

doi: 10.11720/wtyht.2017.5.25

夏玲燕, 杨雪, 丁燕云. 中国陆域航磁系列图编制与研究进展[J]. 物探与化探, 2017, 41(5): 958-962. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.5.25>

Xia L Y, Yang X, Ding Y Y. The progress in the compilation and study of aeromagnetic map series for China's land field[J]. Geophysical and Geochemical Exploration, 2017, 41(5): 958-962. <http://doi.org/10.11720/wtyht.2017.5.25>

中国陆域航磁系列图编制与研究进展

夏玲燕, 杨雪, 丁燕云

(中国国土资源航空物探遥感中心, 北京 100083)

摘要: 航磁图件是地球物理调查基础图件, 也是认识地质构造特征的重要参考资料。本文介绍了我国陆域航磁编图概况, 总结了陆域航磁调查及数据编图的工作进展, 展示了陆域航磁系列编图的重要成果。

关键词: 陆域航磁; 基础图件; 编图

中图分类号: P631

文献标识码: A

文章编号: 1000-8918(2017)05-0958-05

0 引言

航磁作为区域物探的有效手段, 在地质领域得到了广泛的应用和发展。以航磁实测数据为基础编制的航磁系列图件, 提高了人类对地球的认知水平, 为社会公众提供了一批公益性国土资源信息, 为区域地质调查、资源潜力评价、矿产资源勘查、环境保护、基础测绘和重大工程建设等提供了一批多样化的区域地球物理调查图文资料, 有力地支撑了基础地质、能源和矿产等方面的调查工作^[1-3]。笔者以中国陆域航磁工作为主, 对我国陆域航磁调查现状、编图技术进步和编图与研究成果等作了简要的总结, 为今后我国继续开展航磁编图和综合研究提供借鉴。

1 陆域航磁编图与研究概况

我国航磁工作始于 20 世纪 50 年代。20 世纪 50 年代~80 年代中期, 航磁测量以中低精度为主; 自 80 年代末期, 尤其是开展国土资源地质大调查以来, 围绕重点成矿区带, 在全国范围内系统地开展了高精度航磁调查, 大幅提高了航磁调查程度, 取得了一批重要的基础性地质资料。以此资料为基础编制

了全国 1:500 万~1:25 万的航磁系列图件, 主要包括:

1) 20 世纪 60 年代至 70 年代, 各省都编制了本省的航磁图, 编图比例尺一般为 1:50 万。

2) 20 世纪 80 年代, 原航空物探大队(现中国国土资源航空物探遥感中心)陆续编制了我国六大区(华东、华南、华北、西南、西北、东北)航空磁力异常 ΔT 图(1:100 万)。

3) 1989 年, 原航空物探地质总队(现中国国土资源航空物探遥感中心)使用截止到 1985 年的航磁资料编制出版了《中国及其毗邻海域航空磁力异常图(1:400 万)》。

4) 2004 年, 中国国土资源航空物探遥感中心使用截至到 2000 年的航磁资料编制出版了《中国及其毗邻海域航空磁力 ΔT 异常图(1:500 万)》。

5) 2008 年, 中国国土资源航空物探遥感中心编制了 6 个大区的航空磁力 ΔT 异常化极彩色图(1:150 万)。

6) 2013 年, 中国国土资源航空物探遥感中心使用截止到 2011 年的航磁资料编制出版了《中国陆域航磁系列图(1:500 万)》, 系列图包括中国陆域航磁 ΔT 场等值线平面图、中国陆域航磁 ΔT 场化极等值线平面图、中国陆域航磁 ΔT 场化极垂向一阶导数等值线平面图。

收稿日期: 2017-04-11

基金项目: 中国地质调查局地调项目“航空物探调查成果集成与综合研究”(1212011120901); 中国地质调查局地调项目“全国物探化探遥感自然重砂综合信息评价”(1212011121038)

作者简介: 夏玲燕(1982-), 女, 工程师, 主要从事物化探信息综合分析研究工作。Email: summer19820418@163.com

7)2013 年,中国国土资源航空物探遥感中心使用截止到 2011 年的航磁资料编制出版了《全国 1 : 25 万航磁系列图》148 幅,系列图包括航磁 ΔT 等值线平面图、航磁 ΔT 化极等值线平面图、航磁 ΔT 化极上延 5 km 值线平面图、航磁 ΔT 垂向一阶导数等值线平面图、航磁 ΔT (波长 20 km)剩余异常等值线平面图。

8)2015 年,中国国土资源航空物探遥感中心使用截止到 2011 年的航磁资料编制出版了《中国大陆域航磁系列图(1 : 250 万)》,系列图包括中国大陆域航磁 ΔT 场等值线平面图、中国大陆域航磁 ΔT 场化极等值线平面图、中国大陆域航磁 ΔT 场化极垂向一阶导数等值线平面图。

9)2015 年,中国国土资源航空物探遥感中心在完成对新编《中国大陆域航磁系列图(1 : 250 万)》综合研究基础上,编制出版了《中国大陆域磁性基底深度图》、《中国大陆域断裂及岩浆岩分布图》和《中国大陆域区域构造图》系列综合研究成果。

10)2015 年,中国国土资源航空物探遥感中心在完成“全国矿产资源潜力评价磁测资料应用研究”的基础上,编制出版了《中国磁性铁矿资源潜力预测图(1 : 500 万)》。

2 陆域航磁调查现状

目前中国大陆域基本实现了航空磁力测量全覆盖,其中按比例尺,大于等于 1 : 100 万航磁全国共完成约 930 万 km²,大于等于 1 : 25 万航磁共完成约 838 万 km²,大于等于 1 : 5 万航磁共完成约 535 万 km²。按精度,高精度航磁测区覆盖面积约 602 万 km²,约占总覆盖面积的 63%,中低精度航磁测区覆盖面积约 328 万 km²,约占总覆盖面积的 34%。进一步细分,小比例尺(1 : 100 万~1 : 50 万)航磁覆盖面积约为 890 万 km²,约占总覆盖面积的 93%,其中高精度航磁测量覆盖面积约 117 万 km²,中低精度航磁测量覆盖面积约 773 万 km²;中比例尺(1 : 25 万~1 : 10 万)航磁覆盖面积约为 680 万 km²,约占总覆盖面积的 71%,其中高精度航磁测量覆盖面积约 249 万 km²,中低精度航磁测量覆盖面积约 431 万 km²;大比例尺($\geq$ 1 : 5 万)航磁覆盖面积约为 535 万 km²,约占总覆盖面积的 56%,其中高精度航磁测量覆盖面积共计约 346 万 km²,中低精度航磁测量覆盖面积共计约 189 万 km²^[4-6](图 1)。

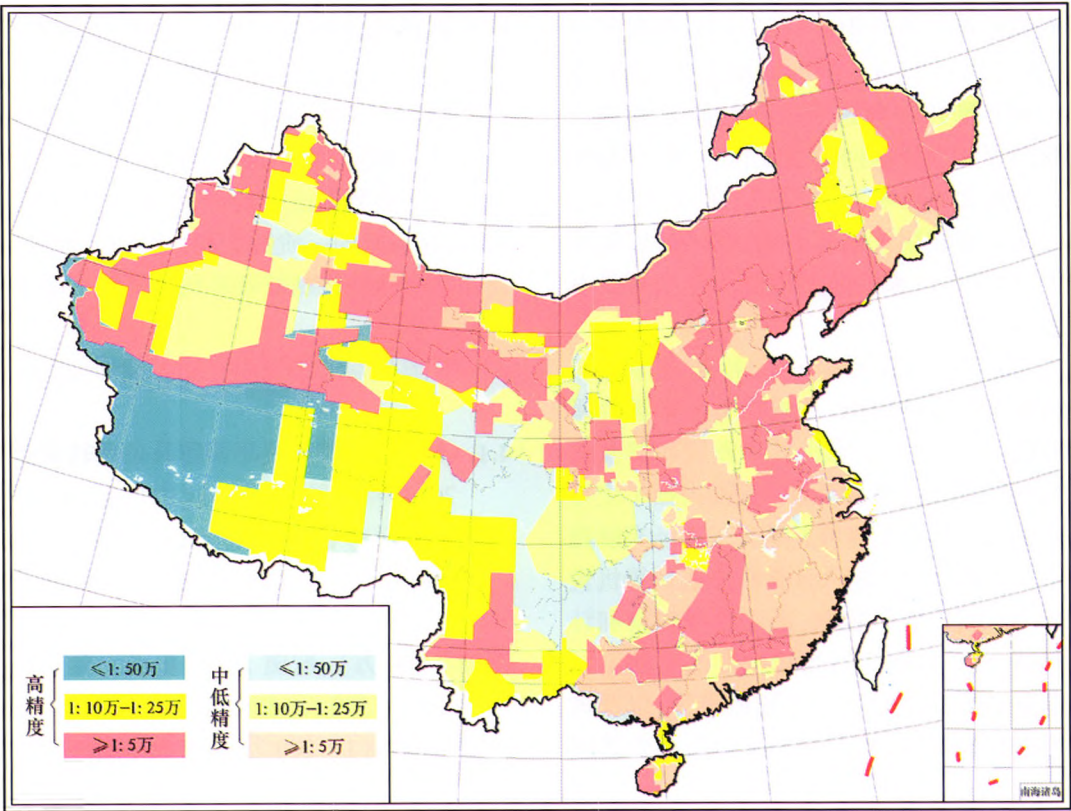


图 1 全国航磁工作程度示意(台湾资料暂缺)

3 航磁编图技术进展

航磁编图,是指根据研究需要,将不同时间测量的航磁数据,通过适当的数据处理方法拼接形成特定研究区域的航磁数据及其图件。根据研究区域的大小不同,有成矿区(带)航磁编图、我国大区(如西北大区、东北大区等)航磁编图、标准图幅航磁编图、中国陆域航磁编图、中国及其毗邻海域航磁编图等。大区域航磁编图一般只编制等值线平面图,很少编制剖面平面图。

我国航磁编图技术的发展,大致可以划分出 4 个阶段。20 世纪 70 年代中期前,属于手工编图阶段,严格意义上来讲属于手工拼接图阶段,主要特点是人工从已有航磁图上进行手工取数,将其标注到航磁编图的底图上,再进行手工勾绘剖面图或等值线图。为了在同一幅图中有效地显示不同时间测量的航磁数据,通常要求航磁图中磁场曲线光滑、具有统一性、不同时间测量的航磁图之间没有跳跃变化等,从而需要采用目视和手工相结合的办法去除不同时间测量的航磁数据之间的背景场值差异(即常说的航磁水平调整或调平),以及进行其他适当的数据处理^[7]。为了统一航磁背景场值问题,也曾开展过控制网测量并在编图中进行了应用,取得了一定效果(如为了进行中国东部和南部航磁编图,分别于 1962、1977 和 1980 年进行了华北联测、东北联测和华南联测等 3 次控制网测量工作)。但控制网测量需要跨越较大的区域,一来对飞机的要求较高,二来受天气和空域使用等诸多要素的影响,实施起来困难巨大,因此在后来的航磁编图工作中再没有开展过控制网测量^[8-9]。

20 世纪 70 年代中期至 80 年代末期,属于手工与计算机相结合的编图阶段,严格意义上来讲也属于拼接图阶段。该时期,计算机技术发展和普及较快,在航磁测量、数据处理和编图中逐渐占据了主导地位。航磁编图技术的主要特点是人工从已有航磁图上进行手工取数并将其输入计算机中或计算机直接从存储介质中读入航磁数据,采用目视观察和计算机统计相结合、计算机进行处理的办法去除不同时间测量的航磁数据之间的背景场值差异,以及进行其他适当的数据处理,再由计算机勾绘剖面图或等值线图。

20 世纪 80 年代末期至 21 世纪初,属于主要采用计算机技术进行编图的阶段,严格意义上来讲仍属于拼接图阶段。航磁编图技术的主要特点,一是

采用数字化技术,手工将已有的航磁图进行数字化,形成了不同时间测量的、单工区的、数字化的航磁原始数据,为航磁编图奠定了基础;二是采用计算机数据处理技术对单工区数字化的航磁原始数据进行正常场改正、切割线调平、噪声分析法微调整等处理,去除不同测线航磁背景场值之间的差异;三是对调平后的航磁数据进行网格化,形成格网航磁数据;四是采用缝合法或混合法将不同时间测量的格网航磁数据拼接到一起。为了提高航磁编图的精度,在编制的航磁图中展示出精度高或比例尺大或测量时间晚的航磁数据,通常采用高精度航磁资料覆盖低精度航磁资料、大比例尺航磁资料覆盖小比例尺航磁资料、数字收录航磁资料覆盖模拟记录航磁资料、新测量的航磁资料覆盖早期测量的航磁资料的原则,对已有的航磁资料进行取舍^[10-11]。

21 世纪初以来,属于计算机编图新阶段,严格意义上来讲仍未完全脱离拼接图阶段。航磁编图技术的主要特点是利用高精度航磁测量数据搭建全国陆域航磁编图格架、以此弥补缺少实测控制网的不足,即对定位精度高、彼此重叠较好的单测区航磁数据进行连片处理,编制出由高精度航磁数据构成的数据带或航磁图,以此作为航磁编图的控制网或控制框架;其后以控制网为“骨架”,根据其周围单测区航磁测量的精度、比例尺、测量时间等关系,选择采用混合法或缝合法将单测区航磁网格数据拼接到一起,形成全国陆域航磁编图网格数据;然后使用全变倾角化极技术和位场转换处理方法对全国陆域航磁编图网格数据进行处理,形成全国陆域航磁化极数据、化极垂向一阶数据和化极向上延拓数据;最后使用绘图软件绘制航磁系列等值线平面图^[12]。

4 中国陆域航磁编图及综合研究成果

4.1 航磁 ΔT 等值线平面图及位场转换图

2013 年编制、出版的《中国陆域航磁系列图(1:500 万)》由中国陆域航磁 ΔT 等值线平面图(1:500 万)、航磁 ΔT 场化极等值线平面图(1:500 万)、航磁 ΔT 场化极垂向一阶导数等值线平面图(1:500 万)、航磁 ΔT 场化极上延 20km 等值线平面图(1:500 万)和航磁 ΔT 场化极上延 50km 等值线平面图(1:500 万)等 5 种图件构成,涵盖了常规研究工作所需的各种图件类型。该系列图编制中使用的航磁资料的测量年代截止到 2011 年,在 2004 年出版的《中国及其毗邻海域航空磁力 ΔT 异常图(1:500 万)》编图使用资料基础上,新增了地

质大调查以来中国国土资源航遥中心完成的 42 个测区的 265 万 km 测线(测量面积 242 万 km²)高精度中、大比例尺航磁资料,新增了核工业航测遥感中心测量的 33 个测区的 140 万 km 测线(测量面积 96 万 km²)高精度中、大比例尺航磁资料。本次编图中利用高精度测量数据搭建了中国陆域数据网格格架,在很大程度上避免了编图过程中因误差累积导致“翘翘板”的现象,有效地实现了各测量区块航磁网格数据的拼接,提高了编图可靠性;编图基准面为离地高度 1 000 m,未对航磁网格数据进行 400 km 的高通滤波处理,保留了区域场信息,提高了数据质量;航磁编图采用的网格距为 5 km×5 km;航磁化极处理采用了余弦方式限量扩边技术和全变倾角化极处理技术,提高了航磁化极的可靠性和位场转换数据质量^[13]。

2015 年编制出版的《中国陆域航磁系列图(1:250 万)》由中国陆域航磁 ΔT 场等值线平面图、航磁 ΔT 场化极等值线平面图、航磁 ΔT 场化极垂向一阶导数等值线平面图等 3 种图件构成。该系列图使用的航磁资料和编图技术与《中国陆域航磁系列图(1:500 万)》使用的基本相同,差别主要是网格距不同,《中国陆域航磁系列图(1:250 万)》编图网格距为 1 km×1 km^[14]。

2005 年开始编制,2013 年出版的 148 幅 1:25 万航磁系列图是为了配合 1:25 万区域地质和矿产资源调查等而完成的,每幅包括:航磁 ΔT 等值线平面图、航磁 ΔT 化极等值线平面图、航磁 ΔT 化极上延 5 km 等值线平面图、航磁 ΔT 垂向一阶导数等值线平面图、航磁 ΔT (波长 20 km)剩余异常等值线平面图等 5 种图件,每种图件的图幅边部分别配置了本图幅的 DEM 高程图、本幅区域背景场、本幅工作程度图、本幅网格数据阴影图、本幅 20 km 低通区域场等 5 类角图。1:25 万标准图幅航磁系列图图面信息丰富,为地质填图、矿产资源调查及科研工作等提供地球物理信息^[15-16]。

4.2 航磁综合研究成果

2015 年,在完成对新编《中国陆域航磁系列图(1:250 万)》综合研究基础上,首次出版了《中国陆域磁性基底深度图(1:250 万)》、《中国陆域断裂及岩浆岩分布图(1:250 万)》和《中国陆域区域构造图(1:250 万)》系列综合研究成果。《中国陆域磁性基底深度图(1:250 万)》是根据磁异常的形态反演计算磁性体深度,筛选出反映我国磁性基底的深度值(前寒武纪变质基底和侵入岩的顶面埋藏

深度)编制而成的图件,研究表明我国沉积层包括两套地层,一套是中新生代地层,另一套是古生代地层,磁性基底在盆地凹陷区埋深较深,在隆起区埋深较浅,总体来看,沉积盖层厚度以 105°E 为界总体上呈东薄西厚的特征^[17]。《中国陆域断裂及岩浆岩分布图(1:250 万)》主要以已知断裂和岩浆岩的磁异常特征建立解释标志,根据反映断裂构造的磁异常特征(不同磁场界线、带状或串珠状异常带、线性梯度带、异常错动线等)和反映不同类型的岩浆岩引起的磁异常(航磁 ΔT 剖面平面图异常拐点和 ΔT 化极等值线图的梯度密集带、垂向一阶导数图等值线图零值线等),结合重力、地震及其他地质资料编制而成。图件不仅验证了地学界公认的部分断裂,而且新发现了一批隐伏的断裂构造。建立了我国的断裂构造格架,按照断裂带的展布规律、走向及其活动方式的差异,将陆域断裂划分为 4 个断裂系统,25 个断裂系。同时图件对第四系覆盖区和其他地区隐伏的岩浆岩进行圈定并确定其岩性。不但反映出已知岩浆岩分布区,而且包含了隐伏岩浆岩部分,使我国的岩浆岩分布图更具完整性^[18]。《中国陆域区域构造图(1:250 万)》划分了构造单元,重新厘定了一些构造单元的边界,对我国一些重要构造单元如华北陆块区的北界和西界、扬子陆块区的西北界和东南界、昌都地块和羌塘地块、松潘—甘孜地块、塔里木陆块区等界线提出了新划法。同时计算了盆地和沉积凹陷区的盖层沉积厚度和变质基底埋深,新确定出一些沉积拗陷区,对西藏地区的构造格局和沉积盖层的赋存状况和厚度提出了新的看法^[19]。

2015 年,在“全国矿产资源潜力评价磁测资料应用研究”中,首次使用磁测资料预测全国磁性铁矿产资源量约 2 067 亿 t,划分出磁性铁矿预测区 1 283 个,其中沉积变质型铁矿预测区 354 个、岩浆岩型铁矿预测区 98 个、海相火山岩型铁矿预测区 91 个、陆相火山岩型铁矿预测区 15 个、接触交代—热液型铁矿预测区 689 个以及其他类型铁矿预测区 36 个。在此基础上编制出版了《中国磁性铁矿产资源潜力预测图(1:500 万)》。该图的图示内容主要为沉积变质型、岩浆型、接触交代—热液型、海相火山岩型和陆相火山岩型等 5 种预测类型的磁性铁矿远景区及其规模。《说明书》简要介绍了中国铁矿预测类型的主要特征和预测要素、磁性铁矿预测类型及其资源潜力的预测方法,以及我国磁性铁资源的资源潜力,并以简表的形式简述了磁性铁资源潜力预测区的位置、规模及其主要特点^[20]。

5 结论与讨论

1) 近年编制出版的我国陆域航磁系列编图, 从不同层次全面反映了当前的航磁数据及其研究成果, 内容丰富, 真实可靠, 对地质调查和能源矿产找矿新发现新突破、推进基础地质研究新认识、加强地球物理信息社会化服务、能源勘查规划部署等具有重要价值。

2) 航磁编图与综合研究是航磁测量成果转化应用的必然需要, 世界各国都定期或不定期地编制出版多种尺度的航磁系列图。我国在不同时期编制了大量的航磁图件, 满足了各方面对航磁资料的需要。随着高精度、大比例尺航磁测量工作的开展, 全国或重要成矿带的、多种尺度的航磁系列图应根据工作程度的变化及时更新, 以满足基础地质研究、成矿规律研究、能源与矿产资源调查评价、工程与环境评价、地震预测等方面的需要。

3) 继续开展 1:25 万标准图幅航磁系列图的编制或对取得新航磁资料的已编航磁系列图的 1:25 万标准图幅进行更新, 不断满足 1:25 万区域地质和矿产资源调查等的需要。

4) 应加强成矿带、油气盆地、重要地质构造区等区域航磁资料的二次开发或航磁编图与综合研究, 特别是对油气勘探程度低、油气前景不明但已完成高精度航磁测量的山间盆地的航磁资料进行二次开发, 可快速查明盆地范围、沉积层厚度、断裂和岩浆岩发育情况、构造面貌等, 为下一步开展油气勘探提供依据。

参考文献:

- [1] 熊盛青, 丁燕云, 李占奎. 西藏羌塘盆地的重磁场特征及地质意义[J]. 石油地球物理勘探, 2013, 48(6): 1000-1007.
- [2] 于长春, 乔日新, 张迪硕. 雄安新区航磁推断的三维基底构造特

征[J]. 物探与化探, 2017, 41(3): 385-391.

- [3] 葛藤菲, 范正国, 黄旭钊, 等. 攀枝花钒钛磁铁矿深部成矿潜力及找矿方向的航磁资料研究[J]. 地质与勘探, 2015, 51(6): 1042-1046.
- [4] 万建华, 熊盛青, 范正国, 等. 全国航空物探工作现状及未来工作重点浅析[J]. 中国矿业, 2011, 20: 151-166.
- [5] 周坚鑫, 范正国, 周锡华, 等. 高精度航空物探调查实施方案[R]. 中国国土资源航空物探遥感中心, 2010.
- [6] 范正国, 黄旭钊, 夏玲燕, 等. 航空物探调查成果集成与综合研究[R]. 中国国土资源航空物探遥感中心, 2015.
- [7] 杨重恩. 编制小比例尺航磁图的技术方法[J]. 物探与化探, 1982, 6(2): 77-83.
- [8] 航空物探地质总队综合大队综合室异常组. 全国 1:400 万航空磁测矿异常分布图说明书[R]. 1981.
- [9] 任开江, 张用夏, 吴文书, 等. 南联测总结报告[R]. 地质部航空物探地质总队 909 队, 1989.
- [10] 王乃东. 有关 1:25 万航磁系列图的几个问题[J]. 物探与化探, 2007, 31(5): 460-464.
- [11] 尹航, 周坚鑫, 舒晴, 等. 编制 1:500 万中国海陆磁力异常图的关键技术[J]. 地球物理学进展, 2015, 30(5): 2107-2111.
- [12] 熊盛青, 范正国, 黄旭钊, 等. 全国矿产资源潜力评价磁测资料应用研究成果报告[R]. 中国国土资源航空物探遥感中心, 2014.
- [13] 熊盛青, 范正国, 张洪瑞, 等. 中国陆域航磁系列图(1:500 万)说明书[M]. 北京: 地质出版社, 2013.
- [14] 熊盛青, 范正国, 张洪瑞, 等. 中国陆域航磁系列图(1:250 万)说明书[M]. 北京: 地质出版社, 2015.
- [15] 夏玲燕, 佟晶. 全国 1:25 万航磁系列图编制及出版成果报告[R]. 中国国土资源航空物探遥感中心, 2015.
- [16] 中国国土资源航空物探遥感中心. 全国 1:25 万航磁系列图[M]. 北京: 地质出版社, 2014.
- [17] 熊盛青, 丁燕云, 李占奎. 中国陆域磁性基底深度及其特征[J]. 地球物理学报, 2014, 57(12): 3982-3992.
- [18] Xiong S Q, Tong J, Ding Y Y, 等. Aeromagnetic data and geological structure of continental China: A review[J]. Applied Geophysics, 2016, 13(2): 227-236.
- [19] 熊盛青. 中国陆域航磁与地质构造特征[M]. 北京: 地质出版社, 2016.
- [20] 熊盛青, 范正国, 黄旭钊, 等. 中国磁性铁矿资源潜力预测图说明书(1:500 万)[M]. 北京: 地质出版社, 2012.

The progress in the compilation and study of aeromagnetic map series for China's land field

XIA Ling-Yan, YANG Xue, DING Yan-Yun

(China Aero Geophysical Survey and Remote Sensing Center for Land and Resources, Beijing 100083, China)

Abstract: Aeromagnetic survey maps constitute the basic maps for geophysical survey, and are also important references for understanding the characteristics of geological structure. This paper describes the general situation of land field map compilation in China, summarizes the progress of land-based aeromagnetic survey and data mapping, and demonstrates the important results of land map series compilation.

Key words: land field aeromagnetic survey; basic maps; map compilation

(本文编辑: 沈效群)