

内蒙古乌达地区地球物理场特征与地下煤火分布

王卫平, 于长春, 方迎尧, 万建华, 肖刚毅, 吴成平

(中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

摘要: 以2004年内蒙古乌达地区1:5 000大比例尺的直升机航空电磁、磁综合测量资料为基础, 结合地面煤田地质、物探、遥感等资料, 对内蒙古乌达地区的航空磁场特征、航空电磁场特征与地下煤火分布的关系进行了分析与研究, 在综合分析的基础上, 建立了该区的地下煤火划分标志, 并对该区的地下煤火分布和燃烧状况进行了分析和圈定。

关键词: 吊舱式直升机电磁测量; 地球物理特征; 地下煤火

中图分类号: P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2007)06-0551-05

地下煤火在我国西部地区广泛分布, 不仅造成自然资源的严重浪费, 而且对生态环境也造成很大影响。由于煤火自然区分布范围较大, 地形条件和地下情况比较复杂, 地面勘探工作困难且比较危险。为了寻找一种快速圈定煤火分布的有效方法, 中国国土资源航空物探遥感中心于2004年8~9月在内蒙古乌达煤田地区进行了1:5 000比例尺的吊舱式直升机频率域航空电磁、磁综合测量, 共完成测线工作量2 583 km, 测线间距50 m, 采样率30次/s, 测量覆盖面积109.5 km²。

乌达煤田处于一个古生代向斜内, 该向斜的中部苏海图煤矿至查干浑迪, 呈近SN向分布着二叠系沉积地层, 岩性为细至粗粒砂岩、砂质页岩、黏土岩和煤层组合而成。乌达煤田燃烧时间长, 面积广, 损失大, 环境污染严重。1958年开始建井, 1961年苏海图煤矿井下9号、10号高硫煤自燃, 从1978年开始苏海图煤矿井下采空区先后形成IV-1、IV-2等6个地面火区。1985~1995年, 乌达煤田开采量压缩, 小煤窑开采形成10个煤田火区, 采空区形成8个煤田火区。2004年12月“乌达煤田火区详查补充报告”中划定16个火区(见图1黑色粗线范围), 火区总面积达到349.6万m²。

通过本次测量的航空磁场、航空电磁场与地面圈定的地下煤火区范围进行对比分析, 发现航空磁场、航空电磁场与地下煤火分布关系密切, 通常表现为磁性高、电阻率高(局部可能为低阻), 而且不同强度磁性, 不同高低电阻率的组合特征, 反映了地下

煤火的不同燃烧阶段。在综合分析航空磁测、航空电磁、地面异常查证、煤田地质、遥感热红外资料的基础上, 建立了该区地下煤火的划分标志, 并对该区的地下煤火分布和燃烧状况进行了划分, 为该区较为全面地研究地下煤火提供了依据。

1 航空磁场特征与地下煤火

该区航磁 ΔT 区域背景场比较平静, 总体表现为东北高, 西南低的变化趋势, 并且在此区域磁场背景上分布有2条明显的近南北向弧型局部异常带, 以及东部地区的相对杂乱局部异常区。通过航磁异常与2003年12月宁夏煤田地质勘查院在乌达煤田圈定的地下煤火区进行对比, 发现2条近南北向的航磁异常带与圈定的地下煤火区大部分吻合, 而东部地区的相对杂乱局部异常区为村镇、厂矿和其他地表干扰体引起(图1)。

分析认为, 与地下煤火燃烧有关的航磁异常大多分布在二叠系和石炭系地层内, 由野外岩石磁化率测定和室内岩石温度测试结果可知, 凡未经过煤火燃烧或烘烤的原岩, 磁化率大多小于 20×10^{-5} SI, 呈极弱磁性或无磁性特征; 由煤层燃烧而使原岩变质的烧变岩, 除个别磁性较弱外, 其磁性大多在 $(1\ 500 \sim 5\ 000) \times 10^{-5}$ SI范围内, 个别可达 $(7\ 000 \sim 30\ 000) \times 10^{-5}$ SI; 而距离煤火稍远地带或煤火燃烧温度偏低而受到烘烤的岩石称为烘烤岩石(尚未达到烧变岩程度), 磁化率则比烧变岩弱, 磁化率值多在 $(20 \sim 1\ 400) \times 10^{-5}$ SI范围内, 平均 348×10^{-5}

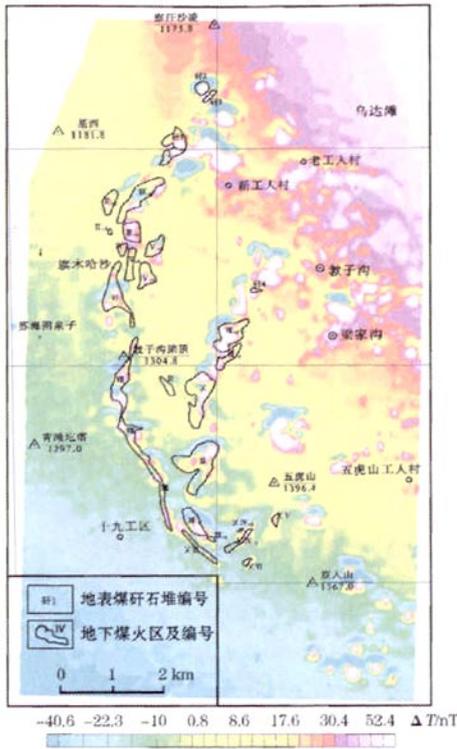


图1 乌达煤田区2004年航磁局部异常与2003年地面确定的煤火区对比

SI。由此可见,地下煤层燃烧可形成不同强度的航磁局部异常,在排除地表干扰引起的航磁异常外,通常由地下煤火产生的烧变岩或烘烤岩引起。

2 航空电磁场特征与地下煤火

根据以往地面电法在地下煤火分布区的探测结果,认为正在燃烧的煤层由于产生碳青质或含碳率增加而使电阻率明显降低。与此同时,通过煤火烘烤的围岩,当温度超过 500℃ 时,电阻率也明显降低,这一点已经在实验室得到证实。但另一方面,由于煤层燃烧产生空洞(或空洞群)、塌陷和裂隙,以及一定范围内的围岩脱水(本区多数为砂岩),在宏观上可能会产生高阻效应。也就是说,正在燃烧的地下煤火分布区应该具有低阻和高阻相伴生的电性分布特征,这一点已经从2006年9月地面电磁法测量中得到证实(如图2e中剖面100~500 m之间低阻体与高阻体的分布特征)。由于煤层自燃需要氧气的供给,因此地下正在燃烧的煤层通常较薄(也就是说温度超过 500℃ 或含碳率增加导致电阻率降低的煤层较薄,据推测仅有 1~2 m 厚),同时对围岩烘烤超过 500℃ 的低阻围岩的厚度也不大(根据温度梯度估算,该低阻围岩厚度不会超过 5 m)。也就是说,煤层燃烧产生的低阻层厚度相对较

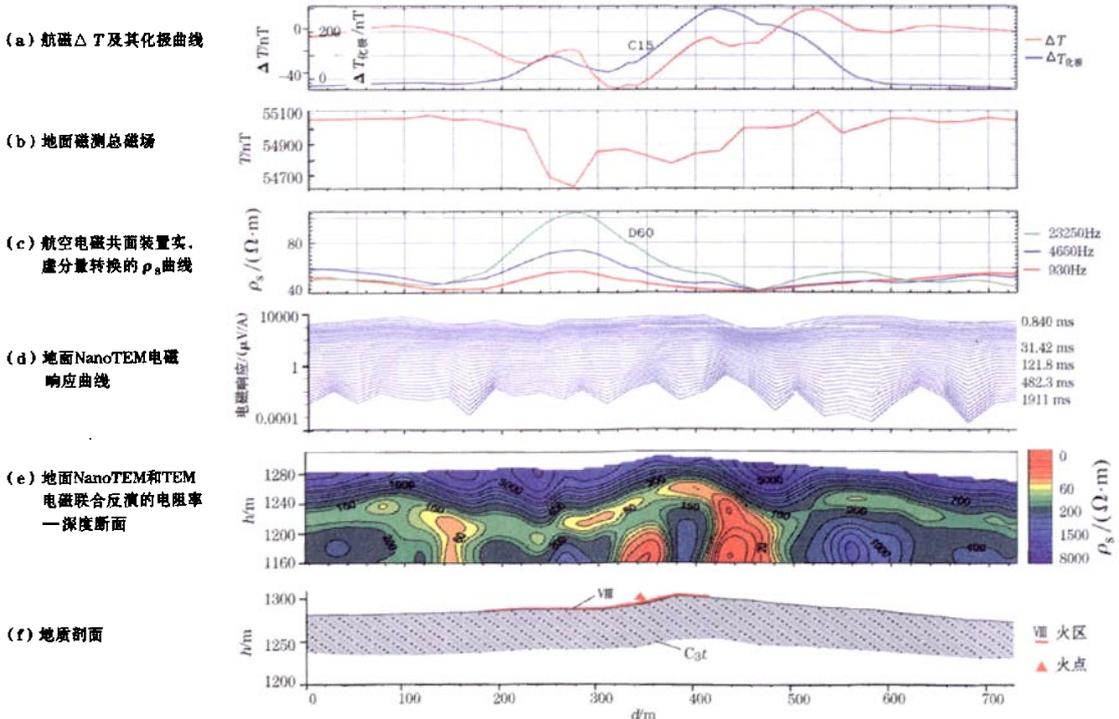


图2 8号火区中北部勘查区1号线综合剖面

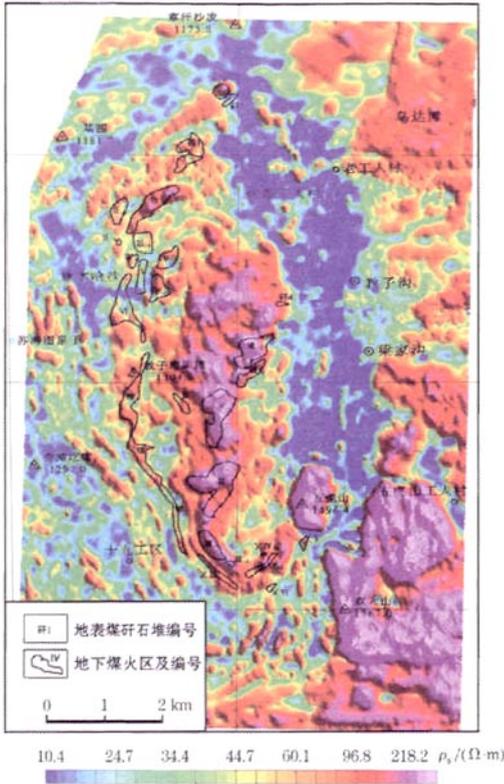


图3 乌达地区航空电磁 23250Hz 视电阻率与地下煤火分布关系

薄,而在地下煤火燃烧的中晚期以及死火区,煤层燃烧产生的空洞(或空洞群)、塌陷和裂隙的范围却较大(如图 2e 中 150~300 m 之间浅部高阻体)。

通过宁夏煤田地质勘查院地面勘查(2003 年)圈定的 16 个地下煤火分布区与本次各频率航空电磁实、虚分量转换的视电阻率图进行对比(图 3),认为地下煤火区以低电磁响应、高电阻率为主要特征,只有正在燃烧的地下煤火具有一定的规模时,才可能在局部地段产生高航空电磁响应和低电阻率特征。如图 2,地面查证 1 号线 150~300 m 之间的航空电磁呈高电阻率特征,并有磁异常反映,而在剖面 450 m 左右由于地下煤火燃烧范围相对较大,航空电磁呈相对低电阻率,并有较强的磁异常反映。通过分析认为,地下煤火区通常以高阻为主要特征,电阻率的相对高低取决于地下煤火的不同燃烧阶段,即绝对高阻区可能显示地下煤火燃烧时间较长,裂隙、塌陷、空洞(群)较为发育(如图 3 中部编号为 VII、XI、X 号火区);而相对高阻区可能为燃烧时间不长或处于燃烧发展阶段的地下煤火区,即裂隙、塌陷、空洞不够发育(如图 3 中西部编号为 VIII 号火区)。关于高阻区域范围与宁夏煤田地质勘查院圈

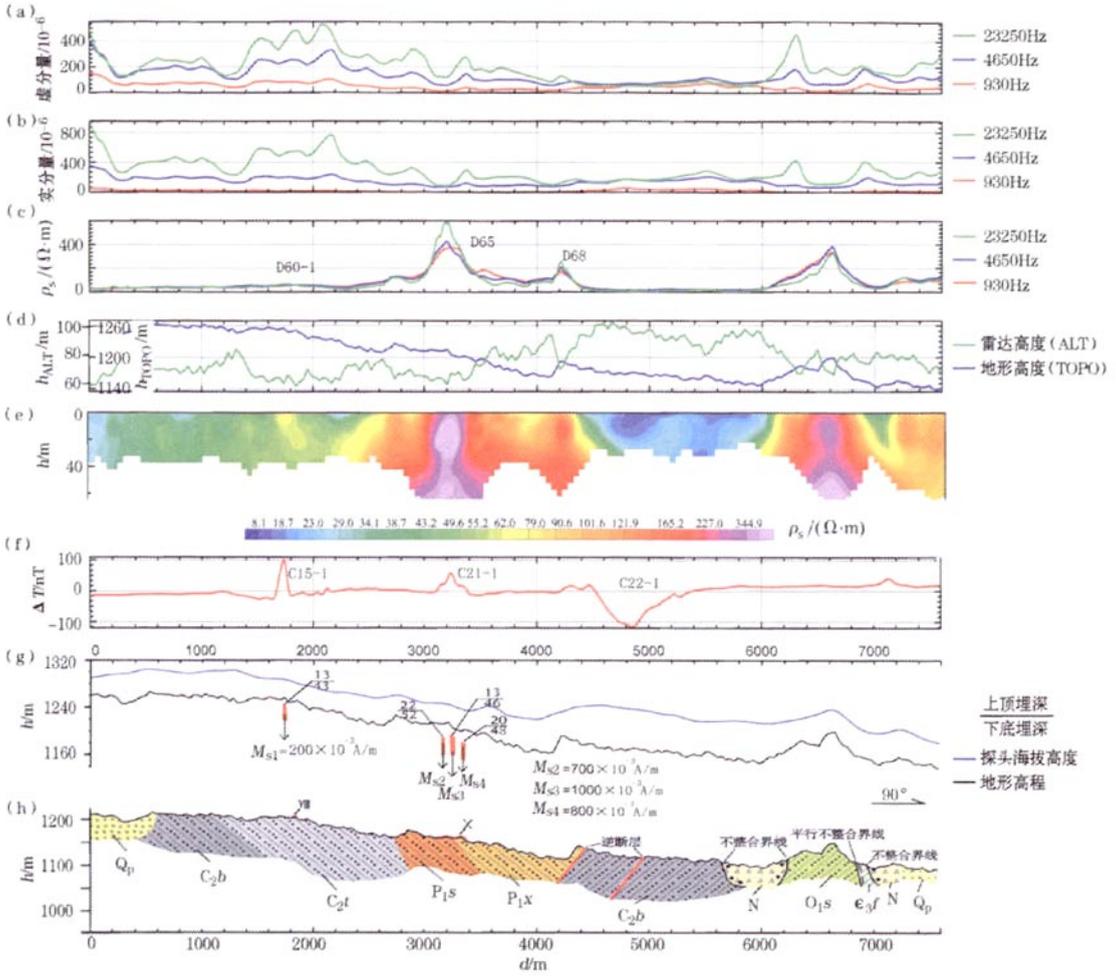
定的地下煤火区范围的局部不吻合,可能是由于观测时间不同,观测方法不同,以及地面勘查(主要是根据地表情况或明火的分布情况)对隐伏地下煤火区推测不够准确所致。

3 综合分析

以 L2220 航空测线综合剖面为例(见图 4,其他剖面也具有类似的特点),分析地下煤火区的航空磁场、航空电磁以及遥感热红外特征。综合对比航空电磁、航磁异常曲线,在剖面 3 000~3 400 m 处存在明显的航空电磁响应低(D65, ρ_s 为 400~600 $\Omega \cdot m$),中等强度的磁异常(C21-1),为 10 号地下煤火区在本剖面的反映。通过电磁定量解释,地下煤火宽度约 150~200 m,从地表向下延深约 35 m,电阻率值大于 300 $\Omega \cdot m$ (图 4e),并存在 3 个近似直立、厚度较薄的磁性体,磁化强度 $M_s = (700 \sim 1\,000) \times 10^{-3} A/m$ (图 4g)。地下高阻体为地下煤火燃烧产生的裂隙、塌陷、空洞(群)引起,而 3 个厚度较薄的磁性体为地下煤火产生烧变岩的反映。该地下煤火区范围相对较大,具有高电阻率和高磁性,并有明显的遥感热红外异常,为典型的燃烧时间较长的地下煤火区。在剖面 1 800 m 处存在相对高电阻率异常(D60-1, $\rho_s = 70 \Omega \cdot m$,背景 40~50 $\Omega \cdot m$),中等强度的磁异常(C15-1),有遥感热红外异常显示,为 8 号火区在本剖面的反映。通过电磁定量解释,地下煤火宽度约 100 m,从地表向下延深约 10 m, ρ_s 在 60 $\Omega \cdot m$ 左右,并存在 1 个近似直立、厚度较薄的磁性体, $M_s = 200 \times 10^{-3} A/m$ 。规模不大的相对高阻特征表现为地下煤火燃烧时间不长,还未形成具有一定规模的裂隙和空洞(群),而中弱磁性的高温烘烤岩石或烧变岩也反映了地下煤火燃烧时间不长的特点。4 200 m 处的相对高阻电磁异常(D68),对应弱磁异常(对应局部地形高),经地表观察为燃烧的煤矸石堆的反映。6 300~6 800 m 处的高电阻率异常,无明显的磁异常反映,无明显的遥感热红外异常,在地质剖面上对应奥陶系(O_1s),认为这是高阻的奥陶系地层的反映。而 C22-1 航磁异常为五虎山矿地表干扰体的反映。由此可见,地下煤火区与非煤火区的航磁、航空电磁,以及遥感热红外组合特征具有明显的差异。

4 地下煤火分区

根据乌达地区地下煤火区的煤田地质、航空物探、遥感热红外特征分析,建立了本区地下煤火的划分标志:①具有磁性高、电阻率高(局部有可能电阻



a—电磁虚分量曲线;b—电磁实分量曲线;c— ρ_s 曲线;d—高度曲线;e—视中心算法计算的 ρ_s 剖面;f— ΔT 曲线;g— ΔT 正演拟合结果;h—地质剖面,其中 Q_p 为第四系,N 为新近系, P_{1s} 为二叠系下统山西组, P_{1x} 为二叠系下统下石盒子组, C_{2b} 为石炭系中统本溪组, C_{2t} 为石炭系中统太原组, O_{1s} 为奥陶系, ϵ_{3f} 为寒武系上统凤山组,Ⅶ、X 表示 2003 年地面勘查确定的火区编号。

图 4 L2220 线综合剖面解释对比

率低)的航磁、航空电磁组合异常特征;②具有磁性高、遥感热红外组合异常特征,但航空电磁异常特征不明显;③具有电阻率高、遥感热红外组合异常特征,但航磁异常特征不明显。另外,煤矸石堆的划分依据除参考以上地下煤火的划分标志外,还包括局部地形高,以及实地踏勘结果。

根据内蒙古乌达地区地下煤火区的划分标志,本次总共圈定地下煤火区 22 处(图 5),其中 16 处与宁夏煤田地质勘查院地面圈定的地下煤火区基本吻合或部分吻合,其他(XⅦ~XⅫ)是本次工作新圈定的地下煤火区;圈定煤矸石堆 11 处,其中 4 处与宁夏煤田地质勘查院地面圈定的煤矸石堆基本吻合或部分吻合,其他为本次工作新圈定的煤矸石堆。

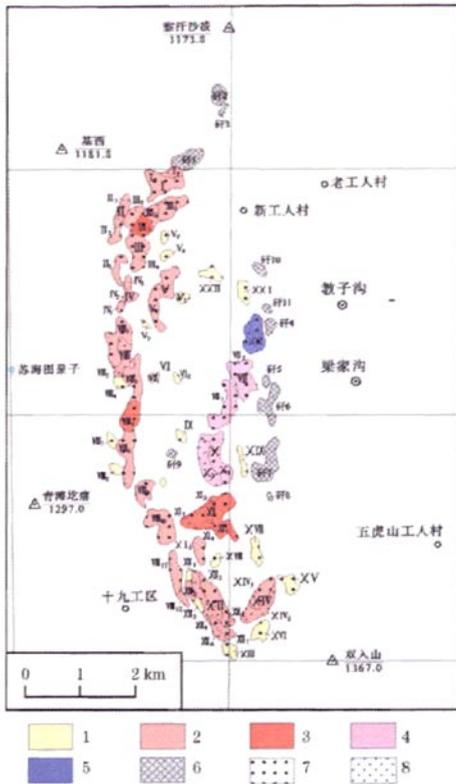
为了研究地下煤火区的燃烧状态或燃烧阶段,

根据地下煤火区的地质、航空物探、遥感热红外特征,将本区的地下煤火区划分为 5 个燃烧阶段,其中包括地下煤火燃烧初期、燃烧中早期、燃烧中期、燃烧中晚期,以及死火区(图 5)。

(1) 燃烧初期:相当于地下煤火的自然阶段或燃烧早期,多有较弱的磁异常反映(通常小于 50 nT),具有较弱的遥感热红外异常分布,电磁异常特征不明显。

(2) 燃烧中早期:相当于地下煤火燃烧发展阶段的中早期,地表存在裂隙,有正在燃烧的明火点分布。有中弱(50~100 nT)或中等强度(100~200 nT)的磁异常反映,航空电磁反映为相对高阻(视电阻率 60~100 $\Omega \cdot m$),具有遥感热红外异常分布。

(3) 燃烧中期:相当于地下煤火燃烧发展阶段



1—燃烧初期;2—燃烧中早期;3—燃烧中期;4—燃烧中晚期;5—死火区;6—煤矸石堆;7—烧变岩;8—无烧变岩

图5 乌达地区直升机航空物探推断地下煤火区分布

的中期,火势最旺。地表裂隙、塌陷较为发育,正在燃烧的明火连片分布。有中等和中强磁异常(100~250 nT)反映,航空电磁反映为高阻(视电阻率100~200 $\Omega \cdot m$),有时存在局部低阻体(视电阻率10~40 $\Omega \cdot m$),具有明显的遥感热红外异常分布。

(4)燃烧中晚期:相当于地下煤火的熄灭降温阶段。地表裂隙、塌陷较为发育,地表明火分布较少。有中强和强磁异常(150~300 nT)反映,航空电磁反映为绝对高阻(视电阻率在200 $\Omega \cdot m$ 以上),具有遥感热红外异常分布。

(5)死火期:地下煤火已经熄灭。地表裂隙、塌陷较为发育,并有强磁异常反映,航空电磁反映为绝对高阻。地表观察无明显火或烟雾冒出。

5 结论

(1)该区航空磁场、航空电磁场特征与地下煤火区分布关系密切,并且不同燃烧状况或燃烧阶段的地下煤火区,具有不同的航磁异常、航空电磁异常,以及遥感热红外组合特征。

(2)建立了该区地下煤火区的划分标志,并对该区地下煤火分布和燃烧阶段进行了划分,为在该区较为全面地研究地下煤火提供了依据。

(3)实践证明,利用吊舱式直升机电磁、磁综合测量,在内蒙古乌达地区探测地下煤火分布是有效的,建议对我国其他地下煤火分布地区也进行类似的航空物探调查。

参考文献:

- [1] 徐宏武. 煤层电性参数测试及与煤岩特性关系的研究[J]. 煤炭科学技术, 2005, 33(3).
- [2] 蔡忠勇. 关于煤田火区勘探问题的探讨[J]. 西部探矿工程, 2001, (5).
- [3] . Yang Bo, Chen Yunhao, Li Jing, et al. Simple Normalization of Multi-temporal Thermal IR Data and Applied Research on the Monitoring of Typical Coal Fires in Northern China[C]. ICRASS, Korea, 2005.

GEOPHYSICAL CHARACTERISTICS AND UNDERGROUND COAL FIRE DISTRIBUTION IN WUDA AREA, INNER MONGOLIA

WANG Wei-ping, YU Chang-chun, FANG Ying-yao, WAN Jian-hua, XIAO Gang-yi, WU Cheng-ping

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

Abstract: Based on the data obtained from the 1: 5 000 helicopter electromagnetic and magnetic comprehensive survey in 2004, in combination with ground coal geology as well as geophysical prospecting and remote sensing information, the authors studied the relationship between the aeroelectromagnetic or aeromagnetic characteristics and the distribution of underground coal fire in Wuda area, Inner Mongolia. Through a comprehensive analysis, the dividing indexes for underground coal fire of this area were built, and the distribution and burning situation of underground coal fire in this area were analyzed.

Key words: towed bird helicopter electromagnetic system; geophysical characteristics; underground coal fire

作者简介: 王卫平(1963-),男,教授级高级工程师,长期从事航空物探成果解释和方法研究工作,发表论文20余篇。