

# 小秦岭深部金矿 成矿规律与成矿预测

XIAOQINLING SHENBUJINKUANG CHENGKUANGGUILU YU CHENGKUANGYUCE

冯建之 岳铮生 肖荣阁 等著



地质出版社



ISBN 978-7-116-06410-2



9 787116 064102 >

定价：48.00元

# 序

黄金由于其特殊的物理化学性质，密度大、导电性好、化学性质稳定、硬度小，而成为一种特殊的贵金属矿产资源，传统应用于装饰品和作为国际货币储备，具有“乱世保值盛世升值”的功能，在历次金融危机时期，黄金都起到了稳定市场的保值作用。现代科技的发展，金作为良导体，在电子工业具有更广泛的用途。由于黄金这种特殊的价值，黄金一直受到青睐，成为国家的重点勘查矿种，这对从事黄金地质工作的人们，无疑是巨大的鼓舞。

小秦岭地区是我国重要的金矿密集区和黄金生产区，受到人们的密切关注，特别受到地质界的重视。河南地质矿产勘查开发局第一地质调查队长期从事该区金矿地质勘查和研究工作，取得了突出的找矿效果，为我国金矿地质、科研、生产作出了重要贡献，获得国家功勋地质勘查队的称号，其找矿成果获得国家科技进步一等奖。

随着浅部金矿资源的枯竭，深部成矿预测成为地质工作者面前实现找矿突破的重要任务，在国家地质调查局、河南省国土资源厅及地质矿产勘查开发局的支持下，第一地质勘查队总结该区的找矿经验和成矿理论，不畏困难开展深部找矿探索又取得了新的找矿成果，为我国黄金生产作出新的贡献。

《小秦岭深部金矿成矿规律与成矿预测》是一个由河南省国土资源厅立项支持的一个科研项目。项目组织实施体现了产学研相结合、老中青相结合的一个研究项目，项目的目标是总结以往的黄金找矿经验和成果，进行系统深入研究，建立找矿模型，上升到理论认识，进一步指导深部找矿勘探。项目达到了预期研究目的，实现了出人才出成果的目标。

小秦岭金矿是产于太古宇变质岩中的金矿，历来有花岗-绿岩型金矿、构造蚀变岩型金矿、石英脉型金矿及燕山期岩浆热液成矿的认识。

该著作本着尊重前人的研究成果，更注重事实的科学态度，进行了区域地层岩性、构造、地球化学、地球物理及矿化特征的系统研究，以现代勘查测试技术为手段，以现代成矿理论为指导，获得了创新性的成果认识，对该区区域找矿有重要指导意义。

研究认为该区太华群基底提供了成矿物质，燕山期构造岩浆活动作为热动力源，脆韧性构造剪切带作为矿体就位空间形成了“三位一体”的成矿模式；构造蚀变岩控

矿模型为“一街五巷三层楼”模型，系指矿化显示为一条主矿脉、多条次级矿脉和三级蚀变分带。

该成矿模式和找矿模型的建立对该区找矿勘查有重要指导意义，找矿要确定主矿脉，不同的蚀变带要寻找不同的矿产，明确了该区的找矿目标和找矿方向。

本人有幸参加了该项目成果鉴定，并高兴为本书作序，以推广该项目的研究成果和研究经验，期望我国黄金地质找矿事业取得更大突破！

Handwritten signature in black ink, reading '张康' (Zhang Kang).

2009.12 于北京

# 目次

## 序

|                    |      |
|--------------------|------|
| 第一章 绪论             | (1)  |
| 第一节 研究意义           | (1)  |
| 第二节 研究区范围和研究任务     | (2)  |
| 第三节 小秦岭地区地质及金矿科研概况 | (2)  |
| 第四节 研究现状           | (4)  |
| 一、成矿规律、成矿模式、成矿预测   | (4)  |
| 二、矿床地球化学研究         | (6)  |
| 第五节 主要研究内容及方法      | (7)  |
| 第六节 取得的主要成果        | (10) |
| 第七节 本书编写情况         | (10) |
| 第二章 区域地质背景         | (12) |
| 第一节 区域构造环境         | (12) |
| 一、变质核杂岩体           | (12) |
| 二、褶皱               | (13) |
| 三、断裂               | (16) |
| 四、变质核杂岩及边界断裂的控矿作用  | (21) |
| 五、变质核杂岩及边界断裂的演化    | (21) |
| 第二节 区域地层           | (23) |
| 一、下基底岩石单位          | (23) |
| 二、上基底岩石单位          | (26) |
| 三、主要变质岩            | (28) |
| 第三节 岩浆岩            | (32) |
| 一、前中生代岩浆岩          | (32) |
| 二、燕山期岩浆岩           | (32) |
| 三、脉岩               | (34) |
| 第四节 区域变质作用         | (35) |
| 一、下基底区域变质作用        | (36) |
| 二、上基底区域变质作用        | (37) |
| 三、区域退变质作用          | (38) |
| 四、结晶基底变质岩系的变质期次    | (38) |
| 五、混合岩化作用           | (39) |
| 第五节 区域矿产           | (39) |
| 一、金属矿产             | (42) |
| 二、非金属矿产            | (43) |
| 第三章 矿源岩            | (44) |



|                               |       |
|-------------------------------|-------|
| 第一节 太华群变质岩 .....              | (44)  |
| 一、岩石学及岩石化学 .....              | (44)  |
| 二、微量元素地球化学 .....              | (49)  |
| 三、稀土元素地球化学 .....              | (50)  |
| 第二节 基底变质岩含矿性 .....            | (53)  |
| 一、金的区域丰度 .....                | (53)  |
| 二、变质岩中钼的丰度 .....              | (54)  |
| 三、金在变质岩中的分配及其与微量元素的关系 .....   | (54)  |
| 第三节 岩浆岩及含矿性 .....             | (56)  |
| 一、岩浆岩类型及岩石学 .....             | (57)  |
| 二、岩浆岩岩石化学 .....               | (61)  |
| 三、岩浆岩构造环境分析 .....             | (62)  |
| 四、稀土元素地球化学 .....              | (62)  |
| 五、微量元素及其含金性 .....             | (64)  |
| 第四章 控矿构造特征和与成矿的关系 .....       | (67)  |
| 第一节 控矿断裂构造特征及与成矿的关系 .....     | (67)  |
| 一、控矿断裂构造和金矿形成时间 .....         | (67)  |
| 二、控矿断裂构造的基本特征及成矿期成矿阶段 .....   | (68)  |
| 三、控矿断裂中矿体厚度与矿化强度的关系 .....     | (75)  |
| 第二节 中矿带控矿断裂构造特征及与成矿关系 .....   | (81)  |
| 一、糜棱岩带基本特征 .....              | (81)  |
| 二、糜棱岩带的长度及走向变化对矿床、矿体的控制 ..... | (82)  |
| 三、含金剪切带倾角变化对工业矿体的控制 .....     | (82)  |
| 第三节 北矿带控矿断裂构造特征及与成矿关系 .....   | (89)  |
| 一、含矿断裂的一般特征 .....             | (89)  |
| 二、糜棱岩带分布特征和走向变化与矿化的关系 .....   | (91)  |
| 三、含矿断裂倾角变化与矿化的关系 .....        | (91)  |
| 第四节 北中矿带控矿断裂构造特征及与成矿关系 .....  | (93)  |
| 一、含矿断裂的一般特征 .....             | (93)  |
| 二、含矿断裂分布与走向特征 .....           | (93)  |
| 三、含矿断裂倾角变化与矿化作用的关系 .....      | (94)  |
| 第五章 典型矿床 .....                | (96)  |
| 第一节 中矿带文峪、东闯铅金矿区 .....        | (96)  |
| 一、区域地质 .....                  | (96)  |
| 二、矿区地质 .....                  | (96)  |
| 三、围岩蚀变 .....                  | (103) |
| 四、矿石学特征 .....                 | (103) |
| 五、金、铅的富集规律 .....              | (115) |
| 第二节 中矿带杨寨峪金矿区 .....           | (116) |
| 一、区域地质概述 .....                | (116) |
| 二、矿区地质 .....                  | (117) |
| 三、围岩蚀变 .....                  | (126) |

|                           |       |
|---------------------------|-------|
| 四、矿石学特征 .....             | (127) |
| 第三节 北矿带大湖铝金矿区 .....       | (135) |
| 一、区域地质背景 .....            | (136) |
| 二、矿区地质 .....              | (136) |
| 三、围岩蚀变 .....              | (146) |
| 四、矿石学特征 .....             | (148) |
| 第四节 北中矿带红土岭金矿区 .....      | (157) |
| 一、区域地质背景 .....            | (158) |
| 二、矿区地质 .....              | (158) |
| 三、围岩蚀变 .....              | (159) |
| 四、矿体特征 .....              | (162) |
| 五、矿石学特征 .....             | (164) |
| 第六章 矿石学与围岩蚀变 .....        | (178) |
| 第一节 矿石学 .....             | (178) |
| 一、矿石矿物成分 .....            | (178) |
| 二、矿物标型特征 .....            | (178) |
| 三、矿石地球化学 .....            | (189) |
| 四、成矿物理化学 .....            | (193) |
| 第二节 矿化、蚀变类型分带及其强度分带 ..... | (194) |
| 一、不同矿化类型和强度的水平分带 .....    | (194) |
| 二、矿化类型和强度的垂向分带 .....      | (195) |
| 三、控制分带因素 .....            | (200) |
| 四、近矿围岩蚀变分带 .....          | (201) |
| 五、蚀变带主要元素和微量元素的变化规律 ..... | (202) |
| 六、矿化、蚀变分带模型 .....         | (213) |
| 第七章 区域矿床成因与成矿模式 .....     | (214) |
| 第一节 成矿地质地球化学背景分析 .....    | (214) |
| 一、区域构造背景 .....            | (214) |
| 二、元素地球化学异常及其空间分布规律 .....  | (215) |
| 三、花岗-绿岩中金的赋存状态 .....      | (217) |
| 第二节 区域矿床成因 .....          | (220) |
| 一、成矿物质来源 .....            | (221) |
| 二、成矿流体来源与成矿物理化学 .....     | (227) |
| 三、金的迁移富集 .....            | (236) |
| 四、矿体就位 .....              | (237) |
| 五、矿床成因及区域成矿模式 .....       | (238) |
| 六、控矿模型 .....              | (238) |
| 第三节 区域找矿预测与找矿标志 .....     | (239) |
| 一、找矿预测 .....              | (240) |
| 二、找矿方法 .....              | (240) |
| 三、地球化学异常标志 .....          | (245) |
| 四、地球物理异常标志 .....          | (250) |

|                                   |       |
|-----------------------------------|-------|
| <b>第八章 深部隐伏矿体的定位定量预测</b> .....    | (253) |
| <b>第一节 小秦岭地区深部找矿前景</b> .....      | (253) |
| 一、关于深部找矿问题 .....                  | (253) |
| 二、小秦岭潜在金矿资源总量 .....               | (253) |
| 三、小秦岭深部找矿的可能性 .....               | (254) |
| <b>第二节 深部隐伏矿预测标志及预测找矿模型</b> ..... | (255) |
| 一、主要预测标志 .....                    | (255) |
| 二、预测找矿模型 .....                    | (256) |
| <b>第三节 深部隐伏矿找矿靶区预测及工程验证</b> ..... | (257) |
| 一、中矿带 .....                       | (257) |
| 二、北矿带 .....                       | (259) |
| 三、北中矿带 .....                      | (262) |
| <b>结语</b> .....                   | (264) |
| 一、主要成果认识 .....                    | (264) |
| 二、存在的问题 .....                     | (266) |
| <b>主要参考文献及资料</b> .....            | (267) |
| <b>图版照片</b>                       |       |



# 第一章 绪 论

## 第一节 研究意义

“黄金实质上是人类所发现的第一种金属”（马克思，《政治经济学批判》），“早在新石器时代（约一万年到四千年前）人类已认识了黄金”（《中国大百科全书》1982）。一般认为，早在没有文字记载的古代人类，就已认识、开发和广泛利用了黄金。

在我国，黄金的利用至少在四千年前。小秦岭金矿的发现与开采历史悠久，从有记载的史料看，始于战国时期。《山海经》记载，少华山（即华山）西，黄山（渭南东南）“其阳多赤金”。宋代《宋会要辑稿·金科》写到，致和三年，蒋彝给皇帝奏章中说“陕西阌乡县（在潼关与灵宝之间）绍圣三年（1096年）金课以七百两为额”。宋代的课金额是产量的十分之二，据此推断当时小秦岭年产金已达3500两<sup>①</sup>（约110 kg）。小秦岭金矿矿区东蹄子沟摩崖石刻记载：“景泰二年六月二十日起开矿三百余眼”，说明在1451年的明朝已进行了大规模开采。

黄金之所以被最早发现和大规模开发，是与其物理化学性质密切相关的。

金的化学性质十分稳定，黄色，强金属光泽，相对密度为19.32（20℃），熔点1064.43℃，摩氏硬度2.5，良好的延展性，良热导体、良电导体。易与银、铜、铂族金属等形成合金。金的绚丽性、延展性和稳定性决定了它被人类早期发现和利用。

金的化学性质决定了其广泛的用途，博伊尔（1984）将金的用途分为三个时期，公元前一千年之前，为装饰与装潢时期；1916年之前为货币时期；1950年以后为金的工业时期。

黄金在工业中的应用，主要在电子、电力和航空、航天工业中，而且其应用领域还在不断扩展之中。

因为黄金既具有一般商品具有的使用价值，同时，又具有一般商品所没有的特殊的交换价值。因此，个人持有的黄金往往是财富的象征。一个国家黄金储备多少，不但表示一个国家的经济发展水平；同时，也反映一个国家经济运行安全程度。为此，世界各国都在加快金矿的勘查与开发。

尽管我国对黄金的开发和应用历史悠久，但是用现代科学指导的黄金勘查与开发，是在1949年之后才实行的。特别是改革开放以来，随着国民经济的发展和人们生活水平的提高，进一步促进了我国金矿地质的发展，到20世纪末，至少已发现和肯定了8个重要的金矿密集区，它们是：

- （1）胶东金矿密集区；
- （2）冀东金矿密集区；
- （3）河北省宣化—赤城金矿密集区；
- （4）小秦岭金矿密集区；
- （5）滇黔桂金矿密集区；
- （6）陕甘川金矿密集区；
- （7）袁牢山老王寨金矿密集区；
- （8）新疆南天山萨瓦亚尔顿超大型金矿区。

---

① 一两等于31.25克。

此外,还有吉林夹皮沟、河南熊耳山、鲁西、内蒙古大青山—乌拉山等金矿密集区,这些金矿密集区,不但构成了我国金矿的主要类型,控制了我国金的主要储量,也提供了我国黄金的主要产量。

自1964年发现小秦岭金矿以来,在长达40多年的时间里,先后有十余个地勘单位,二十余个矿山、科研院校在该区开展了以地质找矿、金矿开发为中心的地质、科研工作,积累了丰富的地质资料。

截至目前,在小秦岭金矿田(河南),共发现金矿脉和含金蚀变构造带600余条,已经详查和勘探的矿脉约80余条。探明大型金矿床5处,中型矿床10处,小型矿床20余处,获得黄金工业储量400余吨。占全省总储量的55%以上。先后建成文峪、秦岭、大湖、枪马等大中型国有矿山数十座。矿山生产能力 $200 \times 10^4$  t/a,年产黄金三十余万两(约9.4 t)。年创产值逾二十亿元,极大地促进了当地经济的发展。河南省黄金产量连续20年保持全国第二位,主要得益于小秦岭的黄金生产。

小秦岭地区金矿的大规模开发,始于20世纪80年代初,经多年的强力开发,矿田地表和浅部已查明资源量已近枯竭,不能满足生产需要,原有矿山企业部分处于停产状态,部分处于半停产状态,为数不多的矿山企业维持正常生产。

为了摆脱困难局面,人们不得不寄希望于矿田中深部的找矿。因此,探索中深部矿体的分布规律,及早查明小秦岭金矿田深部资源潜力,不但对该类金矿的成矿有重要的理论意义,而且对金矿的勘探也有重要的指导作用,同时可以引导矿山企业的投资方向,充分利用现有矿山的生产能力,促进当地经济持续、稳定、健康发展。

## 第二节 研究区范围和研究任务

现代地理上的小秦岭称为华山山脉,小秦岭是习惯上的叫法,属于秦岭山脉北缘的一个分支。其范围西起陕西省华山,东到河南省灵宝市的西涧河,北以陕西省潼关、河南省灵宝市之南的山麓为界,南为陕西省洛南县巡检司和河南省灵宝市朱阳镇以北的山区。山脉主脊沿华山、老鸦岔、娘娘山呈近东西向分布。海拔约600~2400 m,属强烈切割的侵蚀构造低—中山地形。

这次研究仅限于河南省境内的小秦岭地区,地理坐标为:东经 $110^{\circ}22'30'' \sim 110^{\circ}51'00''$ ,北纬 $34^{\circ}21'46'' \sim 34^{\circ}30'00''$ 。东西长约45 km,南北宽10~20 km,面积约480 km<sup>2</sup>。本区涵盖了小秦岭金矿田的大部。

“小秦岭深部金矿成矿规律与成矿预测”是河南省国土资源厅2006年设立的地质矿产科技攻关项目[(2006)26409],承担单位是河南省地质矿产勘查开发局第一地质调查队(简称河南地调一队),主要任务是总结小秦岭地区地质勘查、矿山勘查成果,建立深部隐伏金矿立体找矿指标体系与找矿模型,提出新的矿山勘查选区,指导验证工程。本书就是在该项目成果的基础上完成的。

## 第三节 小秦岭地区地质及金矿科研概况

前曾述及小秦岭地区在我国的唐代和明代曾进行过大规模金矿开发,之后直到1949年没有本区金矿开发的任何信息。1956~1958年河南省地质局秦岭区测地质大队完成了1:20万洛南幅区域地质调查,其重砂扫面在本区发现了金的重砂异常,但未引起重视。1961年河南省地质局豫08队为了找磷,在本区主要水系进行了重砂测量,发现有金。后由豫01队(河南省地质矿产勘查开发局第一地质调查队)综合整理成“小秦岭地区1:5万重砂取样分布图”,圈出了金的分散晕。以此为依据河南省地质局于1964年在小秦岭地区进行了以找金为目的的“会战”,发现一批矿点和矿

化点,随即由豫01队转入普查、详查和勘探。至1970年,金硐岔、文峪、东闯、老鸦岔、枪马峪等金矿的评价工作基本完成,提交了本区第一批金资源量。

从1975年开始,小秦岭地区开始了新一轮勘查,仍然由河南地调一队承担,至1995年,先后完成了杨寨峪60号脉(东西段)、竹峪(灵湖)、青崖子、四范沟(东、西段)、淘金沟、和尚洼、金渠沟、红土岭、马家凹、大湖、藏马峪普查、详查或勘探。提交黄金资源储量近150 t。其中获奖报告主要有:

- (1) 河南省灵宝县杨寨峪金矿60号脉东段详细勘探,地质矿产部找矿一等奖(1985)。
- (2) 河南省灵宝县杨寨峪金矿60号脉西段详细勘探,地质矿产部找矿二等奖(1985)。
- (3) 河南省灵宝县竹峪金矿详细勘探,地质矿产部找矿一等奖(1985)。
- (4) 河南省灵宝县四范沟金矿勘探,地质矿产部找矿一等奖(1988)。
- (5) 河南省灵宝县大湖金矿详查,地质矿产部找矿一等奖(1993)。
- (6) 河南省灵宝市四范沟矿区东段金矿勘探,地质矿产部找矿三等奖(1996)。
- (7) 河南省灵宝市金渠沟金矿勘探,地质矿产部找矿三等奖(1995)。
- (8) 河南省灵宝市和尚洼金矿勘探,地质矿产部找矿三等奖(1998)。
- (9) 河南省灵宝市淘金沟金矿详查,地质矿产部找矿三等奖(1997)。
- (10) 河南省灵宝市小秦岭金矿田北矿带金矿普查,河南省地矿局找矿特等奖(2005)。

1980~1996年,武警黄金部队第九支队进入小秦岭地区工作,先后完成仓珠峪、长安岔、樊岔、东闯、老鸦岔、文峪、出岔沟等矿区评价和补充勘探,提交和控制黄金储量近百吨。

2007年以来,河南地调一队实施了杨寨峪、文峪、大湖、灵湖等金矿部级危机矿山接替资源勘查项目和义寺山、桐沟金矿省级危机矿山接替资源勘查项目。

本区金矿地质研究工作主要在20世纪80年代以后,仍以河南地调一队为主进行,其中较重要的成果有:

- (1) 小秦岭金矿地质勘查科学研究的重大突破与发展,获国家科委(1989)科技进步一等奖。
- (2) 河南省灵宝县小秦岭阳平金矿地球化学特征研究,获河南省科技成果二等奖(1984)。
- (3) 河南省小秦岭金矿主要控矿条件及盲矿预测,获地质矿产部科技三等奖(1992)。
- (4) 河南省灵宝县小秦岭金矿成矿条件与富集规律研究(与成都地质学院合作),获河南省科技成果三等奖。
- (5) 河南省小秦岭地区大比例尺中深部金矿盲矿预测研究,获地质矿产部科技三等奖(1994)。
- (6) 小秦岭地区花岗岩-绿岩地体金矿地质特征及找矿靶区预测(与西北有色地质研究所合作),获地质矿产部科技二等奖(1997)并出版了专著。
- (7) 小秦岭金矿田构造格局及韧性剪切构造控矿作用研究(与原西安地质学院合作)。
- (8) 东秦岭地区有色金属、贵金属成矿规律研究,获国家科委科技二等奖(1988)。
- (9) 小秦岭金矿资源总量预测(与河南省地科所合作)。

同时,原河南省地质科学研究所以及沈阳地质矿产研究所、南京大学、中国科学院地质研究所、长春黄金研究所、武警黄金地质研究所、冶金部地球物理勘查院物化探研究所等单位,均独立或参与了小秦岭金矿研究工作。

通过研究深化了对花岗岩-绿岩地体的认识,分析了金的富集与剪切带的关系;提出了“三位一体”的控矿机制;深化了金的成矿机理;预测了中深部矿体。事实证明,地质科研与找矿实践密切结合,是地质工作中一个重要的环节。



## 第四节 研究现状

小秦岭金矿田以新太古代典型花岗-绿岩建造为主体。产于该类建造的金矿在我国乃至世界都是重要的金矿床类型,其储量和产量都位于金矿之首。为此,自20世纪70年代以来,国家投入大量资金,在区内进行了基础地质、矿产地质及科研工作,探明了一批大、中、小型金矿床,也积累了大量各类地质资料,为这次研究工作奠定了基础。

### 一、成矿规律、成矿模式、成矿预测

成矿规律是指矿床形成条件、形成作用及过程以及矿床形成的时间、空间分布和控制因素。成矿模式则是成矿规律的高度综合和概括,它是表达矿床研究成果,反映矿床成矿规律的重要形式。成矿预测则是应用成矿模式预测新的矿床。三者紧密相连,成矿规律是基础;成矿模式是规律的提高;成矿预测是模式的应用和检验。

#### 1. 成矿规律

成矿规律是指矿床的空间关系、时间关系、物质共生关系以及内在关系等规律的综合,制约矿床时空分布规律的因素除形成矿床元素本身所具有的地球化学特征外,应当是控制成矿的地层、构造、岩浆活动、区域地球化学背景、含矿岩系建造和岩性等。1913年法国地质学家L de Launay首次提出了金属成矿省的概念,意指在地壳的特定区域内产生异常或特定类型矿床。

1994年,我国地质学家裴荣富提出了金属成矿省的重点内容,随后又发展为从地质历史演化分析入手,深化研究背景、成矿场、成矿相和矿床这四个成矿等级体制耦合性规律的动态方法。

翟裕生(1998)提出了区域成矿学的概念,认为划分成矿区域应根据区域地质地球化学特征和演化历史相结合的原则。如塔里木—华北成矿域,华北板块南缘金、钼、铜、铅、锌成矿带。

1979~1998年,程裕淇、陈毓川提出并论述了成矿系列、成矿系统的概念。将矿床研究拓展到区域时空结构和演化领域。

成矿学说的提出往往和新的地质理论紧密相连。目前,人们一般按空间规模,把成矿区域划分为全球性成矿域、成矿区(带)、矿带和矿田4个级别。

小秦岭作为一个矿田大多数人都接受,而对于矿田内矿床的形成机制则在认识上存在着较大分歧。

1984年,王亨志、栾世伟等认为:矿田内各金矿床成矿物质来源具多源性特点,但晚燕山期花岗岩浆的侵入活动,对成矿元素和矿化剂的局部聚积起了主导作用。提出成因类型为中—低温中深岩浆热液矿床。目前,该观点被多数人接受。

1983~1989年,王定国等提出金矿床的成因类型属沉积变质—岩浆热液叠加改造矿床。

1986年,姚宗仁根据成矿元素的地球化学演化,提出金矿床的成因属层控型金矿。

1989年,林宝钦等通过构造、变质作用、矿床、同位素地质及数学地质的研究,提出本区多数矿床属层控的变质热液类型。成矿时间为1760 Ma。

20世纪80年代末,随着韧性剪切带的识别,提出了剪切带型金矿的观点(胡正国等,1988;白万成等,1995)。

20世纪90年代初,胡受奚等根据板块构造理论,提出了侧向源成矿的观点。

1992~2002年,陈衍景等根据板块构造理论,提出小秦岭金矿为华北板块与扬子板块碰撞造山过程的产物,为造山带型金矿。

20世纪90年代中期,胡正国等(1994)、张进江(1998)根据本区金矿床划分为石英脉型、蚀变构造岩型和蚀变千糜岩型金矿的事实,把构造—岩浆—成矿作用联系起来,提出变质核杂岩与

拆离构造有关的成矿观点。

## 2. 成矿模式

成矿模式并没有十分严格的定义。一般的理解为矿床成因的综合和概括。可以定义为精心组织的、用于描述矿床类型基本属性的信息系统。

成矿系统模型化起始于 20 世纪 50 年代。当时在苏联, 区域成矿规律研究和预测中已流行地槽成矿模型; 在局部预测中, 各种对象模型, 包括预测普查组合的确立, 都与一般的成矿模型有密切的关系。

美国在 1973 年前后已出现了模型化思想, 为 1983 年出版的《矿床模型》奠定了基础。

我国是世界上研究矿床成矿模式最早的国家之一。20 世纪 60 年代初, 首次提出石英脉型黑钨矿“五层楼”垂直变化规律的描述性模式。1974~1976 年, 陈毓川提出了宁芜玢岩铁矿成矿模式。它是我国区域成矿研究的代表性成果, 使我国成矿模式研究跨入世界行列。

随后又提出了矿床勘查模型(找矿模型)的概念。它是表述目标矿床及其对一定勘查技术产生预期效果的模拟体系。近年来, 找矿模型的研究发展迅速, 已成为成矿预测研究的重要途径。

小秦岭地区各种矿床成因类型大多同时提出了成矿模式。这些模式多偏向于理论的描述和概括。找矿模式则多与物探、化探及遥感资料相结合, 如王定国等“小秦岭矿田金矿原生晕组分分带及异常模式”(1989)。黎世美等“小秦岭区域(矿田)和局部(矿床内隐伏矿)找矿(预测)模型”(1996)。此外, 还有方维萱“小秦岭金矿化(床)密集区花岗岩-绿岩型找矿模型”(1993)。

## 3. 成矿预测

成矿预测是矿产勘查中重要的组成部分, 目前, 新矿床的发现主要借助于新技术、新方法的应用, 以及综合成矿预测指标所建立的各种找矿模型。随着找矿难度的日益增大, 各国学者都加强了对成矿预测理论、方法的研究以及成矿模式、找矿模型的建立。这些工作在指导找矿上已经取得重大突破, 如 1970~1976 年发现的加拿大超大型赫姆洛金矿床, 澳大利亚超大型奥林匹克坝铜、铀、金、稀土矿床等。

成矿预测大致可分为区域预测和局部预测, 我国习惯上分为大、中、小比例尺成矿预测。矿床深部隐伏矿预测属局部大比例尺预测。目前, 区域预测发展的趋势是以全球性和大区域性成矿规律和成矿模式的研究为基础, 预测矿带和矿区。而局部预测发展的趋势是逐步模型化, 并力求从三维空间对矿床、矿体进行立体定位定量预测。

20 世纪 80 年代初, 苏联的学者创造性地建立了针对一些主要的有色金属和贵金属矿床类型的预测-普查对象模型(克里夫佐夫, 1988; 博罗达耶夫斯卡娅等, 1989)。这类模型反映的是一套在给定工作阶段(比例尺)可以查明的矿化要素(标志)。预测和普查对象(矿田或矿床)的模型被视为相应区域地质构造及其深部构造的一部分。在矿区范围内划分能够决定矿体在矿区构造、含矿构造-建造组合及其要素中位置的要素总体。并在此基础上确定一套勘查方法。此方法在应用中取得了显著效益。

美国地质调查所在 20 世纪 70 年代中后期, 总结出一种以成矿模型为中心的“三部曲”矿产资源评价方法(Singer, 1975)。

第一部: 根据矿床类型及其地质特征圈定成矿远景区。

第二部: 借助于品位-吨位模型估计金属量及其矿石的某些特征。

第三部: 估计圈定的各成矿预测区内每种矿床类型的个数。

这一方法在美国和加拿大得到了推广应用。其实际内容与我国开展的成矿预测工作大致相同。

我国的成矿预测工作起步晚, 但发展快。经过了 1979 年开始的成矿远景区划和 1983 年开始的矿产资源总量预测两个时期。从 1986 年起, 开始了新一轮成矿远景区划和大比例尺成矿预测工作,

均取得了较好的找矿效果。

20 世纪 80 年代以来,我国地质找矿面临新的形势,逐步由找地表矿为主转为预测、寻找隐伏矿为主的阶段。许多专家指出,普查找矿进入新阶段后,必须开展“科学找矿”,以新的理论为指导,以综合信息为依据,以三维空间为对象,以定量评价为目标。并结合我国实际提出了一些新的成矿预测理论、原则和方法,如矿床系列成矿模式,综合信息预测理论、方法,以及找矿靶区优选法,立体地质填图等,从而使我国的成矿预测走在世界前列。

从 20 世纪 80 年代起,不同学者在小秦岭地区先后分别以矿床地球化学,矿物流体包裹体,控矿断裂构造为重点,开展了矿床预测研究,取得了一定成果。黎世美等从 1989 年开始到 1994 年,在区内进行了系统的大比例尺区域和矿床深部隐伏矿定位定量预测,采用地质、物探、化探、遥感综合信息研究法,建立了综合信息预测找矿模型,开展了三维空间的定量预测,并及时地进行了钻探、坑探工程验证。在预测理论、方法和找矿效果上取得了一定的突破。

从上述可以看出,我国成矿预测工作还不普遍,但在矿床、矿体预测的深度和方法上走在世界前列。在世界上,成矿预测中矿体垂向空间定位仍是有待攻关的难题。

与此同时,数学模拟方法在成矿预测中的应用已成为重要的方法。该方法自 20 世纪 50 年代中期开始,经过初始阶段(50~60 年代),完善阶段(60~70 年代),实用阶段(70 年代以后),发展至今已基本成熟。

在我国,成矿预测中应用数学方法始于 1975 年,赵鹏大等在宁芜盆地用数理统计方法预测铁矿。1977 年,朱裕生等在安徽庐枞盆地预测铁矿。

进入 20 世纪 90 年代以后,地理信息系统在矿产勘查中的推广应用,使数字矿产勘查逐渐成为现实。相继出版了一批应用数学方法于矿产资源预测的著作。如郭光裕等(2002)《脉状金矿床深部大比例尺统计预测理论与应用》,书中介绍了许多成功的案例。

小秦岭地区使用了德尔菲法、主观概率法、地球化学块体法等,进行了资源总量预测。

## 二、矿床地球化学研究

### 1. 成矿物质来源

矿源层的概念,自 C. 奈特于 1957 年提出后,引起极大注意。所谓矿源层,系指一个地区某一富含成矿物质,并通过各种方式富集成矿的岩层层位。如黑色岩系中的 Cu、Pb、Zn 等元素含量高,绿岩系中金含量高。虽然其金属组分尚未达到工业品位,但当地质环境改变,特别是在物理化学条件变化时,有用组分发生某种迁移,可在有利的构造部位重新聚集、沉淀而成矿。

其实,早在原始侧分泌说提出时就有了矿源层的认识,如 1655 年伍德华特提出:现在见于地层本身,垂直裂隙中的金属和矿质,全部来源于这些地层本身;这些金属和矿质从地层中被提出来转运到裂隙中。1861 年亨特进一步提出了侧分泌说,指出沉积地层中的金属经后来的变质作用,被溶液转入地层的裂隙中形成矿脉。

在这种观点的影响下,逐步出现了叠生成矿、再生成矿和层控矿床等理论。后来有热液矿床(季克俭,1980)三源成矿模式,即由矿源、水源和热源成矿。21 世纪初又提出了“地球化学块体的概念”(谢学锦,2002)。

20 世纪 90 年代以后,矿源层的概念逐渐淡化,主要是由于微量金测试技术提高,岩石含金量测定值普遍降低,各类岩石的含金量差别不大,因而认为不存在特定的矿隙岩。但由于矿源是成矿的物质基础,仍然受到不少人的关注,也是矿床成因研究的关键问题。

矿源层的研究在小秦岭地区就是对太华群的研究,自 20 世纪 80 年代以来,对太华群的研究十分活跃,成果很多。多数成果认定太华群是矿源层,主要根据是:太华群金剪含量高,发现了金矿成矿物质与太华群存在内在联系而认定的,并存在金富集成矿的地质、物理化学条件。同时还以同位

素和成矿流体的研究成果为佐证。

## 2. 同位素

20 世纪 70 年代,我国放射性同位素地质和稳定同位素地质研究有了迅速发展,推动了地质体、构造热事件形成和发生的时代及成矿中时间关系的研究。同时,对成矿流体的性质、来源等研究有了进一步发展,使成因复杂的矿床得以认识,使单一岩浆流体成矿的认识发展为岩浆流体、变质流体、大气降水流体等多来源、多成因混合流体成矿的新认识,揭示了成矿流体和成矿物质的多源性。

小秦岭地区同位素研究以黎世美等的资料较丰富,内容较系统,观点较明确,是当前最全面的资料。

## 3. 成矿流体

岩石圈流体活动的过程实际上是矿物、岩石、矿石、矿床及矿床系列形成的过程,越来越多的成矿事实表明大型、超大型、巨型矿床的形成与岩石圈内流体的大规模长距离运动有关。因此,成矿流体研究一直是矿床研究的前沿。不同地质作用条件下形成不同的流体类型。一般认为,中高温流体一般与岩浆作用,中深区域变质作用有关;而中低温流体一般属沉积作用或中低级变质作用的产物。流体研究的对象是矿物晶格缺陷中的包裹体,它是古流体的保真样品。矿床地球化学可以揭示成矿流体演化规律,而成矿流体演化与地质构造作用有关。

随着研究方法和手段的不断完善,成矿流体及矿床地球化学研究越来越成熟,成为矿床学研究的必要内容和手段。也是揭示成矿物质演化、迁移、定位的重要方法。

在小秦岭地区,栾世伟、黎世美、王亨志等均对成矿流体进行了研究,并取得了成果。

# 第五节 主要研究内容及方法

深部预测找矿研究是依据已知矿床浅部、中深部的地质特征研究,总结规律,建立预测模型,开展深部成矿预测。成矿预测研究的基本内容包括:①成矿地质建造研究;②成矿构造研究;③矿化特征及成矿作用研究;④成矿地球物理和地球化学研究;⑤建立预测模型,开展定位定量预测,圈出找矿靶区;⑥开展钻探、坑道工程验证。

## 1. 含矿建造研究

本区金矿产于花岗-绿岩带中。不管国内还是国外,产于绿岩带中的金矿都是最主要的金矿类型,华北克拉通主要金矿均产于绿岩带中。因此对绿岩带的研究一直是我国金矿研究的重要内容。

B. J. Skinner (1979) 和 Plant (1990) 认为,许多金属元素内生成矿需要预富集,特别是那些地壳丰度低于  $10 \times 10^{-6}$  的元素(如 Sn、Ag、Au 等),在萃取形成矿床之前需要金属储集层(矿源层)。它们往往构成地球化学省。

小秦岭绿岩带研究始于 20 世纪 80 年代,主要有康春华(1988)、李俊建(1991)、林宝钦(1992)、栾世伟等(1986)、闫竹斌(1985)、黎世美等(1994)、张荫树等(1983)、姚宗仁(1986)、郭抗衡等(1981)。

这些研究对深入分析认识绿岩带作出了贡献,由此认定绿岩带为金矿成矿的矿源层。本次研究在以上资料的基础上将主要从地层学、矿物学、地球化学等方面综合分析绿岩带的基本特征及其与金矿成矿的关系,全方位分析研究绿岩带作为矿源层的本质特征。

与此同时,对岩浆成矿建造进行研究,在过去的研究中不少研究者对小秦岭地区的岩浆岩做过工作,如王学志(1985)、秦国群(1987)、陈衍景(1988)、黎世美(1994)等。这些研究对岩



浆岩在成矿中的作用进行了讨论。本次在充分研究和利用上述资料的同时, 将从岩体特征、岩石特征、岩石地球化学特征及侵入构造体系等方面, 对与成矿关系密切的燕山期花岗岩进行分析研究, 重点是岩体与成矿关系的研究。

## 2. 成矿构造研究

本区金矿均赋存在断裂构造中。深部矿床(体)预测在本质上是推断未知矿体的空间位置, 因此, 成矿构造的研究是矿床预测基础工作的关键内容。

小秦岭地区构造活跃, 发育多期构造、岩浆活动。该区基本构造格局为伸展体制下形成的非对称型“拆离—变质核杂岩构造”, 它由中部古老变质核杂岩, 南北边界断裂和变质核杂岩内部拆离(滑脱)构造三部分组成。

南、北边界分别以区域性小河断裂和太要断裂为界, 变质核杂岩形成轴向近东西向展布的复背斜。复背斜自北而南依次为五里村背斜、七树坪向斜、老鸦岔(主)背形、庙沟向斜、上杨寨背形等次级褶皱。在背斜轴部、向斜槽部及两翼发育了多组多类型的含金韧性、脆韧性剪切带, 这些剪切带控制了本区金矿的空间分布和产出位置。成矿构造研究主要包括区域断裂、褶皱对成矿带、成矿断裂空间分布的控制, 含矿断裂构造走向和倾向上产状变化对矿床、矿体的控制及矿脉内不同裂隙系统对不同矿化阶段的控制等研究。

## 3. 矿化特征及成矿作用研究

矿化特征及成矿作用研究是矿床预测研究的核心内容, 也是开展矿床预测的基本条件。

矿化特征及成矿作用研究是通过典型矿床进行的。区内选择杨寨峪、文峪(含东闯)、大湖、红土岭等矿床进行剖析。在四个矿床中红土岭为中型矿床, 其他均为大型矿床。文峪为铅金矿床; 大湖为钼金矿床, 其他为金矿床, 四个矿床分别位于中矿带、北中矿带和北矿带, 有比较好的代表性。

矿化特征研究主要是矿床和矿体空间特征研究, 如矿体和矿带(群)形态、规模、产状及空间组合特征, 以及矿体物质成分研究。如矿石矿物成分及特征, 矿物组合、主要组分、伴生组分、共生组分及主要组分赋存状态、空间分布及含量变化。

成矿作用研究主要是金的搬运形式、沉淀的物理化学条件、成矿方式研究, 成矿期次研究, 成矿流体特征研究, 蚀变特征研究及热液地球化学障研究。其中蚀变特征研究应予特别重视, 蚀变是成矿流体特征的矿物表达。因此, 是成矿流体特征研究的实体, 对于矿床深部预测十分重要。其主要研究内容是: 蚀变带范围、规模, 蚀变矿物组合, 蚀变期次及强度等。

## 4. 深部预测研究

深部预测是本次研究的主要内容, 要在前述各项研究的基础上进行。主要采用类比预测、趋势外推预测、成矿物理化学变化预测及地质异常预测等方法。

(1) 类比预测: 相似类比理论是地质学研究中应用最广泛的理论。它用于矿床预测的理论基础是: ①一定的矿床或矿床系列赋存于一定的地质环境中, 矿床类型相似, 它们生成的地质环境也相似; ②一定类型的矿床在其生成的地质环境中, 必然有一组最佳控矿地质标志与之相伴生, 矿床相似, 最佳控矿地质标志组合相似; ③同类矿床不同部位(如矿体头部、中部、尾部)往往有一组独具特征的最佳控制地质标志。这些独特的最佳控矿地质标志不同, 往往指示矿体的不同部位。

小秦岭金矿田位于华北陆块南缘, 岩石为太古宙花岗-绿岩。近东西向含矿断裂, 褶皱发育, 金矿床主要为石英脉型, 具深源特征。与国内外同类矿床地质条件相似。已有资料说明, 这类典型矿床矿体大多有倾向延伸大的重要特征, 根据相似性类比理论, 小秦岭深部的矿化应该存在。

(2) 趋势外推预测: 小秦岭目前施工的钻孔深度多为 300 ~ 500 m, 少数钻孔深度大于 1000 m。

开采深度在 900 m 以内。与国内外同类矿床相比, 尽管小秦岭地区金矿床规模偏小 ( 目前已知), 但其延深不可能只有 900 m。这已为杨寨峪等金矿深部钻孔见矿所证实。该见矿钻孔控制矿脉垂深大于 1600 m, 标高约 420 m, 控制斜深大于 2200 m, 见矿构造带厚度较大, 矿化较好。另外, 小秦岭主要金矿脉控制标高也说明其较大的延深, 本区矿化标高最高为 2193 m ( 文峪 S505), 最低为 -50 m ( 大湖 F<sub>5</sub>), 总体高差为 2243 m。同一条矿脉控制的矿化高差最大为杨寨峪 S60 矿脉 (1695 m), 其次为大湖 F<sub>5</sub> (1050 m), 文峪 S505 (841 m)、S530 (827 m)。这些数据说明, 小秦岭金矿的延深比较大, 深部新的矿化富集段是存在的。

(3) 成矿物理化学预测: 成矿物理化学条件的变化可以反映深部矿化信息。通过成矿热液温度梯度、压力梯度、浓度梯度及元素对比值变化可以指示矿液源方向及矿液运移途径、矿体赋存部位, 给深部矿化定位预测提供重要依据。

(4) 地质异常预测: 地质异常理论是地质学研究中广泛应用的方法之一。在矿产勘查和预测中, 地质构造异常, 地球化学异常、地球物理异常成为重要依据。

为了达到预测深部矿体的目的, 采集了各类样品。样品测试主要由中国地质科学院地球物理地球化学研究所 ( 以下简称物化探所) 承担, 河南省地质矿产勘查开发局第一地质调查队实验室 ( 以下简称河南地调一队实验室) 承担了部分样品的微量元素测试和化学测试。同位素测定由国土资源部同位素实验室承担。光片、薄片鉴定由中国地质大学 ( 北京) 矿床与勘探教研室承担。物化探所测试的岩石化学元素分析方法及技术参数见表 1-1。河南地调一队实验室微量元素测试和化学测试的分析方法及技术参数见表 1-2。

表 1-1 物化探所分析方法及精度表

| 分析项目                                                                                                    | 分析方法               | 单位               | 检出限  | 合格率/% |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------|------|-------|
| Au                                                                                                      | 无火焰原子吸收光谱法 (AAN)   | 10 <sup>-9</sup> | 0.2  | 100   |
| Ag                                                                                                      | 等离子体质谱法 (ICP-MS)   | 10 <sup>-9</sup> | 20   | 100   |
| B                                                                                                       | 发射光谱法 (ES)         | 10 <sup>-6</sup> | 2    | 100   |
| Be                                                                                                      | 等离子体质谱法 (ICP-MS)   | 10 <sup>-6</sup> | 0.5  | 100   |
| Cd                                                                                                      | 等离子体质谱法 (ICP-MS)   | 10 <sup>-9</sup> | 30   | 100   |
| Co, Cs, Cu, Ga, Li, Sc, Th,<br>Ce, La, Y                                                                | 等离子体质谱法 (ICP-MS)   | 10 <sup>-6</sup> | 1    | 100   |
| F                                                                                                       | 离子选择性电极 (ISE)      | 10 <sup>-6</sup> | 100  | 100   |
| Hf, U                                                                                                   | 等离子体质谱法 (ICP-MS)   | 10 <sup>-6</sup> | 0.2  | 100   |
| Nb, Ni                                                                                                  | 等离子体质谱法 (ICP-MS)   | 10 <sup>-6</sup> | 2    | 100   |
| Ba, Cr, Ti, V, Zr, Rb, Sr                                                                               | 压片法 X 射线荧光光谱 (XRF) | 10 <sup>-6</sup> | 5    | 100   |
| Nd, Gd, Ho, Lu, Dy, Er, Eu,<br>Tb, Tm, Sm, Yb, Pr, Ta                                                   | 等离子体质谱法 (ICP-MS)   | 10 <sup>-6</sup> | 0.1  | 100   |
| Mo, W                                                                                                   | 等离子体质谱法 (ICP-MS)   | 10 <sup>-6</sup> | 0.3  | 100   |
| SiO <sub>2</sub> , Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , TFe                | 熔片法 X 射线荧光光谱 (XRF) | 10 <sup>-2</sup> | 0.1  | 100   |
| Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , FeO                                                                    | 容量法                | 10 <sup>-2</sup> | 0.1  | 100   |
| MgO, CaO, Na <sub>2</sub> O, K <sub>2</sub> O, MnO,<br>TiO <sub>2</sub> , P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | 熔片法 X 射线荧光光谱 (XRF) | 10 <sup>-2</sup> | 0.05 | 100   |
| 烧失量                                                                                                     | 电位法                | 10 <sup>-2</sup> | 0.1  | 100   |