

# 瞬变电磁测深在砂岩型铀矿区调评价中的应用

贺建国, 邓小卫

(核工业二〇三研究所, 咸阳 712000)

**[摘要]** 文章以近几年来配合 1:25 万带钻区调工作开展的瞬变电磁测深工作为基础, 总结了该方法在区调阶段的作用, 认为通过瞬变电磁测深资料的研究, 有利于判断地下水动力条件及铀矿化的成矿有利区, 同时大范围的电磁测深工作有利于区调选区工作的进行, 可达到缩小靶区、提供钻探设计依据的目的。不同仪器测量效果的对比, 反映出国产 SD-40 瞬变电磁仪具有廉价、快速的优势, 在砂岩型铀矿找矿工作中有推广的意义。

**[关键词]** 带钻区调 瞬变电磁测深 铀成矿有利区

**[中图分类号]** P631.3 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2003)S0-0015-06

## 1 瞬变电磁测深法简介

瞬变电磁测深法(简称 TEMS)是一种时间域电磁法, 它是利用阶跃波形电磁脉冲激发, 利用不接地回线向地下发射一次场, 在一次场的间歇期间(断电后), 测量由地下介质产生的感应二次场随时间的变化, 达到寻找地质目标体的地球物理勘探方法。

由于瞬变电磁测深是在一次场断电后测量二次场, 不存在一次场源的干扰, 此外, 阶跃脉冲实际上由各种高频率谐波叠加而成, 产生的场是一种宽频带电磁波。与频率域电磁法相比瞬变电磁法具有以下优点:

- 1) 断电后观测的二次场, 可以进行近区观测。减少了旁侧影响, 增强了电性分辨率能力。
- 2) 可用加大功率的方法增强二次场信号, 提高信噪比, 增加勘探深度。
- 3) 穿透高阻层的能力强。
- 4) 采用人工源方法, 随机干扰影响小。
- 5) 采用重叠回线装置工作, 可以避免地形影响。
- 6) 线圈形态、方位要求相对不严格, 测地工作简单、工效高。
- 7) 由于测磁场, 受静态位移的影响小。
- 8) 通过多次脉冲激发, 场的重复观测叠加和空间域多次覆盖技术的应用, 可以提高信噪比和观测精度。

## 2 吐哈盆地南缘的应用效果

根据 20 世纪 50 年代至 20 世纪 60 年代初的地质资料整理, 新疆吐哈盆地南缘斜坡带有形成砂岩型铀矿的可能。在 1997 年立项进行区调钻探的前期, 先行在成矿有利地段十红滩地区开展了电法测量工作, 为后期钻探设计提供依据。由于吐哈盆地地表干燥, 接地电阻达  $10\text{ k}\Omega \sim 100\text{ k}\Omega$  以上, 因此选择了瞬变电磁法测深工作, 当年取得了较好的地质效果。认为该方法不但弥补了直流测深无法供电的缺点, 而且具有装置简单, 工效高的优点, 更适合于北方干旱气候条件下、沙漠、戈壁覆盖下的盆地找矿工作。

### 2.1 吐哈盆地十红滩地区电法测量效果总结

十红滩地区瞬变电磁测深以  $1600\text{ m} \times 400\text{ m}$  网度, 8 条剖面, 125 个测点, 控制面积约  $100\text{ km}^2$ 。编制了视电阻率断面、解释推断剖面、侏罗系顶底板埋深等系列图件。根据以上图件编制了解释成果图(图 1), 图中的十红滩隆起是地质资料与电磁测深资料都公认的隆起构造。 $F_1$  断裂、 $F_1$  北凹陷、15 线南凹陷、31 线的背向斜构造等都是瞬变电磁测深解释的构造。根据构造形态及推断的水流方向, 进行了 3 条氧化带前锋线的预测。当年钻探在十红滩隆起两翼发现了工业铀矿床。后经近 3 年的钻探工作, 证实了  $F_1$  断裂北凹陷的存在, 发现了北带砂岩型铀矿床。证实了当年瞬变电磁测深资料的构造解释是正确的, 没有大的失误。矿体的展布形态与隆

起到凹陷的过渡区密切相关,反映出含氧水流速、流向的改变,决定了矿体的产出位置及形态。北矿带受  $F_1$  断裂控制,基本沿断裂北侧的斜坡呈条带状展

布。反映出铀矿体的产出与构造的变异密切相关。也就是说,在发育的斜坡带上,有利的构造部位才是铀矿体赋存的最好空间。

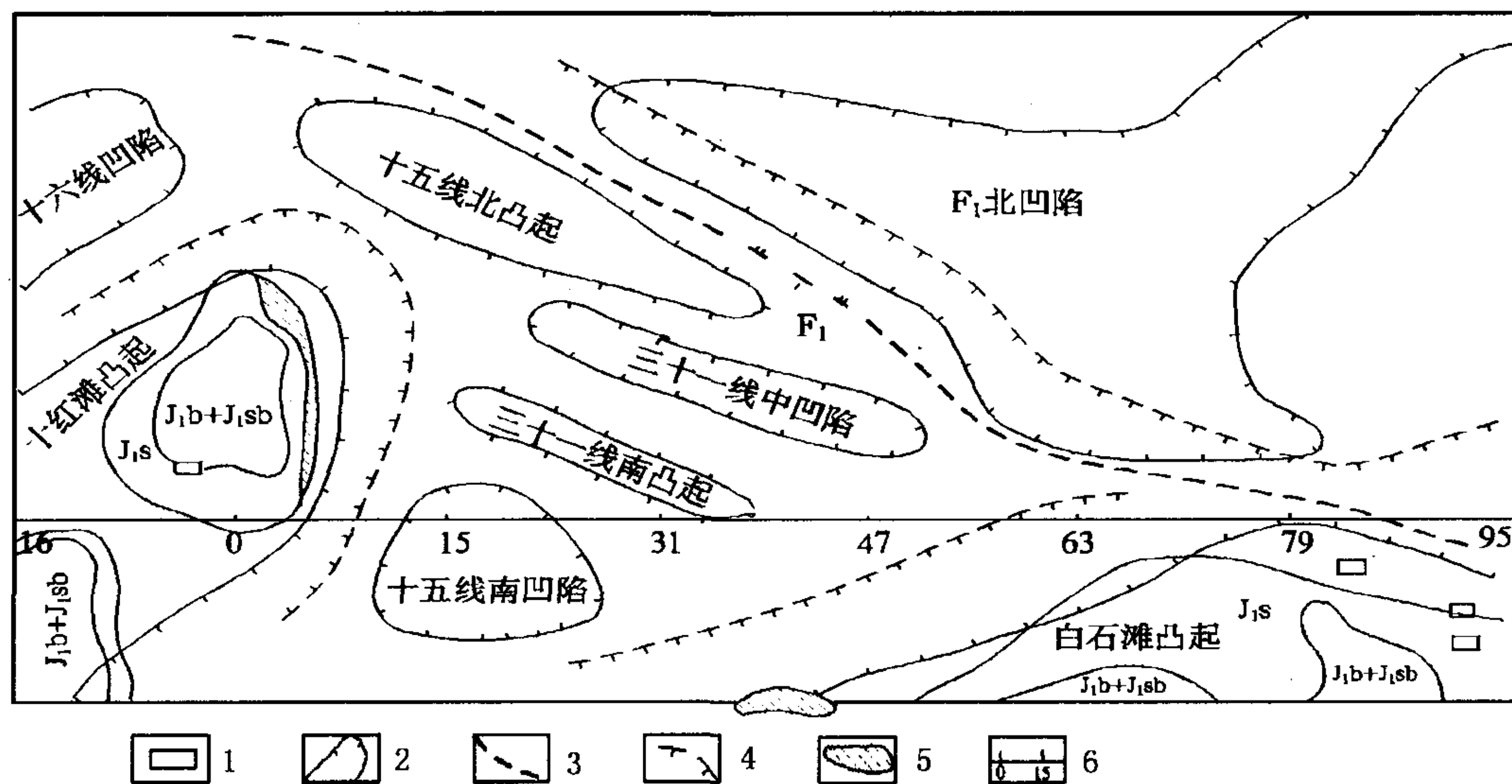


图1 瞬变电磁测深解释成果图

1—已知矿点或矿化点;2—凸起或凹陷;3—推测断层;4—氧化带前锋线; $J_1s$ —侏罗系三工河组;  
5—地表伽玛异常区;6—基线及测线号; $J_1b+J_1sb$ —侏罗系八道湾组+三工河组上段

上述根据瞬变电磁测深资料解释推断的成果,经区调到普查的钻探验证,地质效果是显著的,证实了瞬变电测深方法的有效性。

## 2.2 吐哈盆地南缘八仙口—迪坎儿地区瞬变电磁测深效果的总结

十红滩地区铀矿床的发现,使整个盆地南缘的找矿工作进入一个新的阶段。2000~2001年,在该区立项的地质大调查项目在钻探设计前,要求先期以瞬变电磁测深方法查明地层的结构、构造的展布形态,研究盖层褶曲的构造特点,探索成矿有利地段,为钻探设计提供依据。为此,盆地南缘的瞬变电磁测深项目经过两年的工作,根据瞬变电磁测深资料综合分析,提出在吐鲁番盆地南缘,以十红滩为中心,西段蚀源区与径流区高差大、径流区长,有利于砂岩型铀矿的形成,但构造活动较为强烈,找矿目标层埋藏较深。西段蚀源区与径流区高差小,径流区短,地下水动力条件较差,但地层相对稳定,找矿目标层埋藏较浅,有利于找矿工作的开展。在此基础上,预测了除十红滩外的4片铀成矿远景区。

## 3 公婆泉盆地瞬变电磁测深效果总结

2002年在公婆泉盆地配合1:25万带钻区调项目,开展了以公婆泉地区为主的物化探测量专项,该项目以疏密不同的点线距布设了10条瞬变电磁测

深剖面,测深点339个,控制面积约160 km<sup>2</sup>。

图2是前人开展物化探工作编制的白垩系底板埋深图。由于该图幅仅以4条不完整的测线控制编制而成,明显地反映出精度较差。因此在立项时认为该图用于评价区铀成矿分析及钻孔资料设计依据不足,需要更大比例尺的电磁法测量,才有可能达到预期目的。

图3是瞬变电磁测深解释的白垩系底板埋深图。从两图的对比中,单就形态而言,反映出差别较大,从该图白垩系底板埋深可以看出,在测区范围内,由于中部的隆起范围较大,缩小了可钻探施工范围。西段192~152线的凹陷区是找铀的重点工作区。128~0线以大面积的隆起为主要特征,仅在0线附近有形成局部凹陷的可能,但由于该段电磁测深线距为6.4 km,又是工作区的边线,只能反映大体的趋势,具体的范围很难控制。因此,电磁测深方法的比例尺选择对解释成果的影响也不可忽略。后期的钻探施工结果与上述预测非常吻合。

## 4 瞬变电磁测深仪器的效果对比

在几年的瞬变电磁测深工作中,先后应用了加拿大制造的EM-37、中南工大研制的SD-40、美国的EH4,3种仪器进行对比测量,仅以视电阻率断面的对比,供大家参考。



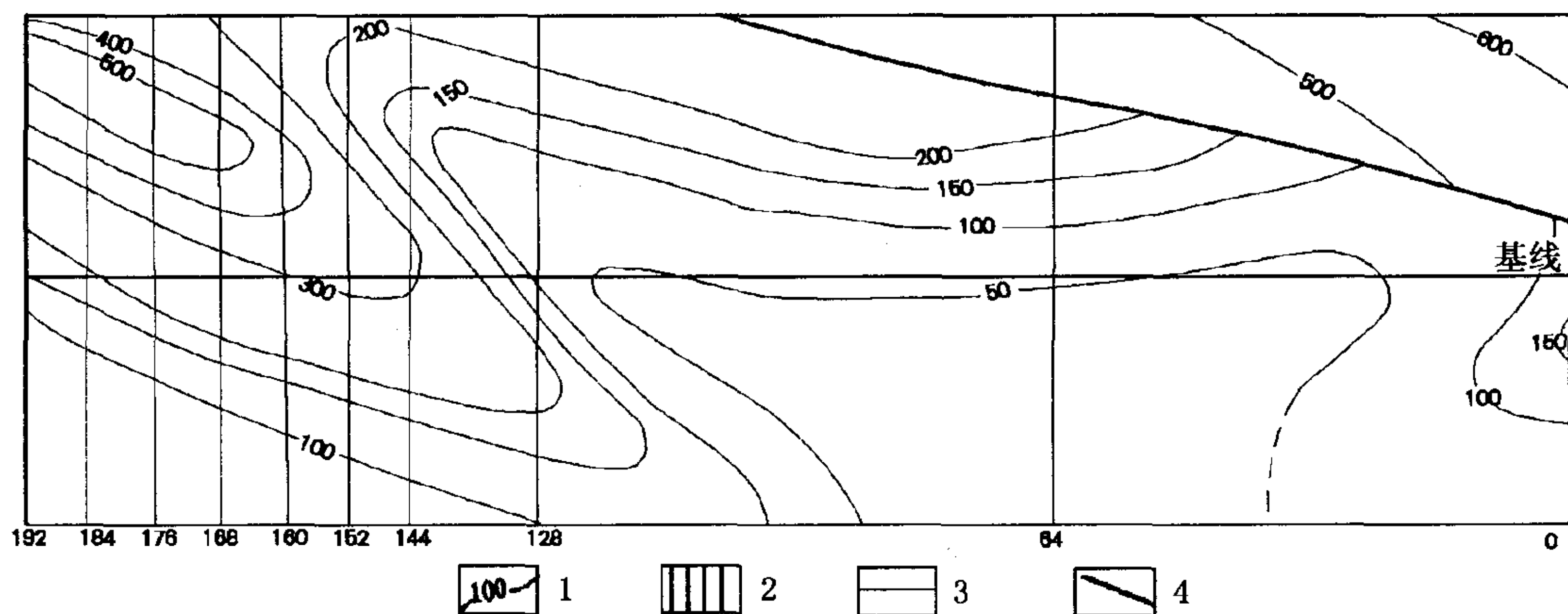
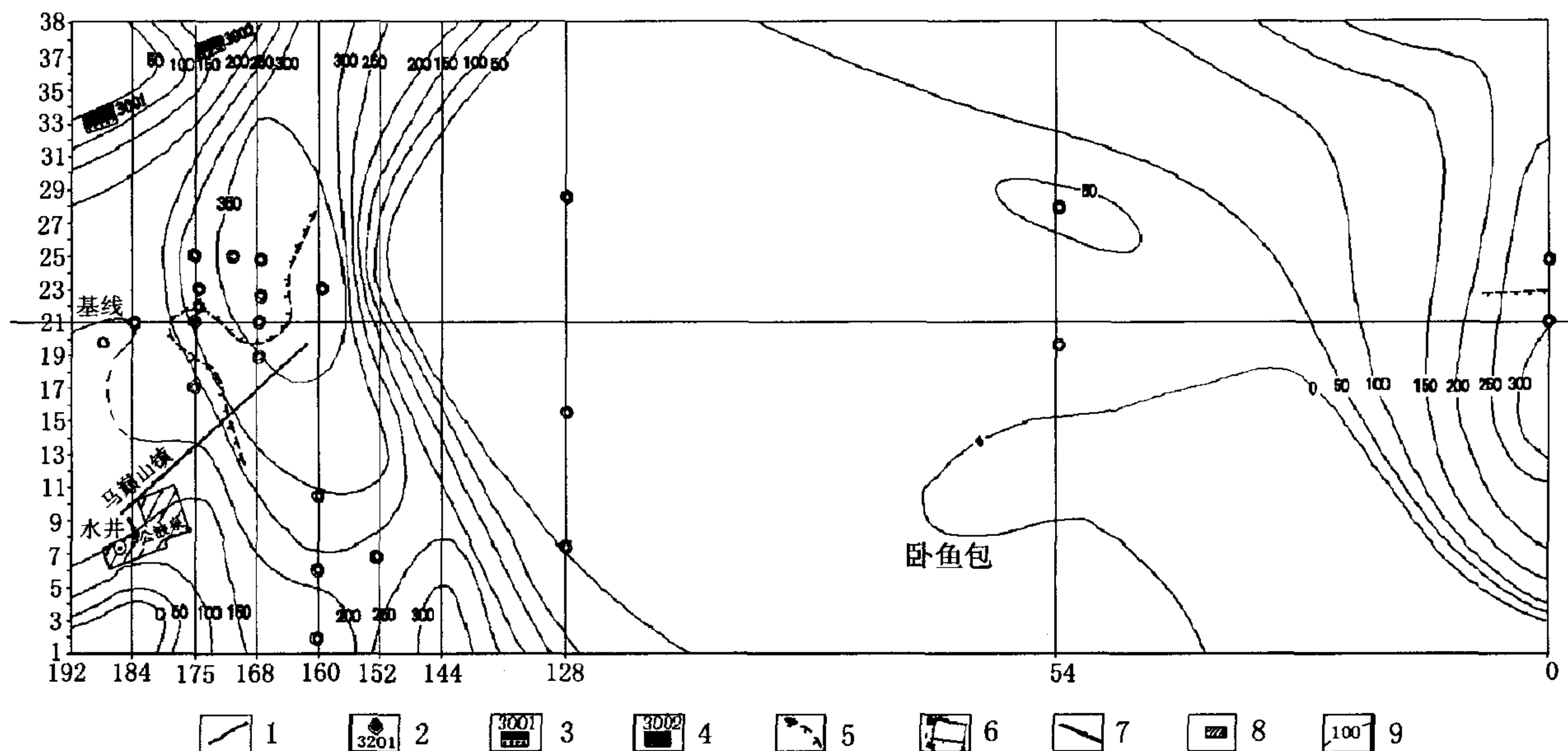


图2 甘肃省肃北县公婆泉地区直流测深基底等高平面图(1983年)

1—等深线;2—2002年设计测线;3—基线;4—断裂

图3 甘肃省肃北县公婆泉地区  $K_1xn$  底板埋深图

1—瞬变电磁测深推断断层;2—已知工业铀矿化孔及编号;3—砂岩型铀矿点及编号;4—泥岩型铀矿点及编号;  
5—推测层间氧化带前锋线;6—瞬变电磁测深线号及点号;7—基线;8—居民地;9—等深线

图4是1997年利用EM-37仪器以中心回线装置测量的视电阻率断面与2000年利用SD-40仪器以重叠回线装置在同一剖面的测量效果对比图。从图中的视电阻率断面特征可以看出,不同时间、不同仪器、不同装置在同剖面测量的电性特征基本相同,反映出两套仪器的性能基本一致,效果大同小异。但由于EM-37以3个频段各20道测量,采样时间为0.089~71.9(ms),因此测量的深度较浅,图中的11~14点的低阻体测量不完整,未能测量到基底。而SD-40以3个频段各40道取样,采样时间为0.089~95.2(ms)测量的深度较深,低阻体特征完整,高阻基底也有所反映。因此,可以认为装置形式对测量效果影响不大,而EM-37仪器的测量深度

浅于SD-40仪器。

图5、图6是在公婆泉盆地以203所SD-40仪器与核工业703航测遥感中心EH4仪器在同剖面、同点号,不同时间测量的视电阻率断面对比,SD-40仪器以25 Hz和6.25 Hz两个频率的视电阻率断面特征反映了剖面的电性特征。EH4以高频探头测量的视电阻率断面反映出测量段的电性特征。同样可以看出,4层的电性特征在两种仪器测量的结果中都有所显现。SD-40仪器25 Hz对地表高阻层的反映比EH4反映的完整一些,也就是地表电性层的损失EH4略大于SD-40仪器。因此,可以认为两者的地质效果基本相同。但就仪器的价格比和测量速度而言,SD-40仪器价格仅为EH4的1/10,

测量速度至少也可达到 EH4 的 2 倍以上,因此,我们认为 SD-40 仪器目前仍然还具有廉价、快速的优势。

## 5 几点看法

通过几年的瞬变电磁测深工作,认为该方法在

目前的砂岩型铀矿找矿中是比较经济实惠、效果较好的物化探方法之一,尤其是目前在大面积的盆地覆盖区,露头较少,地质观察困难的情况下,更显现出该方法的优越性。如果能配合以地震剖面,大面积的能谱测量可能会取得更好的地质效果。该方法的开展中需要注意的几个问题如下:

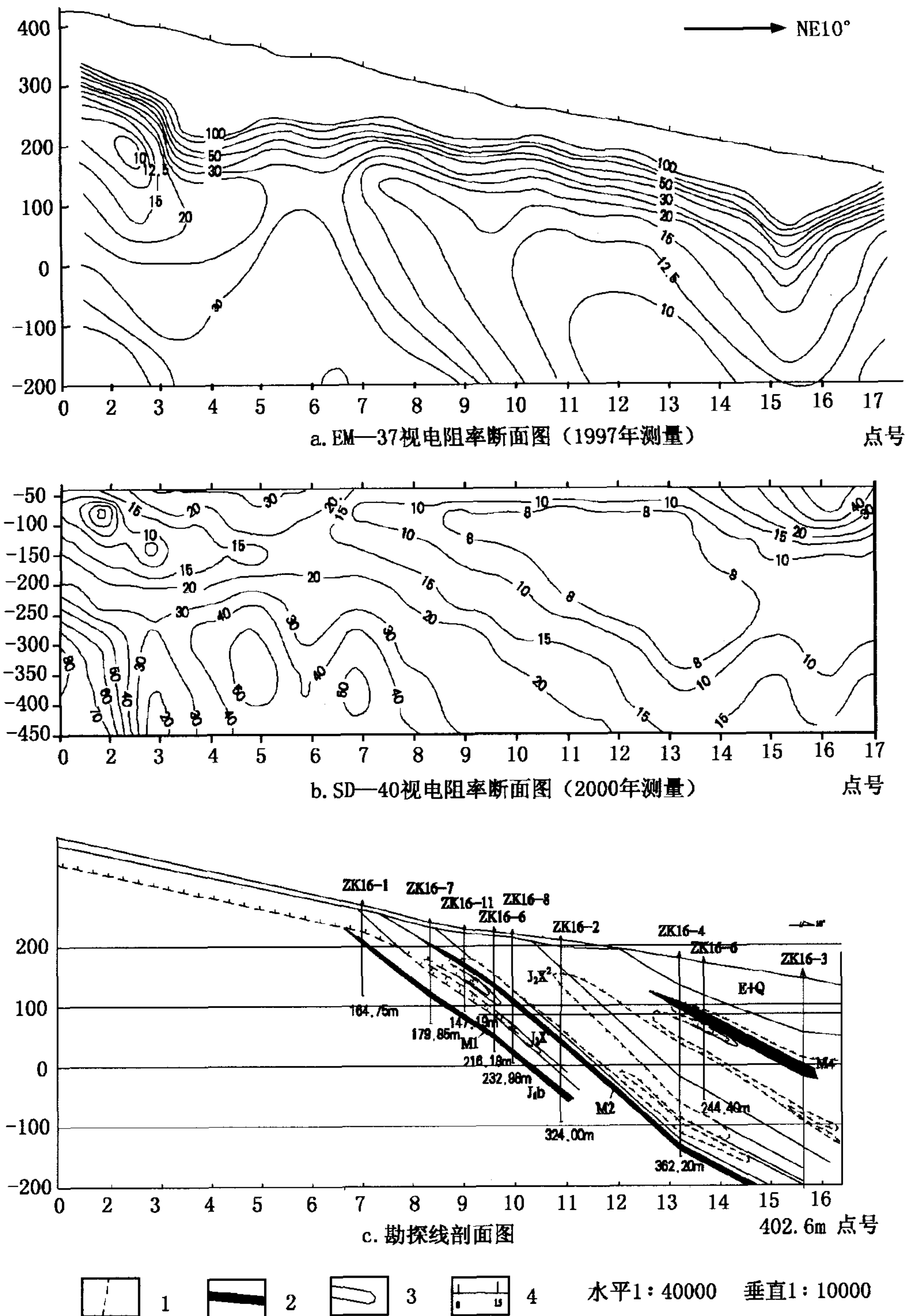


图4 十红滩地区16号勘探线电阻率断面对比图

$J_1 s$ —侏罗系三工河组; $J_1 b$ —侏罗系八道湾组; $J_2 x$ —侏罗系水西沟群;1—推测断层;2—煤层;3—矿体;4—测点号

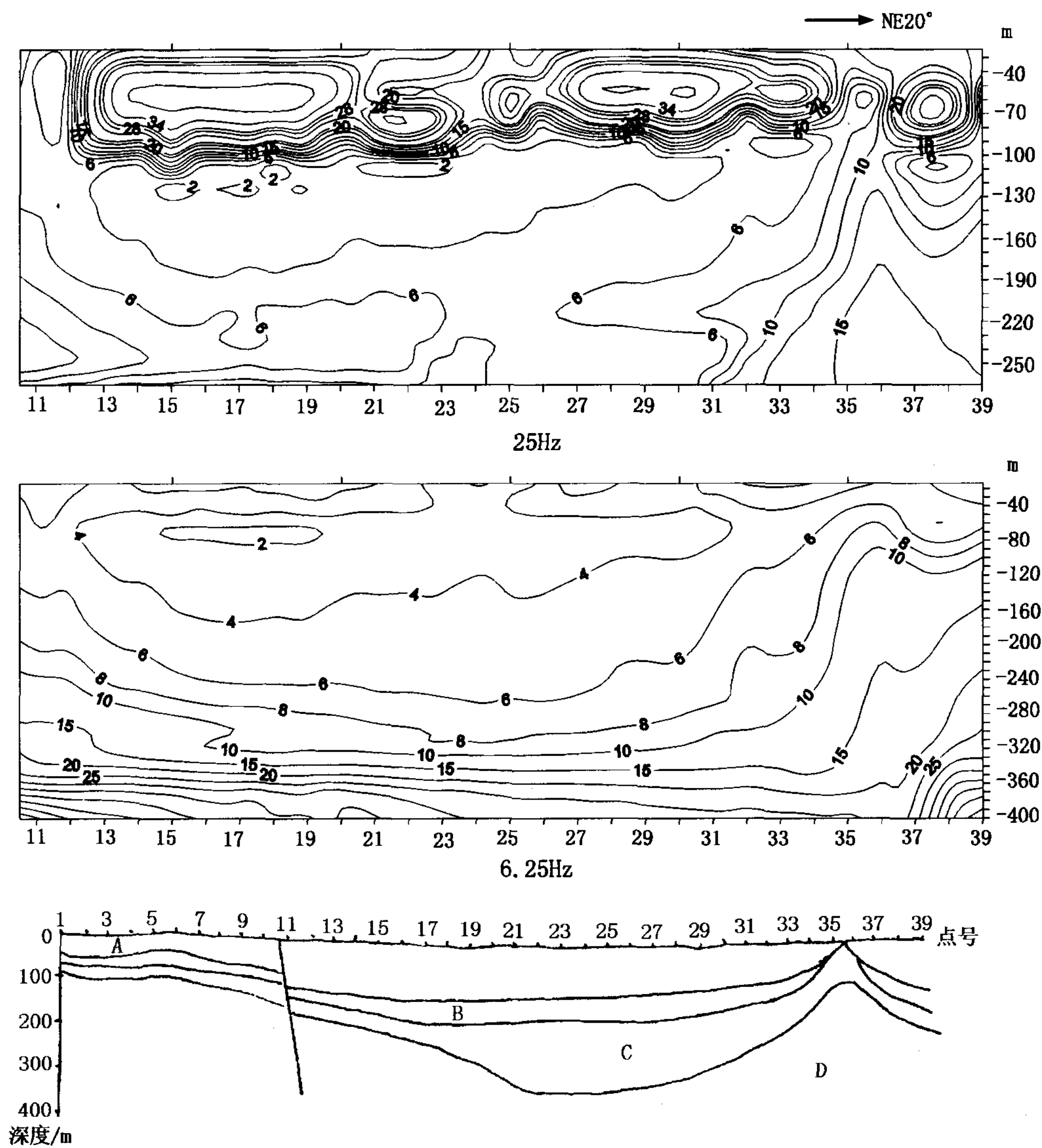


图5 公婆泉测区 176 线瞬变电磁测深推断断面

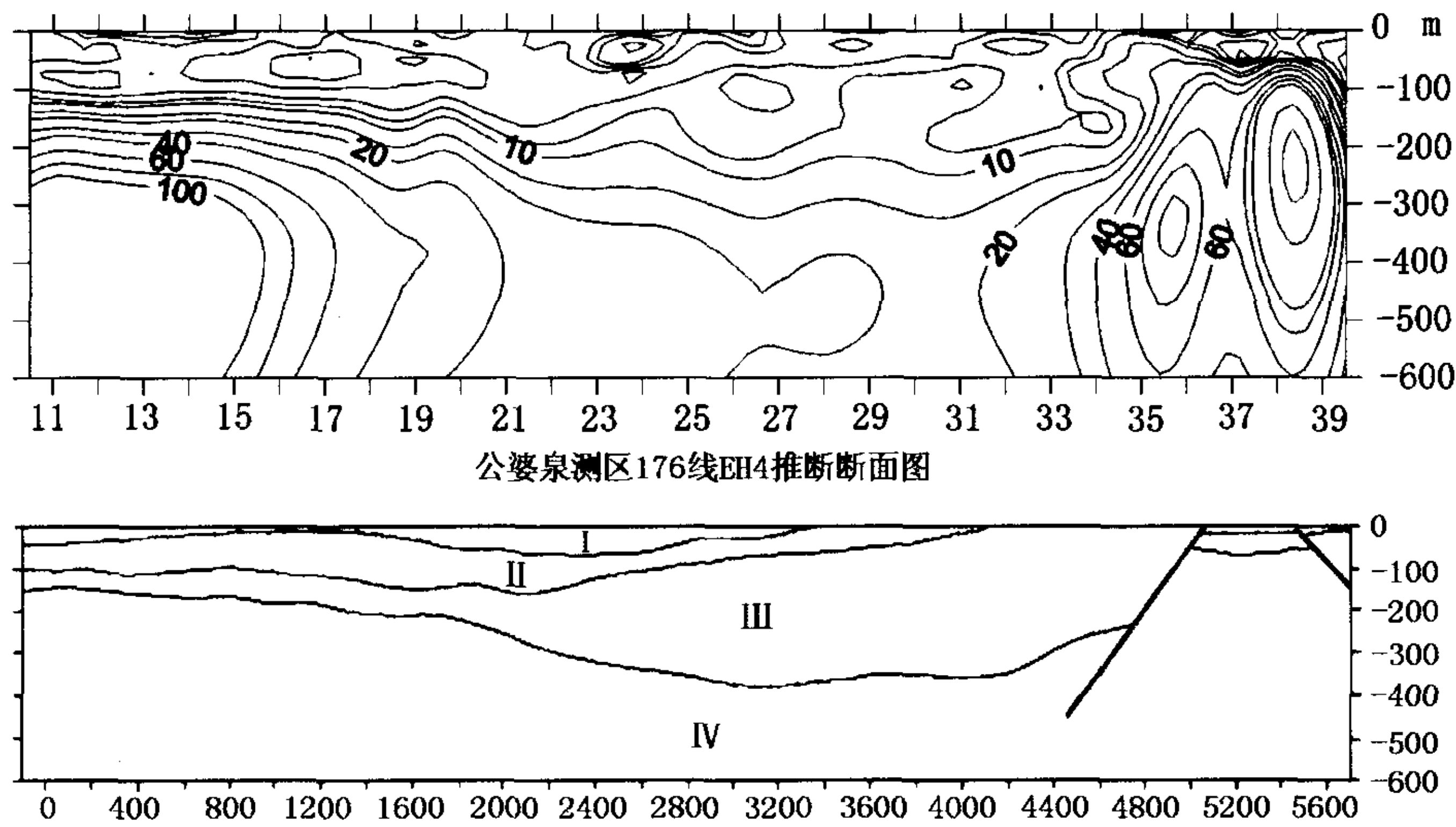


图6 公婆泉测区 176 线 EH4 测量视电阻率断面及推断断面图



1)认真的工作态度,精益求精的技术应首先贯穿于整个工作的全过程。电法工作是一项互相配合性很强的工作,从定点、布线、测量等不能有半点马虎,否则就有造成资料解释中的错误信息,影响整个成果。

2)电测深资料解释中,除必需具备相应的软件外,地质资料的掌握程度,电测深资料的解释经验也会给电测深资料的解释带来一定的影响。这也是该方法开展中的重要环节。

3)测深工作比例尺应该作为探讨的重点之一,就目前配合区调项目,以测区范围决定点线距的方法是不适合电法项目开展的,有可能使电法资料的解释成果变成真正意义的可能,大概性资料。最后丧失该方法在铀矿找矿中的应用地位。对砂岩型铀矿找矿中不同地质找矿阶段、不同物探方法的测网布设,建议应规范化。

4)在公婆泉地区测量中,进行了小层的划分,如砂砾堆积物盖层、煤系地层、砂砾岩层、基底等地质分层。基本上于地质上的高位体系域、湖盆扩张体系,低位体系域的层序地层学分层观点一致,探索了以岩性划分地层的资料解释方法。继续探索电测深资料的解释方法,如拟地震解释等是今后开展该方法的方向。

#### [参考文献]

- [1] 牛之琰. 时间域电磁法原理[M]. 长沙:中南工业大学出版社, 1992.
- [2] 方文藻,李予国,李 貅. 瞬变电磁测深原理[M]. 西北工业大学出版社,1993.
- [3] 李 貅. 瞬变电磁测深的理论与应用[M]. 西安:陕西科技出版社,2002.
- [4] 牛之琰. 脉冲瞬变电磁法及应用[M]. 长沙:中南工业大学出版社,1986.

## THE APPLICATION OF TEM SOUNDING TO REGIONAL EVALUATION SURVEY FOR URANIUM DEPOSITS OF SANDSTONE TYPE

HE Jian - guo, DENG Xiao - wei

(No. 203 Research Institute of Nuclear Industry, Xianyang, Shanxi 712000)

**Abstract:** The results of transient electromagnetic (TEM) sounding carried out in recent years for supporting the regional geological surveys on a scale of 1:250,000 with drilling included have been reviewed in the paper. It is considered based on the review that TEM sounding could function as a tool for investigating ground water dynamic conditions and mapping favorable areas of uranium mineralization. And areal TEM soundings could be employed to select areas favorable for regional geological surveys so as to have the surveys focused and drilling reasonably laid - out. By comparing the surveys results with different instruments, it is thought that home - made SD - 40 TEM meter is worth being popularized for exploration of uranium deposits of sandstone type, for it features effective both at field survey and cost.

**Key words:** regional geological survey with drilling, transient electromagnetic (TEM) sounding, favorable area of uranium mineralization