

北京地铁天安门西站“暗挖逆筑法”施工技术

Construction technology of “tunneling and top-down method” at west Tian'anmen station in metro of Beijing

罗富荣, 国斌

(铁道部隧道工程局, 河南 洛阳 471009)

摘要: 介绍了北京地铁天安门西站工程采用的“暗挖逆筑法”施工技术, 分析了施工中实测的地表沉降、围岩压力和支持结构内力。“暗挖逆筑法”在暗挖条件下进行逆筑施工, 有机地结合了“逆筑法”和“浅埋暗挖法”, 具有经济、安全、施工速度快等特点, 能较好地适用城市繁华地区大型地下工程的施工。

关键词: 浅埋暗挖法; 逆筑法; 监控量测; 地铁

中图分类号: TU 94

文献标识码: A

文章编号: 1000-4548(2001)01-0075-04

作者简介: 罗富荣, 男, 1968年生, 高级工程师。1989年毕业于西南交通大学, 主要从事隧道及地下工程施工和结构分析工作。

LUO Fu-rong, GUO Bin

(Tunnel Engineering Bureau, Ministry of Railways, Luoyang 471009, China)

Abstract: The construction method of “tunneling and top-down method” at west Tian'anmen station in metro of Beijing is introduced, and the measured settlement of ground surface, the measured pressure of surrounding rock and the internal force of strut are analyzed. This method, which combines “top-down method” and “shallow tunneling method”, possesses the advantages, such as economization, safety and rapid construction, ect, and it can be applied to large underground engineering in the flourishing area of city.

Key words: shallow tunneling method; top-down method; monitoring measurement; metro

1 工程概况*

采用“暗挖逆筑法”施工的北京地铁天安门西站全长 226.10 m、宽 22.20 m、高 13.15 m, 车站上覆土层厚度约 6.0 m^[1], 主体采用三拱两柱拱形框架结构型式, 是地铁复八线上的一座大型地铁车站。

1.1 工程环境

天安门西站位于人民大会堂西侧路和石碑胡同之间的长安街下, 车站纵向中心线与长安街规划道路中心线重合, 地理位置十分重要。另外车站站址范围内还有七条市政管线与车站垂直相交, 特别是热力管线距车站拱顶仅 0.8 m。

1.2 工程地质

车站位于永定河冲、洪积扇的脊部地带, 第四系地层总厚度达 80 m; 本站工程区域自上而下依次为杂(素)填土、亚粘土、中(粗)砂、圆砾土、亚粘土和中砂, 车站主要穿越亚粘土和砂砾石地层。其中亚粘土层皆为硬可塑状, 自稳较好, 砂砾石层胶结虽弱但密实度较好。

本区域地层蕴藏着上层滞水、潜水和承压水三种类型的地下水, 其水位状况如图 1 所示。其中车站下部的亚粘土层处于两层含水层之间, 呈饱和状态, 渗透系数 $k = 0.075 \text{ m/d}$, 为相对隔水层; 砂砾石层渗透系数为 $k = 120 \sim 200 \text{ m/d}$ 。

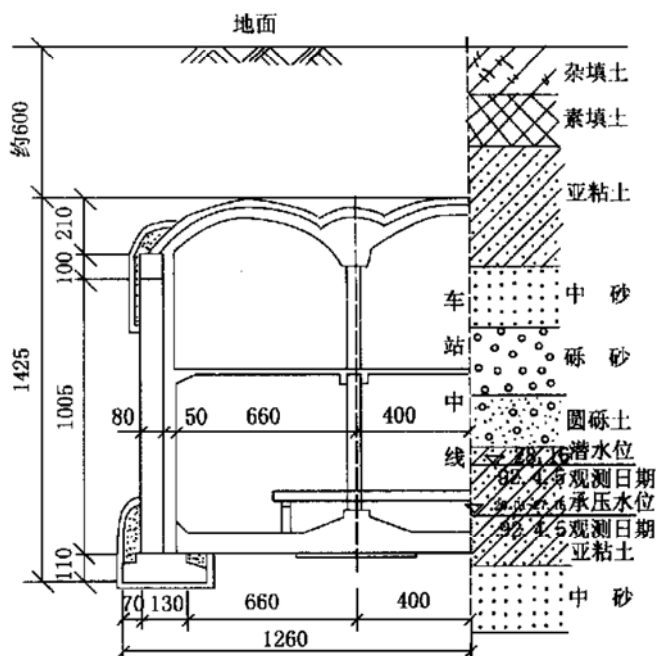


图 1 车站横断面及地质剖面图(单位: cm)

Fig. 1 Section of the structure and the geological profile(unit: cm)

1.3 工程施工特点

概括起来, 采用“暗挖逆筑法”施工的北京地铁天安门西站具有以下特点:

(1) 地理位置特别重要 从上述工程环境可知: 地

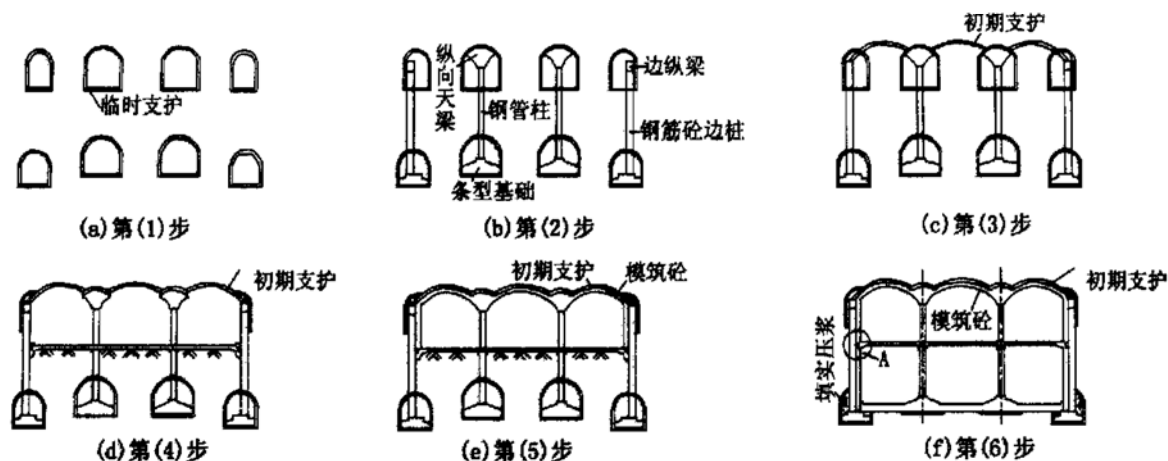


图2 主要施工步骤图

Fig. 2 The main steps of construction

铁天安门西站地处祖国首都的核心地段,在此组织施工有来自各方面的严格要求。

(2) 施工方法新颖独特 北京地铁天安门西站通过结合“暗挖法”和“逆筑法”的工法特点,形成了“暗挖逆筑法”施工技术。

(3) 工程技术标准高、施工难度大 由特殊的工程环境所决定,地铁天安门西站的高技术标准表现在工程施工的各个方面,如严格的地表沉降控制、高等级的车站防水标准等等。施工技术难度主要表现在以下几个方面:①特殊环境下应用新方法而导致工程风险的增大。②施工过程中重要管线的正常运营及安全控制。③浅埋、大跨、软弱地层及动载作用条件下复杂结构受力的安全转换和施工过程中的地层稳定。

2 工程施工技术

2.1 施工方案

北京地铁天安门西站确定采用“暗挖逆筑法”主要考虑了以下因素:

(1) 车站站位范围内的路面相对狭窄,无明挖或盖挖的交通疏导条件。

(2) 车站站位范围内管线复杂,改移难度大。

(3) 经各种方案的比选及论证,“暗挖逆筑法”施工具有安全稳妥、便于沉降控制等优点,较适合于天安门地区这一特殊的工程环境。

“暗挖逆筑法”施工步骤示于图2,主要包括:

(1) 开挖上、下八条导洞,施作网喷混凝土临时支护结构;

(2) 浇筑下部导洞内的条形基础,在导洞内从上往下进行人工挖孔,浇筑边桩、安装钢管柱,浇筑边桩和钢管柱上的边纵梁、纵向天梁;

(3) 开挖柱间上部土体,施作拱部初期支护;

(4) 拆除导洞临时支护结构,采用地模技术施作车站中层板;

(5) 浇筑站厅层混凝土;

(6) 开挖下部土体,浇筑站台层混凝土,注浆充填结构外空隙。

2.2 主要施工技术简介

(1) 施工降水

从前述的工程地质可知:施工降水的目的主要是疏干车站上部砂砾石地层的滞水、降低车站下部砂砾石地层的承压水。根据工程环境及水文地质特点,施工时采用了双外排(即车站两侧外缘)布置的管井井点。

(2) 土质地层条件下的“群洞效应”

从上述的施工方案可知,“暗挖逆筑法”存在着一个在较窄空间内挖掘八条导洞的施工阶段,且导洞间土层净距较小(2.65~3.30 m)。

导洞施工采用了相对成熟的“浅埋暗挖法”,在施工过程中则严格遵循了“管超前、严注浆、短开挖、强支护、快封闭、勤量测”的施工原则,尽力减少洞间的相互扰动,控制导洞施工阶段的地层沉降,为下道工序创造良好的施工条件。

(3) 洞内条形基础、边纵梁及纵向天梁的浇筑

洞内条形基础、边纵梁及纵向天梁既是“暗挖逆筑法”的主要工序也是“暗挖逆筑法”的创新点之一。对条形基础主要涉及预留钢筋的连接问题,施工时对先行施作的条形基础和结构底板的钢筋连接分别采用一端冷挤压、一端直螺纹连接的钢筋接头型式。对边纵梁及纵向天梁,特别是纵向天梁主要涉及困难条件下(指作业空间狭小、钢筋密集)的灌注密实问题,施工时主要采用了顶部纵向拖管、分段后退灌注、顶部设置观察管及分段注浆等施工措施。

(4) 钢管柱洞内吊装定位

天安门西站的中柱全部采用钢筋混凝土组合柱,

施工时,钢管柱全部在上导洞内分节吊装、法兰连接及整体定位。

(5) 中柱的安全稳定

“暗挖逆筑法”施工过程中,中柱受力始终处于不断的调整之中,特别是由边跨拱部和中跨拱部传来的不平衡推力将对中柱的安全稳定产生极为不利的影响。施工过程中,除对中柱的受力和变形进行了严密的监控量测外,主要在拱柱连接处设置了可调的对拉锚杆,以随时调整钢管柱上端所承受的不平衡推力。

(6) “管线段”施工技术

“管线段”施工技术主要包括两个方面,一是对管线自身进行加固处理,另外就是针对“管线段”采取一些辅助施工措施。辅助施工措施主要用于控制地层的变形,如超前加固注浆、增设锁脚锚管、进行回填注浆和加强支护结构等。

(7) “暗挖逆筑”结构的安全稳定

“暗挖逆筑”主要是指上部初期支护完成以后,从上往下施作模筑混凝土的施工阶段。“暗挖逆筑”结构的安全稳定包括上部模筑混凝土悬吊结构的安全稳定和开挖至底板、边桩处于无入土嵌固深度时悬臂边桩的安全稳定。

对上部模筑混凝土悬吊结构的安全稳定主要采用分段施工和设置边桩牛腿(见图2(f)、图3)共同承载的方式加以解决。对悬臂边桩的安全稳定除采用分段施工外,还采用了条形基础间设置横梁、基底注浆加固等辅助措施。

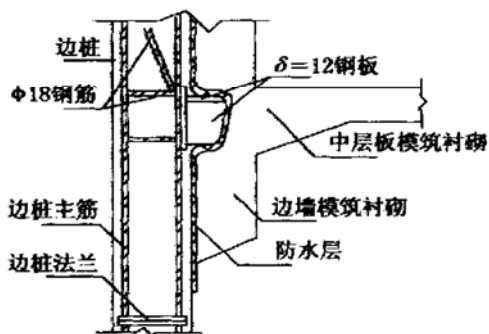


图3 边桩牛腿(A节点)结构示意图

Fig. 3 Supporting structure of the edge piles (joint A)

3 数值分析与监控量测

“暗挖逆筑法”系一种新的施工方法,不可避免地会存在着诸多的不完善(如设计上的缺陷、施工经验上的不足等),因此施工前作了系统的数值分析,施工过程中进行了严密的监控量测。

下面就地表沉降、围岩压力和钢管柱受力等几方面的数值分析和监控量测结果作简要说明。

3.1 地表沉降

依据下导洞、上导洞、两边拱开挖和中拱开挖及结构封闭几个主要施工程序,数值分析及实测地表沉降可示于图4及表1^[2]。

根据上述结果,地表沉降分析要点可归纳如下:

(1) 下导洞施工引起地表沉降较大,约占“暗挖逆筑法”施工总沉降的50%。产生上述现象的原因主要包括:下导洞中洞开挖跨度较大(4.5 m)、下导洞各单洞施工引起较大的地表沉降槽宽度及因沉降叠加而导致较大的沉降增值(45%)。

(2) 大跨施工时,虽然开挖跨度较大(5.28 m),且结构扁平,但该阶段实测地表沉降增值仅为6 mm。“浅埋暗挖法”施工产生的地表沉降一般可分解为开挖后支护前存在的地层损失、支护结构受力变形、支护结构整体下沉(若采用台阶法施工,则上半断面支护结构的整体下沉尤为严重)和基础压缩沉降几个方面。根据大跨开挖时的施工情况可知,大跨施工引起地表沉降主要是开挖后支护前的地层损失所致,而支护结构受力变形、支护结构整体下沉和基础压缩沉降引起的地表沉降很小。

(3) 因砂砾石地层为主要降水层,故由降水引起的地表沉降较小,实测值为2~3 mm。

表1 实测地表沉降汇总表(单位:mm)

Table 1 Measured settlement at ground surface

施工步骤	下导	上导	大跨	结构封闭
单洞(跨)	11	7	4	
群洞叠加	9	3	2	
增值比例	45%	30%	33.3%	
累计沉降	20	10	6	3

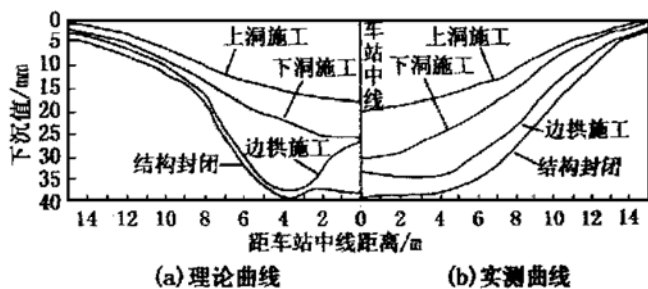


图4 地表沉降曲线

Fig. 4 Settlement curves at ground surface

3.2 围岩压力

(1) 导洞施工阶段

考虑到导洞主要为临时支护结构,因此设计时采用了较为经济的支护结构型式。进行导洞施工阶段的围岩压力量测就是为了了解导洞支护结构的实际受力状态、评价结构的安全性。

导洞施工阶段实测围岩压力示于表2。

表2 导洞阶段实测围岩压力表

Table 2 The measured earth pressure at small tunnel stage

导洞类型	边导洞 (下层)	中导洞 (下层)	边导洞 (上层)	中导洞 (上层)
围岩压力 值/MPa	0.016~ 0.024	0.03~ 0.05	0.004~ 0.008	0.006~ 0.012
相当于土 柱重/m	0.8~ 1.2	1.5~ 2.5	0.2~ 0.4	0.3~ 0.6

我们分析认为:在同等施工工艺及地层条件下,结构断面型式的差异是导致围岩压力存在较大不同的根本原因。

(2) 主体结构施工阶段

主体结构施工阶段的实测围岩压力(如图5所示)可以分为拱部、边墙和基底三个不同的部位进行分析。

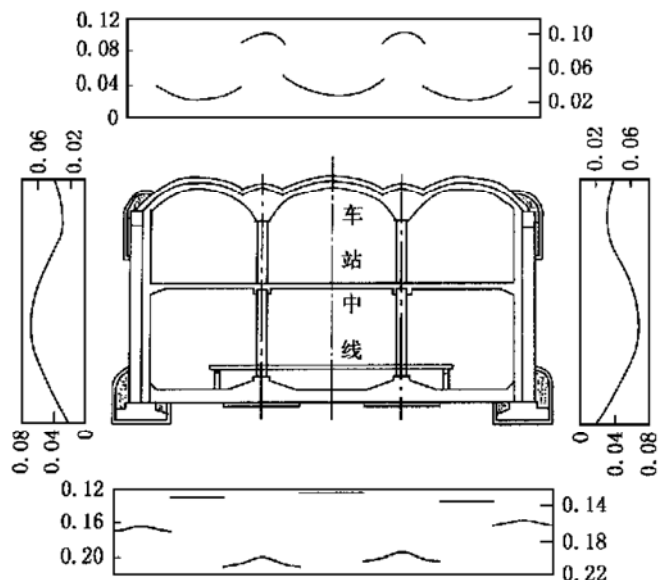


图5 实测围岩压力(单位: MPa)

Fig. 5 The measured earth pressure(unit: MPa)

a) 拱部围岩压力

从施工顺序上来分析,拱部实测围岩压力基本上可以分为三个发展阶段,即导洞施工阶段的0.012 MPa、大跨开挖初期的0.07 MPa和最终稳定的0.106 MPa,至于实测结果出现图5所示的波浪状形态,可以解释为导洞拱部压力元件埋设较早、测量结果较全面及存在局部土拱作用所致。

b) 边墙围岩压力

从总体上看边墙侧向实测围岩压力呈抛物线分布,曲线上部的侧压增大可以认为是拱部推力所致。

c) 基底压力

从实测结果看,基底压力监测结果要点可归纳为①随施工进展,条形基础基底压力总体上呈增长趋势,特别是60%的基底压力增加都出现在大跨开挖后一

周时间之内。②条形基础间结构底板的实测压力偏小,主要是因为压力元件埋设较晚,且与条形基础相比存在结构刚度小、土质较松散等特点。③两侧条形基础的实测基底压力约为中间条形基础基底压力的80%,条形基础基底压力呈马鞍形分布。

3.3 钢管柱受力

钢管柱是地铁车站的核心受力结构,且随施工进度而不断地处于动态的调整之中,其实测结果及计算内力分别示于表3和图6。

表3 钢管柱顶端受力实测结果

Table 3 The measured force at the end of steel pipe column

内力	弯矩/kN·m	轴力/kN
边跨开挖	217.8	3070.7
中跨开挖	111.0	5624.0

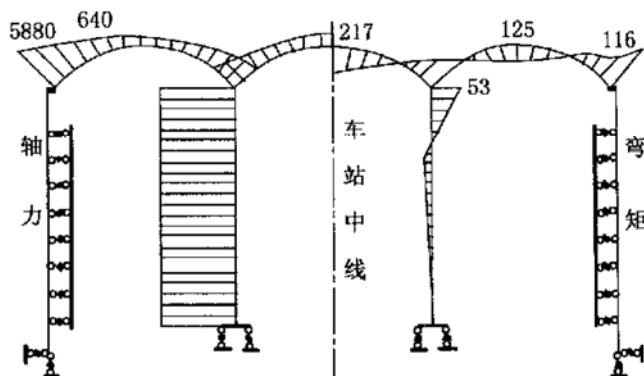


图6 支护结构的计算内力(单位: kN·m)

Fig. 6 Calculated internal force of retaining structure

4 结 语

资料检索表明,由北京城建设计院完成总体设计、铁道部隧道工程局完成工程施工的北京地铁天安门西站是国内外首次在暗挖条件下实现逆筑的地下工程。工程竣工已两年有余,实践证明该工法较为成功,且具有经济、安全、便于施工组织等特点,能较好地适用于城市繁华地区大型地下工程的施工。本文把“暗挖逆筑法”所涉及的一些主要施工技术简单介绍给大家,旨在提供一种类似工程经验及设计、施工思路,不当之处敬请批评指正。

参考文献:

- [1] 铁道部隧道工程局勘察设计院. 北京地铁天安门西站施工设计[R]. 洛阳: 铁道部隧道工程局勘察设计院, 1994.
- [2] 铁道部隧道工程局科学研究所. 北京地铁天安门西站鉴定报告[R]. 洛阳: 铁道部隧道工程局科学研究所, 1999.
- [3] 地下铁道设计规范[S]. 北京: 中国计划出版社, 1993.