

文章编号: 1001—1749(2011)02—0159—06

高密度电法在西岭雪山蓄水池稳定性探测中的应用

谭大龙, 庾先国, 赵思维

(成都理工大学 先达工作室, 四川 成都 610059)

摘要: 通过对待建西岭雪山蓄水池工区进行的浅层勘测, 对工区覆盖层与基岩电性差异和裂隙异常特征研究, 并与钻孔资料进行比对、校正。结果表明, 工区范围内的覆盖层与基岩, 以及裂隙与围岩存在明显电性差异。经过软件反演后的测线视电阻率异常特征和断面, 清晰地反映出地下基岩起伏和裂隙地下延展分布、地下埋深情况, 进而可圈定不良地质体规模, 为待建蓄水池提供了地质依据。

关键词: 高密度电法; 覆盖层厚度; 裂隙

中图分类号: P 631.3⁺22 **文献标识码:** A

0 前言

高密度电阻率法是工程地球物理勘探的主要方法, 作为轻便、快捷、经济有效的工程地质勘探与地下工程质量检测手段, 高密度电阻率法已被国内、外工程界所共识。由于它是一种以研究地下介质的电阻率差异为地球物理基础, 集电剖面 and 电测深为一体, 采用高密度布点, 进行二维地电断面测量的一种电阻率勘查技术。同时加上计算机数据处理与成像技术, 又把大量烦琐的数据计算, 成像处理变得快速准确, 大大提高了探测效率和成功率, 因此该方法与其它物探方法相比, 具有更强的优越性。目前在金属与非金属矿产、地质、构造、水文地质、工程地质灾害、考古、岩溶洞穴景观资源调查等各领域, 该方法都得到了广泛地推广应用, 解决了诸多实际问题, 产生了很大的社会效益及经济效益。

1 高密度电法的工作原理及方法

1.1 工作原理

高密度电阻率法是常规电阻率法的一个变种,

就其原理而言, 与常规电阻率法完全相同, 仍然以岩石、矿石的电性差异为基础, 通过观测和研究人工建立的地下稳定电场的分布规律, 来解决矿产资源、环境和工程地质问题。当人工向地下加载直流电流时, 在地表利用相应仪器观测其电场分布, 通过研究这种人工施加电场的分布规律, 来达到要解决地质问题的目的, 研究在施加电场的作用下, 地层中传导电流的分布规律。在求解其电场分布时, 理论上一般采用解析法, 其电场分布满足式(1)的偏微分方程:

$$\nabla^2 U = \frac{-I}{\sigma} \delta(x_0 - x_1) \delta(y_0 - y_1) \delta(z_0 - z_1) \quad (1)$$

其中 x_0, y_0, z_0 为电场点坐标; x_1, y_1, z_1 为源点坐标。当 $x_0 \neq x_1, y_0 \neq y_1, z_0 \neq z_1$ 时, 即只考虑无源空间时, 式(1)变为拉普拉斯方程: $\nabla^2 U = 0$ 。但是在复杂条件下, 无法求得拉氏方程的解析解, 因此主要是采用各种数值模拟方法。例如: 二维地电模型使用点源二维有限元法, 三维地电模型则使用有限差分法等来解决上述问题。

高密度电阻率法在工作时, 与常规电阻率方法在原理上是一样的。电阻率的求取通过给 AB 极供电 I , 利用 MN 测量电位差 ∇V 而获得。在实际中, 通过式(2)可以求得测点 x 处的视电阻率

值。

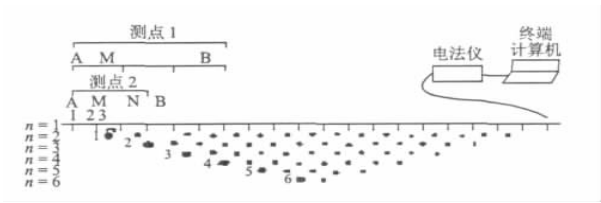
$$\rho_2 = (\nabla V / I) \times K \tag{2}$$

其中 K : 为装置系数, $K = \frac{2\pi}{\frac{1}{AM} - \frac{1}{AN} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{BN}}$

目前的高密度电阻率法,实际上是多种排列的常规电阻率法与资料自动处理相结合的一种综合方法。

1.2 工作方法

高密度观测系统包括数据的采集和资料处理二部份,在现场测量时,只需要将全部电极设置在一定间隔的测点上,观测密度远比常规的电阻率法大,一般从 1 m ~ 10 m。采用多芯电缆连接到程控式多路电极开关上,电极开关是一种由单片机控制的电极自动转换装置,可以根据需要自动进行电极装置形式、极距及测点的转换。其野外采集示意图如图 1 所示。



A、B — 供电电极; M、N — 测量电极; n — 隔离系数

图 1 高密度电阻率法勘探系统示意图

Fig. 1 High-density resistivity prospecting system diagram

温纳 α 装置: 根据电极排列特点是 A、M、N、B(其中 A、B 为供电电极, M、N 为测量电极), $AM = MN = NB$ 为一个电极间距, A、M、N、B 逐点同时向右移动, 得到第一条剖面; 接着 AM、MN、NB 增大一个电极距, A、M、N、B 逐点同时向右移动, 得到另一条剖面。这样不断扫描测量下去, 可以得到倒梯形断面, 数据图形的排列方式为倒梯形 (见图 2)。

高密度原始数据格式经转换后, 首先对数据进行预处理, 包括剔除坏数据, 并对发生严重畸变的

数据采用内插值方法处理; 然后建立地形模型进行地形校正。正演计算时采用三种不同的方法进行正演, 对比三种效果, 选择最优正演结果, 采用圆滑约束最小二乘法反演迭代生成反演图像。

2 工区勘探

2.1 勘察背景

西岭雪山蓄水池位于大邑县西岭镇境内, 距西岭镇 22 km, 距大邑县城约 45 km, 属于龙门山南端。在地貌上属中山区 ~ 高中山区, 地势南西高, 北东低, 起伏较大, 地貌形态主要为高山及陡坡, 山脊和沟谷相间发育, 在地表径流侵蚀作用下, 冲沟快速、强烈下切, 多为 “V” 字型, 海拔高程 1 350 m ~ 1 700 m, 高差约 350.00 m。为了查清工区范围内在 5 · 12 震后围岩构造发育情况, 查明基岩埋深以及断层或裂隙的情况, 作者对该工区开展了高密度电法勘探, 取得了较好的效果, 为工区修建蓄水池提供了指导依据。根据实际勘测, 测得工区范围内各介质电阻率参数范围, 为高密度电法勘测奠定了基础, 具体数据如表 1 所示。

表 1 工区内各介质的电阻率参数表

Tab. 1 The resistivity of the various media in working area

介质名称	电阻率($\Omega \cdot m$)
地下水	$10^{-2} \sim 3 \times 10^3$
淡水	0.1 ~ 100
粘土	$10 \sim 10^3$
致密砂岩	$10 \sim 10^3$
砂岩	$10^2 \sim 10^3$
泥岩	$10 \sim 10^1$

2.2 测线布置

为了查明工区地下地质体的状况, 结合实际情

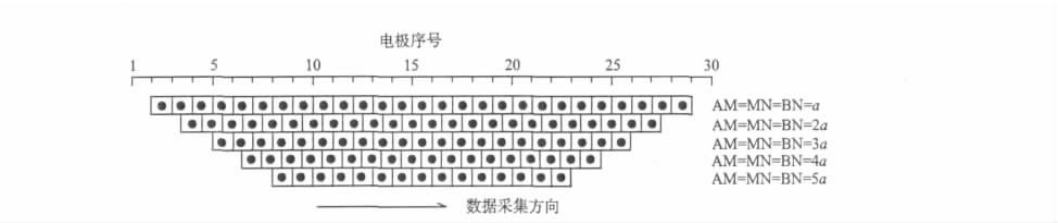


图 2 温纳 α 数据采集图

Fig. 2 WN α data collection chart

况,作者采用了温纳 α 装置,按由南向北的方向平行地布置了四条测线,其中间距为 20m,点距为 2m。对每个装置数据采集多次,并取效果比较好的一次作为最终的结果,保证了数据采集的可靠性。具体测线布置情况如图 3 所示。

2.3 勘察效果及解释

从图 4 中可以清晰地反映出所测断面电性的变化,以及不同岩性的物理特征和它形成的电性分布情况。结合钻孔揭露,可以分析得出岩性电阻率值和覆盖层、基岩地下分布情况:

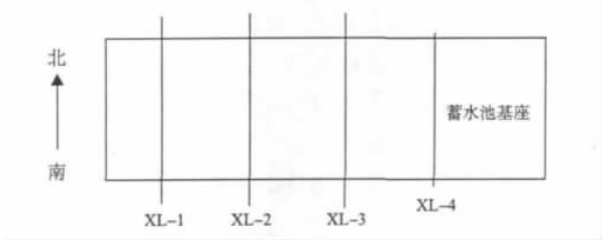


图 3 测线布置示意图
Fig.3 Schematic layout of suvey line

(1) 测线以高视电阻率为背景值,范围在 $40\ \Omega\cdot\text{m}\sim 2\ 000\ \Omega\cdot\text{m}$ 之间;在测线 0 m ~ 50 m,埋深在 3 m ~ 5 m,在测线 70 m ~ 170 m,埋深在 6 m ~ 8 m,视电阻率约为 $60\ \Omega\cdot\text{m}\sim 200\ \Omega\cdot\text{m}$,推测可能为素填土、粘土、碎石土等含水的低阻覆盖层。

(2) 因基岩的含水率较低,反应出高电阻率值

范围在 $200\ \Omega\cdot\text{m}\sim 2\ 000\ \Omega\cdot\text{m}$ 左右。

从图 5 中可以清晰地反映出所测断面电性变化,以及不同岩性的物理特征和它形成的电性分布情况。结合钻孔揭露,可以分析得出岩性电阻率值和覆盖层、基岩地下分布情况:

(1) 测线以高视电阻率为背景值,范围在 $30\ \Omega\cdot\text{m}\sim 2\ 000\ \Omega\cdot\text{m}$ 之间。从图 5 可以看出,覆盖层厚度增加了,且含水量增大,埋深约为 9 m ~ 11 m,视电阻率约为 $30\ \Omega\cdot\text{m}\sim 150\ \Omega\cdot\text{m}$ 。

(2) 在测线 100 m 处,开始出现向下延伸的低阻异常条带,推测其可能因断层或裂隙含水所致,视电阻率在 $50\ \Omega\cdot\text{m}\sim 150\ \Omega\cdot\text{m}$ 。

(3) 埋深在 10 m ~ 20 m 左右,出现视电阻率在 $200\ \Omega\cdot\text{m}\sim 400\ \Omega\cdot\text{m}$ 之间的不连续区域,推测可能为表层的高含水率侵蚀、风化基岩,而形成低视电阻率的表层破碎的基岩。

(4) 因基岩的含水率较低,反应出高电阻率值范围在 $200\ \Omega\cdot\text{m}\sim 2\ 000\ \Omega\cdot\text{m}$ 左右。

从下页图 6 中可以清晰地反映出所测断面电性变化,以及不同岩性的物理特征和它形成的电性分布情况。结合钻孔揭露,可以分析得出岩性电阻率值和覆盖层、基岩地下分布情况:

(1) 成果图背景视电阻率值偏低,范围在 $30\ \Omega\cdot\text{m}\sim 1\ 000\ \Omega\cdot\text{m}$ 左右。从图 6 可以看出,覆盖层厚度进一步增加,埋深约为 8 m ~ 12 m,视电阻率约为 $0\ \Omega\cdot\text{m}\sim 150\ \Omega\cdot\text{m}$ 。

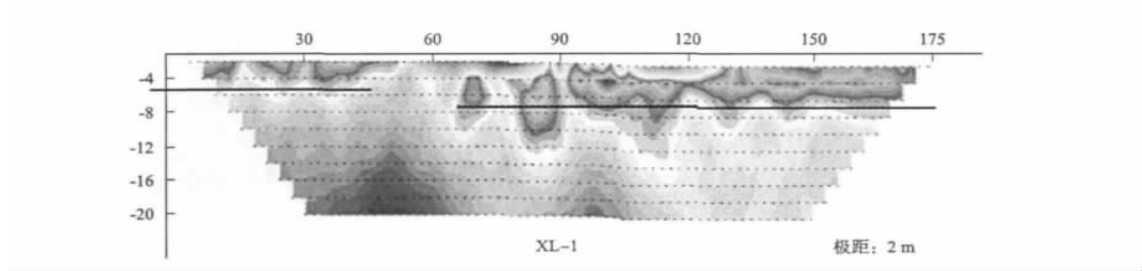


图 4 测线视电阻率成果图
Fig.4 The results of apparent resistivity survey line

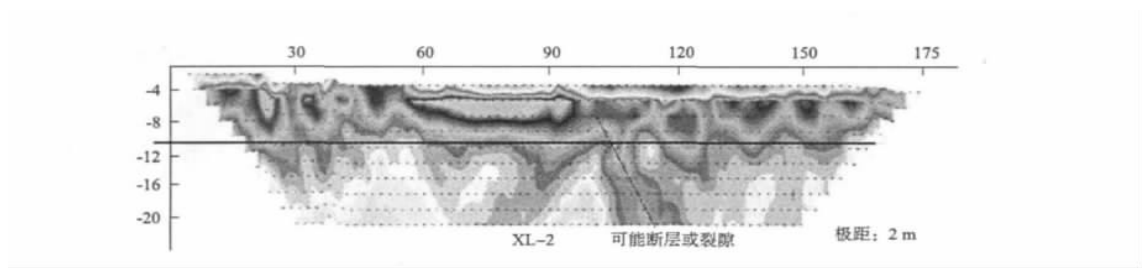


图 5 测线视电阻率成果图
Fig.5 The results of apparent resistivity survey line

(2) 在测线 100 m 处开始出现向下延伸的低阻异常条带,推测其可能为断层或裂隙含水所致,视电阻率在 $50\ \Omega\cdot\text{m}\sim 150\ \Omega\cdot\text{m}$ 。

(3) 埋深在 10 m ~ 20 m 左右,出现视电阻率在 $200\ \Omega\cdot\text{m}\sim 350\ \Omega\cdot\text{m}$ 间的不连续区域,推测可能为表层的高含水率侵蚀、风化基岩,而形成低视电阻率的表层基岩破碎。

(4) 因基岩的含水率较低,反应出高电阻率值范围在 $200\ \Omega\cdot\text{m}\sim 2\ 000\ \Omega\cdot\text{m}$ 左右。

从图 7 中可以清晰地反映出所测断面电性变化,以及不同岩性的物理特征和它形成的电性分布情况,可以分析得出岩性电阻率参数和覆盖层厚度分别为:

(1) 测线以高视电阻率为背景值,范围在 $40\ \Omega\cdot\text{m}\sim 2\ 000\ \Omega\cdot\text{m}$ 左右。

(2) 从图 7 可以看出,包含素填土、粘土、碎石土等含水低阻覆盖层厚度急剧减小,且含水率降低,埋深约为 6 m ~ 8 m,视电阻率约为 $50\ \Omega\cdot\text{m}\sim 150\ \Omega\cdot\text{m}$ 。

(3) 在测线 100 m 处的断层或裂隙已经消失。

3 勘测结果与钻孔资料对比

本次高密度勘探是与钻探同时进行的。因此,得出了该工区各岩性视电阻率的对应范围,根据钻

孔内岩性的深度,对高密度电法剖面岩性分层情况进行了校正,提高了工区高密度电法勘探的精度。在测线 XL-3 上有钻孔 ZK9。根据钻孔柱状图(见下页图 8)可知:覆盖层厚度在 13 m 左右,结果与电法成果图 12 m 推断结果基本吻合。

4 结论与认识

从测线 XL-1 ~ XL-4 来看:

(1) 通过视电阻率剖面图和钻孔资料的综合比对,确定了覆盖层(包含素填土、粘土、碎石土等含水低阻层)的视电阻率值范围在 $0\ \Omega\cdot\text{m}\sim 200\ \Omega\cdot\text{m}$,确定了基岩范围在 $200\ \Omega\cdot\text{m}\sim 2\ 000\ \Omega\cdot\text{m}$ 。覆盖层和基岩在成果图反应的视电阻率范围的差异,是高密度电法能勘察它们的重要基础。通过四条测线覆盖层的划分和综合对比分析可以看出:待建蓄水池位置处的软土覆盖层厚度,是由西向东呈现先增大后减小的凹字形分布。虽然基岩面不平整,但凹字形的地质构造,对待建蓄水池项目来说不存在大的风险。

(2) 通过视电阻率剖面图,发现测线 XL-2 和 XL-3 的划分为基岩层,存在明显不同周围视电阻率值的低视电阻率条带,并有向下延伸的趋势,其宽度范围在 10 m 左右。对完整的基岩来说,由于孔隙率小和含水量低的特点,所以本应呈现高视电

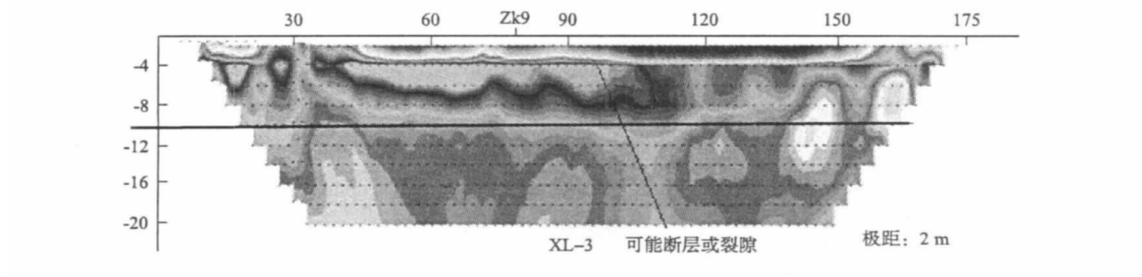


图 6 测线视电阻率成果图

Fig. 6 The results of apparent resistivity survey line

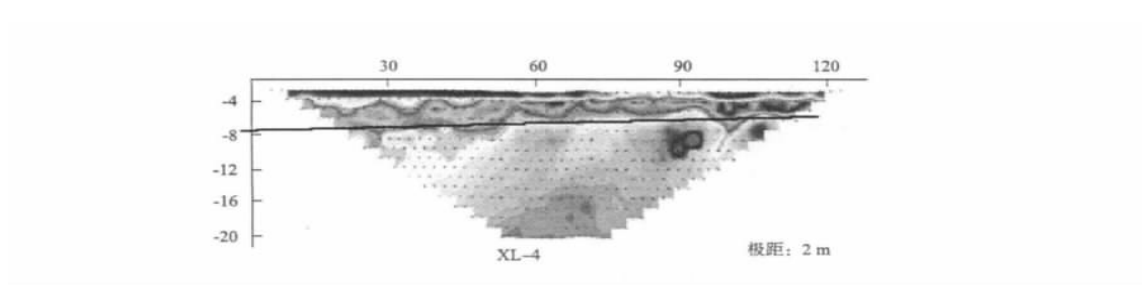


图 7 测线视电阻率成果图

Fig. 7 The results of apparent resistivity survey line

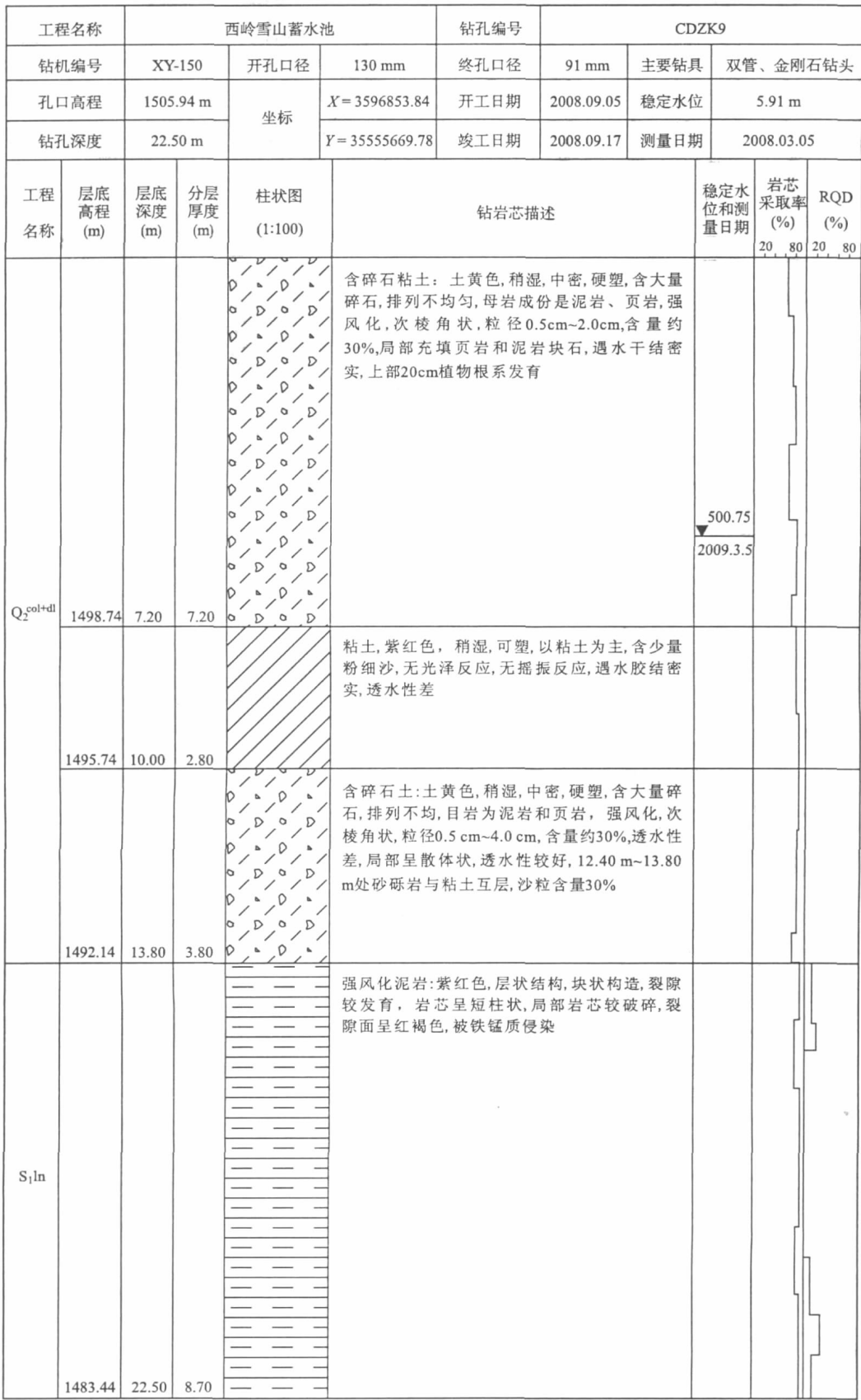


图 8 CDZK9 钻孔柱状图

Fig. 8 Drilling colum

阻率范围内出现了低视电阻率条带,推测其可能为小断层或基岩裂隙含水而形成低视电阻率条带。这种不良地质体使待建的蓄水池存在较大风险,建议在该位置处加钻孔以确认(见图9)。

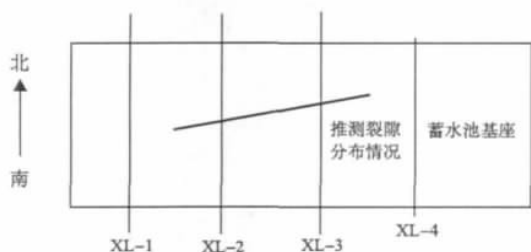


图9 勘测成果图

Fig. 9 Surveying results

通过高密度电法在西岭雪山工区的应用研究,可以得出如下几点认识:

(1) 通过本次勘察,基本查明了剖面段地表下20 m深度范围内覆盖层分布、构造起伏变化。

(2) 通过高密度电法勘探结果,在剖面范围内发现了一条可疑断层或基岩裂隙,查明了其大概位置和走向,下延深度超过20 m,长度为20 m~60 m,方向为东西向。

(3) 高密度电法与其它物探方法一样,当探测目的体与围岩存在一定的物性差异,将会取得满意的勘探效果。如在本次勘探中,覆盖层视电阻率值在 $30 \Omega \cdot m \sim 200 \Omega \cdot m$,基岩视电阻率在 $150 \Omega \cdot m \sim 2000 \Omega \cdot m$,因其范围差异较明显,可以很好地划分覆盖层、基岩范围。

(4) 高密度电法探测所得到的视电阻率断面等值图,能够直观、形象地反映出岩(土)体的电性分布形态及结构特征,不仅反映其垂直深度的变化,而且还能反映其水平范围的变化。所以高密度

电法勘探既具有测深的功能,又具有剖面勘探的功能,应用范围较为广泛。

(5) 高密度电法的定性与定量解释,应该结合地质资料,特别是钻探资料进行综合对比分析,从而不断提高资料解译精度。

参考文献:

- [1] 肖红跃,雷行健,雷宛. 高密度电阻率法延时性勘探在地质灾害监控预警中的应用[J]. 灾害学,2008,23(2):38.
- [2] 黄小年,肖红跃,雷宛,等. 高密度电阻率法在排石场稳定性评价中的应用[J]. 灾害学,2007,22(2):77.
- [3] 廖全涛,王建军,李成乡,等. 高密度电法在滑坡调查中的应用[J]. 资源环境与工程,2006,20(4):430.
- [4] 肖红跃,雷行健,雷宛. 环境物探技术在岩溶勘查中的应用[J]. 灾害学,2007,22(3):58.
- [5] 张胜,韩许恒,李秉强,等. 高密度电法在采空区勘测中的应用[J]. 灾害学,2005,20(4):64.
- [6] 冷元宝,黄建通,张震夏,等. 坝坝隐患探测技术研究进展[J]. 地球物理学进展,2003,9(18):370.
- [7] 阴健康,赵云胜. 高密度电法在地质灾害调查和评价中应用研究[J]. 中国安全生产科学技术,2006,2(4):84.
- [8] 张胜,韩许恒,李秉强,等. 高密度电法在采空区勘测中的应用[J]. 灾害学,2007,22(3):58.
- [9] 谢尚平,熊章强,易清平,等. 浅层地震和高密度电法在滑坡体勘查中的应用[J]. 华东理工学院学报,2004,27(4):361.
- [10] 姜卫方,万明浩,赵永辉,等. 地质雷达在滑坡面调查中的应用及效果分析[J]. 物探与化探,2000,24(3):230.

作者简介:谭大龙(1983-),男,硕士,应用地球物理专业。

si-analytical solution of cube model. Due to the complex model decomposing into some cubes, the study of the cube model can pave way for the quasi-analytical method used in fast forward and inverse modeling of the complex model in the 3D D. C. electric field.

Key words: integration equation; the quasi-analytical method; D. C. electrical field; cube

DISCUSSION ON THE SENSITIVITY OF EACH MODE DISPERSION CURVES RAYLEIGH WAVE WITH THE SHEAR WAVE VELOCITY AND DEPTH OF STRATUM

ZHANG Ming-cai, XIONG Zhang-qiang, ZHANG Da-zhou, et al. (School of Info-physics and Geomatics Engineering, Central South University, Changsha 410083, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2011, 33(2): 153

The exploration of Rayleigh surface wave aimed at effectively using dispersion curves to inverse the shear wave velocity and depth of stratum, but sensitivity of each mode with the shear wave velocity and depth of stratum are different. Frequency-phase velocity difference curve of each mode is obtained by subtracting the dispersion curve from the dispersion curve with one of the media parameter 10% changed. The sensitivity of each mode of Rayleigh wave with the shear wave velocity and depth of stratum of every layer is analyzed and discussed. Experimental results show that fundamental mode is more sensitive to the shear wave velocity and depth of stratum of shallow layer, and sensitive areas mainly concentrate on the narrow frequency range, while higher modes are more sensitive to the shear wave velocity and depth of stratum of deeper layer, and sensitive areas mainly concentrate on the wide frequency range, the distributions of frequency bands with strong sensitivity are scattered. The results can provide a theoretical basis for the multi-mode joint inversion of rayleigh surface waves.

Key words: dispersion curve of rayleigh wave; shear wave velocity; depth of stratum; sensitivity

APPLICATIONS OF STABILITY EXPLORATION WITH HIGH - DENSITY ELECTRICAL METHOD IN THE XILING SNOW MOUNTAIN RESERVOIR

TAN Da-long, TUO Xian-guo, ZHAO Si-wei (College of Information Engineering of Chengdu University of technology, Chengdu 610059, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2011, 33(2): 159

According to the shallow survey on the constructing working area in Snow Mountain reservoir, the study on the covering layer of working area and the electrical differences of bedrock, the abnormal character-

istics of fracture and some comparing and correcting are carried out based on borehole data. The results show that there is obvious electrical differences among the bedrock, overburden rock and cracks and surrounding rock in working area. After the test line inversion of apparent resistivity anomalies and cross-section, a clear reflection of the up and down of bedrock and extension distribution of fracture underground rock and underground depth of the situation are showed, and thus the adverse geological scale can be delineated, and geological condition is provided to reservoir constructions.

Key words: high-density electrical method; cover layer thickness; crack

STUDY ON THE GEOLOGICAL CHARACTERISTICS IN THE PRIMARY MINING AREA OF SHARANG MOLYBDENUM DEPOSIT, TIBET

XU Yuan-ping^{1,2}, HE Zheng-wei¹, LIU Yan-song¹, et al. (1. College of Earth Science, Chengdu University of Technology, Chengdu 610059, China; 2. Hydro - engineering Team of Sichuan Metallurgical & Geologic Exploration Bureau, Chengdu 610501, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION*, 2011, 33(2): 165

Sharang molybdenum deposit is magmatic hydrothermal mineral deposit, the molybdenum orebodies mainly occur as veinlet and netted venation within the plagioclase granite-porphyry fracture zone, and the general strike of the orebody is EW. The industrial type of the ore is primary molybdenum sulfide, the main metallic mineral are molybdenite, pyrite, ilmenite. Molybdenite occur as schistose, granular and powdered in the ore, and the grain size of molybdenite single crystal $\leq 0.1 \text{ mm} \sim 2 \text{ mm}$, the content of molybdenite in the ore is 0.1% ~ 3.35%. Based on the petro-chemistry analysis, the paper indicates that in the collision process and post-orogenic process, the magma hybridization is distinct from crustal matter, and the magmatic differentiation of anatectic magma is widely different. For that reason, the ore-bearing rock bodies in the Sharang deposit have the characteristic which is not only different from typical S-type granites, but also different from typical I-type granites.

Key words: granite-porphyry; primary sulfide deposit; geological character; sharang molybdenum deposit

STUDY OF CORRELATION OF FRACTURE CAUSED BY COAL MINE PRODUCTION AND RADON CONCENTRATION

BAI Qiang¹, FANG Fang¹, LI Xiang² (1. Chengdu University of Technology, Chengdu Sichuan 610059, China; 2. The National Energy Bureau, Beijing 100824, China). *COMPUTING TECHNIQUES FOR*