

航空电磁法的发展现状

雷 栋, 胡祥云, 张素芳

(中国地质大学 地球物理与空间信息学院, 武汉 430074)

摘要: 航空物探方法具有低成本快速度, 从宏观上探测大区域地球物理场的优势。在我国航空电磁法相对于航磁而言发展较为缓慢, 但航空电磁法的物理原理又使它具有其他航空物探方法所不能替代的功能和优势(如寻找地下水、环境调查等)。文章从航空电磁观测系统、航空电磁数据处理和解释以及航空电磁应用等方面阐述了 2000 年以来国内外航空电磁的最新发展动态, 在此基础上分析总结了航空电磁未来发展的趋势和重点。

关键词: 航空电磁法; 技术; 应用; 发展

中图分类号: P631.325 文献标识码: A 文章编号: 1001-1412(2006)01-0040-05

0 前言

航空电磁法(Airborne Electromagnetic 简称 AEM), 是航空物探常用的测量方法之一。AEM 具有速度快、成本低、通行性好、可大面积覆盖、可用于海域等优势, 尤其是在运积层或植被发育的覆盖地区, 它更具有一般勘探手段难以达到的效果。由于各种介质电性差异很大, 在 AEM 的解释水平得到很大提高后, 广泛用于矿产资源勘查、基础地质调查(区域岩性和构造地质填图)、油气勘查, 以及水文、工程、环境勘查等各个领域。50 多年来, AEM 测量技术取得了巨大的技术进步。1948 年夏季, Stanmac 和 McPhar 公司在加拿大进行了固定翼飞机 AEM 系统的首次成功试验飞行, 标志着勘探地球物理的新分支 AEM 的诞生。50 年代是测量平台(直升机和固定翼飞机)和系统配置(硬架式发射、接收系统, 大间距双吊舱系统等)的创新时期; 60 年代, 系统品种增多, 技术不断改进; 70 年代, 航电技术进一步完善; 80 年代, 航电系统朝着多线圈、多频率、高分辨率的直升机系统或者朝着大穿透深度、时间域、固定翼飞机系统的方向发展; 90 年代, 固定翼飞机系统一般测量 3 个分量, 并选择合适的脉冲宽度和脉冲频率, 以期在导电地层中有更大的有效穿透深度。直升机系统一般是 5 个线圈

对和 5 个频率, 或者是更多的线圈对, 以期获得更高的分辨率。最近几年 AEM 在测量系统^[7-9]、数据处理^[10-12]和数据解释技术^[13-18]方面都有了新的发展。应用领域也在不断发生着变化, 尤其是欧美、加拿大、澳大利亚等国将 AEM 广泛用于环境^[19-21]、土壤土质^[23]等领域。

我国的 AEM 的研究起始于 20 世纪 50 年代末。我国 AEM 发展并不顺利, 70 年代末我国才开始引进国外先进的仪器设备。80 年代我国物探工作者总结了历史经验, 把注意力转向应用 AEM 进行地质填图、间接找矿、水文和农业生态地质调查^[6]、环境等领域。AEM 数据处理及解释相对比较复杂。虽然我国 AEM 发展不顺利, 但我国物探工作者对该方法的数据质量评价、数据处理、图示、反演、解释等^[4, 5]还是开展了必要的研究工作。在高度校正、零漂校正、区域场图示、相位标差异常计算、二层电阻率反演、边界元数值模拟方面取得的进展, 基本上适应了工作发展需要, 达到了比较先进的水平。但是总体来说我国航空电法与国际发展水平还有想当大的差距。

1 AEM 技术

1.1 AEM 测量系统

AEM 测量系统包括观测系统、导航定位、运载

收稿日期: 2005-07-20 改回日期: 2005-09-26

基金项目: 河南省自然科学基金项目(0424460005)资助。

作者简介: 雷栋(1977-), 男, 河南卢氏人, 中国地质大学在读硕士研究生, 固体地球物理专业, 研究方向为地学信息与技术。

工具等几部分。分为频率域电磁测量(FEM)和时间域电磁测量(TEM)两种类别。在上述两类 AEM 测量中,由于时间域 AEM 具有勘探深度相对较大等优点,因此该方法使用稍广。在航空技术方面,导航和定位技术由于采用了全球定位系统(GPS),导航和定位精度得到了极大提高,在使用实时差分 GPS 系统时,导航和定位精度可达米级;而飞行器形式多种多样,性能也有很大改进。由于电子和计算机技术的发展,各种观测仪器的精度有很大提高,体积大大减小,加上各种数据处理技术的发展,使压制干扰的能力和微弱信息提取能力得到加强^[1]。目前国际上新一代最先进的 AEM 系统是:澳大利亚 WGC 公司研制的 Tempest 固定翼飞机吊舱式数字时间域 AEM 测量系统和加拿大 Geotrex-digheem 公司生产的 GEOTEM deep 数字时间域固定翼飞机吊舱式电磁系统。

Tempest 系统性能极佳,分辨率高,适用范围广,是金刚石勘探、金矿勘探、风化层和古河道填图、地下水和含盐度测量、以及金属勘探的理想工具。主要特征是:方波发射,改进了地面响应和数据处理;宽脉冲提高了对导电体的鉴别能力;提高了对系统几何形态变化的监视能力;数据处理中清除了由于系统几何形态变化带来的影响;地层深度反演。

GEOTEM deep 是在 GEOTEM 系统基础上发展起来的一套数字时间域固定翼飞机吊舱式电磁系统。新系统的脉冲宽度、偶极矩更大,大大增加了穿透深度。系统功能进一步增强。可以记录到导电覆盖层下深部目标的微小响应。由于穿透深度增加了,新系统的信噪比也提高了 10 倍。该系统的特点是:是目前世界上发射偶极矩和有效穿透深度最大的航电系统;飞机安全可靠,航程远,可在偏远山区作业。Geotrex Digheem 公司的航电技术另一项新进展是 5 个共面线圈对的频率域直升机吊舱系统(Digheem VRES),该系统有很宽的脉冲^[2]。

另外,THEM 地球物理公司研制的 THEM 数字时间域直升机 AEM 系统。该系统的几何形状结构非常稳定。加拿大 McPhar 公司和 Geotech 公司共同设立的航空物探公司的 Hummingbird AEM 系统也有新的技术进步,主要是将该系统的噪声和零漂都降到了极低的水平。

国际上最近研究工作主要是对 AEM 测量系统的改进。Lee 等人(2002)用液氮冷却超导量子干涉装置(superconducting quantum interference device,

SQUID)的磁力传感器代替传统的时间域 AEM 的收发感应线圈。这种方法明显改善了时间域 AEM 的灵敏度,尤其是在风化层覆盖区这种改进的优越性更是明显。但是由于这种装置在工作中要求一个低噪的屏蔽环境、高回转率和较大的带宽,所以给实际应用带来了些不便,不过可以通过降低工作频率和对这种装置进行改进来克服这些不足。Peter 等(2000)对 Spectrem AEM 测量系统做了改进,加大了发射功率,使该系统的抗干扰能力进一步加强。James 等(2004)研究了一种监视 AEM 系统状况的简单方法。在地面布设一个闭合线圈,通过该线圈来测量 AEM 工作时的感应电流。这种方法可用于监测 AEM 的发射波形、飞行高度和路径、接收线圈的几何位置以及整个系统的线性响应和相位或时间。该方法简单高效,将有很好的应用前景。

1.2 AEM 数据处理及解释技术

AEM 数据处理包括零漂、串馈、高度等改正,以及滤波、调平和场值变换等。零漂影响是目前频率域 AEM 测量灵敏度提高的主要障碍。测量数据的质量直接关系到解释结果的准确程度,因此研究排除各种影响数据质量的方法其意义是很显然的。在测量过程中影响 AEM 数据质量的因素主要有:系统的动态噪声;仪器的灵敏度和相位的变化;飞行高度的变化;系统的零水平漂移。对前两种因素在数据预处理过程中已得到较好处理,而后两种因素,无论从变化规律或幅度大小来看,都较前二者要复杂得多,是影响数据质量、乃至成图质量的决定因素^[3]。

Yusen 等(2004)对频率域的振幅校正做了研究,在该项研究中主要采用了统计学的方法。Beamish 主要研究环境对 AEM 资料的影响。他在 2002 年研究了地表覆盖层(如树木)对 AEM 资料的影响(即遮棚效应),由于遮棚效应造成了高度误差,在高分辨率资料解释时遮棚效应的影响是不可忽视的。他用半空间模型和数值反演的方法对其做了研究,并且在电阻率做无偏估计中取得了很好的效果。在这项研究中他指出对存在植被覆盖区域,解释时需要模型添加一个假想层。

Yutakas 等(2004)提出了一种能在解释资料的同时进行高度校正的反演方法,由于在测量时地形对飞行高度的测量造成误差,他们提出的反演算法所使用的模型考虑了地形的影响,能同时对视电阻率和飞行高度作反演,并取得了较好的效果。这项研究把数据预处理和数据解释整和在一起,提高了

工作效率和解释精度,应该说这种尝试值得进一步的推广和应用。

近些年来在综合解释方面,对频率域和时间域分别都进行了许多研究,发展了多种方法的综合反演方法,利用新的数理统计方法和理论,如综合信息量、灰色理论、模糊数学和神经网络等理论,以及人机联作综合模拟反演等方法来解释综合航空物探成果。除利用观测结果转换视电阻率的常规方法外,往往根据用途的要求,研制解决某种问题的解释方法和软件,如针对某一系统的反演计算二维断面,用于划分覆盖层和基岩或确定海水冰层厚度,以及进行海洋测深的软件。

Wolfgram 等(2003)对拟二维 AEM 反演做了研究。目前 AEM 资料解释多采用的是一维反演,对于电阻率横向变化明显的区域一维反演是不可取的,二维三维更符合客观实际,也是发展的方向。在这项研究中,他们主要采用了波恩近似的方法,反演速度较快。这是一项非常有意义的研究,对真正的二维 AEM 反演奠定了基础。Sattel 等(2001)研究出用一种层状介质中电磁偶极子模拟离散 AEM 异常体的自动算法,该算法在找矿资料的解释中取得了较好效果。Sattel(2002)又用 Zohdy 方法模拟 AEM 资料。Zohdy 方法最早用于直流电法反演,这种方法首先把 AEM 响应转换成视电阻率深度剖面,然后再重复的调整每层的厚度和电阻率值。这种方法计算速度明显比传统的层状模型快。Klaus 等人(2000)通过重新定义视电阻率和介质深度,用一种反演方法来提高测量曲线对电阻率垂向变化的分辨率。这种方法类似于大地电磁中的 Niblett-Bostick 变换,提高了垂向电阻率变化曲线的灵敏度和研究深度。但这种反演方法依赖于初始模型的选择,并且要选出较多的层数。Bergeronde 等(2001)提出了多层 MIM 反演,这是一种层状模型的一维频率域(HEM)反演方法。MIM(改正图像方法)反演是 Bergeron 等(1999)提出来的,这种方法适用于沿海浅水区域的 AEM 资料解释。Bryan(2003)把 MIM 反演和非线性最小二乘反演做了比较研究。Bultman(1999)用电导率深度变换(CDT)方法建立一个三维电阻率模型来解释资料,通过实际应用发现该方法对解释 150 m 以内的地下构造效果很好。罗廷钟等(2003)对时间域 AEM 一维正演做了研究,导出了层状大地条件下时间域 AEM(偶极-偶极装置)的正演计算公式和算法,该研究为时间域 AEM 的设计方案提供了依据。

随着计算机技术的高速发展,大容量、高速度的计算已能在计算机上实现,因而利用共轭梯度进行 AEM 的三维正反演计算,利用数值模拟方法计算二维和三维导电体组合响应,多层大地模型反演,利用人机交互或神经网络进行拟合反演等方法,最近陆续从研制转入商用化。现在往往可以看到 AEM 测量成果反演解释的地电断面图,因而利用 AEM 进行立体电性填图的目标完全有可能很快实现^[1]。

2 AEM 应用

航空电法首先是在欧美等国以普查金属矿的基础上发展起来的。近些年来利用 AEM 进行地质填图、确定地质构造(即所谓间接找矿),以寻找贵金属、金刚石、非金属矿床和油气田的工作逐渐增多。由于各种介质电性差异很大,在 AEM 的解释水平得到很大提高后,AEM 测量不仅在寻找多金属、贵金属矿床,以及地质填图方面发挥着重大作用,在解决水文、工程和环境地质问题中也发挥着重要作用^[1]。如美国某公园咸水引起植物死亡或生长缓慢,经 AEM 测量做出含盐度分布图后,制定了公园环境治理规划;再就是澳大利亚等国将 AEM 普遍用于土壤盐碱化调查取得了良好的效果。国外 AEM 广泛用于核电站、旧矿场和废物处理场的放射性污染监测、海水深度测量和海岸线环境变化监测、土壤类型填图、土壤含盐度填图^[23]、海水侵蚀填图、寻找地下水^[22]、古河道、古墓探查等^[2]。

Tan 等(2002)把 AEM 资料用于风化层和环境研究。Beamish(2002)用反演的方法对 AEM 在环境方面的应用做了研究,主要采用了一维反演方法,该项研究为多维反演奠定了基础。最近 Beamish(2004)对三维模拟近地表环境对 AEM 资料的影响做了研究。Jeff 等(2002)将 AEM 用于评估地下水储量。随着 AEM 观测系统的发展,发射功率不断增大,含矿化物颗粒的含水层目前可以实现地下水直接成像。Lawrie(2000)用 AEM 对澳大利亚土壤和地下水盐碱化填图和预测做了研究。孟庆民等(2004)把我国松辽地区 AEM 的实测结果与已知的水文地质成果对比分析,说明了 AEM 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。

AEM 在环境调查中的应用日益增多,国际上这

种发展趋势已十分明显。随着航空技术、电子和计算机技术、勘探地球物理和资料解释技术的不断发展,以及 AEM 自身多方面的优势,AEM 将会有更广泛的应用前景。

3 AEM 发展方向

(1) 开展高分辨率、多参数、多分量综合观测。国内外近年来的勘查实践表明,低空、多分量、多参数、高分辨率、高密度和高精度采集的综合航空物探测量及综合解释是航空物探的发展方向。高分辨率 AEM 测量有可能替代部分地面物探详查工作。应发展在各类地域实现中大比例尺、高精度、多参数、多分量的综合性 AEM 测量,为区域地质、矿产地质、水文、工程、环境地质等提供全方位服务。

(2) 在资料解释方面,应充分发展资料解释的定量化、自动化和三维反演、立体填图和可视化技术。进一步加强 AEM 数据处理、解释和成图软件的系统化、标准化、规格化,形成有自主知识产权的软件产品。研究 AEM 二维、三维模拟计算和解释技术。如研究时间域 AEM 的全时域电阻率的算法及程序,建立相应的定性解释方法;研究时间域 AEM 的 2.5 维正反演算法,建立实用的二维定量解释。开发应用 GIS 技术,实现成果解释自动化、定量化、综合化以及计算机自动成图。要逐步建立和完善智能化的地质与物探多参数互约束解释系统。在解释系统的运作和成果显示方面,应充分使用三维和动态可视化技术。

(3) 研制更加小型化、智能化、抗干扰能力强的轻型观测系统。实现 AEM 仪器设备小型化、数字化、自动化、智能化和高分辨率,紧密跟踪国际航空物探技术发展的步伐,研究新方法、新技术,开发具有自主知识产权的航空物探软件系统,将成为该项技术发展的生长点,这将有可能实现无人驾驶、测量自动记录,并可在任何地区进行各种不同比例尺的综合航空物探测量,从而用于解决不同类型的地质问题。由于该项技术工作速度快、成本低,工作覆盖面积较广,探测深度大,因而不仅可在人们难于到达的地区工作,而且可以代替大量的人工地面工作(包括较大比例尺的地面测量)。结合我国特点,在我国中西部中高山地区进行地面地质工作较困难,更需尽快解决在这些地区航空物探测量中的各项技术问题,以便更好地为这些地区地质勘查工作服务。使

我国 AEM 技术能有一个较大的飞跃。

(4) 进一步扩大 AEM 的应用领域。我国 AEM 未来的发展,不能将其只局限于找矿。应当充分利用地壳中各种岩石间电阻率差异这种地球物理现象,紧跟国际上在相关领域发展趋势,充分发挥它在区域农业生态地质调查与评价、海水盐碱度调查等环境方面以及构造和地质填图方面的应用价值。特别是 AEM 找水,这对我国水资源紧缺和分布不均衡的国情,尤其是对我国西部干旱、半干旱严重缺水地区将有深远的社会意义。

(5) 充分利用天然源观测,进一步提高 AEM 的探测深度;

使用人工场时,很难产生较强的电磁场,因此往往勘探深度很小。而天然电磁场很强,但由于它们的随机性很大,难以有效地观测,因而目前多处于试验阶段。目前仅有观测雷电产生的航空天然电磁场法(AFMAG),以及观测工业电力线电磁场的方法^[1],这些电磁场强度大,而且穿透深度比其他电磁测量方法大得多,仪器装备轻便,经济成本也很低。随着计算机技术和数据处理技术的提高,通过观测这些场的不同频率和方向的梯度,有可能克服其随机性大的问题,因而这些方法将会有十分光明的前景。

新一代 AEM 应能更好的适应山区大面积普查找矿、干旱地区大面积找水和日益发展的城市工作及其他方面的需要,既要研究开发轻便、大探测深度的主动源电法,也要研究开发被动源、混场源电法。要研制多分量多参数、时域和频域均能工作的多功能仪器。还应在更广的范围探索、研究对目的物的物质属性进行专一检测的新原理、新方法、新技术。要继续加强超导技术、激光技术和其他原理传感器的研究开发。同时探索高效储能技术在发射装置中应用的可能性。进一步发挥 AEM 多参数、较大探测深度和高效率、低成本的优势,为区域地质填图、重点成矿带找矿评价、矿区精密测量、海域高精度测量、水工环、农业等应用领域提供高质量的测量资料与解释成果,以满足未来地质工作的需求。

参考文献:

- [1] 王守坦. 航空物探技术[J]. 地学前缘, 1998, 5(1): 223-230.
- [2] 线纪安. 航空物探的技术现状及其应用[J]. 地质找矿论丛, 2003, 18(增刊): 194-195.

- [3] 周凤桐, 陈本池, 阎永利. 航空电磁法数据处理与图示技术[J]. 物探与化探, 1997, 21(5): 348-353.
- [4] 罗廷钟, 张胜业, 王卫平. 时间域航空电磁法一维正演研究[J]. 地球物理学报, 2003, 46(5): 719-724.
- [5] 王卫平, 王守坦. 直升机频率域航空电磁系统在均匀半空间上方的电磁响应特征与探测深度[J]. 地球学报, 2003, 24(3): 285-288.
- [6] 孟庆敏, 高卫东, 满延龙, 等. 航空电磁法区域农业生态地质调查与评价[J]. 物探与化探, 2004, 28(4): 333-340.
- [7] James Macnae, Aaron Davis. Surface loop monitoring of airborne electromagnetic systems[A]. SEG Technical Program Expanded Abstracts [C]. 2004. 668-671.
- [8] Lee-James-B, Dart-David-L, Turner-Robert-J, *et al.* Airborne TEM surveying with a SQUID magnetometer sensor. Foley-Catherine-P; Leslie-Keith-E; Lewis-Christopher; Murray-Wayne-J. Geophysics, 2002, 67(2): 468-477.
- [9] Peter B Leggatt, Philip S Klinkert, Teo B Hage. The Spectrem airborne electromagnetic system-Further developments[J]. Geophysics, 2000, 65(6): 1976-1982.
- [10] Beamish-David. The canopy effect in airborne EM [J]. Geophysics, 2002, 67(6): 1720-1728.
- [11] Yutaka Sasaki, Kyushu University, Hiroomi Nakazato. Inversion of airborne EM data accounting for terrain and inaccurate flight height[A]. SEG Technical Program Expanded Abstracts [C]. 2004. 648-651.
- [12] Yusen Ley-Cooper, James Macnae. Amplitude corrections of HEM data using a theoretical approach[A]. SEG Technical Program Expanded Abstracts[C]. 2004. 664-667.
- [13] Bryan-Melissa-Whitten, Holladay-Kenneth-W, Bergeron-Clyde J, *et al.* MIM and nonlinear least-squares inversions of AEM data in Barataria Basin, Louisiana[J]. Geophysics, 2003, 68(4): 1126-1131.
- [14] Wolfgram-Peter, Sattel-Daniel, Christensen-Niels-B. Approximate 2D inversion of AEM data[A]. In: ASEG 2003; Growth through innovation. papers from the 16th conference. Exploration Geophysics (Melbourne)[C]. Australian Society of Exploration Geophysicists. Alderley, Queensl., Australia, 2003, 34(1-2): 29-33.
- [15] Sattel-Daniel, Reid-James. Automated anomaly modelling of AEM data with magnetic dipoles buried inside a layered earth[A]. In: Society of Exploration Geophysicists, international exposition and 72nd annual meeting; technical program, expanded abstracts with authors' biographies. SEG Annual Meeting Expanded Technical Program Abstracts with Biographies [C]. Society of Exploration Geophysicists. Tulsa, OK, United States, 2002, 72: 17-20.
- [16] Bultman-Mark-W; Gettings-Mark-E; Wynn-Jeff. A three dimensional interpretation of an AEM survey in the upper San Pedro Basin, Arizona[A]. In: Powers-Michael-H, Cramer-Lynn, Bell-Ronald-S. Proceedings of the symposium on the Application of geophysics to engineering and environmental problems. Proceedings of the Symposium on the Application of Geophysics to Environmental and Engineering Problems (SAGEEP)[C]. Environmental and Engineering Geophysical Society. Wheat Ridge, CO, United States. 1999. 889-898.
- [17] Sattel-Daniel. Modeling AEM data with Zohdy's method[A]. In: Society of Exploration Geophysicists, international exposition and 72nd annual meeting; technical program, expanded abstracts with authors' biographies. SEG Annual Meeting Expanded Technical Program Abstracts with Biographies[C]. Society of Exploration Geophysicists. Tulsa, OK, United States, 2002, 72: 30-33.
- [18] Klaus-Peter Sengpiel, Bernhard Siemon. Advanced inversion methods for airborne electromagnetic exploration[J]. Geophysics, 2000, 65(6): 1983-1992.
- [19] Tan-Kok, Gibson-David, Wilford-John, Lawrie-Kenneth. Interpreting and applying airborne electromagnetic information (Tempest AEM System) for regolith and environmental studies [A]. In: Roach-Ian-C. Regolith and landscapes in eastern Australia[C]. Cooperative Research Centre for Landscape Environments and Mineral Exploration. Bentley, West. Aust., Australia, 2002. 122-126.
- [20] Beamish D. An assessment of inversion methods for AEM data applied to environmental studies[J]. Journal of Applied Geophysics, 2002, 51: 75-96.
- [21] Beamish D. 3D modelling of near-surface, environmental effects on AEM data[J]. Journal of Applied Geophysics, 2004, 56: 263-280.
- [22] Jeff Wynn. Evaluating groundwater in arid lands using airborne magnetic/EM methods: An example in the southwestern U.S. and northern Mexico[J]. The Leading Edge, 2002, 21(1): 62-64.
- [23] Lawrie-Den-C, Munday-Tim-J, Dent-David-L, *et al.* A geological systems approach to understanding the processes involved in land and water salinisation; the Gilmore project area, central-west New South Wales[A]. In: AGSO Research Newsletter [C]. 2000, 32: 13-15, 26-32.
- [24] Clyde J Bergeron Jr, Juliette W Ioup, Yan Wu. Multilayer MIM inversion of AEM data: Theory and field example[J]. Geophysics, 2001, 66(1): 125-136.
- [25] Boyko W, Paterson N R, Kwan K. AeroTEM characteristics and field results[J]. The Leading Edge, 2001, 20(10): 1130-1138.
- [26] Clyde J Bergeron Jr, John R Brusstar, Ningke Yi. A new vertical continuation procedure for airborne electromagnetic field data from the modified image method[J]. Geophysics, 1999, 64(5): 1364-1368.
- [27] Balch S J, Boyko W P. The Aero TEM airborne electromagnetic system[J]. The Leading Edge, 2003, 22(6): 562-566.

- 问题[J]. 福州大学学报(自然科学版), 2002, 30(6): 798-801.
- [4] 侯宇, 李素有. 基于 XML 的 SVG 技术及其应用[J]. 计算机应用研究, 2002, (5): 136-138.
- [5] Andreas Neumann Ph D. candidate. Using SVG for Online Digitizing and Editing of Geographic Data[R]. Paper for the SVG Open conference, Tokyo, 2004.
- [6] SVG (Scalable Vector Graphics) 1.1 Specification[EB/OL]. [http://www.w3.org/TR/SVG11].
- [7] Geography Markup Language (GML 3.0) Implementation Specification., Open GIS Consortium[EB/OL]. [http://www.opengis.org/].
- [8] Neumann A. Delivering Interactive Topographic Web-maps using Open-Source Database Technology[R]. Paper for the SVG Open Conference, Vancouver, 2003.

RESEARCH AND APPLICATION OF WEBGIS BASED ON SVG TECHNOLOGY

ZHOU Kun, JIN Cheng-zhu, XIONG Jia-hui, ZHAO Yu-shan, YAO Yu-zeng

(School of Resources and Civil Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract: Scalable Vector Graphics (SVG), a thin-client technology, is the focus of current researches, which represents the new technical generation and provides many advantages compared to the raster-based presentation and extensibility through other Web programming languages. This paper analyzes the advantages of applying SVG to issue GIS data on the web. Based on SVG, GML and Web Service technologies, a Web distribution system for geographic data, is designed and introduced.

Key words: Scalable Vector Graphics; SVG; WebGIS; XML

(上接第 44 页)

DEVELOPMENT STATUS QUO OF AIRBORNE ELECTROMAGNETIC

LEI Dong, HU Xiang-yun, ZHANG Su-fang

(Institute of Geophysics and Geomatics, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China)

Abstract: Airborne exploration method has the advantages of quickly, cheaply detecting geophysics field with macro-scale. In China Airborne Electromagnetic (AEM) has been developed slower than Airborne Magnetic (AM). However it has so many advantages in elementary principle and can not be substituted by other airborne exploration methods, such as detecting fresh water in dry region or analysing water quality and surveying the level of salt and alkali in soil etc. The paper looks back the progress of Airborne Electromagnetic (AEM) firstly and it analyses the newest development trend of AEM at home and abroad. The review includes three parts: AEM observation system, AEM data explanation and data processing and AEM applying. Based on the above analysis, the development trend and focus of AEM in future are predicted.

Key words: AEM; technology; applying; development