

大伙房水库输水隧洞地应力场特征

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】 为了解大伙房水库输水隧洞地应力场分布对洞室围岩稳定性的影响, 采用地质力学方法研究了该区构造形迹特征, 阐明了地应力场演化特征, 首次将应力场演化划分为 4 个期次, 并结合实测地应力数据建立了工程区地应力场分布模型。结果表明该区是以水平残余构造应力为主的中应力区, 最大水平主应力方向为近 EW, 与洞轴线夹角为 $39^{\circ} \sim 46^{\circ}$, 对围岩稳定性影响较大。

【关键词】 地应力; 应力场演化; 最大主应力; 围岩稳定性

【中图分类号】 P 642

Characteristics of In-situ Stress Field in Dahuofang Reservoir Conveying-Water Tunnel

Sun Xiang Yang Zirong Zhao Zhongying

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

【Abstract】 In order to find out whether the in-situ stress field affects rock mass stability in the area of Dahuofang reservoir conveying-water tunnel, geomechanics is applied to study the tectonic appearance. The evolution of stress field is clarified and divided into four stages firstly. Furthermore, based on the data measured, the distribution model of in-situ stress field is set up. The results indicate that this region is in middle horizontal tectonic stress field and the orientation of major principal stress is nearly EW. The angle between maximum principal stress and tunnel axes is $39^{\circ} \sim 46^{\circ}$ which affects rock masses stability.

【Key Words】 in-situ stress; evolution of stress field; maximum principal stress; rock mass stability

0 引言

地应力是存在于地层中的未受工程扰动的天然应力, 也称岩体初始应力、绝对应力^[1]。就地下工程而言, 失稳主要是因为开挖引起的重分布应力超过围岩强度或过度变形所致, 而这两方面的因素均与岩体天然应力场的特征密切相关。天然应力场的研究是认识和掌握天然状态下岩体的基本特征、开挖条件下围岩应力的分布和演化规律、围岩的力学响应和动态变化、巷道变形破坏机制和特征的基础, 也是现实条件下井巷工程设计、施工、稳定性评价、支护对策的最主要地质依据^[2,3]。地应力的研究在理论和实践上都具有重要的意义。

1 区域地质概况

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。工程区位于辽东省抚顺市新宾县至本溪市桓仁县之间, 即大伙房水库上游的苏子河-桓仁水库之间, 地理坐标为东经 $124^{\circ}30' \sim 125^{\circ}32'$, 北纬 $41^{\circ}10' \sim 41^{\circ}57'$ 。本区处于长白山脉的南延部分, 山体走向 NE, 整体地形趋势为北高南低。工程区所处的大地构造位置为中朝准地台(I)胶辽台隆(II)太子河-浑江台陷(III)~铁岭-靖宇台拱(III)之间, 其南东段和北西段分别为桓仁凸起(IV)及龙岗断凸(IV)的一部分。工程区范围总体处于地台型隆起带之上, 在漫长的地壳演化发展阶段, 经历多期(次)构造运动, 造就了工程区多样、复杂的构造格局。

东南部凸起的边缘沉积了少量古生界地层, 中部断陷盆地保留了大量中生界沉积岩、火山碎屑岩及火山熔岩。具体岩性、厚度及接触关系详见辽宁省水利水电勘测设计研究院 2002 年《大伙房水库输水工程初步设计阶段工程地质勘察综合报告》。

2 区域应力场演化

区域应力场是一个在时间和空间上相对稳定的非稳定场^[4,5]。在空间上,某些地区的地应力松弛并逐渐衰减,而另外一些地区的地应力却在逐渐加强;在时间上,某些地区的区域应力场是一个连续的变化过程,时而松弛、时而积累^[6]。因此,研究应力场的演化,有助于认识现今初始应力场的特征、所处状态和阶段以及发展演化趋势,同时可借以了解在工程作用参与下,工程岩体应力场状态和发展演化趋势。

区内主要构造活动期(构造旋回)为太古代(鞍山期)、元古代(辽河—燕辽期)、古生代(地台区加里东期)及中生代(燕山期)。其中表现最为强烈的是辽河期和燕山期。

太古代(鞍山期):本区接受了一套火山岩夹泥砂质、硅铁质的沉积物,其厚度颇大,火山活动较频繁。

鞍山运动之后,形成了本区东西构造的雏形,并伴随有区域变质作用,混合岩化和花岗岩化作用,形成本区斜长混合岩及斜长混合花岗岩。变形以韧性为主,产生一组透入性区域片麻理构造。

元古代(辽河—燕辽期):早元古代末,吕梁运动在鞍山运动所形成的 EW 向构造雏形的基础上,形成了本区东西向的巨大隆起和坳陷,也伴随有区域变质作用,混合岩化和花岗岩化作用,形成本区斜长混合岩及斜长混合花岗岩。震旦系桥头组、青白口系永宁组与下伏辽河群不整合接触,并在区域收缩机制下辽河群形成褶皱构造(区内表现为三道河子向斜,见图 1),伴生一系列 NEE 向压性断裂构造(如 F13 和 F14,其产状为 $176^{\circ}/68^{\circ}$ 和 $164^{\circ}/66^{\circ}$),同时褶皱轴线与 NEE 向断裂构造方向基本一致。说明此时最大主应力为 NNW—SN 向。

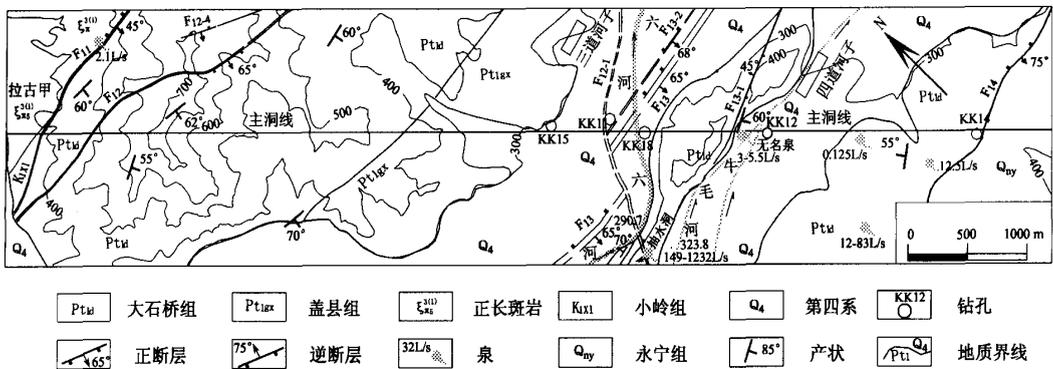


图 1 三道河子向斜地质略图

古生代(地台区加里东期):寒武纪时期,本区表现为区域沉降,接受寒武系的地层沉积,区内零星分布寒武系中下统地层,由于受古亚洲洋板块向南俯冲,此时仍以 SN 向挤压为主。

中生代燕山期:区域上表现为中酸性岩浆活动达到顶峰阶段,并发生一系列 NNE 向压性断裂。白垩世晚期侵入岩是以规模较大的岩基状侵入,侵入接触于白垩世以前的变质岩、沉积岩地层。使区内地质构造(褶皱、断裂)多具备继承性和复合性特点。说明此

时区域构造应力场为 NNW 向挤压。同时野外现场调查结果表明, F13 在燕山期留下的擦痕偶见,指示其断层活动以水平顺扭剪切为主,这正是由于 NNW 向挤压作用使得辽河期的 NEE 向压性构造表现为水平顺扭剪切。燕山晚期火山运动形成大面积火山熔岩和火山碎屑沉积岩,并发生一系列褶皱和断裂。区内表现为木奇-榆林-铨尖子向斜,枢纽走向近 SN 向,为一不对称向斜构造。说明燕山晚期,地应力作用方式表现为近 EW 向挤压。

表 1 工程区地应力实测结果

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/MPa	最大水平主应力方向
1	86	大理岩	5.46	4.24	2.27	2.32	NE85°
2	105	大理岩	12.85	7.83	2.79	2.83	NE61°
3	120	熔岩	6.47	4.98	3.19	3.24	NE76°

续表

测点号	测试深度/m	岩性	最大水平主应力	最小水平主应力	垂直应力	计算自重应力/MPa	最大水平主应力方向
			S_H /MPa	S_h /MPa	S_v /MPa		
4	124	混合岩	10.42	6.42	3.29	3.35	NW85°
5	146	混合岩	10.67	7.21	3.94	3.94	NW61°
6	149	石英砂岩	14.06	8.86	3.94	4.02	NW64°
7	161	正长斑岩	8.18	6.18	4.26	4.35	NW65°
8	166	石英砂岩	14.82	8.82	4.37	4.48	NW89°
9	168	石英砂岩	14.32	9.14	4.54	4.54	NE73°
10	186	正长斑岩	8.82	6.22	4.91	5.02	NW69°
11	202	石英砂岩	14.38	8.98	5.35	5.45	NE80°
12	204	混合岩	18.46	11.24	5.51	5.51	NE79°
13	215	混合岩	25.80	14.15	5.81	5.81	NE88°
14	215	熔岩	5.60	4.31	5.69	5.81	NW72°
15	221	石英砂岩	14.85	7.95	5.97	5.97	NE83°
16	236	熔岩	10.80	7.92	6.25	6.37	NE85°
17	243	正长斑岩	14.18	8.98	6.43	6.56	NE89°
18	273	石英砂岩	23.30	13.06	7.37	7.37	NW77°

注:计算自重应力 $=\gamma \cdot h$,其中 $\gamma=2.7 \times 10^4 \text{ KN} \cdot \text{m}^{-3}$ (数据来源自《大伙房水库输水工程初步设计阶段工程地质勘察综合报告》)

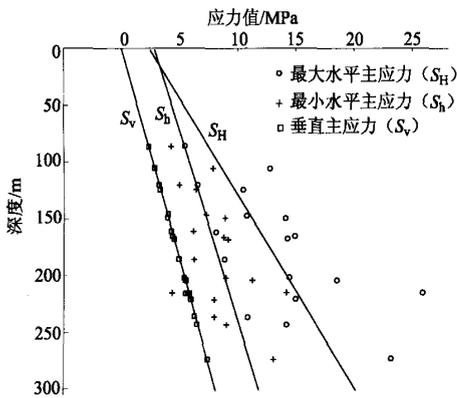


图2 工程区 S_H 、 S_h 和 S_v 值与深度的关系

综上所述,研究区地质环境的演化是地质环境为适应应力场的变化而发生的相应的变化,反映了区域应力场的发展演化历程,本区应力场演化历程为NNW→SN→NWW→EW向。

3 地应力测量及地应力场特征

中国地震局地壳应力研究所对工程区8处进行了水压致裂法地应力测量,地应力测量结果综合整理见表1。由表1可知,工程区地应力场有如下特征:

1)地应力各分量均为压应力,表明工程区应力场未发生松弛,这与地质力学分析结果一致,最大主应力为水平应力,最小主应力为垂直应力。

2)本区最大水平主应力的方向比较稳定,可以认为测区范围内,最大水平主应力方向为近EW。

3)垂直应力值基本上等于或略小于上覆岩层的重量。

4)水平应力大于垂直应力,说明测区的水平构造运动起主要的控制作用。

5)初始应力的大小受地形地貌、地层岩性、风化程度、地质构造等控制,有些测点因地应力释放而使得测值偏低,有些则因应力集中而偏高。

6)测区地应力场分布较为均匀,地应力测值属于中等水平,在测区范围内,三向主应力的关系为 $S_H > S_h > S_v$,属逆断层型应力状态。

7)最大水平主应力 S_H 和最小水平主应力 S_h 均随深度呈近似线性增长的关系。其线性关系,以垂直应力为最好,最大水平应力次之,最小水平主应力最差。工程区 S_H 、 S_h 和 S_v 值随深度变化的线性回归方程如式(1)~式(3)所示,线性回归关系示意图见图2。

$$S_H = 0.0592H + 2.3785 \text{ MPa} \quad (1)$$

$$S_h = 0.0300H + 2.7734 \text{ MPa} \quad (2)$$

$$S_v = 0.0269H - 0.0483 \text{ MPa} \quad (3)$$

4 结论

根据区域应力场演化和实测数据分析结果,可以得出如下结论

1)工程区经历多次构造运动,新老构造体系多次叠加,区域应力场复杂,古构造残余应力对现今岩体仍起重要作用,直接影响工程区应力场状态及其分布特征。表1所给出的18个点的方位中,测点

1、3、4、8、9、11、12、13、14、15、16、17 和 18 为近 EW 向,这与最后一期构造应力场的最大主应力方向一致,测点 2 为 NE 向,测点 5、6、7 和 10 为 NW 向,这也说明了现今地应力场继承了以前各期的应力场。测点 1、3、4、8、9、11、12、13、14、15、16、17 和 18 给出的最大主应力方向即为现今最大主应力方向。

2)工程区是以水平应力为主的中地应力区,地应力具有明显的构造应力特征,最大主应力方向为近 EW,而隧洞洞轴线方向为 NW,二者夹角较大,为 $39^{\circ}\sim 46^{\circ}$ 。地应力的这种分布特征对隧洞围岩稳定性有一定影响。

参 考 文 献

1 沈明荣. 岩体力学. 上海:同济大学出版社,1999,109~

130

- 2 邵国建. 初始地应力场对洞室围岩稳定性的影响. 水文地质工程地质,2003,30(6):44~48
- 3 刘 高,韩文峰,聂德新. 金川矿区地应力场特征. 天津城市建设学院学报,2002,8(2):81~85
- 4 蔡美峰. 岩石力学与工程. 北京:科学出版社,2002. 129~138
- 5 蔡美峰,乔 兰,李华斌. 地应力测量原理和技术. 北京:科学出版社,1995. 1~12
- 6 陈宗基. 地下巷道长期稳定性的力学问题. 岩石力学与工程学报,1982,1(1):1~19

收稿日期:2005-05-16

(上接第 263 页)

参 考 文 献

- 1 焦居仁,姜德文,蔡建勤,等. 开发建设项目水土保持. 北京:中国法制出版社,1998. 87~89
- 2 管枫年. 水工挡土墙设计. 北京:中国水利水电出版社,1996. 8~57
- 3 陈希哲. 土力学地基基础. 北京:清华大学出版社(第二版),1990. 120~138
- 4 黄太华,袁健. 关于重力式挡土墙截面尺寸确定方法的探讨. 岩土工程技术,2004,18(5):242~243;247
- 5 黄太华,饶英明,谭萍. 关于挡土墙的地基承载力验算及抗倾覆稳定性验算方法的探讨. 岩土工程技术,2003(6):315~318
- 6 袁健,刘其梅. 参数法在悬臂式挡土墙底板尺寸设计中的应用. 岩土工程技术,2005,19(1):17~19
- 7 张炳华,侯 昶. 土建结构优化设计. 上海:同济大学出版社,1998. 45~54
- 8 刘宝光. 非线性规划. 北京:北京理工大学出版社,1988. 59~71
- 9 周予滨,赵震伟,陈 涛,等. Office 2000 中文标准版即学即用. 北京:中国标准出版社,1999. 160~199

收稿日期:2005-05-08