

重点成矿(区)带综合研究的若干问题探讨

汪东波¹, 梅友松¹, 徐勇²

(1. 北京矿产地质研究所, 北京 100012; 2. 中国地质调查局, 北京 100083)

[摘要] 重点成矿(区)带综合研究是实现找矿突破的有效途径。资料收集、数据库建设、编制基础图件、资料二次开发、区域成矿规律研究是综合研究的主要内容。重点成矿(区)带综合研究应注意3个问题: 1) 剖析成矿背景, 确定主攻方向; 2) 研究典型矿床, 建立成矿-找矿模式; 3) 综合研究地质-物化探-遥感资料, 合理厘定勘查方法组合。

[关键词] 重点成矿区带 地质背景 矿产资源 矿床模式 勘查方法

[中图分类号] P612 [文献标识码] A [文章编号] 0495-5331(2001)05-0001-05



地质·矿床

1 重点成矿(区)带综合研究的意义

金属矿床这一具有经济意义的岩石实际上是地质演化的产物, 是一类形成于一定环境中, 既同其主岩(host rock)有联系, 而又有别于主岩的特殊岩石, 它的形成同其所处的地质体的发展演化有关^[1,2]。著名矿产勘查学家 R. 伍德尔(1986)^[3]指出: 矿石就是岩石, 成因是一样的, 矿石也是地质环境的一部分, 是正在演化的地球的产物。因此对矿床的研究, 必须将其置于区域地质的演化史中探讨。地质体的分布是有规律可循的并对应于某一地质时期的演化产物, 且受一定的区域限制, 矿床、矿点、矿化体和异常通常成带集中产出。例如, 在加拿大诺兰达矿区已发现的 19 个有经济价值的矿床中, 有 16 个位于以霍恩矿床和奎蒙特矿床为圆心、半径 16 km 的圆内, 最远的两个矿床距圆心 34 km。从近 10 多年国内外铜、金、铅锌矿床的新发现来看, 大部分都集中在成矿区带的已知矿床、矿点的外围或深部^①。综上所述可以看出地质找矿工作应分带部署、集中实施。

在著名的安第斯斑岩铜铅矿带内铜矿找矿不断取得突破。例如, 阿根廷西北部卡塔马省 20 世纪 60 年代发现的下阿伦布雷拉矿床经最近的勘查, 铜金储量分别增至 383.5 万 t 和 489 t, 在其东北 35 km 处发现了铜、金、钼储量分别为 615 万 t、265 t、38.6 万 t 的阿瓜里卡斑岩铜矿。智利中部的洛斯帕兰布雷斯

铜矿床的储量由 1994 年的 1.6 亿 t(矿石量)增至 30 亿 t(含铜 2700 万 t, 品位 0.9%)。在著名的埃斯康迪达特大型斑岩铜矿附近又发现了埃斯康迪达北铜矿床。1990 年, CRA 勘探有限公司在澳大利亚的芒特艾萨成矿带内发现了“世纪”特大型铅锌-银矿床; 1991 年 WMC 又在该带内发现了欧内斯特亨利铜矿床。在美国阿拉斯加州特大型沉积喷气型红狗铅锌矿床的北侧, 于 1995 年又发现了特大型的阿加拉克矿床, 该矿床矿石量达 7600 万 t, 含锌 13.7%、铅 3.9%、银 66×10^{-6} 。在美国内华达州卡林金矿带, 如在卡林矿带的米达斯矿地发现的雷克斯格郎德矿床含金约 78 t, 含银约 933 t~1244 t; 在内华达格彻尔矿带继 1993~1994 年发现“绿松石岭”金矿床(储量 44.6 t, 品位 10.9×10^{-6})后, 1996 年又在其南部约 300 m 处发现金矿体, 储量约 46.7 t。在澳大利亚的卡尔古利附近, 近年来发现的储量达 2.074 亿 t(矿石量)、品位 2.4×10^{-6} 的“超大矿坑”金矿床是在许多小废弃矿井的地段找到的^[4,5]。

重点成矿区带的找矿工作在国内也屡获突破, 例如南秦岭是我国著名的铅锌多金属矿带, 20 世纪 90 年代以来, 又在该带及邻区发现八卦庙、双王、李坝、金山、三华咀、三羊坝、小东沟等一系列大、中、小型金矿床^[6]。在辽东青城子铅锌矿田外围, 继 80 年代末发现大型高家堡子银矿床后, 又在其附近发现了小佟家堡子、林家三道沟等大、中型金矿床, 探明的金储量约 100 t。据中国地质调查局的有关资料, 在我国重要的湖南千里山-骑田岭钨锡铅锌矿化集中区内, 近年的找矿又获重大突破, 在矿田范围内,

[收稿日期] 2001-04-18 [修订日期] 2001-07-05 [责任编辑] 曲丽莉。

[基金项目] 国家重点基础研究项目(1999043213)课题资助。

① 国土资源部信息中心 国外重点成矿区带典型找矿案例和勘查技术应用, 1999。

新发现锡矿体 50 余条,新增锡资源量(333+334₁)50 余万吨^①。

矿床的形成同区域构造背景密切相关,矿床本身可视为大地构造演化的标志。但目前国内外利用矿床作为特殊标志进行构造分区的研究尚不多见。研究表明:大多数前寒武纪块状硫化物矿床同裂谷作用有关,而斑岩铜钼矿床及浅成低温热液金银矿床皆同板块的俯冲机制有关;铜镍硫化物矿床、铬铁矿床多同深大断裂有关,且这些深大断裂多为构造区的边界断裂。甚至同为块状硫化物矿床,也可分属不同的构造环境,如沿板块增长边界出现“塞浦路斯型”含铜黄铁矿矿床,沿消亡板块边界产出“别子型”铜锌黄铁矿型矿床和岛弧内的“黑矿型”矿床^[2]。由于矿床的形成及产出明显受控于构造环境,因此,可以根据一些典型矿床的分布范围来确定构造区、重塑古构造发展演化史。虽然这种划分、重建不是惟一的、最终的,但它至少可提供成矿方面的依据。

2 重点成矿(区)带综合研究的主要内容

重点成矿(区)带找矿评价工作的核心内容是通过不同层次的区域地质—地球物理—地球化学—遥感地质工作,快速查明、筛选和评价异常和矿点,以尽可能少的投入,发现具有经济价值的矿产地。重点成矿(区)带成矿规律和找矿方向综合研究是区域矿产资源评价工作的重要内容之一。综合研究有助于弥补矿产资源评价过程中理论研究与勘查实践的脱节,深化对各重点成矿带成矿地质背景、成矿规律、成矿带的时空结构的认识,科学合理的厘定勘查评价准则,提高矿产资源评价工作各阶段的科技含量,为区域矿产资源评价的整体部署提供科学依据,为成矿带内勘查项目提供技术支撑,全面提高矿产资源评价的科技水平和区域成矿理论—勘查技术创新能力。其目的在于对同一成矿带的矿产资源评价工作统一部署、整体评价、深化研究、促进突破。重点成矿(区)带的综合研究工作的主要内容有:

1)资料收集:系统收集(区)带内有关的基础地质、地球物理、地球化学、遥感、矿产地质资料,认真分析成矿(区)带内各阶段地质工作的主要进展及存在的问题,全面了解区内地质工作程度,明确区内与矿产资源评价有关的、亟待解决的重大地质问题。

2)数据库建设:要按照整体规划、分步实施、相互衔接、避免重复的原则建立统一规范的区带数据

库。数据库的建设要有统一的规范和标准,并要同各省区的数据库,大中型矿床、矿产地数据库的建设相互协调,避免重复投资。在数据库建设过程中,既要考虑到管理部门的需求,又要方便从事区带工作的地质勘查—科研人员的使用。对进入数据库的资料要细心甄别,确保用高质量的数据建高水平的数据库。

3)编制基础图件:编图是重点成矿(区)带综合研究的基础,是贯穿整个过程的一项重要工作。编制勘查—研究程度图、矿产分布图、构造纲要图、地球化学异常图、遥感解译图、重力—航磁图等基础性图件,有助于全面了解区带工作程度,合理部署勘查—研究工作,提高综合研究的水平。众所周知,在矿产勘查中,选区的根据为是否存在特殊的地质特征或反映地质特征的地球物理和地球化学特征。这些特征可称为“选择勘查区的准则”,或简称“选区准则”。选区准则是具体的可测量的特征,而不是概念。例如,可以把火山中心看成火山块状硫化物矿床的一个重要的区域性选区准则。但是,火山中心并不是在多数地质图图例中都有表示的一个要素;相反,它存在于勘查—科研人员的大脑中,是根据某个地区中特殊岩性和构造的分布与配置所做的一种解释。标有“火山中心”的图件是具体实现,而且正是这种图件包含选区准则。因此,在编制基础图件的基础上,或应编制综合预测图件,将一系列同成矿作用有内在关联的示矿要素在图件上标出,并根据勘查—研究进展不断修订。

4)综合分析现有资料,开展资料的二次开发。地质(物化探、遥感)资料(分析数据、报告、图件和实物等)是极其宝贵的财富,充分挖掘已有资料中的找矿信息,以新理论、新观点、新模式重新研究,对老矿点、物化探异常重新评价、解释是一条事半功倍的找矿途径。今天,在 GIS 的环境下,这些数据可以放在一起,使我们能够从大陆再造、全球性和区域性造山带和非造山带系统的角度来看待矿化模式。这些大型数据集可以用于解释区域地质构造、构建区域构造和成矿系统的三维模型^[2]。

5)区域成矿规律研究。对工作区内有代表性的矿床、矿(化)点进行实地调查,典型解剖,评价区域成矿作用和成矿地质背景条件,明确区域矿产资源评价的主攻地段、矿种和矿床类型;建立主要矿床的

① 中国地质调查局,2000年地质调查项目主要进展和成果。

成因模型,在条件具备的前提下,建立区域(成矿带)-矿田(矿化集中区)-矿床的勘查模式;总结区域找矿史,厘定适用于不同矿种、矿床类型的经济、合理有效的勘查方法和方法组合。在工作程度高、条件具备和勘查工作需要时,适当开展矿床或矿体的定位预测研究;针对资源评价过程中出现的问题,拟定专项研究内容,开展联合攻关;紧密跟踪区带勘查评价进展,适时更新各类基础图件和综合图件,及时调整勘查工作部署,逐步实现用 GIS 技术进行区域矿产资源评价。

3 重点成矿(区)带综合研究中应注意的几个问题

3.1 认真剖析成矿背景,确定找矿主攻方向

从成矿作用演化的角度看,全球范围内一些重要类型的金属矿床的时空分布均呈现出明显的规律性变化,特定矿床类型在特定时期特别丰富。如全球范围内中温热液脉状金矿床、兰德式金-铀砾岩型矿床、火山成因大型-超大型块状硫化物矿床、阿尔戈马型铁矿床主要形成于晚太古宙。奥林匹克坝型铜-金-铀矿床、层状侵入体中的镍-钴-PGE 矿床、同岩浆有关的钒钛磁铁矿床和沉积岩为容矿岩石的层状铜矿床主要产在元古宙。超大型的铅锌矿床主要形成于古-新元古代。斑岩型铜钼、铜金矿床、浅成低温热液型金银矿床、黑矿及塞浦路斯型块状硫化物矿床主要形成于中生代。特定地区的矿化主要发生在特定的地质历史时期,毛景文等(2000)^[8]指出:中国东部大规模的成矿作用第一次出现在印支期中国两大古陆碰撞对接的伸展环境,成矿始于 207Ma,终结于 170Ma,此次大规模的成矿主要出现在秦岭地区。第二次大规模成矿作用始于燕山早期,于晚侏罗世-早中白垩世爆发式成矿,成矿作用主要出现在中国东部滨太平洋成矿域。R. W. Hutchinson(1992)^[9]指出:从环境上讲,增生板块边界的岩浆作用导致铬、铁、镍和铜矿床的形成,海底热液活动导致洋壳及岛弧区其他金属元素的富集。从时间上看,火山作用占统治地位的太古宙以产出铁、锰、钴、锌、铅和金矿床为主,沉积作用占统治地位的元古宙洋壳及陆壳环境则以产出铅、锌、银、锑和铋矿床为主。R. Kerrich et al (2001)^[10]将金矿床划分为造山带型、卡林和类卡林型、浅成低温热液金-银型、斑岩铜-金型、铁氧化物铜-金型、富金火山成因块状硫化物(VMS)和沉积喷流(SEDEX)

型;不同类型的矿床反映了不同的地球动力学背景。造山带型金矿产于近地体边缘的地壳中部(4 km ~ 16 km),在科迪勒拉型造山带转换挤压的俯冲-增长杂岩内,其他造山带型金矿省形成在板内地幔岩石圈拆沉或地幔柱上涌处。卡林一类卡林型金矿床产于拉伸的会聚边缘大陆弧或弧后地区的地壳浅部(<4 km);一些成矿省与岩石圈底部软流圈地幔柱上涌有关。浅成低温热液金矿床和铜-金斑岩矿床定位于大陆边缘弧或洋内弧的地壳浅部。铁氧化物铜-金矿床形成于地壳中部到浅部,它们与拉伸陆块内的非造山岩浆活动有关。富金火山块状硫化物矿床则是陆弧或洋弧之弧后的海底热水沉积物。

综上所述,矿床的形成同其所处的地球动力学背景、成矿环境密切相关,并具有特殊的时间演化序列;特定的矿床要在特定地质时期形成的特定地质体中寻找。所以,在重点成矿(区)带综合研究过程中,要善于研究、剖析成矿背景,下功夫抓主要控矿要素,全面总结区域地质演化同矿化的关系。合理规划成矿亚带,明确找矿主攻矿种和矿床类型,选准勘查主攻方向,科学合理的部署、指导重点成矿区带的资源评价工作。

3.2 深入开展典型矿床研究,建立成矿-找矿模式,指导找矿

找矿的任务不仅仅是发现矿床,而是以尽可能少的费用发现最好的矿床。当低成本的路勘无效时,当一个成矿(区)带的找矿工作停滞不前时,当钻探成为惟一有效的勘查手段时,科学和正确的矿床模式的作用就会显现出来。20世纪70年代,J. D. Lowell and J. M. Guilbert (1970)^[11]提出斑岩铜矿模式以来,极大地推进了西半球和世界斑岩铜矿的找矿进展;层控矿床、VMS 和 SEDEX 型矿床模式的建立促进了国际上块状硫化物矿床的找矿进程。在国内,通过对东川-易门铜成矿带的研究,提出了区域上铜矿化的“四层楼”模式^[12],进一步扩大了已知矿区的储量。在山东招(远)-掖(县)金矿勘查-研究过程中,先后建立了“玲珑式”和“焦家式”金矿成矿模式,并确立了“玲珑”下有“焦家”的矿化分带模式;为寻找胶东金矿的第二富集带奠定了理论基础。矿床模式在勘查中所起的作用将随着找矿难度的加大而越来越突出。但是,近年来由于体制上的原因,导致了科研同勘查的脱节,从事矿床学研究的科研人员越来越少的野外工作时间和热衷于成矿物质、成

矿流体来源的讨论影响了矿床模式研究的深化,而勘查人员从利用经验而获得成功中淡化了模式的作用。在新一轮重点成矿(区)带综合研究过程中,要尽力避免研究同生产的脱节。这就要求矿床地质学家不仅要建立矿床的描述性模式、成因模式,而且还要建立找矿模式,这是因为模式上所表示的内容只有变成易于用野外技术、物化探遥感技术识别出来时才容易被重视和推广。例如,产在太古宙绿岩带中的金矿床普遍与某些类型的长英质浅成侵入体伴生,因而有这种侵入体存在就是一个有用的找矿标志,很容易在野外应用。相反,观测到的太古宙绿岩带中的金矿床的流体包裹体富含 CO_2 ,虽然具有成因意义,可帮助我们了解矿床的形成机制,但就现有的地质认识水平,在大多数情况下,它还不能作为选区过程中可以实际应用的标志^[13],但与此有成因联系的是在矿区通常出现大量的以铁白云石为主的强烈的碳酸盐蚀变则是重要的找矿标志之一。由于找矿标志、示矿要素具有特定的规模,一个标志在一定规模上是重要的,而在另一规模上可能就不适用。例如太古宙绿岩带中的金矿区与镁铁质、超镁铁质火山岩系和沉积岩系间的接触带有关,秦岭地区的铅锌矿床产在中泥盆统碳酸盐岩和上泥盆统细碎屑岩的界面上;但上述特征对于普详查区内选择钻探靶位却用途不大。又如,岩石地球化学异常是准确评价化探异常的性质、确定异常源、推断异常的空间变化的重要指标,但在重点成矿(区)带的前期选区过程中,它的作用无法与快速、廉价的水系沉积物测量相比。这就要求我们不仅要重视矿床成因-找矿模式的建立,还要重视区域、矿田找矿模式的建立。不同尺度的勘查模式的建立,既能满足不同阶段找矿预测的需要,又有助于各阶段勘查方法的选择。

3.3 综合研究地(质)-物(探)-化(探)-遥(感)

资料,厘定合理有效的勘查方法及方法组合

在东部、中部勘查-研究程度较高的成矿(区)带,历年来积累了大量的资料,如何科学的管理、用好这些资料,深入挖掘蕴含其中的信息变得越来越紧迫。以GIS为基础的多源地学信息处理系统使资料的科学管理、综合研究越来越方便,使区域成矿潜力预测、远景区圈定变得越来越快捷。任何先进的方法都要以对地质背景的客观、准确的理解为前提,以科学合理的选择有针对性的示矿要素为基础。所以,对成矿(区)带基础地质资料、矿产资料、控矿要

素的深入研究是综合分析的基础,切忌在地质背景、成矿规律研究不详、示矿要素选择不当时开展所谓的综合处理。

在确定了勘查区段、主攻矿种、矿床类型后,就应开始研究如何勘查的问题。由于以往开展成矿区带综合研究工作的人员以地质人员为主,对勘查方法的确定、合理有效-有序的方法组合的研究比较薄弱。这项工作要求根据勘查区的地质背景、工作程度、地貌特征、地球化学景观条件、主攻矿种、矿床类型、主要示矿要素、勘查工作的阶段和层次,总结成功的勘查过程和勘查方法的使用效果,探讨有效-有序的方法和组合。通常某种方法在勘查某类型矿床时有效,但用其勘查另一种矿床时可能收效甚微;有时一种方法即可提供足够的信息,有时则需要多种方法的合理应用才能达到预期的效果。在成矿(区)带资源评价的前期,遥感、航空物探、区域低密度化探是快速、廉价圈定远景区段,为后续地质、地面物探选区的有效方法。例如,在20世纪50年代晚期,智利勘查公司沿“西部裂隙断层带”实施的航空摄影调查,以航片上与蚀变带有关的色异常显示作为靶区,进一步安排不同比例尺的地质填图、化探测量及钻探工作,导致了克夫拉达布兰卡、科亚瓦西、埃斯康迪达等一批斑岩铜矿的发现。80年代实施的航空摄影地质调查,根据色异常圈定靶区,在随后的地质填图和化探测量,发现了马尔泰和洛博金矿床。又如,在金矿的“草根”勘查阶段,区带化探扫面是一种快速圈定异常的有效方法,这已被美国卡林型金矿床和中国金矿勘查的实践所证明。据报道北美近十余年来发现的金矿床中75%是综合运用地质填图、化探并经钻探验证后发现的。但在工作程度较高的成矿区带,在寻找隐伏的贱金属硫化物矿床时,地球物理方法的有序使用则显得尤其重要。例如,位于澳大利亚昆士兰州西北部的芒特艾萨成矿区是世界上最大的铜、铅、银产地之一。早期的勘查活动主要集中在元古代岩石出露区,80年代以来勘查目标部分地转移到中生代沉积岩覆盖区。在该地区,主要产出与铁岩和剪切作用有关的沉积岩容矿的铜-金矿床。由于矿床为全隐伏的,故常规的地质找矿方法在很大程度上受到限制;高精度航空磁法和地面磁测一般作为首选方法,圈定与带状含铁建造(BIF)有关的铜-金矿化远景区。作为远景区进一步缩小靶区的后续手段,地面时间域电

磁法得到较为广泛的推广使用并屡屡奏效。如 1985 年纽蒙特公司和 CSR 有限公司在详细地面磁测的基础上,利用固定和移动回线瞬变电磁测量进行局部扫面工作,圈出了与磁源吻合的良导带,钻孔打到了矿化铁岩。此后,进一步利用磁测垂向导数和模拟 TEM 测量进行钻孔定位,直到第 28 个金刚石钻孔才发现有经济意义的厚矿层,见到了厚 32 m、含铜 5.8%、含金 3.28×10^{-6} 的富矿(奥斯本)。1988 年 BHP 公司在成矿区东部褶皱带利用 TEM 测量验证航空和地面磁异常,结果在 50 m ~ 70 m 厚的沉积岩层下发现了埃洛伊斯铜—金矿床^[1]。日本菱刈金矿床本矿和外围的山田、山神矿床的发现,也是在分析成矿地质背景条件,选定用重力方法圈定基底,电法测量圈定(低电阻率带)异常体,经钻探验证后发现并扩大储量的^[14]。因此深入研究各种勘查技术(物探—电法、磁法、重力等,化探、遥感、钻探)的使用前提、探测对象的物性特征、优化勘查技术方法和方法组合是勘查成功的重要环节。

此外,从事重点成矿(区)带综合研究的人员还要善于同区带内从事一线勘查工作的地质人员沟通,跟踪区带内各阶段找矿工作的最新进展,关注民采矿点的信息,指导评价工作。及时检验、更新成矿—找矿模式,进一步优化勘查方法及方法组合,合理调整勘查工作的布局。

[参考文献]

[1] 汪东波、梅友松、刘国平,等.重点成矿区带找矿—研究区域

成矿规律和实现急缺矿产找矿突破的有效途径[A].走向地学新世纪—首届有色系统青年地质工作者学术讨论论文集.北京:冶金工业出版社,1995,3~8

- [2] 汪东波.成矿省和成矿作用的演化—吉明矿产分布规律和解决某些重大基础地质问题的关键[J].有色金属矿产与勘查,1993,(25):257~263
- [3] 伍德利 R.找矿的成功:相信科学和矿床模式[J].国外地质科技,1986,(3):1~10
- [4] 本刊编辑部.近年国外发现的几个重要矿床(续报之六)—兼述近年国外矿产勘查概况[J].地质科技动态,1996,(10):1~29
- [5] 本刊编辑部.近年国外发现的几个重要矿床(续报之七)—兼述近年国外矿产勘查概况[J].地质科技动态,1999,(1):1~28
- [6] 汪东波,邱世才,文巨平,等.金与铅锌矿化的时空关系及应用[J].矿床地质,2001,20(1):78~85
- [7] Pirajno F.矿产勘查中矿床模式、区域构造与成矿规律研究的成就和挑战[J].国土资源科技进展,2000,(3):7~17
- [8] 毛景文,王志良.中国东部大规模成矿时限及其动力学背景的初步探讨[J].矿床地质,2000,19(4):289~296
- [9] Hutchinson R W. Some broad processes and affects of evolutionary metallogeny[C]. Abstracts of 29th IGC, 1992, 1:188
- [10] Kerrich R, Goldfarb R, Groves D, et al.超大型金成矿省的特征、成因及地球动力学背景[A].大陆动力学与成矿作用、陈衍景,张椿,赖勇主编,北京:地震出版社,2001,5~72
- [11] Lowell J D, Guilbert J. Lateral and vertical alteration microalization zoning in porphyry ore deposits[J]. Econ. Geol. 1970, 65(4)
- [12] 莫琳,何毅特,陈天佑,等.云南东川元古宙裂谷型铜矿[M].北京:地质出版社,1996,252
- [13] Hodgson C J. Uses (and abuses) of ore deposit model in mineral exploration[J]. Geosciences Canada, 1990, 17(2)
- [14] 本刊编辑部.日本菱刈金矿的发现和扩大过程[J].地质科技动态,1993,(4):13~15

DISCUSSIONS ON SEVERAL ISSUES OF THE COMPREHENSIVE STUDY OF KEY METALLOGENETIC BELTS

WANG Dong-bo, MEI You-song, XU Yong

Abstract: The comprehensive study is a successful way to make breakthrough of exploration of ore deposits in the key metallogenetic belts. The data collecting, data base constructing, basic geological-geochemical-geophysical mapping, data analyzing and regional metallo-genetic regularity researching are major contents of the comprehensive study. Three important issues in the comprehensive study have been pointed out in the paper. The first is analyzing geological setting and metallogenetic environment, defining exploring targets. The second is researching typical ore deposits, constructing ore deposits genetic and prospecting model. The last issue is comprehensively studying geological, geochemical, geophysical and remote sensing information, optimizing prospecting methods

Key words: key metallogenetic belt, geological setting, ore deposit model, prospecting method

[第一作者简介]

汪东波(1962-),男,理学博士,北京矿产地质研究所所长,教授级高级工程师,中国地质学会矿床专业委员会副主任,主要从事区域地球化学和矿床地质地球化学研究工作。

通讯地址:北京市安定门外北苑 北京矿产地质研究所 邮政编码:100012

