

地球物理勘查技术的现状与发展趋势

张青杉, 刘彦红

中国冶金地质总局地球物理勘查院, 河北保定, 071051

近年来, 地球物理勘查技术在方法革新、硬件设备、计算机软件等方面有了质的提升。本文从实际应用出发, 重点介绍近 10 年来重、磁、电等物探技术的重大进展及其发展走向, 希冀于读者有所借鉴。

1 地球物理勘查技术现状

1.1 新方法新技术

1.1.1 航空地球物理勘查最新进展

目前较为成熟的航空地球物理勘查技术包括电磁法、磁法、能谱等, 以下仅着重讲述其最新进展。

人工场源航空电磁法主要为航空频域电磁法 (AEM) 及航空瞬变电磁法 (ATEM) 两类, 随着近年来 ATEM 的兴起与成熟, 航空频域电磁法已逐步被舍弃。目前, ATEM 代表公司主要有 GEOTECH、原 FUGRO、原 AEROQUEST 等, 实现方式为固定翼式及直升机吊舱式两种, 发射磁矩较大 (固定翼式多大于 100 万 Am^2 , 吊舱式多大于 15 万 Am^2), 勘探深度可达 500 米, 对低阻地质体反映敏感, 实际应用效果较好。

近年来天然场源航空电磁法悄然兴起, 典型代表为 GEOTECH 公司研发推广的垂向倾子电磁法 (ZTEM)。该方法以几千公里外的雷电信号作为激励场, 由机载水平线圈接收电磁场垂向信号 ($H_z(f)$), 由固定于测区内平静场区的巨型线框测量电磁场水平信号 ($H_x(f)$, $H_y(f)$), 上述三信号间存在 $H_z(f) = T_x(f) \times H_x(f) + T_y(f) \times H_y(f)$ 的函数关系, 其中 (T_x , T_y) 称为倾子, 可采用 FFT 等算法予以解算, 研究分析上述倾子信息则可推断地质体赋存状态。ZTEM 方法的优势在于勘探深度较大, 可达 2000 米或更深, 适合大面积小比例尺地质调查。

航空磁测近年来主要技术突破为大比例尺高精度测量及软补偿技术的成熟应用。目前, 航磁测量已可实现 1:1 万或更大比例尺, 总精度可以达到 2nT 或更高。至于克服飞行器磁干扰的补偿措施, 目前已全面采用软件补偿技术, 即通过测定飞机姿态信息进而计算飞机本身的磁干扰场, 而后将其从观测磁场中去除, 目前此模式的补偿标准差已可达到 0.2nT (RMS 公司的 DAARC500 为软补技术的典型代表), 在此基础上, 已可实现固定翼航磁 (三方位) 梯度测量 (吊舱式航磁梯度测量已于上世纪实现)。

目前国外从事航空重力仪生产的厂家主要为美国 LRS 公司及加拿大微重力公司, 所生产设备分别为 TAGS (或 SYSTEM 6)、GT-2A, RMS 精度已可达到 0.5 mGals, 目前可用于海洋大陆架测量、大规模地质构造填图、较大岩体的圈定等。

1.1.2 地面地球物理勘查的主要进展

近年来地面重力、磁法的应用已趋普及且越加成熟, 地面电法发展则有两点明显突破, 一是由标量测量向矢量、张量测量迈进: 矢量测量不仅应用于 MT、AMT 方法, 现已推广应用于 CSAMT 方法, 随着德国 TXM+ADU-07e 系统的问世, 张量 CSAMT 观测已悄然兴起, 其发射系统与接收系统的巧妙结合使得张量 CSAMT 测量变得不再繁复, 对解决复杂地质问题将更为有效; 至于 IP、CR、RPIP、SIP 等, 观测电场相互垂直的水平分量正被物探工作者所采纳; 二是由单点测量向阵列式测量迈进: 近年来随着 GDP32、V8、Titan 24 等设备的升级换代, 使得一机同时观测多道简便易行, 阵列式 (测点密集分布) 观测得到较广泛应用, 涉及的主要方法包括偶极测深、三极测深、AMT 等。

1.2 硬件设备

与上世纪八九十年代相比, 物探设备在性能、

环境适应能力等方面具有明显提升, 主要体现为以下几点: ①分辨率(灵敏度)更高: 如地面重力仪可达 $0.1\mu\text{Gal}$, 航空磁力仪可达 0.0001 nT , 地面磁力仪可达 0.01 nT , 电法设备模数转换器多为 24 位或更高等等; ②稳定性更强, 在降噪方面采用了增大发射功率、精细补偿、多次叠加、长时观测、低通滤波、时频域转换等诸多方式方法; ③分时更细、采样频率更高、数据量更大; ④环境适应性更好, 更轻便、防水、防震、耐高温、耐寒等。

1.3 软件

随着电子计算机技术的飞跃发展, 地球物理软件业发展突飞猛进, 主要体现为: ①出现了一批国际知名的地球物理软件公司: 如 Geosoft、Encom、PEI、MICROMINE 等; ②数据处理能力显著提升, 处理技术已全面实现了空间域、时间域、频率域、谱域各种处理方法的融合转化, 数据吞吐量显著提升; ③数据图示更直观人性, 实现了三维数据体的完美展示; ④正反演数值模拟技术更成熟, 大部分物探方法已实现了三维正反演计算。

2 地球物理勘查技术的发展趋势

综观当前国内外地球物理勘查技术特点, 笔者认为今后一段时期地球物理勘查技术有向以下几个方向发展的趋势。

2.1 由地面物探向航空物探、航天物探发展

目前航空磁法已实现高精度磁总场测量及三方位梯度测量, 即将实现高精度磁矢量测量、磁张量测量; 航空电磁法已成功推广应用; 无人机航磁及航电(以电台信号为源的音频电磁法)也已成功实现。与地面物探相比, 航空物探有以下三方面优势: ①高速快捷、成本低廉; ②环境适应性好; ③受地形影响小。

卫星磁测精度目前可达 2 nT , 与地面及航空磁测相比, 卫星磁测为实现全球高覆盖率、高精度、高空间分辨率和高时间重复率地磁测量开辟了新的有效途径。利用卫星磁测资料研究全球大地构造已毋庸置疑, 尝试解译研究局部地质构造也已取得一定效果, 相信不久的将来会取得突破。

2.2 由传统的一维、二维物探向三维物探发展

目前针对 IP 等方法, 大多采用沿测线偶极测深、三极深测等装置, 发射极与接收偶极位于同一

测线, 各测线间互不关联, 属二维模式, 不利于三维反演计算。基于此原因, 须尽快推行三维观测模式, 即在与发射电极相关联的设计区域内同时测量各测线测点的电场水平分量(E_x 、 E_y), 由此可实现真正意义上的三维反演, 更准确地推断异常体的赋存状态。

2.3 由面空间数据向体空间数据发展

目前的物探数据采集基本属于线数据或面数据, 即数据按线或面分布, 不能描述位场的空间分布状态, 为减少反演的多解性, 应综合利用体空间数据(航天数据、航空数据、地面数据、测井数据等)进行联合反演, 可有效增加推断解释结果的可靠性。

2.4 由单元信息向多元信息发展

一为单一物探向综合物探发展, 在单一物探方法难以奏效的情况下, 以两种或几种物探方法相搭配, 优势互补, 合理布置, 可以解决复杂生产问题。二为单一手段向地物化遥多方法结合发展, 利用地物化遥多种信息进行联合反演或综合推断解释是提升勘查效果的明智途径。

前人对皖浙赣相邻区岩浆岩的痕量元素、同位素特征及岩石学特征方面进行了大量的研究(赵海玲等, 2007; 周涛发等, 2003), 研究结果表明皖南、浙西与赣东北地区岩石系列相似, 主要为高钾钙碱性系列, 但是在以下 2 个方面有所区别。① 岩石类型: 皖南、浙西地区相对于赣东北地区岩石类型偏酸性, 皖南、浙西地区主要岩石类型为二长花岗岩和花岗闪长岩, 赣东北主要岩石类型为花岗闪长岩和石英闪长岩。② 岩石化学特征: 皖南、浙西地区相对于赣东北地区岩体富 Si、K, 贫 Mg、Fe、Ca 等暗色物质组分及 Ti、P 等不相容元素组分。③ 岩石成因类型: 皖南、浙西地区主要为 I 型花岗岩, 个别为 S 型花岗岩; 赣东北地区岩石均为 iv 型花岗岩, 无 S 型。皖南燕山期花岗岩和斑岩体、浙西燕山期花岗岩的成岩物质以壳源为主, 源岩中夹有一定的幔源物质^[7]; 而赣东北燕山期斑岩体为幔源岩浆与地壳岩石相互作用的产物或有大量幔源物质的参与, 其原因可能与不同地区的构造背景不同有关^[4,7], 幔源岩浆的直接参与是赣东北地区燕山期与斑岩有关的多金属矿床发育的根本因素。