

某大型引水隧洞穿越断裂带洞段围岩稳定性研究

王家祥,史存鹏,刘承新,陈长生,王旺盛

(长江三峡勘测研究院有限公司(武汉),湖北 武汉 430074)

摘要:西南某深埋长隧道位于全新世区域活动断裂带。为了解断裂带的地应力分布情况,现场开展了钻孔岩石取芯分析工作。根据钻孔实测资料,利用莫尔-库仑模型,对隧洞周围的初始地应力场的分布特征进行了模拟分析,掌握了应力分布规律。分析结果表明,无支护条件下,隧洞围岩在断裂带出露处可发生极严重变形,对施工安全有重大影响。建议施工时,采用超前支护,开挖后及时实施二次衬砌等措施,以保证施工安全。
关键词:断裂带;地应力场反演;围岩稳定性分析;深埋长隧道

中图法分类号: P642 文献标志码: A DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.14.006

西南某深埋长隧洞须穿越某全新世区域性活动断裂带,断裂带在隧洞研究区展布为东、中、西 3 条近平行断裂。隧洞与西支、中支、东支 3 条断裂交汇带宽分别为 100,150,60 m。3 条断裂中,西支断裂(F1)为主断裂,线性影像清楚,在附近白汉场水库南东可见断层三角面,断裂总体走向 NE15°,倾向 NW,倾角约 60°。东支断裂(F3)位于九河、剑川盆地东侧山地,线性影像不清楚,断裂呈波状展布,宽约 60 m。中支断裂(F2)自雄古向南经新文、中坪沿槽谷底部延伸,至白汉场水库后隐伏于盆地内,总体走向 NE10°,宽约 75 m。东、西两支断裂间距 1.5~2.5 km,中间地层中揉皱现象发育,岩体破碎。从断裂地表揭露特征可知,断裂带内岩体破碎,构造岩多为角砾岩、碎裂岩及碎粉岩等,胶结较差。

断裂带对隧洞围岩稳定构成了严重影响,本文根据钻孔实测资料,对隧洞穿越断裂洞段地应力场特征进行数值反演,并在此基础上,对开挖条件下隧洞围岩变形特征进行分析预测,为隧洞安全建设提供一定的参考。

1 地应力场实测结果

研究区内布置有一个实测地应力孔,最大孔深 385 m,水位约 38.5 m。钻孔岩芯较破碎,大部分为块状,仅少数部位岩芯为短柱状。根据岩芯情况,选择岩

芯相对完整、深度较大区间进行水压致裂地应力测试。测试结果见表 1。从表 1 可以看出,测试结果符合水压致裂法测试的一般规律。在测深 207.4~379.2 m 范围内,最大水平主应力为 5.5~13.7 MPa,最小水平主应力为 5.1~11.2 MPa,铅直应力 σ_z 为 5.4~9.9 MPa。

表 1 钻孔水压致裂法地应力测试结果

序 号	孔深/ m	P_b / MPa	P_r / MPa	P_s / MPa	P_0 / MPa	σ_1 / MPa	σ_H / MPa	σ_h / MPa	σ_z / MPa	σ_H 方位/ λ (°)
1	207.4	6.1	5.9	3.0	1.7	0.2	5.5	5.1	5.4	1.0
2	219.6	13.1	9.5	4.6	1.8	3.6	6.9	6.8	5.7	1.2
3	256.2	12.0	11.2	5.9	2.2	0.8	9.4	8.4	6.7	1.4
4	256.2	12.0	11.2	5.9	2.2	0.8	9.4	8.4	6.7	1.4
5	292.5	9.4	8.9	5.7	2.5	0.5	11.5	8.6	7.6	1.5
6	304.5	14.6	13.5	7.5	2.7	1.1	12.3	10.5	7.9	1.6
7	316.8	13.6	12.8	7.4	2.8	0.8	12.9	10.5	8.2	1.6
8	329.2	11.8	10.2	6.6	2.9	1.6	13.1	9.8	8.6	1.5
9	341.5	12.6	11.6	7.1	3.0	1.0	13.4	10.5	8.9	1.5
10	354.2	11.1	10.4	6.6	3.2	0.7	13.2	10.1	9.2	1.4
11	366.8	15.3	13.1	7.5	3.3	2.2	13.4	11.2	9.5	1.4
12	379.2	11.2	10.4	6.6	3.4	0.8	13.7	10.4	9.9	1.4

2 初始地应力场反演

2.1 几何数值模型及边界条件

隧洞穿越断裂带洞段工程地质纵剖面如图 1 所示,模型区域长 3 000 m,宽 3 000 m,划分 1 160 104 个

单元(图2)。根据地应力钻孔实测资料,采用FLAC3D数值分析软件^[1],利用多元线性回归法反演宏观地应力场位移边界条件^[2]。

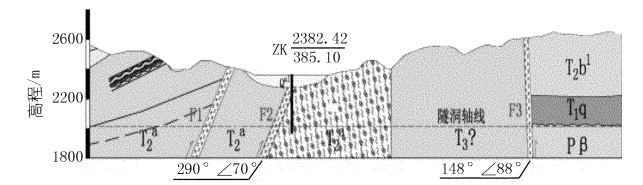


图1 断裂带洞段地质纵剖面

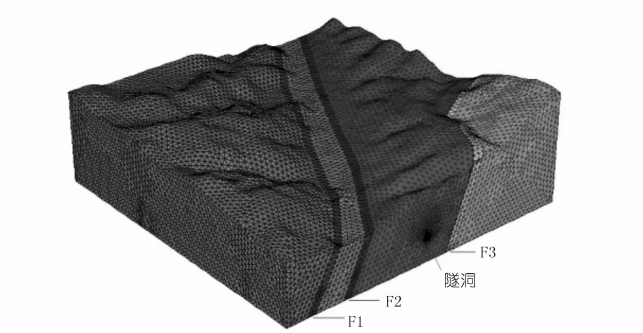


图2 断裂带洞段数值模型

2.2 岩体本构模型与参数

莫尔-库仑模型是目前计算效率最高、应用最广的弹性性本构模型^[3]。该模型反演的山体深部的地应力场与实测值一般较为吻合,而山体深部区域正是工程设计施工分析最关心的区域。因此,从实际目的和经济的角度出发,可选用莫尔-库仑模型作为地应力场反演的本构模型。隧洞穿越断裂带洞段岩体力学参数如表2所示。

表2 隧洞穿越断裂带洞段岩体物理力学参数

岩性	岩体密度/ ($\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$)	内摩擦角/ ($^{\circ}$)	内聚力/ MPa	变形模量/ GPa	泊松比
断层F1西侧岩体T ₂ ^a 板片岩(Ⅳ类夹Ⅲ类)	2500	35	0.60	3.5	0.30
F1、F2、F3主断带(V类)	2100	24	0.10	0.2	0.36
F1、F2主断带间影响带(T ₂ ^a 板片岩,Ⅳ类夹V类)	2300	29	0.20	2.0	0.32
F2、F3主断带间影响带(T3 ^a 、碎粉岩、角砾岩等,Ⅳ类夹V类,V类相对多些)	2200	27	0.15	1.5	0.34
F3东侧岩体(T ₂ b ¹ 、T ₁ q、P _β ,Ⅳ类夹V类)	2450	31	0.45	2.5	0.32

2.3 初始地应力场分布特征

隧洞段的最大主应力分布如图3所示,轴线方向水平主应力分布如图4所示。

(1)从图3可知,隧洞轴向最大水平主应力约为12~18 MPa;最大主应力在断层两侧存在较明显的应力集中现象;受水平构造应力的影响,白汉场槽谷岸坡上也出现了一定程度的应力集中。

(2)从图4可知,岩体最大水平主应力走向为北偏东30°~50°,且主要集中于北偏东40°左右;最大最小水平主应力走向在断层带内部有空间转移,最大水平主应力走向与断层走向近乎正交,交角约80°左右。

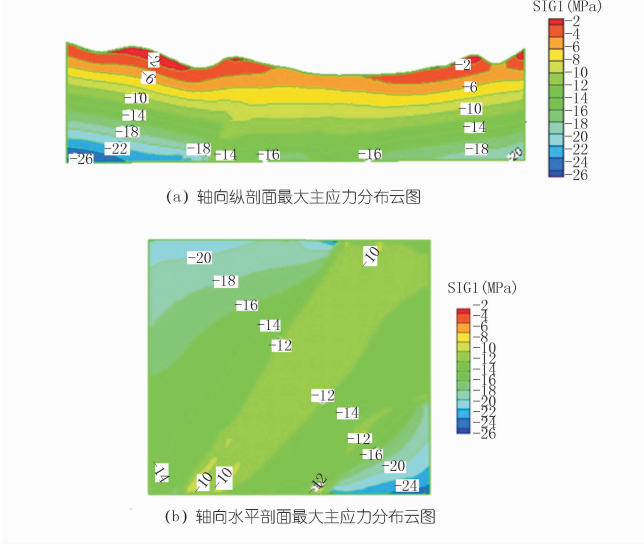


图3 山体典型剖面最大主应力σ₁云图

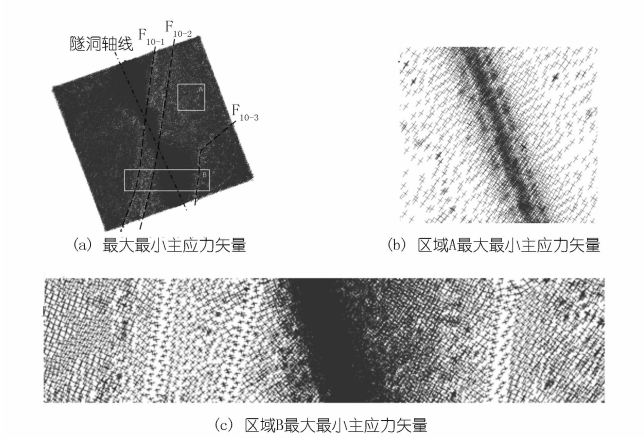


图4 洞轴线高程水平剖面最大最小水平主应力分布示意

3 隧洞围岩稳定性分析

隧洞无支护开挖条件下围岩变形特征如图5所示。从图5可知,受水平构造应力影响,左右边墙围岩变形量最大,拱顶、拱底次之。隧洞围岩最大收敛值见表3。

表3 隧洞围岩最大收敛变形量 cm

岩性	拱顶 - 拱底	左边墙 - 右边墙
断层F1西侧岩体T ₂ ^a 板片岩(Ⅳ类夹Ⅲ类)	8	11
F1主断带(V类)	110	120
F2主断带(V类)	105	115
F1、F2主断带间影响带(T ₂ ^a 板片岩,Ⅳ类夹V类)	8	11
F2、F3主断带间影响带(T3 ^a 、碎粉岩、角砾岩等,Ⅳ类夹V类,V类相对多些)	15	17

分析结果表明:F1、F2 主断带围岩最大收敛变形量为 105 ~ 120 cm,相对变形量为 9.29% ~ 10.62%,根据软岩变形程度评价标准^[4](表 4),围岩发生了严重至极严重挤压变形;主断带间的断裂影响带围岩最大收敛变形量为 8 ~ 17 cm,相对变形量为 0.71% ~ 1.5%,属基本稳定至轻微挤压变形。

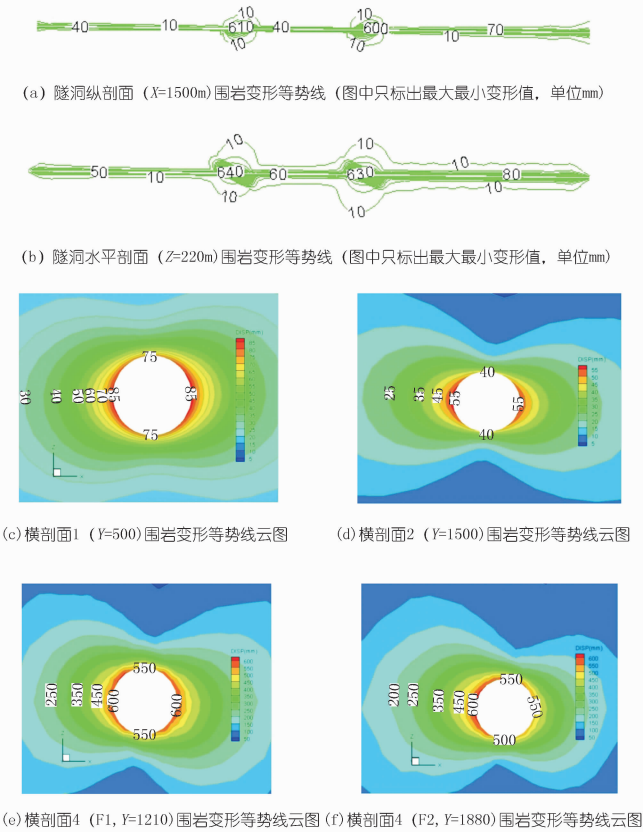


图 5 开挖引起的隧洞围岩变形等势线图 (单位:mm)

表 4 软岩变形程度评价标准

项目	围岩类别	围岩稳定性评价	施工期应变 ε / %
基本稳定	Ⅲ ₁	围岩基本稳定,局部有轻微挤压变形	$\varepsilon \leq 1$
轻微挤压变形	Ⅲ ₂	稳定性较差。应力集中部位可能发生轻微中等挤出变形,不支护可能产生塌方或变形破坏	$1.0 < \varepsilon \leq 2.5$
中等挤压变形	Ⅳ ₁	稳定性差。围岩自稳时间很短,规模较大的各种变形和破坏都可能发生	$2.5 < \varepsilon \leq 5.0$
严重挤压变形	Ⅳ ₂	不稳定。围岩稳定时间仅数小时或更短,不及时支护围岩很快变形失稳。破坏形式除整体塌落外,侧墙挤出、底板鼓起均可发生。明显流变,变形大,持续时间长	$5.0 < \varepsilon \leq 10.0$
极严重挤压变形	V	极不稳定。围岩不能自稳,变形破坏严重	$\varepsilon > 10.0$

注:表中 ε 为收敛应变,其值为开挖洞室实测变形量与开挖洞室半径的比值。

4 结论

- (1) 研究洞段围岩应力数值计算结果与实测结果较一致。受水平构造应力、断裂构造、岩体物理力学性质等因素的影响,初始地应力场在量值及方位上存在一定的空间变异性。
- (2) 无支护开挖条件下,隧洞围岩在断裂带出露位置可达严重 - 极严重挤压变形程度,建议开挖支护设计采取超前支护措施,开挖后及时实施二次衬砌。

参考文献:

[1] 刘波,韩彦辉. FLAC 原理、实例与应用指南[M]. 北京:人民交通出版社,2006.

[2] 张延新,蔡美峰,王克忠. 三维初始地应力场计算方法与工程应用[J]. 北京科技大学学报,2005,27(5):521-524.

[3] 蔡美峰,何满潮,刘东燕. 岩石力学与工程[M]. 北京:科学出版社,2006.

[4] 彭土标,袁建新,王惠明. 水力发电工程地质手册[M]. 北京:中国水利水电出版社,2011.

(编辑:常汉生)

Preliminary analysis on surrounding rock mass stability of fault zone section of a large water diversion tunnel in southwest China

WANG Jiaxiang,SHI Cunpeng,LIU Chengxin,CHEN Changsheng,WANG Wangsheng
(Sanxia Exploration and Survey Co., Wuhan 430074, China)

Abstract: A deep - buried long water diversion tunnel is located in Holocene active fault zone. In order to analyze the stress distribution condition of the active fault zone, the in - site core drilling was conducted. Based on the core drilling data and by using Mohr - coulomb model, the distribution characteristics of initial stress field in the surrounding area of the tunnel was simulated and analyzed, and the stress distribution law was mastered. The analysis results showed that without support, the surrounding rock mass at the outcrop site of fault zone is prone to severe deformation, which affects the construction safety. It is suggested that the measures of advanced support and second support after excavation should be adopted to guarantee the construction safety.

Key words: fault zone; ground stress inversion; surrounding rock mass stability analysis;deep - buried long tunnel