



中南院青年科技创新与实践

——中国水电顾问集团中南勘测设计研究院
2011青年科技论坛论文集

中南院青年科技论坛组委会 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

中南院青年科技创新与实践

——中国水电顾问集团中南勘测设计研究院
2011青年科技论坛论文集

中南院青年科技论坛组委会 编



中国水利水电出版社
www.waterpub.com.cn

内 容 提 要

本书收录了中国水电顾问集团中南勘测设计研究院（简称中南院）2011年（第二届）青年科技论坛征集的优秀论文共95篇。主要涵盖了工程勘察与检测、监测、水工建筑物，施工技术、规划及经济分析，机电及金属结构，工程造价，网络与信息技术，新能源和环保等几大方向，是中南院青年科技论坛2011年工作的总结。

图书在版编目（C I P）数据

中南院青年科技创新与实践：中国水电顾问集团中南勘测设计研究院2011青年科技论坛论文集 / 中南院青年科技论坛组委会编. — 北京：中国水利水电出版社，2012. 12
ISBN 978-7-5170-0410-3

I. ①中… II. ①中… III. ①水利工程—文集 IV. ①TV-53

中国版本图书馆CIP数据核字(2012)第291802号

书 名	中南院青年科技创新与实践——中国水电顾问集团中南勘测设计研究院 2011 青年科技论坛论文集
作 者	中南院青年科技论坛组委会 编
出版发行	中国水利水电出版社 (北京市海淀区玉渊潭南路 1 号 D 座 100038) 网址: www. waterpub. com. cn E-mail: sales@waterpub. com. cn 电话: (010) 68367658 (发行部)
经 售	北京科水图书销售中心 (零售) 电话: (010) 88383994、63202643、68545874 全国各地新华书店和相关出版物销售网点
排 版	中国水利水电出版社微机排版中心
印 刷	北京市北中印刷厂
规 格	210mm×285mm 16 开本 35.5 印张 1075 千字
版 次	2012 年 12 月第 1 版 2012 年 12 月第 1 次印刷
印 数	0001—1300 册
定 价	128.00 元

凡购买我社图书，如有缺页、倒页、脱页的，本社发行部负责调换

版权所有·侵权必究

组 委 会 名 单

主 任：冯树荣

副主任：罗俊军 伏爱萍

委 员（排名不分先后）：

吴文平	陈 鹏	舒 华	夏瑜斌	许长红
吴 胜	叶 锐	王 翔	陈海生	龚雪燕
张 芳	黄 华	刘惟轶	杨庆妮	鄢军军
段小芳	吴 云	李佳武	费如君	王恭兴
陈 颖	陈如一	王 迎	龙 熊	徐 丹
黄均辉	李伟峰	胡润楚	龚茂全	崔晓斌
李登波				

前 言

本书为中国水电顾问集团中南勘测设计研究院（简称中南院）2011年（第二届）青年科技论坛征集的部分优秀论文编纂而成。

中南院是中国电力建设集团（世界500强企业）的骨干成员企业之一，从事国内外水电水利、风力发电、太阳能利用等新能源全过程技术服务和研究。在业界久负盛名，是全国首批获国家工程勘测设计综合甲级资质的14家企业之一，历年来均入选“全国勘察设计综合实力百强”和中国承包商、工程设计企业“双60强”，2011年入选国家火炬计划重点高新技术企业。

本届论坛由中南院科技信息部、团委共同发起组织，旨在展示广大青年员工在生产、管理等各领域的科技创新成果，进一步增强广大青年员工的科技创新意识，营造青年员工积极参与科技创新的良好氛围，不断提高广大青年员工科技创新水平，加强青年员工科学技术交流，促进广大青年员工快速成才和青年科技队伍建设。论坛活动在中南院领导指导下，通过在全院广泛发动、宣传和动员，在各有关单位的大力支持与重视下，全院青年员工积极参与，共征集到200余篇科技论文，涵盖了工程勘察与检测监测、水工建筑物、施工技术、工程规划及经济分析、机电及金属设备、工程造价、新能源和环保工程、网络与信息技术等各个方面。经过专家评审和组委会讨论，12篇论文获一等奖，39篇论文获二等奖，54篇论文获三等奖，本书收录的论文系其中的95篇。

中南院各级领导和专家对本次活动给予了极大支持，数十位评审专家为论文的评审付出了辛勤汗水，在此一并致谢。

书中不当之处，恳请各位读者批评指正。

中南院青年科技论坛组委会

2012年5月

目 录

前言

第一篇 工程勘察与检测、监测

高密度电法在西部岩溶地区中的应用研究	钟 韬	邓艳平 (3)
基于 3DEC 的地下厂房岩锚梁纵向裂缝成因分析及发展趋势	唐军峰 李佳武 肖 鹏	李学政 (9)
地下洞室群施工过程中的围岩变形特征	唐军峰 李佳武 肖 鹏	李学政 (16)
基于 J2EE 和 ArcGIS Server 的水电工程安全监测信息系统设计	廖 佳 邱山鸣	邹峥嵘 (24)
基于 SRTM 数据的中小比例尺地形图制作	谭立霞 龙 熊 贾丙普	张 芳 (29)
TFDMS 数字测图系统应用分析与探讨		李光明 (37)
梯级水电站短期优化调度算法研究及软件开发	费如君 卢毓伟	周怡先 (41)
推求雨雪混合补给河流 PMF 的探讨	黄启有 华家鹏	吴艳红 (47)
红水河径流变化规律分析	黄佩瑾 晏忠林	王 涛 (52)
可能最大暴雨计算的水汽效率放大改进研究	黄启有 华家鹏	(60)
无损检测技术在中小型水电站质量评估中的应用	左国青 舒志平	周 智 (63)
倒垂孔施工技术与成果整理方法探讨	李永丰 王小平 陈 颖	许 焕 (68)
龙滩水电站地下洞室锚杆应力计超限测值可靠性研究	李守雷 邱山鸣	黄太平 (73)
龙滩水电站安全监测自动化系统的总体设计	郑 斌 邱山鸣	黄太平 (81)
基于抗差最小二乘法的大坝安全监测统计模型		文富勇 (86)
自动采集技术在大坝施工期安全监测中的应用		李跃鹏 (92)

第二篇 水 工 建 筑 物

地下水封油库人工水幕设置参数的数值实验研究		张金龙 (103)
向家坝水电站冲沙孔工作闸门水力特性的三维动态仿真模拟	王立杰 戴晓兵	李延农 (112)
基于 A-K-GN 法的边坡稳定性分析		王恭兴 (117)
长江河口南支太仓段三维水动力及水质数值模拟		顾 莉 (122)
长有压洞糙率不相似模型的修正方法研究	苗宝广 吴沛涛	张蕊萃 (126)
基于改进型证据理论的高拱坝多效应量融合模型	马传彬	何金平 (131)
大广坝水利水电二期戈枕枢纽中、低干渠渠首建筑物布置设计	孙云峰	孟 涛 (139)
折流器对突扩突跌式掺气减蚀的影响研究	王国辉	刘惟轶 (145)
江苏溧阳抽水蓄能电站上水库右坝头坝坡抗滑稳定计算	李国会	李登波 (151)
某地下电站厂房平面有限元稳定分析	孙常玉 于 磊 李智机	刘 敏 (156)
充水保压蜗壳保压值优化分析		聂金育 (160)
锦屏一级水电站左岸边坡稳定性分析		窦 灿 (166)
五岳抽水蓄能电站引水岔洞布置方案研究	龚雪燕	李建平 (174)
海南琼中抽水蓄能电站枢纽布置	童恩飞 李登波	王化龙 (179)
五岳抽水蓄能电站蚀变岩隧洞开挖方式研究	赵 路	李建平 (186)
某水电站贴边岔管有限元复核		李 冲 (192)

金平水电站气垫式调压室气室结构优化设计及计算	谭宜琴	高 宇	(197)
潘口水电站进水口结构体型优化与三维仿真计算	尹 浩 胡 伟	高 宇	(201)
环氧砂浆在酉酬水电站消力池混凝土缺陷修复处理中的应用		卢 腾	(206)
古学水电站引水隧洞结构设计简介		黄 华	(210)
三维可视化协同设计在土建行业的应用及展望		董 勇	(216)
浅谈病险水库大坝的风险分析及预警办法	曹 颖 龙 舟	董 超	(220)
鲤鱼塘水库混凝土面板堆石坝设计	陈西源	陈 耿	(226)
鲤鱼塘水库排沙放空洞交通桥下部结构设计		翟晓斌	(235)
伊朗 Rudbar Lorestan 水电站厂房边坡稳定复核设计	叶 锐	熊启明	(240)
向家坝工程特大型地下厂房洞室群围岩稳定反馈分析及预警系统专题研究概述		李建军	(253)
江坪河水电站坝型比选重力拱坝方案介绍		许长红	(257)
扰动砂砾石层黏土置填与高喷灌浆结合防渗的实践	王俊杰	苏海龙	(261)

第三篇 施 工 技 术

向家坝二期大坝纵缝并缝温控标准及措施研究		杨 虎	(267)
向家坝水电站大坝混凝土温度控制设计		仇成旺	(275)
高碾压混凝土坝温度场反分析	于 猛 宁永升 王庆祥 吴坤占	朱友军	(281)
向家坝水电站升船机施工总进度分析		胡永芳	(287)
清远抽水蓄能电站碎石加工系统工艺设计		夏瑜斌	(294)
对面板堆石坝施工导流设计的几点认识		王 迎	(301)
向家坝升船机工程船箱室段施工组织设计简介	杨 萌	王福初	(306)
桃源水电站砂石加工系统和混凝土生产系统工程设计与建设管理		陈 威	(313)
琼中抽水蓄能电站砂石加工系统工艺流程设计		赵 杰	(318)
托巴水电站砂石加工、混凝土生产系统边坡抗滑稳定计算		熊晓浒	(323)
公路桥梁设计应用三维可视化协同技术的探索与研究	吴 飞	杨笑寒	(330)
围堰流变的有限元分析	王 勇 陆周祺	程继鹏	(335)
新奥法在向家坝水电站骨料输送线 8 号隧洞施工中的应用		王少华	(342)
关于水利水电工程施工给水管道的优化设计的几点思考		韩爱钊	(347)

第四篇 规 划 及 经 济 分 析

金沙江龙盘水库是保障我国水资源安全的战略工程	王 瑞 张丹庆 刘建雄	郭大军	(353)
流域水资源优化配置模型建立与应用		赵 宋	(358)
湖北省 2020 年抽水蓄能电站建设规模与规划布局研究		鄢军军	(365)
风电大规模外送协同运行方式研究	吕朝阳	张丹庆	(371)
低水头日周调节电站运行调度动态控制方法研究	陈金松	张丹庆	(378)
考虑与抽水蓄能、常规能源配合运行的风电消纳方案研究	杨凤英	张丹庆	(383)
沅水干流梯级水电站发电补偿效益偿还机制研究		朱方亮	(389)
琼中抽水蓄能电站电价机制分析与研究	郭大军	王 瑞	(396)
下游梯级效益返还政策对龙头水库地方经济作用分析——基于金沙江龙盘水电站	刘建雄	张丹庆	(401)
五强溪水库防洪调度的建议		陶 亮	(405)
红水河流域梯级水电调度浅析		覃俊杰	(411)
运用系统动力学对产业结构调整仿真研究——以武汉市为例	段小芳	张运帷	(416)

第五篇 机 电 及 金 属 结 构

电气主接线可靠性计算在抽水蓄能电站的运用	吴 胜 鲁中相 王小兵	舒 适	(425)
----------------------------	-------------	-----	-------

越南山萝水电站长距离排水系统水锤解决方案	李 畅	李 力 (434)
一体化建模,多配置装置——全新的金属结构三维可视化设计方法研究	关超年	(438)
向家坝水电站泄洪中孔弧形工作闸门的设计	徐永新	(443)
针对金属结构专业的一些 Solidworks 二次开发技术	胡彩石	徐永新 (447)
浅谈越南山萝水电站项目机电设备成套采购的不足和建议	魏 超	张 雷 (450)

第六篇 工 程 造 价

基于概率分布的大型水电工程造价风险评估	罗福来	(457)
履带式起重机吊装风机成本分析	龙泽宙	(465)
考虑政治与汇率风险的海外水电投资项目估值模型	任小强	(471)
风电场工程总承包的投资控制	张 庆	(477)
综合评价方法在水利水电工程方案比选中的应用	徐维玮	(483)
基于桂阳污水处理设施 BOT 项目的造价管理与控制研究	周 辉	(490)
大型盾构机台时费分析测算	李伟峰	(495)
浅谈水电工程的工程变更	陈 筑	(501)
大型混凝土搅拌楼补充定额研究	郭莹莹	(504)
高边坡处理工程投资控制实践研究	胡甲根	(509)
浅析水电工程资本金投入方式对建设期利息的影响	詹海光	(513)

第七篇 网 络 与 信 息 技 术

基于建立我院 EPC 项目部的 MIS 系统开发功能需求的分析与研究	余理想	(521)
人工神经网络在项目风险分析中的应用	曹园园	(525)
浅析网络安全技术	余 沙	冯望巧 (529)
三维可视化协同在水电站设计中的应用	叶 锐	(533)

第八篇 新 能 源 和 环 保

LED 光源在绥江县城道路照明节能系统中的应用	黄 璐	吴金彪	吴 云	(541)
太阳能光伏发电应用初探			王 亮	(546)
风电工程风机基础大体积混凝土施工与质量控制			舒 华	(551)
水利水电工程城集镇生活污水和垃圾处理设计探讨	楚凯锋	冯云海	张德见	傅 利 (555)

第一篇

工程勘察与检测、监测



高密度电法在西部岩溶地区中的应用研究

钟 韬 邓艳平

(中国水电顾问集团中南勘测设计研究院, 长沙, 410014)

摘 要: 本文介绍了高密度电法的方法原理, 并结合 K 剖面法和高密度电法反演对西部岩溶地区高密度电法资料进行处理。通过对实测电阻率数据反演剖面 and 经 K 剖面法处理后的似真电阻率数据的反演剖面的对比, 说明该方法能很好地压制地形起伏、地下电性不均匀体影响及旁侧效应等所带来的 ρ_s 值畸变、突出异常, 改善高密度电法在西部岩溶地区的探测效果。

关键词: 高密度电法 K 剖面法 异常畸变

近十年来, 高密度电阻率法以其简便、快速、成本低, 且成像快速等特点, 在工程勘察领域得到越来越广泛应用。在岩溶、水文、构造、检测等领域, 高密度电法的应用效果, 已远远超过了理论上的预期。但随着地质条件的不断复杂化, 该方法也存在一定的局限性, 尤其是在西部岩溶地区, 由于地形、地下电性不均匀体及旁侧效应等的影响, 所测的 ρ_s 值与实际值之间存在一定的偏差。针对这类 ρ_s 值的畸变现象, 笔者通过对经 K 剖面法处理后的似真电阻率进行带地形的反演, 实现了对上述畸变现象的压制和消除。

1 适用 K 剖面法的装置

高密度电法是常规电阻率法的一个变种就其原理而言与常规电法完全相同, 仍然以岩、矿石的电性差异为基础, 通过观测和研究人工建立稳定电场的分布规律来解决水文、环境和工程地质问题的一种地球物理勘探方法。高密度电阻率法实际上是一种阵列勘探方法, 其工作原理基于垂向直流电测深、电测剖面和电阻率层析成像。而 K 剖面法是在电测深原理基础上发展出来的针对电测深资料处理的一种方法, 它利用波动方程解中的射线方程与反射系数求解 ζ 函数的正问题, 利用与 ζ 的斜率有关的反射系数等参数, 解决地质问题。其实质是对电测深视电阻率值进行微分计算, 计算公式如下:

$$K = \frac{\lg[\rho_s(n)/\rho_s(n-1)]}{\lg[AO(n)/AO(n-1)]} \quad (1)$$

$$\rho_z = \sqrt{\rho_s(n)\rho_s(n-1)} \times 2^{-K} \times \frac{1+K_{\text{校}}}{1-K_{\text{校}}} \quad (2)$$

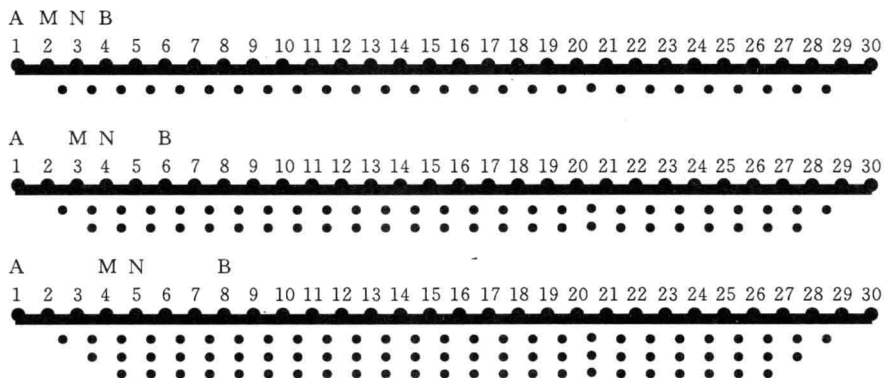
$$K_{\text{校}} = \frac{K(1-K)}{1.05(1-K)+K^2} \quad (3)$$

其中, K 为视反射系数; AO 为供电电极极距的二分之一; ρ_s 为视电阻率值; $K_{\text{校}}$ 为经负值校正的 K 值。

因此, 在高密度电法中仅有两种装置的数据能满足 K 剖面法的处理要求: 施伦贝尔类和温—施伦贝尔类装置。施伦贝尔类装置对地质体在水平方向上的变化反应非常灵敏, 水平分辨率很高; 温—施伦贝尔类装置是 α 和 β 之间的一个调和, 其抗干扰的能力相对较强, 在垂直方向和水平方向都有一定的灵敏度。为了同一条件下能得到更多的采集数据, 本次勘查选用了温—施伦贝尔类装置中的 α_2 装置, 图 1 为测量装置及测量示意图。

2 ρ_s 值畸变成因及一般特征

在实际工作中引起高密度电法 ρ_s 值畸变因素有很多。由于在西部卡斯特地区, 地表起伏较大,


 图1 α_2 装置测量示意图

地下地质构造复杂, 因此对 ρ_s 值影响最大的主要为地形影响、旁侧影响及地下不均匀体影响。

地形影响引起的 ρ_s 值畸变特征为: ρ_s 值畸变主要发生在角域点附近; 在山脊顶点处, 曲线阻值偏小, 两侧山脚处曲线值偏大; 对称四极装置剖面在山脊顶点部有极小值, 而在两侧山脚处则对应极大值; 对于山谷地形, 谷底曲线阻值偏大, 山谷两侧曲线值偏小。

旁侧影响引起的 ρ_s 值畸变特征为: 当所测目标体旁侧有严重电性差异的岩层、断裂破碎带及溶洞、铁管、池塘、河沟、建筑物等会使视电阻率曲线发生畸变。假设测点在介质 ρ_1 中, 且供电电极极距的二分之一远远小于电极与界面的距离, 则界面影响很小。随着电极距的增大, 旁侧物体电阻率 ρ_2 的影响也增大。如果 $\rho_2 > \rho_1$, 则 ρ_2 排斥电流而使 ρ_1 上升; 如果 $\rho_2 < \rho_1$, 则由于 ρ_2 吸引电流而使 ρ_1 下降。这种影响从供电电极极距的二分之一接近于电极与界面的距离时开始, 而在供电电极极距的二分之一大于 10 倍电极与界面的距离时, ρ_s 逐渐趋于其渐近值 $2\rho_1\rho_2/(\rho_1+\rho_2)$ 。

地下不均匀体引起的 ρ_s 值畸变特征为: 当 MN 经过不均匀体时, 浅部不均匀体的正下方存在一明显的高阻或低阻畸变条带; 当供电电极 A 或者 B 经过不均匀体时, 不均匀体附近存在一与之相交的 45° 畸变条带。

3 数值模拟

3.1 断层模型

地电模型分为左右两层, 以测线中心为分界线, 左边电阻率为 $300\Omega \cdot m$, 右边电阻率值为 $3000\Omega \cdot m$, 模拟地下一断层构造, 如图 2 所示。

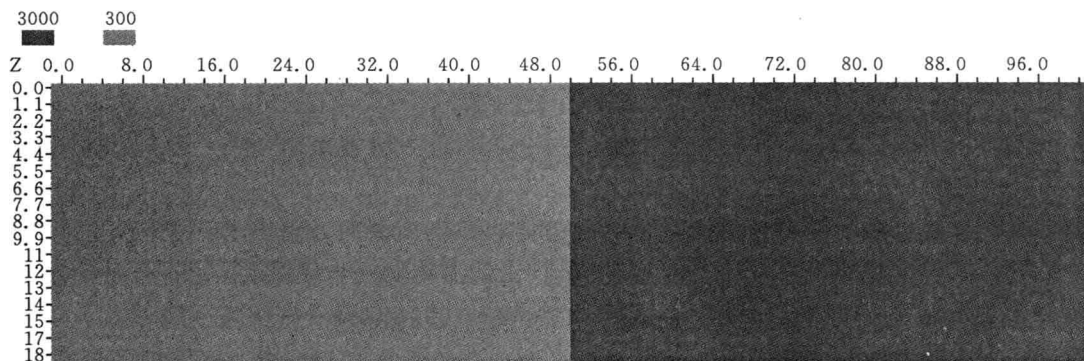


图2 断层模型

图 3 为断层视电阻率反演剖面图。从图上可以看到, 该图反映了地电模型的基本特征, 形成了电阻率值左低右高的形态, 但其对不同地电体之间的界限反映不明显, 只能大概反映出断层的

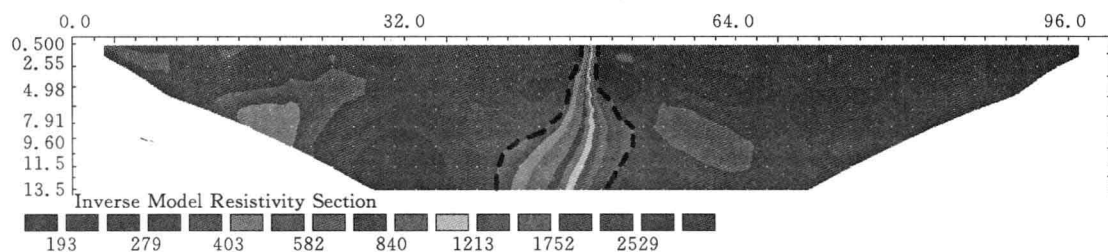


图3 断层视电阻率反演剖面图 (单位: m)

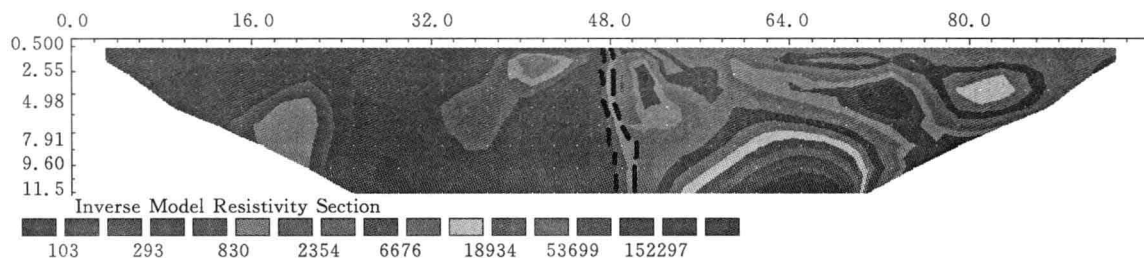


图4 断层 K 剖面法处理后反演剖面图 (单位: m)

位置。

图4为经K剖面法处理后的反演剖面图。从图上可以看出,整个剖面电阻率值也呈现左低右高的形态,但其旁侧地层的相互影响得到了很好的压制,断层接触带反应明显。其在对不同地电体界限的反应能力上较直接进行视电阻率反演有了很大的改善。

3.2 地下不均匀体模型

地电模型背景电阻率值为 $500\Omega \cdot m$, 其中有两个异常区域,一个高阻异常区为 $1000\Omega \cdot m$, 一个低阻异常区为 $200\Omega \cdot m$ 。模拟地下一均匀地质构造中一定深度有一岩溶空洞,浅部有一低阻干扰体,如图5所示。

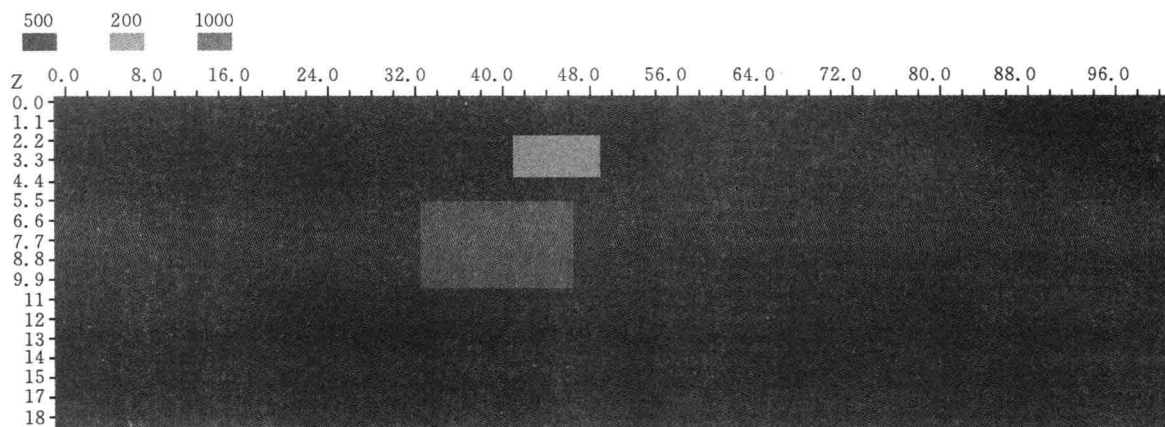


图5 地下不均匀体模型

图6、图7可以看出,二者均能反映地电模型的基本特征,但图6中溶洞电阻率受浅层低阻体干扰产生畸变,使溶洞顶部向左边偏移,导致溶洞形状发生改变。图7经过K剖面法处理后,畸变得到了很好的压制,使地电结构和异常特征的分布形态得到了很好的反映。

4 工程实例

某风力发电站位于西部灰岩地区,其表层为第四系残坡积层所覆盖,土类型为砾质黏土夹碎石。

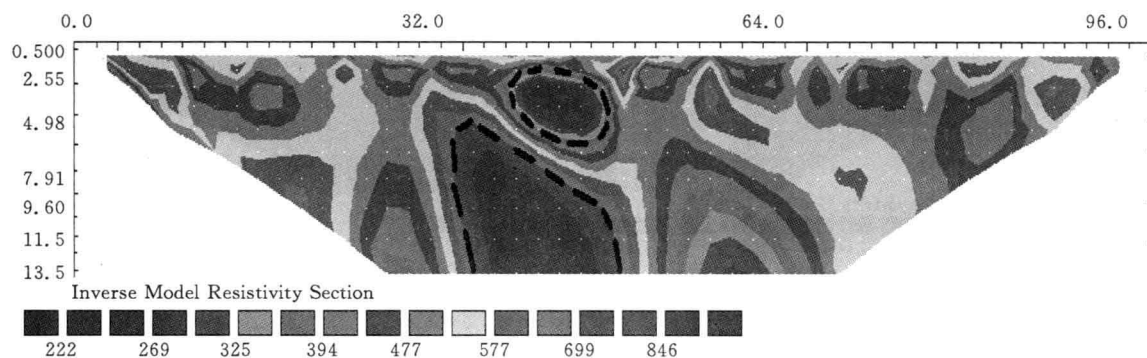


图 6 地下不均匀体视电阻率反演剖面图 (单位: m)

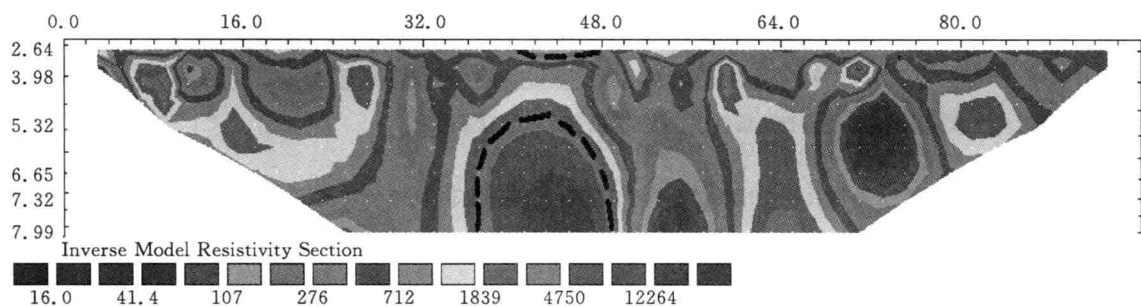


图 7 地下不均匀体 K 剖面法处理后反演剖面图 (单位: m)

本次勘探主要任务是为探明地下是否存在溶洞和断层等不良地质现象。

图 8 为升压站某测线剖面反演图, 该测线地形起伏不大。从图中可以看出剖面在 36~48m 之间存在一低阻异常, 该异常从地表向下等宽延伸, 且向一定方向倾斜, 两侧电阻率值也发生了变化——均为高阻地质体, 为岩性界线的电性反映, 从其形态上可以推测为溶洞或一低阻断层。在图 9 中, K 剖面反演图也反映了该处异常, 但其较图 8 中异常发生了明显的变化, 该异常开口处较小, 向下逐渐变大, 形态呈倒漏斗状, 推测该处为溶洞。经开挖验证该处为一充填型溶洞。通过对数据的 K 剖面法处理, 反演剖面对地质体的分辨能力得到了一定程度的改善。

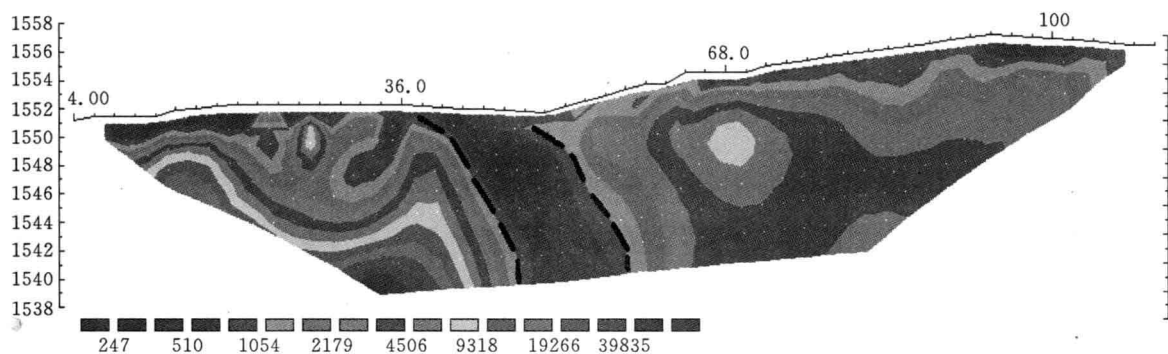


图 8 升压站某测线视电阻率反演剖面图

图 10 为某风机位测线剖面反演图, 该测线地形起伏较大。从图中可以看出电阻率值呈左低右高, 上高下低的形态分布, 异常结构不明显。经 K 剖面法处理后的剖面在地层形态上较视电阻率反演剖面有了一定的变化, 呈现左低又高形态分布, 且右边高阻部分中部出现一低阻异常, 高低阻突出显现, 异常结构清晰、明确。结合地质资料及原始视电阻率资料, 认为经过 K 剖面法畸变值处理的图 11 更能反映该风机位下地质构造及异常特征分布, 推测左边低阻部分为第四系覆盖层, 右边高阻

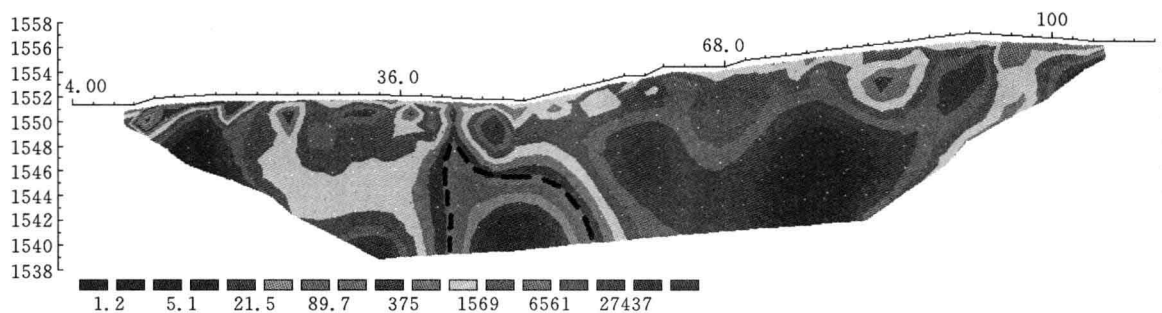


图9 升压站某测线 K 剖面法处理后反演剖面图

部分为灰岩，低阻为一充填型溶洞。

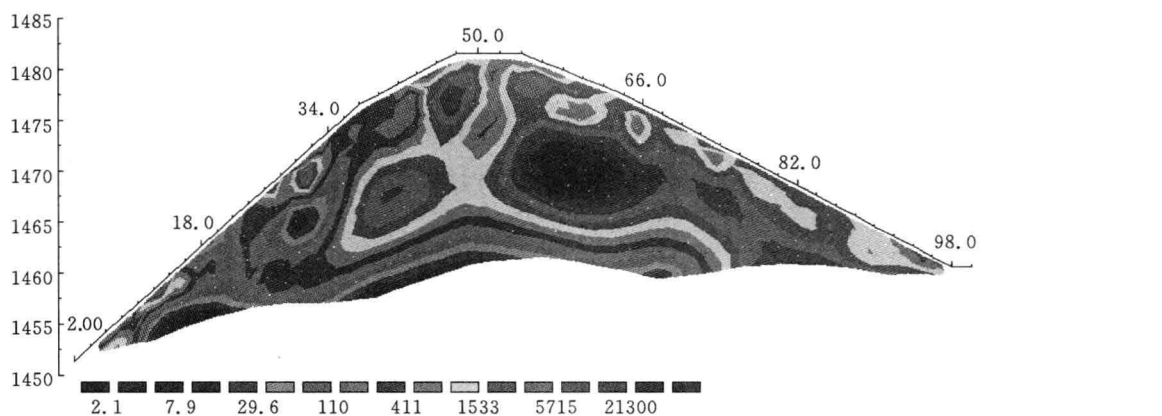


图10 某风机位测线视电阻率反演剖面图

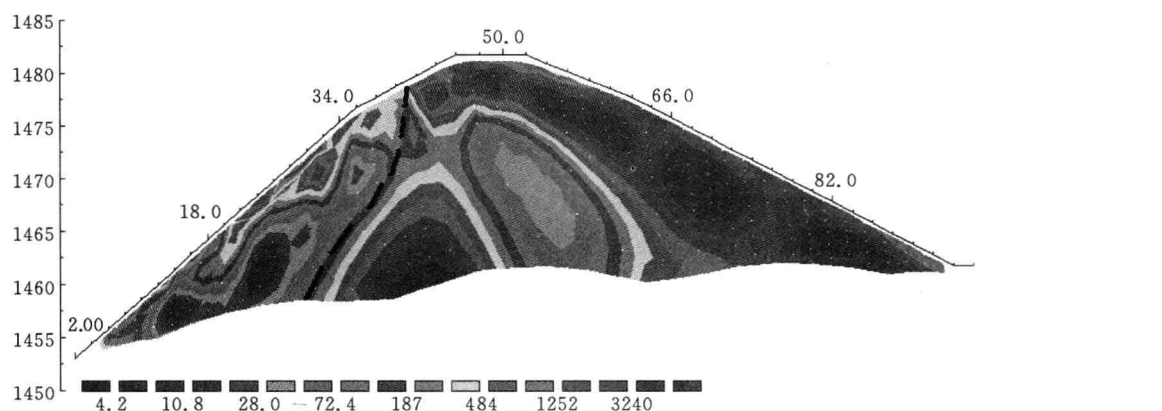


图11 某风机位测线 K 剖面法处理后反演剖面图

5 结论

通过对地电模型的数值模拟和该方法在实际勘查中的应用研究，得出以下几点认识：

- (1) 高密度电法是一种阵列勘探，它具有自动化高、工作效率高、异常形象直观等特点。
- (2) 通 K 剖面提供的似真电阻率值，能在一定程度提高反演精度。
- (3) K 剖面法是视电上阻率比值法在对称四极装置中的具体运用，其同样具备比值法的三大作用：压抑局部干扰、分辨邻近良导体并确定其位置、压抑地下不均匀体的影响。
- (4) K 剖面法中由视电阻率值向似真电阻率的转换过程中，也存在累计误差，当存在人为或自然

干扰因素影响时,经变换得到的解释结果真假难辨,容易造成错误的解释。

因此,在高密度电法中合理的运用 K 剖面法对高密度电法数据进行处理,能在一定程度上减少异常的多解性,压制干扰、提高分辨率和解释精度。

参 考 文 献

- [1] 傅良魁. 电法勘探教程 [M]. 北京: 地质出版社, 1985.
- [2] 李银真. 高密度电阻率法物探技术及其应用研究 [D]. 辽宁工程技术大学, 2006, 11.
- [3] 张宏. K 剖面法应用初探 [J]. 长沙交通学院学报, 1996, 12 (2).
- [4] 夏建平. K 剖面法的实质及方法理论问题的探讨 [J]. 中国煤田地质, 1991, 4 (4).
- [5] 胡勘, 赵贵民. 高密度电法 ρ_s 畸变成因浅析及畸变处理方法探讨 [J]. 贵州地质, 2002, 19 (4).
- [6] 敬荣中, 林剑, 肖志强. K 剖面法在岩溶勘查中的应用 [J]. 地质与勘探, 2002, 38 (2).
- [7] 王广仓, 董延朋. 高密度电阻率法数据的地形改正 [J]. 地质装备, 2008, 9 (3).

The Applied Research in the Western Karst Region by High Density Resistivity Method

Zhong Tao Deng Yanping

(Hydro-China Zhongnan Engineering Corporation, Changsha, 410014)

Abstract: The paper introduces the principle of high density resistivity method, then combines with the K-profile method and inverse method of the high density resistivity method to do data processing. By contrast of the inverse section of the measured apparent resistivity data and the plausible resistivity data, it illustrates that the method could suppress ρ_s distortion caused by terrain undulation inhomogeneous geoelectrical structure, lateral effect and so on, could emphasize abnormality and improve the applied effect of the high density resistivity method in the western region.

Key words: high density resistivity method; K-profile; abnormality distortion

第一作者简介: 钟韬 (1982—), 男, 四川富顺人, 工程师, 主要从事应用地球物理工作。

邮箱: 305801328@qq.com

基于 3DEC 的地下厂房岩锚梁纵向 裂缝成因分析及发展趋势

唐军峰 李佳武 肖 鹏 李学政

(中国水电顾问集团中南勘测设计研究院, 长沙, 410014)

摘 要: 地下厂房第六层开挖结束后, 岩锚梁混凝土上表面出现纵向裂缝, 测缝计监测结果显示岩锚梁裂缝部位两处的下部开合度数据大于上部值, 不符合一般规律。基于 3DEC 的数值计算结果表明, 夹层 JC2—2 及下部小夹层形成的锥形块体随地下厂房的开挖有向外“挤出”的趋势, 当变形体位于岩锚梁下部时, 即形成下部的开合度值大于上部的开合度值这样一种看似不合理的现象, 且 CZ0+87 断面开度值大于 CZ0+127 断面的, 计算结论与监测结果吻合良好。最后, 预测不同部位的岩锚梁现有裂缝发展趋势及可能出现裂缝的部位, 并给出几点支护处理建议。

关键词: 地下厂房 岩锚梁 纵向裂缝 3DEC

1 三维离散元方法及 3DEC

离散元法首先由 Cundall (1971)^[1] 提出, 是专门用于解决不连续介质问题的数值方法, 并广泛应用于分析地下结构的开挖稳定性研究 (Cundall, 1990; Hao, 2003)。该方法把节理岩体看成是由离散的岩块和岩块间的不连续面所组成。岩块可以移动、转动和变形, 块体间的不连续面可以被压缩、分离或相互滑动^[2]。

离散元法将所研究的区域划分为若干个分立的块体单元, 早期的程序把块体处理为刚性体, 随着程序的改进, 目前程序可以把块体处理为可变形体; 可以是二维平面单元 (UDEC), 也可以是三维立体单元 (3DEC)。块体之间的接触可以是角—角接触, 角—边接触或边—边接触, 开始时, 单元与单元之间具有一定的初始接触状态, 随着计算的进行, 各个单元之间的接触关系不断得到调整。最终, 块体单元可能达到平衡状态, 也可能一直运动下去。因此, 离散元法适用于研究节理系统或块体集合在准静力或动力条件下的运动问题。由于离散单元法允许单元发生大的平移和转动, 因而能够分析岩体大变形问题^[3-4]。

3DEC 程序采用基于非连续介质力学理论的离散元方法求解, 是目前解决岩土工程中不连续问题的最成熟的软件产品之一, 论文基于 3DEC, 研究了水电站地下厂房施工过程中, 上部岩锚梁出现的纵向裂缝成因和发展趋势, 并对后续的岩锚梁支护加固和地下厂房开挖方案提出了合理建议。

2 地下厂房岩锚梁裂缝情况与地质条件简介

岩锚悬臂吊车梁 (以下简称岩锚梁) 是水电站地下厂房的一种特殊结构形式, 在地下厂房的开挖及后期的运行过程中, 混凝土面常出现垂直于梁体长度方向的横向裂缝^[5-8], 而平行于梁体方向的纵向裂缝则相对较少。针对某地下厂房开挖施工过程中出现岩锚梁纵向裂缝这一情况, 研究其形成机制。

2.1 地下厂房岩锚梁裂缝情况

某地下厂房岩锚梁截面尺寸 2.0m×3.0m, 顶部宽度 2.0m。地下厂房共分Ⅹ层开挖, 岩锚梁层位于第Ⅲ层, 其混凝土于 2008 年 3 月底施工结束, 9 月初, 当地下厂房开挖至第Ⅵ层时, 下游侧岩锚梁混凝土上表面和附近岩壁喷混凝土面局部均发现裂缝。其中, 岩锚梁混凝土上表面纵向裂缝主要有 2 处, 位于桩号 CZ0+85.9~95.3 和 CZ0+126.8~131.5, 裂缝连续性较好, 最长约 70cm (如图