

物探技术在煤田火区探测领域的应用

于长春, 陈斌, 王卫平, 眭素文, 万建华
(中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

摘要: 由于煤矿自燃火灾的火源隐蔽, 给灭火工作带来困难, 因此, 控制煤田自燃火灾的关键是准确探测火区范围及燃烧中心, 为灭火工作提供依据。采用物探方法进行火区探测, 不仅速度快, 而且还能够确定火区燃烧中心位置。钻探验证结果表明, 依靠磁法确定火区着火点深度误差小于 20%。

关键词: 煤火; 物探; 磁法; 反演

中图分类号: P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2007)S0-0047-04

物探技术主要指磁、电、放射性、重力、地震等方法用于勘探地质目标的技术。近年来, 随着物探方法理论、计算机软硬件技术、仪器研制与更新等方面飞速发展, 物探在军事、重大工程建设的选址、环境评价与综合治理决策、土质评价、考古等许多新领域获得应用。今后随着国民经济飞速发展, 资源、灾害和环境问题越来越突出, 物探将发挥更大的作用。

地下煤层自燃, 是指埋藏在地下的煤层因自燃或人为因素引燃后, 逐步蔓延发展形成规模较大的煤田火灾(简称煤火)。地下煤层自燃是一种自然灾害, 美国、澳大利亚等世界上许多国家都存在着严重的煤田火灾问题。我国也是地下煤层自燃灾害十分严重的国家, 在我国北方煤田自燃的现象已有很长的历史, 国家每年损失近百万吨的煤炭资源。煤火不仅造成大量煤炭资源的损失, 同时也破坏了生态环境, 造成大气污染, 影响了煤田火区人民群众生产和生活质量。

近年来, 世界各国在治理地下煤火方面作了大量的工作, 但是地下煤火的分布和发展状态十分复杂多变, 而有效地探测煤火的分布位置、燃烧状态、埋深和供氧通道等信息一直是世界性难题。

2003 年, 中国和德国两国政府启动了科技合作项目——“中国北方煤火探测、灭火与监测新技术研究”项目, 2004 年, 国家高科技发展计划(863)启动了“地下煤层自燃遥感与地球物理探测关键技术研究”课题, 2003 年, 中国地质调查局启动了“物探技术在新领域的应用研究”项目。这些项目的开展

为物探技术在煤火探测新领域的技术发展提供了物质保障和技术进步的基础, 也取得了较好的科技成果。

1 内蒙古乌达火区概况

内蒙古乌达煤矿区是煤火探测主要研究区。乌达煤田处于鄂尔多斯盆地西缘, 属华北石炭、二叠系煤田。乌达煤田燃烧时间长, 面积广, 损失大, 环境污染严重。从 1978 年乌达矿区的苏海图煤矿井下采空区出现火区以来, 至 2005 年初, 共形成 16 个火区, 火区总面积达到 349.6 万 m²。目前, 由于缺乏必要的灭火工程以及废旧小煤窑巷道不断被发展中的煤火相互贯通, 乌达煤田煤层自燃趋势仍在继续扩大。

2 室内分析测试

地下煤层自燃经历了升温、持续高温、降温等过程, 靠近煤层的顶底板、矸石等岩石也经历了同样的过程。这一过程中岩石物性变化直接关系到物探能否探测煤火的依据问题。

研究过程中, 对 18 块岩石样品跟踪测定了在无氧、有氧条件下加、降温过程中的磁性变化, 对 10 块岩石样品跟踪测定加温过程中的电阻率变化, 野外将未烧变岩石放入高温裂隙中模拟煤火自燃加、降温过程并测量加温前后的磁性变化, 野外烧变岩露头磁性测定, 钻孔取样测定地下烧变岩磁性。

试验室磁性跟踪测定方法: 将乌达煤层顶底板

收稿日期: 2007-10-10

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)课题(2003AA131100); 中国地质调查局项目(1212010360201、200320120002、1212010560202)资助

岩样加工成 2 cm × 2 cm 的立方体,在室温下测得样品的磁化率和磁化强度,之后把这些样品放入到加热仪器中加热到所需要的温度,再把把这些样品放在地磁场里降温至室温,分别测定其磁化率和剩余磁化强度(图 1)。

选择岩样新鲜面,抽取直径 6 mm、高度 30 mm 的圆柱,在中国科学院地球化学研究所地球深部物质与流体作用实验室完成高温条件下的电阻率测定,测试结果见图 2。

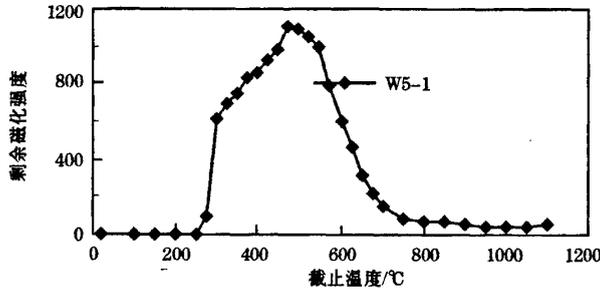


图 1 乌达岩样剩余磁化强度与截止温度的关系

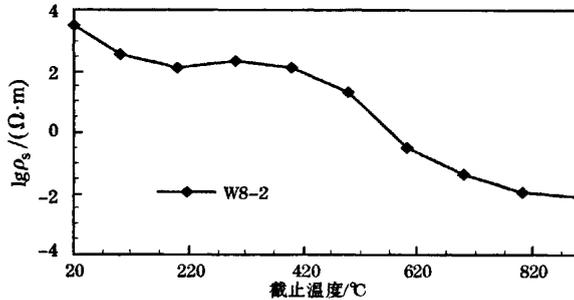


图 2 乌达岩石样品 $lg\rho_s$ 与截止温度的关系

结果表明,岩石标本加温到 500 °C 后的磁性显著增强了,可达原值的几十倍甚至上千倍(野外实测剩磁最大达 3.14 A/m,磁化率最大达 $30\,000 \times 10^{-5}$ SI),增强的原因是产生了新的强磁性矿物(磁铁矿等)。烧变岩剩磁方向基本与区域地磁场一致,无反磁化现象。石英砂岩样品加温到 500 °C 后,随温度增加电阻率呈降低趋势,在 900 °C 左右电阻率趋近于零。

在系统分析了上述自然区岩石物性特征基础上,认为在地下煤层自燃的形成阶段,由于围岩温度较低(小于 200 ~ 300 °C),一般不会形成明显的磁异常,但多数情况下可能出现电阻率升高或异常;在地下煤层自燃的发展阶段,随着温度的不断升高(大于 500 °C),烧变岩体的形成可能出现磁异常和低电阻率异常;在煤火熄灭阶段,退温后的烧变岩可引起较强的磁异常。

3 野外物探测量

在乌达地区开展了磁法、地面磁化率测量、氦气、米测温、高分辨地电阻率、高密度电法、四道伽马

能谱、瞬变电磁法等地面物探方法的测量工作。各个方法剖面横跨了煤田着火区、无火区及熄灭区,并在重点火区块连续进行了 3 年磁法和伽马能谱监测,获得了火区燃烧发展引起物理场变化的详细资料。

首次使用国际先进的直升机吊舱式磁、电磁系统在内蒙乌达完成了 1: 5 000 大比例尺煤火探测工作。直升机吊舱系统由于测量仪器探头平均离地高度仅为 49 m,获得的航空物探异常与地面物探测量结果对应较好,在一定程度上可以取代地面磁、电法测量,减少了煤火区开展物探工作的危险性,提高了勘查速度,因此在煤火勘探工作方面具有很好的应用前景。

野外航磁异常踏勘结果表明,航磁异常与火区相关性可达 71% 以上。通过航磁、航电资料对比分析,可识别出地球物理前提较好的地下煤层自燃的异常。通常,同时出现航磁异常和航电异常时,该类异常由地下煤层自燃引起的可能性最大,燃烧的规模较大且可能还在燃烧之中;当只有高电阻率异常而无航磁异常时,可能是地下煤层燃烧时间不长且

规模较小,尚未达到形成烧变岩以致引起磁异常的阶段,但也可能是其他地质原因引起;当只有航磁异常而无高电阻率异常时,有可能是地下煤火已经熄灭且恢复到常温状态。如果和 ASTER 等遥感资料提取的热异常信息进行综合对比分析,则识别煤火异常的效果更佳。

对同一火区,采用不同时间的磁法测量,根据磁异常特征的变化可以探测地下煤层自燃的发展趋势。

4 反演解释方法

以航磁、航电、地面物探资料为基础,进行了磁场的2度半多边形人机联作反演、三维反演、频率域场的功率谱计算、水平梯度极大值、电法的电性体反演、放射性的氡气深度反演方法等确定地下燃烧体的位置、深度及分布范围的研究,开展了地面磁法水

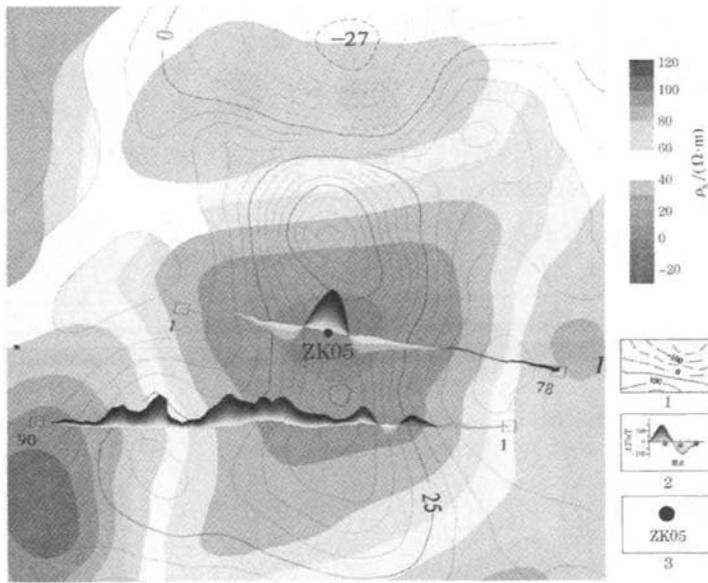
平梯度和垂直梯度方法圈定火点边界试验。

通过对试验区物探资料的综合解释,初步建立了地下煤层自燃不同阶段的异常解释模式,为快速查明地下煤层自燃的分布情况及燃烧状态提供了新的手段。

经钻孔验证磁反演结果,ZK01 对应的地磁反演深度为 13 m,钻孔遇到烧变岩深度为 14 m;ZK04 对应地磁反演的深度为 26~27 m,钻孔遇到烧变岩深度为 24 m。航磁由于 GPS 测高误差的影响,反演精度低于地磁结果。

5 钻探验证

在乌达矿区完成了 5 处钻孔取样工作,获得了地下烧变岩顶深、燃烧状态、磁性特征等资料。布设的钻孔位于煤田的无火区、着火区和熄灭区。图 3 为钻孔位置与航空 ρ_v 、 ΔT 、地磁叠合比较。



1—航磁异常;2—地磁异常;3—钻孔位置

图3 ZK05 位置及航空视电阻率、航磁异常、地磁叠合

钻孔勘探结果与室内推断结果基本吻合:①无磁和高视电阻率异常,但有氡气异常,钻探证明存在热异常,如 ZK02;②高磁和低视电阻率异常,钻探证明死火区或无火区,如 ZK03、ZK04、ZK05(图 3);③有磁和高视电阻率异常,钻探证明有火,且存在热异常,如 ZK01。烧变岩顶深计算误差小于 20%。

6 结论建议

(1)采用物探方法能够实现地下煤田着火点有效探测。空中以直升机吊舱式磁、电磁系统完成火

区勘查;地面以高精度地面磁法为主,辅以氡气测量、电法、地面米测温等方法完成地下煤层自燃探测工作。

(2)建议在我国开展煤田着火状况调研工作,并选择合适地区开展航空物探火区勘测工作,为火区灭火和监测提供基础资料。

参考文献:

- [1] 熊盛青,陈斌,于长春,等. 地下煤层自燃遥感与地球物理探测技术[M]. 北京:地质出版社,2006.
- [2] 眭素文,于长春,姚长利. 起伏地形剖面重磁异常半智能处理

- 解释软件及应用[J]. 物探与化探,2004,28(2).
- [3] 潘永信,朱日祥,刘建明. 菱铁矿氧化过程中化学粘滞剩磁特征及其古地磁学意义[J]. 中国科学(辑D),2000.
- [4] 阎述. 高分辨地电阻率法探测地下洞体[M]. 北京:地质出版社,1996.
- [5] 于长春,郭志宏,眭素文. 航空物探领域的 GIS 开发与应用[J]. 物探化探计算技术,2003,25(1):39.
- [6] 朱晓颖,于长春,熊盛青,等. 磁法在煤火探测中的应用[J]. 物探与化探,2007,31(2):115.

APPLICATION OF GEOPHYSICAL TECHNIQUES TO COAL FIRE EXPLORATION

YU Chang-chun, CHEN Bin, WANG Wei-ping, SUI Su-wen, WAN Jian-hua

(China Aero geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: Coal fire makes a great loss of coal resources and a great destruction of ecological environment, and the fire extinguishing is very difficult because of the invisibility of fire sources. Consequently, a crucial thing of controlling the coal fire is to detect the coal fire areas and to determine the burning centers. Now a days, engineering exploration is expensive and remote senses techniques can only underline the bound of coal fire. In this paper a fast geophysical method is put forward, which can not only detect the coal fire area but determine the burning centers. Drilling results proves that the errors of calculated depths by the geophysical method is less than 20%.

Key words: coal fire; geophysical exploration; magnetic methods; inversion

作者简介: 于长春(1964-),男,汉族,博士。现为中国国土资源航空物探遥感中心教授级高工,主要从事航磁方法技术研究工作。Email: bjycc@agr.cn; Tel: 13641102229.