

铂族元素矿床特征及成因分类探讨

刘洪文

(吉林省地质调查院, 吉林 长春 130061)

[摘 要] 在收集国内外铂族元素矿床地质特征的基础上, 审视了国内外不同学者对铂族元素矿床的分类方案, 综合矿床容矿岩石类型、共生元素组合、矿化类型和矿床类型并结合形成环境, 对铂族元素矿床进行了系统的总结和分类, 划分为四类十二亚类。同时重点论述了具有开发前景的典型铂族元素矿床的基本特征、成矿物质来源和形成环境及成矿的关键问题。

[关键词] 铂族矿床; 成因分类; 矿床特征

[中图分类号] P578.1⁺² [文献标识码] A [文章编号] 1001-2427 (2002) 04-0001-08

世界铂族元素的矿产勘探始于 1775 年, 继美国在哥伦比亚发现砂铂(族)矿之后, 1822 年在乌拉尔发现富铂砂矿, 1919 年又在加拿大肖德别里铜-镍矿床、阿扎尼亚布什维尔德铬铁矿床等世界级岩浆矿床内发现了伴生的铂族元素矿产。20 世纪 80 年代, 在俄罗斯、美国、加拿大、波兰等国又新发现并勘探了黑色含碳页岩、斑岩和矽卡岩型金、铜矿床伴生的铂矿。我国的铂族元素勘探始于 20 世纪 50 年代末 60 年代初, 相继确定了与超镁铁质岩和基性-超基性杂岩有关的铬铁矿床(如: 内蒙古锡盟赫根山、宁夏松山等地铬铁矿床)和铜镍硫化物矿床(甘肃金川、云南弥度金宝山、甘肃白家嘴子、四川攀枝花、杨柳坪等)、斑岩铜矿(如: 德兴斑岩铜矿)和矽卡岩型铜矿床(如: 铜关山)的铂族元素伴生矿床。目前, 华南地区的下寒武统黑色含碳页岩层位的铂族元素富集倍受关注。这些研究为我们进一步探讨铂族元素床学理论提供了重要依据。本文根据国内外的研究现状, 对该类型矿床主要类型的基本特征和成矿背景进行了系统研究, 从区域成矿学角度出发, 探讨铂族矿床的成因分类。

1 铂族元素矿床分类

有关铂族元素矿床已有多种分类(如: A.J. Naldrett, Cabri, and A.J. Naldrett, A.J. MacDonald, L.J. Hulberr, et al., 杨星等, 梁有彬等)^[1-3], 但目前为止, 还没有哪一个分类被广泛采纳。其中, Naldrett (1981) 的分类是以矿石硫化物或氧化物组合为基础, 划分为内生和外生两大类和十个亚类; MacDonald (1987) 的分类是以矿床成因为依据, 划分正岩浆型、热液型和冲积型三类; L.J. Hulberr, et al. (1988) 以岩石组合为基础, 划分三大类、六个亚类。我国学者在铂族元素矿床分类方面也作出了重要贡献, 以杨星等 (1993) 的分类为代表将中国铂族元素矿床成因类型划分为岩浆型、热液型和砂铂矿型三大类, 而梁有彬等 (1998) 根据地质环境、容矿岩石类型、共生元素组合、成矿性质、矿化类型等, 将中国铂族元素矿床进一步划分三大类九亚类。笔者在总结大量有关铂族元素典型矿床特征的基础上, 根据矿床容矿岩石类型、共生元素组合、矿化类型和矿床

[收稿日期] 2002-08-09; [修订日期] 2002-11-07

[作者简介] 刘洪文 (1962 -), 男, 吉林扶余人, 吉林大学地球化学博士。

成因并结合形成环境,进行了系统总结和分类,共划分四类十二个亚类(表1)。

(1) 岩浆型铂族元素矿床:是指深源或幔源岩浆演化过程经分离、熔离或被混染作用形成的矿床。矿化主要与超基性—基性杂岩有关(包括那些与之有关的热液富集作用形成的铂族元素矿床),其三亚类矿床虽然在形成环境、矿化和岩浆类型上有一定的差别,但它们矿化有时在同一杂岩体内的不同部位可同时出现(如:布什维尔德)。

(2) 岩浆热液型铂族元素矿床:指在岩浆热液直接作用下形成铂族元素矿床。其相关岩浆主要是浅成、超浅成高钾钙碱性中酸性侵入岩,包括成岩和沉积喷气环境中形成的铂族元素矿床,为伴生矿床。相对来讲,可供开采的该类型矿床中石英脉型的伴生矿产为数极少,主要是斑岩型铜矿床、矽卡岩型矿床的伴生矿产。

(3) 非岩浆热液型铂族元素矿床:是指产在沉积—变质岩区或构造岩区与岩浆作用无明显关系的中低温热液铂矿床,成矿与含碳黑色页岩系关系密切,并且有一定程度的热液叠加作用。由于该类型矿床对世界铂族元素总产量的贡献有日益增大的趋势,目前已引起国内外的广泛关注。

(4) 表生铂族元素矿床:人们知道的铂族元素主要富集在冲积物和残积物中。事实上,直到20世纪20年代早期,河流砂矿还是铂族元素的唯一商业来源。最大的砂矿产地在哥伦比亚的圣胡安和阿特腊透河地区以及俄罗斯的乌拉尔山。在北美,不列颠哥伦比亚的塔拉明河和阿拉斯加的古德纽斯湾一直是重要的产区。虽已有铂族元素通过残积作用(例如在红土)得以富集的报导,但到目前为止,还未能从中回收到有经济价值的产品。

表1 铂族元素矿床的成因分类

Table 1 Genetic classification of platinum group element deposit

类	亚类	形成环境	典型实例
岩浆型	铜镍硫化物型	与层状侵入体有关的矿床,多产在地台或地台边缘,与不规则侵入体有关多产在造山带和深断裂	国外的塘普森、斯蒂尔沃特、皮科特皮斯、津巴布韦大岩墙、肖德别里、诺尔卡斯、布什维尔德、贝辰加地台边缘,与不规则侵入体有关多产在造山带和深断裂
	铬铁矿型		国外的布什维尔德 UG-2、肖德别里、肯皮尔赛、斯蒂尔沃特等,我国的大道尔吉、罗不莎、松树沟等
	钒钛磁铁矿型		国外的古谢沃科尔、彼尔乌拉尔、察金、马里奥科、圣加布里埃尔、马格皮耶等,我国的攀枝花、大庙—黑山、红格等
岩浆热液型	斑岩型	岛弧和大陆边缘为主	国外的宾厄姆、潘古纳、格拉斯贝格、奥克特迪、伯利恒等,德兴、玉龙、多宝山等
非岩浆热液型	矽卡岩型	大陆边缘	国外的萨亚克等,我国的大红山、铜观山、大冶等
	火山—沉积型	大陆边缘	铜井等
	石英脉岩型	大陆边缘	夹皮沟等
表生型	黑色碳质页岩型	前陆盆地	干谷(Pt ₂)、育空(D)、蔡希斯坦、印第安纳(D)—密西西比(C ₁)—俄克拉荷马西西比系(C ₂₋₃),华南(下寒武统)、金山(Pt ₂)等
	黑色含碳构造岩型脉岩型	造山带或深断裂 造山带	奥斯平斯克等 三道沟、大红山
表生型	冲积	大陆河流和海湾	哥伦比亚 Choco area San Juan and Attrato river、乌拉尔、阿拉斯加古德纽斯湾
	残积	原生含铂矿床风化	西澳大利亚 Gilgarnia Rocks

2 主要矿床类型的基本特征

在以上分类中，岩浆型、岩浆热液、非岩浆热液型铂族元素矿床在当前矿产勘探中占有十分重要的地位。深入研究它们的基本特征不仅对成矿理论研究具有重要意义，而且对矿产普查更具经济意义。

2.1 岩浆型铂族矿床

目前的研究表明，该类型典型矿床有3类，即铜-镍硫化物型、铬铁矿型和钒钛磁铁矿型（表1）。其中，铜-镍硫化物是其主要类型。它们的共同特点是均与特定的超基性岩、基性岩或超基性-基性杂岩的岩浆作用有关。其矿床的主要特征：

(1) 相关岩浆岩：铜-镍硫化物型铂族元素矿床多与层状或非层状铁质超基性岩、基性-超基性杂岩及基性岩关系密切，一般认为是由橄榄岩-苏长岩组合或该组合岩浆熔离或不混熔作用产生，与铜-镍硫化物伴生；而铬铁矿型主要与镁铁质-超镁铁质侵入岩体（层状和非层状侵入体）和蛇绿岩组合有关，岩浆早期结晶分离产物，与铬铁矿伴生；钒钛磁铁矿型与层状基性岩、基性-超基性杂岩（如：辉长岩-苏长岩-闪长岩或辉长岩-斜长岩）关系密切，由岩浆中晚期结晶分离作用形成，常与钒钛磁铁矿伴生。

(2) 矿体分布：层状矿体主要赋存在岩体的下部或中部；呈似层状、透镜状等形态产出的矿体多分布在岩体中的中部；脉状矿体、角砾状矿体主要分布在岩体边部或内部的原生节理内。铂钨主要成独立矿物，少数呈类质同象分布在硫化物矿物中。

(3) 矿化：与铬铁矿伴生铂矿化为铬尖晶石，少量为磁铁矿、钛铁矿、黄铁矿、磁黄铁矿、黄铜矿、砷镍矿，铂族元素常赋存在 Ru 及 Os - Ru 硫化物、Ru - Ir - Os、Os - Ir 及 Pt - Pd 的金属互化物和自然元素中，亦见呈硫砷化物和锑化物形式赋存，主要矿物是硫钨矿、钨钨矿、硫钨钨矿、硫钨矿、铁铂矿、钨钨矿，其次是粗铂矿、硫铂矿、砷铂矿、硫砷铂矿，少量的有自然钨、锑钨矿、砷钨铂矿、硫砷钨铂矿、硫钨矿、自然钨、硫钨钨矿等；一般呈细小的颗粒包裹于铬铁矿和橄榄石中，亦见分布在铬铁矿的裂隙中。铜镍硫化物型的铂矿化有两个阶段：早期为铂族元素的互化物，在铜镍硫化物之前，包含于硫化物中作为包晶分布现象常见，晚期称硫化物阶段。一般晚于铜镍硫化物，矿体多分布在边缘带，主要是砷钨矿、硫钨钨铂矿、硫钨矿、黄砷钨矿和铂铁合金，该阶段矿化最强（表2）。钒钛磁铁矿型矿化一般在早期结晶阶段，矿石矿物主要有钨磁铁矿、钨铁矿、铬钨磁铁矿、尖晶石、磁黄铁矿、黄铁矿、黄铜矿、方黄铜矿、镍黄铁矿、辉钨矿、硫钨矿、红砷镍矿、毒砂、磷灰石、砷镍矿等，铂族元素矿物有砷铂矿、硫钨钨矿、钨钨矿、自然钨、硫铁铂矿等，矿石中除铁、钨、钒外，还伴生有益元素铬、镓、锰、铜、钴、镍、硒、碲、铀等，一般底部层位铂族元素的含量较高^[3]。

表2 肖德别里某矿的某些元素质量分数对比^{*}

Table 2 Correlation of some element average content of the Sudbry deposits

岩石类型	样品数	Ni (%)	Cu (%)	Au (×10 ⁻⁹)	Rh (×10 ⁻⁹)	Pt (×10 ⁻⁹)	Ir (×10 ⁻⁹)
镁铁质苏长岩	9	2.75	3.34	210	27	620	10
上部底苏长岩硫化物	24	2.59	4.58	270	26	1040	9
下部底层苏长岩硫化物	3	6.23	3.52	181	116	811	47

* 据 A.J. 纳尔德雷特, 1999

(4) 形成环境: 三类矿床的形成环境较复杂, 一般与层状侵入体有关的铂族元素矿床多为克拉通或地台区, 部分产在地台边缘; 而非层状侵入岩有关的矿床多形成在深断裂、造山带或地体的构造带。

(5) 形成时代: 主要形成晚太古代 (2 701 ~ 2 738Ma)、早元古代 (1 850 ~ 2 461Ma) 或不同时期的造山时期。

(6) 矿床成因: 地球化学特征研究表明, 该类型矿床的成矿物质来自地幔或相当于地幔源, 铬铁矿型和钒钛磁铁矿型的成矿作用以岩浆重力分离结晶作用为主。铜镍硫化物型的成矿作用较复杂, 决定硫化物矿床大小、品位和产出部位的作用包括: 从地幔橄榄岩部分熔融的镁铁质或超镁铁质岩浆的产生; 岩浆上升到地壳, 在最后侵位之前可能伴有分离结晶作用。这种含硫化物岩浆的饱和, 将伴随有不混溶硫化物熔融体的形成和硫化物熔融体的堆积。

2.2 岩浆热液型铂族矿床

岩浆热液型铂族元素矿床是与岩浆作用有密切时空关系的热液成矿作用形成的。该类型矿床主要包括含铂热液金矿床、含铂铁-铜矽卡岩矿床、斑岩型铜-钼矿床以及火山沉积型、石英脉岩型。其中, 岛弧型斑岩型铜矿床是其重要类型, 矿石铂族元素质量分数高达 $(0.003 \sim 0.05) \times 10^{-6}$ 、特别是钯的质量分数尤高^[5] (表 3)。

表 3 世界斑岩铜矿及矽卡岩型铜矿的精矿中 Au、Pd、Pt、Cu 质量分数

Table 3 Average content of Au, Pd, Pt and Cu in the ore concentrate of the porphyry copper deposit and skarn copper deposit in the world

类型	形成环境	样品	Au ($\times 10^{-9}$)	Pd ($\times 10^{-9}$)	Pt ($\times 10^{-9}$)	Cu (%)	产地
斑 岩 型	美国 西海 岸陆边缘	浮选	220 ~ 2 050	n. d. ~ 44	n. d. ~ 8	28.3 ~ 33.0	智利
		浮选	760	10	n. d.	n. a.	秘 鲁
		浮选	31 000	35	8	29.5	阿根廷
		硫化物	180 ~ 1 350	n. d. ~ 8	n. d.	0.7 ~ 46.9	美 国
		硫化物	210 ~ 280	n. d.	n. d.	7.1 ~ 49.6	加拿大
	岛弧	浮选	170 ~ 7 000	40 ~ 240	16 ~ 24	2.4 ~ 30.1	塞尔维亚
		大陆边缘	浮选	4 800 ~ 7 300	54 ~ 160	8 ~ 14	2.4 ~ 27.9
	岛弧	浮选	7 600 ~ 27 000	760 ~ 1 900	70 ~ 72	19.0 ~ 25.9	保加利亚
		硫化物	130 ~ 5 600	n. d. ~ 160	n. d. ~ 8	4.3 ~ 15.9	
	大陆边缘	浮选	160 ~ 840	8 ~ 24	n. d.	21.8 ~ 32.9	伊 朗
		岛弧	硫化物	3 400	24	84	31.7
	岛弧	浮选	18 000	58	15	23.8	印度尼西亚
		浮选	17 000 ~ 13 500	1 600 ~ 1 180	20.7 ~ 20.0	10 ~ 11	马来西亚
	岛弧	浮选	28 000 ~ 16 200	980 ~ 650	24 ~ n. d.	37.3 ~ 7.7	巴布亚新
		硫化物	520 ~ 1 550	50 ~ 52	8 ~ n. d.	35.2 ~ 7.7	几内亚
	岛弧	硫化物	2 350	56	8	n. a	菲 律 宾
大陆边缘	矿石		0.003 ~ 0.05 ($\times 10^{-6}$, PGE)			中国德兴	
岛弧	精矿		0.02 ($\times 10^{-6}$, PGE)			中国玉龙	
矽卡岩	大陆边缘	硫化物	20 500 ~ 1 080	n. d. ~ 245	n. d.	1.4 ~ 28.4	哈萨克斯坦
		黄铜矿		0.027 ~ 0.13	0.013 ~ 0.36		中国铜关山

(1) 岩浆岩：该类型矿床主要与中酸性或酸性岩浆有关。其中，斑岩型主要与浅成、超浅成钙碱性—次碱性中酸性岩有关。矽卡岩型主要与浅成钙碱性中酸性岩或壳幔混合型花岗杂岩有关；火山—沉积型与陆相火山作用关系密切；石英脉型矿床的热液为岩浆热液有较大争议，但笔者认为很大可能性是与玄武岩浆底侵作用有关，因为这样的地区一般发育大量的暗色脉岩、壳幔混合型花岗杂岩和中—酸性火山岩。

(2) 矿体分布：矿体多产在岩体内部或接触带附近，呈浸染状—脉状产出。石英脉型矿体多产在围岩的断裂带内。

(3) 矿化和蚀变：铂族矿物多作为黄铜矿中的包体或包晶（2~50mm），矿物主要是碲铋矿或碲铋矿—碲铂矿固溶体。结构特征显示似乎是从铜—铁硫化物熔离出来的（流体包裹体高盐（NaCl）为35%~60%，380~520℃）。地球化学相关性显示铋与金呈正相关，特别是在岛弧环境下的斑岩型铜矿更为明显。铂与铋、金与铜都没有相关性，只是在岛弧环境下的矿床中Cu与Au、Pd呈弱的相关；然而就一个矿床而言，不同矿化带上的Pd、Pt、Au和Cu的地球化学关系还不太明显（表3）。

一般发育钾化和青盘岩化、硅化等，且在钾化和青盘岩化带内Au、Pd、Pt的质量分数较高，显示出迁移是在高氧化和酸性的条件下以氯化物络合物形式搬运的特征。

(4) 成矿时代和形成环境：矿化多集中在中生代，部分在古生代。多形成于大陆边缘、岛弧和洋弧环境，全球以环太平洋大陆边缘最发育（表3）。

(5) 矿床成因：该类型矿床成因较复杂。对矽卡岩型、斑岩型和石英脉型铂元素矿床的成因，许多学者用大洋板块向大陆板块下俯冲、地体拼贴模式来解释。但是，对成矿物质是岩浆提供还是围岩提供目前还有较大分歧。有迹象表明：矽卡岩和斑岩型的成矿物质主要来源围岩，而石英脉型主要来源地壳^[5]。而火山—沉积型多为海底或大陆火山喷气作用产物，成矿物质来自深源。

2.3 非岩浆热液型铂矿床

该类型矿床是20世纪80年发现于欧洲、亚洲、北美和南美洲等地，产于元古宙到中生代特定的含碳较高的岩石地层中，典型矿床有俄罗斯的干谷、加拿大的育空、中国的华南（天峨山、柑子坪、大坪等）、波兰的蔡希望斯坦以及美国中部印第安纳（D）、密西西比系（C₁）、和俄克拉荷马西西比系（C₂₋₃）等（表1）。在矿床特征上，这类矿床虽在矿床形态、围岩蚀变和元素共生组合等方面有明显的相似性，但在其矿床特定的环境背景上成矿性尚有明显的差异。根据一些学者对世界典型黑色含碳页岩型铂族元素矿床研究，并结合国内对我国华南黑色含碳页岩型铂族元素矿床的研究进展，对该类型矿床进行了归纳和总结，初步将该类矿床划分为中层状铂族元素矿床、薄层状铂族元素矿床和高碳构造岩型铂族元素矿床（有关详细内容另文讨论）。其中，中层状、薄层状铂族元素矿床的主要特征：

(1) 矿体分布：矿床产在黑色含碳沉积—变质岩系中，既受沉积岩相控制，又在一定程度上受热液变质作用制约，具层控矿床特征。

(2) 矿化和蚀变：矿化主要发生在含碳高的层位，多赋存在高硫化物之前的低硫化物组合中。矿化温度较高，经常与毒砂矿物伴生，高硫化物阶段矿化相对弱；矿石有用矿物种类多，如：干谷矿床有用矿物达75种，分属于自然金属、金属固溶体和金属互化物、硫化物、砷化物、砷硫化物和碲化物、碲硫化物以及硒、铋、锑化物，此外还有磷酸盐、

钨酸盐、卤化物和氧化物类；常见矿物中黄铁矿占绝大多数，不常见的矿物主要是含 Ni、Co 的硫化物、砷化物和硫砷化物；铂族矿物以自然铂和 Pt - Fe - Cu 的金属固溶体为主，并且最常见的是铁和铜含量低的自然铂，单粒有时与黄铁矿连生，颗粒细小（一般在 0.5 ~ 10 μ m 或 < 10 μ m）。此外，还有贫铁富铜的固溶体（Pt₃Cu）和贫铜富铁的固溶体（Pt₃Fe）以及钯矿物等。蚀变主要是绢云母（白云母）、钙镁碳酸盐类。

(3) 矿石有用元素组分：具多元素共生特征，其组分主要是 Au、Ag、PGE、REE、Ni、Cu、Co、V、Mo、W、Pb 等，如：我国华南以 Ni - Mo 元素组合为主，加拿大育空以 Ni 为主，俄罗斯干谷以 Au 为主，波兰蔡希斯坦则是以 Cu 为主等。各类矿床的 PGE 质量分数有一定差别（表 4），富矿多在交代蚀变带和分散硫化物矿化带或硫化物—硫砷化物矿化带中。

表 4 黑色碳质页岩型铂族元素的质量分数

Table 4 Average content of the platinum group elements with the black carbonaceous shale

地 点	矿床类型	Re(Pd) ($\times 10^{-9}$)	Os($\times 10^{-9}$)	Pt ($\times 10^{-9}$)	有机碳 (%)
加拿大育空 (Ni - Zn)	硫化物层	19 310 ~ 33 160	106.3 ~ 210.9	430 ~ 440	
	页 岩	50.33 ~ 517	0.939 ~ 2.47	2.3 ~ 9	
	无硫化物层	15.5	0.222	< 5	
中国贵州 (Mo - Ni)	硫化物层 (天峨山)	1 704 ~ 895.9	10.55	10 ~ 46	
	硫化物层 (柑子坪)	5 550 ~ 10 280	65.62 ~ 108.9	190 ~ 250	
中国湖南 (Mo - Ni)	硫化物层 (大坪)	1 030	176.7	690	
	硫化物层 (三沙)	2 961 ~ 6 720	32.74 ~ 65.9	77 ~ 91	
俄罗斯干谷 (Au - Ni)	硫化物层和 / 或金矿体	800 (Pd)		100 ~ 1 000	0.2 ~ 5
	含贵金属页岩	30 ~ 1 000 (Pd)		50 ~ 340	2.4 ~ 4.8
波兰蔡希斯坦 (Pb - Ag - Hg - Cu)	含 Pb - Ag - Hg - Cu 页岩	20 (Pd)		20	0.8 ~ 8
	含铀钛矿页岩	40 ~ 80 (Pd)		20 ~ 100	2 ~ 4
	含磷酸盐页岩	30 (Pd)		30	4

(5) 成矿时代和形成环境：矿化多发生在前寒武纪、古生代（寒武、石炭、二叠世），但热液（低—中级变质）作用多发生后期的造山阶段。原岩建造为含碳的海相或陆缘碳酸盐—陆源碎屑岩为主的沉积岩系，沉积环境为前陆盆地；而区域热液值升高的背景多归结为地幔热构造作用。

(6) 矿床成因：矿床产于陆缘碳酸岩系或浅变质岩系内，矿化既受盆地、原岩建造、褶皱构造控制，又受热液作用叠加。较高的有机质反映相对还原状态下之前有一个氧化环境阶段^[4]，硫同位素的壳幔混生特征，一方面可能反映成矿流体为壳幔混合成因，另一方面说明供给区有一个富含铂族元素的幔源岩浆体系。此外不同性质源区的风化和有机质

的搬运对成矿物质聚集起着关键作用, 加拿大的育空地区铂族元素的来源就可能是西南侧的基性—超基性岩体经风化和搬运的结果, 因此源区的供给十分重要。

含碳构造页岩型铂族元素矿床多产在造山带的超基性—基性岩内, 矿化发生在被深断裂切割的构造带内。构造带由构造破碎带—角砾岩化岩(带)、碎裂岩(带)、片理化岩(带)组成, 矿化主要发生在含碳高的页岩带内, 呈网脉状和脉状。矿化带发育蛇纹石、滑石、菱镁矿交代岩。如东萨彦岭奥斯平斯克—基托伊阿尔卑斯型岩体(主要岩性为方辉橄榄岩, 其次是纯橄榄岩、二辉橄榄岩、异剥橄榄岩、辉石岩等)内部的高碳构造岩^[10]。含碳构造岩中常见金属矿物为磁铁矿、钛铁矿、金红石、锆石、铬尖晶石、黄铁矿等, 少见板钛矿、榍石、电气石、萤石、白钨矿、黄铜矿、闪锌矿、方铅矿、毒砂及低成色自然金等, 不均匀分布在岩石基质中, 形成微包裹体(0.005mm), 自然金在石英—碳酸盐和岩石微裂隙中形成点状微包裹体(<0.05mm), 有的与方铅矿连生在一起。

碳质主要是高度分散的碳。游离碳的质量分数为1.5%~9%。地球化学剖面清晰地显示出在含碳较高的构造岩内有较高铂族元素富集(表5)。显然, 矿化与构造作用强度有关, 但对有机质的来源和导致成矿物质迁移、富集的原因和在岩石赋存形式还没有足够的证据证明。从目前发表的资料分析, 成矿流体有幔源流体参与的迹象, 金和铂都能随还原流体迁移, 载体是群聚物, 其中其配位体作用的是CO⁻基和元素络合物, 存在毒砂矿物说明形成温度较高和相对氧化时发生聚集而成矿。

表5 奥斯平斯克—基托伊超基性岩及含碳构造岩中铂族元素平均质量分数($\times 10^{-6}$)

Table 5 the average content of the platinum group elements of the ultrabasic rock and carbonaceous structure

岩石类型	Au (均值)	Pt (均值)	Pd (均值)
方辉橄榄岩	0.02~0.04 (0.026)	0.36~0.63 (0.46)	0.061~0.24 (0.12)
蛇纹岩	0.02~0.03 (0.025)	0.23~0.50 (0.36)	0.045~0.15 (0.08)
方辉橄榄岩变成的菱镁矿—蛇纹石化交代岩	0.03	0.55~0.64 (0.59)	0.045~0.11 (0.77)
被菱铁矿交代的蛇纹岩	0.03	1.00~1.18	0.11~0.12
弱碳酸盐化蛇纹岩	0.05~0.06 (0.06)	0.55~1.27 (0.90)	0.045~0.11 (0.08)
中等碳酸盐化的蛇纹岩	0.18~0.50 (0.29)	0.45~0.82 (0.70)	0.045~0.09 (0.07)
由方辉橄榄岩和由蛇纹岩变成的含碳高的构造岩	0.06~0.36 (0.16)	0.2~0.93 (0.52)	0.03~0.13 (0.06)
由方辉橄榄岩和由蛇纹岩变成的含碳富的构造岩	0.05~0.53 (0.16)	0.6~1.2 (0.89)	0.036~0.11 (0.07)

参 考 文 献

- [1] L.J. 赫尔伯特. 铂族元素的地质环境[M]. (族)矿床[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 1991.
- [2] 杨星等, 中国含铂基性超基性岩体与铂 [3] 梁有彬, 刘同有, 宋国仁等. 中国铂族元素

- 矿床 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 1998.
- [4] A.J. 萨德伯里等. 萨德伯里矿石中的铂族元素: 对不同矿带成因及底板矿体勘查的意义 [J]. 国外地质科技, 1999, (4): 5 - 23.
- [5] 相仁杰, 茹湘兰. 中国斑岩铜矿中的铂族金属 [J]. 国外地质科技, 1999, (3): 29 - 33.
- [6] M. 塔基安, B. 斯特里伯尔尼. 斑岩铜矿铂族元素初步研究 [J]. 国外地质科技, 1999, (3): 34 - 44.

The deposit geologic features of the platinum group element and its genetic classification

LIU Hong-wen

(*Institute of Geologic Investigation of Jilin Province, Changchun 130061, China*)

[Abstract] On the basis of the characteristics of platinum group element (both inside and outside the countries), the classification of the platinum group element deposits is rechecked. According to the host rock type of the deposits, paragenetic element association, mineralized type and metallogenic conditions, the platinum group element deposits are systematically summed up and classified. They are classified into 4 types and 12 sub - types. Meanwhile, the basic characteristics of typical platinum group element deposit with the developmental prospect, metallogenic resources and metallogenic conditions are discussed in this paper.

[Key words] platinum group element deposit; genetic classification; deposit characteristics