

doi: 10.11720/wtyht.2015.6.27

吴其斌,马冰,张桂平.近年来国外勘查地球物理的若干进展与趋势[J].物探与化探,2015,39(6):1261-1266.http://doi.org/10.11720/wtyht.2015.6.27

Yang Z W,Zheng W,Li X B,et al.The trends and developments of mining geophysics in recent years abroad[J].Geophysical and Geochemical Exploration,2015,39(6):1261-1266.http://doi.org/10.11720/wtyht.2015.6.27

近年来国外勘查地球物理的若干进展与趋势

吴其斌¹,马冰²,张桂平²

(1.国土资源部 信息中心,北京 100812;2.中国地质图书馆,北京 100083)

摘 要:新世纪以来,矿产勘查投资上升,但矿产发现率并未明显提升。过去十年矿床发现成本不断攀升,已经翻番。矿产勘查正逐渐向盖层下深部转移。严峻的矿产勘查形势推动着勘探地球物理技术进步,在仪器设备、数据解释与反演、方法应用以及矿床发现等方面取得了长足的发展;更高的灵敏度和精度、更多种类型数据的无缝采集、更加精准的解释方法、更大的探测深度、更广的应用领域以及提升的矿床发现成功率。与此同时,物探方法充分借鉴了当今信息技术的最新成就,与地质和其它勘查方法不断渗透与融合,不断增强矿产勘查能力与成效。

关键词: 勘查地球物理;进展与趋势;矿床发现;成矿系统;大数据

中图分类号: P631 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-8918(2015)06-1261-06

新世纪以来,矿产勘查投资持续增长,矿床发现成本不断攀升,而新矿床发现成功率却并未显著提高,矿产勘查活动逐渐转向深部、覆盖区、边远地区和勘查条件恶劣地区。为此,加拿大、澳大利亚等一些传统的矿产资源大国,为保持其在全球矿产勘查开发领域的领先地位,一方面持续地加大勘查投入,给矿产勘查活动注入新的动力。另一方面,通过科技创新和技术集成创新,将信息技术渗透并融合到传统勘查技术方法之中,并运用地质找矿的新理念、新思维,逐步形成新一代勘查技术方法,并不断加大

勘查技术方法应用广度和深度,提升新形势下找矿能力和找矿效果。

1 矿产勘查的基本态势

1.1 矿产勘查投资概况

根据加拿大金属经济小组发布的《公司勘查战略报告》(Corporate Exploration Strategies)历年调查结果,二十多年来全球非燃料固体矿产(以有色金属和一些非金属为主,包括贵金属,但一般不包括铁矿、煤、铝土矿等)非政府勘查投资如图 1 所示。

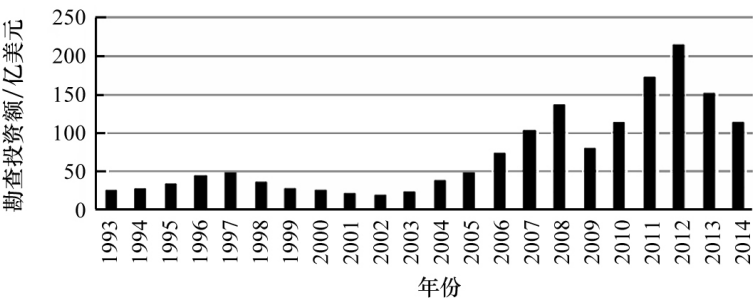


图 1 二十年来全球固体矿产勘查投资情况

从图 1 可见,总体上,全球固体矿产勘查投资呈增长之势,但增长过程中呈现波浪式起伏和一定的周期性变化,经历高峰与低谷的交替,主要受全球经

济、金融、一些重大政治事件等一系列因素的影响。有关研究结果表明,勘查投资与金属价格走势呈正相关关系。

近十多年来,加拿大的勘查投资始终位居前列,占全球勘查总投资的 13%~19%。澳大利亚勘查投资占全球份额基本稳定,为 12%~13%,也是全球固体矿产勘查的热点地区之一。从全球固体矿产勘查投资构成来看,近十年来,金矿和有色金属勘查投资全球勘查总投资比例为 70%~80%。金矿是最重要的勘查目标,其勘查投资的比例为 40%~50%。有色金属勘查投资主要为铜矿、铅锌矿和镍矿,所占勘查总投入的比例为 26%~41%。

1.2 矿床发现成本持续攀升

当前,国际上对矿产资源的需求仍然持续高涨。世界范围内尤其是新兴国家矿产资源需求量的持续增长,要求发现巨型或大型矿床。澳大利亚著名矿业咨询公司 MinEx Consulting 的数据表明,世界上每年平均取得 60~70 个找矿发现。这里所说的找矿发现,指的是中型、大型和巨型矿床,不包括已知矿区的卫星矿床,也不包括大宗矿产(例如煤、铁和铝土矿等)。表 1 为 1975~2013 年全球取得的矿床发现。

过去三十年中尽管固体矿产勘查投资大幅增

表 1 1975~2013 年全球发现的矿床

序号	质量	发现数目	百分比
1	巨型	80	3%
2	大型	268	11%
3	中型	1151	46%
4	未标明	986	40%
合计		2485	

长,但矿床发现数目并未因投资增长而明显增加。有关统计数据表明,矿产发现的效能主要受到较高成本因素的影响,一是由于劳动力、钻探和管理等因素的影响致使勘查成本大幅升高,二是矿产勘查难度增大,勘查重点区向深部、覆盖层下、边远地区以及气候恶劣地区的转移。MinEx Consulting 公司对金矿和有色金属矿床的发现成本进行了统计和测算。矿床发现的统计基数为超过 10 万盎司金的金矿或超过 10 万 t 铜当量的铜矿。结果表明,就金矿而言,1980~1989 年矿床发现的加权平均值为 4400 万美元,2000~2009 年加权平均值为 7 700 万美元,而目前一个金矿的平均发现成本为 1.5 亿美元。最近十年,单位金矿发现成本已经翻番。

对于有色金属来说,1980~1989 年矿床发现的加权平均值为 2 300 万美元,2000~2009 年加权平均值为 6 400 万美元,而目前一个有色金属矿的平均发现成本为 1.8 亿美元。换句话说,如果勘查投资为 5 百万美元,那么取得发现的成功率不足 1/30。

1.3 矿床发现向深部转移

过去几十年间,矿产勘查主要集中在露头或地表以下数(十)米的深度,其中大部分是位于地下 50 m 以内的深度。随着勘查程度不断提高,许多出露地表和近地表的矿床已被发现,矿产勘查一个显著的趋势是由从近地表、浅层向深部的转移。表 2 为 2004~2013 年全球金、贱金属矿床发现的平均深度。

表 2 2004~2013 年全球金、贱金属矿床发现的平均深度 m

矿种	加拿大	美国	澳大利亚	非洲	拉丁美洲	西欧	中国、前苏联和东欧	太平洋/东南亚	全球平均
金矿床	112	109	71	53/5	29	40	19	3	56
贱金属矿床	156	381	126	27	62	247	167	49	114

注:1—金矿床统计数据是基于 267 个中、大和巨型矿床,贱金属矿床统计数据是基于 147 个中、大和巨型矿床,主要是铜、铅、锌和镍矿床;
2—在非洲金矿床发现中,如果将南非排除在外,平均深度则从 53 m 降至 5 m

研究表明:①美国、西欧、加拿大、澳大利亚、前苏联+东欧+中国等国家和地区矿产发现的平均深度高于世界平均水平 78 m,说明这些国家或地区的矿产勘查程度较高(成熟);②拉丁美洲和非洲矿产发现的平均深度远低于世界平均水平 78 m,表明了这些地区的勘查程度相对较低,与近十年来这些地区始终为矿产勘查热点地区的事实呈一致性或相关性;③有色金属矿床发现的平均深度大大高于金矿床发现的平均深度,前者几乎是后者的两倍,一定程度上表明有色金属矿床勘查的技术难度大于金矿勘查的难度;④从时间维度看,加拿大、澳大利亚等国近百年勘查发现历史表明,矿床发现从早期露头、浅

表逐渐向着覆盖区、深部发展的趋势。

上述矿床发现数量、成本和深度的事实情况,深刻诠释了当今勘查所面临的严峻形势:一方面,它是一项高投入、高风险、高回报的活动,另一方面,随着矿产勘查向深部、覆盖层下、边远地区的转移,需要研发新一代勘探技术,提高找矿效能。

2 物探技术进步与矿床发现

纵观矿产勘查的发展历史,勘查技术的发展,是一部技术不断挑战地质找矿难度加大的发展史,更是一部新技术加速重构矿产勘查新格局的发展史。勘查技术方法在矿产勘查中每一个发展阶段

都发挥着重要的作用,物探、化探、遥感和钻探等技术方法的进步,加速了矿产勘查前进步伐,提高了找矿成功率。

加拿大资深勘探地球物理学家 Ken Witherly 将物探方法找矿历史大致划分为三个阶段(或三次发展浪潮)。第一次浪潮大致发生在上世纪 50 年代之前,称之为直接找矿时代,即利用物探方法直接找矿(或与矿化相关的衍生物),典型的案例是上世纪五六十年代采用航空电磁法和磁测发现的一系列多金属硫化物矿床。物探找矿的第二次浪潮出现在上世纪六七十年代,称之为地表填图时代,即利用物探方法进行地表填图并发现浅部矿床。地表填图主要方法包括磁测、激发极化测量、电磁测量和放射性测量等。进入 21 世纪后,物探技术迈入了第三次浪潮时代,称之为智慧地下深部填图时代,通过技术创新,采用高灵敏度、大探测深度、分布式数据采集系统,大数据时代的高性能、高效数据计算与处理能力,密切结合地质与成矿背景,进行有效地下深部填图,取得找矿新发现。

2.1 20 世纪一系列物探方法诞生导致一大批矿床被发现

二次世界大战之后,航空(地面)磁力仪的推出,在北美洲、澳大利亚、南非和前苏联掀起了航磁测量的热浪,从而导致了許多铁矿、石棉、镍、稀土金属等的发现。激发极化(IP)1948~1950 被引入到矿产勘查活动,主要用于寻找浸染状硫化物矿床和斑岩铜矿,取得了很好找矿效果。航空电磁法(AEM)诞生于上世纪 50 年代初,到 60 年代就得到广泛应用,成为寻找硫化物金属矿床极为有效的手段,找矿效果成绩斐然。AEM 技术及其在矿产勘查中的应用,堪称 20 世纪矿产勘查中最伟大、最成功的里程碑事件之一。到 1975 年为止,通过航空电磁法共取得了 63 个找矿发现。

进入 20 世纪 80 年代之后,随着时间域电磁测量方法(航空、地面和井中)的发展成熟,其具有分辨率较高、探测深度大的特征,使之在金属矿勘查,尤其是块状硫化物金属矿床勘查中发挥了主导作用,并取得了一系列找矿新突破。澳大利亚一些州政府在 20 世纪 90 年代推出了矿产勘查计划,利用新一代航空测量方法(以高精度航磁和航放为主),加密飞行间距(矿产勘查远景区为 200~250 m,已知矿区或外围加密至 100 m),降低飞行高度(100 m 左右),采集了一大批高质量的数据,编制和更新了一批新的图件,据此直接或间接发现了与矿或可能与矿有关的多个异常。

据报道,加拿大在 1951~1955 年间由物化探方法发现的矿床占发现矿床总数的 14%,1956~1960 年上升至 59%,1961~1965 年占 50%,1966~1969 年则高达 64%。据称,加拿大地盾已发现的 115 个硫化物金属矿床中有 51 个(占总数的 44%)是用物探方法发现的。澳大利亚 1951~1980 年近 30 年发现的金属矿床 118 个中,利用物化探方法发现的矿床 40 个,占发现矿床总数的 1/3。

2.2 21 世纪物探新方法进展开创矿产勘查新局面

进入 21 世纪后,为寻找被地面良导盖层覆盖、埋藏深度达上百米或数百米的隐伏矿床或盲矿床,物探技术方法取得了长足进步。一是进一步加强了高分辨率、大探测深度地面(航空)电磁系统研究,通过提高发射功率和数据处理分析能力,可将探测深度提升到数百米,甚至上千米;开发了高分辨率钻孔电磁测量系统,结合亚 ppm 级元素分析手段,能够更精确进行深部钻孔定位或直接发现钻孔深部或周边盲矿体。最近一二十年来发展的分布式电磁测量系统,实现了多功能、多参数、高灵敏度、大数据量测量。多阵列、多通道地球物理仪器可探测深达上千米的良导体,甚至填绘出 2 km 深的断裂构造和围岩蚀变。二是借助于新一代信息技术,如云计算、大数据等,加快信息技术与传统物探方法的融合,获取更多、更丰富的信息,大大提升物探方法的反演能力和水平,尤其是三维反演,促进物探新技术的全面发展。这些技术进步,结合新的找矿理念和思路(例如,成矿系统等),开创了地质找矿的新局面,取得一些重大发现。例如,最近十多年来在加拿大矿产勘查中运用新方法、新思路获得找矿突破,展示了覆盖区勘查方法与策略的成功应用范例,主要包括:①阿萨巴斯卡盆地 400~800 m 覆盖岩层之下的铀矿发现;②在马尼托巴省北部通过改进的电磁测量发现大规模 Lalor 锌、铜和金矿床;③安大略省北部地区在冻土之下发现大型铬、镍矿床等等。

3 近年来物探方法的若干进展及发展趋势

针对当前地表露头矿和易识别矿的发现概率大大降低、找矿难度加大的严峻形势,加拿大、澳大利亚等西方发达国家,通过技术集成创新、应用模式创新,结合地质与成矿理论和模式,加大物探方法研发力度,拓展应用深度和广度。

3.1 物探技术发展的新进展

就物探方法而言,近一二十年取得的主要技术进步体现在几方面:

1) 提高仪器(方法)的灵敏度、测量精度,降低

噪音水平,加大探测深度和探测目标的分辨率。目前许多物探仪器采样率提高了 10 倍,采集数据量增大了 100 倍以上,使得微弱和细微异常可分辨。例如,加拿大 GEM SYSTEMS 2010 年推出的超高灵敏度钾光泵磁力仪 GSMP-35,分辨率为 0.000 1 nT,灵敏度达到 0.0003nT@1Hz;加拿大 FUGRO 航空测量公司推出的 FALCON 航空重力梯度测量(AGG)系统(包括固定翼飞机和直升机),噪音水平小于 1.3 厄缶;最近十多年发展迅速的直升机时间域电磁系统,相继推出了 20 多个系统,在功能和性能上不断完善和提高,分辨能力不断增强,噪音水平显著降低,偶极矩变得更大(加大探测深度),飞行高度降低,大大提升了探测能力。

2)运用综合物探方法,采集多种数据,获取多种信息。例如,航空综合地球物理测量系统,借助于高精度导航定位系统(GPS)和实时数据处理手段,集磁测(总场和梯度)、电(电磁和甚低频)、放射性测量于一体,可快速、准确地采集多种数据,大大缩短了数据采集、处理周期;地面电法测量借鉴石油地震勘查方法,引入了分布式数据采集系统,采用了大量的、通道频带宽度较小的接收机,具备采样次数多、数据采集量大、探测深度大、降噪性强以及多种类型数据的无缝采集与集成,如激发极化法、电阻率法、大地电磁法等,这类系统主要包括 Phoenix、Titan 24 和 GEOFFERRET 等。

3)借鉴新一代信息技术,开展大数据处理、分析、可视化展示和三维模拟解释。信息技术的发展,使得勘查地球物理方法的数据计算和处理能力达到前所未有的高度,能够快捷、有效地进行从数据采集、处理、展示到分析、成图和解释等整个数据过程,几乎实时得到极高分辨率和复杂的数字图像。利用地理信息系统(GIS)软件集成多种类型和格式的数据,进行综合分析展示。尤其是物探三维正反演方法,近年来的发展有了质的飞跃,已经成为常规的数据解释方法。加拿大 Geosoft 公司、Mira Geoscience 公司、不列颠哥伦比亚大学地球物理反演研究室(UBC-GIF)等研制并推出的一系列软件包,涵盖几乎所有物探方法的数据处理和反演,成为业界的引领者。

4)加强物探与地质、各种其他勘查技术方法及其各学科的融合。从某种意义上,物探与地质方法各自的局限性,可以使之成为互补方法。物探可填绘出一定区域(面积)范围内的物(岩)性分布,但不能识别岩(矿)石本身。而地质方法通过采样点可识别出岩石,但不能确定露头之间覆盖层下的岩性。

岩性成为二者之间的“桥梁”,了解和认识地质及其作用过程对岩性(也就是对物探数据)的影响,是有效使用物探方法的前提。这需要通过多种地球物理数据建立不同的物性模型,在此基础上结合已知的地质信息,整合集成成为尽可能接近于实际地质情况的、单一的地质模型。地质人员、物探人员和其他学科勘查人员,打破在本学科领域内研究的惯性思维和工作模式,加强相互交流、渗透与融合,以提高勘查效能。

3.2 物探方法应用的新趋势

就物探方法应用来说,近年来取得显著进展,在应用深度和广度上不断深化。概括起来,涵盖以下方面的内容:

1)覆盖区物探技术的应用拓展。2012 年澳大利亚科学院出台了“探测地球深部—澳大利亚地球科学勘查远景(Searching the deep earth a vision for exploration geoscience in Australia)”计划。该计划实施全国覆盖层填图,综合运用地球物理、地球化学、遥感和钻探信息,进行覆盖层填图,圈定包括深度、几何形状、年代等在内的覆盖层特征,深入了解成矿体系地球化学、矿物学和地球物理探测的覆盖特征,试图“揭开”覆盖层,使矿产勘探“透明化”,提高在隐伏资源的可发现性。为此,运用新的技术方法,提升成矿省规模的覆盖层深度和特征填图与预测能力。目前正在着手开展的一种方法是,利用非常宽间距(标准线距 110 km)的航空电磁测量(AEM)开展基线覆盖层填图,测量覆盖整个澳大利亚大陆。全国 AEM 测量方式类似于 2008 年完成覆盖全澳大利亚的(the Australia Wide Airborne Geophysical Survey,AWAGS)航空磁测和放射性测量,可提供全大陆有关覆盖层的基本信息。

加拿大矿产资源勘查目标正逐步转向覆盖区、边远地区、老矿山深部和外围。为此,加拿大探矿者和开发者协会(PDAC)、加拿大自然资源部和加拿大矿业创新委员会(CMIC)研究确定了矿床发现的 3 个关键主题:①矿床发现标准;②矿床发现和圈定技术;③从数据到知识。就矿床发现和圈定技术而言,主要包括地面、地下和航空物探方法,例如,航空电磁测量、航空重力测量、永久冻土带地质背景下地球物理填图方法、三维地震、地面电磁法和跨钻孔层析成像等。

2)利用物探方法开展成矿系统研究与应用。所谓成矿系统,是指包括流体、金属来源、能量驱动力、矿床沉淀位置以及贫化流体出口等一系列要素组成的综合系统。它的形成与地球系统作用过程中

的重要时期或特定事件有关。因此,相对于实际矿床而言,成矿系统的(体积)范围大得多,可以是矿床的几十倍或上百倍。CMIC 实施了为期 5 年(2013~2017)的成矿系统“足迹”计划,预算 1 210 万美元。试图运用综合多参数足迹开展有效的矿产勘查,旨在通过开发地质、地球物理、地球化学、矿物、岩石物理等数据的采集、管理、集成与分析方法及其实际应用,确定成矿系统足迹最远的边缘和深度,以此提高矿产勘查成功率。该计划第一阶段在三大成矿系统开展多学科综合研究:加拿大魁北克省 Malartic 金矿系统、萨斯喀彻温省 McArthur River-Millennium 铀矿系统和不列颠哥伦比亚 Highland Valley 铜-钼-金矿成矿系统。每个成矿系统研究将现有的勘查数据与新的数据进行集成,为矿床远程探测和覆盖区地质填图奠定技术基础。澳大利亚正在计划编制全国成矿系统远程足迹图,包括地质、地球物理、地球化学、矿物学等一系列解译性图件,用来识别澳大利亚成矿系统在不同尺度上各种信息,指导覆盖层之下新区的矿产勘查工作。全国远程足迹图包括成矿系统一级、二级和三级足迹。就成矿系统研究的物探方法而言,很大程度上不同于大多数传统物探方法的应用。传统物探工作重点是瞄准目标直接定位的能力,而成矿系统方法专注于大规模地质填图问题。在成矿系统研究与应用中,通过技术创新,实现方法应用的重大转移,从几乎完全侧重于直接找矿的矿床物探测量,转向大范围的区域填图,并分阶段进行实施。首先,在较大区域范围内,借助物探方法和其他方法研究并确定成矿溶液(形成矿床目标)的路径。这些路径一般为较大的目标,通过对这些路径进行勘查和填图,将有助于勘查人员下一步工作定位。接下来沿着这些路径,可开展详细勘查工作,“顺藤摸瓜”,直至最终找到隐伏、潜在矿床目标。

3) 云计算、大数据等新技术与传统勘查方法的融合,促进矿产勘查的新变革。权威期刊《Mining Journal》的民意调查表明,云计算、大数据、物联网等新一代信息技术,将成为撼动全球矿业最顶尖的技术之一。全球勘探业巨头力拓集团大力推动云计算、大数据在矿产勘查中的应用,主要体现在以下几个方面:一是进行多源数据集成与管理,基于统一基础地理空间参考,将地质、构造、矿点、地球物理、地球化学、遥感钻孔等各类数据整合到统一的数据库中,利用云计算、大数据等(决策树、组合方法、聚类、随机森林、空间回归和提升方法等)方法,对多源综合数据进行集成、展示、分析和挖掘,由此建立

数据驱动的成矿远景图件;二是开展有效的三维模拟(主要是反演),云计算和大数据技术三维反演方法更为快捷、更为便利,几乎成为一种常规的手段,加拿大 Geosoft 公司采用微软 Azure 云计算技术,开发了 VOXI 反演软件;三是提高数据采集精度消除数据噪音等,通过一些关键技术与信息处理方法的研究,可以消除数据采集中的噪声干扰,提高数据采集精度。

云计算、大数据等新技术在矿产勘查中的应用,提升了勘查绩效。例如,加拿大 Diagnos 公司在过去 10 年中为不同矿产勘查公司完成了数百个大数据分析、挖掘,进而圈定靶区的项目。这些项目位于加拿大魁北克、安大略、新不伦瑞克、纽芬兰、美国内华达州、多明尼加共和国、墨西哥、布基纳法索和坦桑尼亚等地。2011 年,Diagnos 公司编制了加拿大魁北克西北地区金、铜、银、锌和镍的成矿远景图,覆盖面积 33.09 万 km^2 。2012 年便取得了总计 5 242 个矿权(占地 2 335 km^2),覆盖了最有远景和未勘查的目标。

4 结论

新世纪以来,矿产勘查工作从地表或地表浅层逐渐转向覆盖区和地下深部,从发达地区逐渐转向边远地区,同时,矿产勘查需要与生态环境协调发展,这使得矿产勘查工作变得更加复杂、更加系统、难度更大、要求更高。严峻的勘查形势促进了物探技术的发展进步,各类仪器设备观测精度、灵敏度大幅提高;测量参数呈现多样化和综合化;测量方式向着密间距、分布式或多次覆盖发展;数据处理、模拟(特别是三维反演)和解释更加精细和准确;找矿应用面不断拓展且效果也显著提升。我国矿产勘查也面临着同样严峻形势的挑战。为此,必须开发有效的勘查技术手段,从传统的勘查方法逐步转向以高新技术为基础的现代勘查技术方法转变,以适应当前勘查形势发展的迫切需要。

参考文献:

- [1] Witherly K. The evolution of minerals exploration over 60 years and the imperative to explore undercover[J]. The Leading Edge. 2012, 31(3):292-295.
- [2] Witherly K. Building effective mineral systems models; the importance of merging geophysical observation with geological inference [C]//ASEG-PESA 2015 Geophysics and Geology together for Discovery, 2015.
- [3] Kingman J E E, Donohue J G, Ritchie T J. Distributed Acquisition in Electrical Geophysical Systems [C]//B. Milkereit, Pro-

ceedings of Exploration 07; Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration. 2007;425-432.

[4] Valle'e Marc A, et al. Metalliferous mining geophysics-State of the art after a decade in the new millennium[J].Geophysics,2011,76(4);31-50.

[5] McMonnies B, Gerrie V. Ground Geophysics and Borehole Logging-A Decade of Improvements[C]//B. Milkereit, Proceedings of Exploration 07; Fifth Decennial International Conference on Mineral Exploration,2007;39-49

[6] Paterson N R . Geophysical developments and mine discoveries in the 20th century[J].The Leading Edge. 2003,22(6);558-561.

[7] Killeen P G. Mineral exploration trend and developments in 2014. [J].Supplement to Feb. 23, 2015 edition of The Northern Miner. 2015, 101(2);1-28.

[8] SNL Metals Economics Group. Worldwide Exploration Trends[R]. A Special Report from SNL Metals & Mining for the PDAC International Convention, 2015.

[9] 施俊法,姚华军,李友枝,等. 信息找矿战略与勘查百例[M].北京:地质出版社,2005.

[10] 王绍伟,刘树臣,等. 21 世纪初期国外矿产勘查形势与发现[M].北京:地质出版社,2006.

The trends and developments of mining geophysics in recent years abroad

WU Qi-bin¹, MA Bing², ZHANG Gui-Ping²

(1. Information Center of Ministry of Land and Resources of China, Beijing 100812, China; 2. Geological Library of China, Beijing 100083, China)

Abstract: The mineral exploration expenditures have risen since new millennium, but the discovery rates have not significantly improved. The discovery costs have been rising and have doubled in the last decade. Mineral industry have to progressively explore under deeper cover. The grim situation of mineral exploration promoted the development of geophysical technology, and has made great advances in the aspects of instrument equipment, data interpretation and inversion, potential application and improved success rate in discovery; higher sensitivity and accuracy, seamless collection of multiple data types, more accurate interpretation, greater the detection depth, a wider range of applications and improve the success rate of discovery. At the same time, the geophysical exploration methods have fully been using the latest achievements of information technology, and integrating with geology and other exploration methods in order to enhance the detectability and effectiveness of mineral exploration.

Key words: mining geophysics; trends and developments; deposit discovery; mineral systems; big data

作者简介: 吴其斌(1961-),男,博士,研究员,主要从事国土资源信息化建设、矿产勘查技术方法情报研究工作。E-mail: qbwu@infomail.mlr.gov.cn

上接 1260 页

Forward simulation of the underwater sand based on GPRSIM software

XIE Lei-Lei, JIANG Fu-Yu, CHANG Wen-Kai

(School of Earth Sciences and Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: Based on the difference of permittivity between water and rock media, the authors conducted forward simulation of two-floor geology at different depths of water by GPRSIM software. Under normal circumstances, when the radar antenna frequency is 50MHz, the exploration depth is about 10m. In combination with the geological data of the bridge site area of the Nanjing Yangtze River Bridge, the authors established the underwater sand model which contains water, silty clay, silty sand, gravel pebble and conglomerate, and made forward simulation of the model based on GPRSIM software. The result shows that, when the antenna frequency is 50MHz, the maximum depth of water is less than 4m, and each rock formation under the water has a good reflection. In particular, the geological radar can better reflect the thickness and distribution range of the underwater sand. The results achieved by the authors provide important theoretical basis for the actual exploration of the underwater sand.

Key words: GPR; FDTD; forward simulation; GPRSIM software; underwater sand; engineering exploration

作者简介: 谢磊磊(1989-),男,安徽阜阳人,硕士,研究方向为固体地球物理学。E-mail:15240240707@163.com