网络出版时间:2014-06-16 16:25 网络出版地址:http://www.cnki.net/kems/doi/10.13319/j.cnki.siztddxxbzrb.2014.02.12.html 第 27 卷 第 2 期 石 系 圧铁道大学学报(自然科学版) Vol. 27 No.2

2014 年 06 月 JOURNAL OF SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY (NATURAL SCIENCE) Jun. 2014

# 北京地铁七号线达官营站洞桩法开挖数值模拟研究

张文锦

(中铁建中非建设有限公司,北京 100855)

摘要:应用 FLAC3D 软件,对静力作用下达官营站洞桩法开挖过程进行了数值模拟,研究了 洞桩法施工各个阶段的地表沉降、桥基变形、管线变形、车站结构受力等。研究表明:洞桩法施 工中,2<sup>#</sup>桥基及各个管线的最大沉降量都超过了限值,应在施工过程中加强监测并采取控制措 施。中柱作为结构的主要受力构件,承受较大竖向荷载、剪切荷载的双重作用,是结构的最不利 位置,因此在施工中应重点监测,及时采取相应的加强措施,确保施工安全。

关键词:地铁车站;洞桩法;FLAC3D;沉降;稳定性

中图分类号:U231.4 文献标志码: A 文章编号: 2095-0373(2014)02-0055-06

地铁暗挖车站几乎都是大断面的开挖,施工难度大,施工过程中产生的过大地表沉降和变形会对地 面建筑物以及地下管线的安全造成巨大威胁<sup>[14]</sup>,因此必须进行研究。暗挖车站常采用受力合理,沉降控 制较好的洞桩法(PBA法)施工,洞桩法又称"洞、桩、墙"暗挖逆作法,该法吸取了盖挖法和暗挖法的优 势,利用小导洞和钻孔桩技术对地层不产生大的扰动的前提下,先进行小导洞的开挖,进而形成梁、柱纵 向支撑体系,最后完成扣拱,从而全面形成纵横向框架空间支撑体系,然后在此支撑体系保护下进行站厅 层和站台层的开挖。

洞桩法已在北京多个地铁车站工程中应用,有效地降低了暗挖引起的地表沉降量。部分学者和工程 技术人员对此也进行了相关研究,如杜彬等<sup>[5]</sup>以北京地铁国贸站工程为背景,分析了大跨度分离式地铁 车站采用洞桩法施工对周围地层及邻近桩基的影响。瞿万波等<sup>[6]</sup>以洞桩法施工的北京地铁 10 号线工体 北路站大断面群洞交叉隧道为工程背景,采用三维有限元数值模拟方法对其初衬结构力学行为进行研 究。王霆等<sup>[7]</sup>以北京地铁 10 号线黄庄站工程为背景,对洞桩法施工对地层和刚性接头管线的影响进行 了分析研究。袁扬等<sup>[8]</sup>对洞桩法施工地铁车站导洞开挖方案进行了优化分析。这些应用和研究充分证 明洞桩法在松散软弱土层中进行浅埋大断面洞室开挖的优越性。然而,由于不同工程的特殊性,对于复 杂的地铁车站仍必须进行具体分析。

### 1 工程简介

北京地铁7号线达官营站位于三里河南延路和广安门外大街交叉路口以东,沿广安门外大街东西向 布置,车站中心里程 K2 + 105.000。车站为地下二层三跨岛式站台车站,地下一层为站厅层,地下二层为 站台层。车站共设两组风道,4个出入口及1个消防出入口等附属结构,总建筑面积16 493 m<sup>2</sup>(不含地面 建筑面积)。其中车站主体结构长 235.80 m,宽约 23.75 m,顶板标高 35.826 m,覆土厚度 9.17 m,底板标 高 20.776 m,埋深约为 24 m。

地铁7号线达官营站所处场地土层按地层沉积年代、成因类型由上到下依次划分为为人工堆积层 (杂填土、粉土填土)、新近沉积层(粉细砂、圆砾)、第四纪晚更新世冲洪积层(卵石、粉细砂、强风化砾 岩),下第三系沉积四大层(见图1)。由于车站所处位置近3~5 a 潜水水位标高为22.55 m,车站底部标 高为22.624 m,车站主体位于潜水水位以上,且开挖前已将水位降低至车站底板以下1 m,车站施工处于 无水作业状况,因此不考虑地下水的影响。



图1 天桥、管线与达官营车站位置图(单位:mm)

达官营车站里程 K2 + 44.400 正上方还有人行天桥, 天桥主梁宽 5.0 m, 转弯处宽 3.0 m, 桥梯全宽 2.5 m, 桥下净空 4.8 m。全桥平面呈"工"字形, 南北两桥主跨为 27.0 m, 副跨均为 10.75 m。车站开挖面 以上管线众多,其中截面为 Φ1 600 × 1 800 mm 的电力方沟, Φ800 mm 自来水管和 Φ1 600 mm 雨水管离车 站距离较近, 天桥、管线与达官营车站位置及尺寸如图 1 所示。

车站采用暗挖法施工,由于车站所处位置地层条件复杂,管线众多,且近距离下穿人行天桥,工程施 工难度大,为了保证施工安全及城市道路等的正常运行,对洞桩法开挖引起的稳定性问题进行研究,为工 程的顺利实施提供依据。

### 2 达官营站洞桩法开挖模拟研究

#### 2.1 几何模型及边界条件

模型尺寸的确定原则:在保证计算结果准确性的前提下,减少计算单元,加快计算进度。由于车站所 处土层分层较为均匀,无大的破碎带与断层,且车站在纵向长度范围内尺寸未发生变化,可以考虑为平面 应变问题。因此,截取车站里程 K2 +14.400 至 K2 +60.900 的纵向长度 46.5 m 为厚度(大概为车站长度 的 1/5);根据一般模拟经验,隧道建模尺寸每边应为巷道尺寸的 3~5 倍,可消除边界影响,因此横向长度 取 82.8 m(为上(或下)小导洞组直径的 3 倍);高度取 50 m (约 2 倍车站底板到地面的距离),建立几何 模型如图 2 所示。桥柱从左至右分别为 1 "桥柱,2"桥柱,3 "桥柱,4"桥柱,天桥桥柱截面尺寸为 1.0 m × 0.5 m,高度为分别为 2.5 m,4.8 m,4.8 m,2.5 m,计算得出施加于桥柱的压应力分别为 408.86 kPa,1 675.14 kPa,1 675.14 kPa,408.86 kPa。车站结构见图 3,采用 AutoCAD-Ansys-Flac3D 的建模手段来进行 PBA 复 杂开挖工法的开挖模拟,通过对不同土层、结构进行分组的形式来控制诸如开挖回填、施做衬砌等模拟。 土体开挖和结构的破除采用空模型(null)来实现,回填采用为空模型赋新参数来模拟移除开挖掉的材料。 采用实体单元模拟格栅钢架、网喷混凝土、模筑混凝土等支护结构。

模型边界条件:侧面和底面均为位移边界,侧面限制水平移动,底部限制垂直移动,上边界为自由面。

### 2.2 岩土体及支护材料参数

根据土工试验结果,各土层的物理力学参数见表1,工程材料的物理力学参数见表2,管线除电力方沟 为砖砌结构外,都为混凝土结构,管线单元的物理力学参数见表3<sup>[9]</sup>。超前小导管加固采用注入水玻璃与



图 2 数值计算几何模型(单位:m)

图 3 车站结构模型图

0.1727

0.00

0.1727

稀硫酸混合浆液预加固措施以提高围岩的稳定性,计算采用等效方法,在模拟计算时依据经验将围岩参数中的 *B*、*K*、*c*、Φ值提高 50%<sup>[9]</sup>。数值模拟中本构模型采用 Mohr-Coulomb 模型。

	/+	厚度/	密度/	弹性模量	计上述 自松	体积植	莫量 舅	剪切模量	内摩擦	粘聚	静	止侧
11±		m	$(\text{kg} \cdot \text{m}^{-3})$	) E/MPa 比M		K/MPa		G/MPa	角/(°)	力/kPa	压力系数	
杂填土		1.20	1 600	17	0.33	16.0	57	6.39	10.00	0.00	0	. 43
粉土填	£	4.30	1 650	23	0.30	19.	17	8.85	10.00	10.00	0	. 41
圆砾		3.50	2 120	47	0.25	31.	33	18.80	42.00	0.50	0	. 33
圆砾、卵	石	6.00	2 150	60	0.24	38.4	16	24.19	45.00	0.50	0	. 30
卵石		13.25	2 150	75	0.23	46.3	30	30.49	48.00	0.80	0	. 28
强风化油	泥岩	1.20	1 880	90	0.28	68.	18	35.16	29.00	2.00	0	. 51
强风化	砾岩	20.55	2 100	105	0.25	70.0	00	42.00	35.00	3.00	0	. 28
超前小	导管加固区	—	_<	105	0.22	62.5	50	43.03	30.00	60.00	-	
表 2 工程材料的物理力学参数												
		て和社			混凝土	土 密度/		弹性模量	泊松	体积模量	<b></b> 重 剪	切模量
		上	14	>	强度等级 (kg・		• m <sup>-3</sup> )	E/GPa	比μ	K/MPa	a (	G/MPa
初衬					C25		2 500	29.72	0.22	17.69	)	12.18
混凝土条基、边柱、桩顶冠梁、底纵梁、中楼板、桥柱 C30 2 500 31.69 0.22 18.86									12.99			
中柱、二衬					C40		2 500	34.18	0.22	20.35	5	14.01
回填混	凝土				C20		2 100	25.50	0.20	14.81		10.20
表 3 管线单元物理力学参数												
	管线种类			密度/	弹性模量	泊松	横截	梁轴	梁轴极惯性矩/m <sup>4</sup>		极惯	-
				• m <sup>-3</sup> )	<i>E</i> /GPa	比μ	面积/m	<sup>2</sup> y轴	z 轴		性矩	_
	Φ 800 mm 雨水管			400	30	0.20	0.16	0.010	8 0.010 8		0.00	
	1 600 ×1 800 电方沟			400	30	0.20	0.90	0.406	4 0.	. 326 9	0.00	
Φ 800 mm 上水管			2	2 400		0.20	0.16	0.010	8 0.	. 010 8	0.00	
	Φ 800 mm	污水管	2	400	30	0.20	0.16	0.010	8 0	010.8	0 00	

#### 表1 各土层物理力学参数表

### 2.3 开挖过程模拟分析

Φ1 600 mm 雨水管

洞桩法施工开挖步骤如图 4 所示。开挖完成后,车站结构竖直方向沉降量等值线见图 5。从图 5 中可以看出,沉降量的增加源自于车站周围的土体变形,而车站二衬结构变形很小。

0.20

0.64

30

2 400

在数值模拟中对模型中心 DB-03 位置处(图2)地表沉降值进行监测,获取地表沉降曲线如图6 所示。 从图6 中可知车站 PBA 工法各阶段施工引起的监测点 DB-03 点地表沉降值。可以看出,PBA 工法 造成的地表沉降量主要集中在小导洞开挖和车站上部大导洞开挖阶段,两阶段沉降分别占总沉降量的 64.7%和32.03%;其余阶段由于形成墙、柱、梁纵横向支撑体系,引起的沉降量很小;静力平衡阶段,车站 二衬结构施工完成,在地应力作用下地表沉降出现部分回弹。



#### 图 5 车站结构竖直方向沉降量等值线图

图 6 DB-03 地表沉降量曲线图

车站开挖完成后,根据数值模拟中所获取的地表各个监测点的最终沉降量绘制的沉降槽曲线如图 7 所示。

从图 7 中可以看出, 地表沉降基本符合高斯公式, 且最大沉降量小于 30 mm, 符合监测控制标准。数 值模拟开挖中, 桥基及管线变形如图 8 和图 9 所示。

由图 8 和图 9 可见,桥基最大沉降分别为:1<sup>\*</sup>桥基 3.23 mm,2<sup>\*</sup>桥基 28.49 mm,3<sup>\*</sup>桥基 5.21 mm,4<sup>\*</sup>桥 基 2.05 mm,2<sup>\*</sup>桥基沉降量值超过限值且差异沉降超过 6%,因此应采取加强措施。管线最大沉降量出现 在车站大导洞开挖阶段,分别为:Φ800 雨水管 21.77 mm,1 600 mm ×1 800 mm 电力方沟 30.84 mm,Φ800 污水管 1 为 30.91 mm, Φ800 污水管 2 为 28.23 mm, Φ1 600 雨水管 18.51 mm。根据《达官营站监控量测控制标准施工方案》, 管线的控制 沉降为 20 mm, 斜率控制为 3‰, 显然其中各个管线的沉降值均偏大, 但 满足斜率控制要求, 因此, 应在后续施工中加强监测和控制, 避免管线因 不均匀沉降差过大, 造成剪切应力增大而导致管线的破坏。

洞桩法施做完成后中柱所受压应力最大,中柱下端条基处和中柱上 部端处所受拉应力最大。因此应在这些部位进行加强。

### 3 结论

采用数值模拟方法研究了洞桩法车站施工对地表、桥基、管线,结构 等的影响,得到以下结论:



#### 图8 桥基变形曲线图

#### 图9 管线变形曲线图

(1)洞桩法开挖过程中,2\*桥基及各个管线的最大沉降量超过限值,应在施工过程中加强监测。

(2)地表沉降方面,车站进站小导洞开挖阶段造成地表沉降约占总沉降量的 64.7%,是 PBA 洞桩法施工中造成沉降量最大的阶段;柱、梁体系形成造成的沉降约占总沉降量的 1.47%,车站大导洞开挖约占 33%。因此,应加强对车站进站小导洞开挖阶段沉降量的控制。车站的地表最大沉降量位于车站模型中 心处,地表沉降槽曲线基本符合高斯公式。

(3)洞桩法开挖过程中,车站结构应力分布较为均匀,局部出现应力集中现象。中柱作为结构的主要 受力构件,承受较大竖向荷载、剪切荷载的双重作用,是结构的最不利位置,应进行重点监测,并采取相应 的加强措施,确保施工安全。

### 参考文献

- [1]吴波,高波.地铁区间隧道施工对邻近管线影响的三维数值模拟[J]. 岩石力学与工程学报,2002,21(增1):2451-2457.
- [2]刘维宁, 张弥, 邝明. 城市地下工程环境影响的控制理论及其应用[J]. 土木工程学报, 1997, 30(5): 66-75.
- [3] TAN Wenhui, SUN Hongbao, LI Runjun. Stability analysis on rectangular transition section tunneling in beiwan horsehead region of No. 7 subway[J]. Advanced Materials Research: Trends in Civil Engineering, 2012, (446-449):2224-2228.
- [4]李怀鉴,张桂扬. 大断面连拱隧道暗挖工法数值模拟研究[J]. 石家庄铁道大学学报:自然科学版, 2013, 26(2): 51-56.
- [5]杜彬,谭忠盛,王梦恕.地铁车站洞桩法施工对地层及邻近桩基的影响规律[J].北京交通大学学报:自然科学版,2008, 32(3):30-36.
- [6] 瞿万波,刘新荣,傅晏,等.洞桩法大断面群洞交叉隧道初衬数值模拟[J]. 岩土力学,2009(9):2799-2804.
- [7]王霆,罗富荣,刘维宁,等. 地铁车站洞桩法施工对地层和刚性接头管线的影响[J]. 岩土力学,2011(8):2533-2538.
- [8] 袁扬, 刘维宁, 丁德云, 等. 洞桩法施工地铁车站导洞开挖方案优化分析[J]. 地下空间与工程学报, 2011, 12( 增刊

40

沉降量

距车站中心点距离/m

20

-20 0

0.005

0.010

.015

0.020

0.025

-0.030

图 7 地表沉降槽曲线图

沉降量/m

-40

2): 1692-1696.

[9]孙宏宝. 地铁达官营站洞桩法开挖稳定性分析及地震作用下结构响应研究[D]. 北京:北京科技大学,2012.

## Simulation Investigation on Numerical Value of Hole- stake Excavation in Daguanying Station of Beijing Subway Line 7

#### **Zhang Wenjin**

(CRCC China- africa Construction Limited, Beijing 100855, China)

Abstract: The thesis simulates the excavation process of Daguanying Station under the statics function, studying the sedimentation of earth's surface, the distortion of bridge groundwork, pipe and circuitry, and the structure stress of station of all the construction stages. The study shows that the most sedimentation of No. 2 bridge groundwork and each pipe and circuitry exceeds the limit value, and it is necessary to strengthen inspection and adopt control measure in construction. The middle stake must also be inspected and controlled carefully because it is the main stress structure which supports the vertical and shear loading and is at the worst position.

Key words: subway station; hole- stake excavation; FLAC3D; sedimentation; stability

**考**文 献

[1] 钱家欢, 殷宗泽. 土工数值分析 [M]. 北京: 中国铁道出版社, 1991.

[2]中华人民共和国住房和城乡建设部.GB5003—2011 砌体结构设计规范[S].北京:中国建筑工业出版社,2012.

[3]朱永全,张素敏,景诗庭. 隧道稳定性位移判别的概念和划分[J]. 河北省科学院学报, 1996, 13(3): 208-210.

### Safety Analysis of Sewage Pipe Under Nearby New Subway

#### Wang Qinglei, Li Wenjiang, Sun Hongshuo, Liu Yang

(School of Civil Engineering, Shijiazhuang Tiedao University, Shijiazhuangi 050043, China)

Abstract: Metro Line 1 from City Hostel to North Mall in Shijiazhuang has two lanes, the top of which is close to a sewage pipe that has been used for 60 years. There is a small angle between the sewage pipe and the tunnel. The section size of tunnel segment  $k10 + 928.290 \sim k10 + 943.59$  near a metro station is larger and there is only about 6.8 meters from the base plate of the sewage pipe to the top of the left tunnel. The sewage pipe in this section maybe face risk during tunnel excavation and tunnel excavation will also face stability risk because of possible seepage. This paper mainly analyzes the horizontal and vertical stress distribution of base plate, side wall and arch of the sewage. Through the analysis of the longitudinal uneven settlement and vertical stress distribution, this paper discusses the failure mechanism of the existing sewage during tunnel excavation. On this basis, this paper introduces improved forepoling proposals in view of the engineering characteristics, which may be of reference value for other tunnel construction in the city.

Key words: newly built subways; sewer existing; safety

(责任编辑 车轩玉)

(责任编辑

车轩玉)