

建筑物下大跨度浅埋地铁隧道施工技术

张先锋

(中铁<洛阳>隧道勘测设计院  河南洛阳  471009)

**摘  要**  南京地铁一期工程鼓楼站~玄武门站区间停车线隧道,埋深浅,围岩差,隧道断面大,且隧道穿过的地表有楼群建筑物。针对上述特点,提出了相应的浅埋暗挖工法,并采用有限元进行模拟分析,为设计、施工提供参考。  
**关键词**  隧道工程  浅埋暗挖法  施工  数值分析

1  工程概况

间大跨度浅埋隧道,采用矿山法施工,隧道穿越地层

1.1  环境状况

南京地铁南北线一期工程鼓楼站~玄武门站区间隧道在鼓楼站北修建一总长333.586m的渡线和停车线段隧道。其中渡线段长103.5m,停车线段长230.086m,渡线段最大跨度17.358m。隧道穿过地层为粉质粘土和残积粘土,覆土厚约9m,地面上有3幢楼房,1幢3层楼房、1幢4层楼房、1幢5层楼房;在地下平行建有南北向道路隧道,道路隧道结构为双洞联拱四车道,两者间净距14m。图1为大跨度停车线段平面示意图<sup>[1]</sup>。

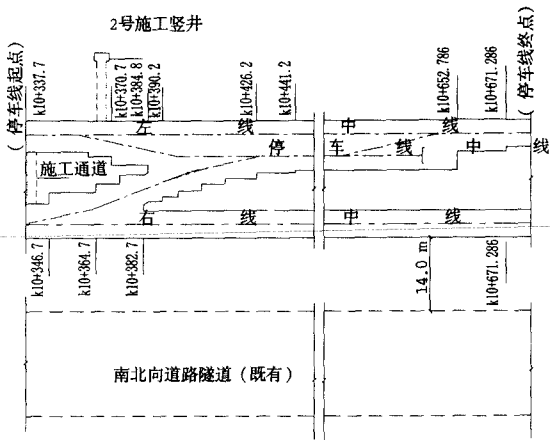


图1  大跨度停车线段平面示意图

1.2  地质条件

南京地铁南北线一期工程鼓楼站~玄武门站区

表1  建筑物下大跨度浅埋隧道各地(岩)层的物理力学指标<sup>[1]</sup>

参数	地(岩)层	② -2b <sub>3-4</sub>	③ -2-1b <sub>2</sub>	③ -2-2b <sub>1-2</sub>	⑤ -e	J <sub>3L-1</sub>	J <sub>3L-2</sub>
含水率 W(%)							
湿密度 ρ(g/cm <sup>3</sup> )							
导热系数 λ(W/m·k)						1.73	1.77
比热容 c[kJ/(kg·K)]						0.9735	3.49
导温系数 α×10 <sup>-3</sup> (m <sup>2</sup> /h)						2.87	3.49
含水量(%)		36.9	24.9	23.7	24.7		
土重度 γ(kN/m <sup>3</sup> )		18.3	19.9	20.3	20.0		
孔隙比 e		1.050	0.706	0.664	0.699		
塑性指数 I <sub>p</sub>		16.0	12.4	14.5	14.2		
液性指数 I <sub>L</sub>		0.83	0.45	0.22	0.27		
压缩系数 α <sub>1-2</sub> (MPa)		0.564	0.258	0.231	0.251		
压缩模量 E <sub>s</sub> (MPa)		3.95	6.84	7.51	7.70		
固快粘聚力 C(kPa)		10.1	15.2	56.0			
固快内摩擦角 φ(度)		13.1	16.8	24.2			
泊松比 μ							
垂直渗透系数 K <sub>v</sub> ×10 <sup>-7</sup> (m/s)		12.7~25.6	0.213	0.018	10~10 <sup>2</sup>		
水平渗透系数 K <sub>h</sub> ×10 <sup>-7</sup> (m/s)			0.379				

为:粉质粘土、残积土、强~微风化安山岩。区间地下水主要为浅层孔隙水,基岩孔隙、裂隙水。浅层孔隙水主要存在于人工填土层,水量不丰富,受大气降水和地表水的入渗补给明显;中部弱承压水存在于粉质粘土层中,该层属于粘性土,透水性差,含水量不大,呈弱承压性;基岩孔隙水,局部裂隙发育、岩芯破碎处含有一定水量。地下水位在地下1.0m~1.5m处,对混凝土无侵蚀性,对钢结构有弱腐蚀性。

建筑物下大跨度浅埋隧道各地层的物理力学指标见表1。

建筑物下大跨度浅埋隧道穿越的地层情况见图2<sup>[1]</sup>。

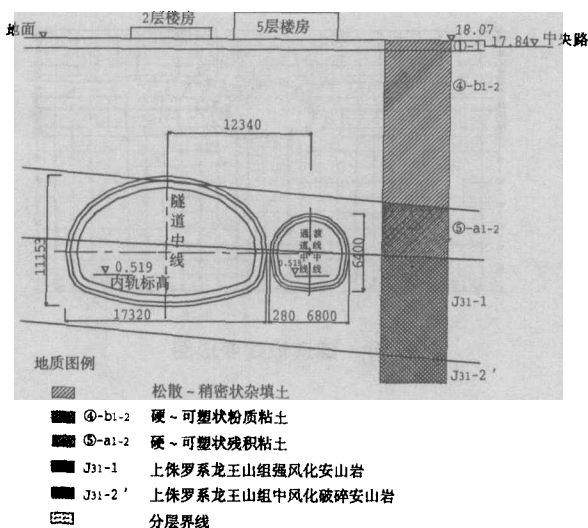


图2 渡线段典型断面横剖面图

## 2 施工方案

选定施工方案必须充分考虑工程所处的环境和地质条件,由于围岩自稳能力差,隧道断面复杂多变,施工工序多且干扰大,开挖易坍塌,地面沉降难以控制,施工难度较大,因此该段地铁施工的关键是必须保证地表建筑物、管线、相邻道路隧道的安全,同时保证地铁隧道自身结构和施工安全。依据已建地铁大跨度停车线施工的成功经验,结合本区间停车线地质情况,加以理论分析和模型试验,确定施工方案为:左线从大断面隧道向小断面隧道施工,右线从小断面向大断面隧道施工,待掘进到 K10+469 后,从施工横通道反过来由小断面隧道向大断面隧道施工左线。施工顺序为:先施工大断面隧道后施工小断面隧道,先左线后右线(见图1)。

根据隧道断面大小采用工法依次为:台阶工法,CRD工法,眼镜工法。辅助工法为小导管超前注浆

加固,加固范围拱部150°。

### 2.1 台阶法施工

区间停车线左线 K10+337.7~K10+370.7,左线 K10+652.786~K10+671.286,右线 K10+382.7~K10+671.286 段,断面跨度小,隧道洞身处于Ⅱ类围岩中,采用台阶法施工,如图3所示。

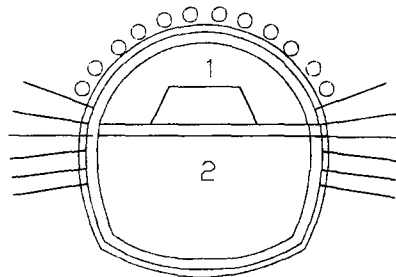


图3 台阶法施工分部示意图

根据工程地质条件和实际情况,沿拱部施打 $\phi 50$ ,5m长小导管,注水泥水玻璃浆加固地层,此时根据监控量测结果必要时对掌子面封闭,开挖①部土体(开挖时采用预留核心土方开挖)。①部土体开挖后,初喷5cm厚混凝土,架立格栅及临时支护拱架,两榀格栅施打小导管一排,施打边墙锚管( $\phi 32 \times 3.25$ 普通水煤气管),挂网喷射混凝土支护,向下开挖②部土体。①部②部土体之间错开3~5m。二次衬砌施作时,分段拆除临时支护,用钢拱架进行二次衬砌。

### 2.2 CRD 法施工

区间停车线左线 K10+370.7~K10+384.8,左线 K10+441.2~K10+671.286,右线 K10+346.7~K10+364.7为双线地段,隧道断面跨度较大,隧道洞身处Ⅱ类围岩中,采用CRD工法进行施工,如图4所示:

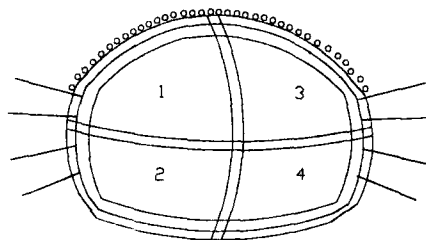


图4 CRD工法施工分步示意图

施工先沿①部拱部开挖轮廓线以上施打直径 $\phi 50$ mm,长5m小导管,注水泥水玻璃浆加固地层,此时根据监控量测结果必要时对掌子面封闭,开挖①部土体,初喷5cm厚混凝土,架立格栅及中隔壁型

钢架(临时支护在结构净宽 $<10\text{cm}$ 时,采用 I 20a 工字钢,结构净宽 $>10\text{cm}$ 时,采用 I 25a 工字钢,设置边墙锚管( $\phi 32\text{mm} \times 3.25\text{m}$  普通水煤气管),挂网喷射混凝土封闭,设置临时仰拱,然后向下开挖②部土体,①部②部土体之间错开 $3\text{m} \sim 5\text{m}$ 。另一侧采用同样的方法施工。施工时根据监控量测结果,必要时取消临时仰拱,变为 CD 工法施工。二次衬砌施工时,分段拆除临时支护。

### 2.3 眼镜工法施工

区间停车线左线 K10+384.8~K10+426.2,右线 K10+364.7~K10+382.7 段为渡线交叉地段,断面开挖跨度均大于 $11\text{m}$ ,最大跨度达 $17.358\text{m}$ ,隧道洞身处于 II 类围岩中,采用双侧壁导坑法进行施工。开挖分部如图 5 所示。

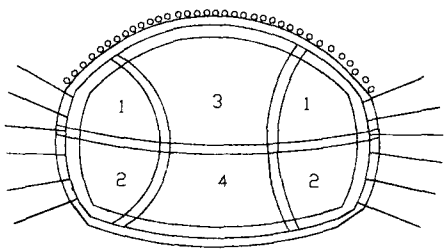


图5 眼镜工法施工部分示意图

根据工程地质条件和实际情况,沿拱部施打 $\phi 50\text{mm}$ 小导管超前注水泥水玻璃浆加固地层,开挖支护两侧侧壁导坑,此时根据监控量测结果必要时对掌子面封闭。先开挖右侧壁导坑的①部,①部土体开挖后,初喷 $5\text{cm}$ 厚混凝土,架立格栅及临时支护拱架,两榀格栅施打小导管一排,施打边墙锚管( $\phi 32\text{mm} \times 3.25\text{m}$  普通水煤气管),挂网喷射混凝土封闭,向下开挖②部土体,①部②部土体之间错开 $3\text{m} \sim 5\text{m}$ 。左右两侧壁导坑相错 $15\text{m} \sim 20\text{m}$ ,两侧壁导坑形成后,相错 $20\text{m} \sim 30\text{m}$ 开挖③部土体,架立格栅钢架及临时支护仰拱,挂网喷射混凝土支护。依次向下开挖④部,完成整个断面初支施工。在施作二衬时,分段拆除支撑,然后依次施作仰拱和拱墙二次衬砌混凝土。

## 3 计算分析

### 3.1 模拟计算

为分析大跨度隧道开挖工法的合理性,根据隧道所处地质条件和周围环境特点,选取了跨度最大处 K10+390.2 断面,进行模拟计算<sup>[2]</sup>。经分析计

算,最终的破坏接近度如图 6a 所示,隧道最终沉降变形图见图 6b,各开挖步骤沉降曲线如图 6c 所示。

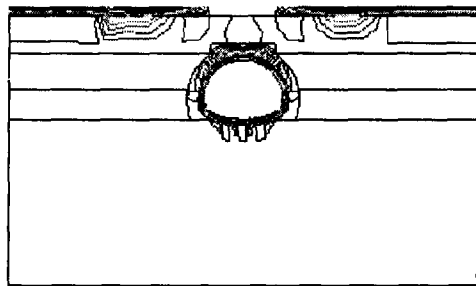


图6a 最终破坏接近度图

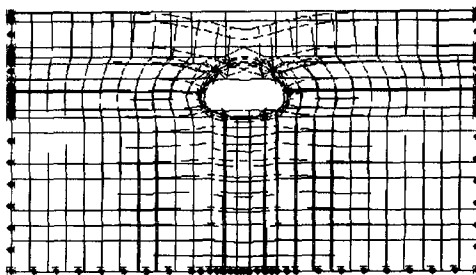


图6b 隧道最终变形图

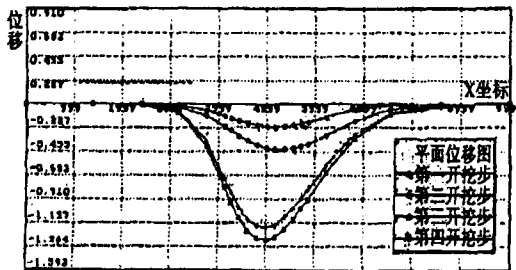


图6c 各步沉降曲线图

### 3.2 分析结果

- 双侧壁导坑,核心土的上台阶开挖引起的地面沉降,洞周塑性区较大;
- 该大跨度隧道在第一步开挖时即出现塑性区,塑性区主要出现在拱顶、拱脚处。拱顶、拱脚处的支护应加强;
- 开挖隧道顶部大约 1 倍隧道跨度、 $2\text{m}$  高范围的土体需要重点支护;
- 大跨度隧道施工时,双侧导坑及核心土的上台阶开挖中应对掌子面进行适当加固。

(下转 39 页)

浆,进入泥水分离漩流器内,进行循环分离,分离出来的土碴,到集料箱排出,分离器分离出来的泥浆,进入调整槽重新调整比重,在调整槽内,按比例加入一定量的粘土、膨润土提高比重,将泥水比重控制在1.15~1.25之间,添加CMC来增大粘度,以制成适合地层特征的新泥浆,由供泥泵泵入盾构泥水仓内,调整槽内的多余泥浆,被送到剩余泥浆槽内。

泥水仓中泥浆压力,可通过调节供泥泵转速或调节控制阀的开度来进行。供泥泵安在地面,控制距离长而产生延迟效应不便于控制泥浆压力,因此常用调节控制阀来进行泥浆压力调节。

泥浆的主要功用为:

- ①利用泥浆静压力平衡开挖面土层水土压力;
- ②在开挖面土层表面,形成一层不透水泥膜,使泥浆压力发挥有效的支护作用;
- ③泥浆中细微粘粒在极短时间内渗入土层一定深度,进一步改善土层承压能力。

输入盾构泥水仓中的泥浆必须具有适当的粘度和密度,泥水压力要保持高于开挖面土层水土压力约0.02 MPa左右。

#### 4 结束语

泥水盾构适用的地质范围较大,从软弱砂质土层到砂砾层都可以使用。对于有丰富的水源和较好泥浆排放条件或泥浆仅需进行沉淀处理排放的工程,使用泥水盾构可大幅度降低施工费用。三江口越江隧道使用泥水盾构机施工,较好地解决了在卵石地层和软硬不均地层的推进问题以及隧道防水问题。

#### 参考文献

- 1 尹旅超. 日本隧道盾构新技术. 武汉: 华中理工大学出版社, 1998
- 2 侯学渊. 软土工程施工新技术. 合肥: 安徽科学技术出版社, 1999
- 3 台湾中鼎公司. 三江口隧道施工方案. 2001年8月

作者简介: 韩亚丽, 女, 1955年12月生, 1977年毕业于陕西机械学院机械专业, 大学本科, 高级工程师, 中铁隧道集团有限公司副总工程师兼设备物资部部长, 从事设备物资管理工作。

收稿日期: 2003. 4. 29

(上接 34 页)

#### 4 结论

采用浅埋暗挖法施工的城市地铁, 随着开挖过程中地层应力的逐步释放, 隧道围岩和地表变形也会增大。若施工方法设计不当, 围岩和地表产生较大塑性变形, 同时围岩内出现塑性破坏时, 将影响到隧道施工安全和地面建筑物正常使用, 若施工方法过于保守、复杂, 会增加工程投资, 造成不必要的浪费, 因此, 采用合理的施工工法显得很有必要。针对停车线隧道跨度大、埋深浅、地层差等特点, 采用相应的工法施工, 能有效地控制地表沉降。但施工过程中, 为了减少开挖、支护过程中引起的地层移动, 需加强注浆小导管超前支护、中隔墙、横联等辅助工法措施; 在施筑二次衬砌过程中, 需采取有效措施, 适时分段拆除中隔墙、横联等临时支护, 适

时施筑二次衬砌, 确保隧道施工安全和地面建筑物安全。

#### 参考文献

- 1 中铁<洛阳>隧道勘测设计院. 南京地铁南北线一期工程鼓楼站~玄武门站区间施工图设计. 2001年
- 2 中铁<洛阳>隧道勘测设计院, 南京地铁工程建设指挥部, 同济大学. 南京地铁软流塑地层区间隧道和大跨度渡线隧道群穿越旧建筑物施工技术中间研究报告. 2002年

作者简介: 张先锋, 男, 1963年生, 1985年毕业于西南交通大学隧道专业, 工学学士, 高级工程师。

收稿日期: 2003. 5. 14