

国家攀登计划项目  
85B - 34 专题成果

---

# 矿床密集区 预测的理论和方法

(以华北地台为例)

沈保丰 陆松年 杨春亮 著  
李俊建 毛德宝 李怀坤

地质出版社

国家攀登计划项目  
85B—34 专题成果

# 矿床密集区 预测的理论和方法

(以华北地台为例)

沈保丰 陆松年 杨春亮 著  
李俊建 毛德宝 李怀坤

地质出版社

· 北 京 ·

## 内 容 摘 要

本书是国家攀登计划项目“找寻难识别隐伏的大矿、富矿的新战略新方法新技术基础研究”(编号 85B—34)的专题研究成果。全书以初始地壳的特征、演化和成矿作用最佳耦合为主线,详细研究了胶东、小秦岭、夹皮沟、张宣等 4 个金矿床密集区的成矿特征、成矿过程中各种时间维的确定和成矿作用等;同时对目前成矿规模尚不清楚的鲁西、太行山北段和冀北等地区进行了金矿成矿预测。本书提出初始地壳的新概念和鉴别方法,为探讨矿床在空间上分布的不均一性和形成矿床密集区的物源提供理论依据;认为初始地壳金的丰度高、规模大,有利于形成金矿床密集区;提出研究区内、乃至华北地台金矿床形成时代具有多期性;总结了矿床密集区的形成条件和预测的 5 条准则,并对鲁西、太行山北段和冀北地区远景预测提出了意见。

本书可供从事矿床学、岩石学、地球化学、矿产勘查等领域的科研、教学、生产单位和主管部门的人员参考。

### 图书在版编目(CIP)数据

矿床密集区预测的理论和方法/沈保丰等著. —北京:地质出版社, 2000  
ISBN 7-116-02313-5

I. 矿... I. 沈... III. ①金矿床-矿床成因论②金矿床-成矿预测 N. P618.  
51

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2000) 第 27858 号

### 地质出版社出版发行

(100083 北京海淀区学院路 29 号)

责任编辑:白铁 赵俊磊 于春林

责任校对:党顺行 \*

北京印刷学院实习工厂印刷 新华书店总店科技发行所经销

开本: 787×1092 1/16 印张: 5.75 字数: 130000

2000 年 5 月北京第一版·2000 年 5 月北京第一次印刷

印数: 1—600 册 定价: 25.00 元

ISBN 7-116-02313-5

P·1735



(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页、脱页者,本社发行处负责调换)

# 前 言

我国矿产资源丰富，截至到 1998 年已发现矿产 173 种，其中 153 种有探明储量，发现并探明的矿产地 20 万多个，有探明储量的矿床 2.5 万处，探明的资源总量约占世界的 12%。矿产资源潜在总值占世界第 3 位，仅次于美国和俄罗斯。但我国又是矿产资源贫乏的国家，人均资源量很低，仅为世界人均占有量的 58%，占世界第 53 位，尤其是铜、金、银、铬、金刚石、钾盐等矿更为紧缺，有的不得不依靠进口，以解决国内经济建设的急需。

我国金矿资源丰富，成矿条件多样，分布广泛。除上海市外，各省自治区、直辖市均有黄金资源，目前已发现的金矿床（点）达 7000 多处，黄金矿山 1211 个，1998 年黄金产量达 172.8 t，1999 年为 169.1 t。是继南非、美国、澳大利亚和加拿大之后，列世界第五位的黄金生产国。截至到 1994 年底，我国各类金矿累计探明储量达 5415.6 t，保有储量为 4164.96 t。其中岩金为 2395.37 t，占总储量的 57.5%；砂金为 566.37 t，占总储量的 13.6%；伴生金为 1203.22 t，占总储量的 28.9%。但当前金矿资源也存在一些问题：①金矿资源地域分布不均匀，主要集中在东部和中部，而面积广阔，成矿条件较好的西部 9 省，金矿资源比例仅占 16%；②资源利用程度较高，探明储量不足。已探明储量的 90% 以上已被利用，不少老矿山出现资源危机；③保有的金矿储量中伴生金较多，由于伴生金是随主要金属矿开采时顺便提取，因而产量有限；④岩金矿床中深部储量和可露采储量较少，并且有一定比例的暂难选冶金矿资源；⑤已探明的金矿床规模以小型为主，大中型矿床较少。全国小型金矿床产地占全国矿床产地总数的 88%，大中型矿床仅占总产地总数的 12%，其中储量大于 60 t 的矿产地仅 5 处，占 0.54%；⑥勘探程度偏低，勘探深度较浅。在已探明的金矿储量中 A+B+C 级仅为 1264 t，占总量的 23.3%，D 级占 76.7%。

黄金工业是资源型产业，只有具备黄金资源才有黄金生产。目前，我国黄金资源不足，形势严峻，必然会影响黄金生产的持续稳定发展。国家攀登计划 B85—34“找寻难识别及隐伏的大矿、富矿的新战略新方法新技术基础性研究”中的 B85—34—02—02 专题“矿床密集区预测的理论和方法”的主要任务是：在华北地台选择若干金矿床密集区，通过以金为主成矿元素的终极源研究，查明以金为主岩石圈地幔中成矿元素的富集域，研究金矿床密集区内地质演化和成矿轨迹二者之间的最佳结合键，然后利用获得的规律去预测新的金矿床密集区，为扩大金矿资源，提供基础性理论依据。

矿床密集区预测的理论和方法是一项基础性、探索性的研究课题，至今国内外尚没有较为成熟的理论和具体预测方法。我们的研究工作始终贯穿着初始地壳的特征、演化和成矿作用最佳耦合这一主线，对成矿区域地质背景、成矿过程中各种事件时间维的确定、矿床的定位空间和成矿作用特征及区域异常预测准则等方面开展研究。选择华北地台的胶东、小秦岭、张宣、夹皮沟等金矿床密集区为研究重点，同时对目前成矿区的规模尚不清楚的鲁西、太行山北段和冀北地区开展成矿预测，以期地为地勘部门进一步开展地勘工作和工作部署提供地质依据。

在我们以往工作的基础上, 3年多来, 在对室内外所获得的资料进行全面充分整理和分析后, 编写了“矿床密集区预测的理论和方法”研究报告。研究报告是集体劳动的成果, 参加报告的编写人员有沈保丰、陆松年、杨春亮、李俊建、毛德宝和李怀坤, 最后由沈保丰、陆松年统编定稿。

本项目研究工作取得的主要成果有:

1. 金矿床密集区是产出在含金高的异常地幔区, 而非金矿床密集区则是在含金正常或亏损的正常地幔区

一般来说含金高的异常地幔区在岩石圈演化的早期就形成, 在以后的地质历史演化过程中, 使金元素再分配和富集。但如何确定含金高的异常地幔区, 既有其理论问题, 也有其具体的操作方法。近年来研究说明, 现代地壳物质 90%以上是在前寒武纪时期由地幔供给的, 显生宙只是在洋中脊和岛弧等少数线性活动带有地幔物质添加。确定地壳和上地幔的组分经常使用的方法是: 上地壳的组分是直接依据出露地表的岩石, 中下地壳的组分是根据出露大陆地壳内的麻粒岩或麻粒岩的捕虏体成分, 上地幔组成则是依据地幔岩成分或是以区域内的基性—超基性岩成分的资料为基础, 进行上地幔组成的估算。在本专题研究过程中, 我们将地壳分为 4 个类型。即初始地壳、活化再造地壳、沉积再造地壳和沉积自生地壳。初始地壳是地幔部分熔融的产物, 由于地幔的添加物主要是镁铁质—超镁铁质岩石, 所以这类岩石组成初始地壳的主体。因为初始地壳是壳幔分离的直接产物, 它的组分和金丰度应是较接近于当时的地幔。我们通过对前寒武纪时期形成的初始地壳元素组成的研究, 基本上可以反映一个地区现有地壳的整体元素组成。早前寒武纪初始地壳在地史过程中受到多次改造, 其中金元素受到多次的再分配。如果金只保留在初始地壳中, 不经受再分配, 则不可能富化成矿。在前寒武纪露头区, 通过地质和地球化学研究, 就能确定初始地壳的残留, 可以测定初始地壳的金丰度, 因而通过初始地壳金丰度的测定, 可直接探讨岩石圈地幔物质的不均一性。但初始地壳的成矿元素仅为初始矿源, 尚不形成矿床密集区。只有通过地质活化过程, 使初始地壳中的金活化、富集才能形成金矿床密集区。在地壳活化再造过程中金的总量受到初始地壳中金的总量制约。一个贫金的初始地壳, 在活化过程中很难形成大、中型金矿床, 而大规模的富金原始地壳, 在活化过程中必然有较大的几率形成金矿床密集区。

2. 在地质、地球化学详细研究基础上, 我们对胶东、小秦岭、夹皮沟和张宣等金矿床密集区内太古宙变质镁铁质岩石为主共 224 个样品, 进行了包括金元素在内的 19 种成矿元素的分析

样品由冶金部地球物理勘查院物化探研究所测定。采集的样品是远离矿区包括基性麻粒岩、斜长角闪岩和角闪岩。同位素示踪资料表明, 它们是古老初始地壳的残留, 为了避免高含量异常值的影响, 19 种元素中以金元素为标准, 剔除了大于标准差 3 倍的所有样品, 余下样品分区进行了均值等参数的计算。计算结果是, 胶东初始地壳金的丰度值为  $28.5 \times 10^{-9}$ , 小秦岭为  $45.1 \times 10^{-9}$ , 张宣为  $20.4 \times 10^{-9}$ , 夹皮沟为  $5.36 \times 10^{-9}$ 。它们的浓集系数分别为 13.0、20.61、9.32、和 2.45, 均高于地壳金丰度值。说明这些地区形成金矿床密集区不是偶然的, 而是有其物质基础的。当然金矿床密集区的储量多少, 不仅与初始地壳的含金量有关, 还与原始地壳的规模大小以及后期金元素的活化强度有关。

3. 成矿过程中时间维的确定

矿床是地壳演化特定阶段的产物,其定位时代对于矿床成因的确定,成矿过程各种地质事件时间维的标定和指导找矿方向均具有十分重要的理论和实际意义。我们重点研究的胶东、小秦岭、夹皮沟和张宣等地区金矿床的成矿时代,各家的认识也不一致。我们这次首先通过深入的野外地质调研和室内的详细分析研究,对采样的地质体有了充分的了解,然后采集合适的样品。测年的方法主要采用国内外较为先进和较准确的单颗粒锆石 U-Pb 法和 Sm-Nd 法。通过对近 20 件样品 60 组锆石 U-Pb 定年和 10 件岩石 Sm-Nd 定年测定,对胶东、张宣、夹皮沟、小秦岭等地区成岩成矿时代取得了一批新的资料,获得了新的认识。在张宣东坪金矿区内,获得石英二长岩单颗粒锆石 U-Pb 年龄为  $410.2 \text{ Ma} \pm 1.1 \text{ Ma}$ ,含金石英脉的成矿年龄为  $350.9 \text{ Ma} \pm 0.9 \text{ Ma}$ ,这说明东坪金矿床及其有关的碱性岩不是形成在燕山期,而是加里东晚期—华力西期。胶东金矿床密集区郭家岭和玲珑花岗岩体的单颗粒锆石的 U-Pb 年龄分别为  $144.1 \text{ Ma} \pm 0.8 \text{ Ma}$  和  $145.9 \text{ Ma} \pm 0.5 \text{ Ma}$ ,另有少量锆石的年龄为 2666 Ma 和 2689 Ma,可能是捕虏晶的年龄,反映了源岩的信息,同时在马家窑金矿床获得成矿年龄为  $2560 \text{ Ma} \pm 15 \text{ Ma}$ ,以上年龄信息反映在胶东地区金矿床形成有两个时期,即新太古代和中生代燕山期,但主要成矿期为燕山期。在夹皮沟金矿床密集区内获得八家子和二道沟矿石中单颗粒锆石的 U-Pb 年龄为  $2469 \text{ Ma} \pm 33 \text{ Ma}$  和  $2475 \text{ Ma} \pm 19 \text{ Ma}$ 。与成矿关系密切的板庙岭钾质花岗岩的单颗粒锆石 U-Pb 年龄为  $2505 \text{ Ma} \pm 14 \text{ Ma}$ ,说明夹皮沟金矿床密集区内金矿床主要成矿时代为太古宙末期,而显生宙—华力西期和燕山期有次要矿化的叠加。这些测年资料说明,在华北地台金矿床的主要成矿时代为燕山期,但由于其地质构造的特征,也需注意太古宙绿岩带同构造晚期的金矿床及与古亚洲洋褶皱带有关的加里东—华力西期的成矿年代。

#### 4. 金矿床的定位空间

胶东、小秦岭、夹皮沟、张宣等矿床密集区的矿床主要赋存在由太古宙花岗岩-绿岩组成的变质基底内。这些地区绿岩带的变质程度相对较高,从角闪岩相到低麻粒岩相,如张宣地区的绿岩带可称为高级变质绿岩带(或深变质绿岩带)。变质基底一般呈双层结构,下部主要为由变质镁铁质火山岩组成的斜长角闪岩-片麻岩组合,上部则由变质沉积岩组成的变粒岩、黑云片岩、磁铁石英岩,有些地区为孔兹岩组合,而金矿体主要产出在下部岩石组合中,产在斜长角闪岩-片麻岩组合内的金矿床主要受韧性剪切带的控制。在胶东地区,金矿体主要赋存在受强烈活化改造绿岩带所形成的壳源深熔花岗岩体的内外接触带中;在张宣地区,东坪式金矿床主要产出在碱性和偏碱性的后沟-水泉沟岩体内,而该岩体是太古宙英云闪长岩在深熔地质作用下部分熔融的产物;在夹皮沟地区,金矿体主要产出在由斜长角闪岩、角闪斜长片麻岩组成的,经过韧性剪切作用形成的退变质蚀变岩内。还需要指出的是变质基底形成以后,在以后的地史演化过程中,特别是构造抬升过程中,叠加在早期韧性剪切带之上的韧-脆性剪切带、退变质带或拆离滑脱带,往往是金矿体定位的有利部位。

#### 5. 提出了五条区域预测准则

即区域地质构造准则、成矿年代准则、以研究初始地壳丰度为基础的区域地球化学准则、岩浆活动准则和构造准则,这些准则的应用,有助于地质找矿工作。

6. 对目前地勘工作程度相对较低的鲁西、太行山北段和冀北进行金矿的区域成矿预测鲁西和胶东分别处于郯庐断裂的东西两侧。但鲁西初始地壳金的丰度,仅为胶东的 1/

3. 而且相对于胶东地区, 鲁西地区除沂沭断裂带南段西侧、特别在燕甘断裂的西南侧, 发育较好的中生代岩浆活动外, 在泰安一带中生代构造岩浆活动较弱, 因而不可能形成如胶东那样规模的金矿床密集区, 但也不排除在个别地段, 早期的变质变形和晚期中生代岩浆活动发育地段, 形成富矿地段或一定规模的金矿床。在太行山北段初始地壳金的丰度为  $5.5 \times 10^{-9}$ , 高于地壳丰度值 2.5 倍, 但同时 Cu、Pb、Zn、Ag 的丰度也较高。该区成矿条件较好, 无论是早期的变质变形作用, 还是中生代构造岩浆活动均很发育, 同时紫荆关等深大断裂通过本区, 因而有望成为以金为主, 伴生 Ag、Cu、Pb、Zn 的矿床密集区, 冀北地区初始地壳的金丰度仅为  $3 \times 10^{-9}$ , 但 Ag、Pb、Zn 的丰度值较高, 因而该区对形成金矿床不利, 而有可能成为 Ag、Pb、Zn 矿床密集区。

在国土资源部国际合作与科技司主持下, 对“矿床密集区预测的理论与方法”的研究报告进行了鉴定。他们对研究报告给予了很高的评价, 并提出了一些修改意见。作者们对评委们的辛勤劳动表示深切的谢意。

《矿床密集区预测的理论与方法》(以华北地台为例)一书是在原研究报告的基础上, 根据专家们的修改意见, 参考了近期发表的有关文献, 并对部分章节内容进行了补充、删减和修改而成。本书的具体撰写分工是: 前言, 沈保丰、陆松年; 第一章第一节, 沈保丰; 第一章第二、三节和第三章第四节, 毛德宝; 第二章第一、二、五节和第三章第二节, 杨春亮; 第二章第三节和第三章第一、三节, 李俊建, 第二章第四节, 李怀坤; 结语, 陆松年、沈保丰。

本专著今日能得以问世, 有赖于国土资源部国际合作与科技司、天津地质矿产研究所各级领导的直接指导和大力支持。在研究工作中曾得到项目负责人谢学锦院士、刘光鼎院士和课题负责人裴荣富院士的指导。河北地勘局、山东地勘局、河南地调一队、夹皮沟黄金矿业公司, 东坪金矿、秦岭金矿、张家口金矿等单位给予了大力的支持。天津地质矿产研究所同位素地质室林源贤、李惠民等研究员, 冶金部地球物理勘查研究院物化探研究所, 国家实验测试中心等单位承担了大量测试任务。天津地质矿产研究所计算机室进行了文字打印, 本书作者对以上的单位和专家表示深切的感谢。

# 目 录

## 前 言

|                            |    |
|----------------------------|----|
| 第一章 思路和方法                  | 1  |
| 第一节 国内外研究概况                | 1  |
| 第二节 研究基础                   | 2  |
| 第三节 研究内容和方法                | 4  |
| 第二章 胶东、小秦岭、夹皮沟、张宣等金矿床密集区特征 | 8  |
| 第一节 胶东金矿床密集区               | 8  |
| 第二节 小秦岭金矿床密集区              | 19 |
| 第三节 夹皮沟金矿床密集区              | 32 |
| 第四节 张宣金矿床密集区               | 42 |
| 第五节 金矿床密集区形成的基本条件          | 48 |
| 第三章 鲁西、太行山北段、冀北等区金矿成矿预测    | 56 |
| 第一节 预测准则                   | 56 |
| 第二节 鲁西地区                   | 61 |
| 第三节 太行山北段                  | 66 |
| 第四节 冀北地区                   | 69 |
| 结 语                        | 72 |
| 参考文献                       | 75 |
| 英文摘要                       | 79 |

# CONTENTS

## FOREWORD

|                                                                                                                                                   |           |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>CHAPTER 1 THOUGHT, WAYS AND METHOD .....</b>                                                                                                   | <b>1</b>  |
| Section 1 General Situation at Home and Abroad .....                                                                                              | 1         |
| Section 2 Basic Theory .....                                                                                                                      | 2         |
| Section 3 Investigate Contents and Research Methods .....                                                                                         | 4         |
| <b>CHAPTER 2 THE CHARACTERISTICS OF GOLD DEPOSITS IN JIAODONG ,<br/>XIAOQINLING , JIAPIGOU AND ZHANGXUAN METALLO-<br/>GENIC FOCUS-AREAS .....</b> | <b>8</b>  |
| Section 1 Jiaodong Metallogenic Focus-area of Gold Deposits .....                                                                                 | 8         |
| Section 2 Xiaoqinling Metallogenic Focus-area of Gold Deposits .....                                                                              | 19        |
| Section 3 Jiapigou Metallogenic Focus-area of Gold Deposits .....                                                                                 | 32        |
| Section 4 Zhangxuan Metallogenic focus-area of Gold Deposits .....                                                                                | 42        |
| Section 5 The Formative Postulate of Metallogenic Focus-area of Gold<br>Deposits .....                                                            | 48        |
| <b>CHAPTER 3 THE FORECAST FOR GOLD MINERALIZATION OF WES-<br/>TERN SHANDONG , NORTH PART OF TAIHANG MTS. AND<br/>NORTHERN HEBEI REGIONS .....</b> | <b>56</b> |
| Section 1 The Guide Line of Forecast .....                                                                                                        | 56        |
| Section 2 The Western Shandong Region .....                                                                                                       | 61        |
| Section 3 North Part of Taihang Mts. ....                                                                                                         | 66        |
| Section 4 The Northern Hebei Region .....                                                                                                         | 69        |
| <b>CONCLUSION .....</b>                                                                                                                           | <b>72</b> |
| <b>REFERENCES .....</b>                                                                                                                           | <b>75</b> |
| <b>ABSTRACT .....</b>                                                                                                                             | <b>79</b> |

# 第一章 思路和方法

## 第一节 国内外研究概况

到何处去找矿？最有利的成矿地区在哪里？矿床为什么在空间上和地质时间上分布既有趋群性，又有如此不均匀性和不连续性？这些都是地质学家，特别是矿床地质学家长期思考、探索和研究的课题。在区域成矿学的研究中，毕利宾等“年代-构造-岩相”成矿说，Hobbs、Samder 的线性构造或断裂构造成矿说，Silitoe 全球构造成矿说和 Abramovich 等成矿地球动力说，都从不同地区和不同侧面来研究成矿的特点，在成矿理论和找矿效果上都作出了各自的贡献。但有共同不足之处，就是对矿床分布的不连续性、非均匀性和区域金属的专属性考虑不够，因而结论存在明显的不足。

矿床是岩石圈的组成部分，它的形成和分布受岩石圈的组成、结构和运动、演化过程所控制，它的形成与深部地质作用——壳幔作用紧密相关，从成矿物质的聚集到工业矿床的形成和四维空间的产出，是一种概率极低的地质过程，是多种地质要素的匹配和最佳耦合的结果。

成矿地质背景的基础性研究历来受到地质学家的重视。近年来围绕成矿地质背景有 3 个方面受到了广泛的注意，即构造控制、成矿元素沉淀的物理化学条件和基底对成矿作用的制约。构造控制成矿的物化条件的研究，在成矿过程中是很重要的，但仅是成矿过程中的一个阶段，也就是成矿过程的末阶段。而对矿床形成过程中的源岩，也就是形成矿床终极源的重要性往往注意不够。Routhier (1980) 提出，一种金属的富集发生在某一金属域内（实际上是一个下延到地幔中的立体）的交会点上，它在漫长的历史过程中（长存性、继承性）成为某种“潜在金属”的承载体，而其他控矿因素对这种潜在金属起着显示标志的作用，而金属域本身存在可能归因于一些待查明的隐伏古老构造。Adams (1987) 在丹佛 Mckelvey 论坛的讲话中，认为今后 10 年是源岩研究的 10 年。Doe Bruce (1991) 也指出人们常忽视“源岩”对金属矿床形成的重要性；并认为对成矿过程“后端”（即源岩）的研究有助于提高找矿效率。No-ble 在研究美国西部矿床时，指出矿床具区域分带现象，如内华达州的金，亚利桑那州的铜，科罗拉多州、新墨西哥州北部及爱达荷州中部的钼，认为是上地幔金属原始不均匀分布的反映，深部矿源起了重要的作用。在我国近年来的研究表明，华北地台和扬子地台的成矿作用有明显的差异，华北地台广泛发育着金、铁、钼等矿床，扬子地台则富集钨、锡、铀、铜等资源，这清楚地说明了基底对矿产资源的制约作用。张本仁等 (1994) 通过对秦巴地区岩石圈（地壳和上地幔）元素丰度组成和热动力学状态的详细研究后，得出凡在区内形成优势矿产的元素（Mo、Au、Zn、Pb、Ag）均为本区上地幔中明显富集或相对富集的元素，而属于区域劣势矿产的元素 Cu，它在区域北部的上地幔中

则是明显亏损元素,因而认为区域地幔组成既决定着区域地壳组成的特征,同时也应决定区域成矿的特征。沈保丰等(1993、1994、1997)在详细研究华北地台太古宙绿岩带和金矿床地质后,认为作为地幔部分熔融的产物——绿岩与金矿床关系甚为密切。不同类型绿岩带的成矿元素和形成环境有明显的差别,同时也制约着金矿床的空间产出和规模。太古宙绿岩带不仅产出与之有关的同构造晚期初生型金矿床,同时在其形成后,受后期构造-岩浆的地质作用的活化改造,形成了显生宙的构造期后再生型金矿床。陆松年等(1995、1996、1997)在研究小秦岭、冀北和胶东等金矿床密集区与基底关系后,认为这些地区成矿元素的终极源来自岩石圈地幔,不同地区成矿元素的丰度有差异,虽然在后期的地质演化过程中,成矿元素的活化,并在有利成矿环境中形成矿床,但其规模大小则不一。他们把地壳划分为初始地壳、活化再造地壳,沉积再造地壳和沉积自生地壳4类,相应的成矿物质源也分成地幔储源(终极源)、初始成矿源、中间源和直接源等。裴荣富等(1993、1997)以华北地台北缘及其北侧成矿带为例,提出金属成矿省演化是地壳演化的特殊标志,金属成矿省演化是一切成矿因素的函数的新思想。

近些年来,地球物理研究的进展,已充分说明上地幔和下地壳的强烈不均一性。这些不均一性,表现为分布着不同规模、不同组分的一些巨大的地球化学块体,其中那些富集某些金属并容易被析出的地球化学块体,有可能成为矿床密集区的源岩。而这些巨大地球化学块体可能在区域岩石圈演化的早期就形成,随后的地质作用促使其块体内部金属的再分配。因而了解古老岩石的地球化学异常,确定深部地球化学块体和了解其地壳演化的历史,对于寻找浅部的、较年轻的矿床十分重要。

## 第二节 研究基础

矿床集中分布的现象或称分布的“趋群性”是地质学家们早已发现的重要成矿规律之一。许多概念术语都以不同的内涵表达了这一规律,如“成矿区(带)”、“成矿域”、“成矿省”、“矿床集中区”等,然而如何解释其内在的必然性却一直是困扰着矿床研究者们的大难题。由于其复杂,迄今为止已提出的许多理论或假设众说纷纭,莫衷一是,归纳起来主要有下列3种观点。

### 1. 矿源层(岩)-构造-热液三位一体说

这种观点是目前最为流行的一种看法,其基本的原理是把矿床在某一地区密集产出归因于这一地区有某一种或几种能提供矿质的岩石建造。这一观点的缺陷在于矿床密集区内往往有多种岩石建造产出,除了那些典型的层控矿床外,矿床的赋存往往对岩石建造没有特别的选择性,不同岩石建造之间的金丰度差异也不大,因此很难确定哪种岩石建造是矿源层(岩)。在实际的研究中,有的学者将金丰度高的岩石建造视为“矿源层(岩)”,而另一些学者则将金丰度低的也视为“矿源层(岩)”,因此这种对“矿源层(岩)”的推断往往具有随意性,不能令人信服。实际研究中还发现同一岩石建造在不同地区却表现出不同的矿化密度和矿化类型。如同属花岗岩-绿岩带的岩石组合,胶东和鲁西地区金矿储量上却有着天壤之别;同是燕山期的岩浆活动,在不同地区也表现出不同的矿化强度和矿化类型。这些现象也是一般的矿源层(岩)理论所难以回答的。

## 2. 地球化学省说

这种观点认为地壳乃至上地幔具有地球化学不均一性,因此地壳中不同块体之间各种元素的含量有高低之分。某些块体由于其固有地含有较高的某种或某些种元素,因而对这一种或这些元素的成矿就具有优势,如果其他条件合适的话就可以形成某种元素矿床密集区。这一理论比较成功地解释了在某些特定的区域内往往分布着众多不同时代、不同成因的某种矿床,成矿表现出继承性和变异性现象。但它的缺陷在于对地球化学省的形成过程和演化历史缺乏深入的研究,因而具有理论上的先验性和实践上的难操作性,如很难确定矿床密集区内岩石的高背景值是原始的还是后期矿化带入的。

## 3. 背景地质作用论。

这种观点认为矿床密集区的形成是某一特定的地质背景下一定地质作用过程的必然产物,成矿并不一定需要某种特别的矿源层(岩),只要物理化学条件适宜,就能成矿,成矿对围岩没有选择性。这种观点如:Kerrick等(1992)、Barley(1992)认为中温热液金矿床与会聚边缘构造体制的动力学过程有关,并认为包括金矿床在内的金属矿床的时间分布与超大陆周期性聚解历史相对应。Colvine等(1989)、Foster等(1993)和Kent等(1996)认为太古宙金矿床的形成与克拉通化最后阶段的地质演化有关。Oppliger等(1997)认为卡林型金矿化与热点作用有关。Peterson(1986)、Mckeag等(1990)认为浊积岩金矿床的形成与区域地温梯度和抬升速率有关,等等。这一理论的优点在于将成矿作用与背景地质作用结合起来,探索了成矿的动力学过程和成因机制,但缺点在于不能解释为什么矿床密集区的分布范围往往比同一背景地质作用发生的范围小。举例来说,环太平洋成矿带分布了众多的金矿床,但金矿床在整个带中的分布并非是均一的,而是成群集中产出的,应该说金矿床密集区与其周围贫金地体在中生代的动力学环境方面没有多大区别,何以在成矿上迥然不同?

以上3种观点各有其合理的部分,但也都存在着难以回避的缺陷。因此能否吸取其合理内核,建立起一套科学合理、适于操作的理论方法是我们提出问题的出发点和归宿。

首先我们认为地壳乃至岩石圈地幔在地球化学上是不均一的,因而地球化学省是客观存在的。这种地球化学的不均一性导源于地球早期壳幔分异和地壳形成过程。同位素地球化学和年代学资料表明大陆地壳的生长主要发生在前寒武纪时期(Reymer等,1988;Cordani等,1988),90%以上的大陆地壳是在前寒武纪时期生成的。由于早期地幔的不均一性和壳幔分异的动力学过程的多样性,使得由此产生的初始地壳也具有地球化学的不均一性。但真正由地幔分异形成的早期地壳由于后期内生和外生地质作用的不断改造已变得面目全非,原始特征破坏殆尽,仅以残体形式分散保留在各时代的花岗质岩石中,现在所能见到的地壳大都是初始地壳经过改造和再造所形成的再生地壳。因此,如果我们能追索到初始地壳,就可能从这些地幔分异物中获得岩石圈地幔的若干重要信息,进而可以确定地球化学省的性质和特征。

其次,我们认为除了那些确实是由地幔添加岩浆直接分异形成的矿床和同生矿床外,大多数后生热液矿床的形成确实需要矿源层(岩),而且这些矿源是地壳中已经存在的,它们是具有特定地球化学异常的初始地壳或其衍生物。需要说明的是,我们强调的矿源层(岩)与通常所指的某一岩石建造不同,而是指由初始地壳浓集元素所反映的岩石圈地幔的不均一性和地球化学省特征,即后面要详细说明了“终极源”和“初始源”。一个地区其初

始地壳某元素丰度愈高,那么这种元素的成矿潜力就愈大。

第三,我们强调地质背景和动力学过程在成矿中的作用,这种作用表现在提供了合适的物理化学条件,流体和构造空间。

上述3点构成了我们研究的理论基础,基于此可以建立起相应的研究框架,赋予相应的研究内容,并采取相应的研究方法。

### 第三节 研究内容和方法

根据上述研究理论基础,我们确定的研究框架和研究内容是:首先确定所要研究的矿床密集区内反映初始地壳特征的岩石建造,研究其地球化学特征,特别是成矿元素的绝对和相对丰度值,在此基础上讨论该地区整个地壳乃至岩石圈地幔的地球化学异常特征和成矿潜力。然后研究区域地质演化特征、成矿时代、成矿时的大地构造背景和地球动力学特征,探索成矿的物理化学条件和构造对矿床定位的制约作用。

#### 一、地壳类型的划分和初始地壳的识别

根据地壳的形成时代和形成地壳的地质作用特征,可将地壳划分为4个端员类型(陆松年等,1995、1996、1997),即初始地壳、活化再造地壳、沉积再造地壳和沉积自生地壳。

所谓初始地壳是指直接由地幔熔融分离出的地壳,其主要形成在前寒武纪,少量形成在显生宙的洋中脊和岛弧等线性活动带,另有少量是通过热点(或地幔柱)和壳下底侵作用添加到先存地壳中的新物质。活化再造地壳是先存地壳经过部分熔融而形成的新地壳。沉积再造地壳是先存地壳通过风化剥蚀和搬运沉积而形成的新地壳。而沉积自生地壳是由生物作用、生物化学作用和物理化学作用形成的新地壳。

地壳类型的判别主要根据组成地壳的岩石类型及其同位素和地球化学特征、年代学数据等。不难看出,沉积再造地壳和沉积自生地壳是由沉积岩或副变质岩组成的,而初始地壳和活化再造地壳是由岩浆岩或正变质岩组成的。初始地壳和活化再造地壳的区别表现在前者多由富镁铁质岩石组成,有时含少量由富集型地幔直接分异形成的长英质岩石;而后者主要由长英质岩石组成,有时含少量的富镁铁质岩石。初始地壳的U-Pb年龄和Sm-Nd等时线年龄及亏损地幔模式年龄的峰值应一致或接近,而活化再造地壳的亏损地幔模式年龄要大于或远大于U-Pb年龄和Sm-Nd等时线年龄。

#### 二、成矿物质来源

根据地壳类型及与成矿物质供给的关系,成矿物质来源也可划分为4种类型即终极源(地幔储源)、初始源、中间源和直接源(图1-1)。

##### 1. 终极源

地幔中的含矿元素统称为终极源或地幔储源。从理论上分析,地幔中成矿元素丰度不但在空间上不均一,而且在时间上也是变化的。这是由于壳幔、核幔不断处于分异之中,同时又存在着对流和交换。早期地幔由于分异出大量的镁铁质-超镁铁质岩石不断变得亏损,此后由于地壳物质通过拆离和俯冲不断进入地幔,又使地幔变得富集。此外,少量地核物质通过地幔柱也可到达地壳。由于壳幔分异在前寒武纪最为强烈,因此大量终极源成矿物质是在这一时期进入地壳的,在显生宙主要是通过板底垫托和地幔柱进入地壳的。

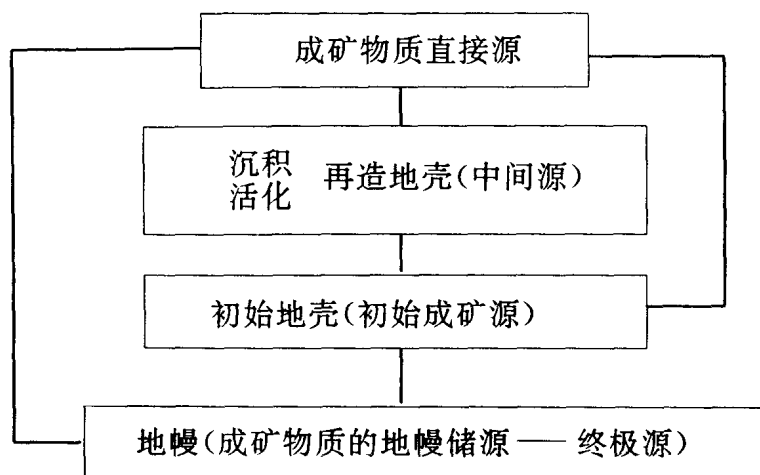


图 1-1 成矿物质来源分类

由地幔储源直接形成的矿床属幔源矿床。许多超镁铁-镁铁质岩石中的铜-镍矿、铂矿就属于此类。此时，地幔中的成矿元素既是储源，又是成矿物质的直接源。

## 2. 初始源

初始地壳中的成矿元素为初始源。初始地壳是地幔熔融的直接产物，其成矿元素类型和丰度应反映地幔的特征。由于地幔空间和时间上的不均一性从而导致了不同地区不同时代初始地壳成矿元素的差异，如太古宙形成的绿岩带由于其形成在核-幔强烈对流期，地核中高丰度的金进入地幔，最终在绿岩带形成中得到了体现。

初始地壳成为再造地壳的重要物源，在地壳的再造过程中金的总量受到初始地壳中金总量的制约。一个贫金的初始地壳，在活化过程中很难形成成群的大、中型金矿床，这叫做“巧妇难为无米之炊”。而大规模的富金初始地壳，在活化过程中必然有较大几率形成金矿密集区。

## 3. 中间源

赋存在活化再造和沉积再造地壳中的成矿物质构成中间源，它是初始矿源再分配的结果。与初始矿源丰度相比，中间源既可能贫化，也可能富化。

## 4. 直接源

为矿床形成直接提供成矿物质来源的矿源，称为直接源。由于成矿热液从直接源萃取成矿物质，因此与背景值相比，成矿直接源呈明显的亏损场特征。直接矿源的亏损程度及规模是预测具体矿床的重要标志。

从上述对成矿物质来源的分类中可以看到，在实际研究工作中“初始源”的研究是最为重要的，这是它承前启后的地位所决定的。由于终极源是目前科学手段甚难触及的，而中间源和直接源大都又难以确定，因此“初始源”就成了解决问题的关键。实际上，“初始源”不仅容易确定，而且最能反映地球化学省特征和成矿潜力。

在技术上，“初始源”的研究主要包括下列路径：首先对矿床密集区范围内的富镁铁质火成岩、变质岩进行研究，确定哪一种代表初始地壳；接着对代表初始地壳的岩石建造

(包括侵入岩的岩石包体)进行地球化学元素的研究工作,研究样品必须是远离矿区的,未有蚀变交代和强烈风化的;第三,研究成矿元素的丰度和浓集系数,进行成矿远景分析。一般地说,初始源的成矿元素丰度愈高、浓集系数愈大,成矿的潜力也就愈大。

### 三、地质演化历史中重要地质事件与成矿作用的耦合研究

矿床的形成是一定地质事件的产物,是与一定时代背景构造-热事件相联系的。由于地质演化的旋回性和节律性,成矿作用也具有幕式特征。在一个地球化学省或一个成矿密集区,背景地质演化是多期多阶段的,成矿作用也是多期多阶段的,两者如何对应是我们在研究成矿密集区时必不可少的内容。这一研究主要决定于我们对地质演化历史的分析,及对地质事件和成矿时代的精确定年。现代同位素地质年代学的研究进展为这一研究提供了可能,如蚀变或矿石矿物(如热液锆石、金红石、榍石、白钨矿、白云母、闪锌矿、辉钼矿、石英等)的 U-Pb、K-Ar、 $^{40}\text{Ar}$ - $^{39}\text{Ar}$ 、Rb-Sr、Sm-Nd、Re-Os、ESR、裂变径迹法年龄的测定,流体包裹体 Rb-Sr 年龄测定和单颗粒硫化物 Pb-Pb 法年龄的测定等。应当指出的是由于华北地台在后期遭受过多次的活化改造,导致了同位素系统的广泛重置,特别是易受热液活动改造的金矿床更是如此,因此目前我们所获得的大量成矿年龄有一些很可能是视年龄,我们称之为成矿时代的“异化现象”。正如兰斯·米勒等(1997年)指出的那样:“在(华北)基底隆起区通过地质年代方法确认太古宙的热液系统是困难的。所有隆起的地块都明显地遭受了一期或多期显生宙构造热变形的影响,这些热变形致使很多同位素体系发生重新调整。只有仔细运用矿脉(其主岩为太古宙高级变质岩)里碳酸盐做 U-Pb 法,或硫化物做 Re-Os 法测年,才有可能识别出太古宙的含金事件”。事实上,尽管从矿区尺度看,华北地台中的金矿床对赋矿围岩没有选择性,但从密集区的尺度看,金矿床相当大部分都产在具有双层结构的变质基底的下层结构中。即矿床多产于以斜长角闪岩-片麻岩岩石组合为主的变质岩分布区内。这种空间上的耦合关系不仅可能反映了物质来源的联系,而且很可能反映金矿床曾经过某种程度的早期预富集。这也说明早期成矿不仅是可能的,而且是必然的。

此外,还应注意到成矿省或矿床密集区的地质演化又是其更大一级单元地质演化的一部分。如我们在研究胶东、小秦岭等矿床密集区时,应该把它们与整个华北地台的地质演化联系起来,只有这样才能准确把握成矿省的地质演化史。从整个华北地台来看,地质演化至少经历过4个大的阶段:太古宙陆核的形成和焊接;吕梁期裂陷槽的形成、封闭和整个地台最后的克拉通化;华力西期西伯利亚和扬子地块分别与华北地块最后的拼贴;印支-燕山期太平洋板块向欧亚板块的俯冲和大规模的陆内造山运动等。每一个演化阶段由于其不同的动力学背景,因而形成了具有不同地质特征的金矿床。

### 四、成矿的物理化学条件和矿床定位机制研究

成矿机理和矿床定位是对矿床自身性质进行研究的范畴,是对矿床形成过程和细节的追索。它包括对成矿元素和矿物组合的研究、围岩蚀变过程中化学成分和同位素成分交换的研究、成矿流体的  $p$ - $T$ - $t$ - $X$  研究以及矿田和矿体构造研究等。特别是矿田和矿体的构造研究不仅可以阐释矿床形成机制,而且可以反映矿体的分布规律,指导成矿预测。

从胶东、小秦岭等矿床密集区矿田构造来看,有三类构造对矿床的定位是相当重要的:一是韧性和韧脆性的剪切带;二是伸展构造体系中的滑脱带;三是岩体的内外接触带。剪切带对金矿床的控制作用很长一段时间以来一直是金矿研究领域的热门课题,在控矿机理

研究方面已取得了相当多的成果，这里不再赘述，而与伸展构造体系、变质核杂岩有关的金矿化在我国研究的实例还不太多，除小秦岭之外，冀东和太行山北段这几年都有相当重要的发现，应引起足够的重视。

## 第二章 胶东、小秦岭、夹皮沟、张宣等金矿床密集区特征

### 第一节 胶东金矿床密集区

胶东花岗岩-绿岩地体位于华北克拉通的东部，为太古宙绿岩带发育区。西部以郯庐断裂为界与鲁西地体相隔，东部以五莲-荣城断裂为界与胶南地体相邻。本区属滨太平洋成矿带西部，中—新生代活动的大陆边缘带，是构造作用、变质作用、岩浆作用和成矿作用频繁活动地带。胶东是我国最重要的金矿床密集区，也是目前探明、保有、新增储量最大的成矿区。区内已探明金矿床有 50 多处，其中特大型金矿床储量大于 50~100 t 有焦家、新城、三山岛、阜山、台上、九曲、玲珑、大尹格庄、金青顶等处；大型金矿床（储量 20~50 t）有仓上、河东、河西、界河、望儿山、邓格庄、官庄、罗山等 8 处；中型金矿床有 15 处，其中大型、特大型金矿床的储量占总储量的 70% 以上。

近年来在胶东除焦家式、玲珑式金矿床类型外，在胶莱盆地东北缘发现了与滑脱拆离带有关的蓬家夼金矿床和产在盆地边缘断裂上盘莱阳群砾岩层间的发云夼金矿床，这更显示着胶东地区金矿床甚好的找矿前景。

#### 一、胶东地区早前寒武纪变质基底

胶东地区早前寒武纪地层包括太古宙胶东岩群和古元古代的荆山群/粉子山群。区内的早前寒武纪变质基底像小秦岭、张宣地区一样，具有双层结构特征。下层结构为胶东岩群，由斜长角闪岩-片麻岩组合的变质结晶地壳所组成，上层结构为荆山群，由富铝、富炭的变质沉积地壳组成，为一套孔兹岩系。虽然不像小秦岭那样，金矿床主要集中在下层结构中，但就本区两类结构对比，下层结构的金矿床仍多于上层结构。

##### 1. 下层基底结构的斜长角闪岩-片麻岩组合

胶东岩群自下而上包括唐家庄、齐山和林家寨等 3 个岩组。实际上胶东岩群作为地层单元是很勉强的，在整个胶东变质岩区，几乎 90% 以上为早前寒武纪花岗质片麻岩所占据，表壳岩呈包体形式赋存在片麻岩中，构成斜长角闪岩-片麻岩岩石组合。这一组合具有花岗岩-绿岩带的特征，与小秦岭和张宣地区相似。以包体形式赋存在片麻岩中的表壳岩主要由变质的镁铁质火山岩组成，虽然露头区表壳岩岩性有所差异，但要建立具有上、下层位关系的地层系统是比较困难的。