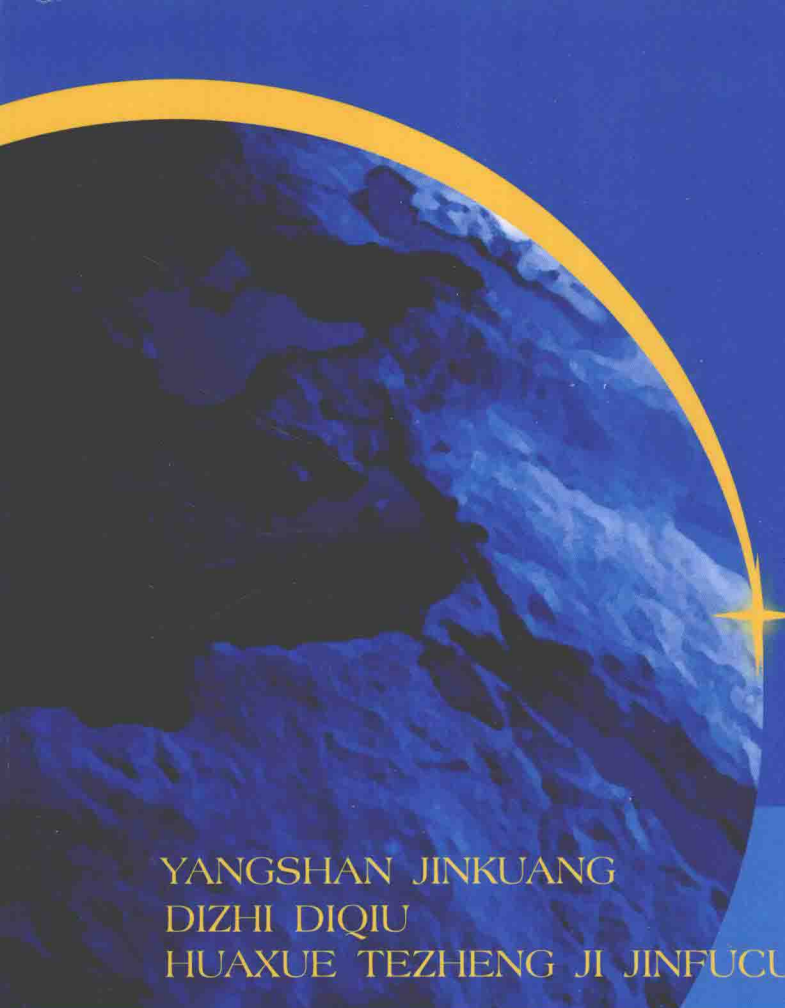




YANGSHAN JINKUANG
DIZHI DIQIU
HUAXUE TEZHENG JI JINFUCUN ZHUANGTAI

阳山金矿地质地球 化学特征及金赋存状态

梁金龙 孙卫东 南争路 丁德健 / 著



科学出版社

阳山金矿地质地球 化学特征及金赋存状态

梁金龙 孙卫东 南争路 丁德健 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书描述甘肃阳山超大型沉积岩赋矿型金矿的地质特征,系统介绍阳山金矿矿物学、金赋存状态研究、地球化学、有机质与成矿的关系,并概括介绍近年来在阳山金矿研究中的成果。在此基础上系统阐述阳山金矿的成因类型划分和金的沉淀成矿机制。

本书对国内同类矿床的研究有借鉴意义,对阳山及同类金矿的开发有一定的理论指导作用。适合金矿地质勘探单位的从业人员、大专院校和科研院所的相关科研人员参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

阳山金矿地质地球化学特征及金赋存状态 / 梁金龙等著.

—北京:科学出版社,2015.2

ISBN 978-7-03-043105-9

I. ①阳… II. ①梁… III. ①金矿床-地质地球化学-研究-甘肃省②金矿床-矿物构造-研究-甘肃省 IV. ①P618.51

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2015) 第 022524 号

责任编辑:杨 岭 罗 莉 / 责任校对:邓利娜

责任印制:余少力 / 封面设计:墨创文化

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>

成都创新包装印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2015年2月第 一 版 开本:B5(720*1000)

2015年2月第一次印刷 印张:6.25

字数:125千字

定价:49.00元

前 言

甘肃阳山金矿是由武警黄金十二支队经过 10 年艰苦勘探,在西秦岭发现的一处超大型金矿。截至 2008 年底,阳山金矿控制资源量已达 318 吨。目前,其深部及外围勘探工作仍在进行,储量规模有望继续扩大。阳山金矿的发现不仅是扬子板块西北缘陕甘川“金三角”黄金找矿勘探的重大突破,而且在我国金矿勘探史上也具有里程碑意义。阳山金矿是赋存于中泥盆统浅变质的碎屑岩—碳酸盐地层中的微细浸染型金矿,受断裂构造控制明显,类似于美国内华达地区的卡林型金矿,有学者称之为“类卡林”型金矿。

20 世纪 60 年代,在美国内华达州发现了这种碎屑岩—碳酸盐赋矿的金矿类型,因其位于卡林镇而被命名为卡林型(Carlin-type)。这种类型的金矿虽然平均品位不高(一般每吨几克到十几克),但矿床往往成群出现、呈带分布,储量规模巨大。整个内华达州的总储量达 5000 吨,形成了一个巨型的卡林型金矿省。正是卡林型金矿的发现,使得美国的黄金产量跃居世界首位。巨大的经济效益,新的勘探、测试技术方法的应用和不断跟进的基础及应用研究,使得美国在卡林型金矿的勘探、研究领域处于世界遥遥领先的地位。我国在 20 世纪 70 年代末 80 年代初按照卡林型金矿的概念和勘探方法,在扬子板块的西南缘的贵州省找到了类似的金矿。此后,陆续在扬子板块的西南滇黔桂和西北陕甘川发现了两个该类型金矿集中的“金三角”地区。此后几十年的找矿勘探虽然在上述两个金三角地区积累了一定规模的储量,但总体储量远小于美国同类金矿。直到阳山金矿发现之前,单矿储量也没有很大突破。同时,由于研究手段的相对落后,对这类沉积岩赋矿的金矿的研究成果也不太显著。关于金的赋存状态、成矿年代、成矿物质来源、成因机制和成矿模式等问题仍不十分清楚。

阳山金矿的发现再次激发了地质工作者对此类金矿的关注和研究热情。近年来,围绕矿床成因类型、控矿因素、地质和地球化学特征、成矿流体来源、成矿年代、矿石矿物学及金赋存状态等,人们进行了初步的研究工作,取得了一些研究成果。但由于此类金矿矿石矿物的微细粒分散状态、金不可见的特性和定年矿物的难以取得等客观因素,已经发表的科研成果(论文和专著)数量并不多,深入和高水平的研究成果更是鲜见。作者自 2007 年在广州地球化学研究所从事博士后工作开始,参与阳山金矿的科研工作,主要围绕金的赋存状态、

成矿流体来源与性质、有机质与成矿的关系等方面做了一些工作，取得了一些认识。作者近年来一直关注阳山金矿的研究进展，希望就自己的研究所得及同行公开发表的有关阳山金矿的成果进行阶段性梳理和总结，抛砖引玉，使更多的人关注阳山金矿。更想将目前国内外有关卡林型金矿研究的状况和最新进展、矛盾与争论以及作者本人的思考呈现出来，以期引发更多人对沉积岩型金矿(包括卡林型、类卡林型、造山型)的关注和兴趣。

本书的完成、出版获得中国地质调查局地调—科研计划项目：西南地区重点成矿带铜铁金多金属找矿模型与勘查方法技术研究(任务书编号：科[2014] 04—004—012)的工作项目、西南地区主要成矿带铜铁金多金属找矿模型与勘查方法技术综合研究(项目编号：12120113095500)及自然科学基金面上项目(41273031)的资助。

由于作者水平所限，书中错漏不当之处在所难免，若有同行不吝赐教，愿洗耳恭听。

作 者

2014年11月12日于成都

目 录

第 1 章 区域地质	1
1.1 大地构造位置	1
1.2 区域地层	2
1.2.1 碧口群	2
1.2.2 寒武系	3
1.2.3 志留系	3
1.2.4 泥盆系	3
1.2.5 石炭系	4
1.2.6 二叠系	4
1.2.7 三叠系	4
1.2.8 白垩系	5
1.2.9 第四纪	5
1.3 区域构造	5
1.3.1 断裂构造	5
1.3.2 褶皱构造	7
1.4 岩浆作用	7
1.5 区域地质演化历史	8
1.5.1 新太古代记录	8
1.5.2 新元古代—泥盆纪	9
1.5.3 泥盆纪—中三叠纪	9
1.5.4 晚三叠—白垩纪	10
参考文献	10
第 2 章 矿床地质	13
2.1 矿区地层	13
2.2 矿区构造	15
2.3 矿区岩浆岩	16
2.4 矿化蚀变	16
2.5 矿体(脉)产状特征	19

2.6 矿石类型及矿物组合	20
参考文献	23
第3章 矿石矿物学及金赋存状态研究	24
3.1 阳山金矿载金矿物成分特征	25
3.1.1 样品、方法及分析条件	25
3.1.2 砷黄铁矿和毒砂的形态特征	26
3.1.3 载金硫化物化学成分特征	27
3.2 金在黄铁矿和毒砂中的含量及分布	30
3.2.1 样品及分析方法	30
3.2.2 金的含量及分布	30
3.3 Au 的赋存状态	36
3.3.1 高分辨透射电镜观察	36
3.3.2 砷黄铁矿中砷价态的 X 射线光电子能谱(XPS)研究	39
参考文献	45
第4章 矿床地球化学	49
4.1 围岩-矿石主微量元素特征	49
4.2 成矿流体地球化学特征	54
4.2.1 流体包裹体形态、类型	54
4.2.1 流体包裹体测温结果	55
4.2.3 流体包裹体气相化学成分	57
4.2.4 流体包裹体 He-Ar 同位素特征	57
4.2.5 成矿流体来源	60
4.2.6 成矿流体的演化过程	62
4.3 有机地球化学特征	63
4.3.1 有机质在金矿成矿中的作用的研究现状	63
4.3.2 阳山金矿有机质与金含量的关系	66
4.3.3 有机质对 Au 的吸附与解吸实验	71
4.3.4 有机质在金矿成矿过程中的作用模式	76
4.4 成矿年代学研究	78
参考文献	80
第5章 矿床成因模式探讨	84
5.1 阳山金矿特征与典型卡林型金矿模式的比较	84
5.2 对沉积岩型金矿成矿模式的思考	89
参考文献	91

第 1 章 区域地质

1.1 大地构造位置

阳山金矿位于甘肃省陇南市文县。其大地构造位置位于西秦岭—松潘三角形构造结的中央偏东北一侧(张国伟等, 2003), 秦岭微陆块的西南侧, 刚好处在勉略缝合带向南突出的弧顶位置(图 1-1)。矿床所在位置西面是松潘—甘孜褶皱造山带, 以北是西秦岭造山带南缘, 南面是扬子板块北缘的碧口群古老变质地体。矿床发育于上述三个地质单元交汇部位(图 1-1)。秦岭造山带构造演化历史复杂, 是经历了多次复杂的造山过程而形成的复合型大陆造山带, 其演化历史大致可分为如下几个阶段: ①晚太古代—早元古代造山带及前寒武纪基底的形成演化阶段; ②新元古代—中三叠世的洋盆演化阶段; ③中—新生代陆内造山演化阶段。整个秦岭造山带沿北侧的商丹和南侧的勉略缝合带可划分为华北、扬子和中间的秦岭微陆块三个主要构造单元(Meng and Zhang, 1999; Zhang and Meng, 2000; 张国伟等, 2003)。阳山金矿即位于后两个构造单元的交接部位(图 1-1)。

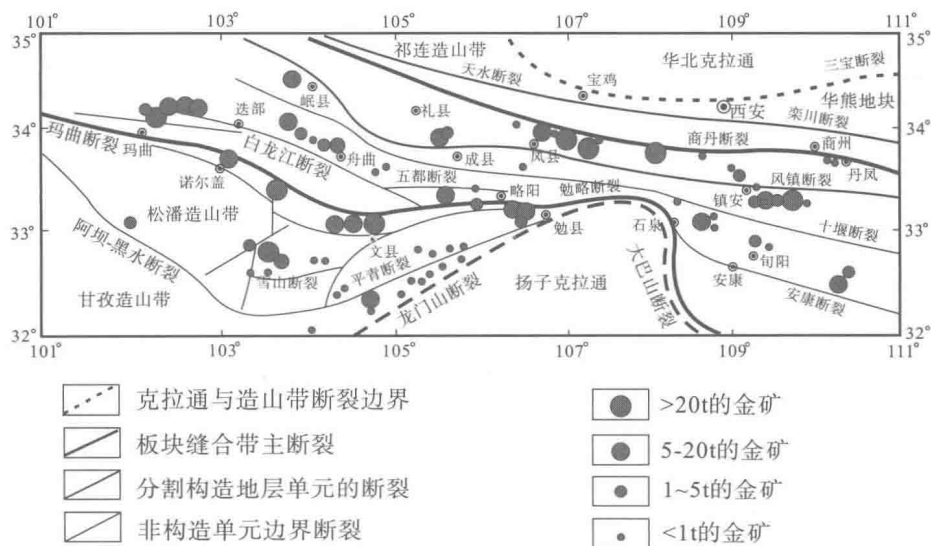


图 1-1 西秦岭构造格架与金矿分布(据陈衍景等, 2004 修改)

1.2 区域地层

1999年由甘肃地勘局兰州地质矿床勘察院完成的1:50000区域地质调查成果显示西秦岭南带地层调查研究工作比较详尽。1959~1968年,中国科学院兰州地质研究所在文县地区做过碧口群和中泥盆统地层的专题研究。1967~1970年,陕西省地质局区测队完成1:20万区域地质调查。此后直到20世纪80年代末,又有西北地质研究所、甘省地矿局区调队、张祖圻、翟毓沛等单位和个人先后对区内的泥盆纪进行过调查研究(中华人民共和国1:50000地质图说明书,堡子坝幅-148E 018011)。

1.2.1 碧口群

碧口群是区内最古老的岩石—地层单位,分布于松潘—西秦岭倒三角形构造结的东南缘,出露面积可达10000km²,其形成和演化历史较为复杂。前人围绕其岩石组合、岩石化学、形成时代和构造属性做了大量研究。最早的研究工作始于1944年,叶连俊、关士聪在南秦岭地区开展路线地质调查,著有《甘肃西秦岭地质志》。其中将图区南部浅变质火山碎屑岩系命名为“碧口系”(中华人民共和国地质图说明书,1:50000堡子坝幅-148E 018011,甘肃地勘局兰州地质矿床勘察院,1999。以下简称堡子坝幅),时代置于震旦—志留纪(裴先治,1989)。在岩石组合上,碧口群普遍被认为是一套绿片岩到角闪岩/蓝片岩相的双峰火山岩(包括基性侵入岩)系列+重力浊流沉积组合(裴先治,1989;魏春景,1994;闫全人等,2003;刘鹤等,2008)。岩性组合在垂向上的变化表现为,上部为浊流沉积,下部为相当于蛇绿岩套的洋壳组合(裴先治,1989)。在水平方向上则以峡口驿—黑木林—白雀寺—铜钱—枫相湾—摩天岭为界,以北为浅变质的碎屑岩—碳酸盐沉积建造;南部为一套主要由变质基性、中酸性火山岩和火山碎屑岩组成的细碧角斑岩建造。二者以断层接触(匡耀求等,1999)。有的地方发现形成于海底热水沉积的富铁硅质岩(丁振举和刘丛强,2000)。关于碧口群形成的构造环境,学者们认识不一。相当一部分学者认为它形成于发育了成熟洋盆的沟—弧—盆体系(裴先治,1989;匡耀求等,1999;闫全人等,2003);部分学者认为其发育于大陆边缘裂谷或有限洋盆(夏祖春等,1999;丁振举等,2003);个别学者认为在碧口群之下存在大陆型地壳基地,据此否认其形成于洋盆或岛弧环境(张宏飞等,2007)。关于其形成时代,近年来无论来自基性火山岩的精确锆石年龄数据(闫全人等,2003),还是来自基性侵入岩的精确锆石定年(赖绍聪等,2007),都得到750~850Ma的年龄区间。来自阳山矿区含明金石英脉的锆石U-Pb测年得到过2392~2522Ma的年龄(齐金忠等,2005)。

来自阳山矿区中酸性岩脉系统的锆石 U-Pb 定年分析得到过 609~850Ma 和 1952~2576Ma 的年龄数据(雷时斌等, 2010)。这些精确的定年结果印证了此前绝大多数学者认为碧口群形成于中—新元古代, 甚至古元古代的观点。碧口群本身是 Cu-Au, Pb-Zn 等多种金属矿床的成矿母岩(丁振举和刘丛强, 2000; 展朝毅, 2010)。

1.2.2 寒武系

寒武系地层在本区发育较少, 仅有干沟组(C_g), 分布于石坊—关家沟一带, 近东西向分布。上部岩性为高炭质粉砂岩、黑色条带状硅质岩。下部岩性为黑色薄层状硅质岩夹微晶-粉晶灰岩。为一套潮坪—潟湖相的碎屑岩、碳酸盐沉积。

1.2.3 志留系

本区志留系是在 1999 年 1:50000 区域调查中从原下泥盆系解体出来的石坊群(堡子坝幅, 1999)。那次区调在原先下泥盆统西沟组与下伏的石坊群之间发现一个区域性的角度不整合面, 从而确认了秦岭地区加里东造山作用的存在。其与上覆西沟组为角度不整合接触, 与下伏干沟组为平行不整合或断层接触, 主要分布于范家坝—刘家坪一带, 呈近东西向带状展布。岩性以灰色中薄层砂岩、含炭质和泥质粉砂岩为主。其中发育平行层理、波状层理、交错层理、波痕等沉积构造。在石坊一带表现为潮坪相, 往东逐渐过渡到三角洲前缘、河口坝和三角洲相。

1.2.4 泥盆系

泥盆系是区内出露面积最大的地层, 分为南部开阔碳酸盐文县相区和北部碳酸盐—碎屑岩槽地三河口两个相区。

(1) 文县陆缘海岩相区包括西沟组与岷堡组、冷堡子组、朱家沟组、铁山组。

西沟组与岷堡组: 与下伏石坊群呈角度不整合接触, 与上覆冷堡子组平行不整合接触。西沟组为灰色细砾岩、细砂岩, 是一套海滩亚相—近滨海相沉积。岷堡组岩性为生屑—微晶、亮晶灰岩、砂屑灰岩、粉砂质板岩夹铁绿泥石粉砂岩。反映沉积环境为陆棚、滨海。

冷堡子组: 为一套中厚层石英砂岩夹灰岩透镜体、中薄层细粒石英砂岩, 为近滨海相沉积。

朱家沟组：岩性为中薄层隐晶灰岩、结晶灰岩、微晶灰岩、页岩。体现了台地浅滩相的沉积特点。

铁山组：为薄层到块状微晶灰岩、泥晶灰岩，顶部含燧石条带。系台地边缘相沉积。

(2) 北部桥头裂陷槽相区包括桥头岩组和屯寨岩组。

桥头岩组：厚度达 3490m，岩性为绢云母千枚岩、绢云石英千枚岩、千枚状板岩夹灰岩透镜体。

屯寨组：主要岩性有下段的中薄层灰岩夹硬绿泥石粉砂质板岩、千枚岩；中段为绢云千枚岩、粉砂质板岩、泥质板岩夹泥晶灰岩；上段为灰岩、绢云千枚岩、千枚状板岩、泥质板岩，偶夹英安岩、变安山玄武岩。这两个组都反映出水深较大的盆地沉积。另外，据三河口群火山岩化学分析结果判别其属于裂陷背景下形成。

1.2.5 石炭系

石炭系地层在测区内出露的地层较少，只有近益哇沟组一个组。主要岩性为中—厚层微晶灰岩、粉晶灰岩、石英砂岩、粉砂质板岩、泥质板岩等。具台地边缘相的特征。

1.2.6 二叠系

二叠系主要分布于研究区西北部和西南部。总体上由海相碳酸盐和碎屑岩构成。分为四个岩性段：

第一岩性段为灰岩、白云质灰岩、白云岩。

第二岩性段为灰岩，其次为砂岩及砂质泥岩。

第三岩性段为钙质砂岩、板岩、不纯灰岩，局部有厚层灰岩、砾状灰岩、石英砂岩。

第四岩性段仅见于区内西北部，以灰岩为主，还有砂岩、板岩。

1.2.7 三叠系

主要分布于测区西北部，呈弧形带状展布，面积约 124 万 km²，包括郭家山组和光盖山组。

郭家山组：是一套由碳酸盐和碎屑岩为主的陆棚—半深海相沉积组合。

光盖山组：亦分为碳酸盐和碎屑岩两个岩性段。其形成环境为次深海。

1.2.8 白垩系

区内侏罗系基本缺失。白垩系主要分布于堡子坝一大湾门一带,呈北东—南西向带状分布,系陆内山间盆地沉积。白垩系主要由周家湾组和鸡山组组成。

周家湾组:为一套紫红色系碎屑岩建造,主要由砂岩、粉砂岩、泥页岩为典型湖相沉积。

鸡山组:为一套厚度巨大的砾岩,夹砂岩透镜体,具有三角洲相特点。

1.2.9 第四纪

区内第四纪主要分布于河流谷地及山脊缓坡地带,按其成因及物质组成为阶地、残坡积堆积、风成马兰黄土、滑坡堆积、河床河漫滩堆积等。区内河流的Ⅰ~Ⅲ级台地上分布着砂—砾石层、冲积砂砾石夹泥质、粉砂质等松散、弱固结堆积。这些堆积物会高出河床几米到几十米。季家堡一带分布有厚度为5~10m的次生黄土。山麓堆积各种残坡积物。

1.3 区域构造

区内主要构造格架是东西向横穿测区的勉略构造带。该带是在中三叠世以后俯冲闭合的勉略洋盆形成的俯冲缝合带的基础上叠加了新生代的陆内造山改造而成(张国伟等,2003)。该带往东延伸至大别山南缘,往西延至甘肃西端的玛沁、德尔尼,是一条巨型的构造带(1500km),是中国南北大陆于印支期完成主体拼合的标志(张国伟等,2003;赖绍聪等,2003)。勉略构造带通过测区时向南拐了一个弯,形成了由一系列大型叠瓦状逆冲推覆断层(大水弧、文县弧、武都弧、礼县弧)构成的弧形构造体系。弧顶在文县,东西两翼分别延伸至略阳和玛曲,延伸超过200km(杜子图等,1998),是区内主要构造形迹(图1-2)。

1.3.1 断裂构造

区内与成矿关系密切的是文县—白马弧形构造,主要由下述逆冲断裂构成。

1. 松柏—梨树断裂

位于研究区北部,弧顶位于文县泥山—联合村一带,长约100km,宽度十

米至数千米。断层总体北倾，局部南倾，倾角 $55^{\circ} \sim 65^{\circ}$ 。断裂上盘为二叠系地层，局部缺失。沿破碎带岩石挤压破碎强烈，发育压性透镜体、构造角砾岩及黑色碳化断层泥，硅化蚀变强烈。

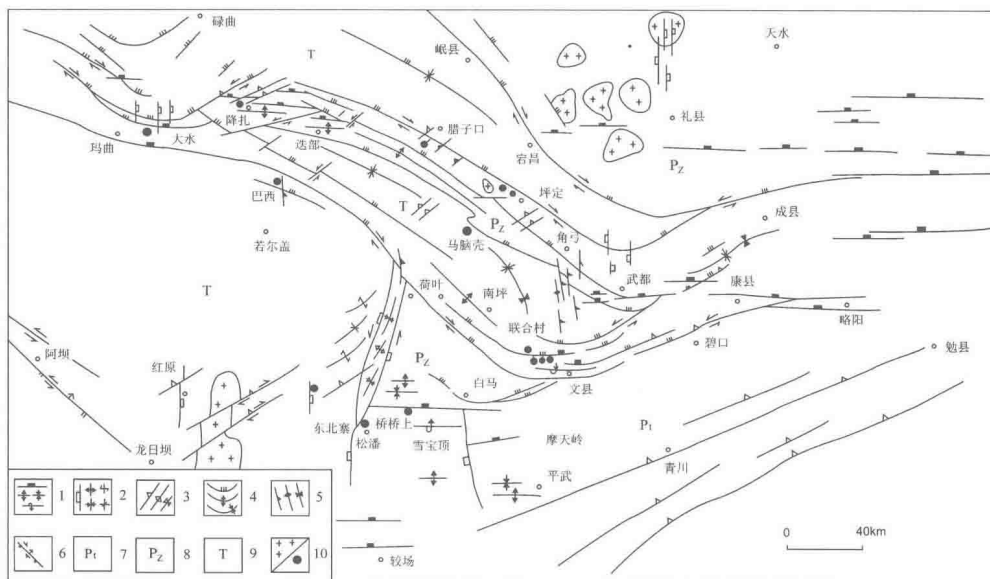


图 1-2 文县弧构造(据杜子图等, 1998)

1-东西向构造体系压性断裂、背斜、向斜和倒转背斜; 2-南北向构造体系压性断裂、背斜、向斜及派生背、向斜; 3-北东向构造体系压性-压扭性断裂、背斜、向斜; 4-弧形构造体系压性-压扭性断裂、背斜、向斜; 5-北西北向构造体系压性-压扭性断裂、背斜、向斜; 6-体系未归属的压扭性逆冲断层; 7-元古界; 8-古生界; 9-三叠系; 10-花岗岩及金矿床

2. 安昌河—观音坝断裂

为松柏—梨树断裂的分支断裂，也是区内主要的控矿断裂构造。西起安昌河，东到观音坝，长约 30km，宽数十米至数千米。断裂总体北倾，倾角 $50^{\circ} \sim 70^{\circ}$ 。断层上、下盘皆为泥盆系千枚岩、灰岩和石英砂岩。主断裂面沿灰岩与千枚岩的界面附近发育。伴有强烈黏土化、硅化、褐铁矿化，局部构成工业矿体。上述两断裂在泥山一带交汇。

3. 马家磨—魏家坝断裂

位于松柏—梨树断裂以南，规模较小，破碎程度较弱。断层总体北倾。虽然 1:20 万区调报告发现该断层切穿印支期花岗岩脉，这并不意味着它一定形成于印支期后，因为本区内断裂有多阶段活动现象(堡子坝幅, 1999)。

4. 白马—临江断裂

位于研究区南部,主要沿着碧口群与泥盆系不整合面发育。断裂主要倾向北西。断层带内岩石强烈破碎,泥盆系破碎程度比碧口群更强。

1.3.2 褶皱构造

在弧形断裂之间发育一系列褶皱构造,其中规模较大的有以下两个背斜。

1. 关家沟—何家坝复背斜

该复背斜发育于文县城关的吴家沟—火坑山—何家坝一带的碧口群一至三段中。北翼在临江、老爷庙一带,北倾,倾角较陡。北翼受断裂破坏严重,保存不完整。南翼南倾,倾角稍缓($35^{\circ}\sim 66^{\circ}$)。复背斜轴部形态复杂,两翼发育次级褶皱。

2. 吕家坝—冷堡子背斜

位于文县月亮坝—冷堡子—吕家坝一线,核部地层为中泥盆统三河口群(组)二至四段($D_2S_{3\sim 5}$),倾向北西,倾角 $30^{\circ}\sim 55^{\circ}$,南翼地层为中泥盆统三河口群(组)二段,倾向倒转向北西,倾角 $52^{\circ}\sim 85^{\circ}$ 。

1.4 岩浆作用

整个西秦岭地区有中酸性岩体 200 多个,总面积约 4000km^2 ,以夏河—宕昌—两当—一线为界,主要分布在北带,南带出露稀少且规模小。岩浆岩形成时代从石炭纪到第三纪都有,以印支期为主(张旗等, 2009)。在南秦岭存在一条长约 400km 的印支期花岗岩带,形成时代在 $205\sim 220\text{Ma}$,是三叠纪南北大陆碰撞联合的同碰撞花岗岩(Sun et al., 2002)。该花岗岩带往西延伸到康县,康县以西没有出现大规模的花岗岩。往南在古老的碧口群中又零星出露了几个中生代岩体,如康县阳坝岩体、南一里岩体、木皮岩体,其形成时代 $215\sim 225\text{Ma}$ (张宏飞等, 2007),与南秦岭花岗岩带应属同期、同成因岩体。除此之外,再没有一定岩脉规模的岩体。但是,在碧口群以北的泥盆系地层中普遍出现中酸性侵入岩脉。规模从几十厘米到几米不等,主要侵入桥头组、屯寨组、石坊群

中。脉体展布方向与区域构造线基本一致,岩性包括英云闪长岩、石英闪长岩、斜长花岗岩、花岗细晶岩(堡子坝幅,1999)。在阳山和巴西金矿都发现岩脉直接矿化的现象(杜子图等,1998;阎凤增等,2010)。因此,在西秦岭南部地区,这种“只见枝叶(岩脉),不见树干(规模岩体)”的现象是该地区岩浆侵入活动的突出特征,这暗示深部可能存在大规模岩体。

随着阳山金矿开放和研究的深入,人们对矿区内的中酸性侵入岩脉也进行了较为详细的年代学、地球化学研究。齐金忠等(2005)分析了来自阳山金矿的含明金石英脉和含矿地层(中泥盆统三河口组)与花岗斑岩脉接触带中的含金硫化物石英细脉中的锆石年龄,获得了新老两个年龄谱。老的一组来自含明金石英脉,包括 2522~2392Ma、1040~917Ma 和 824~765Ma,三个集中年龄段,其中第三组锆石还保留有清晰的岩浆岩震荡环带结构;新的一组来自地层与岩脉的接触边界位置,测得年龄 $197.6 \pm 1.7\text{Ma}$ 、 $126.9 \pm 3.2\text{Ma}$ 和 $51.2 \pm 1.3\text{Ma}$,锆石都发育震荡环带结构。这一结果表明,至少自新元古代起一直到早新生代,本地区都有不断的岩浆活动发生。此后,对阳山矿区酸性岩脉的详细的年代学研究获得的年龄谱(雷时斌等,2010;孙骥等,2012)充分印证了自新元古代到三叠纪末本地区存在持续不断的岩浆活动。

西秦岭燕山期大规模的岩浆作用导致了该地区第二个成矿作用高峰期(陈衍景,2010)。

1.5 区域地质演化历史

秦岭的大地构造格局可概括为“三板夹两缝”,即华南扬子板块、秦岭微板块(现南秦岭)和华北板块夹持已经俯冲缝合了的两个古洋盆——勉略洋和商丹洋,分别对应现在的勉略缝合带和商丹构造带(张本仁等,1994;张国伟等,2001)。秦岭 Mo-Pb-Zn-Ag-Hg-Sb 多金属成矿省及西秦岭地区丰富的金、铀矿产资源的形成与该地区长期以来盆山转换—碰撞造山过程相关的构造—岩浆—变质作用密切相关(陈衍景,2010)。

现在,按照时间顺序将西秦岭(主要是商丹构造带以南部分)的演化历史做简要叙述。

1.5.1 新太古代记录

秦克令等(1990)将碧口群解体,从中分离出鱼洞子群,并测得其 U-Pb 年龄为 $2675 \pm 9\text{Ma}$ 。张宗清等(2001)测得鱼洞子群的 Sm-Nd 同位素年龄为 $2688 \pm 100\text{Ma}$ 。齐金忠等(2006)和雷时斌等(2010)分别在甘肃阳山金矿的含明金石英脉和花岗斑岩脉锆石中获得了超过 2500Ma 的年龄记录。这些是西秦岭地区最古老

的年代学记录。

1.5.2 新元古代—泥盆纪

古秦岭洋属于古特提斯洋的北支,其开启时间存在争论(张国伟等,2003;王涛等,2009)。张国伟等(2001,2003)、李三忠等(2000,2003)认为该洋盆开启于泥盆纪。但是,沉积学研究表明,在新元古代,至少在震旦纪,沿商丹一线已经出现了分割华北与扬子的古商丹洋(Liu and Zhang, 1999; Meng and Zhang, 1999; 李锦轶, 2001)。近年来大量来自勉略构造带内蛇绿岩(碧口群内基性火山岩)精确的年代学研究指示在新元古代该地区确实存在古洋盆,至少是大洋完全开启前的大陆裂谷或有限洋盆环境(夏祖春等, 1999; 丁振举等, 2003; 赖绍聪等, 2003; 闫全人等, 2003; 李永飞和赖绍聪, 2006; 闫全人等, 2007; 王涛等, 2009)。同时,对碧口群内的沉积变质岩、横丹群、西乡群、白水江群的系统研究及泥盆系沉积相分析表明,扬子板块北缘自新元古代至泥盆纪一直存在海水沉积,甚至是主动大陆边缘环境(丁振举和刘丛强, 2000; 闫全人等, 2002; 闫臻等, 2007, 王涛等, 2006)。如此一来,关于碧口群的时代划分成为争论焦点。支持新元古代开启洋盆的人认为碧口群属于新元古代地体,但地层古生物的证据将碧口群划归泥盆纪(王宗起等, 2009a; 2009b)。张国伟等(2003)持泥盆纪开启洋盆的观点,其主要依据也是勉略带内沉积硅质岩中的古生物证据和综合地质判断。他们也注意到了带内年龄为10~8亿年的蛇绿岩,但未给出合理解释。

1.5.3 泥盆纪—中三叠纪

按照张国伟等(2003)的观点,这一阶段是洋盆发生、发展和开始消亡的过程。在扬子板块北缘的南秦岭存在D-T的连续海相地层沉积(陈衍景, 2010)。但是,人们对于洋盆开始俯冲闭合的具体时间存在争论。张国伟等(2003)认为洋盆发育发生在 D_{2-3} - P_1 ,而俯冲消减碰撞造山发生在 P_2 - T_{2-3} 。而陈衍景(2010)认为三叠纪的秦岭恰似现在的地中海,处在洋陆俯冲向陆陆碰撞转化的阶段,并未闭合。如此以来,便不可避免地涉及西秦岭印支期花岗岩的成因和构造环境归属。按照张国伟等(2003)的观点,印支期花岗岩属于同碰撞或后碰撞花岗岩。而陈衍景(2010)认为这无法解释西秦岭花岗岩的空间分布特征以及西秦岭连续的三叠纪海相地层分布,认为印支期花岗岩应该是洋盆闭合前洋陆俯冲的产物。同时,陈衍景(2010)认为在印支期秦岭由洋—陆俯冲到陆—陆碰撞的转换期存在大规模的成矿作用:如,西秦岭的卡林一类卡林型金矿(陈衍景等, 2004; 朱赖民等, 2009)、华北克拉通南缘造山型金矿(卢欣祥等, 2008)、钼矿

(黄典豪等, 2009)、西秦岭温泉斑岩型钼矿(Zhu et al., 2009)、小秦岭造山型钼矿(李诺等, 2008)等。秦岭印支期与盆山转换相应的岩浆作用及成矿作用以前被长期忽视(陈衍景, 2010), 这也是该地区第一个成矿高峰期。

何进忠和姚书振(2011)认为西秦岭地区沉积成矿的峰期发生于志留纪和泥盆纪。

1.5.4 晚三叠—白垩纪

从晚三叠开始, 秦岭洋盆进入了闭合到大规模碰撞造山的时期。张国伟等(2003)认为 T_3 之后西秦岭进入了后造山陆内构造演化阶段, 而陈衍景(2010)认为燕山期是该地区大规模的同碰撞造山—岩浆活动阶段, 尤其是燕山中期是大规模岩浆作用与成矿阶段。有些学者将 200Ma 以后的成矿年龄解读为碰撞后伸展时期的成矿事件(邵世才和汪东波, 2001; 朱赖民等, 2009)。也即印支期为主碰撞造山期, 燕山期是与碰撞后伸展有关的成矿期。这一时期是西秦岭第二个成矿高峰期。

白垩纪之后的陆内构造演化阶段。这一时期一系列巨型弧形推覆构造和陆内强变形带形成, 并伴随局部的急剧隆升和新的伸展垮塌。

纵观整个秦岭造山带的演化过程, 核心问题始终围绕古秦岭洋的开启、发展和关闭展开。大的构造演化格架和时间顺序基本清晰。在印支期晚期中国南北大陆完成主体拼合这一点是共识, 只是具体的闭合时间节点存在争议。与洋—陆俯冲碰撞和陆—陆碰撞相关的两期花岗岩演化事件以及与之相对应的两个成矿作用峰期认识也是一致的, 只是关于矿床成因和岩浆岩构造属性存在争议。这些争议固然源于该地区构造演化历史的复杂性, 在很大程度上也缘于目前我们所获得的成矿年代学数据的零散和不精确。因此, 争议不可避免, 并将随着资料的日益积累而趋于统一。

参考文献

- 陈衍景, 张静, 张复新, Franco PIRAJNO, 李超. 2004. 西秦岭地区卡林—类卡林型金矿床及其成矿时间、构造背景和模式. 地质论评, 50(2): 134-152.
- 陈衍景. 2010. 秦岭印支期构造背景-岩浆活动及成矿作用. 中国地质, 37(4): 0854-0865.
- 丁振举, 刘丛强. 2000. 碧口群古热水系统发育的富铁硅岩稀土元素地球化学证据. 自然科学进展, 10(5): 427-434.
- 丁振举, 姚书振, 周宗桂, 刘丛强. 2003. 碧口群不同岩片火山岩微量元素组成差异与古构造意义. 地球科学——中国地质大学学报, 28: 167-172.
- 杜子图, 吴淦国, 吕古贤, 王平安, 董法宪. 1998. 西秦岭及周边地区构造体系划分与构造演化. 地质力学学报, 4: 41-49.
- 何进忠, 姚书振. 2011. 新元古代以来甘肃西秦岭造山过程的地球化学证据及其成矿背景. 中国地质,