

抽水蓄能电站工程地质勘察的物探对策

常伟, 钱世龙

(国家电力公司 北京勘测设计研究院, 北京 100024)

摘要:笔者从地下地质工程和上水库工程地质调查这两个特殊问题论述了工程物探应用的对策和实效,具有一定的实用性和理论依据,对今后在抽水蓄能电站工程地质勘察中应用工程物探有一定的参考意义。

关键词:抽水蓄能电站 工程地质勘察 物探 对策

中图分类号: P631 ;TV698.1 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2001)04-0300-06

大型抽水蓄能电站是一种特殊的水电工程设施,它在电网运行中起调峰填谷的作用。作为一种大型的土建工程,它既有常规水电站的一般性,又有其自身的特殊性。抽水蓄能电站最大的特点之一是需要有较大的水头差,以便能够储蓄足够的势能进行发电。所以电站工程就要跨越各种形态地貌,穿过岩性繁多的地层,涉及到不同规模、不同形状特征的断裂构造及复杂多变的地下水水文地质结构。这样建筑物群体布置与周围环境条件就不同于常规水电工程,且复杂的建筑结构对工程地质环境的要求,要比常规水电工程更为严格;工程地质问题也因而更为复杂。根据我院 20 余年来在抽水蓄能电站的规划选点、勘测设计、施工监理、及科研的实践表明:工程物探不仅是重要的勘测方法、工程常用的检测方法,而且还是施工监理中行之有效的监察手段。笔者就地下地质工程和上水库工程地质环境调查特殊问题论述工程物探应用的对策。

1 地下地质工程中工程物探的应用

1.1 地下洞室的主要地质问题

抽水蓄能电站的主体建筑多为深埋藏的地下工程,为大规模、立体相交的地下洞室群。水道系统和发电厂房主变室是工程的核心。其主要的工程地质问题是:在高水头、高压、大跨度的地下洞室与长大隧洞的围岩稳定和防渗、排水问题。

1.2 前期工作中的工程物探任务

在前期勘测设计工作中,主要选择既要满足上水库—水道系统—厂房—主变室—下水库相对位置制约的最佳方案,又要满足地下厂房尽可能置于较完整的岩体中。因而洞室的勘察工作应该在三度空间上进行,采取综合措施查清主要工程地质问题。一般来说,布置地下厂房的主要控制性因素是断裂构造和地下水特征,当然还应考虑主应力方向。应用综合测井和钻孔间的电磁波、弹性波 CT 技术对于探测断裂构造、软弱层带、渗漏地层、空穴是一个非常有效的方法。在西龙池、泰安、板桥峪等蓄能电站工程中已得到很好的应用。

大量的岩体波速测试在前期工作中占有重要的地位。它是围岩分类的重要参考数据,并

可由此计算动力弹性系数。在这方面的工有:①在勘探平洞左、右两壁,应用小地震法测定岩体的纵、横波波速参数 v_p, v_s , 了解沿洞线方向岩体和断裂构造的变化;②在钻孔、竖井中进行声波或地震波波速测定,了解竖直方向岩体和断裂构造随深度的变化;③在掌子面上布置若干钻孔,用声波方法测定探洞松弛带的范围和形态;④用声波孔间穿透(约 10 m 孔距)和层析成像探测,了解孔间波速与应力分布变化的规律。上述工作的成果和实验室内、现场测定的成果具有相当好的可比性;⑤对于层状岩体,应用不同方位的弹性波波速观测,结合测区岩体波速值分布的统计分析,可以提供岩体不同部位的各向异性状况,有利于地下厂房拱顶的设计。

和钻探工作配合,应用水压致裂法和磁芯套筒法在钻孔中做地应力测量。研究地应力初始状态,测定三维应力大小和方向及其随深度的变化规律,获得围岩原位破裂压力、拉张强度和原生裂隙的重张压力等力学参数。众所周知,地应力是地下洞室群支护、设计、衬砌、计算、稳定分析和确定地下厂房轴线的基本资料。

和钻探工作配合,采用水文测井方法,对压力涵洞进行高压压水渗透性研究,了解压力管道在高压水作用下的岩体渗透稳定问题,提供衬砌型式,即钢板衬砌或钢筋混凝土衬砌,以及一系列与岩体高压水渗透稳定相关的设计问题。

和灌浆工作配合,应用弹性波波速测定或弹性波 CT 技术,对需要进行灌浆的岩层进行地层可灌性试验,并对灌浆效果进行检测。

1.3 施工期间的工程物探与检测

在工程建设中,地下工程是在地质体内控筑的洞室与周围自然地质环境的集合,地质体本身就是工程结构主要组成部分,因此地下地质工程即是工程问题又是地质问题。影响地下工程的因素可以归结为自然因素和工程因素两大类,自然因素是客观存在的工程岩体及其所处的环境条件;工程因素是人类工程所为,它会打破或干扰岩体内原有的应力平衡,产生应力调整,应力释放,从而会出现新的地质工程问题。

由于地下洞室的出现,打破或干扰了岩体内原有的应力平衡,产生应力调整与释放,就会形成新的地质工程问题,诸如岩爆、倾倒体、岩体剥落、弯曲变形、隆起等等。在围岩扰动范围内产生的重布应力称为围岩应力或次应力。在通常情况下,应对施工挖筑后洞室围岩松弛带范围和形态进行重新测定,对洞壁岩体弹性波速度重新测试,再次进行实地的围岩分级。

应力释放和施工掘进的爆破通常会造成洞室壁上岩体的松动和超挖,若不进行切实处置,必将影响工程质量。十三陵抽水蓄能电站地下厂房顶拱和拱座岩体内地应力以构造应力为主导,洞室形成以后,顶拱处于受压状态,并有可能出现压应力集中,厂房拱座及边墙的上部则处于受拉状态,且不排除局部会有拉应力集中。在施工期间厂房上部发生了岩体板裂化,给设计和施工带了麻烦。我们利用边墙上众多的锚杆孔做声波测井测量,根据声波测井曲线波速换算和波形分析,绘制了沿墙壁深度 1,2,3,4,5 m 截面的等速度图,从图上相当直观地看出墙壁岩体松动和松弛带的分布规律,为工程处理指明方向。

巨大的内水压力往往具有冲击性的运行状态,这是高水头压力管道的一个突出特点。为了降低压力管道的造价,越来越多地借助于围岩的抗力,让围岩分担更多的内水压力,从而对围岩质量提出更高的要求。压力管道的弹性波速度测定和动拉力系数的测试可十分详细地了解围岩抗力强度的可能变化。

压力管道的衬砌厚度和质量,衬砌与原岩的耦合是否良好直接影响工程质量。这方面可以用微电阻率法,无线电波法和弹性波方法进行检测。用压力钢板衬砌时,钢板的微裂隙可以用成熟的超声波探伤法进行详查,在技术上是没有什么困难。

地下洞室特别是地下厂房埋深大、空间大,通常会形成工区地下水的—个排放空间。在岩体渗透性较强的情况下,防淹、排水问题就更为突出。①岩溶地区既是地下水的富集、存储、排泄区,又是岩体相对较弱甚至出现大规模空洞的部位。岩溶的存在对地下工程的建设影响较大,影响围岩稳定,给施工开挖带来—定的困难。②地下洞室中,若某处地下水位较高、水量较大,如遇岩溶洞穴或破碎带内充填物为泥,未胶结的断层带物质以及某些松散岩体时,就可产生碎屑泥石流,发生突泥、突砂、突石等,洞室局部被淘空,导致洞室大范围塌方。针对这些问题,除了在前期的勘测工作中必须保证必要的工作深度和采取相应的施工技术外,快速的工程物探检测方法可以查明洞壁后的地质情况,为采取有力的补救措施,提供依据。这方面的技术手段有:①对洞壁进行地质雷达扫描,连续声波测试和高密度电阻率法探测;②在掌子面上进行地质雷达或陆地声纳(零偏移地震反射法)进行超前预报。

2 上水库工程地质环境调查^{①②③④}

2.1 上水库地质环境特点

抽水蓄能电站不同于常规水电站的特点之一是存在—个上水库。蓄能电站工程建设位置的选择具有较大的局限性。因而它具有本身的特殊性和复杂性,通常上水库的地形、地质条件较差,这是因为:它受地形地貌的制约,如上、下水库形成水头差,平距与高差之比(距高比 L/H) 越小越好,能有一个高于建成库盆的地形,以节约库盆开挖、建坝的工程量。受上水库—水道系统—厂房—下水库相对位置的制约。通常下水库是利用已修成的水库,它虽然有节省投资的一面,但有时反而带来诸多的不利和不便。

高水头抽水蓄能电站要求短距离内存在较大的地形高差,因此上水库的兴建通常均修建在高山顶上。在—个孤立的山头上修建—个大水库就可能会出现:山体稳定性、高边坡稳定性、坝基坝肩稳定性、库水渗漏、高山地震动力反应、修建当地材料坝的控填平衡和当地建筑材料选择、电站运行时水位骤升骤降可能引起的库盆变形和破坏等—系列问题,从而形成上水库勘测的特殊性。

2.2 上水库工程地质勘测中工程物探应用与对策

2.2.1 上水库渗漏、边坡稳定性以及控填平衡评价

评价上水库渗漏、边坡稳定性以及控填平衡时的工程物探目标通常为:①覆盖厚度,地层岩性及岩层风化带的划分;②断裂构造、软弱层带位置的测定;③溶洞、洞穴探测;④滑坡与堆积体、建筑土石料调查等等。为此,工程物探在方法技术上坚持综合物探方法和综合分析以及因地制宜的原则。

1. 如在十三陵上库,安山岩的地球物理特性,适合于采用地震折射法探测其深厚的风化层,而泰安—级电站上库由于古老的花岗岩的风化渐变特性和多次构造作用,折射法对探测风化破碎层就不甚明显,而采用高密度电法配合孔间地震波层析成像就比较好地确定了贯穿库盆的 F_1 断层范围与倾向。

① 国家电力公司北京勘测设计研究院. 抽水蓄能电站工程地质问题分析研究. 1999, 10.

② 国家地震局地壳应力研究所, 国家电力公司北京勘测设计研究院. 板桥峪抽水蓄能电站可行性研究阶段地应力测试及地应力回归分析专题报告. 1997, 11.

③ 中国地震局分析预报中心, 北京勘测设计研究院. 板桥峪抽水蓄能电站可行性研究阶段场址区地震安全性评价专题报告. 1999.

④ 山西地震工程勘察研究院, 国家地震局地壳应力研究所. 西龙池抽水蓄能电站库址山体地震反映分析. 1998.

2. 在寻找埋藏不深的溶洞、洞穴时电阻率法较为适宜,但应坚持面积性的勘探布置,才能显出成效。

3. 在钻孔中进行测井,至少应有电阻率、声波和天然放射性 3 种方法测量。如在泰安测井划分地层岩性、风化带就比较成功;在北京某电站应用全波列声波测井,清楚地确定岩体破碎带位置(图 1 中孔深 36~39 m 处为 F_{101} 断层的反映);在张河湾天然放射性探查软弱泥层带位置就十分有效。

4. 地面物探结合坝肩平洞弹性波测试,坝址区和库周钻孔及不同高程的探槽的弹性波测试。在有条件时,最好能布置不同高程的探洞进行水平或垂直方向洞间弹性波测试,然后根据这些资料的综合分析,绘制库区速度图,就可以比较直观地反映岩体的质量优劣和可能发生的渗漏地段。

5. 风化层带的分布规律:不同风化层带的弹性波速度及厚度的分布规律可以为设计上水库挖填平衡、建材选择提供重要的参数。

6. 在上水库开挖到设计库盆底高程时,综合应用弹性波波速测定方法或横波测定以及地质雷达等方法,对于确定基岩岩体面是否合适,盆底是否存在隐伏的构造,密集裂隙和洞穴是十分有用的。

7. 应用地震波法、高密度电法、 K 剖面法对塌滑体进行专门研究,已有不少成功的实例。

2.2.2 山体卸荷带调查

山体卸荷是山体稳定和渗漏的显性标志,其对确定上水库范围和上水库坝址选择有着极其密切的关系。

张河湾抽水蓄能电站上水库没有现成的库盆地形条件,需要挖方筑坝成库。由于山体三面凌空,台坪地形狭窄,构造断裂发育,风化及卸荷较为严重,岩体稳定性较差,周边岩体存在崩塌、错落及表层滑移等破坏现象。我们采用沿台坪周边近垂直方向布置了一系列的地震测线,根据波速和波形特征,结合不同高程的探槽、竖井和勘探平洞的弹性波测试结果得出:台坪周边至少存在宽 20~60 m 的强卸荷带,其弹性波速度在 2 800 m/s 以下;软弱夹层的厚度、泥化程度与卸荷带裂隙张开宽度之间还有一定的相关关系,而且卸荷带发育是西北侧大于东南侧的结论,与实地地质调查结果吻合。

2.2.3 岸边或人工下水库深厚覆盖层勘测

岸边或人工下水库深厚覆盖层勘测和上水库大体相似,但作为下水库更应注意固体径流、泥沙淤积引起运行条件的恶化。

西龙池抽水蓄能电站位于多泥沙的滹沱河水系上,为了避开泥沙的影响,将下水库布置在位于滹沱河左岸大龙池沟的出口处,形成岸边式的下水库。下水库傍依高山陡壁,上游的大龙池沟支沟发育,出山口后地形开阔,坡降相对较少,有利于崩坡积,洪积物的堆积,在经过长期的侵蚀堆积作用下,沉积了深厚的第四系洪积物及崩坡积物,厚度一般为 20.0~80.0 m,最厚

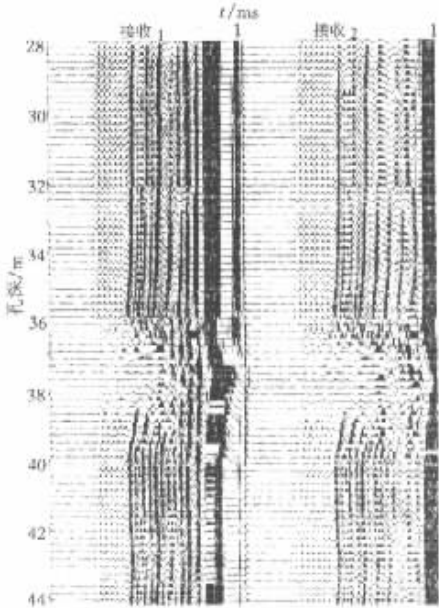


图 1 北京某电站 ZK48 钻孔全波列声波测井曲线

可达 100 m 以上,并且分布范围较广,给兴建近百米高的堆石坝带来了许多的不良工程地质问题。水库的大坝若建基于基岩,库、坝区的覆盖层需全部挖除,开挖量达 $418 \times 10^4 \text{ m}^3$,而坝体要填筑 $707 \times 10^4 \text{ m}^3$,工程量浩大、工期长,所以在覆盖层上建库筑坝是减少工程量、缩短工期与造价的较好方案。

为此在优化设计时,要求物探查明下库坝址区范围覆盖层厚度和近地表 40 m 范围内的覆盖层情况,在如此复杂的地质环境下,工作极其困难的,但措施得当仍然可以取得良好的效果。为此我们采用地震折射法进行覆盖层厚度的探测,选择瞬态面波法进行覆盖层的分层。折射法探测的结果表明:下水库坝线上游覆盖层厚度为 7~49 m,且有不同程度的胶结,坝轴线上游 290~300 m 以上的库底未被胶结,属于松散堆积物。坝轴线下游冲沟中覆盖层厚度为 50~70 m,冲沟左岸脊部平台覆盖层厚度为 40~97 m,局部大于 100 m,这和少量钻探所揭示的结果是相吻合的。

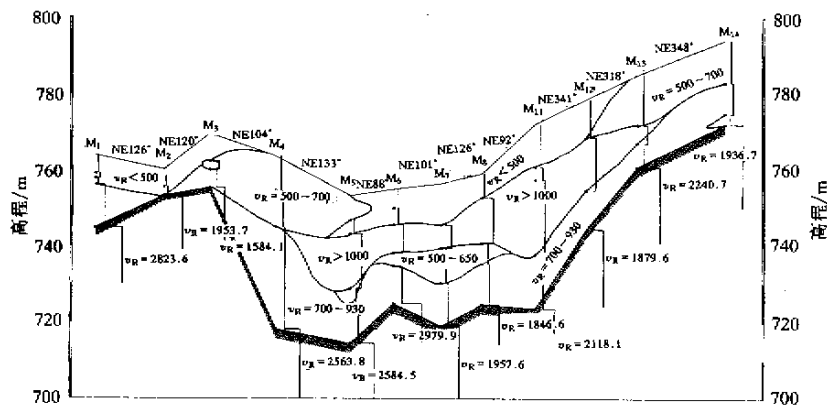


图 2 西龙池抽水蓄能电站下水库坝轴线面波剖面

覆盖层的面波速度 v_R 特性是通过面波测试来获得的(图 2)。测试结果表明:该区较松散碎石土, $v_R = 203 \sim 600 \text{ m/s}$; 具有一定胶结程度的碎石土, $v_R = 673 \sim 1\,015 \text{ m/s}$; 胶结程度较好碎石土, $v_R = 1\,182 \sim 1\,534 \text{ m/s}$; 而松散的碎石层, $v_R = 445 \sim 550 \text{ m/s}$; 具连续性紧密接触碎石层, $v_R = 600 \sim 673 \text{ m/s}$; 松散土层, $v_R = 356 \text{ m/s}$; 具有一定胶结、超固结或固结土层, $v_R = 506 \sim 850 \text{ m/s}$; 具一定胶结程度土夹碎石层, $v_R = 703 \sim 834 \text{ m/s}$ 。与河床砂砾石 ($v_R = 300 \sim 600 \text{ m/s}$)、坝体堆石 ($v_R = 500 \sim 700 \text{ m/s}$) 相比较,覆盖层较松散的碎石土略高于河床和坝体较松散碎石土或基本上相同,而且覆盖层有不同胶结程度的碎石土远大于河床砂砾石和坝体堆石,表明其有较好的弹性波特性。由于波速值变化范围大 ($203 \sim 1\,534 \text{ m/s}$),高、低值约差 6 倍,说明其整体均一性差,因此,将有产生不均匀变形等工程地质问题的可能。

面波测试直观地反映了覆盖层在三度空间上分布不均匀的特性和不同物质组成的洪积物的面波速度特性,并显示出它们之间的对应关系,由此来判断较松散堆积体的分布位置,从而对洪积物进行全面的工程特性评价,便于有针对性的进行工程处理。

2.2.4 高山地震动力反应

应用常时微动测量和大范围爆破的人工地震法可以观测高山地震动力反应,求得山体的卓越周期、阻尼比和动力放大系数。

3 结束语

工程地质勘察的目的就是正确认识和评价地质体的自然和工程属性,从而找出合理利用和改造的途径。对工程地质师而言,主要责任是调查自然条件因素,协助设计师和帮助施工组织者选择可靠、合理、恰当的施工方法和程序。

工程物探作为查明自然地质条件的一种调查手段,为地质评价服务的。由于地球物理场(天然的或人工的)都具有其本身的规律,所以它又是查明自然条件因素的论据;从另一个方面讲,它又是地质工作现代化的重要标志之一。

ENGINEERING GEOPHYSICAL COUNTERMEASURES
IN THE ENGINEERING GEOLOGICAL EXPLORATION
FOR THE WATER-PUMPING ENERGY STORAGE POWER STATION

CHANG Wei, QIAN Shi-long

(Beijing Surveying and Designing Institute, State Electric Power Corporation, Beijing 100024, China)

Abstract : In the light of two special problems, namely the underground geological engineering survey and surface reservoir engineering geological investigation, this paper deals with the countermeasures and effeciveness of engineering geophysical application. The conclusions reached have some practical value and theoretical grounds, and hence are of referential significance in future engineering geophysical application to engineering geological exploration for the water-pumping energy storage station.

Key words : water-pumping energy storage station ; engineering geological exploration ; geophysical exploration ; countermeasure

作者简介:常伟(1963-),男,天津人,毕业于北京大学地球物理系地球物理专业,现任国家电力公司北京勘测设计研究院专业总工程师,高级工程师,北京地球物理学会理事,一直从事水利电力工程物探工作,公开发表论文若干篇。

·科技信息·

我遥感技术步入产业化

国家‘九五’科技攻关基本项目‘遥感、地理信息系统、全球定位系统技术综合研究’(简称3S项目)日前在京通过验收。以3S为代表的技术在国家资源环境调查、重大自然灾害检测、城市规化与管理、海洋勘察、国家安全等方面有重要应用价值。该课题共有国家和地方60个单位,近900位科技开发人员参加攻关。在攻关的同时,十分重视科技成果的产业化,将成熟的技术及时开发出产品推向市场,鉴订技术合同近600项,取得直接经济效益3亿多元。

引自《物化探科技消息》2001年第2期