

文章编号:1674-2869(2015)10-0011-05

高密度电阻率法在矿山岩溶探测中的应用

田昌贵,元宙昊

武汉工程大学资源与土木工程学院,湖北 武汉 430074

摘 要:铜录山矿是一座典型的砂卡岩型多金属岩溶矿山,采用露天与地下联合开采,地下水受岩溶与接触带复合控制.洪水期,临近的小清河河床岩溶反复塌陷、河水沿地下岩溶涌入矿山,长期困扰着井下开采的生产安全.为了彻底消除矿山水患,在河床两岸及露天坑边坡布设了 3 条高密度电阻率法探测剖面,通过计算机将数据经相应畸变点剔除、地形校正、数据平滑等预处理后,最后经过二维反演、处理绘制成视电阻率等值线剖面图,再通过岩、土层电性对比分析出小清河流域岩溶发育特征及地下水主径流通道,同时根据探测成果对河床底部的岩溶进行注浆充填,封堵了河床塌陷区与矿坑之间的主径流通道,达到了较好的堵水效果.

关键词:高密度电阻率法;河床;岩溶;探测

中图分类号:TD167

文献标识码:A

doi:10.3969/j.issn.1674-2869.2015.10.003

0 引 言

青山河位于湖北省大冶市铜录山矿区西侧,该河中下游段与该矿南露天坑的距离约 500 m,河床流域内的岩溶发育带与矿区相连.矿山的长期疏干排水导致青山河流域岩溶塌陷,洪水期河水倒灌流入矿坑.矿山曾多次采用堤坝加固、回填封堵塌陷区等方法治理,但收效甚微.地下水长期对河床底部冲刷和掏蚀,导致每逢汛期河床便再次复活塌陷,河水和大冶湖水通过复活的塌陷、岩溶裂隙流入矿坑,严重威胁矿山安全生产.为了彻底解决矿山水患问题,采用高密度电阻率法探测了解河床底部的岩溶发育特征及矿区的地下水主径流通道,并根据探测成果对河床底部岩溶进行了注浆加固试验,有效地封堵了小清河河水及矿区地下水流入矿坑的主径流通道,消除了河床岩溶塌陷复活、洪水倒灌对矿山安全生产的威胁.

1 高密度电阻率法的基本原理及特征

1.1 高密度电阻率法的基本原理

20 世纪 70 年代末期英国学者 Johansson 提出了高密度电阻率法的最初模式(电测深偏置系统)^[1],80 年代中期日本地质计测株式会社借助电

极转换板转换电极排列方式实现了野外高密度电阻率法的数据采集,80 年代后期我国原地质矿产部开始了高密度电阻率法及其应用技术研究^[2].高密度电阻率法的基本原理与常规直流电阻率法相同,以探测目标体与周围物质导电性差异为基础,在人工电流场的作用下,通过观察和分析视电阻率的变化规律来分析地质问题^[3].高密度电阻率法可以在探测断面上同时布置多个电极,通过电极转换装置控制电极的不同排列组合(如 α 、 β 、偶极、施伦贝谢和温纳-施伦贝谢等^[4])可以同时完成测剖面和测深工作,可以提供更加丰富的地断面信息,有利于分析和比较,见图 1,其中 a 为极间距.

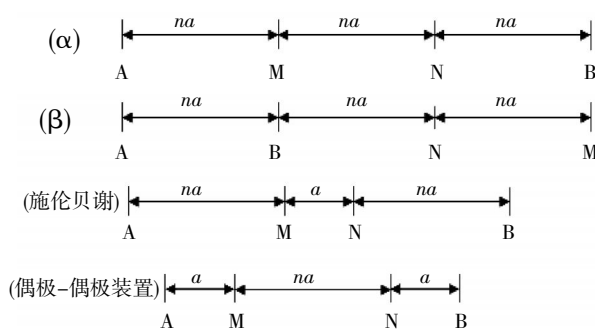


图 1 高密度电阻率法电极排列示意图

Fig.1 Common arrays used for high density resistivity method

收稿日期:2015-08-28

基金项目:武汉工程大学研究生创新基金(CX2014055)

作者简介:田昌贵(1963-),男,湖北松滋人,教授级高级工程师,硕士研究生导师.研究方向:防灾减灾工程、矿山地质环境治理恢复与地质灾害评估.

1.2 高密度电阻率法的特点

高密度电阻率法具有测点密度高, 获取信息量大, 对探测对象无损伤, 成果精确、工作效率高等特点^[5]. 与常规电阻率法相比具有如下优点: ①电极布设一次性完成, 有助于减少因电极设置引起的干扰和故障, 减小测量误差; ②通过转换电极排列方式可获得丰富的地电断面信息; ③采用自动化的数据采集方式, 不仅可以提高数据采集效率, 还可以减小人工操作造成的误差; ④可以对资料进行预处理并显示剖面曲线形态.

2 测区概况

本次高密度电法探测剖面布设在铜录山青山河两岸和露采坑西南侧半坡路面. 青山河河床及其两侧为第四系冲积亚粘土, 细一中砂、砂砾石岩层. 结构松散, 稳定性较差. 其下为三叠系碳酸岩地层, 岩溶发育, 富水性强. 近地表浅部发育有溶洞、

开口型的洞穴及溶沟. 矿床开采过程中不断疏排地下水, 引起区域地下水位下降, 溶洞、洞穴上部第四系土层失去了地下水的“浮托力”, 同时在地下水潜蚀、掏空、搬运第四系土层及溶洞、洞穴充填物的作用下, 自然条件下的相对平衡遭到了破坏, 导致河床出现下沉、开裂、塌陷现象. 为了解矿区地下水流入矿坑的主径流通道, 采用了高密度电阻率法探测矿区地下岩溶分布特征及规律.

3 工作方法与技术

本次外业资料采集采用 WGMD-9 超级高密度电阻率法系统, 该系统具有抗干扰性强、自动实现自然电位及电极极化补偿、可随时检查接地电阻等优点. 经现场初步试验后, 决定在青山河岸 I、II 号剖面采用温纳装置, 露采坑南侧 III 号剖面综合采用温纳装置、斯伦贝谢装置. 测线参数如表 1 所示, I、II、III 剖面位置如图 2、3 所示.

表 1 测线参数表

Table 1 Survey line parameters

| 测线编号 | 测点编号 | 电极数 | 电极间距/m | 剖面长度/m | 观测层数 | 数据点数 | 剖面位置 |
|------|-------|-----|--------|--------|------|------|-----------|
| I | 0-245 | 50 | 5 | 245 | 16 | 392 | 青山河东岸 |
| II | 0-245 | 50 | 5 | 245 | 16 | 392 | 青山河西岸 |
| III | 0-590 | 60 | 10 | 590 | 19 | 570 | 露采坑南侧半坡路面 |

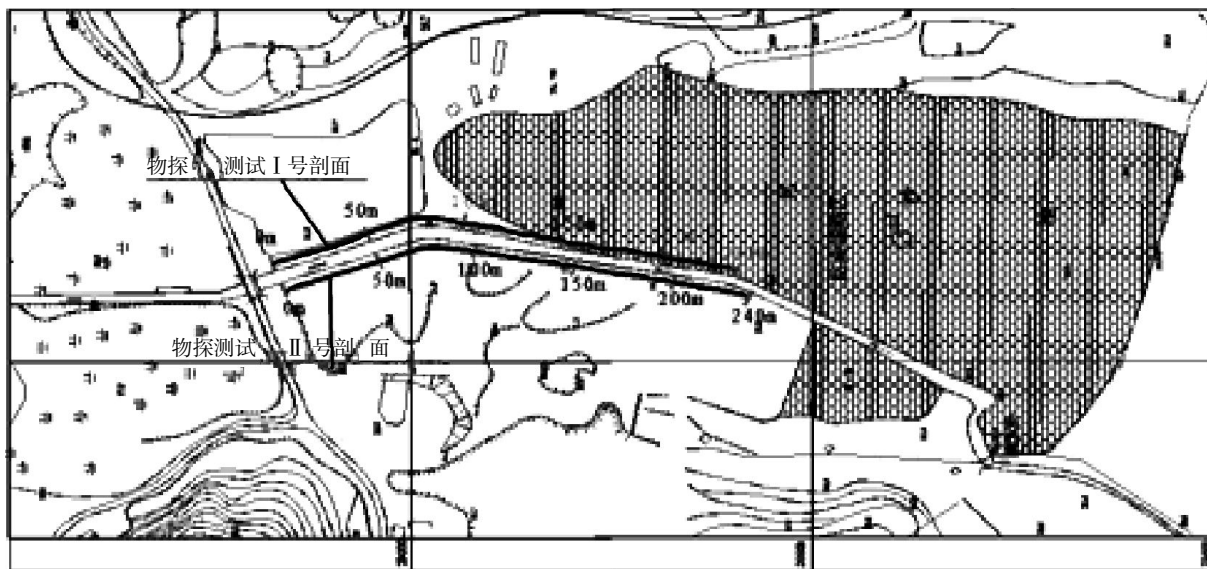


图 2 物探测试 I、II 号剖面位置图

Fig.2 Position of profile 1 and 2 by geophysical test

4 测试成果解释

外业采集的数据经过圆滑处理后, 输入计算机进行二维、三维反演后获得地电断面信息, 数据圆滑处理一般采用坏点剔除和滑动平均等方法^[6].

二维反演计算采用基于准牛顿最优化非线性最小二乘新算法, 其计算速度可以达到常规最小二乘法的 10 倍以上. 反演结果主要通过均方误差(RMS)来衡量^[7], RMS 越大, 反演结果的可靠度越低. 通过多次迭代可以减小均方误差, 为保证反演结果的

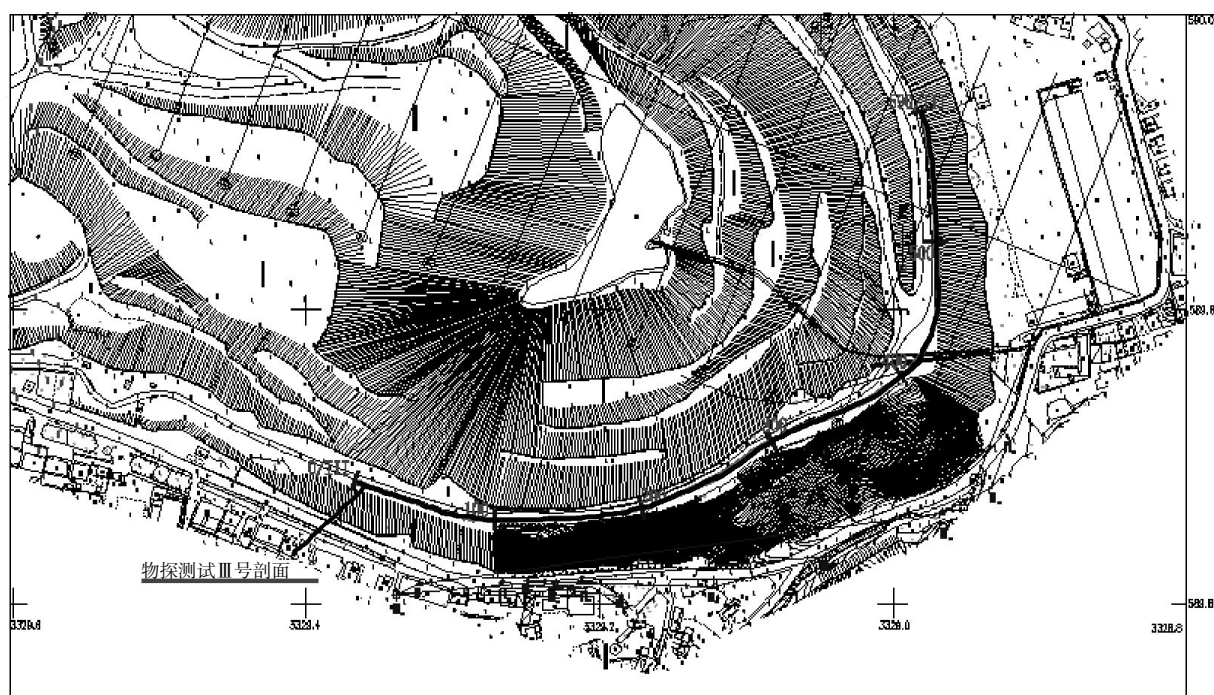


图 3 物探测试Ⅲ号剖面位置图

Fig.3 Position of profile 3 by geophysical test

可靠度,本次探测成果采用五次迭代反演。

4.1 青山河东岸 I 号剖面

I 号剖面位于青山河东岸,外业采集的两条温纳装置数据剖面反演成果一致性良好,实测数据可以客观反映测区的地电条件,数据成果可靠。

高、低阻区在断面上有清楚的反映,在断面上存在 1#、2# 两个低阻异常体(见图 4),根据地质资料综合推测两处为强岩溶发育地段。1# 异常体平面位置位于测点号 53~96 m 处,上顶埋深约 7 m,下底埋深约 25 m,呈漏斗状,推断为强岩溶发育区。2# 异常体平面位置位于测点号 115~150 m 处,与现场塌方处一致,异常上顶埋深 28 m,由于探测深度的原因,异常下部没有闭合,下底埋深大于 40 m,

推断为强岩溶发育区。

4.2 青山河岸 II 号剖面

II 号剖面位于青山河西岸,平面位置与 I 号剖面隔河对称,外业采集的两条温纳装置数据剖面反演成果一致性良好,实测数据可以客观反映测区的地电条件,数据成果可靠。

高、低阻区在断面上有清楚的反映,在断面上存在 3#、4# 两个物探异常体(见图 5),根据相关地质资料综合分析推断这两处为岩溶发育地带。3# 异常体平面位置位于测点号 53~98 m 处,上顶埋深约 9 m,下底埋深约 22 m,推断为强岩溶发育区。4# 异常体平面位置位于测点 130~172 m 处,与现场塌方处一致,异常上顶埋深 5 m,下底埋深 17 m,

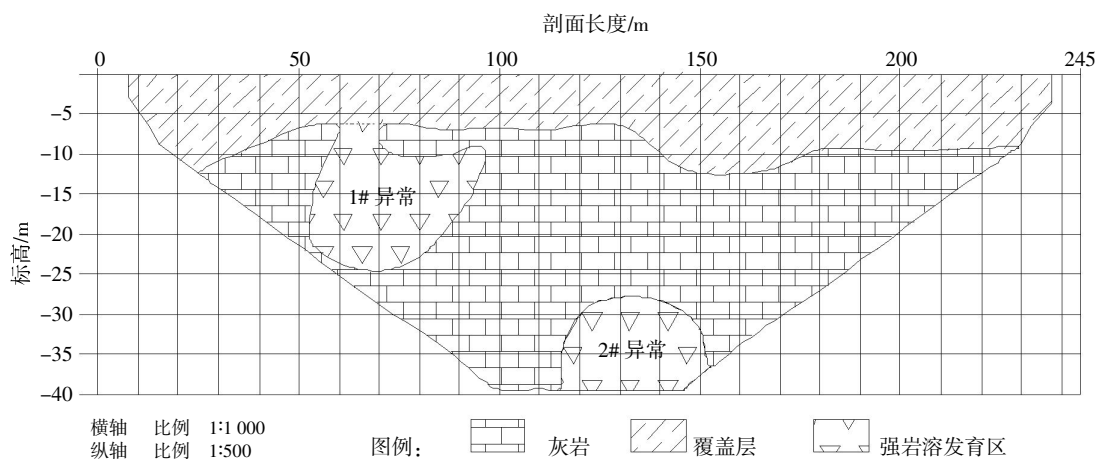


图 4 I 号剖面地质解释图

Fig.4 Geological interpretation of profile 1

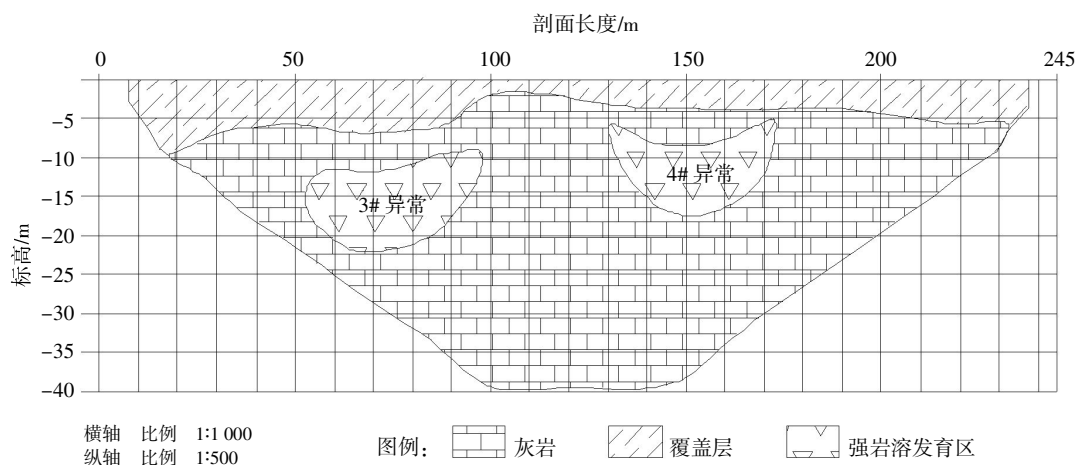


图 5 II号剖面地质解释图

Fig.5 Geological interpretation of profile 2

推断为强岩溶发育区。

4.3 I、II号剖面对比分析

I、II号剖面所反映的地层吻合度较好。都存在两个高阻区即两个完整性较好的灰岩岩体,其中,I号剖面完整性较好的灰岩岩体被埋深较大的岩溶隔开,II号剖面因岩溶埋深较浅,探测成果反映两个完整性较好的灰岩岩体连成一片。1#、3#岩溶区的形态、位置、埋深基本一致,推断为同一岩溶发育区。2#、4#岩溶发育区分别与现场塌方处一致,2#岩溶发育区埋深大,4#岩溶发育区埋深小,2#岩溶发育区位置较4#岩溶发育区偏北,推断为同一岩溶发育区。该岩溶发育区走向北北东,沿南南西向下延伸,延伸深度大于40m,形成

的空洞较大、较深,这正是此处塌方的原因之所在。

4.4 露采坑南侧 III号剖面

III号剖面位于露采坑南侧半坡路面,外业采集了两条温纳装置的数据剖面 and 一条斯伦贝尔装置的数据剖面,三个剖面反演成果一致性良好,实测数据客观地反映了测区的地电条件,数据成果可靠。

III号剖面存在5#、6#两个物探异常体(见图6)。根据相关地质资料,剖面所处地层:测点0~410m为中下三叠统白色中粗粒大理岩,测点410~590m为石英正长闪长玢岩,测点410m处附近为岩性接触带,接触带大角度倾向东南。因此,接触带与III号剖面在测点410m处附近呈近似正交且大角度倾向大测点号方向。

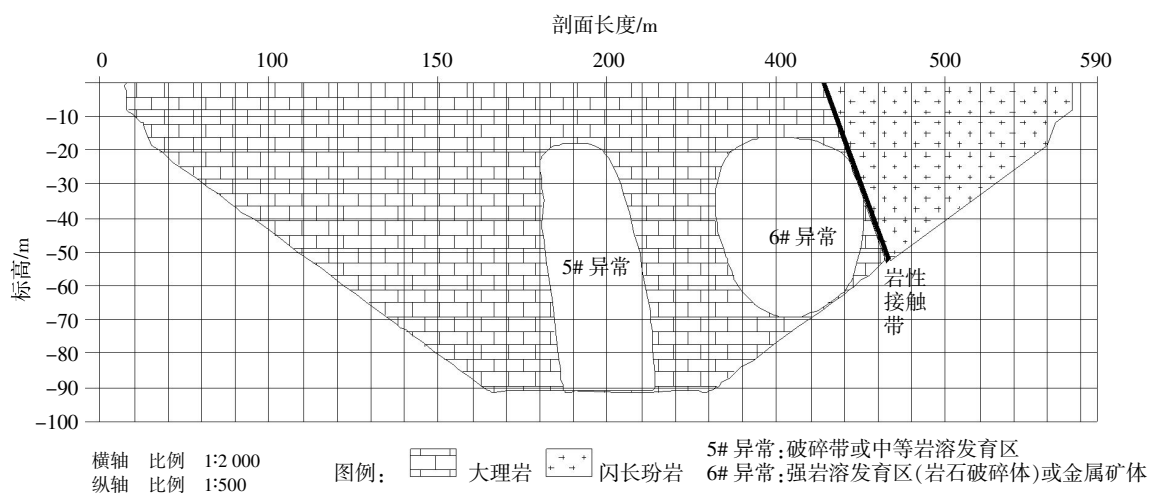


图 6 III号剖面地质解释图

Fig.6 Geological interpretation of profile 3

5#异常体平面位置位于测点号260~325m,上顶埋深约18m,下底埋深大于90m,异常平面呈垂向延伸、陡立状,推断为金属矿化低阻体或裂隙发育带。6#异常体平面位置位于测点365~450m,上顶埋深17m,下底埋深70m,异常平面近似等

轴状。该异常为复合异常体,异常的主体为矿坑陡立金属排水管群,异常右边界为接触带右边界的反映,物探成果显示的岩性接触带位置与现场地表出露的岩性接触带走向基本吻合,接触带呈大角度倾向剖面大测点号方向。

5 结 语

高密度电法重复观测成果资料一致性良好,实测数据客观地反映了测区的地电条件,数据成果可靠.后期对青山河沿岸物探异常体进行钻孔验证,发现实际地质情况与物探结果基本相符.通过对河床岩溶塌陷进行注浆充填,封堵了小清河岩溶塌陷区与矿坑之间的主径流通道,基本消除了丰水期洪水通过河床塌陷灌入矿区矿坑的风险.本案例说明先通过高密度电阻率法探测出岩溶分布特征及规律,然后采用帷幕注浆技术对矿区地下水流入矿坑的主径流通道进行重点封堵,不仅可以大幅降低治水成本,而且可以达到较好的堵水效果.该方法在类似岩溶矿山的地下水防治中可以推广使用.

致 谢

感谢武汉工程大学对本研究的资助!

参考文献:

- [1] 李金铭,罗延钟.电法勘探新进展[M].北京:地质出版社,1996.
LI Jin-ming, LUO Yan-zhong. Development of resistivity method[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996. (in Chinese)
- [2] 董浩斌,王传雷.高密度电法的发展与应用[J].地质前缘,2003,10(1): 171-176.
DONG Hao-bin, WANG Chuan-lei. Development and application of 2D resistivity imaging surveys[J]. Earth Science Frontiers, 2003, 10(1): 171-176. (in Chinese)
- [3] 王兴泰.高密度电阻率法及其应用研究[J].长春地质

学院学报,1991,21(3): 341-348.

WANG Xing-tai. High density measurement method of electrical resistivity and its application technics [J]. Journal of Changchun University of Earth Science, 1991, 21(3): 341-348. (in Chinese)

- [4] 马志飞,刘鸿福,叶章.高密度电法不同装置的勘探效果对比[J].物探装备,2009,19(1): 52-56.
MA Zhi-fei, LIU Hong-fu, YE Zhang. Comparison of exploration effect for different devices of high-density electrical prospecting [J]. Equipment for Geophysical Prospecting, 2009, 19(1): 52-56. (in Chinese)
- [5] 王兴泰.工程与环境物探新方法新技术 [M].北京:地质出版社,1996:108-109.
WANG Xing-tai. New technology and new methods for engineering and environmental geophysics [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996: 108-109. (in Chinese)
- [6] 石林珂,刘洪一,冷元宝.高密度电阻率法在采空区探测中的应用[J].华北水利水电学院学报,2010, 31(5): 122-124.
SHI Lin-ke, LIU Hong-yi, LENG Yuan-bao. Application of high density-resistivity method in mined-out god area detecting [J]. North China Institute of Water Conservancy and Hydroelectric Power, 2010, 31(5): 122-124. (in Chinese)
- [7] 李美梅.高密度电阻率法正反演研究及应用 [D].北京:中国地质大学(北京),2010.
LI Mei-mei. The research of high density resistivity method of positive and negative numerical modeling [D]. Beijing: China University of Geosciences (Beijing), 2010. (in Chinese)

Application of high density resistivity method in Karst mine

TIAN Chang-gui, YUAN Zhou-hao

School of Resource and Civil Engineering, Wuhan Institute of Technology, Wuhan 430074, China

Abstract: Tonglushan mine is a typical Skarn-type polymetallic Karst mine, which used open-pit and underground combined mining method. The groundwater is complexly controlled by contact zone and Karst. Xiaoqinghe river water poured into the pit through the collapse because the river-bed repeatedly collapsed during flood period. Thus the production safety is plagued chronically. To eliminate mine inundation, we emplaced three high density resistivity detecting profiles on the two banks of river and the open-pit slope. After processing data by rejecting distortion point, terrain correct and smoothing, we got the apparent resistivity contour by 2D inversion software. We got the Karst characteristics of Xiaoqinghe area and the main channel of runoff by comparing the electric differences of geological bodies. We filled the Karst fissure under river by grouting according to the detection result, and the main channel of runoff between the river and the pit was plugged, which has satisfactory effects on water plugging rate and reducing cost.

Keywords: high density resistivity method; river-bed; Karst; detection

本文编辑:龚晓宁