

文章编号:1006-6616(2001)01-0061-08

黑龙江荒沟蓄能电站枢纽区地应力测量与研究

吴满路, 廖椿庭

(中国地质科学院地质力学研究所, 北京 100081)

摘 要:本文介绍了黑龙江荒沟抽水蓄能电站空心包体应力计地应力实测结果, 对该区应力作用特征进行了分析。采用最小二乘法对地下厂房区4个测点测量结果进行综合计算, 得出最大主应力近于水平, 应力量值为9.6MPa, 最大主应力方向为N78°W。这与该区新构造调查所表征的现今区域应力场比较吻合, 同时也与中国东北地区构造应力场具有一致性。

关键词:空心包体应力计; 荒沟抽水蓄能电站; 地应力测量

中图分类号: TU459+.4

文献标识码: A

0 引言

荒沟抽水蓄能电站位于黑龙江省海林市三道河子镇附近的三道河下游, 上游距牡丹江市120km, 下游距莲花水库坝址15km。该电站主要由上池、输水隧洞、地下厂房、下池及地面开关站等建筑物组成。

电站上池位于三道河右岸的八十七沟上缘, 下池为莲花水库, 两池相距3000m左右, 中间由输水隧洞和地下厂房连通, 相对高差450.96m。输水隧洞直径为4m~7.5m, 地下厂房开挖尺寸为130.0×24.5×50.0m(长×宽×高)。

地应力是引起隧洞、地下厂房围岩变形和破坏的根本作用力。只有准确地掌握应力状态, 结合工程地质条件和现场施工条件统筹考虑, 才能合理地确定地下厂房、输水隧洞的总体布置, 正确设计隧洞、地下厂房的几何形状和结构尺寸, 选择合理的支护方法, 有效控制地压活动, 从而保证电站的安全稳定。

1 电站枢纽区地质概况^①[1]

荒沟抽水蓄能电站区域上位于张广才岭东北部, 地形上属构造侵蚀中低山地及河流山谷间的小型构造盆地。区内出露的地层主要为古元古界和古生界的变质岩, 零星分布有中生界侏罗系的火山岩, 并有大面积元古宙混合花岗岩、华力西晚期白岗岩及燕山期花岗岩侵入体。

收稿日期: 2000-12-11

作者简介: 吴满路(1968—), 助理研究员, 主要从事地应力测量、岩石力学以及地壳稳定性方面的研究工作。

① 秦万龙. 荒沟抽水蓄能电站工程可行性研究报告(第三章, 工程地质). 水利部能源部东北勘测设计研究院, 1993.

地表覆盖有第四纪松散堆积(图1)。

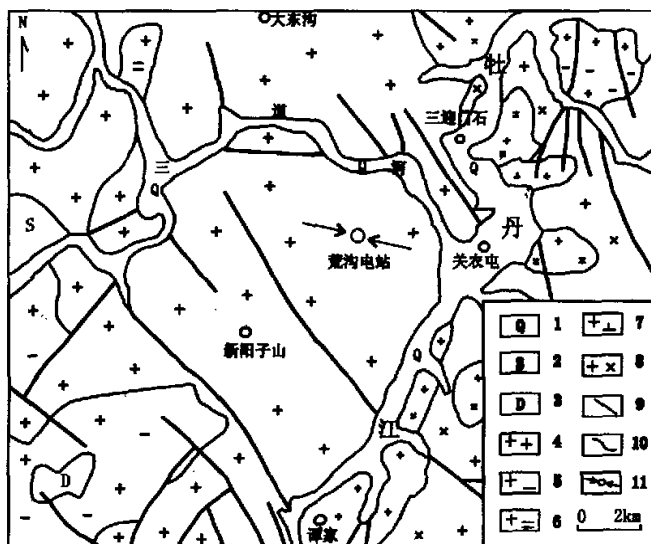


图1 荒沟电站区域地质构造略图

Fig.1 Sketch map showing the regional structures of Huanggou Hydropower Station

1. 第四系; 2. 志留系; 3. 泥盆系; 4. 华力西期白岗岩; 5. 华力西期黑云母花岗岩; 6. 华力西期碱性花岗岩;
7. 燕山期白岗岩; 8. 元古宙混合花岗岩; 9. 断层; 10. 地质界线; 11. 实测最大主应力方向

大地构造上,本区处于天山—兴安地槽褶皱区吉黑褶皱系张广才岭隆起带,是一相对稳定地块。地质构造以断裂为主,发育较早的为近SN向断裂。近SN向的牡丹江断裂是区内控制性断裂,断裂带经过的河谷两岸地貌未见有明显差异,上覆第四系松散层未发现有差异运动,晚近期以来无明显构造活动迹象,总体上看,区域是稳定的。据历史资料,本区未发生过3级以上地震,地震基本烈度为VI度。

电站枢纽区岩石为华力西晚期白岗岩,后期穿插有少量的花岗岩岩脉,宽度一般小于1m。白岗岩与岩脉岩质坚硬,没有发现不良的蚀变现象,抗风化能力强。据钻孔资料,岩石的RQD值为85%~95%,岩体较完整。枢纽区附近已发现有40条断层,主要为近SN向及近EW向两组高角度断层。断层宽度一般小于1m,断层破碎带多由碎裂岩和岩屑组成,断层规模一般较小,对洞身围岩稳定影响不大。据地表节理统计,主要有近SN、NW向两组高倾角节理和一组缓倾角节理。地下水埋深较浅,一般为20~50m。枢纽区未发现重大工程地质问题,区域稳定性较好。

2 地应力测量方法

我们采用KX-81型空心包体式应力计进行地应力测量,该方法具有测量精度高、操作简便等优点^[2],在我国许多部门和重大工程中应用,都取得了很好的效果^[3-6]。

为了取得更接近实际的值,通常需布设多个点进行套心解除测量,并且在每个单孔中进行多次测量,对多次测量结果进行综合处理,求得地应力的统计值,尽量减少测量误差和人为误差^[7]。

3 地应力测点布置

地应力测试工作是在地质探洞内进行的,目的在于了解厂房区的岩体应力状态,为设计施工提供依据。因此,地应力测点集中布置在厂房洞室区部位,共4个测点5个测孔。此外,在输水隧洞岩爆地段也布置了一个测点,以便为岩爆研究提供资料。5个测点均布置在新鲜的中粒白岗岩中,基本上避开了应力集中区以及断层、节理带和后期振动等原因形成的裂隙带。地应力测点的布置情况见图2。现将各测点的情况描述如下:

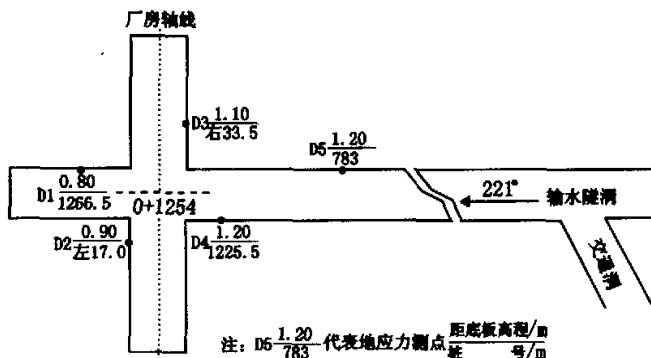


图2 荒沟电站地应力测点分布示意图

Fig.2 The locations of ground stress measurements in the Huanggou Hydropower Station

第一测点(D1):1号测点位于主洞1266.5m处,岩性为白岗岩,节理裂隙不发育,岩石较完整。该测点共进行了4个测段的地应力测量。在第一测段的应力解除过程中,由于岩心断,解除失败没有取得完整数据。其余3个测段的测量,除个别应变片变化异常外,均取得了完整数据。从解除过程曲线和现场围压率定曲线看,应力计工作状态正常,试验数据可靠。测量结果见表1。

第二测点(D2):2号测点位于左支洞,距主洞17.0m,岩性为灰白色白岗岩,岩石坚硬完整。该测孔共进行了2个测段的测量工作,都取出了完整的岩心,并取得了较好的试验数据,解除曲线和率定曲线均显示应力计工作状态良好。测量结果见表1。

第三测点(D3):3号测点位于右支洞,距主洞33.5m,岩性为白岗岩。该孔共进行了3个测段的地应力测量。除第一测段由于钻进原因导致测值不稳外,其余两个测段都取得了可靠的数据。测量结果如表1所示。

第四测点(D4和D4'):4号测点位于主洞1225.5m处,岩性为灰白色白岗岩,从解除取出的岩心观察,岩石中有裂隙发育。该点打了两个测量孔,两孔夹角 42° ,每个孔均进行了2个测

段的地应力测量。其综合计算结果见表1。在该测点上进行两个测孔的测量工作,目的是为检验不同测孔地质环境的差异给测点测量结果到底带来多大的误差。从表1的实测结果看,每个测孔的测量结果不尽相同,但他们之间的偏差是很小的,在允许的误差范围之内,两个测孔的综合计算结果与各孔单独计算结果的偏差也不大,表明该测点的测量结果可靠,并具有代表性。

第五测点(D5):5号测点在主洞783m处,位于岩爆区中,岩性为浅粉红色白岗岩,节理裂隙较发育,但岩石RQD值仍较高。此测量孔共进行了两个测段的地应力测量,均取得了良好的试验数据。测量结果如表1所示。

表1 荒沟抽水蓄能电站地应力测量结果

Table 1 Results of ground stress measurements in Huanggou Hydropower Station

测点 编号	最大主应力 σ_1			中间主应力 σ_2			最小主应力 σ_3			备注
	数值/MPa	方向	倾角	数值/MPa	方向	倾角	数值/MPa	方向	倾角	
D1	11.0	N89°E	24°	8.5	N33°W	-50°	5.6	N77°W	-30°	
D2	10.7	N80°E	9°	7.3	N12°W	-14°	6.7	N22°E	-73°	
D3	9.7	N82°E	39°	8.4	N41°W	-34°	6.4	N24°E	-33°	
D4	7.5	N75°W	-23°	5.5	N69°W	-29°	5.3	N47°E	-52°	
D4'	8.6	N84°E	-16°	3.6	N31°W	55°	3.1	N87°W	30°	
厂房区 综合	9.6	N78°W	1°	6.0	N13°E	-63°	4.4	N12°E	-27°	
D5	9.8	N59°W	-16°	0.1	N15°W	44°	-2.9	N46°E	-42°	误差 较大

注:表中负号表示俯角。

4 试验数据整理及计算

在5个测点进行了15个测段套心应力解除测量。在地下厂房区,除岩心在解除过程中突然折断不能继续进行测量或未达到预定要求以及由于应变片粘结等原因造成数据不能使用的测段外,共获11个测段有效测量结果。在岩爆区内的D5测点共进行了两个测段应力解除测量,其中一次应变片的响应效果不佳,只有一次可以应用;在这两次应力解除过程中,应变仪测量读数跳动剧烈,干扰了应变片的变化规律性。分析其原因,可能是由于岩心中存在裂隙,在解除过程中裂隙受到扰动,导致应变片的弹性响应受到干扰,在一定程度上影响了测量精度。实测资料整理计算中采用的岩石有效弹模和有效泊松比是由应力解除段的岩心经过现场围压率定试验求得的^[8]。

相对而言,地下厂房区各测段应力测量过程中,钻进压力稳定、进尺平稳,应变片读数变化稳定,应力解除规律性较强,其率定过程曲线也较好,而岩爆区只有一个测段取得了有效的试验数据。由于篇幅原因,仅给出D2测点第一次解除过程曲线和围压率定曲线,见图3、图4。

应力解除曲线对检查各应变片的工作状态,并且确定所测应变是否受到除应力解除以外其他因素(如岩石条件等)的影响是非常有用的。如果各应变片工作状态正常,岩石条件良好,应力解除曲线应呈现有规律的、可预测的形状。一般来说,在套孔解除过程中,解除深度未达

到应变片所在位置前,各应变片所测的应变值一般是很小的,当解除深度接近应变片所在的测量断面时,应变值明显增大,但解除深度超过测量断面后,应变值逐渐趋于稳定。从解除过程曲线可以看出,曲线的变化趋势是比较有规律的,这说明绝大多数应变片的工作状态是正常的。通过围压率定曲线的线性好坏可以再一次检查应变片的工作状态。此外,在卸荷的情况下,应变片 A2、B6、C10 的曲线斜率为正,其他应变片的曲线斜率皆为负值,这也是判断应变片工作状态的一个标志。从围压率定曲线可以看出,大多数应变片工作状态是正常的。

采用最小二乘法对测量数据进行处理是获得最接近于该点所测地应力真实值的最好方法。最小二乘法的实质就是由许多可能的解答中找出一组可使残余误差(即观测值与回归值的偏差)的平方和为最小的那一组解答,这一组解答是最可信赖的^[2]。具体的计算过程是在计算机上完成的。在计算过程中,去掉明显异常的应变数据,并结合计算结果误差,进行综合考虑,最终取得比较可靠的应力测量结果。地应力计算结果见表 1,表 1 列出了每个测点的主应力综合计算结果以及厂房区 4 个测点的主应力综合计算结果。为了使测量结果便于工程中的分析应用,根据地下厂房区 4 个测点综合计算的应力椭球体推算出不同法线方向各截面应力椭圆,如图 5。

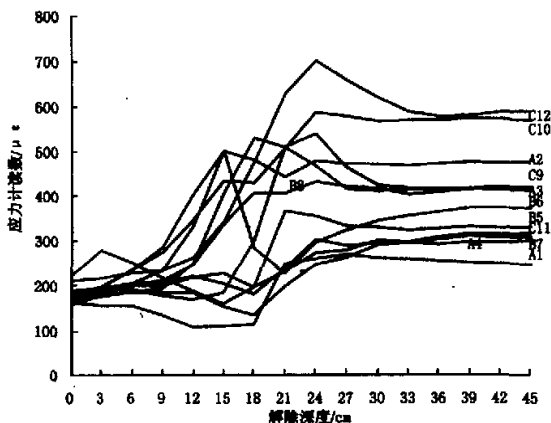


图 3 第二测点(D₂)第一次解除过程曲线

Fig.3 The stress release curve (No.2 site)

5 地应力测量结果分析

(1) 各测孔中的不同测段以及不同测孔测量结果有一定偏差,这主要是由测量的、人为的以及现场地质构造等因素引起的,随着测量次数的增多,通过数据统计处理,测量结果会更趋合理。本次测量结果总体偏差不大,表明测量结果是可靠的。

(2) 应力量值大都在 5~10MPa 左右,这个应力值水平在埋深几百米的洞室中并不大,与国内外应力实测结果相比较,属于中等应力水平。最大主应力量值虽较肖尚斌在该地用水压

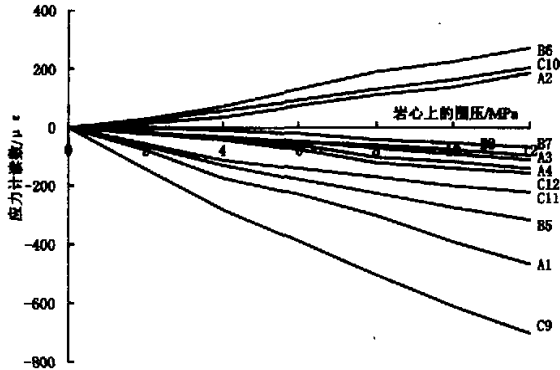


图4 第二测点(D₂)第一次解除围压率定曲线

Fig.4 The calibrating curve (No.2 site)

致裂法测得的数值略大^①,但本次测量深度较大,换算为同等深度后,两者大小基本相当。从求出的应力椭球看,应力椭球的长轴与水平面的夹角比较小,最大主应力为近水平方向,说明水平构造应力的主导性。从最大、中间和最小3个主应力的组合特征看,3个主应力值相差不大,应力椭球体比较均匀,最大剪应力值一般在2.5MPa以下,这种应力状态对工程稳定比较有利。

(3) 在埋深300~400m的洞室中,上覆岩体的垂直应力按 γH 公式计算为8~11MPa,这个数值比现场实测的垂直应力5.7MPa大,这充分说明完整岩体自身结构稳定性的潜能是很大的。

(4) 实测的应力椭球体推算出的不同法线方向各截面应力状态(如图5)表明各截面的应力状态有所不同,但在主应力方向附近的截面上,如图5中的EW方向应力椭圆,巷道周围受力既小又均匀,地应力大小和方向没有出现突变现象,应力场比较均匀;但随着与最大主应力方向的夹角增大,巷道周边受力也逐渐增大,且受力的不均匀性也逐渐显露出来(如图5中N10°E方向应力椭圆),这说明在主应力方向左右一定范围内选取地下厂房主轴是更趋于合理的。此外,地下厂房主轴方向的选择还应充分考虑工程地质条件和现场施工条件,以达到稳定性好、经济效益高的综合选址目的。

(5) D5测点地应力测量结果显示,最大主应力方向近于洞轴方向,中间主应力为垂直方向,岩体内有张应力存在,且剪应力较大。在现场地质调查中发现,该处隧洞顶部岩石呈定向排列的碎片状(片理走向近SN向,不难看出,该处曾受过EW向的高应力挤压作用),这是受过高应力作用后的卸荷现象。由于岩体的抗拉强度较低,所以围岩稳定性相对来说也就较差,尤其是在开挖卸荷条件下,岩体中很容易出现裂隙,导致围岩体失稳。由于剪应力数值较高,岩体存在出现剪切错动的可能,但只要施工中采取适当的支护措施,发生岩爆的可能性不大。

(6) 该区实测最大主应力的总体方向为近EW向,这与该区地质构造调查所表征的区域应力场比较吻合,同时与郭启良等^[9]、赵学文等^②在松辽盆地及华北地台东北部所测的最大主

① 肖禹斌,黑龙江省荒沟抽水蓄能电站水压致裂地应力测试报告,水利部能源部东北勘测设计研究院,1993。

② 赵学文等,蒲石河抽水蓄能电站工程岩体应力测量研究报告,水利部能源部东北勘测设计研究院,1996。

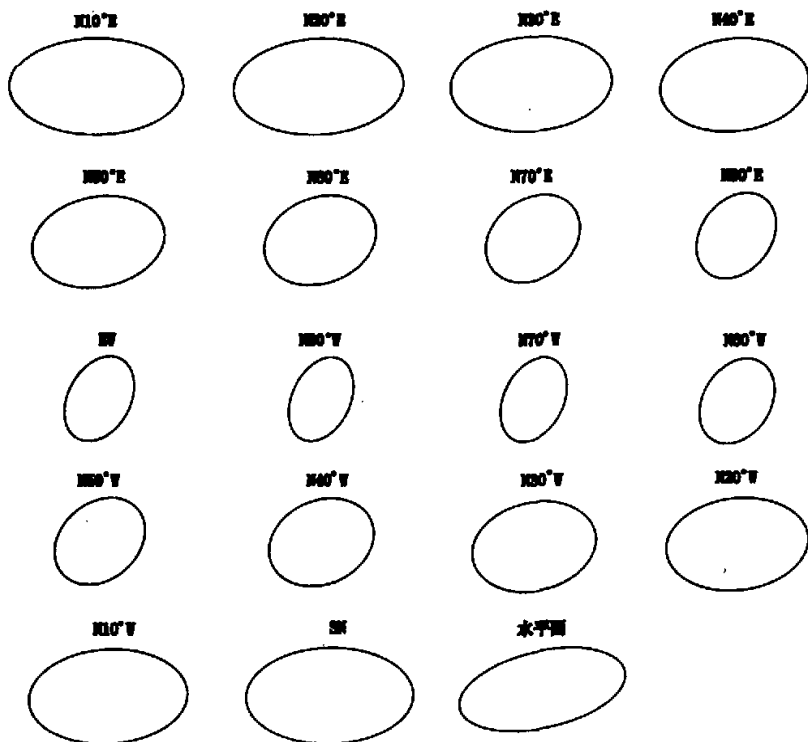


图 5 不同法线方向各截面应力椭圆

Fig.5 The plane stress state of different sections in stress ellipsoid

(根据厂房区 4 个测点综合求出的应力椭球体)

应力方向基本一致,此外也与中国东北部地区构造应力场和陈彭年等^[16]、丁健民^[11]基于板块构造、震源机制等方面的研究成果具有一致性。

本次地应力测量工作由水电部东北勘测设计研究院水利科学研究院、中国地质科学院地质力学研究所、吉林省地质勘探技术研究所协作完成。测量工作得到了东北勘测设计研究院水利科学研究院的领导及赵学文高级工程师、杜国文高级工程师、曲云彤高级工程师等有关人员的大力支持,在此深表感谢。

参 考 文 献

- [1] 杨森楠, 杨巍然, 等. 中国区域大地构造学[M]. 北京: 地质出版社, 1985.
- [2] 王连捷, 等. KX-81 型空心包体式三轴应力计[A]. 地质力学文集[C]. 第八集. 北京: 地质出版社, 1988.
- [3] 王连捷, 等. 地应力测量在采矿工程中的应用[M]. 北京: 地震出版社, 1994.
- [4] 白世伟. 二滩水电站坝区地应力场研究[J]. 岩石力学与工程学报, 1982, 1(1).
- [5] 孙世宗, 等. 安康水电站地应力测量研究[A]. 地壳构造与地壳应力文集[C]. 第二集. 北京: 地震出版社, 1988.
- [6] 丁旭初, 等. 黄河上游某水电站地应力测量及地下厂房设计中有关问题的研究[A]. 地壳构造与地壳应力文集[C]. 第二集. 北京: 地震出版社, 1988.
- [7] 廖善庭. 介绍一种单孔全应力测量的数据处理方法[A]. 地质力学文集[C]. 第八集. 北京: 地质出版社, 1988.
- [8] 王连捷, 潘立宙, 等. 地应力测量及其在工程中的应用[M]. 北京: 地质出版社, 1991.
- [9] 郭启良. 松辽盆地深部原地应力方向测量[A]. 地壳构造与地壳应力文集[C]. 第五集. 北京: 地震出版社, 1991.
- [10] 陈彭年, 高漪青. 中国及邻区构造应力场(综述)[M]. 北京: 地震出版社, 1994.
- [11] 丁健民. 中国地壳应力图简述[A]. 地壳构造与地壳应力文集[C]. 第九集. 北京: 地震出版社, 1996.

THE MEASUREMENT AND STUDY ON IN SITU STRESS IN THE CENTRAL AREA OF THE HUANGGOU ACCUMULATION POWER STATION, HEILONGJIANG

WU Man-lu, LIAO Chun-ting

(*Institute of Geomechanics, CAGS, Beijing 100081, China*)

Abstract: Based on the results from in situ stress measurement in Huanggou Accumulation Power Station, Heilongjiang, the authors analyse the characteristics of the in situ stress. The calculation of measurements from four sites in underground plant by method of least squares shows that the maximum principal stress is nearly horizontal with $N78^{\circ}W$ trending of 9.6MPa. The result is consistent with the present regional stress field manifested by investigation of neotectonics, and also with the regional stress field in northeastern China.

Key words: Hollow inclusion gauge; Huanggou hydropower station; stress measurement