

# 航空电磁法区域农业生态地质调查与评价

孟庆敏<sup>1,2</sup>, 高卫东<sup>2</sup>, 满延龙<sup>2</sup>, 余钦范<sup>1</sup>, 钟清<sup>1,2</sup>

(1. 中国地质大学, 北京 100083; 2. 中国地质科学院 物化探所 勘查地球物理开放实验室, 河北 廊坊 065000)

**摘要:** 通过航空电磁法在松辽地区的实测结果与已知的水文地质成果对比分析, 说明航空电磁法在土壤盐渍化程度及范围圈定、地下水水质划分、土壤颗粒度划分、盐渍化趋势预测等区域农业生态地质调查中的作用。展示了航空电磁法廉价高效的特点。

**关键词:** 航空电磁法; 地质调查; 农业生态

**中图分类号:** P631.3      **文献标识码:** A      **文章编号:** 1000-8918(2004)04-0333-04

国际上航空电磁法在 20 世纪 70 年代以前, 曾在直接寻找大、浅、良导硫化物多金属矿床方面发挥过巨大的作用; 20 世纪 70 年代至今, 航空电磁法的应用领域逐步拓宽, 在多金属矿和贵金属矿的间接找矿以及地质填图领域, 展示了其优越性。真正让航空电磁法高效、廉价效能得到充分体现, 是在开展水文、环境领域的航空电磁法探测以后, 具体体现在区域农业生态地质调查与评价中。

澳大利亚的农业航空电磁法工作开展得最早, 工作面积最大, 效益也最好。该国用航空电磁法监测浅层地下水动态, 调查盐碱地的分布, 研究土壤盐渍化程度及其与水文地质条件的相互关系, 并开发了专门的航空电磁系统 SALTMAP。该国把农业航空电磁法资料作为土地管理的基础资料<sup>[1~9]</sup>。

我国航空电磁法的发展虽然滞后于国际上的发展进程, 但同样在间接寻找贵金属(山东半岛破碎带蚀变岩型金矿的航空电磁普查中寻找含矿破碎蚀变带, 地质效果显著)、硫化物多金属(内蒙古海拉尔—满洲里航空电磁法普查测区的地面查证工作已有见矿和确证是矿致异常的报告)以及在干旱和半干旱的甘肃河西走廊、华北平原、松辽平原等地的浅层水资源普查方面, 取得了令人满意的社会效益和经济效益。

以下是 2001 年用新改装成功的 Y12 航空物探(电/磁)综合站在吉林省乾安地区开展航空电磁法水资源普查的成果<sup>①</sup>, 探讨航空电磁法在“区域农业

生态地质调查与评价”中所能发挥的作用。

本次航空电磁测量使用 Y12 飞机三频航空电磁系统, 该系统是由中国地质科学院地球物理地球化学勘查研究所研制的全部国产化的三频航空电磁系统(于 1999 年 2 月由部级专家组评审验收)。该系统的工作频率为: 低频 463 Hz, 中频 1 563 Hz, 高频 8 333 Hz。

测区内第四系比较稳定, 地层近似水平分布, 层位及厚度在小范围内变化不大。根据任务要求, 测量比例尺选为 1: 10 万, 足以控制水文地质及环境地质单元不被漏测。测线方向 305° ~ 125°, 近似垂直于地下水方向。飞机沿设计测线做耕耘式飞行, 采用 GPS 卫星导航仪进行导航和定位, 飞行高度一般保持在 45 ~ 55 m。使用无线电测高仪进行相对高度测量、微机自动记录, 采样间隔 0.356 2 s。

## 1 方法基本原理

土壤、风化层及岩石的电性与盐分含量、土质、湿度、矿物质、孔隙及温度等诸多因素相关。在这些因素中, 起决定作用的是水中的盐分。水质与土质和农牧业的可持续发展息息相关。不同的水质和土质的导电性又各不相同, 航空电磁法正是通过探测其电性来达到划分水质和土质的目的<sup>②</sup>。频率域航空电磁法的勘探深度较浅(< 150 m), 但从频率测深角度而言, 高频反映表面电性变化, 中频反映的深度稍大, 低频的探测深度最大。根据多年的工作实

① 满延龙. 频率域航空电磁法华北平原浅层地下水普查试验研究成果报告. 原地矿部物化探研究所 1990.

② 孟庆敏, 满延龙, 王汉威. 吉林省乾安地区 Y12 航空电磁法浅层地下水普查试生产成果报告. 中国地质科学院物化探研究所, 2002.

收稿日期: 2004-03-14

践,在干旱、半干旱的荒漠和平原地区进行浅层水资源普查和农牧业生态环境地质调查中,当飞行高度在 50 m 左右时,本系统航空电磁高频的有效探测深度 0~8 m 左右;中频 0~30 m 左右;低频 0~70 m 左右。应利用层状大地的模型反演电阻率较好,但航空电磁法测量数据量非常大,再加之零漂等问题的困扰,应用层状反演比较困难。作为大面积快速普查手段,分别计算 3 个频率的视电阻率,并以此为基础进行解释,实践证明是切实可行的方法。

## 2 划分土壤盐渍化程度、研究古沉积环境

图 1 是吉林省乾安地区航空电磁土壤盐渍化程

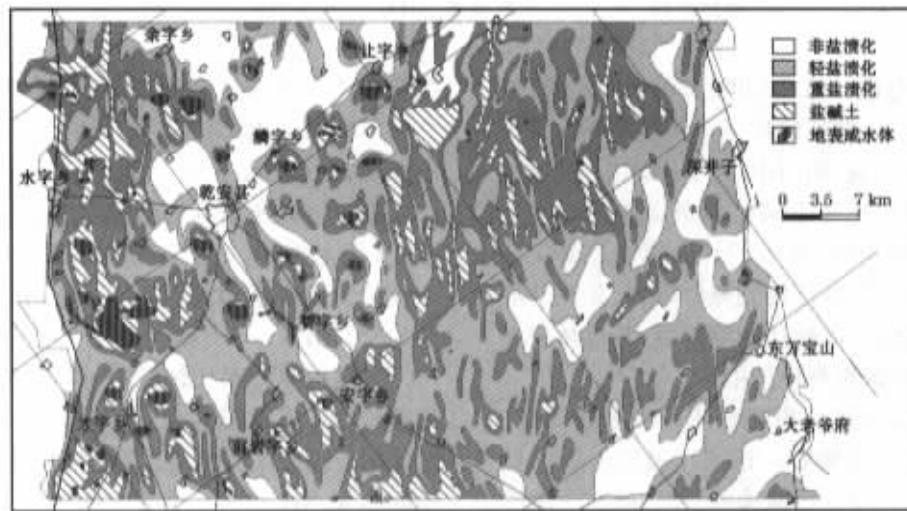


图 1 吉林省乾安地区航空电磁法圈定土壤盐渍化程度

岩性为中细砂、粗砂,因其垂向和侧向补给道路畅通,地下水循环速度快,表层的毛细管也不发育,故为淡水储水体,地表无盐渍化;若含水层岩性为细粉砂、亚砂土,则垂向补给和侧向径流都不如前者,毛细管也较为发育,多形成过渡类型水储水体,地表土壤将出现轻盐渍化和中盐渍化;若含水层岩性为亚砂土、亚粘土或二者互层以及粘质土,则垂向和侧向的补给道路不畅,加之毛细管发育,蒸发更强,故多形成咸水储水体,地表则出现重盐渍化或盐碱土。

根据收集到的电性资料和多年航空电磁法在平原及荒漠地区找水的实践证明,不同水质和相应含水岩性的电性是相近的,所以航空电磁土壤盐渍化程度图可以当成浅层(0~30 m 左右)地下水水质图,也是不同粒度的土壤分布图。用航空电磁土壤盐渍化程度图,研究古沉积环境和地貌类型也是具有较充分的地球物理前提的:若非盐渍化土按一定方向呈条带状展布时,则为古河道或古河床高地地貌,岩性为中细砂和粗砂;若非盐渍化土呈大面积似

度图,实质上是表层土壤对航空电磁高频的电磁响应图。虽然 8 333 Hz 工作频道的探测深度是 0~8 m,通过与已知资料的对比发现主要反映的是 0~3 m 地表土壤的电性变化。土壤盐渍化程度愈高,导电性就愈好,反之亦然。所以用航空电磁高频频道的电磁响应来圈定土壤的盐渍化程度,是十分有效的,而且把非盐渍化土、轻盐渍化土、重盐渍化土和盐碱土一目了然地展现出来。

干旱、半干旱地区的土壤盐渍化,都是后天成因的次生盐渍化,是因为雨量少、蒸发强,使盐分在土壤中不断积累的结果。土壤盐渍化程度与水文地质条件和土壤的毛细管是否发育密切相关:若含水层

扇状展布时,则为冲洪积扇地貌,岩性为中细砂、粗砂和砂砾石;若大面积土壤出现轻盐渍化或重盐渍化现象,则为冲洪积平原地貌,岩性多为亚砂土和细粉砂;若大面积土壤出现重盐渍化和盐碱土,则为冲湖积地貌,岩性多为亚粘土和粘质土。

通过对比该区已知的乾安地区盐渍化图(1:50 万)和地貌图可以看出:航空电磁圈定的土壤盐渍化程度及其分布的总体格局与已知的盐渍化图和地貌图是相近的,在细节上航空电磁成果要比 1:50 万地面工作成果详细得多。根据村镇近淡水和近农耕地建造的原则,从航空电磁盐渍化程度图上可见大多数村镇都分布在非盐渍化土和轻盐渍化土范围内,就可说明航空电磁的成果是可信的;另外,从图上还可见到盐碱土和重盐渍化土,大都分布在地表咸水体(湖沼和水泡子)周围,这是很正常的自然现象;还有在东鞠字井—前墨字井—前寸字井一线的以东地段,有多条 NE 向盐碱土和重盐渍化土展布,地表虽没有咸水体分布,但与该区段特殊的地

形地貌密切相关,因为该区段在冲湖积平原微倾斜平地地貌单元中沉积了粒度较细的亚砂土、亚粘土,地势 SW 高、NE 低,在后期(包括现代)的冲击过程中,在该地段留下多条 NE 向的低洼地带(相对高差一般小于 2 m,雨季有积水),为土壤次生盐渍化创造了有利条件。航空电磁在该地段圈定的多条 NE 向盐碱土和重盐渍化土,正是该区段“长条形”盐渍化低洼地带的反映。

### 3 划分咸淡水界线预测淡水富水程度

图 2 为航空电磁中频视电阻率,是区内 0~30 m 含水层(包括水质和含水层岩性)的综合电磁响应。图 3 为航空电磁低频视电阻率,是区内 0~70 m 含

水层的综合电磁响应。根据理论计算和实践经验, $\rho_s < 15 \Omega \cdot m$  为咸水,其矿化度大于 3 g/L; $\rho_s$  为 15~25  $\Omega \cdot m$  为过渡类型水(半咸水),其矿化度为 1~3 g/L; $\rho_s > 25 \Omega \cdot m$  为淡水,矿化度小于 1 g/L<sup>①</sup>。

对比两图可以一目了然地看到:该区的浅层孔隙潜水(淡水)主要分布在测区的东南部;另外在测区的中部偏西也有分布面积较大的淡水体存在(图 2)。区内埋深较大的浅层孔隙承压水(淡水),主要分布在测区的东部和北部;另外在测区的中部偏东也有较大面积的孔隙承压淡水体分布(图 3)。对比两图还可预测淡水的相对富水程度,如:测区东部除有浅层孔隙潜水淡水外,也有较深部的孔隙承压淡水存在;乾安县城、归字井周围,也存在上下两层淡

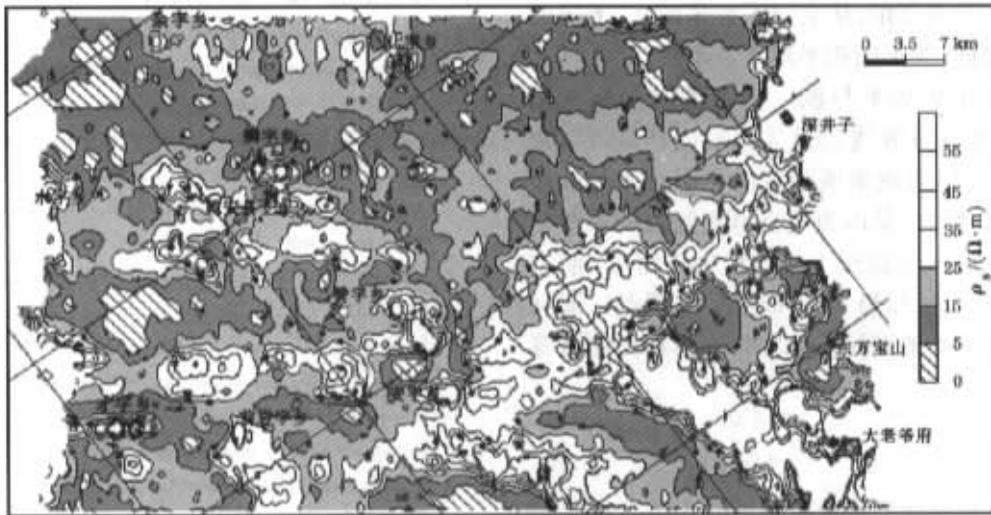


图 2 吉林省乾安地区航空电磁中频视电阻率

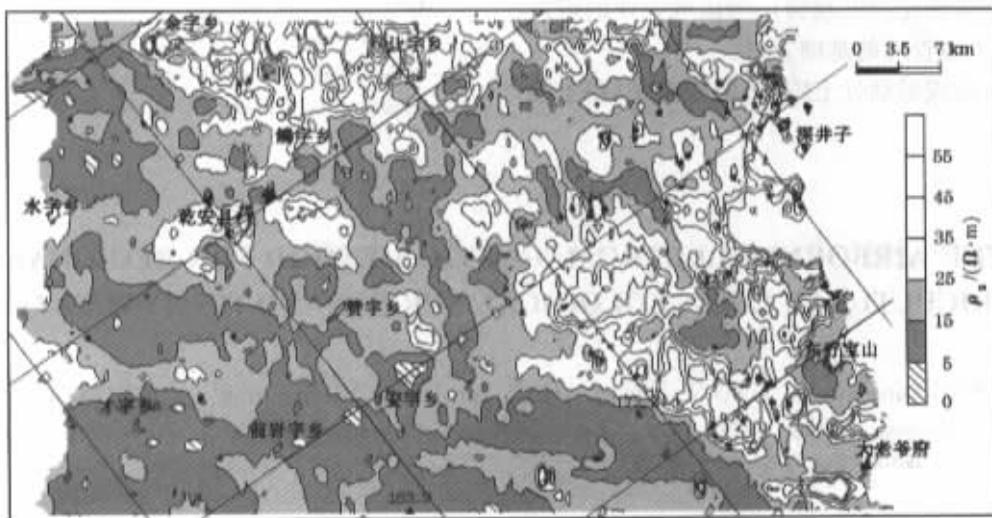


图 3 吉林省乾安地区航空电磁低频视电阻率

① 孟庆敏,满延龙,王汉威. 吉林省乾安地区 Y12 航空电磁法浅层地下水普查试生产成果报告. 中国地质科学院物化探研究所,2002.

水。所以,可根据两图淡水体的平面展布面积大小和垂向分布厚度大小,预测淡水的相对富水程度。平面分布面积大,垂向分布厚度大,则淡水的相对富水程度强,反之,则富水程度相对较弱。另外,还可以根据淡水体的电性变化(本次把 $\rho_s > 25 \Omega \cdot m$ 的都划分为淡水,可以把色标做得更细一些),指明淡水体的水质,视电阻率愈高,水质愈好,反之亦然。

对比两图还可以看到,由于多频航空电磁具有频率测深效能,故不仅能在平面上划分咸、淡水界线,也能在薄层咸水体下发现淡水储体。如图2的中部偏东区段的浅部只在局部有淡水体存在,大面积都是咸水、半咸水的分布区。图3则表明浅层咸水体或半咸水体的下面,有较大面积的淡水体存在。花淖尔湖地段和西北角,从上到下都是咸水,下层的咸水矿化度较低(为大面积半咸水分布区)。

上述航空电磁成果与该区地下潜水水化学图(包括潜水矿化度分界线),总体格局同样是可以比较的,而且航空电磁成果所圈定的不同水质的分布细节要详细得多。这是因为航空电磁测量的采样密度远远大于地面水文物探工作的物理点密度(航空电磁每秒采样3次,相当于21 m一个物理点),而且航空电磁测量不受地面村镇、湖沼、森林和戈壁滩等因素的制约。

#### 4 结论及建议

用航空电磁高频的测量成果划分土壤盐渍化程度,研究地下水动态变化(水位高地表盐渍化发育,水位降低地表盐渍化程度减弱),为区域农业的可持续发展,提供土地管理的基础资料。

用航空电磁成果划分土质(土壤颗粒度)和土壤

盐渍化程度,为区域农牧业的发展、作物(包括牧草)种类选择、提高单产等服务,是大有可为的。

用航空电磁开展大面积浅层地下水资源普查,为工农牧业用水和城市村镇生活用水,提供水源地是完全可行的。

建议利用航空电磁廉价高效的特点(在较大范围内,航空电磁的投入只有地面方法的1/3,工作周期只有地面方法的1/5),在同一地区开展定期重复测量,为区内水、工、环调查和经济可持续发展服务。

#### 参考文献:

- [1] National airborne geophysics project(NAGP): national report[EB/OL]. [http://www.ndsp.gov.au/NAGP/nagp\\_nr.html](http://www.ndsp.gov.au/NAGP/nagp_nr.html).
- [2] national airborne geophysics project(NAGP): state reports[EB/OL]. [http://www.ndsp.gov.au/NAGP/nagp\\_sr.htm](http://www.ndsp.gov.au/NAGP/nagp_sr.htm).
- [3] Evaluation of airborne geophysics for catchment management[EB/OL]. [http://www.ndsp.gov.au/NAGP/nagp\\_pub.htm](http://www.ndsp.gov.au/NAGP/nagp_pub.htm).
- [4] Street G L. Airborne geophysical survey-application in land management[J]. *Exploration Geophysics*, 1992, 23, 333-338.
- [5] Anderson A, Anderson A, McMahon S, et al. A comparison of airborne and ground electromagnetic techniques for mapping shallow zone resistivity variation[J]. *Exploration Geophysics*, 1993, 24, 323-332.
- [6] Street G L, Anderson A. Airborne electromagnetic survey of the regolith[J]. *Exploration Geophysics*, 1993, 24, 795-800.
- [7] Odins J A, Beckham J, O'Neill D, et al. Supplementary ground geophysics for airborne electromagnetic salinity survey over Jemalong-Wylders area[J]. *Exploration Geophysics*, 1995, 26, 195-201.
- [8] Duncan A C, Roberts G P, Buselli G, et al. SALTMAP-Airborne EM for the environment[J]. *Exploration Geophysics*, 1992, 23, 123-126.
- [9] Coppa I, Woodgate P, Webb A, et al. Improving the management of dryland salinity in Australia through the national airborne geophysics project[J]. *Exploration Geophysics*, 1998, 29, 230-233.

## THE AIRBORNE ELECTROMAGNETIC METHOD FOR REGIONAL AGRICULTURAL ECO-GEOLOGICAL SURVEY AND ITS EVALUATION

MENG Qing-min<sup>1,2</sup>, GAO Wei-dong<sup>2</sup>, MAN Yan-long<sup>2</sup>, YU Qing-fan<sup>1</sup>, ZHONG Qing<sup>1,2</sup>

(1. China University of Geosciences, Beijing 100083, China; 2. Exploration Geophysics Open Laboratory of Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, CAGS, Langfang 065000, China)

**Abstract:** Based on a comparison between the achievements made by the airborne electromagnetic method in Song-Liao region and the available hydrogeological data, this paper explains the role played by the airborne electromagnetic method in such regional agricultural eco-geological investigations as the determination of soil salification limits and extent, the division of underground water quality, the

下转 340 页

技术试验和航电异常地初步查证(图2, I区),以确定上述综合方法查证航电异常的地球物理和地球化学前提。查证结论是:“异常查证结果说明所有查证的异常均为有意义地质体异常,其中2处异常可能为较大盲矿体产生的矿致异常,建议对该异常做进一步工作”。现已立项进行工程验证。

## 5 结论

“Y11B 航空物探(电、磁)综合站”在本区的试验飞行成果表明,作为一种快速高效的综合物探方法,航空物探(电、磁)综合测量在草原、森林、沼泽地区开展多金属、贵金属矿产普查效果显著。航空物探(电、磁)综合测量的物理点密且不受沙漠、森

林、湖沼和村镇的制约,效率极高。在一般地区,与同类方法的地面工作比较,可大大提高生产效率,降低总成本,特别在地面工作困难地区,其优越性更为突出和明显。

本次航空物探(电、磁)综合测量,圈定了一批多金属、贵金属成矿远景区。初步的地面查证已经证明其地质效果,为进一步开展地质找矿工作提供了可靠的资料。说明航空物探(电、磁)综合测量是在草原和森林地区进行金属矿产普查的一种廉价高效的物探手段。我国东北地区有大面积地质地貌景观条件与本测区类似且工作程度较低的区域,航空物探(电、磁)综合测量可以上述地区的地质填图和矿产普查方面,发挥积极的作用。

# THE TENTATIVE APPLICATION OF INTEGRATED AEROGEOPHYSICAL SURVEY TO THE PROSPECTING FOR COPPER-POLYMETALLIC DEPOSITS IN THE FOREST AND GRASSLAND REGION

MENG Qing-min<sup>1,2</sup>

(1. Exploration Geophysics Open Laboratory of Institute of Geophysical and Geochemical Exploration, CAGS, Langfang 065000, China; 2. China University of Geosciences, Beijing 100083, China)

**Abstract:** Based on the flying survey over the known Cu-Mo polymetallic deposits conducted by the aerogeophysical (electric/magnetic) integrated stations, the author, in accord with the principle of using the data of known deposits to guide the prospecting work of the unknown areas, has established an aerogeophysical (electric/magnetic) integrated prospecting model in search for porphyry Cu polymetallic deposits in grassland, forest and swamp areas. The aerogeophysical anomalies delineated by this tentative model yielded good results in ground inspection.

**Key words:** airborne geophysical exploration; the forest and grassland region; copper-polymetallic deposits

上接 336 页

classification of soil grain sizes and the prediction of salification trend. It is shown that the airborne electromagnetic method is characterized by low cost and high efficiency.

**Key words:** airborne electromagnetic method; geological investigation; agriculture ecology

作者简介:孟庆敏(1965-),男,教授级高工,河北玉田人。1989年毕业于中国地质大学(武汉)应用地球物理系,获硕士学位,现就职于中国地质科学院物化探所,长期从事航空物探研究工作。