

地 质 矿 产 部

地球物理地球化学
勘查研究所刊

第 6 号

地质出版社



地 质 矿 产 部

地球物理地球化学
勘查研究所刊

地 质 出 版 社
· 北 京 ·

(京)新登字 085 号

内 容 简 介

本期主要报道我所“七五”期间有代表性的科技成果。其中物探方面选登了近些年取得一定成效的航空电磁法的应用研究、DST-1 型井中声波透视仪研制、时间域谱激电法研究、瞬变场方法研究,以及综合解释的数学方法等方面的论文;化探方面主要介绍了地球化学颗粒金的分布及其变化规律的研究成果、汞量测量方法在寻找非金属矿——雄黄矿中的应用效果、隐伏矿的地球化学异常模式及其应用。另外,还报道了导航星/全球定位系统(NAVSTAR/GPS)在地球物理探矿中的应用以及气体测量在金属矿化探中的应用效果。本刊可供从事地球物理地球化学勘查的有关人员和地质、仪器生产、科研、教学的有关人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

地质矿产部地球物理地球化学勘查研究所刊 第 6 号
/地质部地球物理地球化学勘查研究所编. —北京:地质出版社, 1995.6
ISBN 7-116-01905-7

I. 地… I. 地… III. ①地球物理勘探-研究-研究所-
期刊②地球化学勘探-研究-研究所-期刊 IV. ①P631-55②
P632-55

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (95) 第 07055 号

地质出版社出版发行

(100013 北京和平里七区十楼)

责任编辑:傅学信

*

北京地质印刷厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本: 787×1092¹/₁₆ 印张: 14.5 字数: 347000

1995 年 6 月北京第一版·1995 年 5 月北京第一次印刷

印数: 1—600 册 国内定价: 15.00 元

ISBN 7-116-01905-7

P·1484

目 录

〔物探部分〕

1. 我所航空电磁法的应用效果..... 满延龙 (1)
2. DST-1型井中声波透视仪的研制 雷振英 袁远 左公宁 闫欣元 (15)
3. 时间域谱激电法研究 周安昌 李金铭 杨冠鼎 陈兆洪 (33)
4. 瞬变电磁法在寻找深部隐伏矿中的应用 杨士霞 吴凤翔 (72)
5. 综合解释的数学方法 王忠敏 (85)
6. 非均匀磁性分布条件下用于磁异常正演计算的磁性统计问题..... 于德武 (142)
7. 导航星/全球定位系统 (NAVSTAR/GPS) 在地球物理探矿中的应用.....
..... 林锡如 段树岭 邱志众 王福根 丁点鸿 (148)

〔化探部分〕

8. 隐伏矿的地球化学异常模式及其应用..... 刘崇民 徐外生 (160)
9. 颗粒金的分布及其变化规律的研究..... 王学求 (188)
10. 汞量测量方法在寻找非金属矿——雄黄矿中的应用效果.....
..... 古平等 谢 勇 (210)
11. 气体测量在金属矿化探中的应用效果综述 苏国森 (219)

本刊主编: 陈云升 副主编: 傅学信 参加本期编审、编辑工作人员: 陈云升
傅学信、张常杰 英文翻译: 毕德启 图件制作人员: 黄裕芳

**BULLETIN OF THE INSTITUTE OF GEOPHYSICAL
& GEOCHEMICAL EXPLORATION, MINISTRY OF
GEOLOGY AND MINERAL RESOURCES, NO. 6**

CONTENTS

[Geophysical Exploration Methods]

1. The Applications of Airborne EM Method *Man Yanlong* (1)
2. The Development of Borehole Acoustic Perspective Instrument DST-1
..... *Lei Zhenying, Yuan Yuan, Zuo Gongning and Yan Xinyuan* (15)
3. A Time Domain Study on the Spectrum Induced Polarization Method
..... *Zhou Anchang, Li Jinming, Yang Guanding and Chen Zhaohong* (33)
4. The A Application of Transient EM Method to the Prospecting for Deeply
Buried ore Bodies *Yang Shixia and Wu Fengxiang* (72)
5. Mathematical Methods for Comprehensive Interpretation
..... *Wang Zhongmin* (85)
6. Statistical Problems of Magnetic Properties Involved in Magnetic Anomaly
Calculation Under Inhomogeneous Magnetization Conditions ... *Yu Dewu* (142)
7. The Application of NAVSTAR/GPS to Geophysical Exploration
Lin Xiru, Duan Shuling, Di Zhizhong, Wang Fugen and Ding Dianhong (148)

[Geochemical Exploration Methods]

8. The Study and Application of Geochemical Anomaly Patterns of Concealed
Deposits *Liu Chongmin and Xu Waisheng* (160)
9. Studies on the Distribution and Transformation of Gold Particles
..... *Wang Xueqiu* (188)
10. The Effectiveness of Using Mercurimetric Survey Technique for Nonmetallic
Ore Deposits *Gu Pingdeng and Xie Yong* (210)
11. The Application of Gas Survey to Geochemical Exploration for Metallic
Ore Deposits *Su Guosen* (219)

Geological Publishing House
Address: Xueyuan Road No. 31,
Beijing, China 100083

**Institute of Geophysical and
Geochemical Exploration**
**Ministry of Geology and
Mineral Resources**
Address: Langfang, Hebei, China

我所航空电磁法的应用效果

满 延 龙

摘要: 我所航空电磁法的应用研究, 历时 30 年。整个工作分为仪器研制、方法有效性试验和投入试生产、生产及开拓应用领域两个阶段。大量工作实践表明, 使用的频率域翼尖硬架系统仪器性能稳定, 工作正常。其技术指标: 高频实、虚分量时间常数 0.93 s, 低频实、虚分量时间常数 1 s; 各道噪声水平小于 30×10^{-6} ; 零漂小于 $200 \times 10^{-6}/h$; 记录灵敏度变化率小于已飞的 15 万测线公里中不超过有效高度的工作量占 55%, 共发现基岩导体异常 2 600 多个。已知铜、铁矿上, 航电异常明显, 表明航空电磁法在寻找金属矿方面是有效的; 在胶东破碎带蚀变岩型金矿的已知控矿断裂破碎带上, 航电异常显示为低阻异常, 可以起到缩小找金靶区的作用; 在华北平原“有咸水”的水文地质分区中, 可以区分咸、淡水, 进行浅层水资源调查, 起到“水质填图”效果, 成果显著, 得到社会认可。通过实际工作, 还总结出航电能充分发挥效能的四条有关地质-地球物理应用条件。文中最后指出, 航空电磁法技术已逐步趋于成熟, 随着方法技术和设备的进一步改进与完善, 只要满足应用条件, 就会在更多的领域发挥更大的作用。

主题词: 航空电磁法 应用 金矿 水文地质

一、前 言

航空电磁法作为一种快速、低成本、高效益的新型地质勘查技术手段始于本世纪 40 年代末, 至今已有半个世纪。这期间, 先后在美国、加拿大、澳大利亚、前苏联、瑞典、印度、日本、法国、英国, 以及我国等开展了航空电磁法工作, 投入了一定的工作量, 取得了相当好的地质找矿效果^①。

当前, 航空物探(含电、磁、放)力量主要在美国、加拿大、前苏联、中国和澳大利亚等 5 国。总的说, 西方国家的航空物探仪器设备较先进, 方法多, 注重经济效益, 而不大讲究工作的系统性、地区完整性。投入工作量最多的 1975 年达 370 多万测线公里。由于西方经济萧条, 尔后的工作量下降很多, 80 年代平均工作量只占 70 年代前期的 60%; 而固体矿产航空物探只占总工作量的 50%, 其余为能源航空物探^[1]。他们所投入的方法有频率域系统、时间域系统、频率双机旋转场系统, 频域半航空系统, 甚低频系统、天电系统等。得到迅速发展的有时域系统和频域系统, 并且二者有并行发展的趋势。时域系统的发展方向以其长收发距、大发射功率、宽带低基频、高质量数据采集为特点。1985 年投入使

① 地矿部物探化探研究所一室“三频航电系统研究设计书”1992 年 10 月

用的 GEOTEM 系统是这类系统的代表; 频域系统则朝着多线圈、多频和改善漂移线性度(提高数据质量)的方向发展。该类系统的代表是近年才发展起来的 AERODAT 直升机大吊舱系统。

在应用方面, 航电除用于寻找硫化矿床、黑色金属矿床及金矿勘查外, 还用于土地盐碱化程度和范围探测、地下水资源评价、海浸监控、浅海测深、土壤及水资料污染监测、海冰厚度探测、沉积层电性填图、人文特征(地下管线)探测等。

我国航空物探工作始于 50 年代, 70 年代中期进入高潮, 全国先后有 15 家建立了专业队伍(以航磁为主)^[1]。而航空电磁系统, 国内曾试验和引进多种型号用于试验性生产。包括, 脉冲式 M-1 航电系统、补偿式双频和三频航电系统, 以及甚低频航电系统。其方法技术比较成熟。补偿式的(双频、三频)近些年仍在使用。它们的噪声约 20×10^{-6} — 30×10^{-6} , 零漂 $200 \times 10^{-6}/h$, 探测深度 100m 以内^[2]。其中有 5 家研制了不同系统航空电法仪器, 主要为时域系统和频域系统。总的说, 航空电磁法在我国已取得相当快的进展, 并与航空磁测(高精度)、 γ 能谱测量组成航空综合站, 其导航与数据采集收录系统采用了当代最新技术。第二代航空物探的实用阶段已开始^[3]。整体工作已进入世界先进行列。

二、我所两个阶段航电工作的回顾

60 年代初期, 随着航空电磁系统硬件的研制成功, 我所相继开展了航空电磁法的应用研究。至今已有 30 年的历程。整体工作大体分两个阶段进行。第一阶段为仪器研制及方法有效性试验研究阶段, 第二阶段为航电方法间接找矿和开拓应用领域的试验研究、生产测量阶段。其中, 1981—1989 年这一时期工作进展较快。据资料统计, 这一时期我国 9 省市 22 个地区共进行比例尺 1:2.5 万—1:5 万, 个别 1:10 万, 面积 70921.2km², 15378.05 测线公里的勘测工作量, 发现航电基岩导体异常 2600 多处。

第一阶段为仪器研制及方法有效性的试验研究阶段。这个阶段从 60 年代初到 80 年代初。1975 年之前, 主要是仪器研制及飞机改装阶段。1975 年 10 月单频运-5 型航电系统试飞成功后, 全面铺开了方法有效性的试验研究; 1980 年双频运-11 型航电试飞成功后, 方法的有效性研究进入了试生产阶段。这期间的工作重点放在已知铜、铁矿体上的方法有效性试验及小面积性试生产, 目的是直接寻找大、浅、良导基岩地质体。在已知的铜、铁矿体上, 航电有明显的异常显示, 方法的有效性得到了充分的证实; 直接寻找大、浅、良导地质体的试生产工作, 先后在内蒙古、江苏、江西等地, 开展了小面积性的试验研究。试测面积约 15000 km², 工作比例尺 1:2.5 万—1:5 万。试测工作取得了一大批航电异常, 在个别地区也见到了地质效果。如, 江苏某银金矿点的发现, 就是地矿部第一物探大队检查 1981 年苏北测区航电异常时定的孔位, 后由江苏地质六队钻探验证的。但因受到矿种、地形、覆盖厚度等因素的限制, 加之地面查证工作跟不上, 使航空电磁法的应用研究处于停滞状态。经过对国内外已有资料的分析研究认识到, 航电直接寻找大、浅、良导矿要受很多因素限制, 而开展间接找矿的应用研究和扩大航电方法应用领域的试验研究, 使我所航电方法的应用研究进入了一个新阶段。

第二阶段是用航电间接找矿和开拓航电应用领域的试验研究和生产测量阶段(相继从1983年和1985年开始)。主要作了两个方面的工作:一是用航电寻找含矿化裂隙水的构造破碎带,为寻找与硫化物共生,受构造控制的贵金属及多金属矿产缩小靶区;二是开拓航电方法的应用领域,用航电在平原地区开展浅层水资源调查,寻找古河床淡水、研究古沉积环境的试验研究,用航电直接为农牧业生产服务。第一项工作是继1983年在山东招-掖金矿成矿带,寻找断裂破碎带,缩小破碎带蚀变岩型金矿找矿靶区取得成功后,先后在山东半岛、辽宁省辽西地区、安徽省蚌埠—五河地区、芜湖—宣城地区、贵池地区、滁县—巢湖地区、吉林省长春—四平地区、湖北嘉鱼地区开展了面积性勘测。工作比例尺1:5万,共飞测10多万测线公里。为上述地区的贵金属及多金属矿产开发,提供了新的信息,地质效果较为显著。第二项工作于1985年开始,在河北省南宫地区的“有咸水”水文地质分区中,开展了划分咸、淡水,寻找古河床淡水的试验研究工作。工作比例尺1:5万,工作面积1200多平方公里。试验取得了令人满意的结果,水文地质效果十分显著;1987年又在河北省曲周地区,开展了扩大再试验的研究工作。工作比例尺1:10万,工作面积约3000km²。试验结果绘制了浅层水水质分布图。河北省地矿局有关专家,对航电圈定的水质图给予较高的评价。

从80年代初至1991年底,航电飞测面积7万多平方公里,测区分布在内蒙古、江苏、江西、山东、河北、辽宁、吉林、安徽、湖北等省区。工作比例尺除内蒙古的600多平方公里、苏北的4000多平方公里为1:2.5万,河北省曲周的3000多平方公里为1:10万外,其余地区都为1:5万。飞测的总工作量15万多测线公里。

在上述各省区的飞行测量期间,仪器性能稳定,工作正常,各项技术指标达到或优于仪器研制时的设计指标:航电系统的整机时间常数,高频实、虚分量为0.93s,低频实、虚分量为1s;各道的噪声水平,大部分都小于 30×10^{-6} (设计指标),其中86%的架次、噪声水平只有 10×10^{-6} — 20×10^{-6} (图1);航电系统的零点漂移大部分小于 $200 \times 10^{-6}/h$ (设计指标一架次约4小时统计)。其中65%的架次零漂小于 $100 \times 10^{-6}/h$;记录灵敏度变化率大部分小于10%(设计指标)。其中70%的架次小于5%。

在已飞的15万多测线公里中,航电测量不超高(飞行高度小于70m)的工作量,约占总工作量的55%,即航电有效工作量只有84000多测线公里。除去平原区(飞行高度45—55m)划分咸、淡水的5000多测线公里外,航电能发挥作用的工作量约为80000测线公里,即40000多平方公里。在这40000多平方公里面积内,覆盖层导体异常(包括海漫、地表盐碱化、地面效应及盖层电性不均匀异常)的分布面积,约占航电有效面积的15%。在余下的34000平方公里面积内,共发现基岩导体异常(包括含矿化裂隙水的断裂破碎带异常)2600多个(带)。这些异常中除极少数为孤立异常外,大都为条带状异常,长度500m至几十公里。

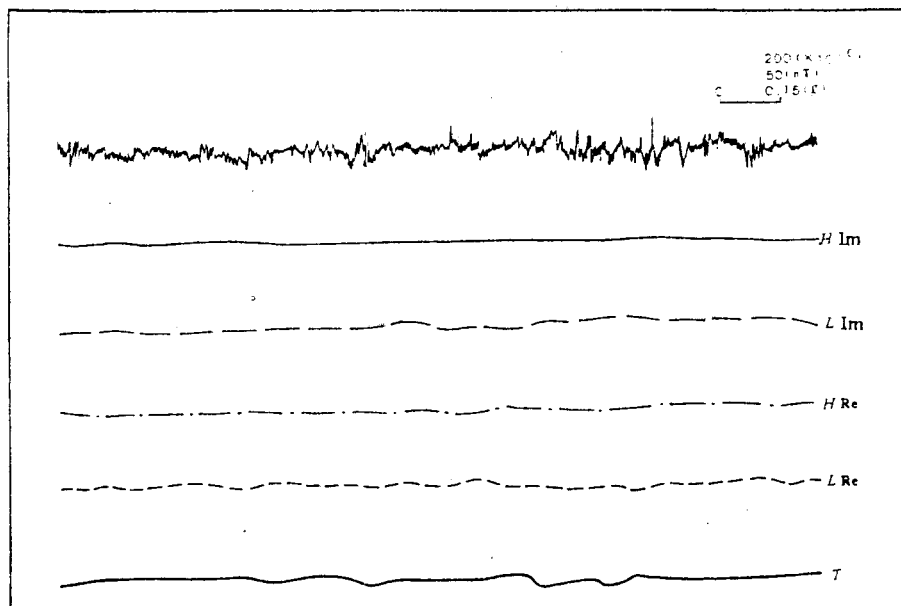


图1 航电系统的噪声水平变化图

Fig. 1 Variation of the noise level of AEM system

三、航空电磁法有效性试验效果

在方法有效性试验及试生产阶段,先后在铜、铁已知矿上,进行了试验飞行。在已知铜矿上(城门山铜矿),航电有明显的良导异常显示。用直立半平面模型响应矢量图求得:视电导为 240 S,埋深 32 m,和实际情况相近(图 2);沿海地带用航电圈定海浸范围,效果是显著的;在胶东破碎带蚀变岩型金矿的已知控矿断裂破碎带上,航电有明显的低阻异常显示(图 3);在华北平原“有咸水”水文地质分区中,用航电划分咸水、淡水,进行浅层水资源调查,水文地质效果十分显著;另外,在胶东的石墨矿上,航电的良导异常也非常明显(图 4)。在密云和陶村磁铁矿上,航电取得了明显的磁极化效应异常,与同步测量在矿顶所显示的 ΔT 磁异常对应,起到了区分矿与分矿的作用(图 5)。

综合上述不同地区和矿种上航电方法有效性的试验研究结果,可以看到,只要满足下列地质、地球物理条件,航空电磁法的效能,就能得到充分发挥:

- ①地形比高小于 200 m 的平原(包括沙漠及草原)、丘陵和坡度不大的低山区;
- ②覆盖层平均厚度小于 40 m 的无良导覆盖区(指海浸和表层盐碱化);
- ③寻找的对象应是与围岩有明显电性差异的良导体(包括离子导电的良导体);或者满足与围岩有明显电性差异,而且本身电阻率值很小的低阻地质体(包括离子导电低阻体)的地球物理条件。这个“低阻体”的视电阻率,根据模型试验的比拟条件和实地测量可知,在平均飞行高度 50 m、平均覆盖厚度 30 m 的条件下,低阻体的视电阻率一般应小于 40Ω 。

m。

④对于运-5和运-11型飞机, 因受飞机本身性能的影响, 测区的海拔高度应小于2000 m。

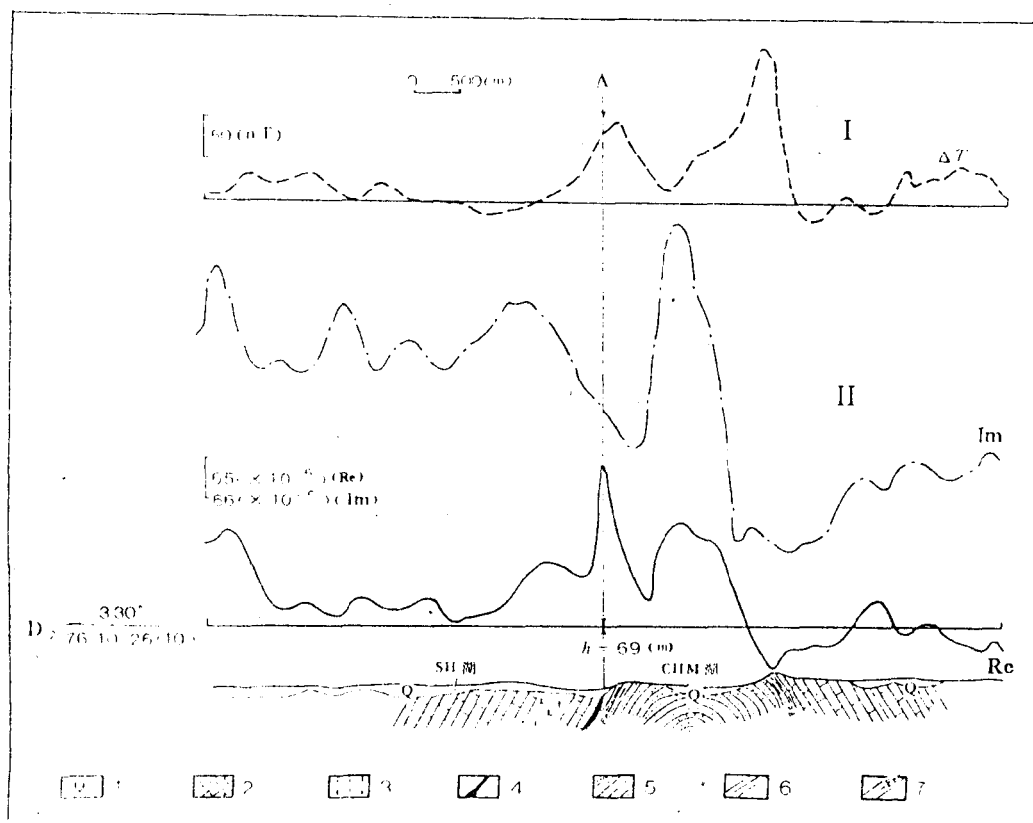


图2 两种系统在城门山含铜黄铁矿 D₂ 线上的实测结果对比图

I—CCK-1 航磁仪组装的航空硬架电/磁综合站观测曲线;

II—运-5 翼尖硬架航空电磁系统观测曲线;

1—第四系; 2—灰岩; 3—花岗闪长岩; 4—含铜黄铁矿矿体; 5—砂岩; 6—页岩; 7—含铁质细砂岩; A 为与矿体对应的异常; h 为飞机飞过矿顶时的离地高度

Fig. 2 Comparison of the results obtained by two systems over a copper bearing pyrite orebody on D₂ exploration profile

I — Curves obtained by AEM rigid-boom system in combination with the CCK-1 airborne magnetometer; II — Curves obtained by Y-5 wing-tip (boom) AEM system; 1—Quaternary system; 2—Limestone; 3—Granodiorite; 4—Copper bearing pyrite orebody; 5—sandstone; 6—Shale; 7—Iron bearing siltstone; A is an anomaly over the orebody; h is flying height over the orebody

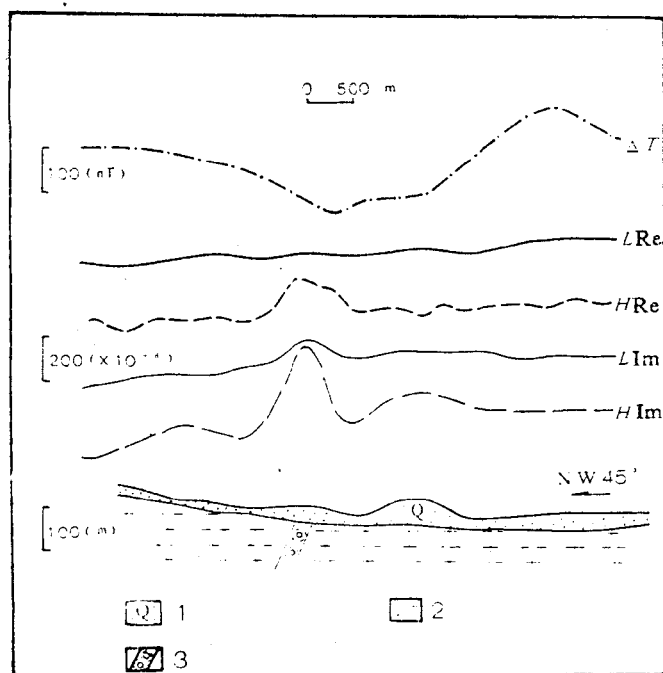


图 3 胶东破碎带蚀变岩型金矿已知控矿断裂破碎带上低阻航空异常

1—第四系；2—黑云母花岗岩；3—破碎硅化含金带

Fig. 3 Low resistance anomaly obtained by AEM over a bearing fractured alteration zone in the eastern part of Shandong

1—Quaternary System; 2—Biotite-granite; 3—Gold bearing fractured zone

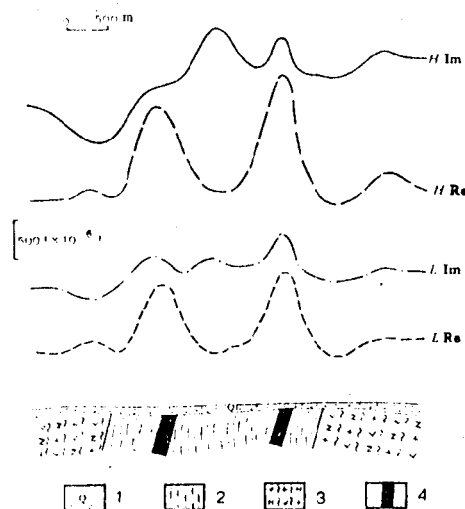


图 4 胶东石墨矿上航电良导异常

1—第四系；2—变粒岩；3—斜长角闪岩；4—石墨矿

Fig. 4 Conductive AEM anomaly over graphite orebody in the eastern part of Shandong

1—Quaternary System; 2—Leptynite; 3—Amphibolite; 4—Graphite orebody

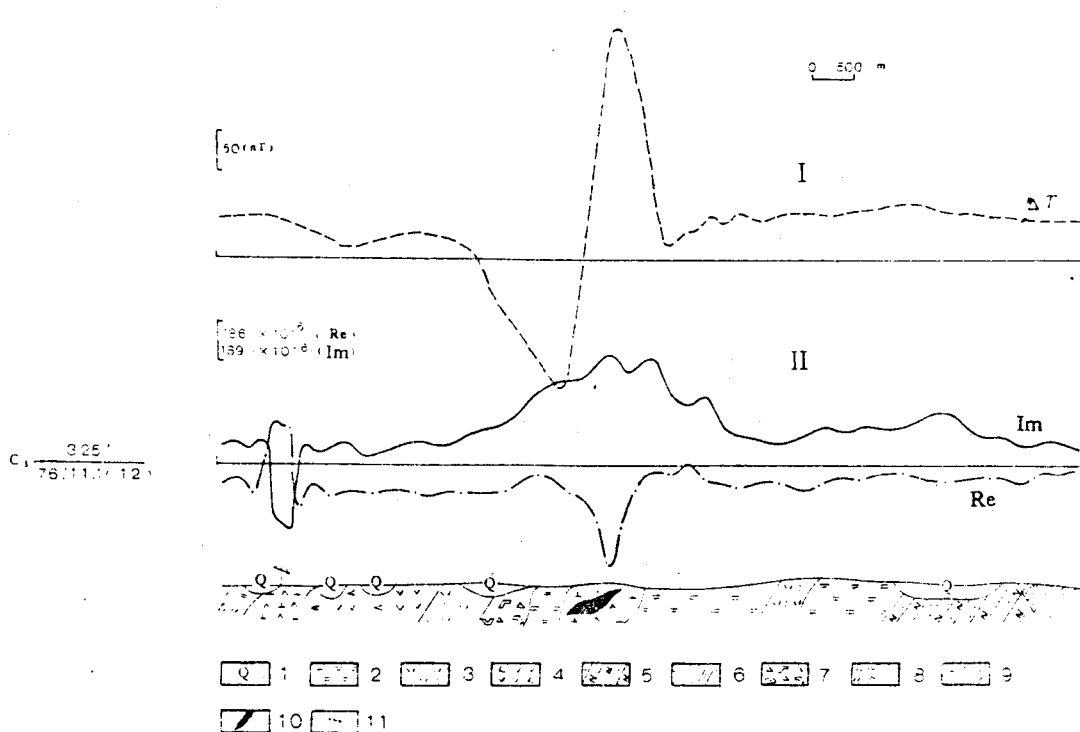


图5 两种系统在陶村磁铁矿 C_3 线上实测结果对比面图

I—CCK-1 航磁仪组装的航空硬架综合站观测曲线;

II—运-5 翼尖硬架航空电磁系统观测曲线, 系统在矿顶上空的离地高度 $h=55$ m

1—第四系; 2—粗安岩、角闪粗安岩; 3—沉凝灰岩、凝灰岩; 4—角闪安山岩; 5—长石石英中粗粒砂岩; 6—粉砂岩、细砂岩; 7—集块岩、火山角砾岩; 8—石英二长岩; 9—闪长玢岩; 10—磁铁矿体; 11—通讯线

Fig. 5 Comparison of the results obtained by two systems over the magnetite orebody along C_3 exploration profile

I—Curves obtained by AEM rigid-boom system in combination with the CCK-1 airborne magnetometer;

II—Curves obtained by Y-5 wing-tip (boom) AEM systemh-The flying height of AEM system over an orebody (55m)

1—Quaternary system; 2—Latite, amphibole lattle; 3—Fuff; 4—Amphibole andesite; 5—Feldspathic quartz sandstone; 6—Siltstone, Sandstone; 7—Agglomerate ava; 8—Quartz-monzonite; 9—Dioritic porphyrite;

10—Magnetite orebody; 11—Communication line

四、地质找矿效果初估

经多年的方法有效性试验、试生产及生产检证明, 航空电磁法是一种比较成熟的、重要的航空物探手段之一。只要使用合理, 航空电磁法是有大有可为的。目前, 在胶东破碎带蚀变岩型金矿的已知控矿断裂破碎带上, 航电显示了低阻异常, 起到缩小找金靶区的作用; 在华北平原“有咸水”的水文地质分区中, 区分咸、淡水, 起到浅层水资源调查、填图的

效果。下面着重介绍这些初见成效的成果。

(一) 航电在胶东金矿上的效果

1985 年胶东Ⅲ号航测区,共圈定 80 多条断裂破碎带,最长 20 多公里,最短 500 多米。结果发现,几乎所有的(航电超高地段除外)已知金矿床(点)(有 40 多处)均被航电圈出的构造破碎带所控制,且大部分与航电异常带的最强部位相吻合(图 6)。这一极其明显的事实,为我们提供了一个使尔后工作得以进展的启示:利用航空电磁法圈定这类构造破碎带,进而发现与之共存的金矿床(点),起到间接找金矿的地质效果是一个正确的思路。实际工作表明,正是遵循了这一原则,工作才得以开展。

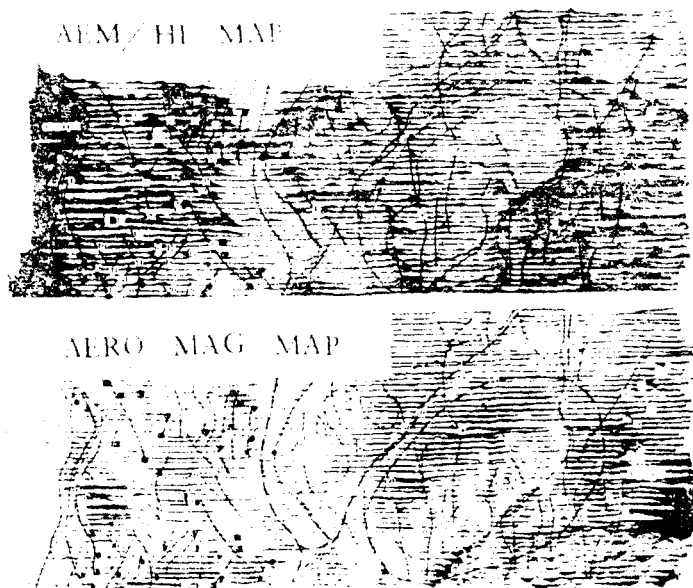


图 6 胶东Ⅲ号区航测异常图

Fig. 6 AEM anomaly over Ⅲ area in the eastern part of Shandong

在胶东某地 1—Ⅲ号航电测区,总面积达 4500 多平方公里,是胶东金成矿带最有利地段。航电发挥了作用,共圈出 9 个金矿远景区、220 多条断裂破碎带。以往,虽然有不少部门(如冶金部、核工业部、煤炭部、黄金武警部队等)在此工作过,但地面航检工作量只占总航电异常总数的 2.56%,显得太少。尽管如此,通过航检仍然发现了一批中、小型金矿床和金矿点。这里,可简介如下表 1。

航电在胶东间接找金矿取得上述地质效果,其原因可从胶东金矿地质环境和有关成矿理论方面得到解释。

山东半岛破碎带蚀变岩型金矿,属中温热液裂隙充填交代型矿床,具有明显的热液蚀变现象。主要有黄铁绢云岩化、硅化、碳酸盐化、高岭土化、绿泥石化等。金矿化伴随热液蚀变作用发生并与硫化矿物共生。在特定条件下,硫化物与金含量具有正消长关系。矿石成分主要有自然金、银金矿、黄铁矿、黄铜矿、菱铁矿、次生方铅矿和闪锌矿。

表1 胶东地区航检和验证情况简介

Table 1. AEM anomaly follow up and drilling verification in the eastern part of Shandong

地 点	手 段	验 证 简 况
胶东 141 号航电异常区	激电、次生晕综合异常 (Au、Ag、Cu、Pb、Zn)	80 m 深处见金矿, 品位 2.17×10^{-6} — 7×10^{-6} ; 有的已圈定浅部金储量 790 kg
胶东 160 号航电异常区	原生晕多元素组合异常	发现三层金矿体, 厚度分别为 8.12、1.10、0.52 m, 品位分别为 4.11、5.98、 8.16×10^{-6} 、已控金储量 6 t 多
胶东 23 处航电异常 (黄金武警部队检查区)	利用地面物探、化探方法	已见矿异常 10 处, 见矿率为异常数的 43%; 发现中型矿 5 个, 小型矿 2 个; 共打钻 22 孔, 15 个孔见金矿体, 2 个见金矿化
1984 年后航电已飞过的地区航电异常所控制的断裂带	地面物探、化探	新发现的大、中、小型金矿床, 公开的已达 7 处

山东半岛地处温带, 气候温热多雨, 裂隙水发育, 加之区内地形切割不厉害, 裂隙水顶端埋深不大, 为航电效能的发挥提供了条件。裂隙周围的硫化矿物愈发育, 裂隙水的矿化度也愈高, 导电性也就愈好。高矿化度裂隙水 (电阻率一般 $5-20 \Omega \cdot m$) 与其围岩的电性 (电阻率几百—几千 $\Omega \cdot m$) 差异十分明显。其明显程度主要取决于构造破碎带中矿化裂隙水、断层泥和硫化矿物的多少。而该地区这类物质相当发育。航电异常表现为低阻异常是它们的综合反应。但其中主要是含有硫化矿物的裂隙水的贡献。硫化矿物愈富集, 金成矿的可能性也就愈大。

从金元素富集成矿理论得知, 胶东金元素活化迁移富集经历了两次构造-热力事件: 第一次由于金矿源层区域变质, 在构造有利部位金元素随热液迁移沉淀; 第二次由于高温高压下重溶再造作用, 形成一系列岩体, 金元素也随之活化, 向岩体边缘部位迁移、交代, 造成接触带附近、岩体一侧金元素的富集, 形成该地区大、中型金矿床^①。

由此可见, 上述简单介绍的金矿地质成矿条件与成矿理论, 为航电在该区寻找含金构造破碎带, 进而在有前景区带圈定、缩小找金靶区提供了较充分的地球物理前提和理论依据。

因此, 在该地区寻找这一类金矿, 应用航空电磁法间接找矿效果是无疑的。同时又根据多年工作经验, 航空电磁法如配以航磁其效果会更佳。实际工作表明, 采用航空电/磁综合测量, 可归纳出以下地球物理找矿模式, 以指导进一步找矿:

- ①用低电磁响应, 低磁场区域性特征圈定岩体位置, 找到接触带;
- ②再用低电磁响应区域场中的带状异常圈定低阻的断裂带;
- ③最后用电磁响应最佳 (含同一条断裂带最好地段)、磁场下降明显 (负磁场)、展布在接触带以及岩体一侧的地球物理标志, 选出有成矿希望的断裂带, 即是金元素富集成矿最有利部位。

几年工作实践证明, 利用这一模式在胶东地区指导找金矿, 是收到明显效果的。预计,

① 地矿部物探化探研究所一室, 1992 年, “三频航电系统研究设计书”

航空电磁法在这类金矿床的开发中,随着认识的深化,将会发挥愈来愈大的作用。

(二) 平原地区浅层水资源调查

我国干旱和半干旱面积达 500 多万平方公里, 占国土面积的 52%。解决这些地区的农牧业用水任务十分艰巨。要在平原、草原和沙漠地区, 开展大面积 (几万—几十万平方公里) 的浅层水资源调查, 用现有的地面物探手段, 需要大量的人力和财力, 而且周期很长。因此, 需要找到一种快速、经济、有效, 并且适合开展大面积中、小比例尺 (1:20 万—1:5 万) 浅层水资源调查的新手段, 已成为当前水文物探亟待解决的重要课题。为此, 我们开展了航空电磁法浅层水资源调查的试验研究工作, 并取得了成功。

1. 航电“水质填图”的水文地质效果

1985 年在河北省南宫地区, 开展了 1:5 万水质填图的试验研究工作。工作面积 1200 多平方公里, 已知的南宫地下水库 (面积 206 km²) 分布在测区的东北角。试验取得了成功, 航电填制的水质图与已知南宫地下水库的电性分布图, 对比二者在平面分布位置上 (包括分布面积和形状) 是相近的 (图 7、8); 航电填制的水质图, 除能清晰地反映咸、淡水的分布外, 还能用它研究古沉积环境 (研究土壤)、预测古河床淡水的相对富水程度 (根据分布面积大小和古河道走向的连续性好坏判断)。

为进一步检验航电水质填图的有效性, 1987 年在河北省曲周地区, 进行了扩大再试验。工作面积近 3000 km², 工作比例尺 1:10 万。这次试验水文地质效果十分明显。水质图与该区 1:20 万地面水文物探编图, 在咸、淡水的分布位置上, 几乎一一对应, 只在平面分布形态和面积大小方面略有差别 (图 9、10)。航电水质图在划分不同水质界线的细节上, 优于地面 1:20 万电测深编图。这是因为, 航电记录的“物理点” (36 m 一个点) 远远多于 1:20 万地面电测深点, 并且不受村镇、湖沼、河塘的限制。

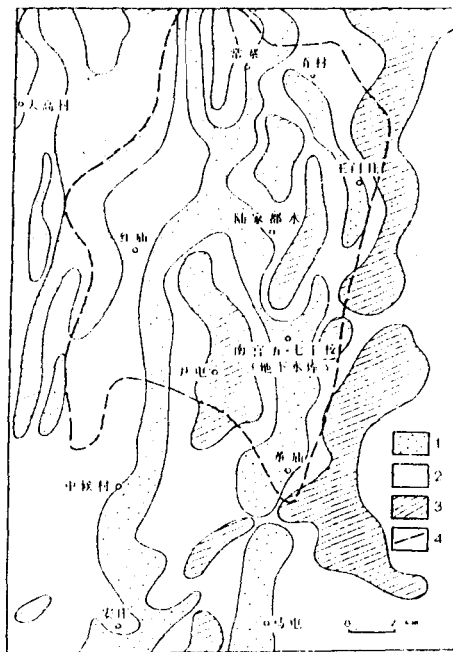


图 7 河北省南宫地区航电浅层水资源调查成果

1—淡水 $>25 \Omega \cdot m$; 2—过渡类型水 $15-25$

$\Omega \cdot m$; 3—咸水 $<15 \Omega \cdot m$; 4—南宫地下水库界线

Fig. 7 Result showing shallow groundwater investigation by AEM in Nangong area of Hebei province

1—Fresh water $>25 \Omega \cdot m$; 2—Transitional water $15-25 \Omega \cdot m$; 3—Saline water $<15 \Omega \cdot m$; 4—Boundary of Nangong underground reservoir

1989年河北省地矿局,组织水文地质专家,对1987年曲周地区航电圈定的水质图进行了检验,编写了“河北省曲周地区航电异常验证结果”(河北省地质矿产局1989年5月)。文中对航电水质图给予了较高的评价:

①航电高、低阻异常分布的总格局与地面电法异常相同;

②航电反映古河床浅层淡水砂体分布的高阻异常区,在几种图件(指地面电测深成果图——笔者)上相当吻合;

③航电反映咸水存在的低阻异常区,90%以上都位于 $AB/2=65\text{ m}$ 电极距等视电阻率平面图上的相应低阻异常区和定量解释咸水地质体顶界面埋深小于10 m的地区内,表明二者的一致性很好。

以上验证结果说明,航空电磁法在华北平原咸水分布地区,进行中一小比例尺浅层水资源调查,寻找古河床淡水,研究古沉积环境,为农牧业生产服务,具有广阔的实用前景。

2. 航电浅层水资源调查——“水质填图”的机制

所谓“水质填图”,就是把不同矿化度(咸水、淡水、过渡类型水)的浅层地下水界线划分出来,填制出不同水质的平面分布图。下面以华北平原“有咸水”水文地质分区中的南宫、曲周地区为例,说明航电“水质填图”的机制。

上述地区分布在湖积冲积泛滥平原的地貌单元中。区内的浅层水一般存在3种水质:淡水(矿化度小于 2 g/L)、咸水(矿化度大于 3 g/L)、过渡类型水(矿化度 $2-3\text{ g/L}$)。过渡类型水和咸水的存在,是因水的赋存环境(古沉积环境)影响后天形成的,属内陆干旱次生成因类型。水质与古沉积环境密切相关,且具有分带性:中间为古河道主流相沉积,以细砂和中细砂为主,是区内浅层淡水(古河床淡水)主要储水体;向两侧为古河漫滩相沉积,以粉砂和亚砂土为主,含水量小且水质不稳定(与旱、雨季有关),形成该区的过渡类型水;最外侧为古泛滥平原相沉积,以粘土、亚砂土、亚粘土互层为主,不含水或储有后天形成的咸水,形成平原上的“无浅层淡水区”或咸水区。

统计不同水质和成土母质的电性,对应二者的视电阻率(ρ_s)是相近的(见下表2)。

从表中可见,淡水和砂体呈相对高阻;咸水和粘质土的导电性最好;而过渡类型水和亚砂土的电性介于二者之间。当它们各自的分布面积足够大时(几何尺寸大于10倍收发

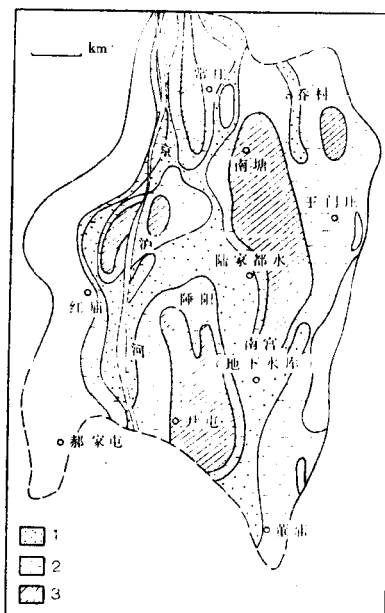


图8 河北省南宫地下水库 ρ_s 值分区图

1— $>25\ \Omega\cdot\text{m}$; 2— $15-25\ \Omega\cdot\text{m}$; 3— $<15\ \Omega\cdot\text{m}$

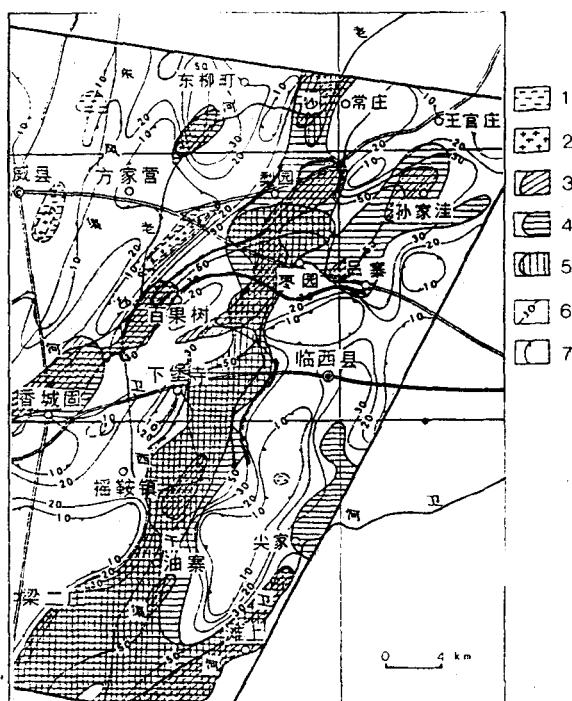
Fig. 8 ρ_s distribution of Nangong underground reservoir in Hebei province

1— $>25\ \Omega\cdot\text{m}$; 2— $15-25\ \Omega\cdot\text{m}$; 3— $<15\ \Omega\cdot\text{m}$

[illegible]

1—古河床淡水；2—咸水；3—半咸水

1—Fresh water of paleochannel; 2—Saline water; 3—
Brackish water



1—轻盐渍化区; 2—中渍盐化区; 3—8—10 m 深度富集带; 4—20 m 深度富集带; 5—40—60 m 深度富集带; 6—浅层淡水底界等深线; 7—无浅层淡水区

1—Brackish water gathering area; 2—Mesohaline gathering area; 3—Fresh water enrichment zone at depth of 8—10 m; 4—Fresh water enrichment zone at depth of 20 m; 5—Fresh water enrichment zone at depth of 40—60 m; 6—Shallow fresh water depth contour; 7—Shallow fresh water area

Table 2. Table of different kinds of water qualities and p_s values of there corresponding soil parent materials

水 质	$\rho_s (\Omega \cdot m)$	成土母质 (潮湿)	$\rho_s (\Omega \cdot m)$	常见值 $(\Omega \cdot m)$
淡 水	>25	细砂、中细砂	$30-80$	<10
半 咸 水	$15-25$	粉砂、亚砂土	$20-30$	≥ 25
咸 水	<15	粘质土、亚砂土、 亚粘土互层	$6-20$	14