

河南围山城金银成矿带铅同位素地球化学及矿床成因*

张静^{1,2} 杨艳^{1,2} 鲁颖淮³

ZHANG Jing^{1,2}, YANG Yan^{1,2} and LU YingHuai³

1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083
2. 中国科学院广州地球化学研究所成矿动力学重点实验室, 广州 510640
3. 北京大学造山带与地壳演化重点实验室, 北京 100871

1. State Key Laboratory of Geological Process and Mineral Resources, China University of Geosciences, Beijing 100083, China

2. KLMD, Guangzhou Institute of Geochemistry, Chinese Academy of Sciences, Guangzhou 510640, China

3. Key Laboratory of Orogen and Crust Evolution, Peking University, Beijing 100871, China

2008-11-11 收稿, 2008-12-12 改回.

Zhang J, Yang Y and Lu YH. 2009. Lead isotope geochemistry of the Weishancheng gold-silver ore belt, Henan Province, China; Implications for ore genesis. *Acta Petrologica Sinica*, 25(2):444–454

Abstract The Weishancheng ore belt is located in Tongbai Mountains and consists of the Yindongpo large gold deposit, the Poshan and Yindongling large silver deposits and some small ore deposits or occurrences. All the ore deposits are stratabound and hosted in the Neoproterozoic Waitoushan Formation. These deposits have the very uniform lead isotope compositions, with $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.753 \sim 17.216$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.417 \sim 15.638$, and $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.251 \sim 39.050$, which are close to those of the Waitoushan Formation while far different from other lithology units or batholithes in Tongbai region. Lead isotope geochemistry suggests that the ore metals were sourced from the Waitoushan Formation through metamorphic devolatilization. The Weishancheng gold-silver ore belt could be attributed to a typical stratabound orogenic-type metallogenic system. The ore-forming process occurred during the continental collision between the Yangtze and North China Blocks. The metamorphic devolatilization of the underthrust slabs induced the development of ore-forming fluid system, subsequently the intense water-rock interaction make the metallogenic materials in Waitoushan Formation were extracted, migrated and enriched in the carbonaceous sericite schist.

Key words Lead isotopic geochemistry; Weishancheng gold-silver ore belt; stratabound orogenic-type deposit; Tongbai Mountains

摘要 桐柏山区的围山城金银成矿带包括破山特大型银矿、银洞坡大型金矿、银洞岭大型银多金属矿床及一些矿点,所有矿床赋存于上元古界歪头山组地层,并具有层控特征。矿石矿物的铅同位素组成为 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.753 \sim 17.216$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.417 \sim 15.638$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.251 \sim 39.050$;与歪头山组地层的铅同位素组成一致,而与桐柏地区的其他地层、岩体差别较大,表明成矿物质来自赋矿地层歪头山组。围山城成矿带应属于典型的层控造山型金银成矿系统,它形成于中生代扬子与华北板块的陆陆碰撞造山过程,碰撞造山期间的下插板片变质脱水诱发了矿带内流体成矿系统的发育,强烈的流体-岩石相互作用使歪头山组内的成矿物质被萃取、迁移、聚集到碳质绢云片岩层。

关键词 铅同位素地球化学;围山城金银成矿带;层控造山型矿床;桐柏山

中图法分类号 P618.52; P597

河南省桐柏山区的围山城层控金银多金属矿带包括银洞坡金矿(伴银)、破山银矿(伴金铅锌)和银洞岭银矿(伴金

* 本文受国家973项目(2006CB403506和08课题)、国家自然科学基金项目(40502012,40425006,40730421)、高等学校学科创新引智计划(B07011)以及地质过程与矿产资源国家重点实验室开放基金(GPMR200641)的资助。

第一作者简介:张静,女,1977年生,博士,副教授,主要从事矿床地球化学研究,E-mail:zhangjing@cugb.edu.cn

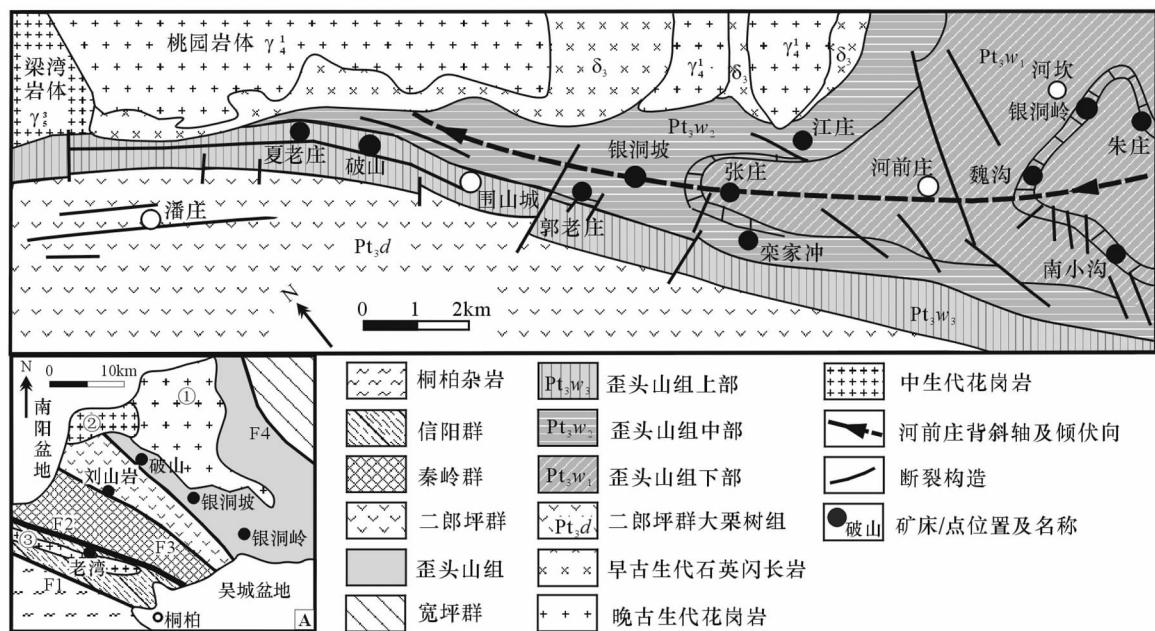


图1 桐柏(A)及围山城金银成矿带(B)地质简图

F1-桐柏断裂, F2-商丹断裂带, F3-朱夏断裂, F4-瓦穴子断裂。①桃园岩体, ②梁湾岩体, ③老湾岩体

Fig.1 Geology maps of Tongbai Mountains (A) and the Weishancheng Au-Ag ore belt (B)

铅锌)3个特大-大型金/银多金属矿床和一些矿点,这些矿床(点)均产于华北与扬子晚古生代—三叠纪缝合带以北的上元古界歪头山组浅变质含碳质地层中,具有明显的层控特征;矿床规模大,成因类型特殊。该矿带自20世纪70年代发现以来,单个矿床已有较深入的研究(罗铭玖,1992;陈衍景和富士谷,1992;陈衍景,1995;徐启东等,1995;张宗恒等,1999),尤以银洞坡金矿床研究程度最深,并被厘定为造山型矿床(陈衍景等,2007;张静,2004)。但就整个矿带的研究仍然欠缺,限制了对于整个矿带成矿规律的认识,影响了区域成矿模式的建立和矿床成因类型的确定。

在成矿理论研究方面,自Bohlke(1982)提出造山型金矿概念;Groves *et al.* (1998)重新系统论证了造山型金矿的概念;2000年以来,我国天山、秦岭等地的很多脉状金矿先后被论证为造山型(Kerrich *et al.*, 2000; Zhou *et al.*, 2002; Hart *et al.*, 2002; Rui *et al.*, 2002; Chen *et al.*, 2005, 2006; 范宏瑞等, 2003; 陈衍景等, 2003, 2004; 陈衍景, 2006; 张复新等, 2004a, b),并在重视增生型造山作用与成矿的同时,也开始重视碰撞造山机制下的成矿作用;之后,金以外其他造山型矿种的研究也逐渐被关注(陈衍景等, 2003; 张静等, 2004, 2006; 祁进平等, 2007; 李文博等, 2007; 邓小华等, 2008; 李诺等, 2008)。最近,乌兹别克的穆龙套金矿、吉尔吉斯的库姆托尔金矿、我国新疆的萨瓦亚尔顿金矿和河南的银洞坡金矿等典型碳质层控型金矿均被论证为造山型(Bierlein and Maher, 2001; Goldfarb *et al.*, 2001; Zhou *et al.*, 2002; 陈华勇等, 2004),充分显示了层控造山型金矿的存在。那么,究竟是否存在层控造山型银矿呢? 围山城成矿带恰是研究、回

答这一问题的突破口,因为它不仅是公认的层控矿床,而且还是金、银多金属矿带,包括有大型-特大型的独立金、银矿床。

鉴于上述两个问题,本文将介绍新近获得的围山城金银多金属矿带铅同位素研究结果,从同位素地球化学出发探讨成矿物质的来源、成矿机制与过程,进而厘定矿床类型,以期丰富和完善造山型矿床的内涵,促进“造山与成矿”研究发展。

1 地质概况

桐柏山区位于河南省南部,属于秦岭-大别碰撞造山带的一部分,其地质背景独特,构造复杂,成矿条件优越,形成了大量矿床。桐柏地区重要的断裂构造有桐柏断裂、商丹断裂带、朱夏断裂和瓦穴子断裂;从桐柏断裂向北依次分布着信阳群、秦岭群、二郎坪群(含刘山岩组、张家大庄组、大栗树组等)、歪头山组和宽坪群(图1A)。

围山城金银多金属成矿带位于朱夏断裂北侧的二郎坪弧后盆地内,东、西分别被吴城盆地和南阳盆地覆盖,长>20km。矿带内由西向东依次分布夏老庄金银矿点、破山特大型银矿床、郭老庄银矿点、银洞坡大型金矿床、张庄金矿点、栾家冲银矿点、江庄银矿点、魏沟银矿点、银洞岭大型银多金属矿床、南小沟银矿点和朱庄金矿点(图1)。

矿带内出露的地层主要为上元古界歪头山组(Pt_3w),其次是大栗树组(Pt_3d)(图1)。歪头山组地层以碳质绢云片岩、云母石英片岩、变粒岩为主,夹斜长角闪片岩、大理岩,并

含少量石英岩;以其碳质含量高、金银丰度高特征明显区别于其它地层。根据岩性特点,被划分为下、中、上3部分和若干岩性段:破山银矿床赋存在上部第二岩性段($Pt_3 w_3^5$),银洞坡金矿床赋存在中部第二岩性段($Pt_3 w_2^2$),银洞岭银矿床赋存在下部第5-6岩性段($Pt_3 w_1^{5-6}$)(详见张静等,2008)。

河前庄背斜是矿区内的主要褶皱构造(图1),由歪头山组地层与大栗树组地层组成,主体走向变化于 $90^\circ \sim 120^\circ$ 。歪头山组地层出露在轴部,而大栗树组地层分布在两翼;矿体主要产于核部虚脱部位及两翼地层中。

矿带内规模较大的侵入岩体有桃园花岗岩体(γ_4^1)和梁湾花岗岩闪长岩岩体(γ_5^3),此外,燕山期煌斑岩脉在破山、银洞岭银矿区的地层中广泛发育。

2 测试方法和结果

2.1 测试方法与条件

作者对围山城矿带矿石硫化物及地层样品进行了铅同位素的组成分析。银洞坡金矿床和破山银矿床的矿石硫化物样品的铅同位素在中国地质科学同位素地球化学开放实验室完成,银洞岭和其他矿点硫化物的铅同位素组成以及桐柏地区地层的全岩铅同位素组成在中国科学院地质与地球物理研究所固体同位素地球化学实验室完成。

对于硫化物单矿物,首先用丙酮洗去表面有机物,用蒸馏水冲洗后,在烘箱中 60°C 烘干;然后用 $\text{HNO}_3\text{-HF}$ 混合溶液溶解硫化物,用过阴离子交换树脂提取Pb,以硅胶做发射剂,用单铯带在MAT261热离子质谱仪上测试铅同位素组成;标样为NBS981, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 的分析精度在 2σ 水平上分别为0.1%、0.09%和0.30%。

对于全岩样品,先用HF酸(2% HNO_3)在高温高压条件下将粉末样品完全溶解,然后蒸干样品溶液,用6N HCl酸将氟化物样品转化为氯化物,蒸干后,用0.6N HBr酸提取样品。在装有80微升AG1x8(100-200目)交换树脂的Teflon交换柱上,采用0.6N HBr和6N HCl酸流程分离纯化Pb样品。铅同位素测量采用硅胶发射剂和铯金属带,质谱计型号为德国Finnigan公司的MAT262固体源质谱计,测量温度为 1300°C 。铅同位素质量分馏校正系数为每质量单位1‰。

2.2 测试结果

破山银矿床8个硫化物的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.970 \sim 17.124$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.430 \sim 15.638$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.356 \sim 39.050$;银洞坡金矿床14个硫化物的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.990 \sim 17.216$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.419 \sim 15.612$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.251 \sim 38.861$;银洞岭银多金属矿床13个硫化物的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.753 \sim 17.216$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.417 \sim 15.521$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.683 \sim 38.868$;其他金银矿点5个硫化物的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.912 \sim 17.109$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.439 \sim 15.468$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} =$

38.290 ~ 38.499(表1)。总体上,矿石铅同位素组成很稳定,显示贫铀铅、富钍铅的特征。

歪头山组15个全岩样品的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17.047 \sim 18.539$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.39 \sim 15.614$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.07 \sim 39.426$ 。二郎坪群大栗树组9个全岩样品的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17.360 \sim 18.789$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.366 \sim 15.8224$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 37.894 \sim 39.035$;张家大庄组4个全岩样品的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} =$

表1 桐柏围山城金银成矿带矿石矿物的铅同位素组成

Table 1 Lead isotope composition of ore minerals from the Weishancheng ore belt

样品号	测试对象	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	μ	ω	$\frac{\text{Th}}{\text{U}}$	模式年龄(Ma)
破山银矿床								
99H53	方铅矿	16.970	15.432	38.356	9.36	45.82	4.74	1010
99H54	方铅矿	16.989	15.461	38.464	9.42	46.59	4.79	1027
99H57	方铅矿	17.026	15.516	38.641	9.53	47.90	4.86	1057
99H61	方铅矿	17.023	15.473	38.479	9.44	46.51	4.77	1015
99H65	方铅矿	17.072	15.579	38.856	9.66	49.45	4.96	1089
99H73	方铅矿	17.073	15.583	38.845	9.67	49.43	4.95	1092
99H74	黄铁矿	17.124	15.638	39.050	9.77	50.80	5.03	1113
99H75	方铅矿	16.970	15.430	38.359	9.36	45.80	4.74	1007
银洞坡金矿床								
99H01	黄铁矿	17.150	15.5779	38.8090	9.64	48.48	4.87	1035
99H05	方铅矿	16.990	15.4355	38.4194	9.36	46.01	4.76	999
99H06	黄铁矿	17.097	15.4457	38.3180	9.36	44.73	4.62	935
99H10	黄铁矿	17.095	15.4391	38.2865	9.35	44.50	4.61	929
99H11	黄铁矿	17.101	15.4354	38.2800	9.34	44.37	4.60	921
99H15	黄铁矿	17.216	15.6120	38.8610	9.69	48.62	4.85	1025
99H20	黄铁矿	17.106	15.4742	38.4220	9.42	45.53	4.68	959
99H29	黄铁矿	17.159	15.4660	38.3620	9.39	44.69	4.60	913
99H31	黄铁矿	17.061	15.4186	38.2505	9.31	44.34	4.61	932
99H34	黄铁矿	17.072	15.4452	38.3547	9.37	45.11	4.66	952
99H35	黄铁矿	17.138	15.5089	38.5510	9.49	46.36	4.73	973
99H36	黄铁矿	17.067	15.4418	38.3503	9.36	45.08	4.66	952
99H37	黄铁矿	17.045	15.4214	38.2941	9.32	44.72	4.64	945
99H41	黄铁矿	17.054	15.4232	38.2820	9.32	44.61	4.63	941
银洞岭银矿床								
YDL2	黄铁矿	16.9544	15.4808	38.7762	9.47	48.79	4.98	1071
YDL10	黄铁矿	17.0012	15.4613	38.7036	9.42	47.71	4.90	1018
YDL13	黄铁矿	16.9572	15.4728	38.7468	9.45	48.49	4.96	1060
YDL20	黄铁矿	16.7539	15.4166	38.7167	9.38	49.46	5.10	1144
YDL27	黄铁矿	16.9389	15.4727	38.7359	9.46	48.61	4.97	1074
YDL4	方铅矿	16.8016	15.4522	38.6998	9.45	49.42	5.06	1147
YDL5	方铅矿	17.2163	15.5212	38.8393	9.50	47.30	4.82	930
YDL14	方铅矿	16.7529	15.4526	38.6830	9.46	49.81	5.09	1182
YDL15	方铅矿	16.7934	15.4594	38.7064	9.46	49.63	5.07	1160
YDL28	方铅矿	16.8106	15.4654	38.7386	9.48	49.75	5.08	1156
LDP2	方铅矿	16.8216	15.4791	38.8118	9.50	50.20	5.11	1160
LDP3	方铅矿	16.8016	15.4523	38.7208	9.45	49.54	5.07	1148
GC6	方铅矿	16.8453	15.4997	38.8680	9.54	50.57	5.13	1165
栾家冲银矿点								
LJC6	硫化物	16.9494	15.4483	38.4570	9.40	46.73	4.81	1041
南小沟银矿点								
NXG1	方铅矿	16.9116	15.4508	38.4990	9.42	47.32	4.86	1070
张庄金矿点								
ZZ-1	黄铁矿	17.0888	15.4391	38.2898	9.35	44.57	4.61	934
ZZ-1	方铅矿	17.1003	15.4533	38.3343	9.38	44.88	4.63	941
ZZ-3	黄铁矿	17.1090	15.4680	38.3930	9.41	45.28	4.66	950

18. 105 ~ 19. 204, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15. 510 \sim 15. 749$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 37. 804 \sim 39. 047$; 刘山岩组 12 个全岩样品的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17. 848 \sim 19. 166$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15. 457 \sim 15. 633$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 37. 818 \sim 39. 739$ 。秦岭群 5 个全岩样品的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17. 548 \sim 19. 134$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15. 430 \sim 15. 633$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 37. 966 \sim 38. 564$ 。信阳群 8 个全岩样品的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 18. 016 \sim 19. 490$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15. 312 \sim 15. 747$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 37. 408 \sim 39. 278$ 。桐柏杂岩 11 个全岩样品的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17. 130 \sim$

17. 499, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15. 331 \sim 15. 392$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 37. 420 \sim 38. 188$ 。梁湾岩体 4 个全岩样品的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17. 552 \sim 17. 812$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15. 368 \sim 15. 394$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 37. 837 \sim 38. 168$; 桃园岩体 5 个全岩样品的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 17. 576 \sim 19. 257$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15. 415 \sim 15. 638$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38. 255 \sim 39. 856$ (表 2)。其中, 歪头山组地层的放射成因铀铅 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值明显低于其他地层及岩体。

表 2 桐柏地区主要地层、岩体的全岩铅同位素组成

Table 2 Lead isotope composition of the strata and rock bodies in Tongbai Mountains

地层/岩体	样品号	测试对象	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	资料来源
歪头山组	W3-1	碳质片岩	17. 141	15. 499	38. 572	本文
	W3-5	绢云片岩	17. 622	15. 515	38. 542	本文
	W2-1	绢英片岩	17. 373	15. 500	38. 441	本文
	W2-5	变粒岩	17. 112	15. 497	38. 582	本文
	W1-1	变粒岩	18. 405	15. 614	39. 426	本文
	W1-3	斜长角闪岩	17. 976	15. 539	38. 126	本文
	YDP1	绢云石英片岩	17. 112	15. 445	38. 295	燕长海, 2004
	YDP2	绢云石英片岩	17. 047	15. 394	38. 113	燕长海, 2004
	TB26	云母长英片岩	18. 539	15. 535	38. 600	李红梅, 2007
	TB27	云母长英片岩	17. 281	15. 473	38. 417	李红梅, 2007
	TB28	云母长英微片岩	18. 435	15. 609	38. 586	李红梅, 2007
	TB29	云母长英片岩	17. 139	15. 447	38. 399	李红梅, 2007
	TB30	片岩	17. 086	15. 407	38. 179	李红梅, 2007
	TB31	云母长英变粒岩	17. 210	15. 404	38. 074	李红梅, 2007
	TB32	云母斜长角闪岩	17. 398	15. 452	38. 247	李红梅, 2007
	二郎坪群					
大栗树组	DLS-2	细碧岩	18. 130	15. 566	38. 309	本文
	DLS-3	石英角斑岩	18. 240	15. 653	38. 465	本文
	DLS-4	硅质岩	18. 763	15. 822	39. 035	本文
	TB20	退变斜长角闪岩	17. 970	15. 501	37. 901	李红梅, 2007
	TB21	云母长英变粒岩	17. 926	15. 470	38. 771	李红梅, 2007
	TB24	细粒花岗闪长岩	17. 577	15. 419	38. 196	李红梅, 2007
	TB25	云母长英变粒岩	17. 360	15. 366	37. 901	李红梅, 2007
	TB33	斜长角闪岩	17. 717	15. 478	37. 894	李红梅, 2007
	TB34	斜长角闪片岩	18. 789	15. 630	38. 220	李红梅, 2007
	张家大庄组	ZJ-1	变粒岩	18. 327	15. 748	38. 854
ZJ-3		绢云片岩	18. 105	15. 652	38. 550	本文
TB35		角闪岩	19. 204	15. 632	37. 804	李红梅, 2007
TB36		绿帘石角闪片岩	18. 550	15. 510	39. 047	李红梅, 2007
刘山岩组	LSY-15	绢云钠长片岩	18. 056	15. 578	38. 309	本文
	LSY-13	细碧岩	18. 061	15. 633	38. 420	本文
	LSY-12	基性凝灰岩	18. 098	15. 527	38. 195	本文
	LSY-10	角斑岩	18. 061	15. 627	38. 401	本文
	DH-8	硅质岩	17. 848	15. 510	38. 061	李红梅, 2007
	TB09	斜长片岩	19. 068	15. 629	39. 661	李红梅, 2007
	TB10	黑云母片岩	19. 166	15. 577	39. 739	李红梅, 2007
	TB11	白云石英片岩	18. 725	15. 600	38. 426	李红梅, 2007
	TB12	硅质千糜岩	17. 947	15. 457	37. 818	李红梅, 2007
	TB13	绿帘黑云斜长角闪岩	18. 643	15. 529	38. 675	李红梅, 2007
	TB37	云母斜长角闪岩	18. 900	15. 567	38. 917	李红梅, 2007
	TB39	蚀变角闪岩	18. 085	15. 513	38. 021	李红梅, 2007

续表 2

Continued Table 2

地层/岩体	样品号	测试对象	$^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	$^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$	资料来源
信阳群	TB14	花岗质糜棱岩	17.947	15.506	37.966	李红梅,2007
	TB15	透辉石大理岩	17.548	15.430	37.989	李红梅,2007
	TB16	花岗质麻粒岩	19.134	15.633	38.292	李红梅,2007
	TB17	石榴石花岗质麻粒岩	18.265	15.561	38.506	李红梅,2007
	TB18	绿帘石化斜长角闪岩	18.862	15.594	38.564	李红梅,2007
	TB04	长英云母微片岩	19.490	15.679	38.163	李红梅,2007
	TB05	云母石英片岩	19.063	15.747	39.157	李红梅,2007
	TB06	云母长英微片岩	18.305	15.523	38.116	李红梅,2007
	TB07	绿帘石蚀变岩	18.377	15.511	38.054	李红梅,2007
			二云石英片岩	18.317	15.702	39.000
		二云石英片岩	18.552	15.630	39.278	谢巧勤等,1999
		斜长角闪片岩	18.369	15.399	37.853	谢巧勤等,1999
		斜长角闪片岩	18.016	15.312	37.408	谢巧勤等,1999
桐柏杂岩	TB-4	花岗质片麻岩	17.277	15.365	37.915	张宏飞等,1999
	TB-5	斜长角闪岩	17.343	15.344	37.721	张宏飞等,1999
	TB-9	花岗片麻岩	17.400	15.378	38.043	张宏飞等,2002
	TB-10	花岗片麻岩	17.310	15.372	37.760	张宏飞等,2002
	2038	花岗片麻岩	17.333	15.380	38.188	张宏飞等,2002
	2040	花岗片麻岩	17.236	15.337	38.029	张宏飞等,2002
	2052	花岗片麻岩	17.247	15.380	37.420	张宏飞等,2002
	TB-11	斜长角闪岩	17.255	15.392	37.575	张宏飞等,2002
	TB-12	斜长角闪岩	17.499	15.375	38.075	张宏飞等,2002
	2041	斜长角闪岩	17.130	15.331	37.568	张宏飞等,2002
	2056	斜长角闪岩	17.172	15.385	37.987	张宏飞等,2002
梁湾岩体	LW1	花岗岩	17.552	15.368	37.837	燕长海,2004
	LW2	花岗岩	17.812	15.368	38.103	燕长海,2004
	LW3	花岗岩	17.760	15.394	38.107	燕长海,2004
	TB22	花岗闪长岩	17.657	15.374	38.168	李红梅,2007
	桃园岩体	TY-1	斜长花岗岩	19.257	15.638	39.956
TY-4		斜长花岗岩	18.371	15.526	38.720	张宏飞等,1999
TY1		花岗岩	17.576	15.415	38.255	燕长海,2004
TY3		花岗岩	19.089	15.532	39.856	燕长海,2004
TB23		细粒花岗岩	18.666	15.514	39.231	李红梅,2007

3 讨论

3.1 成矿物质及流体来源

矿带内矿石硫化物的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 和 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值变化范围都很窄,按单阶段演化模式计算的 μ 值也较一致,为9.31~9.77。在 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 投影图(图2)上,矿石样品基本呈线性分布,总体为单阶段演化的正常铅,表明铅源的铀-钍-铅体系没有发生分离或没有受到其它铀-钍-铅体系的强烈混染,可以用正常铅计算其模式年龄。采用Holmes-Houtermans法算得的模式年龄为913~1182Ma,与歪

头山组形成于晚元古代的认识(胡受奚等,1988;陈衍景和富士谷,1992)相吻合。

同时,硫化物的 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值较大,变化范围较宽,表现出钍放射成因 ^{208}Pb 相对富集;计算的 ω 值介于44.34~50.80,明显高于正常铅 ω 值(35.55 ± 0.59),显示铅源的物质成熟度较高。矿石硫化物的Th/U介于4.60~5.13,表明相对富集钍铅,这一特征与化学沉积岩、花岗岩、深变质岩的差别较大,而与浅变质岩的铅同位素组成(朱炳泉,1998)相似。歪头山组地层恰好为一套浅变质岩(绢云片岩、变粒岩等),且Th/U比值为2.19~11.72(表3),集中在3~8,指示了矿带的铅源很可能就是歪头山组地层。

为进一步确定围山城金银矿床矿石的铅源区的构造环

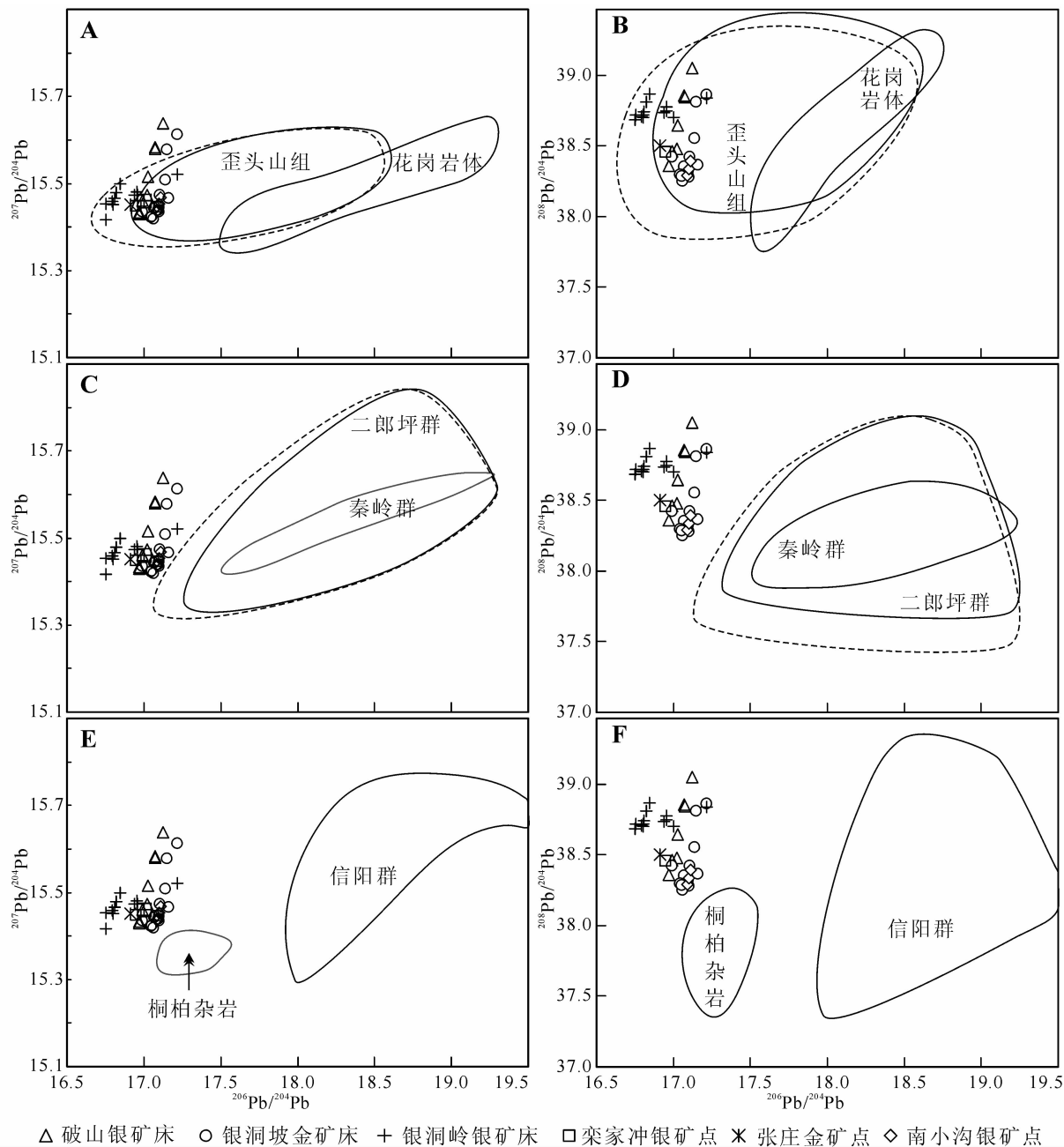


图2 围山城矿带的铅同位素构造模式图

图A、B中实线圈闭现今歪头山组地层和桃园、梁湾岩体的铅同位素范围,虚线圈闭150Ma时歪头山组地层的铅同位素范围;图C、D中实线圈闭现今秦岭群和二郎坪群地层的铅同位素范围,虚线圈闭150Ma时二郎坪群地层的铅同位素范围;图E、F中实线圈闭现今信阳群地层和桐柏杂岩的铅同位素范围。确定实线圈闭范围的数据来自表2,确定虚线圈闭范围的数据来自表3(本文数据)或据表2、表3估算(他人数据)

Fig. 2 Plots of lead isotopic ratios for the Weishancheng Au-Ag ore belt

境,查明成矿物质来自何种地质构造单元,作者将研究区矿体及有关地质体的铅同位素共同投图,可以发现:(1)在 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ - $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 关系图(图2A、B)上,矿石铅投影点跨度较大,表明铅来自时代较老的铀钍铅体系,这就排除了桃园、梁湾岩体等年轻地质体提供主要成矿物质的可能,表明矿带的铅应来自歪头山组、二郎坪群、秦岭群或信阳群等古

老地层。(2)虽然矿床产于北秦岭构造带,但矿石铅与北秦岭的秦岭群、二郎坪群等地层的铅同位素组成仍有较明显差别(图2C、D):现今二郎坪群以及秦岭群的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值高于矿石的对应值,由于成矿后矿石铅中没有放射成因铅的再积累,而二郎坪群地层仍有放射成因铅积累,从这一点看,似乎矿石铅可以来自于二郎坪群地层。然而从根据样品U、

表3 桐柏地区主要地层的 U、Th、Pb 含量及计算的初始 Pb 同位素比值 ($t = 150\text{Ma}$)Table 3 U, Th, Pb mass fractions and initial Pb isotopic ratios of the strata in Tongbai area ($t = 150\text{Ma}$)

样号 ⁽¹⁾	t_{Ma}	U ($\times 10^{-6}$)	Th ($\times 10^{-6}$)	Pb ($\times 10^{-6}$)	$\frac{\text{Th}}{\text{U}}$	$\frac{^{238}\text{U}}{^{204}\text{Pb}}$	$\frac{^{232}\text{Th}}{^{204}\text{Pb}}$	$\left(\frac{^{206}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}\right)_t$	$\left(\frac{^{207}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}\right)_t$	$\left(\frac{^{208}\text{Pb}}{^{204}\text{Pb}}\right)_t$
W3-1	150	1.29	4.47	44.9	3.47	1.93	6.73	17.095	15.496	38.522
W3-5	150	3.41	7.48	27.8	2.19	8.22	18.18	17.428	15.505	38.407
W2-1	150	3.03	11.0	171	3.63	1.19	4.33	17.345	15.499	38.408
W2-5	150	1.81	6.87	67.5	3.80	1.80	6.87	17.070	15.495	38.531
W1-3	150	0.06	0.26	1.79	4.33	2.18	9.71	17.925	15.536	38.054
DLS-2	150	0.12	0.45	2.41	3.75	3.39	12.47	18.051	15.562	38.216
DLS-3	150	1.08	6.37	29.7	5.90	2.43	14.51	18.183	15.650	38.357
DLS-4	150	1.90	4.26	20.9	2.24	6.12	13.80	18.619	15.815	38.933
ZJ-1	150	1.16	9.02	67.5	7.78	1.15	9.03	18.300	15.747	38.786
ZJ-3	150	0.47	5.51	15.3	11.72	2.05	24.30	18.056	15.649	38.369
LSY-10	150	1.03	4.78	398	4.64	0.17	0.81	18.057	15.627	38.395
LSY-12	150	0.92	2.12	16.0	2.30	3.87	8.97	18.007	15.523	38.128
LSY-13	150	1.97	10.2	2045	5.18	0.07	0.34	18.060	15.633	38.417
LSY-15	150	0.84	7.21	77.3	8.58	0.73	6.31	18.039	15.577	38.262

注: (1) 各样品的岩性见表2; (2) $t = 150\text{Ma}$; 全岩样品的 U、Th 和 Pb 含量由中国科学院地质与地球物理研究所岩石圈演化国家重点实验室测试, 采用 FINNIGAN MAT 公司制造的电感耦合等离子体质谱仪 (ICP-MS), 标样为花岗岩 GSR1; 安山岩 GSR2; 玄武岩 GSR3。 ($^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)_t、($^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)_t 和 ($^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$)_t 为 $t = 150\text{Ma}$ 时的 Pb 同位素比值, 由测定的全岩 Pb 同位素比值和根据 U、Th、Pb 含量计算得到的 $^{238}\text{U}/^{204}\text{Pb}$ 值和 $^{232}\text{Th}/^{204}\text{Pb}$ 值获得

Th 含量计算获得的 150Ma 前二郎坪群铅同位素组成范围来看 (图 2 C、D 中虚线区间), 其 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值依然高于矿带中者, 表明在 150Ma 之前矿带成矿流体开始发育之时, 二郎坪群地层无法提供如此低的 ^{206}Pb 。因此, 可以推断北秦岭的秦岭群、二郎坪群也很难作为矿石铅的主要来源。(3) 南秦岭信阳群、桐柏杂岩的铅同位素组成与围山城矿带的矿石铅同位素组成差异显著 (图 2E、F), 表明矿石铅很难来自这些岩石地层单位。(4) 排除了其他地质体为矿带提供成矿物质及铅源的可能性之后, 歪头山组似乎成了唯一的选择。图 2 (A、B) 也清晰的显示, 围山城矿带内众多金银多金属矿床的矿石铅同位素组成与歪头山组地层非常接近; 歪头山组地层现在的 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值与矿床相当或者略高, $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值明显高于各矿床, 而且矿石的 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值几乎完全落在 150Ma 前歪头山组地层的对应比值范围内。考虑到矿石硫化物在成矿后没有新增放射成因铅, 而歪头山组岩石仍在持续积累放射成因铅, 其 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 、 $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb}$ 比值理应与矿石硫化物相当或略高。因此, 歪头山组地层应是围山城矿带内矿石铅最可能的源区, 是该矿带成矿物质的最佳源区。

3.2 成矿机制和过程

前文对铅同位素的深入分析已经为成矿物质的来源提供了比较确定的结论, 即围山城矿带的成矿物质来自于歪头山组地层。而流体包裹体的岩相学、热力学和成分研究 (杨艳, 2008) 以及碳、氢、氧、硫同位素研究 (张静等, 2008) 证实成矿流体与歪头山组地层的变质分泌水密切相关, 在热液成

矿的晚阶段大气降水不断加入流体系统中。既然成矿物质和成矿流体均与歪头山组地层密切相关, 那么是什么机制驱动歪头山组地层变质脱水形成成矿流体, 并使之不断萃取围岩中的成矿物质、与围岩发生物质组分和同位素等的交换? 这就需要分析其成矿时代与大地构造背景。

目前, 关于秦岭陆内碰撞造山的时间, 主要有两种意见, 有的认为秦岭-大别-苏鲁造山带在 200Ma 前的晚三叠世已经结束碰撞造山过程、属于拉张环境 (卢欣祥等, 1999; Sun *et al.*, 2002; Chen *et al.*, 2003), 有的则认为秦岭造山带在晚三叠世属于强烈的挤压环境 (李春昱等, 1978; 许志琴等, 1986; 陈衍景和富士谷, 1992; Zhang *et al.*, 1996; Zhu *et al.*, 1998; 李继亮等, 1999; 陈衍景等, 2003)。前者的认识主要是基于岩石学研究, 而考虑到沉积学、大地构造、地球物理等其他多学科的证据, 如: (1) 沿勉略缝合带发育三叠纪蛇绿岩套, 其北发育岛弧型火山岩建造 (Zhang *et al.*, 1996), 表明洋盆最终闭合不应早于三叠纪; (2) 秦岭造山带的陆内俯冲、变形 (许志琴等, 1986; 胡受奚等, 1988) 和前陆复理石的冲断 (李继亮等, 1999) 主要发生在三叠纪及其以后; (3) 245 ~ 211Ma 的印支期碰撞型花岗岩 (Zhang *et al.*, 1996) 的出现和以 145Ma 为峰值的燕山期碰撞型花岗岩的大量发育 (陈衍景和富士谷, 1992), 证明大规模的造山带硅铝化始于三叠纪; (4) 中生代沉积演化研究表明, 秦岭造山带在侏罗纪达到隆升高峰, 白垩纪开始出现断陷红盆地 (陈衍景和富士谷, 1992); (5) 古地磁研究揭示三叠纪之前扬子与华北属于两个彼此独立的陆块, 白垩纪中期以后二者之间的相对位置基本未变, 而 T-K₂ 期间发生强烈的地壳缩短、陆块旋转等 (Zhu *et*

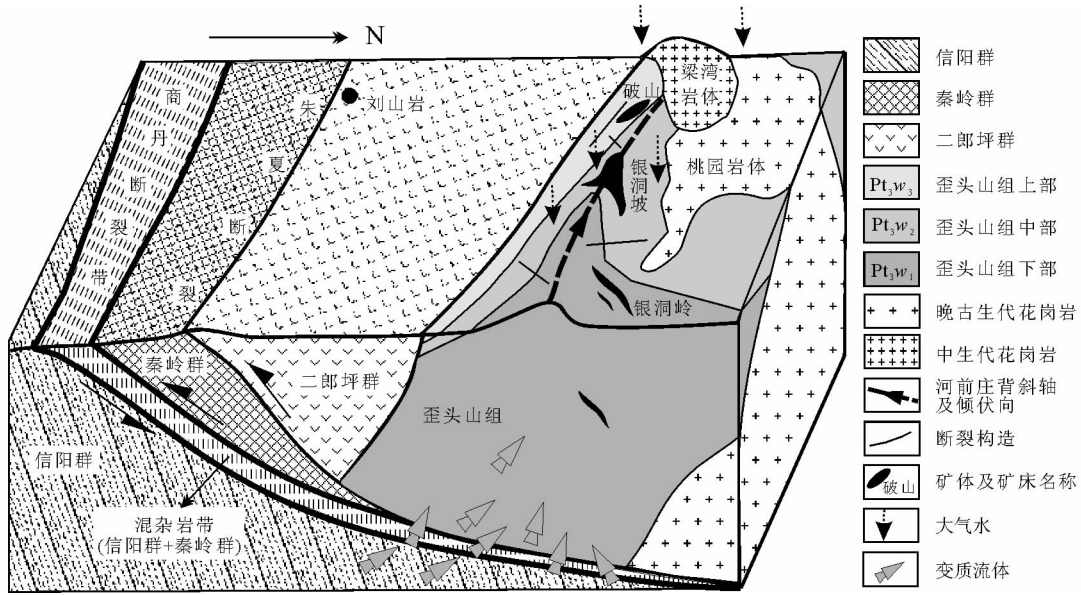


图3 围山城矿带成矿构造模式图

Fig. 3 Tectonic-metallogenic model for the Weishancheng Au-Ag ore belt

al., 1998); (6) 按照碰撞造山带 Pt_t 演化轨迹, 碰撞造山作用减压增温阶段是同碰撞成岩、成矿和流体作用最强烈的阶段, 而秦岭地区最强烈的成岩成矿事件发生在侏罗纪与白垩纪之交(陈衍景等, 2003), 表明晚三叠世应为碰撞造山过程的初期阶段; 等。本文认为秦岭-桐柏地区的全面陆陆碰撞始于三叠纪、在侏罗纪达到隆升高潮、早白垩世为伸展高峰、晚白垩世结束, 150 ~ 100Ma 之间为挤压向伸展转变期。

已有的 K-Ar 和 Ar-Ar 年代学数据(详见张静等, 2008) 显示围山城矿带主要形成于 140 ~ 100Ma 之间, 属于中生代燕山期。因此, 围山城矿带的成矿作用与秦岭-桐柏造山带的碰撞造山作用必定有着密切的时间、空间联系, 确切地说, 成矿作用发生在陆陆碰撞造山带从碰撞挤压向伸展转变的时期, 与东秦岭燕山期大规模成矿的时间 J_2-K_1 接近。即: 矿带应形成于东秦岭燕山期大规模成矿的大地构造背景下。

综上, 结合研究区的构造背景, 分析围山城矿带的成矿过程如下(图3): 歪头山组作为晚元古代的地质单元, 本身富含碳质和成矿元素。在侏罗纪晚期(约 155 ~ 145Ma), 南秦岭的相关构造单元沿商丹断裂向北 A 型俯冲到北秦岭之下, 导致北秦岭的秦岭群、二郎坪群等不同构造单元的拆离和向南逆掩推覆, 形成一系列板片呈薄皮或厚皮方式堆叠, 使得造山带隆升。部分南秦岭信阳群龟山组地层、北秦岭秦岭群的部分岩石构成俯冲带内的混杂岩带。在造山带隆升的过程中, 俯冲壳楔(秦岭群等)的岩石由于梯度增温增压的影响而不稳定, 依熔点由低到高的顺序依次发生活化或熔融, 首先产生变质流体, 流体向上迁移并活化、萃取歪头山组地层内的成矿元素, 流体运移至歪头山组中上部沿高碳质地层发育的河前庄背斜或者层间滑脱带时聚积、卸载成矿物质而成矿。此过程中, 矿石硫化物完全继承了歪头山组的硫铅

等同位素特征, 尤其是低 $^{206}Pb/^{204}Pb$ 比值、较高 $^{208}Pb/^{204}Pb$ 比值的铅同位素特征, 而早阶段的流体主要显示深部物质变质脱水的特征。在燕山中晚期, 由于挤压体制向伸展体制的转变, 早期的各种断裂构造抬升到较浅的构造层次, 为大气降水的深部循环提供了通道。成矿热液也开始由早阶段变质热液为主演化为中阶段变质热液与大气降水形成的混合热液。由于深度变浅, 趋向体系开放, 改变了体系的物理化学条件, 破坏原来的化学平衡造成成矿元素大量沉淀, 形成矿体。同时, 在破山银矿形成位置的北侧, 南秦岭俯冲物质的进一步变质、熔融, 形成了梁湾岩体, 即梁湾岩体来自于 A 型俯冲的南秦岭基底物质的部分熔融, 这已得到同位素等多方面的证实(张宏飞等, 1999, 2000)。

3.3 矿床类型

成矿机制的分析已表明围山城成矿带形成于中生代造山过程, 且与造山变质脱水作用密切相关, 这暗示了矿床属于“造山型”矿床, 并为厘定其矿床成因类型提供了重要约束。进一步对比造山型矿床的特征(详见 Kerrich *et al.*, 2000; 陈衍景, 2006; 及其引文), 发现围山城成矿带具有如下典型的与造山型矿床相似的地质地球化学特征: (1) 围山城矿带的成矿作用发生在秦岭陆陆碰撞造山的高峰期之后、从碰撞挤压向伸展转变的时期; 即成矿系统的发育时间略晚于造山时间; (2) 矿带地质特征研究表明, 硅化与矿化关系密切, 分布最广泛且强烈, 多以渗透方式交代围岩, 使围岩中二氧化硅含量增加, 成分、结构、构造发生改变, 变成致密块状的蚀变岩(详见张静等, 2008), 甚至使矿体与围岩呈渐变关系, 少量表现为裂隙充填的石英脉; (3) 围山城金银成矿带的成矿流体属于低盐度 ($< 10\% NaCl$ eqv.)、富 CO_2 (4 ~

15mol%) 的流体系统。基于上述, 可以确定该矿带属于造山型成矿带。

同时, 该矿带早已被公认为典型的层控金银成矿带(陈衍景和富士谷, 1992; 吴冲龙等, 1994; 楚柏林等, 2000; 等), 其依据主要有: (1) 矿体定位受歪头山组地层和河前庄背斜构造的双重控制, 矿体为层状、似层状、鞍状、透镜状等, 矿石以蚀变岩型为主; (2) 歪头山组各岩性段中 Au、Ag、Pb、Zn、Cu 等微量元素普遍高于地壳丰度, 与矿区内其他地质体相比, Au、Ag、Pb、Zn 高出数倍至数十倍, 为矿床形成提供了必要的矿质来源; (3) 碳-硫-铅同位素则指示成矿物质主要来自歪头山组地层; 氢-氧-碳同位素地球化学研究揭示早、中阶段的成矿流体主要为变质水, 晚阶段成矿流体系统趋向开放, 加入大量大气降水。

根据成矿系统理论, 在一定的时空域中, 控制矿床形成和保存的全部地质要素和成矿作用动力过程, 以及所形成的矿床系列、异常系列构成了“成矿系统”这一具有成矿功能的整体, 它的基本要素有: ①成矿物质, ②成矿流体, ③成矿能量, ④成矿流体的运输通道, ⑤矿石堆积场地(翟裕生等, 1999)。由此可知, 在造山环境下由造山型成矿流体将金/银等成矿物质运移并堆积在断裂构造中, 即为断裂控制的脉状造山型金/银矿床; 如果造山型成矿流体将金/银等成矿物质运移并堆积在其它类型的储矿空间, 如有利的岩性层位, 应该可以形成层控造山型金/银矿床。而围山城矿带的源于变质水的、低盐度、富 CO₂ 的造山型成矿流体能将金/银等成矿物质运移并堆积在歪头山组这一特定的岩性层位中成矿, 这主要得益于地层中碳质的作用, 即碳质层相当于一个隔挡层, 使得从下部来的流体及其携带的成矿物质不再向上运移, 而顺碳质层运移、聚集, 从而滞留在碳质层间; 同时, 晚阶段大气降水参与作用的流体(可能也会携带部分有用物质) 向下运移到此处时, 也会因为碳质层的隔挡作用而在此滞留。

综上所述, 可以判断围山城成矿带属于层控造山型金银成矿系统, 其中的银洞坡、破山矿床属于层控造山型金、银矿床的典型代表。

4 结论

(1) 围山城金银成矿带包括破山特大型银矿、银洞坡大型金矿、银洞岭大型银多金属矿床及一些矿点, 所有矿床赋存于上元古界歪头山组地层中, 并具有层控特征。

(2) 矿带中矿石铅同位素组成为 $^{206}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 16.753 \sim 17.216$, $^{207}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 15.417 \sim 15.638$, $^{208}\text{Pb}/^{204}\text{Pb} = 38.251 \sim 39.050$, 与歪头山组地层的铅同位素组成一致, 与桐柏地区的其他地层、岩体差别较大, 证明成矿物质来自于赋矿的歪头山组地层。

(3) 围山城成矿带应属于典型的层控造山型金银成矿系统, 它形成于中生代扬子与华北板块的陆陆碰撞造山过程,

碰撞造山期间的下插板片变质脱水诱发了矿带内流体成矿系统的发育, 强烈的流体-岩石相互作用使歪头山组内的成矿物质被萃取、迁移、聚集到碳质绢云片岩层。

致谢 论文写作得到了陈衍景教授的悉心指导, 野外工作得到了河南省地调三队万守全、徐友灵、马宏卫、张冠等高昂的大力支持, 王耀光、杨永、尤世娜等研究生参与了部分研究工作; 两位审稿人对论文提出了宝贵的修改建议, 特此致谢!

References

- Bohlke JK. 1982. Orogenic (metamorphic-hosted) gold quartz veins. U. S. Geol. Surv., Open-file Rep., 795: 70-76
- Bierlein FP and Maher S. 2001. Orogenic disseminated gold in Phanerozoic fold belts-examples from Victoria, Australia and elsewhere. *Ore Geology Reviews*, 18: 113-148
- Chen HY, Chen YJ, Ni P and Zhang ZJ. 2004. Fluid inclusion study of the Sawayardun Au deposit in southern Tianshan, China; Implication for ore genesis and exploration. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 24(3): 46-54 (in Chinese with English abstract)
- Chen JF, Xie Z, Li HM, Zhang XD, Zhou TX, Park YS, Ahn KS, Chen DG and Zhang X. 2003. U-Pb zircon ages for a collision-related K-rich complex at Shidao in the Sulu ultrahigh pressure terrane, China. *Geochemical Journal*, 37, 35-46
- Chen YJ and Fu SG. 1992. Gold Mineralization in West Henan, China. Beijing: Seismological Press, 1-234 (in Chinese with English abstract)
- Chen YJ. 1995. Metallogenesis as well as geological and geochemical characteristics of Yindongpo gold deposit as an example of carbonaceous stratabound type. *Journal of Changchun University of Earth Sciences*, 25(2): 61-67 (in Chinese with English abstract)
- Chen YJ, Sui YH and Pirajno F. 2003. Exclusive evidences for CMF model and a case of orogenic silver deposits: Isotope geochemistry of the Tieluping silver deposit, east Qinling orogen. *Acta Petrologica Sinica*, 19: 551-568 (in Chinese with English abstract)
- Chen YJ, Li J, Pirajno F, Lin ZJ and Wang HH. 2004. Hydrothermal metallogeny of the Shangong gold deposit: Studies on ore geology and fluid inclusion geochemistry. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 24(3): 1-12 (in Chinese with English abstract)
- Chen YJ, Pirajno F and Sui YH. 2005. Geology and D-O-C isotope systematics of the Tieluping silver deposit, Henan, China: Implications for ore genesis. *Acta Geologica Sinica*, 79: 106-119
- Chen YJ, Pirajno F, Qi JP, Li J and Wang HH. 2006. Ore geology, fluid geochemistry and genesis of the Shangong gold deposit, eastern Qinling Orogen, China. *Resource Geology*, 56: 99-116
- Chen YJ. 2006. Orogenic-type deposits and their metallogenic model and exploration potential. *Geology in China*, 33, 1181-1196 (in Chinese with English abstract)
- Chen YJ, Ni P, Fan HR, Pirajno F, Lai Y, Su WC and Zhang H. 2007. Diagnostic fluid inclusions of different types hydrothermal gold deposits. *Acta Petrologica Sinica*, 23(9): 2085-2108 (in Chinese with English abstract)
- Chu BL, Shan ZH and Wang G. 2000. Discussion on the characteristics and genesis of Yindongpo gold deposit, Henan. *Gold Deposit*, 6(1): 32-37 (in Chinese with English abstract)
- Deng XH, Li WB, Li N, Mei M and Zhang Y. 2008. Fluid inclusion constraints on the origin of the Zhifang Mo deposit, Songxian County, Henan Province. *Acta Geologica Sinica*, 24(9): 2133-2148 (in Chinese with English abstract)
- Fan HR, Xie YH, Zhai MG and Jin CW. 2003. A three stage fluid flow model for Xiaqingling lode gold metallogenesis in the He'nan and Shaanxi provinces, central China. *Acta Petrologica Sinica*, 19(2): 260-266 (in Chinese with English abstract)

- Groves DI, Goldfarb RJ, Gebre-Mariam M, Hagemann SG and Robert F. 1998. Orogenic gold deposits: A proposed classification in the context of their crustal distribution and relationship to other gold deposit types. *Ore Geology Reviews*, 13: 7 - 27
- Goldfarb RJ, Groves DI and Cardoll S. 2001. Orogenic gold and geologic time: A global synthesis. *Ore Geology Reviews*, 18: 1 - 75
- Hart CJR, Goldfarb RJ, Qiu YM, Snee L, Miller LD and Miller ML. 2002. Gold deposits of the northern margin of the North China Craton: Multiple Late Paleozoic-Mesozoic mineralizing events. *Mineralium Deposita*, 37: 326 - 351
- Hu SX, Lin QL, Chen ZM, Shen ZL and Li SM. 1988. Geology and Metallogeny of the Collision Belt between the North and the South China Plates. Nanjing: Nanjing University Press, 1 - 558 (in Chinese with English abstract)
- Kerrick R, Goldfarb RJ, Groves DI, Garwin S and Jia Y. 2000. The characteristics, origins and geodynamic settings of supergiant gold metallogenic provinces. *Science in China (Series D)* 43(supp.): 1 - 68
- Li CY, Liu YW and Zhu BQ. 1978. Tectonic evolution of Qinling and Qilian Mountains. In: Contributions to the 26th international geological congress (1). Beijing: Geological Publishing House. 174 - 187 (in Chinese)
- Li HM. 2007. Study on the resources of ore-forming materials in the major gold-silver-polymetal deposits in Tongbai County, Henan Province, China. Master D. dissertation. Beijing: China University of Geosciences, 79 (in Chinese with English abstract)
- Li JL, Sun S, Hao J, Chen HH, Hou QL, Xiao WJ and Wu JM. 1999. Time limit of collision event of collision orogens. *Acta Petrologica Sinica*, 15(2): 315 - 320 (in Chinese with English abstract)
- Li N, Sun YL, Li J, Xue LW and Li WB. 2008. The molybdenite ReOs isotope age of the Dahu AuMo deposit, Xiaoqinling and the Indosinian mineralization. *Acta Petrologica Sinica*, 24: 810 - 816 (in Chinese with English abstract)
- Li WB, Lai Y and Wang BG. 2007. Fluid inclusion study of the Bainaimiao Cu-Au deposit in Inner Mongolia, China. *Acta Petrologica Sinica*, 23: 2165 - 2176 (in Chinese with English abstract)
- Lu XX, Wei XD, Xiao QH, Zhang ZQ, Li HM and Wang W. 1999. Geochronological studies of rapakivi granites in Qinling and its geological implications. *Geological Journal of China*, 5(4): 372 - 377 (in Chinese with English abstract)
- Luo MJ. 1992. Gold Deposits in Henan Province. Beijing: Seismological Press, 1 - 422 (in Chinese)
- Qi JP, Chen YJ, Ni P, Lai Y, Ding JH, Song YW and Tang GJ. 2007. Fluid inclusion constraints on the origin of the Lengshuibeiou Pb-Zn-Ag deposit, Henan Province. *Acta Petrologica Sinica*, 23(9): 2119 - 2130 (in Chinese with English abstract)
- Rui ZY, Goldfarb RJ, Qiu YM, Zhou TH, Chen RY, Pirajno F and Yun G. 2002. Paleozoic-Early Mesozoic gold deposits of the Xinjiang Autonomous Region, northwestern China. *Mineralium Deposita* 37: 393 - 418
- Sun WD, Li SG, Chen YD and Li YJ. 2002. Timing of synorogenic granitoids in the South Qinling, central China: Constraints on the evolution of the Qinling-Dabie orogenic belt. *Journal of Geology*, 110, 457 - 468
- Wu CL, Han ZJ, Wang GF and Guo YQ. 1994. Recognition on structure and its ore-controlling in stratified Yindongpo Au deposit. *Earth Science—Journal of China University of Geosciences*, 19(4): 471 - 482 (in Chinese with English abstract)
- Xie QQ, Xu XC, Yue SC and Pan CR. 1999. Geological and geochemical characteristics and tectonic settings of the Guishan Group of Tongbai in Henan Province. *Journal of Hefei University of Technology (Nature Science)*, 22(5): 26 - 30 (in Chinese with English abstract)
- Xu QD, Zhong ZQ, Suo ST and Qi XM. 1995. Ore-forming fluid in mesothermal gold deposits of Tongbai-Dabie area: Their properties and precipitation mechanism. *Mineral Deposits*, 14(1): 59 - 72 (in Chinese with English abstract)
- Xu ZQ, Lu YL, Tang YQ, Mattauer M, Matte Ph, Malavielle J, Tapponnier P and Maluski H. 1986. Deformation characteristics and tectonic evolution of the eastern Qinling orogenic belt. *Acta Geologica Sinica*, 60(3): 237 - 247 (in Chinese with English abstract)
- Yan CH. 2004. Study on Inner Structure of Pb-Zn-Ag Mineralization System in Eastern Qinling. Beijing: Geological Publishing House, 144 (in Chinese with English abstract)
- Yang Y. 2008. Study of Ore-forming Fluid in Weishancheng Au-Ag Polymetallic Metallogenic Belt, Henan Province. Ms. D. dissertation. Beijing: China University of Geosciences, 74 (in Chinese with English abstract)
- Zhai YS, Deng J, Cui B, Ding SJ, Peng RM, Wang JP and Yang LQ. 1999. Ore forming system and comprehensive geo-anomaly. *Geoscience*, 13(1): 99 - 104 (in Chinese with English abstract)
- Zhang FX, Du XH, Wang WT and Qi YL. 2004a. Mineralization responded to Mesozoic geological evolution of the Qinling Orogen and its environs. *Chinese Journal of Geology*, 39(4): 486 - 495 (in Chinese with English abstract)
- Zhang FX, Xiao L and Qi YL. 2004b. Exploration and study of Carlin and Carlin-like type gold deposits: Review and prospect. *Geology in China*, 31(4): 406 - 412 (in Chinese with English abstract)
- Zhang GW, Meng QR, Yu ZP, Sun Y, Zhou DW and Guo AL. 1996. Orogenic processes and dynamics of the Qinling. *Science in China (Series D)*, 39(3): 225 - 234
- Zhang HF, Zhang L, Gao S, Zhang BR and Wang LS. 1999. Pb isotopic compositions of metamorphic rocks and intrusive rocks in Tongbai region and their geological implication. *Earth Science-Journal of China University of Geosciences*, 24(3): 269 - 273 (in Chinese with English abstract)
- Zhang HF, Gao S, Zhang L, Zhong ZQ and Zhang BR. 2000. Granitoids in Erlangping ophiolite fragment from northern Tongbai area, China: Geochemistry, petrogenesis and deep crustal nature. *Scientia Geologica Sinica*, 35(1): 27 - 39 (in Chinese with English abstract)
- Zhang HF, Zhang BR, Zhang HZ, Zhong ZQ, Suo ST and Wang LS. 2002. Pb isotopic tracing study on crustal structure in Tongbai Mt. *Progress in Natural Science*, 12(10): 1053 - 1058 (in Chinese)
- Zhang J. 2004. Case and comparative studies on the typical silver-gold deposits in East Qinling-Tongbai Mountains. Ph. D. dissertation. Beijing: Peking University, 139 (in Chinese with English abstract)
- Zhang J, Chen YJ, Li GP, Li ZL and Wang ZG. 2004. Characteristic of ore geology and fluid inclusion of the Yindonggou silver deposit, Neixiang County, Henan Province: Implication for metallogenic type. *Journal of Mineralogy and Petrology*, 24(3): 55 - 64 (in Chinese with English abstract)
- Zhang J, Chen YJ, Chen HY, Wan SQ, Zhang G and Wang JM. 2006. Isotope geochemistry of the Yindongpo gold deposit, Tongbai County, Henan Province. *Acta Petrologica Sinica*, 22(10): 2551 - 2560 (in Chinese with English abstract)
- Zhang J, Chen YJ, Chen HY, Zhang G and Yang Y. 2008. Isotope geochemistry of the Weishancheng stratabound gold-silver ore belt, Tongbai County, Henan Province, China. *Earth Science Frontiers*, 15(4): 108 - 124 (in Chinese with English abstract)
- Zhang ZH, Yan AL, Li JL and Han CQ. 1999. Geochemical features of the Yindongpo gold deposit in Tongbai region, Henan Province. *Geoscience*, 13(1): 105 - 110 (in Chinese with English abstract)
- Zhou TH, Goldfarb RJ and Phillips GN. 2002. Tectonics and distribution of gold deposits in China: An overview. *Mineralium Deposita*, 37: 249 - 282
- Zhu BQ. 1998. Theory and application of isotope systematics in earth sciences. Beijing: Science Press, 330 (in Chinese with English abstract)
- Zhu RX, Yang ZY, Ma XH, Wu HN, Meng ZF, Fang DJ and Huang BC. 1998. Paleomagnetic constraints on the tectonic history of the major block of China during the Phanerozoic. *Science in China (Series D)*, 41(Supp.): 1 - 19

附中文参考文献

- 陈华勇, 陈衍景, 倪培, 张增杰. 2004. 南天山萨瓦亚尔顿金矿流体包裹体研究. 矿物岩石, 24(3): 46-54
- 陈衍景, 富士谷. 1992. 豫西金矿成矿规律. 北京: 地震出版社, 234
- 陈衍景. 1995. 炭质层控型银洞坡金矿的地质地球化学特征和矿床成因. 长春地质学院学报, 25(2): 61-67
- 陈衍景, 隋颖慧, Pirajno F. 2003. CMF模式的排他性依据和造山型银矿实例: 东秦岭铁炉坪银矿同位素地球化学. 岩石学报, 19: 551-568
- 陈衍景, 李晶, Pirajno F, 林治家, 王海华. 2004. 东秦岭上宫金矿流体成矿作用: 矿床地质和包裹体研究. 矿物岩石, 24(3): 1-12
- 陈衍景. 2006. 造山型矿床、成矿模式及找矿潜力. 中国地质, 33: 1181-1196
- 陈衍景, 倪培, 范宏瑞, Pirajno F, 赖勇, 苏文超, 张辉. 2007. 不同类型热液金矿系统的流体包裹体特征. 岩石学报, 23(9): 2085-2108
- 楚柏林, 山正红, 王广. 2000. 河南银洞坡金矿床特征及成因探讨. 黄金地质, 6(1): 32-37
- 邓小华, 李文博, 李诺, 糜梅, 张颖. 2008. 河南嵩县纸房钼矿床流体包裹体研究及矿床成因. 岩石学报, 24(9): 2133-2148
- 范宏瑞, 谢奕汉, 翟明国, 金成伟. 2003. 豫陕小秦岭脉状金矿床三期流体运移成矿作用. 岩石学报, 19(2): 2133-2148
- 胡受奚, 林潜龙, 陈泽铭, 盛中烈, 黎世美. 1988. 华北与华南古板块拼合带地质和成矿. 南京: 南京大学出版社, 558
- 李红梅. 2007. 河南省桐柏县主要金银多金属矿床的成矿物质来源研究. 硕士学位论文. 北京: 中国地质大学, 79
- 李诺, 孙亚莉, 李晶, 薛良伟, 李文博. 2008. 小秦岭大湖金钼矿床辉钼矿铼钨同位素年龄及印支期成矿事件. 岩石学报, 24: 810-816
- 李春昱, 刘仰文, 朱宝清. 1978. 秦岭及祁连山的构造发展史. 见: 国际交流地质学术论文集(1). 北京: 地质出版社, 174-187
- 李继亮, 孙枢, 郝杰, 陈海泓, 侯泉林, 肖文交, 吴继敏. 1999. 碰撞造山带的碰撞事件的时限确定. 岩石学报, 15(2): 315-320
- 李文博, 赖勇, 王保国. 2007. 内蒙古白乃庙铜金矿床流体包裹体研究. 岩石学报, 23: 2165-2176
- 卢欣祥, 尉向东, 肖庆辉, 张宗清, 李惠民, 王卫. 1999. 秦岭环斑花岗岩的年代学研究及其意义. 高校地质学报, 5(4): 372-377
- 罗铭玖. 1992. 河南金矿地质概论. 北京: 地震出版社, 422
- 祁进平, 陈衍景, 倪培, 赖勇, 丁俊英, 宋要武, 唐国军. 2007. 河南冷水北沟铅锌银矿床流体包裹体研究及矿床成因. 岩石学报, 23(9): 2119-2130
- 吴冲龙, 韩志军, 王根发, 郭永庆. 1994. 银洞坡层控金矿的矿田构造及其控矿作用辨识. 地球科学——中国地质大学学报, 19(4): 471-482
- 谢巧勤, 徐晓春, 岳书仓, 潘成荣. 1999. 河南桐柏龟山组地质地球化学特征及成岩环境. 合肥工业大学学报(自然科学版), 22(5): 26-30
- 徐启东, 钟增球, 索书田, 齐先茂. 1995. 桐柏-大别地区中温热液金矿床成矿流体性质与沉淀机理. 矿床地质, 14(1): 59-72
- 许志琴, 卢一伦, 汤耀庆, Mattauer M, Matte P, Malavielle J, Tapponnier P, Maluski H. 1986. 东秦岭造山带的变形特征及构造演化. 地质学报, 60(3): 237-247
- 燕长海. 2004. 东秦岭铅锌银成矿系统内部结构. 北京: 地质出版社, 1-144
- 杨艳. 2008. 河南围山城金多金属成矿带成矿流体研究. 硕士学位论文. 北京: 中国地质大学(北京), 1-74
- 翟裕生, 邓军, 崔彬, 丁式江, 彭润民, 王建平, 杨立强. 1999. 成矿系统及综合地质异常. 现代地质, 13(1): 99-104
- 张复新, 杜孝华, 王伟涛, 齐亚林. 2004a. 秦岭造山带及邻区中生代地质演化与成矿作用响应. 地质科学, 39(4): 486-495
- 张复新, 肖丽, 齐亚林. 2004b. 卡林型-类卡林型金矿床勘察与研究回顾及展望. 中国地质, 31(4): 406-412
- 张宏飞, 张利, 高山, 张本仁, 王林森. 1999. 桐柏地区变质杂岩和侵入岩类 Pb 同位素组成特征及其地质意义. 地球科学——中国地质大学学报, 24(3): 269-273
- 张宏飞, 高山, 张利, 钟增球, 张本仁. 2000. 桐柏北部二郎坪蛇绿岩片中花岗岩: 地球化学、成因及对地壳深部物质的指示. 地质科学, 35(1): 27-39
- 张宏飞, 张本仁, 张海祖, 钟增球, 索书田, 王林森. 2002. 桐柏山地壳结构的 Pb 同位素地球化学示踪研究. 自然科学进展, 12(10): 1053-1058
- 张静. 2004. 东秦岭-桐柏地区典型银金矿床的剖析和对比研究. 博士学位论文. 北京: 北京大学, 1-139
- 张静, 陈衍景, 李国平, 李忠烈, 王志光. 2004. 河南内乡县银洞沟银矿地质和流体包裹体特征及成因类型. 矿物岩石, 24(3): 55-64
- 张静, 陈衍景, 陈华勇, 万守全, 张冠, 王健明. 2006. 河南省桐柏县银洞坡金矿床同位素地球化学. 岩石学报, 22(10): 2551-2560
- 张静, 陈衍景, 陈华勇, 张冠, 杨艳. 2008. 河南桐柏围山城层控金银成矿带同位素地球化学. 地学前缘, 15(4): 108-124
- 张宗恒, 鄢安禄, 李吉林, 韩存强. 1999. 河南桐柏地区银洞坡金矿床地球化学特征. 现代地质, 13(1): 105-110
- 朱炳泉. 1998. 地球科学中同位素体系理论与应用——兼论中国大陆壳幔演化. 北京: 科学出版社, 330