

# 瞬变电磁法在新集一矿水文地质勘探中的应用

徐鲁勤<sup>1</sup>, 黄澎涛<sup>1</sup>, 马瑞华<sup>2</sup>, 廉江红<sup>3</sup>

(1. 中煤地质工程总公司, 北京 100073; 2. 水文地质局, 河北 邯郸 056004;

3. 陕西工程勘察研究院物化探工程公司, 陕西 西安 710068)

**摘要:**淮南新集矿区太原组承压含水层的水文地质条件, 是开采山西组 1 号煤的关键因素。以前曾通过布设少量水文钻孔及三维地震等手段进行勘查, 但因太原组含水层是岩溶裂隙型, 勘查结果并不理想, 其水文钻孔涌水量一般都较小, 但邻近矿井在对山西组煤层试采中却发生了严重的突水事故。为此, 本次在采用地面电法勘探方法对矿区进行水文地质勘查, 以划分太原组上段相对富水区域, 并据此进行水文钻孔布置。由于新集一矿 1 号煤埋藏深度大地表存在巨厚的推覆构造, 在分析该区物性资料的基础上, 对瞬变电磁法的施工参数进行了试验, 最终确定了线框边长、发射频率及固定增益等参数。经处理解释, 初步查明勘探区 1 号煤下伏太灰岩的水文地质特征, 结合前期地质资料分析, 划定了该矿区富水区域, 认为太灰岩上段的 1~4 灰是开采 1 号煤底板突水的主要威胁。

**关键词:**瞬变电磁法; 水文地质条件; 富水性; 新集一矿

**中图分类号:** P631.2

**文献标识码:** A

## Application of TEM on Hydrogeological Exploration in Xinji No.1 Coalmine

Xu Luqin<sup>1</sup>, Huang Pengtao<sup>1</sup>, Ma Ruihua<sup>2</sup> and Lian Jianghong<sup>3</sup>

(1. China Coal Geological Engineering Corporation, Beijing 100073;

2. Hydrogeological Exploration Bureau, CNACG, Handan, Hebei 056004; 3. Geophysical and Geochemical Prospecting Engineering Corporation, Shanxi Engineering Geological Investigation Research Institute, Xi'an, Shanxi 710068)

**Abstract:** The hydrogeological condition of the Taiyuan Formation limestone confined aquifer is the key impact factor to mine the No. 1 coal seam in the Shanxi Formation. In before, exploration has been carried out with a few hydrogeological boreholes and 3D seismic prospecting, since the limestone aquifer belongs to karstic fissured type, the exploration result is dissatisfactory. Although borehole outflow rate is rather small according to hydrogeological drilling, but serious water bursting has been happened in a pilot mining of Shanxi formation coal seam in a neighboring coalmine. Thus surface electric method has been used in Xinji mine area to carry out hydrogeological exploration, and work out relative water rich sector in Upper Member of Taiyuan Formation, hereby hydrogeological drilling lay out. Since the buried depth of No.1 coal seam in Xinji No.1 coalmine is rather deep, major nappe structure has been found on surface, based on physical property analysis data tested operational parameters of TEM method, finally determined parameters of square loop side length, emission frequency and fixed-gain etc. After processing and interpretation, preliminary found out hydrogeological characteristics of underlying Taiyuan Formation limestone, combined with previous geological data, worked out water rich zone in the mine area, considered that the Nos.1~4 limestone layers in Upper Member, Taiyuan Formation are the main threat of water bursting to mine No.1 coal seam.

**Keywords:** TEM, hydrogeological condition; water yield property; Xinji No.1 coalmine

新集一矿位于安徽省淮南煤田的西南部, 其山西组 1 号煤储量达 0.9 亿 t, 约占总储量的 15%, 煤质为焦煤, 是华东紧俏煤种。1 号煤因其底板距石炭系太原组灰岩承压含水层平均 16.41m, 因其在淮南煤田部分矿井试采中发生过严重突水事故, 考虑煤矿安全生产而停采。因此, 查明山西组的水文地质条件, 解决山西组煤层带压开采问题, 是矿区可持续发展的重大又急迫的任务, 是延长矿井服务年限, 稳

定矿区产量的重要途径。到目前为止, 新集一矿针对 1 号煤层所做的勘探工作甚少, 尤其是对下伏太灰岩含水层的富水特征不了解。为此进行了大面积的地面电法勘探, 目的是查明该矿水文地质条件, 查清影响山西组煤开采的含水层, 并对该矿井充水因素进行评价。

## 1 电法勘探设计试验

因测区内地质构造比较复杂, 为合理地选择施工参数, 更好地完成地质任务, 考虑在几个有代表性的地区分别进行孔旁试验, 其典型区域应包括基岩出露区、目的层深度较大地区、推覆体区域、片麻岩

**作者简介:**徐鲁勤(1962—), 男, 江苏泰州人, 地质工程师, 毕业于徐州煤炭工业学校矿井地质专业, 一直从事煤田地质工作, 现任中煤地质工程总公司资源勘查公司副经理。

**责任编辑:**孙常长

地区以及已知水文孔附近等。

### 1.1 试验位置及方式

经综合考虑最终选择试验点有 3 个。103 孔:了解片麻岩及推覆体地层在瞬变电磁上的电性反映。T-2 水文孔:深度大(>800m),以了解水文地质参数及发送线框边长。108 孔:破碎较严重,目的是了解破碎带在瞬变电磁上的电性反映。共完成瞬变电磁试验点 45 个。试验选用大定源内回线装置,地面探头中间三分之一区域内接收(图 1)。

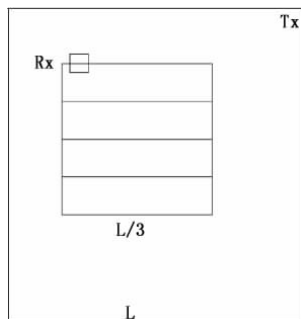


图 1 瞬变电磁大定源内回线装置示意图

Figure 1 A schematic diagram of TEM large fixed source inner loop installation

### 1.2 仪器稳定性试验

在 T-2 钻孔依据相同参数:供电线框为 800m×800m,供电电流为 13.5A,发射频率 5Hz,进行了两次孔旁数据采集,经过计算,该测点各采样道总的平均均方相对误差为 3.15%,满足《地面瞬变电磁法技术规程》小于 15%的要求,说明仪器稳定性良好。

### 1.3 施工参数试验

瞬变电磁施工参数试验包括发送线框边长、发射频率及固定增益,为此在 103 孔、108 孔和 T-2 孔

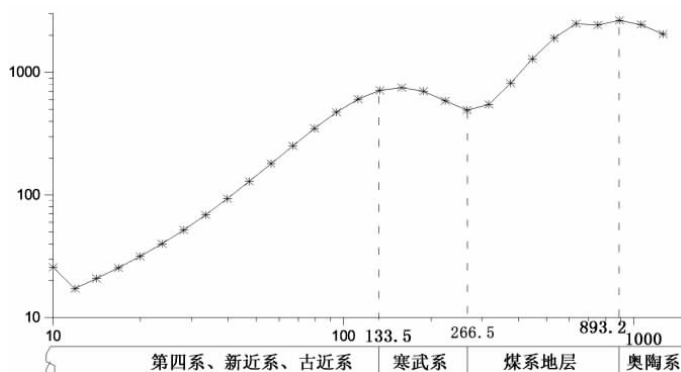


图 2 横向视电阻率分层图

Figure 2 Zonation of transversal apparent resistivity

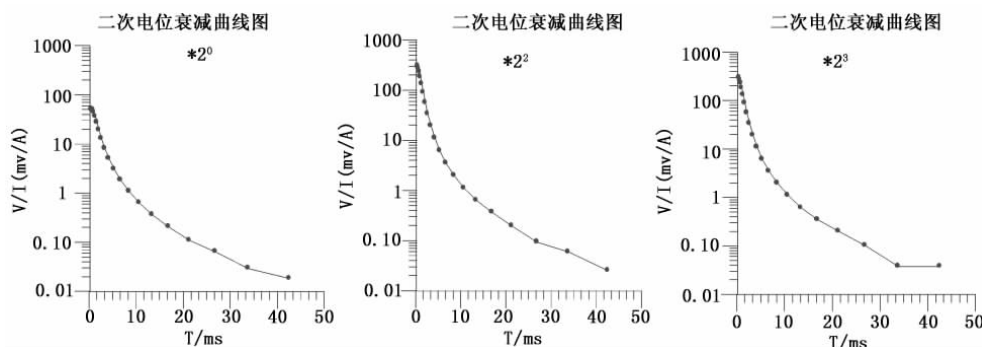


图 3 固定增益试验二次电位衰减曲线图

Figure 3 Fixed-gain test secondary electric potential attenuation curves

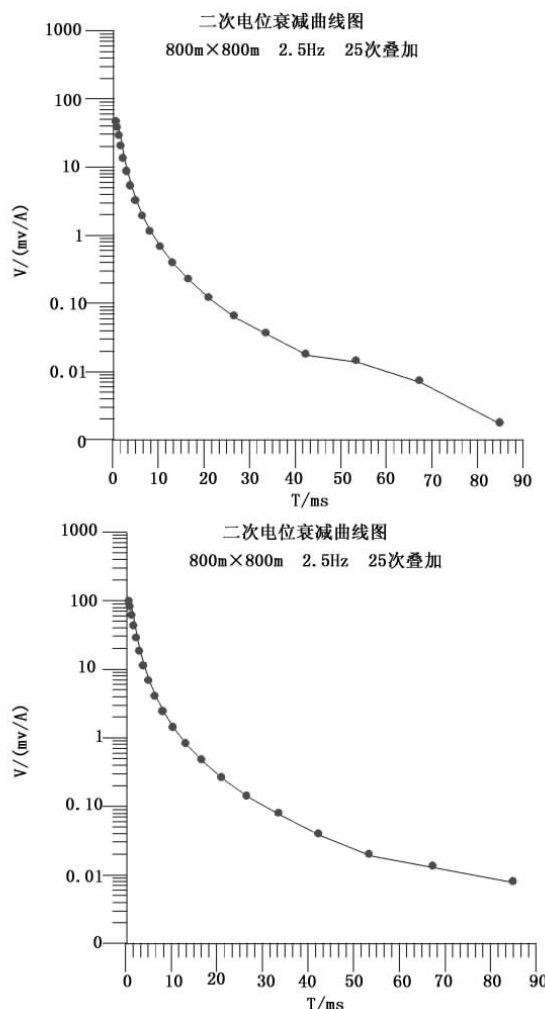


图 4 叠加次数试验二次电位衰减曲线图

Figure 4 Stacking fold test secondary electric potential attenuation curves

分别做了发送线框(包括 600m×600m、800m×800m、1000m×1000m)和发射频率(包括单频 2.5Hz、5Hz、8.3333Hz、25Hz 和双频 25 配 5Hz、25 配 2.5Hz)以及固定增益试验工作。瞬变电磁的分层主要是依据层位综合电阻率和横向电阻率的变化来确定,在目的层层位综合电阻率或横向电阻率变化明显,探测深度超过目的层最大深度,即可说明所选施工参数合理。通过对瞬变电磁野外

钻孔旁试验数据的综合分析对比得出,2.5Hz 的发射频率所探测的深度相对最大,既能兼顾浅层地质资料,又能达到勘探深度要求,并且分层较明显(图 2);选用 800m×800m 线框,探测深度相对较深,能够达到探测目的任务的要

求,所包含的其它干扰信号不多;选择22增益,比20增益信噪比较高,比22增益单枝曲线衰减稳定(图3),且能很好的反映地层的电性特征;选用50次叠加,比25次叠加数据采集时间较长,能够对电性特征进行多次的滤波,从而更好的完成原始数据的采集(图4)。

最终确定本次勘探的施工参数是:发送线框边长选用800m×800m;发射频率选用2.5Hz;固定增益选用22;叠加次数选用50次。

## 2 现场测量与数据处理

### 2.1 测试工程布置

本次电法勘探测线方向为SN向,基本垂直构造走向,完成测线127条,坐标点4156个,检测点155个,实际控制面积24.1km<sup>2</sup>。

### 2.2 数据处理

对验收合格的原始数据,室内及时进行了预处理并计算了每个测点的视电阻率值。视电阻率的计算使用晚期视电阻率的公式:

$$\rho_s = \frac{\mu}{4\pi t} \left( \frac{2\mu M q}{5tV(t)} \right)^{2/3},$$

式中 $t$ 为测道时间, $M$ 为发送磁距, $q$ 为接收线圈的有效面积, $V(t)$ 为感应电压。实际观测的是归一化感应电压 $V(t)/I$ ,因此上式的实际应用式为:

$$S_s = \frac{\mu_0}{4\pi t} \left( \frac{2\mu_0 A q}{5t(V(t)/I)} \right)^{2/3},$$

式中 $A$ 为发送回线面积, $V(t)$ 为观测值。

### 2.3 解释方法

#### 2.3.1 定性解释

瞬变电磁数据的解释首先依据钻孔资料的电性分层数据,建立正演模型,确定目的层所对应的瞬变

电磁采样道(深度),绘制各个目的层位的视电阻率平面图,进而结合定性图件和已知地质资料分析岩层的富、导水构造和奥灰岩溶的大致范围,并依据加密控制数据,结合视电阻率计算值、已知钻孔资料及每一个测点的正反演解释结果,使误差控制在允许范围之内。下面以S35线断面图为例说明其解释方法。

S35线等视电阻率断面图(图5),上部等值线呈起伏不均匀分布,是第四系上部耕植土、砂土及砂质粘土的电性反映;受下夹片断层的切割,中下部视电阻率等值线分布及起伏变化,分析为地层推覆体的电性反映,与地质、钻探资料相吻合。在推覆体上150~300m、650~850m和1650m等地段,视电阻率等值线出现相对低阻凹陷,分析为岩层相对富水的反映,故推测该地段为相对富水区。区内其它测线均有上述特征反映,并结合区内已有地质、钻探资料综合分析,推测出全区富水异常区。

#### 2.3.2 定量解释

从图2中可以看出瞬变电磁对于煤系地层中每一个主要电性层位均有较明显的分层标志,对细小的电性层也有较明显的电性反映,266m左右有一明显的低阻层,是上石盒子组泥岩的电性反映;尾部高阻是奥陶系灰岩的电性反映。依据图2分层结果,并结合钻孔资料(13-1#煤底板埋深327.62m、9#煤底板埋深480.63m、1#煤底板埋深666.1m),计算出瞬变电磁深度解释系数0.86。在此基础上进一步通过顺层切片对各目的层的相对富水范围、煤系地层断层的导水性及奥灰岩溶发育情况进行分析解释。

#### 2.3.3 太灰、奥灰富水性解释

相对沉积均匀的奥灰岩层而言,其视电阻率值均匀变化,但是如果有岩溶发育,其视电阻率相对较

低,在电测深单枝曲线上表现为曲线上升角度较缓;在瞬变电磁单枝衰减曲线上表现为曲线衰减较慢,即电位值( $V/I$ )相对较高,是由于水的“低阻集流效应”所致,有时由于水的“激发极化”作用可能会引起瞬变电磁曲线尾枝紊乱,这些都是利用单枝曲线寻找奥灰岩岩溶发育异常区的典型特征。

利用瞬变电磁来分析平

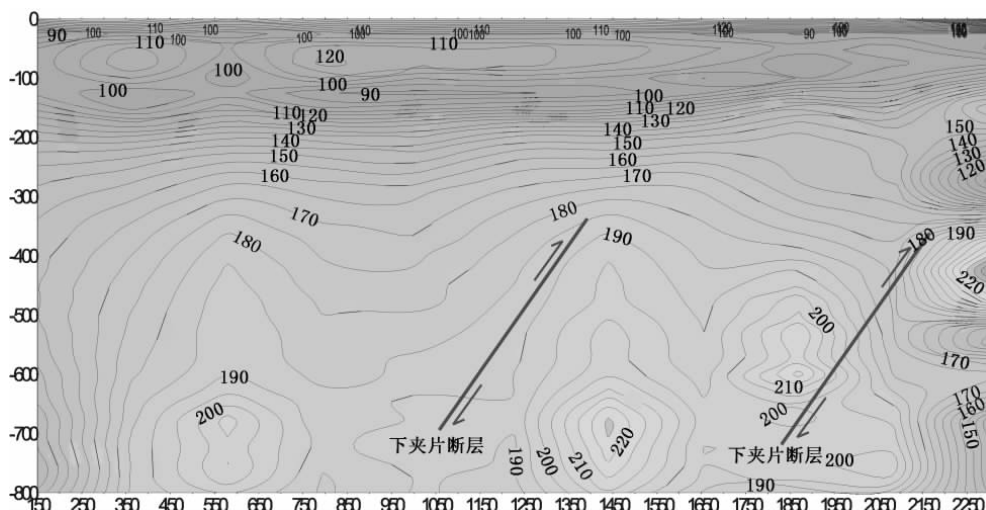


图5 瞬变电磁 S35 线视电阻率断面图

Figure 5 TEM S35 line apparent resistivity section



面上灰岩岩溶的发育情况, 主要根据其电性分层。利用一维反演结果, 抽取各测点相对应深度的视电阻率值来作顺层平面图, 根据视电阻率值的变化来了解勘探区内岩溶发育情况。

#### 2.3.4 断层富导水性解释

断层的富水性或导水性主要根据视电阻率的变化规律来确定。对于富水断层, 其视电阻率值远小于不富水断层和周围不富水地层的视电阻率值; 断层的导水性取决于两盘岩性及断层力学性质, 同一断层, 由于两盘岩性以及力学性质的变化, 不同部位的导水性不尽相同。发育于脆性岩层中的张性断裂, 中心部位多为疏松多孔的构造角砾岩, 两侧一定范围内则为张开度及裂隙率都增大的裂隙增强带, 常具有良好的导水能力, 断层两侧视电阻率值变化不明显; 发育于含水泥质较多的塑性岩层中的张性断裂, 构造岩夹有大量泥质, 两侧的裂隙增强也不如

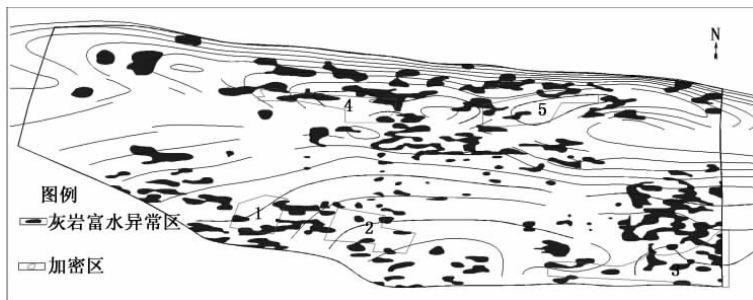


图 6 太原组上段 50m 灰岩富水异常平面示意图

Figure 6 A schematic planar diagram of water yield property anomaly in 50m limestone of Upper Member, Taiyuan Formation

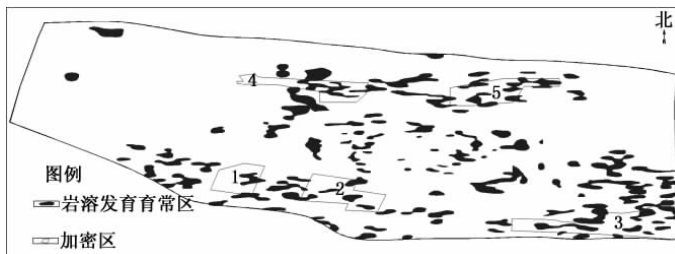


图 7 奥陶系灰岩顶部岩溶发育异常平面示意图

Figure 7 A schematic planar diagram of karst anomaly in top part of Ordovician limestone

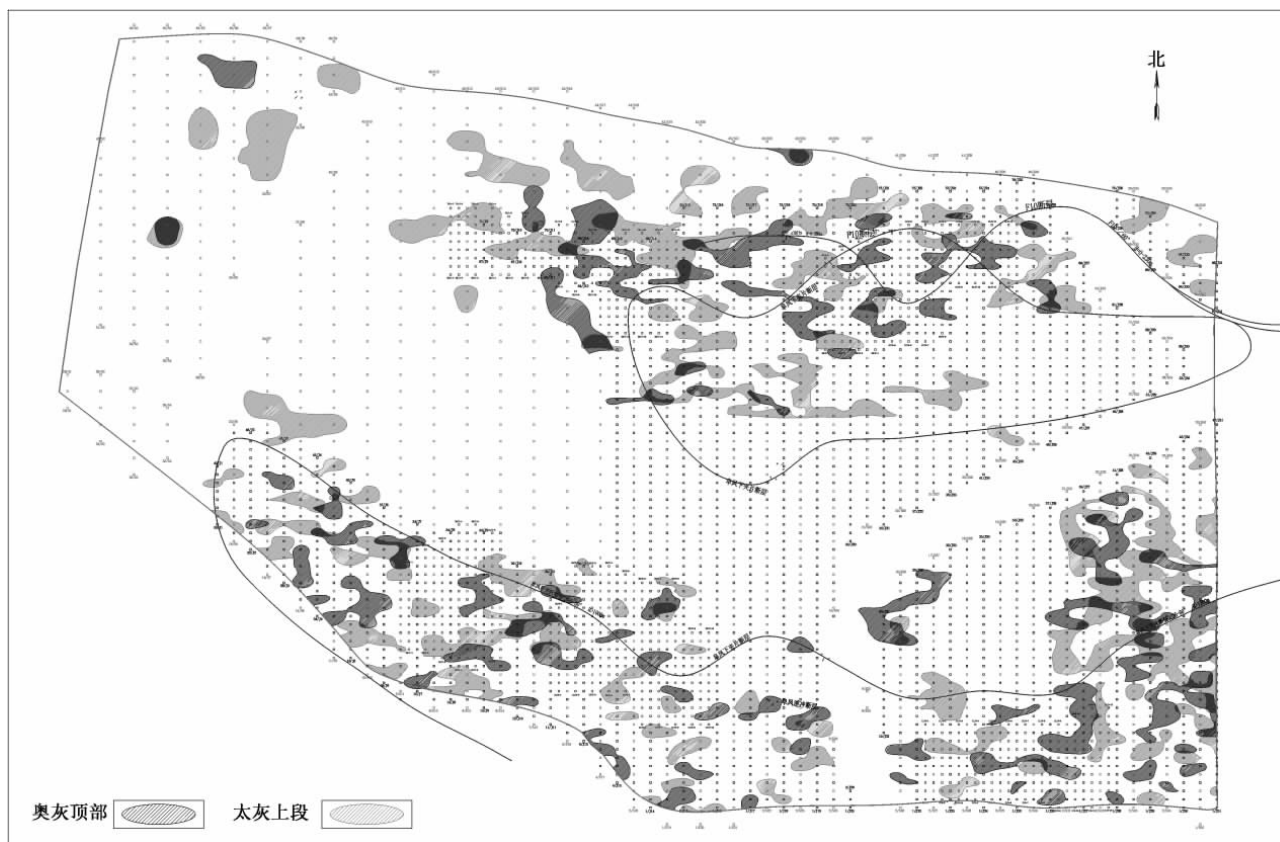


图 8 奥灰顶部、太灰上段富水异常对比图

Figure 8 Comparison charts of water yield property anomalies between top part of Ordovician limestone and upper sector of Taiyuan Formation limestone

脆性岩层中明显, 往往导水不良甚至隔水, 在断层两侧视电阻率值会发生较明显变化。对断层导水性的判断, 主要是根据断层的富水及视电阻率值变化情况, 如果断层富水且断层两盘视电阻率值变化不大,

则可能导水, 反之, 如果断层不富水且视电阻率值在断层两盘变化较大, 可能由于泥质充填等原因导致断层不导水。据此可分析本勘探区内断层的富水性及导水性。

(下转第 102 页)

应加大矿权运作力度,使之尽快形成收益。资源条件较好的矿权,应在转让矿权时向受让方提出参股的要求,对项目的开发占有一定比例的股份。矿权转让所得资金应主要用于矿权经营和开发,使矿权经营成为煤炭地质经济的支柱产业。

## 2 关于强化内部管理问题

管理是永恒的主题,是单位实现可持续发展的基础,建立适合本单位特点和富有效率的管理方式,有助于形成单位的核心竞争力。成功的跨国公司无一例外地都具备独到的先进管理理念和方法,日本丰田汽车公司的生产方式,其核心就是不断改进管理,不断挖掘管理潜力,向管理要效率,向管理要竞争力。煤炭地质单位强化内部管理,应着重从以下几方面入手。

①实行项目预算管理,严格控制成本费用的增长。自20世纪90年代以来,国家对地勘单位的财政拨款中,已不再安排地质项目经费,改以对基础性、公益性地质项目给予适当补助。随着计划经济完全退出地勘行业,原有的地质项目成本、效率和主要材料消耗等实行定额管理的方法逐渐淡化,加上社会地质项目遍布各地、材料价格随行就市和大量使用农民工等因素,地质项目成本的控制难度很大。建筑项目(包括地基与基础工程)一般采取招投标方式取得,低价中标者居多,所以项目成本控制也不能完全按建筑定额执行。因此,必须结合本单位的实际,在不能实行成本定额管理的行业中,推行项目直接成本预算管理等控制手段,将项目直接成本与质量、安

全等指标与一线职工个人收入总额挂钩,促使项目部采取有效措施,加强成本费用管理,努力降低生产成本。

②加强财务管理,防范财务风险。决定企业能否生存的是现金流量,应对国际金融危机,尤其要注意现金流的管理。煤炭地质单位正处于经济快速发展期,应加强大中型合同项目签订前的风险评估,注意控制资产负债比率,采取有效措施加大货款回收力度,防止资金链断裂。煤炭地质系统现已基本完成了二级单位财务集中管理,实现了运用信息化手段对所属单位的资金实时监控和管理,应充分运用好这一手段,使之对资金的有效管理发挥作用。

③加强全面预算管理,增强二级单位财务管控能力。在日常的财务管理工作中,应彻底改变二级单位忽视对所属单位的成本管理,轻预算、重决算的管理模式,把主要精力放在抓好基层单位加强成本核算等环节上来。应通过财务集中管理,拓展其服务功能,研究探讨将全面预算管理与财务集中管理结合起来,从而把全面预算管理落到实处。

### 参考文献:

- [1] 隋军.中海集装箱运输股份有限公司发展战略研究[R].中国优秀硕士学位论文全文数据库,2008,(02).
- [2] 威廉·恩道尔.石油战争:石油政治决定世界新秩序[M].北京:知识产权出版社,2009.
- [3] W·钱·金,勒妮·莫博涅.蓝海战略[M].北京:商务印书馆,2005.
- [4] 李正越.金融危机对煤炭地勘经济影响及对策[J].中国煤炭地质,2008,20(S2).

(上接第91页)

## 3 勘探结论

山西组1#煤的直接充水含水层为太原组上段灰岩(1~4灰),根据计算的视电阻率值,结合已知钻孔资料及各测点正反演结果,确定太原组上段灰岩富水异常区(图6)。

从太原组上段1~4灰岩富水异常平面示意图中可以看出视电阻率值在90~170Ω·m之间变化,根据电法资料结合水文地质和水文钻孔资料,综合分析将小于148Ω·m划为灰岩富水异常区(图6中深色圈定部分)。从整体看,太原组上段50m灰岩富水异常区分布于整个测区,并且比较分散,富水性相对较强。

从奥陶系灰岩顶部岩溶发育视电阻率等值线平面图中可以看出,视电阻率值在108~176Ω·m之间变化,根据电法资料结合水文地质和水文钻孔资料,

综合分析我们将小于147Ω·m划为岩溶裂隙发育异常区(图7中深色圈定部分)。从整体看,奥陶系灰岩顶部岩溶发育区主要分布在测区南部,其余地段零星分布,岩溶发育相对较弱。

图12为奥灰顶部、太灰上段二个层位富水异常对比图,图中可以看出,在部分断层构造部位,两个层位的富水异常区部分重合,可能是导水通道,存在上下导通的可能性。

### 参考文献:

- [1] 蒋邦远.瞬变电磁法勘探[M].北京:地质出版社,1998.
- [2] 谢苗诺夫 A.C,傅良魁,等.电法勘探文集[M].北京:地质出版社,1958.
- [3] 张运霞,韩自豪,周建雄,等.瞬变电磁法在煤层水探测中的应用[J].中国煤田地质,2005,17(6).
- [4] 龚惠民,查文相,等.瞬变电磁法在断裂构造上的异常反映[J].中国煤田地质,2002,14(3).