

武汉至十堰高速公路西段隧道围岩稳定性研究

李继昌, 邵圣福

(武汉地质工程勘察院, 湖北武汉 430051)

摘要: 依据工程地质勘察资料, 利用地质分析方法、试验参数的数理统计、极射赤平投影图和对典型工程实例的分析等手段, 研究了影响隧道围岩稳定的主要因素和围岩类别的主要特征, 认为坍塌是隧道工程的主要工程地质问题, 脉体边缘片理发育带、裂隙及降雨是影响隧道围岩稳定的主要因素。

关键词: 隧道; 围岩; 稳定性; 坍塌; 支护。

中图分类号: TU44; P642. 2

文献标识码: A

文章编号: 1000-2383(2001)04-0398-04

作者简介: 李继昌(1941—), 男, 教授级高级工程师, 长期从事水文地质工程地质及环境地质的勘查与评价, 现从事岩土工程勘察和施工的技术管理。

湖北省(武)汉—十(堰)高速公路全长435.360 km, 自武汉经孝感、安陆、随州、襄樊、谷城、丹江口至十堰, 为湖北省拟建通往西部诸省的交通干线之一。路线于谷城以西约75 km, (本文称西部)主要为低山丘陵区, 其地形高差起伏变化大, 谷宽坡陡, 岩石风化强烈, 片理、裂隙发育, 危岩和滑塌体发育; 拟建高速公路常设桥路(堑)、桥隧相连, 其工程地质条件复杂, 尤以高边坡及隧道围岩稳定问题最为突出。本文仅对隧道围岩的稳定问题作一分析。

1 隧道工程地质问题的主要影响因素

据区域地质资料^[1], 汉十高速公路西段处于南秦岭印支冒地槽褶皱带之武当山复背斜的中北部, 次级构造隶属于两郧背斜。两郧背斜轴向呈北西—南东向, 往北西方向倾伏, 东延段隐于襄枣断陷之下; 在郧县、郧西至丹江口以及十堰至石花街分别被两郧断裂和白(河)—石(花街)断裂斜切。西段路线延展于上述两断裂所挟持的中间地块之中, 略靠近白石断裂。白石断裂由一组相互平行的北西—南东向压性逆冲断裂组成, 走向 $N45^{\circ}\sim 70^{\circ}W$, 倾向NE, 倾角 $60^{\circ}\sim 85^{\circ}$, 东延部分与青峰断裂重接。破碎带局

部宽达400~500 m, 带内破碎岩块、挤压透镜体、透镜状石英岩、牵引拖曳褶曲、碎裂岩、糜棱岩发育; 西段路线之南, 以两侧地貌形态差异悬殊为断裂的主要表征; 断裂南侧为中山地形, 山高谷深; 北侧为低山丘陵, 沟宽谷浅, 次级断裂颇为发育。组成西段低山丘陵的地层主要是中元古界武当山群第二及第三岩组($Pt\omega_{2-3}$)的绢云钠长片岩、绢云钠长石英片岩、变粒岩、浅粒岩及晋宁期入侵的变辉绿岩和变辉长岩岩脉。受区域构造作用的影响, 岩层褶曲、片理、裂隙颇为发育。上述工程地质条件的特殊性, 形成西段隧道工程地质问题的既有特色。

1.1 地震

据国家地震局1990年《中国地震烈度区划图》, 西段地震基本烈度为6度, 历史上无破坏性的地震记录。外围竹山、房县、郧县、均县历史上曾发生过烈度为6~7度的地震, 丹江水库自蓄水后, 也先后发生过3.5~4.7级水库诱发地震, 但对西段影响较少。按《公路工程抗震设计规范》^[2]的有关规定, 基本烈度小于7度的地区, 因地震破坏性低, 对隧道的安全影响较小。

1.2 片理和裂隙

西段岩层走向以北西向为主, 部分地段因受断裂构造牵引和脉体挤压的影响而呈北东向, 倾向多北东, 倾角 $30^{\circ}\sim 60^{\circ}$, 局部大于 70° 。路线延向与岩层走向夹角一般小于 45° , 其中以 $2^{\circ}\sim 26^{\circ}$ 夹角段为主,

隧道左壁呈顺向斜交壁;而片理面倾角常见 $30^{\circ}\sim 45^{\circ}$ 、 $50^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 、 $70^{\circ}\sim 80^{\circ}$,在卸荷回弹力及重分布应力的作用下^[3],存在洞壁围岩产生剪滑问题,其中陡倾角片理发育段,还可能出现弯折内鼓或劈裂剥落现象.西段岩层构造裂隙发育,以平均走向为 $N27^{\circ}W$ 和 $N41^{\circ}E$ 两组裂隙为最,两组裂隙构成共轭关系,倾向相对,把岩层切割成大小不一的块体,裂隙面与片理面相互组合,极可能形成不稳定岩块;在洞顶会引起张裂塌落,在侧壁会产生剪切滑移等工程地质问题.

1.3 变辉绿岩脉体边缘片理发育带

西段变辉绿岩岩脉多以顺层侵入为主,脉体宽窄不一.因受构造作用和变质作用的影响,脉体边缘片理化甚为强烈,其产状与围岩片理相平行.边缘片理面光滑,具绿泥石化,常构成岩质滑坡滑动带.隧道成洞时,极易导致洞室产生较大规模的坍塌,因此片理发育带是隧道围岩最不稳定的因素.

1.4 断裂破碎带

西段地层中与白石断裂平行的次级断裂发育,破碎带宽度因地而异,带内角砾岩与糜棱岩相混,胶结一般;地貌上常形成负地形或山脊鞍部.若隧道切之而过,可能会引起塌方.

1.5 降雨

西段地处中低纬度地带,属亚热带季风性湿热气候,多年平均降雨量为 825 mm,降雨多集中在7—9月且多为暴雨.据十堰市气象站观测资料:历史上十堰市最大洪水年份日降雨量达 235.4 mm(1982年7月30日),最大即时降雨强度为 91.2 mm/h(1995年7月16日16:38始).暴雨常造成山洪暴发、斜坡失稳等地质灾害的发生.由于隧道围岩裂隙发育,岩石风化强烈,有利于雨水入渗,削弱岩块间的粘聚力,而导致围岩失稳,尤其是洞口附近坍塌现象更易发生.

2 隧道围岩类别的工程地质特征

西段隧道围岩类别常见 4 类,以Ⅱ、Ⅲ类为主,各具如下特征^[4].

(1)Ⅰ类围岩:主要由残坡积碎石亚粘土、亚砂土组成.其结构较松散,稳定性差,浅层地震波速(v_p)为 $0.4\sim 0.8$ km/s.该类围岩常分布于洞口附近,易塌,成洞难度极大;(2)Ⅱ类围岩:主要由强风化片岩、变辉绿岩组成.岩石风化程度深,裂隙颇发

育,隙面常附铁锰质薄膜或浸染.“石心”在饱和状态下(下同)极限抗压强度低,为 $2.7\sim 15.2$ MPa,极限抗拉强度为 $0.2\sim 0.9$ MPa,平均抗拉强度与抗压强度之比值(下称拉压比)较大为 0.088;饱和吸水率高达 2.75%,浅层地震波速(v_p)为 $0.8\sim 2.9$ km/s.该类围岩多分布于洞室两端,围岩完整性差,呈碎石状松散结构,易产生较大规模的坍塌,成洞难;(3)Ⅲ类围岩:主要由弱风化片岩、变辉绿岩和浅粒岩组成.岩石风化程度较浅,裂隙发育.岩石极限抗压强度 $9.4\sim 98$ MPa,极限抗拉强度为 $0.7\sim 3.1$ MPa,拉压比为 $0.035\sim 0.05$;饱和吸水率为 $0.8\%\sim 1.76\%$,浅层地震波速(v_p)为 $1.5\sim 4.8$ km/s.该类围岩主要分布于洞室中部或两端,呈块石、碎石状镶嵌结构,围岩欠完整,成洞较难,洞室可能产生较大规模的塌方;(4)Ⅳ类围岩:由微风化片岩及变辉绿岩组成.岩石裂隙较发育,石英细脉穿插于其中,岩石极限抗压强度为 $22.4\sim 104.3$ MPa,极限抗拉强度为 $1.6\sim 2.8$ MPa,拉压比为 $0.029\sim 0.037$;饱和吸水率为 $0.21\%\sim 1.71\%$,浅层地震波速(v_p)大于 4.8 km/s.该类围岩主要分布于洞室之中部,完整性较好,呈块石状镶嵌—大块状砌体结构,但层(隙)间结合较差,可能会产生小坍塌.

各类围岩的物理力学性质指标汇总于表 1.由表 1 可见,各类围岩抗压强度值离散度大,变异系数颇高,除岩性差异外,与试样常沿片理面破坏有关;反映片理构造对围岩稳定具有较大的控制作用.

3 梅子沟隧道围岩稳定性评价

3.1 工程概况

梅子沟隧道^①位于丹江口市丁家营镇与武当镇交界处,全长 130 m,进出口均与高架桥相连,为越岭隧道;岭顶标高 289.5 m,设计洞宽为 24 m,洞高 10 m,洞底标高为 243~245 m,坡降 1.5%.

3.2 工程地质条件

梅子沟隧道围岩由绢云母纳长片岩和变辉绿岩组成.脉体与围岩呈顺层接触关系,其边缘片理化和绿泥石化强烈,局部变为绢云母绿泥石片岩,片理面波状光滑,并有明显的刷痕;脉体片理产状与片岩一致,为 $47^{\circ}\sim 60^{\circ}\angle 30^{\circ}\sim 40^{\circ}$.裂隙发育,计有 6 组:(1)

①张晴,李爱军,李院兵,等.湖北省襄樊至十堰高速公路两阶段施工图设计综合工程地质勘察报告.武汉地质工程勘察院,2000.

表 1 各类围岩物理力学性质统计
Table 1 Statistics of physical-mechanical properties for different wall rocks

围岩类别	岩石名称	统计值	$\rho/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	$\rho_s/(\text{g}\cdot\text{cm}^{-3})$	$\omega_2/\%$	R_b/MPa	R_c/MPa	k	R_t/MPa	R_t'/MPa	μ	E_o/GPa	c/MPa	$\varphi/(\text{^\circ})$
Ⅱ类	绢云钠长片岩、绢云钠长石英片岩	n	10	10	10	10	3	2		4	6	6	1	1
		x	2.62	2.64	2.75	6.80	12.4	0.38		0.6	0.26	0.57	0.9	31.6
		σ	0.08	0.08	1.03	4.53					0.01	0.31		
		δ	0.03	0.03	0.37	0.67					0.04	0.54		
	变辉绿岩	n	1	1	1	1					1	1		
		x	2.71	2.71	1.91	13.40					0.25	0.37		
Ⅲ类	片岩	n	11	11	11	18	7	5	6	11	11	17	3	3
		x	2.64	2.64	1.23	37.56	63.19	0.63	1.98	1.41	0.25	2.21	1.07	42.60
		σ	0.05	0.05	0.32	26.79	30.91	0.22	0.40	0.63	0.01	1.15		
		δ	0.02	0.02	0.26	0.71	0.49	0.34	0.20	0.45	0.04	0.52		
	变辉绿岩	n	6	6	4	6	2	2	1	4	2	6	1	1
		x	2.86	2.85	0.50	45.97	69.90	0.66	3.40	2.89	0.25	6.62	2.70	39.10
		σ	0.06	0.06	0.27	6.44						2.95		
		δ	0.02	0.02	0.54	0.14						0.45		
	浅粒岩	n	3	3	3	4	1	1		1	1	4		
		x	2.62	2.64	0.94	66.15	83.40	0.88		2.30	0.24	3.62		
	片岩	n	5	5	5	3	3	1	2	3	4	6		
		x	2.67	2.70	1.20	47.83	57.97	0.82	2.50	1.75	0.25	2.25		
		σ	0.03	0.02	0.47							0.89		
		δ	0.01	0.01	0.39							0.39		
Ⅳ类	变辉绿岩	n	1	1	1	3	3	1	3	3				
		x	2.85	2.85	0.21	95.27	120.00	0.69	4.57	2.73				

n . 样品数; x . 均值; σ . 方差; δ . 变异系数; ρ, ρ_s 分别为天然、饱和密度; ω_2 . 饱和吸水率; R_b, R_c 分别为饱和、烘干时的极限抗压强度; k . 软化系数; R_t, R_t' 分别为天然、饱和极限抗拉强度; μ . 饱和泊松比; E_o . 饱和变形模量; c . 粘聚力; φ . 内摩擦角.

255°∠85°; (2) 245°∠55°; (3) 20°∠55°; (4) 350°∠20°; (5) 210°∠50°; (6) 290°∠55°. 裂隙延伸长, 隙面平直, 间距 10~300 cm 不等. 部分裂隙开张, 隙缝宽 1~2 cm, 粘土质充填. 拟掘隧道山体表层分布有残坡积含碎石粘性土, 厚度小于 2.2 m, 以下为基岩的强风化层, 厚 2.4~13.2 m; 弱风化层, 厚 9~18 m; 微风化层, 揭露厚度 11 m.

3.3 梅子沟滑坡

在梅子沟隧道西出口山坡上, 发育一大中型滑坡体, 地貌形态表现为上陡、中缓、下陡的台阶状, 后缘陡坎明显, 标高为 260~265 m, 高于洞底约 17~22 m; 前缘西侧于变辉绿岩与片岩接触带附近有泉水出露, 常年不干, 出露标高为 230 m. 滑体面积约 7 000 m², 主要由变辉绿岩、次由片岩组成, 产状混乱, 揭露厚度 15.9~18.1 m; 滑面为片岩层理面, 滑带为碎石混粘性土, 厚 3 m 左右. 主滑方向近北向, 与隧道轴向斜交, 交角约 65°. 该滑坡曾多次滑动, 最近一次发生于 20 世纪 80 年代末期. 其形成与岩体的软弱结构面和大气降水入渗有关.

3.4 围岩稳定性分析

(1) 隧道进、出口围岩的稳定性分析. 进口段长

36 m(含进洞前 19 m), 顶板厚小于 10 m, 由残坡积含碎石粘性土及部分强风化片岩组成, 呈松散结构, 极易坍塌. 含风化裂隙水, 雨季因降水入渗, 将增大围岩的不稳定因素, 会导致大规模坍塌, 堵塞洞口. 宜在洞口上方设置防渗排水沟, 采用明洞式洞口结构, 分层开挖, 先墙后拱的处理措施. 出洞口段计 65 m(含出洞后 40 m), 多处于梅子沟滑坡体中上部. 主要由强风化变辉绿岩及片岩块石组成, 呈碎石状松散结构. 赋存孔隙裂隙水, 雨季滑坡面易汇集地表面流渗入滑体内, 于滑体下方以泉的形式排泄. 由于滑体不稳定, 不宜直接成洞, 应清除洞底以上滑体并对洞底以下滑体加固处理. 两侧支护, 采用明洞结构, 在外围设置防渗排水沟.

(2) 主洞室围岩的稳定性分析. 主洞室长 92 m, 洞顶山岩厚 10~35 m, 围岩由强至微风化片岩及变辉绿岩组成. 岩石裂隙发育, 呈碎石—块石状镶嵌结构, 完整性一般, 在两端较差. 极射赤平投影图表明, 上述 6 组裂隙相互组合构成 3 对倾向相对的优势结构面, 将围岩切割成大小不一的楔形体. 楔形体滑移方向以 280°~360°为主, 245°左右为次, 滑角 8°~38°和 45°~55°; 因滑向与隧道轴向成小角度相交以

及滑角一般较缓,故该隧道围岩洞壁较洞顶相对稳定,左壁逊于右壁.掘进过程中,掌子面及洞顶有可能发生坍塌.裂隙中赋存地下水,在雨季地下水将沿裂隙呈线流或滴水状渗入洞中,加之洞顶完整岩体较薄,欠稳定,更易发生顶塌事故,故宜采用左右洞结构,中设墙分开,洞顶及洞壁喷锚支护.

4 结语

汉十高速公路西段隧道围岩因受区域构造作用的强烈影响,完整性差,围岩级别偏低;隧道轴线与区域断裂构造走向以及岩层走向基本平行,裂隙发育,工程地质条件复杂.施工存在坍塌问题,尤其是

洞口及脉体边缘片理发育带更为突出,故应加强支护,采取合理的进洞措施和洞壁防坍塌措施.

本文在编写过程中得到汤江红同志的帮助,特此致谢.

参考文献:

[1] 湖北省地质矿产局. 湖北省区域地质志[M]. 北京:地质出版社,1990.

[2] JTJ004—1989,公路工程抗震设计规范[S].

[3] 张倬元,王士天,王兰生. 工程地质分析原理[M]. 北京:地质出版社,1981.

[4] JTJ064—98,公路工程地质勘察规范[S].

STABILITY OF TUNNEL WALL ROCKS OF WESTERN SECTION OF WUHAN-SHIYAN SPEEDWAY

Li Jichang, Shao Shengfu
(Wuhan Institute of Geology Engineering Prospect, Wuhan 430051, China)

Abstract: Based on the exploration data of engineering geology, and by means of geological method and the analysis of mathematical statistics of test parameters, polus morphism project figures as well as the analysis of a typical engineering case, the main characteristics of the rock types and the factors affecting the stability of the tunnel wall rocks are studied, which makes a conclusion that the collapse is the major engineering geology problem in the tunnel engineering and that the development of the schistosity in the vein body fringe and cracks and precipitation significantly affect the stability of tunnel wall rocks.

Key words: tunnel; wall rock; stability; collapse; remedy.