

中国贵金属矿床的基本成矿规律与找矿方向

王登红¹, 应立娟¹, 王成辉², 陈郑辉¹, 许建祥^{2,3}, 曾载淋³, 陈毓川⁴,
徐珏¹, 白 鸽¹

1. 中国地质科学院 矿产资源研究所, 北京 100037
2. 中国地质科学院 研究生院, 北京 100037
3. 赣南地质大队, 江西 赣州 341000
4. 中国地质科学院, 北京 100037

Wang Denghong¹, Ying Lijuan¹, Wang Chenghui², Chen Zhenghui¹, Xu Jianxiang^{2,3},
Zeng Zailin³, Chen Yuchuan⁴, Xu Jue¹, Bai Ge¹

1. Institute of Mineral Resources, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037, China
2. Graduate Department, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037, China
3. Gannan Geological Team, Ganzhou, 341000, China
4. Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037, China

Wang Denghong, Ying Lijuan, Wang Chenghui, et al. Basic patterns of metallogenesis of precious metal deposits in China and vectors for prospecting. *Earth Science Frontiers*, 2007, 14(5): 071-081

Abstract: We have analyzed and summarized the development of exploration of precious metal deposits in China in recent years; their major types, major metallogenic epochs and areas of main concentration of these deposits. On this basis, we summarize the basic metallogenic patterns of gold, silver and platinum group elements (PGE) deposits in China and put forward a prospecting methodology for each of these precious metal deposits. Gold deposits in China consist of various types, and were mainly formed in the Mesozoic and the Cenozoic, and concentrated in Jiaodong, Xiaolinling, Altay, Jinshajiang-Honghe, Taiwan and southeastern margin of continent, in the Heilongjiang and Yangtze River areas, Yunnan-Guizhou-Guangxi provinces and Shaanxi-Gansu-Sichuan provinces, etc. Silver deposits in China are usually associated with other metals and also formed mainly in the Mesozoic and the Cenozoic. They are hosted by metamorphic, magmatic and sedimentary rocks in orogenic and basin areas, are generally fault or fracture-controlled. At present, the prospecting potential for silver deposits is in manganese deposits and Mn anomalous areas, especially in the Cenozoic basins in East China. PGE deposits are of three major types: magmatic, sedimentary and hydrothermal. There are at least eight important metallogenic prospective regions with different geological environment and metallogenic conditions, leading to different prospecting methods.

Key words: gold deposit; silver deposit; PGE deposit; regularity of metallogenesis; guides to prospecting

摘 要:通过对近年来贵金属矿床勘查进展及其主要类型、主要成矿时代、主要矿集区等的分析与归纳,总结了我国金矿床、银矿床和铂族元素矿床的基本成矿规律,并提出它们各自的找矿方向。我国金矿床类型多,主要形成于中生代和新生代,集中在胶东、辽东、华北地台边缘、小秦岭、阿尔泰、金沙江-红河断裂带、台湾和东

收稿日期: 2007-08-19; 修回日期: 2007-09-11

基金项目: 国家科技支撑计划“南岭地区有色-贵重金属综合勘查技术研究”课题(2006BAB01B03); 中国地质大调查项目“我国重要矿产和区域成矿规律研究”(1212010633903); “中国成矿体系综合研究”项目(1212010634002); “我国西部重要成矿区带矿产资源潜力评估”项目(200420190004)

作者简介: 王登红(1967—), 男, 研究员, 博士生导师, 主要从事矿产资源研究。E-mail: wangdenghong@sina.com

南沿海、滇黔桂、陕甘川及长江、黑龙江等主要水系的上游, 金矿的找矿方向包括: ①老矿区的“探边摸底”和“攻深找盲”; ②新矿集区的典型研究与采选冶技术改进; ③综合利用技术的创新将使相当多的表外矿变为当前可开采的矿床; ④新区勘查; ⑤加强成矿系列、成矿体系和成矿规律的研究, 以理论指导找矿并综合评价。中国银矿以伴生银矿为主, 主要形成于中生代和新生代, 变质岩、岩浆岩和沉积岩均可容矿, 造山带和盆地区的构造破碎带尤其值得重视。当前需要加强对锰矿区含银性和 Mn 异常区的研究, 尤其是中国东部中生代盆地断裂带与 Mn、Ag 化探异常吻合地区, 应该综合评价。中国铂族元素矿床可以分为岩浆型、沉积型和热液型三大类, 可形成于从前寒武纪到新生代的各个时代, 至少构成 8 个重要成矿远景区(带), 重点放在康滇地轴和二叠纪末期峨眉地幔柱影响到的地区, 但华北地台老基底中的原生矿及其周边的砂矿不可忽视。

关键词: 金矿床; 银矿床; 铂族元素矿床; 成矿规律; 找矿方向

中图分类号: P612 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-2321(2007)05-0071-11

1 中国金矿床的主要成矿规律及找矿方向

1.1 中国金矿近年来的勘查进展

中国自 20 世纪 80 年代全面改革开放以来, 地质工作在金矿方面的投入前所未有, 取得的勘查进展也是前所未有的。具体表现如: ①完成全国重要成矿区带 1: 20 万的化探扫面, 为以后大批金矿的发现提供了众多的线索; ②新类型矿床的发现; ③新矿集区的勘查; ④老矿床规模的扩大; ⑤科学技术的进步推动了低品位和难利用矿床的可采; ⑥形成了一批规模较大的贵金属矿山企业, 并且日益壮大, 如紫金、招金、灵宝等。

1.2 中国金矿床的主要类型

世界各地存在的已知金矿床类型在中国都可以找到相应的实例, 但以破碎带-石英脉型、卡林型和火山-次火山热液型为主^[1-5]。

中国金矿类型多种多样, 中国地质学会矿床地质专业委员会贵金属矿床地质专业组(1985 年)曾经依据成矿作用将中国的金矿床划分为 7 大类 18 个亚类。根据预测工作的需要, 可将中国的金矿类型划分为花岗岩-绿岩建造中的金矿、沉积建造中的金矿(包括卡林型金矿和变质碎屑岩中的脉型金矿)、火山岩型金矿(可进一步分为陆相和海相两种情况)、与侵入岩有关的金矿(包括斑岩型金矿和侵入体内及接触带型金矿)、破碎带-蚀变岩型金矿、砂金矿、铁帽型金矿和土型金矿, 以火山岩型金矿、与侵入岩有关金矿、破碎带-蚀变岩型金矿为主, 花岗岩-绿岩建造中的金矿和沉积建造中的金矿也很重要^[6-14](表 1)。应该说, 金的富集对于围岩、地质时代和类型的选择有别于其他矿种, 某一类型的金矿常常集中在某些地区, 而同一个地区也往往存在多

种类型的金矿。因此, 在预测时应该强调具体地质问题具体分析, 而不必过分地强调类型本身。

中国金矿中、小型矿床多、大型矿床少。目前中国金矿床(点)共计近 6 000 个, 但其真正形成一定规模金矿床的只有 1 000 多处, 仅占全国金矿床(点)总数的 19% 左右。就砂金而言, 中国大、中、小型砂金矿床的比例为 4: 21: 75。就金矿总体来看, 大、中、小型金矿床的比例为 6.2: 11.7: 82.1。由此可见, 中国金矿床中、小型占绝大多数, 大型矿床为数不多。

矿石品位一般中等。中、小型矿床品位变化大, 常伴生多种有益组分。大型金矿品位一般不高, 以中、低品位为主; 蚀变岩型大型金矿品位中等偏低, 但较稳定; 石英脉型大型金矿一般品位较高, 但变化大; 斑岩型金矿品位低^[15]。中国单一成分金矿很少, 岩金矿床常伴生(共生)铜、铅、锌、银、钼、钨、铋、镍等有益组分, 绝大多数的岩金矿床都伴生有银、硫。砂金矿常伴生有锆石、独居石、石榴子石、金红石等有用矿物。

伴生金较多。在中国金矿保有储量中, 伴生金占有比例高达 44%, 远大于世界伴生金占有的平均比例。伴生金主要作为铜、铅、锌、硫、铁及镍矿等的副产品综合回收。1949 年以来, 伴生金年平均产量占中国黄金总产量的 25% 左右。这也说明伴生金资源在中国金矿资源中占有重要地位^[16-17]。

1.3 中国金矿床的主要成矿时代

中国金矿床形成于各个时代, 但以中生代和新生代最为重要(表 2)。其中, 中国规模最大的一些金矿床如台湾的金瓜石金矿、福建的紫金山、云南的老王寨以及胶东、小秦岭等金矿集中区的金矿床主要形成于中、新生代, 近年来新发现的金矿床也以中生代为主, 如四川木里的梭罗沟金矿(25 Ma 前后)、云南的拖布卡(50 Ma 前后)、贵州的水银洞、甘

表 1 中国主要金矿床类型
Table 1 Major types of gold deposits in China

重要性	矿床类型		矿床式(类型)	典型矿床	典型分布地区
主要	火山岩型金矿	陆相火山岩型金矿	团结构式火山次火山热液型金矿	团结沟	吉黑、佳木斯、张广才岭等
			刺猬沟式次火山热液型金矿	刺猬沟	内蒙古—大兴安岭等地
			铜井式次火山热液型金矿	铜井	长江中下游中生代火山岩盆地
			紫金山式热液型金矿	紫金山	东南沿海火山岩区
			金瓜石式火山热液型金矿	金瓜石	台湾及东南沿海火山岩区
	与侵入岩有关金矿	海相火山岩型金矿	阿舍勒铜矿(伴生金)	阿舍勒	阿尔泰地区
			龙头山式斑岩型金矿	广西龙头山	桂北河池—南丹成矿带
			德兴式斑岩型铜金矿	德兴	赣东北
			东坪式碱性岩型金矿	东坪	华北地台北缘
			祁雨沟式碱性岩型金矿	祁雨沟	秦岭熊耳山等地
重要	破碎带—蚀变岩型金矿	侵入体内及接触带型金矿	北衙式接触带—碱性岩型金矿	北衙	西南三江中南部
			多拉那萨依式岩体内外接触带型金矿	多拉那萨依	新疆阿尔泰
			峪耳崖式岩体内外接触带型金矿	峪耳崖	华北地台北缘、河北
			焦家式破碎带—蚀变岩型金矿	焦家	胶东、小秦岭
			玲珑式石英脉型金矿	玲珑	胶东、小秦岭
	花岗岩—绿岩建造中的金矿	卡林型金矿	戈枕式破碎带—蚀变岩型金矿	戈枕	海南
			大渡河式破碎带—蚀变岩型金矿	黄金坪	四川、湖南
			白云山式绿岩建造型金矿	白云山	辽东、营口—宽甸等成矿带
			东风山式绿岩建造型金矿	东风山	吉黑地槽与佳木斯断裂交汇
			金厂峪式变质脉型金矿	金厂峪	中朝准地台燕山台褶带北缘
次要	砂金矿	铁帽型金矿	夹皮沟式变质脉型金矿	夹皮沟	胶辽台隆北部边缘
			板其式卡林型金矿	板其	滇黔桂金三角
			田阳—叫曼式卡林型金矿	田阳—叫曼	滇黔桂金三角
			八卦庙式卡林型金矿	八卦庙	华北地块南缘
			烂泥沟式卡林型金矿	烂泥沟	滇黔桂金三角
	土型金矿	变质碎屑岩中脉型金矿	沃溪式变质含碳碎屑岩中脉型金矿	沃溪	江南古陆
			黄金洞式含碳碎屑岩中脉型金矿	黄金洞	江南古陆
			金山式碎屑岩中脉型金矿	金山	赣东北
			猫岭式碎屑岩中脉型金矿	猫岭	东北辽吉
			新桥式铁帽型金矿	新桥	长江中下游
			蛇屋山式土型金矿	蛇屋山	长江中下游、华南

肃的阳山金矿(含金石英脉中流体包裹体的 Rb-Sr 等时线年龄为(149±2) Ma)等,说明中新世代金矿仍然是找矿的重点^[18-23]。

1.4 中国金矿床的主要矿集区

中国金矿床在全国各地都有不同程度的分布,但明显集中在少数几个矿集区(图 1)。在不同的矿集区中,分别富集不同类型的金矿床。其中,砂金矿集区主要集中在黑龙江流域和长江水系的汉江、嘉陵江流域;岩浆型金矿主要集中在胶东、辽东、华北地台边缘、小秦岭、阿尔泰和西南三江的金沙江-红河断裂带;与陆相火山作用有关的金矿主要集中在台湾和东南沿海;与海相火山作用有关的金矿主要在一些块状硫化物矿床中伴生产出;卡林型金矿则集中在滇黔桂和陕甘川两个金三角;绿岩型金矿则主要分布在华北地台边缘^[24-26]。实际上,单一类型

金矿的矿集区比较少见,同一类型的金矿可能出现在不同的矿集区,而同一矿集区中完全可能出现多种类型的金矿,如岩浆作用与构造作用同时控制的金矿床在造山带屡见不鲜。

1.5 中国金矿床的主要找矿方向

近期内,中国金矿床的找矿方向体现在以下几个方面:①老矿区的“探边摸底”和“攻深找盲”;②新矿集区的深入研究和勘查示范;③采选冶技术及综合利用技术的改进将使相当多的表外矿变为当前可开采的矿床,因此,卡林型金矿将在近期内有较大突破并带动找矿进展;④通过成矿区带的研究加强选区,形成新的远景区;⑤通过成矿系列、成矿规律的研究,寻找金矿新的生长点,如油田中、铁矿区、非金属矿集区、非典型金矿矿集区金矿找矿突破、综合评价和资源的综合利用^[27-28]。

表 2 中国部分新生代金矿床的成矿年龄

Table 2 Metallogenic ages of some Cenozoic gold deposits in China

省区	产地	位置(样号)	岩石	试样	方法	年龄/Ma	资料来源
甘肃		拉尔玛金矿	含金石英	石英	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar 坪	49.5	杨俊龙等,1997
广东	高明	富湾	含矿石英流体包裹体		Rb-Sr	65	梁华英等,1998
广东	罗定	新榕银锰矿	矿石中石英 XR	石英	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar 坪	58.02	Wang D H et al.,2005
辽宁	丹东	四道沟八中段	矿体中蚀变绢云母 ST-3	绢云母	K-Ar	46	商维国,1982
辽宁	丹东	五龙金矿	黑云母花岗岩 Tn3	黑云母	K-Ar	47	商维国,1982
四川		马脑壳金矿	含金石英脉	石英	Rb-Sr	46	季宏兵等,1999
四川	康定	白金台子金矿	含金石英脉	石英	Ar-Ar 坪	25.35	Wang D H et al.,2005
四川	康定	偏岩子 Au	矿脉中的	白云母	K-Ar	9.55	罗鸿书等,1987
四川	康定	若吉 Au	含金石英脉	石英	Ar-Ar 坪	58.95	Wang D H et al.,2005
四川	康定	三碛 Au	含金石英脉 TM1	绢云母	K-Ar	20.79	陈智梁等,1997
四川	康定	三碛金矿	含金石英脉	石英	Ar-Ar 坪	24.70	Wang D H et al.,2005
四川	康定	三碛金矿	含金石英脉 TM2	绢云母	K-Ar	21.41	陈智梁等,1997
四川	康定	水白秧金矿	含金石英脉	石英	Ar-Ar 坪	65.12	Wang D H et al.,2005
四川	冕宁	茶铺子金矿	含金花岗岩斑 1.6 g/t	全岩	K-Ar	31.9	傅德明,1996
四川	冕宁	机器房 Au	长石石英斑岩脉	全岩	K-Ar	64.8	毛裕年,1981
四川	冕宁	缅甸洼	花岗岩质糜棱岩	全岩	K-Ar	28.9	赵济湘等,1994
四川	木里	梭罗沟金矿	含矿煌斑岩中	黑云母	Ar-Ar 坪	27.8	王登红等,2007
四川	石棉	广金坪金矿	石英绢云千糜岩	绢云母	K-Ar	21.2	傅德明,1996
四川	石棉	菩萨岗 Au	含金石英脉	石英	Ar-Ar 坪	26.67	Wang D H et al.,2005
四川	盐边	韭菜坪	钾质煌斑岩	金云母	K-Ar	36.0	张兴春,1989
四川	盐源	西范坪	含铜二长斑岩中	角闪石	Ar-Ar 坪	47.52	骆耀南等,1996
四川	盐源	西范坪	含铜石英二长斑岩	角闪石	Ar-Ar 坪	47.52	贵阳所,1995
西藏	玉龙矿田	馬拉松多	斑岩铜钼矿		Re-Os	35.9	唐仁鲤等,1995
西藏	玉龙矿田	馬拉松多岩体	二长花岗斑岩	钾长石	K-Ar	36.4	唐仁鲤等,1995
云南	金厂箐	金厂箐	热液型金矿 JCQ1	钾长石	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar 坪	23.18	王登红等,2005
云南	楚雄	小水井 Au	煌斑岩中	绢云母	K-Ar	50.95	Wang D H et al.,2005
云南	东川	布卡—拖布卡	新山金矿 D05	石英	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar 坪	59.93	王登红等,2006
云南	东川	布卡—拖布卡	蒋家湾金矿 Jjw	石英	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar 坪	48.41	王登红等,2006
云南	东川	布卡—拖布卡	新山金矿 D05	石英	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar 坪	44.34	王登红等,2006
云南	东川	布卡—拖布卡	新山金矿 D05	石英	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar 坪	42.38	王登红等,2006
云南	鹤庆	北衙红泥塘	石英斑岩中	斜长石	Ar-Ar 坪	24.56	Wang D H et al.,2005
云南	鹤庆	北衙万洞山	糜棱岩化正长斑岩	全岩	K-Ar	35.98	Wang D H et al.,2005
云南	鹤庆	北衙万洞山	糜棱岩中 S-8	绢云母	K-Ar	27.76	Wang D H et al.,2005
云南	鹤庆	北衙五里盘	糜棱岩化正长斑岩	全岩	K-Ar	38.36	Wang D H et al.,2005
云南	剑川	老君山	正长斑岩	长石	K-Ar	28.2	张玉泉等,1998
云南	剑川	马鹿山	正长斑岩	全岩	K-Ar	36.1	邓万明等,1999
云南	金平	铜厂铜钼矿床	斑岩型铜钼矿床	辉钼矿	Re-Os	34.38	王登红等,2005
云南	兰坪金顶	白秧坪	银多金属矿 BYP-13	石英	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar 坪	62.78	王登红等,2005
云南	马厂箐		花岗斑岩	全岩	Rb-Sr	36	谭雪春等,1991
云南	墨江	金厂	含金石英脉 HBM-62	石英	ESR	66.4	毕献武等,1996
云南	墨江	金厂	金厂金矿 L5	锆云母	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar 坪	62.05	应汉龙,2002
云南	墨江	金厂	金厂金矿 Sh4	锆云母	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar 坪	61.55	应汉龙,2002
云南	墨江	金厂	猫鼻梁子 M8	石英	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar 坪	60.45	应汉龙,2002
云南	墨江	金厂	猫鼻梁子 M4	石英	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar 坪	59.67	应汉龙,2002
云南	墨江	金厂	猫鼻梁子 9704	石英	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar 坪	56.49	应汉龙,2002
云南	墨江	金厂	四十八两山 Sh2-c	石英	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar 坪	55.74	应汉龙,2002
云南	墨江	金厂	四十八两山 Sh2-a	石英	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar 坪	54.02	应汉龙,2002
云南	墨江	金厂	含金石英脉 HBM-105	石英	ESR	44.8	毕献武等,1996
云南	墨江	金厂	含金石英脉 HBM-63	石英	ESR	29.0	毕献武等,1996
云南	墨江	金厂金矿	金厂金矿 L3	锆云母	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar 坪	63.09	应汉龙,2002
云南	宁蒗	大火山	二长斑岩	全岩	K-Ar	37.6	邓万明等,1999
云南	宁蒗	萝卜地铜金矿	斑岩中	斜长石	Ar-Ar 坪	24.60	Wang D H et al.,2005
云南	宁蒗	脂肪沟铜金矿	含矿斑岩 ZFG10	斜长石	⁴⁰ Ar/ ³⁹ Ar 坪	58.62	王登红等,2005

续表

省区	产地	位置(样号)	岩石	试样	方法	年龄/Ma	资料来源
云南	宁蒗	脂肪沟铜金矿	含矿斑岩 ZFG10	斜长石	$^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 坪	24.54	王登红等,2005
云南	祥云	马厂箐	花岗斑岩	黑云母	K-Ar	48	胡祥昭等,1997
云南	祥云	马厂箐	角闪正长岩	钾长石	K-Ar	29	张玉泉等,1998
云南	元阳	大坪		石英	ESR	49.2	毕献武等,1996
云南	元阳	大坪 HBD-27		石英	ESR	48.3	何明友等,1997
云南	元阳	大坪 HBD-42		石英	ESR	58.0	何明友等,1997
云南	镇源	库独木	碱性煌斑岩	全岩	Rb-Sr	29.1	谭雪春等,1991
云南	镇源	老王寨	玄煌岩	全岩	Rb-Sr	49.3	谭雪春等,1991
云南	镇源	老王寨	煌斑岩,矿化	金云母	Rb-Sr	28.2	罗君烈等,1994
云南	镇源	老王寨	云煌岩	磷灰石	裂变径迹	27.1	黄智龙等,1997
云南	镇源	老王寨	云斜煌斑岩	磷灰石	裂变径迹	22.7	黄智龙等,1997
云南	镇源	老王寨 L-12		石英	ESR	54.2	何明友等,1997
云南	镇源	老王寨 L-48		石英	ESR	37.9	何明友等,1997
云南	镇源	老王寨冬瓜林	煌斑岩岩脉	金云母	Ar-Ar	36.1	胡云中等,1995
云南	镇源	老王寨浪泥塘	煌斑岩岩脉	金云母	K-Ar	30.95	胡云中等,1995
云南	中甸	烂泥塘	闪长玢岩 GX16-2406-1	石英	ESR	29.2	李光勋,1999

注:转引自[23],补充了部分尚未发表的新资料。

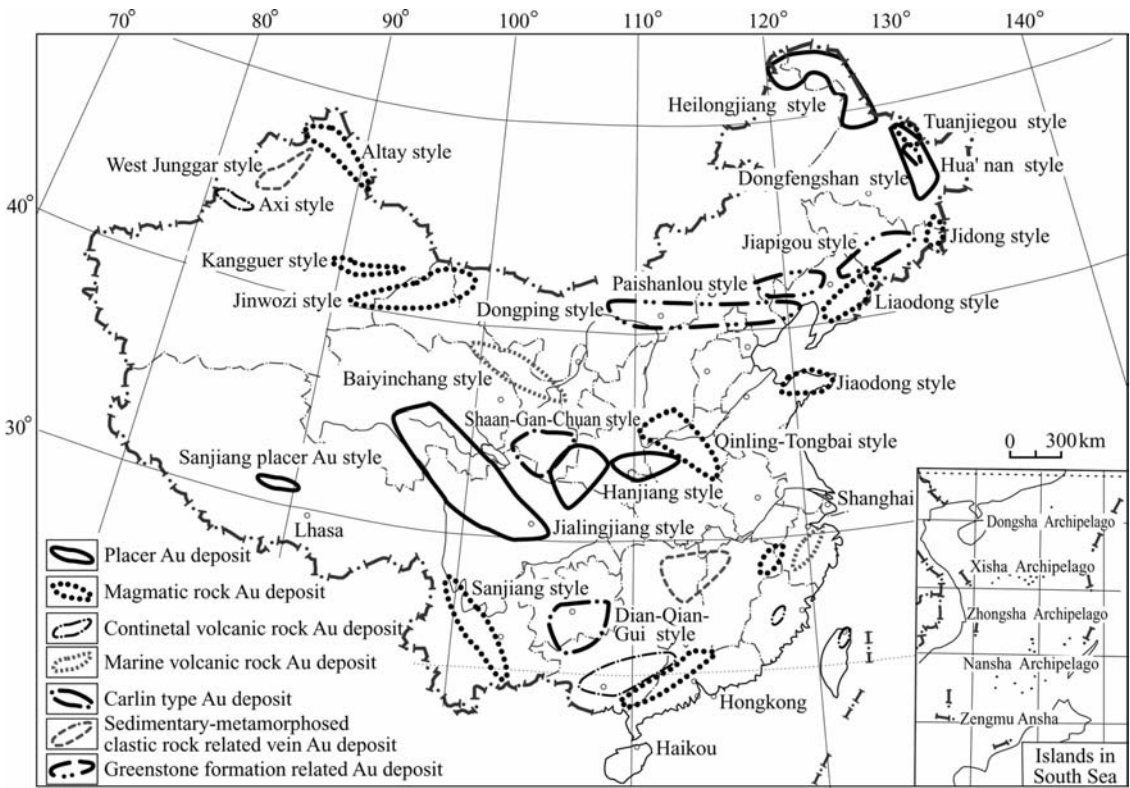


图 1 中国代表性金矿及矿集区分布示意图
Fig. 1 Distribution map of typical gold deposits and concentrated areas in China

矿床的成矿系列是指在一定的地质历史时期或构造运动阶段,在一定的地质构造单元及构造部位,与一定的地质成矿作用有关的一组具有内在成因联系的矿床的自然组合。陈毓川等(2001)在划分矿床成因类型的基础上,依据金矿成矿时代和主导成矿作用性质、类型的不同,将中国主要类型岩金矿床划

分为 39 个成矿系列,其中新太古代—古元古代 3 个,元古宙 3 个,古生代 9 个,中生代 20 个,新生代 4 个^[17,29]。显然,在中国,独立的金矿床成矿系列很少见,反映了中国金矿床与其他矿种密切共生或伴生的特点。这一成矿系列的厘定方案对近年来金矿地质找矿工作起到了积极作用。比如,赣南赣州地

区(图 2)是中国也是世界上钨尤其是黑钨矿最集中产出的地区,但对于金矿的研究程度较低。从矿床成矿系列的角度看,赣南地区钨矿和金矿属于同一时代的产物(留龙金矿的 Rb-Sr 等时线年龄为 (157 ± 4) Ma),在成因上也与燕山期花岗岩及花岗岩侵位过程中的构造运动关系密切,两者属于同一矿床成矿系列,因而对于该地区金矿的找矿潜力值得深入研究。

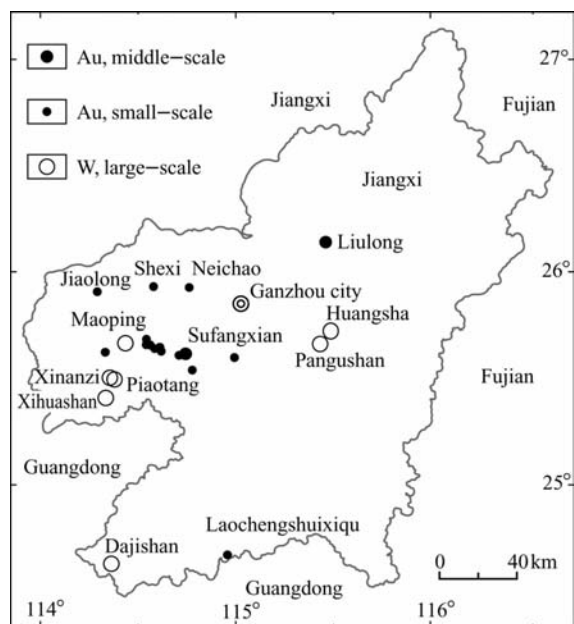


图 2 赣南地区金矿分布概况

Fig. 2 General distribution of gold deposits in Ganzhou area, Jiangxi Province

2 中国银矿床的主要成矿规律及找矿方向

2.1 中国银矿近年来的勘查进展

中国银矿资源分布不均,独立矿床比较少见,世界上一些重要类型的银矿床如玻利维亚波托西(Potosi)式的超大型银矿在中国尚未发现。但是,近年来在广东、四川和云南也先后找到富湾、夏塞和白秧坪等 5 000 t 或有可能接近于此规模的银矿床;在新疆彩霞山等地新发现的铅锌矿中伴生银的资源也相当可观,预示着规模宏大的天山成矿带(尚未成型银矿)同样具有银矿的找矿潜力。

2.2 中国银矿床的主要类型

中国银矿的工业类型主要有 6 大类型(表 3):①碳酸盐岩型银(铅锌)矿;②泥岩-碎屑岩型银矿;

③海相火山岩和火山-沉积岩型银矿;④千枚岩和片岩型银矿;⑤陆相火山和次火山岩型银矿;⑥脉状银矿(与铅锌矿工业类型相同)^[30-32]。根据目前地质找矿和资源潜力评价的需要,本文提出了主要服务于地质找矿的分类方案(表 3),其中最主要的包括热液型、海相火山岩型和陆相火山-次火山岩型银矿,是当前地质找矿的主要目标。比较重要的类型还有变质岩中的银矿、沉积岩型银矿和风化淋积型银矿,夕卡岩型银矿不太重要,但可以作为综合评价其他矿种的重要依据。

此处之所以强调“找矿类型”不等于成因类型和工业类型,实际上是考虑到了银矿与金矿一样在成因上极其复杂。对于一个新区而言,常常难以快速查明矿床的成因类型,因此,有必要从成矿地质条件出发,考虑到成矿潜力的大小、找矿模型的选择及地质找矿手段的合理配置。例如,赋存于陆相火山岩系中的银矿床,与火山喷溢、次火山岩侵入有生成联系。矿床规模多具中型(浙江大岭口、河南皇城山、河北姑子沟),分布于中生代火山断陷盆地或火山岩带中。内蒙古的额仁陶勒盖银矿达大型规模。矿体形态多呈脉状、不规则脉状,厚度由较稳定到不稳定,矿石品位较富,但矿化不均匀。因此,虽然此类矿床在成因上也属于热液型,但在找矿过程中主要考虑的是火山作用及火山机构对于矿体赋存状态的制约意义。

2.3 中国银矿床的主要成矿时代

中国的银矿床以中、新生代为主,如广东的富湾银矿形成于新生代初期,云南的白秧坪银矿形成于新生代,四川的夏塞银矿形成于中生代后期(相当于拉拉米期),江西的冷水坑银矿形成于白垩纪。中新世银矿占总数的 68%^[33-34]。这与世界上银矿床的主要成矿时代是一致的。

2.4 中国银矿床的主要矿集区

中国的银矿以伴生银矿为主,无论是数量上还是储量上均如此。因此,银矿床的矿集区也与其他类型尤其是铅锌矿矿集区的分布密切相关。其中,火山岩控矿型的银矿分布比较广泛(图 3),出现了额仁陶勒盖、孟恩陶勒盖、山门、支家地、呷村和冷水坑等多个矿集区;变质岩中构造破碎带控矿型的银矿主要见于云南的白牛厂和河南的破山;沉积岩中与铅锌矿密切伴生的银矿出现在广东的凡口、云南的老厂和新疆的彩霞山等地;沉积岩中构造破碎带控制的银矿如广东的富湾等。

表 3 中国银矿找矿类型划分方案
Table 3 Classification of silver deposits in China

重要性	矿床类型	储量	矿床式	典型矿床	主要分布地区
主要	热液型银矿	42%	凡口式碳酸盐岩中串珠状似层状铅锌银矿	广东凡口	广东、湖南
			龙头山式礁灰岩中旋转囊状锡铅锌银多金属矿	广西大厂	广西、云南
			山门式大理岩中似层状脉状银矿	吉林山门	吉林
			乐马厂式灰岩—碎屑岩中似层状脉状银矿	云南乐马厂	云南
			富湾式碎屑岩中层间破碎带似层状银矿	广东富湾	广东
			凤凰山式碎屑岩中脉状银矿	广西凤凰山	桂、粤、湘、赣
			白秧坪式碎屑岩中似层状脉状银矿	云南白秧坪	西南三江
			庞西洞式混合糜棱岩中岩浆热液型脉状银矿	广东庞西洞	粤桂交界地带
			铁炉坪式混合片麻岩中破碎带蚀变岩型透镜状脉状银矿	河南铁炉坪	熊耳山地区
			虎家尖式千枚岩中破碎蚀变岩型脉状银矿	江西虎家尖	赣北地区
重要	海相火山岩型银矿	7%	夏塞式花岗岩接触带热液脉状银铅锌矿	四川夏塞	西南三江地区
			银洞沟式细碧角斑岩系脉状银金矿	湖北银洞沟	鄂豫陕交界
			嵩溪式碎屑岩—海相火山岩型脉状银矿	广东嵩溪	粤东
	陆相火山—次火山岩型银矿	21%	呷村式安山流纹岩系似层状铅锌银矿	四川呷村	西南三江地区
			老厂式玄武安山岩系银铅锌矿	云南老厂	昌宁—孟连地区
			额仁陶勒盖式火山岩型脉状银铅锌矿	内蒙古额仁陶勒盖	满洲里—呼伦贝尔
			冷水坑式花岗斑岩型银铅锌矿	江西冷水坑	赣东北地区
			银山式英安斑岩型银铜铅锌矿	江西银山	赣东北地区
	变质岩中银矿	8.1%	破山式变质岩破裂带中似层状银矿	河南破山	桐柏地区
	沉积岩型银矿	4%	白果园式灰岩泥岩中层状银铅矿	湖北白果园	鄂西、湘西
次要	风化淋积型银矿		银洞子式碎屑岩中层状银铅锌矿	陕西银洞子	柞水—山阳地区
	夕卡岩型银矿	18%	新格式淋滤迁移沉积型银锰矿	广东新格	粤西、罗定
			八家子式夕卡岩型脉状银矿	辽宁八家子	燕辽地区

注:储量比例由白鸽研究员统计。

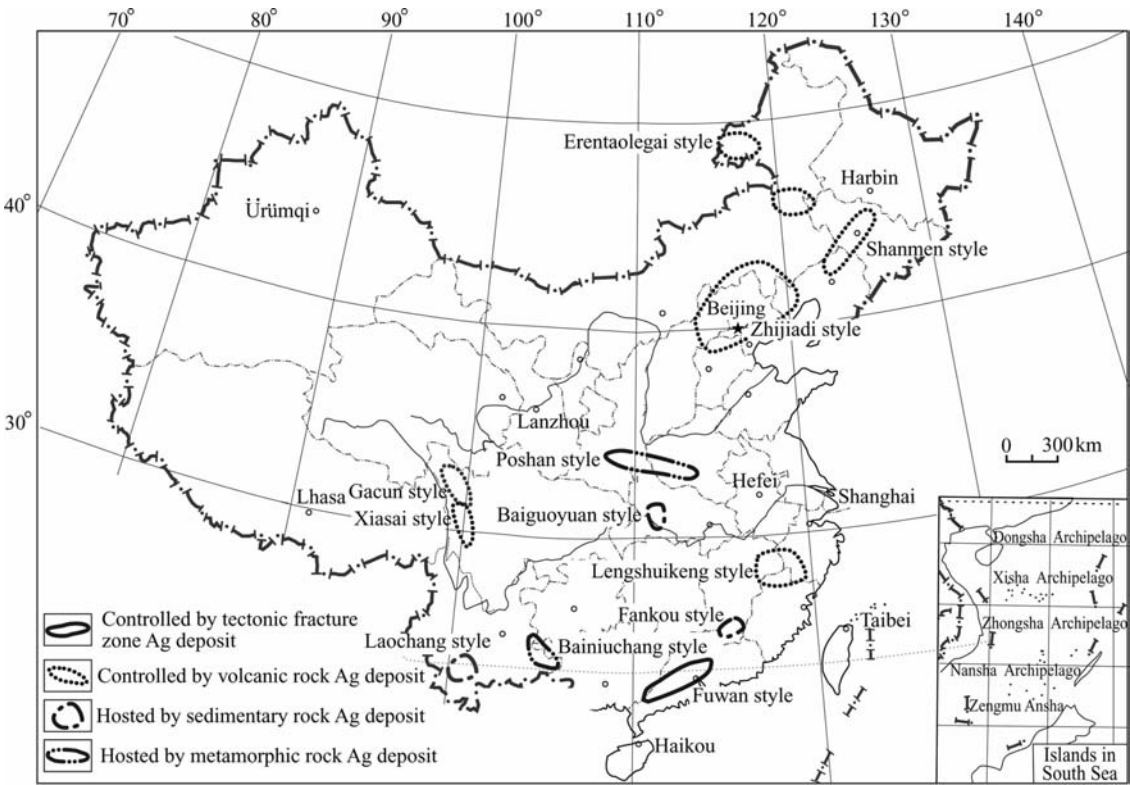


图 3 中国银矿类型分布示意图
Fig. 3 Distribution map of different types of silver deposits in China

2.5 中国银矿床的主要找矿方向

中国银矿分布较广, 成矿时代也多, 容矿围岩既有变质岩(如河南破山), 也有岩浆岩和沉积岩; 成矿背景既可能是造山带也可能是盆地, 但受到构造破碎带控制的现象比较明显。这与找矿方式有密切的关系, 因为化探异常比较容易揭示热液型(尤其是构造带控制的热液型)矿化线索, 因而铅锌矿中伴生银矿的比例较大, 独立银矿相对较少。相比之下, 国际上一些重要银矿类型如火山岩型金银矿在中国发现的矿产地虽然点多面广, 但规模无法与国外同类型银矿相比, 还需要研究成矿条件。当前需要加强对锰矿区和 Mn 异常区含银性的研究, 尤其是对中国东部中生代盆地断裂带与 Mn、Ag 化探异常吻合地区的综合评价工作, 并注意其剥蚀程度。

3 中国铂族元素矿床的主要成矿规律及找矿方向

3.1 中国铂族元素矿床近年来的勘查进展

中国铂族元素的地质找矿工作投入不多, 国外矿业公司(如英美公司)在四川等地有所投入但总体上工作程度还是比较低的。尽管如此, 四川等地的地勘单位还是发现了大岩子、三大湾、硫磺厂等新类型的矿床, 突破了单一的岩浆型矿床的找矿局限性, 开始注重寻找热液型或被构造-热液活动改造了的岩浆型铂矿, 尤其是注意了对寒武纪乃至更老地层中可能与海底火山-喷气作用有关的“五元素”或多元素矿床的综合评价。在一些老矿区或传统类型(铜镍硫化物矿床和钒钛磁铁矿)分布区也加强了综合评价, 同时加强了低硫化物强蚀变层位及岩体含矿性的评价, 期望在今后取得突破^[35]。

3.2 中国铂族元素矿床的主要类型

中国铂族元素矿床可以分为岩浆型、沉积型和热液型 3 大类, 以岩浆型为主, 可进一步分为铜镍硫化物型(包括四川的杨柳坪、云南的金宝山和甘肃的金川、新疆的喀拉通克等)、铬铁矿型(如西藏的罗布莎)、钒钛磁铁矿型(包括四川的攀枝花、河北的大庙和新疆的特克斯等)和玄武岩型 4 个亚类(表 4)^[36]。

3.3 中国铂族元素矿床的主要成矿时代

中国的铂族元素矿床形成于从前寒武纪到新生代的各个时代。其中, 前寒武纪铂族元素矿床主要分布在华北地台边缘; 早古生代铂族元素矿床集中在扬子地台周边并以沉积岩容矿型为主; 晚古生代

铂族元素矿床在攀枝花-西康地区最发育并与峨嵋地幔柱具有密切的成因联系(包括杨柳坪和金宝山), 但在新疆天山和秦祁昆成矿带中部具有一定的找矿前景; 中生代的铂族元素矿床在中国东部的夕卡岩型铜矿和斑岩型铜矿中伴生出现, 也具有综合利用的现实意义; 新生代的铂族元素矿床除了在华北地台北缘、天山、祁连山等地形成一些砂铂矿之外, 在三江和冈底斯的斑岩铜矿及蛇绿岩型铬铁矿中也伴生出现^[37]。

3.4 中国铂族元素矿床的主要矿集区

从目前的研究程度看, 中国铂族元素矿产资源的时空分布是很有规律的, 至少形成了 8 个重要成矿远景区(带)(图 4): ①黑龙江东北部显生宙成矿远景区(带); ②华北地台及其北缘前寒武纪成矿远景区(带); ③天山-祁连山古生代成矿远景区(带); ④秦岭-大别古生代成矿远景区(带); ⑤特提斯-喜马拉雅新生代成矿远景区, 可进一步分为班公湖-怒江中新生代成矿远景区(带)和雅鲁藏布江新生代成矿远景区(带)两个“带”; ⑥扬子地台西南缘元古宙-古生代成矿远景区(带); ⑦扬子地台前寒武纪-早古生代成矿远景区(带); ⑧长江中下游中生代成矿远景区。

3.5 中国铂族元素矿床的主要找矿方向

针对上述 8 个成矿区(带)各自成矿地质环境、成矿条件, 可以确定不同的找矿方向: 特提斯-喜马拉雅新生代成矿远景区(带)主要寻找与铬铁矿有关的蛇绿岩型伴生铂族元素矿床和与斑岩型铜矿有关的伴生矿床; 在扬子地台西南缘, 各种类型的铂族元素矿床都可能出现, 但以铜镍硫化物型、钒钛磁铁矿型和热液型为重点; 在扬子地台盖层区主要寻找赋存在黑色岩系中的铂族元素矿床; 在中国西北部天山-祁连山成矿远景区, 主要寻找铜镍硫化物矿床中伴生的铂族元素矿床、黑色岩系中赋存的铂族元素矿床以及铬铁矿型矿床和砂铂矿; 华北地台北缘也是多种类型, 但以钒钛磁铁矿型和铜镍硫化物型比较常见; 东北地区则出现铜镍硫化物型和斑岩型; 长江中下游的夕卡岩型铁铜矿床及斑岩型铜矿床均伴生有铂族元素^[36-38]。另外, 还有一些特殊类型需要特别注意, 如青海某地花岗岩区的铂矿、福建某地的硫铁矿型伴生铂矿、滇黔桂和山东等地金矿中伴生的铂族元素矿床等。

总之, 中国铂族元素矿床具有点多面广、类型杂、时代多的特点, 尤其是西南部地区是成矿条件最

表 4 中国铂族元素矿床的主要类型及与国内外典型矿床对比

Table 4 Major types of PGE deposits in China and the comparison to typical deposits home and abroad		四川	云南	国内其他地区	国外
大类	成因亚类	含矿岩体及岩石类型			
岩浆型	铜镍型	铁质超基性岩 铁质基性—超基性岩 铁质基性岩	核桃树、青矿山、秧田沟 杨柳坪、打矿山	朱布 金川、五星、红石湾、拉水峡 黄山东、大坡岭、赤柏松 喀拉通克、尾铜、红石磊、小南山	
	铬铁矿型	蛇绿岩、镁铁质—超镁铁质岩、科马提岩	徐麦	大道尔吉、罗布莎、东巧、小松山、高寺台、松树沟	南非布什维尔德、俄罗斯乌拉尔、澳大利亚、加拿大
	钒钛磁铁矿型	以基性为主的层状杂岩 以超基性为主的层状杂岩	攀枝花、白马、太和 新街、红格、石棉大河坝	安益 大庙、黑山 陕西汉南杂岩、新疆特克斯	芬兰 Penukat 福克斯河吉姆贝拉纳
外生沉积型	玄武岩型	大陆溢流玄武岩		寻甸	
	镍(钼)型	黑色岩系含碳(硅)质黑色页岩	盐源官房沟、峨眉龙池	大庸、慈利、织金、遵义、德泽、金溪	波兰蔡希斯坦、俄罗斯干谷
	砂铂型	现代河床、阶地、坡地风化壳		酸刺沟、红坑、阿尔腾哈拉	印度、俄罗斯乌拉尔
热液型	变质热液型	Pt-Pd-Au 矿床	石棉大河坝		美国怀俄明州
	岩浆热液型	Cu-Au-Pt 矿床	大田、大岩子	金宝山	美国内华达州
	低温热液型	U-PGE-Au 矿床	邛莫	拉尔玛	澳大利亚奥林匹克坝

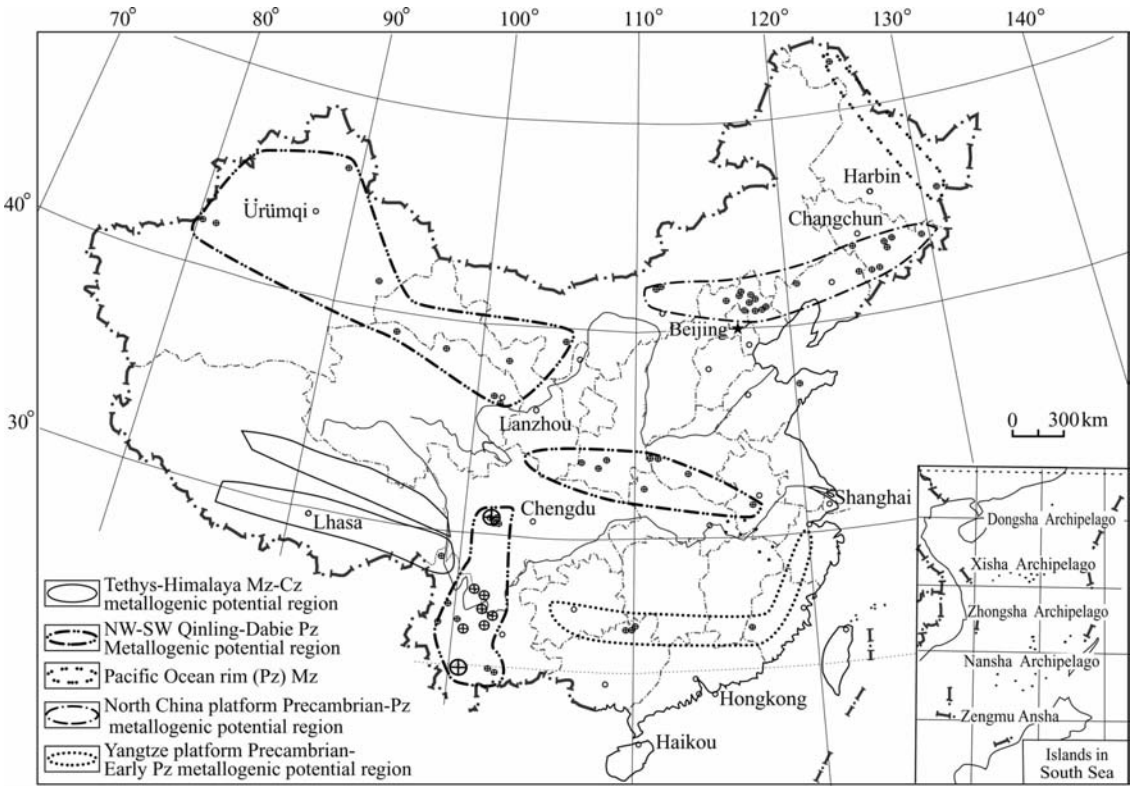


图 4 中国铂族元素矿床成矿区划简图

Fig. 4 Sketch map showing the distribution of the metallogenic prospective regions of PGE deposits in China

好而工作程度相对较高、已知矿产地最多的地区,应该加大投入,加深工作,取得找矿突破是有希望的。但是,也应该注意,这一地区多期次的大规模构造-热事件对于前期含矿构造层的影响非常明显,一方面可能破坏了原有的含矿岩体(乃至于破坏矿体)使之支离破碎,另一方面也可能由此而带来了更多的找矿线索。

References:

- [1] Chen Y C, Wang D H, Zhu Y S, et al. Chinese mineralization system and assessment of regional mineralization [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007: 1005 (in Chinese).
- [2] Luo Z K. Review on gold deposits in China [M]. Tianjin: Tianjin Science and Technology Press, 1993: 308 (in Chinese).
- [3] Wang D H, Ying H L, Liang H Y, et al. Cenozoic continental geodynamics and large scale mineralization in the Sanjiang (Nuijiang, Lancangjiang and Jinshajiang) region, China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2006: 208 (in Chinese).
- [4] Ying H L, Wang D H, Liu H L. Geology and formation time of nickel mineralization in Jinchang nickel-gold deposit, Mojiang, Yunnan [J]. Mineral Deposits, 2005, 24(1): 44-51 (in Chinese).
- [5] Shao J. Geological character of quartz vein type gold deposits in China [J]. Journal of Precious Metallic Geology, 1998, 7(3): 172-179 (in Chinese).
- [6] Fan Y X. Major types and geological features of gold deposits [M]. Beijing: China University of Geosciences Press, 1989: 178 (in Chinese).
- [7] Wang D H, Lin W W, Yang J M, et al. Controlling effects of the mantle plume on the Jiaodong and Dian-Qian-Gui gold concentration areas [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1999, 20(2): 157-162 (in Chinese).
- [8] Wang D H. New advance in exploration of Carlin-type gold deposits and its significance [J]. Geology-Geochemistry, 2000, 28(1): 92-96 (in Chinese).
- [9] Shen B F, Mao D B, Li J J. Type and geological character of Chinese greenstone belts gold deposits [J]. Progress in Precambrian Research, 1997, 20(4): 1-12 (in Chinese).
- [10] Yang W H, Liu Y M. Geochemistry of sediment-hosted gold deposits and their prospecting in China [J]. Geochimica, 1997, 26(1): 13-23 (in Chinese).
- [11] Wang D H, Chen Y C, Xu J, et al. Cenozoic Metallogeny in China, as a key to past mineralization and a clue to future prospecting [J]. Acta Geologica Sinica, 2000, 74(3): 478-484.
- [12] Li J C, Pang Q B, Li W K, et al. Commercial types of gold deposits in China [J]. Journal of Precious Metallic Geology, 1998, 7(2): 114-120 (in Chinese).
- [13] Li S, Li J C, Shao J, et al. Commercial types and its features of gold deposit in China [M]. Beijing: Seismological Press, 1999: 238 (in Chinese).
- [14] Shao X D, Li J C. The major commercial types and distributing characters of gold deposits in China [J]. Journal of Precious Metallic Geology, 2000, 9(3): 166-169 (in Chinese).
- [15] Wang S C, Chen Y L. Spatial distribution patterns and ore-finding strategy for large-sized gold deposits, China [J]. Earth Science-Journal of China University of Geosciences, 1999, 24(5): 455-458 (in Chinese).
- [16] Wang D H, Chen Y C, Xu J, et al. Discussion on associated deposits—examples from Changkeng Au deposit and Fuwan Ag deposit, Guangdong [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1999, 20(Suppl): 346-350 (in Chinese).
- [17] Chen Y C, Wang D H, Lin W W. Minerogenic series of gold deposits in China [J]. Mineral Deposits, 1998, 17(Suppl): 87-92 (in Chinese).
- [18] Wang Y W. Progress of age determination method of gold deposits and metallogenetic epoch of gold deposits in China [J]. Bulletin of Mineralogy, Petrology and Geochemistry, 1994, (1): 30-32 (in Chinese).
- [19] Li J J. Metallogenetic epoch of gold deposits in China [J]. Acta Geoscientia Sinica, 1998, 19(2): 215-220 (in Chinese).
- [20] Wang D H, Mao J W, Yan S H, et al. Episodes of Cenozoic gold mineralization on the eastern margin of the Qinghai-Tibetan Plateau: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ dating and implication for Geodynamic events [J]. Acta Geologica Sinica, 2005, 79(2): 233-253.
- [21] Chen B L. A discussion on the metallogenetic epoch of gold deposits in China [J]. Geology-Geochemistry, 2002, 30(2): 66-73 (in Chinese).
- [22] Feng S Z. Temporal and spatial distribution law of by-product gold deposits in China [J]. Contributions to Geology and Mineral Resources Research, 2004, 19(2): 71-75 (in Chinese).
- [23] Wang D H, Chen Y C, Xu J, et al. Cenozoic mineralization in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2005: 853 (in Chinese).
- [24] Wei Y F, Sun P J. Gold deposits in China [M]. Beijing: Seismological Press, 1994: 326 (in Chinese).
- [25] Ding S J, Zhai Y S, Deng J. Fractal analysis of gold deposit distribution in China [J]. Geological Review, 1998, 44(2): 188-193 (in Chinese).
- [26] Pei R F, Xiong Q Y, Xu S F, et al. Isopycnal map of Chinese gold deposits (occurrences) and predication of metallogenetic prospect [J]. Earth Science—Journal of China University of Geosciences, 1999, 24(5): 449-454 (in Chinese).
- [27] Ye S Y. The types and prospecting direction of superlarge gold deposits in China [J]. Journal of Precious Metallic Geology, 1996, 5(2): 120-127 (in Chinese).
- [28] Zhou G H, Ouyang Z Q, Li H, et al. Prospecting models of major types of gold deposits in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 1996 (in Chinese).
- [29] Chen Y C, Li Z N, Mu R S, et al. Gold deposits and Metallogeny in China [M]. Beijing: Geological Publishing House, 2001: 465 (in Chinese).
- [30] Li S. Major types and its features of silver deposit in China [M]. Beijing: Seismological Press, 1996: 238 (in Chinese).
- [31] Zhang C H, Li J C, Liu B. A review on the classification of silver deposits in China [J]. Geology and Resources, 2006,

15(3): 238-240(in Chinese).

- [32] Li C Y, Liu T G, Ye L, et al. Large and super-large scale silver deposits related to volcanic rocks[J]. Science in China: Series D, 2002, 32(Suppl): 69-77(in Chinese).
- [33] Wang J C, Chen M Y, Xiao M H. The spacio-temporal distribution of silver deposits in China[J]. Jour Geol & Min Res North China, 1994, 9(1): 111-116(in Chinese).
- [34] Zhao Y M, Wu L S, Bai G, et al. Metallogeny of the major metallic ore deposits in China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2004; 411(in Chinese).
- [35] Wang D H, Liu Y Q. Present condition of study on platinum-group elements deposits and suggestion for prospecting it in Shandong Province[J]. Land and Resources in Shandong Province, 2003; 18-22(in Chinese).
- [36] Wang D H, Luo Y N, Qu W J, et al. Geology, geochemistry and prospecting of PGE deposits in SW China[M]. Beijing: Geological Publishing House, 2007; 335(in Chinese).
- [37] Wang D H, Qu W J, Li C J, et al. Geological and geochemical features of the Dayanzi Pt-Pd deposit, Huili, Sichuan and its implication for prospecting[J]. Geological Review, 2006, 52(2): 219-223(in Chinese).
- [38] Liu F S, Wang D H. Direction in prospecting for platinum-group metal deposits in China[J]. Regional Geology of China, 2000, 19(4): 434-439(in Chinese).
- [1] 陈毓川, 王登红, 朱裕生, 等. 中国成矿体系与区域成矿评价[M]. 北京: 地质出版社, 2007; 1005.
- [2] 罗镇宽. 中国金矿床概论[M]. 天津: 天津科学技术出版社, 1993; 308.
- [3] 王登红, 应汉龙, 梁华英, 等. 西南三江地区新生代大陆动力学过程与大规模成矿[M]. 北京: 地质出版社, 2006; 208.
- [4] 应汉龙, 王登红, 刘和林. 云南墨江金厂镍-金矿床镍矿化地质特征及形成时间[J]. 矿床地质, 2005, 24(1): 44-51.
- [5] 邵军. 中国石英脉型金矿床地质特征[J]. 贵金属地质, 1998, 7(3): 172-179.
- [6] 范永香. 金矿床主要类型及其地质特征[M]. 北京: 中国地质大学出版社, 1989; 178.
- [7] 王登红, 林文蔚, 杨建民, 等. 试论地幔柱对于我国两大金矿集中区的控制意义[J]. 地球学报, 1999, 20(2): 157-162.
- [8] 王登红. 卡林型金矿的找矿进展及其意义[J]. 地质地球化学, 2000, 28(1): 92-96.
- [9] 沈保丰, 毛德宝, 李俊建. 中国绿岩带型金矿床类型和地质特征[J]. 前寒武纪研究进展, 1997, 20(4): 1-12.
- [10] 杨蔚华, 刘友梅. 中国沉积岩型金矿床地球化学及找矿方向[J]. 地球化学, 1997, 26(1): 13-23.
- [12] 李景春, 庞庆邦, 李文亢, 等. 中国金矿床工业类型[J]. 贵金属地质, 1998, 7(2): 114-120.
- [13] 李舒, 李景春, 邵军, 等. 中国金矿床工业类型及其特征[M]. 北京: 地震出版社, 1999; 238.
- [14] 邵晓东, 李景春. 中国金矿床主要工业类型及其分布特征[J]. 贵金属地质, 2000, 9(3): 166-169.
- [15] 王世称, 陈永良. 中国大型金矿床空间分布规律及找矿方向[J]. 地球科学, 1999, 24(5): 455-458.
- [16] 王登红, 陈毓川, 徐珏, 等. 试论伴生矿床——以长坑金矿与富湾银矿为例[J]. 地球学报, 1999, 20(增刊): 346-350.
- [17] 陈毓川, 王登红, 林文蔚. 中国岩金矿床成矿系列[J]. 矿床地质, 1998, 17(增刊): 87-92.
- [18] 王义文. 金矿床定年方法进展及中国金矿成矿时代[J]. 矿物岩石地球化学通报, 1994, (1): 30-32.
- [19] 李俊建. 中国金矿床成矿时代的讨论[J]. 地球学报, 1998, 19(2): 215-220.
- [21] 陈柏林. 论中国金矿床成矿时代特点[J]. 地质地球化学, 2002, 30(2): 66-73.
- [22] 冯守忠. 中国伴生金矿床的时空分布规律[J]. 地质找矿论丛, 2004, 19(2): 71-75.
- [23] 王登红, 陈毓川, 徐珏, 等. 中国新生代成矿作用[M]. 北京: 地质出版社, 2005; 853.
- [24] 韦永福, 孙培基. 中国金矿床[M]. 北京: 地震出版社, 1994: 326.
- [25] 丁式江, 翟裕生, 邓军. 中国金矿床分布的分形研究[J]. 地质论评, 1998, 44(2): 188-193.
- [26] 裴荣富, 熊群尧, 徐善法, 等. 中国金矿床(点)等密度图与成矿远景预测[J]. 地球科学, 1999, 24(5): 449-454.
- [27] 叶胜勇. 中国超大型金矿床类型及找矿方向[J]. 贵金属地质, 1996, 5(2): 120-127.
- [28] 邹光华, 欧阳宗圻, 李惠, 等. 中国主要类型金矿床找矿模型[M]. 北京: 地质出版社, 1996.
- [29] 陈毓川, 李兆鼎, 母瑞身, 等. 中国金矿床及成矿规律[M]. 北京: 地质出版社, 2001; 465.
- [30] 李舒. 中国银矿床主要类型及矿床特征[M]. 北京: 地震出版社, 1996; 238.
- [31] 张春晖, 李景春, 刘斌. 中国银矿床分类[J]. 地质与资源, 2006, 15(3): 238-240.
- [32] 李朝阳, 刘铁庚, 叶霖, 等. 中国与火山岩有关的大型、超大型银矿床[J]. 中国科学: D辑, 2002, 32(增刊): 69-77.
- [33] 王静纯, 陈民扬, 肖孟华. 中国银矿床的时空分布[J]. 华北地质矿产杂志, 1994, 9(1): 111-116.
- [34] 赵一鸣, 吴良士, 白鸽, 等. 中国主要金属矿床成矿规律[M]. 北京: 地质出版社, 2004; 411.
- [35] 王登红, 刘玉强. 铂族元素矿床研究现状及对山东找铂矿的建议[J]. 山东国土资源, 2003; 18-22.
- [36] 王登红, 骆耀南, 屈文俊, 等. 中国西南铂族元素矿床地质、地球化学与找矿[M]. 北京: 地质出版社, 2007; 335.
- [37] 王登红, 屈文俊, 李纯杰, 等. 四川会理大岩子铂钯矿的地质地球化学特征及找矿前景浅析[J]. 地质论评, 2006, 52(2): 219-223.
- [38] 刘凤山, 王登红. 中国铂族金属矿床找矿方向初探[J]. 中国区域地质, 2000, 19(4): 434-439.