

文章编号: 1001-1986(2006)03-0065-03

# 煤田水文地质勘探电磁法仪器专业化的思考

王 勇

(煤炭科学研究总院西安分院, 陕西 西安 710054)

**摘要:**随着煤田水文地质勘探任务的复杂化, 以往普遍适用的电磁法勘探仪器也迫切需要面向专业化方向发展。这种专业化的趋势是与勘探目的相适应的, 更是实际中的切实需要。本文针对煤田地质勘探, 特别是华北型煤田水文地质勘探的任务性质、地层电性特点, 提出了TEM仪器大功率、高采样率和CSAMT仪器加密频点、多测站施工的设想, 以适应专业化要求。

**关键词:**煤田; 水文地质勘探; 电磁法勘探仪器; 专业化

**中图分类号:** P631.33      **文献标识码:** A

## Specialization of electromagnetic instruments for coalfield hydro-geological exploration

WANG Yong

(Xi'an Branch, China Coal Research Institute, Xi'an 710054, China)

**Abstract:** With geology exploration complicated, electromagnetic instruments generally used should be of themselves features for different objects, aim and requirement, which is adaptive to the trend of specialization of electric products recently. Furthermore, this is realistic need in practice. This paper puts forward special demands on high-powered, high sampling frequency for TEM and high density frequency and multi-station for CSAMT in accordance with character, electric feature of strata and prospecting task of coalfield exploration, specially with hydro-geological exploration of Northern China type coal field.

**Key words:** coalfield; hydro-geological exploration; electromagnetic prospecting instruments; specialization

### 1 引言

现有电磁法仪器在石油、天然气、环境地质、水文地质勘探等领域中得到了广泛的应用。但是, 当面对具体的勘探任务时, 则显得仪器本身的普遍性有余, 专业性不强。因此, 有必要进一步研制更具针

对性的仪器, 以适应不同领域中的专门需要。这方面, 煤炭科学研究总院西安分院在多年的工程实践中已有所认识。现有仪器的一些性能指标不能满足日益增长的地质任务的需要, 尤其是煤田水文地质勘探中的特殊情况、特殊问题, 需要有相适应的勘探仪器。

收稿日期: 2005-08-26

作者简介: 王 勇(1955—), 男, 重庆市人, 高级工程师, 从事物探仪器的开发与研制。

板的变形均很小。其中, 地表最大位移值为 3.415 mm, 巷道顶板最大位移值为 1.008 mm, 故上部荷载对巷道的变形影响很小。

### 6 结语

a. 利用二维离散单元方法和三维离散单元方法综合评估, 场区范围内现有地下巷道和已规划巷道不会对上部建(构)筑构成威胁, 规划场地可以作为神华煤制油自备电站建设场地。

b. 鉴于场区内的岩性特征, 遇水极易软化, 风化现象严重, 长期强度低, 从安全角度考虑, 场区地下巷道废弃后, 严禁回采巷道两侧的支承臂。建议巷道废弃之后, 进行封巷充填处理。对将要开拓的新巷道需加强支护措施, 防止风化剥落。

c. 建议场区建(构)筑物布置时, 长轴方向应顺着巷道方向 砌体建(构)筑物不宜横跨巷道, 结构选型宜选用对地基沉降有较强适应能力的型式。

d. 地基处理时, 宜尽量采用散体材料桩或垫

层, 垫层宜采取增强抗变形能力措施。

e. 虽然场区范围内现有地下巷道和已规划巷道不会对上部建(构)筑构成威胁, 但地下巷道的存在会在地表引起少量残余变形, 地下水位作用等会引起巷道的变形, 引起地表不均匀沉降, 上部建筑设计时, 应适当增强基础的刚度和整体性。

f. 建议在地表建筑物施工及使用期间, 进行沉降观测, 保证场区建筑物的安全运营。

### 参考文献

- [1] 葛维琦. 中国煤矿采空区塌陷灾害治理对策[J]. 中国能源, 2004, 26(10): 27—30.
- [2] 中国科学技术情报研究所. 出国参观考察报告一波兰采空区地面建筑[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1979.
- [3] 尤申. 采空区建筑物基础设计要点[M]. 郭福君, 刘树滋, 译. 北京: 煤炭工业出版社, 1985.
- [4] 颜荣贵. 地基开采沉降及其地表建筑[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1995.
- [5] 童立元, 刘松玉, 等. 高速公路下伏采空区问题国内外研究现状及进展[J]. 岩石力学与工程学报, 2004, 23(7): 1198—1202.
- [6] 王泳嘉, 邢纪波. 离散元法及其在岩土力学中的应用[M]. 沈阳: 东北大学出版社, 1991.

## 2 煤田水文地质勘探的主要任务

电磁法仪器和勘探方法发展的初期,在煤田地质勘探方面,主要应用于构造、煤层厚度等探测。这方面,地震方法取得了长足的进步,电磁法勘探则更擅长煤田水文地质探测(水文探测恰是地震方法的弱项)。另一方面,我国大多数矿区,已经或者将要进入深部开采阶段,水文地质条件会更加复杂和恶化,特别是华北型煤田,煤系直接坐落在奥陶系灰岩上,由陷落柱向上延伸导致的突水事故时有发生。当开采进行到下组煤时,奥灰水则直接对安全生产构成威胁。为了从浅部到深部全面、立体地保障安全生产,对整个矿区的水文地质情况有前瞻性的把握,各煤矿的探测任务往往从第四系、新近系、古近系新地层的下部含水层、煤系砂岩含水层、石炭系太原组灰岩,到奥陶系灰岩进行深达 800~1 000 m 的探查。在这个深度范围内,要给出相隔仅几十、十几 m 的富水情况平面分布图;探明测区内断层发育延展情况、导水性;直径不小于几十 m 含水陷落柱的分布位置、形态、富含水性。这些,都对现有仪器提出了新的要求。

## 3 对瞬变电磁场仪的要求

瞬变电磁场(简称 TEM)方法由于施工效率高,对低阻体敏感,对施工场地适应性强等特点,现已成为煤田水文物探的首选方法,也取得了很好的效果。但现有 TEM 仪器本身的性能还应进一步提高,以适应新的地质任务的需要。这些要求主要体现在高采样率和大功率两个方面。

### 3.1 高采样率

要分辨相隔十几、几十 m 地质层位的电性差异,首先,使用的仪器要有高的纵向分辨率。对时间域仪器来说,要有足够的时间道,在此基础上才能获得可靠的地质解释结果。如以煤系为例,对每一目的层位理想状况下要有 2~3 个时间道控制,目的层位之间的地层也应有同样数目的时间道控制,其上下还要有相当的延深以获得背景资料和深度控制。这样算来至少需要 50 多个时间道才能满足要求。现有的仪器一般时间道在 20~40 道之间。要增加时间道,先要提高采样率,以及和高采样率相匹配的高速元器件。之所以要这样做,是和时间域测量性质有关。

我们知道,为抑制噪声,频率域仪器可以在每一频点多次接收信号,通过平均、剔除等统计方法取得该频率的观测值。但是在时间域的测量中,时间不

可能在某一时刻停止,因此只能对这一时刻前后几个时刻的接收信号进行统计平均,得到与频率域中类似的效果。以加拿大凤凰公司的 V5 及其升级换代产品 V8 多功能电磁法仪器为例,它的采样率随观测时间的长短总保持在 3 840 个样,然后从早期到晚期先少后多地合成为 20 个时间道。显然,20 道对完成前面所述的地质任务是远远不够的。要增加时间道,并不是简单地从这 3 840 个数据中多取就行的。因为,通过统计的方法压制干扰要有一定的数据量作为基础。要增加道数就要提高采样率,以满足在统计规律前提下给出尽可能多的道数<sup>[1]</sup>。这方面,煤炭科学研究总院西安分院在科技部专项基金项目“建场法多测站系统”24 位 A/D 转换仪器的研制中,设计采样间隔 10  $\mu$ m,在 100 ms 的观测时间中,得到了 9 000 多个样,合成 60 道,不仅得到了较高的纵向分辨率,也提高了观测数据的质量。

当然,纵向分辨率并不是随着采样率的提高无限制地增加,这就是地球物理勘探中的适度性原则,需要注意。

### 3.2 大功率

TEM 方法是纯二次场观测,由此也带来了晚期观测的信号较弱。由于在电流关断后的观测时间内不再供电,地下电磁场能量随着时间的流逝呈指数衰减。当然,衰减的幅度不仅与时间有关,还和地层的电阻率有关。对于华北型煤田,在电流关断后 40 ms,地面观测信号强度衰减 4~5 个数量级,归一化感生电动势(信号)此时仅有十几  $\mu$ V。当测区地表有较厚的低阻覆盖层时,需要更长的观测时间,信号的衰减将更多<sup>[2-3]</sup>。国内已经有人注意到了对大功率 TEM 仪器的需求,如西安物化探研究所、中国地质大学(武汉)业已生产了在单脉冲发射情况下,供以 800~1 000 A 电流的仪器。煤炭科学研究总院西安分院在前述科技部专项基金课题中研制了连续脉冲大功率仪器,发射电流 100~200 A。实验结果表明,观测数据的信/噪比得到了很大的改善。

## 4 对可控源音频大地电磁测深仪器的要求

该方法(简称 CSAMT)探测深度大,分层定厚能力强;可以获得比较准确的基岩和奥灰界面,作为各含水层位的深度标识;能够克服煤层和太原组灰岩等高阻薄层对直流电法造成的屏蔽作用。在华北型煤田水文地质勘探中,CSAMT 与 TEM 方法配合使用,往往能够取得比直流电法与 TEM 配合更可靠的地质效果。

#### 4.1 加密频点

和TEM仪器类似,CSAMT仪器的观测频点也显得比较稀疏,不能提供较高的纵向分辨率。以CSAMT两大主要生产厂商——加拿大凤凰公司的V5(及V8)和美国Zonge公司的GDP32仪器为例,前者为30频点,各频点均以主频发射;后者主频14个频点,加上3次谐波频率共40个频点,还有5次、7次谐波等等,可做更多。但在煤田地质勘探中,主频的信噪比最好情况也只能保持在3~5倍左右。试想一下,信号减少3倍、5倍后将会是怎样的情景。多次的实际勘探工程(包括石油天然气勘探),3次谐波的信/噪比即已显得不够,5次以上的高次谐波则完全不能使用了,实际能用的频点只有14个。因此现有CSAMT仪器的频点需要加密。

频点的设置不仅要增多,还要注意频点分布要疏密得当。从下组煤到奥灰这一段还应有较多的频点控制,这要广泛搜集我国大多数煤矿的地层电性资料,得出规律性的东西,以便合理地确定频率范围、频点加密段,更进一步地研制频率范围和频点设置任意可调的仪器。和TEM时间道类似,CSAMT频点设置,同样要遵循适度性原则。

#### 4.2 多测站观测

CSAMT的施工效率高于直流电法,但远低于TEM。如取1000次迭加,以主频发射并观测30个频点,一个测点耗时仅45分钟,这也是TEM方法近年来迅速推广的重要原因。但是,CSAMT对地层层位深度的把握、特别是奥灰顶界面的探测精度都是TEM方法不能替代的。因此CSAMT仪器又有了主频加谐波方式。主频加谐波确实提高了效率,如迭加1000次,观测40个频点只需完全主频时间的一半,但信噪比迅速降低。因此,提高CSAMT观测效率的出路不应采用谐波的方案,最根本的技术路线还应采用多观测道的方案。

现在国外的两大CSAMT制造商已经采用了6或8道观测,但我们认为还没有考虑到国内的实际情况,一是道数较少,二是有线连接。道数少是因为多道观测主要是为EMAP施工方法设计的,并未过多地考虑高速施工问题。以8h野外作业时间计算,连同搬站、布点,观测,要达到TEM的观测效率最多应能同时观测20道为佳。然而,如果将这20道共40根线与接收机相连,则布点时间会大大延长,甚至抵消多道观测节约的时间。因此,无线联机是必须的。这样做,技术上有难度,但也并不是不能实现的。如凤凰公司的V2000,为大地电磁测深方法制造,接收的信号可以通过通信卫星直接传给室

内解释人员。技术上是可以借鉴的,但更重要的是,应该有设想,有要求,在仪器制造上有新的理念,要根据需要去开发研制。

#### 5 结束语

煤田水文地质勘探的需要,引发了对普遍适用的电磁法勘探仪器的特殊要求。当前提高煤田水文地质电磁勘探方法、探测精度的研究正在进行,如低阻屏蔽层问题<sup>[2-3]</sup>、更好的视电阻率定义与计算方法<sup>[4]</sup>、阴影和场源复印效应<sup>[5]</sup>、场区和记录点<sup>[6]</sup>等问题。理论的发展离不开工程的实践与检验,电磁法仪器则构成了实践的基础。从当前及今后很长一段时间的勘探重点来看,TEM仪器高采样率、大功率,CSAMT仪器加密频点、多测站观测将是提高电磁法探测精度的关键。

随着电子技术的发展,电磁法勘探仪器有了很大的发展,国外的物探仪器在这方面尤为突出。我国物探仪器的生产,经历了仿制、自主研发,购买、引进的道路。比如对电磁法仪器从研制到直接购买,缩短了我国各勘探单位在仪器装备上与世界先进水平的差距,增强了勘探能力。但自主研发要立足于我国煤田的地层特点,满足勘探任务的需要,提出对电磁法勘探仪器的指标要求。至于技术上的问题,可以分两步走:一是向国外定货时,按照我们的需要提出技术指标要求;二是加紧技术储备,自主研发生产。这方面,直流电法仪由于技术上相对简单,先行了一步。现在,国产直流电法仪已完全占领了国内市场。相信当认准了需求和切实的工作之后,我国的电磁法仪器生产也将会走出一条具有中国特色的道路。

#### 参考文献

- [1] 梁爽.瞬变电磁法仪器研制中的噪声抑制问题[J].煤田地质与勘探,2004,32(1):51-54.
- [2] 闫述,陈明生,傅君眉.瞬变电磁场的直接时域数值分析[J].地球物理学报,2001,45(2):275-284.
- [3] 石显新,闫述,陈明生.瞬变电磁勘探中的低阻层屏蔽问题[J].煤炭学报,2005,30(2):160-163.
- [4] 白登海,Maxwell A M,卢健,等.时间域瞬变电磁法中心方式全程视电阻率的数值计算[J].地球物理学报,2003,26(5):697-704.
- [5] Shu Y,Junmei F. An analytical method to estimate shadow and source overprint effects in CSAMT sounding[J].Geophysics, 2004,69(1):161-163.
- [6] 陈明生,闫述. CSAMT勘探中场区、记录点和阴影效应的解析分析[J].地球物理学报,2005,48(4):951-958.