

电阻率层析成像和高精度磁测在防空洞勘察中的应用

柴承平, 蒋春碧, 樊志斌, 潘磊, 吴小平, 谢端, 刘文忠

(中国科学技术大学蒙城地球物理国家野外观测站, 地球与空间科学学院, 安徽合肥 230026)

摘要:利用电阻率层析成像法对防空洞进行探测, 二维层析成像反演结果清楚地显示防空洞的位置和埋深. 同时, 利用高精度磁测进行了验证, 获得防空洞可靠的走向延伸. 两种地球物理探测方法的综合运用, 在中国科学技术大学校园内的防空洞探测中取得非常满意的效果.

关键词:电阻率层析成像; 高精度磁测; 防空洞; 综合地球物理

中图分类号: P319.3 文献标识码: A doi:10.3969/j.issn.0253-2778.2010.01.004

Application of electrical resistivity tomography and high-precision magnetic survey in the detection of air-raid shelters

CHAI Chengping, JIANG Chunbi, FAN Zhibin, PAN Lei, WU Xiaoping, XIE Duan, LIU Wenzhong

(Mengcheng National Geophysical Observatory, School of Earth and Space Science,
University of Science and Technology of China, Hefei 230026, China)

Abstract: Electrical resistivity tomography (ERT) method was used to detect air-raid shelters, and 2-D resistivity tomography clearly shows their locations and depths. Meanwhile, high-precision magnetic survey was carried out to improve the reliability of exploration and outline the elongation of the air-raid shelter. The two geophysical methods were integrately applied in the detection of the air-raid shelter under the campus of University of Science and Technology of China, with very satisfactory results.

Key words: electrical resistivity tomography; high-precision magnetic survey; air-raid shelter; integrated geophysics

0 引言

防空洞过去用于备战, 是特定时期的产物. 随着时代的改变, 防空洞已经完成了它的历史使命. 但是由于年久失修等原因, 有的防空洞可能会成为安全隐患, 需要探测出其位置、埋深及延伸, 为将来可能的建筑工程提供参考. 目前, 电阻率层析成像是探测防空洞的主要方法之一^[1-8], 亦称高密度电法. 与常规电阻率法相比, 高密度电法的显著特点是数据自动采集, 效率更高; 可以组合使用多种观测装置形

式, 数据采集的信息量大, 为高分辨的电阻率层析成像奠定基础. 因而, 其在地下陷落坑、煤矿采空区、滑坡探测^[7, 9-11], 地下水资源探测^[12-13], 环境监测^[14], 含硫煤层探测^[15]等与国民经济建设密切相关的工程、水文、环境、矿产资源探测领域得到越来越多的应用. 由于防空洞内部通常充满空气, 为高阻异常体, 其高密度电法探测效果优于电磁(感应)法(如探地雷达^[7]), 因为只有低阻良导体能产生足够大的感应异常, 因而电磁法对高阻异常体的反应及分辨力较弱; 但如果防空洞的墙壁有大量的钢铁或者内有

收稿日期: 2009-08-17; 修回日期: 2009-10-20

基金项目: 国家自然科学基金(40674037, 40874034)和国家大学生创新性实验计划.

作者简介: 柴承平, 男, 1986年生, 研究生. 研究方向: 电磁测深. E-mail: ccp@mail.ustc.edu.cn

通讯作者: 吴小平, 博士/教授. E-mail: wxp@ustc.edu.cn

大量积水,则也可能会出现低阻异常^[1].这种不确定性可能会导致高密度电法探测防空洞位置的偏差甚至识别错误.

考虑到防空洞外壁由钢筋和砖块组成,钢筋有比较强的剩磁,而且砖块在烧制的过程中也会产生剩磁^[16],已有的探测结果表明防空洞磁测可以得到较好的磁异常^[1, 17],因此可引入地表高精度的磁法测量,为防空洞的准确探测提供更多依据.本文综合利用高密度电阻率法和高精度磁测方法探测中国科学技术大学东校区防空洞(见图1),获得清楚的电阻率异常及磁异常,据此准确推断出防空洞的埋深、位置及其延伸,是一个非常好的综合地球物理探测实例(case study).实际工作中,地质、地球物理探测目标多较为复杂,因而综合地球物理探测的思想非常重要,因而本文的结果有良好的实际应用价值.

1 测区概况

中国科学技术大学东校区防空洞位于图书馆西南侧,呈东西走向(如图1),东端有一入口已封闭.高密度电法测量剖面通过两块草坪,其间有一条马路,地形平坦,无需考虑地形校正.由于测量前多为阴雨天气,草坪较为潮湿,测量电极的接地条件非常好,为获得高质量的电测数据提供了良好条件.测线的长度大于磁法测量区域,是为了加大探测深度,以获得防空洞的下沿深度.

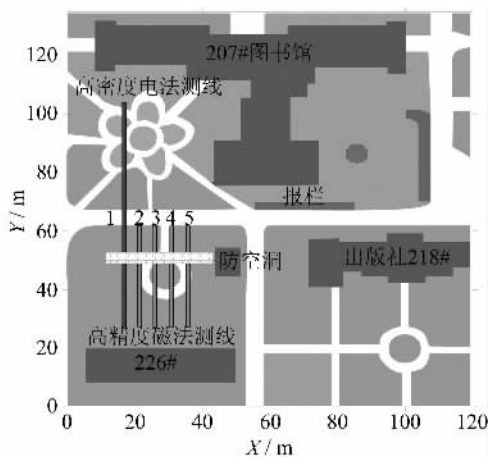


图1 测区及测线分布示意图

Fig. 1 Schematic drawing of survey area and lines

磁法测量区域为马路西南面的草坪(见图1),由于草坪东西两侧有铁栅栏等有磁性的设施或建筑物,因而将测线布置于草坪的中部,测区内没有明显的铁磁性异常体.由于马路下有电缆、管道等干扰因

素,因此测线没有穿过马路.

2 工作方法

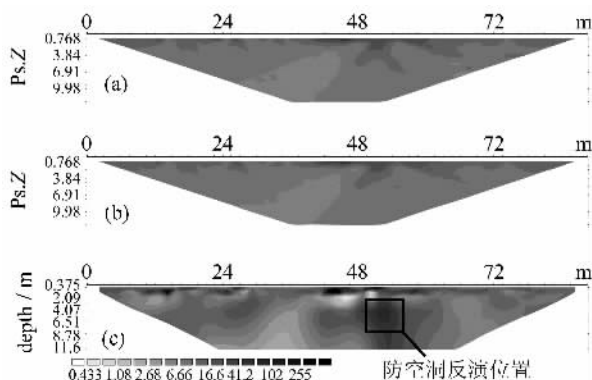
高密度电法所用仪器为 DUK-2B 型电阻率层析成像法测量系统,采用温纳剖面装置进行测量,其受外界的干扰较小,数据信噪比高^[2].选择南北向的一条测线(见图1测线1),布置了60道电极,电极间距为1.5 m,长度88.5 m,采集了16层共552个视电阻率数据.这样的测线布置可以使测量达到足够的探测深度,以获得防空洞下界面的分辨.为了取得良好的接地效果,水泥路面上的电极采取在其周围浇盐水的方法.文献^[18]对电阻率层析成像法测量系统进行了详细的说明.

磁法测量使用的仪器为高精度质子旋进磁力仪(PMG-1 质子磁力仪).测线布置有4条(见图1测线2~5),线距5 m,每条测线有49个测点,点距0.5 m,测线长度24 m,共196个测量点.为了保证磁测数据质量,在每个测点进行3次采样,以获得可靠的、重复性好的数据记录.

3 探测结果与分析

3.1 电阻率层析成像结果及分析

利用目前较通用的电阻率二维反演程序 RES2DINV^[19],对观测得到的温纳装置视电阻率剖面数据进行二维层析成像反演解释,反演结果见图2,反演迭代7次,理论数据与观测数据的拟合误差为6.8%,对于实测数据的反演而言,达到这样的拟合精度结果应该比较可靠.由图2可见,在距测量起始点(测线北端) $x=52$ m至 $x=56$ m,深度2~6 m



(a) 实测视电阻率剖面, (b) 理论模型视电阻率剖面, (c) 电阻率成像结果

图2 电阻率层析成像反演结果剖面图

Fig. 2 Profile map of resistivity tomography inversion

的范围内存在一个明显的高阻异常区域,中心电阻率在 $80\sim 100\ \Omega\cdot\text{m}$,显著大于周围背景岩层的电阻率($10\ \Omega\cdot\text{m}$ 以下),由此推测此异常所在的位置就是防空洞所在的位置,而且防空洞的深度和大小范围也与入口处观测到的基本相符.这一位置与防空洞入口的连线如图 1 所示,基本呈东西走向,中间延伸的未知部分有待磁测的验证.

表层($0.4\sim 2\ \text{m}$)的电阻率变化比较复杂,在测线 $x=40\sim 48\ \text{m}$ 处有约 $8\ \text{m}$ 宽(包括人行道)水泥马路的影响非常明显,呈高阻异常,与实际情况也非常吻合.其他的表层电阻率异常可能与一些小的电阻率三维结构影响有关.

3.2 高精度磁测结果及分析

图 3 是 4 条测线磁测数据的平面剖面图, X 轴对应于南北方向(测线方向,起始点在其北端), Y 轴对应于东西方向.结果表明,各条测线磁异常的最大值均位于 $X=54.5\ \text{m}$ 附近,表明异常体走向为东西向,这一走向与电阻率层析成像法所得防空洞走向相符,由于电阻率异常也位于 $X=54\ \text{m}$ 附近,因此位置也基本一致.另外,对比文献[20]中各种理论磁异常曲线,防空洞的磁异常可近似为无限长水平圆柱体产生的磁异常,这样可以对四条磁异常曲线进行特征点反演计算^[21],得到圆柱体的中心埋深分别为 $4.6, 4.5, 4.5, 4.1\ \text{m}$,平均为 $4.4\ \text{m}$,这一结果与高密度电阻率层析成像法所得结果(图 2 中防空洞中心埋深约为 $4\ \text{m}$)吻合很好.可见防空洞建筑使

用的钢筋和砖块能够产生明显的磁异常,由于地表沉积层一般均可视为无磁性岩层,因而本文获得的防空洞磁异常非常简单、明了,干扰极少,其与高密度电阻率层析成像法的解释结果相结合,可较准确地探测出防空洞的位置及延伸,结果也更可靠.

3 结论

高精度磁测简便、高效,数据处理简单,利于多测线观测,可获得异常体的走向延伸.但磁测没有测深,其在深度上的分辨力很弱.高密度电阻率法可以通过加大测线长度获得更大的探测深度,尽管观测效率较磁测稍低,但其观测数据的信息量大,能够进行电阻率二维层析成像反演,获得地下精细的电阻率结构.本文利用电阻率层析成像法和高精度磁测进行防空洞探测,在研究探测目标的地球物理特性基础上,综合考虑各地球物理探测方法的特点及效率,可快速、准确地获得防空洞的埋深、位置及其延伸,非常好地体现了综合地球物理探测的优势.

参考文献(References)

- [1] Yu Yongpeng, Li Zhenyu, Gong Shengping, et al. The effectiveness analysis of integrative geophysical methods on detecting the artificial cavity [J]. CT Theory and Applications, 2008, 17(3): 44-49.
余永鹏,李振宇,龚胜平,等.综合物探方法在人工洞室探测中的应用效果分析[J].CT理论与应用研究, 2008, 17(3):44-49.
- [2] Liu Wanen, Cai Kejian. Exploration of underground pipes of city by high-density resistivity method [J]. Equipment For Geophysical Exploration, 2003, 13(4): 260-262.
刘万恩,蔡克俭.利用高密度电法探查城市地下管道[J].物探装备, 2003, 13(4):260-262.
- [3] Qi Mingxing, Bai Junhui. The effect of using high-density electrical method to prospect the underground shelters [J]. Petroleum Instruments, 2008, 22(6): 56-57, 60.
祁明星,白军会.高密度电法勘察地下防空洞的效果[J].石油仪器, 2008, 12:56-57, 60.
- [4] Zhang Xiao-xiang, Bai Xiang-ling. Underground holes explored by high density electrical resistivity [J]. Plateau Earthquake Research, 2008, 20(3): 65-67.
张小香,白香玲.高密度电法探测地下空洞[J].高原地震, 2008, 20(3): 65-67.
- [5] Wu Jianzhong. Application of high-density electrical method in exploration of urban bomb shelters [C]// Urban Geology Symposium. Shanghai, [s. n.], 2005:

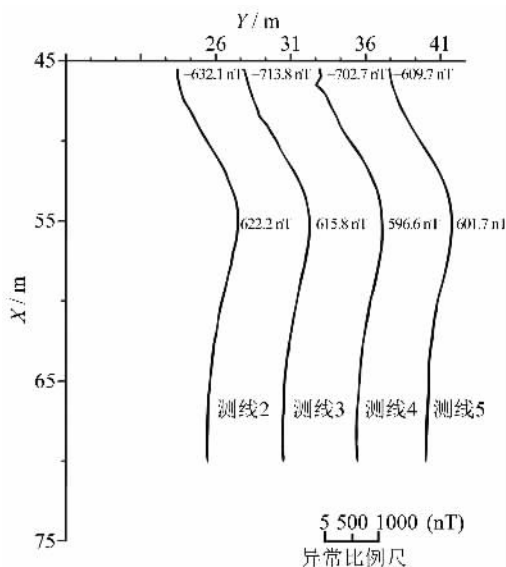


图 3 高精度磁法平面剖面磁异常图

Fig. 3 Profile magnetic anomalies on plane for high-precision magnetic survey

- 102-104.
- 吴建忠. 高密度电法在城市防空洞勘查中的应用[C]//城市地质研讨会论文集. 上海:[出版者不详], 2005:102-104.
- [6] Luo Youchun, Zou Jun, Wang Huaikun, et al. Application of high density resistivity method in air-raid shelter exploration[J]. Journal of Chongqing Institute of Technology (Natural Science), 2008, 22(2):127-130.
- 罗有春, 邹俊, 王怀坤, 等. 高密度电阻率法在防空洞探测中的应用[J]. 重庆工学院学报(自然科学), 2008, 22(2):127-130.
- [7] van Schoor M. Detection of sinkholes using 2D electrical resistivity imaging[J]. Journal of Applied Geophysics, 2002, 50(4): 393-399.
- [8] Feng Rui, Li Zhiming, Li Zhiwu, et al. Resistivity tomography[J]. Earthquake Research in China, 2004, 20(1):13-30.
- 冯锐, 李智明, 李志武, 等. 电阻率层析成像技术[J]. 中国地震, 2004, 20(1):13-30.
- [9] Maillol J M, Seguin M K, Gupta O P, et al. Electrical resistivity tomography survey for delineating uncharted mine galleries in West Bengal, India[J]. Geophysical Prospecting, 1999, 47(2): 103-116.
- [10] Ezersky M. Geoelectric structure of the Ein Gedi sinkhole occurrence site at the Dead Sea shore in Israel [J]. Journal of Applied Geophysics, 2008, 64(3-4): 56-69.
- [11] Naudet V, Lazzari M, Perrone A, et al. Integrated geophysical and geomorphological approach to investigate the snowmelt-triggered landslide of Bosco Piccolo village (Basilicata, southern Italy) [J]. Engineering Geology, 2008, 98(3-4): 156-167.
- [12] Bauer P, Supper R, Zimmermann S, et al. Geoelectrical imaging of groundwater salinization in the Okavango Delta, Botswana [J]. Journal of Applied Geophysics, 2006, 60(2): 126-141.
- [13] Terzic J, Sumanovac F, Buljan R. An assessment of hydrogeological parameters on the karstic island of Dugi Otok, Croatia[J]. Journal of Hydrology, 2007, 343(1-2): 29-42.
- [14] Dhu T, Heinson G. Numerical and laboratory investigations of electrical resistance tomography for environmental monitoring [J]. Exploration Geophysics, 2004, 35: 33-40.
- [15] Margiotta S, Negri S. Stratigraphic and geophysical integrated methodologies for the interpretation of sulphur water formational environment in Salento (Italy) [J]. International Journal of Coal Geology, 2008, 75(1): 27-39.
- [16] Zheng Quanku. Application Magnetic Exploration of High-precision into Polymetallic [J]. Science Technology and Engineering, 2009, 9(9):2 412-2 415.
- 郑全库. 高精度磁法在多金属矿产勘探中的应用[J]. 科学技术与工程, 2009, 9(9):2 412-2 415.
- [17] Yang Hongzhi, Lu Xiaohong. Application of high density electrical and high precision magnetic method in archaeological field [J]. North China Earthquake Sciences, 2008, 26(3):57-59.
- 杨宏智, 吕小红. 高密度电法结合高精度磁法在洛庄汉墓考古中的应用[J]. 华北地震科学, 2008, 26(3): 57-59.
- [18] Dong Haobin, Wang Chuanlei. Development and application of 2d resistivity imaging surveys[J]. Earth Science Frontiers (China University of Geosciences, Beijing), 2003, 10(1):171-176.
- 董浩斌, 王传雷. 高密度电法的发展与应用[J]. 地学前缘(中国地质大学, 北京), 2003, 10(1):171-176.
- [19] Loke M H, Barker R D. Rapid least-squares inversion of apparent resistivity pseudosections by a quasi-Newton method[J]. Geophysical Prospecting, 1996, 44(1): 131-152.
- [20] Tan Chengze, Guo Shaoyong. Magnetic exploration Tutorial. Beijing: Geological Publishing House, 1984: 104-148, 160-169.
- 谭承泽, 郭绍雍. 磁法勘探教程. 北京:地质出版社, 1984: 104-148, 160-169.
- [21] 孙克昌, 阎桂林. 国外磁法勘探教材选译. 北京:地质出版社, 1983:70-75.