

高密度电法在姑山矿防渗帷幕工程中的应用

张延凯^{1,2}, 王章³, 吴迪^{1,2}, 蔡嗣经^{1,2}

- (1. 北京科技大学金属矿山高效开采与安全教育部重点实验室, 北京 100083;
2. 北京科技大学土木与环境工程学院, 北京 100083;
3. 马钢集团姑山矿业有限责任公司, 安徽 马鞍山 243100)

摘要: 高密度电法是一种理论和应用较为成熟的物探方法, 具有观测精度高、成本低、效率高、信息量丰富、解释方便等特点。该方法在工程地质调查、坝址及桥墩选址、采空区和岩溶区及地裂缝探测等众多工程勘察中取得了良好的效果。本文应用 Super Sting R8 高密度电法仪对姑山矿北帮防渗帷幕堵水效果进行了探测。经反演、分析、解释和推断, 并与矿山以往勘探资料相比较, 认为防渗帷幕堵水效果较好, 该结果对矿山后续生产作业具有重要指导意义。

关键词: 高密度电法; 防渗帷幕; 姑山矿

中图分类号: TD15 **文献标识码:** A **文章编号:** 1671-4172(2010)02-0067-04

Application of High Density Resistivity Method in the Watertight Screen Project in Gushan Mine

ZHANG Yankai^{1,2}, WANG Zhang³, WU Di^{1,2}, CAI Sijing^{1,2}

- (1. State Key Laboratory of High-efficient Mining and Safety of Metal Mines; Ministry of Education; University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China; 2. School of Civil and Environmental Engineering, ustb, Beijing 100083, China; 3. Gushan Mining Co., Ltd., Ma Steel Group, Ma'anshan 243100, Anhui, China)

Abstract: High density resistivity method is a mature geophysical method in theory and application, with high accuracy, low cost, high efficiency, rich information and convenient explanation. The method achieved good results in engineering geological survey, dam and bridge pier locations, mined-out areas, karst areas and ground fissure detection, and many other practice of engineering investigation. SuperStingR8 Resistivity Imaging System was used to detect the watertight screen in the north slope of Gushan Mine. Through inversion, analysis, explanation and speculation, with the comparison of previous exploration data, it shows that the watertight screen is effective in anti-seepage. The results have important significance for the follow-on production of Gushan Mine.

Key words: high density resistivity method; Gushan Mine; watertight screen

0 引言

姑山铁矿是一座水文地质条件极其复杂的凹陷露天矿山, 采场东侧紧邻青山河, 最近处为 70~80 m, 矿体上部覆盖着 50~60 m 厚松散沉积层, 其中有水量丰富的砂砾卵石层以及难以疏干的粉质粘土与粉细砂互层。姑山矿露天采场由于受北帮第四系粉质粘土以上较高的潜水和赋存于砂砾卵石层内的承压水的困扰, 边坡一直无法按设计的境界靠帮, 导致北帮第四系下部尚有约 300 万吨铁矿石无法采

出。针对这一问题, 姑山矿于 2008 年在北帮 -13 平台(西北局部 -2 米平台), 向下在第四系砾石层内构筑堵水防渗帷幕。防渗帷幕施工后治水效果如何, 需要进行检测。

1 工程地质及水文地质特征

1.1 姑山采场工程地质特征

本次研究的重点区域-北帮边坡, 地层分层情况如下: 1) 人工杂填土(Q_4): 主要为矿山废弃的块石、粘土、砂土的混合物, 无序堆放, 结构松散。2) 粉土与粉砂互层(Q_4^{nl}): 灰色、密实、由粉土粉砂相互交替分布组成。3) 中砂层: (Q_4^{nl}): 土黄色、稍

湿、中密、长英质、散粒结构。4) 淤泥质粘土层(Q_3^{al}):黑色、可塑-硬塑、含有机质较多。5) 粉质粘土层(Q_3^{al}):灰绿色-灰黑色、可塑。6) 含泥中粗砂层(Q_3^{al}):深灰色、很湿,主要成分为中粗砂,粘性土充填。7) 粉质粘土层(Q_3^{al}):灰色-土黄色、由上往下其塑性状态依次呈:流塑-软塑-可塑-坚硬状态变化,有良好的隔水防渗功能。8) 砂卵石层(Q_3^{al}):杂色、紧密结构、级配良好、形状浑圆、表面光滑、磨圆度好。9) 残坡积层(Q_1^{ed}):褐紫色、主要成分为基岩强风化残积物、坡积物、赤铁矿矿石,进入基岩接触面漏浆严重。10) 基岩(K):凝灰质安山岩、紫红色、粒状结构、块状构造、节理发育、矿物成分以角闪石为主,辉石、黑云母次之。

1.2 姑山采场水文地质特征

场区分布的人工杂填土分布高程较高,具透水性,因而不含水;粉土与粉砂互层透水性弱,属弱透水性;中砂层属于中等透水的地质层,系含水层;含泥中粗砂层为含水层,含水量相对贫乏;粉质粘土层基本不透水,有良好的隔水防渗功能,属相对不透水层;砂卵石及下残积层透水性强,含水十分丰富,为含水层。由于上部有粉质粘土隔水层,下部基岩基本不透水,在二者阻隔下形成良好的储水构造,砂卵石及残积层内地下水具承压性质。

场区第四系地下水类型为孔隙潜水和孔隙承压水。孔隙潜水主要赋存在中砂层及含泥中粗砂层中,孔隙承压水主要赋存在砂卵石层中,二者没有水力联系。

根据相关地质勘探钻孔注水、抽水试验,可知各土层含水层类型、富水程度及渗透系数如表1所示。

表1 水文地质参数表

Table 1 Hydrogeologic parameters of the mine

岩土名称	地下水类型	透水性	富水程度	渗透系数 /(cm/s)
人工杂填土	包气带水	强	贫乏	/
粉土	包气带水	弱	极贫乏	5.78×10^{-4}
中砂	潜水	中等	贫乏	2.05×10^{-2}
含泥中粗砂	潜水	中等	贫乏	1.59×10^{-2}
粉质粘土	结合水	隔水	基本不含水	2.60×10^{-6}
砂卵石	承压水	极强	丰富	西部 2.14×10^{-1} 东部 1.79×10^{-1}
残坡积层	承压水	较强	中等	9.26×10^{-2}

2 工作方法简述

高密度电法是指直流高密度电阻率法,其原理与常规电阻率法相同。高密度电法实际上是一种阵

列勘探方法,野外测量时只需将全部电极置于测点上,然后利用程控电极转换开关和微机工程电测仪便可实现数据的快速和自动采集,将测量结果导入电脑后,可对数据进行处理并给出关于地电断面分布的各种图示结果。根据实测的视电阻率剖面进行计算、处理、分析,便可获得地层中的电阻率分布情况,从而可以划分地层、确定裂隙带等特点^[1]。

该方法兼具剖面法和测深法的功能。既能提供地下地质体某一深度沿水平方向岩性的变化情况,也能反映铅垂方向岩性变化情况,一次可完成纵、横二维的探测过程,所以观测精度高,采集的数据可靠,进而提高电阻率法的勘探能力。近年来该方法在工程地质调查、坝址及桥墩选址、采空区、岩溶区及地裂缝探测等众多工程勘察中取得了良好的效果^[2-4]。

此次勘测工作采用的是美国 AGI 公司生产的 Super StingR8 高密度电法仪器,这套仪器能够完成施伦贝格、温纳、偶极-偶极、单极-偶极和单极-单极等多种模式的高密度电法数据采集和显示工作。

3 应用实例

3.1 测线布置

此次探测在姑山矿露天采场北帮布置了四条测线:测线二与帷幕轴线基本重合;测线一和测线三分别位于帷幕前和帷幕后;测线四垂直于帷幕轴线布置。具体位置参见图1。

根据现场实测对比分析,本次野外工作采用施伦贝格装置进行测量。由于受试验条件的限制,测线一、二、三电极间距5m,测线四电极间距4m。测试电极数224个,测线总长度约为1050m。

3.2 资料处理与解释

在反演工作过程中,主要经过以下几种处理:1) 突变点的剔除。由于某一电极接地不好,或受采集现场干扰因素的影响,会出现一些数据突变点,通过删除这些点来提高解释精度;2) 地形的校正。由于高密度电阻法具有体积勘探效应,测得的数据实际是地电模型和地形影响的综合反映,通过对实际数据进行地形校正以实现地电模型的真实反映;3) 数据的光滑平均。该操作的目的在于消除采集过程中的随机噪声,提高分辨率;4) 绘制电阻率断面图。根据岩层电阻率特征和异常特征设计色谱,形成电阻率成像断面色谱图。实测数据经 AGI 公司开发的 EarthImager 2D 处理后得到如下剖面:

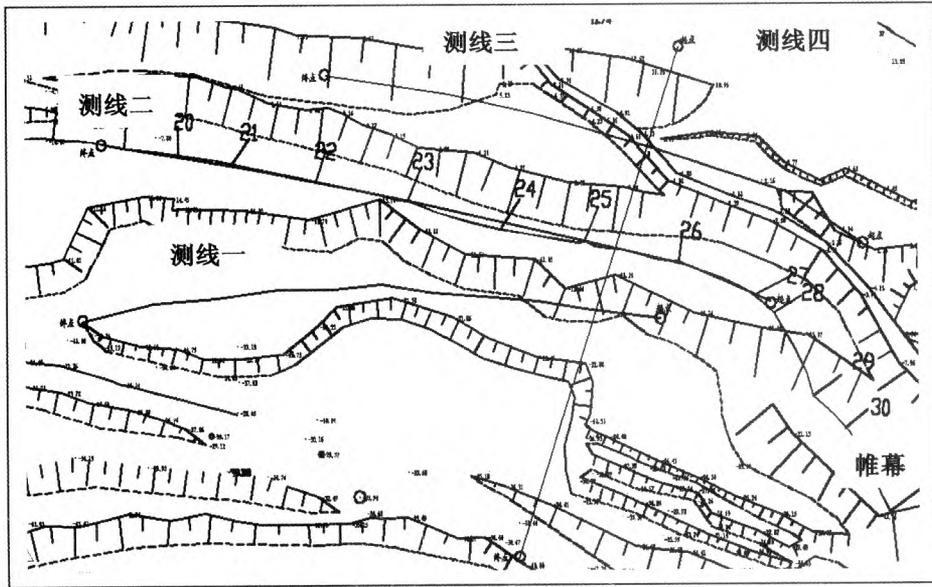


图 1 姑山矿露天采场测线布置示意图

Fig. 1 Sketch map of High Density Resistivity Method measuring line in Gushan Mine

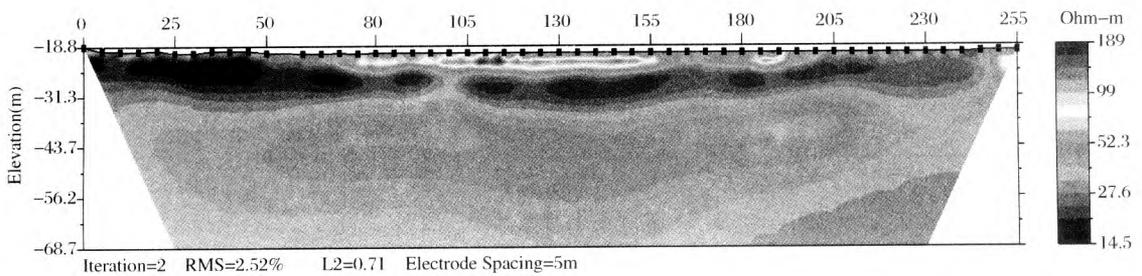


图 2 测线一电阻率反演剖面图

Fig. 2 Apparent resistivity inversion section of measuring line 1

从图 2 中可以看出:沿测线方向 70 ~ 200 m, 标高 -25 ~ -20 m 的范围内有一相对高阻层。通过与矿方技术人员交流,确定此层为道路松散垫层,该层分布的范围和深度与实际情况存在很好的对应关系。道路松散垫层下为一相对低阻层,该层含水较

丰富,分布较为连续,厚度在 8 ~ 12 m 之间。对比图 2 和图 3,低阻层下的相对高阻带有较好的相似性(图 2 位于防渗帷幕之前),推断其位于 -30 ~ -60 m 的相对高阻是注浆帷幕堵水效果的反映。

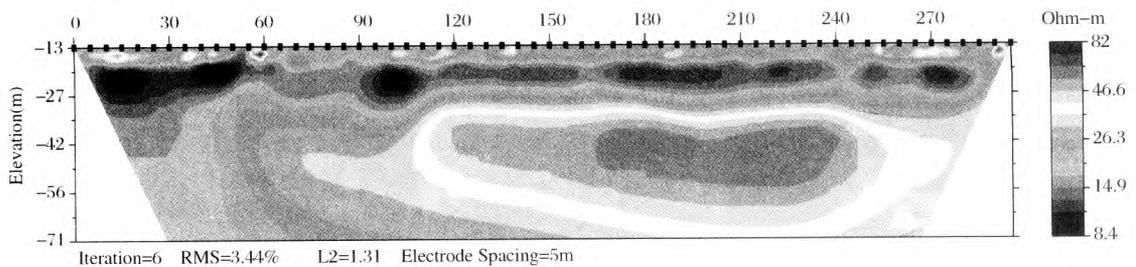


图 3 测线二电阻率反演剖面图

Fig. 3 Apparent resistivity inversion section of measuring line 2

从图 3 中可以看出:表层出现了局部的高阻区,推测可能是道路松散垫层及接地电阻影响所致。在

-18 ~ -27 m 深度存在一稳定低阻层,该层与测线 1 相对应。图中有一明显的高阻层分布于距测线起

点40 m至测线终点范围内,该高阻层的顶部位于-27 m水平左右,推测该高阻层是防渗帷幕,高阻层顶部的标高与帷幕顶部的标高相吻合。沿测线起

点到40 m,表现为低阻,推测存在帷幕注浆的薄弱环节,经确认,该处为帷幕注浆接头部位,在后期扩帮开采中应重点关注。

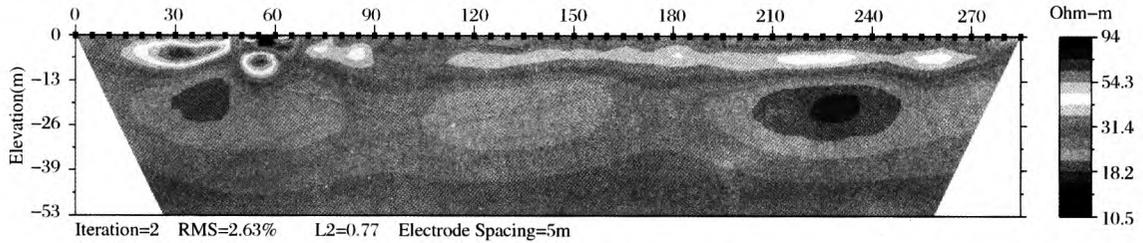


图4 测线三电阻率反演剖面图

Fig. 4 Apparent resistivity inversion section of measuring line 3

从图4中可以看出:整个剖面由3个近水平方向的分层构成。顶层相对电阻率较高,分布范围从0~13 m标高。中间低阻层顶部位于-13 m水平左

右,底部位于-39 m水平左右,推测该低阻层为富含水层。-13 m以下电阻率均较低,说明该区域的整体含水率较高。

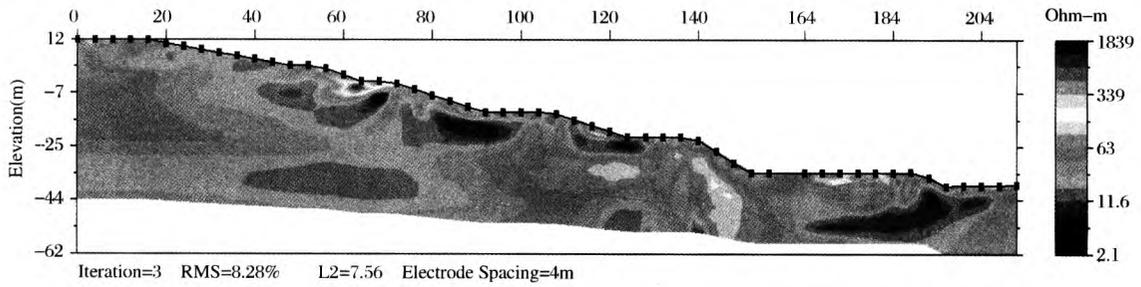


图5 测线四电阻率反演剖面图

Fig. 5 Apparent resistivity inversion section of measuring line 4

从图5中可以看出:有一高阻区分布在沿测线方向100~150 m范围内,防渗帷幕就在该高阻区中。高阻区两侧分布着低阻区,左侧低阻区范围较大,右侧低阻区范围较小,两侧低阻区的中心标高存在着明显差异,由此推断防渗帷幕起到了防渗效果。由于地形起伏剧烈,此剖面误差较大,仅作为参考。

2009年10月,姑山矿在本次勘探结果的指导下,对防渗帷幕保护下的采场北帮砾石层进行了揭露,未出现明显渗水,扩帮工作安全顺利进行。实践结果表明,防渗帷幕起到了很好的防渗效果,与勘探结果吻合。

4 结论

1)本次高密度电法探测共完成测线4条,测线总长度1050 m,数据采集质量较好,得到的电阻率断面图异常区反映比较明显,地质解释与实际情况对应较好。

2)在防渗帷幕隐患探测中,高密度电法具有成本低、效率高、资料可靠、解释方便等特点,尤其是对

浅层各种异常的判断能力很强,对目标体范围和目标体埋藏深度的确定达到了一定的准确程度。

3)高密度电法虽然相对于传统电法来说有了巨大的进步,但工作区地形的起伏、矿区内高压电力设施、管线等都可能影响探测的精度,同时受体积效应的影响,检测深度愈大,灵敏度越低,检测精确将下降。

4)高密度电法探测技术在姑山露天矿的成功应用对类似工程具有参考和借鉴意义。

参考文献

- [1] 胡博,邓帅奇. 高密度电法在复杂场地地基勘察中的应用[J]. 地质学刊, 2008, 32(3): 218-220.
- [2] 宋学东,王晖,王少杰,等. 高密度电法在土坝安全鉴定中的应用[J]. 山东农业大学学报(自然科学版), 2008, 9(2): 295-297.
- [3] 边浩林. 高密度电法勘探在水利水电工程中的应用研究[J]. 甘肃水利水电技术, 2006, 42(4): 418.
- [4] 刘昌军,赵进勇,孙东亚,等. 高密度电法仪在工程隐患探测中的应用[J]. 水利水电技术, 2007, 38(2): 90-94.