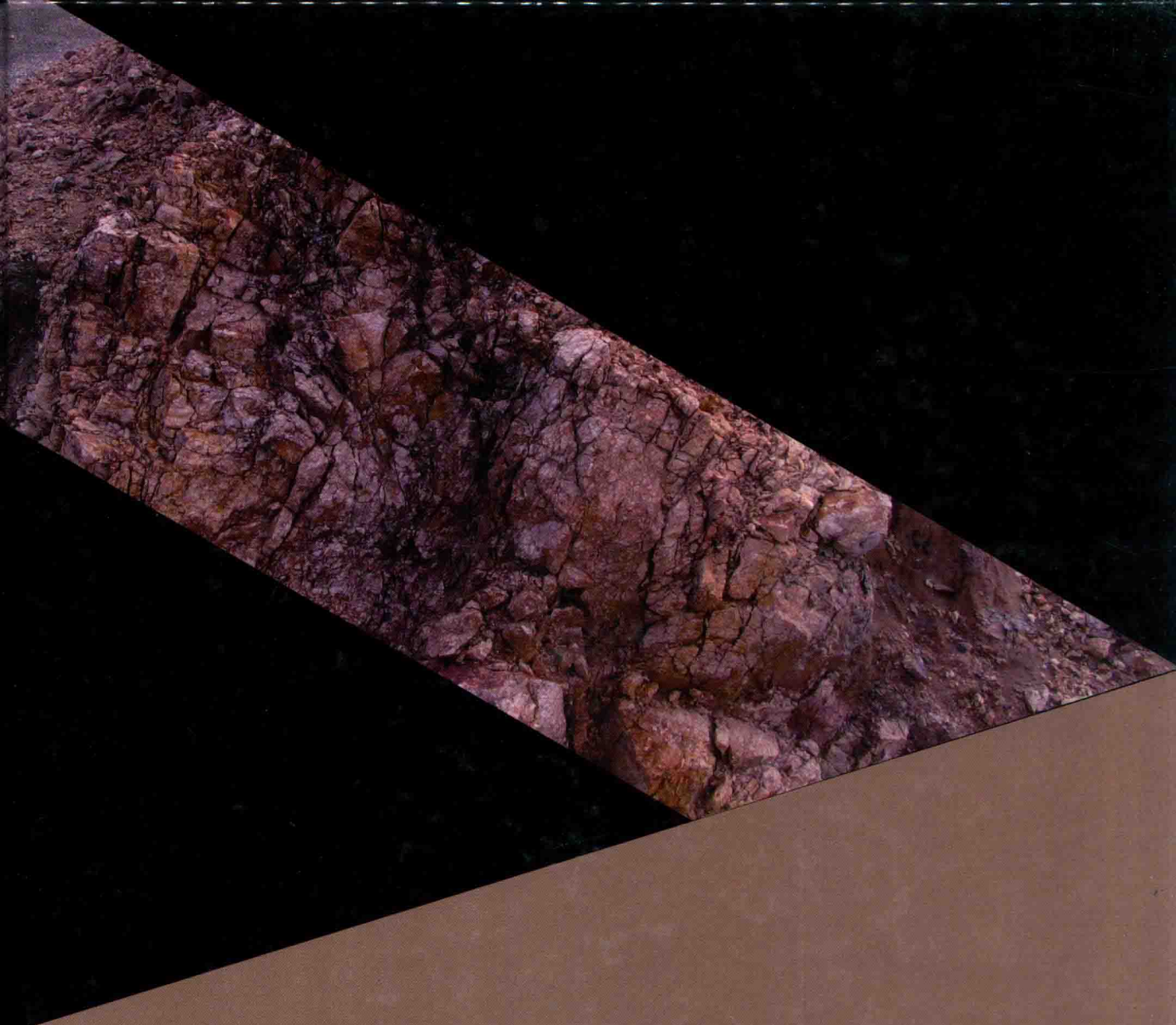




中国西部重要成矿区带 成矿规律与成矿预测

肖克炎 唐菊兴 李文渊 丁建华 等著
陈永清 钟康惠 李光明



科学出版社

7-12
20

国家科技攻关计划 (2003BA612A-01)
国家科技支撑计划 (2006BAB01A01) 联合资助

中国西部重要成矿区带 成矿规律与成矿预测

肖克炎 唐菊兴 李文渊 丁建华 等 著
陈永清 钟康惠 李光明



科学出版社

北京

内 容 简 介

为加快西部矿产资源的勘查,国家实施了“西部大开发战略”,寻找21世纪矿产资源接续基地。本书主要介绍了基于成矿系列理论的重要矿床成矿系列综合信息预测技术方法,还包括该方法在中国西部东天山成矿带、秦祁昆成矿带、西南三江成矿带和冈底斯成矿带的应用实例,全面地展示了成矿规律研究、成矿预测研究的成果。

本书可供成矿规律研究、矿产资源勘查评价和开发的科研人员、工程技术人员及高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国西部重要成矿区带成矿规律与成矿预测 / 肖克炎等著. —北京:科学出版社, 2016. 3

ISBN 978-7-03-047831-3

I. ①中… II. ①肖… III. ①成矿区-成矿规律-研究-中国 ②成矿区-成矿预测-研究-中国 ③成矿带-成矿规律-研究-中国 ④成矿带-成矿预测-研究-中国 IV. ①P612

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2016) 第 056112 号

责任编辑: 韦 沁 / 责任校对: 胡小洁
责任印制: 张 倩 / 封面设计: 华路天然

科学出版社 出版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

中国科学院印刷厂 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2016 年 3 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2016 年 3 月第一次印刷 印张: 28

字数: 665 000

定价: 258.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

本书相关研究项目“中国西部优势矿产资源潜力评价及示范研究”是“十五”国家科技攻关计划项目（编号：2003BA612A-01）；“西部优势矿产资源潜力评价技术及应用研究”是“十一五”国家科技支撑计划项目（编号：2006BAB01A01）。系列项目研究目标为：形成我国西部权威性成矿规律成矿系列最新成果；建立实用的以成矿动力学和成矿系列理论为指导的重要矿产成矿系列综合信息矿产资源潜力评价方法体系；开发和完善新一代能够全面推广的综合信息矿产资源评价系统。

本书相关课题研究任务为扩充和完善西部1:20万矿床模型库及矿产地评价库，建立区域成矿模型和完善成矿系列，总结西部总体成矿规律，圈定大型矿产基地的远景区；完成东天山成矿带、秦祁昆成矿域、冈底斯成矿带、西南三江成矿带等示范区区域矿产资源评价工作，总结“带中圈区”和“区中求点”的靶区圈定、优选及野外快速查证方法组合，提供可供进一步工作的找矿靶区；研究西部矿产资源区域评价方法，建立矿床模型地质综合信息矿产资源评价方法体系；开发新的成矿信息提取综合模型，全面升级与完善区域综合信息矿产资源评价系统。

研究由中国地质科学院矿产资源研究所为牵头单位，协同西安地质矿产研究所、新疆地质矿产勘查开发局、中国地质大学（北京）、中国地质调查局成都地质调查中心、成都地质调查院、成都理工大学等共同完成。

课题组通过八年的艰苦工作，从成矿规律研究、预测理论方法研究、预测软件改良、预测找矿效果等方面，取得了如下成果：

（1）研究、总结和示范了基于成矿系列理论的重要矿产成矿系列综合信息预测技术方法，方法结合了模型预测与综合信息预测的优势，方法的核心是在地理信息系统（GIS）环境下，以矿床地质模型为指导，以地球动力学构造建造成矿预测分析为基础，全面系统地分析地质找矿勘查获取的地、物、化、遥、矿产等信息，使用GIS矿产资源定量预测方法，科学地开展未发现矿产资源潜力评价。其中，地质背景及综合信息的深入分析、矿床模型的建立是矿产预测的前提，地、矿、物、化、遥、自然重砂等基础空间数据库的建立和应用是矿产预测的基础，正确认识和刻画重要矿产资源的时-空分布和共生规律、选准预测要素、有效地识别和提取找矿信息是矿产预测成败的关键，而运用现代计算机空间数据分析技术，合理地进行信息综合和矿产资源定位、定量预测是预测的有效途径。

（2）东天山成矿带：对东天山区域成矿规律和矿床成矿系列进行了深化研究，在前期工作的基础上针对铅锌、金、钼、铁、铜镍等优势矿产分别建立了土屋式铜矿、黄山东式铜镍矿和康古尔塔格式金矿、彩霞山式铅锌矿、库姆塔格式钼矿等典型矿床的描述性模型、预测模型和区域预测模型，并圈定远景区，应用地质体积法进行资源量估算。

对彩霞山铅锌矿进行了大比例尺三维预测，建立了三维预测模型，对重力数据进行了反演，预测了深部及外围的资源量为Pb+Zn 230万t。

在预测区验证过程中,新发现了宏源铅锌矿,与彩霞山同处于同一构造带上,通过对宏源铅锌矿物探成果的综合分析研究,借鉴彩霞山铅锌矿的成矿模式,提出在已控制矿体的深部还应存在矿体,根据施工 ZK7-4 未见矿的现象,认识到已控制矿体的产状可能转向北,据此布置施工的 ZK7-8 孔在深部取得了突破,新的找矿思路得到验证,进一步扩大了矿床远景。

在库姆塔格钼矿区,发现了基性岩中浸染状产出钼矿化的这一新类型。传统意义上讲,辉钼矿的形成一般与酸性岩浆活动有关,芮宗瑶等曾做过统计,得出岩浆中钼含量随着 SiO_2 含量的增大和分异指数 (DI) 的增高而增加,在岩浆中 SiO_2 为 72% ~ 77% 时,钼含量最高,因此我国目前发现的钼矿床主要类型有斑岩型、斑岩-夕卡岩型、热液脉型及沉积型等几种类型。目前就全国范围来看,仅辽宁喀左县肖家营子钼铜铁矿矿区范围内发育有辉长辉绿岩-细晶闪长岩体,且这些中基性岩体与钼矿化之间关系密切,但这些与中基性岩有关的钼矿床的含矿围岩均为岩体与碳酸盐岩接触带的夕卡岩,而非直接产于基性岩中。到目前为止,国内外尚未发现直接产于基性岩中的钼矿床,库姆塔格钼矿是目前发现的较为罕见的具有工业价值的矿体,产于基性岩中的辉钼矿矿产地。

(3) 秦祁昆成矿域:通过“秦祁昆成矿域成矿规律与矿产预测示范研究”专题的研究,支撑和指导了一系列项目的部署与研究,并取得了重要进展。专题实施过程中,在分析研究秦祁昆成矿域地质背景与成矿规律的基础上,选取西昆仑布伦口一带、祁漫塔格一带、祁连-龙首山铜镍远景区以及马元铅锌矿所属的扬子地台北缘等作为重点研究对象,取得了国家自然科学基金项目“祁连-龙首山元古宙大火成岩省和巨量铜镍聚集”和地质大调查项目“祁连-龙首山大火成岩省与金川型铜镍矿关系研究”的设立。通过研究认识到金川铜镍矿床是大规模岩浆作用的结果,如此巨量的金属富集绝不可能仅局限于金川一处,还应有类似金川一样的多个点上的金属富集与铜镍成矿,并且范围波及祁连山、阿尔金山等地区。在此基础上,又成功设立了地质大调查项目“青海省化隆县甘都地区铜镍矿调查评价”,在专题研究与以上两个项目的研究基础上,该项工作也取得重要进展,不仅在巨厚红层覆盖下面发现了隐伏的基性-超基性岩体,并且岩体中还伴有铜镍矿化,进一步印证了上述的研究思路,突显了科技支撑作用。同时通过对西昆仑及祁漫塔格的研究,带动和引领了一系列项目的开展和设立,如“西昆仑-阿尔金成矿带基础地质综合研究”、“东昆仑成矿带基础地质综合研究”、“昆仑-阿尔金成矿带地质矿产调查综合研究”等项目,掀起了该地区找矿与研究的热潮,同样支撑了秦岭成矿带铅锌矿的找矿工作。

提出了秦祁昆成矿域地质构造演化认识。秦祁昆成矿域处于青藏高原北部,位于古亚洲构造域与特提斯构造域结合部位,跨塔里木陆块、阿尔金构造带、昆仑构造带、巴颜喀拉构造带、北羌塘地块、甜水海地块和南羌塘地块等构造单元,显生宙以来经历了复杂的沉积、岩浆和构造作用过程,至少经历了五个发展阶段:① 太古宙—古元古代古陆核及陆块形成阶段;② 长城纪—青白口纪古大陆裂解与超大陆汇聚阶段;③ 南华纪—早古生代洋陆转换阶段;④ 晚古生代—早中生代碰撞后板内伸展阶段;⑤ 陆内演化阶段。并对其与成矿的关系进行了研究与厘定。

通过对西昆仑塔什库尔干一带铁矿、白干湖钨锡矿、维宝铅锌矿、卡尔却卡铜矿、迪木那里克铁矿、金川铜镍矿、马元铅锌矿、石居里铜矿、拉水峡铜镍矿等典型矿床的野外实地调研和重点研究,初步建立了成矿模式。

首次提出了“构造结”的概念,指不同方向构造带的交织造成大量成矿物质聚集的地带。指出祁漫塔格地区是秦祁昆中央造山带的一个重要的“构造结”,是北东向阿尔金构造带与近东西向昆仑构造带相交的部位。在扬子地台发现以马元铅锌矿为典型矿床的多处赋存于震旦系灯影组碳酸盐岩中的层控-改造型铅锌矿床(点),这一新发现引起学者的广泛关注。项目梳理了扬子陆块北缘及南秦岭新元古代的构造演化及后期的重要构造事件,厘定马元及其周缘铅锌矿的类型为MVT型。在祁连-龙首山铜镍远景区,认识到金川成矿作用是一个重大的地质事件。通过典型岩体的深入剖析,发现乙什春、沙加岩体与亚曲岩体类型及铜镍成矿特征均相似,推测其与亚曲、裕龙沟等均为加里东期岩体。岩体的岩石地球化学特征表明,化隆一带基性-超基性岩体是拉脊山小洋盆在晚奥陶纪闭合之后进入陆内造山阶段,在后碰撞伸展环境中所形成的。

秦祁昆成矿域几个重要成矿带中新发现的矿产类型主要为:①马元密西西比河谷型(MVT)铅锌矿;②白干湖、小柳沟夕卡岩-石英脉型钨(锡、钼)矿;③布仑口沉积变质型磁铁矿;④代家庄、下拉地热水沉积型(SEDEX)铅锌矿;⑤块状硫化物(VMS)铜钴矿;⑥大场造山带构造剪切带型金矿。成矿时代主要集中于晚古生代。

在全面分析研究区内成矿特征及构造单元基础上,将秦祁昆成矿域划分为3个Ⅱ级成矿省、12个Ⅲ级成矿带和49个Ⅳ级成矿亚带。以地质历史时期和构造单元为主线,初步厘定出秦祁昆成矿域内代表性矿床的18个矿床成矿系列、24个矿床成矿亚系列和48个矿床式。

选择祁漫塔格地区开展了1:25万矿产预测示范,以铁矿为预测矿种,预测类型分为沉积变质型、海相火山型、夕卡岩型,划定了三个预测区,分别开展了定位与定量预测。除此之外,在充分研究整个秦祁昆成矿域的基础上,对西昆仑塔什库尔干一带、祁漫塔格一带、祁连-龙首山铜镍远景区以及马元铅锌矿床所属的扬子地台北缘进行了深入细致的找矿潜力分析,同时划定了相应的找矿预测范围与方向,进一步提供了技术支撑。

(4)冈底斯成矿带:确定了旁多-送多印支褶皱带、冈底斯成矿带的地质构造格架,厘定其构造演化阶段。旁多-送多印支褶皱带北带(旁多带),石炭系—二叠系的诺错组—洛巴堆组属被动陆缘环境;南带(松多带)石炭系—二叠系松多群、中二叠世—中三叠世的洛巴堆组—查曲浦组属活动陆缘环境。石炭纪—早二叠世初,形成伸展裂陷作用的被动陆缘裂谷系,进而洋壳盆地形成;早中二叠世—早中三叠世,盆萨岗洋壳向南俯冲,南带转变为活动大陆边缘,由初始洋内弧向成熟岛弧及陆缘弧演变。晚三叠世,北带旁多被动陆缘地体与南带松多活动陆缘地体碰撞造山,形成印支褶皱造山带。

冈底斯成矿带造弧作用始于早中侏罗世,直至晚白垩世,是经历了多期造弧事件形成的复合岩浆弧。主要的造弧事件有:早—中侏罗世叶巴-雄村弧盆系、晚侏罗世—早白垩世桑日弧盆系、晚白垩世南冈底斯陆缘火山-岩浆弧和日喀则弧前盆地。专题识别出早—中侏罗世叶巴-雄村弧,构成叶巴-雄村弧盆系,首次识别出雅鲁藏布江洋壳于早—中侏罗世向北俯冲消减的直接证据,叶巴-雄村弧盆系的发现,直接导致了雄村铜金矿的发现、勘探和突破。

总结了晚古生代活动大陆边缘、中生代多岛弧盆系统、弧-陆碰撞、陆内挤压-伸展演化阶段的成矿作用,初次识别出三个重要的成矿事件:①晚古生代的被动陆缘裂谷系存在海底喷流成矿背景,形成念青唐古拉地区的铅锌初始富集层;②早—中侏罗世岛弧型斑岩铜金矿成矿事件;③冈底斯成矿带北带古新世—始新世与斑岩-夕卡岩成矿作用有关的钼铅

锌银成矿事件。

建立了与岛弧岩浆作用有关的成矿作用与矿床成矿系列等四大成矿系列,与燕山期俯冲型花岗岩有关的铁铜金矿床成矿亚系列等四大成矿亚系列。总结了区域成矿的时空分布规律,首次全面总结了纵向构造、横向构造、大型推覆构造扇、推覆滑脱构造、区域褶皱构造等的控矿特征。重点阐述了斑岩型铜钼矿床、夕卡岩型铜铅锌金银铁矿床、沉积-改造型铁矿、热液型锑金矿床的空间分布规律,进而划分了五大成矿亚带。

按照矿床成矿系列理论和矿床模型找矿理论,在冈底斯成矿带实现雄村铜金矿、甲玛铜多金属矿的找矿突破,建立了新的矿床模型,发现了冈底斯存在早—中侏罗世的斑岩铜金矿成矿事件,发现和证实甲玛铜多金属矿床属于斑岩-夕卡岩型铜多金属矿床,并取得重大找矿突破。其中,甲玛铜多金属矿床探明或控制铜资源量 500 万 t 以上,钼资源量 50 万 t 以上,金资源量 150t 以上,银资源量 6000t 以上,铅锌资源量 50 万 t 以上。雄村铜金矿床发现三个矿体,探明及控制铜资源量 200 万 t 以上,金资源量 200t 以上。

建设与完善了西藏地区优势矿产资源 1:50 万~1:20 万矿产地评价库、典型矿床模型库。选择西藏冈底斯成矿带为重点进行了资源潜力示范性预测,划分了成矿远景区,并选择重点区进行验证。

(5) 西南三江成矿带:建立了西南三江南段金属矿床模型库、矿产地评价库以及成矿系列成果图。应用 MORPAS 4.0 评价系统,实现了西南三江南段示范区有色金属和贵金属找矿靶区圈定,为国家正在实施的“358”找矿战略选区提供了科学依据。

应用二维经验模分解 (BEMD) 技术,在云南个旧锡铜多金属矿田成功地实现了复杂地质背景下重磁和元素含量异常和背景的分离,为该区深部和外围找矿开辟了新的领域。

应用 MORPAS 4.0 评价系统,在西南三江南段分别圈定 Cu-Pb-Zn-Ag 找矿远景区 (Ⅰ类) 9 处,其中 A 级 4 处、B 级 5 处。Au-PGE 找矿远景区 (Ⅱ类) 1 处 (A 级)。有色金属、贵金属综合找矿远景区 (Ⅲ类) 5 处,其中 A 级 3 处、B 级 2 处。在滇川邻接区,共圈定 Cu 和 Pb-Zn-Ag 找矿靶区 6 处。

基于对云南普朗斑岩铜矿区进行三维模拟,估算已控制铜资源量为 251 万 t;利用神经网络方法,结合各中段含矿块体的品位估算潜在铜资源量为 369 万 t;结合各中段含矿块体的品位估算铜远景资源量为 606 万 t (平均品位为 0.384%),其中 I 号矿体的合计预测铜资源量为 589 万 t。

(6) 研发升级了功能强大的金属矿产资源评价软件系统。

矿产资源评价是一个从众多的地学数据中提取、综合、集成找矿信息的过程,由于单学科地学信息的局限性和多解性,需尽量收集评价区多学科 (地、物、地、遥及矿产等) 数据,并使用不同的方法技术提取深层次、诊断性找矿信息,然后对这些信息进行有机综合,以确定找矿有利地段 (找矿靶区) 的找矿潜力。

MRAS 软件在原有 MRAS 2.0 的基础上,进行了升级,包括改进软件处理流程、增加新功能、完善原有功能三个方面的内容。主要包括:① 对原有区域矿产资源评价系统软件处理流程进行了改进,增加了数字高程模型彩色晕渲图底图功能,实现了所有预测要素半透明显示功能,提高了区域矿产资源评价系统软件的立体感可视化效果。② 增加了建模器模块,用户可以按照矿产资源潜力评价的工作流程在建模器中建立相应处理流程并开展评价工作。③ 增加了体积法定量预测功能模块,使软件更加适应我国地质工作者工作方法和工作惯例。

④ 根据软件实际使用中出现的問題,对软件的错误、友好性等方面进行修改。MORPAS 4.0 在原有 MORPAS 3.0 的基础上,不仅在系統稳定性、可操作性上做了改进,且在信息提取方法技术上进行了扩充,尤其是开发移植了二维经验模分解 (BEMD) 和模糊证据权 (FEW) 非线性致矿信息提取与集成技术。软件升级过程中,解决了以下关键技术:① 资源评价 GIS 信息集成、空间分析和模式识别技术;② 组件编程技术;③ 致矿信息提取与定量合成技术;④ 开发移植了奇异值分解 (SVD) 技术和二维经验模分解 (BEMD) 技术,较好地解决了复杂地质地球化学背景下弱矿化信息提取的技术问题;⑤ 有效实现了致矿信息提取、关联、转换和合成技术,这是该系统实现矿产资源综合定量评价的关键。

本书是在总报告的基础上完成的。各章节分工编写如下,第一章:肖克炎、姜德波;第二章:丁建华、邓刚、姜德波、丛源、董庆吉、张长青、孙莉;第三章:李文渊、张照伟、高永宝、姜寒冰、谭文娟;第四章:唐菊兴、钟康惠、李光明、张丽、冉明佳;第五章:陈永清、黄静宁、赵彬彬、刘洪光;第六章:李楠、陈建国、王功文。

本书研究项目的实施过程中,新疆地质矿产勘查开发局、新疆地质矿产勘查开发局第六地质大队、新疆地质矿产勘查开发局第一地质大队、甘肃省地质调查院、青海省地质调查院、云南省地质调查院、甘肃金川公司等组织了专门人员参与示范区研究及预测、远景区查证等工作,在此表示衷心的感谢。尤其要感谢新疆地质矿产勘查开发局第六地质大队总工陈松林,新疆地质矿产勘查开发局第一地质大队总工桑少杰、彭明生等,他们不仅完全无偿提供示范研究数据、参与研究,而且还在野外工作期间为项目组成员尽可能地提供一切方便。美国印第安纳大学 Li Chusi、Edward M. Ripley,兰州大学张铭杰、胡沛青,长安大学焦建刚、刘淑文、刘民武等在专题研究过程中给予了很多指导与帮助,中国地质调查局西安地质调查中心王志海、叶美芳等在实验测试工作中给予了大力支持。项目进行过程中还得到了赵鹏大、陈毓川、叶天竺、彭齐鸣、白星碧、马岩、王瑞江、吕庆田、李文昌、卢映祥、何白洁等专家和领导的鼓励、支持及帮助,在此表示衷心的感谢!

目 录

前言

第一章 未发现矿产资源潜力评价理论方法研究	1
第一节 国内外矿产资源潜力评价预测方法流程及主要工作内容分析	1
一、基于成矿建造分析的预测方法	1
二、基于矿床模型的“三步式”评价方法	2
三、“三联式”5P地质异常定量评价方法	4
四、综合信息矿产预测方法	5
五、矿产预测工作内容	6
第二节 成矿系列与资源评价	6
一、成矿系列研究指导成矿预测建造构造图编制,实现区域成矿作用与构造环境结合	7
二、成矿系列是建立矿床评价模型的基础	9
三、成矿系列与找矿评价的有效结合	10
第三节 区域矿产预测图综合解释模型	12
一、建造构造预测底图编制	12
二、区域综合信息矿产预测图解释模型	16
三、通过不同专题编图对比建立区域综合解释模型	18
第四节 综合信息评价模型建立方法	19
一、从矿床成因模型(成矿模式)总结预测要素,进行成矿信息转换	19
二、综合物、化、遥编图成果,总结找矿标志	19
三、使用定量手段研究构造预测要素标志	21
四、品位-吨位模型	26
第五节 资源量估算的地质参数法	26
一、传统体积法	27
二、矿床模型综合地质信息体积法资源量估算的理论基础	28
三、成矿地质体和矿床空间关系	29
四、成矿地质体体积法	31
五、成矿地质体体积法参数确定	31
六、成矿地质体预测精度	35
第六节 西部优势矿产资源潜力评价方法研究	36
一、划分成矿系列、分析成矿系列预测要素、确定预测工作区分布范围	36
二、典型矿床成矿规律研究、划分矿床式(矿床类型)、编制矿产预测底图	37

三、区域成矿规律研究及编制预测底图	38
四、矿产资源定量预测	39
第二章 东天山成矿规律及资源潜力评价	44
第一节 东天山成矿规律研究	44
一、矿产资源概述	44
二、东天山区域成矿规律	45
三、成矿系列划分	57
第二节 典型矿床研究	59
一、雅满苏海相火山岩型铁矿床	59
二、黄山岩浆熔离型铜镍硫化物矿床	64
三、康古尔塔格韧性剪切带型金矿床	69
四、彩霞山沉积变质型铅锌矿床	73
五、哈密市库姆塔格斑岩型钼矿	87
第三节 综合信息编图	93
一、火山岩型铁矿	93
二、岩浆熔离型铜镍硫化物矿	97
三、韧性剪切带型金矿	99
四、沉积变质型铅锌矿	102
五、斑岩型钼矿	105
第四节 资源潜力评价	109
一、东天山火山岩型铁矿	109
二、岩浆铜镍硫化物型矿床	113
三、韧性剪切带型金矿	116
四、沉积变质型铅锌矿	121
五、斑岩型钼矿	125
第三章 秦祁昆成矿域成矿规律及矿产预测示范研究	127
第一节 秦祁昆成矿域地质特征	127
一、区域地球物理、地球化学及遥感影像特征	130
二、区域地质构造背景	136
三、祁连造山带	149
四、昆仑-阿尔金造山带	150
五、秦岭造山带	151
第二节 秦祁昆成矿域成矿特征	152
一、区域成矿特征	153
二、成矿区带划分	157
三、成矿系列及成矿谱系	170
第三节 典型矿集区成矿与构造响应	175
一、塔什库尔干一带铁矿集区	175
二、祁漫塔格矿集区	182

三、扬子陆块北缘马元铅锌矿集区·····	196
四、祁连-龙首山铜镍矿远景区·····	203
第四节 祁漫塔格矿集区矿产预测示范·····	211
一、预测矿种及成矿类型划分·····	211
二、预测成果·····	212
第四章 冈底斯成矿带优势矿产资源潜力评价及示范研究·····	230
第一节 冈底斯成矿带成矿地质背景·····	230
一、地质构造格架·····	230
二、构造演化与成矿作用·····	245
三、区域矿产特征·····	253
第二节 成矿规律及成矿系列·····	258
一、矿床时空分布规律·····	258
二、成矿带划分及其基本特征·····	271
三、矿床成矿系列划分·····	274
四、主要矿床成矿系列特征·····	278
第三节 矿产预测评价找矿突破示范·····	283
一、西藏甲玛铜多金属矿找矿突破示范·····	283
二、西藏雄村铜金矿找矿突破示范·····	308
第五章 西南三江成矿带成矿规律及预测示范·····	332
第一节 西南三江南段成矿系列与成矿谱系·····	332
一、成矿区带划分·····	332
二、研究区主要成矿系列·····	334
三、区域成矿演化轨迹和成矿谱系·····	337
四、主要矿床类型和特征·····	356
第二节 西南三江南段优势矿产资源潜力评价·····	365
一、致矿异常信息提取及控矿因素分析·····	365
二、基于证据权的矿产资源综合定量评价·····	381
第六章 矿产资源评价系统完善与升级·····	391
第一节 MRAS 软件完善与升级·····	391
一、应用三维可视化技术对综合信息预测模型的改进·····	391
二、改进模型的计算机实现·····	392
三、新疆东天山地区 1:10 万地貌晕渲图的生成·····	402
四、晕渲图在综合信息预测评价中的其他应用·····	404
第二节 MORPAS4.0 系统完善与升级·····	407
一、系统优化与扩充完善·····	407
二、二维 EMD 分形 Hilbert 谱分析技术·····	411
三、二维小波分析技术·····	413
四、模糊证据权技术·····	420
参考文献·····	427

第一章 未发现矿产资源潜力 评价理论方法研究

随着人类社会人口不断增加以及为了提高人们生活水平而进行社会工业化和现代化,世界对矿产资源的需求不断增加。对陆地近地表未发现矿产资源潜力的区位、数量和质量的评价既是国家矿业政策宏观决策的重要技术支撑,又可以直接为地质找矿服务提供勘查靶区。此项工作是一项非常困难的工作,因为我们不可能对近地表所有的地质情况全部弄清,也不可能对地下每个地方进行直接观察,只是通过有限的地质勘查工作获取信息。那么对固体矿产资源潜力评价的一个根本问题是:对近地表 2km 的未发现矿产资源的潜力,我们能不能估计出来?用怎样的方法体系去估计?估计的结果能否为大地地质矿产专家和政策指定者认可?首先这种估计只能是一种概率意义上的,评价不可能是百分之百精确。但长期地质勘查工作和大量的矿床学研究使我们能够对这个问题有一个科学回答。为此,有必要建立起科学的评价预测方法体系,来估计地下哪里有经济价值的矿床存在并评价其资源潜力。

第一节 国内外矿产资源潜力评价预测方法流程及 主要工作内容分析

一、基于成矿建造分析的预测方法

对国家地区地下近地表未发现矿产资源的种类、位置、数量和经济价值评价与估算一直是政府和矿产勘探公司感兴趣和关心的问题。早期矿产预测是和成矿规律研究一起的,研究成矿规律,进行成矿预测在 20 世纪初就开始了,法国地质学家 L. de Launay 提出“成矿区(带)是研究金属的自然富集作用”初始概念(1905 年)之后,紧接着谢家荣先生在 1923 年和 1935 年先后发表了“中国的矿产区域和矿产时代”、“扬子江下游铁矿志”,都是用成矿区(带)的概念来解释矿产区域分布的特征。20 世纪 50 年代末,苏联地质专家开展了大规模成矿规律预测编图工作,萨特波耶夫院士编著了《成矿规律图和成矿预测图》一书,70 年代末谢格洛夫又编著了《成矿分析基础》。苏联矿产预测的核心是成矿建造分析方法,成矿规律研究是基础,矿产预测是目的,其主要工作内容流程如图 1.1 所示。

区域成矿建造分析学预测方法的核心原理是:地壳中一定矿床组合与地壳演化构造环境相关,一定的矿床类型产在特定的构造环境中,一定构造单元有其固定的矿床组合,成矿建造与一定构造单元岩石建造有密切关系。成矿建造是在一定构造单元部位、成矿作用一致形成的具有相同的工业价值和共有矿物成分的矿床组合。从其定义来看,成矿建造应从属于成矿系列,一个成矿系列可能包含几个成矿建造,成矿建造可以与成矿系列中矿床式代表的矿床组合相对应。成矿建造与地质含矿建造有母子关系、共生关系及构造关系。通过建造编图

识别不同的岩石建造类型,评价各建造的含矿性。通过矿床地质研究划分成矿建造。通过成矿建造与地质含矿建造关联,建立不同建造类型含矿性模型,从而预测评价相应成矿建造远景区。成矿建造分析矿产预测方法给我们的启示是编制反映地质环境的地质建造构造图是预测的关键内容。

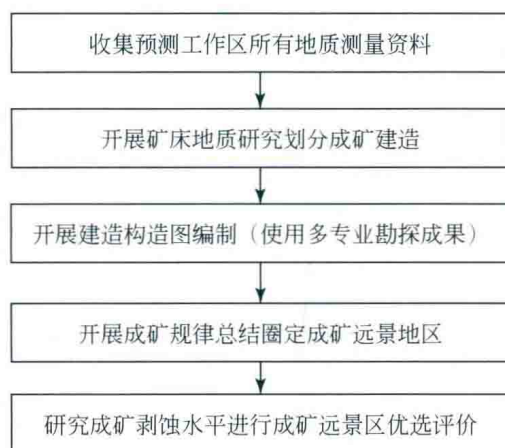


图 1.1 成矿建造分析预测方法

二、基于矿床模型的“三步式”评价方法

“三步式”矿产资源评价方法是美国地质调查局 (USGS) 目前广泛推荐使用的一种用于矿产资源潜力评价的方法,1975 年就开始探索,到 20 世纪 90 年代形成较为完善的方法体系。该定量评价方法集成了美国众多的矿产资源评价专家的研究成果,包括 D. P. 哈里斯的矿产资源经济定量评价模型、Singer 的矿床模型和标准品位吨位模型、麦卡门的定量评价和专家系统、Drew 的 MARK3 软件等,成为美国地质调查局在 20 世纪 80 年代末之后的标准评价方法。美国地质调查局依据 93 个标准的矿床模型,使用统一的“三步式”评价方法,在全国 19 个成矿省开展了对美国的金、银、铜、铅和锌的未发现资源评价。该工作共圈定了 447 个可能地段,并估算出用现有技术能够进行开采的未发现矿床的金属量:金矿 1.8 万 t,银矿 46 万 t,铜矿 290 万 t,铅矿 85 万 t,锌矿 210 万 t。估算出保有探明资源中的金属量:金矿 15000t,银矿 16 万 t,铜矿 260 万 t,铅矿 51 万 t,锌矿 55 万 t。从金、银、铜、铅和锌矿的最大探明资源量中估算出金属的过去产量:金矿 1.2 万 t,银矿 17 万 t,铜矿 91 万 t,铅矿 41 万 t,锌矿 44 万 t。这些矿床大约占美国 99% 的累积国内产量。美国资源评价专家还将第二轮评价结果与第一轮评价结果进行对比,发现金矿总量与原来结果基本一致,但更加精细,铜、铅锌潜力有较大的变化,主要原因是密西西比河谷型 (MVT) 和斑岩型铜矿新类型的出现,这也反映矿床地质模型和新的勘探资料对资源潜力评价是非常重要的。

该矿产资源评价方法包括三大步骤:① 根据所要预测的矿床类型圈定找矿地质可行地段;② 运用与预测矿床类型相适应的标准品位-吨位模型估计可能发现矿床的金属量和质量特征;③ 估计成矿远景区内可能发现的矿床个数。“三步式”资源评价方法框架如图 1.2 所示 (Singer, 1993)。

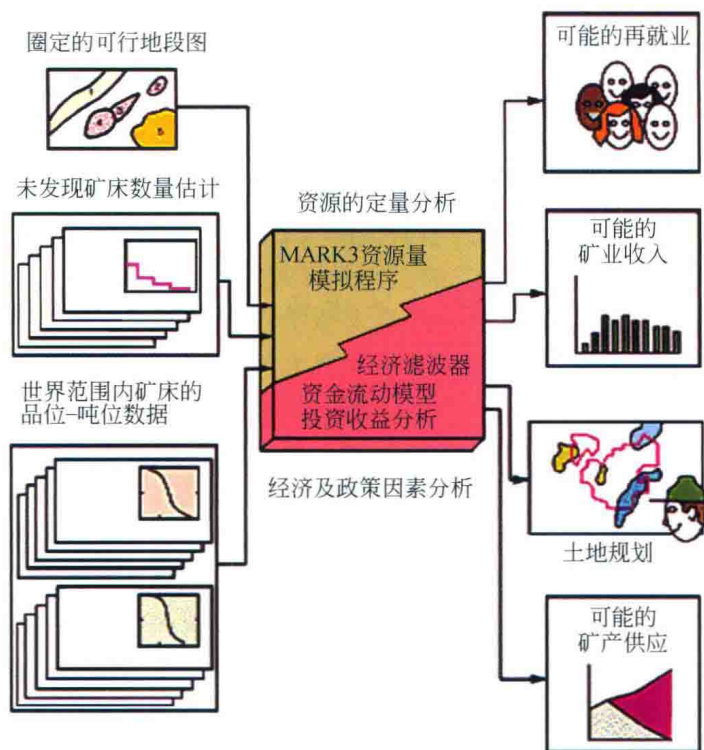


图 1.2 美国地质调查局“三步式”定量资源评价方法图（据 Singer, 1993）

“三步式”定量评价的优势在于方法的内在一致性：① 圈定靶区与描述性模型一致；② 品位-吨位模型与描述性模型和评价区的已知矿床一致；③ 研究区已知矿床和矿床数的估计与品位-吨位模型一致。在这一过程中，所有的可用信息均要被利用，同时还要表达不确定性。

关于成矿预测要不要考虑成矿类型的问题，一直是一个有争论的话题。从事矿床学研究的专家认为，要开展潜力评价，首先要考虑待评价矿床的类型，没有矿床类型，就没有评价模型。但许多从事勘探技术、统计预测的专家认为，不考虑矿床类型同样可以圈定靶区，找到需要的矿床，如我们根据地球化学异常块体，使用一定的专业信息提取方法，也能圈出靶区找到矿床。但事实上，如果我们不考虑矿床类型，使用定量方法，如证据权方法圈定的远景区，其结果就是一张类似物化探异常图，甚至还不如物化探异常图，因为该图是数据合成出来的，所以国际通行的潜力评价方法是基于矿床模型的。评价过程经常会出现同一地质环境下有多种成矿类型共生的问题，这将使预测工作复杂起来，矿床成矿系列理论是我国学者总结的成矿理论，恰好可以很好地解决和回答这一问题，成矿系列通过“四个一定”将有成因联系的矿床有机地串联起来，并归纳出制约其产出的关键地质因素。因此我们研究的西部矿产资源评价方法体系选择了以成矿系列为理论基础。即以成矿系列为核心，进行成矿信息提取与转换，从而实现模型与信息的结合。

该方法的核心是矿床模型法，矿床学家建立矿床模型不仅为找矿勘查服务，也可作为预测评价的出发点，根据同类成因矿床建立预测要素模型，通过相似类比，就可圈定成矿远景区。模型好坏决定预测成败。“三步式”预测评价方法的优势是预测评价可以适应不同资料

水平的预测需要, 资料多一些评价结论可能会更可靠些。该方法的缺陷是没有一套综合编图思路; 定量预测评价只能针对中、小比例尺, 在四五级成矿区带范围内的预测效果不好, 因为预测的对象是矿床级靶区, 每个靶区只能有一个或没有矿床, 这样就没有“矿床数估计”的概念了。

“三步式”预测方法对预测评价的启示是: 建立预测评价模型是通过相似类比开展定量预测的前提。

三、“三联式”5P地质异常定量评价方法

“三联式”5P地质异常定量评价方法(以下简称“三联式”)是赵鹏大等近几年来提出的一种矿产资源定量评价理论和方法。“三联式”成矿预测以研究区域矿床谱系为依据, 基于成矿多样性分析, 识别、揭示、提取和圈定新型的、隐式的和深层次的成矿地质信息, 预测和发现新矿床类型和未知的矿产资源(方法流程如图1.3所示)。该方法由五个不同的阶段构成, 每一个阶段都以获得不同的目标为目的。其中, 第一阶段的目标是成矿可能地段(probable ore-forming area)的确定; 第二阶段的目标是找矿可行地段(permissive ore-finding area)的确定; 第三阶段的目标是找矿有利地段(preferable ore-finding area)的确定; 第四阶段的目标是矿产资源体潜在地段(potential mineral resources area)的确定; 第五阶段的目标是矿体远景地段(perspective orebody area)的确定。而获得这些目标的前提是查明控制它们的不同控矿因素或标志组合。

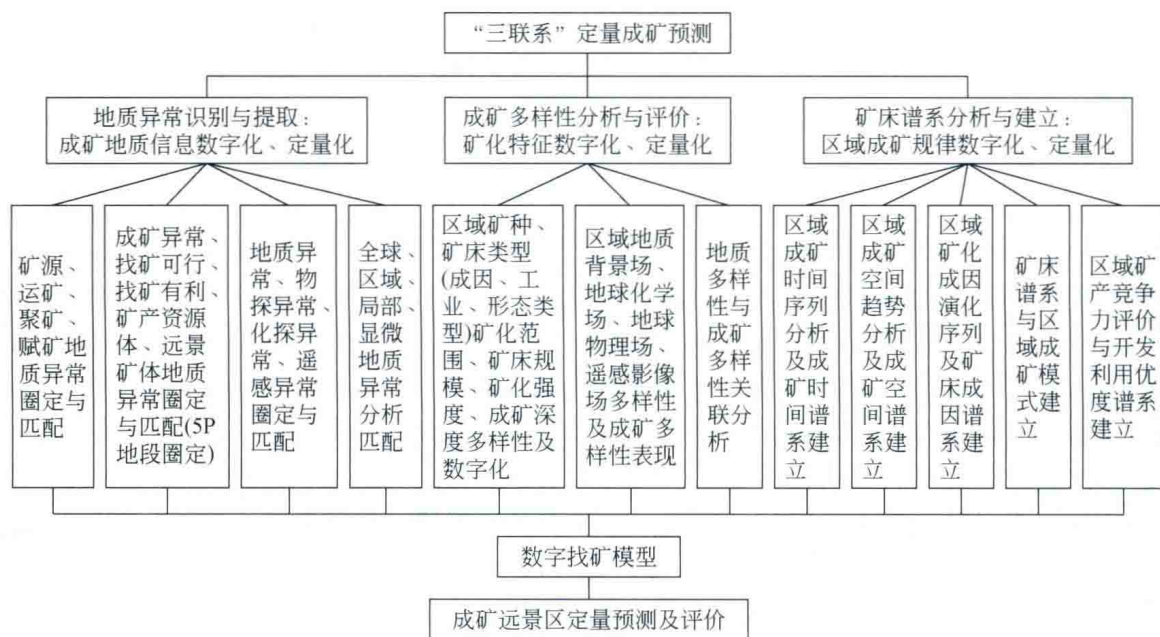


图1.3 “三联式”定量成矿预测方法流程图

基于5P理论的矿产预测思路重点在于: 在考虑同一层次控矿因素相互关系与权重的基础上, 考虑上级层次控矿因素对下级层次控矿因素的影响, 从而实现上级层次控矿因素对下级层次成矿对象的控制, 其影响程度可以用权重来表达。“5P”地段的前“3P”, 一般属

中-小比例尺成矿预测范畴；后“2P”则属大比例尺成矿预测范畴，是对预测靶区（找矿有利地段）的深化剖析。在“三联式”成矿预测中，“5P”靶区逐步逼近，靶区内涵逐渐增大、外延逐渐减小。

深层次隐蔽（组合）变量的成功挖掘是切实提高矿产资源（尤其是隐伏矿）定位预测的关键因素。赵鹏大曾经指出，困扰成矿预测及矿产勘查精度和效果的主要原因是成矿信息获取的不充分性和线性预测模型的局限性。用于构建数据模型的变量有两种：一种是直接测量分析或观察的性质；另一种是隐蔽的或者根据已知矿床构建的性质。通过研究综合信息来挖掘隐蔽（组合）变量一直是国内外数学地质界研究的重点和难点。在实际工作中，建立隐蔽（组合）变量本身就是一个需要结合具体任务、情况进行创造性研究的过程，必须搞清隐蔽（组合）变量的物理意义并与地质分析紧密结合。自赵鹏大（1982）发表“试论地质体的数学特征”以来，这一概念和问题已经受到了相当大的关注，并且已经延伸到同样可以从不同侧面描述地质体特征的物、化、遥等多学科。

矿产定量预测优势是使用现代信息技术处理手段快速分析地质测量成果中成矿信息，其前提是矿床形成是多种因素共同作用结果，不同预测要素对成矿作用贡献的大小是不一样的，同样，矿床规模也受到某些预测要素的制约，表现为矿床规模大，这些预测要素出现的概率也大，矿床规模小这些预测要素不出现或呈有序变化。使用定量数学方法的优势是能够同时考虑到不同控矿要素的相互关系。目前定量方法中使用最多的是“证据权法”，结果会得到一张预测区的成矿概率图，来说明不同区域成矿的可能性。

对矿产资源定量预测方法应用的启示是：使用定量方法辅助预测要素提取；定量预测要在成矿分析和矿床模型研究的基础上进行，预测成矿概率图要结合地质情况进行分析。

四、综合信息矿产预测方法

综合信息矿产成矿系列预测是王世称等（1999，2000）提出来的基于综合信息分析的一种预测方法。该方法的理论基础是：从统计观点看，各种地质测量和科研成果都可视为对各种地质体观察、抽样统计的结果，因此，成矿规律也是一种统计性的规律。为了更准确地揭示地质规律，就需要在地质先验的前提下，以已有的较成熟的地质理论为指导，综合解译地、物、化和遥等数据，提取能够表达地质规律的信息，并研究其有机关联，从而构成刻画地质规律的信息整体。方法要求在成矿理论的指导下，深入研究成矿地质背景特征、成矿作用特征、矿床共生组合规律，建立成矿模式，以此为基础，统计对比分析同一成矿系列已知矿床的地质标志、地球化学标志、地球物理和遥感地质标志，建立综合信息找矿模型，运用找矿模型实现对未知矿化单元的成矿预测。综合信息预测包括两部分内容：一是全面利用各种现代地质勘查手段所获得的资料，以地质体或矿产资源体为单元，进行合理的综合地质解译，提取综合找矿信息，编制综合信息矿产预测图，建立综合信息找矿模型；二是依据综合信息找矿模型，进行地质体或矿产资源体单元的划分和模型单元的选择、变量筛选及定量化，最终建立成矿系列定位预测和定量预测模型，对矿产做出定量评价。

在20世纪80年代末至90年代初广泛使用的综合信息矿产预测方法，为矿产预测的多专业信息综合提供有效的方法理论，是综合信息成矿规律图编制的基础。但前提是服从建造构造分析和矿床模型研究。

五、矿产预测工作内容

通过对国内外典型预测方法体系研究总结,一个系统矿产资源潜力评价预测包括如下主要工作内容。

(1) 建造构造图编制:收集使用地质填图最新成果和原始实际材料图,划分不同地质建造,识别主要的含矿建造。

(2) 矿床模型建立:收集典型矿床资料,开展矿床地质研究,划分不同矿床式,建立矿产预测类型成矿要素和预测要素。

(3) 综合信息矿产预测图编制:以地质建造构造图为基础,开展地、物、化、遥综合解译,推断隐伏建造构造,提取预测要素,编制综合信息矿产预测图。

(4) 矿产定量预测:圈定预测成矿远景区,对各远景区成矿可能性进行地质评价,优选成矿远景区。定量估算各远景区资源潜力。

第二节 成矿系列与资源评价

成矿系列概念由程裕淇、陈毓川、赵一鸣在 1979 年提出(程裕淇等,1979)。经过 30 多年来的研究,逐步得到完善。成矿系列既是从地球演化的时空四维域中研究成矿作用及其形成的矿床自然体,也是一种矿床自然分类(陈毓川等,2006)。矿床成矿系列是成矿系列概念中的核心组成部分,其含义是:“在一定的地质历史时期或构造运动阶段,在一定的地质构造单元及构造部位,与一定的地质成矿作用有关,形成一组具有成因联系的矿床的自然组合”。矿床成矿系列是自然界唯一存在或存在过的地质成矿环境和矿床组合的实体,它本身包含“四个一定”或四个要素,即时间、空间、作用与矿床产物(程裕淇等,1979),缺一不可,也就是成矿的时空四维域的地质环境、地质成矿作用及其过程以及最终形成的为人类可利用的矿床组合自然体(陈毓川等,1999)。自 20 世纪 70 年代程裕淇等全面提出矿床的成矿系列概念以来,我国的广大地矿工作者在应用成矿系列观点指导找矿勘探,总结区域成矿规律方面做了大量工作,取得了显著的成绩。研究机构和高等院校的专家们对成矿系列也做了广泛深入的研究。在各类矿床成矿系列中,研究较深入的是与岩浆作用有关的矿床成矿系列。因为这方面矿产勘查和研究的资料很丰富,成矿系列表现也较明显和全面,有较多研究成果(陈毓川等,1983;裴荣富等,1990;夏宏远等,1991;翟裕生等,1992;崔彬等,1995;毛景文等,1998)。陶维屏等(1989,1994)系统论述中国非金属矿产的成矿系列。在成矿系列内涵方面,程裕淇等(1983)提出了成矿系列的序次及其含义,矿床成矿系列的继承性、后期改造等问题;翟裕生等(1987)提出了成矿系列结构概念,包括分带性、阶段性、过渡性、重叠性、互补性等结构形式,以表示一个矿床成矿系列内部各矿床类型间的时空、物质和成因联系;陈毓川等(1994)提出了矿床成矿系列类型的概念及在某些区域内矿床成矿系列的演化规律;王登红等(2002)对矿床成矿系列在区域内的演化归结为成矿谱系。

使用成矿系列理论开展区域矿产资源预测评价最早的是王世称教授于 20 世纪 90 年代的探索性工作,有代表性的项目是使用双重回归分析进行浙江的银铅锌系列矿产的定量预测。