

# 地铁单洞双层重叠隧道开挖技术

梁其谊

(中铁隧道集团三处有限公司 广东乐昌 512219)

**摘要** 简要介绍城市地铁单洞双层重叠隧道浅埋暗挖施工技术。

**关键词** 地下铁道 重叠隧道 开挖施工

## 1 工程概况

深圳地铁一期工程3C标段(国贸站至老街区间隧道北段)位于深圳市人民路与深南东路交汇处及其南、北部,由四个子单位工程组成,分别为华中国际酒店桩基托换工程、百货广场桩基托换工程、国老区间北段明挖及暗挖隧道工程。暗挖隧道从华中国际酒店及百货广场建筑物桩群及其地基中穿越,为保护上部结构物的安全使用而对其桩基础进行了桩基托换的预防性处理。地铁区间隧道也为减少对建筑物基础的影响范围而采用左、右线上下重叠的单洞双层直边墙拱形的结构形式。

### 1.1 地质水文情况

区间内原地貌单元为第四系海中平原,地形较平坦,地层岩体为上覆第四系全新统人工堆积层( $Q_{4ml}$ )、海冲积层( $Q_{4m+al}$ )及第四系残积层( $Q_{4el}$ ),下伏侏罗系中统( $J_2$ )凝灰岩、震旦系( $Z$ )花岗片麻岩,局部为燕山期( $r_{53}$ )花岗岩侵入体。区间内存在 $F_4$ 、 $F_4'$ 二条近于平行的断层。主要由断层糜棱岩、断层泥和断层角砾组成。

该区间地下水按赋存介质可分第四系孔隙潜水、基岩裂隙水和断层带水。地下水位于地表下1.20m~3.00m,高程1.60m~3.61m,地下水对混凝土结构、钢结构具弱分解性腐蚀。

### 1.2 设计情况

暗挖隧道(SK1+755~+600)长155m,埋深12m~16m,纵坡为2.9%下坡的单洞双层重叠隧道(左线在下层,右线在上层),开挖宽度6.8m,平均开挖高度13.2m,平均开挖量每延米 $82m^3$ ,分A、B、D、E四种衬砌类型,采用复合式衬砌,初支采用喷锚网+格栅钢架,初支喷混凝土为C20,锚杆为R25中空注浆锚杆,二衬混凝土为C25P8防水混凝土,防水层采用PVC全包防水板。辅助支护措施为拱部钢管棚,部分拱墙设 $\phi 42$ 超前小导管注浆。

### 1.3 工程特点

- 工程施工内容多,技术复杂,施工难度大;
- 地下水位高,砂层厚,开挖岩体软硬变化大,并要穿越两条断层破碎带;
- 单洞双层重叠隧道边墙高,结构受力复杂;
- 隧道上方地面建筑物密集,地下管线多,隧道从建筑物基础桩群中穿越,环境保护要求高。

## 2 施工总体方案

按新奥法原则结合采用浅埋暗挖法组织施工,并认真研究本工程所处的特殊周边环境及地质、水文条件,针对性地采取可靠的技术措施以控制地下水流失、地层变位以确保实现洞内防坍。隧道施工工艺流程如图1所示。

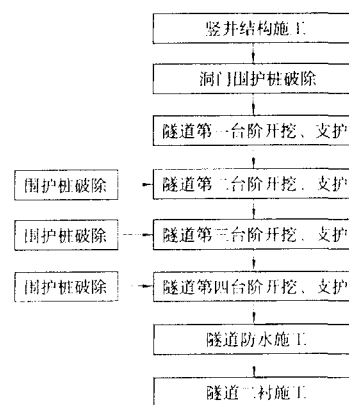


图1 隧道施工工艺流程图

### 2.1 开挖

根据本隧道的结构尺寸,隧道开挖划分为四个台阶,即左、右线隧道分别采用两个台阶进行开挖。隧道开挖及初期支护工艺流程如图2所示。四个台阶以第一台阶开挖为主,各台阶在保证台阶长度一定的前提下,按平行作业分头组织施工,每次进尺为0.5m或0.75m。采用预留核心土微台阶法进行施工,第一、二、三、四台阶微台阶长度控制在1.5m~2.0m,在实际开挖施工中,将根据开挖实际揭示的水文地质情况及施工监测信息,适时调整并优化各台阶长度,第一、二、三台阶采用人工配备风镐进行

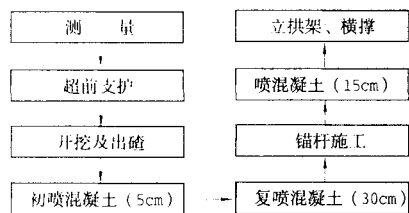


图2 隧道开挖及初期支护工艺流程图

开挖,采用人力架子车运碴,第四台阶采用小型反铲挖掘机配合人工进行开挖。采用机动小翻斗车运碴。隧道开挖遇中风化岩层尽量采用人工开挖,必要时采用微振控制爆破技术进行开挖。施工中要充分利用围岩的自稳时间,快速开挖、快速封闭,确保

隧道安全。掌子面开挖后,及时进行掌子面和初支面初喷混凝土和排水,避免岩面风化、潮解而降低强度。初支结构及时封闭,根据监控量测情况,必要时台阶设立临时仰拱,控制变形发展。爆破施工要进行爆破参数以及爆破振动效应试验,同时进行爆破噪声监测,根据实际情况不断调整钻爆参数。

## 2.2 支护

### 2.2.1 超前支护

本隧道主要超前注浆管棚为拱部  $\phi 76$  长 8m 的超前注浆管棚,及在百货广场、华中国际酒店处的隧道拱、边墙  $\phi 42$  超前注浆小导管。超前注浆管棚具体布置详见表 1。

表1 超前注浆管棚参数表

里 程	位 置	$\phi 42$ 超前注浆小导管			小管棚( $\phi 76/5$ 钢管棚)		
		环向间距 (mm)	纵向长度 (mm)	长度 (mm)	环向间距 (mm)	纵向长度 (mm)	长度 (mm)
SK1 + 600 ~ + 755.3	拱顶部 120° 范围内				300	6000	8000
SK1 + 600 ~ + 640 SK1 + 695 ~ + 755.3	拱顶部 120° 范围以外的拱、边墙(拱脚以下 6.0m 范围)	300	3000	4500			

#### a. 钢管棚

钢管棚布置在拱部,环向间距为 0.3m,纵向间距为 6.0m,每根长度为 8.0m,钢管棚采用钻机直接顶进施工,纵向每 6m 进行一环施工,管棚最后钻进时,采用 1.5m ~ 2m 的连接钻杆将管棚送进到位;管棚打设时,采用两侧对称打设或分段打设,以便能够及时进行注浆。采用前进式分段注浆工艺,分段分序进行注浆施工,先施工单序号孔,后施工双序号孔;采用水泥—水玻璃双液浆进行注浆,每次注浆长度为 50cm,注浆压力控制在 1.0MPa 以下。根据量测结果,采用单根钻进、注浆,或钻数孔后再分别进行注浆。

#### b. 小导管超前注浆

超前小导管采用  $\phi 42$  普通钢管,管长 4.5m,搭接 1.5m,实用长度 3m。注浆管一端做成尖形,另一端焊上铁箍( $\phi 6$  钢筋),管身在距铁箍端 1.5m 处开始钻孔,钻孔沿管壁间隔 300mm 呈梅花形布设,孔径 6mm ~ 8mm。钻孔后,将小导管沿孔打入;地层松软时用游锤或手持风钻直接将小导管打入;岩层较硬时先钻套孔,后用风镐顶进。掌子面喷 5 cm 厚混凝土封闭后用水冲净注浆管内积物后再注浆。注浆顺序由下向上,采用 1:1 的单液水泥浆进行注浆,注

浆压力采用 0.5MPa 左右。先施工单序号孔,后施工双序号孔,单根注浆量控制在 60L,当注浆压力增加比较快,且大于 1.0MPa 时,或注浆量达到设计注浆量的 1.2 倍时,结束注浆。根据地质情况,特殊地段采用水泥—水玻璃双液浆进行施工。

### 2.2.2 临时支撑安设

为确保重叠隧道开挖及初支阶段侧墙的稳定,暗挖隧道上下台阶间共设置三道横向支撑,支撑采用 I18 工字钢,第一道为每榀格栅钢架均设置横向支撑,并喷 20cm 厚 C20 混凝土,其可起到临时横向支撑及临时仰拱作用,第二、第三道均为隔榀格栅钢架设置一道,仅起临时支撑作用,每道支撑处设纵向槽钢梁,每道支撑均采用螺栓与格栅钢架上垫钢板进行连接,采用螺栓将纵向槽钢梁与上下两单元钢架拱脚角钢进行连接,以保证下台阶施工时,初支受力良好,避免初支处于悬空状态,防止初支下沉过大。根据监控量测变形情况,必要时,考虑加大横撑尺寸,或加密横撑,将横向支撑与临时仰拱结合考虑,喷混凝土封闭等,以便能及时形成初支的闭合系统,控制初支下沉变形。

隧道内临时支撑横断面如图 3 所示。

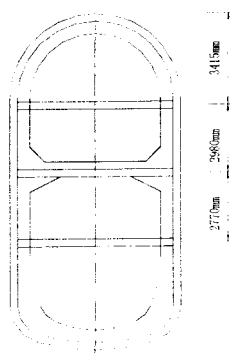


图3 暗挖隧道内临时支撑布置图

### 2.2.3 系统支护

#### a. R25 中空注浆锚杆

暗挖隧道系统锚杆采用R25中空注浆锚杆,长3.5m或5.0m,间距为750mm×800mm梅花形布置。注浆采用水泥浆。注浆锚杆分布里程为SK1+600~+755,其中SK1+600~+640、SK1+695~+755段,边墙部分锚杆长5.0m,其余部分锚杆长均为3.5m。锚杆安设在混凝土喷层达到15cm后进行,以便及时进行初支,复喷后混凝土应将锚杆头覆盖,不影响后期防水板的施工。锚杆采用风钻直接钻进。锚杆注浆要达到孔口返浆才能停止注浆。浆液凝固后,再扭紧螺帽,施加一定的预应力,发挥锚杆的加固作用。

#### b. 格栅钢拱架安装

暗挖隧道格栅钢架统一采用主筋为4φ28的钢筋格栅钢架,首榀格栅钢拱架加工后进行试拼,经检验合格后进行批量生产,开挖轮廓检查无误后,对开挖面进行初喷5cm厚混凝土封闭岩面,拱架底脚处虚渣清理完毕,用喷浆料调平后开始安装钢拱架。钢架与初喷混凝土之间应尽量接近,并留间隙作为保护层。格栅拱架组装后应在同一平面内,并垂直线路中线,格栅拱架与壁面应楔紧,每片格栅拱架节点及相邻格栅拱架纵向必须分别连接牢固。

#### c. 喷射混凝土施工

隧道内喷混凝土采用分三次施工,第一次先初喷5cm,封闭开挖面,拱架安装后,再喷至厚度达15cm,侧向锚杆安装完毕后,再复喷15cm至设计厚度。喷混凝土采用HPJ-1型混凝土喷射机进行喷射作业,自落式搅拌机拌制混合料。喷射作业分段、分片、分层,由下而上,依次进行。

### 2.3 运输

暗挖隧道在与明挖连接段设竖井,竖井内设置提升系统。竖井提升系统采用桁吊配合吊斗,在施工竖井架设一个固定式桁吊,配备两个10t电动葫

芦提升吊斗转载出碴及材料运输。

隧道洞内出渣采用无轨运输,第一、二、三层土石方采用人力架子车,第四层配备2台小型机动运输车水平运输至竖井底料斗,再由架立于井口的提升系统垂直吊运土斗至临时弃土场集中外弃。

其他施工材料通过竖井口电动葫芦吊运至各施工台阶段,人工运至工作地点,喷浆料通过输料管输送至运输车内,然后再运至施工地点。

### 2.4 沉降控制

根据在城市地下空间采用矿山法施工经验以及设计要求,我们采用以下技术措施来控制地表以及周围建筑物沉降。

#### 2.4.1 地表沉降控制

a. 小导管超前预注浆以加固地层。该措施不仅能改善围岩力学参数,而且还能减少工作面地层失水引起的压缩变形。

b. 采用短台阶法开挖,台阶长度控制在1~2D左右(D为洞径),并尽快施作仰拱,封闭成环,保证支护系统及时发挥作用。

c. 上半断面环形开挖,预留核心土,以保证掌子面稳定。开挖后及时架设锚杆、挂网、喷射混凝土。

d. 加强上半断面支护强度。对于弱地层,往往由于上半断面支护结构强度不够,或拱脚处承载力不够,产生过大变位引起隧道上方土体产生二次沉降,因此往往采取措施加固。视地层情况,可依次选择:①拱脚设锁脚注浆锚管;②纵向槽钢托梁;③上半断面增设临时仰拱,及时进行初支背后充填注浆。

e. 缩短循环进尺,目的是及早进行支护。根据地层情况确定每循环进尺控制在0.7m~0.75m。

f. 必要时进行全断面注浆,防止地下水流失及掌子面失稳,特别是断层带。

#### 2.4.2 地面建筑物及地下管线沉降控制

a. 对重要、需进行保护的建筑物进行检测、录像、登记、造册等,严重者将对其基础进行加固,除进行地面建筑物沉降、倾斜监测外,还派专人对建筑物进行定时巡查,若遇有裂缝将对其长宽、发展方向进行量测,并登记编号监控。

b. 地下管线的保护。应查清地下管线的准确埋设位置及走向,并在其正上方布设监测测点进行监测,计算其纵向沉降槽曲率,以管线接口处的曲率作为比判基准。接近控制标准者,将进行停工处理,如:对管线进行悬挂、注浆抬升等技术措施。

(下转54页)

跟进施工二次衬砌。

#### b. 加强超前预支护

该段虽有长管棚对稳固围岩起到较大作用,但该段地质情况极差,围岩压力过大,长管棚局部被压弯,经研究仍要加强超前预支护围岩。采用 $\phi 42\text{mm}$ 小导管长3m(每环纵向搭接1.0m),环向间距取40cm,地质条件差的地段则加密间距取20cm,注双液浆即水泥浆加水玻璃。

#### c. 加强初期支护与围岩的连接

采用 $\phi 42\text{mm}$ 长3m小导管在各节工字钢架连接板处打注浆小导管,每连接点施打两根小导管将工字钢架夹住焊接起来,代替原设计的ZW药包 $\phi 22$ 锁脚锚杆。增设径向锚杆,采用自进式 $\phi 22$ 砂浆锚杆,环向间距取80cm、纵向间距取100cm呈梅花形布置,再次加强初期支护与围岩的连接。

#### d. 加强质量管理

上述办法施工过程中,应重视地下渗水的集中抽排,加强各工序的质量管理,采取严厉的奖罚措施促进质量管理,使上述预防初期支护大幅变形的措施不折不扣地落到实处。

### 6.2 粘土充填灰岩及灰岩溶蚀地段

该段特点是时软时硬,掘进穿越该段时,既要充分利用硬岩的承载力,又要考虑硬岩爆破拆除的不良影响。上述加强初期支护与围岩连接的措施仍适用本段,本段的临时支撑可不必象上述饱和粘土段那样密,视实际情况而定。

施作初期支护时视实际地质情况,尽量将工字钢架落在岩石上,灵活处理。爆破挖除工字钢脚岩石时,应多布炮眼少放炸药量,尽量避免大幅扰动围岩;爆破前可用工字钢临时支撑岩石上的初期支护下脚,控制初期支护的下沉。

经施工监测,采取以上措施防止初期支护大幅变形其拱顶下沉和洞内水平收敛大部分均未有大的变形,见表3、表4。

表3 拱顶下沉值

部 位	平均值 (mm)	最大值 (mm)	最大变化速率 (mm/d)
ZK2+030~+040	17.7	20.6	2.8
ZK2+040~+050	9.3	13.8	4.1
ZK2+050~+070	9.8	15.4	3.8

表4 A单元水平收敛值

部 位	平均值 (mm)	最大值 (mm)	最大变化速率 (mm/d)
ZK2+030~+040	11.5	19.3	4.3
ZK2+040~+050	6.1	9.2	2.5
ZK2+050~+070	5.7	8.6	2.8

## 7 结束语

上述处理和预防初期支护大幅变形的措施得当,效果很好,顺利地渡过了上述不良地质地段,施工中未出现坍塌事故。经有关专家考查,认为对芙蓉山隧道如此不良地质地段的初期支护大幅变形的整治是成功的,它既保证了隧道施工的安全和质量,又较CD工法的进度快,较CD工法简便,值得推广应用。

#### 参考文献

- 1 公路隧道施工技术规范 JTJ042—94. 北京:人民交通出版社,1995
- 2 符华兴. 强挤压围岩隧道施工支护技术的商榷. 隧道建设,2003,(1)

作者简介:戴希红,男,1968年4月生,1990年毕业于华东科技大学公路与城市道路专业,工程师,从事桥隧工程技术管理工作。

收稿日期:2003.7.23

(上接51页)

## 3 结束语

城市地铁单洞双层重叠隧道,设计和施工都是国内首例,同单线隧道的施工相比,其衬砌、防水施工工艺及监控量测都更为复杂,由于篇幅所限,在此仅讨论了开挖阶段的施工工艺,该工程的开挖施工顺利完成,为今后同类工程提供了成功的范例,对今后同类地下工程的设计选线、选址、施工有一定的参考价值。

#### 参考文献

- 1 关宝树,国兆林. 隧道及地下工程. 成都:西南交通大学出版社,2000

作者简介:梁其谊,男,1969年2月生,毕业于河北地质学院铁路工程地质及工程物探专业,大学本科,工程师。

收稿日期:2003.4.25