

西秦岭与埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩有关的金铜成矿及找矿问题*

张旗¹ 殷先明² 殷勇³ 金惟俊¹ 王元龙¹ 赵彦庆⁴

ZHANG Qi¹, YIN XianMing², YIN Yong³, JIN WeiJun¹, WANG YuanLong¹ and ZHAO YanQing⁴

1. 中国科学院地质与地球物理研究所, 北京 100029

2. 甘肃省地矿局, 兰州 730000

3. 甘肃地矿科技信息中心, 兰州 730000

4. 甘肃省地质调查院, 兰州 730000

1. Institute of Geology and Geophysics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100029, China

2. Gansu Provincial Bureau of Geology and Mineral Exploration and Development, Lanzhou 730000, China

3. Gansu Geology and Mineral Resources Information Center, Lanzhou 730000, China

4. Geological Survey of Gansu Province, Lanzhou 730000, China

2009-04-23 收稿, 2009-08-17 改回.

Zhang Q, Yin XM, Yin Y, Jin WJ, Wang YL and Zhao YQ. 2009. Issues on metallogenesis and prospecting of gold and copper deposits related to adakite and Himalayan type granite in west Qinling. *Acta Petrologica Sinica*, 25(12):3103–3122

Abstract Gold deposits spreading extensively in west Qinling have been grouped into such two types as orogenic type and Carlin type, which is accepted by most researchers of the present academic field. In the study area developed Indo-chinese epoch granite, most of which have the characteristics of adakite and Himalayan type granite (relatively low content of Sr and Yb), and related to distribution of gold and copper deposits spatially and timely. The study on Carlin type gold deposits in Nevada, USA show that it is a world-level concentration area of gold deposit, Tertiary igneous rock (intermediate-acid rock and hypabyssal granite) related to gold and copper deposits have the geochemical characteristics of adakite and Himalayan type granite which indicate that the sources of Carlin type gold deposit in Nevada come from the bottom of thickened lower crust. In the paper the metallogenetic mechanism of adakite and Himalayan type granite was discussed, west Qinling was divided into two metallogenetic regions as north and south with the boundary of Xiahe-Tanchang-Liangdang-Fengxian, including 13 metallogenetic concentration areas. In the north region, the developed granite is favorable to search porphyry type, skarn type and hydrothermal type gold and copper deposit; in the south region, it is good to search gold deposits away from igneous rock mass (including Carlin type, sedimentary type, rupture zone type and altered rock type, etc.). West Qinling where Indo-chinese adakite and Himalayan type granite developed extensively, most gold and copper deposits with the features of wide distribution and high reserves are related to adakite and Himalayan type granite should be developed the most potential gold region.

Key words West Qinling; Adakite; Himalayan type granite; Gold deposit; Copper deposit; Carlin type; Porphyry type

摘要 秦岭金矿分布广, 目前学术界大多认为分属于造山型和卡林型金矿两类。该区印支期花岗岩发育, 大多具有埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩(低 Sr 和 Yb)的特点, 与金铜矿在时空分布上相关。美国内华达州卡林型金矿是世界级的金矿聚集区, 与卡林型金矿有关的第三纪岩浆岩(中酸性火山岩和浅成花岗岩)也具有埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩的地球化学特征, 暗示内华达州卡林型金矿也来源于加厚下地壳的底部。本文讨论了埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩有利于成矿的机理, 并根据西秦岭金矿与花岗岩分布的关系, 提出以夏河-宕昌-两当-凤县为界将西秦岭划分为南北两个成矿区和 13 个成矿聚集区: 北区花岗岩发育, 有利于寻找斑岩型、夕卡岩型等热液型金铜矿床; 南带侵入岩少而小, 有利于寻找远离岩体的金矿(包括卡林型等)。鉴于西秦岭印支期埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩发育, 金铜尤其是金矿分布多, 储量大, 且大多与埃达克岩或喜马拉雅

* 本文受国家自然科学基金重大研究计划(90714011)资助。

第一作者简介: 张旗, 男, 1937 年生, 研究员, 岩石学和地球化学专业, E-mail: zhangqi@mail.igcas.ac.cn

型花岗岩有关,可能是中国金矿最具潜力的地区,有利于特大型金铜矿的产出,可能发展成为中国最大的金矿聚集区。为此,建议加强本区花岗岩与金铜成矿关系的研究,革新找矿思路和找矿技术方法,以实现找矿的新突破。

关键词 西秦岭;埃达克岩;喜马拉雅型花岗岩;金矿;铜矿;卡林型;斑岩型

中图法分类号 P618.41; P618.51

西秦岭造山带位于中国腹部,印支期花岗岩发育,金矿密集,多年来一直是作者所关注的,认为可能是我国金矿找矿又一个有希望取得重大突破的地区(殷先明,2004;张旗等,2008;殷勇和殷先明,2009)。西秦岭花岗岩研究从2005年开始有了新的进展,标志是发现该区许多花岗岩具有埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩的特点(金惟俊等,2005;张宏飞等,2005,2007;秦江峰等,2005;张成立等,2008),而且上述花岗岩大多是印支期的,暗示印支期西秦岭地壳可能相当的厚。饶有趣味的是,被认为属于卡林型的西秦岭最大的文县阳山金矿(探明储量约308t)的花岗岩是印支期的(齐金忠等,2005;杨荣生等,2006;刘红杰等,2008),且是喜马拉雅型的。同样为卡林型的特大型大水金矿也与花岗岩密切共生,且花岗岩为埃达克岩(张旗等,2008)。于是,埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩与金矿的关系、卡林型金矿与花岗岩的关系即引起作者强烈的兴趣。卡林型金矿与岩浆岩是否有关是有争论的问题(吴烈善等,1997;吴烈善和韦龙明,1999;马建秦等,1999;张复新等,2000,2001,2004,2007;毛景文,2001;陈衍景等,2004;齐金忠等,2003a, b, 2005,2008;冯建忠等,2003;赵新苗等,2004;毕明波等,2006;程斌等,2006;李志宏等,2007;刘红杰等,2008;殷勇和赵彦庆,2006;周余国等,2008),我国学者大多主张卡林型金矿与岩浆活动无关,但资料告诉我们,许多被确认为卡林型的金矿(如特大型的甘肃

阳山和大水金矿以及陕西八卦庙和双王金矿)实际上与侵入岩有密切的时空联系。为此,我们查阅了卡林型金矿的发源地美国内华达州的卡林型金矿,发现美国多数研究者认为卡林型金矿与第三纪岩浆活动有关,而且与金矿有关的花岗岩和酸性火山岩也具有埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩的特征,说明内华达第三纪也发生了地壳加厚,卡林型金矿与地壳加厚有关。于是,我们认为,西秦岭金铜找矿具有广阔的前景,可能发展为我国最大的金矿聚集区,建议加快研究、找矿、开发的力度,以提升我国找矿的理论水平和国家资源保障的水平。

1 地质背景

位于中国腹地的西秦岭造山带是中国中央造山带的组成部分之一,大致指青海南山北缘断裂-土门关断裂以南,宝成铁路以西,玛沁-略阳断裂以北,柴达木地块以东的广阔区域(图1),是诸多地块和造山带汇聚交接地带。西秦岭造山带自新元古代以来,大致经历了 Rodinia 超级大陆裂解、秦祁昆洋形成、洋陆俯冲造山、大陆碰撞造山、板内伸展和陆内碰撞造山多个构造演化过程。冯益民等(2003)称其为“碰撞-陆内复合型”造山带,张国伟等(2004)认为西秦岭基本构造

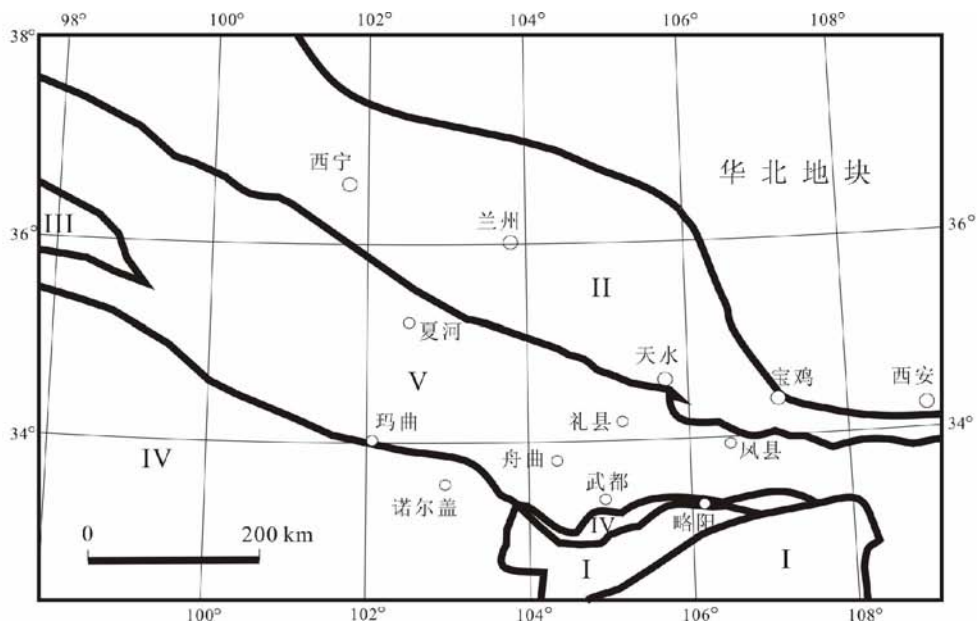


图1 西秦岭概略构造图(据冯益民等,2003简化)

I-扬子地块;II-祁连-北秦岭加里东构造带;III-柴达木加里东-海西构造带;IV-阿尼玛卿-巴颜喀拉印支燕山构造带;V-西秦岭印支期构造带

Fig.1 Sketch map showing tectonic location of the west Qinling (after Feng *et al.*, 2003)

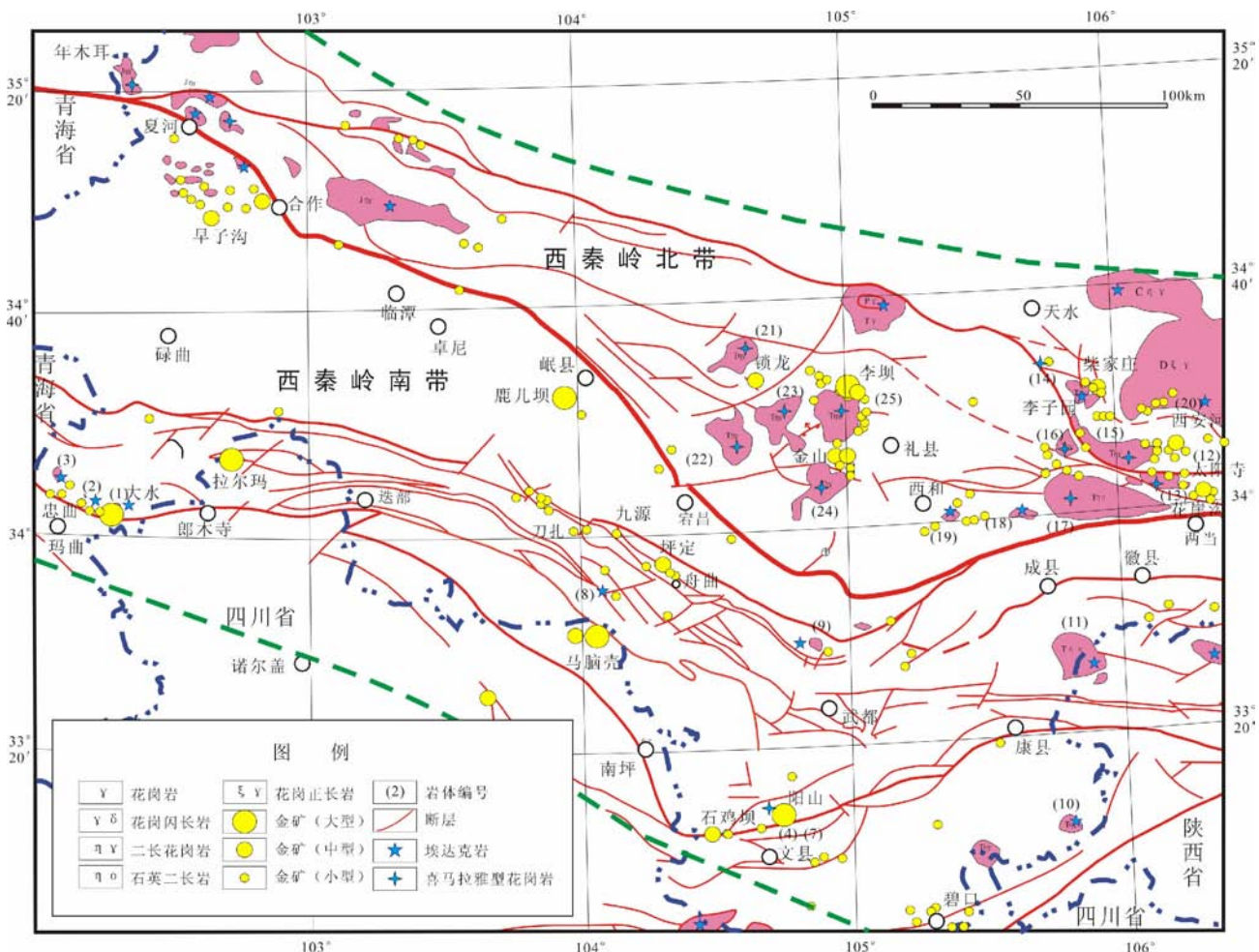


图2 甘肃南部西秦岭花岗岩和金矿分布图

图中的绿色虚线示意了西秦岭的范围,并以夏河-宕昌-两当断裂(红色粗实线)为界将西秦岭分为北带和南带,北带花岗岩发育,产金和铜;南带花岗岩较少,以金为主

Fig.2 Distribution of granites and gold deposits in the west Qinling

格架主要是在印支期奠定的,其后又遭受中、新生代构造强烈的改造,始成现今构造面貌。西秦岭造山带近EW向延伸,地层发育齐全,太古宇、元古宇、震旦系、古生界及中生界地层均有不同程度出露。区内岩浆活动发育,有中酸性岩体200余个,总面积约4000km²(图2),时代从石炭纪到第三纪,以印支期占优势。

2 西秦岭印支期花岗岩特征

2.1 分布和时代

本区中酸性侵入岩发育,主要分布在西秦岭北带,岩体规模较大,集中在天水东、礼县西和夏河一带,西秦岭南带侵入体分布零星,规模也小得多(图2)。花岗岩年龄大多在200~245Ma之间,已知的SHRIMP U-Pb 锆石年龄有甘肃温泉岩体223±7Ma(张宏飞等,2005)、冶力关245±6Ma、夏河238±4Ma(金维俊等,2005)、阳坝锆石 U-Pb 年龄为215Ma

(张宏飞等,2007),阳山斜长花岗岩独居石的U-Th-Pb 年龄为220±3Ma(杨荣生等,2006),金矿含金石英-黄铁矿细脉中的石英⁴⁰Ar-³⁹Ar 坪年龄为195±1Ma,等时线年龄为191±2Ma(齐金忠等,2003b)。

2.2 地球化学

我们收集了该带百多个花岗岩地球化学数据(表1),发现本区花岗岩大多具有埃达克岩($Sr > 400 \times 10^{-6}$, $Yb < 2 \times 10^{-6}$)和喜马拉雅型花岗岩($Sr < 400 \times 10^{-6}$, $Yb < 2 \times 10^{-6}$)的特征(图3)。从图3看,西秦岭地区埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩大多属于高钾钙碱性系列,部分为钾玄岩系列,仅阿姨山部分样品落入低钾钙碱性系列。从图3C看,阳坝、温泉、迷坝为埃达克岩,柴家庄、黑河-德乌鲁、阳山、五朵金花为喜马拉雅型花岗岩,阿姨山存在上述两类花岗岩。阿姨山、阳坝和黑河-德乌鲁地区的Mg[#]数值高,有明显地幔的印记(图3D),对比图3A和图3B,阳坝富钠,但是,仍然属于高

表1 西秦岭花岗岩主元素(wt%)、REE ($\times 10^{-6}$)和Sr的数据Table 1 Major element (wt%), REE ($\times 10^{-6}$) and Sr content of granitoids in the west Qinling

地点	阳山									阳坝					
	63.01	60.64	65.48	67.14	67.07	63.02	62.06	70.35	62.68	67.92	68.55	67.97	66.6	67.49	67.26
SiO ₂	63.01	60.64	65.48	67.14	67.07	63.02	62.06	70.35	62.68	67.92	68.55	67.97	66.6	67.49	67.26
TiO ₂	0.27	0.27	0.28	0.07	0.18	0.27	0.23	0.31	0.5	0.33	0.32	0.3	0.36	0.37	0.36
Al ₂ O ₃	23.71	22.94	21.97	22.94	19.47	21.66	21.56	14.71	15.27	15.87	16.05	16.36	16.18	15.84	15.81
Fe ₂ O ₃	1.63	2.15	2.03	1.4	1.44	1.89	2.01	0.51	1.46	2.68	2.62	2.38	2.96	2.65	2.84
FeO								1.83	1.78						
MnO	0.04	0.03	0.05	0.04	0.04	0.03	0.03	0.03	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
MgO	0.54	0.95	0.63	0.19	0.55	0.78	0.99	0.8	2.98	1.51	1.42	1.43	1.76	1.53	1.65
CaO	1.07	2.42	1.12	0.15	2.05	1.7	2.19	1.97	5.24	2.8	2.68	2.89	2.91	2.75	2.9
Na ₂ O	0.32	0.18	0.12	1.31	0.78	3.1	3.18	3.9	4.04	4.8	4.56	4.92	4.73	4.59	4.66
K ₂ O	3.71	3.76	3.98	3.88	3.58	3.98	3.55	4.38	3.59	3.44	3.67	3.22	3.59	3.62	3.43
P ₂ O ₅	0.09	0.09	0.09	0.05	0.07	0.09	0.09	0.13	0.16	0.17	0.18	0.17	0.21	0.18	0.18
LOS										0.36	0.36	0.34	0.38	0.44	0.38
Total										99.93	100.46	100.03	99.73	99.51	99.52
Mg [#]	0.41	0.48	0.4	0.22	0.45	0.47	0.51	0.4	0.65	0.54	0.53	0.56	0.56	0.55	0.55
Sr	126	95	87	68	210	178	252	445	506	934	972	1047	916	1000	1014
La	16.6	19.44	19.02	20.02	11.24	30.22	22.99	69.92	38.3	34	37.2	31.9	36.5	41.9	40.4
Ce	32.41	36.21	36.22	38.11	21.46	53.74	41.26	12.2	65	65.8	69.9	59.2	68.5	80.3	77.2
Pr	3.58	3.76	3.75	4.04	2.41	5.57	4.12	14.9	7.28	7.13	7.15	6.19	7.34	8.76	8.28
Nd	14.87	15.29	14.36	16.3	9.33	21.28	15.55	48.8	76.3	27.2	26	22.8	27	33.2	31.8
Sm	3.87	3.16	3.12	3.93	2.49	4.08	3.16	8.28	4.52	4.44	3.9	3.5	4.3	5.48	5.21
Eu	0.82	0.79	0.83	0.86	0.59	1.04	0.87	1.99	1.02	1.15	1.06	0.96	1.08	1.41	1.33
Gd	3.15	2.58	2.63	3.63	2.31	3.59	2.69	6	3.65	3.77	3.36	2.96	3.58	4.52	4.3
Tb	0.47	0.35	0.38	0.54	0.35	0.44	0.33	0.71	0.48	0.42	0.36	0.32	0.4	0.55	0.52
Dy	2.39	1.59	1.74	2.34	1.83	1.89	1.55	3.25	2.3	2.03	1.76	1.56	1.95	2.58	2.47
Ho	0.41	0.28	0.29	0.37	0.35	0.36	0.29	0.6	0.47	0.38	0.31	0.28	0.35	0.44	0.43
Er	1.04	0.8	0.7	0.84	0.92	0.79	0.63	1.49	1.14	0.99	0.83	0.75	0.92	1.21	1.17
Tm	0.14	0.11	0.11	0.12	0.12	0.11	0.09	0.3	0.2	0.14	0.12	0.11	0.14	0.17	0.17
Yb	0.89	0.73	0.71	0.71	0.83	0.78	0.64	1.28	1.11	0.96	0.82	0.74	0.92	1.2	1.18
Lu	0.14	0.11	0.1	0.1	0.12	0.12	0.09	0.21	0.18	0.16	0.13	0.12	0.15	0.19	0.19
资料来源	1	1	1	1	1	1	1	3	3	2	2	2	2	2	2

地点	阳坝						迷坝						柴家庄		
	67.53	68.19	67.73	67.87	69.08	69.5	66.07	58.19	68.85	62.16	63.31	62.82	71.1	71.89	
SiO ₂	67.53	68.19	67.73	67.87	69.08	69.5	66.07	58.19	68.85	62.16	63.31	62.82	71.1	71.89	
TiO ₂	0.34	0.33	0.31	0.3	0.26	0.39	0.52	0.75	0.4	0.57	0.51	0.58	0.32	0.25	
Al ₂ O ₃	15.96	15.66	16.23	16.04	16.48	4.58	15.17	18.06	16.67	15.55	16.09	15.52	14.53	12.98	
Fe ₂ O ₃	2.55	2.53	2.42	2.47	2.05	1.01	4.01	6.02	2.84	4.74	4.28	4.83	0.92	0.45	
FeO							1.23	2.78	4.12	1.5	3.52	2.75	3.4	1.88	1.55
MnO	0.05	0.05	0.05	0.05	0.04	0.03	0.07	0.1	0.05	0.08	0.07	0.08	0.07	0.34	
MgO	1.49	1.44	1.4	1.42	1.06	1.12	2.4	4.37	0.94	3.53	3.35	3.74	0.84	0.32	
CaO	2.7	2.71	2.76	2.72	2.29	2.82	3.3	5.8	2.8	4.25	4.42	4.43	1.65	1.29	
Na ₂ O	4.53	4.56	4.76	4.64	4.98	4.65	4.19	4.1	4.24	3.84	3.97	3.56	3.79	3.81	
K ₂ O	3.84	3.47	3.57	3.62	3.71	3.25	3.84	2.26	3.1	3.8	3.46	3.5	4.2	4.42	
P ₂ O ₅	0.18	0.17	0.16	0.17	0.12	0.31	0.21	0.23	0.14	0.26	0.21	0.24	0.09	0.07	
LOS	0.35	0.41	0.45	0.41	0.4		0.47	0.64	0.35	1.23	0.36	0.83			
Total	99.52	99.52	99.84	99.71	100.47		100.25	100.52	100.38	100.01	100.03	100.13			
Mg [#]	0.55	0.55	0.55	0.55	0.52	0.5	0.42	0.47	0.31	0.46	0.49	0.48	0.37	0.24	
Sr	1015	1002	1033	1037	905	600	545	761	873	797	665	710	255	242	
La	47	42.2	37.3	41.5	30.5	42	48.1	30.3	34.8	47.6	41.1	43.9	60	43.59	
Ce	85.6	76.7	70.5	76.8	55.2	77	89.1	56.4	63	92.3	77	81.5	78	59.25	
Pr	8.88	8.13	7.68	8.14	5.96	9	9.84	6.75	6.82	10.4	8.63	9.16	9.2	7.58	
Nd	33.1	30.5	29.2	30.4	22.5	32	35.5	26	25.2	37.8	31.5	35.1	4.4	31.33	
Sm	5.15	4.81	4.69	4.79	3.4	0.2	6.02	4.61	4.28	6.23	5.21	6.36	6	5.4	
Eu	1.35	1.24	1.21	1.29	0.94	1.4	1.36	1.48	1.1	1.55	1.38	1.47	1.29	1.19	

续表 1

Continued Table 1

地点	阳坝						迷坝						柴家庄	
Gd	4.42	4.1	3.93	4.06	2.93	3.8	4.61	3.59	3.31	4.68	4.07	4.89	5	3.68
Tb	0.51	0.48	0.47	0.47	0.34	0.57	0.62	0.53	0.43	0.63	0.54	0.65	0.3	0.38
Dy	2.37	2.25	2.23	2.23	1.63	3	3.35	2.89	2.06	3.29	2.86	3.21	5.05	3.05
Ho	0.42	0.39	0.39	0.39	0.29	0.48	0.62	0.57	0.38	0.59	0.55	0.63	0.8	0.89
Er	1.12	1.06	1.07	1.07	0.81	1.2	1.56	1.44	0.94	1.51	1.37	1.52	2.1	1.32
Tm	0.16	0.15	0.16	0.16	0.12	0.17	0.26	0.22	0.15	0.24	0.22	0.24	0.23	0.25
Yb	1.11	1.06	1.07	1.09	0.85	1	1.66	1.38	1.01	1.55	1.46	1.63	2.05	1.57
Lu	0.18	0.18	0.18	0.18	0.15	0.15	0.25	0.21	0.15	0.23	0.21	0.24	0.1	0.23
	2	2	2	2	2	3	4	4	4	4	4	4	3	3

地点	柴家庄				天子山				糜署岭					
SiO ₂	71.31	72.43	71.96	73.94	70.82	73.02	70.87	71.06	71.13	64.88	64.58	63.63	62.28	60.8
TiO ₂	0.29	0.2	0.4	0.07	0.27	0.14	0.36	0.25	0.53	0.66	0.68	0.72	0.83	1.05
Al ₂ O ₃	14.11	15.12	14.38	14.1	14.65	15.07	14.77	14.29	14.26	15.6	15.64	16.02	15.63	15.9
Fe ₂ O ₃	1.21	0.57	1.18	0.17	0.57	0.16	0.24	0.26	0.58	4.74	4.81	5.04	5.99	3.31
FeO	0.89	1.22	1.15	1.2	1.51	1.04	3	2.66	1.91	4.74	4.81	5.04	5.99	1.72
MnO	0.05	0.03	0.04	0.03	0.05	0.02	0.08	0.07	0.07	0.07	0.07	0.08	0.1	0.08
MgO	0.37	0.5	0.47	0.11	0.5	0.25	0.72	0.52	0.46	1.85	1.88	2.09	2.48	2.4
CaO	1.29	0.97	1.14	1.11	1.17	0.79	1.72	1.16	1.34	3.78	3.74	4.04	4.54	4.64
Na ₂ O	4.41	4.19	4.28	4.15	4.06	4.27	4.42	3.96	4.3	3.15	3.18	3.12	3.06	3.54
K ₂ O	4.11	4.63	4.41	3.93	4.94	4.35	3.59	4.47	4.5	3.99	4.08	3.93	3.77	3.55
P ₂ O ₅	0.08	0.06	0.04	0.02	0.06	0.04	0.13	0.1	0.11	0.17	0.18	0.18	0.22	0.48
LOS										0.88	0.9	0.9	0.88	
Total										99.77	99.74	99.75	99.78	
Mg [#]	0.26	0.35	0.29	0.13	0.32	0.29	0.3	0.25	0.26	0.45	0.45	0.47	0.47	0.49
Sr	336	130	117	850	211	119	280	270	210	357	349	335	382	363
La	60.28	62.8	60.28	23.2	53.09	17.7	56.3	36.1	22.68	49.86	50.3	45.07	44.07	34.9
Ce	95.41	95.4	95.41	44.8	90.92	37.8	91.4	64	43.84	94.88	88.18	79.91	88.52	47.31
Pr	10.46	10.5	10.35	2.38	9.89	1.94	9.19	6.39	4.72	9.69	9.61	8.44	9.96	6.07
Nd	36.91	36.5	37.29	11	38.02	9.3	40.2	25.4	17.53	36.38	34.64	32.07	40	25.64
Sm	5.54	5.52	5.86	1.31	5.32	1.12	6.88	5.21	3.88	5.92	5.69	5.02	6.92	5.2
Eu	1.21	1.21	1.21	0.52	1.69	0.43	0.88	0.79	0.73	1.18	1.29	1.14	1.38	0.87
Gd	3.21	3.3	3.12	1.17	3.61	1.22	5.41	4.07	3.38	5.39	5.27	4.53	5.86	3.75
Tb	0.54	0.54	0.54	0.15	0.38	0.17	0.88	0.74	0.69	0.75	0.72	0.64	0.87	0.36
Dy	2	2	2	0.8	1.2	0.84	5.95	0.69	3.23	4.18	3.81	3.37	4.86	2.83
Ho	0.47	0.42	2.32	0.16	0.55	0.18	1.17	0.95	0.81	0.71	0.74	0.67	0.92	0.58
Er	0.73	0.73	0.73	0.41	1.15	0.44	3.31	2.67	2.18	2.19	2.11	1.82	2.71	1.59
Tm	0.16	0.16	0.16	0.06	0.16	0.06	0.51	0.4	0.39	0.31	0.28	0.24	0.33	0.37
Yb	0.8	0.8	0.8	0.39	0.93	0.34	3.01	2.41	2.32	2.25	1.91	1.66	2.53	1.83
Lu	0.22	0.22	0.22	0.06	0.19	0.045	0.37	0.3	0.43	0.32	0.29	0.25	0.39	0.18
	3	4	4	4	3	4	4	4	3	6	6	6	6	3

地点	黄渚关		董河		西安河		教场沟		柏家庄			碌碡坝			吴茨坝
SiO ₂	62.88	59.88	71.02	71.79	69.41	71.56	73.65	72.11	65.84	72.61	70.15	71.14	63.4	71.99	
TiO ₂	0.93	0.76	0.29	0.22	0.34	0.46	0.12	0.2	0.58	0.17	0.37	0.23	0.65	0.25	
Al ₂ O ₃	15.15	16.69	14.74	15.5	14.2	13.9	13.32	13.78	15.34	13.03	13.28	13.72	16.78	13.56	
Fe ₂ O ₃	1.98	0.14	0.82	0.36	1.18	1.96	0.39	0.14	1.12	0.4	0.27	0.1	2.93	0.43	
FeO	2.14	5.56	1.6	1.53	2.02	1.42	1.12	1.43	2.9	1.38	2.36	2.12	2.5	1.93	
MnO	0.06	0.11	0.06	0.05	0.05	0.06	0.05	0.04	0.08	0.02	0.04	0.05	0.07	0.29	
MgO	2.26	3.7	0.69	0.49	0.91	1.19	0.31	0.4	2.73	0.78	1.41	1	2.76	0.72	
CaO	4.81	5.61	1.56	2.01	2.01	0.61	0.81	0.93	3.57	1.12	1.64	1.7	1.43	1.24	
Na ₂ O	3.62	3.25	4.12	3.97	3.57	3.23	3.58	3.98	3.57	4.67	4.27	4.13	2.4	3.55	
K ₂ O	3.49	2.84	4.51	4.08	4.72	3.4	2.88	6.04	3.44	5.73	5	4.72	3.68	4.65	
P ₂ O ₅	0.4	0.22	0.08	0.02	0.2	0.12	0.09	0.09	0.14	0.09	0.13	0.12	0.16	0.09	

续表 1

Continued Table 1

地点	黄渚关	董河	西安河	教场沟		柏家庄				碌碡坝				吴茨坝
Mg [#]	0.52	0.55	0.36	0.33	0.36	0.42	0.29	0.33	0.57	0.46	0.51	0.46	0.51	0.37
Sr	479	433	354	296	173		78			297			191	273
La	45	49	44.75	1.85	52	31.65	29.22	38.46	30.86	11.94	34.11	35.3	42.44	38.86
Ce	68	74	69.17	1.87	72	62.13	56.87	74.09	48.76	24.99	72.05	66.76	74.43	67.24
Pr	9.4	10	8	1.75	9.3	7.71	7.04	8.59	5.06	2.81	9.93	9.38	8.7	7.57
Nd	44	46	34.33	1.6	40	25.43	21.41	28.47	18.58	9.52	30.26	32.66	30.69	27.84
Sm	6	6	4.62	1.4	5.1	4.98	4.36	4.83	2.92	1.9	5.26	5.49	5.16	5.49
Eu	1.6	1.4	1.54	1.1	1.1	0.41	0.47	0.52	0.55	0.41	1.04	0.99	1.17	0.95
Gd	5.2	6	3.54	1.06	3.5	3.56	2.98	3.3	2.09	2.17	4.95	4.48	3.87	3.77
Tb	0.4	0.44	0.24	1.17	0.22	0.68	0.54	0.76	0.37	0.59	0.8	0.95	0.65	0.63
Dy	5.5	6.7	2.35	1.12	3	2.86	2.61	2.42	1.65	2.53	3.14	3.22	2.93	3.45
Ho	0.84	0.85	0.56	0.89	0.6	0.53	0.57	0.52	0.42	0.53	0.53	0.75	0.66	0.75
Er	2.35	3	1.25	0.96	1.35	1.31	1.39	1.22	0.73	1.49	1.57	1.57	1.5	1.8
Tm	0.3	0.43	0.18	0.78	0.28	0.22	0.28	0.28	0.17	0.25	0.34	0.26	0.29	0.28
Yb	2.4	3	1.07	0.97	1.35	1.37	1.49	1.44	0.74	1.41	2.11	1.5	1.53	1.88
Lu	0.1	0.1	0.17	0.99	0.1	0.27	0.29	0.32	0.17	0.27	0.33	0.53	0.34	0.29
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
地点	吴茨坝						温泉							
SiO ₂	71.21	71.13	70.44	70.32	69.86	73.27	72.24	66.74	67.17	67.18	67.34	58.39	64.27	63.08
TiO ₂	0.3	0.33	0.35	0.48	0.47	0.46	0.32	0.57	0.55	0.51	0.53	0.87	0.57	0.55
Al ₂ O ₃	13.97	13.8	13.97	13.97	14.36	12.57	14.05	14.73	14.99	15.02	14.83	14.06	16.2	16.49
Fe ₂ O ₃	1.04	0.74	1.26	3.37	3.15	3.08	2.14	3.8	3.28	3.33	3.47	2.65	1.36	1.62
FeO	2.04	2.15	2.34					3.58	3.16	3.07				
MnO	0.04	0.11	0.07	0.08	0.06	0.07	0.04	0.06	0.06	0.07	0.06	0.13	0.08	0.09
MgO	0.75	0.85	0.93	0.84	0.83	0.75	0.47	1.72	1.38	1.53	1.52	4.99	1.74	1.89
CaO	1.65	1.56	1.63	2.11	2.31	1.92	1.42	2.93	2.89	2.79	2.95	4.57	3.01	3.31
Na ₂ O	3.95	3.72	3.4	3.31	3.17	3.12	3.5	3.12	3.28	3.41	3.16	3.03	3.66	3.82
K ₂ O	4.15	4.43	4.53	4.49	4.68	3.87	4.81	4.89	4.73	4.4	4.66	4.57	3.01	3.31
P ₂ O ₅	0.1	0.13	0.15	0.18	0.18	0.16	0.14	0.25	0.22	0.21	0.22			
LOS				0.68	0.72	0.55	0.68							
Total				99.83	99.79	99.82	99.81	99.73	99.75	99.75	99.72	99.43	99.21	99.29
Mg [#]	0.32	0.37	0.34	0.35	0.36	0.34	0.32	0.49	0.47	0.49	0.48	0.61	0.43	0.44
Sr				246	371	258	197	188	429	488	447	340	760	845
La	39.31	39.79	33.684	47.29	43.47	40.42	36.88	26.69	43.67	42.35	37.73	59.15	53.8	57.6
Ce	79.7	70.85	61.07	84.1	78.54	72.43	66.1	48.78	78.31	87.77	68.53	101	88.5	88.4
Pr	8.28	7.89	6.26	9.21	8.43	7.82	7.06	5.6	9.19	9.91	7.57	10.65	8.32	8.8
Nd	28.98	28.72	24.258	35.28	31.58	29.52	26.37	22.17	31.29	36.42	28.05	44.65	38.2	40
Sm	5.35	5.46	4.784	6.64	5.46	5.39	4.92	4.94	5.83	6.31	5.31	8.46	6.59	6.65
Eu	0.7	0.8	0.749	0.82	1.15	0.88	0.8	0.68	1.41	1.36	1.19	1.89	1.52	1.71
Gd	4.16	4.14	3.316	5.82	4.66	4.62	4.11	4.46	5.25	5.58	4.46	7.54	4.89	4.92
Tb	0.94	0.82	0.485	0.81	0.64	0.62	0.5	0.7	0.68	0.74	0.56	1.13	0.62	0.73
Dy	3.75	3.52	2.46	5.13	3.58	3.48	2.28	4.77	3.11	4.41	3.36	6.43	4.22	4.43
Ho	0.72	0.71	0.445	0.92	0.65	0.63	0.42	0.86	0.59	0.79	0.56	1.16	0.72	0.72
Er	2.01	1.87	1.141	2.42	1.59	1.6	1.06	2.23	1.62	1.98	1.39	2.89	1.96	1.97
Tm	0.42	0.36	0.175	0.35	0.21	0.23	0.15	0.31	0.23	0.25	0.2	0.48	0.3	0.29
Yb	2.02	1.82	1.09	2.52	1.63	1.72	1.3	2.4	1.49	1.87	1.42	2.1	1.65	1.74
Lu	0.34	0.33	0.16	0.4	0.25	0.26	0.19	0.36	0.22	0.28	0.2	0.27	0.22	0.23
	3	3	7	6	6	6	6	6	6	6	6	8	8	8
地点	温泉		太阳山	八卦山	黑河-德乌鲁地区				阿姨山地区		酒索玛	热果		
					冶力关			美武		夏河东	曼日岗			
SiO ₂	70.25	71.39	69.01	71.06	60.08	65.86	68.2	72.07	74.91	61.83	58.37	60.02	63.74	
TiO ₂	0.33	0.29	0.29	0.25	0.66	0.74	0.43	0.32	0.19	0.59	0.65	0.66	0.69	

续表 1

Continued Table 1

地点	温泉		太阳山	八卦山	黑河-德乌鲁地区					阿娘山地区		酒索玛	热果
					冶力关	美武			夏河东	曼日岗			
Al ₂ O ₃	14.58	13.63	15.46	14.29	15.97	13.57	14.92	14.16	13.14	16.62	16.73	16.68	16.17
Fe ₂ O ₃	0.5	0.7	1.51	0.26	5.83	5.84	3.21	2.01	1.02	5.28	0.13	0.62	1.13
FeO	2.32	1.37	1.11	2.66	3.9	5.84	3.21	2.01	1.02	3.25	5.7	4.28	3.72
MnO	0.06	0.09	0.04	0.07	0.08	0.06	0.05	0.02	0.02	0.07	0.12	0.09	0.08
MgO	0.85	0.82	0.63	0.52	4.95	3.24	1.77	1.07	0.54	3.63	4.48	4.23	3
CaO	1.4	1.92	1.76	1.16	5.83	3.21	3.52	2.71	1.87	5.2	6.5	5.59	5.02
Na ₂ O	4.08	3.43	4.17	3.96	3	2.3	2.79	2.59	2.57	2.85	2.47	2.87	2.78
K ₂ O	4.89	4.97	4.53	4.47	2.72	4.25	3.93	3.99	4.77	2.32	1.88	2.13	3.15
P ₂ O ₅		0.13	0.1	0.1	0.14	0.13	0.1	0.06	0.06	0.12	0.12	0.12	0.21
LOS													
Total	99.99	100.17	98.61	98.8	99.89	99.76	99.8	99.8	99.8	99.95	99.69	99.49	100.49
Mg [#]	0.37	0.44	0.33	0.25	0.51	0.54	0.53	0.53	0.53	0.46	0.59	0.62	0.55
Sr	253			270	420	281	361	307	261	390	230	350	520
La	34.09	32.28	56.23	36.1	29.3	49.86	39.95	48.64	55.31	29.5	25.3	24.3	46.4
Ce	59.51	57.53	93.5	64	59.1	97.57	78.08	86.41	49.65	58.3	46.1	41.8	78.6
Pr	5.48	6.78	9.94	6.39	6.7	9.86	7.49	8.06	9.3	6.45	4.46	4.2	7.8
Nd	21.33	23.28	39.21	25.4	26.6	40.04	30.76	30.49	35.19	25.2	21.5	20.1	36.8
Sm	4.4	4.43	5.78	5.21	5.16	7.68	5.6	4.78	5.01	4.75	3.97	3.77	6.66
Eu	0.81	0.9	1.3	0.79	1.16	0.93	1	0.9	0.85	1.04	0.99	0.9	1.41
Gd	3.23	3.45	3.3	4.07	4.66	6.55	5.17	4.08	4.18	4.42	4.39	3.79	5.97
Tb	0.51	0.52	0.49	0.74	0.63	0.93	0.67	0.46	0.47	0.6	0.62	0.46	0.6
Dy	3.02	2.67	2.14	4.69	3.29	4.46	3.31	2.25	2.31	3.2	3.61	2.74	3.48
Ho	0.58	0.49	0.42	0.95	0.64	0.86	0.69	0.46	0.47	0.62	0.67	0.52	0.61
Er	1.54	1.26	0.76	2.67	1.71	2.59	1.99	1.3	1.51	1.69	1.96	1.52	1.53
Tm	0.23	0.19	0.19	0.4	0.24	0.38	0.31	0.19	0.24	0.24	0.29	0.91	0.2
Yb	1.25	1.12	0.82	2.41	1.73	2.43	1.88	1.14	1.51	1.73	1.72	1.13	1.16
Lu	0.17	0.17	0.18	0.3	0.26	0.35	0.31	0.18	0.24	0.26	0.23	0.17	0.16
	8	5	3	5	9	6	6	6	6	8	10	10	10

地点	阿尼亚日		瓦得		恰石宰		贡宁尼哈		达尔藏		大水地区			
SiO ₂	68.02	67.14	71.79	68.43	69.83	67.45	67.76	59.86	64.81	64.59	61.32	59.8	61.99	63.69
TiO ₂	0.44	0.54	0.15	0.44	0.32	0.37	0.45	0.68	0.54	0.51	0.4	0.4	0.54	0.34
Al ₂ O ₃	15.05	15.61	14.6	15.81	14.8	15.46	15.32	16.85	15.53	15	15.98	15.98	15.5	15.61
Fe ₂ O ₃	0.53	0.16	0.45	0.35	0.67	1.06	0.43	5.84	4.28	3.97	3.84	4.8	4.24	5.61
FeO	2.46	3.34	0.52	2.24	1.52	1.76	1.88				2.5	3.38	2.84	1.99
MnO	0.05	0.05	0.02	0.03	0.06	0.05	0.07	0.09	0.07	0.06	0.04	0.4	0.05	0.05
MgO	1.98	1.66	0.56	1.21	1.29	2.11	1.94	4.03	2.82	2.58	2.7	3.93	3.42	1.31
CaO	2.75	3.15	1.44	2.81	2.24	2.98	1.77	6.31	4.43	4.86	4.47	3.5	3.31	2.92
Na ₂ O	2.98	2.98	4.25	3.66	3.9	3.2	4	2.71	2.71	2.77	2.12	2.36	2.7	3.86
K ₂ O	3.5	3.5	4.75	4	4.16	4.04	3.74	1.9	2.82	2.89	3.52	3.52	3.62	4.6
P ₂ O ₅	0.11	0.19	0.11	0.17	0.15	0.18	0.19	0.13	0.1	0.09	0.15	0.2	0.17	0.17
LOS											2.5	1.78	1.82	1.16
Total	99.87	99.28	100.12	100.15	99.76	99.76	99.78	99.8	99.81	99.82	99.54	100.05	100.20	101.31
Mg [#]	0.56	0.48	0.54	0.47	0.54	0.6	0.62	0.59	0.58	0.58	0.46	0.49	0.49	0.26
Sr	230	505	160	540	410	550	460	397	336	323	630	695	1180	845
La	37.5	74.6	21.3	64.9	54	49.6	54.2	26.77	34.92	33.35	44	48	47.9	57.1
Ce	67.8	120	36.1	102	85.1	86.8	82.3	56.8	67.88	64.87	74.3	97.1	78	96.9
Pr	6.25	11.1	3.4	8.81	7.11	6.97	7.55	6.24	8.08	7.53	8.62	12	9.47	10.8
Nd	28.3	51.8	14.6	40.5	31	33	32.7	25.85	28.88	26.4	33.5	47.3	37.4	42.3
Sm	5.07	8.34	3.37	6.43	5.05	5.51	5.39	5.02	5.03	4.87	6.03	8.48	6.4	7.84
Eu	0.87	1.46	0.44	1.25	0.85	1.25	1.08	1.1	0.92	0.96	1.32	1.75	1.41	1.35
Gd	4.96	6.52	2.91	5.02	4.07	4.76	4.04	3.98	4.42	4.37	3.86	5.65	4.39	4.6

续表 1

Continued Table 1

	阿尼亚日		瓦得		恰石宰		贡宁尼哈		达尔藏			大水地区		
Tb	0.55	0.71	0.4	0.76	0.69	0.49	0.61	0.55	0.63	0.54	0.73	0.93	0.71	0.72
Dy	3.49	3.22	1.72	2.23	2.61	3.01	2.45	3.2	3.3	3.11	3.04	4.02	3.29	3.15
Ho	0.62	0.5	0.25	0.31	0.46	0.53	0.38	0.62	0.63	0.59	0.65	0.83	0.69	0.64
Er	1.67	1.21	0.65	0.84	1.22	1.46	1.05	1.83	1.85	1.78	1.9	1.86	2	1.38
Tm	0.24	0.13	0.1	0.13	0.18	0.22	0.18	0.26	0.25	0.23	0.28	0.29	0.28	0.22
Yb	1.45	0.9	0.56	0.57	1.06	1.22	0.96	1.78	1.69	1.52	1.48	1.67	1.62	1.34
Lu	0.19	0.12	0.08	0.08	0.14	0.18	0.15	0.32	0.26	0.24	0.23	0.26	0.25	0.21
	10	10	10	10	10	10	10	6	6	6	11	11	11	11

资料来源:1. 刘红杰等,2008;2. 秦江锋等,2005;3. 霍福臣,1994;4. 李森,2004;5. 毕明波等,2006;6. 张宏飞等,2005;7. 尚瑞均等,1988;8. 金维浚等,2005;9. 甘肃省地矿局研究队,1978①;10. 邱庆伦等,2008;11. 1:5万玛曲幅地质图说明书②

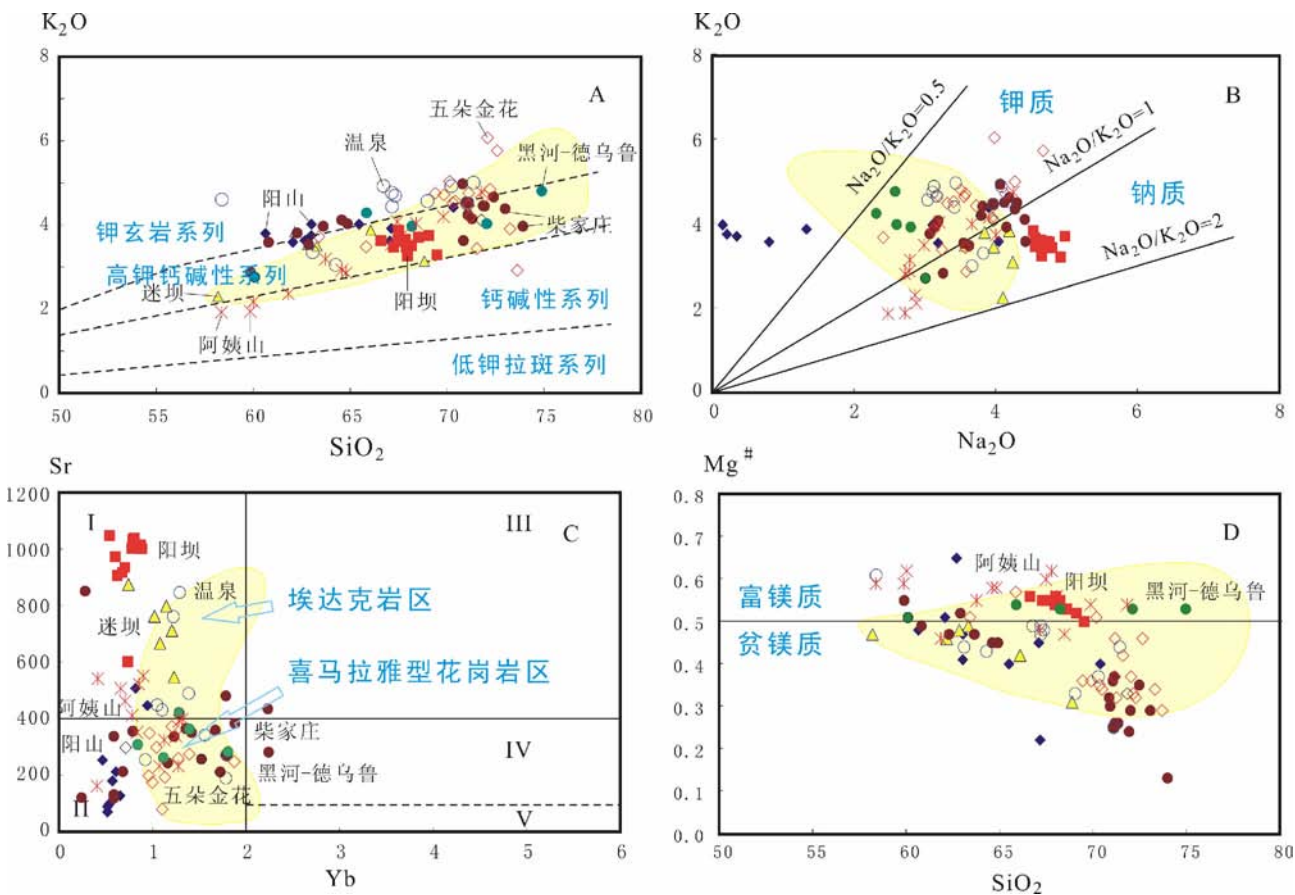


图3 西秦岭花岗岩的 SiO_2 - K_2O (A)、 Na_2O - K_2O (B)、 Sr - Yb (C) 和 SiO_2 - $\text{Mg}^\#$ (D) 图 (引自张旗等,2008)

图例:蓝色实心菱形-阳山地区;红色实心方块-阳坝地区;黄色实心三角-迷坝地区;橙色实心圆-柴家庄地区;红色空心菱形-五朵金花地区;蓝色空心圆-温泉地区;绿色实心圆-黑河-德乌鲁地区;红色星号-阿姨山地区。黄色区域-美国西部内华达州与卡林型金矿有关的中酸性岩浆岩分布范围 (Ressel and Henry, 2006)。图3C: I-埃达克岩;II-喜马拉雅型花岗岩;III-广西型花岗岩;IV-浙闽型花岗岩;V-南岭型花岗岩 (据张旗等,2008)

Fig. 3 SiO_2 - K_2O (A), Na_2O - K_2O (B), Sr - Yb (C) and SiO_2 - $\text{Mg}^\#$ (D) diagrams of granites in west Qinling (after Zhang *et al.*, 2008)

① 甘肃省地矿局研究队. 1978. 甘肃省西秦岭内生铜矿研究报告

② 甘肃省地矿局第一地质队. 1978. 1:5万玛曲幅地质图说明书

表2 西秦岭金矿富集区特征

Table 2 Characteristics of gold deposit concentration areas in the west Qinling

序号	矿集区名称	典型矿床	构造环境	地层时代	侵入岩	赋矿围岩	矿床成因	成矿时代	金异常
1	拉尔玛	拉尔玛(大)	白龙江复背斜褶皱推覆带	震旦系、寒武系、志留系	燕山早期花岗岩闪长岩, 闪长岩岩脉, 英安斑岩脉	下寒武统炭硅泥岩, 局部脉岩	层控-后期热液再造炭硅泥岩型	中、新生代	4
2	大水	大水(特大型), 忠曲(中), 忠格札拉, 恰若, 格尔托	玛沁-略阳逆冲断层之北	石炭系, 二叠系, 三叠系, 下侏罗统	花岗岩闪长岩, 花岗岩闪长斑岩, 中酸性岩脉	主要为三叠系碳酸盐, 其次为二叠系、侏罗系及岩体和脉岩	浅成-超浅成岩浆热液交代充填-沉积矿床(中低温岩浆期后热液型)	中生代	1
3	阳山-石鸡坝	阳山(特大型), 石鸡坝(大型)	西秦岭的勉略构造带西段北侧, 康县-文县-玛曲弧形构造, 秦岭南微板块、松潘褶皱带和碧口地体的交汇处	碧口群泥盆系、石炭系、二叠系、白垩系	斜长花岗岩斑岩、花岗岩斑岩、石英闪长玢岩等一系列岩脉和小岩株	泥盆系、三叠系, 岩脉和小岩株	微细粒浸染型	侏罗纪早期	5
4	坪定	坪定(中型), 九源、查布、刀扎、沙日、里多寺等矿点10余处	白龙江复背斜北翼(白龙江逆冲推覆构造)	志留系, 泥盆系, 石炭系, 二叠系, 三叠系	岩株状岩体和脉岩, 花岗岩、斜长花岗岩, 石英闪长岩	泥盆系、志留系岩体、脉岩, 石炭系	微细粒浸染型	印支期或燕山期	10
5	西成(西和-成县)	安家岔(中型), 小沟里(中型), 三洋坝(中型), 三华嘴, 大桥(大)	中秦岭印支-华里西褶皱带南亚带	泥盆系, 泥盆系, 侏罗系	花岗岩岩株, 花岗岩闪长斑岩, 花岗玢岩脉带	中泥盆统、岩脉群旁侧或脉群中	热液型	中生代	5
6	夏河-合作	枣子沟(大型), 桑曲(中型), 索拉贡玛(中型), 陆赤杰(中型), 小型金矿10余处	南秦岭印支褶皱带北带受边缘断裂控制	三叠系复理石建造	岩基、岩株、岩枝、岩脉, 主要为中酸性侵入岩	三叠系、岩体、岩脉边缘和内部	斑岩型, 岩浆期后热液型, 构造蚀变岩型, 微细浸染型	中生代	12
7	年木耳-布拉沟	年木耳-龙得岗(砷金)矿, 德乌鲁-布拉沟(多金属矿), 阿芒沙吉, 槐沟	中秦岭印支-华里西褶皱带西段	石炭系, 二叠系, 三叠系	印支期中酸性侵入岩发育, 多呈小岩株	二叠系、三叠系、岩体边缘、外接触带及岩体中	斑岩型, 岩浆期后热液型、夕卡岩型, 多与铜相伴(共)生	中生代	11
8	李坝	李坝(大型), 金山(中), 马泉(中), 崖湾(中), 赵家沟(中), 总计矿床(点)40余处。以五朵金花著称	中秦岭印支-华里西褶皱带, 礼县-白山-阴山断裂	中泥盆统, 石炭系, 二叠系	以印支期花岗岩、花岗岩闪长岩为主, 脉岩发育	岩体外围, 中泥盆统、石炭系泥岩-细碎屑岩中, 中酸性岩脉两侧或者脉岩密集地段	热晕型, 热液型, 地下热(卤)水, 熔滤型	印支期-燕山早期	8
9	太阳寺	湘潭子(大型), 柴家庄(中), 柳稽沟(中), 总计大中型4处, 小型及矿点35处	祁连-北秦岭加里东褶皱带与中秦岭华里西-印支褶皱带的并接部位	古元古界, 下古生界, 泥盆系	印支期中酸性岩体岩脉发育	岩体外围和多岩体包围脉岩集中地段的古元古界、下元古界中岩体内接触带	中低温热液, 石英脉型及构造蚀变岩型	印支末期-燕山早期	13

续表 2

Continued Table 2

序号	矿集区名称	典型矿床	构造环境	地层时代	侵入岩	赋矿围岩	矿床成因	成矿时带	金异常
10	碧口-阳坝	才马地,曹家口,口头坝等10余处小型独立金矿和铜伴生金矿床	碧口-阳坝褶皱带(龙门山断裂)	长城系碧口群	海西、印支、燕山期二长花岗岩、花岗闪长岩、花岗斑岩及脉岩	地层中,花岗岩接触带附近及花岗斑岩和脉岩中	火山沉积-热液再造型	印支末期-燕山早期	18
11	康县南	尚家沟金矿	康县南逆冲推覆构造带	中泥盆统		中泥盆统	构造蚀变岩型	中生代	3
12	徽县南	头滩子,西沟峡,广金坝,大坪,于关,赵家湾,金滩子等	南秦岭褶皱带	中上志留统,中上泥盆统,二叠系,三叠系	中酸性岩株、岩脉	主要赋存石炭系中,其次为泥盆系	中低温热液蚀变岩型	印支期	3
13	鹿儿坝-寨上	鹿儿坝(大),寨上(大),及中小型金矿	南秦岭印支褶皱带北带	三叠系复理石建造,二叠系	中酸性岩体和脉岩	三叠系	中低温热液	中生代	2

金异常据甘肃省 1:50 万金化探图①(内部资料)

钾钙碱性系列,黑河-德乌鲁富钾,属于高钾钙碱性系列,阿姨山介于其间。该图也展示了美国西部内华达州与卡林型金矿有关的中酸性岩浆岩(火山岩和侵入岩)的资料(黄色区域),它们均投入埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩范围,说明内华达卡林型金矿也是源于加厚地壳底部的(详见后述)。

3 西秦岭金矿主要特征

3.1 金矿分布

西秦岭金矿床星罗棋布(图2),据不完全统计,在西秦岭的甘肃境内已发现金矿床(点)279处,资源量估算1725.6t。特大型金矿2处(阳山和大水),大型金矿8处(寨上、鹿儿坝、李坝、石鸡坝、拉尔玛、枣子沟、湘潭子和大桥),累计金矿储量约700t。

本文依据金矿与岩浆岩分布相对集中的情况,将西秦岭划分为北部和南部两个成矿区和13个金矿聚集区(表2和图2)。两个成矿区大体以夏河-宕昌-两当-凤县(陕西)断裂为界:(1)北部成矿区岩浆岩出露广泛,金矿大多分布在岩体周围,与岩浆岩的关系密切。许多岩浆岩具有埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩的特征(殷勇和殷先明,2009),以Cu、Au、Mo为主,主要矿床类型为斑岩型、夕卡岩型和热液型,卡林型很少(有人将李坝地区的一些金矿归为卡林型)。如阿芒沙吉铜矿、阿芒沙吉金矿、龙得岗铜矿、尼克疆铜矿、兴时沟铜矿、铁沟铜铅锌矿、上浪卡木铜矿、温泉钼矿、红铜沟铜矿、铜牛山钼铜矿、太阳山铜钼矿等(殷勇和殷先明,2009)。该区金矿床密集区与埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩密集区分布大体一致。单个矿床空间分布与中生代岩体关系密切,

有的产于岩体中形成斑岩型矿床,如阿芒沙吉、早仁道等;有的在岩体外接触带形成夕卡岩型矿床;中低温热液矿床有的产在岩体边部(如石鸡坝金矿),部分在岩体中或内外接触带中。在中川岩体,热接触变质带中除大型李坝金矿外,还有10余个中小型金矿,热接触变质带宽2~5km。柴家庄金矿床多数产于几个岩体之间,柴家庄金矿紧邻岩体外接触带,花崖沟金矿距小岩株6km,小沟里矿床距岩体1~2km。大部分中低温热液矿床产在与岩体紧邻的外接触带(如柴家庄)和与岩体有一定距离的围岩中。(2)南部成矿区岩浆岩规模很小且零星出露,金矿大多为卡林型,如大水、阳山、拉尔玛、马脑壳等,虽然在大水和阳山已经发现了花岗岩。两个成矿区的区别可能与剥蚀程度不同有关,北部剥蚀深,花岗岩出露多;南部剥蚀浅,侵入岩出露少。北部矿床与岩浆岩在空间上关系更密切,从矿床类型上(斑岩型、夕卡岩型和热液型)也可看出成矿的温度较高;南部卡林型金矿温度相对较低,有的金矿区未发现岩浆岩出露。

西秦岭13个金矿富集区(表2)组成5个成矿带:

(1)勉略-玛沁古俯冲碰撞带自西向东分布有大水矿集区、石鸡坝-阳山矿集区和康县矿集区。大水矿集区位于该带的西段大水弧形构造的弧顶和西西翼,发育印支期花岗闪长岩及石英二长岩。该带东段的文县弧形控制石鸡坝-阳山金矿富集区的成矿作用发育花岗岩脉和花岗闪长岩脉,康县矿集区东紧邻勉略金矿富集区。

(2)迭部-武都逆冲推覆构造带(白龙江)分布有拉尔玛矿集区、坪定矿集区,向北东至徽县为头滩子金矿富集区,矿床与中酸性小岩体(脉)有关,矿体产在小岩体和脉岩中或其

① 甘肃省地矿局. 1989. 甘肃省 1:50 万金化探图

旁侧的断层、节理中。拉尔玛-邛崃矿集区处于白龙江复背斜西端近轴部的向西倾伏部位,坪定矿集区位于白龙江逆冲推覆带的后缘。

(3) 碌曲-成县逆冲推覆构造带发育三叠系地层,有印支期中酸性小岩体和岩脉侵入,该带自西向东分布有夏河-合作矿集区和鹿儿坝-寨上矿集区。

(4) 夏河-礼县逆冲推覆构造带有年木耳矿集区、李坝矿集区和西成矿集区。

(5) 武山-天水-商丹断裂构造带(原商丹古缝合带)分布有太阳寺矿集区。

从上面的简要叙述中可以看出,西秦岭地区岩浆岩与金矿有密切的关系。如特大型的阳山金矿产在中泥盆统千枚岩的构造破碎带内,尤其是在碎裂岩化花岗岩脉附近常发育金矿化,局部形成金矿体(齐金忠等,2008)。一些早先认为的“砂岩”地层被确认为花岗斑岩脉,部分花岗斑岩脉本身矿化发育而成为矿体。事实上,阳山金矿带的地质找矿和勘查突破首先来自于花岗斑岩含金观点的提出(郭俊华等,2002)。对大水特大型金矿床中酸性脉岩与金矿化的关系,闫升好(1998)有详细的研究,他认为脉岩密集发育的地段也是矿脉群集中之处,矿脉群之间的无矿地段脉岩也不发育;从矿体的空间产出位置看,金矿主要产于岩脉与地层的接触

带或其附近的围岩地层中,矿脉与岩脉产状协调一致;脉岩规模大,岩性组合复杂者对应的金矿化较强;所有与矿体密切伴生的脉岩都普遍遭受了强烈的蚀变。看来,在西秦岭岩脉是一种重要的控矿构造,同时又是重要的找矿标志。

3.2 成矿时代

早先发表的西秦岭成矿年龄大多是 Ar-Ar 和 Rb-Sr 法等时线年龄,大多分布在 220 ~ 100Ma,认为是印支晚期-燕山期成矿(张复新等,2001;陈衍景等,2004)。最近的研究发现,西秦岭金矿大多是印支期的,如杨荣生等(2006)对阳山金矿进行的同位素定年得出的花岗斑岩脉中独居石的 U-Th-Pb 年龄为 $220 \pm 3\text{Ma}$,黄铁矿年龄为 $190 \pm 3\text{Ma}$ 。陕西双王金矿含金黄铁矿 Ar/Ar 年龄为 183Ma 和 168Ma,金龙山-丘岭金矿 Ar/Ar 年龄为 232Ma(张复新等,2000)。本文收集了 15 个矿床成矿年龄资料(表 3),发现西秦岭金矿虽然可产在不同时代、不同建造的地层中(从前古生界、寒武系、奥陶系、志留系、泥盆系、石炭系、三叠系、侏罗系),建造类型有硅灰泥岩型、碎屑岩-碳酸盐岩和碳酸盐岩型,但是,成矿时代与围岩地层时代和建造无关,多为中生代,而与岩体(岩脉)时代一致,有的金矿虽无年龄测试资料,但在岩体和脉岩中具有矿化和矿体,推测可能与岩体时代一致或稍晚。

表 3 西秦岭主要金矿成矿母岩成岩年龄和成矿年龄

Table 3 Mineralization and petrogenic ages of gold deposits in the west Qinling

序号	矿床名称	赋矿地层时代	矿床类型	岩体成岩年龄(Ma)	成矿年龄(Ma)	资料来源
1	拉尔玛	下寒武统太阳顶群	微细粒浸染型(层控-后期热液再造炭硅质泥岩型)	英安斑岩、闪长玢岩 172; 金矿化脉岩英安玢岩 130 ~ 127(K-Ar)	金矿石全岩 U-Th-Pb 法 56.8 ~ 117.5; 含金石英 Ar-Ar 法 47.3 ~ 49.5	(1)
2	邛莫				227;169	(8)
3	大水	下中三叠统	中低温热液	花岗闪长斑岩(中心相) 174.31(Rb-Sr), 90.69(K-Ar)	蚀变硅化赤铁矿,182	(3)
				黑云母闪长玢岩(边缘相) 190.00(K-Ar)	碧玉岩矿石中的流体包裹体(Rb-Sr)141 ~ 181.80	
4	阳山	泥盆系三河口群	微细粒浸染型	斜长花岗斑岩脉,171 ~ 209(平均 189.4 ± 7.0)(K-Ar)	微细粒浸染型矿石中细脉状石英(Ar-Ar)? 年龄 195.4 ± 1.0	(4)
					微细浸染型矿石内石英,细脉中微细粒锆石 U-Pb 法: 197.6 ± 2.2 , 126.9 ± 3.2 , 51.2 ± 1.3	
5	尚家沟	中泥盆统			Ar-Ar 坪年龄 161.59 ± 0.56 , 等时线年龄 160.00 ± 0.85	(5)
6	坪定	中泥盆统	中低温微细粒浸染型	中酸性脉岩 214.1(K-Ar)	雌黄和雄黄 U-Pb 法: $337.5 \sim 234.3$	(1)
7	九源	中泥盆统	中低温微细粒浸染型	中酸性脉岩 200.7(K-Ar)		(1)
8	阿芒沙吉	矿(化)体产于岩体中	斑岩型	花岗斑岩 151.3;花岗闪长斑岩 156 ~ 160.3		(2)

续表 3

Continued Table 3

序号	矿床名称	赋矿地层时代	矿床类型	岩体成岩年龄 (Ma)	成矿年龄 (Ma)	资料来源
9	李坝	中泥盆统	热液型	岩体年龄 (K-Ar) 181.5, 196, 219	铅同位素年龄 171.6 ~ 173.4	(1)
10	金山	中泥盆统	热液型	岩体年龄 (K-Ar) 181.5, 196, 219	铅同位素年龄, 模式年龄 159 ~ 194	(1)
11	小 198 ~ 沟里	泥盆系	热液型		Ar-Ar 坪年龄 197.45 ± 1.13, 等时线年龄 193.24 ± 0.93 含金石英脉模式年龄 199	(5)
12	柴家庄	下古生界李子园群	中低温热液石英脉	K-Ar 法测定黑云母 198 ~ 206		(1)
13	八卦庙	中泥盆统	热液型, 热液沉积—韧性剪切改造型		Ar-Ar 坪年龄 131.91 ± 0.89, 129.45 ± 0.35	(5)
14	马泉				金矿石金包裹体 (Rb-Sr) 等时线 153 ± 2.0	(6)
15	寨上	二叠系	微细粒浸染型		⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar 125.28 ± 1.26 ~ 130.62 ± 1.38	(7)

资料来源: (1) 殷先明 (2004); (2) 甘肃地质局研究队 (1978); (3) 闫升好 (1998); (4) 齐金忠等 (2008); (5) 邵世才和汪东坡 (2001); (6) 陈健等 (2009); (7) 彭素霞和赵文川 (2007); (8) 毛景文等 (2005)

4 讨论

4.1 为什么埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩有利于金铜成矿?

许多研究表明, 埃达克岩与斑岩型和浅成低温热液型铜金矿床有密切的联系, 然而, 目前有关埃达克岩为什么有利于成矿以及埃达克岩的成矿机理还知之甚少, 有关的研究还刚刚起步。

通常认为, 斑岩是斑岩型和浅成低温热液型铜金矿床成矿物质 (Cu、Au)、流体 (H₂O 及成矿元素配位体 Cl、S 等) 和能量 (热) 的主要来源 (Hendenquist, 1994; Gammons, 1997)。熊小林等 (2001, 2004) 讨论了浅成-次火山斑岩的初始岩浆 Cu、Au 丰度, H₂O 和 Cl 含量及岩浆产生和结晶时的氧逸度是制约富 Cu、Au 流体形成的关键因素, 认为埃达克岩 (尤其是与板块俯冲有关的) 具有独特物源区组成、形成条件和成岩过程, 成岩成矿过程中的氧逸度高, 造就了富含矿质和挥发份的埃达克质岩浆。

4.1.1 洋壳: 埃达克岩的源区

世界斑岩铜矿绝大多数产于板块俯冲带 (芮宗瑶等 2004, 刘红涛等, 2004)。在俯冲带, 成矿斑岩绝大部分是埃达克岩, 它们是玄武质洋壳熔融的产物 (Defant *et al.*, 2002)。因此, 玄武质洋壳的 Cu、Au 丰度必然是决定埃达克岩成矿潜力或规模的关键因素之一。众所周知, Cu 和 Au 是亲硫元素, 主要赋存于地幔和铁镁质岩石中, 如 Cu 在平均

N-MORB 中含量高达 74.4×10^{-6} , 超过其他各类岩石, 甚至高于原始地幔 (28×10^{-6})。除了高的 Cu、Au 丰度, 玄武质洋壳可能也是挥发份 H₂O 和 Cl 富集的载体。我们知道, 海水是富 Cl 的, 洋壳中的玄武岩在俯冲进入地幔楔之前, 通常会发生海水蚀变作用, 来自海水中的 H₂O 和 Cl 将占据洋壳中含水蚀变矿物 (绿泥石、黝帘石等) 的羟基位置而随俯冲板片一起进入地幔楔, 随着俯冲深度增加, 玄武质洋壳将从绿片岩相转变为角闪岩相, 部分羟基和 Cl 保留到角闪石中。在随后的角闪岩相向榴辉岩相转变过程中, 角闪石的分解和洋壳的熔融, 将导致挥发份 H₂O 和 Cl 以及成矿元素进入埃达克质岩浆。

4.1.2 角闪石分解的意义

在俯冲带, 板片熔融形成埃达克质岩浆发生在大约 40 ~ 50 km 深度, 恰好位于角闪岩相向榴辉岩相转变的压力范围, 角闪石的分解释放出大量的 H₂O 将大大降低 MORB 的固相线温度, 导致洋壳熔融产生富含成矿元素和挥发份的埃达克质岩浆。Kay and Mpodozis (2001) 在研究中安第斯新生代火成岩的地球化学与大规模 Cu、Au 矿化的耦合关系时发现, 岩浆的中、重稀土比值 Sm/Yb 的明显变化具有源区变迁乃至成矿指示意义。该区从成矿前、成矿期到成矿后, 岩浆的 Sm/Yb 比值依次逐渐增大, 反映了岩浆源区性质的变化和源区压力的逐渐增高; 成矿前以钙碱性弧岩浆活动为特征, 具有正常的消减带地幔楔衍生岩浆的地球化学特点 (Sm/Yb = 1 ~ 3); 成矿期有大规模埃达克质岩浆活动, 指示源区残留固相从角闪石向石榴石转变 (Sm/Yb = 3 ~ 5); 成矿后为岩浆活动的结束, 以发育少量埃达克质岩浆为特点, 重稀土更为亏

损($Sm/Yb = 5.5 \sim 9.5$), 反映其残留固相以富含石榴石为特征。Kay and Mpodozis (2001) 指出, 并非所有具埃达克岩特点的岩浆都会发生矿化, 正如中安第斯地区所表现的那样, 大规模矿化开始之前这里也有一些埃达克岩浆侵位(可能指示角闪石刚开始小规模分解), 但没有明显矿化的记录; 而该区最后阶段的埃达克岩浆(Sm/Yb 比值 > 5.5 指示以石榴石为主导的“干的”残留固相组合)也无明显的矿化。大规模矿化作用与强烈的埃达克岩浆活动耦合, 二者仅仅发生在部分熔融过程中角闪石向残留石榴石大规模转变的阶段。因为这个时期会有大量的源区角闪石分解, 使生成的岩浆富含成矿所需要的大量水流体和挥发份, 产生的埃达克岩浆成为潜在的富挥发份成矿母岩浆。

4.1.3 高氧逸度条件

Cu 是亲硫元素, 在火成岩中主要形成含铜硫化物, 也有部分赋存于铁镁矿物之中。Au 为亲硫和亲铁元素, 在火成岩中主要分布于硫化物内, 铁钛氧化物和铁镁矿物次之(Boyle, 1979; Bornhorst, 1986)。因此, 是否形成 Cu 和 Au 富集的岩浆, 部分熔融和埃达克岩浆穿过地幔和地壳到达浅部的整个过程中硫化物是否饱和或稳定起了决定性的作用。硫化物饱和与否的关键控制因素是氧逸度(f_{O_2}), 高 f_{O_2} 是岩浆不产生硫化物过饱和的决定因素。在高 f_{O_2} 条件下, 硫化物是不稳定的, 硫将以 SO_4^{2-} 和 SO_2 的形式溶解在硅酸盐熔体中, 在这种条件下, 亲硫元素 Cu 和 Au 在部分熔融和岩浆结晶过程中的行为类似于不相容元素, 在熔体相中富集。因此, 要形成 Cu、Au 高度富集的岩浆, 部分熔融和岩浆运移过程中保持高 f_{O_2} (抑制硫化物饱和) 是关键。

埃达克岩浆由洋壳部分熔融产生, 并经历了与地幔楔橄榄岩的相互作用。最近的研究表明, 埃达克岩浆以高氧逸度为特征(Oyarzun *et al.*, 2001)。Mungall (2002) 和王强等(2003, 2004) 强调斑岩铜矿成矿与板片熔体的高氧逸度有关, 他们认为板片熔体可能携带了大量的 Fe_2O_3 , 而富 Fe_2O_3 的熔体进入地幔楔将导致地幔通道中氧逸度增高, 使地幔中的金属硫化物被氧化, 从而有利于地幔中的亲硫元素 Cu、Au 等进入熔体(Mungall, 2002; 王强等, 2003, 2004; 候增谦等, 2003)。

4.1.4 挥发份的出溶

挥发分 Cl 在高温高压下是 Cu、Au 等金属元素的强烈配合剂, 它们将与 Cu 和 Au 形成稳定配合物随岩浆一起迁移。高氧逸度的、富 Cu、Au 以及挥发组份 H_2O 、Cl、S 等的埃达克岩浆快速上升到地壳浅部时, 压力的急剧降低将引起大规模 H_2O 流体的出溶或产生去气作用, Cu 和 Au 的挥发分配合物将强烈分配进入流体相形成含矿流体。流体/熔体分配实验表明, Cu 强烈分配进入含 Cl 流体相(Candela, 1984; Willians and Candela, 1995)。Au 的高温($500^\circ C$ 以上)溶解度实验表明, Au 强烈浓集于高 Cl 含量的流体相中(Benning, 1996; Gammons, 1997), 显示 Au 可能具有与 Cu 相似的含 Cl 流体/熔体分配特点。

4.1.5 成矿源区深度

国内外的研究表明, 埃达克岩与金铜成矿作用有明显的关系, 这是埃达克岩一个极具经济价值之处。埃达克岩不同于其他花岗岩的最大特征是其形成的深度大、温度高、氧逸度高和黏性低。而金铜可能只有在高氧逸度和很大的压力下才能被流体萃取出来。喜马拉雅型花岗岩大多与金有关, 铜较少, 暗示铜比金萃取的条件更苛刻。因此, 金铜与埃达克岩有关, 喜马拉雅型花岗岩与金有关, 钨锡主要与南岭型花岗岩有关, 在某些情况下也与浙闽型花岗岩有关, 说明钨锡在较低的压力下被萃取(张旗等, 2009)。南岭型花岗岩不同于埃达克岩的最大特点是源区深度浅、水含量低和氧逸度低(汪洋, 2009)。下地壳底部可能是最佳的岩浆熔融区和矿液汇聚区, 近下地壳底部的陆壳既可以作为岩浆的源区, 也可能是钨锡金铜的源区(除此之外, 底侵的玄武岩也是重要的岩浆源区和金铜源区)。在低压下($< 1.0 GPa$ 或更低)和低氧逸度下, 钨锡被激活, 溶解于流体中汇聚成矿液, 而金铜可能由于压力不足而被“锁住”, 未被激活。因此, 钨锡与南岭型(部分与浙闽型)花岗岩伴生。压力增加($> 1.0 GPa$), 氧逸度增加, 金被激活, 钨锡被锁住, 铜可能还未达到激活的条件, 因此, 与喜马拉雅型花岗岩伴生的主要是金(张旗等, 2008, 2009)。

通常认为金和铜来自地幔, 这种解释适合于形成在板块消减带的金铜矿床, 而很难解释由下地壳深熔作用形成的花岗岩及其矿床。因为, 下地壳熔融的埃达克岩与地幔很少有关联。中国大多数金铜矿床与 C 型埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩的密切关系说明, 金和铜应当主要源于玄武岩而非地幔, 金铜在玄武岩中的平均含量高于地幔岩也说明了这一点。例如, 安第斯埃达克岩与斑岩铜矿有密切的关系, 安第斯埃达克岩与中国东部埃达克岩有某些类似的特点, 岩石均富 K, 如秘鲁的 Cordellier Balanca 岩基和中安第斯火山岩带(Andean Central Volcanic Zone, CVZ)都属于高钾钙碱性系列(Atherton and Petford, 1993; Feeley and Hacker, 1995), CVZ 弧下陆壳厚达 70km。Kay and Kay(2002) 认为安第斯埃达克岩的成因主要与玄武岩岩浆底侵导致的地壳加厚作用有关。安第斯中部和北部的埃达克岩源于加厚的下地壳底部的部分熔融, 众多特大型斑岩铜矿的铜也很难用地幔的来源来解释。金铜来自玄武岩的认识也不排斥金铜幔源说, 因为, 通过玄武岩岩浆的底侵作用可以将大量金铜从地幔带到下地壳底部。

4.2 卡林型金矿与岩浆岩是否有关?

对于西秦岭金矿的成因存在不同的认识: 毛景文(2001) 把秦岭区金矿分为造山型和卡林型; 马建秦等(1999) 将其划归造山和造山期后两类, 都是构造-热液作用下改造富集成矿。目前, 学术界大多认为西秦岭金矿是卡林型或类卡林型的(张复新等, 2004; 陈衍景等, 2004)。

自美国内华达州盆岭省发现卡林金矿床以来, 对卡林型

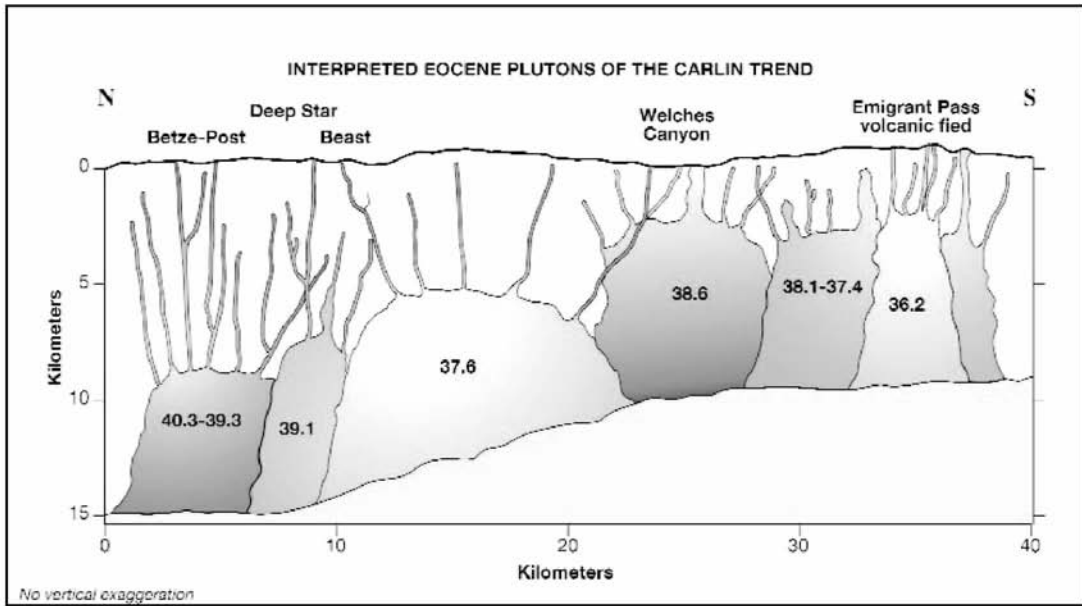


图4 美国内华达州卡林矿带北-中部剖面示意图

地质和航磁异常表明,北部始新世侵入体埋藏比南部更深,卡林矿区内的岩墙源于深部的侵入体(据 Ressel and Henry, 2006; Fig. 13)

Fig. 4 Schematic cross section of interpreted Eocene plutons beneath the northern and central Carlin trend (after Ressel and Henry, 2006; Fig. 13)

金矿的研究已有 40 多年了。但它能否成为一种独立的金矿类型,如何界定其含义,与岩浆岩是否有关,仍然存在激烈的争论(Kerrich *et al.*, 2000; Hofstra and Cline, 2000; 陈衍景等, 2004; 周余国等, 2008)。卡林型金矿多多少少含有热液和岩浆的信息,反映在部分学者的下述说法中:如认为卡林型金矿属于“浸染状的交代作用形成的热液金矿床”(Radtke and Scheiner, 1970),“远源夕卡岩型矿床”(Boyle, 1979),“浅成低温热液矿床”(Bagby and Berger, 1985),“含碳酸盐地层的沉积岩系中的浸染状交代型后生金矿床”(Bache, 1987)以及“产于含碳酸盐地层的沉积岩系的中低温浅成断控系列的微细粒浸染状金矿床”(陈衍景等, 1992)等等(以上引自陈衍景等, 2004)。Kerrich *et al.* (2000) 使用“类卡林型”一词涵盖包括卡林金矿在内的类似矿床,认为秦岭地区的大水、拉尔玛、东北寨、煎茶岭等矿床属于类卡林型矿床。Kerrich *et al.* (2000) 还将卡林和类卡林型列为最重要的岩金矿床类型之一,中国的陕甘川和滇黔桂被作为代表性成矿省。总体上,卡林型金矿成因不外乎两种观点:(1) 沉积-改造成因;(2) 岩浆热液成因。在美国也存在截然不同的两种观点:多数学者认为卡林型金矿与岩浆作用有关(Henry and Boden, 1998; Hofstra and Cline, 2000; Cline *et al.*, 2005; Ressel and Henry, 2006);少数认为卡林型金矿是一种非岩浆型(amagmatism)金矿(Ilchik and Barton, 1996)。

实际上,美国的许多卡林-类卡林型金矿区除常见脉岩外,还有侵入岩和火山岩的发育。美国的卡林型金矿是始新世的(42~36Ma),与始新世的火山岩和浅成侵入岩关系密切。非常有意思的是,这些侵入岩和火山岩大多具有埃达克

岩的地球化学特征,少数是喜马拉雅型的(图 2, $Sr = 55 \times 10^{-6} \sim 892 \times 10^{-6}$, $Yb = 0.9 \times 10^{-6} \sim 2.2 \times 10^{-6}$, 据 Ressel and Henry, 2006)。有些矿区无浅成侵入体出现,推测深部有隐伏岩体,如图 4 所示(Ressel and Henry, 2006)。卡林型金矿与岩浆岩有关的一个最简单的理由是,岩浆可以提供中低温金矿(160~300℃)的热源。

我们认为西秦岭金矿可能与埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩有关,理由是:

(1) 该区绝大多数金矿与埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩在时空分布上具有相关性,如图 2 所示,许多金矿的围岩是埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩(张旗等, 2008)。该区最大的阳山特大型金矿被认为是类卡林型的,矿区有花岗岩脉,花岗岩具喜马拉雅型花岗岩的特征(表 1),金矿和岩体密切相伴,时代相近。事实上,阳山金矿带的地质找矿和勘查突破首先来自于“花岗岩斑岩含金”观点的提出(郭俊华等, 2002)。张复新等(2007)也认为阳山矿床受地层、浅成花岗岩斑岩、韧性剪切构造及热液活动等多种因素的叠加与改造控制。大水金矿显示许多卡林型的特征,部分金矿的围岩就是花岗岩(赵彦庆等, 2003),而花岗岩为埃达克岩(表 1)。李坝岩体周边金矿密集分布说明金矿与花岗岩有成因联系。陕西双王金矿距西坝岩体(埃达克岩)约 1km,西坝埃达克岩的时代在 222~201Ma(张成立等, 2002; 张宗清等, 2007),二者可能有成因联系。陕西八卦庙金矿储量超过 100 t,冯建忠等(2003)研究认为八卦庙金矿成矿温度为中高温(170~379℃),氢氧同位素揭示成矿流体具有岩浆热液成矿的特点,两期含石英脉的 Ar/Ar 年龄分别为 132Ma 和 232Ma。

(2)金矿床稳定同位素资料(限于篇幅,文中未附)表明,成矿物质来源主要为深部岩浆或岩浆水,如大水、阳山、柴家庄、年木耳、坪定、八卦庙金矿等(甘肃地矿局研究队,1972;闫升好,1998;吴烈善和韦龙明,1999;冯建忠等,2003;赵彦庆,2004;齐金忠,2008)。有些人往往以某些矿区没有发现侵入岩,矿脉含大气水多、沉积物组成丰富、气液包裹体温度低,就认为矿床是沉积型的,甚至认为矿源来源于围岩,与岩浆岩无关。就西秦岭金矿来说,与围岩和裂隙有密切的关系,但是,不能据此认为它与侵入岩无关。金主要源于地幔和玄武岩,而不是沉积岩;金矿的热源必定与岩浆岩有关。我们知道,成岩主要是一个物理过程,而成矿主要是一个化学过程。如果我们测定矿床主要显示碱性的特征,有可能矿液原先是酸性的;如果矿床具有低氧逸度的特点,也许矿液早先可能是高氧逸度的。成矿在很多情况下是因为温度、压力、酸碱度、氧逸度等等发生剧烈变化的情况下发生的。因此,对于我们现在测定的数据,不能简单地直接进行推断,有时应当反其道而行之。这时,我们更应当关注那些微弱的、矛盾的、可能被掩盖了的信息,如少量的岩浆水、少量的幔源物质等,而可能正是这些微弱的信息提供了源区来源的资料。

(3)如何理解金矿与埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩有关?我们这里说的矿床(例如卡林型金矿)与埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩有关,主要是从它们的时空关系得出来的,强调二者形成于共同或相关的构造物理化学背景,是强调金矿与埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩可能是在大体类似的温度-压力条件下孕育的。换句话说,埃达克岩或喜马拉雅型花岗岩与金矿不是母子关系(金不是源于花岗岩),而可能是兄弟关系(如果花岗岩是从玄武岩部分熔融形成的,金是从玄武岩中萃取出来的)或邻居关系(花岗岩和金同处下地壳底部,但花岗岩源于下地壳底部的榴辉岩或麻粒岩,金源于底侵的玄武岩)。在较高的压力下,下地壳底部物质部分熔融可以形成埃达克岩(压力 $>1.5\text{GPa}$)或喜马拉雅型花岗岩(压力 $>1.0\text{GPa}$)。在这样的压力和高氧逸度条件下,如果流体富集,金可以从地幔和玄武岩中被萃取出来。此外,流体的加入对形成岩浆有利(降低岩浆熔融温度,形成更多的岩浆),对于成矿更是必不可少的。熔出的岩浆或流体由于密度低、具塑性,将向压力低的方向流动。岩浆从塑性的、流动的状态固结为侵入体是一个物理过程,主要与温度有关。因此,岩浆岩可以形成在地壳的任何部位,而且,不论花岗岩是呈大的岩基定位在地壳中部,或呈岩基、岩株或岩脉定位在地壳上部,或呈喷出岩覆盖在地表,其化学成分基本上保持不变。而矿液沉淀主要是一个低温(与侵入岩固结的温度比较而言)化学过程,这个过程主要发生在地壳浅部,地壳深部(由于温度较高)发生的可能性很小。也就是说,在浅部沉淀形成的矿床与下地壳底部的含矿熔体是完全不同成分的。因此,尽管成岩和成矿在深部可能是同时和同地的,它们上升也可能共用一个通道,但是,它们最终定位却受完全不同的因素制约,它们可以在一起(如斑岩型矿床,岩体即矿体),

也可以不在一起(如卡林型金矿)。所以,矿床与岩体不在一起并不表明它们原先是无关系的,而没有成因联系的矿床与岩体也可能产在一起。过去认为成矿应当与成岩同时或略晚,成矿早于岩体的即与岩体无关,这是受成矿与成岩成因有关的思想的束缚形成的。金矿最终可以定位在裂隙内、沉积岩层中,可以远离侵入体,但是,如果矿床中保存了深部来源的信息,它依然可能是与岩浆岩有关的。就金的地球化学属性而言,它主要源于地幔和玄武岩,因此,金主要是深源的,金的萃取需要高氧逸度条件,而压力升高有利于形成高氧逸度条件。因此,卡林型金矿不论与岩浆岩距离远近,它们总是与岩浆岩有关的,是从金的来源说起的。而这个岩浆岩应当是埃达克岩或喜马拉雅型花岗岩,因为,埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩与金一样,需要高温、高压和高氧逸度条件。

(4)秦岭金矿类型之争,其实是一个概念问题。我们认为:(1)卡林型不是完全与花岗岩无关的,美国的许多卡林型金矿有花岗岩产出即是一例,西秦岭的不少卡林型金矿也发现与花岗岩有时空联系;(2)卡林型主要讲的是金矿最终产出的位置特征,而我们说它与花岗岩有关是从金的来源说的;金矿与花岗岩有关,但是,仍然可以用卡林型金矿的标志来找矿;(3)卡林型金矿产于沉积岩中,但是,金是深源的,源于加厚的下地壳,不是来源于围岩。

5 找矿工作建议

5.1 加强花岗岩与金铜成矿关系的研究,实现找矿新突破

西秦岭埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩广泛发育,说明两个问题:(1)该区在三叠纪时期地壳厚度大,可能属于扬子与华北对接的碰撞造山带;(2)岩浆活动频繁说明碰撞时地幔处于高度活动状态。地幔活动有利于成矿,而地壳加厚有利于形成金铜等矿床。

埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩是金铜找矿的前提。首先,最简便的方法是围绕埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩找矿。例如,在岩体内部可以找斑岩型矿床,在接触带找夕卡岩型矿床、蚀变岩型矿床,在远离接触带的地方可能有卡林型-类卡林型矿床等。其次,将找矿范围扩大至由同时期的埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩圈定的山脉的全部范围。因为,在这个范围内出现的金铜矿床,如果时代与埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩大体相当,可能都来源于加厚的下地壳底部(张旗等,2008)。

西秦岭金铜找矿南带和北带有所不同:

(1)在西秦岭北带,A)重点围绕花岗岩体找矿,在礼县的李坝、锁龙、金山一带,天水之南的柴家庄、李子园、西安河、花崖沟一带以及西部的夏河-合作地区,花岗岩出露多,金矿大多围绕岩体分布,在该区重点寻找与斑岩型、夕卡岩型以及热液型有关的金铜矿。B)在围绕岩体找矿的基础上,扩大找矿范围,向岩体外围延伸 $1\sim 2\text{km}$ 、 $5\sim 10\text{km}$,尝试有否找到卡林型金矿的可能。在陕西西部,双王金矿距西坝埃达

克岩约 1km,八卦庙特大型金矿距西坝岩体约 8~10km。从岩体向外,随着成矿温度的逐渐降低,矿床类型由斑岩型-夕卡岩型-热液型-沉积型可能是有规律可循的。C)此外,也应注意北带中部花岗岩出露较少地区(图2)的找矿,由于该区推覆构造发育,部分岩体可能被掩盖而没有出露,应当仔细分析物探异常显示的可能的岩浆岩的信息以及化探异常显示的可能的金铜矿化的信息,进行钻探验证,如果能够突破一点,将可能在面上开花,成倍增加金铜矿的储量。

(2)在西秦岭南带,岩浆岩出露少而小,找矿工作不宜局限于花岗岩分布区,而应当在全部南带范围内开展进一步找矿。南带深部可能有岩体,浅部主要发育温度较低的远离接触带的金矿床,找铜的希望不大。应当充分利用物化探资料,发现有矿的异常即进行钻探验证。

5.2 找矿思路上的革新

(1)重视金的化探研究。金地球化学异常是找金的重要标志,因此,开展不同方法和比例尺的化探工作是找金的重要手段。甘肃秦岭地区根据 1:20 万化探扫面编制了金化探异常图,进行了 1:50 万化探编图,发现金矿异常 99 处,其中 77 处与该区 12 个矿集区相一致。找矿实践证明,由 1:20 万~1:5 万~1:1 万化探逐步缩小靶区是找金的有效方法。

(2)加强脉岩与矿化关系的研究。经验证明,该区中酸性岩脉是找金的重要标志,从目前发现和勘查的金矿床(点)看,几乎无一例外的都发育中酸性脉岩,且均具蚀变矿化。如大水、阳山、李坝、拉尔玛、石坝坝和坪定金矿等,有的脉岩即矿体,许多矿体都在脉岩密集地段或脉岩宽大部分或脉岩旁侧。

(3)用遥感方法寻找隐伏矿体。阳山地区发育斜长花岗岩斑岩脉群,推测有可能为隐伏岩体的影响(李志宏等,2007)。据西秦岭物化探遥感编图资料,夏河-合作、坪定、李坝、康县等矿集区和成县-头滩矿集区已发现的矿不多,规模小,但可能有隐伏矿体,且处于 NE 向与 EW 向构造的交汇处,是找金的有望地区。

(4)重点地区开展 1:5 万矿产远景调查。以物化探异常、岩体(脉岩)、构造和蚀变研究相结合,选择靶区和矿产地,进行钻探验证。在夏河-合作矿集区采用这种程序和方法已经取得了明显的效果,发现了枣子沟 4 处大中型金矿和 10 余处小型矿床。

(5)该区研究和勘查程度很低,大部分矿床仅进行了预查,少数矿床进行了普查,钻探深度多数在 200m 左右,少数钻孔达 300~500m,远远达不到我国现在金属矿山的探采深度。应选择有前景的金矿床和金矿富集区进行中深部的找矿工作。

6 小结

(1)西秦岭有可能发展成为我国最大的金矿聚集地。为

什么?因为:(A)西秦岭有许多印支期的花岗岩,目前虽然只有少数被确认为埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩,但是,相信在该区还可能发现更多印支期的埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩;(B)西秦岭金矿多,分布广,现有金矿储量已超过 1000 t;(C)西秦岭许多金矿与埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩具有时空分布上的联系,从时间上它们都是印支期的;从空间上有些金矿与花岗岩相伴,有些与花岗岩相距甚远。上述情况表明该区金矿具有极大的潜力。

(2)西秦岭许多金矿被认为是卡林型的,如何认识卡林型金矿?研究表明,美国内华达州的卡林型金矿与花岗岩有关,西秦岭卡林型金矿同样与花岗岩有关。内华达和西秦岭与卡林型金矿有关的花岗岩,要么是埃达克岩,要么是喜马拉雅型花岗岩。卡林型金矿与花岗岩的这种关系说明:金是深部来源的,不是从金矿产出地的围岩汲取的。卡林型金矿的金和花岗岩均源于加厚的下地壳底部,与地幔的活动有关。

(3)如何理解金矿与花岗岩的关系?我们认为,金与花岗岩有关,不是指二者成因有关,而是指它们源于同样的地质背景:(A)埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩来源于加厚下地壳的底部;金也源于加厚下地壳的底部。(B)埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩是下地壳变质岩(各种成分的麻粒岩和榴辉岩)部分熔融形成的,地幔只是提供了花岗岩得以熔融的热,在少数情况下,底侵的玄武质岩石也可以作为埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩的源岩。(C)金来源于地幔或玄武质岩浆,而非下地壳,更非金矿产出地的围岩。地幔带来的热和流体是金得以被萃取的先决条件。因此,金与花岗岩有关,并非指成因上有关,金不是源于花岗岩,只是与花岗岩一样源于下地壳的底部,仅此而已。

(4)西秦岭范围大,在哪里找矿?西秦岭埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩的时空分布圈定了印支期西秦岭-东昆仑山脉的范围(张旗等,2008,2009),该山脉具有加厚的下地壳,因此,该山脉的范围即为金铜找矿的范围。(A)在夏河-宕昌-两当-凤县(陕西)断裂以北,花岗岩出露广泛,矿床以 Cu、Au、Mo 为主,主要矿床类型为斑岩型、夕卡岩型和热液型,卡林型很少。找矿着重在花岗岩内部及边部,重点找金铜,远离花岗岩注意找金。(B)在夏河-宕昌-两当-凤县断裂以南,花岗岩规模小且零星出露,以金矿为主,大多属于卡林型。重点找金,不论是否有花岗岩存在。

(5)如何快速和有效的找矿?我们建议:全面检查印支期的西秦岭山脉(不是现今地理上的西秦岭)内的各种物化探异常,择其与矿有关者钻探检验之。从理论上说,如果确认该异常与矿有关,即可考虑开展钻探检验,而不论异常离花岗岩远近,不论附近有无花岗岩,不论构造和地层是否有利。当然,实际找矿时还应当多多斟酌:例如,现有 100 个异常,其中可能一半异常与矿有关,1/4 位于已知矿床附近,1/10 成矿条件良好(包括岩浆、蚀变、矿化、构造、地层等),1/20 具备钻探验证条件,验证工作从 1/20 的异常开始,待取

得经验后再逐步铺开应当是很正常的。

(6) 鉴于上述理由,我们认为,西秦岭是中国金矿最具潜力的地区,有利于特大型金铜矿的产出,预计金矿储量会有大的突破,可超越胶东,发展为中国最大的金矿聚集区。为此,我们建议在该区开展金矿的进一步工作,目的是:(A)开展花岗岩与金铜成矿理论的研究,带动岩石学、地球化学、矿床学的研究;(B)开展新一轮地质和物化探研究,在找矿思路、找矿方法和找矿手段上开拓新的路子;(C)在短期内使该区金矿储量有一个大的突破。

一部矿床学的研究史告诉我们,一个新的成矿理论或找矿思路的提出,往往会引发出新的找矿突破。我们研究西秦岭埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩,探索花岗岩与压力的关系、压力与成矿的关系以及花岗岩与成矿的关系,希望我们的探索能够有助于提高找矿的水平。我们相信,从一个新的思路出发总结出来的东西可能会有启发的,虽然它还不完善,但是,只要不断探索,反复实践,我们会迎来矿床学巨大进步的一天的。

致谢 在论文撰写过程中得到张成立和孙勇教授、熊小林研究员以及美国迈阿密大学陈雨博士的支持和帮助,审稿人对本文的评论和批评使作者获益匪浅,特此致谢。

References

Atherton MP and Petford N. 1993. Generation of sodium-rich magmas from newly underplated basaltic crust. *Nature*, 362: 144 – 146

Benning LG. 1996. Hydrosulfide complexing of gold (I) in hydrothermal solutions from 150 to 500°C and 500 to 1500 bars. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 60: 1849 – 1872

Bi MB, Li YJ and Yang JQ. 2006. Litho-geochemical characteristics of Chaijiazhuang, Baguashan and Tianzishan Granite in west Qinling. *Gansu Geology*, 15(1): 42 – 46 (in Chinese with English abstract)

Bornhorst TJ. 1986. Partitioning of gold in young calc-alkaline volcanic rocks from Guatemala. *Journal of Geology*, 94: 412 – 418

Boyle RW. 1979. The geochemistry of gold and its deposits. *Geological Survey of Canada Bulletin*, 208

Candela PA. 1984. The partitioning of copper and molybdenum between silicate melts and aqueous fluids. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 48: 373 – 380

Chen J, Wang XM and Zhou Y. 2009. Geological and mineralogical characteristics of the Yawan gold deposit, Gansu. *Gansu Geology*, (in press)

Chen YJ, Zhang J, Zhang FX, Pirajno F and Li C. 2004. Carlin and Carlin-like gold deposits in western Qinling Mountains and their metallogenic time, tectonic setting and model. *Geological Review*, 50: 134 – 152 (in Chinese with English abstract)

Cheng B, Zhang FX and He GF. 2006. Genesis and types of the Yangshan super large micro-disseminated gold deposit, Wenxian, Gansu, China. *Geological Bulletin of China*, 25: 1354 – 1360 (in Chinese with English abstract)

Cline JE, Hofstra AH, Muntean JL, Tosdal RM and Hickey KA. 2005. Carlin-type characteristics and viable models. In: Hedenquist JW *et al.* (eds.). *Economic Geology and Bulletin of the Society of Economic Geologists One Hundredth Anniversary Volume 1905 – 2005*; Littleton, Colorado, Society of Economic Geologists, 451 – 484

Defant MJ, Xu JF, Kepezhinskas P, Wang Q, Zhang Q and Xiao L.

2002. Adakites: Some variations on a theme. *Acta Petrologica Sinica*, 18: 129 – 142

Feeley TC and Hacker MD. 1995. Intracrustal derivation of Na-rich andesite and dacite magmas: An example from Volcan Ollagüe. Andean Central Volcanic Zone. *Journal of Geology*, 103: 213 – 225

Feng JZ, Wang DB, Wang XM, Shao SC, Ma ZG and Zhang XG. 2003. Geology and metallogenesis of the Baguamiao giant gold deposit in Fengxian, Shaanxi Province. *Acta Geologica Sinica*, 77: 387 – 398 (in Chinese with English abstract)

Feng YM, Cao XD, Zhang RM, Hu YX, Pang XP, Yang JL, Jia QZ and Li WM. 2003. Tectonic evolution framework and nature of west Qinling Orogenic belt. *Northwestern Geology*, 36(1): 1 – 10 (in Chinese with English abstract)

Gammons CH. 1997. Chemical mobility of gold in porphyry-epithermal environment. *Economic Geology*, 92: 45 – 59

Guo JH, Qi JZ, Sun B and Yuan SS. 2002. Geological features and origin of Yangshan super large gold deposit, Gansu. *Gold Geology*, 8(2): 15 – 19 (in Chinese with English abstract)

Huo FC and Li YJ. 1994. Formation and Geological Evolution of West Qinling Orogenic Belt. Xi'an: Publishing House of Northwest University, 1 – 167 (in Chinese)

Hendenquist JW. 1994. The role of magmas in the formation of hydrothermal ore deposits. *Nature*, 370: 519 – 527

Henry CD and Boden DR. 1998. Eocene magmatism: The heat source for Carlin-type gold deposits of northern Nevada. *Geology*, 26: 1067 – 1070

Hofstra AH and Cline. 2000. Characteristics and models for Carlin-type gold deposits: Reviews. *Economic Geology*, 13: 163 – 220

Hou ZQ, Ma HW, Khin Z, Zhang YQ, Wang MJ, Wang Z, Pan GT and Tang RL. 2003. The Himalayan Yulong porphyry copper belt: Product of large-scale strike-slip faulting in eastern Tibet. *Economic Geology*, 98: 125 – 145

Ilchik RP and Barton MD. 1996. An amagmatic origin of Carlin-type gold deposits. *Economic Geology*, 92: 269 – 288

Jin WJ, Zhang Q, He DF and Jia XQ. 2005. SHRIMP dating of adakites in western Qinling and their implications. *Acta Petrologica Sinica*, 21: 959 – 966 (in Chinese with English abstract)

Kay SM and Mpodozis C. 2001. Central Andean ore deposits linker to evolving shallow subduction systems and thickening crust. *GSA Today*, 4 – 9

Kerrich R, Goldfarb R, Groves D, Garwin S and Jia YF. 2000. The characteristics, origin and geodynamic settings of supergiant gold metallogenic province. *Science in China (Series D)*, 1 – 68

Li ZH, Yang Y, Peng SL and Yuan MS. 2007. Metallogenic features of the Yangshan super-large hydrothermal gold deposit in Gansu. *Geotectonica et Metallogenia*, 31: 63 – 76 (in Chinese with English abstract)

Liu HJ, Chen YJ, Mao SD, Zhao CH and Yang RS. 2008. Element and Sr-Nd-Pb isotope geochemistry of granite-porphyry dykes in the Yangshan gold belt, western Qinling orogen. *Acta Petrologica Sinica*, 24: 1101 – 1111 (in Chinese with English abstract)

Liu HT, Zhang Q, Liu JM, Ye J, Zeng QD and Yu CM. 2004. Adakite versus porphyry copper and epithermal gold deposits: A possible metallogenetic specialization of magmatism required in-deep assessment. *Acta Petrologica Sinica*, 20: 205 – 218 (in Chinese with English abstract)

Li M, Zhang CL, Yuan KZ and Yan YX. 2004. Geochemical characteristics of Miba intrusion in the South Qinling Belt and its geological significance. *Journal of Northwest University (Natural Science Edition)*, 34: 325 – 330 (in Chinese with English abstract)

Ma JQ, Li CY and Wen HJ. 1999. The statusquo of research on the occurrence of invisible gold. *Acta Mineralogica Sinica*, 19: 335 – 342 (in Chinese with English abstract)

Mao JW. 2001. Geology, distribution and classification of gold deposits in the western Qinling belt, central China. *Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry*, 20: 11 – 13 (in Chinese)

Mao JW, Li XF, Li HM, Qu XY, Zhang CQ, Xue CJ, Wang ZL, Yu JJ, Zhang ZH, Feng CY and Wang RY. 2005. Types and

- characteristics of endogenetic metallic deposits in orogenic belts in China and their metallogenic processes. *Acta Geologica Sinica*, 79 (3): 342–367 (in Chinese with English abstract)
- Mungall JE. 2002. Roasting the mantle: Slab melting and the genesis of major Au and Au-rich Cu deposits. *Geology*, 30: 915–918
- Oyarzun R, Márquez A, Lillo J, López I and Sergio R. 2001. Giant very small porphyry copper deposits of Cenozoic age in northern Chile: Adakitic versus normal calc-alkaline magmatism. *Mineralium Deposita*, 36: 794–798
- Peng SX and Zhao WC. 2007. Mineralization mechanism and prognosis in the Zhaishang gold mining area. *Geology and Prospecting*, 43(2): 40–44 (in Chinese with English abstract)
- Qiu QL, Gong QS, Lu SW and Liu SX. 2008. Geochemical characteristics and geological significance of adakitic granitoids in Xiahe County of Gansu Province. *Gansu Geology*, 17(3): 6–12 (in Chinese)
- Qi JZ, Yuan SS, Li L, Fan YX, Liu W, Gao QF and Sun B. 2003a. Geological and geochemical study of Yangshan gold deposit, Gansu Province. *Mineral Deposits*, 22(1): 24–31 (in Chinese with English abstract)
- Qi JZ, Yuan SS, Li L, Sun B, Guo JH, Li ZH, Fan YX, Liu W and Gao QF. 2003b. Geological features and ore controlling factors of Yangshan super large gold deposit. *Geological Review*, 49: 5–92 (in Chinese with English abstract)
- Qi JZ, Li L, Yuan SS, Liu ZJ, Liu DY, Wang YB and Li ZH. 2005. A SHRIMP U-Pb chronological study of zircons from quartz veins of Yangshan gold deposit, Gansu Province. *Mineral Deposits*, 24(2): 141–150 (in Chinese with English abstract)
- Qi JZ, Li L and Yang GC. 2008. Genesis and metallogenic model of Yangshan gold deposit in Gansu Province. *Mineral Deposits*, 27(1): 81–87 (in Chinese with English abstract)
- Qin JF, Lai SC and Li YF. 2005. Petrogenesis and geological significance of Yangba granodiorites from Bikou area, Northern margin of Yangtze Plate. *Acta Petrologica Sinica*, 21: 697–710 (in Chinese with English abstract)
- Radtke AS and Scheiner BJ. 1970. Studies of Hydrothermal gold deposition (i): Carlin gold deposit. Nevada: The role of carbonaceous materials in gold deposition. *Economic Geology*, 65: 87–102
- Ressel MW and Henry CD. 2006. Igneous geology of the Carlin trend, Nevada: Development of the Eocene plutonic complex and significance for Carlin-type gold deposits. *Economic Geology*, 101: 347–383
- Rui ZY, Zhang LS, Chen ZY, Wang LS, Liu YL and Wang YT. 2004. Approach Source rock or source region of porphyry copper deposits. *Acta Petrologica Sinica*, 20: 229–238 (in Chinese with English abstract)
- Shang RJ and Yan Z. 1991. Granitoid in Qingling and Bashan Area. Wuhan: China University of Geosciences Press (in Chinese)
- Yan SH. 1998. Studies on the genesis of Dashui superlarge hematite silicalite-type gold ore deposit in Gansu Province. Ph. D. Thesis. Beijing: Chinese Academy of Geology Sciences (in Chinese with English abstract)
- Wang Q, Xu JF and Zhao ZH. 2003. Intermediate-acid igneous rocks strongly depleted in heavy rare earth elements (or adakitic rocks) and copper-gold metallogenesis. *Earth Science Frontiers*, 10: 561–572 (in Chinese with English abstract)
- Wang Q, Zhao ZH, Xu JF, Bai ZH, Wang JX and Liu CX. 2004. The geochemical comparison between the Tongshankou and Yinzu adakitic intrusive rocks in southeastern Hubei; (Delaminated) lower crustal melting and the genesis of porphyry copper deposit. *Acta Petrologica Sinica*, 20: 351–360 (in Chinese with English abstract)
- Wang Y. 2009. Geochemistry of the Baicha A-type granite in Beijing Municipality: Petrogenetic and tectonic implications. *Acta Petrologica Sinica*, 25: 13–24 (in Chinese with English abstract)
- Williams TJ and Candela PA. 1995. The partitioning of copper between silicate melts and two-phase aqueous fluids: An experimental investigation at 1 kbars, 800°C and 0.5 kbar, 850°C. *Contributions to Mineralogy and Petrology*, 121: 388–399
- Wu LS, Wei LM, Lu HD, Jin AX and Hao DC. 1997. Geochemical characters of the stratiform granitic veins and their relations to the gold deposits in Xicheng region, Gansu. *Mineral Resources and Geology*, 11(5): 303–308 (in Chinese with English abstract)
- Wu LS and Wei LM. 1999. Geochemical characteristics and genesis of Baguamiao super-large gold deposit. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 14(4): 62–68 (in Chinese with English abstract)
- Xiong XL, Zhao ZH, Bai ZH, Mei HJ, Xu JF and Wang Q. 2001. Origin of Awulale adakitic sodium-rich rocks in western Tianshan: Constraints for Nd and Sr isotopic compositions. *Acta Petrologica Sinica*, 17: 514–522 (in Chinese with English abstract)
- Xiong XL, Cai ZY, Niu HC, Chen YB, Wang Q, Zhao ZH and Wu JH. 2004. The Late Paleozoic adakites in eastern Tianshan area and their metallogenetic significance. *Acta Petrologica Sinica*, 21: 967–976 (in Chinese with English abstract)
- Yang RS, Chen YJ, Zhang FX, Li ZH, Mao SD, Liu HJ and Zhao CH. 2006. Chemical Th-U-Pb ages of monazite from the Yangshan gold deposit, Gansu Province and their geologic and metallogenetic implications. *Acta Petrologica Sinica*, 22: 2603–2610 (in Chinese with English abstract)
- Yin XM. 2004. Potential analysis and prospective value for gold resources of western Qinling, Gansu Province. *Acta Geologica Gansu*, 13(1): 10–15 (in Chinese with English abstract)
- Yin Y and Zhao YQ. 2006. Relationship between granite and gold mineralization in the gold enrichment area of western Qinling, Gansu Province. *Gansu Geology*, 15(1): 36–41 (in Chinese with English abstract)
- Yin Y and Yin XM. 2009. Porphyry Cu-Mo-Au mineralization related to adakite and Himalayan type granite in the northern of margin West Qinling. *Acta Petrologica Sinica*, 25: 1239–1252 (in Chinese with English abstract)
- Zhang CL, Luo JL, Li M and Wang Y. 2002. Geochemical characteristics and geological significance of Xiba granite, porphyry and porphyrite in East Qinling. *Journal of Northwestern University (Nature Science Edition)*, 32: 384–388 (in Chinese with English abstract)
- Zhang CL, Wang T and Wang XX. 2008. Origin and tectonic setting of the Early Mesozoic granitoids in Qinling orogenic belt. *Geological Journal of China Universities*, 14: 304–316 (in Chinese with English abstract)
- Zhang FX, Zhang WD and Zhang ZB. 2000. Type and structural setting of gold deposit in Qinling, orogenic belt. *Gold Geology*, 6(4): 59–65 (in Chinese with English abstract)
- Zhang FX, Ji JL, Long LL and Fan CH. 2001. Comparative features of Carlin- para-Carlin type gold deposits in the south Qinling and gold deposits in other areas. *Geological Review*, 47: 492–499 (in Chinese with English abstract)
- Zhang FX, Xiao L and Qi YL. 2004. Exploration and study of Carlin and Carlin-like type gold deposits: Review and prospect. *Geology in China*, 31: 407–412 (in Chinese with English abstract)
- Zhang FX, Hou JF, Zhang CW, Li J and Yang RS. 2007. Characteristics of the superlarge Yangshan Carlin and Carlin-like compound type gold deposit in Gansu. *Geology in China*, 3: 1062–1072 (in Chinese with English abstract)
- Zhang GW, Cheng SY, Guo AL et al. 2004. Mianlue Paleuture on the southern margin of the Central Orogenic of the main part of the continent of China. *Geological Bulletin of China*, 23: 846–853 (in Chinese with English abstract)
- Zhang HF, Jin LL, Zhang L, Harris N, Zhou L, Hu SH and Zhang BR. 2007. Geochemical and Pb-Sr-Nd isotopic compositions of granitoids from western Qinling belt: Constraints on basement nature and tectonic affinity. *Science in China (Series D)*, 50: 184–196
- Zhang HF, Xiao L, Zhang L, Yuan HL and Jin LL. 2007. Geochemical and Pb-Sr-Nd isotopic compositions of Indosinian granitoids from the Bikou block, northwest of the Yangtze plate: Constraints on petrogenesis, nature of deep crust and geodynamics. *Science in*

China (Series D), 50: 972–983

- Zhang Q, Wang Y, Xiong XL and Li CD. 2008. Adakite and Granite: Challenge and Opportunity. Beijing: China Land Press
- Zhang Q, Jin WJ, Li CD and Wang YL. 2009. Reason for gold and copper discovery in mountain with tungsten and tin discovery on plain. *Earth Science*, 34: 547–568 (in Chinese with English abstract)
- Zhang ZQ, Zhang GW, Liu DY *et al.* 2007. Geochronology and Geochemistry of Ophiolites, Granitoids and Clastic Rocks in Qinling Orogen. Beijing: Geological Publishing House, 176–302 (in Chinese)
- Zhao XM, Zhang FX, He J and Zhou CF. 2004. The characters of Xialiangzi Carlin-like gold deposit and its genesis, Zhashui, Shaanxi. *Contributions to Geology and Mineral Resources Research*, 19: 168–172 (in Chinese with English abstract)
- Zhao YQ, Ye DJ, Li YQ and Chen GZ. 2003. Granitic mineralization of the Dashui gold ore deposit in western Qinling. *Geoscience*, 17: 151–156 (in Chinese with English abstract)
- Zhao YQ, Li YQ and Chen GZ. 2004. Para-symmetry characteristics and its prospecting significance of metallization of west Qinling. *Acta Geologica Gansu*, 13 (2): 85–89 (in Chinese with English abstract)
- Zhou YG, Liu JS, Ouyang YF, He ZB and Gao QZ. 2008. Redefinition of Carlin-type gold deposit. *Gold*, 29(11): 7–11 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

- 毕明波, 李永军, 杨俊泉. 2006. 西秦岭柴家庄、八卦山和天子山花岗岩体地球化学特征. *甘肃地质*, 15(1): 42–46
- 陈健, 王晓明, 周勇. 2009. 甘肃崖湾金矿床地质矿化特征. *甘肃地质*, (待刊)
- 陈衍景, 张静, 张复新, Pirajno F, 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: 134–152
- 程斌, 张复新, 贺国芬. 2006. 甘肃文县地区阳山超大型微细浸染型金矿床的成因与类型. *地质通报*, 25: 1354–1360
- 冯建忠, 汪东波, 王学明, 邵世才, 马治国, 张选固. 2003. 陕西凤县八卦庙超大型金矿床成矿地质特征及成矿作用. *地质学报*, 77: 387–398
- 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. *西北地质*, 36(1): 1–8
- 郭俊华, 齐金忠, 孙彬, 余金元, 袁士松. 2002. 甘肃阳山特大型金矿床地质特征及成因. *黄金地质*, 8(2): 15–19
- 霍福臣, 李永军. 1994. 西秦岭造山带的建造与地质演化. 西安: 西北大学出版社, 1–167
- 侯增谦, 莫宣学, 高永丰, 曲晓明, 孟祥金. 2003. 埃达克岩: 斑岩铜矿的一种可能的重要含矿母岩——以西藏和智利斑岩铜矿为例. *矿床地质*, 22: 1–12
- 金维浚, 张旗, 何登发, 贾秀勤. 2005. 秦岭埃达克岩的 SHRIMP 定年及其构造意义. *岩石学报*, 21: 959–966
- 李志宏, 杨印, 彭省临, 袁茂森. 2007. 甘肃阳山超大型热液金矿床的成矿特征. *大地构造与成矿学*, 31: 63–76
- 李森, 张成立, 苑克增, 晏云翔. 2004. 南秦岭迷坝岩体的地球化学特征及其地质意义. *西北大学学报(自然科学版)*, 34: 325–330
- 刘红杰, 陈衍景, 毛世东, 赵成海, 杨荣生. 2008. 西秦岭阳山金矿带花岗岩斑岩元素及 Sr-Nd-Pb 同位素地球化学. *岩石学报* 24:

1101–1111

- 刘红涛, 张旗, 刘建明, 叶杰, 曾庆栋, 于昌明. 2004. 埃达克岩与斑岩铜矿-浅成热液金矿: 有待深入研究的岩浆成矿关系. *岩石学报*, 20: 205–218
- 马建秦, 李朝阳, 温汉捷. 1999. 不可见金赋存状态研究现状. *矿物学报*, 19: 335–342
- 毛景文. 2001. 西秦岭地区造山型与卡林型金矿床. *矿物岩石地球化学通报*, 20: 11–13
- 毛景文, 李晓峰, 李厚民, 曲晓月, 张长青, 薛春纪, 王志良, 余金杰, 张作衡, 丰成友, 王瑞廷. 2005. 中国造山带内生金属矿床类型、特点和成矿过程探讨. *地质学报*, 79(3): 342–367
- 彭素霞, 赵文川. 2007. 寨上金矿区成矿机制及成矿预测. *地质与勘探*, 43(2): 40–44
- 邱庆伦, 龚全胜, 卢书伟, 柳生祥. 2008. 甘肃夏河地区印支期埃达克岩的厘定及其意义. *甘肃地质*, 17(3): 6–12
- 齐金忠, 袁士松, 李莉, 范永香, 刘伟, 高秋斌, 孙彬. 2003a. 甘肃省文县阳山金矿床地质地球化学研究. *矿床地质*, 22(1): 24–31
- 齐金忠, 袁世松, 李莉, 孙彬, 郭俊华, 李志宏, 范永香, 刘伟, 高秋斌. 2003b. 甘肃省文县阳山特大型金矿床地质特征及控矿因素分析. *地质论评*, 49(1): 85–92
- 齐金忠, 李莉, 袁士松, 刘志杰, 刘敦一, 王彦斌, 李志宏. 2005. 甘肃省阳山金矿床石英脉中锆石 SHRIMP U-Pb 年代学研究. *矿床地质*, 24(2): 141–150
- 齐金忠, 李莉, 杨贵才. 2008. 甘肃省阳山金矿床成因及成矿模式. *矿床地质*, 27(1): 81–87
- 秦江锋, 赖绍聪, 李永飞. 2005. 扬子板块北缘碧口地区阳坝花岗岩闪长岩岩体成因研究及其地质意义. *岩石学报*, 21: 697–710
- 芮宗瑶, 张立生, 陈振宇, 王龙生, 刘玉琳, 王义天. 2004. 斑岩铜矿的源岩或源区探讨. *岩石学报*, 20: 229–238
- 尚瑞均, 严阵. 1991. 秦巴花岗岩. 武汉: 中国地质大学出版社
- 邵世材, 汪东波. 2001. 南秦岭三个典型矿床 Ar-Ar 年代及其地质意义. *地质学报*, 75(1): 106–110
- 王强, 许继峰, 赵振华. 2003. 强烈亏损重稀土元素的中酸性火成岩(或埃达克岩)与 Cu、Au 成矿作用. *地学前缘*, 10: 561–572
- 王强, 赵振华, 许继峰, 白正华, 王建新, 刘成新. 2004. 鄂东南铜山口、殷祖埃达克质(adakitic)侵入岩的地球化学特征对比:(折沉)下地壳熔融与斑岩铜矿的成因. *岩石学报*, 20: 351–360
- 汪洋. 2009. 北京白查 A 型花岗岩的地球化学特征及其成因与构造指示意义. *岩石学报*, 25(1): 13–24
- 吴烈善, 韦龙明, 卢汉堤, 金安祥, 浩德成. 1997. 甘肃西成地区层状花岗岩岩脉地质地球化学特征及其与金矿关系. *矿产与地质*, 11(5): 303–308
- 吴烈善, 韦龙明. 1999. 八卦庙超大型金矿地球化学特征及物源. *地质找矿论丛*, 14(4): 62–68
- 熊小林, 赵振华, 白正华, 梅厚钧, 许继峰, 王强. 2001. 西天山阿吾拉勒埃达克质岩石成因: Nd 和 Sr 同位素组成的限制. *岩石学报*, 17: 514–522
- 熊小林, 蔡志勇, 牛贺才, 陈义兵, 王强, 赵振华, 吴金花. 2004. 东天山晚古生代埃达克岩成因及铜金成矿意义. *岩石学报*,

21: 967-976

- 闫升好. 1998. 甘肃大水特大型富赤铁矿硅质岩型金矿床成因研究. 博士学位论文. 北京: 中国地质科学院
- 杨荣生, 陈衍景, 张复新, 李志宏, 毛世东, 刘红杰, 赵成海. 2006. 甘肃阳山金矿独居石 Th-U-Pb 化学年龄及其地质和成矿意义. 岩石学报, 22: 2603-2610
- 殷先明. 2004. 甘肃西秦岭金矿资源潜力分析和远景评价. 甘肃地质学报, 13(1): 10-15
- 殷勇, 赵彦庆. 2006. 甘肃西秦岭金矿富集区花岗岩与金成矿作用的关系. 甘肃地质, 15(1): 36-41
- 殷勇, 殷先明. 2009. 西秦岭北带与埃达克岩和喜马拉雅型花岗岩有关的斑岩型铜-钼-金成矿作用. 岩石学报, 25: 1239-1252
- 张成立, 罗静兰, 李森, 王煜. 2002. 东秦岭西坝花岗岩体及其脉岩的地球化学特征. 西北大学(自然科学版), 32: 384-388
- 张成立, 王涛, 王晓霞. 2008. 秦岭造山带早中生代花岗岩成因及其构造环境. 高校地质学报, 14: 304-316
- 张复新, 张旺定, 张正兵. 2000. 秦岭造山带金矿床类型与构造背景. 黄金地质, 6(4): 59-65
- 张复新, 季军良, 龙灵利, 范春花. 2001. 南秦岭卡林型-似卡林型金矿床综合地质地球化学特征. 地质论评, 47: 492-499
- 张复新, 肖丽, 齐亚林. 2004. 卡林型-类卡林型金矿床勘查与研究回顾及展望. 中国地质, 31: 406-412
- 张复新, 侯俊富, 张存旺, 李晶, 杨荣生. 2007. 甘肃阳山超大型卡林-类卡林型复合式金矿床特征. 中国地质, 34: 1062-1072
- 张国伟, 程顺有, 郭安林等. 2004. 秦岭大别中央造山带南缘勉略古缝合带的再认识—兼论中国大陆主体的拼合. 地质通报, 23: 846-853
- 张宏飞, 靳兰兰, 张利, Harris N, 周炼, 胡圣虹, 张本仁. 2005. 秦岭花岗岩类地球化学和 Pb-Sr-Nd 同位素组成对基底性质及其构造属性的限制. 中国科学(D辑), 35: 914-926
- 张宏飞, 肖龙, 张利, 袁洪林, 靳兰兰. 2007. 扬子陆块西北缘碧口块体印支期花岗岩类地球化学和 Pb-Sr-Nd 同位素组成: 限制岩石成因及其动力学背景. 中国科学(D辑), 37: 460-470
- 张旗, 王焰, 熊小林, 李承东. 2008. 埃达克岩和花岗岩: 挑战与机遇. 北京: 中国大地出版社, 1-344
- 张旗, 金惟俊, 李承东, 王元龙. 2009. “上山”找金铜, “下山”找钨锡及其理由. 地球科学, 34: 547-568
- 张宗清, 张国伟, 刘敦一等. 2007. 秦岭造山带蛇绿岩、花岗岩和碎屑沉积岩同位素年代学和地球化学. 北京: 地质出版社, 176-302
- 赵新苗, 张复新, 何军, 周创飞. 2004. 陕西柞水下梁子类卡林型金矿床特征与成因探讨. 地质找矿论丛, 19: 168-172
- 赵彦庆, 叶得金, 李永琴, 陈国忠. 2003. 秦岭大水金矿的花岗岩成矿作用特征. 现代地质, 17: 151-156
- 赵彦庆, 李永琴, 陈国忠. 2004. 西秦岭金属成矿的准对称特征及找矿意义. 甘肃地质学报, 13(2): 85-89
- 周余国, 刘继顺, 欧阳玉飞, 何兆波, 高启芝. 2008. 卡林型金矿的再定义. 黄金, 29(11): 7-11