

中国大规模成矿作用和大型矿集区预测研究(编号: G19990043207)成果
《中国地质调查局: 中国花岗岩重大地质问题研究》(编号: 200113900018)成果

小秦岭—熊耳山地区 金矿特征与地幔流体

卢欣祥 尉向东 董 有 于在平 常秋玲 著
张冠山 刘树林 叶安旺 索天元 晋建平

地质出版社

中国大规模成矿作用和大型矿集区预测研究(编号: G19990043207) 成果
《中国地质调查局: 中国花岗岩重大地质问题研究》(编号: 200113900018) 成果

小秦岭-熊耳山地区 金矿特征与地幔流体

卢欣祥 尉向东 董 有 于在平
常秋玲 张冠山 刘树林 叶安旺 著
索天元 晋建平

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

本书通过对小秦岭-熊耳山地区金矿地质特征,成矿时代,金矿物质组成,自然金成色变化,成矿物质来源,成矿流体的成分、性质、运移、沉淀机理,以及大量的硫、铅、氢、氧和氩、氦同位组成特征的系统示踪研究,运用秦岭造山带的板块构造演化及地幔柱地幔流体成矿理论,首次提出小秦岭-熊耳山地区金矿是印支期秦岭造山带向华北板块陆内俯冲时,在前沿挤压、后缘滞后拉张、伸展构造耦合作用的动力学机制下,地幔柱和岩石圈拆沉,地幔上隆,使地幔流体上涌,含矿流体在不同序次的构造带组成的构造网络中运移和沉淀成矿。成矿与燕山期花岗岩无关,成矿作用由印支期开始,之后有燕山期叠加,构成完整的秦岭中生代成矿作用旋回,并成为中国东部中生代成矿大爆发的重要组成部分。本书首次明确提出的构造耦合作用、岩石圈拆沉、地幔流体和印支期成矿的新思维,不同于传统的地层-构造-花岗岩三位一体成矿模式,对深入认识本区金矿成矿规律和进一步普查找矿具有重要科学意义。

本书资料丰富、内容翔实,图文并茂,信息量大,可作为大专院校、科研院所和从事金矿地质勘查的地质工作者参考。

图书在版编目(CIP)数据

小秦岭-熊耳山地区金矿特征与地幔流体/卢欣祥等著.
—北京:地质出版社,2004.12
ISBN 7-116-04235-0

I. 小… II. 卢… III. 秦岭—金矿床—矿床成因
论 IV. P618.51

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2004) 第 110320 号

XIAOQINLING XIONGERSHAN DIQU JINKUANG TEZHENG YU DIMAN LIUTI

责任编辑:张新元 孙亚芸

责任校对:黄苏晔

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路 31 号,100083

电 话:(010) 82324519 (邮购部); (010) 82324573 (编辑室)

网 址:<http://www.gph.com.cn>

电子邮箱:zbs@gph.com.cn

传 真:(010) 82310759

印 刷:北京长宁印刷有限公司

开 本:787mm×1092mm¹/₁₆

印 张:8.75

字 数:210 千字

印 数:1—600 册

版 次:2004 年 12 月北京第一版·第一次印刷

定 价:25.00 元

ISBN 7-116-04235-0/P·2522

(凡购买地质出版社的图书,如有缺页、倒页,脱页者,本社出版处负责调换)

前言

地球内部流体作用的研究是当代地学研究的一个重要的前沿课题。由于地球内部流体及其与成岩、成矿的关系具有巨大的理论与实践意义,国际地学界把它提高到一个空前的高度并将之列为优先研究的领域,其投资强度已基本相当或超过对固体地质的资助强度。最早人们仅仅狭义地把水作为流体,而现今流体具有十分广泛的涵义。它不仅包括水,而且包括挥发系统的 CO_2 、 C_xH_y 、H-卤素、S、N 等。现在已经清楚,流体不仅存在于整个地壳的各个层位,而且在地幔中也有大量的流体,如呈络合物状态的挥发组分 OH、H、N、卤素、S、He、烃类、 CO_2 和其他稀有气体,它们通过岩浆或火山活动和地幔排气作用,被带到地壳或者进入气圈、水圈和生物圈。这些流体无疑是地球内部及其表层最为活跃的因素,据研究,地球内部的流体运动可以携带大约一半的内部能量,这就意味着流体对地壳内部的物理与化学及其动力学状态有着决定性的作用和影响。流体不仅使壳-幔中物质和能量发生传输、交换,再循环,而且直接影响和制约着地壳内部结构、地质作用过程、反应动力学和壳幔相互作用等。业已证明,流体运动和作用过程控制着地壳中热和物质的分离,如岩浆的产生、运移和侵入或喷发,变质作用和造山作用期间大量的岩石化学蚀变,岩石变形尤其脆韧性的转换,金属的原始浸滤、搬运和沉淀,烃类的次生运移、浓集和圈闭,元素的地球化学循环,同位素系统的调整等,流体都起着重要的作用。因此,流体又是能把地球内部各种地质作用过程相互联系起来,从整体进行研究和认识的关键。在地球深处,物质主要以流体的形式运动,而且以巨型热地幔柱上升流和冷的地幔柱下降流为主要形式的对流运动,并支配着岩石圈的构造形成和演化及成矿作用的发生。

对于矿床来说,了解矿床的形成过程不仅是当前矿床研究的首要任务和前沿课题,而且是矿床评价和勘查的重要基础。几乎所有的金属矿床类型,其形成过程与金属从源岩的活化、原始渗滤、矿质运移、金属的沉淀聚集和堆积成矿等关系密切,成矿过程主要是由流体的运动和作用完成的。地质流体是联结矿源岩、成矿地质背景和矿体发育场所三者的纽带,流体作用则是贯穿整个矿床形成过程的主要控制因素。所以流体对成矿具有非常重要的主导效应。流体大规模的聚集和循环,控制着许多大型-超大型矿床(或密集区)的形成,矿床的形成是通过化学元素浓集的一种化学运移过程,所以成矿作用是通过流体运移来完成的。造山作用则可以控制着流体系统的演化,进而也控制着许多矿产的形成。如果有两种流体发生混合,如上部地壳的受地形驱动的流体和地球深部的流体,在不同流动域界面上发生流体成分的混合,对矿床的形成具有十分重要的作用,这种流体的混合大大增强了矿床的形成潜力,并使流体中的金属元素沉淀下来形成矿床。从当前矿床研究的发展态势看,流体的研究不仅是矿床预测和评价的重要基础和前沿课题,而且可以为勘查和寻找深部矿、隐伏矿,以及更有效地开采现有矿床提供极有价值的定量信息。

小秦岭-熊耳山地区位于华北板块的南缘和秦岭造山带的交接部位,是现今秦岭造山带的最北边界,是我国十分重要的金、钼多金属成矿带和矿产基地。这里大、中、小型金矿密布,矿床类型齐全,金总储量在全国名列前茅,金产量更具举足轻重的地位。长期以来一直受到国内外金矿专家的瞩目,研究者纷至沓来,对其进行了长期卓有成效的研究,并有不少专著问世,提出了不少假说和成矿模式,无疑对地质勘查和找矿工作起到了积极

的作用。但是时至今日,占主导地位的仍然是二十世纪六七十年代形成的以岩浆期后热液成矿理论为基础的地层(矿源层)-构造(剪切带)-花岗岩(矿源或热源)的传统认识,研究重点仍然是固体岩石和矿物,对地质作用的探讨主要集中在温度、压力等物理化学条件及与花岗岩关系的研究中。对其成矿机理,特别是矿液矿质的来源、产生、运移、沉淀研究较弱,尤其缺乏对成矿流体和把矿床纳入区域地质演化整体作用中的研究和探索,虽然增加了不少测试数据,由于基本学术观点的主线一直没有改变,在地质找矿中也未有新的重大突破。现有的找矿工作仍然是就矿找矿,而不是先进的理论找矿。事实上,大量的研究成果和地质事实对上述模式已经提出了挑战。为深入揭示金矿的形成过程、机理和规律,从本质上揭示金矿成矿的真谛,有必要以20世纪90年代发展起来的作为地学前沿的地球内部流体(地幔流体)及其地质作用理论,对小秦岭-熊耳山地区金矿重新进行探索和研究,这便是本书的基本目的。

本书初稿由翟裕生院士、肖庆辉研究员等组成的专家组进行了评审。评审认为:本书较系统地探索了含矿流体与金矿的关系,特色是将金矿成矿时空结构与区域构造包括深部构造的演化相联系,体现了当代成矿学的前沿研究方向,书稿中地幔流体成矿、印支期成矿等一系列新观念、新认识,对于开拓学术思路、深化认识本区区域成矿规律、开拓本区找矿新思维、推进新一轮找矿突破具有重要意义,是一部具有前沿学术水平的优秀科研著作。出版前,根据近年的研究成果对初稿进行了修正和补充,本书基本反映了该区研究的最新成果。

参加本书编写及相关工作的有:卢欣祥,尉向东,董有,于在平(西北大学),常秋玲和张冠山、刘树林、叶安旺、索天元、晋建平(灵宝市地矿局),其中卢欣祥编写了前言、第一章、第二章、第六章、结论,和第三章、第四章、第五章部分内容,董有编写了第三章、第四章和第六章的部分内容,尉向东编写了第五章和第一章、第三章、第四章的部分内容,于在平、常秋玲、张冠山、刘树林、叶安旺、晋建平、索天元等参加了部分章节的编写,插图由张辉同志用计算机绘成,全书最后由卢欣祥统编定稿。

我们冒昧地把多年的研究成果、心得著述成文并把它出版,旨在为进一步提高小秦岭-熊耳山地区金矿的研究程度提供基础资料,并以此与矿床学界的同仁共同进行探索。我们相信,作为研究本区的一种新的学术思想,本书对进一步开拓小秦岭-熊耳山地区金矿的地质找矿和成矿规律研究,一定会发挥其积极的作用。我们希望今后会有更多的研究者关注这一课题,共同为地质勘查与找矿工作做出更大的贡献。同时我们为能够对今后的工作提供一个进一步研究的基础而高兴。

在本书出版之际,我们十分感谢国家973项目“中国大规模成矿作用和大型矿集区预测研究”(编号:G19990043207)和中国地质调查局“中国花岗岩重大地质问题研究”项目(编号:200113900018)及河南省地质调查院的资助和支持。同时,我们也十分感谢原河南省地质矿产厅总工程师罗铭玖、杨文智教授级高级工程师,河南省国土资源厅孔大刚高级工程师等的大力支持。我们对一切关心此书出版的同行们表示敬意和感谢!正是他们的鼓励和支持,我们才能克服困难,将本书出版。

卢欣祥

2004.8

目 录

前 言

第一章 大地构造背景	1
一、区域地层	1
1. 结晶基底	1
2. 盖层岩系	2
二、岩浆活动	4
三、区域构造特征	5
四、区域构造演化与地幔柱活动	5
第二章 小秦岭-熊耳山地区金矿时代	9
一、研究历史和现状	10
二、小秦岭-熊耳山地区金矿时代研究的进展	12
三、小秦岭-熊耳山地区金矿的成矿是秦岭造山带构造演化的结果	15
第三章 金矿矿床地质	17
一、金矿床类型和矿石类型	17
1. 矿床类型	17
2. 矿石类型	18
3. 矿床类型空间分布特征	18
二、金矿床地质特征	18
1. 石英脉型金矿	18
2. 构造蚀变岩型金矿	21
3. 爆破角砾岩型金矿	26
三、矿床中矿石矿物组合特征	31
1. 石英脉型金矿的矿石矿物组合	31
2. 蚀变岩型金矿的矿石矿物组合	31
3. 爆破角砾岩型金矿的矿石矿物组合	32
四、矿物的标型	35
(一) 黄铁矿的标型	35
1. 黄铁矿的晶形特征	35
2. 黄铁矿的成分特征	37
3. 不同类型金矿中黄铁矿成分的特征	37
4. 不同类型金矿中黄铁矿的热电性	40
(二) 贵金属矿物及其标型特征与金矿的成因关系	42
1. 贵金属矿物的种类	42

2. 金的成色	43
3. 自然金的粒度特征	46
4. 金矿物的嵌布方式	46
五、小秦岭-熊耳山地区金矿的控矿构造	49
1. 构造对成矿作用的制约	49
2. 熊耳山地区金矿的控矿构造特征	49
3. 小秦岭地区金矿的控矿构造特征	52
第四章 小秦岭-熊耳山地区金矿的成矿流体	54
一、金矿成矿流体的阶段性	54
二、含矿流体特征	55
1. 包裹体类型	55
2. 含矿流体的盐度特征及与地层、岩浆岩的差异	56
3. 含矿流体气液组分特征	61
4. 成矿流体物理化学特征	68
三、成矿流体的运移特征	69
1. 流体中金的运移方式	69
2. 不同成矿阶段流体中金运移形式	73
3. 成矿流体的运移方向	75
四、成矿流体中金的沉淀机制	77
1. 石英脉型金矿的沉淀机制	77
2. 蚀变岩型金矿的沉淀机制	79
3. 爆破角砾岩型金矿的沉淀机制	79
第五章 稳定同位素地球化学特征对成矿流体来源的示踪	82
一、氢、氧同位素特征	82
1. 蚀变岩石的氢、氧同位素特征	84
2. 不同矿化阶段流体的氢、氧同位素特征	85
二、碳同位素特征	86
1. 成矿流体中碳同位素具深源特征	86
2. 成矿流体碳同位素和地幔有关	86
3. 成矿流体碳同位素与花岗岩无关	89
三、铅同位素特征	89
1. 铅同位素组成	89
2. 铅同位素模式年龄及意义	90
四、硫同位素特征	94
1. 不同类型金矿床硫同位素特征不同	94
2. 含矿热液中含硫矿物的沉淀机制	98
3. $\text{H}_2\text{S}/\text{SO}_4^{2-}$ 比值指示的含矿流体的流动方向	101

五、稀有气体同位素地球化学·····	102
1. 稀有气体在地质研究中的应用·····	102
2. 小秦岭-熊耳山地区金矿稀有气体 (He、Ar) 同位素特征·····	103
第六章 小秦岭-熊耳山地区地幔流体及金成矿作用 ·····	106
一、金元素与地幔的亲缘关系·····	106
1. 金元素的特性·····	106
2. 金在地球各圈层中的丰度——金的深源特征·····	106
3. 区域地壳各类岩石金元素的丰度·····	107
二、小秦岭-熊耳山地区成矿带的特色·····	108
1. 金属元素高度富集性·····	108
2. 金的集中成矿期和成矿集中区·····	108
3. 成矿金属组合的多样性·····	109
4. 成矿物质的深源性·····	109
5. 成矿作用的新生性·····	110
6. 成矿阶段相互叠加·····	110
7. 成矿作用与秦岭造山作用的耦合关系·····	110
三、地幔柱与临界-超临界地幔流体·····	111
1. 小秦岭-熊耳山地区地幔柱活动的依据·····	111
2. 矿石中气液包裹体成分·····	112
3. 同位素示踪·····	112
4. 临界-超临界流体在小秦岭-熊耳山地区金矿成矿中的作用·····	112
四、成矿作用受地幔及区域构造制约·····	117
1. 岩石圈拆沉和深断裂驱动矿液上升·····	117
2. 多级构造(带)控矿机制·····	117
3. 成矿不受构造地层边界控制·····	117
4. 小秦岭-熊耳山地区属高热流区·····	118
五、小秦岭-熊耳山地区金矿的成矿机制·····	119
六、小秦岭-熊耳山地区金矿找矿方向·····	119
结 语 ·····	121
参考文献 ·····	123

CONTENTS

Introduction

Chapter 1	Geotectonic setting	1
1.1	Strata	1
1.1.1	Crystalline basement	1
1.1.2	Covering strata	2
1.2	Magmatism	4
1.3	Characteristics of regional structures	5
1.4	Regional structural evolution and mantle plume activity	5
Chapter 2	The ages of gold deposits in Xiaoqinling-Xiong'ershan area	9
2.1	Studies history and status	10
2.2	Research advance about the ages of gold deposits in Xiaoqinling-Xiong'ershan area	12
2.3	Gold metallogenetism in Xiaoqinling-Xiong'ershan area is resulted from structural evolution of Qinling orogen	15
Chapter 3	Geology of gold deposits	17
3.1	The types of ores and gold deposits	17
3.1.1	Types of gold deposits	17
3.1.2	Types of gold ores	18
3.1.3	The spacial distribution characteristics of different types of gold deposits	18
3.2	Geological character of gold deposits	18
3.2.1	Quartz vein-type gold deposits	18
3.2.2	Altered rock-type gold deposits	21
3.2.3	Explosion breccia-type gold deposits	26
3.3	Mineral assemblages character of gold deposits	31
3.3.1	The ore mineral assemblages of quartz vein-type gold deposits	31
3.3.2	The ore mineral assemblages of altered rock-type gold deposits	31
3.3.3	The ore mineral assemblages of explosion breccia-type gold deposits	32
3.4	Mineral typomorphy	35
3.4.1	Pyrite typomorphy	35
3.4.2	The relationship between precious metal typomorphy and genesis of gold deposits	42

3.5	The ore-controlling structures of gold deposits in Xiaoqinling-Xiong'ershan area	49
3.5.1	The structure constraints on mineralization	49
3.5.2	The ore-controlling structures' characteristics of gold deposits in Xiong'ershan area	49
3.5.3	The ore-controlling structures' characteristics of gold deposits in Xiaoqinling area	52
Chapter 4	Metallogenetic fluid of gold deposits in Xiaoqinling-xiong'ershan area	54
4.1	The stages of gold metallogenetic fluid	54
4.2	Characteristics of gold metallogenetic fluid	55
4.2.1	The types of fluid inclusions	55
4.2.2	The salinities of fluid inclusions and the difference between strata, magma rocks and ore-forming fluid	56
4.2.3	The gas-liquid composites' characteristics of ore-forming fluid	61
4.2.4	The physicochemical characteristics of gold metallogenetic fluid	68
4.3	The migrationic characteristics of gold metallogenetic fluid	69
4.3.1	The migrationic patterns of gold in metallogenetic fluid	69
4.3.2	The migrationic patterns of gold in different metallogenetic fluid stages	73
4.3.3	The migrationic direction of metallogenetic fluid	75
4.4	The depositional mechanisms of gold in metallogenetic fluid	77
4.4.1	The depositional mechanisms of quartz vein-type gold deposits	77
4.4.2	The depositional mechanisms of altered rock-type gold deposits	79
4.4.3	The depositional mechanisms of explosion breccia-type gold deposits	79
Chapter 5	The sources of metallogenetic fluid and the geochemical characteristics of stable isotopes	82
5.1	The characteristics of O, H isotopes	82
5.1.1	The characteristics of O, H isotopes in altered rocks	84
5.1.2	The characteristics of O, H isotopes in different metallogenetic fluid stages	85
5.2	The characteristics of C isotopes	86
5.2.1	The abyssal-source characteristics of C isotopes in metallogenetic fluid	86
5.2.2	The C isotopes in metallogenetic fluid are relation with mantle	86
5.2.3	The C isotopes in metallogenetic fluid are relation without granite	89
5.3	The characteristics of Pb isotopes	89

5.3.1	Composition of lead isotopes	89
5.3.2	The model ages of lead isotope and its significance	90
5.4	The characteristics of S isotopes	94
5.4.1	The characteristics of S isotope in different gold deposits types	94
5.4.2	The depositional mechanisms of sulfur mineral in metallogenetic fluid	98
5.4.3	The flow direction of metallogenetic fluid are indicated by H_2S/SO_4^{2-} value	101
5.5	The geochemical characteristics of noble gas isotopes	102
5.5.1	The application of noble gases in geological studies	102
5.5.2	The characteristics of noble gas isotopes of gold deposits in Xiaqinling-Xiong'ershan area	103

Chapter 6 The gold mineralization and mantle fluid in Xiaqinling-Xiong'ershan area

		106
6.1	The relationship between gold element and mantle	106
6.1.1	The characteristics of gold element	106
6.1.2	The abundance of gold in sphere-layeres of earth	106
6.1.3	The abundance of gold in different rocks of regional crust	107
6.2	The characteristics of metallogenetic belt in Xiaqinling-Xiong'ershan area ..	108
6.2.1	The high enrichment of metal element	108
6.2.2	The metallogenetic epochs of gold deposits and mineralization concentration area	108
6.2.3	The variety of metallogenetic metal combination	109
6.2.4	The abyssal-sources of metallogenetic material	109
6.2.5	The neogenesis of mineralization	110
6.2.6	The superimpose of mineralization stages	110
6.2.7	The mineralization of gold coupling with Qinling orogeny	110
6.3	Critical-supercritical mantle fluid and mantle plume	111
6.3.1	The evidence of mantle plume activity in Xiaqinling-Xiong'ershan area	111
6.3.2	The composition of gas-liquid inclusions in gold ores	112
6.3.3	Trace maker of isotopes	112
6.3.4	Function of critical-supercritical fluid on mineralization of gold deposits in Xiaqinling-Xiong'ershan area	112
6.4	The regional structure and mantle constraints on mineralization	117
6.4.1	Lithosphere delamination and deep-fault driven mineralization fluid uplift	117
6.4.2	The ore-controlling mechanism of polygrading structures	117

6.4.3	The mineralization did not controlled by borderity of structures and strata	117
6.4.4	Xiaoqinling-Xiong'ershan area has high thermal flow	118
6.5	Mineralization mechanism of gold depoists in Xiaoqinling-Xiong'ershan area	119
6.6	The prospecting target of gold deposits in Xiaoqinling-Xiong'ershan area	119
Summary		121
References		123

第一章 大地构造背景

一、区域地层

小秦岭-熊耳山地区西起陕西东部的蓝田、华县，东至河南的嵩县，呈长约 250 km、宽 15~40 km 的狭长带状展布，是我国第二大金矿产地。区内出露地层可分为基底与盖层两部分（图 1-1）。

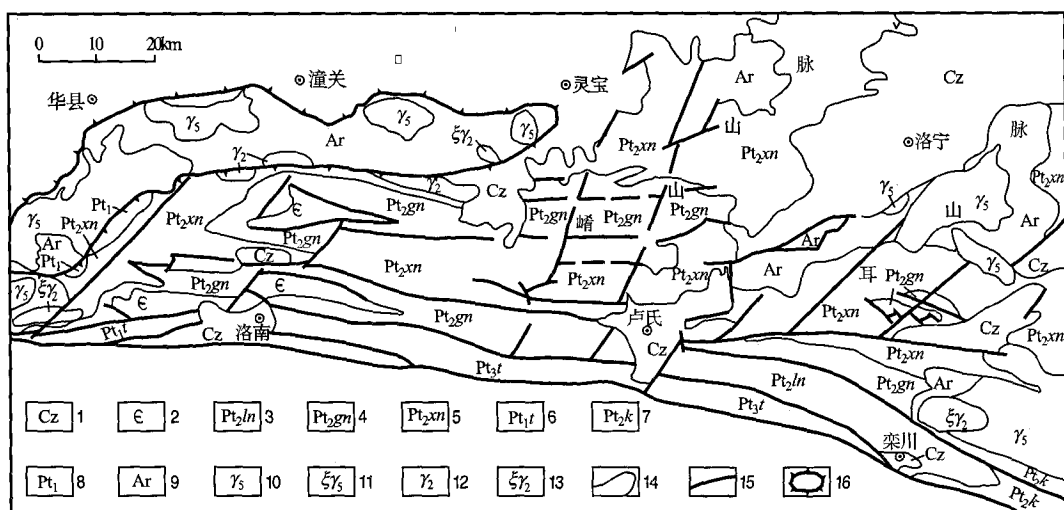


图 1-1 小秦岭-熊耳山地区地质构造简图

（据陕西、河南地质志及相关科研成果资料综合，作者有增删）

- 1—新生界 (Q+E): 砂砾及红层; 2—寒武系: 灰岩、页岩; 3—栾川群: 碎屑-碳酸盐岩; 4—官道口群: 硅质碳酸盐岩; 5—熊耳群: 安山玄武岩、流纹岩; 6—陶湾群: 大理岩夹片岩、火山岩; 7—宽坪群: 石英绢云母片岩及斜长角闪岩; 8—铁铜沟组: 白云母片岩、片状石英岩、磁铁绢云母岩; 9—太华群: 片麻岩及片麻花岗岩闪岩 (TTG); 10—燕山期黑云母二长花岗岩; 11—燕山期正长花岗岩; 12—黑云母花岗岩 (A 型花岗岩); 13—正长花岗岩 (A 型花岗岩); 14—地质界线; 15—断层; 16—小秦岭变质核杂岩

1. 结晶基底

研究区内结晶基底由太古宙太华群构成，分布于小秦岭、崤山、熊耳山等山岭的核部，是一套以片麻岩为主的中深变质岩系，变质程度普遍达角闪岩相，局部已达麻粒岩相。其下部是由黑云斜长片麻岩、斜长角闪片麻岩、混合岩等构成的片麻岩和片麻状花岗岩组成的灰色片麻岩系 (TTG 岩套)。上部主要是由石墨斜长片麻岩、黑云斜长片麻岩、砂线石榴片麻岩、大理岩及含铁石英岩构成的具孔兹岩特征的陆源碎屑-碳酸盐岩建造。

2. 盖层岩系

研究区出露的盖层地层主要为古元古界铁铜沟组、中元古界熊耳群、中新元古界官道口群。

(1) 铁铜沟组

主要出露于陕西灞源一带, 另在崤山的东北部有少量分布 (称大古石组), 为一套由含砾石英岩、片状石英岩、绿片岩、大理岩和磁铁绢英岩等构成的浅变质岩系, 不整合盖在太华群之上。

(2) 熊耳群

是研究区最主要的盖层岩系, 在小秦岭、崤山、熊耳山均广泛出露, 以断层或角度不整合与下伏太华群接触, 为一套中基性-中酸性火山熔岩组成的双峰式火山岩, 局部见火山碎屑岩及沉积岩夹层。化学成分以高钾富铁为特征, 形成于裂谷拉张环境。但是熊耳群的研究长期以来有两种不同的认识: 一种认为是属于钙碱性的、与板块俯冲有关的岛弧型安山岩; 另一种认为是由中基性和中酸性岩石组成的双峰式火山岩。根据最新的研究成果, 熊耳群火山岩由钾细碧岩、细碧岩-钾角斑岩、角斑岩-钾石英角斑岩组成, 分下、中、上三组。岩石类型按 $w(\text{SiO}_2)$ 属中性及中基性岩石, 这便是以往文献统称之为安山岩系的原因, 若按 $w(\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O})$ 来命名则为偏碱性岩石。一个不争的、也是常被人忽略的事实是, 熊耳群火山岩中的原生斜长石多为钠质斜长石及碱性长石, 连著名的梅花玉 (即杏仁状安山岩) 中的斜长石也全为钠长石^①。因此, 按火山岩分类命名原则不能定为安山岩或玄武岩, 而只能属细碧岩及角斑岩类 (夏林圻等, 1991)。中熊耳组的酸性及中酸性岩石, $w(\text{SiO}_2)$ 多大于 66%, $w(\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O})$ 在 7%~9% 之间, 岩石中斜长石为钠长石, 因此, 不能定为流纹岩或英安岩, 加上这类岩石或多或少都含有石英斑晶, 有一部分岩石的 $w(\text{SiO}_2)$ 接近 70% (略低), 因此, 它们应定为石英角斑岩类。根据岩石化学、稀土微量元素判别, 下、中熊耳组中基性火山岩属碱性玄武岩系列, 而酸性及中酸性火山岩属拉斑玄武岩系列。运用岩石地球化学方法判定其构造的各类图解中, 中性-中基性岩多落在大陆板内或板块边缘区, 而中熊耳组酸性-中酸性岩则落入板内区。虽然岩石化学成分方面不如典型的大陆双峰式火山岩套明显, 但本区下、上熊耳组与中熊耳组显然来自两个源区 (确定双峰式火山岩套的一个重要条件), 所以熊耳群火山岩系属大陆裂谷型双峰式火山岩套 (夏林圻等, 1991)。张本仁等 (1994) 认为, 熊耳群中基性和中酸性火山岩的 Ti、P、Nb、Y 平均含量均高于维诺格拉多夫 (1962) 给出的玄武岩和花岗岩中各该元素丰度, 表明它们在两类火山岩中具有富集特征。而熊耳群中的中性火山岩 ($w(\text{SiO}_2) = 56\% \sim 62\%$, 相当于安山岩), 同元古宙与新生代岛弧安山岩 (Condie, 1982; Condin 等, 1989) 以及与北秦岭形成于活动大陆边缘的安山岩 (丹凤群) 相比较, 熊耳群中性火山岩不同于所有岛弧安山岩: K_2O 、高场强元素 Ti、P 和不相容元素 Y、Ce 含量明显偏高, $w(\text{La})/w(\text{Yb})$ 比值明显偏大。上述数据有力地说明熊耳群火山岩系不是形成于岛弧, 而是形成于大陆边缘的陆内张裂环境。

已获知的熊耳群中基性火山岩的 Sm-Nd 模式年龄为 28 Ga, 中酸性岩的 Sm-Nd 模式年龄为 27 Ga (黄萱等, 1990; 张宗清等, 1994), 此年龄同基底太华群的年龄一致, 且

① 严阵, 河南梅花玉的矿物学研究, 1987。

火山岩中 Nd 元素与地幔 Nd 相比只占大约 30%~40%，说明熊耳群主要来自太华群的部分熔融，而不是来自大洋地幔。

在全球范围内，16~18 Ga 是地幔演化的重大转折时期，这一时期裂谷和衰亡裂谷发育，出现环斑花岗岩及重要的层状杂岩体和规模巨大的基性岩墙群。所以熊耳群（16~18 Ga）亦应是这一全球背景下的产物。

同位素测年资料表明，其形成于 1600~1800Ma 之间，属中元古代，相当于长城纪。

(3) 官道口群

为一套浅海相硅镁质碳酸盐岩建造夹滨海碎屑岩，自下而上可分为高山河组、龙家园组、巡检司组、杜关组和冯家湾组。底部的高山河组以紫红色砂岩为主夹板岩及粘土岩，龙家园组主要由灰白色厚层状含燧石条带及团块白云岩构成，巡检司组主要由灰色燧石条带状白云岩构成，杜关组主要为泥质白云岩夹厚层白云岩及页岩，冯家湾组下部以白云质灰岩为主，上部主要为含燧石条带的条纹状白云岩。本套地层主要分布于研究区南部的卢氏、栾川等地，研究区内仅局部可见。

(4) 宽坪群

主要由基性火山岩、碎屑岩及碳酸盐岩组成，变质程度达高绿片岩相-角闪岩相，由于多期强烈变形，其层序问题难以建立。主要由三类地层组成，即角闪岩、角闪片麻岩类，云母石英片岩-石英云母片岩类，“片麻状”大理岩类。其中基性岩具大洋拉斑玄武岩特征。

(5) 栾川群

由三川组、南泥湖组、煤窑沟组、大红口组构成。栾川群底部的三川组下段由变质的含砾石英砂岩、石英砂岩及千枚岩构成，三川组上段以大理岩为主，其内部往往含石英等陆源碎屑及已变质为云母类矿物的泥质物。南泥湖组下段亦为一套以变质的中-粗粒石英砂岩为主夹细-粉砂岩及千枚岩的岩石；南泥湖组中段由钙质绢云片岩夹透镜状变质砂岩及大理岩组成，局部地区见到粗面岩夹层；南泥湖组上段为含云母的白云石大理岩（原岩为含泥质的白云岩）。煤窑沟组下段由变质中-粗粒石英砂岩、含长石砂岩、中-细粒石英砂岩、绢云石英片岩、石英绢云片岩及大理岩组成，其中含黑云变斑石英绢云片岩的原岩为火山碎屑沉积岩；中段由含叠层石白云大理岩、白云石大理岩构成，岩石中见富藻斑点；上段底部有一厚几米至数十米的质纯石英砂岩，其下部有可作为标志层的厚数十米的石煤层，往上为含叠层石白云石大理岩、核形石白云石大理岩及白云石大理岩。大红口组由碱性火山岩构成，夹沉积岩夹层。

(6) 陶湾群

由鱼库组、三岔口组、凤脉庙组、秋木沟组构成。其中鱼库组以厚层白云石大理岩为主体，底部夹云母片岩，厚数百米；三岔口组由含碳钙质砾岩、含砾大理岩构成，厚 100~200 m；凤脉庙组及秋木沟组由含炭泥质、不纯碳酸盐岩构成，经变质后成为含炭质千枚岩、云母片岩、大理岩。厚数百米。

(7) 寒武系

下统辛集组为含磷、铀炭质页岩及砂岩、白云岩及灰岩层；馒头组为白云岩、薄层泥灰岩，下统总厚数百米。中统毛庄组、徐庄组、张夏组为杂色砂页岩层、鲕状灰岩及条带状灰岩，厚 300~600 m。上统及奥陶系仅局部出露。

另外小秦岭、崤山和熊耳山等山岭之间是由白垩纪和第三纪沉积岩构成的红色沉积盆地。

二、岩浆活动

研究区内的岩浆活动十分频繁和强烈，表 1-1 列出了研究区内岩浆活动的特征。

由表 1-1 可看出，从太古宙到现代，岩浆活动虽均见发育，但有三次相对强烈的岩浆活动：太古宙、中元古代及中生代（燕山期）。太古宙以基性、超基性岩浆活动和灰色片麻岩（TTG）岩套为主，中元古代主要是中基性岩浆喷出和 A 型花岗岩侵入，而燕山期则以酸性岩浆侵入为主，由老到新岩浆活动由基性向酸性演化，其原因可能与地壳的刚性增加、厚度增大有关。在中元古代和印支期出现两期较强的代表拉张环境的 A 型花岗岩、碱性岩浆活动，这与秦岭造山带板块构造运动及岩浆耦合作用有关（卢欣祥，1999）。

表 1-1 研究区内岩浆活动表

岩浆活动期次	岩浆活动特征	同位素年龄
阜平期 (Ar)	主要有两种：①基性、超基性岩类：形成超镁铁质岩、变辉长岩、辉长闪长岩小侵入体。超镁铁质侵入体呈透镜状、疙瘩状，在空间上呈雁列状、串珠状、卫星状排列。辉长闪长岩体规模相对稍大，大者可达 5.2 km ² ，空间分布与超基性岩相伴。该类侵入体在太古宙分布区广泛分布。②由属于 TTG 岩套的奥长花岗岩、英云闪长岩和花岗闪长岩等组成的灰色片麻岩、古老花岗岩，分布较广、面积较大，如太华群官家峪组即是由花岗岩变质而成	间家峪灰色片麻岩 (2549 ± 169) Ma (Rb-Sr)
吕梁期 (Pt ₂)	以中基性火山喷发为特征，形成了区内广泛分布的熊耳群火山岩系，包括熔岩、次火山岩及火山碎屑岩，与其相伴的有广泛发育的 A 型花岗岩，如张家坪、桂家峪、龙王礁等岩体，还有较多的花岗伟晶岩	熊耳群 16 亿~18 亿年，桂家峪 A 型花岗岩 17.8 亿年 (U-Pb)，花岗伟晶岩 1975 Ma (U-Pb)
晋宁期 (Pt ₃)	本期岩浆活动总体较弱，且以中酸性至酸性岩浆侵入为主，主要形成小规模细粒闪长岩、石英闪长岩、闪长玢岩及黑云母花岗岩等酸性岩体，规模较大的小河黑云母花岗岩，沿小河断裂带断续分布	小河黑云母花岗岩 999 Ma (U-Pb)
加里东期	研究区内表现较弱，以基性和酸性岩浆侵入为特征，它们多形成黑云母花岗岩墙和小型顺层侵入体，如小秦岭地区分布的基性岩墙及杨砦峪黑云母花岗岩	杨砦峪岩体 4 亿~5 亿年 辉长辉绿岩 488 Ma (辉石，K-Ar)
印支期	以碱性岩浆侵入为特征，见有正长岩及钾长花岗岩等 A 型花岗岩	南沟正长花岗岩 (A 型) 207 Ma (Ar-Ar) 正长斑岩 203~213 Ma (K-Ar)
燕山期	以酸性岩浆侵入为特征，形成区内广泛分布的黑云母二长花岗岩岩基，如华山岩体、文峪岩体、娘娘山岩体、花山岩体等	文峪 165 Ma (U-Pb)，华山 168 Ma (Rb-Sr)，娘娘山 135 Ma (Rb-Sr)，花山花岗岩 (121 Ma, U-Pb)

三、区域构造特征

小秦岭-熊耳山地区，在大地构造位置上位于现今秦岭造山带与华北地块间的地质分界线南侧，即秦岭北缘后陆逆冲断褶构造带上（图 1-2），该构造带北界为小秦岭-潼关-宜阳-鲁山断裂（山前断裂），而南界为洛南-栾川-方城断裂。在该构造带以南、商丹构造带以北为北秦岭构造带，二者共同构成了华北地块南部向秦岭俯冲的巨型陆内俯冲带（张国伟，1997）。

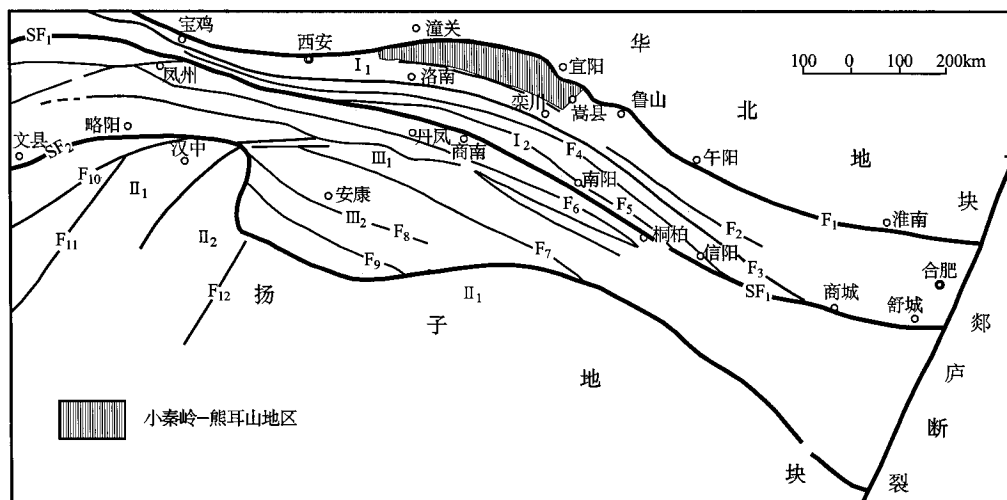


图 1-2 秦岭大别山主要构造单元

（据张国伟，1997，略有简化）

I—华北板块南部：I₁—秦岭造山带后陆逆冲断褶带，I₂—北秦岭厚皮叠瓦逆冲构造带；II—扬子板块北缘：II₁—秦岭造山带前陆逆冲断褶带，II₂—巴山-大别南缘巨型推覆前锋逆冲带；III—秦岭微板块：III₁—南秦岭北部晚古生代裂陷带，III₂—南秦岭南部晚古生代隆升带。SF₁—商丹缝合带，SF₂—勉略缝合带；主要断层：F₁—秦岭北界逆冲断层；F₂—石门-马超营逆冲断层；F₃—洛南-栾川逆冲推覆断层；F₄—皇台-瓦穴子推覆带；F₅—商县-夏馆逆冲断层；F₆—山阳-凤镇逆冲推覆断层；F₇—十堰断层；F₈—石泉-安康逆冲断层；F₉—红椿坝-平利断层；F₁₀—阳平关-巴山弧-大别南缘逆冲推覆带；F₁₁—龙门山逆冲推覆带；F₁₂—华蓥山逆冲推覆带

四、区域构造演化与地幔柱活动

小秦岭-熊耳山地区大地构造背景属秦岭北缘后陆断褶构造带（图 1-2），其北属典型华北地块。该带原来也曾是华北地块的组成部分，并且具有华北地块基底-盖层的结构和组成。处于华北地块南缘，南邻秦岭造山带。在长期的地质历史中，经历了复杂、多期的构造变动，特别是中生代的印支期碰撞造山运动，引起华北古陆块南缘地层向南仰冲，现今本区的构造变形、变质、岩浆活动与成矿作用特征等，均明显地表现出与秦岭晋宁-中新生代初期（印支）板块碰撞造山之后中新生代陆内造山作用过程有关，加入到秦岭造山