

# 黄花寨三口洞抽水蓄能电站地应力测试

胡国伟

贵州省水利水电勘测设计研究院有限公司

**摘要：**抽水蓄能电站是一种利用水资源进行能量储存和调节的重要设施，为了保障电站的安全运行，必须对其地应力进行测试。文章中介绍了水压致裂法地应力测试方法及所使用的测试设备，并展示了测试结果。这些数据对于电站的建设和运行具有重要意义，可为电站的地质设计和安全评估提供有力支持。

**关键词：**黄花寨三口洞；抽水；蓄能电站；地应力；测试

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2023.18.064

## 引言

地应力测试是在建设水电站等重要工程项目时不可或缺的关键步骤，它对于确保工程的安全稳定运行具有重要意义。黄花寨三口洞抽水蓄能电站作为一个位于山区的重要能源项目，其地质条件的复杂性使得地应力的研究尤为重要<sup>[1]</sup>。本文旨在介绍黄花寨三口洞抽水蓄能电站地应力测试的方法与结果，为该电站的地质设计和安全评估提供可靠依据。

## 一、工程简介

### （一）工程基本情况

贵州省黄花寨三口洞抽水蓄能电站位于贵州省长顺县敦操乡敦荣村三口洞村寨所处洼地内，黄花寨水库左岸。该工程距离贵州省省会贵阳市约100公里，距离长顺县城约35公里。工程地理坐标为东经106.42°~106.46°，北纬25.67°~25.70°。上库位于敦荣村三口洞村寨附近的洼地内，洼地底部高程约为950米，计划建设的水库正常蓄水位为1050米，最大坝高约75米，正常蓄水位库容为1223万立方米。下库为已建的黄花寨水电站水库，为大（2）型水库，最大坝高110米，正常蓄水位高程为795.5米，总库容为1.748亿立方米。上、下库进/出水口水平距离约2.38公里，平均水头229.5米，距高比约为10.4。

为了获取本工程地下厂房地应力的大小和方向，进行了对长顺县敦操乡苦竹寨附近14号钻孔的水压致裂法地应力测试。地下厂房作为抽水蓄能电站的重要组成部分，其安全稳定运行对整个电站的运行具有至关重要的影响<sup>[2]</sup>。地下厂房所处地质环境复杂，地应力的大小和方向直接关系到岩体的稳定性和地下厂房的安全性。因此，通过地应力测试，可以了解岩体内部的应力状态，为地下厂房的设计和施工提供可靠的地质数据依

据。

水压致裂法是一种常用的地应力测试方法，通过施加高压水使地层产生裂缝，然后测量裂缝的扩展情况，从而推断地层的应力状态。这种方法具有操作简便、数据可靠等优点，在工程地质领域得到广泛应用<sup>[3]</sup>。通过对14号钻孔的地应力测试，可以为黄花寨三口洞抽水蓄能电站地下厂房的工程建设提供重要参考，保障电站的安全稳定运行，促进清洁能源的有效利用。

### （二）地质条件

该地区地层主要由古生界泥盆系至新生界第四系组成，包括了碳酸盐岩和碎屑岩等类型。测区属于黔中至黔西南的喀斯特峰林区，其中碳酸盐岩广泛分布。由于河谷的深切和岩溶垂向作用的影响，溶洼深邃狭窄，形成了峰丛深洼地貌。测区地势起伏较大，山顶最高高程为1280米，一般高程在1100至1200米之间，而格凸河河床高程约为700米，形成中低山地到低中山地貌。测区内不同地质构造形成了复杂的多体系构造，包括克度向斜、雅水背斜、田坝向斜、兴隆向斜、雅阳背斜、打郎背斜、交麻向斜、坝寨背斜、江洞沟向斜、水塘向斜、火烘背斜和王佑穹窿等褶皱构造，以及边阳断层、猫营断层、摆巷厂断层等主要断裂构造。

综合来看，黄花寨三口洞抽水蓄能电站所处的地理环境和地质条件复杂多样，各种地貌类型和地层岩性的分布为电站的建设和运营带来了一定的地质挑战和风险。因此，对地下厂房地应力进行测试具有重要的必要性，以确保电站工程在复杂地质环境下的安全稳定运行。

## 二、抽水蓄能电站地应力测试

### （一）水压致裂法地应力测试方法

水压致裂法地应力测试的操作过程相对简便，首先，需要在测点附近钻孔，然后将高压水注入钻孔中，逐渐增加压力，直至地层发生裂缝。同时，使用合适的仪器对裂缝的扩展情况进行实时监测和记录。通过分析裂缝的形态、长度、扩展速率等数据，结合地层的地质信息，可以准确推断地层的地应力状况。这些测试结果对于抽水蓄能电站的地质设计和安全评估至关重要，为电站工程提供了可靠的地质数据支持，有助于确保电站的安全运行和长期稳定性。

水压致裂法地应力测试方法的优势在于其操作相对简单，测试过程较快，且测试数据较为可靠。该方法不

需要对地层进行破坏性取样，而是通过注入高压水的方式进行测试，避免了对地质环境的过度干扰，保持了地层的原状性。同时，水压致裂法测试结果的准确性较高，通过合理的数据处理和分析，可以得到地层地应力状态的较为精确的信息，为电站工程提供了科学依据<sup>[4]</sup>。

### (二) 测试设备

本次地应力测试采用GEO-ST系列水压致裂法地应力测试系统，包括封隔器探管、印模器探管、压力源泵车、组合传感仪、试验控制箱、数据采集仪、高压管路、接种接头以及配套工具等组成。该系统的封隔器可达到最高工作压力为40MPa，用于测量地应力量值。地表数据采集系统实时监测和分析施工压裂情况，包括两个无线压力传感器（备用一个）和一套无线数据接收系统。

### (三) 测试结果

#### 1. 测试概况

在2023年4月26日，我公司进行了地应力测试，并根据测试要求和14#孔岩芯的实际情况，在该测试孔中选定了6个测试段。每个测试层位都使用了跨式封隔器系统，这些测试段在钻孔孔径为 $\phi 75\text{mm}$ 的测试孔中进行测试，封隔器测试段之间的间隔为0.45m。岩芯照片（图1）显示，测试段的岩层较为完整。在测试过程中，使用了直径为50mm的钻杆将封隔器送至测试层位，并通过注入清水来进行测试。同时，放置在地表的无线压力传感器实时记录注水压力。这次地应力测试采用的封隔器系统和无线压力传感器技术的应用，使测试过程更加高效和便捷<sup>[5]</sup>。通过选定合适的测试段和使用先进的测试设备，我们能够获得地层地应力的重要数据，并确保测试结果的准确性和可靠性。这些测试数据将为黄花寨三口洞抽水蓄能电站地下厂房的设计和施工提供重要参考，确保电站的安全稳定运行，为清洁能源利用提供了有力支持。



图1 14#钻孔 126m 测试层位岩芯照片

#### 2. 测试数据

本次地应力测试采用水压致裂法直接测量地层最小主应力，而竖向应力通过岩石密度估算得出。地层最大水平主应力通过裂缝开裂（重张压力）获得，并用弹性力学应力解估算地层最小主应力以及无限平面中圆孔周围的应力。测试结果表明，所有的6个测试均具有高可信度，特征如下：1）至少有3个周期未见泥浆返液；2）明显的地层破裂；3）从诊断性分析曲线中可以看到明显的裂纹闭合；4）不同测试周期的裂缝闭合压力具有一致性；5）使用不同的分析方法得到一致的裂缝闭合压力。如下图2-3中分别为14#钻孔 126.55m和182.30m 测试段测试曲线。

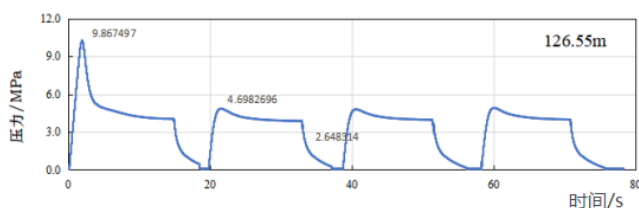


图2 14#钻孔 126.55m 测试段测试曲线

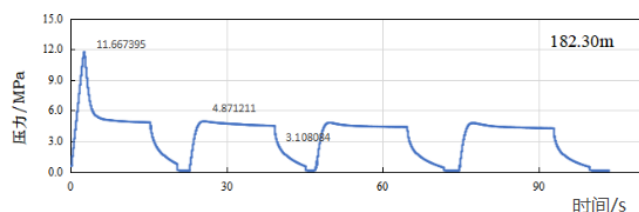


图3 14#钻孔 182.30m 测试段测试曲线

本次检测结果汇总如下表1:

通过数据分析，发现YZK14钻孔处的最大水平主应力为11.48MPa，主应力优势方向为 $N10^\circ E \sim N34^\circ E$ 范围，均值为 $N23^\circ E$ 。这些测试结果对于地下厂房的设计和安全评估提供了重要的地质信息，确保电站的稳定运行和安全运营。14#钻孔地应力值随深度分布特征如下图2所示。

根据图6显示的数据，我们可以看到在YZK14钻孔测试深度范围内，各个测段的水平大主应力侧压系数 $\lambda$ 均大于1。这意味着工程场区深部存在的水平构造应力大于自重应力，即水平构造应力在该区域起主导作用。根据国内实测和统计资料，工程岩体的初始地应力侧压力系数通常在0.8~3.0之间，而绝大多数情况下在0.8~1.5之间。本次钻孔实测的地应力侧压力系数为1.12~1.79之间，均值为1.42，处于常见范围内。因此，钻孔区域深部水平大主应力约为自重估算应力的1.42倍，各测段的地应力侧压力系数都处于正常范围内，没有出现异常集中或偏高的构造应力场。

### 三、结束语

表1 14#钻孔地应力测试结果成果

测点编号	测点深度 /m	破裂压力 $P_b^*/\text{MPa}$	重张压力 $P_r^*/\text{MPa}$	关闭压力 $P_c^*/\text{MPa}$	孔隙压力 $P_0/\text{MPa}$	抗拉强度 $\sigma_t/\text{MPa}$	大主应力 $S_H/\text{MPa}$	小主应力 $S_h/\text{MPa}$	自重应力 $S_n/\text{MPa}$	大主应力方向
1	126.55	9.87	4.70	2.65	0.00	5.17	5.78	3.92	3.42	
2	182.30	11.67	4.87	3.11	0.00	6.80	8.83	4.93	4.92	N25° E
3	252.80	7.02	3.88	2.16	0.00	3.14	7.68	4.69	6.83	
4	271.80	8.54	6.07	3.80	0.17	2.47	10.60	6.52	7.34	N10° E
5	331.15	8.41	6.39	3.87	0.76	2.02	11.08	7.18	8.94	N34° E
6	350.65	7.96	5.56	3.66	0.96	2.40	11.48	7.17	9.47	

备注：自重应力按照岩体重度27.0kN/m<sup>3</sup>计算得到。

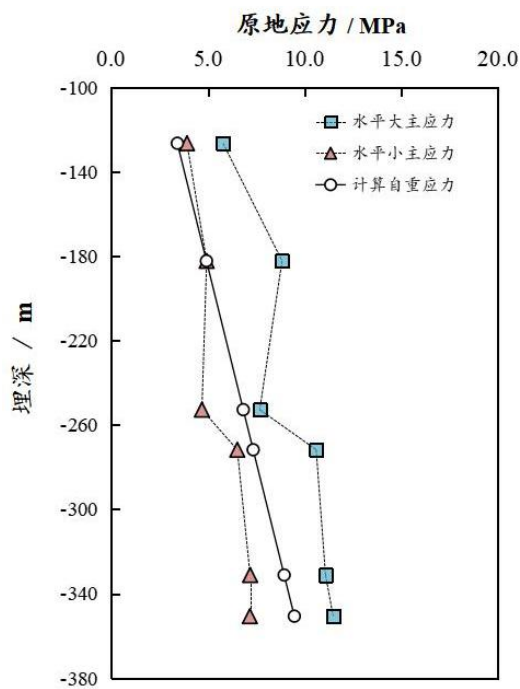


图5 14#钻孔地应力值随深度分布特征

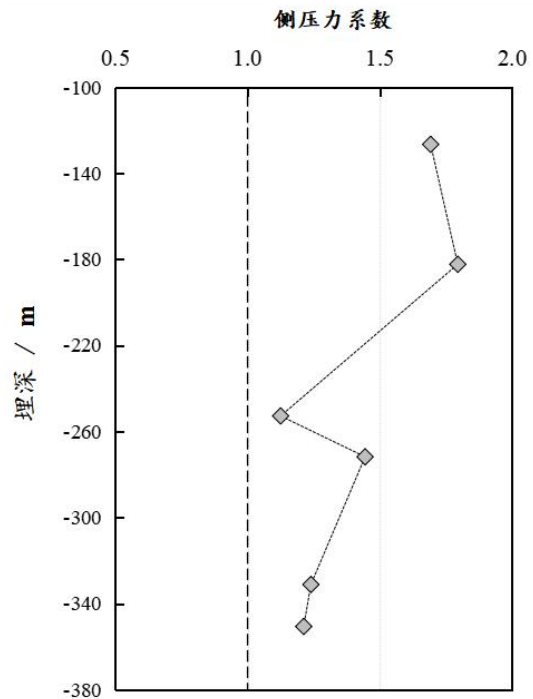


图6 14#地应力侧压系数随深度变化曲线

根据黄花寨三口洞抽水蓄能电站地应力测试的结果，我们得出以下结论：

测区竖向应力范围为3.42至9.47MPa，表明地下岩层在竖直方向上其深度越大，承受的应力压力越大。

测区最大水平主应力范围为5.78至11.48MPa，最小水平主应力范围为3.92至7.17MPa。这表明在该地区存在着较大的水平构造应力，且水平主应力的差异较大，这对工程设计和施工安全具有重要的影响<sup>[6]</sup>。

测区地应力侧压力系数为1.12~1.79之间，均值为1.42，侧压力系数处于合理范围内，深部水平构造应力对地层的影响较大，这对工程建设和运行安全需要充分考虑和评估，以确保电站的稳定运行和工程的安全性。

参考文献

[1]胡紫航, 张一波, 黄凌宇, 刘建新, 丛中方. 基于中高地应力地区条件下的地下厂房岩壁吊车梁开挖技术[J]. 水电与抽水蓄能, 2021, 7(04): 90-97.  
 [2]耿必君, 任鑫, 张祥富, 袁涛, 钟聚光. 抽水

蓄能电站地下厂房区地应力测试研究[J]. 人民珠江, 2020, 41(09): 46-52.

[3]费万堂, 张练, 马雨峰, 刘双华, 王兰普, 秦洋. 丰宁抽水蓄能电站地下厂房初始地应力场反演[J]. 人民长江, 2020, 51(S1): 112-116.

[4]陈晓佳. 高地应力层状岩隧洞围岩变形破坏特征与机制研究[J]. 黑龙江水利科技, 2019, 47(12): 57-59+110.

[5]杨承云. 桐城抽水蓄能电站地下厂房区地应力测试成果分析[J]. 广东水利水电, 2019, (10): 14-17.

[6]刘录君, 田作印, 郑以宝, 季聪, 杨宗玲. 荒沟抽水蓄能电站高压岔管工程地质勘察方法探讨[J]. 资源环境与工程, 2015, 29(05): 560-563.

作者简介：胡国伟(1974.12-), 男, 壮, 广西省宾阳县人, 研究生, 现有职称: 高级工程师, 研究方向: 水利水电工程质量检测。