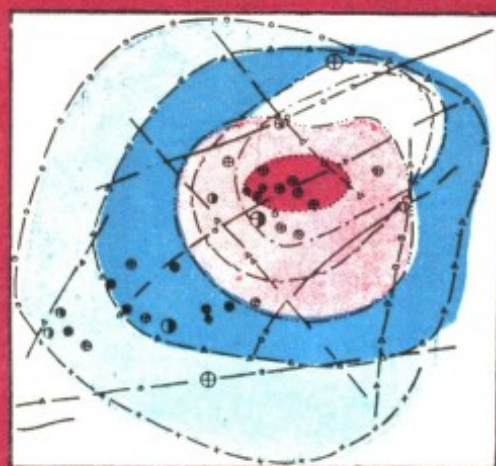


内生矿产 成矿系列 中比例尺 预测方法 研究

王世称 侯惠群
王於天 刘少华
许亚光 谈小生
张晓华 著



地质出版社

内生矿产成矿系列中比例尺 预测方法研究

王世称 侯惠群 王於天 刘少华
许亚光 谈小生 张晓华 著

地质出版社

(京)新登字085号

内生矿产成矿系列中比例尺预测方法研究

王世称 侯惠群 王於天 刘少华 许亚光 谈小生 张晓华 著

责任编辑：曹玉 杨友爱

地质出版社出版发行

(北京和平里)

邮电学院出版社印刷

新华书店总店科技发行所经销

开本：787×1092^{1/32} 印张：10 字数：270000

1993年12月北京第一版·1993年12月北京第一次印刷

印数：1—1000册 定价：8.50元

ISBN 7-116-01482-9/P·1206

前言

本书是在完成了国家科委下达的“七五”重点科技攻关项目《固体矿产成矿系列中比例尺预测方法研究》的基础上编写而成的。该项目于1992年2月12日在北京通过部级鉴定。评委会一致认为,该课题的研究成果在内生金属矿产成矿系列中比例尺预测方法研究方面居国内领先水平,并在国际上首先以成矿系列概念和思路开展了综合信息矿产预测研究,在多矿种综合预测方面达到了国际水平。

为了开拓地质找矿的新局面,研究总结和建立符合我国特色的内生矿产成矿系列研究方法及成矿预测系统,地矿部上报国家科委设立国家重点科技攻关项目(015),以期推动我国成矿预测工作方法科学化、系统化和标准化。《固体矿产成矿系列中比例尺预测》是该项目的二级子课题,目的是以矿床成矿系列地质理论为基础,以综合信息矿产预测定量评价方法为研究手段,探索并总结不同岩区中比例尺(1:20万)成矿预测的合理工作方法。

一、成矿预测研究的历史和现状

社会经济发展对矿产资源的依赖,使成矿预测正在变得越来越重要。早在30年代,前苏联学者毕利宾等已提出区域成矿规律研究的思想与认识。从40年代到50年代,随着找矿勘探需要,成矿预测得到了蓬勃发展。前苏联地质学家毕利宾、斯米尔诺夫、费尔斯曼、科罗列夫以及欧美的吉尔德、纽豪斯、艾孟斯、鲁蒂埃等进行了许多开拓性工作并逐步奠定了成矿规律学的基础。例如,毕利宾所创建的构造—建造成矿预测分析方法目前仍不失为经典预测方法。斯米尔诺夫当时所做的成矿预测工作,曾导致外贝加尔东锡矿带的发现。自60年代以来,中国学者李四光根据地质力学方法研究我国石油分布规律,成功地预测了大庆油田;陈国达提出的地洼成矿学说,从更深的层次阐述了区域成矿规律而受到学术界的普遍重视。

70年代末,通过大量典型矿床成矿规律的总结,中国学者程裕淇、陈毓川、赵一鸣等人提出了矿床成矿系列的思想与认识。它从矿床生成的时间、空间、成因等综合角度,揭示矿床(或矿田)的组合分布规律,为成矿预测开拓了新的预测思路。

与此同时,在近30年中,美国学者阿莱斯、哈里斯、加拿大阿格特伯格、前苏联康斯坦丁诺夫等人所开创的矿产统计预测得到了迅速发展。采用他们的思想,从70年代末开始,世界各国广泛开展了区域矿产资源评价,这是一个以地质成矿规律为基础,以计算机为工具,以数理统计学为手段,以区域矿产资源量估算为目的的小比例尺成矿预测。例如,美国相继开展了本土矿产资源评价、阿拉斯加矿产资源评价和铀矿资源评价计划,耗资数十亿美元。加拿大、前苏联等国也完成了大量类似工作。我国在地矿部资料局领导下,先后完成了铁、铜、金、石灰石等22个矿种的全国资源总量预测和成矿区划,阐明了有利的成矿远景区和成矿带,为全国矿产资源的寻找明确了战略布局。

自80年代以来,成矿预测向着系统化、理论化的纵深方向发展。我国赵鹏大等在长期矿

产预测实践基础上,把数学地质与找矿勘探相结合,系统总结了成矿预测的有关理论与方法,并提出了地质异常的概念。这在指导不同比例尺成矿预测工作方面具有重大的意义。我国王世称等人则把矿产预测、矿产统计预测和资源总量估算三者有机结合起来,运用信息论的方法,提出了“综合信息矿产预测”的一套理论与方法,并把综合信息理论和方法与成矿系列的理论相结合,在中国多个省区的地质、冶金、有色系统中广泛应用,取得了明显的找矿效果。类似的方法在前苏联(稍晚于中国2年)也提出了矿产勘查评价的最优组合方法,并成功地发现了“红五月矿床”。包括我国在内的世界各国,正将成矿预测的重点转向中、大比例尺成矿预测。例如,前苏联在贝加尔湖的赤塔省和中哈萨克斯坦地区的44个矿区中,已经开展了“立体填图”和中、大比例尺的“立体预测”研究,并正在全苏境内推广。我国在小比例尺预测的成矿远景带内,正全面开展1:20万中比例尺、1:5万以及1:1万、1:1千的大比例尺成矿预测。作为地质工作的一个重要环节,成矿预测工作已纳入并贯穿矿产勘查的全过程。从普查前期开始,直到勘探和矿山开采,都需要开展相应的成矿预测工作作为矿产地质工作的战略决策和战术计划,成矿预测在地质工作的整体布局中,正在起着越来越重要的作用。特别是由于预测隐伏矿床已成为我国第二轮矿产勘查的主攻方向,以科学为指导的成矿预测就变得更加重要。矿田、矿床是在漫长的地质发展历史中众多地质成矿作用随机叠加的结果。矿床(田)的形成与分布这一客观规律必然受制于概率论这一基本原理而表现出极大的不确定性,对其预测与发现是较为困难的。为了提高普查勘探的经济效益,必须在这种“不确定”的前提下,来有效地完成预测工作。

多年实践表明,成矿预测至今仍带有较大的风险。减少这种风险的唯一途径,除了要有赖于地质成矿理论的突破性进展与完善以及各种地质测量、测试手段的变革外,就目前可能改善预测效果的措施之一,是应具备合理的地质理论基础、合理的研究思路与预测方法。

二、内生矿产成矿系列中比例尺预测的任务及工作方法

1. 任务

以成矿系列地质理论为基础,以综合信息矿产预测的一整套方法为研究手段,以矿床成矿系列找矿模型的建立和矿田、矿床靶区预测为目标,系统总结一套中比例尺矿产预测的合理工作方法。为我国地质大队一级单位提供切实可行的有效预测手段,促进成矿预测工作的标准化和我国成矿预测工作的全面开展。与此同时,向生产单位提供一套包括研究方法在内的计算机应用软件系统,提高矿产预测的自动化水平和工作效率。

2. 学术思想及主要作法

预测工作始终把王世称等人提出的有关综合信息理论与成矿系列理论相结合的一系列观点作为课题研究的指导思想,力图从成矿系列地质理论出发,运用地质、物化探及遥感多学科信息,综合研究矿产在不同岩区的系列成矿规律,探讨成矿预测图、找矿模型和定量化预测的合理研究手段,形成一套科学的中比例尺预测工作方法。

主要作法是:

(1) 按火山岩、侵入岩、变质岩(沉积岩因缺乏资料尚未总结)不同发育区,研究并总结成矿系列产出的地质环境特征、成矿机理的一般特征以及综合信息找矿模型建立方法。

(2) 从成矿系列的角度,研究不同岩类发育区矿田、矿床的主要控矿因素和控矿机理,总结相应的成矿模式的建立方法。

(3) 通过不同岩区矿床(田)成矿系列靶区定量圈定和资源量估算,总结不同数学模型在成矿预测中应用的途径和效果。

(4) 总结成矿系列控矿变量提取和赋值、成矿单元边界圈定、成矿系列类型划分与命名、模型单元选择、定量预测模型建立、靶区优选及找矿风险评估等一系列工作环节的研究方法,建立中比例尺成矿预测的系统工作流程。

三、取得的主要成果

1. 将综合信息矿产预测理论与矿床成矿系列理论相结合,提出了矿化系列的概念,首次给出一整套开展中比例尺成矿系列定量化预测的系统工作方法。该方法不仅把成矿预测工作建筑在研究成矿规律的地质理论——成矿系列理论基础上,而且把预测水平推进到定量化研究阶段。

2. 采用综合信息解译方法,以丰富的实例系统研究并总结了火山岩区、侵入岩区和变质岩区内生矿产成矿系列的演化规律、控矿因素的综合信息特征和空间展布规律,给出了若干矿种系统预测的实际工作步骤、编图实例和找矿模型具体内容,对指导中比例尺矿产预测具有重要借鉴意义。

3. 深刻阐述了成矿系列在不同岩类发育区的表现形式和成矿预测的研究要点,分析并提出了不同岩区内生矿产成矿系列的一般控矿规律,使成矿系列理论向指导实际找矿工作迈出了新的一步。

4. 针对成矿系列具体问题,给出了“双重筛选逐步回归分析”、“特征向量—单调系数—方向系数”三权法、“靶区自动搜索”方法等新的特定数学模型,解决了成矿系列定量数学模型的系统建立问题,丰富了成矿预测方法学。

5. 首次建立了中比例尺矿产预测的定量化研究体系和计算机自动化处理程序系统,奠定了成矿预测工作自动化基础。

本书是作者们在中比例尺成矿预测多年经验总结基础上,并综合了《固体矿产成矿系列中比例尺预测方法研究》课题下属五个三级子课题和若干中比例尺成矿预测实例而完成的。参加这些子课题的同志们对该课题的完成给予了热情支持和大力协助。

在课题进行过程中,始终得到程裕淇教授、陈毓川研究员的指导,项目办公室的朱裕生研究员、吴承烈高级工程师也始终给予了大力支持和帮助。

本书作者对上述各方面的支持和帮助表示诚挚的谢意。

本书前言由王世称、王於天编写,第一章由侯惠群、许亚光编写,第二章由许亚光、侯惠群编写,第三章由王於天编写,第四章由刘少华编写,第五章由谈小生、侯惠群、王於天、张晓华编写,第六章由侯惠群编写,第七章由刘少华编写。课题的程序软件和有关定量计算工作,由刘超、侯惠群、谈小生完成。该书由侯惠群、许亚光统编全稿,最后由王世称定稿。

由于时间仓促,经验不足,许多问题还有待进一步探索与总结,书中论述的工作方法,仅提供给生产单位使用,并希望在实践中得到进一步发展。

目 录

前言

第一章 成矿系列综合信息研究及中比例尺预测方法总论

- 第一节 概述..... (1)
- 第二节 成矿系列的理论及意义..... (2)
- 第三节 矿化系列的概念及其作用..... (3)
- 第四节 不同岩区矿化系列的常见分布形式及继承演化特点..... (4)
 - 一、不同岩区矿化系列的常见分布形式..... (4)
 - 二、矿化系列的继承演化特点..... (4)
- 第五节 成矿系列中比例尺预测的一般工作方法..... (5)
 - 一、基本思路..... (5)
 - 二、成矿系列综合信息预测工作方法..... (5)
 - 三、成矿系列中比例尺预测的选区..... (12)

第二章 变质岩发育区成矿系列综合信息找矿模型建立方法

- 第一节 变质岩发育区成矿系列的一般特征..... (14)
 - 一、成矿系列产出的地质环境特征..... (14)
 - 二、变质岩发育区成矿系列的一般特点..... (15)
- 第二节 变质岩发育区成矿系列控矿因素的综合信息分析方法..... (16)
 - 一、变质岩发育区成矿系列的综合信息地质背景分析..... (16)
 - 二、变质岩发育区成矿系列的矿化信息分析..... (22)
- 第三节 变质岩发育区成矿系列综合信息找矿模型的建立方法..... (23)
 - 一、找矿模型研究方法概述..... (23)
 - 二、变质岩区成矿系列找矿模型的建立方法..... (24)

第三章 火山岩发育区成矿系列综合信息找矿模型的建立方法

- 第一节 火山岩区成矿系列的一般特征..... (42)
 - 一、火山岩区成矿系列产出的地质环境特征..... (42)
 - 二、矿床类型及成矿系列的成矿机理..... (43)
 - 三、矿床成矿系列的主要控矿规律..... (43)
- 第二节 火山岩区矿床成矿系列控矿规律的综合信息研究内容及研究方法..... (44)
 - 一、火山岩区成矿系列预测的一般途径..... (44)
 - 二、区域成矿地质背景分析..... (45)
 - 三、火山成矿系列的综合信息研究方法..... (46)
- 第三节 火山岩区矿床成矿系列综合信息找矿模型建立方法..... (49)
 - 一、成矿系列典型矿田、矿床成矿规律研究..... (49)
 - 二、成矿系列基本控矿规律研究和成矿系列的划分..... (50)

三、成矿系列成矿模式及找矿模型的建立·····	(51)
第四节 火山岩区成矿系列综合信息找矿模型建立的实例·····	(53)
一、概述·····	(53)
二、浙东火山岩区成矿系列控矿机理的综合信息研究方法·····	(55)
三、火山岩区铅、锌、银、金成矿系列综合信息找矿模型的建立·····	(57)
第四章 侵入岩发育区成矿系列综合信息找矿模型的建立方法	
第一节 侵入岩发育区成矿系列的一般特征·····	(61)
一、岩浆成矿系列及产出的地质环境特征·····	(61)
二、侵入岩发育区地质环境的物化探、遥感综合信息特征·····	(63)
三、成矿系列主要控矿因素分析·····	(68)
第二节 成矿系列综合信息找矿模型的建立·····	(70)
一、主要控矿因素的综合信息分析方法·····	(71)
二、成矿系列典型矿床(矿田)成矿规律的研究·····	(88)
三、成矿系列综合信息找矿模型的建立·····	(95)
第五章 成矿系列定量预测方法	
第一节 成矿系列定量研究方法及计算机自动化处理程序系统·····	(102)
一、定量化研究方法的分类·····	(102)
二、成矿系列预测自动化程序系统·····	(103)
第二节 成矿系列控矿变量的提取及赋值·····	(105)
一、控矿变量提取的一般方法·····	(105)
二、控矿变量赋值·····	(106)
第三节 成矿系列的控矿机理统计分析方法·····	(106)
一、定量化研究方法·····	(106)
二、成矿系列控矿机理定量研究实例·····	(107)
第四节 成矿统计单元划分的定量化方法·····	(112)
一、成矿统计单元划分概述·····	(112)
二、成矿统计单元划分的定量化方法——靶区自动搜索法·····	(112)
第五节 成矿系列类型定量划分方法·····	(115)
一、类型划分的意义·····	(115)
二、类型划分方法·····	(115)
第六节 成矿系列模型单元的选择方法·····	(117)
一、数量化理论中的亲近度·····	(117)
二、数量化理论Ⅳ·····	(118)
三、数量化理论Ⅴ·····	(121)
第七节 成矿系列预测的数学模型研究·····	(124)
一、问题的提出·····	(124)
二、特征向量、单调系数、方向系数三权法·····	(124)
三、双重筛选逐步回归分析·····	(128)
第八节 成矿系列找矿靶区定量预测模型的建立·····	(131)

一、靶区定位预测模型的建立	(131)
二、靶区资源量预测模型的建立	(131)
第六章 靶区优选及找矿风险评估	
第一节 靶区预测及靶区优选	(133)
一、靶区预测	(133)
二、成矿靶区优选	(133)
第二节 靶区找矿风险定量化评估方法	(135)
一、靶区找矿风险定量评估步骤	(136)
二、实例	(137)
第三节 中比例尺预测靶区查证	(138)
一、靶区查证的目的和意义	(138)
二、靶区查证的一般要求与方法	(138)
第七章 内生矿产成矿系列中比例尺预测报告的编写提纲	
第一节 报告主要内容	(139)
一、概况	(139)
二、研究区区域地质背景及地球物理地球化学遥感特征	(139)
三、成矿系列研究及地质概念模型的建立	(140)
四、成矿系列综合信息特征及控矿机理的定量化研究	(141)
五、成矿系列综合信息找矿模型的建立	(141)
六、成矿系列靶区定量预测模型的建立	(142)
七、成矿预测及结果评述	(142)
第二节 报告的主要图件	(143)
一、基础图件	(143)
二、过程图件	(143)
三、成果图件	(143)
参考文献	(144)

第一章 成矿系列综合信息研究及 中比例尺预测方法总论

第一节 概 述

中比例尺成矿系列成矿预测是1:20万—1:10万比例尺的预测,它是我国新一轮固体矿产普查工作的重要组成部分。中比例尺矿产预测的对象是矿带与矿田。矿田是由矿床组成的,在特定的地质条件下它们形成系列矿产的分布规律。中比例尺系列矿产预测首先应划分出几大岩区。不同的岩区,由于基本地质环境的差异,成矿系列的矿产分布规律和特点不同。相对于几个主要的岩区可划分出变质岩区成矿系列、沉积岩区成矿系列、火山岩区成矿系列及侵入岩区成矿系列。当然,它们之间存在着有机的联系。不同的岩区,其地球物理、地球化学场的特点不同。利用这些特点常常能够发现一个地区的地质演化规律和系列矿产的继承演化规律。例如变质岩区一般具有重力相对高的特点,可以通过重力场的分析来推断隐伏基底的分布范围。对许多地区的研究表明,隐伏基底的分布变化规律常常对沉积岩区和火山岩区的发育以及它们有关的系列矿产分布有控制作用。侵入岩区的分布也常常是受基底导岩构造控制的。从演化的角度,变质岩区及其隐伏基底的变化规律,可以总体上控制沉积岩区、火山岩区、侵入岩区及其矿产的分布。后几个岩区的矿床成矿系列常常会表现出对前者在某些方面的继承和发展。

应用综合信息解译方法研究成矿系列有以下几个特点:

(一) 强调宏观分析和地质实际观察相结合

全国已开展的1:20万区调工作的成果,是地质实际观察所总结的地质规律及成矿规律,缺少宏观分析。而对1:20万航磁、重力、遥感的解译工作恰好属于对地质体的宏观分析,综合信息成矿预测图的编制则是把宏观分析和实际地质观察相结合的结果^①。

(二) 强调地质背景研究和异常分析相结合

已开展的1:20万区域地质调查及区划工作,均偏重于成矿地质背景研究,而1:20万航磁、重力、重砂及水系沉积物测量则偏重于异常检查和验证,这两者之间缺少综合分析。因此,对1:20万综合信息解译,则强调在地质背景综合分析基础上,进行异常研究,特别是从成矿系列角度分析异常的分布规律,在背景中研究异常,在背景中筛选异常,把背景和异常正确地区分开,客观进行异常类型的划分。

(三) 强调以地质体为单元的信息关联和转换

1:20万地质图是地质体的组合。成矿系列矿产预测的综合信息研究方法强调以地质体为单元,进行1:20万航磁、重力、遥感、重砂和水系沉积物测量的综合解释;研究以地质体为单元的信息间的关联和转换规律;推测隐伏基底、隐伏岩体和其它隐伏地质体。

^①王世称等(1989),区域重磁资料地质解释的若干问题。区域重力调查资料深解释推断交流论文集。

(四) 强调针对不同岩区建立综合信息找矿模型, 进行模型预测

不同岩区有各自的成矿系列及相应的矿化系列(详见后述)。有针对地建立不同岩区的成矿系列综合信息找矿模型, 全面研究已知系列矿产及各种矿异常的分布规律, 对成矿预测工作具有重要意义。

(五) 强调定性预测和定量预测相结合

综合信息预测, 是一种定性与定量相结合的预测方法, 即在利用综合信息找矿模型进行定性(定位)预测的基础上, 充分利用计算技术, 以矿产资源体(矿田、矿床)为单元, 建立定量预测模型, 优选找矿靶区, 计算预测资源量, 为大比例尺预测提供依据。

第二节 成矿系列的理论及意义

早在70年代, 程裕淇先生在研究我国铁矿时即指出: 有必要将一些生成条件虽有所不同而在成因上有相互关系的类型, 分别纳入几个共同的类型组, 以表达其形成过程的内在联系, 并在此基础上提出了铁矿成矿系列的概念, 划分出了四个铁矿成矿系列。同时指出其有利于进行铁矿的区域成矿分析和矿产预测工作。随后, 程裕淇、陈毓川等通过全面总结国内外的有关资料和深入研究各种现存的成矿学理论, 系统地提出了成矿系列的理论。所谓成矿系列是指在一定的地质单元内, 在一定的地质发展时期, 与一定地质作用有关, 在不同或相同演化阶段, 形成的有相互成因联系的一组矿床(程裕淇等, 1979; 程裕淇等1983)。众所周知, 一定的地区在一定的地质时期, 总是以某一种地质作用作为主导的。从最高级别来看是岩浆活动, 或是沉积作用, 或是变质变形, 其中的主导作用就标定了该时期该地区的特点。由于成矿作用实际上是一种从属于主要地质作用的相对局限的地质作用, 它的出现与演化必将受到主要地质作用的存在与演化的影响, 因此, 特定地区一定时期的矿化, 必定具有系列的特点。

中比例尺成矿预测, 要求区域成矿规律分析与典型矿床研究两方面均有深入, 成矿系列理论由于自身具有一系列优点而适应于这类要求。

(一) 成矿系列在整体上描述了特定的地质环境与成矿作用之间的关系, 以及矿床时空分布及矿床组合形成的客观规律, 它能使人们将一些看来似乎无关的矿化现象在深的层次上联系起来。从而能更加准确地抓住区域成矿特点, 更客观地认识区域成矿规律。成矿系列理论揭示出的各矿床类型、矿种之间的客观联系, 为我们在区域成矿预测时能够从已知到未知和从未知到已知形成信息锁链, 为我们对不同矿种和矿床类型(包括区域上未见新类型)的综合系列预测提供了有效的理论思路, 开拓出了广阔前景。

(二) 成矿系列理论能够有效地指导典型矿床研究。在进行典型矿床的研究中, 运用系列的思想, 才能不为局部的或表面的现象所限。正确认识矿床形成的主要控制因素, 只有搞清了本矿床在区域成矿“锁链”上的位置, 才能更深刻了解自身的特殊性, 所建立的矿床模型才能尽可能地上升到一般性的模型而被广泛使用。从现今较为成熟的矿床模型来看, 比如: 斑岩铜矿模式、矽岩铁矿模式、日本黑矿模式等, 无不具有系列的特点。

(三) 成矿系列理论将地学中最为常用的类比原则合理地引入到区域成矿规律分析之中, 这对于把区域成矿分析理论化和规范化有重要意义。进一步地, 它为现今较为成熟的单个矿床模型研究区域化奠定了基础。实际上, 一个成熟的成矿系列, 就是一个成功的区域矿

床模式的雏形。区域上类比法则的实施和模型研究的开展,为定量预测和其它一些技术方法的运用开辟了道路。

综上所述,成矿系列的理论不仅在矿床学乃至整个地质学的发展上都有重要的理论意义,且对于成矿预测,特别是有着很大难度的中比例尺多矿种综合系列预测,有着特别的指导作用。

第三节 矿化系列的概念及其作用

如前所述,成矿系列的概念为区域成矿预测提供了新的思路,要将这一概念真正贯穿到实际的成矿预测工作中去,尚需要有效的方式和手段。成矿作用毕竟是地壳中主要地质作用的一种次级作用。在一个地区埋藏于地下的可构成一个系列的矿床很少被全部发现、完全认识。成矿作用还具有一定的随机特点,有相同地质背景的地区不一定具有相同的矿床组合。因此,一个地区内各类矿床的预测,各类矿床之间的关系的确定,仅依赖于矿床(已知矿床)自身研究(包括矿点)以及成矿作用与其它地质作用之间的关系是不够的,在很大程度上依赖于区域物化探异常的正确评价。如果能使上述两方面有机地结合起来,使物化探异常在已有的成矿系列理论指导下进行评价,这对区域系列矿产预测具有重要意义。“矿化系列”概念的引入使综合信息成矿预测方法增添了新的内容。

所谓矿化系列,是指在一定的地质单元内,一定的地质时期,与某一基本地质作用有关的成矿作用造成的有成分和结构变化的所有地段,包括矿床、矿点、矿化点、矿化岩石及受成矿作用影响但无成矿元素富集的蚀变岩石,以及这些有内在成因联系的上述地段和作为该地段某一方面反映的物化探异常群(王世称等,1992)。反映有直接的,如矿化地段的原生晕异常和某些物探异常;也有间接的,如次生晕、分散流、重砂异常和某些物探、遥感异常。

矿化系列的概念不仅包括了矿床、矿点、矿化岩石及蚀变岩石等地质异常,还包括了作为这些异常反映的物化探及遥感异常,后者常常是我们对一个地区进行预测时首先可以获得的资料。可用于确定被预测体具体空间位置。所以这个概念的引入使综合信息成矿预测理论有了新的内涵。

某种成矿作用,只要能够形成矿床系列,就一定会形成比其分布范围广、便于发现的矿化系列。但是有矿化系列存在,未必就一定能够形成矿床系列。只有在那些成矿作用足够强、成矿地质条件最佳的地段,才能形成具有经济价值的矿床。从这个意义上看,矿床是异常,矿化系列是背景;相对于整个地质背景而言,矿化系列本身又是异常。如此一来,综合信息系列矿产预测便将整个预测过程变成了一个多级异常—背景筛选的过程。

矿化系列概念的运用,可使我们较为方便地把模型预测思想引入系列矿床预测(王世称等,1992)。模型预测是一种类比预测,仅根据已发现的矿床建立的预测模型不能预测新的类型和新的矿种。借用相似地区的模型又常常会对预测区性质判断不准造成模型选择不当,或者由于地区的差异性而效果不佳。矿化系列分析可以帮助我们确定一个地区成矿系列的特点。对于没有或少有已知矿床出现的地区,矿化系列分析可以大体预测该区可能存在的矿床系列,矿床可能出现的位置和种类。也可以用于修正从相邻地区借用的模型使之与本区实际情况更为符合。对于全新的矿床类型,在矿化系列概念下统一起来的基本地质分析和物化探

异常研究,将可能勾画出大体轮廓和概貌。所以可认为,在成矿系列思想的引导下,运用矿化系列的概念已经为区域新类型矿床预测找到了一条可行之路。

第四节 不同岩区矿化系列的常见分布形式及继承演化特点

一、不同岩区矿化系列的常见分布形式

不同的岩区,由于其地质作用的条件不同,成矿系列的特点也不同。矿化系列对各自的特点常有更为清楚的反映。从实际预测的角度,把成矿系列或矿化系列分成如下几个组(王世称等,1992):

1. 变质岩区同生系列(组)
2. 变质岩区后生系列(组)
3. 沉积岩区同生系列(组)
4. 沉积岩区后生系列(组)
5. 侵入岩区系列(组)
6. 火区岩区系列(组)

资料研究表明,从总体的分布形式上看,变质系列中的同生矿化系列主要在区域上呈面形分布的特点;而后生矿化系列由于受构造和岩体的控制,常具有明显线形和环形分布的特点。沉积岩区同生系列严格受地层控制,而后生系列常受基底断裂控制,呈线形展布。火山岩系列分布特点较为多样,或为面形,或为线形。也常表现出受基底控制,矿化系列主要分布在火山岩与古老基底的接触部位,或隐伏基底构造部位。沿基底构造和接触部位分布的矿化系列具线形特点。侵入岩矿化系列在各岩区中都可出现。侵入岩系列在较小比例尺的图件上常呈明显的线形分布,且常沿基底构造分布。在较大比例尺的图件上,常见围绕岩体的环形,有些呈现“环加线”的特点。

二、矿化系列的继承演化特点

不同岩区的系列有各自的特点,但彼此不是孤立和毫无联系的,它们之间有继承演化的特点。主要表现为:

(一) 成矿(或矿化)系列的地质演化继承

对于一个特定的地区,从时间顺序来看,变质基底常常是最古老的,它对其后发育的盖层和岩体起控制作用。与变质岩有关的矿化系列将首先出现,其后的其它系列可能在它的基础上发展。在漫长的地质发展时期,无论基底还是盖层,都会受到不同程度的再造作用,这种作用也会使原来形成的成矿系列发生不同程度的变化,甚至形成一些新的系列。

(二) 从元素的集中趋势分析矿化系列的继承演化

许多地区的资料研究表明,若古老变质岩中某种元素的含量高,则在该区后来的火山岩、侵入岩和沉积盖层也具有该类元素高丰度的特点,且与不同作用有关的矿化系列都会包括这些高丰度元素。例如晋东北地区^①,早前寒武纪结晶基底中金的丰度较高,这样地区的金重砂、化探异常从数量上占有绝对优势,其中异常高度集中的趋势尤以五台超群中表现得最为

^①晋东北地区金矿预测及找矿方向探讨(华北地台北缘重点片会议材料),长春地质学院,山西地矿局,1990。

显著,而这一地区后期侵位的岩体及形成的构造,其金丰度值都相对较高,表明后期赋金岩体及构造所含有的金元素与早期结晶基底的金含量有密切关系。赋金岩体及构造周围的含金重砂、化探异常组合复杂,显示成矿作用的叠加性。

第五节 成矿系列中比例尺预测的一般工作方法

一、基本思路

成矿系列中比例尺预测是运用矿化系列的概念,采用综合解译的方法,对地质、地球物理、地球化学、遥感等实际资料,进行全面系统的综合研究,从中提取与成矿系列有关的信息,在此基础上进一步研究成矿系列的基本特点、控矿机制和成矿规律,以典型矿床成矿系列研究为基础,总结并建立成矿系列普查评价的基本准则,建立综合信息找矿模型,并对整个工作区开展成矿规律研究及预测。

二、成矿系列综合信息预测工作方法

综合信息成矿预测是以找矿模型为基础,以地质体和矿产资源体为单元,研究地质体对矿产资源体的控制作用。它应用成矿系列理论为指导,研究在不同区域地质环境(沉积岩区、火山岩区、侵入岩区、变质岩区)中系列矿产的分布规律。

综合信息成矿预测方法的核心问题是综合信息解译及编制综合信息成矿预测图(王世称等,1989)。

综合信息解译是在地质先验前提下,正确认识各种信息所反映的地质现象,并定性地分析其控矿作用;在此基础上利用重、磁、遥感地质资料研究和推断区域构造格架,建立有意义的成矿系列信息标志;利用化探和重砂资料信息,研究构造化探和构造重砂的特点,来描述和揭示成矿系列的分布特征及控矿因素,并把矿化信息和构造格架相关联,建立综合信息找矿模型。而这一过程是通过编制综合信息成矿预测图实现的。从这一意义上讲,编制综合信息成矿预测图是综合信息预测的重要组成部分,是研究成矿系列控矿机理、提取控矿信息、不断深化对成矿规律认识的重要环节。

(一) 综合信息解译及成矿预测图编制

1. 综合信息解译

综合信息解译是正确认识地质控矿规律的基本手段,它是在地质先验前提下,通过综合分析方法,客观揭示地质体与地球物理场、地球化学场以及遥感图像特征的对应关系,以预测矿产资源体为目标,进行直接与间接找矿信息的关联与转换,建立隐伏控矿地质体与矿产资源体的综合信息标志组合,开展矿产预测。

(1) 综合信息解译的基本原则

a. 以地质为先验前提,开展综合信息解译。综合信息解译认为各种地质测量结果都是对各种不同地质母体统计、观察、抽样和度量的结果。这些结果对地质规律的刻划是相对的,而不是绝对的,即带有统计性质特点。因此,地质测量的结果不应是最终的结论,只能是成矿规律研究的向导。另一方面,地质测量是直接观察的结果,它是实际的,客观的。测量中必然蕴含着许多表征被测量的母体某种成矿特性的有益信息。这些有益信息又是对物探、化探、遥感等测量结果进行地质解释的依据。

各种成矿、控矿信息，总是以不同的“信噪比”存在于各种测量结果中，只有以地质为先验前提，采用合理分析方法，才能将有用信息从资料中提取出来。因此，综合信息解译工作应牢牢地建立在地质的先验前提之上。

b. 以地质体为单元，进行多种信息的关联、转换和提取。从统计观点看，地质图系所反映的是不同性质地质体的组合。地质体是有等级、有序次的^①，如：地层划分为层、组、系、界；构造可划分为不同级次；侵入岩可划分为岩体、构造侵入岩带；控矿地质体可分为矿体、矿床、矿田、矿带；而各种物探、化探、重砂、遥感等信息是不同等级地质体的不同侧面的反映。由于地质现象的复杂性，同一地质体可有不同的地球物理场和地球化学场，相同的地球物理场和地球化学场也可以反映不同的地质体。因此，场和地质体对应的不唯一性，带来了地质解释的多解性。只有在以地质体为单元条件下，进行各种信息的关联、补充和转换，才能克服多解性，全面反映地质体的客观概貌。

c. 严格遵循各有关学科的基本原理和方法，进行信息解译。每一学科都有其基本原理与方法，每一测量结果都是遵循该学科的理论与方法获取的。对每种资料的解释必须按其原理进行。一般说，航磁、航放、重力、遥感等资料主要反映区域地质情况，多用来研究地层、构造、岩浆岩的特征和分布，并推断区域性构造格架。其中重力、航磁侧重于异常的梯度、强度、形态、连续性、场形变化研究；遥感则重点对线性及环形影像进行解释；重砂、化探资料的解译则主要用来解释和提取矿化信息。

d. 研究已知典型矿产资源体（矿体、矿床、矿田）是建立综合信息找矿模型的基础。综合信息解译的目的在于捕捉成矿、控矿信息、预测未知的矿产资源。因此，必须充分利用典型矿床（田）资料，研究主矿化阶段的信息特征和指示标志，通过直接与间接找矿信息关联，建立找矿模型。综合信息模型的建立，应以间接找矿信息为主，以利于实现区域预测工作的展开。

(2) 综合信息解译的原理及方法

综合信息解译方法包括下述五项基本内容

a. 基础图系的形成。基础图系是指同比例尺图件所形成的规则化图件的组合系列，是综合信息解译的资料基础。图系的组成是由若干子图系表达的。主要子图系包括有：地质类子图系、地球物理类子图系、地球化学类子图系、遥感地质类子图系。

对建立图系的基本要求是对应和配套。所谓对应，是指充分收集各种可能提供成矿、控矿信息的图件，使每个子图系中的图件都具有反映研究对象特征的有用信息。所谓配套，则指在比例尺上各种子图系规一化；在信息类型上完整全面；在立体化研究上各种层位图件齐全。

b. 根据各类信息特点，确定解译的主要目的和内容。综合信息解译是利用重、磁、遥感资料信息研究和推断区域构造格架，建立有意义的地层、岩体信息标志特征；利用化探和重砂资料信息，研究构造化探和构造重砂的特点，推测成矿时期的构造和矿化裂隙。把矿化信息和构造格架相关联，建立综合信息找矿模型。

具体应用时，不同矿种、不同成因类型的矿床，其主矿化阶段矿物组合特点是不同的，因而确立矿化信息的类别及利用区域信息资料也是有别的，需结合具体情况加以选择。

^①王世称、王於天、程秋明，综合信息矿产资源定量评价，长春地质学院，1980。

c. 单学科信息的解译。不同学科其信息解译的方法不同。例如,磁法资料解译,已有较为成熟的一套定性解译和定量解译方法,遥感地质以目视解译为主,它们所依据的原理也不相同。因此,单学科信息的解译应严格遵循该学科的基本原理来进行。

d. 信息的关联和提取。各类成矿信息不是孤立地存在,而是有机联系在一起的。只有通过信息彼此之间的关联,才能正确、全面地提取有用信息,排除与研究对象无关的“干扰”。

信息关联的层次,可分为子图系内和子图系间两种关联。在同类子图系内关联,例如航磁平剖解译图与化极、求导、延拓解译图的关联,重点放在研究地质体的埋深、产状以及成矿作用的立体化变化规律。在不同类子图系间关联,例如重磁推断构造纲要图与化探元素分带图等相关联,往往是寻找矿化信息与间接指示矿化作用的信息间的关联,确定控矿机理和各种制约关系的重要方法。

信息关联和提取的地质意义是清楚的。一般成矿作用,通常理解为多种地质作用相互叠加的结果。各种地质作用常常具有不同的地球物理和地球化学信息标志特征。通过信息关联而确定的有用信息的叠合部位或信息浓集区,则被认为是成矿可能性最大的空间地段。显然,这是符合地质规律的。

e. 信息的综合和转换。所谓信息的综合是指在单信息关联和提取基础之上,对全图系解译出的有用成矿信息作进一步加工、优化和综合提取,建立完整的成矿和控矿地质概念,形成模式化的综合信息成矿标志组合。

信息转换,是指信息间的合理交换、传递和有机关联。其目的是通过直接找矿信息与间接找矿信息的转换,在有机关联基础上,用间接找矿标志代替直接信息标志,建立综合信息找矿模型。这是综合信息解译的最后一步工作,也是建立成矿预测实用模型的关键环节。

信息综合与转换的基本途径是:首先根据典型矿床(田)综合信息研究结果,确定矿化信息的重砂矿物和化探指示元素的组合特征。然后把矿化信息摆在区域构造格架中,通过矿化裂隙与区域性地层、构造、岩浆岩的特点和彼此关系,建立成矿时期控矿的地层、构造、岩浆岩的地球物理和遥感信息特征。最后,研究那些具有典型矿化信息的构造、岩浆岩和地层的地球物理和遥感信息标志,用相应的场强、场形及场的组合特点,建立控矿、导矿、容矿的各类地质体的综合信息标志。实现直接找矿信息向间接找矿信息的转化。最终以地球物理、遥感等信息为主体建立起的简化找矿模型,将是开展区域矿产预测的实用模型。

2. 综合信息编图

为了编制综合信息成矿预测图,需要预先编制一系列基础图件和中间结果性图件,主要为物探构造纲要图、推断地质图、构造化探图和构造重砂图。

重、磁勘探是地球物理勘探的基本手段和方法,在我国应用广泛,带有可利用的普遍性。重、磁资料的利用和有关图件编制是综合信息成矿预测图编制的最基本的地球物理内容。

重力图件和磁法图件反映不同性质、不同等级、不同深度的密度体和磁性体引起的叠加场。重、磁数据处理的意义在于分解叠加场,恢复异常源,区分不同特点的密度体或磁性体,实现立体化地质解释。重、磁解释的前提是,首先明确重、磁解译的目标物(标志)和目的物(预测对象),其目的是建立区域重、磁标志层和重磁标志体,研究区域构造格架及其控矿规律。这需要在综合信息解译基础上,以地质体和矿产资源体为单元,完成物探构造

纲要图和推断地质图的编制。

勘查地球化学方法包括原生晕、次生晕、水系沉积物和重砂等不同测量方法，它们组成了一个系统工程。原生晕和次生晕的研究，是识别矿床成矿特征的主要手段。而水系沉积物和重砂研究，则重点在于建立与原生晕和次生晕的联系，同时完成不同勘查地球化学信息间转换。

我国许多地区已完成1:200000化探扫面，这些资料的利用和解释具有一定普遍意义，也是综合信息成矿预测图编制的重要内容之一。重砂、水系沉积物是不可分割的整体，它们代表矿化信息不同侧面。在表生作用下，稳定性矿物、半稳定性矿物形成重砂，而不稳定性矿物和半稳定性矿物形成水系沉积物。这些地球化学异常分布均受制于地形地貌的影响。因此，地球化学信息的解译应该在多级汇水盆地网系图上进行。以最有相同组合异常的最小汇水盆地单元，向源追溯异常源，确定成矿的典型重砂矿物组合及元素组合的空间分布规律，进而推断矿化裂隙、容矿和导矿构造。这是地球化学信息研究的主要内容。

各种地球化学信息同地质构造有极密切关系，矿化信息分别受导矿构造、散矿构造和储矿构造控制。根据地球化学信息识别主矿化阶段的成矿期构造，是矿产预测的关键，也是综合信息矿产预测图要解决的最重要问题。控矿构造有等级性和系列性，构造本身又是演化发展的，应通过不同类型矿化信息与不同等级矿产资源体及构造背景相关联，完成构造化探和构造重砂图件的编制。

（二）编图的一般要求

综合信息成矿预测图，是用地质、物探、化探、遥感等多种找矿信息标志，综合反映矿产控制因素，分布规律和找矿靶区远景的地质成果图件，它是在推断地质图、构造化探、构造重砂图件以及矿产地质图等基础上，通过图件的对比分析和区域控矿条件与矿化信息条件彼此关联而编制成的。综合信息矿产预测图是在三度空间成矿规律统计研究基础上编制的，能反映地表以下隐伏矿产分布情况，因而资源潜力的分布状况、找矿靶区的空间定位、基本的控矿规律和找矿标志以及对基础地质深化研究的主要结论，都应该反映到图面上来。从某种意义上讲，该图也是提高地质研究程度的综合性成果图。

编制中比例尺综合信息成矿预测图的过程为：①收集综合资料；②在地质先验前提下开展地球物理资料的解译；③进行遥感图像的解译；④以地质图件为基础，对航磁、重力、遥感解译结果进行关联，编制综合信息推断地质图；⑤编制汇水盆地网系图；⑥以地质为先验前提，进行重砂和化探资料的综合信息解译，编制构造重砂和构造化探图；⑦以典型矿田或矿床为模式，研究主矿化阶段综合信息特征，建立综合信息找矿模型；⑧运用综合信息找矿模型，以控矿地质体为单元，对各种中间性结果图件综合分析、相互关联，编制综合信息成矿规律图；⑨通过信息转换研究，建立简化找矿模型，用综合信息找矿标志圈定靶区，并将定量预测或综合分析的靶区资源级别标定在预测图上，最后编制成综合信息成矿预测图。

最终的综合信息成矿预测图要求表达如下内容：

1. 控制矿产体空间分布的综合信息标志。这些标志一般是地质、地球物理、地球化学和遥感地质综合性标志，是已关联研究后的控矿变量。要求这类标志表达要明显、突出。
2. 已知的矿产资源体（矿体、矿床、矿田），预测的找矿靶区。
3. 采用立体预测多层次表示法，表达三度空间控矿因素变化对矿产的控制规律。
4. 以大地构造纲要图为背景，表达矿床及各类矿化信息在主要地质构造发展阶段上的