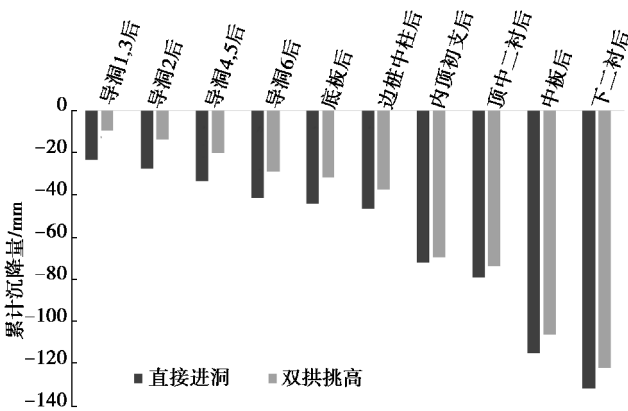


图 11 两方案在主体开挖时对 DH-7 点沉降影响对比
Fig. 11 Comparison of two methods in terms of settlement of DH-7 when excavating main structure

3.2.2 风道与 2 号线连接部位地表沉降
在主体开挖过程中,风道与 2 号线连接部位地表竖向位移变化规律如图 12 所示。

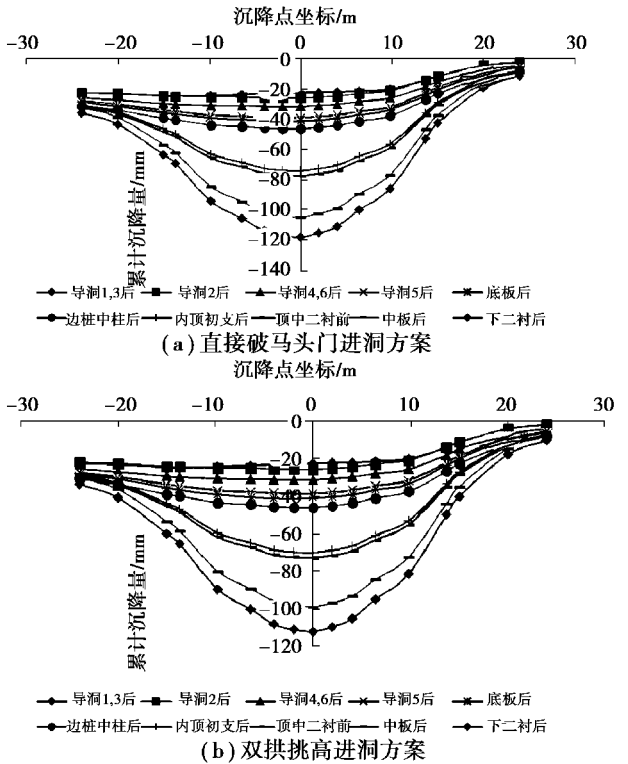


图 12 两方案在主体开挖时风道与 2 号线连接部位地表沉降

通过对图 12 的观察可知,随着主体开挖,各个沉降分析点沉降值不断增加,并逐渐形成沉降槽,在中轴线 15 m 范围内沉降较大,因此在施工过程中,该区域内应该减少或者禁止重载车通行;在施工过程中,中轴线处沉降量最大,故选取中轴线处

沉降点进行沉降历史分析,相应柱状图如下:

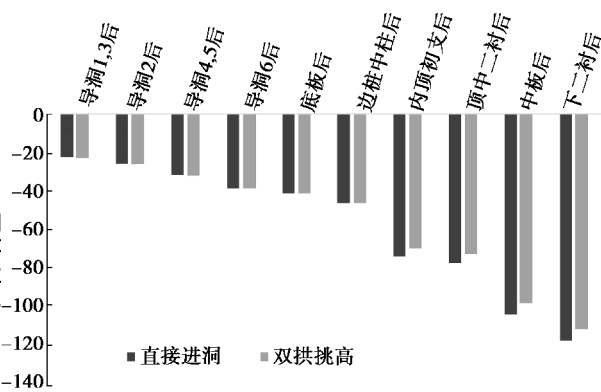


图 13 两方案在主体开挖时对 DK-9 点沉降影响对比

Fig. 13 Comparison of two methods in terms of settlement of DK-9 when excavating main structure

由图 13 分析可知,在开挖过程中双拱挑高进洞方案沉降量要比直接进洞方案小 1.5 mm 左右,且最后沉降量要小 5.7 mm,小约 4.8%;在各个工序施工过程中沉降量差值依次为:1.9、1.8、1.5、1.2、0.9、0.5、3.8、4.3、5.5、5.7,沉降差变化较大的工序为:车站主体施做车站上部拱顶初支、车站主体施做车站中板。由此可见,双拱挑高进行开挖减小了开挖阶段沉降量,而且减少了车站主体施做车站上部拱顶初支、车站主体施做车站中板两个工序引起的沉降。

4 直接破马头门与加强环梁方案对比分析

4.1 风道开挖阶段对地表影响

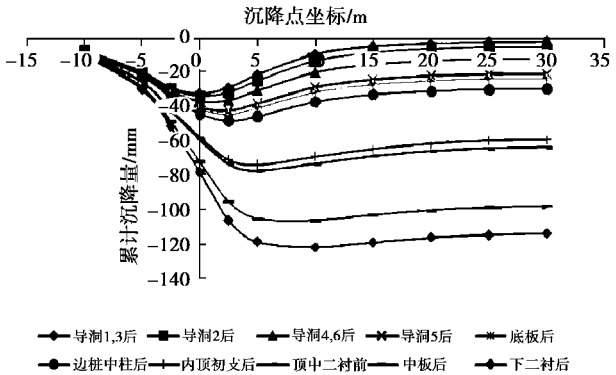
风道开挖阶段直接破马头门进洞方案与加强环梁进洞方案开挖顺序与施工方案全部相同,因此此时地表沉降量也应该相同。但在建模分析过程中,沉降量有些许的差别,这主要是由于建模过程中加强环梁的设置致使网格划分有一定的区别。

4.2 主体结构开挖阶段对地表影响

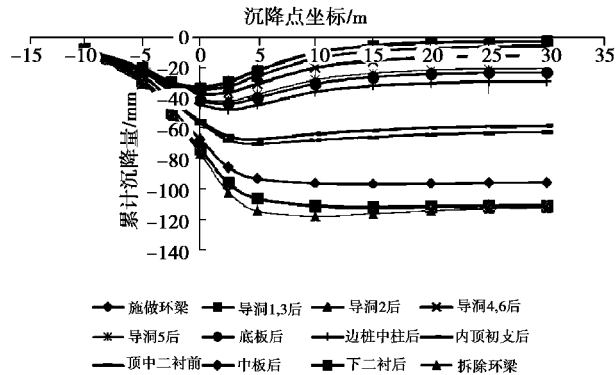
4.2.1 2 号线正上方地表竖向位移

在主体开挖过程中,2 号线正上方地表竖向位移变化规律如图 14 所示。

由图 14 分析可知:主体结构从 DH-1 点向 DH-11 点方向开挖。在开挖初期,DH-1~DH-6 号沉降点快速增加,并形成凹槽;随着施工的进行,最大沉降点逐渐向右偏移,待到开挖完成后 DH-6~DH-11 范围内的沉降曲线变得平缓;施工完成后,相比直接破马头门进洞方案,加强环梁进洞方案沉降量有明显减少,取两方案中沉降量较大的 DH-7 点进行对比分析,如图 15 所示。



(a) 直接破马头门进洞方案



(b) 双拱挑高进洞方案

图 14 两方案在主体开挖时 2 号线正上方地表沉降

Fig. 14 Settlement of monitoring point on Line 2 when excavating main structure

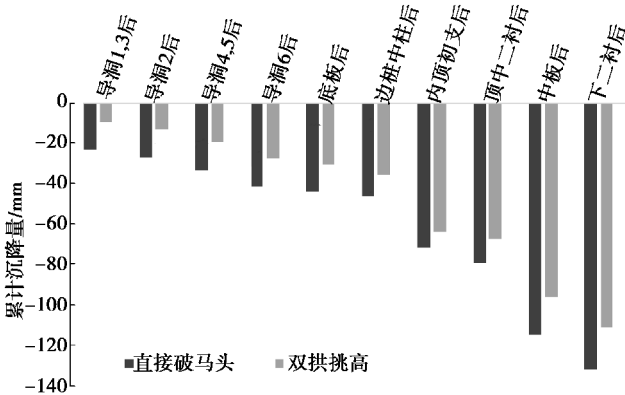


图 15 两方案在主体开挖时对 DH-7 点沉降影响对比

Fig. 15 Comparison of two methods in terms of settlement of DH-7 when excavating main structure

由图 15 分析可知,在导洞开挖过程中加强环梁方案沉降量仅是直接进洞方案沉降量的 50% 左右,对比最终沉降量,加强环梁进洞方案要比直接进洞方案小 20.58 mm,约小 15.62%;两方案沉降量之差分别为:14.94、15.05、14.8、14.31、14.27、11.29、8.22、11.86、18.44、20.58,沉降量之差变化较大的两个工序为:车站主体施做车站拱顶二次衬砌、车站主体施做车站中板。由此可见,加强环梁

的设置明显减少了主体开挖阶段对2号线正上方地表沉降,尤其对车站主体施做车站拱顶二次衬砌、车站主体施做车站中板这两个工序所引起的沉降有良好的控制。

4.2.2 风道与2号线连接部位地表沉降
在主体开挖过程中,风道与2号线连接部位地表竖向位移变化规律如图16所示。

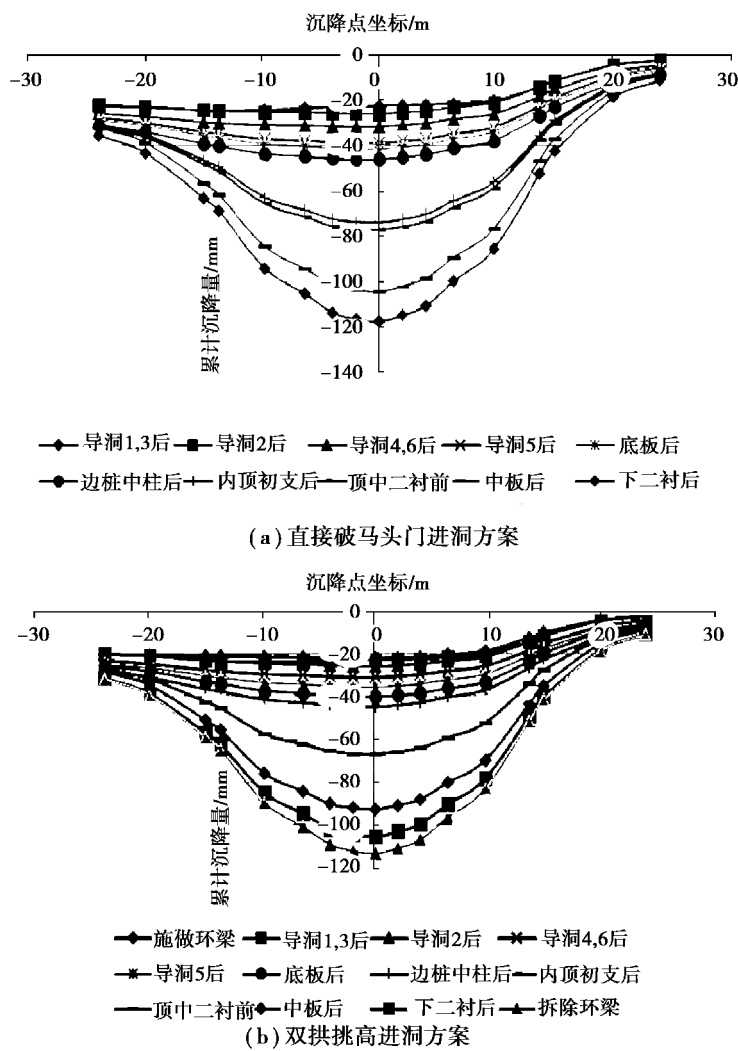


图 16 两方案在主体开挖时风道与 2 号线连接部位地表沉降

Fig. 16 Settlement of monitoring point on the cross of air duck and Line 2 when excavating main structure

通过对图 16 的观察可知,随着主体开挖,各个沉降分析点沉降值不断增加,并逐渐形成沉降槽,在中轴线 15 m 范围内沉降较大,因此,在施工过程中该区域内应该减少或者禁止重载车通行。选取在施工过程中沉降量最大的中轴线处进行沉降历史分析。

由图 17 分析可知,在开挖过程中加强环梁沉降量要比直接进洞方案小 2 mm 左右,且最后沉降量要小 12.4 mm,小约 10.52%;在各个工序施工过程中沉降量差值依次为:2.3、1.9、2.1、2.2、2.3、2、7.2、7.4、11.8、12.4,沉降量差值变化较大的工序为:车站主体施做车站上部拱顶初支、车站主体施

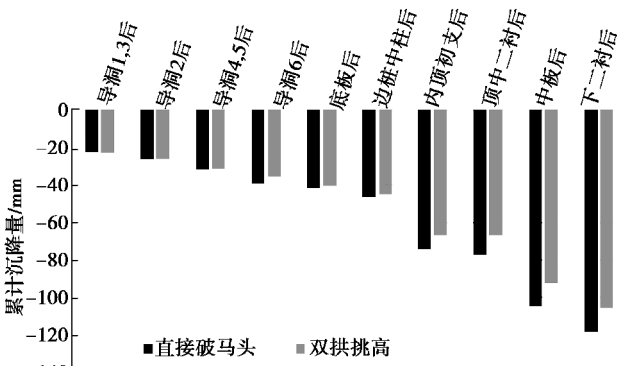


图 17 两方案在主体开挖时对 DK-9 点沉降影响对比
Fig. 17 Comparison of two methods in terms of settlement of DK-9 when excavating main structure

做车站中板。由此可知,加强环梁的设置不仅减小了开挖阶段沉降量,而且减小了车站主体施做车站上部拱顶初支、车站主体施做车站中板这两个工序引起的沉降。

5 双拱挑高与加强环梁方案对比分析

5.1 风道开挖阶段对地表影响

风道开挖阶段,加强环梁进洞方案与直接破马头门进洞方案的开挖顺序和施工方案全部相同,因此双拱挑高与加强环梁进洞方案的对比和双拱挑高与直接破马头门进洞方案的对比完全相同,在此不再累述。

5.2 主体结构开挖阶段对地表影响

5.2.1 2 号线正上方地表竖向位移

在主体开挖过程中,2 号线正上方地表竖向位移变化规律如图 18 所示。

由图 18 分析可知:主体结构从 DH-1 点向 DH-11 点方向开挖。在开挖初期,DH-1~DH-6 号沉降点快速增加,并形成凹槽;随着施工的进行,最大沉降点逐渐向右偏移,待到开挖完成后 DH-6~DH-11 范围内的沉降曲线变的平缓;施工完成后,相比直接破马头门进洞方案,加强环梁进洞方案沉降量有明显减少,取两方案中沉降量较大的 DH-7 点进行对比分析。

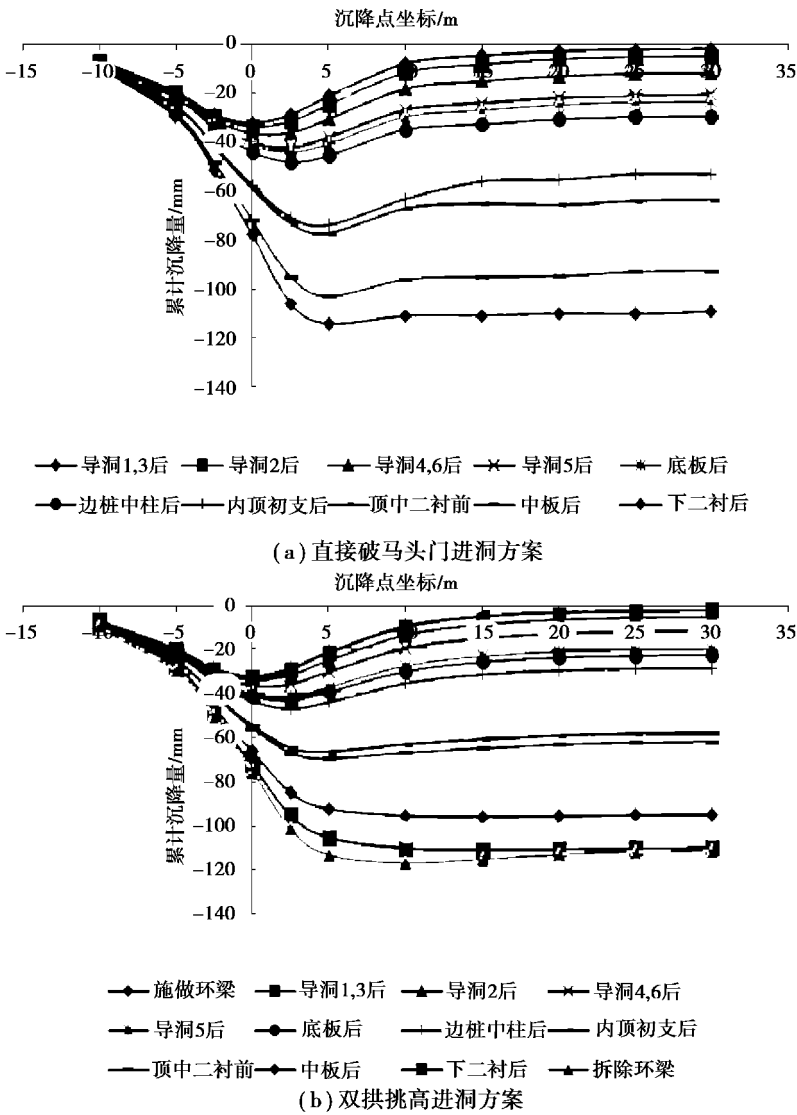


图 18 两方案在主体开挖时 2 号线正上方地表沉降

Fig. 18 Settlement of monitoring point on Line 2 when excavating main structure

由图 19 分析可知,在导洞开挖过程中,双拱挑高进洞方案要优于加强环梁进洞方案,但没有太大

的差别,最终沉降量加强环梁进洞方案要比双拱挑高进洞方案小 8.84 mm,小约 7.95%;两方案沉降

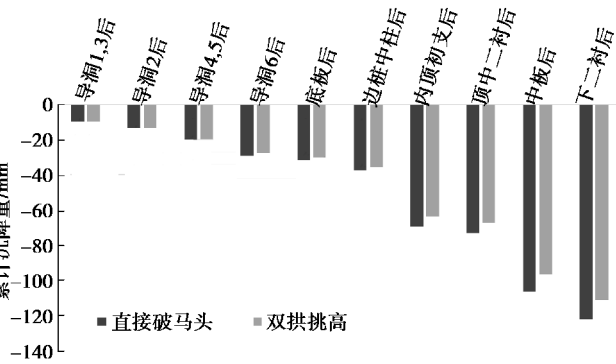


图 19 两方案在主体开挖时对 DH-7 点沉降影响对比
Fig. 19 Comparison of two methods in terms of settlement of DH-7 when excavating main structure

量之差分别为:1.61、1.57、1.06、0.48、0.24、0.46、3.16、9.59、9.18、8.84,沉降量之差变化较大的是:车站主体施做车站上部拱顶初支、车站主体施做车站拱顶二次衬砌。由此可见,加强环梁的设置比双拱挑高更能减小地表沉降,而且对车站主体施做车站拱顶二次衬砌、车站主体施做车站中板这两个工序所引起的沉降有良好的控制。

5.2.2 约风道与 2 号线连接部位地表沉降

在主体开挖过程中,风道与 2 号线连接部位地表竖向位移变化规律如图 20 所示。

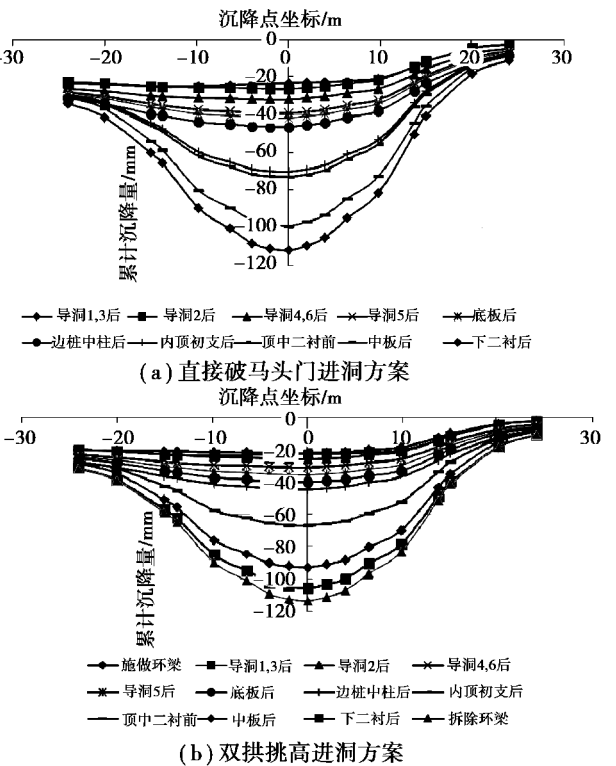


图 20 两方案在主体开挖时风道与 2 号线连接部位地表沉降

Fig. 20 Settlement of monitoring point on the cross of air duck and Line 2 when excavating main structure

通过对图 20 的观察可知,随着主体开挖,各个沉降分析点沉降值不断增加,并逐渐形成沉降槽,在中轴线 15 m 范围内沉降较大,因此在施工过程中该区域内应该减少或者禁止重载车通行;在施工过程中,中轴线处沉降量最大,故选取中轴线处沉降点进行沉降历史分析,相应柱状图如图 21 所示。

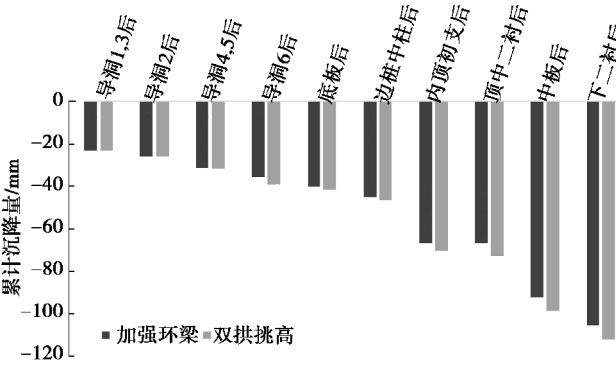


图 21 两方案在主体开挖时对 DK-9 点沉降影响对比
Fig. 21 Comparison of two methods in terms of settlement of DK-9 when excavating main structure

由图 21 分析可知,在导洞开挖过程中双拱挑高进洞方案要优于加强环梁进洞方案,但没有太大的差别,最终沉降量加强环梁进洞方案要比双拱挑高进洞方案小 6.7 mm,小约 6.36%;在各个工序施工过程中沉降量差值依次为:0.4、0.1、0.6、1、1.4、1.5、3.4、3.1、6.3、6.7,沉降差变化最大的工序为:车站主体施做车站上部拱顶初支、车站主体施做车站中板,由此可知,加强环梁的设置不仅减小了开挖阶段沉降量,而且减小了车站主体施做车站上部拱顶初支、车站主体施做车站中板这两个工序引起的沉降。

6 结论与建议

通过采用 FLAC^{3D}对长春地铁解放大路换乘工程进行数值模拟,分别对 3 种方案进行对比,得到如下结论:

- (1)在风道开挖阶段,双拱挑高进洞方案在沉降控制上要优于直接破马头门进洞方案与加强环梁进洞方案,尤其对风道开挖过程中产生的群洞效应有一定的缓解作用,但整体效果不太理想。
- (2)主体开挖阶段对 2 号线正上方地表沉降量控制最好的是加强环梁进洞方案,其次是双拱挑高进洞方案,控制最差的是直接破马头门进洞方案。

相对于双拱挑高进洞方案,加强环梁进洞方案能更好地控制施做车站上部拱顶初支、施做车站拱

顶二次衬砌2个工序产生的沉降;相对于直接破马头门进洞方案,加强环梁进洞方案能更好地控制施做车站拱顶二次衬砌、施做车站中板、施做车站下部二次衬砌3个工序产生的沉降。

(3)主体开挖阶段对风道与2号线连接部位地表沉降量控制最好的是加强环梁进洞方案,其次是双拱挑高进洞方案,控制最差的是直接破马头门进洞方案。

相对于双拱挑高进洞方案,加强环梁进洞方案能更好地控制车站主体施做车站中板工序产生的沉降;相对于直接破马头门进洞方案,加强环梁进洞方案能更好地控制车站主体施做车站上部拱顶初支、车站主体施做车站中板两个工序产生的沉降。

参考文献(References)

- [1] 钱七虎.城市可持续发展与地下空间开发利用[J].地下空间,1998,18(2):69-74.(Qian Qihu. The sustainable development of cities and the development of underground space[J]. Underground Space,1998,18(2):69-74.(in Chinese))
- [2] 黄宏伟.城市隧道与地下工程的发展与展望[J].地下空间,2001,21(4):311-317.(Huang Hongwei. Development and prospect of city tunnel and underground engineering[J]. Underground Space,2001,21(4):311-317.(in Chinese))
- [3] 钱七虎.迎接我国城市地下空间开发高潮[J].岩土工程学报,1998,20(1):112-113.(Qian Qihu. Greet the climax of urban underground space development[J]. Journal of Geotechnical Engineering,1998,20(1):112-113.(in Chinese))
- [4] 樊常青.地铁车站主体开挖方法—加强环进洞法[J].科技情报开发与经济,2007,17(26):247-249.(Fan Changqing. The method of excavating structure of metro station—the model of strengthened ring beam method[J]. Sci-tech Information Development and Economy,2007,17(26):247-249.(in Chinese))
- [5] 苏斌.北京地铁磁器口车站浅埋暗挖法进洞施工方案比较[J].铁道标准设计,2005(7):94-96.(Su Bin. Comparison and contrast among methods of shallow buried covered excavation of Teicikou Metro in Beijing[J]. Railway Standard Design,2005(7):94-96.(in Chinese))
- [6] 苏斌.地铁浅埋暗挖法车站进洞施工技术[J].山西建筑,2005(12):1-2.(Su Bin. Face excavation construction technology by shallow embedded construction method of subway station[J]. Shanxi Architecture,2005(12):1-2.(in Chinese))
- [7] 解秀涛,谢晋水.北京地铁10号线海淀黄庄站风道大断面开挖及转入车站主体暗挖进洞施工技术[J].铁道标准设计,2008(12):112-116.(Xie Xiutao, Xie Jinshui. The construction methods for shallow buried covered excavation air duct enter tunnel for Haidian Huangzhuang Station in Beijing[J]. Railway Standard Design,2008(12):112-116.(in Chinese))
- [8] Horibe Y, Yagi H. Connection between two tunnels under a busy crossing in a big city[J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Science & Geomechanics Abstracts,1995,32(3),139-141.
- [9] Saitoh A, Gomi K. Influence forecast and field measurement of a tunnel excavation crossing right above existing tunnels[J]. International Journal of Rock Mechanics & Mining Science & Geomechanics Abstracts,1995,32(3),142-143.
- [10] 靳晓光,李晓红.深埋交叉隧道动态施工力学行为研究[J].重庆建筑大学学报,2008,30(2):32-36.(Jin Xiaoguang, Li Xiaohong. Dynamic construction mechanical behavior of a deeply-buried intersection tunnel[J]. Journal of Chongqing Jianzhu University,2008,30(2):32-36.(in Chinese))
- [11] 邵珠山,熊阳阳.大跨软岩隧道施工动态监测试验研究[J].地下空间与工程学报,2017,13(3):779-787,850.(Shao Zhushan, Xiong Yangyang. Study on site dynamic monitoring of soft rock tunnel with large span[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering,2017,13(3):779-787,850.(in Chinese))
- [12] 王俊.岩质地层暗挖车站施工设计关键技术研究[J].地下空间与工程学报,2016,12(2):442-449.(Wang Jun. Key technology for the construction design of mining metro station in rock strata[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering,2016,12(2):442-449.(in Chinese))