

# 云南思小高速公路白花山隧道围岩稳定性研究

吕远强, 苏生瑞, 安光明, 郭社锋

(长安大学地质工程与测绘工程学院, 陕西西安 710054)

[摘要] 根据白花山隧道中导洞开挖过程的实际情况, 在隧道开挖期间, 采用地质素描法对隧道进行详细的地质描述, 同时对地层、岩性、构造、地下水、围岩和边坡的变形破坏现象进行分析, 对该隧道的地质条件有了更为详尽和准确地认识, 然后提出了合理建议。

[关键词] 公路隧道; 稳定性; 地质素描法; 围岩变形破坏; 云南

[中图分类号] P642.4; TV554 [文献标识码] A [文章编号] 1672-6561(2005)02-0086-04

[作者简介] 吕远强(1978-), 男, 贵州遵义人, 硕士研究生, 从事地质工程岩土力学研究。

随着西部建设的拓展, 高速公路建设急速剧增, 与此同时, 连拱隧道的数量越来越多。但是, 连拱隧道施工建设技术还不完善, 相对于分离隧道, 施工中必然存在对隧道围岩多次扰动, 中墙部位受力尤为复杂, 故施工难度相当大, 尤其是在浅埋、长度短、围岩软弱的地质条件下, 这类隧道在各个不同施工阶段, 围岩与支护体系的稳定性应备受关注。所以, 施工过程中隧道的安全稳定也成为连拱隧道建设面临的一大难题。笔者对白花山隧道围岩的稳定进行分析研究, 为以后的隧道施工建设提供借鉴作用<sup>[1~5]</sup>。

云南思小高速公路白花山隧道是思小高速公路中的一连拱隧道, 位于K89+675~K89+790之间, 全长115 m, 全隧道位于 $R=571.172$  m,  $L_s=200$  m,  $I=3\%$ 的右转曲线上; 纵坡为+0.656%。隧道最大埋深19.68 m, 设计为整浇曲中墙的整体式双跨连拱结构。单跨净宽为10.8 m, 净高为6.9 m的中墙为整浇曲墙, 边墙为曲墙的单心圆结构, 隧道净宽为23.4 m。进出口均采用双柱式洞门<sup>[5]</sup>。

在白花山隧道导洞开挖过程中, 笔者野外跟踪实录, 用地质素描法对隧道进行详细的地质描述, 同时对地层、岩性、构造、地下水、围岩破坏现象进行分析。

## 1 地质背景

白花山隧道位于213国道附近, 属于构造剥蚀低山区, 其地势东高西低, 最高海拔约900 m, 最低海拔约820 m, 相对高差 $<100$  m, 隧道进口端发育“V”型冲沟, 其走向与隧道垂直, 出口端紧邻一大型“U”型冲沟, 冲沟延伸方向近似垂直于隧道走向。进口端边坡倾向约 $330^\circ$ , 坡度约 $25^\circ$ ; 出口端边坡倾向约 $205^\circ$ , 坡度约 $30^\circ$ 。隧道进出口端开挖后坡度变陡, 坡顶表层为人工堆积砖红色亚粘土和松散堆积物, 下雨易发生滑塌; 隧道顶部和冲沟内植被发育, 隧道区属于小勐养保护区核心区, 距野象谷约3 km。

### 1.1 地层岩性

根据已开挖隧道中导洞的地质编录, 隧道穿越地段为白垩系沉积岩和第四系沉积物, 岩性主要为紫红色、褐黄色泥岩、泥质砂岩, 泥质砂岩、砂岩互层以及褐黄色-褐黑色砂岩。岩层结构面间的裂隙和夹层主要由泥质和岩屑充填。从所揭露的地层看, 岩性变化不频繁, 但隧道区岩层产状比较紊乱, 节理裂隙较发育, 充填泥、岩屑, 大部分地区岩体破碎, 围岩开挖易发生坍塌。隧道进口、出口只有几米, 所以开挖时应特别注意冒顶事故发生。

### 1.2 地质构造

该隧道内总体上岩层产状比较紊乱, 仅在K89+749~K89+780段岩层产状较为稳定, 为 $195^\circ\sim 220^\circ\angle 27^\circ\sim 35^\circ$ 。隧道结构面以张节理和层面发育

[收稿日期] 2004 08 18

[基金项目] 云南省交通科技项目(TST2004)

©1994-2015 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

为主, K89+727~K89+749 段节理和层面比较紊乱, 节理面参差不齐、宽窄不一、纵横交错, 开挖时顶部、侧壁都不同程度塌落。岩层厚度一般 0.2~1.0 m, 层面起伏、粗糙, 裂隙发育, 张开度 2~10 mm, 在 K89+749~K89+780 可见张开度 50~100 mm, 其大部分为泥质充填夹少量强风化岩屑, 加上渗水, 若开挖后不及时支护, 易沿结构面发生坍塌。

据统计, 隧道内结构面的优势产状主要有 3 组(图 1, 图 2), 其产状为  $179^{\circ}\angle 23^{\circ}$  的一组最为发育, 其次为  $232^{\circ}\angle 30^{\circ}$  和  $309^{\circ}\angle 83^{\circ}$ 。其中第 1 组(图 2 中的大圆弧 1)不利于隧道出口边坡的稳定, 但对进口端边坡有利; 第 2 组(图 2 中的大圆弧 2)不利于隧道左壁(即靠山一侧)的稳定。

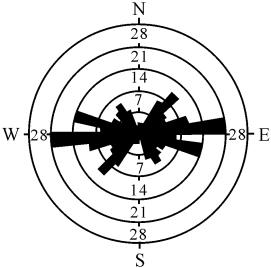


图 1 白花山隧道结构面玫瑰花图

Fig. 1 Rose chart of structure face of Baihuashan tunnel

1.3 地下水

该隧道地下水类型为基岩裂隙水, 富水性中等, 主要受降雨影响。根据已开挖隧道施工过程中对地下水状况的观测, K89+680.0~687.2 岩层干燥-潮湿, K89+687.2~761.8 局部可见渗水-滴水, K89+761.8~780.0 为潮湿-干燥。因此, 本隧道水文地质条件较好。同时, 由于隧道进出口埋深较浅, 坡度较陡, 尤其在下雨时, 坡顶表层的人工堆积砖红色亚粘土和松散堆积物易局部滑塌或形成坡面泥石流, 对隧道后期施工和隧道的安全运营造成威胁。所以, 应做好隧道进出口边坡的排水工程。

2 中导洞施工期间的围岩变形和破坏

2.1 边坡变形与破坏

边坡变形与破坏主要指隧道进出口边坡的变形与破坏。该隧道进出口端埋深浅, 易滑塌, 难于支护, 且边坡坡度较陡。隧道顶部大多是松散堆积物或全风化岩体, 隧道进口端表层为松散堆积物和人

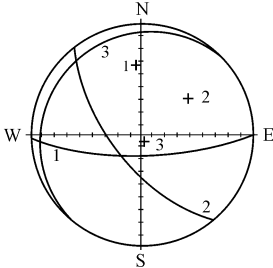


图 2 白花山隧道结构面赤平投影图(上半球投影)

Fig. 2 Chipping projection chart of structure face of Baihuashan tunnel( first half projection)

工堆积亚粘土, 降雨时特别容易发生滑坡。施工过程中, 进口端曾于 2003 年 12 月 27 日发生过滑坡。如元磨隧道, 出口边坡发生严重变形破坏, 危及隧道围岩约 10 m 的稳定(导致钢架折断和变形)。所以, 边坡的变形和破坏对隧道的稳定也有一定影响<sup>[6,7]</sup>。

2.2 围岩变形破坏

隧道在开挖过程中, 围岩都会不同程度地发生变形破坏, 加上受岩性、层理、节理、地下水、结构面的组合形式、岩体风化程度、结构面间充填物等因素的影响, 隧道顶部和侧壁易发生塌落、掉块现象, 有时还会出现冒顶事故和大面积塌方, 严重威胁隧道的稳定。已开挖隧道中导洞拱顶剥落掉块现象统计(表 1)表明, 这种现象都不同程度地影响隧道稳定和安全施工。

表 1 已开挖隧道中导洞拱顶、壁的剥落掉块现象统计  
Table 1 Peeling off statistical table of the digged tunnel s arch-top, wall of center tunnel

序号	位 置	特征描述	程度	控制因素
1	K89+693.0~702.6	顶部有不规则的小块岩块掉落, 夹风化物 and 碎屑, 岩块粒径约 0.2~1.0 m	轻 微	节理、岩性等
2	K89+702.6~708.4	顶部和侧壁有不规则的破碎岩块掉落, 夹风化物 and 碎屑, 岩块粒径约 0.5~1.0 m	轻 微	节理、岩性等
3	K89+708.4~727.0	顶部发生小块塌落, 夹风化物 and 泥质碎屑, 岩块粒径 0.5~1.0 m, 塌空区体积约 2 m <sup>3</sup>	轻 微	地下滴水、岩性等
4	K89+729.8~732.4	顶部大块塌落, 夹少量风化物 and 碎屑, 岩块粒径 0.5~1.5 m, 塌空区体积约 10 m <sup>3</sup>	严 重	地下渗水、岩性等
5	K89+736.8~739.4	右壁上部发生塌方现象, 夹少量风化物 and 碎屑, 岩块粒径 0.5~1.0 m, 塌空区体积约 5 m <sup>3</sup>	严 重	地下渗水、岩性等
6	K89+761.8~776.2	顶部有不规则的大块岩块塌落, 夹少量风化物 and 碎屑, 岩块粒径 0.5~1.5 m, 塌空区体积约 20 m <sup>3</sup>	严 重	地下渗水、节理、岩性等

3 边坡和洞内岩体稳定性评价

根据结构面产状、隧道进出口边坡倾向和坡角

的几何关系,运用赤平投影和边坡剖面图分析,分别对隧道进出口边坡和隧道内岩体的稳定性进行评价。

### 3.1 边坡稳定性评价

隧道进口端边坡倾向约  $330^{\circ}$ , 倾角约  $25^{\circ}$ , 与结构面的几何关系见图 3a(图中 1 为主要结构面, 产状分别为  $323^{\circ} \angle 23^{\circ}$ , 2 和 3 为次要结构面, 产状分别为  $323^{\circ} \angle 30^{\circ}$  和  $309^{\circ} \angle 83^{\circ}$ , 下同)。从图 3 可以看出, 进口端边坡有 5 个滑动方向, 其中滑动方向 1~4 比较接近, 与隧道轴线近垂直, 表明边坡发生滑动的可能性较大, 而滑动方向 5 与仰坡近垂直, 说明仰坡发生滑动的可能性也较大。由于进口端隧道埋深极浅, 而且隧道上半部分就有强风化层, 若施工措施不当, 边坡和仰坡发生局部滑动的可能性更大。从图 4 可知, 进口端边坡稳定与图 3a 分析的吻合。所以, 该隧道进口端边坡防护必须尽早做好, 并在开挖时严格做到“短进尺、弱爆破、勤支护”, 在施工期间做好边坡变形监控测量工作<sup>[8~9]</sup>。

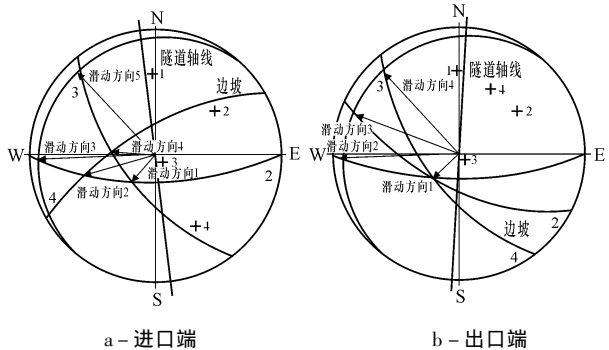


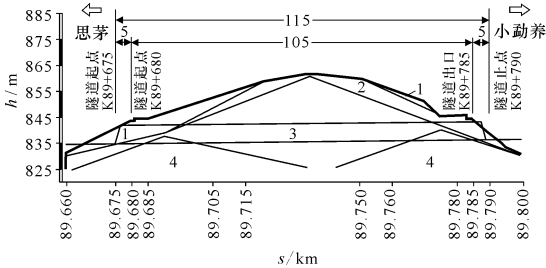
图 3 隧道进出口端边坡赤平投影(上半球投影)

Fig. 3 Chipping projection chart of slope of exit (b) and entrance (a) of the tunnel (first half projection)

隧道出口端边坡的倾向  $205^{\circ}$ , 倾角  $30^{\circ}$ , 其与结构面的几何关系见图 3b。从图中可以看出, 出口端边坡有 4 个滑动方向, 其中滑动方向 1 受两组结构面与边坡坡面共同控制, 与边坡走向呈约  $76^{\circ}$  夹角, 与隧道轴向呈  $40^{\circ}$  夹角, 表明边坡和仰坡都具有发生局部滑动的可能性。而滑动方向 2~4 是有利于仰坡发生滑动的方向。同时, 从图 4 可知, 出口端边坡稳定与图 3b 分析的吻合。所以, 该隧道出口边坡稳定条件总体较差。

### 3.2 隧道围岩稳定性评价

隧道内围岩塌落掉块现象如表 1, 从表 1 可知, 在 K89+729~+737 段和 K89+755~+776 段顶部掉块塌落严重, 威胁隧道的稳定。从图 5 可看



1- 亚粘土, 含强风化泥岩, 砂岩碎屑岩; 2- 碎石土; 3- 泥岩、泥质砂岩、砂岩、石英砂岩, 强风化, 碎块状; 4- 泥岩、泥质砂岩、砂岩、石英砂岩, 中风化, 碎块状

图 4 白花山隧道工程地质纵断面

Fig. 4 Vertical section chart of engineering geology of BaiHuashan tunnel

出, 由于结构面的切割, 在隧道左侧(包括侧壁和拱顶左侧)构成了不稳定的块体。这些不稳定块体一是从隧道左壁(靠山一侧)向隧道内滑落(图 5 中滑动方向 1 和 2); 二是从隧道拱顶左侧向掌子面后方滑落(图 5 中滑动方向 3)。从图 6 可知, 隧道围岩的稳定与图 5 分析的一致。所以, 隧道若从进口端施工时一定要做好超前支护, 特别是拱顶和左壁。加上本隧道埋深浅, 山坡上岩石风化强烈, 风化层较深厚, 隧道开挖扰动后, 坡内岩土体的蠕变将会增大, 发生上述滑落的可能性较大。

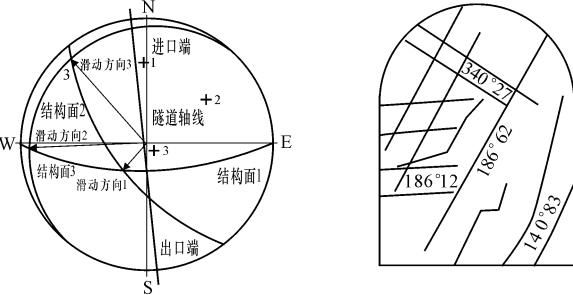


图 5 结构面赤平投影(上半球投影)

Fig. 5 Chipping projection chart of structure face the tunnel (first half projection)

图 6 中导洞 K89+757.00 处结构面剖面

Fig. 6 K89+757.00 sectional drawing of structure face in the center tunnel

所以, 根据结构面产状、隧道进出口边坡倾向和坡角的几何关系运用赤平投影进行分析, 分别对隧道进出口边坡和隧道内围岩的稳定性进行评价, 是一种简单、适用、可行的方法。

## 4 结论

(1) 根据上述分析, 进口端边坡和仰坡都具有发生滑动的可能性, 而且曾发生过滑坡。建议设置

挡墙, 务必保证把挡墙的基础放在新鲜的基岩上, 而且洞顶填土必须对称夯实。隧道进口端天然边坡坡角虽然 $>20^{\circ}$ , 但隧道开挖已经增大了坡角, 以后的施工将会使坡角更陡, 所以, 建议以后施工前先做好边坡防护。隧道出口端边坡稳定条件也较差, 建议以后施工前先做好边坡防护, 同时严格做到弱爆破。

(2) 根据所揭露的地质状况, 隧道围岩都为 II 类围岩, 建议以后施工做好初期支护或超前支护, 且在 K89+729~+737 段和 K89+755~+776 段顶部掉块塌落严重, 要做好及时支护, 以防进一步坍塌。

(3) 根据所做的地质观察和结构面产状的统计分析, 隧道在 K89+680~+688 段顶部为强风化岩层(呈粘土状), 在 K89+727~K89+749 段节理裂隙发育而且产状紊乱, 建议在这些地段施工时应严格遵循“短进尺, 弱爆破, 勤支护”的原则进行施工。

(4) 根据隧道结构面产状的投影分析, 在隧道左侧(包括侧壁和拱顶左侧)存在不稳定的块体。这些不稳定块体可能从隧道左壁(靠山一侧)向隧道内滑落或从拱顶左侧向掌子面后方滑落, 由于连拱隧道受力的不对称性, 这种滑落不但会影响施工(如造成超挖或局部塌方), 而且还可能增大中隔墙的不均匀受力。所以, 建议在开挖爆破时左侧钻孔与开挖线保持一定距离, 使爆破后右侧保留一部分

岩体, 然后再用挖掘机挖到开挖线。

(5) 以后施工中, 在局部地段可能会出现不同程度的渗水和滴水, 应注意“防水止水”, 及时喷浆支护。同时, 建议加强边坡和山体沉降变形的监控测量, 密切注意洞顶有无地表裂缝出现, 便于更好地了解隧道的稳定性。

[ 参 考 文 献 ]

[ 1 ] 徐卫亚. 边坡及滑坡环境岩石力学与工程研究[ M ]. 北京: 中国环境科学出版社, 2000. 160~165.

[ 2 ] 徐开礼. 构造地质学[ M ]. 北京: 地质出版社, 1998. 1~15.

[ 3 ] 张顺联. 地下水水文学[ M ]. 北京: 水利电力出版社, 1986. 15~16.

[ 4 ] 李智毅, 杨裕云. 工程地质学概论[ M ]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1999. 247~273.

[ 5 ] 苏生瑞. 云南思一小高速公路隧道勘察报告[ R ]. 西安: 长安大学, 2004.

[ 6 ] 余晓琳, 黄小华, 彭立敏. 软弱围岩条件下连拱隧道施工阶段的受力分析[ J ]. 西部探矿工程, 2002, ( 4 ): 77~79.

[ 7 ] 眭成忠. 水磨房 2<sup>#</sup>连拱隧道施工方案探讨[ J ]. 云南交通科技, 2002, 18( 5 ): 5~8.

[ 8 ] 王腾军, 田青文. 超长隧洞施工测量若干问题研究[ J ]. 长安大学学报( 地球科学版 ), 2003, 25( 2 ): 60~70.

[ 9 ] 李貅, 薛国强. 一种有发展前景的隧道及井巷超前预报技术——电磁导弹探测技术[ J ]. 西安工程学院学报, 2002, 24( 1 ): 12~14.

# Surrounding rock stabilization of Baihuashan Tunnel of Si Xiao express way in Yunnan Province

L Ü Yuan qiang, SU Sheng rui, AN Guang ming, GUO She feng

(School of Geological Engineering and Surveying Engineering, Chang'an University, Xi'an 710054, China)

**Abstract** With the increasing of tunnel construction, tunnel's safety and stability are even important. Especially, the problem of safety and stability of some tunnels with shallow ambush, softing surrounding rocks and short length are paid close attention. The paper is based on the fact that center tunnel of Baihuashan Tunnel is excavated. In the course of excavating, failure detailed geology description was including properties of rock, structure, ground water, failure and deformation of slope and surrounding rocks from which exhaustive knowledge about the geology of the tunnel was got. According to the description and analysis, reasonable suggestions and conclusions were proposed. They have important significance to unsure the safety and stability of the tunnel in after working on, and have also some reference value to other tunnels.

**Key words** highway tunnel; stabilization; geology sketch; failure and deformation of surrounding rocks; Yunnan Province

[ 英文审定: 苏生瑞 ]