

# 磁法与测氦法结合寻找地热资源

李建军<sup>1,3</sup>, 张许平<sup>2</sup>, 刘鸿福<sup>3</sup>

(1. 中北大学理学院, 山西太原 030051 2. 水利部山西水利水电勘测设计研究院, 山西太原 030024 3. 太原理工大学, 山西太原 030024)

摘要: 在特定的地质条件下, 不同物探方法相结合使用, 可有效避免单种物探方法的多解性和不确定性, 获得较为理想的解释。以祁县地热区为例, 说明测氦法与磁法相结合是寻找地热资源的一种行之有效的手段。

关键词: 磁法 测氦法 地热

中图分类号: P631, P314.1

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2006)04-0289-04

祁县王村位于山西省太原以南 50 多 km 的晋中市。勘探区紧邻祁县县城东部, 地理坐标: 东经 112°20' ~ 112°23', 北纬 37°20' ~ 37°24', 面积约 33 km<sup>2</sup>。20 世纪 70 年代初, 地质局 904 航测队在晋中盆地做过 1: 20 万航磁测量; 1973 年, 山西石油队在常家堡一带曾施工过祁 3 孔, 孔深 940 m, 得知在 700 m 深的基岩中有岩浆岩侵入, 但井中水温正常。1997 年, 山西地矿局第一水文队在区内王村施工了 Qw 孔, 孔深 400 m, 全新统厚 148 m, 未见岩浆岩侵入, 混合水温 28 ℃, 水温多年来一直较稳定, 且水中富含锶和偏硅酸。为了促进晋中旅游业, 开发利用地热资源, 寻找水温更高的地下水, 为此 2001 年财政部立项并拨专项经费对该区进行物探勘查, 以便圈定地热远景区, 为开发地热田提供地质依据。

## 1 地质概况及工作方法

本区位于晋中断陷盆地中部之东翼, 位于候城、平遥陷落带, 受区域构造影响, 该区基底为断块隆起区, 构造线走向为 NEE 至近 EW 向。因受基底构造活动的控制, 盆地内形成不均匀沉降, 表现在新生界厚度上呈现东部薄、西部厚、南端较厚、中部更厚的特征。地表所见均为晚新生代地层, 新生界覆盖层厚度 150 ~ 400 m, 地势平坦, 无基岩出露。发育地层主要为新生界盆地河湖相堆积, 地表出露地层为新近系上新统和第四系全新统黄土, 其下发育为一套三叠系和侏罗系杂红色碎屑岩系, 地下水主要是松散沉积盖层赋水和埋藏基岩赋水, 本区地温梯度大于 3 ℃/100m。

探测区为一矩形, 南北长 7 400 m, 东西宽 4 500

m, 测网距 250 m × 50 m。磁法测量共使用了 3 台磁力仪, 仪器规格、型号及参数见表 1。

表 1 磁力仪参数

仪器号	型号	格值/格	扭鼓常数	基点读数/格
242	Cs2-69	8.7	381.50	-8.87
81	Cs2-69	8.8	671.44	20.27
243	Cr2-69	8.6	398.94	

为了消除太阳对仪器的干扰, 及预防磁暴引起的仪器读数异常, 在磁测过程中, 进行日变观测, 每 5 min 读一次。综合实测日变曲线如图 1。

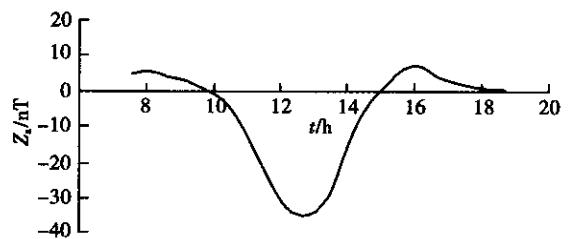


图 1 实测日变校正曲线

据钻孔岩芯分析结果, 发现铀随水中 SiO<sub>2</sub> 含量增加而增加。不同岩石的铀含量见表 2。

表 2 不同岩类的铀含量 10<sup>-6</sup>

岩类	基性岩	花岗岩	页岩	砂岩	碳酸岩
范围	0.2 ~ 2	1 ~ 7	1.5 ~ 5.5	0.2 ~ 0.6	0.1 ~ 9
均值	1	3	3.7	0.5	2.2

参考磁法数据分析, 排除了非异常区, 缩小目标靶区, 测氦探测仅选择了第 4 线至 14 线, 每条线的第 3 点至 12 点进行探测, 探测面积为 11.3 km<sup>2</sup>, 1 209 个测点。选用目前国内先进的大电离室智能化 CD-1 型 α 杯测氦仪, 探测方法为将 α 杯埋入地

下 40 cm 深的坑中,待 4 h 后取出,用  $\alpha$  杯测氦仪测量 3 min,将每 1 min 的记数录入数据采集系统,进行处理、成图。

## 2 基准剖面数据分析

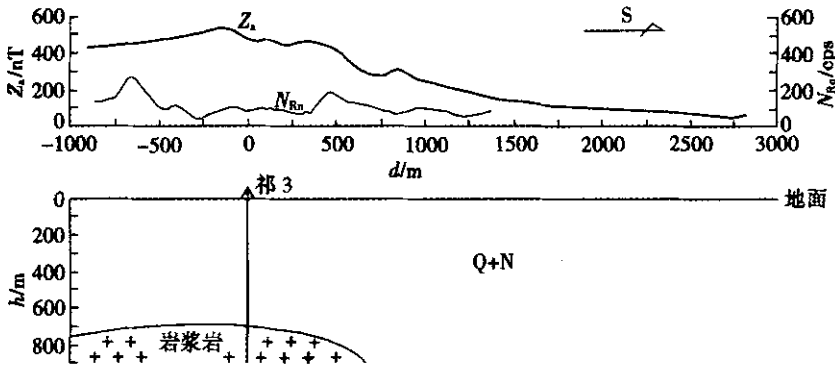
### 2.1 祁 3 孔磁测和测氦剖面对比

祁 3 孔位于本次勘探区外的常家堡—陆丰谷的基准参考剖面上,井深 700 m 以上为第四系、新近系松散堆积层及时代未定的火山凝灰岩层,井深 700 m 以下为石英二长岩,另外井深 600 ~ 700 m 之间的火山凝灰岩中也见 2 层石英二长岩岩床。按该岩体中钾长石的 K-Ar 年龄值 141.8 Ma 推算,岩体时代应在燕山中期。

过祁 3 孔布置 NS 向磁法剖面,点数 126 个,总长 4 000 m,祁 3 孔位于坐标原点处(图 2)。祁 3 孔上方为曲线峰值, $Z_s$  最大值为 498 nT,最小 172 nT。对其进行了上延和切线法分析,求得该岩体埋深

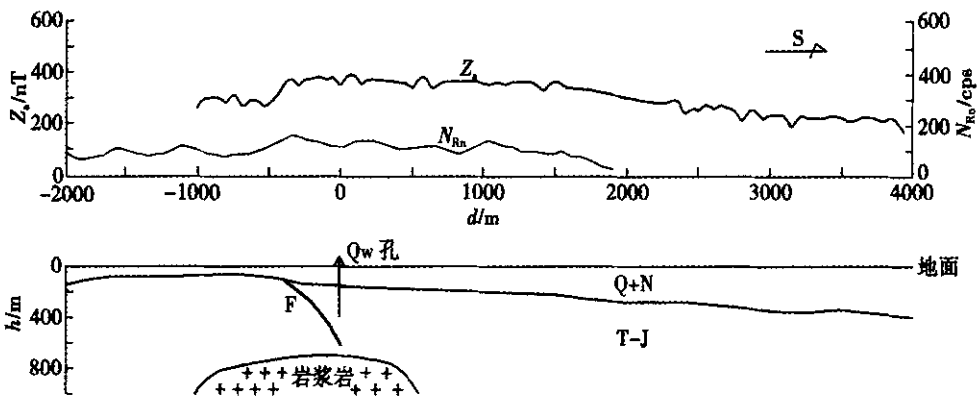
约 726 m,与已知钻孔岩浆岩埋深 700 m 对比,误差为 3.7%,因而认为在该区用磁法勘探是可行的。

过祁 3 孔测氦剖面方向为 NS,长度 4 000 m,祁 3 孔位于坐标原点,剖面形态为两端高,中间低。祁 3 孔以北 650 m 处出现一个尖峰,计数率的峰值达到 88 cps。以南 470 m 处出现另一尖峰,峰值达到 66 cps。祁 3 孔左右各 400 m 范围内,氦值在 28 ~ 36 cps 之间,没有出现氦值异常(见图 2)。结合祁 3 孔磁测剖面分析可推测氦异常与下伏岩体的分布关系不密切。祁 3 孔以北 550 ~ 800 m、以南 400 ~ 800 m 的氦异常带,可能与常家堡和南谷丰一带地热有关,不排除有 EW 走向断层存在,引起氦值计数率偏高。在其上方没有出现氦异常带,而在该点钻孔揭露有岩浆岩体出露,而且过该点磁异常峰值很高,由此可知,下伏岩浆岩体的存在与氦值异常没有明显的相关性。从而可以推断祁 3 孔南北两侧的氦异常不是由地下隐伏岩体造成。



Q—第四系;N—新近系;氦的纵向数值比实测值扩大了 3 倍

图 2 祁 3 孔综合解释剖面



Q—第四系;N—新近系;T—三叠系;J—侏罗系;氦的纵向数值比实测值扩大了 3 倍

图 3 Qw 孔综合解释剖面

### 2.2 Qw 孔磁法和测氦剖面数据分析

Qw 孔位于王村南 800 m,孔深 399.99 m,于 148.49 m 见三叠系延长组砂岩。该孔井深 100 m

以上有一层较厚的黏土层,阻断了与浅水层的联系。但中更新统含水层和基岩裂隙含水层之间没有好的隔水层,井中水位四季变化不大,水温稳定,从成井

至今水温一直在  $26^{\circ}\text{C} \sim 28^{\circ}\text{C}$  之间,由此可见,  $Q_w$  孔的地下水主要是来自远补给的深循环水。

过  $Q_w$  磁法剖面方向也为 NS 向, 点数 148 个, 点距 50 m, 总长 7 400 m,  $Q_w$  孔位于剖面原点处(图 3)。该剖面  $Z_a$  值最大 383 nT, 最小 160 nT, 曲线无负值。 $Z_a$  曲线经不同深度上延后, 幅度变化不大(最大变化值仅为 44 nT), 说明下伏岩体埋藏很深。由切线法分析计算推测岩浆岩体埋深约为 703 m。

过  $Q_w$  孔测氦剖面方向为 NS(见图 3), 共布置测点 80 个, 点距 50 m, 总长 4 000 m,  $Q_w$  孔以北 450 m 附近有一断层通过。 $Q_w$  孔测氦剖面形态为中间高, 两头低。氦值最高 53 cps, 最低 28 cps。 $Q_w$  孔氦值为 51 cps, 并在  $Q_w$  孔以北 900 m, 以南 1 000 m 的范围内出现氦值异常。氦值均在 42 cps 以上。该范围以外, 氦值逐渐降低至正常。根据已有的资料,  $Q_w$  孔水温较高, 表明下面存在地热。结合以上磁法剖面可以看出水温异常区正好是地下岩浆岩体的磁异常峰值区, 寻找地热就是寻找氦异常和磁异常正相关区, 由此可说明该氦异常与磁异常以及地热三者密切相关。

### 3 成果图分析

断块构造是本区的特点, 勘探区位于晋中盆地

中部之东翼的候城、平遥陷隆带, 其南北两侧分别为平遥掀斜和太谷掀斜地块, 从而使祁县附近形成明显的基底断块隆起。构造走向 NEE 至近 EW 向, 断陷盆地遭受过多期构造活动, 在燕山期岩浆岩沿断层及穹褶带贯入, 岩浆岩体分布面积广, 地热异常分布在被燕山期岩浆岩侵入的构造突起部位。燕山期以来的岩浆活动为地热提供了热源, 新构造运动形成了祁县基底隆起, 为地热聚集创造了良好的条件; 有一定厚度的盖层覆盖, 使地热能有效地储存。这种生、运、聚、盖、储的环境必然会形成理想的地热资源区。

通过对本区各测线剖面及平面等值线图的总体分析和计算, 该区推断解释走向 NE、倾向 SE 的高角度正断层 1 条, 两端均延伸出勘探区外, 推断断层落差小于 100 m(由电测深资料和磁法资料), 该断层为导水断层, 断层带周缘水量充足, 可作为理想的水源地。燕山期磁性岩浆岩体沿断层向上侵入, 空间形态为中心埋藏浅四周深的土台体, 以  $Q_w$  孔为中心的隆起区埋深最浅, 0~12 线之间平均在 860~893 m,  $Q_w$  孔附近埋藏深度为 703 m。12 线以东, 埋深急剧增大, 13 线埋深可达 1 665 m。地下热能聚集范围在测区中部断层附近, 与岩体范围基本重合(图 4)。

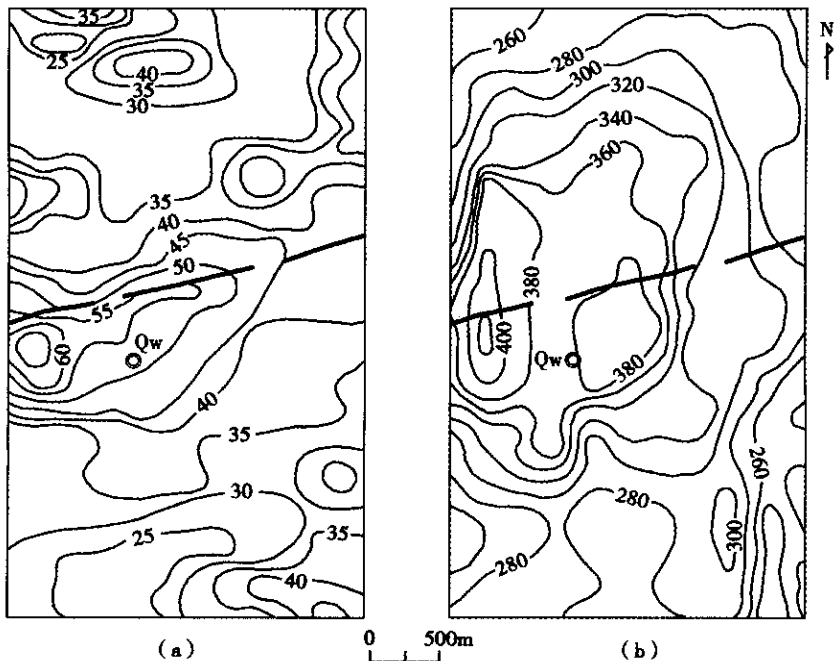


图 4 祁县磁测(a)和测氦(b)平面

经过对原始数据进行仪器校正、标准化、归一化、九点均滑和趋势面分析处理后, 获得整个测区测氦平面等值线图(图 5), 从图上可看出, 在测区的中部存在一块规模较大的近似楔形的氦值异常带, 另

在其余地带零星分布有几块条形和近圆形的氦异常带。

根据对磁法和测氦平面剖面图总体分析, 圈定如图 5 所示综合成果图。祁县地热探测区中部存在

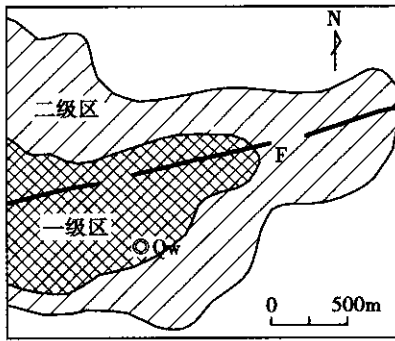


图5 祁县地热成果

一条断层,断层走向大致为  $N60^{\circ}E$ ,贯穿整个测区。勘查区中心偏西部位存在燕山中期侵入岩体,形态不规则,向下无限延伸。其上表面距地表 703 ~ 893 m,埋藏深度规律为东部很深,中西部相对较浅,且深度变化不大。该岩体对地温场有较明显的影响,形成如上所述热异常区。从地热异常区等值线图上可看出,地热异常带平面形态近似为三角形,测区地热异常区沿中部断裂破碎带的两侧分部,地热靶区与断层破碎带的延伸息息相关,断裂构造是地下热水的通道,由于含水地层的存在,在其上方形成热异常区,由此可知地热受构造控制。可将地热范围分为 2 个区:一级区和二级区,其中一级区面积  $1.391 \text{ km}^2$ ,二级区面积  $3.611 \text{ km}^2$ 。

#### 4 结论

通过对以上成果图的进一步分析,可得出以下

结论:

(1)通过祁3孔剖面曲线的切线法计算所得下覆岩浆体的埋深与钻孔资料对比,可知用磁法曲线推测计算隐伏岩浆体的埋藏深度是可行的。

(2)祁3孔上方磁异常带与测氡异常不同步,可知下伏岩浆体的存在与氡值异常没有明显的相关性。由此可知祁3孔南北两侧的氡异常不是由地下隐伏岩体造成。

(3)Qw孔混合水温  $28^{\circ}\text{C}$ ,表明其下存在地热资源。Qw孔测氡值异常和磁异常同步,由此可知Qw孔上方氡异常是由地热造成。

(4)推断磁异常和氡异常的交互带,尤其是氡异常靶区是圈定地热的远景区的理想地带。

(5)由综合成果图可知:断裂构造或陷落柱是地下热水流动的重要通道,地质构造(包括水文地质)控制着地下热水的分布。

(6)实践表明,采用测氡法与磁法相结合的综合物探方法,是寻找地热资源的一种行之有效的手段。

参考文献:

- [1] 傅良魁.应用地球物理学——磁法教程[M].北京:地质出版社,1980.
- [2] 刘鸿福,白春明,舒祥泽,等.用测氡技术探测煤矿地下火区的研究[J].煤炭学报.1997,22(4):402.

## THE COMBINATION OF MAGNETIC METHOD AND RADON SURVEYING METHOD IN SEARCH FOR GEOTHERMAL RESOURCES

LI Jian-jun<sup>1,3</sup>, ZHANG Xu-ping<sup>2</sup>, LIU Hong-fu<sup>3</sup>

(1. North University of China, Taiyuan 030051, China; 2. Shanxi Investigation and Design Institute, Ministry of Water Resources, Taiyuan 030024, China; 3. Taiyuan University of Technology, Taiyuan 030024, China)

**Abstract** Under the specific geological condition, the combination of different geophysical exploration methods can satisfactorily avoid multiple explanations and uncertainty so as to obtain a relatively ideal interpretation. Exemplified by the Qixian geothermal area, this paper points out that the combination of the radon surveying method and the magnetic method is an effective means in search for geothermal resources.

**Key words** radon surveying method; magnetic method; geotherm

作者简介:李建军(1969-),男,山西晋城人,工程师,太原理工大学在读博士,长期从事地球物理探测和岩土工程勘察研究(E-mail:ljjc@163.com)。

# 磁法与测氦法结合寻找地热资源

作者: [李建军](#), [张许平](#), [刘鸿福](#), [LI Jian-jun](#), [ZHANG Xu-ping](#), [LIU Hong-fu](#)  
 作者单位: [李建军, LI Jian-jun\(中北大学, 理学院, 山西, 太原, 030051; 太原理工大学, 山西, 太原, 030024\)](#), [张许平, ZHANG Xu-ping\(水利部, 山西水利水电勘测设计研究院, 山西, 太原, 030024\)](#), [刘鸿福, LIU Hong-fu\(太原理工大学, 山西, 太原, 030024\)](#)  
 刊名: [物探与化探](#) **ISTIC PKU**  
 英文刊名: [GEOPHYSICAL AND GEOCHEMICAL EXPLORATION](#)  
 年, 卷(期): 2006, 30(4)  
 被引用次数: 2次

## 参考文献(2条)

1. [傅良魁](#). [应用地球物理学—磁法教程](#) 1980
2. [刘鸿福](#), [白春明](#), [舒祥泽](#). [用测氦技术探测煤矿地下火区的研究](#) 1997(04)

## 相似文献(9条)

1. 期刊论文 [孙二虎](#), [陈爱珍](#), [刘鸿福](#), [贾智鹏](#). [测氦法-磁法在祁县王村地热勘测中的应用](#) -[太原理工大学学报](#) 2004, 35(3)

运用测氦法和磁法相结合的办法,对祁县王村地垫资源进行了探测,取得了较为理想的勘探效果,避免了单种物探方法的多解性和不确定性,从而获得较为精确的解释.

2. 期刊论文 [刘敦旺](#), [刘鸿福](#), [张新军](#), [Liu Dunwang](#), [Liu Hongfu](#), [Zhang Xinjun](#). [活性炭测氦法在煤矿采空区探测中的应用](#) -[勘探地球物理进展](#)2009, 32(3)

活性炭测氦法是近年来发展起来的一种新的探测方法,具有灵敏度高、精度高、抗干扰性强、探测深度大等优点,已经被应用在火区、断层、陷落柱以及采空区的探测中.分析了活性炭测氦法探测煤矿采空区的理论依据,给出了利用活性炭测氦法、结合瞬变电磁法探测古交市南岩村山鑫煤矿采空区的应用实例,进一步证实利用活性炭测氦法探测煤矿采空区是可行的.

3. 期刊论文 [杨建军](#), [申燕](#), [刘鸿福](#), [YANG Jian-jun](#), [SHEN Yan](#), [LIU Hong-fu](#). [测氦法和瞬变电磁法在探测煤矿采空区的应用](#) -[物探与化探](#)2008, 32(6)

介绍了活性炭测氦法探测采空区的基本原理.用测氦仪器测量其氦的衰变子体放射出伽马射线的强度,从而了解氦气浓度的高低,便可知采空区的位置.根据采空区的地球物理特征,利用瞬变电磁法,通过分析拟视电阻率断面图,准确地探测出了采空区的位置.以探测山西省西山煤电集团有限公司东曲矿采空区为例,来说明活性炭测氦法和瞬变电磁法在探测采空区是可行的.

4. 会议论文 [史小报](#), [焦广旭](#), [申文栋](#), [周洪亮](#). [输电线路杆塔基础下采空区物探方法有效性分析](#) 2008

采空区给人类生产和生活带来危害,采空区的探测已成为重要研究课题.本文简单介绍了采空区的地球物理特征,对采空区探测的各种物探方法,从密度、电性、应力等方面进行分类并做了介绍.提出瞬变电磁法、高密度电法和测氦法是适宜于带电输电线路杆塔基础下采空区探测较为经济、快速、准确的方法.并采用瞬变电磁法和高密度电法探测了某带电输电线路杆塔基础下采空区结构,并进行了有效性分析.

5. 期刊论文 [史小报](#), [焦广旭](#), [申文栋](#), [周洪亮](#), [马月琴](#), [SHI Xiao-bao](#), [JIAO Guang-xu](#), [SHEN Wen-dong](#), [ZHOU Hong-liang](#), [MA Yue-qin](#). [杆塔基础下采空区物探方法有效性分析](#) -[山西电力](#)2009, ""(1)

介绍了采空区的地球物理特征,对采空区探测的各种物探方法,从密度、电性、应力等方面进行分类并做了介绍.提出瞬变电磁法、高密度电法和测氦法是适宜于带电输电线路杆塔基础下采空区探测较为经济、快速、准确的方法.采用瞬变电磁法和高密度电法并对探测的某带电输电线路杆塔基础下采空区结构进行了有效性分析.

6. 期刊论文 [孙恒战](#). [浅析煤田地质灾害勘查技术的分析](#) -[中小企业管理与科技](#)2008, ""(29)

采煤活动引发了很多地质灾害,根据其表现出的地球物理特征,能够利用高密度电阻率法、瞬变电磁法、测氦法等物探方法勘查多种煤矿地质灾害,查明灾害的影响范围,以便于及时采取措施进行防治,将灾害减小到最小.

7. 期刊论文 [马志飞](#), [马海明](#), [MA Zhi-fei](#), [MA Hai-ming](#). [物探方法在煤矿地质灾害勘查中的应用](#) -[中国矿业](#) 2008, 17(9)

采煤活动引发了很多地质灾害,根据其表现出的地球物理特征,能够利用高密度电阻率法、瞬变电磁法、测氦法等物探方法,勘查多种煤矿地质灾害,查明灾害的影响范围,以便于及时采取措施进行防治,将灾害减小到最小.

8. 期刊论文 [马志飞](#), [王祖平](#), [刘鸿福](#), [MA Zhi-fei](#), [WANG Zu-ping](#), [LIU Hong-fu](#). [应用综合物探方法探测煤矿采空区](#) -[四川地质学报](#)2009, 29(1)

采煤活动造成的地下采空区会引发地表沉降等严重的地质灾害,影响人们正常的生产和生活活动.根据煤矿采空区表现出来的地球物理特征,能够利用高密度电阻率法、瞬变电磁法、地震勘探、测氦法等物探方法探测其位置和范围.选择两种或两种以上的方法组合,可以实现优势互补,提高物探的解释精度.

9. 期刊论文 [刘建国](#), [靳月文](#), [崔春香](#), [LIU Jian-guo](#), [JIN Yue-wen](#), [CUI Chun-xiang](#). [泽州县下村周边煤矿采空区综合物探勘查](#) -[山西煤炭](#)2010, 30(4)

根据煤矿采空区地球物理特征,利用高密度电阻率法、瞬变电磁法、地震勘探、测氦法综合物探方法探测其位置和范围,取得了较为理想的勘查效果,指出了选择两种或两种以上的方法组合,可以实现优势互补,提高物探勘查的解释精度.

## 引证文献(2条)

1. [姚慧敏](#), [王志刚](#). [藁县山前土壤氦浓度与断裂和地热关系研究](#)[期刊论文]-[地质调查与研究](#) 2009(3)

2. 樊敬亮. 程知言. 胡光云. 董平. 林志刚. 建(构)筑物下管桩长度检测方法[期刊论文]-物探与化探 2007(3)

本文链接: [http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical\\_wtyht200604002.aspx](http://d.wanfangdata.com.cn/Periodical_wtyht200604002.aspx)

授权使用: 卢君实(lujunshi), 授权号: 6fecc492-7f87-40f0-8c3c-9e0100c2d4ec

下载时间: 2010年9月30日