

44-47

勘查隐伏金属矿的新方法

p618.208
p622.7

吴其斌 王君恒

(中国地质大学·北京·100083)

崔霖沛

(中国地质矿产信息研究院·北京·100037)

在总结目前金属矿勘查基本现状的基础上,阐明了勘查技术方法对寻找金属矿的重要作用,论述了近十年来勘查隐伏矿新方法、新技术的进展。

关键词 隐伏矿 矿产勘查 新方法

金属矿床,找矿

随着地质找矿工作深入,许多露天矿和近地表矿已基本被查明,特别是在研究程度高地区,勘查人员不得不将其目标转向隐伏矿勘查。

1 金属矿勘查的基本现状

从总体看,无论是在我国,还是在加拿大、澳大利亚等西方发达国家,以及在一些勘探程度较高的发展中国家,金属矿勘查所面临的基本形势是已进入寻找隐伏矿阶段。早在80年代初,加拿大对在此之前65年期间在加拿大发现的115个火山成因块状硫化物矿床进行了调查^[1]。结果表明,91%的矿床是在离地表不到100 m以内找到的,而只有10个矿床是在超过100 m的深度发现的。这说明过去的勘查工作基本局限于近地表内。此后,一些勘探公司仍对近地表薄层进行反复勘查,结果收效甚微,新发现的矿床数量急剧下降。因此,加拿大地调所J. Boldy曾提出“探测第三维(即垂直维)——在已采矿床地下100 m~1 500 m深度内勘查深部矿将开辟新的地质前沿”。

1992年,加拿大学者J. D. Crone指出,在过去10年间,在加拿大新发现的大多数贱金属矿床都是盲矿床,其埋深超过240 m。

当代最成功的勘查地质学家之一、澳大利亚西部矿业公司勘查部领导人R. Woodall 1993年在美国召开的“勘查与发现的综合方法”大会主旨发言中明确指出:“尽管还有一些世界级的矿床可以用地表勘查手段去发现,但未来属于那些能够在隐伏区进行经济有效勘查的找矿人”。

日本金属矿业事业团1995年委托对太平洋地区金属矿勘查有广泛经验和了解的咨询地质学家R. Sillitoe,对过去25年期间在这一地区发现的重要贱金属和贵金属矿床的勘查及发现史作了系统调查和评述^[2]。R. Sillitoe从13个国家选择了有代表性

的54个矿床。调研报告详细论述了发现前进行的地质、地球物理和地球化学工作以及接着完成的直至生产阶段的工作。结果表明,只有两个矿床是在生产矿山附近根据露头发现的,约31%的贱金属矿床和26%的金矿床是在出露有地表露头但那里从来没有关于矿化产出记录的地区发现的,而其余大多数矿床都是隐伏的。这说明寻找隐伏矿是当前矿产勘查的发展趋势。

我国金属矿勘查的状况亦体现了这一发展趋势。找矿工作从50年代到70年代以找表露矿和浅表矿为主,从80年代开始,矿产勘查以查证异常为主,一方面继续寻找浅表矿,另一方面加强深部隐伏矿的勘查。

2 勘查技术方法对寻找金属矿的重要作用

矿产勘查是一项具有不确定性和高风险的活动,它首先强调的是效果,故最佳的找矿策略是利用最有效的技术和可靠的矿床模型。矿产勘查也是一个由浅入深、循序渐进的认识和探索过程。随着找矿工作深入和寻找隐伏矿阶段的到来,以传统地表普查和地质研究为主的找矿方法逐渐让位于依靠地质理论预测与物探、化探等勘查技术综合应用的现代找矿手段。

综观勘查技术的发展可以明显看到,勘查技术方法的进步大大促进了矿产勘查步伐,提高了成功率,在矿产勘查历史上留下光辉的篇章(表1)^[3]。

表2列出了70年代~90年代初澳大利亚矿产勘查的15个重大发现。在这些发现之中,仅3个是靠传统的地表取样发现的,2个是由地表取样与物探方法相结合发现的,其余均是隐伏(盲)矿床,完全是由物化探技术结合地质理论预测及矿床模型研究而得以发现的。

P. 拉兹尼卡在研究世界巨型金属矿发现史后

得出结论^[4],在他所调研的迄今已知的 337 个巨型矿藏中,采用先进技术发现的占 30% (1965 年 ~ 1995 年占 71%),凭机会偶然发现的占 30% (1965 年 ~ 1995 年占 5.5%),根据政府填图和调查结果发现的占 14.5%,根据“非先进技术”的传统找矿方法发现的占 24%。该调查结果揭示了先进的勘查技术方法在矿床发现中的地位和作用。

表 1 新研制的勘查技术导致发现新矿床的实例

▲航空电磁法(50年代中期)	
在北美发现了若干大型和重要的火山成因块状硫化物矿床,如加拿大的吉科和乌塔比矿床;美国的克兰登矿床。	
▲激发极化法(50年代末至60年代中期)	
随着对金属矿分带认识的提高和首次出现矿床模型,激发极化法帮助在美国西南部地区发现一些斑岩铜矿床,如亚利桑那州的皮马矿床和科珀克里克矿床。	
▲低成本区域地球化学找矿方法(60年代初)	
费用低廉的分析方法和改进的矿床模型导致大面积新勘查区的成功的找矿工作,如美国卡林型金矿床、蒙大拿州的斯博莱克矿床、新几内亚岛的奥克特迪矿床。	
▲详细地质模型(60年代)	
认真研究矿床模型,直接导致发现较多的矿床,如美国加利福尼亚州的麦克劳林矿床、犹他州的派恩格罗夫矿床、亚利桑那州的卡马拉祖矿床、科罗拉多州的亨德逊矿床、内华达州的马吉克里克矿床等。	
▲稳定同位素、裂变径迹法年代测定和流体包裹体(70年代)	
运用成矿系统地球化学特征和年代关系的研究成果,发现了若干矿床,如美国科罗拉多州的卡利科皮克铝矿床、内华达州的埃奎蒂金矿床、蒙大拿州的希普克里克铜矿床。	
▲低成本钻进技术(80年代)	
反循环钻进加上详细地质模型为在美国大盆地找金取得广泛成功发挥重要作用,如内华达州的雷恩矿床和波斯特矿床。	
▲大探测深度瞬变电磁技术(80年代初、中期)	
在寻找深部隐伏火山岩块状硫化物矿床方面取得极大的成功,如澳大利亚的赫利尔、欧内斯特亨利矿床,加拿大的林兹里、维克多矿床等。	

表 2 1970 年 ~ 1991 年澳大利亚矿产勘查的重大发现

矿床名称	矿产品	发现时间	发现矿床的方法
兰杰	U	1970	航空放射性测量
阿格纽	Ni	1971	铁帽的发现与钻探,填图与地面磁测圈出地质条件有利的地段
特尔弗	Au	1972	铁帽的发现与钻探
埃卢拉	Pb, Zn, Ag	1973	磁异常与钻探
奎河	Pb, Zn, Au	1974	航空电磁测量与水系沉积物化探
奥林匹克坝	Cu, Au, U	1975	区域地质、矿床模式研究,而后是区域重力测量和详细磁测
斯库德尔斯	Cu, Zn	1979	普查地质填图和详细航磁测量
博丁顿	Au	1980	地表取样
阿布拉	Pb, Zn	1981	航磁测量结合地面重力
赫利尔	Pb, Zn, Au	1983	瞬变电磁测量与钻探
埃洛伊斯	Cu, Au	1988	瞬变电磁测量评价线性磁异常
卡诺纳	Au	1989	“批量浸出可提取金”(BLEG)化探采样
世纪	Pb, Zn	1990	地质与土壤地球化学测量
坎丁顿	Ag, Pb, Zn	1990	区域地质填图与航磁异常
欧内斯特亨利	Cu, Au	1991	矿床经验模式、磁测与瞬变电磁测量

3 寻找隐伏矿新方法研究现状与重要进展

随着勘查隐伏矿阶段的到来,致使传统的直接普查找矿方法遇到了极大的困难,也迫使勘查人员必须依靠科技进步,改造传统的找矿方法,由传统的直接普查找矿向现代地质理论预测找矿转变,发展新技术手段,以形成新的找矿能力。

近十年来,以物探、化探为主体的勘查技术方法

发展十分迅猛,它们能有效地获取隐伏矿存在的各种信息(岩性、物性、矿化等),从而成为寻找隐伏矿(尤其是深部隐伏矿)的主要手段。就方法技术而言,在如下方面已取得重要进展。

3.1 快速矿产普查与预测

由于隐伏矿找矿的难度很大,要避免高风险带来的严重后果,必须依靠科学的资源预测。地质理论对指导资源的远景预测具有很重要的意义,在此基础上,运用新一代区域物化探手段迅速查明对成矿有利的远景区,为准确地选择勘查靶区提供高质量的数据,从而实现快速的矿产普查与预测。

新一代区域物化探方法的迅猛发展使之成为隐伏区远景快速预测的有效途径。以航空物探为例,近年来发展起来的航空物探综合测量系统,克服了原有方法单一、测量和定位精度低、数据处理过于简单的缺陷,实现了高灵敏度、多功能、多参数和数字化、集磁(总场和梯度)、电(电磁和甚低频)和放射性测量于一体,可最大限度地获取多种信息。测量精度有了很大的提高,并且可在现场编辑和处理数据,从而大大缩短了测量、处理和解释的周期,加速了勘探的进程。

90年代以来,西方国家相继实施新一轮区域填图以及许多国家政府隆重推出的矿产勘查开创计划普遍加大了区域物探的工作量。其中最引人注目的是澳大利亚最近四、五年有4个州纷纷推出颇具雄心的矿产勘查开创计划^[4]。这些计划为期几年至12年,经费均在数千万澳元,而高分辨率航空物探的费用占总经费的50%左右。这是因为澳大利亚国土面积的85%被风化层覆盖,仅靠传统的填图方法难以适应新形势下寻找隐伏矿的需求。联邦和州政府认识到隐伏矿发现的成功率取决于能否获得高质量的地质资料,以新一代航空物探为主的区域物探方法可有效地“穿透”风化层对下伏基岩进行填图,从而提高远景区域的地质研究程度,更快、更准确地进行勘查选区。

这些计划实施以来短短的几年时间内,已采集了大量的新的高质量航空物探数据^[5]。线距小于500 m、航高100 m左右的航空物探已飞行了近400万测线公里,完成第2代区域地质填图中航空物探500幅图幅(1:25万)的113幅,覆盖率达23%。这些新的数据的获取,不仅直接发现了与矿和可能与矿有关的异常,而且使勘探租地面积猛增,勘查投资增长,掀起了找矿热潮。

为促进矿产勘查与开发,加拿大联邦政府和省

(区)政府之间签有“矿产开发协议(MDA)”合作计划^[6]。计划中的一项重要内容是通过区域调查来评价隐伏矿化的远景区,为此开展了大量的区域物化探测量。第一轮 MDA 期间(1984 年~1990 年)用于航空物探的经费达 1000 万加元,第二轮 MDA(1991 年~1996 年)约为 200 万加元。此外,为促进区域物化探新技术在隐伏贱金属矿产勘查中的应用,从 1989 年起实施了一项“勘查科学与技术(EXTech)”计划。据报道,该计划的高分辨率综合航空物探测量于 1996 年在巴瑟斯特矿区获得了新的发现。

为加快矿产远景预测和普查,近年来许多国家还推出了区域地球化学填图计划,如俄罗斯为期 15 年(1991 年~2005 年)的“多目标地球化学填图”计划,西欧低采样密度区域地球化学填图先导计划,南澳大利亚州的区域地球化学和风化层填图计划(1993 年~1995 年)等。此举的重要目的之一是有有效地识别成矿区(带),快速评价远景区,为勘查打下有利的基础。

3.2 高分辨率大探测深度的新方法

为适应勘查隐伏矿(尤其是深部隐伏矿)的需求,优先发展具有高分辨率(包括空间分辨率和时间分辨率)、大探测深度的新方法,使总体找矿能力达到较大深度,这已成为隐伏矿勘查技术的发展趋势。

近十年来,电磁法(尤其是时间域电磁法系列)得到很大的发展,其动力来自大的探测深度和良好的找矿效果。80 年代以来利用时间域电磁法相继发现了一大批隐伏的、包括埋藏较深的金属矿床,如澳大利亚的赫利尔(埋深 130 m)、欧内斯特亨利(埋深近百 m)、加拿大的温斯顿湖(埋深 300 m)、雪湖地区的某硫化矿床(埋深 320 m)等。有鉴于此,该方法倍受青睐,新技术、新仪器不断涌现。

澳大利亚为提高隐伏矿的探测能力,特别加强电磁(EM)法,尤其是航空(AEM)法的研究,使之能有效地用于以复杂而又有良导风化层为特征的环境。最近研制出一种新的 AEM 技术^[7]—FLAIRTEM(固定回线航空瞬变电磁)系统。该系统克服了传统 AEM 探测深度浅(仅数十 m)的局限性,使探测深度达到数百 m,并且具有较高的分辨率。

地面电磁系统更新换代的步伐明显加快了,新产品、新仪器不断推陈出新^[8]。美国电磁仪公司(EMI)1996 年推出新一代多功能大地电磁系统;加拿大 Phoenix 公司在 80 年代末研制 V-5 多功能电磁仪基础上于 1996 年又推出了 V-5 多功能卫星同步电磁系统(SSMT);德国 Metronix 公司 1997 年最新

开发出专用于矿产勘查的 CSAMT/MT 系统,称之为可控源电磁填图(CSEMM)系统,已在西班牙伊比利亚和爱尔兰中部隐伏矿床上成功地进行了试验。所有这些新的系统均实现了多功能、多参数、高密度数据采集,集中体现了新技术向更大深度、更高分辨率发展的趋势。

井中物探方法相对地面方法而言在寻找盲矿方面具有其优势。据加拿大的统计,在过去十余年间,在加拿大发现的贱金属矿床绝大多数是盲矿,如温斯顿湖、奥尔雷索尔赛斯、林兹里、安西尔、维克多等,它们几乎都是借助井中物探方法得以发现的。澳大利亚、美国、北欧等其他地区也屡有利用井中物探方法取得找矿发现的报道。

随着近年来金属矿地震方法在数据采集、处理和解释等诸多方面的改进、完善,该方法愈来愈多地用于固体矿产勘查,尤其是在研究程度较高矿区用于进一步查明深部控矿构造、圈定容矿岩石甚至直接寻找深部盲矿。该方法已从过去的试验性方法逐步向实用型方法、从非常规方法向常规方法过渡和转变。最近几年来在加拿大的萨德伯里、诺兰达、马塔加米等许多著名的金属矿区,通过改进反射地震数据收录和处理方法,取得了这些矿区深部构造和含矿岩层分布的信息。在美国卡林金矿区也开展了地震测量,准确地圈出了容矿岩层与不含矿岩层的界面,其结果得到钻探资料的证实。勘探地球物理工作者协会(SEG)1996 年年会有关专题讨论会发表的研究成果表明^[8],金属矿地震方法正在逐步得到矿业界的认同与接受,它正逐渐发展成为一种在研究程度较高的矿区寻找深部隐伏矿的有效方法。

3.3 隐伏区直接找矿的新技术

矿产勘查实践表明,在所有与找矿有关的信息中,与矿化直接相关的信息尤为重要。隐伏区矿产勘查迫使勘查人员研究探索能察觉地下深部微弱的、与矿化有关的直接找矿信息的新技术。随着灵敏度极高分析技术的发展,特殊有效采样介质的合理选择,已开发形成了以地电化学法、元素活动态测量法和地气法为主的隐伏矿勘查新技术。

针对基岩和土壤中元素多种赋存形式作选择性提取,俄罗斯研制出几种寻找隐伏矿的地电化学方法:元素存在形式法(MPF)、热磁地球化学法(TMGM)、部分提取金属法(CHIM)和浸出提取法(MDE)^[9]。MPF 和 TMGM 方法适用矿产勘查的所有阶段,而 CHIM 和 MDE 则较适合于大比例尺详查阶段。据报道,这些方法可在厚覆盖层(厚达 150 m)

和厚基岩(厚达 500 m)的条件下寻找到深埋金属矿。近年来又研究出“Dipole”CHIM 法(偶极部分提取金属法)^[10],能克服原来的 CHIM 信息量少、作业不便等缺点,提高了灵敏度和野外作业的效率。

澳大利亚学者 Mann 在 1995 年第十七届国际化探会议上提出了活动态金属离子法(MMI)^[11]。据介绍,MMI 法经过长达 6 年的野外和实验室研究、试验和开发,90 多次勘查研究,已成为一种寻找隐伏矿的实用方法。MMI 法能够准确地圈定盲金矿以及隐伏镍和贱金属矿化,已在澳大利亚、非洲、智利和美国等许多地区覆盖厚度几米至 700 m 的矿床上圈定出 39 个含金、贱金属和镍矿化的矿体。

在我国,地矿部物化探研究所基于地下深部成矿元素和伴生元素通过各种途径被迁移至地表,然后以各种活动态存在于地表松散介质中的事实,提出了元素活动态测量法(MOMOG)^[11]。从 1993 年起在山东和乌兹别克斯坦的金矿区取得了令人鼓舞的试验结果。结果表明:(1)元素活动态不仅存在于局部异常,而且存在大规模的区域异常和地球化学省;(2)在覆盖厚度从几米至三四百 m 的情况下都可以发现清晰的异常显示,异常不受地表覆盖物的影响;(3)利用元素活动态可以近似定量估计或预测成矿物质供应量,可据此预测某一地区潜在的资源储量。

近年来倍受关注的另一种寻找掩埋矿床的新方法是地气法。该方法是由瑞典人 K. Kristiansson 等人于 80 年代中期率先提出。他们在掩埋矿床上方土壤中埋下捕集器,分析出捕集器中成矿元素的异常含量。他们认为这些深部气体呈微气泡形式通过矿体时将成矿元素附着于微气泡表面带到地表的。这种看似离奇的说法却已在瑞典、德国、捷克、俄罗斯以及我国的许多矿区的试验中得到证实。这些试验大都是在已知矿区内进行的,工作量和范围

很有限。

近年来,我国学者在地气法的应用基础研究方面做了很有意义的探索,并对地气法的采样技术进行了改进^[12],在矿区和区域化探两方面均取得初步成效。这些均表明,地气法有望发展成为一种覆盖区找矿的可行方法。当然,该方法仍面临一些难题,如采样方案、样品捕集材料、分析方法、应用条件等等。因此,地气法的逐渐成熟,不仅需要在设备和分析技术上下功夫,也需要在测区地质、景观条件和野外工作方法上做较系统的研究工作。

参考文献

- 1 吴其斌. 物探方法寻找隐伏矿床:综述、走向 21 世纪的地学与矿产资源. 北京:地质出版社,1996. 144~148
- 2 Circum-Pacific exploration. Mining Journal, 1996. 482~483
- 3 McKelvey G E. Frontiers in exploration research philosophical overview. Nonrenewable Resources, 1996, 5(2): 85~90
- 4 王绍伟. 近年国外发现的几个重要矿床—兼述近年国外矿产勘查概况. 地质科技动态, 1996(10): 1~29
- 5 Denham D. Airborne geophysics in Australia: the government contribution. AGSO Journal of Australian Geology & Geophysics, 1997, 17(2): 3~9
- 6 崔霖沛, 吴其斌. 国外勘查地球物理的若干进展—1993 年. 物探与化探, 1995, 18(6): 413~421
- 7 Elliott P. New airborne electromagnetic method provides fast deep-target data turnaround. The Leading Edge, 1996, 15(4): 309~310
- 8 Killen P. G. International exploration geophysics. Canada Mining Journal, 1997(2): 1~15
- 9 Alekseev S G, et al. Some aspects of practical use of geoelectrochemical methods of exploration for deep-seated mineralization. Journal of Geochemical Exploration, 1996(56): 79~86
- 10 Levitski A, et al. "Dipole" CHIM: concept and application. Journal of Geochemical Exploration, 1996(57): 101~114
- 11 王学求, 程志中. 元素活动态测量技术的发展及其意义. 国外地质勘探技术, 1996(2): 17~22
- 12 吴传璧. "地气法"在我国的研究现状及前景. 国外地质勘探技术, 1997(1): 16~19

NEW METHOD ON PROSPECTING OF CONCEALED OREBODIES

Wu Qibin, Wang Junheng, Cui Linpei

Based on summarization of prospecting of current mineral resources, the importance is attached to the rule of technical method in prospecting. The new developed method on new technique of mineral prospecting are detailed.

Key words concealed orebodies, mineral prospecting, new method

第一作者简介

吴其斌 男, 1961 年 11 月生, 江西省新建县人, 博士。现为 中国地质矿产信息研究院 副研究员。中国地质学会 勘探地球物理专委会 委员、北京地球物理学会 理事。主要从事 物探情报 研究工作。

通讯地址: 北京市阜外北街 277 号 中国地质矿产信息研究院 邮政编码: 100037

