

主应力方向地质力学分析法的应用

孙 祥, 杨子荣, 赵忠英

(辽宁工程技术大学资源与环境工程学院, 辽宁 阜新 123000)

摘 要: 针对地应力场测量给出的区域最大主应力方向常常有争执, 且不同的测量方法结果也不同。采用共轭剪节理和断层面产状、擦痕侧伏角及移位符号综合确定主应力轴, 并指出两组共轭剪节理所夹钝角压也可能为压缩区, 其判别方法采用羽裂判断法和位错方向判断法。工程中的应用表明: 工程区最大主应力方向基本为 EW, 除测点号 6, 7, 8, 12 外, 实测地应力值基本为 EW, 本方法可用来快速检验地应力测量值是否准确。

关键词: 地应力测量; 共轭剪节理; 断层; 羽裂; 位错; 最大主应力

中图分类号: TU452 文献标识码: A 文章编号: 1000-4548(2006)01-0081-03

作者简介: 孙 祥(1980-), 男, 博士研究生, 主要从事岩石力学与工程的研究工作。

Application of geomechanical analytic approach of the principal stress orientation

SUN Xiang, YANG Zi-rong, ZHAO Zhong-ying

(Resource and Environment Engineering College, Liaoning Technical University, Fuxin 123000, China)

Abstract: Because there was dissension in the maximum principal stress orientation obtained by in-situ stress measurements by different results measurements, the principal stress axis was determined by conjugate joints, fault occurrence, rake angle and shift symbol of fault slip. Plumose fracture and orientation of dislocation was applied to find out whether sharp angle zone or obtuse angle zone between two groups of conjugate joints was compressive zone. The method was applied in Dahuofang reservoir conveying-water engineering and the results indicated that the orientation of the maximum principal stress was nearly EW and identical with the measured data except the measuring points 6, 7, 8 and 12. The present method could be used to verify whether the measured data was exact or not.

Key words: in-situ stress measurement; conjugate joints; fault; plumose fracture; dislocation; maximum principal stress

0 引 言

提供正确的构造应力场, 对于地下隧洞轴线的布置及围岩稳定性评价至关重要。目前许多学者通过地应力测量给出一个地区的最大主应力方向^[1-3]。但是地应力测量结果给出最大主应力方向常常有争执, 不同的测量方法结果也不同。这个问题的原因在于地应力测量中由于开挖使测量点的地应力状态产生扰动, 致使地应力测量给出的最大主应力方向可信度不高。其实, 一个地区的最大主应力方向与地质分析的结果十分接近, 地应力的最大主应力方向也有一定的地质标志, 根据地质分析给出的地应力最大主应力方向常常比地应力测量给出的地应力最大主应力方向要可靠。

辽宁省大伙房水库输水工程系自辽宁省桓仁县的鸭绿江支流浑江自流引水, 经过长输水洞线, 将水引至新宾县苏子河后汇入浑河, 并经大伙房水库反调节, 向浑河、太河中下游城市供水的一项大型跨流域引水工程。引水隧洞设计为圆形, 洞径 8 m, 洞室埋深为 20~600 m, 洞线长为 85.322 km。工程区经历多次构

造运动, 其构造应力场十分复杂, 单纯依靠现场地应力实测很难确定该区构造应力场方向, 本文通过地质力学分析给出该区构造应力场中最大主应力方向。

1 应用共轭剪节理确定主应力轴

一般情况下, 共轭剪节理所夹锐角区为压缩区, 所夹钝角区为拉伸区见图 1(a)。然而, 在自然产出条件下, 还经常见到两组共轭剪节理近直交, 甚至出现两组共轭剪节理所夹钝角压为压缩区, 所夹锐角压为拉伸区, 在这种情况下主要依靠共轭剪节理的羽裂形式和位错方向或者两者相结合来最终确定^[4]。

(1) 羽裂判断法: 一对分别以左列式和右列式雁行排列的“X”型共轭剪节理, 向内侧斜列(内斜列)的区域为压缩区, 反之为拉伸区, 见图 1(c)。

(2) 位错方向判断法: 一对分别以反扭和顺扭出现的“X”型共轭剪节理, 向角顶方向位错的楔型区

为压缩区，反之为拉伸区，见图 1 (b)。

(3) 羽裂与位错方向相配合：一组节理表现为右列式排列，另一组表现为反扭见图 1 (d)，或者一组节理呈左列式，另一组节理表现为顺扭，那么向着角顶方向位错的楔型区为压缩区，反之为拉伸区。

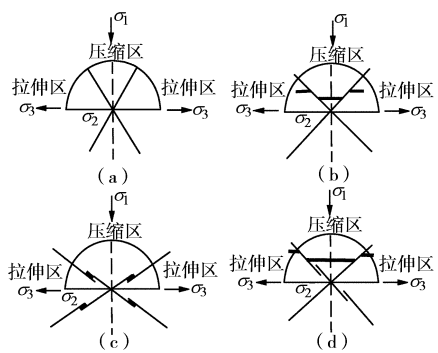


图 1 应用共轭节理确定主应力轴

Fig. 1 Determination of principal stress axes with conjugate joints

在确定了压缩区和拉伸区之后，最大主压应力轴 s_1 和最小主压应力轴（最大主张应力轴） s_3 和中间主应力 s_2 就确定了： s_1 位于压缩区双面角平分线上， s_3 位于拉伸区双面角平分线上，共轭节理面的交线即为 s_2 ，三轴互相垂直。

表 1 中各点的两组节理产状是在工程区测量的节理资料，是用节理等密度图求出的各点共轭剪节理的优选产状，结合上述理论并通过赤平投影算出 s_1 、 s_2 、 s_3 3 个主应力轴的方位见图 2。从表 1 可以看出最大主应力近于水平，且方向为近 EW 向。

2 应用断层确定主应力轴

在强烈褶皱和广泛发育断层的地区，可以出现大量的节理：除了区域节理外，还大量迭加着局部应力作用下形成的节理，组成稠密的节理网，节理组数有时多达 12~14 组。在这种情况下，选择区域性节理的工作就是十分困难的。因此，对于构造复杂的地区不宜采用节理，而宜采用明显少于节理的断层来确定主应力轴。

表 1 工程区共轭剪节理用于应力场分析

Table 1 Application of conjugate joints in stress analysis

岩性	共轭剪节理产状 (倾向/倾角)	主应力轴产状 (倾向/倾角)			s_1 所处部位
		s_1	s_2	s_3	
石英砂岩	70° / 40°	95° / 0°	5° / 19°	185° / 70°	锐角区
	300° / 40°				
安山岩	60° / 60°	83° / 3°	350° / 30°	182° / 60°	钝角区
	290° / 50°				
白云石大理岩	50° / 60°	85° / 14°	343° / 34°	190° / 52°	锐角区
	310° / 40°				
正长斑岩	50° / 45°	268° / 5°	358° / 32°	174° / 58°	锐角区
	300° / 50°				

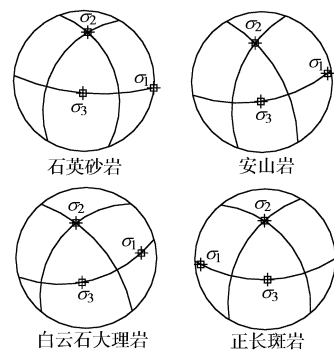


图 2 工程区共轭节理赤平投影图

Fig. 2 Stereographic chart of conjugate joints

应用断层确定主应力轴的方法主要有两种：

(1) 应用典型共轭断层对确定主应力轴

平缓、倾斜和陡倾的褶皱，在其形成的结束阶段，即褶皱不再生长时期，都发育着在该阶段内形成的、能够准确确定应力轴的代表性共轭断层对。在共轭断层对确定以后，则和共轭节理一样，也可采用赤平投影作图法确定主应力轴。

(2) 通过断层面产状及断层面上擦痕侧伏角和移位符号确定主应力轴

用这种方法确定应力轴时，首先要了解所研究断层处的岩层剪切角（即最大主压应力轴与一组剪切破裂面之间的夹角）。它的大小一般情况下取决于岩石性质，也取决于形变应力值大小和作用的时间。然后应用断层面产状、擦痕侧伏角、移位符号（开型或闭型）和岩层产状这些数据，采用赤平投影作图法确定主应力轴的方位。

这种方法应用的难处在于：①岩层剪切角较难确定，不同地层岩石组成不同，其大小也不同；②这种方法只适合于褶皱两翼产状平缓的构造较简单地区，若想在陡倾的褶皱地区应用上述方法，必须把断层的位置恢复到初始形成时期的状态。

工程区隧洞进口处于 F_3 断层，产状为 $101^\circ \angle 67^\circ$ ，断面上的擦痕的倾向方向为 $SE50^\circ$ ，该断层为一逆断层，运用赤平投影法，其形成的应力场特征的图解如图 3。图解步骤如下：

表 2 工程区地应力实测结果^[5]
Table 2 Measured result of in-situ stress^[5]

测点号	测试深度 /m	岩性	最大水平主应力 S_H/MPa	最小水平主应力 S_h/MPa	垂直应力 S_v/MPa	计算自重应力 F/MPa	最大水平主应 力方向
1	86	大理岩	5.46	4.24	2.27	2.322	N85° E
2	105	大理岩	12.85	7.83	2.79	2.835	N61° E
3	149	石英砂岩	14.06	8.86	3.94	4.023	N64° W
4	161	正长斑岩	8.18	6.18	4.26	4.347	N65° W
5	166	石英砂岩	14.82	8.82	4.37	4.482	N89° W
6	172	石英砂岩	15.02	9.14	4.52	4.644	N43° E
7	176	正长斑岩	14.66	8.22	4.91	4.752	N39° W
8	183	石英砂岩	14.32	9.14	4.54	4.941	N33° E
9	192	正长斑岩	8.82	6.22	4.91	5.184	N69° W
10	202	石英砂岩	14.38	8.98	5.35	5.454	N80° E
11	211	正长斑岩	14.18	9.08	6.41	5.697	N89° E
12	221	石英砂岩	14.85	7.95	5.97	5.967	N33° E
13	243	正长斑岩	14.18	8.98	6.43	6.561	N89° E
14	273	石英砂岩	23.30	13.06	7.37	7.371	N77° W

注: 计算自重应力 $F=g \cdot h$, 其中 $g=2.7 \times 10^4 \text{ kN} \cdot \text{m}^{-3}$ 。

(1) 作断层面和擦痕的赤平投影图。大圆 AGB 为断层面, GO 为断面上擦痕。过大圆 AGB 的极点 P 和 G 点作一平面, 为大圆 $CPGD$ 。

(2) 由于该断层为逆断层, 在大圆 $CPGD$ 上由 G 点沿断层面下盘取 GQ 弧段等于 30° , 再由 Q 点沿顺时针方向取 QF 弧段等于 90° 。联 QO 为 s_1 投影, 联 FO 为 s_3 投影。在大圆 AGB 上, 由 G 点取 GH 弧段等于 90° , 联 HO 为 s_2 投影。由图可知, 其最大水平主应力方向为 100° , 基本为 EW 向。

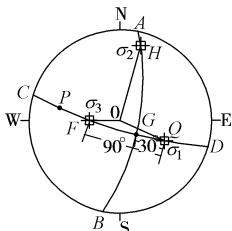


图 3 F_3 断层的应力场分析
Fig. 3 Stress analysis of fault F_3

3 结 论

对工程区典型共轭剪节理应用羽裂判断法、位错方向判断法及羽裂与位错方向相配合的方法, 借助于赤平投影图, 得出该区域最大主应力方向基本为 EW; 通过 F_3 断层产状及断层面上擦痕侧伏角和移位符号确定的最大主应力方向为 100° 。表明该区最大主应力方向可认为是近 EW。表 2 是中国地震局地壳应力研究所对工程区进行的水压致裂法地应力测量, 其中测点号 1, 5, 10, 11, 13 和 14 测得的最大主应力方向基本为 EW, 而测点号 6, 7, 8, 12 测得得最大主应力方向则偏差较大。本方法可用于快速检验工程上地应力测量值是否准确。

参考文献:

[1] 蔡美峰, 乔 兰, 李长洪. 新城金矿地应力场测量及其分布规律研究[J]. 有色金属, 2000, 52(3): 1-6. (CAI Mei-feng, QIAO Lan, LI Chang-hong. Measuring results and regularity of in situ stress in xincheng gold mine[J]. Nonferrous Metals, 2000, 52(3): 1-6.)

[2] 吴满路, 廖椿庭. 大茅隧道地应力测量及围岩体稳定性研究[J]. 地质力学学报, 2000, 6(2): 71-76. (WU Man-lu, LIAO Chun-ting. Stress measurements and study of stability of the damao tunnel[J]. Journal of Geomechanics, 2000, 6(2): 71-76.)

[3] 刘元坤, 尹健民, 范玉龙, 等. 水压致裂三维地应力场确定实例分析[J]. 岩石力学与工程学报, 2001, 20(增): 1835-1837. (LIU Yuan-kun, YIN Jian-min, FAN Yu-long, et al. Case study of 3D in-situ stresses measured with hydro-fracturing[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2001, 20(spl): 1835-1837.)

[4] 刘志刚. 煤矿构造学[M]. 北京: 世界图书出版社, 1990. (LIU Zhi-gang. Coal mine tectonics[M]. Beijing: World Press, 1990.)

[5] 辽宁省水利水电勘测设计研究院. 大伙房水库输水工程初步设计阶段工程地质勘察报告[R]. 沈阳: 辽宁省水利水电勘测设计研究院, 2002. (Survey and Design Institute of Water Conservancy and Hydroelectricity of Liaoning Province. Report of engineering geological reconnaissance in preparatory design phase of dahuofang reservoir conveying-water-tunnel[R]. Shenyang: Survey and Design Institute of Water Conservancy and Hydroelectricity of Liaoning Province, 2002.)