

北京地铁王府井站西南风道暗挖工程 系统监控量测技术

杨哲峰¹, 黄常波²

(1. 中铁十六局集团第六工程有限公司, 北京 101100; 2. 中国建筑一局(集团)有限公司市政工程部, 北京 100073)

摘要:简要介绍了北京地铁王府井站西南风道暗挖工程中的监控量测技术, 包括地表沉降、拱顶下沉、净空收敛、楼房建筑不均匀沉降等。

关键词:地铁; 暗挖法施工; 监控量测

中图分类号: U231⁺.5 **文献标识码:** B **文章编号:** 1672-7428(2004)02-0057-03

1 概况

北京地铁王府井站西南风道位于东长安街下, 其出口在北京饭店对面, 中国远洋运输总公司和长安俱乐部大楼之间, 主风道全长 95.487 m, 双层结构, 有 4 种断面形式, 开挖最大断面 13.1 m × 12.6 m, 挖深 21.40 m。

工程地质及地下水情况见图 1。

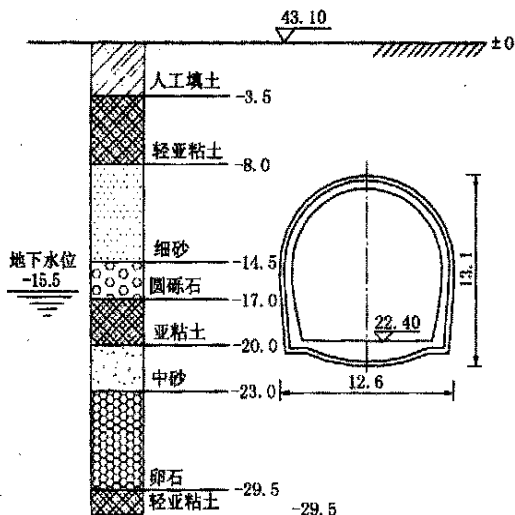


图 1 开挖断面及水文工程地质示意图
(单位: m)

2 监控量测的目的和意义

在松散、自稳能力差的砂土质地层中, 进行城市地铁浅埋暗挖隧道施工的安全性一直是非常重要的。

的研究浅埋暗挖地表沉降规律, 预测开挖隧道过程围岩的动态和地表沉降, 及时掌握沉降、围岩和支护结构的工作动态, 测定工程施工对周围地面建筑物和地中埋设物的影响情况, 研究和开发控制地表沉降的方法与措施是十分重要的。

3 洞室稳定的基本判定依据

隧道开挖、施做初期支护后立即进行位移监测。根据实测位移 u 与极限位移 u_0 (相应规范值) 的关系, 即 $u < u_0$ 时隧道稳定, $u \geq u_0$ 时隧道不稳定。

隧道失稳的经验先兆主要有: (1) 根据开挖掌子面状态及支护状态观测, 发现局部岩体坍塌, 喷层开裂; (2) 累计位移量已达到极限位移的 2/3, 且净空收敛未出现减缓的迹象; (3) 每日的位移量已达到极限位移的 10%; (4) 洞室变形异常加速, 即在施工干扰时的变形速率加大。

隧道基本稳定的经验判断依据有: 周边收敛速率下降或每日位移量小于极限位移的 0.5% ~ 1.0%; 累计位移值不超过极限位移值的 80% ~ 90%。

4 风道主要开挖支护方案

风道结构为最高 13.1 m。最大开挖跨度达 12.6 m 的直边墙高跨结构, 断面大、埋深浅, 地层松散富含地下水, 洞室稳定性极差。

在遵循短开挖、快支护、强支撑、早封闭、勤量测

收稿日期: 2003-06-04; 改回日期: 2003-12-12

作者简介: 杨哲峰 (1972-), 男 (汉族), 内蒙古人, 中铁十六局集团第六工程有限公司副总工程师, 岩土工程专业, 硕士, 从事土建工程施工管理和技术管理工作, 北京市通州区新华大街 226 号, 13901373635, bqf1832@sina.com; 黄常波 (1972-), 男 (汉族), 湖南人, 中国建筑一局(集团)有限公司市政工程部高级工程师, 地质工程专业, 博士后, 从事工程施工管理和技术管理工作, 北京市西四环南路 52 号中国建筑一局大厦 1308 室, 13501365654, hcb1972@163.com。

的施工原则下,考虑到高跨结构的特点,采用临时中壁法,而设置二道临时仰拱的三层六部开挖方法,其中各分部导坑再次划分为弧形开挖留核心土的二台阶(见图 2)。这种三层六部二台阶形式,将高跨洞室分割成了极小导坑施工,各导坑支护及时封闭,从而在松散富含地下水条件下,最大限度地减少了掌子面及边墙的涌泥涌砂的发生,减少了洞室施工对周边地层的扰动,控制了地表的过量沉降。

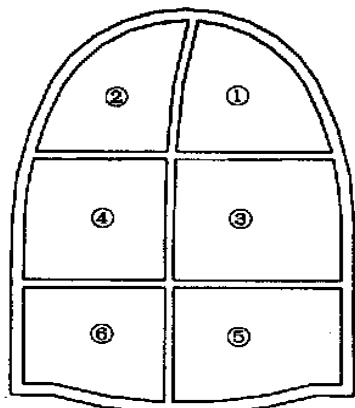


图 2 风道开挖施工工序分部图

5 风道主要监控量测项目及布点量测方法

根据围岩性质、隧道埋深和开挖方式等的实际情况,风道工程监控量测项目主要有:(1)洞内外观察;(2)净空收敛量测;(3)拱顶下沉量测;(4)地表下沉量测。

地表下沉量测开始时间在开挖前 1 倍洞径和埋深之和距离开始,其开始量测频率为每天一次,直到变形稳定后停止量测。

地表沉降、净空收敛和拱顶下沉量测均按每 5 ~ 10 m 间距设置一个量测断面,净空收敛和拱顶下沉量测设在同一断面处(见图 3)。对地表下沉量测断面,因受地面(建筑物)限制,无法按沉降槽布置。

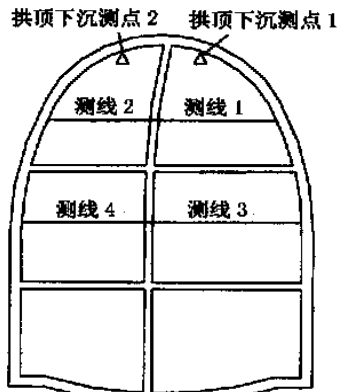


图 3 洞内测点及测线布置图

净空收敛和拱顶下沉量测开始时间均在开挖后

几小时以内进行的,其开始量测频率为每天一次,待 5 倍洞径并有明显稳定后每周一次,直到变形稳定后停止量测。地表下沉量测开始时间在开挖前 1 倍洞径和埋深之和距离开始,其开始量测频率为每天一次,直到变形稳定后停止量测。

净空收敛量测采用测力环式收敛计,拱顶下沉和地表沉降采用精密水准仪。

根据监控量测日报表,对地表沉降、拱顶下沉和净空收敛量测资料进行了数据库整理,对上述各量测项目分别按测点 - 日期进行了汇总,使得各项目各断面量测资料完整、规范。它是后述监控量测数据分析的基础。

6 监测数据的分析处理

6.1 地表沉降

各量测断面最终地表沉降值见表 1,分别取风道拱顶纵向、左和右侧墙顶纵向的最终地表沉降值。

表 1 风道拱顶及两侧各测点地表沉降最大值汇总

测点	测点	地表	测点	测点	地表	测点	测点	地表
间距	间距	沉降	间距	间距	沉降	间距	间距	沉降
/m	/m	/mm	/m	/m	/mm	/m	/m	/mm
A1	5	-12.43	B1	5	-12.63			
A2	10	-10.86	B2	10	-12.02			
C1	15	-10.44	C2	15	-7.97			
D2	20	-12.05	C3	20	-8.2	D1	20	-0.77
E2	25	-9.74	E3	25	-7.16	E1	25	-18.99
F2	30	-12.97	F3	30	-4.76	F1	30	-12.12
B0	32	-13.5	A0	32	-6.5	C0	32	-9.05
B1	38	-19.72	A1	38	-14.93	C1	38	-24.22

由表 1 可知,主风道竖井井口段,一侧靠近中国远洋运输总公司办公楼(相距 3.0 m),一侧靠近长安俱乐部(相距 4.5 m),为防止大楼建筑的不均匀沉降,风道洞室开挖前,在其两侧施做了 $\phi 600$ mm 钻孔灌注桩护壁,该段洞室地表的注浆加固,虽然未能有效止水,但有效起到了地层加固作用。即表 1 中 A、B、C、D、E、F 及 0 和 1 断面的地表沉降值较小,最大沉降为 24.22 mm。

分别对风道区段各测点的整个施工期间的地表沉降过程按下列函数进行图形处理:

$$u = A \lg(1 + T)$$

$$u = A e^{-B/T}$$

$$U = T / (A + B T)$$

式中: u —— 变形值; A 、 B —— 回归系数; T —— 量测时间。

分别对各点的地表沉降与时间关系进行回归分析,根据回归曲线的拟合好坏程度,即选择相关系数

最大或方差最小的函数为该量测数据的回归拟合曲线。由拟合曲线可知,地表沉降稳定时间较长,开始阶段极少有地表隆起的记录。

6.2 楼房建筑不均匀沉降

由于中国远洋运输总公司办公楼与风道空间仅距 3.0 m,为防止楼房的不均匀沉降,在该段风道与楼房之间设置了 19 根 $\varnothing 600$ mm 钻孔灌注护壁桩,同时在地表进行了地层注浆加固,有效地控制了开挖对地层的扰动,使该段地表沉降值较小,各测点最终沉降结果见表 2。

表 2 大楼周边地表沉降

测点	测点间距 / m	地表沉降 / mm	测点	测点间距 / m	地表沉降 / mm
S5	0	- 0.96	W1	45	- 4.62
S4	7.5	- 1.04	W2	52.5	- 7.31
S3	15	- 1.02	N1	60	- 5.99
S2	30	- 3.48	N2	75	- 4.3
S1	37.5	- 7.56			

由表 2 可知,邻近风道一侧 S1、W1、W2、N1 测点,最大沉降值为 7.56 mm,远离风道各测点沉降值减小较快,其最大不均匀倾斜值为 0.018900,满足楼房建筑不均匀沉降要求。

6.3 拱顶下沉

主风道各测点的拱顶下沉时间过程原始资料见表 3。

表 3 主风道各测点拱顶下沉最大值汇总

测点	测点间距/ m	拱顶下沉/ mm
上 01	5	- 26
上 02	10	- 18.5
上 03	15	- 11
上 04	20	- 15.5
上 05	25	- 15.5
上 06	30	- 20.5
上 07	35	- 24
上 08	40	- 26
上 09	45	- 25
上 10	50	- 20
上 11	55	- 19
上 12	60	- 19
上 13	65	- 20.5

由表 3 可知,各断面拱顶均向洞内下沉,最大拱顶下沉发生在 06 测点及距井口 30 m 主风道断面,最大下沉值为 20.5 mm。比较拱顶下沉和地表下沉,拱顶下沉小于地表下沉,这是由于量测中拱顶下沉初始量测不同于地表可提前于开挖面,而是迟后

开挖。

虽然地表沉降值较大,但洞内各测点拱顶下沉值均较小。说明虽然在长时间地面井点降水,引起了较大的地面下沉,即洞室有较大的整体下沉,但洞室初期支护是稳定的,相对变形值较小,这通过洞室收敛值较小也说明了这一点。

6.4 净空收敛

风道洞室各测线的最大收敛值汇总列于表 4。三层六部二台阶开挖支护施工中,因开挖支护受力过程的转换,洞室净空收敛以上部台阶开挖时外挤变形为主,最大值为 - 5.66 mm,下部台阶开挖因洞室形状和受力过程转换后,变为内缩变形,最大内缩收敛值为 6.1 mm。

表 4 风道各断面收敛绝对最大值汇总 / mm

测线	正收敛	负收敛	测线	正收敛	负收敛
A1	6.1	- 5.66	H3	3.22	0
A2	1.38	- 0.67	H4	3.48	- 1.73
B1	3.92	- 1.22	H5	3.44	0
B2	4.67	0	H6	3.61	- 0.97
F2	4.21	- 0.52	H7	2.87	0
F3	1.29	- 2.67	H8	0.82	- 1.78
F4	1.96	- 1.9	H9	3.75	0
F5	1.95	- 1.74	H10	1.7	- 0.07
H1	3.46	- 1.36	H11	6.48	- 3.59
H2	3.88	- 0.76	H12	2.61	- 3.66

因隧道开挖后需立即进行初期支护,待喷射混凝土支护后才能进行初测,因而收敛量测迟后于洞室开挖。在该种松散地层、浅埋、多分部开挖支护条件下,洞室收敛值均较小,说明支护刚度较大,这在城市地铁中对控制地表沉降是极有利的,支护设计参数是合理的。

7 结语

我们在施工过程中成立了专门监测队伍,制定了科学严密的监控量测计划,在风道施工过程中先后布设了数百个地表沉降、建筑物基础沉降、洞内变形、地下水位监测点。自始至终,历时 2 年多,收集整理了上万份原始监测资料,及时掌握了施工过程中的各种动态,有效地指导和控制了现场施工。

施工中洞内未出现坍塌及涌水涌砂事故,地下管线未发生断裂和渗漏现象,临近的中国远洋运输总公司办公大楼未见开裂,保持了地面交通和办公等各种社会活动的正常进行。