

文章编号: 0258-7106(2006)05-0590-08

西秦岭寨上金矿床中石英和绢云母 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 定年*

路彦明^{1,2} 李汉光^{1,2} 陈勇敢² 张国利²

(1 中国地质大学地球科学与资源学院, 北京 100083; 2 武警黄金地质研究所, 河北 廊坊 065000)

摘要 寨上金矿是西秦岭地区近年新发现的大型金矿床。为确定该金矿床的成矿时代, 对其含金石英、蚀变绢云母进行了 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 快中子活化法测定。2件样品的 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪年龄及等时线年龄分别为 $(130.62 \pm 1.38)\text{Ma}$ 、 $(129.24 \pm 1.23)\text{Ma}$ 和 $(125.28 \pm 1.26)\text{Ma}$ 、 $(125.56 \pm 1.20)\text{Ma}$, 测试结果可信。 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 法年龄测定结果表明, 寨上金矿床形成于燕山晚期, 并可能历经了约5 Ma时间最终形成。对西秦岭地区已有的金矿床测年数据进行分析后认为, 该区可能存在3个金矿成矿高峰期, 即220~170 Ma, 130 Ma前后和50 Ma左右。

关键词 地质学, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 测年, 金矿, 寨上, 西秦岭

中图分类号: P618.51;

文献标识码: A

$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating of alteration minerals from Zhaishang gold deposit in Minxian County, Gansu Province, and its geological significance

LU YanMing^{1,2}, LI HanGuang^{1,2}, CHEN YongGan² and ZHANG GuoLi²

(1 School of Earth and Resource Science, China University of Geosciences, Beijing 100083, China;

2 Gold Geological Institute of CAPF, Langfang 065000, Hebei, China)

Abstract

The Zhaishang gold deposit, a large-size gold deposit recently discovered in western Qinling area, belongs to the fine-grained dissemination type. Samples of gold-quartz veins and sericite were determined by $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ fast-neutron activation techniques. The plateau ages of the two samples are $(130.62 \pm 1.38)\text{Ma}$ and $(125.28 \pm 1.26)\text{Ma}$, and the isochron ages are $(129.24 \pm 1.23)\text{Ma}$ and $(125.56 \pm 1.20)\text{Ma}$, respectively. The ages of the samples are reliable. According to the results of the $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating, the time limit of gold mineralization should be $(130.62 \pm 1.38)\text{Ma} \sim (125.28 \pm 1.26)\text{Ma}$. Statistics of the time limits of fourteen gold deposits including the Zhaishang deposit in western Qinling show that gold mineralization in this area experienced three important ore-forming events, namely, 220~170 Ma, 130 Ma and 50 Ma. The authors hold that the three events were separately restrained by three different geodynamic environments.

Key words: geology, $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating, gold deposit, Zhaishang, West Qinling

西秦岭地区是中国重要的金成矿带, 近10年来所发现的卡林型或微细浸染型金矿是秦岭造山带的主要金矿类型之一。随着上世纪90年代礼县中川

地区李坝、马泉大中型金矿和本世纪文县阳山特大型金矿的陆续发现, 有关该区金矿成矿时代已积累了一定的数据, 但对区域金矿成矿时代的认识还

* 本文得到武警黄金指挥部地质专项资金项目(Hj03-01)资助

第一作者简介: 路彦明, 男, 1971年生, 在读博士研究生, 高级工程师, 主要从事金矿成矿等研究工作。

收稿日期: 2005-04-01; 改回日期: 2006-04-01。许德煊编辑。

有分歧。一种观点认为,西秦岭地区金矿的成矿时间以 170 Ma 为高峰,成矿年龄介于 220~100 Ma 之间(陈衍景等 2004);另一观点认为,该区在印支-燕山早期、燕山晚期、喜马拉雅期均有金成矿作用发生(Qi et al 2004, 杨恒书等,1996, 杨俊龙等,1997)。

寨上金矿床位于西秦岭造山带北亚带(图 1)(张国伟等,1996)地处甘肃省岷县境内礼(县)-岷(县)矿带的西段,其资源量已达大型规模。该金矿床作为目前西秦岭地区礼-岷矿带西段唯一的大型金矿,仅在矿床地质特征、控矿因素等方面进行过初步研究,而缺乏可靠的同位素年龄数据,对认识该矿床的成矿作用、区域金成矿时代等,带来一定的困难。因此,有必要对该金矿床开展可信度高的同位素测年工作。

1 矿床特征

寨上金矿床位于西秦岭礼(县)-岷(县)金矿带的西段。矿区内出露的地层以泥盆系中、上统和二叠系下统为主,占矿区出露地层面积的 70% 左右,其次为近水平不整合于古生代地层之上的老第三系(图 2)。赋矿地层为泥盆系、二叠系的板岩、砂岩等

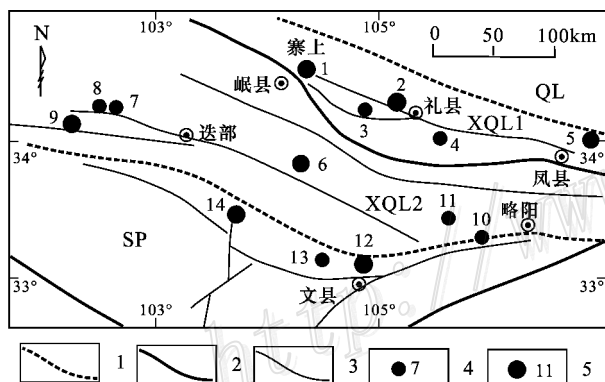


图 1 寨上金矿床大地构造位置图(据张国伟等,1996 修编)
SP—松潘造山带;XQL1—西秦岭造山带北亚带;XQL2—西秦岭造山带南亚带;QL—祁连山造山带;1—板块缝合带主断裂;2—构造地层单元分界断裂;3—一般断裂;4—储量为 5~20 t 的金矿床;5—储量大于 20 t 的金矿床(矿床编号及名称见表 2)

Fig. 1 Geotectonic location of the Zhaishang gold deposit
SP—Songpan orogenic belt; XQL1—North Qinling orogenic belt; XQL2—South Qinling orogenic belt; QL—Qilian orogenic belt; 1—Main fault of the suture zone; 2—Boundary fault of tectonic-stratigraphic units; 3—Common fault; 4—Gold deposit with reserves of 5~20 t Au; 5—Gold deposit with reserves of >20 t Au (Serial number and name of ore deposit as for Table 2)

一些浅变质岩类。矿区内及外围未发现岩体及火山岩浆活动的明显证据,仅在矿区西延 5 km 处的构造带内发现有少量安山质火山凝灰岩。

由于受近 SN 向挤压作用的影响,矿区内的岩层普遍发生较强烈的褶皱变形作用,形成了区域性的褶皱构造——卓洛-扎麻树背斜。该褶皱属倒转背斜,其北翼地层北倾 45~50°,南翼地层北倾 60~70°,局部近直立。矿区内的断裂构造,其总体展布方向与区域构造方向一致,为 NWW-NW 向,且总体来看无明显的连续的断层面及稳定的构造角砾岩,而是由一系列次级断裂和强变形带构成。矿区内已知的主要矿脉均产于褶皱构造的两翼,受断裂和褶皱双重控制。

迄今,在寨上金矿区内已发现金矿脉 30 余条(图 2),按其空间分布特征及其与控矿构造的空间关系,可分为南、北 2 个矿带,北矿带位于褶皱的北翼,南矿带位于褶皱南翼靠近核部的位置。矿脉近平行产出,总体走向为 280~300°,均为北倾,倾角变化较大。原生矿石类型有蚀变岩型及石英脉型。矿石中的金属矿物以微细粒黄铁矿为主,次为闪锌矿、方铅矿、黄铁矿、辉锑矿等,个别矿脉中有锑多金属矿化,锑可达工业品位。矿石中的非金属矿物以石英、绢云母及高岭石等粘土类矿物为主,碳酸盐类矿物少见。矿石中的自然金为不可见金。矿体与围岩无明显的界限,以工程样品的金含量测试结果来确定矿体边界。矿床的围岩蚀变主要有硅化、绢云母化、黄铁矿化、褐铁矿化、碳酸盐化和高岭土化。

金成矿的热液作用成矿期可划分为 4 个阶段:① 石英-中细粒黄铁矿阶段,以形成中细粒自形、半自形的黄铁矿和脉石英(部分脉体宽度可达数十厘米)为特征,矿化较弱,矿石的 Au 含量较低;② 石英-微细粒黄铁矿-毒砂阶段,以发育细脉状石英及细脉浸染状微细粒黄铁矿和毒砂为特征,黄铁矿的粒度一般 <0.01 mm,矿石的 Au 含量多为 1~5 g/t;③ 石英-多金属硫化物阶段,以发育多种金属硫化物为特征,具多金属硫化物矿化的矿石的 Au 含量多在 10 g/t 以上;④ 石英-碳酸盐化阶段,以出现碳酸盐岩脉为主要特征,脉体规模较小,呈细脉产出,金属硫化物含量较低,多数矿石的 Au 含量达不到工业品位。

截至 2003 年底,寨上金矿床已圈定金矿体 9 个,探明金资源量 23 000 kg,矿体的 Au 平均品位为 $(3.3\sim 11.87)\times 10^{-6}$ 。

对矿床的同位素地球化学、流体包裹体温压和成

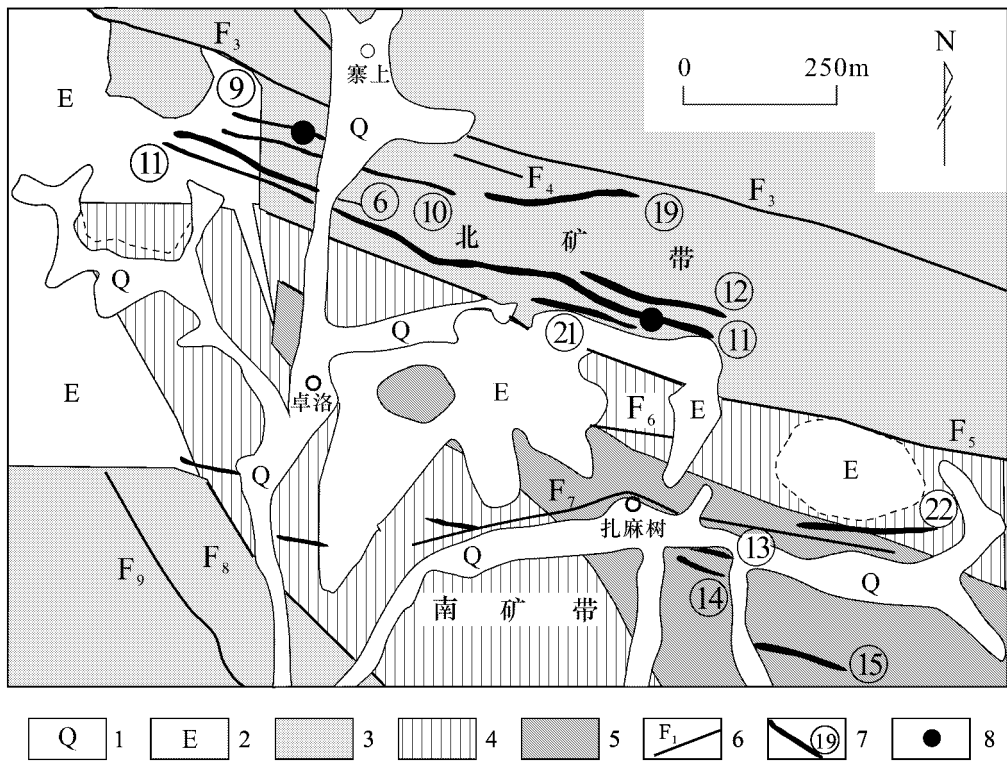


图2 寨上金矿区综合地质略图(据武警黄金第五支队 2004^①修编)

1—第四系 2—老第三系 3—下二叠统 4—上泥盆统大草滩群 5—中泥盆统 6—断层及编号 7—金矿化脉及其编号 8—采样点位置

Fig. 2 Comprehensive geological map of the Zhaishang gold district (modified after No. 5 Detachment of CAPF, 2004)

1—Quaternary; 2—Palaeogene; 3—Lower Permian; 4—Upper Devonian Dacotan Group; 5—Middle Devonian; 6—Fault and its serial number; 7—Gold mineralization vein and its serial number; 8—Sampling spot

分、稀土元素组成等研究表明,寨上金矿由深部流体与浅部流体相互作用,并与围岩发生部分物质交换,最终在有利的构造部位富集形成微细浸染型金矿。

2 样品及测试方法

用于同位素测年的石英样品产自 11 号矿脉中的含金石英脉(样品号 ZS-64-2, 采样位置见图 2), 采样部位的矿体厚度 >20 m, 采样位置在矿体的中部, 采样石英脉的厚度为 10 cm。样品中含有较多的细粒、微细粒黄铁矿及其他金属硫化物, 金含量为 10×10^{-6} 。首先, 将样品逐级破碎、过筛、挑选, 纯度达 98% 以上, 然后, 依次用 5% 的稀盐酸、5% 的稀硝酸对样品浸泡、冲洗, 以剔除其中少量的碳酸盐矿物和硫化物, 之后, 烘干样品。

绢云母样品产自 9 号矿脉体中的蚀变岩型矿石

(样品号 ZS-71, 采样位置见图 2)。采样部位的矿脉宽 10 m 左右, 其矿体宽 2 m, 有多条 <5 cm 的含金石英脉。样品产自矿体中部石英细脉的两侧, 金含量为 1.5×10^{-6} 。首先, 将样品粉碎, 用重力、磁法初选, 然后, 在双目镜下挑纯。

样品和标样的制备、快中子照射、阶段加热 Ar 的提取以及质谱分析, 均采用桑海青等(1994; 2001)所报道的流程和方法。用于中子通量监测的标准样为中国标样 ZBH-25 黑云母, 其年龄为 (132.7 ± 1.2) Ma。测试仪器为英国 RGA-10 气体源质谱计(VSS 公司), 全系统静态本底为: $^{40}\text{Ar} = 1.6 \times 10^{-14}$ mol, $^{36}\text{Ar} = 1.2 \times 10^{-16}$ mol。

3 测试结果

实验数据和处理结果以及年龄测试结果见表 1

① 武警黄金第五支队, 2004. 甘肃岷县寨上矿区及外围岩金普查地质报告. 内部资料.

和图 3。

石英样品给出的⁴⁰Ar/³⁹Ar 年龄谱呈两侧高、中间低的形状(图 3A),是石英常见的谱线特征,即所谓的“马鞍型”年龄谱(Lanphere et al., 1976)。测试结果表明,过剩 Ar 赋存在 2 个矿物相(低温相和高温相)中,低温相中的过剩 Ar 主要来源于流体包裹体所占比例较小,高温相中的过剩 Ar 来源于石英晶格,所占比例较大。这两个矿物相给出的⁴⁰Ar/³⁹Ar 视年龄,一般不具地质年代学意义(桑海青, 1994)。对样品进行了 10 个⁴⁰Ar/³⁹Ar 阶段加热析氩实验(表 1),其中 4 个中温阶段构成了较为平坦的谱线,³⁹Ar 析出量为 52.39%,坪年龄 $t_p = (130.62 \pm 1.38) \text{Ma}$,等时线年龄 $t_i = (129.24 \pm 1.23) \text{Ma}$,⁴⁰Ar/³⁶Ar 的初始值为 (295.9 ± 0.6) 。 t_p 与 t_i 相一致,说明数据精度较高,⁴⁰Ar/³⁶Ar 初始值与尼尔值 (295.5) 相当,表明坪区氩同位素不含过剩 Ar, t_p 与

t_i 均可代表石英的形成年龄(桑海青, 2001)。

对绢云母样品进行了 12 个⁴⁰Ar/³⁹Ar 阶段加热析氩实验(表 1)。在其年龄谱图(图 3B)上,较低温区($< 700^\circ\text{C}$)出现一些氩同位素组成的变化,说明矿物颗粒边缘有一定量的氩发生丢失,从而引起视年龄的波动(Faure, 1998)。中、高温区的视年龄构成了平坦的坪年龄谱,表明矿物内部的氩同位素组成稳定,边缘氩的丢失未影响到矿物内部,说明其在 125 Ma 形成之后未受到高于其封闭温度的构造-热事件的影响。9 个中、高温阶段谱线的坪年龄 $t_p = (125.28 \pm 1.26) \text{Ma}$,等时线年龄 $t_i = (125.56 \pm 1.20) \text{Ma}$,⁴⁰Ar/³⁶Ar 的初始值为 (291.9 ± 5.3) ,与尼尔值 (295.5) 相当,表明坪区的氩同位素不含显著过剩氩。⁴⁰Ar/³⁶Ar 与 ³⁹Ar/³⁶Ar 相关系数为 $r = 0.99998$, t_p 与 t_i 相一致,说明数据可信。

表 1 寨上金矿床内石英和绢云母的⁴⁰Ar/³⁹Ar 快中子活化年龄测试数据

Table 1 ⁴⁰Ar/³⁹Ar fast-neutron activation dating data of quartz and sericite from Zhaishang gold deposit

加热阶段	$\theta/^\circ\text{C}$	$(^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{36}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{37}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$(^{38}\text{Ar}/^{39}\text{Ar})_m$	$^{39}\text{Ar}_K/10^{-12} \text{ mol}$	$(^{40}\text{Ar}^*/^{39}\text{Ar}_K) \pm 1\sigma$	$^{39}\text{Ar}_K/\%$	视年龄 $(t \pm 1\sigma)/\text{Ma}$
石英(ZS-64-2)									
1	400	39.568	0.0882	0.50517	0.19019	1.182	13.63 ± 0.01	9.80	235.81 ± 3.96
2	480	15.225	0.0270	0.64709	0.11981	2.574	7.305 ± 0.008	21.3	130.14 ± 1.82
3	560	24.230	0.0576	1.0660	0.19807	1.205	7.329 ± 0.013	9.99	130.56 ± 2.31
4	640	19.513	0.0416	0.90001	0.16249	1.669	7.310 ± 0.011	13.8	130.24 ± 2.06
5	730	30.605	0.0789	0.76018	0.23157	0.8811	7.427 ± 0.016	7.30	132.25 ± 2.58
6	850	29.170	0.0707	0.75216	0.22682	0.9507	8.409 ± 0.0159	7.88	149.03 ± 2.86
7	1000	28.404	0.0638	0.68106	0.21702	1.089	9.667 ± 0.015	9.03	170.30 ± 3.15
8	1150	35.057	0.0851	0.73611	0.24285	0.8115	10.05 ± 0.02	6.73	176.84 ± 3.52
9	1300	35.581	0.0802	0.59916	0.26046	0.9971	12.01 ± 0.02	8.26	209.36 ± 4.35
10	1500	43.666	0.1000	0.59856	0.24333	0.6957	14.28 ± 0.02	5.76	246.31 ± 4.83
绢云母(ZS-71)									
1	500	34.400	0.0799	0.0734	0.1140	0.5799	10.84 ± 0.01	0.585	191.61 ± 2.59
2	600	24.750	0.0524	0.0812	0.0925	0.9279	9.286 ± 0.006	0.936	165.27 ± 2.12
3	700	15.500	0.0257	0.0867	0.0564	1.623	7.915 ± 0.003	1.63	141.78 ± 1.70
4	750	10.289	0.0108	0.0496	0.0380	3.201	7.067 ± 0.002	3.22	127.13 ± 1.49
5	800	9.4782	0.0086	0.0347	0.0276	5.335	6.893 ± 0.001	5.38	124.10 ± 1.45
6	850	7.6744	0.0023	0.0147	0.0103	19.95	6.960 ± 0.000	20.1	125.27 ± 1.45
7	900	7.6785	0.0022	0.0146	0.0091	25.98	6.992 ± 0.000	26.2	125.82 ± 1.46
8	950	7.8676	0.0029	0.0158	0.0116	15.77	6.973 ± 0.000	15.9	125.49 ± 1.45
9	1000	8.0769	0.0038	0.0169	0.0110	12.06	6.916 ± 0.000	12.1	124.50 ± 1.44
10	1130	8.7058	0.0058	0.0193	0.0125	7.887	6.946 ± 0.000	7.95	125.02 ± 1.45
11	1250	10.625	0.0125	0.0317	0.0143	3.711	6.919 ± 0.000	3.74	124.56 ± 1.44
12	1400	13.555	0.0222	0.0321	0.0160	2.087	6.990 ± 0.000	2.10	125.79 ± 1.46

注 样品重量 $m_{\text{石英}} = 0.2133\text{g}$, $m_{\text{绢云母}} = 0.0968\text{g}$; 照射参数 $J_{\text{石英}} = 0.01024$, $J_{\text{绢云母}} = 0.01033$, $\lambda = 5.543\text{E}^{-10}/\text{年}$; 下角标 m 表示质谱计测定; K 表示由钾变成的。测试单位:中国科学院地质与地球物理研究所 Ar-Ar 定年实验室。

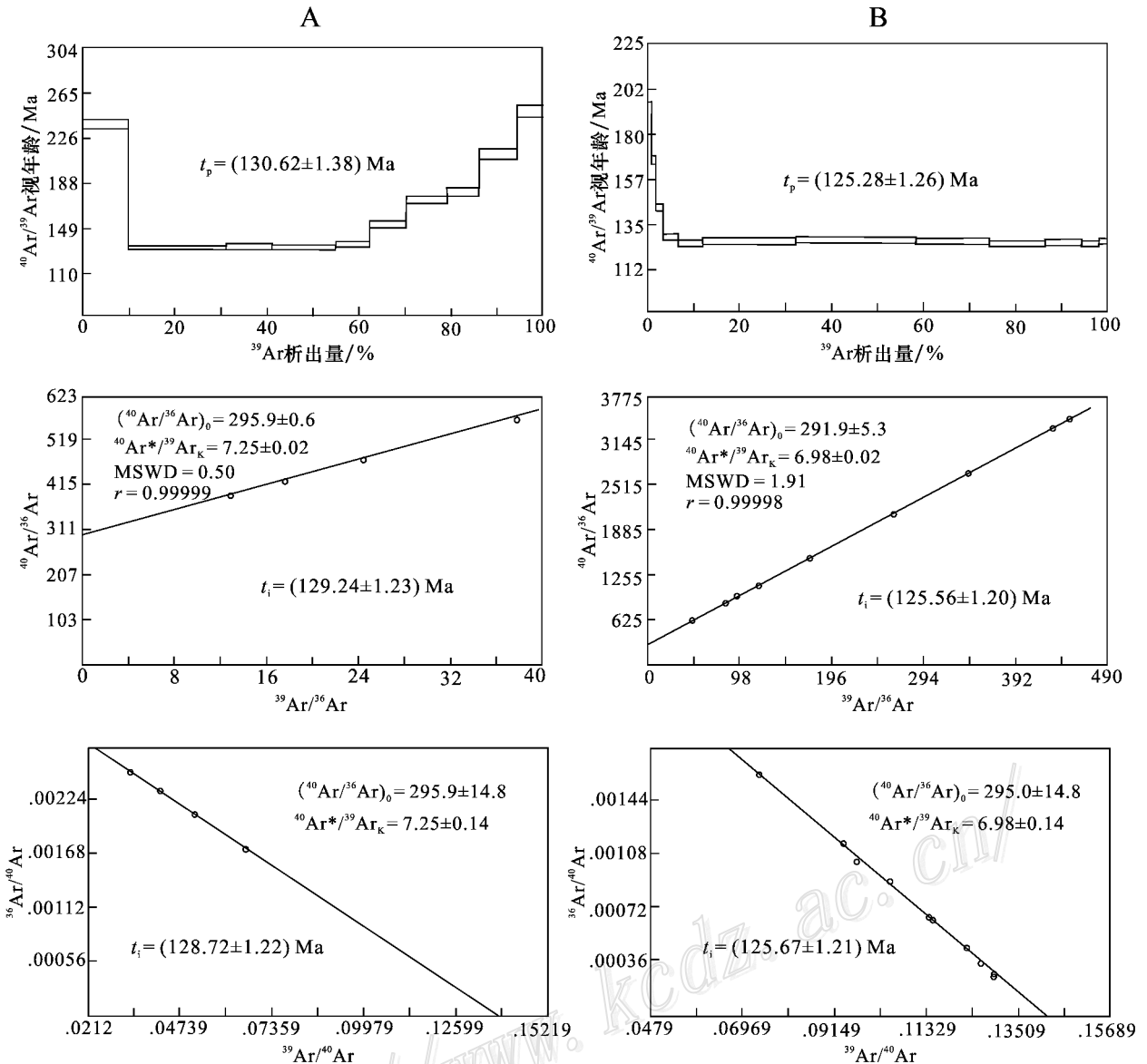


图3 寨上金矿床内石英和绢云母的年龄谱图

A—石英; B—绢云母

Fig. 3 Age spectrum diagram of quartz and sericite from the Zhaishang gold deposit

A—Quartz B—Sericite

4 地质意义

用于本次 $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 快中子活化法年龄测定的样品为石英和绢云母。前者为石英-多金属硫化物阶段的产物,该阶段是寨上金矿床矿化最强的阶段。测试结果表明,含金石英的形成年龄为 (130.62 ± 1.38) — (129.24 ± 1.23) Ma,可代表寨上金矿床主

成矿阶段的形成时代。用于测试的绢云母样品是主成矿阶段热液蚀变的产物,其年龄谱特征分析表明,矿物内部的Ar同位素组成稳定,边缘Ar的丢失未影响到矿物内部,指示出所测绢云母在125 Ma左右形成之后未受到高于其封闭温度(300℃左右)的热扰动,这与主成矿阶段流体包裹体的均一温度(300~220℃^①)基本一致,因此,绢云母作为与矿化同期的热液蚀变的产物,其结晶时间可代表金矿化

① 武警黄金地质研究所. 2003. 甘肃岷县寨上金矿区及外围金矿成矿规律及找矿预测报告. 内部资料.

的时间。上述 2 种矿物的⁴⁰Ar/³⁹Ar 定年实验所得出的成矿时间基本吻合,表明该金矿床形成于燕山晚期。此外,绢云母的结晶年龄小于同期主成矿阶段含金石英脉的形成年龄,暗示石英脉两侧的绢云母蚀变作用的时间滞后于脉状石英的结晶时间约 5 Ma,反映出矿床的形成是经历了一段时间,而非形成于一个时间点。这表明寨上金矿床形成于燕山晚期,可能历经了约 5 Ma 时间最终形成。

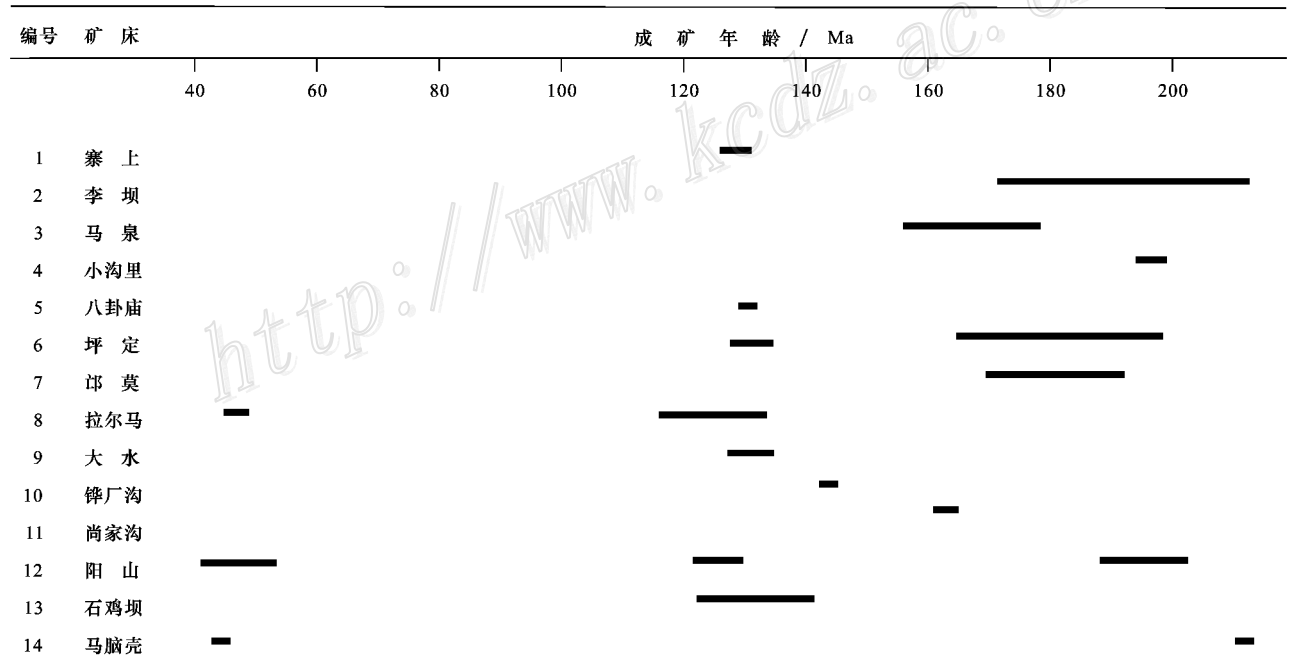
结合本次定年结果,对西秦岭地区凤县—略阳一线以西有精确测年数据的中型以上主要金矿床的形成年龄(表 2)进行了对比研究,研究发现:该地区的金成矿作用最早始于 220 Ma 前后的印支晚期,最晚结束于 40 Ma 的第三纪早期;在 220~40 Ma 年龄区间,矿床成矿年龄的分布并不均匀,出现 3 个峰区(220~170 Ma,130 Ma 前后,50 Ma 左右)和 2 个谷区(160 Ma 左右,110~60 Ma);在 220~170 Ma、130 Ma 前后的 2 个峰区,集中了大多数矿床。上述金矿床成矿年龄的分布特点,暗示出该地区金成矿历史的长期性、多期性及复杂性。

西秦岭造山带最终隆起于中生代华北与华南古

大陆板块之间的碰撞造山作用(张国伟等,1996),三叠纪末的印支运动,使该地区开始了强烈的陆陆碰撞,陆壳大规模缩短增厚及印支期后出现广泛的后造山伸展塌陷(张国伟等,2004),造就了该地区印支期岩浆活动的高峰期(220~180 Ma)(杜子图,1998)220~170 Ma 的成矿高峰期与由挤压转换为短暂伸展的强烈构造-岩浆活动环境相吻合。晚侏罗世—早白垩世期间,该地区发生了区域性的强烈逆冲推覆(张国伟等,2004)及大规模的走滑造山(冯益民等,2003),并形成了又一重要的岩浆活动高峰期(杜子图,1998),130 Ma 前后的成矿高峰期是该期构造-岩浆活动的产物。上述 2 个高峰期与中国金矿床成矿高峰期(毛景文等,2003;邵世才等,2001;翟裕生,2002)的时间基本一致。在晚白垩世—新生代初,新特提斯洋闭合,印度板块与欧亚大陆碰撞,秦岭的活化表现出西强东弱的空间规律(孙晓猛等,2004)。西秦岭地区 50 Ma 时的成矿作用在空间上集中于南带,并与中国西南地区许多金矿床的成矿时代相对应(陈毓川等,2001),可能和印度板块与欧亚大陆碰撞有关。

表 2 西秦岭主要金矿床的成矿年龄

Table 2 Ore-forming ages of major gold deposits in western Qinling



注:矿床编号同图 1;各矿床资料来源:1—本文;2—柳淼,1994;黄杰等,2000;冯建忠等,2003;3—马建伟等,1997;4、5、11—邵世才等,2001;6—林宝增等,1994;王平安等,1998;杜子图等,1998;7—郑明华,1994;8—李亚东等,1994;杨俊龙等,1997;9—杜子图等,1998;阎升好等,2000;10—张复新,2001;12—齐金忠等,2003;Qi et al.,2004;13—王平安等,1998;14—季宏兵等,1999;付绍洪等,2004。

5 结 论

(1) $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 同位素分析所获的石英的形成年龄为 $(130.62 \pm 1.38) \sim (129.24 \pm 1.23)\text{Ma}$, 绢云母的形成年龄为 $(125.56 \pm 1.20) \sim (125.28 \pm 1.26)\text{Ma}$, 表明寨上金矿床形成于燕山晚期, 可能历经了约 5 Ma 时间最终形成。

(2) 西秦岭地区的金成矿作用出现 3 个高峰期: 220~170 Ma, 130 Ma 前后、50 Ma 左右, 受不同的地球动力学环境的制约。

致 谢 关于金矿成矿事件等问题得到毛景文研究员的指导; 本文初稿完成后, 得到张世红教授、齐金忠博士的审阅并提出了修改意见。作者在此致以热忱谢意。

References

- Chen J Y, Yang Y C, Huo X G and Shang R J. 1995. Tectonic history of Qinling-Qilianshan-Kunlunshan mountains and the matching of both south and north Chinese Plates [J]. *Geology of Shaanxi*, 13(2): 1~11 (in Chinese with English abstract).
- Chen Y C and Wang D H. 2001. Study of Himalayan endogenic mineralization [M]. Beijing: Seismological Press. 1~138 (in Chinese with English abstract).
- Chen Y J, Zhang J, Zhang F X, Pirajno F and Li C. 2004. Carlin and Carlin-like gold deposits in Western Qinling mountains and their metallogenic time, tectonic setting and model [J]. *Geological Review*, 50(2): 134~152 (in Chinese with English abstract).
- Du Z T, Wu G G and Wang Y Q. 1998. Study on tectonic dynamic ore mineralization of fine disseminated type of gold deposit: Example as Baxi gold deposit in west Qinling [J]. *Geoscience*, 12(1): 75~82 (in Chinese with English abstract).
- Faure G. 1998. Isotope geochronology and its applications to geology [J]. *Earth Science Frontiers*, 5(1~2): 17~39.
- Feng J Z, Wang D P, Wang X M, Shao S C, Lin G F and Shi J J. 2003. Geology and metallogenesis of Liba large-size gold deposit in Lixian Gansu Province [J]. *Mineral Deposits*, 22(3): 257~263 (in Chinese with English abstract).
- Feng J Z, Wang D P, Wang X M and Shao S C. 2004. Stable isotope geochemistry of three typical gold deposits in the West Qinling [J]. *Geology in China*, 31(1): 78~84 (in Chinese with English abstract).
- Feng Y M, Cao X D, Zhang E P, Hu Y X, Pan X P, Yang J L, Jia Q Z and Li W M. 2003. Tectonic evolution framework and nature of the west Qinling orogenic belt [J]. *Northwestern Geology*, 36(1): 1~10 (in Chinese with English abstract).
- Fu S H, Gu X X and Wang P. 2004. Rb-Sr isotopic compositions of fluid

inclusions in the Manaoke gold deposit, Northwest Sichuan Province: Constraint for the ore genesis [J]. *Geochimica*, 33(1): 94~98 (in Chinese with English abstract).

- Huang J, Wang J Y and Wei L M. 2000. Geological characteristics and genesis of the Liba gold deposit, Gansu Province [J]. *Mineral Deposits*, 19(2): 105~115 (in Chinese with English abstract).
- Ji H B, Wang S J and Wen J M. 1999. The metallogenic chronology for the Manaoke gold deposit in the northwestern Sichuan Province [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 18(2): 95~98 (in Chinese with English abstract).
- Lanphere M and Dalrymple G B. 1976. Identification of excess $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age spectrum technique [J]. *Earth Planet Sci. Lett.*, 32: 141~148.
- Li Y D and Li Y T. 1994. Geological characteristics and metallogenic model of the Laerma fine-grain disseminated gold deposit, Gansu [A]. In: Liu D S, ed. *The Carlin-type (fine-grain disseminated) gold deposits in China* [C]. Nanjing: Nanjing University Press. 226~253 (in Chinese with English abstract).
- Lin B Z, Wang S and Si G Q. 1994. Geological characteristics and metallogenic model of the Pingding As-Au deposit [A]. In: Liu D S, ed. *The Carlin-type (fine-grain disseminated) gold deposits in China* [C]. Nanjing: Nanjing University Press. 203~225 (in Chinese with English abstract).
- Liu M. 1994. Geological characteristics of Liba gold deposit [A]. In: Liu D S, ed. *The Carlin-type (fine-grain disseminated) gold deposits in China* [C]. Nanjing: Nanjing University Press. 160~202 (in Chinese with English abstract).
- Mao J W, Zhang Z H, Yu J J, Wang Y T and Niu B G. 2003. Geodynamic settings of Mesozoic large-scale mineralization in the North China and adjacent areas: Implication from the highly precise and accurate ages of metal deposits [J]. *Science in China (Series D)*, 33(4): 289~299 (in Chinese).
- Qi J Z, Yuan S S, Li L, Fan Y X, Liu W, Gao Q B, Sun B, Guo J H and Li Z H. 2003. Geological and geochemical studies of Yangshan gold deposit, Gansu Province [J]. *Mineral Deposits*, 22(1): 24~31 (in Chinese with English abstract).
- Qi J Z, Yuan S S, Liu Z J, Liu D Y, Wang Y B, Li Z H, Guo J H and Sun B. 2004. U-Pb SHRIMP dating of zircon from quartz veins of the Yangshan gold deposit in Gansu Province and its geological significance [J]. *Acta Geologica Sinica*, 78(2): 443~451.
- Sang H Q, Qiu J and Wang Y L. 2001. Some improvement $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ step-heating dating technique of quartz and its significance [J]. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 20(4): 444~447 (in Chinese with English abstract).
- Sang H Q, Wang S S, Hu S L and Qiu J. 1994. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating method and Ar isotopic mass spectrometry analysis of quartz [J]. *Journal of Chinese Mass Spectrometry Society*, 15(2): 17~27 (in Chinese with English abstract).
- Shao S C and Wang D B. 2001. Ar-Ar dating of three typical gold deposits and its geological significance in the south Qinling region [J]. *Acta Geologica Sinica*, 75(1): 106~110 (in Chinese with English abstract).
- Sun X M, Wu G Y, Hao F J, Zhang M S and Liu P J. 2004. Epochs and space-time migrating of Meso-Cenozoic thrust-nappe tectonics in the

- North Qinling-Dabie orogen [J]. Chinese Journal of Geology, 39 (1): 63~76 (in Chinese with English abstract).
- Wang P A, Chen Y C and Pei R F. 1998. Regional metallogenic series and tectono-metallogenic cycles and evolution of the Qinling orogen [M]. Beijing: Geol. Pub. House. 1~161 (in Chinese with English abstract).
- Yan S H, Wang A J, Gao L, Zhao Y Q, Hu C J and Chen G Z. 2000. Geological characteristics and genesis of the Dashui type gold deposits [J]. Mineral Deposit, 19 (2): 126~137 (in Chinese with English abstract).
- Yang H S, Zhang F L, Yin H F, Lai X L and Yang F Q. 1996. Evolution and metallogenesis of the west Qinling orogenic belt [J]. Acta Geologica Sichuan, 1996, 16 (1): 73~79 (in Chinese with English abstract).
- Yang J L and Yu B S. 1997. U-Th-Pb geochronology and lead isotope geochemistry of the Laerma Carlin type gold deposit in west Qinling mountain [J]. Geology and Mineral Resources of South China (4): 39~49 (in Chinese with English abstract).
- Zhai Y S, Miao L C, Xiang Y C, Deng J and Wang J P. 2002. Preliminary discussion on ore-forming system in greenstone belt-type of north China Craton [J]. Earth Science (Journal of China University of Geosciences), 27 (5): 522~529 (in Chinese with English abstract).
- Zhang F X. 2001. Types of gold deposits in the Qinling orogen and their geotectonic setting [A]. In: Chen Y J, Zhang J and Lai Y, ed. Continental geodynamics and metallogeny [C]. Beijing: Seismological Press. 90~99 (in Chinese with English abstract).
- Zhang G W, Guo A L and Yao A P. 2004. Western Qinling-Songpan continental tectonic node in China's continental tectonics [J]. Earth Science Frontiers, 11 (3): 23~32 (in Chinese with English abstract).
- Zhang G W, Meng Q R, Yu Z P, Sun Y, Zhou D W and Guo A L. 1996. Orogenesis and dynamics of the Qinling orogen [J]. Science in China (Series D), 26 (3): 225~234 (in Chinese).
- Zheng M H. 1994. Exhalative and turbidite type of stratabound gold deposits [M]. Chengdu: Sichuan Sci. & Technol. Press. 1~273 (in Chinese with English abstract).
- 同位素地球化学特征 [J]. 中国地质, 31 (1): 78~84.
- 冯益民,曹宣铎,张二朋,胡云绪,潘晓萍,杨军录,贾群子,李文明. 2003. 西秦岭造山带的演化、构造格局和性质 [J]. 西北地质, 36 (1): 1~10.
- 付绍洪,顾雪祥,王 莘. 2004. 川西北马脑壳金矿床流体包裹体 Rb-Sr 同位素组成对矿床成因的制约 [J]. 地球化学, 33 (1): 94~98.
- 黄 杰,王建业,韦龙明. 2000. 甘肃李坝金矿床地质特征及成因研究 [J]. 矿床地质, 19 (2): 105~115.
- 李宏兵,王世杰,文锦明. 1999. 川西北地区马脑壳金矿床的成矿年代学 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 18 (2): 95~98.
- 李亚东,李应涛. 1994. 甘肃拉尔玛微细浸染型金矿床地质特征及成矿模式 [A]. 见:刘东升,主编. 中国卡林型(微细浸染型)金矿 [C]. 南京:南京大学出版社. 226~253.
- 林宝增,王 炆,司国强. 1994. 坪定砷金矿床地质特征及成矿模式 [A]. 见:刘东升,主编. 中国卡林型(微细浸染型)金矿 [C]. 南京:南京大学出版社. 203~225.
- 柳 森. 1994. 李坝金矿床地质特征 [A]. 见:刘东升,主编. 中国卡林型(微细浸染型)金矿 [C]. 南京:南京大学出版社. 160~202.
- 毛景文,张作衡,余金杰,王义天,牛宝贵. 2003. 华北及邻区中生代大规模成矿的地球动力学背景:从金属矿床年龄精测得到启示 [J]. 中国科学(D), 33 (4): 289~299.
- 齐金忠,袁士松,李 莉,范永香,刘 伟,高秋斌,孙 彬,郭俊华,李志宏. 2003. 甘肃文县阳山金矿地质地球化学研究 [J]. 矿床地质, 22 (1): 24~31.
- 桑海清,裘 冀,王英兰. 2001. 石英⁴⁰Ar/³⁹Ar 阶段加热法定年的实验技术改进及意义 [J]. 矿物岩石地球化学通报, 20 (4): 444~447.
- 桑海清,王松山,胡世玲,裘 冀. 1994. 石英的⁴⁰Ar/³⁹Ar 定年方法及 Ar 同位素质谱分析 [J]. 质谱学报, 15 (2): 17~27.
- 邵世才,汪东坡. 2001. 南秦岭 3 个典型金矿床的 Ar-Ar 年代学及其地质意义 [J]. 地质学报, 75: 106~110.
- 孙晓猛,吴根耀,郝福江,张梅生,刘鹏举. 2004. 大别造山带北部中-新生代逆冲推覆构造期次及时空迁移规律 [J]. 地质科学, 39 (1): 63~76.
- 王平安,陈毓川,裴荣富. 1998. 秦岭造山带区域矿床成矿系列、构造-成矿旋回与演化 [M]. 北京:地质出版社. 1~161.
- 阎升好,王安建,高 兰,赵彦庆,胡传玖,陈国忠. 2000. 大水式金矿床地质特征及成因探讨 [J]. 矿床地质, 19 (2): 126~137.
- 杨恒书,张凤岭,殷鸿福,赖旭龙,杨逢清. 1996. 西秦岭造山带演化与成矿 [J]. 四川地质学报, 16 (1): 73~79.
- 杨俊龙,余必胜. 1997. 西秦岭拉尔玛卡林型金矿床的 U-Th-Pb 年代学与 Pb 同位素地球化学研究 [J]. 华南地质与矿产 (4): 39~49.
- 翟裕生,苗来成,向运川,邓 军,王建平. 2002. 华北克拉通绿岩带型金矿成矿系统初析 [J]. 地球科学, 27 (5): 522~529.
- 张复新. 2001. 秦岭造山带金矿类型与地质构造背景 [A]. 见:陈衍景,张 静,赖 勇,主编. 大陆动力学与成矿作用 [C]. 北京:地震出版社. 90~99.
- 张国伟,郭安林,姚安平. 2004. 中国大陆构造中的西秦岭-松潘大陆构造带 [J]. 地学前缘, 11 (3): 23~32.
- 张国伟,孟庆仁,于在平,孙 勇,周鼎武,郭安林. 1996. 秦岭造山带的造山过程及其动力学特征 [J]. 中国科学(D), 26 (3): 193~200.
- 郑明华. 1994. 喷流型与浊流型层控金矿床 [M]. 成都:四川科学技术出版社. 1~273.

附中文参考文献

- 陈家义,杨永成,霍向光,尚瑞钧. 1995. 秦岭祁连山昆仑构造发展史与南北中国板块的拼合 [J]. 陕西地质, 13 (2): 1~11.
- 陈毓川,王登红. 2001. 喜马拉雅期内生成矿作用研究 [M]. 北京:地震出版社. 1~138.
- 陈衍景,张 静,张复新, Pirajno F, 李 超. 2004. 西秦岭卡林-类卡林型金矿床及其成矿时间、构造背景和模式 [J]. 地质论评, 50 (2): 134~152.
- 杜子图,吴淦国,王义强. 1998. 微细浸染型金矿的构造动力成矿作用研究——以西秦岭巴西金矿为例 [J]. 现代地质, 12 (1): 75~82.
- Faure G. 1998. 同位素地质年代学及在地质学中的应用 [J]. 地学前缘, 5 (1~2): 17~39.
- 冯建忠,汪东坡,王学明,邵世才,林国芳,史建军. 2003. 甘肃李坝大型金矿床成矿地质特征及成因 [J]. 矿床地质, 22 (3): 257~263.
- 冯建忠,汪东坡,王学明,邵世才. 2004. 西秦岭三个典型金矿床稳定