

RaA 氡气、甚低频测试在复核某电站 库首变形体边界中的应用

段 韬, 赵其华, 张志龙

(成都理工大学 环境与土木工程学院, 四川 成都 610059)

摘 要: 以西南某水电站库首右岸拉裂变形体为研究对象, 根据现场的地形地貌, 先从地质定性分析出发, 初步确定拉裂变形体的上下游边界及前后缘边界。介于地质体的不均匀性及不可预见性, 再在初步圈定的拉裂变形体上布置低线公路、高线便道以及纵线 3 条测线, 通过 RaA 氡气、甚低频测试这 2 种科学手段加以测试。最后在室内进行数据整理之后, 作出各测点氡气值柱状图和甚低频视电阻率图, 并在其原理基础上结合地质情况加以量化评判, 结果表明它与地质定性分析得出的边界情况基本吻合。可见, 这 2 种测试手段为拉裂变形体的边界确定作出了较为充分的论证。

关键词: 拉裂变形体; 氡气; 甚低频; 测试; 分析; 边界

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2005)05-0050-04

中图分类号: TV697.23

Application of Boundary Checking with RaA Radon, VLF Survey in Deformation and Fracture Mass of Reservoir Right Shore to an Electricity Station Dam

DUAN Tao, ZHAO Qihua, ZHANG Zhilong

(Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, Sichuan Province, China)

Abstract: With the real project of reservoir right shore to an electricity station dam at southwest, and topography, geomorphology on the spot, beginning with geological qualitative analysis, we can initially ensure the upstream and downstream boundary, the front and back boundary of the deformation and fracture mass. According to the heterogeneity and something unknown of the geologic body, we located three measuring circuits which contain lower road, higher shortcut and ordinate on the boundary referred above, then we use two scientific ways of RaA radon survey and VLF survey to test. Ultimately we can get the every observation point radon columnar sections and the VLF apparent resistivity diagrams after coordinating the data in doors, and on the foundation of principium we quantitatively identified them with geological circumstances. As a result, the information we had gotten from those diagrams accorded with the boundary in geological qualitative analysis by and large. It is obvious that the boundary determination of the deformation and fracture mass was illustrated sufficiently on the basis of these two testing method.

Keywords: deformation and fracture mass; radon; VLF; survey; analysis; boundary

研究水电站位于四川省西部大渡河中游汉源县和甘洛县接壤处, 距成都直线距离 200 km, 距上游汉源、石棉 2 县城分别约 28 km, 80 km, 其下游 9 km 处有成昆铁路汉源车站, 交通方便。

该水电站正常蓄水位 850.00 m, 总库容 $5.39 \times 10^9 \text{ m}^3$, 最大坝高 186 m, 是大渡河中上游最大的一个梯级电站。枢纽建筑物采用砾石土心墙堆石坝、左岸地下厂房、泄洪洞、岸边溢洪道、不过水围堰和隧洞导流布置型式。电站装机容量 $3.30 \times 10^6 \text{ kW}$, 保证出力 $9.26 \times 10^5 \text{ kW}$, 年发电量 $1.46 \times 10^{10} \text{ kW}\cdot\text{h}$ 。电站

建成后, 拦河大坝控制大渡河流域 78% 的径流和 88% 的泥沙量。由于大水库的调节和控制, 使下游已建成的龚嘴电站和铜街子电站增加保证出力 $2.15 \times 10^5 \text{ kW}$, 年发电量 $7.8 \times 10^8 \text{ kW}\cdot\text{h}$; 解决这 2 个水库的泥沙淤积, 延长水库和电站的寿命; 使龚嘴水电站厂房的防洪标准由 200 a 一遇洪水提高到 500 a 一遇洪水; 同时可减轻泥沙淤积对成昆铁路安全营运带来的威胁, 经济效益显著。

在该电站右岸坝轴线上游约 780 m 左右存在一个拉裂变形体。拉裂变形体后缘已出现了斜向排列

的拉裂缝,拉裂缝总体延伸方向为 $N29^{\circ}E$,发育长度近 150 m,最大的错距达 25 cm,拉开宽度约 0.5~2 cm,最大达 10 cm。拉裂变形体后缘外围出露的基岩中仍可见到倾倒拉裂变形迹象。其侧缘和前缘也有不同程度的变形破裂迹象。该拉裂变形体距大坝非常近,目前已有较明显的变形破裂特征,而且方量较大、位置较高,故其稳定状况、演化趋势、破坏方式等直接影响着大坝的安全。因此,非常有必要对该拉裂变形体的外形特征、目前的变形破裂迹象、不同工况下的稳定状况、失稳方式、运动特征、对工程的影响程度及处理措施等开展深入、系统的研究。为防止拉裂变形体对大坝和水电工程造成严重危害,并提出有效合理的治理方案建议,首要问题是确定拉裂变形体的边界。

1 地质分析

该拉裂变形体为一岩质边坡。其外形为一突出的山嘴,顶部可见两个台阶和与其相联系的陡壁,其上、下游侧分别发育有小冲沟,其下游侧不远即为早已查证的坝前古拉裂变形体。根据现场调研发现小辜沟(该拉裂变形体的上游侧的一条冲沟)上游侧岩体结构完整,而该处下游侧岩体比较破碎,可见有岩体的变形破裂现象;小张沟(该拉裂变形体的下游侧的一条冲沟)上游侧拉裂变形体内岩体中见有剪动带,岩体结构为碎块状,散体结构,岩体质量为 IV~V 类,而该处下游侧的岩体结构完整;在后缘第四纪覆盖层和基岩的分界线上发育了规模较大的拉裂缝,拉裂缝后部的坡体上岩体较拉裂体内的完整,仅在局部出现倾倒拉裂现象。在对坡体变形破坏现象的分析后初步确定:该拉裂变形体的上游侧边界为小辜沟;下游侧边界为小张沟;其后部边界为坡体后部陡缓交界部位,即后缘拉裂缝发育的位置;其前缘边界在低线公路高程以上。

为了在地质分析的基础上进一步复核拉裂变形体的边界,我们根据现场情况,采用 RaA 氡气测试和甚低频测试。

2 RaA 氡气测试

2.1 测试原理及仪器简介

位于铀系中的氡(^{222}Rn)是一种放射性惰性气体,其半衰期较长,活动性强而化学性质稳定,易溶于水,便于测量。各种测氡仪旨在测量氡及氡子体核素衰变时所释放的 α 粒子射线。氡的第一代子体 RaA 呈固态,具有附着在固体表面的特性,在较短时间内即可与氡达到放射平衡。构造运动和地下水的

不断循环均为氡气的迁移和积聚提供了有利条件。岩石中氡的母体元素衰变不断产生氡,溶于水中的镭、铀遇有利地段沉淀,衰变释放出氡,积聚于构造裂隙并迁移至地表,形成氡气异常,为其测量提供了地质理论依据。位于地下深处岩石中氡的母元素经一系列衰变形成氡气后,主要依靠扩散、对流和抽吸作用等穿过松散介质和孔隙以最短距离垂直运移至地表,并缓慢向大气中逸散。毫无疑问,裂缝和构造为氡的迁移提供了良好的通道,并构成了氡及其子体迁移、积累和赋存的有利环境,因而氡气值(计量单位艾曼)可间接反映出断裂裂隙发育的程度。

本次研究中采用的 FD3017RaA 测氡仪,它由探测器、放大器、整形器及显示器等组成。仪器经过标定后即可进入野外工作状态。在拉裂变形体现场进行了 RaA 氡气测试。

2.2 测线布置

在本次氡气测试中共布置了低线公路、高线便道、纵线等 3 条测线(各测线布置见图 1)。低线公路测线总共布置了 60 个测点,测点之间的距离根据地表面覆盖层及岩层的表观情况选择了 5 m 或 10 m 不等,测线总长大约为 510 m,起点为拉裂体下游侧边界小张沟附近,终点为拉裂体上游侧边界小辜沟附近,总体上呈近 SN 方向,各测点以 DX 命名。

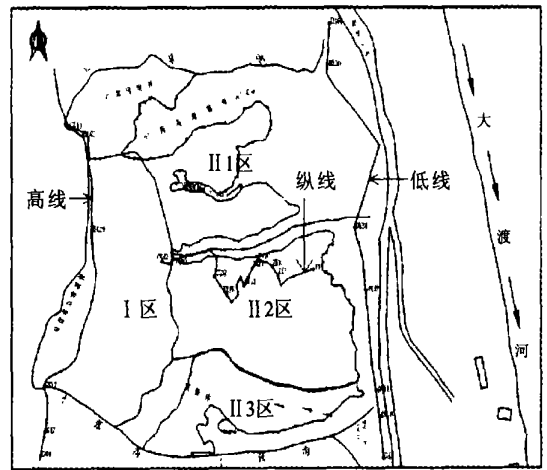


图 1 氡气、甚低频测试布线图

高线便道测线总共布置了 45 个测点,测点之间的距离根据地表面覆盖层及岩层的表观情况选择了 5 m 或 10 m 不等,测线总长大约为 425 m,起点为下游小张沟附近,终点为上游小辜沟附近,总体上呈近北方向,各测点以 GX 命名。纵线测线总共布置了 32 个测点,测点之间的距离根据地表面覆盖层及岩层的表观情况选择了 5 m 或 10 m 不等,测线总长大约为 300 m,起点为平硐 6 上游侧约 15 m 附近,终点为平硐 7

下游侧约 8 m 附近,测线总体上沿该山脊布置(从低到高),各测点以 ZX 命名。

2.3 测试结果分析

根据研究区各测线的氦气值柱状图(图 2—4)分析如下。

(1) 低线公路。总体上各测点氦气值柱状图量值表现出高低起伏,间接反映出变形破裂体内部断裂裂隙的发育程度,其中最高值为 223 艾曼,最低值为 0 艾曼(见图 2)。随着测线长度的增加,在 0~40 m 段,平均氦气值 ≤ 3 艾曼,而 DX10 的桩号为 45 m,位于小张沟下游侧附近,其值为 42 艾曼,由该测点往上游方向至 DX16 测点,测距为 75 m,该段氦气值呈现大幅度增加趋势,其中最高值为 223 艾曼,位于 DX13,测点桩号为 60 m,由 DX16 测点往上游方向氦气值又呈现大幅下降趋势,由此可说明该段裂隙较为发育,而该段位于地质分析确定的变形体下游侧边界——小张沟附近,这为拉裂变形体下游侧边界的划定提供了较为科学的证据。至小辜沟附近,测点的氦气值较下游侧的测点氦气值又呈现出增长趋势,均值 ≥ 10 艾曼,其中 DX56(测距为 470 m)位于小辜沟附近,氦气值为 15 艾曼,由该点继续至上游方向,测点氦气值又呈现下降趋势,说明了断裂裂隙发育程度有所减弱,这为变形体上游侧边界的划定提供了证据。

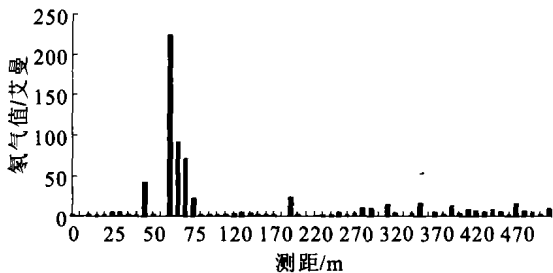


图 2 低线公路测线各测点氦气值柱状图

(2) 高线便道。总体各测点氦气值柱状图量值表现出高低起伏,间接反映出变形破裂体内部断裂裂隙的发育程度,其中最高值为 194 艾曼,最低值为 0 艾曼(见图 3)。在 0—90 m 段(小张沟下游侧),平均氦气值 ≥ 50 艾曼,说明在小张沟下游侧附近裂隙较为发育;但个别测点量值较高,如 GX4,其桩号为 30 m,该点出露基岩,且破碎;随着测线长度的增加,氦气值有逐步减小的趋势。小张沟处(测距为 125 m)的氦气值较小,氦气值基本在 0~1 艾曼间。小张沟往上游方向拉裂变形体内氦气量值逐步增加。通观进入破裂体后的各测点的氦气值,它们仍然维持了一个较高的水平,均值 ≥ 8 艾曼,特别是在 GX27—GX34 段(测距为 255~325 m),该段可见后缘拉裂

缝,因此氦气平均测量值 ≥ 11 艾曼。至小辜沟附近,测点的氦气值较下游侧的测点氦气值又呈现出增长趋势,均值 ≥ 10 艾曼,其中 GX40(测距为 385 m)位于小辜沟附近,氦气值为 12 艾曼,由该点继续至上游方向,测点氦气值又呈现下降趋势,说明了断裂裂隙发育程度有所减弱,这为变形体上游侧边界的划定提供了一个较为充分的证据。

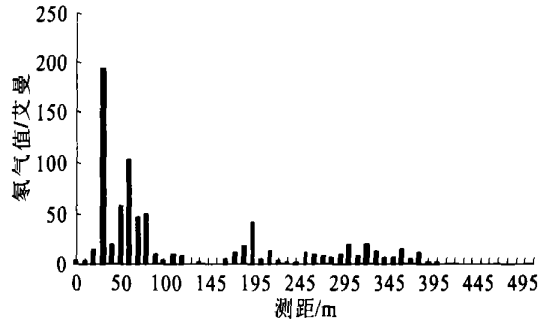


图 3 高线便道测线各测点氦气值柱状图

(3) 纵线。各测点氦气值柱状图量值总体表现出高低起伏,间接反映出变形破裂体内部断裂裂隙的发育程度,其中最高值为 17 艾曼,最低值为 0 艾曼(见图 4)。在测线所经过的山脊段,该段地貌呈陡—缓—陡形态,测线起点和终点都位于陡坡处;由图 4 可较为明显地反映出山脊段变形破裂迹象,总体上断裂裂隙较为发育,因而氦气值也维持了一个较高的水平,而且相邻测点之间的氦气值差值较小,总体上较为平均。ZX9—ZX13(测距为 70~110 m)等测点位于缓坡处,因而氦气值偏小,均值 ≤ 7 艾曼,裂隙不发育,完整性较好;而位于坡形较陡的各测点氦气值却偏大,如 ZX6—ZX8 段(测距为 40~60 m),ZX30—ZX31 段(测距为 280~290 m),氦气值 ≥ 10 艾曼,裂隙稍发育,完整性较差。

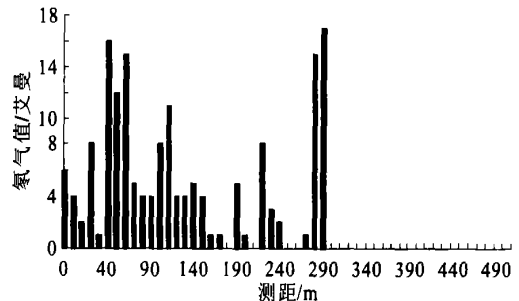


图 4 纵线测线各测点氦气值柱状图

3 甚低频测试

3.1 测试原理及仪器简介

甚低频(VLF)电磁法是用频率为 15~25 kHz 电台发射的电磁波作为场源,在地表、空中或地下探测

场的参数变化,从而获得电性局部差异、地下良导体或地下构造的信息,其实质是利用电磁波(一次场)在传播过程中遇到导体或磁性感应体时,将使其极化而产生二次电流,从而引起感应二次场,二次场与一次场合成后,改变了一次场的振幅、方向和相位,研究和测定这种引起一次场的畸变参数特性,就能反映地下导体或磁性感应体的实际存在。

本次研究中采用加拿大 Geonics 公司生产的 EM-16R 电阻率仪对拉裂变形体进行甚低频测量。

3.2 测线布置

本次研究中的甚低频测试共布置了低线公路、高线便道、纵线等 3 条测线(各测线布置见图 1),测线布置位置与氡气测试相同。

3.3 测试结果分析

根据研究区各测线的甚低频视电阻率 ρ_a 图(图 5—7)可作如下分析:

(1) 低线测线。随着测线长度的增加,在测点 DX5—10,测距为 20~45 m 段,可见覆盖层较薄,偶见出露基岩,完整性较好,与甚低频视电阻率值普遍较低这一结果相吻合。而在小张沟附近,测点为 DX11—16,测距为 50~75 m 这一段上,岩体较为破碎,甚低频视电阻率均值 $\geq 650 \Omega \cdot m$,说明了整体完整性较差,裂隙较为发育,这为确定小张沟为拉裂变形体的下游侧边界提供了较为充分的证据。在小张沟上游侧,即测点 DX17—55,测距为 80~460 m,这一范围内测点的视电阻率值虽有所变化,但总体较小,均值在 $180 \Omega \cdot m$ 左右,这说明整体完整性较好。在小辜沟附近,测点 DX56—60,测距为 470~510 m,甚低频视电阻率变大,说明整体完整性较差,裂隙较发育,从而确定小辜沟为拉裂变形体上游侧边界。

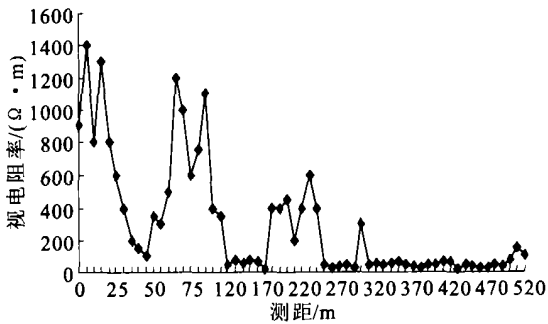


图 5 低线测线各测点甚低频视电阻率图

(2) 高线测线。在测点 GX1—10 之间,特别是在 GX4—10 这一段,即测距 30~90 m 段(小张沟下游侧):视电阻率均值 $\geq 1000 \Omega \cdot m$,岩体完整性较差,裂隙较发育;在测点 GX4 处,桩号为 30 m 处,视电阻率高达 $1500 \Omega \cdot m$,与该点基岩出露破碎这一地

质情况相吻合。随着测线长度的增加,视电阻率有逐步减小的趋势。至小张沟处(测距为 125 m)的视电阻率猛增近 $200 \Omega \cdot m$,视电阻率量值基本在 $700 \sim 760 \Omega \cdot m$ 间。小张沟往上游方向拉裂变形体内视电阻率量值逐步减小,进入破裂体后的各测点的视电阻率量值仍然总体上维持了一个较低的水平,均值约为 $300 \Omega \cdot m$;但是在 GX24—GX34 段,测定的视电阻率均值约为 $400 \Omega \cdot m$,说明整体完整性较差,裂隙发育,而实际情况为后缘拉裂缝处于该段内。而在 GX40 处,即小辜沟附近,视电阻率较该处上下游有所增加,基本在 $450 \sim 500 \Omega \cdot m$ 间,这又为变形体上游侧边界的划定提供了一个较为可靠的证据。

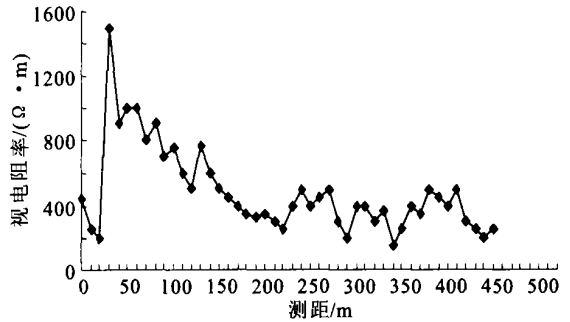


图 6 高线便道测线各测点甚低频视电阻率图

(3) 纵线测线。各测点视电阻率量值总体表现出高低起伏,间接反映出拉裂变形体内部断裂裂隙的发育程度,其中最高值为 $1100 \Omega \cdot m$,最低值为 $10 \Omega \cdot m$ 。在测线所经过的山脊段,该段地貌呈陡—缓—陡形态,测线起点和终点都位于陡坡处;由图 7 可较为明显地反映出山脊段变形破裂迹象,总体上断裂裂隙较为发育,因而视电阻率量值也维持了一个较高的水平。ZX9—ZX13 等测点位于缓坡处,因而视电阻率量值偏大 ($\geq 450 \Omega \cdot m$),整体完整性较好,裂隙不是很发育;而位于坡形较陡的各测点视电阻率量值却较小,如 ZX1—ZX8 段, ZX17—ZX32 段,视电阻率值 $\leq 250 \Omega \cdot m$,整体完整性稍差。

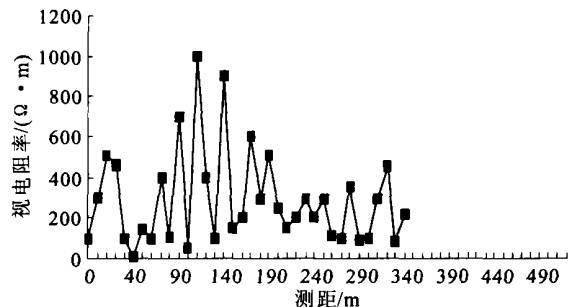


图 7 纵线测线各测点甚低频视电阻率图

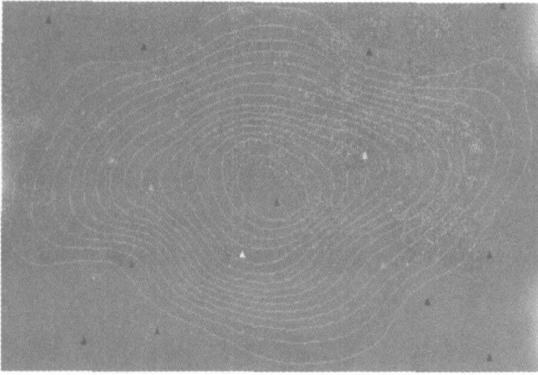


图4 距离内插法绘制的等雨量线

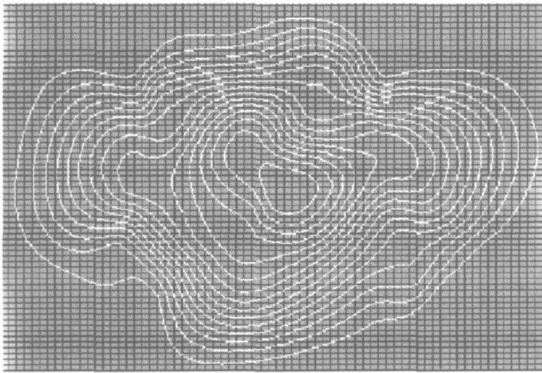


图5 本文方法绘制的等雨量线

[参 考 文 献]

- [1] 叶飞跃,等.等直线线性追踪算法及其在地图重建中的应用[J].计算机仿真,2003,20(6).
- [2] 王锋堂,宫辉力,赵文吉.地下水水位等值线数值的计算方法及其机助制图[J].首都师范大学学报(自然科学版),2004,25(1):85—89.
- [3] 赵冬泉,贾海峰.基于MapX的等直线绘制分析[J].清华大学学报(自然科学版),2002,42(8):1023—1026.
- [4] 谢秋生.降水量等值线自动绘制新方法[J].福州大学学报(自然科学版),2000,28(3):46—49.
- [5] 龚有亮,等.一种实用的等高线内插算法[J].测绘学院学报,2002,19(1).
- [6] 姚鑫,宋伟东.AutoCAD环境数字高程模型的建立和等高线的自动绘制[J].测绘通报,2003,4:29—31.
- [7] 任立良,刘新仁.数字高程模型信息提取与数字水文模型研究进展[J].水科学进展,2000,11(4):463—469.
- [8] HUANG Peizhi, Lai P. C. The detection of significant points and simplification of digital curves[J]. Journal of Geographic Information Science, 2001, 7(2): 131—136.
- [9] Qian J, Ehrlich R W. DNESYS—An Expert system for automatic extraction of draining networks from digital elevation model[J]. IEEE Transaction on Geoscience and remote sensing, 1990, 28(1): 29—45.
- [10] 四校合编.水文学与水资源概论[M].武汉:华中师范大学出版社,1981.

(上接第53页)

4 测试成果综合分析

(1) RaA 氡气测试和甚低频测试在上下游边界上的试验结果与地形地貌情况相互吻合,为确定变形破裂体的上、下游边界提供了较为科学的依据。

(2) 研究区在地貌上呈现陡—缓—陡—缓、沟槽—山脊相间的梳状地貌形态,其中山脊处变形破裂迹象较为强烈,通过现场的 RaA 氡气测试和甚低频测试验证了这一判断。

(3) 高线的测试结果反映,高线坡体的完整性较低线坡体的完整性差。即高线岸坡岩体的变形破裂程度远较低线岸坡岩体的变形破裂程度高。

(4) 如果单一借助于这2种手段并不能判断变形体边界。原因是变形体本身除了边界上变形破裂迹象严重,变形体中部也由于变形或风化剥蚀作用造成表面多处有拉张裂隙,大小不一,发育程度也不尽相同。只有借助现场地质经验分析,初步划定一个边界,然后根据两种测试手段得出的测试值进行相对的量化评判,目的是进一步复核变形体的边界。

变形体边界的确定对于水库蓄水前后对变形体进行支护设计是一个必要条件。在此工程实例中,我们首先是根据现场的地质定性分析,初步确定变形体的边界,然后借助 RaA 氡气和甚低频2种操作简便且便于在野外开展的测试加以验证,最终测试得出的结果与地质定性分析基本吻合。通过这2种测试手段进一步复核变形破裂体的边界、破裂迹象,在定性分析的基础上进行量化评判,值得在工程实践中加以合理的利用。

[参 考 文 献]

- [1] 张俦元,王士天,王兰生.工程地质分析原理[M].北京:地质出版社,1994.
- [2] 史保连.甚低频电磁法[M].北京:地质出版社.
- [3] 张文居,赵其华,沈军辉,等.甚低频电磁法确定覆盖层厚度的原理及应用[J].西北水电,2004.
- [4] 徐向宁,王兰生.叠溪地震区龙池岸坡中埋藏古沟槽的空间分布特征[J].山地学报,2003.
- [5] 许天海.地面甚低频电磁法在工程地质中的应用[J].水电站设计,1994.