

DOI:10.16788/j.hddz.32-1865/P.2023.04.007

引用格式:孙平,王谦,王重阳,等.物探方法在采矿坑回填土石与基岩分界面勘探中的应用[J].华东地质,2023,44(4):439-447.(SUN P, WANG Q, WANG C Y, et al. Application of geophysical method in the interface exploration between backfill soil rock and bedrock of the mine pit[J]. East China Geology, 2023, 44(4):439-447.)

物探方法在采矿坑回填土石与 基岩分界面勘探中的应用

孙平,王谦,王重阳,刘俊伯,陈峰,张健

(江苏省地质勘查技术院,江苏 南京 210049)

摘要:在矿山地质环境治理工作中发现有矿企存在明显的超采行为,且为掩饰违法行为用杂土、乱石回填采矿坑。为追究违法责任,行政部门需要确定实际开采范围及超采量。由于矿坑大部分被回填土石覆盖,无法直接测量,需要工程勘探揭露回填土石与基岩分界面。研究表明,采用物探方法中的高密度电阻率法、地质雷达法对土石回填的石灰岩矿坑进行先期勘探,推断回填土石与底部基岩分界面、浅覆盖区矿坑边界,可为钻探孔位布置、深度设计提供参考;通过综合分析物探、钻探成果确定回填土石与基岩分界面,与采矿许可范围对比可计算超采量。钻探工程表明物探推断结果较准确,二者相互配合可明显提高工作效率,降低勘探成本。

关键词:高密度电阻率法;地质雷达;基岩面;采矿坑回填;超采

中图分类号:P631

文献标识码:A

文章编号:2096-1871(2023)04-439-09

采矿活动对环境具有很大影响,不合规的露天采矿会造成岩石裸露,形成浮石、危岩,存在着严重的崩塌、滑坡等地质灾害隐患。越界开采、超深度开采是常见的违法采矿行为。在违法采矿结束后,有的矿企会用杂土、乱石回填矿坑以掩饰违法行为。基于谁破坏谁治理的原则,矿山地质环境治理中需要查明违法矿企的实际开采范围和超采量。

钻探工程是直观、可靠的工作手段,可准确揭露基岩界面,计算超采矿石量。但若在回填后的矿山漫无目标地布置钻探工作,则耗时长、成本高。物探方法具有效率高、成本低的优点,采用物探先行,钻探跟进的方式,不仅可显著提高勘探工作效率,而且能大大降低成本。高密度电阻率法是工程物探的基本方法,广泛应用于岩溶勘察^[1-2]、采空区勘察^[3-4]、滑坡灾害勘察^[5-6]、断裂带探测^[7-8]、地下水探测^[9-10]、水库渗漏检测^[11-12]、场地污染调查^[13-14]等方面,在地层精细划分中也有一定研究应用^[15-16]。地质雷达法主要用于浅表层目标探测,相比高密度电阻率法,其在浅层探测精度更高,在道路病害检测^[17]、隧道衬砌检测^[18-19]、工程质量评价^[20-21]、地下

管线探测^[22]、裂缝裂隙探测^[23-24]、堤坝隐患排查^[25]等方面应用较多。

本文中采用高密度电阻率法、地质雷达法探测石灰岩采矿坑回填土石与底部基岩界面、浅覆盖区岩土界面(采矿坑边界)效果良好,表明物探方法在矿山超采勘探中有一定应用潜力。

1 地质与地球物理条件

1.1 地质条件

工区所在区域地层发育较齐全,基岩主要出露志留纪—侏罗纪地层;北部出露燕山期石英二长斑岩(图1)。工区内地层除第四系残坡积层外,主要有二叠纪栖霞组和石炭纪船山组、黄龙组。

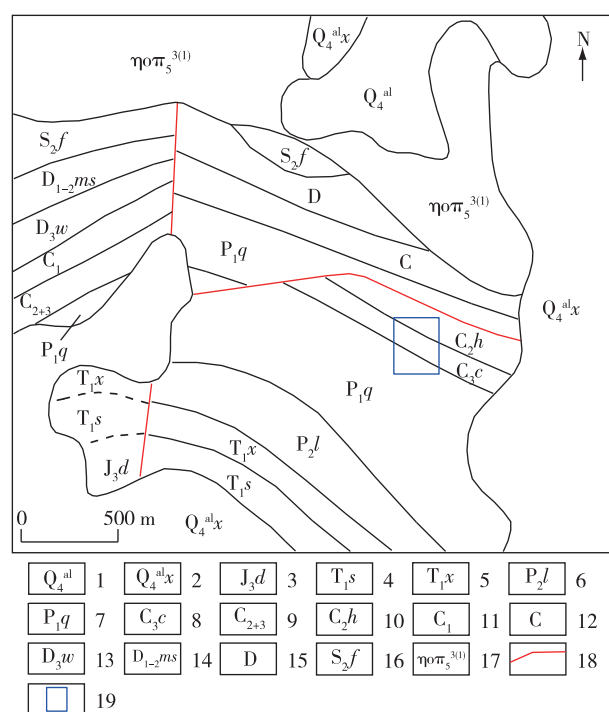
栖霞组(P_1q)分布于工区南部,是Ⅱ号矿体的赋存层位,厚度14.44~71.50 m,地层走向SE119°左右,倾向SW,倾角30°左右;岩性为深灰-灰黑色厚层-块层状粉-泥晶灰岩,夹灰黑色燧石岩、硅质页岩,以及少量薄层含生物碎屑粉、微晶灰岩;与下伏船山组呈平行不整合接触。船山组(C_3c)是Ⅰ号矿

* 收稿日期:2022-07-24 修订日期:2022-12-12 责任编辑:袁静

第一作者简介:孙平,1988年生,男,工程师,本科,主要从事地球物理勘探工作。Email:post_cn@163.com。

体的赋存层位,厚 36~41 m,走向 SE118°左右,倾向 SW,倾角 30°左右;岩性较单一,主要为灰白-深灰色厚层-块层状粉质泥晶灰岩。该组与下伏黄龙组呈平行不整合接触。黄龙组(C_2h),是工区主要矿体的赋存层位,其岩性单一,为粗-巨晶灰岩、灰-深灰色及灰白带红色厚层-块层状粉晶、微晶、泥晶灰岩,以泥晶灰岩为主。第四系(Q)广泛覆盖于上述各地层之上,大部分为全新统山麓斜坡堆积之残坡积物,结构松散,岩性及厚度差异较大;其中局部为人工堆土,堆土厚度达 20 余米。

工区为一单斜构造,构造线总体呈 SE118°走向,倾向 SW,倾角 30°左右,相对较稳定且平缓。



- 1.第四系全新统;2.第四系下蜀组;3.侏罗系大王山组;
- 4.三叠系上青龙组;5.三叠系下青龙组;6.二叠系龙潭组;
- 7.二叠系栖霞组;8.石炭系船山组;9.中—上石炭统;
- 10.石炭系黄龙组;11.下石炭统;12.石炭系;
- 13.泥盆系五通组;14.泥盆系茅山群;15.泥盆系;
- 16.志留系坟头组;17.燕山晚期石英二长斑岩;18.断层;19.工区位置

图 1 工区地质简图

Fig. 1 Geological sketch of the survey area

1.2 地球物理条件

地质体的物性差异(如磁性、电性、密度、波阻抗等物理性质不同)是地球物理勘探的前提条件。本次勘探涉及的主要地质体为回填土石、石灰岩基

岩,其中回填土石以黏土为主,含破碎岩石,深层含水量较高;石灰岩基岩为中厚层块状,较完整。物性测试表明,工区黏土电阻率一般 $<200 \Omega \cdot m$,石灰岩电阻率一般 $>600 \Omega \cdot m$,回填土石与基岩存在明显电阻率差异;黏土的相对介电常数为 2~40,随含水量增加相对介电常数增大,石灰岩相对介电常数为 9~15,回填土石与基岩存在较明显的介电性差异(表 1)。因此,工区具备高密度电阻率法和地质雷达法应用的物性条件。

表 1 工区介质电阻率和相对介电常数^[26-28]

介质名称	电阻率/ $(\Omega \cdot m)$	相对介电常数
地下水	<100	81
黏土	100~200	2~40
石灰岩	600~6 000	9~15
白云岩	50~6 000	7~12
空气	∞	1

2 方法技术简介

2.1 高密度电阻率法

高密度电阻率法通过供电电极向地下供电,测得电极间电位差,从而求得测量点的视电阻率值。若排列电极的电极距不变,而记录点位置移动时,即为电剖面法,测地电横向变化;若排列电极的电极距变化,而记录点位置不变时,即为电测深法,测地电垂向变化。高密度电阻率法是电剖面法与电测深法两种技术结合,一次布设几十至上百道电极完成二维视电阻率剖面测量^[29]。

本次高密度电阻率法勘探工作采用 DUK-2A 高密度电法测量系统。施工中根据设计测线长度布设电极排列,其中探测矿坑底部基岩面的测线布置 60~120 道电极,电极距 3 m,采用温纳-施伦贝尔装置,温施系数 3,最小隔离系数 1,最大隔离系数 30;探测矿坑东部边界的测线布置 40~60 道电极,电极距 1 m,采用温纳-施伦贝尔装置,温施系数 3,最小隔离系数 1,最大隔离系数 20。数据处理采用 RES2DINV 软件,对测量视电阻率数据进行畸变点剔除、地形校正、反演迭代等处理,获得拟断面图,进而推断地下介质的分界面。

2.2 地质雷达法

地质雷达法是依据目标体内的不同介质具有不同的电性差异进行探测。它利用发射天线将高

频电磁波以宽频带短脉冲形式送入被探测体内部,该电磁波在被探测的介质内部传播时会发生不同程度的衰减,遇到不同介电常数的介质分界面时,就会发生反射,反射波被接收天线所接收。通过分析所采集的反射波的频率、幅度和相位等信息,可得到不同介电常数的介质分界面的深度及反射界面的分布范围等参数。

地质雷达探测数据采集使用 SIR-20 地质雷达测量系统,采用 100 MHz 屏蔽天线,观测方式为沿测线连续点测量。数据处理采用 RADAN 软件,对测量数据进行时间零点校正、滤波、频谱分析、增益等处理。

2.3 测线布置

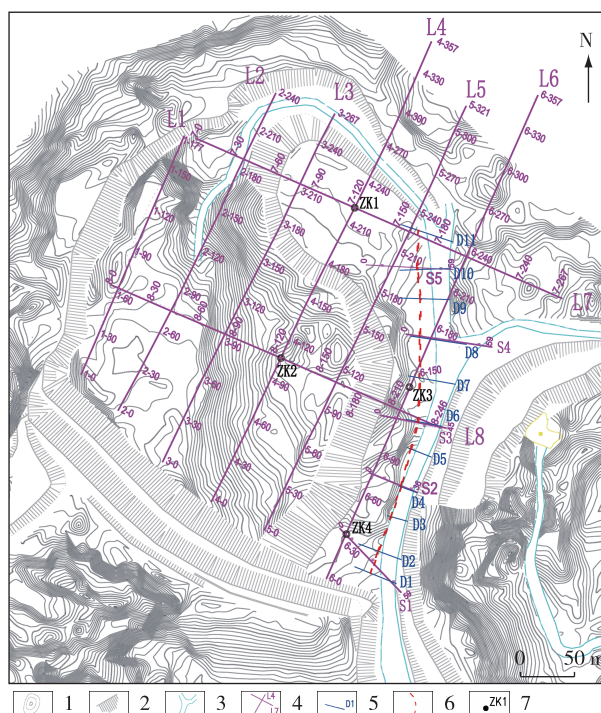
采矿坑西侧、南侧为高陡边坡,高差多 >30 m,难以穿越;采矿坑东部边界被回填土石覆盖。探测采矿坑内回填土石与底部基岩界面的高密度电阻率法测线以 NE 向为主,编号依次为 L1、……、L8,电极距 3 m。探测矿坑东部边界的高密度电阻率法短测线编号 S1、……、S5,电极距 1 m;地质雷达布置短测线 11 条,依次编号 D1、……、D11。测线位置示意图 2。

3 工作成果

根据对各测线成果图件综合分析,回填土石与基岩电阻率差异明显,分界面视电阻率为 $150 \Omega \cdot \text{m}$ 左右;强降雨后高程较低处(如 L8 线中段)基岩面视电阻率可降低至 $70 \Omega \cdot \text{m}$ 。回填土石与基岩的雷达反射波强度、波形也区别明显。现选取典型剖面加以说明。

3.1 矿坑底部基岩面探测

高密度电阻率法 L4 测线,为 NE 向,方位角 25° ,点距 3 m,剖面长 357 m。由图 3(a)剖面视电阻率等值线特征可见,里程 6~255 m 层状分布明显,浅层为低阻,深部为中高阻特征;剖面 255~357 m 为中高阻夹一低阻特征。推断剖面深部中高阻区为矿坑底部基岩反映,剖面 6~255 m 低阻区为回填土石反映,其中 6~165 m 段平均厚度约 20 m,165~255 m 段平均厚度约 28 m;剖面 255~297 m 中高阻区为基岩反映;297~357 m 浅层高阻异常为碎石堆反映,297~357 m 深层低阻区为回填土石反映。综合电性异常和等值线特征,以视电阻率



1.等高线(等高距 0.5 m);2.陡坎;3.简易道路;4.高密度电阻率法测线;5.地质雷达测线;6.推断采矿坑东侧边界;7.钻孔及编号

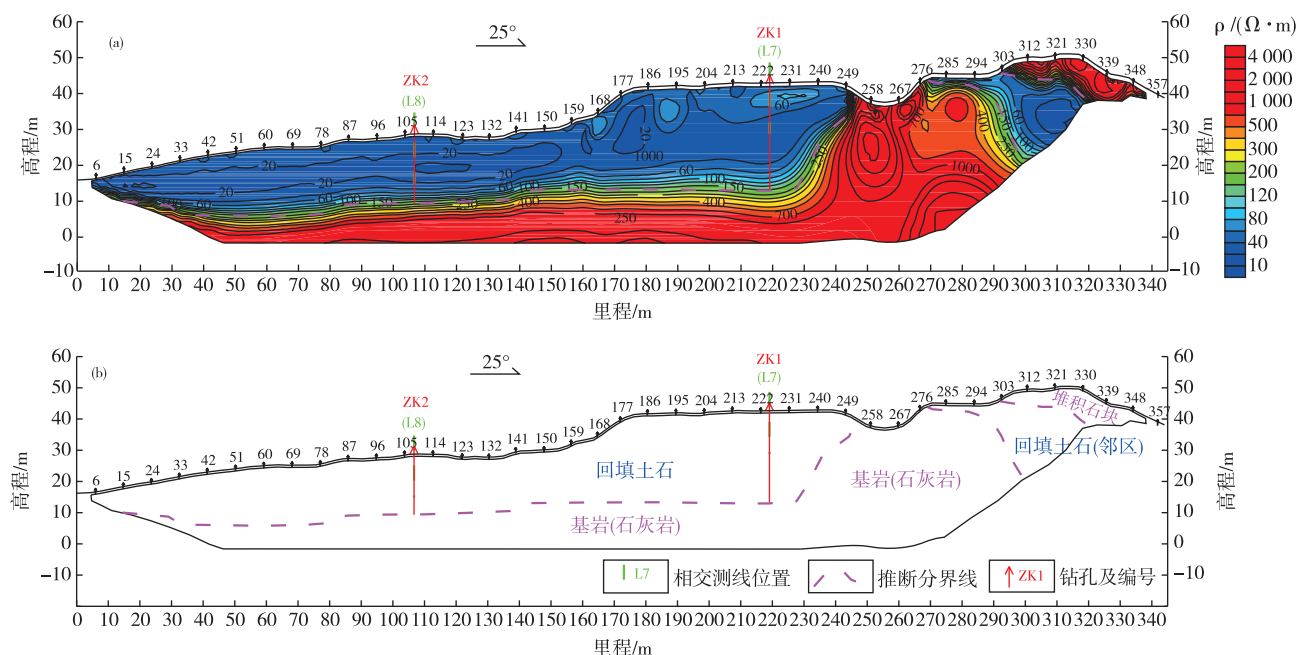
图2 工区测线布置示意图

Fig. 2 Schematic diagram of survey line layout

$150 \Omega \cdot \text{m}$ 等值线划定回填土石、底部基岩分界线,与钻孔 ZK1、ZK2 结果相符(图 3(b))。

高密度电阻率法 L8 测线与 L4 测线垂直,测线方向为 $\text{SE}113^\circ$,点距 3 m,剖面长 246 m。由图 4(a)剖面视电阻率等值线特征可见,里程 3~69 m 表现为中高阻,69~240 m 表现为浅层低阻,深部中高阻的层状分布特征。推断剖面深部中高阻区为矿坑底部基岩反映;剖面 3~69 m 大多基岩、碎石出露,部分区段为回填土石覆盖;剖面 69~240 m 浅层低阻区为回填土石反映,中部区段平均厚度约 20 m。综合电性异常和等值线特征划定回填土石、底部基岩分界线(图 4(b))。

工区为地形封闭采矿坑,破碎构造不发育,排水条件差,强降雨雨水多赋存于基岩面以上的土层中,导致基岩面附近电阻率降低。测线 L8 为强降雨后施工测线,从其与 L4 测线相交位置视电阻率剖面可见,基岩面附近电阻率值下降明显。根据测线 L4 成果和钻孔 ZK2,测线 L8 底部基岩面以视电阻率 $70 \Omega \cdot \text{m}$ 等值线划分。据钻孔 ZK3 结果,该处



(a) 高密度电阻率法反演视电阻率等值线图; (b) 剖面推断解释成果图

图 3 测线 L4 高密度电阻率法成果图

Fig. 3 Results of high density resistivity method for line L4

基岩面划分仍适用视电阻率 $150 \Omega \cdot \text{m}$ 等值线,可见降雨对划分基岩面电阻率数值影响程度与基岩面高程直接相关。

3.2 矿坑边缘基岩面探测

地质雷达 D1 测线方向为 $\text{SE}112^\circ$,剖面长 30 m。由图 5(a) 剖面地质雷达影像图可见,里程 0~11 m、20~23 m 电磁波强烈吸收,信号快速衰减,反射波不明显;里程 11~20 m、23~30 m 有较强反射波。与石灰岩相比,潮湿回填土石具有更高的介电性,即更强的电磁波吸收能力,推断里程 11 m 位置为回填土石与基岩分界面,即采矿坑边界。

高密度电阻率法 S1 测线方向为 $\text{SE}136^\circ$,点距 1 m,剖面长 59 m。由图 5(b) 剖面视电阻率等值线特征可见,里程 1~35.5 m 表现为低阻,35.5~570 m 表现为高阻。推断低阻区为回填土石反映,高阻区为基岩反映,里程 40~48 m 浅表层低阻为整平道路用碎石土反映。以视电阻率 $150 \Omega \cdot \text{m}$ 等值线划分回填土石与基岩分界线,推断里程 35.5 m 处为矿坑边界。

由图 5 可见,高密度电阻率法低阻区与地质雷达信号快速衰减区一致,探测结果较吻合。两种工作方法从不同物性参数推断划分矿坑边界,从而提

升了工作成果可靠性。

需要注意,电磁波在湿土中的快速衰减会影响地质雷达探测深度。高密度电阻率法 L6 测线与 S4 测线穿过碎石土铺筑的道路,相应区段 5 m 以浅视电阻率 $<100 \Omega \cdot \text{m}$,低阻反映明显;而在相同区段地质雷达探测效果不明显,推断对视电阻率 $<100 \Omega \cdot \text{m}$ 的土石层,地质雷达 100 MHz 天线探测深度 $<5 \text{ m}$ 。

3.3 钻探验证与超采量计算

电阻率法测量的电性异常为地质体的综合反映,体积效应影响推断结果的准确度,通常需要钻孔资料对推断层位进行校正。表 2 为部分高密度电阻率法初始推断基岩面深度与钻孔揭露深度对比,从中可见两者误差比例为 3.2%~7.0%,结果较准确。

高密度电阻率法剖面成果在用钻孔资料校正后可准确划分基岩界面,其对基岩面起伏形态变化信息表现更加丰富。如图 3 中测线 L4 基岩面起伏形态准确划分,给定许可采矿高程,在 CAD 中可轻易圈算超采断面面积。通常,通过多条剖面超采断面面积、测线线距,即可采用断面法^[30]计算超采量。

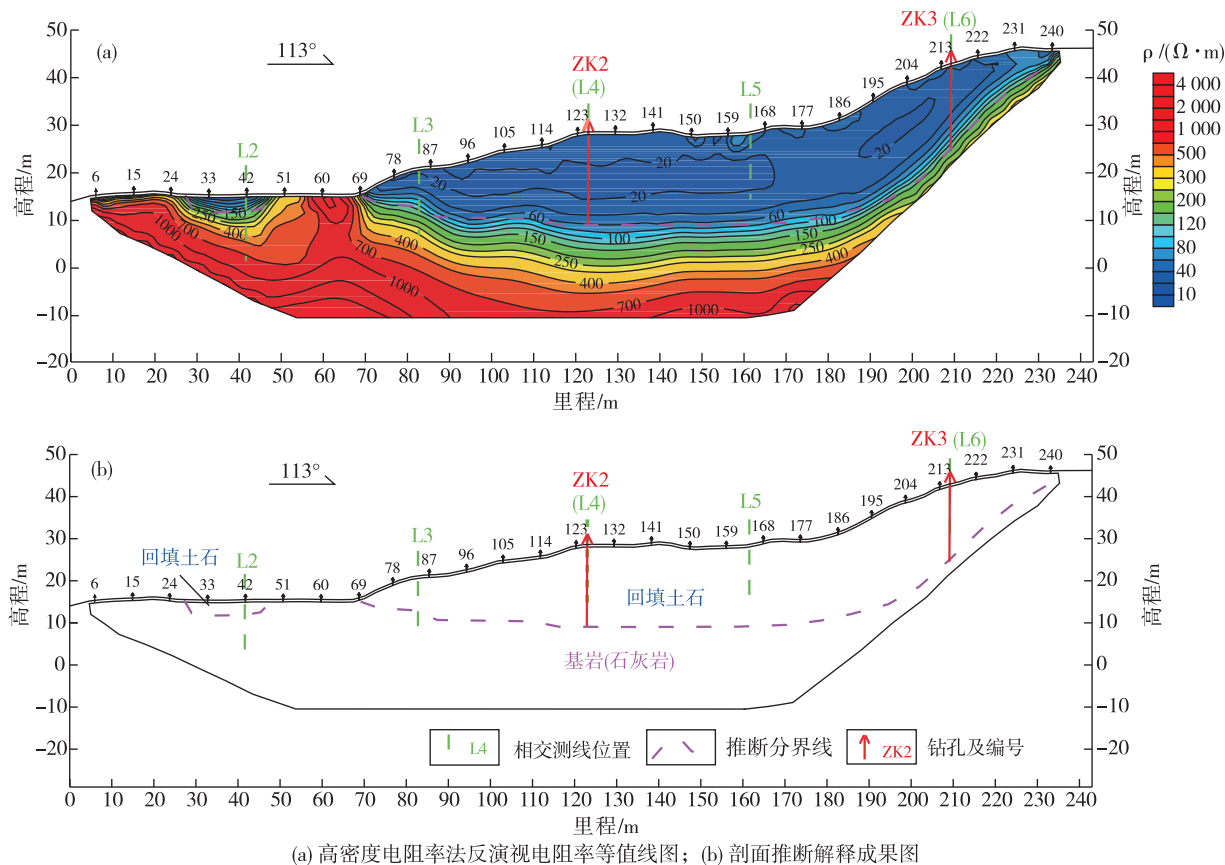


图 4 测线 L8 高密度电阻率法成果图

Fig. 4 Results of high density resistivity method for Line L8

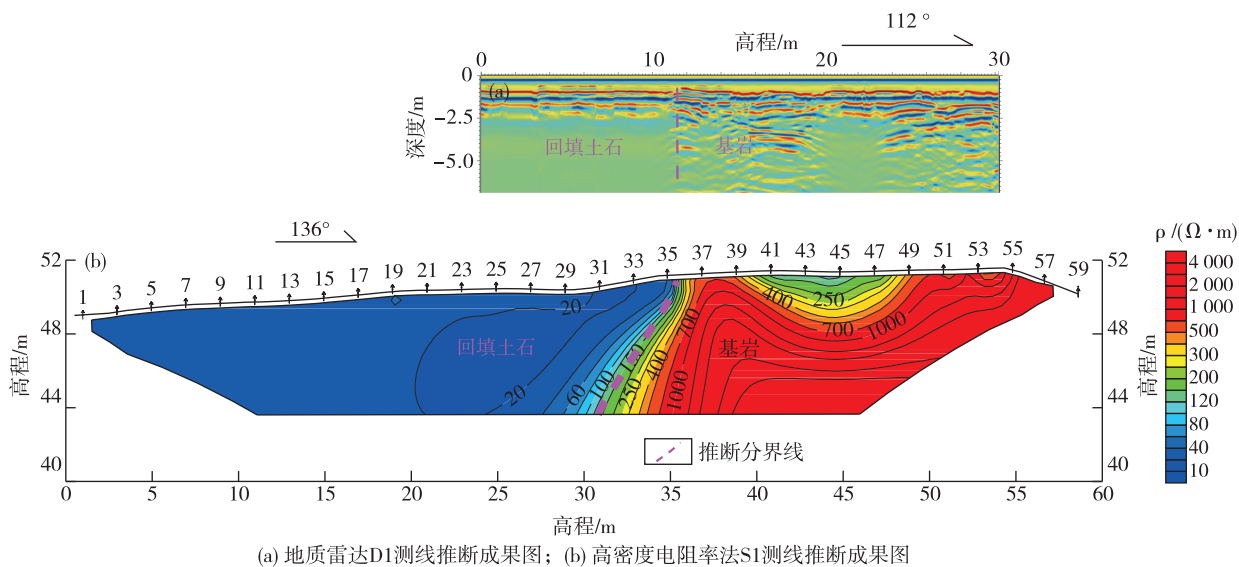


图 5 地质雷达 D1 测线和高密度电阻率法 S1 测线成果图

Fig. 5 Results of ground penetrating radar line D1 and high-density resistivity method line S1

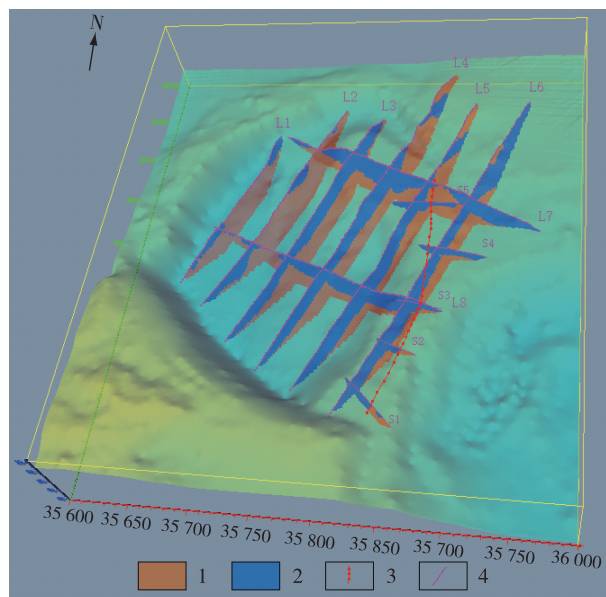
表 2 工区物探推断基岩面深度与钻孔揭露对比

Table 2 Comparison between inferred bedrock surface depth and borehole exposure depth

钻孔编号	推断深度/m	揭露深度/m	差值/m
ZK1	30	28.6	-1.4
ZK2	20	18.7	-1.3
ZK3	18	18.6	0.6
ZK4	33	34.8	1.8

3.4 综合成果

对物探工作结果进行三维显示,可以更直观地展现回填土石、基岩的空间分布及回填土石相对厚度(图 6)。其中,采矿坑西部的 L1、L2 测线中段为高阻,与地表基岩裸露情况相符,该区段南北两端有少部分回填土石覆盖基岩;采矿坑中部、东部的 L3 至 L6 区段则大多被厚度不等的土石回填,部分区段基岩面埋深超过 30 m;采矿坑外,测线 L4、L5 北端地表堆石反映明显。根据小极距高密度电阻率法 S1 至 S5 测线、地质雷达 D1 至 D11 测线成果,可较好推断采矿坑东侧边界。(采矿坑边界外 L6 测线北段、L7 测线东段低阻区为相邻矿权区回填土石反映。)



1.基岩(堆石);2.回填土石;3.采矿坑东侧边界;4.测线位置

图 6 工区物探推断成果图

Fig. 6 Results of geophysical prospecting inference in the survey area

4 结论

(1)采用高密度电阻率法、地质雷达法对已用杂土、乱石回填的石灰岩采矿坑进行勘探,推断开采范围、深度。钻探结果表明,高密度电阻率法可较准确推断地层结构,划分采矿坑回填土石与基岩界线;地质雷达法对采矿坑边缘回填土石与基岩分界反映良好。

(2)物探推断结果为钻探设计提供依据,钻探结果再反馈修正物探推断结果,两者相互配合,克服单一勘探手段效率低和准确度有限的问题,从而获得可靠的、信息丰富的综合地质断面,用于计算实际开采量。

(3)石灰岩矿为重要的非金属矿,开采技术门槛较低,是超采违法行为较多的矿种。对于存在用回填土石遮掩超采情况的石灰岩矿或其他种类矿场,可参考本次物探、钻探相结合的方式查明超采量。

参考文献

- [1] 杨天春,王丹齐,张叶鹏,等.生产矿山岩溶灾害勘查中的综合物探应用研究[J].地球物理学进展,2021,36(3):1145-1153.
YANG T C, WANG D Q, ZHANG Y P, et al. Application research of comprehensive geophysical method to karst investigation in a productive mine [J]. Progress in Geophysics, 2021, 36(3): 1145-1153.
- [2] 汝亮,张业智,朱裕振,等.泰安市岩溶塌陷特征及探测方法研究[J].山东国土资源,2020,36(10):65-72.
RU L, ZHANG Y Z, ZHU Y Z, et al. Study on the characteristics and detection methods of karst collapse in Tai'an City[J].Shandong Land and Resources,2020, 36(10):65-72.
- [3] 赵彤,王雨辰,李根云,等.综合物探方法在煤矿采空区勘察中的应用——以济南市钢城区某项目为例[J].山东国土资源,2022,38(3):27-33.
ZHAO T, WANG Y C, LI G Y, et al. Application of integrated geophysical prospecting method in the exploration of mined-out area in coal mine——taking a project in Gangcheng district in Ji'nan City as an example[J]. Shandong Land and Resources, 2022, 38(3): 27-33.
- [4] 孟庆鲁,胡安顺.高密度电法在枣庄某建设场采空区注浆效果检测中的应用[J].山东国土资源,2017,

- 33(11):62-65.
- MENG Q L, HU A S. Application of high density resistivity method in detecting grouting effect in mined out area in a construction area[J]. Shandong Land and Resources, 2017, 33(11):62-65.
- [5] 孙平,崔乐宁,周强.高密度电阻率法在废弃矿山滑坡灾害勘察中的应用[J].山东国土资源, 2018, 34(3):60-64, 70.
- SUN P, CUI L N, ZHOU Q. Application of high density resistivity method in landslide investigation of a abandoned mine[J]. Shandong Land and Resources, 2018, 34(3):60-64, 70.
- [6] 李富,周洪福,葛华.不同类型滑坡体的高密度电阻率法勘察电性特征[J].物探与化探, 2019, 43(1):215-221.
- LI F, ZHOU H F, GE H. Electrical characteristics of different types of landslide bodies investigated by high-density electrical method[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2019, 43(1):215-221.
- [7] 吴教兵,黎峻良,江兰,等.综合物探方法在广西罗城县活动断裂鉴定中的应用[J].物探与化探, 2021, 45(2):346-354.
- WU J B, LI J L, JIANG L, et al. The application of comprehensive geophysical method to the identification of active faults in Luocheng County, Guangxi[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2021, 45(2):346-354.
- [8] 商世杰,丰成君,谭成轩,等.雄安新区附近主要隐伏断裂第四纪活动性研究[J].地球学报, 2019, 40(6):836-846.
- SHANG S J, FENG C J, TAN C X, et al. Quaternary activity study of major buried faults near Xiong'an New Area[J]. Acta Geoscientica Sinica, 2019, 40(6):836-846.
- [9] 崔玉贵,姜月华,刘林,等.高密度电法在江西于都黄麟地区地热勘查中的应用[J].华东地质, 2020, 41(4):368-374.
- CUI Y G, JIANG Y H, LIU L, et al. Application of high-density resistivity method in geothermal exploration in Huanglin area of Yudu County, Jiangxi Province[J]. East China Geology, 2020, 41(4):368-374.
- [10] 苏永军,范翠松,赵更新,等.综合电法在探测海水入侵界面中的研究与应用——以莱州湾地区为例[J].物探与化探, 2020, 44(3):704-708.
- SU Y J, FAN C S, ZHAO G X, et al. Research and application of comprehensive electrical method in detecting saltwater intrusion interface: a case study of Laizhou Bay area[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2020, 44(3):704-708.
- [11] 吕超,黄基文.高密度电法和声呐渗流法在病险水库渗漏探查中的应用[J].勘察科学技术, 2021(5):51-55.
- LÜ C, HUANG J W. Application of high density electrical method and sonar seepage method in leakage detection of dangerous reservoirs[J]. Editorial Office of Site Investigation Science and Technology, 2021(5):51-55.
- [12] 孙礼钊,郑琳,包伟力.高密度电阻率法在某水库南堤渗漏探测中的应用研究[J].工程地球物理学报, 2016, 13(5):574-579.
- SUN L Z, ZHENG L, BAO W L. The application of high-density resistivity method to leakage detection in Nan Dam of one reservoir[J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2016, 13(5):574-579.
- [13] 姜月华,吴吉春,李云,等.高密度电法在城市地下水和土壤有机污染调查中的应用[J].华东地质, 2021, 42(1):1-8.
- JIANG Y H, WU J C, LI Y, et al. The application of high-density resistivity method in organic pollution survey of groundwater and soil of cities[J]. East China Geology, 2021, 42(1):1-8.
- [14] 肖波,李学山,杨富淋,等.基于地下电学特征变化监测场地污染的研究[J].环境科学与技术, 2019, 42(6):163-169.
- XIAO B, LI X S, YANG F L, et al. Leakage pollution monitoring of environment based on the resistivity method[J]. Environmental Science & Technology, 2019, 42(6):163-169.
- [15] 李富,欧阳渊,刘洪,等.高密度电阻率法与地质雷达法在土壤厚度调查中应用效果——以西昌市土壤厚度调查为例[J].华北地质, 2021, 44(1):27-32, 38.
- LI F, OU YANG Y, LIU H, et al. Application of high density resistivity and geological radar in soil thickness survey: a case study of the soil thickness survey in Xichang[J]. North China Geology, 2021, 44(1):27-32, 38.
- [16] 郭淑君,于蕾,任政委,等.高密度电阻率法在雄安新区起步区第四系地质结构精细划分中的应用研究[J].华北地质, 2021, 44(1):45-51.
- GUO S J, YU L, REN Z W, et al. Application of high-density resistivity method in fine division of quaternary geological structure in the starting area of Xiongan New Area[J]. North China Geology, 2021, 44(1):45-51.
- [17] 郭凯,杨丰硕,周静海,等.市政道路典型病害的地质雷

- 达特征回波[J].无损检测,2020,42(7):51-55.
- GUO K, YANG F S, ZHOU J H, et al. Geological radar characteristic echoes of typical diseases on municipal road[J]. Nondestructive Testing, 2020, 42(7): 51-55.
- [18] 张湘桂,邹明,刘宗辉,等.隧道衬砌后方隐伏洞穴地质雷达响应特征分析[J].地下空间与工程学报,2021,17(5):1598-1605.
- ZHANG X G, ZOU M, LIU Z H, et al. Technology of detection and identification of hidden caves behind tunnel lining by GPR[J]. Chinese Journal of Underground Space and Engineering, 2021, 17 (5): 1598-1605.
- [19] 宋福彬,杨杰,程琳,等.地质雷达正演在隧洞衬砌病害识别中的应用[J].现代隧道技术,2021,58(4):48-56.
- SONG F B, YANG J, CHENG L, et al. Application of GPR forward modeling in the identification of tunnel lining defects [J] Modern Tunnelling Technology, 2021, 58(4): 48-56.
- [20] 程利力,周诚,张勇,等.基于地质雷达的机场路基压实质量无损检测方法研究[J].施工技术,2021,50(14):98-101,137.
- CHENG L L, ZHOU C, ZHANG Y, et al. Nondestructive testing method of compactness quality for airport subgrade based on ground penetrating radar[J]. Construction Technology, 2021, 50(14): 98-101, 137.
- [21] 宋文文,李新举.探地雷达在土地整治道路工程验收中的应用研究[J].山东国土资源,2018,34(3):50-55.
- SONG W W, LI X J. Study on application of groundpenetrating radar in the acceptance of land consolidation road engineering[J]. Shandong Land and Resources, 2018, 34(3): 50-55.
- [22] 赵永峰,李卫东,柳俊敏.联合探地雷达和管线仪反演技术在平行地下管线探测中的应用[J].无损检测,2020,42(11):42-45.
- ZHAO Y F, LI W D, LIU J M. Application of joint ground penetration radar and pipeline locator inversion technology in parallel underground pipeline detection [J]. Nondestructive Testing, 2020, 42(11): 42-45.
- [23] 曹朋军,王天意,侯征,等.综合地球物理方法探测地裂缝发育及展布[J].工程地球物理学报,2020,17(2):251-257.
- CAO P J, WANG T Y, HOU Z, et al. The detection of the development and distribution of the ground fissure by the integrated geophysical methods [J]. Chinese Journal of Engineering Geophysics, 2020, 17 (2): 251-257.
- [24] 任非.改进后向投影算法在地质雷达混凝土裂隙成像中的应用[J].现代雷达,2022,44(1):71-76.
- REN F. Application of improved projection algorithm in geological radar concrete crack imaging[J]. Modern Radar, 2022, 44(1): 71-76.
- [25] 武桂芝,张宝森,李春江,等.阵列地质雷达在黄河堤防隐患探测中的应用[J].人民黄河,2020,42(8):113-116.
- WU G Z, ZHANG B S, LI C J, et al. Application of array geological radar to the detection of hidden dangers in the Yellow River dyke[J]. Yellow River, 2020, 42(8): 113-116.
- [26] 中华人民共和国水利部. SL/326—2005 水利水电工程物探规程[S].北京:中国水利水电出版社,2005:50.
- Ministry of Water Resources of the People's Republic of China. SL/326—2005 Code for engineering geophysical exploration of water resources and hydropower[S]. Beijing: China Water & Power Press, 2005: 50.
- [27] 中国水利电力物探科技信息网.工程物探手册[M].北京:中国水利水电出版社,2011:45-48.
- China Water Resources and Electric Power Geophysical Information Network. Engineering geophysical prospecting Manual [M]. Beijing: China Water & Power Press, 2011: 45-48.
- [28] 李大心.探地雷达方法与应用[M].北京:地质出版社,1994:61.
- LI D X. Method and application of the ground penetrating radar[M]. Beijing: Geological Publishing House, 1994: 61.
- [29] 李金铭.地电场与电法勘探 [M].北京:地质出版社,2005:208.
- LI J M. Geoelectric field and electrical exploration[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005: 208.
- [30] 中国冶金矿山企业协会.冶金矿山地质技术管理手册[M].北京:冶金工业出版社出版,2003:120.
- Metallurgical Mine' Association of China. Geological technology management manual of metallurgical mines [M]. Beijing: Metallurgical Industry Press, 2003: 120.

Application of geophysical method in the interface exploration between backfill soil rock and bedrock of the mine pit

SUN Ping, WANG Qian, WANG Chongyang, LIU Junbo, CHEN Feng, ZHANG Jian

(*Geological Exploration Technology Institute of Jiangsu Province, Nanjing 210049, Jiangsu, China*)

Abstract: In the management process of mining geological environment, it is found that some mining enterprises had obvious over-exploration activities, which were usually concealed later by backfilling mining pits with mixed soil and rocks. In order to investigate the illegal liability, the administration needs to scope the actual mining area and excessive amount of over mining. Since most part of the mine pit is covered by backfilled soil and rocks, it cannot be directly measured, needing engineering exploration to reveal the interface between backfilled soil and rocks and bedrock. Studies show that the high-density resistivity and ground penetrating radar adopted as geophysical means in the preliminary exploration on the backfilled limestone pit can infer the interface between the backfilled body and the bottom bedrock, and the pit boundary in the shallow coverage area, which can provide guidance for the layout and depth design of drilling hole. The comprehensive analysis of geophysical prospecting and drilling results can determine the interface between the backfilled and the bedrock, with the comparison to licensed mining scope calculating the over-mining amount. Drilling work verify that the geophysical inference results are relatively accurate, and the collaboration of the two approaches can significantly improve work efficiency and reduce exploration costs.

Key words: high-density resistivity method; ground penetrating radar; bedrock surface, mining pit backfilling; over mining