

文章编号:1006-2106(2015)07-0094-06

# 硬岩地区大跨度地铁车站施工变形特性研究\*

韩侃<sup>1</sup> 司小东<sup>2\*\*</sup>

(1. 中铁西北科学研究院有限公司, 兰州 730000; 2. 山东正元建设工程有限责任公司, 济南 250014)

**摘要:**研究目的:青岛地铁2号线华楼山路站处于硬岩微风化岩层,设计两端采用复合式岩石喷锚支护和吊脚桩支护方式进行明挖,中间段采用三台阶七步暗挖法,并采用爆破施工。本文以该车站工程为背景,在施工过程中对车站主体及周边环境进行现场监控量测,分析硬岩地区大跨度地铁车站施工变形特性并总结变形规律,为类似工程施工提供参考。

**研究结论:**(1)复合式岩石喷锚支护段比吊脚桩支护段地表沉降小,基坑开挖初期地表沉降快速增大,开挖至地板位置趋于稳定,明挖段最大沉降量小于暗挖段最大沉降量;(2)相同深度位置处,复合式岩石喷锚支护段比吊脚桩支护段锚杆内力小,吊脚桩深层水平位移呈“倒梯形”分布;(3)暗挖隧道内,拱顶沉降和净空收敛主要发生在三个阶段,即上台阶和中台阶左右两侧开挖阶段,下台阶开挖时开始趋于缓慢稳定;(4)该研究成果可应用于指导硬岩大跨度地铁车站的施工领域。

**关键词:**地铁车站;暗挖法;明挖法;监控量测

中图分类号:TU47 文献标识码:A

## Research on the Construction Deformation Characteristics of Large Span Metro Station in Hard Rock Area

HAN Kan<sup>1</sup>, SI Xiao-dong<sup>2</sup>

(1. Northwest Research Institute Co. Ltd of C. R. E. C., Lanzhou, Gansu 730000, China; 2. Shandong Zhengyuan Construction Engineering Co. Ltd, Jinan, Shandong 250014, China)

**Abstract: Research purposes:** Qingdao Hualoushan Road Metro Station is in slightly weathered rock, on the both ends the composite rock bolting and shotcrete and suspending pile supporting modes open excavation method is used, on the middle section three-bench seven-step excavation method and blasting construction are used. Taking the station project as the background, the deformation law of main station and the surrounding environment was studied by in-situ monitoring test, the construction deformation characteristics of large span metro station in hard rock area were analyzed, the deformation rules were summarized, to provide the reference for the similar engineering construction.

**Research conclusions:** (1) The surface settlement of composite rock bolting and shotcreting section is smaller than suspending pile supporting, the surface subsidence of initial excavation increases fast, and tends to be stable with excavation to floor position. The maximum settlement of the open excavation section is smaller than the subsurface excavation section. (2) In the same depth position, the anchor force of composite rock bolting and shotcrete section is smaller than suspending pile supporting section. Deep horizontal displacement of suspending pile was "inverted trapezoidal" distribution. (3) In the subsurface tunnel, vault settlement and convergence mainly occur in three stages, namely the excavation stage of the upper bench and on the left and right of the middle bench, and begin to slow and

\* 收稿日期:2015-04-16

\*\* 作者简介:韩侃,1981年出生,男,工程师;司小东,1987年出生,男,工程师。

steady with excavation of lower bench. (4) The research results can be applied to the construction field of hard rock and large span metro station.

**Key words:** metro station; subsurface excavation method; open excavation method; monitoring measurement

## 1 引言

地铁是服务于城市和城郊的高效、快速运输网,目前已有19座城市开通了地铁,2015年年底之前随着宁波地铁即将开通,国内地铁开通城市达到20座。

作为城市的血脉,近年来在国内大多数城市正在如火如荼地修建地铁。大连、青岛、广州等地区地铁工程穿越岩石地层,岩层强度等级较高,在繁华的市区,地铁车站一般采用暗挖法或者明暗挖结合的方式进行施工。对于地铁车站施工过程中车站主体和周边环境变形特性,国内外已经有大量学者进行过研究。

早在1969年,Peck R. B.<sup>[1]</sup>对软土基坑开挖变形进行了大量研究,总结了地表沉降与距离之间的经验公式用以预测基坑周边土体沉降的方法,适用于软土地区的大多数深基坑;G. W. Clough和C. Y. Ou等在Peck R. B.研究的基础上对黏土、砂土和硬土层中基坑实测数据进行研究分析,总结了台北、新加坡、香港等地基坑的变形特性,研究了各类性质土体中深基坑变形特性与影响因素<sup>[2-5]</sup>;Zhong W. Wang<sup>[6]</sup>等对上海软土地区深基坑变形特性与台北、新加坡地区进行对比分析,总结了变形基本规律;孙钧<sup>[7]</sup>、魏刚<sup>[8]</sup>、胡群芳<sup>[9]</sup>等根据实测资料,给出了地表最大沉降量的预计方法;任建喜等<sup>[10]</sup>通过现场实测手段,研究地铁车站深基坑变形特性。

前人通过计算和实测对基坑、隧道变形特性进行了大量的研究,但是对于硬岩地区复合式岩石喷锚支护和吊脚桩支护下基坑变形特性研究较少,对硬岩地区台阶法隧道开挖引起的变形特性亦较少,本文通过对青岛硬岩地区地铁车站采用明暗挖结合法开挖引起的地表变形特性进行实测研究,总结变形规律。

## 2 工程背景

### 2.1 工程概况

青岛地铁2号线一期工程华楼山路站位于银液泉路上跨桥西侧,枣儿山烈士陵园西北角,沿福临万家小区南北布置于规划市政绿地内。站点周边为在建居住区,站西向为正在建设的福临万家小区有上万住户,规模较大,可以吸引各象限客流,服务小区和附近中学。该站设计采用施工方法为两端明挖法施工,中间矿山法施工。YCK 46+062.100~YCK 46+078.790范围内明挖垂直风道为六层四跨箱型框架结构;YCK 46+078.790~YCK 46+252.090范围内暗挖主体结构为马蹄形断面复合式衬砌结构;YCK 46+252.090~YCK 46+268.000范围内明挖主体结构为双层三跨箱型框架结构。有效站台中心里程为YCK 46+195.100,标准段宽20.9 m,车站总长205.9 m。华楼山路站平面图如图1所示。

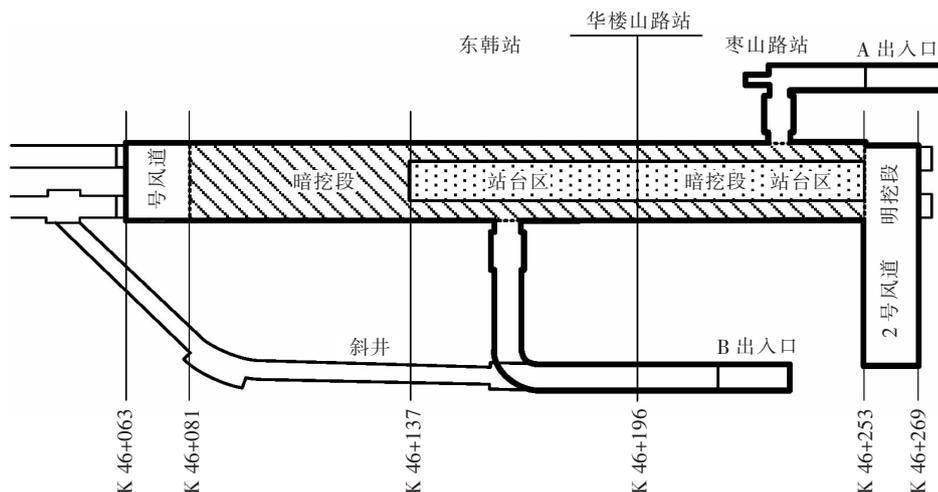


图1 华楼山路站平面图

车站采用明暗挖结合的施工方法,中间段采用三台阶七步法施工,两端头采用明挖法施工,围护结构根

据场地条件采用复合式岩石喷锚支护和吊脚桩支护两种不同的型式。车站主体采用爆破施工。

本站为地下明暗挖结合两层单柱岛式车站,车站设计中心里程为 YSK 46 + 169.408 m,长度约 206.0 m,设计明暗挖分界里程为 YSK 46 + 253.4。车站由主体、出入口和风道三部分组成,共设出入口 3 个,地面风亭 2 组。

### 2.2 工程地质条件

该车站范围内特殊性岩土主要为人工填土和风化岩。人工填土主要为素填土,局部为杂填土。素填土成分以黏性土、砂土为主,局部夹有碎石、碎砖、混凝土块等,杂填土主要成分为建筑、生活垃圾混黏性土、砂砾,土质不均,回填年限多不足 10 年,土体较松散,主要分布于表层,厚度变化较大,最厚达 5.8 m,分布局限,对暗挖车站隧道洞身稳定性影响较小,在大里程端明暗挖分界处距车站隧道洞顶较浅,设计、施工时应特别注意。

华楼山路站所处的地层剖面图如图 2 所示。风化岩主要为花岗岩、细粒花岗岩、煌斑岩(强风化带、中风化带、微风化带),花岗岩多沿节理风化,受地形地貌影响,大部分强风化层厚度不大,仅在车站大里程端强风化层厚度较大,最大厚度达 9.80 m,对暗挖车站进洞影响较大。

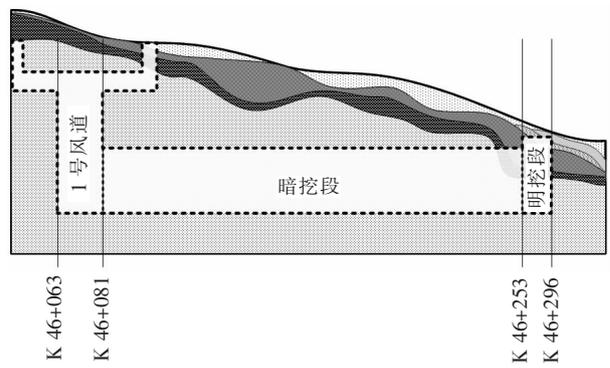


图 2 华楼山路站所处地层剖面图

注: 强风化岩上亚带; 强风化岩下亚带; 中风化带; 微风化带

## 3 车站结构设计

### 3.1 明挖基坑

华楼山路站两端采用明挖法施工,分为 1 号风道明挖基坑与车站主体结构明挖段和 2 号风道基坑两部分。车站主体结构明挖段和 2 号风道基坑总长约 60 m,宽约 15 m,主体明挖段深度约 21 m,2 号风道基坑深度约 14 m。采用复合式岩石喷锚支护,2 号风道基坑南北侧采用吊脚桩的支护型式,如图 3 所示。

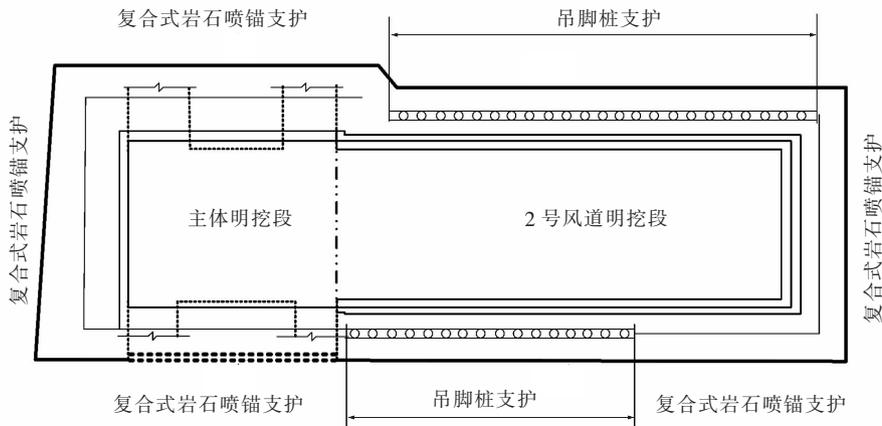


图 3 明挖基坑结构设计

### 3.2 暗挖隧道

根据车站所在区域为花岗岩地层微风化带特性,车站主体结构采用暗挖法施工,分三台阶七步开挖,如图 4 所示。

## 4 现场监控量测

### 4.1 测点布设

华楼山路站明挖段基坑工程施工现场监测的内容分为两大部分,即围护结构本身和相邻环境。围护结构中包括围护桩体挠曲位移(测斜)、围护桩内力、支

撑轴力、锚杆内力等;相邻环境中包括水土压力、地下水位变化、地表沉降、相邻地下管线变形、建筑物沉降和倾斜、土体分层沉降。

在明挖基坑段,选取两个监测断面,分别为复合式岩石喷锚支护断面(1-1 断面)和吊脚桩支护断面(2-2 断面),其中 1-1 断面监测项目有地表沉降和锚杆内力,2-2 断面监测项目有地表沉降、锚杆内力和吊脚桩体水平位移。两种支护型式的测点布设如图 5、图 6 所示。

暗挖段选取 5# 断面,监测项目有地表沉降、拱顶

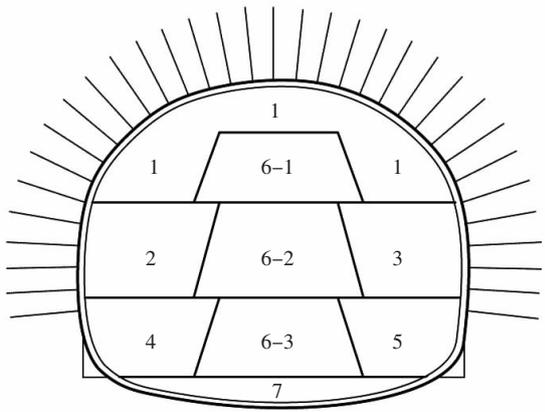


图4 暗挖隧道断面设计与施工步骤

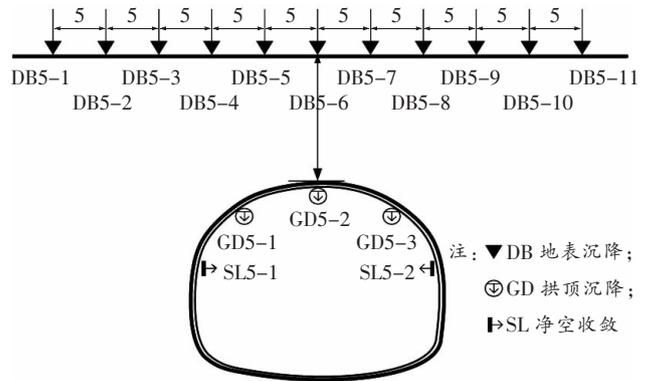


图7 暗挖隧道测点布置图(单位:m)

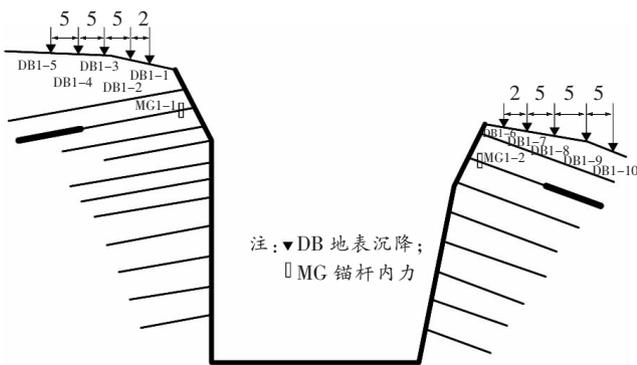


图5 复合式岩石喷锚支护测点布置图(1-1断面)(单位:m)

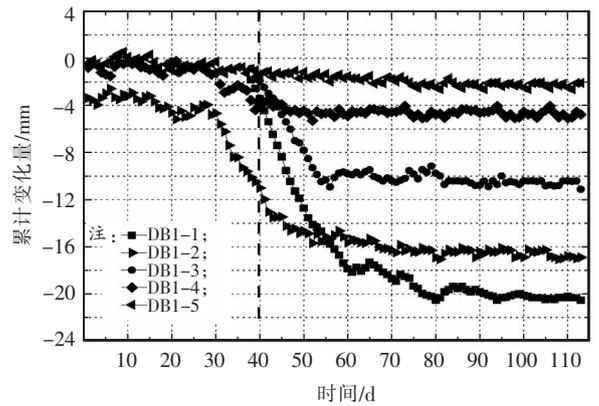


图8 1-1断面地表沉降时程曲线

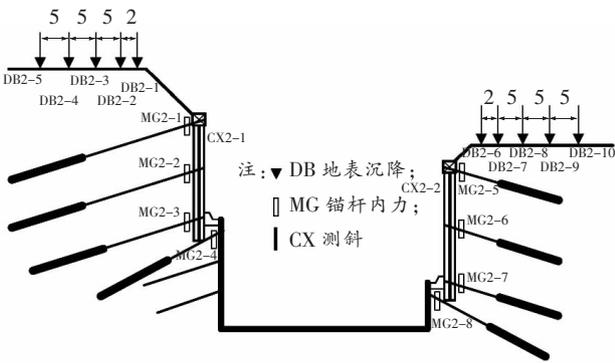


图6 吊脚桩支护测点布置图(2-2断面)(单位:m)

沉降和净空收敛监测点。测点布置如图7所示。

### 4.2 地表沉降

基坑开挖初期,因开挖深度较浅,各地表点沉降均较小,表现为微小的沉降或隆起,变形量约在5 mm以内。随开挖深度增加,地表开始逐渐出现较大沉降,沉降速率增大,沉降量增大。图8为复合式岩石喷锚支护段地表沉降时程曲线,由图可以看出,随开挖深度增大,地表沉降速率增大,其中距离基坑最近的DB1-1点沉降速率最大,沉降稳定之后沉降量也最大,约为-22.3 mm。1-1断面距基坑越远,地表沉降逐渐减小。

吊脚桩支护段基坑开挖地表沉降时程曲线如图9所示。由图可以看出,随开挖深度增大地表沉降也逐渐增大,最大沉降量出现在DB2-2点,最大沉降量约为-18.1 mm。从监测数据可以看出,距离基坑最近的DB2-1点沉降小于DB2-2点,这是因为DB2-1点距离吊脚桩较近,由于土与桩体之间具有相互作用,桩体相对稳定性较好,土体受到桩体向上的摩擦作用,导致土体沉降减小,小于距离较远的DB2-2点。

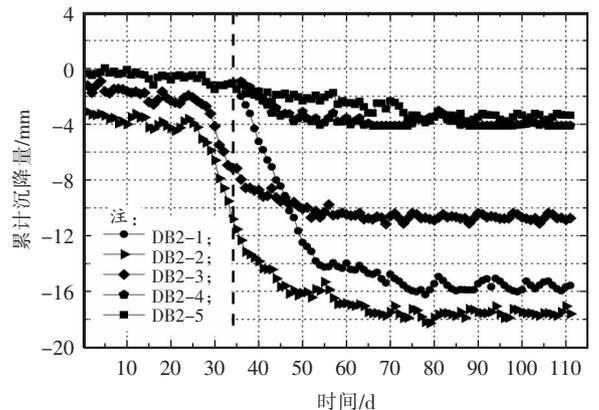


图9 2-2断面地表沉降时程曲线

车站暗挖段地表沉降时程曲线如图 10 所示,在上台阶开挖之前,因前方开挖造成地表有微小的沉降,沉降量在 -7.1 mm 左右。上台阶和中台阶开挖时,地表出现较大沉降,沉降速率增大,其后又趋于稳定。地表最大沉降量约为 -29.5 mm。

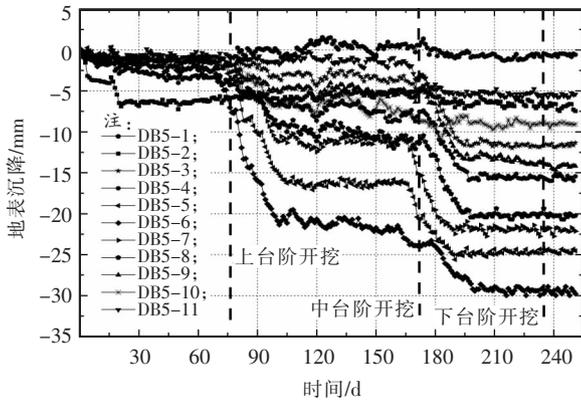


图 10 5#断面地表沉降时程曲线

对比上台阶和中台阶开挖造成的地表沉降可以看出,因上台阶开挖引起的地表沉降速率大于因中台阶开挖引起的沉降速率,下台阶开挖引起的地表沉降较小。由此分析,三台阶法开挖地表沉降的主要阶段为上台阶开挖阶段。

### 4.3 锚杆内力

锚杆内力监测时程曲线如图 11 所示,其中 1-1 断面复合式岩石喷锚支护段只监测了第一道锚杆 MG1-1 的内力,可以看出,基坑开挖初期,锚杆内力快速增大,后期逐渐区域稳定。2-2 断面吊脚桩支护段监测基坑一侧四道锚杆内力,可以看出,由浅及深,锚杆内力减小,第一道锚杆内力最大,最大值约为 93.5 kN。对比两种不同的支护方式可以看出,吊脚桩支护锚杆内力大于复合式岩石喷锚支护段锚杆内力。

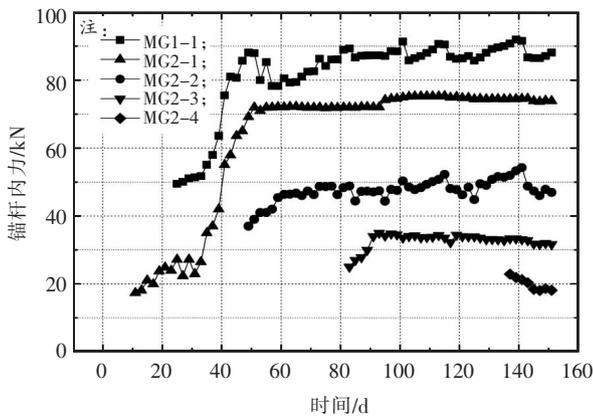


图 11 锚杆内力时程曲线

### 4.4 吊脚桩深层水平位移

吊脚桩深层水平位移曲线如图 12 所示,由测斜曲线可以看出,桩体水平位移最大点位于桩顶位置,最大水平位移约为 9.4 mm,桩脚位置水平位移最小。水平位移曲线呈“倒梯形”分布。

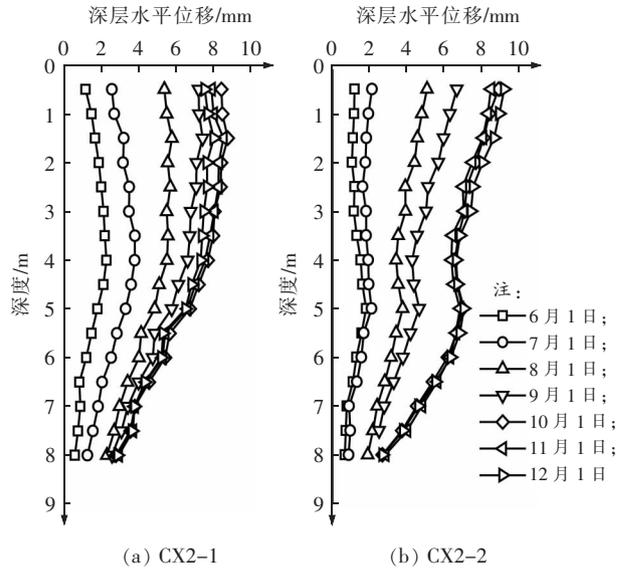


图 12 吊脚桩深层水平位移曲线

### 4.5 拱顶沉降

拱顶沉降时程曲线如图 13 所示。三台阶七步法开挖中,监测了拱顶三个位置的沉降,在上台阶开挖出足够空间时布设监测点。测点布设完至中台阶开挖完成阶段拱顶处于快速沉降阶段,下台阶开挖阶段拱顶沉降速率减小,沉降逐渐趋于稳定,最大拱顶沉降值约为 -42.3 mm。

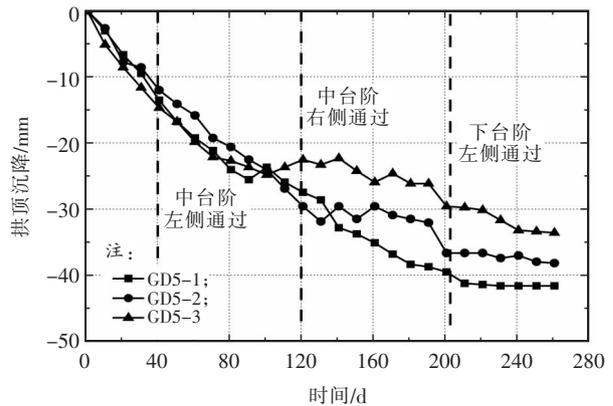


图 13 拱顶沉降时程曲线

### 4.6 净空收敛

净空收敛时程曲线如图 14 所示。净空收敛监测点同样在上台阶开挖出足够的空间时布设,在中台阶开挖时净空收敛变形趋势与拱顶沉降相似,变形速度

均较大,但是不同于拱顶沉降,在下台阶开挖阶段,净空收敛仍变形较快,下台阶通过之后,收敛逐渐趋于稳定,最大净空收敛值约为 $-53.2\text{ mm}$ 。

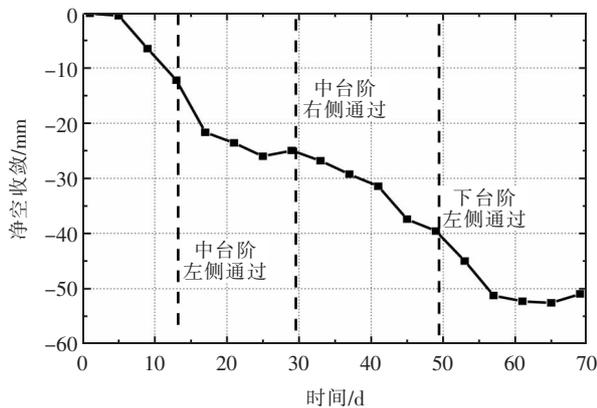


图14 净空收敛时程曲线

## 5 结论

本文通过介绍青岛硬岩地区华楼山路站的设计与施工,并通过现场实测的方法研究施工引起的变形特性,主要得出以下结论:

(1)因青岛地区硬岩地层特性,车站主体结构采用三台阶七步暗挖法施工,两端采用复合式岩石喷锚支护和吊脚桩支护方式进行明挖施工。

(2)复合式岩石喷锚支护段比吊脚桩支护段地表沉降小,基坑开挖初期地表沉降快速增大,开挖至地板位置趋于稳定,明挖段最大沉降量小于暗挖段最大沉降量。

(3)相同深度位置处,复合式岩石喷锚支护段比吊脚桩支护段锚杆内力小,吊脚桩深层水平位移呈“倒梯形”分布。

(4)暗挖隧道内,拱顶沉降和净空收敛主要发生在三个阶段,即上台阶和中台阶左右两侧开挖阶段,下台阶开挖时开始趋于缓慢稳定。

## 参考文献:

[1] PECK R. B. Deep Excavation and Tunneling in Soft Ground [C]//Proceedings of the 7th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Mexico:[s. n.], 1969:225-290.

- [2] CLOUGH G W, OROURKE T D. Construction Induced Movements of in Situ Walls [C]// ASCE Conference on Design and Performance of Earth Retaining Structures Special Publication No. 25. New York:[s. n.], 1990:439-470.
- [3] OU C Y, HSIEH P G, CHIOU D C. Characteristics of Ground Surface Settlement during Excavation [J]. Canadian Geotechnical Journal, 1993(5):758-767.
- [4] LONG M. Database for Retaining Wall and Ground Movements Due to Deep Excavations [J]. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, ASCE, 2001(33):203-224.
- [5] MOORMANN C. Analysis of Wall and Ground Movements Due to Deep Excavations in Soft Soil Based on a New Worldwide Database [J]. Soils and Foundations, 2004(1):87-98.
- [6] Zhong W. Wang, Charles W. W. Ng, and Guo B. Liu. Characteristics of Wall Deflections and Ground Surface Settlements in Shanghai [J]. Canadian Geotechnical Journal, 2005(5):1243-1254.
- [7] 孙钧, 侯学渊. 地下结构 [M]. 北京: 科学出版社, 1988.  
Sun Jun, Hou Xueyuan. Underground Structure [M]. Beijing: Science Press, 1988.
- [8] 魏纲. 盾构隧道施工引起的土体损失率取值及分布研究 [J]. 岩土工程学报, 2010(9):1354-1361.  
Wei Gang. Selection and Distribution of Ground Loss Ratio Induced by Shield Tunnel Construction [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2010(9):1354-1361.
- [9] 胡群芳, 黄宏伟. 盾构下穿越已运营隧道施工监测与技术分析 [J]. 岩土工程学报, 2006(1):42-47.  
Hu Qunfang, Huang Hongwei. Analysis and Monitoring on Shield Tunneling under Existing Adjacent Tunnel [J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2006(1):42-47.
- [10] 任建喜, 冯晓光, 刘慧, 等. 地铁车站深基坑围护结构变形规律监测研究 [J]. 铁道工程学报, 2009(3):89-92.  
Ren Jianxi, Feng Xiaoguang, Liu Hui, etc. Research on the Deformation Law of Supporting Structure for Deep Foundation Pit of Metro Station [J]. Journal of Railway Engineering Society, 2009(3):89-92.