

# 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

孟庆鲁,胡安顺

(山东省第五地质矿产勘查院,山东 泰安 271000)

**摘要:**在山东省枣庄市某棚户区改造项目前期的岩土工程勘察和物探勘查中,发现部分建筑物及车库基础下存在采空区及采煤巷道。根据前期工作,对其中一条巷道进行了注浆处理。处理后,利用高密度电阻率法对注浆位置进行了物探勘查,认为该处注浆后视电阻率升高,原低阻异常区明显减小或者消失,注浆采空区与未注浆采空区有明显的电性差异,未注浆区的明显低阻异常为分辨注浆区位置和效果提供了对比参考。但在使用电阻率法对注浆区进行检测时,要保证水泥浆固结,否则无法有效区分原充水采空区及未固结水泥浆引起的视电阻率异常,不利于判断注浆效果。因此,用物探方法检测注浆效果,可为工程顺利施工提供相应的参考依据。

**关键词:**高密度电阻率法;采空区;注浆;枣庄

**中图分类号:**P631.322

**文献标识码:**B

**引文格式:**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 Qinglu,HU Anshun.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.

## 0 引言

枣庄市某棚户区改造项目建设场区位于枣庄市市中区,经过前期物探勘查和工程勘察发现建设场区位于采空区影响范围内,场区下存在南北2条采矿巷道,巷道呈东西向展布,对工程建设带来不利影响。根据前期物探及工程勘察工作,该采煤巷道呈不规则状,且未开采地段煤层风化、破碎严重,裂隙发育,煤层呈粉末状、碎块状,整体性较差;上覆中—微风化细粒砂岩,厚度较薄,且风化裂隙发育,岩体整体性差;煤层采空区或采煤巷道处于拟建建筑应力影响范围内,因此必须进行地基处理,建议采用注浆法对采空区或采煤巷道进行填充,验证采空区或采煤巷道密实后,方可进行上部建筑物施工。

施工方对北部巷道进行了注浆处理,南部巷道未进行注浆处理,然后采用物探勘查手段,将获得成果与注浆前进行对比,了解注浆工作取得的效果,为工程的建设提供进一步参考,也为利用高密度电阻

率等物探方法实现工程物探积累经验。

## 1 地貌及地质特征

工作区位于枣庄市市中区,原地表建筑物已被拆除,基坑开挖约10 m,表层覆盖和浅部风化层已被剥掉,风化—微风化细粒砂岩裸露,下伏风化煤层及泥岩和灰岩互层,基坑底部地势平坦,局部微小起伏,但不影响数据的采集。

工作区上部为第四系表土层,下伏古生代山西组、太原组煤系地层,岩层倾向NW,倾角较大,煤层埋深自东向西约6.0~23.0 m,顶板为细粒砂岩。根据原物探资料,拟建地段工程勘察2-2',4-4'剖面赋存采煤巷道或采空区(图1),埋深约15~30 m。结合地层资料,推断为山西组煤3采空区,经钻探验证,5#、8#、13#、20#、35#、36#钻孔出现掉钻现象(表1),证实赋存采空区或采煤巷道。

收稿日期:2017-03-28;修订日期:2017-04-21;编辑:曹丽丽

作者简介:孟庆鲁(1986—),男,山东曲阜人,工程师,主要从事地球物理勘探工作;E-mail:mengql1986@qq.com

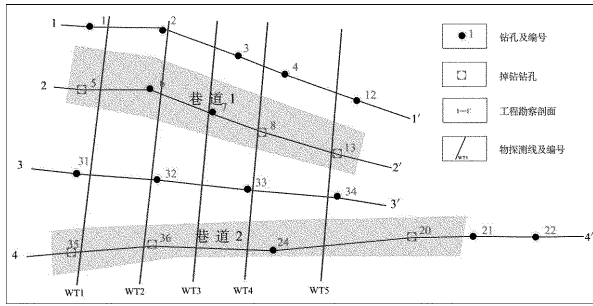


图1 巷道分布及工程布置示意图

表1 工程勘察巷道钻孔情况

孔号	空洞顶深(m)	空洞底深(m)	空洞高度(m)
5#	18.8	20.5	1.7
8#	22.4	23.9	1.5
13#	19.5	21.0	1.5
35#	15.0	16.1	1.1
36#	14.5	17.0	2.5

## 2 注浆情况

根据工程勘察,施工方先对北部巷道位置及其影响区进行注浆处理,注浆水泥(P.O42.5普通硅酸盐水泥)水灰比1:1.5~1:2,总量为1 416 t。为评价注浆效果,对注浆位置进行了物探勘查和钻孔取心。

## 3 地球物理特征分析

原建设场区受采空区影响,岩石完整性和连续性遭受破坏,采空区域的空隙一般被水或泥质所充填,视电阻率明显低于周围完整岩石的电阻率,表现出明显低电阻率特征<sup>[1-3]</sup>,取原物探2线成果作为典型剖面,可以看出,测线15~20 m,35~80 m地表以下均存在不同程度的明显低电阻率异常区,视电阻率数值小于 $40 \Omega \cdot \text{m}$ 。结合钻孔资料和收集的资料,15~20 m,35~50 m位置低阻异常范围均由废弃巷道充水及泥浆引起,而60~80 m位置位于巷道北侧,推断因巷道的存在引起岩石破碎充水,造成视电阻率明显偏低,局部存在较大岩石裂隙(图2)。

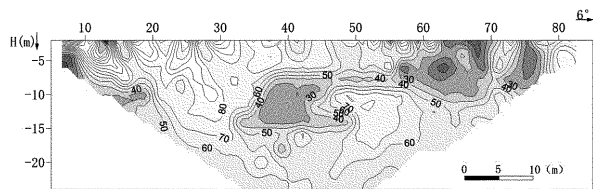


图2 2线注浆前高密度视电阻率拟断面图

经过注浆处理,混凝土充填采空区及裂隙,原低

阻异常位置完整性得到改善,视电阻率有明显改变,相较前期,电性特征曲线连续性和完整性好,视电阻率与围岩差别缩小,这种电性特征的变化为物探勘查工作提供了物性前提。

## 4 使用方法及装置布设

电阻率法是以地壳中岩石和矿石的导电性差异为物理基础,通过观测和研究人工建立的地中电流场的分布规律进行找矿,解决工程地质问题的一种物探方法<sup>[4-6]</sup>。高密度电阻率法是在电阻率法的基础上,结合电阻率剖面法和测深法的优势,以地壳中岩石和矿石的导电性差异为物理基础,通过观测和研究人工建立的地中电流场的分布规律,解决地质问题的一种物探方法,具有地电信息相对丰富,电性分辨率高,且人为因素干扰小等特点和优势<sup>[7-8]</sup>。

该次工作以建设场区西北部注浆区为研究对象,设计高密度剖面5条,测线方位角 $6^\circ$ ,根据场区实地情况,单剖面控制长度约90 m,剖面线距采用不等间距,布设线距10~25 m,数据采集点距2 m,使用重庆地质仪器厂生产的DUK-2A高密度电法系统,选用温纳装置作为采集装置<sup>[9-11]</sup>,电极总数45道,装置隔离系数12,处理软件使用GeogigaRImager。

## 5 成果解释及验证情况

### 5.1 成果解释

该次工作的主要目的是研究注浆工程效果,通过物探勘查工作与原物探成果形成对比,分析水泥浆在巷道及基岩破碎位置是否充填完整。原成果资料显示,在巷道(采空区)及基岩破碎位置,均因充水引起明显低视电阻率异常,视电阻率等值线形态弯曲,走向杂乱且连续性差。通过注浆的有效充填,改善了巷道和基岩裂隙的完整性,减少了所充填水和泥浆等杂质,固结的水泥浆视电阻率明显高于原视电阻率数值,且连续性和完整性变好。野外采集数据经过GeogigaRImager软件处理、整理成高密度视电阻率拟断面图(图3)。

根据解释原则分析,高密度1线测线控制范围40~60 m视电阻率数值较南部明显偏低,视电阻率曲线变化规律,弯曲程度小,且梯度不大,只在局部存在微小变化。该位置为原注浆区,注浆前物探成

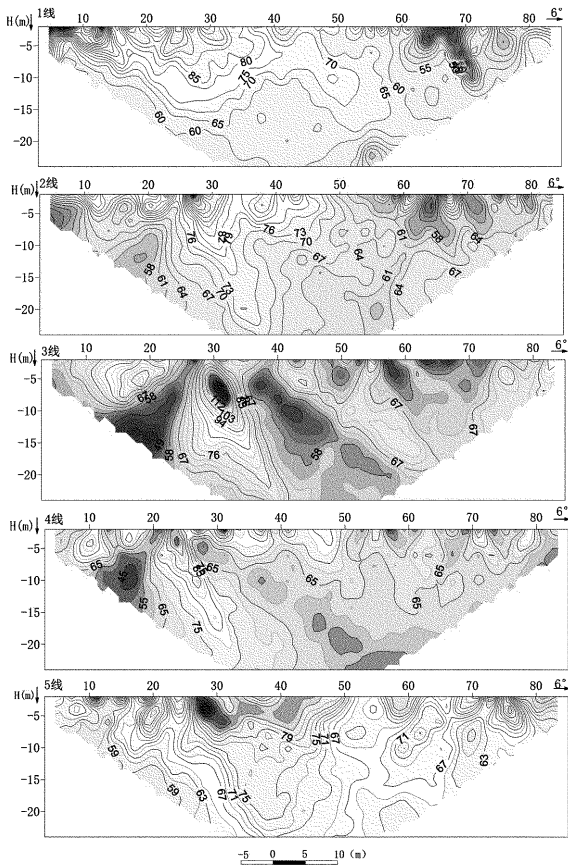


图3 1-5线注浆后高密度视电阻率拟断面图

果显示为明显低阻区,该位置视电阻率数值均在  $60 \sim 70 \Omega \cdot \text{m}$ ,无明显视电阻率低阻异常,推断为注浆增加了基岩整体性和致密性<sup>[12-15]</sup>,而注入泥浆的固结程度不同,会造成局部位置视电阻率小范围变化。测线  $60 \sim 70 \text{ m}$  视电阻率整体偏低,等值线形态弯曲变化大,分布密集,且形状不规则。对比原物探资料成果,该位置位于北部推断巷道影响范围,岩石破碎区。在横向  $60 \sim 73 \text{ m}$  位置,视深度  $-10 \text{ m}$  以上,存在明显低阻异常区,该异常整体视电阻率低于  $45 \Omega \cdot \text{m}$ ,对比正常基岩偏低,推断为岩石局部破碎引起富水性增强,造成视电阻率降低,推断该位置水泥浆未充填。

高密度2线测线控制范围内,整体特征与1线相似,浅部煤层引起高视电阻率特征,进入底板基岩,视电阻率下降。测线横向  $0 \sim 25 \text{ m}$  位置,视电阻率等值线弯曲严重,分布较密集,视深度  $1 \text{ m}$  以下出现明显视电阻率低阻区,且视电阻率曲线起伏大,推断该位置存在裂隙或空洞,局部富水性增强引起视电阻率降低,结合场区第一次物探资料,推断为原采煤巷道反应。该测线控制  $30 \sim 60 \text{ m}$  为第一次注浆

主要范围,从物探成果图分析,2线控制范围内原注浆位置视电阻率曲线形状较乱,无明显密集区,但数值变化不大,且视电阻率数值呈中高阻特征,推断基岩裂隙充填水泥浆,而泥浆固结程度不同,泥浆与围岩接触位置不规则,造成局部视电阻率差别。测线控制  $55 \sim 75 \text{ m}$  范围,表层视电阻率曲线形态不规则,起伏很大,存在多处等值线密集的低阻异常区,推断这些位置基岩破碎,水泥浆未能完全充填。

与1,2线不同,3线控制范围整体视电阻率等值线成层性较差,多处存在异常区。测线  $10 \sim 28 \text{ m}$  范围存在一个明显的低阻异常区,该异常区呈倒漏斗状,视电阻率数值小于  $50 \Omega \cdot \text{m}$ ,异常在控制深度范围内未封闭,具有向下延伸的趋势,结合现场调查和原资料成果分析,推断该位置为未处理巷道反应;  $35 \sim 75 \text{ m}$  不同控制范围和深度内,视电阻率数值差异较大,从表层至深部出现多处低阻视电阻率区。其中  $35 \text{ m}$  处浅部出现一个明显的低阻异常,规模较大,向下延伸,倾向N,整体视电阻率数值小于  $50 \Omega \cdot \text{m}$ ,局部小于  $40 \Omega \cdot \text{m}$ ,推断为水泥浆未充填巷道,且由充水引起。

综合物探工作各测线成果分析,工作区南部低阻异常各条测线均有不同程度的反应,异常具有连续性,其中2,3,4线反应明显、规模较大,且具有向下延伸的趋势,推断为南部巷道;工作区西部偏北位置,1,2线控制范围内发现2处低阻异常区,推断为局部富水,注浆后未完全充填裂隙引起,3线存在明显低阻异常区,异常形态虽然与原物探成果不同,但低阻区位置和视电阻率数值相较原资料变化不大,推断未进行注浆或者注浆效果不好;4,5线控制位置及1,2测线控制中部位置与原资料相较,异常规模明显减弱,水泥浆充填较好。

## 5.2 钻探验证

在推断注浆区及未注浆区进行了钻探取心工作。经验证,大部分原采空部位有水泥充填,水泥呈块状—短柱状—柱状。说明注浆处理有效弥补了水泥充填采空区及裂隙,保证了岩石的完整性,在充水位置经过有效填充,岩体完整性得到改善<sup>[16-19]</sup>,原低阻区域视电阻率有了较明显改变,注浆整体取得一定效果。

1,2线北端异常区受巷道影响基岩破碎,且水泥浆未充填;3线  $30 \text{ m}$  位置,水泥浆已充填,但泥浆未完全固结,湿度大,引起异常反应。经调查,该位

置是最后的注浆位置,注浆结束时间小于24 h。

## 6 结论

(1)对采空区进行注浆处理,可有效减小采空区对工程地基的影响,高密度电阻率法在检查注浆情况中能发挥准确高效的特点,在分析地下注浆范围及注浆效果时起到事半功倍的效果。

(2)结合原来的物探、工程勘察资料,在同一工作区不同位置进行类比,划分为正常区和异常区,提高解释精度。

(3)注浆未完全固结或者固结不均的情况下,水泥浆本身会引起局部低阻异常,无法有效区分是水泥浆引起还是充水采空区引起,建议在使用该方法进行检测时,注浆结束时间要在72 h以上,以保证水泥浆固结,排除干扰。

## 参考文献:

- [1] 王亮.电阻率测探法在煤洞勘探中的应用效果[J].勘探科学技术,1999,(5):61.
- [2] 肖长来,梁秀娟,王彪.水文地质学[M].北京:清华大学出版社,2010:35-50.
- [3] 钟声.地面与井下瞬变电磁法联合探测煤矿富水区域[J].山东国土资源,2016,32(4):72-75.
- [4] 李金铭.地电场与电法勘探[M].北京:地质出版社,2005:208-211.
- [5] 陈仲候,王兴泰,杜世汉.工程与环境物探教程[M].北京:地质

- 出版社,2005:23-35.
- [6] 李水平.高密度电阻率法在铝土矿床上的应用[J].物探与化探,2009,33(1):8-9.
- [7] 董浩斌,王传雷.高密度电法的发展和应用[J].地学前缘,2003,10(10):5-7.
- [8] 密士文,王翔,周厚侠.高密度电法在某公路路基下隐伏岩溶探测中的应用[J].山东国土资源,2015,31(1):63-65.
- [9] 宋希利,宋鹏.地球物理方法在章丘粘土矿采空区探测中的应用与方法对比[J].山东国土资源,2014,30(9):80-83.
- [10] 郑智杰,曾洁.装置和电极距对岩溶管道高密度电法响应特征的影响研究[J].水文地质工程地质,2016,(5):161-165.
- [11] 柳建新,曹创华,郭荣文,等.不同装置下的高密度电法测深实验研究[J].工程勘察,2013,(4):85-89.
- [12] 张俊英.煤矿采空区勘查与安全隐患综合治理技术[J].煤炭科学技术,2013,(7):76-80.
- [13] 刘泉声,卢超波.深部巷道注浆加固浆液扩散机理与应用研究[J].采矿与安全工程学报,2014,(3):333-339.
- [14] 曲相屹,李学良.钻、物探技术在采空区注浆效果检测中的应用[J].金属矿山,2013,(2):151-155.
- [15] 曹晓辉.煤矿采空区注浆处治浆液材料配比试验[J].公路交通科技,2015,(5):35-40.
- [16] 黄小广.注浆效果检测方法的评价[J].煤矿安全,2001,(5):38-39.
- [17] 王晓亮,狄平.注浆效果综合评价在填土加固中的应用[J].市政技术,2009,(9):520-523.
- [18] 王甫来,刘海伦.无损检测方法在机场注浆工程中的应用研究[J].城市道桥与防洪,2015,(4):184-186.
- [19] 李建国,李金花.瞬变电磁法在煤矿采空区注浆效果检测方面的应用[J].中国煤炭地质,2012,(4):68-71.

# Application of High Density Resistivity Method in Detecting Grouting Effect in Mined out Area in a Construction Area

MENG Qinglu, HU Anshun

(No.5 Exploration Institute of Geology and Mineral Resources, Shandong Tai'an 271000, China)

**Abstract:** After geo-engineering investigation and geophysical exploration in a shanty town reconstruction project in Zaozhuang city of Shandong province, it is showed that there are some mined out areas and mining roadways under the foundation of some buildings and garages. According to the results and recommendations of the previous work, a already found tunnel has been grouted. After the treatment, by using high density resistivity method, it is found that the apparent resistivity increased, the original low resistivity anomaly area significantly reduced or disappeared, the goaf grouting and non grouting in goaf has obvious electric differences. Non-grouting area has an obviously low resistivity. It has provided comparison and references for grouting effect. But when the detection of grouting is carried out by using the resistivity method, the cement slurry consolidation should be ensured, otherwise, the data gained from the interpretation of the results will be affected. The apparent resistivity can not effectively be distinguished whether is is caused by the original water filling goaf or by unconsolidated cement. This method can provide some references for construction of the project.

**Key words:** High density resistivity method; mined out area; grouting