

公路大跨度隧道开挖及初期支护施工技术

张 凯¹, 徐建平^{2,3}

(1. 广州市地下铁道总公司, 广东 广州 510000; 2. 湖南工业大学 土木工程学院, 湖南 株洲 412008;
3. 武汉长江隧道建设有限公司, 湖北 武汉 430010)

摘 要: 结合京珠国道主干线广州东段龙头山隧道施工, 重点介绍隧道开挖采用的双侧壁导坑法、超前支护以及初期支护, 可供类似工程施工参考。

关键词: 公路大跨度隧道; 管棚; 双侧壁导坑法; 开挖; 初期支护

中图分类号: U459.2

文献标识码: A

文章编号: 1673-9833(2007)02-0026-05

Large Span Road Tunnel Excavating and Its Initial Supporting Construction

Zhang Kai¹, Xu Jianping^{2,3}

(1. Guangzhou Metro Corporation, Guangzhou 510000, China; 2. School of Civil Engineering, Hunan University of Technology, Zhuzhou Hunan 412008, China; 3. Yangtze River Tunnel in Wuhan Construction Limited Company, Wuhan 430010, China)

Abstract Combining Guangzhou's east section Longtoushan tunnel construction of Jingzhu main national line, it put emphasis on introducing double side drift method by tunnel excavating and its advance supporting and initial supporting can provide the reference to similar engineering construction.

Key words: large span road tunnel; pipe shed; double side drift method; excavating; initial supporting

随着国民经济的高速发展, 高等级高速公路也迅速发展, 路面加宽、净空加高, 隧道断面和跨度随之加大, 对原有的施工工艺、施工方法也提出了更高的要求。现结合龙头山右线隧道施工, 介绍大跨度隧道施工的开挖、初支施工方法。

1 工程概况

龙头山隧道位于京珠国道主干线广州东段(珠江黄埔大桥)的S04合同段, 进口位于萝岗镇南岗大庄村北西侧, 设计为分离式隧道, 隧道全长1.02 km, 其中施工右线里程: K5+765~K6+265, 长500 m, 最大埋深约98 m, 进口左右线最小净距23 m, 洞身左右线最大净距51 m。开挖宽度最大21.4 m, 最大高度13.6 m。地形起伏较大, 海拔高程20.60~168.80 m, 地貌类型为丘陵区, 山坡坡度较陡, 一般在10~30°, 陡坎发育, 丘顶多呈圆形、椭圆形、尖锥型, 山脊脊线明显, 山

沟、山脊不同程度分布大面积风化二长花岗岩。隧道区地下水类型主要有孔隙潜水和基岩裂隙水, 基岩裂隙富水性不均匀, 局部透水性较好, 在浅埋地段开挖出现涌水现象。隧道进口段为高低不同的陡坎及人工填土, 上部分布不同的孤石, 节理裂隙发育, 围岩破碎, 稳定性差, 洞口施工无支护易坍塌。

2 施工方法

2.1 隧道洞口工程施工

2.1.1 洞口边仰坡施工

隧道进洞前应先做好洞口边仰坡, 施工安排在旱季。先施作边仰坡外的截、排水沟, 然后采用PC200挖掘机, 每2 m一层自上而下逐层开挖, 并进行边仰坡防护, 采用锚、网、喷临时防护, 喷10 cm厚C20砼, $\Phi 6$ mm钢筋网(15 cm \times 15 cm), 锚杆采用 $\Phi 22$ mm砂浆锚杆($l=4.0$ m, @1.2 m \times 1.2 m)。为保证下部边

收稿日期: 2007-01-10

作者简介: 张 凯(1977-), 男, 河南郑州人, 广州市地下铁道总公司工程师, 主要从事广州地铁工程建设管理工作。

仰坡的稳定,开挖至进暗洞位置时,留出3~5 m核心土支挡坡面,拉槽逐层开挖支护洞脸两侧边仰坡。

由于洞门顶部仰坡为松散破碎的堆积层,为防止坡面滑动,采取自地表打设注浆钢花管对堆积层进行注浆加固。

2.1.2 洞门加固施工

为保持洞门的稳定,进口40 m围岩破碎段采用Φ108管棚超前支护,超前长管棚由管棚钻机一次施作完成,打设时控制外插角,确保位置精确,为进洞施工提供安全防护。长管棚施工方法及技术措施如下。

1) 导向墙施工:施工采用钢架和组合式钢模板,按照设计位置精确埋设Φ127 mm×5.5 mm导向钢管,保证管棚顶进方向准确无误,砼采用拌合站拌合,挖掘机送入模,整体浇筑。

2) 长管棚加工:采用Φ108 mm热轧无缝钢花管,用Φ114 mm×4 mm热轧无缝钢管扣连接。隧道同一横断面内的接头数不大于50%,相邻钢管的接头至少错开1 m,编号为奇数的第一节管采用4 m钢管,编号为偶数的第一节钢管采用6 m钢管,以后每节均采用6 m长钢管。

3) 长管棚施工:施工采用潜孔钻机钻孔,钻孔方向较钢花管设计方向上偏1~2°,每钻完一孔便顶进一根钢管。钢筋笼断面尺寸严格按设计图纸进行加工,在管棚顶进前将钢筋笼装入钢管内,随管棚分节安装。

灌浆采用水泥浆液,注浆压力设计为2.0~2.5 MPa,实际压力达到1.0~2.0 MPa,终压后稳压10 min停止注浆。注浆量一般为钻孔圆柱体的1.5倍,若注浆量超限,未达到压力要求,则调整浆液浓度,继续注浆,确保钻孔周围岩体与钢管周围孔隙均为浆液充填,方可终止注浆。注浆结束后清除管内浆液,并用M30水泥砂浆紧密充填,增强管棚的刚度和强度。管棚布置见图1。

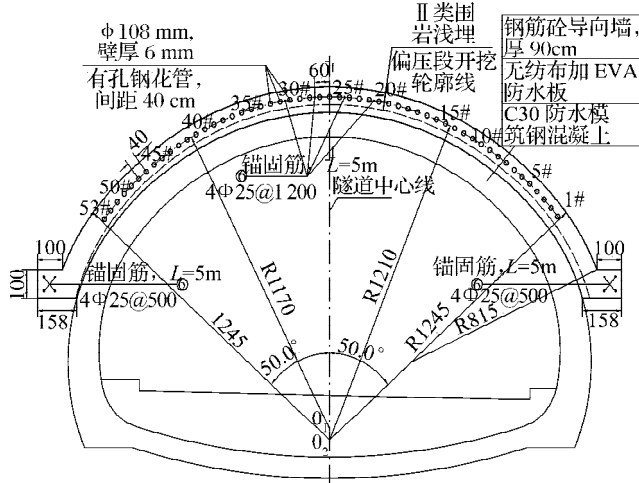


图1 管棚导向墙设计图

Fig. 1 Pipe shed guidance wall design

2.2 洞身开挖及支护

地质条件差,断面大时,一般使采用多跨结构施工,其核心思想是变大断面为中小断面。根据本工程特点,采用双侧壁导坑法施工。此法施工工序复杂,但两侧洞对称施工,比较容易解决侧压力问题,施工引起的地面沉降较易控制。^[1]

双侧壁导坑法^[2]:隧道开挖采用人工风镐配合PC200挖掘机开挖,局部硬质岩使用作业台架配合YT-28凿岩机钻眼,实施光面爆破技术,侧卸式厦工50C装载机装碴,三菱自卸汽车运碴,隧道开挖后及时施作初期支护。II类围岩浅埋偏压地段第一环(40 m)超前管棚支护,之后采用双排小导管超前支护,II类围岩深埋地段及III类围岩段采用单排超前小导管支护作为辅助施工措施,左、右侧壁导坑先行,拱部上弧导坑随后跟进的先墙后拱法施工。

2.2.1 双侧壁导坑法施工工序及流程图(见图2~4)

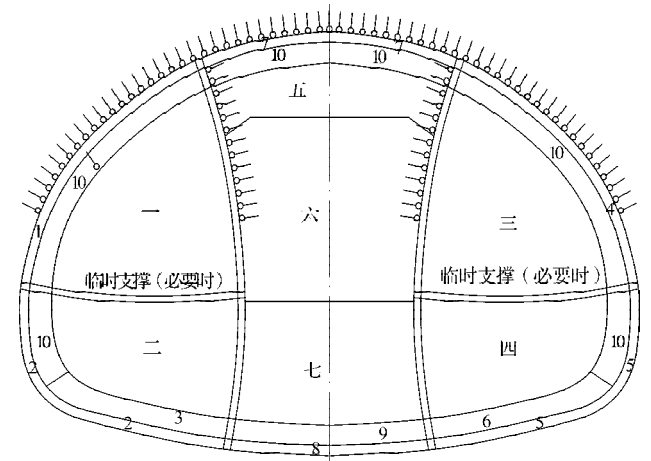


图2 II、III类围岩施工步序方案图

Fig. 2 Construction steps chart

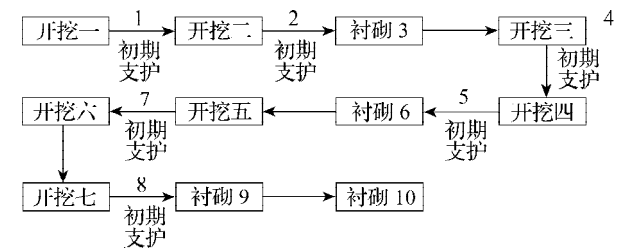


图3 II、III类围岩施工步序流程方案图

Fig. 3 Construction steps chart

2.2.2 具体施工方法

1) 左、右侧导坑开挖(一~四):采用上下台阶分步开挖施工,上台阶循环进尺II类围岩75 cm、III类围岩100 cm,然后施作导坑初期支护和临时坑壁支撑紧跟开挖,初期支护墙脚设锁脚锚杆,变形大时设临时仰拱。^[3]下台阶开挖时,初期支护、临时壁墙支撑错间落底,循环进尺不得大于2 m。

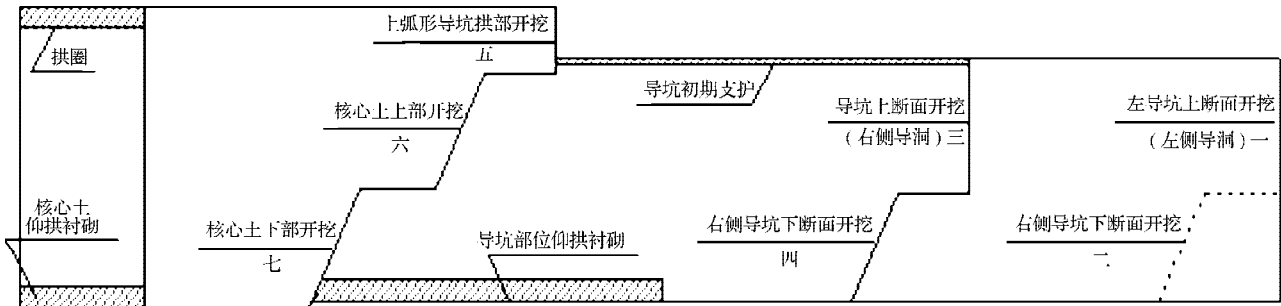
左、右导坑施工开挖掌子面间距控制在 20~40 m 为宜。根据围岩变形情况及时施工仰拱，并注意衬砌钢筋的预留。

2) 主洞上弧导坑开挖 (五): 采用人工机械开挖, 严禁爆破开挖。中部拱顶每次开挖循环进尺 ≤ 100 cm, 然后施作拱顶初期支护。III 类围岩根据施工情况对核

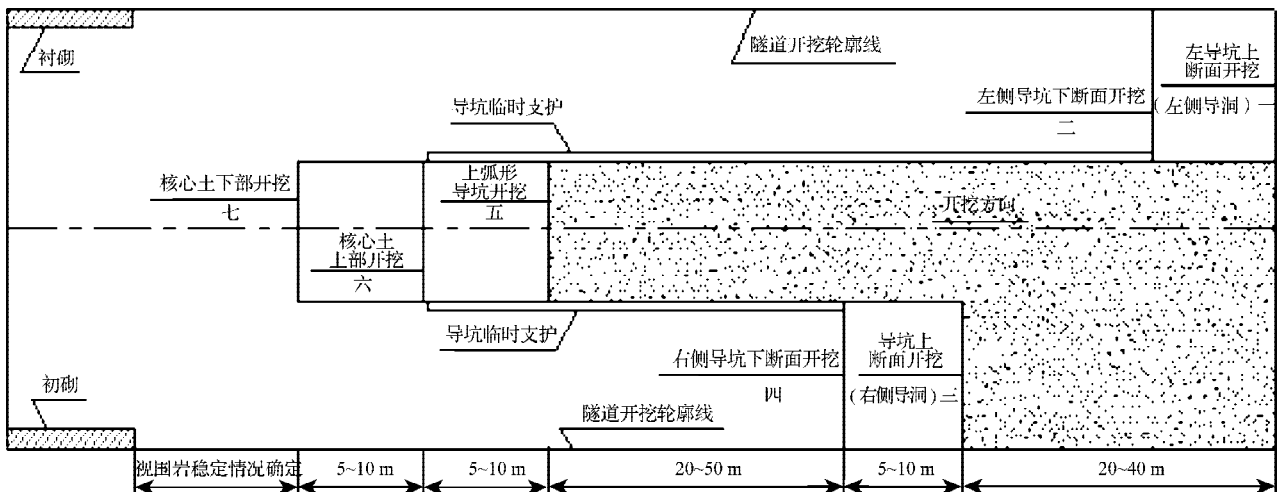
心土部分开挖做适当调整。

3) 核心土的开挖 (六、七): 分上、下部开挖, 每次开挖循环进尺 ≤ 200 cm, 完毕后及时对仰拱进行封闭, 同时根据监控量测的结果作好导洞临时支护的拆除。

4) 仰拱衬砌分段浇筑, 应紧跟开挖, 原则上距核心土底部的距离不大于 10 m。



a) 隧道施工步骤立面图



b) 隧道施工步骤平面图

图 4 隧道施工步骤图

Fig. 4 Tunnel Construction steps chart

2.3 超前支护及初期支护

2.3.1 超前支护

本工程 II、III 类围岩开挖采用的超前支护辅助措施参数制^[4], 详见表 1。

表 1 超前支护辅助措施

Table 1 Advance-support assist measure

施工位置	超前支护
浅埋偏压段进口段 40 m 主洞	$\Phi 108$ mm 长管棚加钢筋笼超前支护, $l=40.0$ m, 环向间距 40 cm, $\alpha=1\sim3^\circ$, 管棚与开挖轮廓线之间设单排 $\Phi 50$ 小导管。
II 类围岩主洞	$\Phi 50$ 双排注浆导管支护, 第一排 $l=5.0$ m, $\alpha=6^\circ$; 第二排 $l=4.5$ m, $\alpha=15^\circ$, 环向间距 40 cm。
深埋地段	$\Phi 50$ mm 超前小导管支护, $l=4.5$ m, 环向间距 40 cm, $\alpha=5\sim7^\circ$
II 类围岩侧导洞	浅埋段、浅埋偏压段 $\Phi 50$ mm 超前小导管支护, $l=4.5$ m, 环向间距 35 cm, $\alpha=5\sim7^\circ$ 深埋 $\Phi 50$ mm 超前小导管支护, $l=4.5$ m, 环向间距 40 cm, $\alpha=5\sim7^\circ$
III 类围岩段	$\Phi 50$ mm 超前小导管支护, $l=4.5$ m, 环向间距 40 cm, $\alpha=5\sim7^\circ$

2.3.2 超前注浆

隧道洞身 II、III 类围岩地段采用超前注浆小导管作为开挖的超前支护。超前小导管采用 $\Phi 50 \text{ mm} \times 5 \text{ mm}$ 热轧无缝钢管, 注浆浆液为 1:1 水泥浆液, 注浆压力为 0.5 MPa~1.0 MPa, 尾部焊在钢拱架上。

首先, 沿隧道外轮廓线用锚杆钻机钻孔, 然后顶入导管, 顶入长度不小于管长的 90%, 安设止浆塞, 用注浆泵压入水泥浆液, 注浆一般按单管达到设计注

浆量作为注浆结束标准。当注浆压力达到 1.0 MPa 时, 稳压 2 min, 注浆量仍达不到设计注浆量时, 也可结束注浆。

注浆工艺流程为: 制作小导管→布置眼孔→钻孔→顶入小导管→注浆→注浆效果检查→掘进开挖。

2.3.3 初期支护

隧道初期支护采用型钢、锚杆、超前小导管配合网喷混凝土加固, 初期支护设计详见表 2。

表 2 初期支护辅助措施
Table 2 Primary supports assist measure

施工位置	锚杆规格					挂网喷射砼		型钢拱架	
	类型	直径/mm	长度/m	间距/cm × cm	喷射砼品种	喷射砼厚度/cm	规格	纵向间距/cm	
II类围岩主洞	浅埋偏压段	中空注浆锚杆	25	4.0	100 × 75	钢纤维砼	27	H200 × 200	75
	深埋地段					钢纤维砼	24	H175 × 175	80
II类围岩侧导洞	浅埋段、浅埋偏压段	早强砂浆锚杆	22	2.5	100 × 75	钢筋网	25	H175 × 175	75
	深埋	早强砂浆锚杆	22	2.5	100 × 80	钢筋网	20	H175 × 175	80
III类围岩段主洞		中空注浆锚杆	25	4.0	100 × 100	钢纤维砼	19	H150 × 150	100
III类围岩段侧导洞		早强砂浆锚杆	22	2.0	120 × 100	砼	18	H150 × 150	100
IV类围岩段		早强砂浆锚杆	22	3.5	120 × 120	钢纤维砼	12		
V类围岩段		早强砂浆锚杆	22	3.0	150 × 150	钢纤维砼	7		

注: 喷射砼强度均为 C25

洞身 II、III 类围岩初期支护采用 5 m、4 m 的 $\Phi 25 \text{ mm}$ 的中空注浆锚杆, IV、V 类围岩采用 $\Phi 22$ 螺纹钢现场制作砂浆锚杆初期支护, 多功能台架配合手持凿岩机沿开挖轮廓线钻孔, 钻孔直径大于锚杆直径 15 mm, 钻孔完毕用高压风清孔, 压注砂浆采用早强水泥浆, 水泥采用早强水泥, 并掺早强剂。

施工工序如下:

凿岩成孔并清孔→将锚杆安上锚头→将杆体插入锚孔→安装止浆塞、垫板及螺母→连接好快速止浆接头、注浆(待压力表上指针升至设计压力)→待砂浆达到

设计强度, 拧紧螺母。

型钢拱架在洞外加工场采用冷弯机加工成型, 接头采用 2 cm 厚钢板螺栓加楔缝焊接连接, 架立钢架时在钢架基脚处设刚性垫板或打设锁脚锚杆, 以增加其承载力。按设计位置垂直隧道中线安设, 钢架与喷射砼之间出现较大间隙时应设置砼垫块, 钢架与锚杆焊接在一起, 同时利用锚杆定位; 钢架安设好后应尽快施作喷砼作业, 并将其全部覆盖, 使钢架与喷砼共同受力。拱架大样及连接设计见图 5 所示。

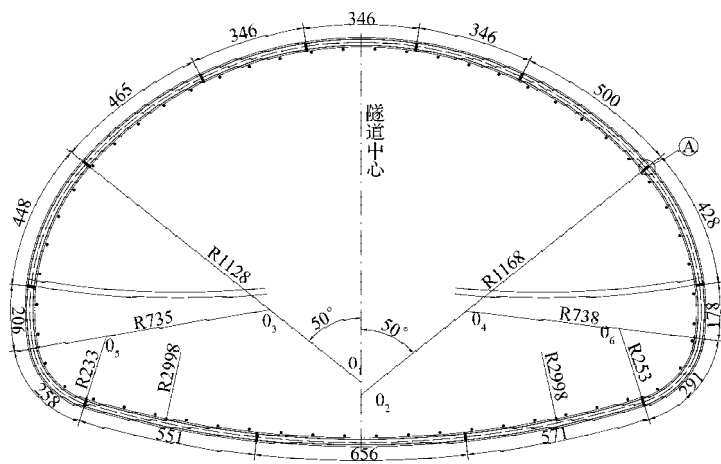
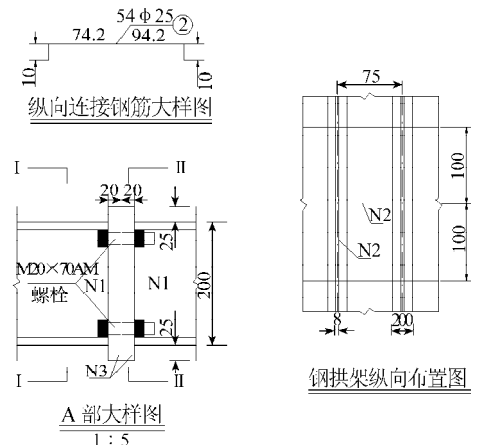
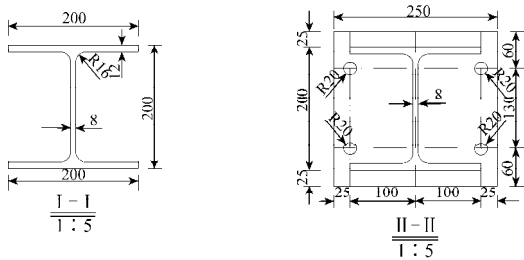


图 5 II 类围岩浅埋偏压段主洞钢拱架设计图

Fig. 5 Shallowburied-unbalance press tunnel steel arch design





为增加初期支护的刚度,初支喷射砼采用C25钢纤维砼,钢纤维采用冷拉型纤维,最小抗拉强度为 $1\ 200\text{ N/mm}^2$,长度为40 mm,直径为0.5 mm,掺量为 40 kg/m^3 ,施工配合比根据现场试验数据进行确定。

喷射采用湿喷工艺,喷射料由洞外的砼拌和站拌制。先将水泥、砂子、碎石、硅粉、高效减水剂等按配合比拌和均匀,再掺入钢纤维拌和均匀后,装入砼输送罐车运至砼喷射工作面。为加快喷射砼的凝固时间,减少回弹量,在喷射机入料口掺入4%~7%的速凝剂,施喷压力取 $0.45\sim 0.7\text{ MPa}$ 。

喷射砼分段、分片、分层进行,由下向上,从无水区、少水区向有水、多水区集中,多水区安放导管将水排出。每次喷层厚度为拱顶边墙7~10 cm,5~6 cm,分多次逐层喷射至设计厚度。

湿喷混凝土施工工艺如图6所示。

钢筋网采用洞外加工成方格网片,纵横钢筋相交处点焊或用铁丝绑扎成一体。挂设时与钢支撑或锚杆焊接固定在一起,且随岩面起伏铺设。

3 结语

对于大跨度隧道,尤其是岩层软弱、破碎地段,通过双侧壁导坑开挖方法,施工比较安全,可以形成多作业面施工。但也存在弊端,主要体现在支护过多,进度缓慢,实行双侧壁后,断面相对减小,大型机械难

于发挥自身工效。对施工中出现的问題,建议:

1) 对主洞上部,在开挖前一定要支撑封闭,如果地表未封闭,则需留泄水孔,防止在侧壁开挖后土体自身不能承受山体土压力和水压力而崩塌;^[5]

2) 左右侧壁拉开距离不宜过长,错开一定距离后尽量成环,形成整体受力。

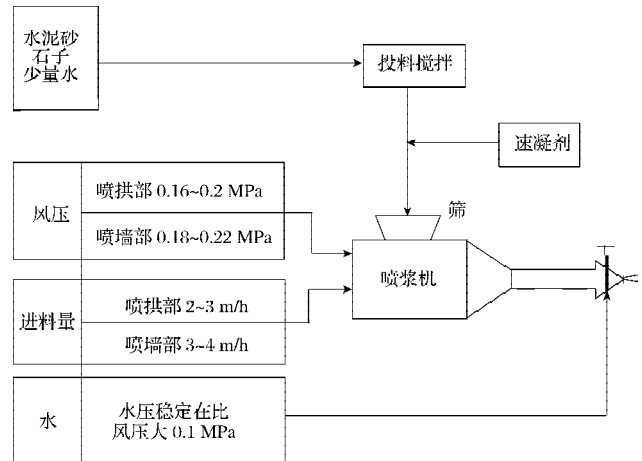


图6 湿式喷射混凝土工艺流程示意图

Fig. 6 Process chart of wetting spray concrete

参考文献:

- [1] 王梦恕. 隧道工程浅埋暗挖法施工要点[J]. 隧道建设, 2007, 27(1): 1-2
- [2] 盛堂兴. 广州市新光快速路新光隧道大跨断面隧道施工技术总结[R]. 深圳: 中铁隧道集团三处有限公司, 2004.
- [3] 谢琪. 隧道横断面设计及其标准化问题的思考[J]. 福建建筑, 2006(1): 127-128.
- [4] JTGD 70-2004, 公路隧道设计规范[S].
- [5] 关宝树. 隧道工程施工要点集[M]. 北京: 人民交通出版社, 2003.