

古生代镁铁、超镁铁岩浆矿床成矿系列 与成矿作用*

汤中立 钱壮志 闫海卿 焦建刚

(长安大学, 陕西 西安 710054)

摘要 岩浆矿床一直受到人们的关注, 文章在对古生代 22 个岩浆矿床成矿系列及 23 个矿床式进行总结的基础上, 划分了中国古生代岩浆矿床类型, 归纳出岩浆矿床的 3 种成矿方式: ①岩浆侵入体成矿; ②与大陆溢流玄武岩有关的成矿; ③与蛇绿岩有关的成矿。对 Fe-V-Ti 的大规模成矿作用进行了总结。通过上述研究和总结, 提出了古生代岩浆矿床的勘查方向及存在的问题。

关键词 古生代 岩浆矿床 成矿系列 成矿作用

本文论述的岩浆矿床范畴, 是指古生代与超镁铁、镁铁质岩成矿作用有关的成矿系列类型, 这类矿床一般包含镍、铜、钴、铂族金属、钒钛磁铁矿、铬铁矿、金刚石、蛇纹石、玉石等许多具有重要经济价值和用途的矿产, 古生代正是这类矿床发育的重要时期。应当指出, 超镁铁、镁铁质岩浆和中酸性岩浆之间的成岩成矿以及演化关系还是一个有待深入研究的重大问题, 因此就一个特定的地质单元来说, 本文暂将这一系列类型的成矿系列限定于超镁铁、镁铁质岩浆成矿范畴。为了深入认识这类矿产的形成规律, 本文在古生代岩浆矿床成矿系列总结的基础上进行了初步的概括与讨论。

1 古生代岩浆矿床成矿系列与矿床式

古生代岩浆矿床成矿系列与矿床式主要分布于古亚洲成矿域、秦祁昆成矿域和扬子-华南成矿域, 共有 22 个 (图 1), 现列举于下。

1.1 古亚洲成矿域

(1) 北准噶尔造山带与镁铁-超镁铁岩建造有关的 Cu、Ni 矿床成矿系列 (喀拉通克式, 矿床规模: 大型, 成矿时代: 华力西中期)。

(2) 西准噶尔造山带与蛇绿岩建造有关的 Cr、石棉矿床成矿系列 (萨尔托海式, 矿床规模: 大型, 成矿时代: 奥陶-泥盆纪)。

(3) 东准噶尔造山带与蛇绿岩建造有关的 Cr、石棉矿床成矿系列 (平顶山式, 矿床规模: 小型, 成矿时代: 泥盆纪?)。

(4) 北天山与镁铁-超镁铁岩有关的 Ni、Cu 矿床成矿系列 (黄山式, 矿床规模: 大型, 成矿时代: 石炭纪末期)。

(5) 南天山与蛇绿岩有关的 Cr、石棉、滑石、蛇纹岩矿床成矿系列 (库米什式, 矿床规模: 小型, 成矿时代: 早古生代)。

*本文得到中国工程院咨询项目 (6/2001c) 和地质大调查综合研究项目 (K1.4-3-2) 和 (200110200058) 的资助

第一作者简介: 汤中立, 男, 1934 年生, 教授, 中国工程院院士, 从事岩浆矿床、区域成矿、地质矿产勘查及矿山环境研究。E-mail: zltang@sohu.com

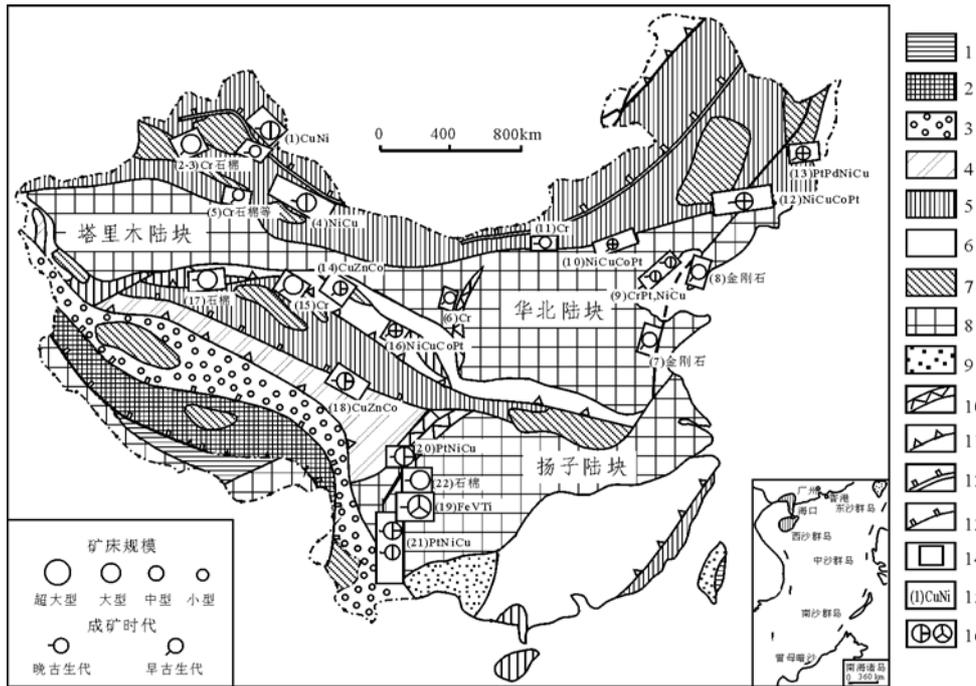


图 1 中国古生代镁铁、超镁铁岩浆矿床成矿系列时空分布图 (底图据李文渊, 1996 修改)

1~8 为造山带与古陆块: 1—新生代 (喜马拉雅), 2—白垩纪 (晚燕山), 3—侏罗纪 (早燕山), 4—三叠纪 (印支), 5—晚古生代 (华力西), 6—早古生代 (加里东), 7—微古陆块, 8—前寒武纪陆块; 9—叠置在古老褶皱带上的弧后和陆内盆地; 10—叠瓦大山脉; 11—消减带; 12—准噶尔-贺根山缝合线; 13—欧亚板块与其他板块缝合线; 14—成矿系列中矿床式分布区; 15—成矿系列号与主要矿种; 16—矿种相对主次示意

Fig. 1 Temporal and spatial distribution of Paleozoic metallogenic series of mafic-ultramafic magmatic deposits in China

(6) 华北陆块西部 (阿拉善, 宁夏) 与辉长岩有关的 Cr 矿床成矿系列 (小松山式, 矿床规模: 小型, 成矿时代: 加里东中期)。

(7) 华北陆块东南部受深源断裂控制的与金伯利岩有关的金刚石矿床成矿系列 (常马庄式, 矿床规模: 中型, 成矿时代: 加里东中期)。

(8) 华北陆块东北部与金伯利岩有关的金刚石矿床成矿系列 (瓦房店式, 矿床规模: 中型, 成矿时代: 加里东中期)。

(9) 华北陆块北缘中段与镁铁-超镁铁岩有关的 Cr、Pt、Ni、Cu 矿床成矿系列 (高寺台式 Cr、Pt 矿床, 矿床规模: 小型, 成矿时代: 华力西期; 铜碛子式 Ni、Cu 矿床, 矿床规模: 小型, 成矿时代: 华力西期)。

(10) 华北陆块北缘西段与基性-超基性岩有关的 Ni、Cu、Co、Pt 矿床成矿亚系列 (小南山式, 矿床规模: 小型, 成矿时代: 华力西期)。

(11) 内蒙古华力西期造山带与蛇绿岩有关的 Cr 矿床成矿系列 (索伦山式, 矿床规模: 小型, 成矿时代: 华力西期)。

(12) 张广才岭造山带与镁铁-超镁铁岩有关的 Ni、Cu、Co、Pt 矿床成矿系列 (红旗岭式, 矿床规模: 大型, 成矿时代: 华力西中期)。

(13) 小兴安岭-张广才岭-太平岭造山带与基性-超基性岩有关的 Pt、Pd、Ni、Cu 矿床成矿系列 (五星式, 矿床规模: 小型, 成矿时代: 早加里东期)。

1.2 秦祁昆成矿域

(14) 北祁连与蛇绿岩有关的 Cu、Zn、Co 成矿系列 (石居里式, 矿床规模: 中型, 成矿时代: 加里东期)。

(15) 中祁连南侧西段与蛇绿岩有关的 Cr 成矿系列 (大道尔吉式, 矿床规模: 大型, 成矿时代: 加里东期)。

(16) 中祁连南侧东段与超镁铁侵入岩建造有关的 Ni、Cu、Co、Pt 矿床成矿系列 (拉水峡式, 矿床规模: 小型, 成矿时代: 加里东期)。

(17) 阿尔金造山带与蛇绿岩有关的蛇纹石石棉矿床成矿系列 (茫崖式, 矿床规模: 大型, 成矿时代: 华力西期)。

(18) 东昆仑南部与蛇绿岩有关的 Cu、Zn、Co 成矿系列 (德尔尼式 Cu、Zn、Co 矿, 矿床规模: 大型; 赛什塘式 Cu 矿, 矿床规模: 大型, 成矿时代: 华力西期)。

1.3 扬子-华南成矿域

(19) 扬子陆块西缘西昌-攀枝花与富铁超镁铁-镁铁岩有关的 Fe、V、Ti 矿床成矿系列 (攀枝花式、太和式、白马式、红格式等, 矿床规模: 超大型, 成矿时代: 华力西晚期)；

(20) 扬子陆块西缘丹巴-会理-元谋与铁质镁铁-超镁铁岩有关的 Cu、Ni、PGE 矿床成矿系列 (一类是贫 PGE 的 Cu-Ni 矿床, 如力马河式, 矿床规模: 中型; 一类是贫 Cu-Ni 的铂钯矿床, 如朱布式, 矿床规模: 小型; 还有一类为含 PGE 的 Cu-Ni 矿床, 如丹巴杨柳坪式, 矿床规模: 大型, 成矿时代: 华力西期)。

(21) 扬子陆块西缘大理-弥渡-金平与铁质镁铁-超镁铁岩有关的 Cu、Ni、PGE 矿床成矿系列 (金宝山式铂钯矿床, 矿床规模: 大型, Rb-Sr 同位素年龄 304.87 Ma (杨延年, 1998, 转引自陶琰, 2002); 白马寨式 Cu-Ni 矿床, 矿床规模: 中型, 该矿床辉石岩中锆石 U-Pb 年龄为 $(302 \pm 9.2) \text{ Ma}$, 本项目测定)。

(22) 扬子陆块西缘石棉县一带与镁质超镁铁岩有关的蛇纹石石棉矿床成矿系列 (四川石棉县石棉矿床, 有用矿产除石棉外, 还有滑石、蛇纹石、角闪石石棉。矿床规模: 大型, 成矿时代: 华力西期)。

2 古生代岩浆矿床类型

在前述成矿系列和矿床式的基础上, 按照构造背景、侵位方式、岩体规模、主要岩石、矿床式、矿床规模和主矿元素将中国古生代岩浆矿床类型划分如表 1, 并说明于下。

(1) 本表基本包含了古生代已知成矿矿种全部超大型、代表性大型和部分具成因意义的中小型岩浆矿床式, 具有较好的代表性。

(2) 具有两种成矿背景, 即古大陆 (克拉通) 和造山带。古大陆上的大部分重要岩浆矿床都发育于克拉通边缘, 与那里曾经发生过的裂谷作用或大规模溢流玄武岩有关, 造山带中有产于侵入体和蛇绿岩中的两类岩浆矿床, 前者常常发育于造山作用的弛张环境, 后者通常形成于地史中的洋脊和洋壳环境, 构造迁移并残留于现代相关的造山带中。

(3) 关于小侵入体, 笔者提出过一种划分意见 (汤中立, 2002): 即以岩体面积 10 km^2 为小侵入体的上限。与小侵入体有关的成矿作用, 即为小侵入体成矿, 这是中国侵入岩体的主要成矿方式。

(4) 由于现代造山带中的蛇绿岩代表一种洋壳的残片, 是“非原地”形成的, 因此它们的规模与赋存的矿体之间, 不具必然的联系。

(5) 按照岩浆矿床产出的两种构造背景、3 种侵位方式, 结合主矿元素将中国古生代岩浆矿床划分为 12 种主矿元素类型和 23 个矿床式。

3 古生代岩浆矿床成矿方式与大规模成矿作用

3.1 成矿方式

上述岩浆矿床成矿系列与矿床式可归纳为 3 种成矿方式: 即岩浆侵入体成矿、与大陆溢流玄武岩有关的成矿和与蛇绿岩有关的成矿。

表 1 中国古生代岩浆矿床类型

Table 1 Types of Paleozoic magmatic deposits in China

构造环境和侵位方式	岩体规模	主要岩石	矿床式	矿床规模	主矿元素类型
古大陆 (克拉通)					
侵入体					
	小	辉长岩、辉绿岩	铜硼子式	小	Ni, Cu, Co, Pt
	小	辉长岩	小南山式	小	Ni, Cu, Co, Pt
	小	单辉橄岩-辉长岩	小松山式	小	Cr
	小	金伯利岩	常马庄式	中	金刚石
	小	金伯利岩	瓦房店式	中	金刚石
与大陆溢流玄武岩有关侵入体					
	大	辉长岩	攀枝花式、白马式、太和式、红格式	超大	Fe, V, Ti
	小	闪长岩-辉长岩-橄岩	力马河式	中	Ni, Cu, Co, Pt
	小	辉长岩-辉石岩-橄岩	白马寨式	中	Ni, Cu, Co, Pt
	小	辉绿辉长岩-橄岩	金宝山式	大	Pt, Pd, Ni, Cu
	小	辉长岩-橄岩	杨柳坪式	大	Pt, Pd, Ni, Cu
造山带					
侵入体					
	小	顽火辉石岩	红旗岭式	大	Ni, Cu, Co, Pt
	小	辉长岩-橄岩-二辉橄岩	黄山式	大	Ni, Cu, Co, Pt
	小	苏长岩-橄岩苏长岩	喀拉通克式	大	Ni, Cu, Co, Pt
蛇绿岩					
	小	纯橄岩-单辉辉石岩	大道尔吉式	大	Cr
	小	斜辉辉橄岩	萨尔托海式鲸鱼式	大	Cr, 石棉等
	小	斜辉橄岩-斜辉辉橄岩-纯橄岩	石棉县式、茫崖式	大	石棉、蛇纹石等
	小	玄武岩-火山碎屑岩-碧玉	石居里式	中	Cu, Zn
	小	辉石岩-橄岩-斜辉辉橄岩	德尔尼式	大	Cu, Zn, Co, S

(1) 岩浆侵入体成矿：指来自深源地幔的镁铁质超镁铁质岩浆一次或多次侵入地壳的现存空间成岩成矿，一般形成几个至几十个岩体（甚至更多）组成的岩体群或岩体带，而成矿的岩体通常只有一个或几个。古生代该类成矿方式的有 1、4、6、7、8、9、10、12、13、16 共 10 个岩浆矿床成矿系列的矿床式；

(2) 与大陆溢流玄武岩有关的成矿方式：指地史时期与大规模大陆溢流玄武岩相关的成岩成矿。这种方式的特点之一就是侵入岩体的分布与溢流玄武岩有密切的空间关系，它包含古生代的 19、20、21 共 3 个岩浆矿床成矿系列的矿床式；

(3) 与蛇绿岩有关的成矿方式：蛇绿岩岩石组合由下而上一般包括超镁铁杂岩、辉长质堆积杂岩、镁铁质席状岩墙杂岩和镁铁质火山杂岩（含枕状构造）4 部分（科尔曼，1992；张旗等，2000），不同部分的成矿作用不尽相同，通常成矿是在洋壳的生成和迁移阶段，由于构造侵位而以残片被保留于造山带中。残片代表的部位不同，显现了成矿的多样性。因此这里包含古生代的 2、3、5、11、14、15、17、18、22 共 9 个岩浆矿床成矿系列的矿床式。

3.2 古生代岩浆矿床大规模成矿作用

古生代发育了 22 个岩浆矿床式，加里东期 10 个、华力西期 12 个，这是岩浆矿床爆发期，主矿元素以 Fe、V、Ti、Ni、Cu、Co、Pt、金刚石、Cr、石棉、Cu、Zn、Co 为主，其高峰期为古生代末期，以峨眉玄武岩喷发和超大型攀枝花式、太和式、白马式、红格式（Fe-V-Ti）等矿床的形成标志。

在中国大陆的古生代岩浆矿床中，Fe-V-Ti、石棉、金刚石 3 类矿床具有大规模成矿作用，所成矿床已构成中国的重要资源。其中攀枝花式、太和式、白马式、红格式（Fe-V-Ti）是世界级超大型矿床。以下就其大规模成矿作用予以总结。

扬子陆块西部康滇地块内重要的镁铁岩-超镁铁岩带北起川西北丹巴，经康定、西昌、会理至滇北元谋一带，呈南北向展布，长约 560 km。岩带北部较窄，宽约十余公里，往南有逐渐散开的趋势，在会理、攀枝花一带最宽，约百公里。岩带共包括岩体约 300 余个，其中超基性、基性、基性-超基性杂岩体大约各占三分之一。钒钛磁铁矿是岩带内最具特色的矿产，储量占全国钒钛磁铁矿储量的 95%，其中 V、Ti 储量还居世界首位。具超大型规模的矿床有攀枝花、会理红格、西昌太和、米易白马 4 处钒钛磁铁矿矿床。

岩带内岩体形成于多个构造-岩浆期，但据宏观地质依据等分析，产有钒钛磁铁矿的层状富铁镁铁-超镁铁岩体与峨眉山玄武岩为同源、同期、异相的产物，主要依据是：与钒钛磁铁矿有关的富铁镁铁-超镁铁岩体在空间上与峨眉山玄武岩紧密相伴，且与顶板玄武岩围岩产状一致；在化学成分上，岩带中含钛铁矿岩体与玄武岩十分相近，且都富含 TiO_2 （3%~4%）；在区域上，峨眉山玄武岩普遍覆盖在早二叠世茅口灰岩之上，玄武岩顶部覆盖着晚二叠世中期的龙潭组煤系地层。这也表明与钒钛磁铁矿有关的富铁镁铁-超镁铁岩体和峨眉山玄武岩成岩时代相近，为同一构造-岩浆事件的产物。

据岩石化学和微量元素分析，本区含矿岩体属拉斑玄武岩系列，成矿岩浆是由上地幔部分熔融产生的。由于深部岩浆房发生结晶分离和熔离作用，形成了富钛铁的镁铁质岩浆和含矿质少的玄武质岩浆。这些岩浆沿南北向深断裂同期先后侵位，脉动式贯入，形成相应的岩浆矿床和喷溢玄武岩。这种岩浆成矿作用在不少地区都可能发生，但为何在扬子地块西部会发生如此大规模的基性岩浆活动和以钒钛磁铁矿为主的大规模成矿作用？除了一般的岩浆成矿作用外，还应当有特定的地质背景或环境（翟裕生，2001）、巨量的成矿物质供给、持续的能量系统、优越的运输通道和适宜的堆积场所。目前认为，分布面积巨大的峨眉山玄武岩可能是二叠纪地幔柱的直接产物（张招崇等，2001；徐义刚，2002；卢记仁，1996）。就地幔柱与成矿关系而言，根据实验结果推断^①，形成矿床的岩浆来源于上地幔的上部，在上地幔部分熔融过程中，Fe、Ti 等成矿元素活化迁移，并原始富集于液相分离物中，这种液相分离物为富含钛、铁等成矿物质的含矿岩浆，而地幔柱活动则可能是上地幔部分熔融的驱动力。另外地幔柱本身具有足够的物质和能量，不仅能带来 Fe、Ti 等成矿物质，而且还能够导致周围环境中的正常地幔物质发生部分熔融，熔融部分被地幔柱吸纳、上升和侵位，经过岩浆结晶分离作用和熔离作用，形成一些与铁镁-超铁镁质岩有关的 V、Ti、Fe 矿床。

需要说明的是，与二叠纪峨眉山玄武岩岩浆大规模活动时期相近，在中国的东天山—北山、塔里木及准噶尔等地区亦出现了与造山期后伸展作用相伴的较大范围的镁铁、超镁铁岩浆活动和成矿作用，由此揭示了在中国大陆，镁铁、超镁铁岩成矿在古生代晚期是一个成矿演化的高峰期，这对指导今后的区域成矿预测研究是十分重要的。

4 结 语

除元古代外，古生代是中国大陆岩浆矿床发育的主要时期，本文总结的成矿系列在全国范围内具有代表性，且总结的 3 种成矿方式是该类矿床勘查的主要方向。在已知矿床式的深部、外围和新区勘查中都应给予足够的重视。其中在研究岩浆侵入体成矿方式时，要重视与小侵入体有关的成矿；在研究与溢流玄武岩有关的成矿方式时，除应加强对峨眉玄武岩有关的研究之外，还应重视地史上在其他地区已经

① 桑祖南，夏 斌. 2003. 峨眉地幔柱对攀西 V-Ti 磁铁矿矿床的成矿影响. 峨眉地幔柱与资源环境效应学术研讨会文集.

出现的大面积基性喷发事件和可能存在的成矿作用,如塔里木古陆东北缘二叠纪大规模基性喷发事件和东天山—北山、准噶尔等地区的同期侵入体成矿等。

参考文献

- 李文渊. 1996. 中国铜镍硫化物矿床成矿系列与地球化学[M]. 西安: 西安地图出版社.
- 汤中立. 2002. 中国的小岩体岩浆矿床[J]. 中国工程科学, 4(6): 9~12.
- 科尔曼 R G. 1992. 蛇绿岩(Ancient Oceanic Lithosphere)[M]. 北京: 地质出版社.
- 张旗, 钱青, 王焰. 2000. 蛇绿岩岩石组合及洋脊下岩浆作用[J]. 岩石矿物学杂志, 19(1): 1~7.
- 翟裕生. 2001. 矿床学的百年回顾与发展趋势[J]. 地球科学进展, 16(5): 719~725.
- 张招崇, 王福生, 范蔚茗, 等. 2001. 峨眉山玄武岩研究中的一些问题的讨论[J]. 岩石矿物学杂志, 20(3): 239~246.
- 徐义刚. 2002. 地幔柱构造、大火成岩省及其地质效应[J]. 地学前缘, 9(4): 341~353.
- 卢记仁. 1996. 峨眉山地幔柱的动力学特征[J]. 地球学报, 17(4): 424~438.

Metallogenic Series and Ore-forming Processes of Mafic-Ultramafic Magmatic Deposits in Paleozoic Era

Tang Zhongli, Qian Zhuangzhi, Yan Haiqing and Jiao Jiangang
(Chang'an University, Xi'an 710054, Shaanxi, China)

Abstract

Much importance has always been attached to magmatic deposits. Based on a summarization of twenty-two Paleozoic metallogenic series of magmatic deposits and twenty-three ore deposit models, this paper has classified types of Paleozoic magmatic deposits in China, and generalized three kinds of metallogenic patterns for magmatic deposits. They are (1) mineralization of magmatic intrusion, (2) mineralization associated with continental flood basalt; (3) mineralization related to ophiolites. The large-scale Fe-V-Ti mineralization is also summarized. The prospecting directions and existing problems related to Paleozoic magmatic deposits are also discussed in this paper.

Key words: Paleozoic, magmatic deposit, metallogenic series, metallogenesis