

文章编号:1006-2106(2015)05-0081-05

## 浅埋大跨暗挖地铁车站施工地表沉降分析<sup>\*</sup>

杨会军<sup>1</sup> 孔 恒<sup>2\*\*</sup>

(1. 中铁六局集团有限公司, 北京 100036; 2. 北京市政建设集团有限责任公司, 北京 100045)

**摘要:**研究目的:针对浅埋大跨暗挖隧道地铁车站施工中,易产生地层的反复扰动、力学转换复杂等现象,引起地表过大沉降。本文主要介绍浅埋大跨暗挖地铁车站施工,通过对地表沉降的监控量测,分析变形规律,并对各种影响效应进行分析。

**研究结论:**通过研究得出以下结论:(1)车站主体施工引起的地表沉降累计沉降平均为-36.31 mm,应该对地表沉降的限值进行修正,达到施工对周边环境影响最小,同时降低工程成本;(2)车站主体施工引起的地表沉降槽为:以车站中线为中心,拐点距沉降槽中心18 m左右,车站中线20 m以外地表沉降开始迅速减小,沉降分布范围为车站中心左右两侧约25~30 m;(3)车站主体施工引起的地表沉降主要发生在小导洞开挖支护和扣拱施工阶段,其地表沉降分别占到总沉降的48.47%和93.03%,尤其是小导洞开挖支护阶段,对地表沉降的贡献接近总沉降的一半;(4)该研究成果可为类似浅埋大跨暗挖地铁工程的设计、施工提供借鉴。

**关键词:**浅埋暗挖;地表沉降;分析

**中图分类号:**U455 **文献标识码:**A

## Analysis of the Surface Subsidence during the Excavating of Large-span Subway Station under Shallow Cover

YANG Hui-jun<sup>1</sup>, KONG Heng<sup>2</sup>

(1. China Railway Sixth Group Co. Ltd, Beijing 100036, China; 2. Beijing Municipal Construction Co. Ltd, Beijing 100045, China)

**Abstract: Research purposes:** During the excavating of large-span subway station with shallow cover, the phenomenons such as repeated disturbance, complex mechanical conversion easily occur, which bring excessive surface subsidence. In the paper, the construction of tunnel arch excavation and support with shallow cover is introduced mainly, the analysis of deformation law, and influences of construction sequence are made on basis of monitoring and measurement for the surface subsidence.

**Research conclusions:** The research conclusions show: (1) The average value of surface subsidence is up to -36.31 mm, the limit of the surface settlement should be modified in order to decrease both negative effect on the surrounding environment and construction cost. (2) The ground surface settlement trough due to the construction is at the center of subway station, the distance between flex point and the center of subway station is about 18 m, meanwhile, the surface subsidence over 20 m from the center of subway station decreases rapidly, the distribution of the surface subsidence is 25~30 m from both sides of the subway station. (3) The surface subsidence due to construction of the subway station mainly occurs in a small pilot tunnel excavation supporting and buckle arch construction stage, 48.47% and 93.03% of the total settlement, especially during the course of a small pilot tunnel excavation supporting, which is close to half of the total settlement. (4) The result can provide the reference for design and construction of the similar engineering.

**Key words:** shallow-buried excavation; surface subsidence; analysis

\* 收稿日期:2015-01-06

\*\* 作者简介:杨会军,1969年出生,男,博士后,教授级高级工程师;孔恒,1965年出生,男,博士后,教授级高级工程师。

## 1 研究背景

浅埋暗挖法经历了试验创立阶段、技术改造与创新阶段、研发配套技术辅助施工阶段、完善技术方法并推广应用阶段。随着大量的工程实践和理论研究,浅埋暗挖法由原来只适用于第四纪地层、无水、地面无建筑物等简单条件,拓展到非第四纪地层、超浅埋、大跨度、上软下硬、高水位等复杂地层和环境条件下的地下工程。由于该方法能够及时调整和优化支护参数,提高了施工质量和速度,因此已成为地下工程建设中普遍采用的一种施工方法。其施工要点为“管超前、严注浆、短进尺、强支护、早封闭、勤量测。”本文结合北京地铁四号线宣武门车站暗挖施工,分析浅埋暗挖法的特征及其地表沉降规律,并对各种影响效应进行分析。

## 2 工程特征

### 2.1 工程概况

工程位于宣武门内、外大街与宣武门东、西大街交叉路口下,与既有环线宣武门站呈“十”字交叉;环线在上,四号线在下,两条线采用站厅-站台“十”字换乘方式。车站为两端双层中间单层岛式站台暗挖站。车站总长度 187.9 m,总宽度 22.9 m。

### 2.2 地质条件

车站双层断面拱部位于粉细砂层内,覆盖层为粉土填土、杂填土、粉土、粉质黏土、黏土、粉细砂;单层断面拱部位于粉土层内,与既有车站底板之间从上而下

为卵石圆砾层、粉质黏土层、粉土层;边墙穿越地层为砂层、卵石圆砾层、黏土层;底部位于含层间水的卵石圆砾层。地下水属层间水,含水层为卵石圆砾⑦层,中粗砂充填,渗透系数大,为强透水层,水位标高为 24.19 ~ 26.38 m,水位埋深为 20.50 ~ 24.30 m,地下层间水进入车站 4 m 左右,由于车站底板位于地下水位以下,对车站施工影响很大。

### 2.3 工程重难点

#### 2.3.1 车站埋深浅

宣武门车站上覆土层较浅(7.62 ~ 8.34 m), $H/D$  小于 0.4,为超浅埋隧道,造成工程施工难度相对较大,开挖时易坍塌,危及施工安全。

#### 2.3.2 周边环境复杂

车站地处繁华的商务、商业、办公区,从路口往南依次为越秀大饭店停车场、越秀大饭店、宣武门饭店、庄胜崇光百货等。横穿车站的地下构筑物主要有盖板河(其底板距车站双层断面顶部净距为 1.77 m)和既有环线车站(其底板与车站单层断面顶部净距为 1.9 m)。

施工范围内热力、电力、上水、下水、煤气、电信等各种地下管线 89 条,地下管线均位于车站主体上方,进行暗挖作业时,需采取措施控制沉降,保证拱顶以上地下管网的正常使用。

#### 2.3.3 群洞影响效应显著

车站采用 PBA 法施工,其小导洞之间的水平最小净距只有 2.6 m,比洞室的直径还要小,小导洞处在相邻导洞施工影响范围之内(如图 1 所示),所以在小导洞施工时,它们之间必有强烈的相互影响。

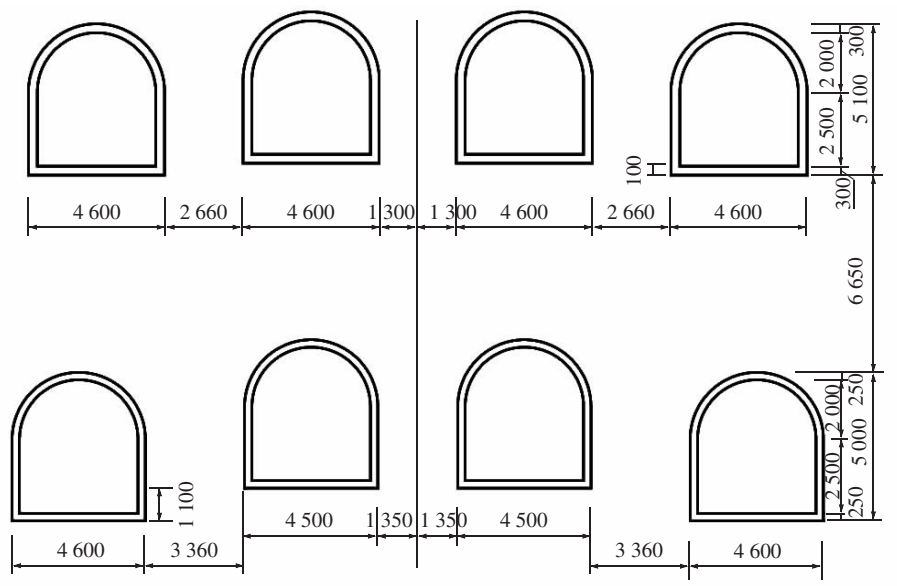


图 1 小导洞横断面图(单位:mm)

### 2.3.4 暗挖车站规模大、附属结构多、断面形式变化复杂

车站建筑总面积 14 238 m<sup>2</sup>。暗挖土方量达 100 443 m<sup>3</sup>。车站附属结构含 4 条出入口通道、2 条风道、4 条换乘通道、1 条残疾人通道、1 条安全出口及一个紧急出口。

车站主体两端为三跨双层连拱断面,中间为平顶直墙单层双洞断面;风道暗挖断面为单拱单跨双层断面;出入口、换乘通道暗挖断面为单拱单跨单层断面。

### 2.3.5 施工工法繁多

车站主体双层段采用柱洞(PBA)法施工,由于工序之间力学转换复杂,反复扰动地层,极易引起地表过大沉降;浅埋大跨风道、单层段、出入口等采用 CRD 法,其工序复杂,临时支撑多、拆除量大,直接影响工期。

## 3 车站主体施工

车站主体为双层三跨三连拱结构、八个施工导洞,采用 PBA 法施工。

### 3.1 主体结构设计参数

小导洞拱部超前支护:设  $\phi 121$  大管棚( $L=20$  m,  $\text{@ } 300$  mm) +  $\phi 32$  小导管( $L=2.5$  m,  $\text{@ } 300$  mm)超前支护,注浆加固地层。

小导洞拱部初期支护:格栅刚架(0.5 m/榀) + 双层网( $\phi 8.0 \text{ @ } 150 \times 150$ ) + C20 喷混凝土(300 mm、250 mm)联合支护。

主体拱部初期支护:格栅刚架(0.5 m/榀) + 双层网( $\phi 8.0 \text{ @ } 150 \times 150$ ) + C20 喷混凝土(300 mm)联合支护。

主体结构边墙:设  $\phi 800$  mm 钻孔灌注桩围护,间距 1.2 m;二衬为 C30S10 模筑防水钢筋混凝土;初支与二衬间设全包柔性防水层(2 mm 厚 ECB + 400 g/m<sup>2</sup> 无纺布);主体二衬采用纵梁体系,立柱采用 C50 $\phi 800$  钢管混凝土柱。

### 3.2 主体结构主要施工工序

车站主体的施工工艺流程如图 2 所示。

小导洞施工:施作大管棚,超前小导管预注浆加固地层,开挖导洞施工,初期支护。

边导洞钻孔桩、中导洞底纵梁施工:机械成孔施作柱桩,回填边桩外侧与导洞间的 C20 混凝土;在中导洞施作底板防水层,施作中间立柱下底纵梁、部分底板。

中洞钢管柱施工:施作钢管柱及顶纵梁、边桩上梁,预留钢筋接头。

主体拱部施工:超前小导管预注浆加固地层,开挖

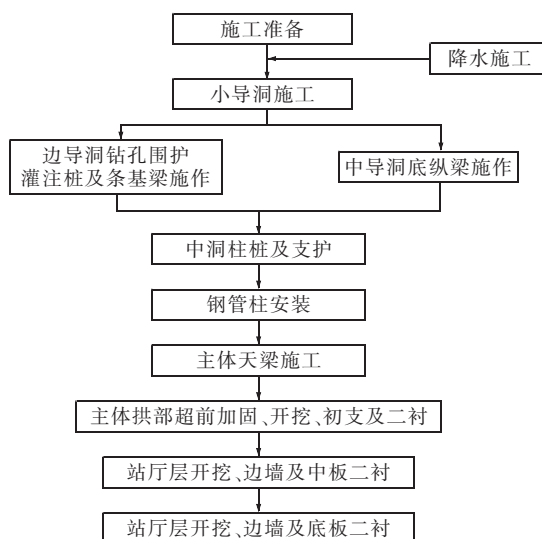


图2 车站主体施工工艺流程图

中跨、边跨拱部土体,施作初期支护。跳槽逐段拆除导洞边墙,铺设防水层,立模浇筑结构拱部,及时进行二衬背后注浆。

站厅层施工:待拱顶混凝土达到设计强度后,向下开挖至站厅层板底标高。铺设防水层,施工中层板及中纵梁土模,浇筑中层板、纵梁、内衬墙。

站台层施工:待中层板混凝土达到设计强度后,向下开挖至底板设计标高处,施作 C20 混凝土底板垫层、防水层、底板、内衬墙。

## 4 地表沉降规律

### 4.1 地表沉降监测

主要量测施工过程中地表的沉降规律,其测点布置如图 3 所示。

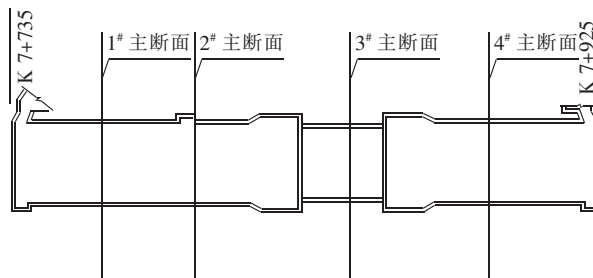


图3 主体结构地表测点布置图

### 4.2 监测成果

#### 4.2.1 车站主体

车站主体结构各分项工程施工地表沉降成果如图 4 ~ 图 6 所示。

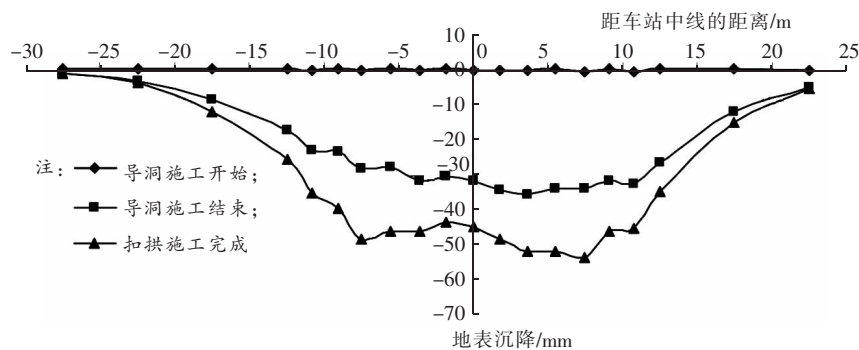


图 4 车站主体施工 1#主断面横向地表沉降曲线

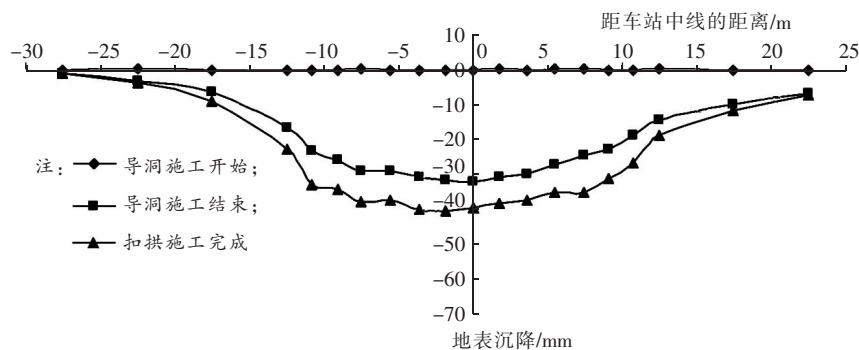


图 5 车站主体施工 2#主断面横向地表沉降曲线

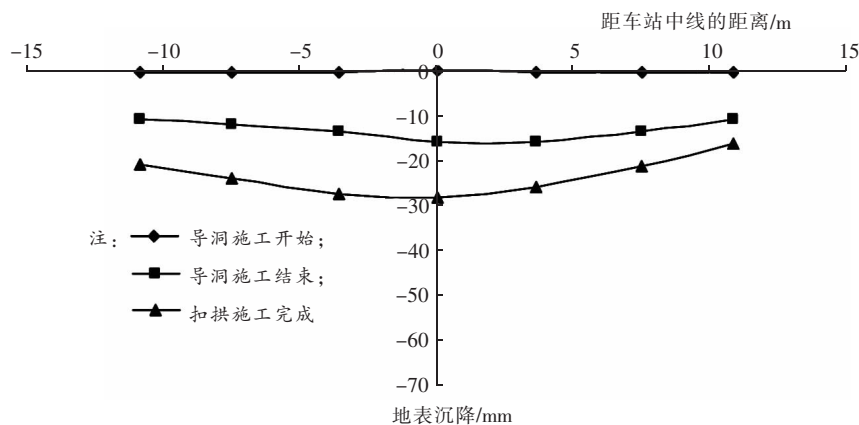


图 6 车站主体施工 4#主断面横向地表沉降曲线

4.2.2 施工效应对比分析

车站主体施工分项工程主要包括:小导洞开挖支护、扣拱施工、站厅层土体开挖、主体结构二衬施工等,

其他分项工程(如钢管柱施工、底纵梁、天梁施工等)对地表沉降影响较小,可不予细分考虑。沉降对比分析如表 1 所示。

表 1 车站主体结构分项工程施工地表沉降对比分析

主要工序	施工时间/d	地表沉降/mm		占总沉降比率/%	统计分析			
		最大值	平均值		超过 -30 mm 的数据数量	占总数据比率/%	超过 -40 mm 的数据数量	占总数据比率/%
小导洞开挖支护	89	-31.64	-17.60	48.47	2	2.13	0	0
扣拱施工	90	-49.15	-33.78	93.03	60	63.83	29	30.85
站厅层土体开挖	42	-49.94	-34.29	94.44	61	64.89	30	31.91
主体结构二衬施工	172	-51.92	-36.31	100	68	72.34	38	40.42

### 4.2.3 地表沉降规律分析

通过车站主体结构各分项工程施工地表沉降图4~图6及表1综合分析,可以得到地表沉降规律如下:

一是,车站主体施工引起的地表平均沉降达到 $-36.31\text{ mm}$ ,其中最大值达到了 $-51.92\text{ mm}$ 。

二是,车站主体施工引起的地表沉降主要发生在小导洞开挖支护和扣拱施工阶段,其地表沉降分别占到总沉降的48.47%和93.03%,尤其是小导洞开挖支护阶段,对地表沉降的贡献接近地表总沉降的一半,因此,对于多个小导洞(群洞)施工地表沉降的控制,以及群洞施工的优化研究非常重要。

三是,车站主体施工地表沉降与施工工期关系密切,开挖支护施工工期越长,地层应力释放越充分,变形越大,变形的时空效应越明显。突出时空效应对防塌的重要作用,加强在软弱地层的快速施工。

四是,车站主体结构施工地表平均沉降为 $-36.31\text{ mm}$ ,超过了目前常规确定的地表沉降限制在 $-30\sim+10\text{ mm}$ 的要求,而且,导洞开挖支护完成后,有2.13%的监测数据超过 $-30\text{ mm}$ ;扣拱施工结束时,有63.83%的监测数据超过 $-30\text{ mm}$ ,30.85%的监测数据超过 $-40\text{ mm}$ ;主体结构二衬施工完成后,有72.34%的监测数据超过 $-30\text{ mm}$ ,40.42%的监测数据超过 $-40\text{ mm}$ 。因此,应该对地表沉降的限值进行修正,达到施工对周边环境影响最小,同时降低工程成本。

## 5 结论

北京地铁四号线宣武门车站工程经过施工技术人员精心设计、精心组织,严格管理、严格工艺、严格纪律,依据八字方针施工,通过大量监测分析,周边环境处于安全状态。通过研究得出以下结论:

(1)车站主体施工引起的地表沉降累计沉降平均为 $-36.31\text{ mm}$ ,应该对地表沉降的限值进行修正,达到施工对周边环境影响最小,同时降低工程成本。

(2)车站主体施工引起的地表沉降槽为:以车站

中线为中心,拐点距沉降槽中心 $18\text{ m}$ 左右,车站中线 $20\text{ m}$ 以外地表沉降开始迅速减小。沉降分布范围为车站中心左右两侧约 $25\sim30\text{ m}$ 。

(3)车站主体施工引起的地表沉降主要发生在小导洞开挖支护和扣拱施工阶段,其地表沉降分别占到总沉降的48.47%和93.03%,尤其是小导洞开挖支护阶段,对地表沉降的贡献接近地表总沉降的一半。

(4)各种变形控制指标均在控制标准范围内,结构是安全的。

## 参考文献:

- [1] 王梦恕. 地下工程浅埋暗挖技术通论[M]. 合肥:安徽教育出版社,2005.  
Wang Mengshu. Construction Method of Undercutting under Shallow Overburden for Underground Works [M]. Hefei: Anhui Education Press,2005.
  - [2] 王梦恕,洪开荣,干昆荣,等. 中国隧道及地下工程修建技术[M]. 北京:人民交通出版社,2010.  
Wang Mengshu, Hong Kairong, Gan Kunrong, etc. Tunnelling and Underground Engineering Technology in China [M]. Beijing: China Communications Press, 2010.
  - [3] 杨会军,刁天祥,王志刚,等. 大跨浅埋暗挖地铁车站超近距下穿运营地铁车站施工技术研究报告[R]. 洛阳:中铁隧道集团有限公司,2008.  
Yang Huijun, Diao Tianxiang, Wang Zhigang, etc. The Construction Technology Research of Large - span Underground Excavation under Shallow Cover Method Building Metro Station under the Running Metro Station with Extremely Near Distance [R]. Luoyang: China Railway Tunnel Group,2008.
  - [4] 杨会军. 浅埋暗挖大跨隧道施工环境影响分析[J]. 铁道工程学报,2010(5):43-47.  
Yang Huijun. Analysis of Construction of Shallow Large - span Tunnels on Environment with Surface Excavation Method [J]. Journal of Railway Engineering Society,2010(5):43-47.
  - [5] 路基工程,2013(2):174-177.  
Yang Weiwei. Application of Continuous Compact Control Technology in Filling of Railway Subgrade [J]. Subgrade Engineering,2013(2):174-177.
  - [5] 范小彬,马伟,杜发荣,等. 连续压实控制技术及其在振动压路机上的应用[J]. 筑路机械与施工机械化,2003(5):39-41.  
Fan Xiaobin, Ma Wei, Du Farong, etc. Application of Continuous Compact Control Technology and Compaction Meter on Vibrating Roller [J]. Road Machinery & Construction Mechanization, 2003 (5): 39-41.
- (上接第64页 From P. 64)
- She Jian, He Chuan. Study on the Analytical Design of Tunnel Disease Treatment [J]. West - China Exploration Engineering, 2014(7):100-103.
- [3] 李杰. 混凝土随机损伤本构关系研究新进展[J]. 东南大学学报(自然科学版),2002(5):750-755.  
Li Jie. Recent Research Progress on the Stochastic Damage Constitutional Law of Concret [J]. Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2002 (5):750-755.
- [4] 杨维威. 铁路路基填筑中的连续压实控制技术应用[J].