

中国铂族元素矿床特征及资源潜力分析

耿林^{1,2}, 翟裕生^{1,2}, 彭润民^{1,2}

(1. 中国地质大学地质过程与矿产资源国家重点实验室, 北京 100083;

2. 中国地质大学岩石圈构造、深部过程及探测技术教育部重点实验室, 北京 100083)

[摘要] 铂族元素是我国紧缺的战略性矿产资源。我国的铂族元素矿床主要分为岩浆、岩浆热液及沉积3种成因和9个类型, 文章分析了典型铂族元素矿床的基本特征, 并对不同类型矿床的资源潜力进行了探讨, 认为岩浆成因铂族元素矿床依然是找矿重点, 黑色岩系型铂族元素矿床具有重大找矿潜力, 对现有金属矿床的含铂(族)潜力再评价是发现共(伴)生铂矿的一个有效途径, 此外, 还要重视对热液型矿体的识别和追踪。

[关键词] 铂族元素矿床 矿床特征 矿床分类 资源潜力

[中图分类号] P618.53 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 0495-5331(2007)01-0001-07

铂族元素(PGE)是贵重的紧缺战略资源, 是现代科学和尖端技术发展不可缺少的金属材料, 许多发达国家已将其作为重要战略物资进行管理和储备, 其地位变得越来越重要。在我国的矿产资源中, 铂族元素始终是最紧缺的矿种之一, 全国保有储量仅约310t、工业储量23t^[1-2], 不足世界储量71 000t^①的3%。甘肃金川是我国目前最大的铂族金属生产基地, 每年回收铂金只有800kg左右^[3], 全国的铂族金属年产量也不过几吨, 而国内的需求量已经连续5年超过28.35t, 目前每年进口量多达40t^[4-5], 供需矛盾十分突出。并且由于全球铂族金属的供应高度集中在南非、俄罗斯和北美, 致使资源供应链比较脆弱, 极易受政治、经济、军事等因素的影响。因此, 目前加强国内铂族元素矿床地质特征和资源潜力等研究, 对推动我国铂族金属找矿和缓解资源供需矛盾具有重要的现实意义。

1 中国铂族元素矿床主要类型及地质特征

国内外有许多地质学家对铂族元素矿床提出过分类^[6-12], 但由于铂族元素矿床成矿环境的多样性和成矿机制的复杂性, 以及新矿床类型的不断发现, 致使还没有形成一个被广泛接纳的分类方案。

Naldrett A J (1981)^[6] 和 MacDonald A J (1987)^[7] 提出的成因分类和矿床类型对铂族元素矿床分类研究起到了重要的作用。中国学者对铂族元素矿床分类也进行了大量研究, 其中杨星等(1993)^[9]、梁有彬等(1998)^[10]、刘凤山等(2000)^[11] 和刘洪文(2002)^[12] 等都对我国铂族元素矿床提出过不同的分类方案。文章为探讨我国典型铂族元素矿床的特征, 在前人研究基础上, 对铂族元素矿床类型进行了归纳总结, 提出了岩浆、岩浆热液和沉积3种成因9个类型的分类方案(表1)。

1.1 岩浆成因铂族元素矿床

我国典型的岩浆成因铂族元素矿床主要包括铜镍硫化物型、铬铁矿型和钒钛磁铁矿型3类, 其中铜镍硫化物型矿床是我国最主要的铂族金属来源。这3种类型矿床的形成均与特定的超基性岩、基性岩或基性-超基性杂岩的岩浆作用有关, 但在铂族元素的富集作用和元素组合方面有一定的差异。

1.1.1 铜镍硫化物型铂族元素矿床

铜镍硫化物型铂族元素矿床多与铁质基性、超基性岩体有关, 一般认为是由来自上地幔的高Mg拉斑玄武岩或拉斑橄榄玄武岩岩浆系列经岩浆熔离和不混熔作用形成。在我国, 该类矿床主要分布在地

[收稿日期] 2006-07-17; **[修订日期]** 2006-09-04; **[责任编辑]** 曲丽莉。

[基金项目] 国家自然科学基金重点项目(编号:40234051)、国家自然科学基金项目(编号:40572064)和内蒙古自治区重大地质科研招标项目(编号:内地研2004-1-KY02)联合资助。

① USCS, Mineral Commodity Summaries, 2006.

[第一作者简介] 耿林(1978年—), 男, 2002年毕业于山东科技大学, 获学士学位, 在读博士生(硕博连读), 现主要从事矿产资源勘查与评价研究工作。

表 1 中国铂族元素矿床成因分类

矿床类型		含矿岩体或岩石	成矿环境	典型实例
岩浆成因	铜镍硫化物型	超基性岩、基性-超基性杂岩、基性岩等	地台与地槽过渡区、地台边缘和地槽区	金川、金宝山、杨柳坪、喀拉通克等
	铬铁矿型	蛇绿岩、镁铁质-超镁铁质侵入岩等		大道尔吉、罗布莎、小松山、松树沟等
	钒钛磁铁矿型	铁质基性岩和超基性岩		新街、红格、攀枝花等
岩浆热液成因	斑岩型	花岗斑岩、石英斑岩、花岗闪长岩等	岛弧和大陆边缘为主	德兴、玉龙、多宝山等
	夕卡岩型	酸性或基性侵入岩与碳酸盐岩或火山沉积岩接触带的岩石	大陆边缘	铜录山、铜山口等
	热液铜矿型	沉积岩、变质岩、构造破碎带等	大陆边缘	三道沟、银洞山等
	石英脉型	硫化物石英脉、硅化蚀变岩石等	大陆边缘	金山、夹皮沟等
	黑色岩系型	含碳及硫化物的暗灰-黑色硅岩、碳酸盐岩、泥质岩(含层凝灰岩)及其变质岩	前陆盆地	大庸、慈利、积金、遵义等
沉积成因	砂矿型	河床、河漫滩、低谷洼地、风化壳、坡地等	陆河、海滩、原生矿风化区	阿拉坦哈拉、酸刺沟、红坑等

台边缘(如华北地台的西南缘、北缘东段,扬子地台的西南缘、南缘和北缘等),褶皱系中也有发现,成矿时代以元古宙和晚古生代为主,矿床形成时的构造环境多为大陆裂谷或裂陷槽^[13]。铜镍硫化物矿床中的含铂矿体主要赋存在岩体的下部或中部,铂族元素多与铜镍硫化物伴生。由于 Pt、Pd 在地球化学性质上具有强烈的亲硫性和亲铜性,而 Os、Ir、Ru、Rh 具有较强亲铁性,所以该类矿床多以富 Pt 和 Pd,贫 Os、Ir、Ru、Rh 为特征^[14]。矿石构造有海绵晶铁状构造、斑杂状构造、稀疏浸染状构造、星点浸染状构造及致密块状构造等。铂族元素主要形成独立矿物相,呈自然元素、砷化物、碲化物、铋化物、锑化物等产出,少数呈类质同象分布在金属硫化物中。主要铂族元素矿物有砷铂矿、硫铂矿、碲铂矿、硫镍钼铂矿、硫钼矿、碲钼镍钼矿、铅钼矿、铁铂矿、黄碲钼矿、六方碲钼矿等。

1.1.2 铬铁矿型铂族元素矿床

我国铬铁矿型铂族元素矿床主要与镁铁质-超镁铁质侵入岩体(非层状侵入体)及蛇绿岩组合有关,属低 Ca 高 Mg 岩浆系列早期结晶分离的产物^[12],含矿母岩多为方辉橄岩、纯橄岩和橄岩,岩体分布主要受深断裂系统控制。我国含铂(族)铬铁矿的成矿时代以华力西期和燕山期最为重要,其次为加里东期,形成于元古宙或前寒武纪的铬铁矿仅有少数小型矿床^[10]。成矿构造位置主要为古生代以来的地槽区和前寒武纪褶皱区,含铂(族)矿体主要分布在岩体的中下部,铂族元素与 Cr 密切共生,铂族元素富集体即为铬铁矿矿体。与国外相比,国内铬铁矿的铂族元素含量普遍较低,并且铂族元素以富集 Os、Ir、Ru,贫 Pt、Pd 为特征^[15]。矿石类型有浸染状、致密块状、网脉状、斑杂状及角砾状等,铂

族元素常以 Ru、Os-Ru 硫化物及 Ru-Ir-Os、Os-Ir、Pt-Pd 的金属互化物或自然元素形式产出,也见呈硫砷化物和锑化物产出,主要矿物有含 Os、Ir 的硫钼矿,含 Ir、Ru 的硫钼矿、钼钼矿、硫钼钼矿、硫钼钼矿、钼钼矿、铁铂矿、砷铂矿和硫铂矿等。铂族矿物一般呈细小颗粒包裹在铬铁矿或橄岩石中。

1.1.3 钒钛磁铁矿型铂族元素矿床

我国的含铂(族)钒钛磁铁矿与层状、似层状铁质基性岩、基性-超基性杂岩关系密切,属岩浆中晚期结晶分离作用的产物。含铂岩体多受深大断裂控制,分布在地台边缘、地台与地槽的过渡带及地槽褶皱中的隆起区,如扬子地台西缘的攀枝花岩带、扬子地台与秦岭地槽褶皱带过渡带上的陕南-鄂西北岩带、天山-阴山纬向构造带上的张家口-承德岩带等,主要成岩成矿时代为海西期和加里东期^[10]。赋矿岩石主要为辉长岩类、辉长岩-辉石岩-橄岩类和橄岩类,矿体多位于岩体的中下部或韵律旋回的底部。矿石构造包括浸染状、条带状、块状及海绵晶铁状等,铂族元素以 Pt、Pd 为主,Os、Ru 次之,Ir、Rh 含量很少。铂族矿物有砷铂矿、硫钼钼矿、钼钼矿、自然铂、硫铁铂矿等,它们主要分布在金属硫化物中。我国川滇黔地区峨眉山玄武岩广泛分布,其中,攀西裂谷带的镁铁质-超镁铁质杂岩内含巨型 V-Ti 磁铁矿矿床及铂族元素矿化,据研究,该镁铁质-超镁铁质杂岩与玄武岩套为同源^[16]。

1.2 岩浆热液成因铂族元素矿床

岩浆热液成因铂族元素矿床是指岩浆演化过程中气液流体的热液作用和交代作用所形成的含铂(族)多金属矿床。该类矿床主要包括含铂族元素的夕卡岩型金属矿床、斑岩型铜(钼)矿床、热液型铜(金)矿床及石英脉型金矿床等。从目前研究来

看,这些热液矿床与中酸性或酸性岩浆关系密切,矿体多位于岩体内部、内外接触带或围岩的有利构造位置,成矿时代主要集中在中生代和古生代^[12],其铂族元素含量一般较低,并以 Pt 和 Pd 为主。

1.2.1 斑岩型铂族元素矿床

我国典型的斑岩型铂族元素矿床是斑岩铜(钼)矿床,它一般与浅成、超浅成钙碱性-次钙碱性中酸性岩有关,矿体多以浸染状、网脉状、似层状和透镜体状就位于侵入体内部及内外接触带,成矿物质主要来自上地幔^[10]。铂族元素矿物主要有碲钼矿、碲钼铂矿、斜碲钼矿等,它们呈细小颗粒包裹于黄铜矿、斑铜矿或黄铁矿中。Tarkian 等^[17]对世界上 33 个典型斑岩铜矿中的铂族元素进行了研究,分析结果表明,有 23 个矿床的 Pd 含量高出检测限(8×10^{-9}),10 个矿床的 Pt 含量高出检测限(8×10^{-9}),而 Os、Ir、Ru、Rh 含量均低于检测限,并且 Pt、Pd 含量与 Au 含量有明显的正相关关系。我国的许多大型斑岩铜(钼)矿床中也发现了铂族元素矿化,如德兴斑岩铜矿的铂族元素平均含量为 0.01×10^{-6} ^[10],多宝山斑岩铜矿的铂族金属储量达 1804 kg,西藏玉龙斑岩铜矿的铂族金属远景储量达 3400 kg^[18]。斑岩铜(钼)矿床中铂族元素的含量虽然很低,但由于矿床规模巨大,并且铂族元素主要与黄铜矿、斑铜矿和辉钼矿共生,可以在铜钼精矿中高度富集,综合利用价值很高。

1.2.2 夕卡岩型铂族元素矿床

我国含铂(族)夕卡岩金属矿床主要有夕卡岩型铜-铁矿床、夕卡岩型铜-钼矿床及夕卡岩型钼矿床等。它们主要与浅成钙碱性中酸性岩或壳幔混合型花岗杂岩有关^[12],成矿母岩多为中酸性花岗闪长岩和石英闪长岩,也有部分闪长岩,矿体多产在岩体与灰岩、泥灰岩、白云岩及钙质页岩的接触带。长江中下游地区是我国最典型的夕卡岩型铜-铁多金属成矿区,其中大冶和铜陵等地的夕卡岩矿床已发现含铂族元素,主要是含 Pt 和 Pd,品位一般低于 0.1×10^{-6} ,但存在局部富集现象。铂族矿物主要有碲钼矿、碲钼铂矿及含钼的银金矿,它们多以包体或包晶的形式产在黄铜矿中。

1.2.3 热液铜矿型铂族元素矿床

含铂族元素的热液铜(金)矿床主要是岩浆期后热液活动的产物,铂族元素矿化与围岩蚀变有密切关系,成矿温度一般低于 300°C ^[10]。矿床主要产在多次构造活动的沉积岩层或岩体的裂隙与破碎带中,矿体明显受断层构造、岩体裂隙及构造破碎带控

制,呈似层状、脉状、囊状、网脉状或透镜体状产出。铂族元素以 Pt、Pd 为主,其他元素含量较低,主要呈碲、砷、碲化物形式存在,部分以类质同象分散于黄铜矿、斑铜矿、黄铁矿等金属硫化物或金属氧化物中。矿石构造多为浸染状、块状和角砾状,铂族矿物有碲钼矿、碲钼铂矿、碲砷银钼矿等。热液铜(金)矿床的铂族元素含量比其他热液矿床相对较高,如河北三道沟铜矿矿石的 Pt + Pd 平均含量为 0.50×10^{-6} ^[14],湖北银洞山铜矿矿石的 Pt + Pd 平均含量为 0.296×10^{-6} ^[10]。

1.2.4 石英脉型铂族元素矿床

硫化物石英脉型金(铜)矿床是该类矿床的典型代表,在其他石英脉型金矿中也发现有铂(族)矿化。裂隙构造和构造破碎带是主要的控矿因素,矿体多为裂隙充填或交代蚀变作用形成的脉状矿体。铂族元素和金矿化与黄铁矿化及硅化有密切的成生关系,贵金属主要赋存在黄铜矿和黄铁矿中,其富集程度受含矿脉岩构造特征及围岩蚀变类型和强弱影响,在脉岩内分布很不均匀。矿石类型有石英脉型、硅化砂质千枚岩型、糜棱岩型等,铂族矿物主要为自然铂、碲钼矿、碲钼铂矿、砷钼矿、钼金矿等。

1.3 沉积成因铂族元素矿床

沉积成因铂族元素矿床是指主要由外生沉积成矿作用形成的铂族元素矿床,该类矿床包括黑色岩系型矿床和砂矿型矿床两种。其中黑色岩系型铂族元素矿床作为一种新的矿床类型,已经引起了国内外地质学家的广泛关注。而目前国内所发现的砂铂矿一般规模都较小,工业价值不大。

1.3.1 黑色岩系型铂族元素矿床

黑色岩系是指含较多有机碳($C_{\text{有机}} \geq 1\%$)及硫化物(铁硫化物为主)的暗灰-黑色的硅岩、碳酸盐岩、泥质岩(含层凝灰岩)及其变质岩石的组合体系^[19]。黑色岩系作为地史上反复出现的时限沉积相,代表了一种缺氧的海相沉积环境^[20]。国内早期对黑色岩系相关矿床的研究主要集中在华南地区。范德廉等^[20]对我国典型的黑色岩系型矿床进行了系统研究,发现有 Sn、Au、Cu、Pb、Zn、Cd、V、Mn、Ge、PGE 等 25 种以上有用元素和组分的富集成矿与黑色岩系有关。该类矿床形成的有利构造环境是大陆边缘及持续拉张断裂控制的裂陷槽;矿床的时控性明显,重要含矿岩系一般与重大地史转折期有关,其中元古代和古生代是地质历史上最重要的两个成矿时代;成矿物质具有多源性,主要为陆源的,也有海源的,包括海底张裂带喷溢的含矿热液;成矿物质的

输送与供应具有多期性、持续性和继承性等特点^[20]。

近十几年,国外对黑色岩系的研究取得了重大进展,已在其中发现了一些重要的有色金属和贵金属矿床,如俄罗斯的干谷 Pt-Au 矿床^[21-22]、加拿大育空 Ni-Zn-PGE 矿床^[23]、波兰蔡希斯坦 Cu-PGE 矿床^[24]等。国内也在四川万源—重庆城口地区^[11]、湖南大庸和慈利地区^[25]、贵州遵义^[26]以及云南沾益德泽、江西都昌、浙江诸暨和桐庐等地^[10]的黑色岩系内发现了不同规模铂族元素矿化。

黑色岩系内的铂(族)矿体一般受层位控制,与上下围岩整合接触,矿体形态以似层状和透镜体状为主,厚度不大,多位于黑色岩系的底部。矿石构造主要为碎屑状、条带状、结核状和浸染状,铂族元素主要赋存在黑色岩系底部的金属硫化物中,以 Pt、Pd 为主,其次是 Os、Ir,而 Ru、Rh 很少。关于矿床成因及成矿物质来源问题还存在较大争议,我国南方早寒武世黑色岩系中 Ni-Mo-PGE 多金属硫化物的来源问题,一直受国内外学者关注,先后提出了地外来源说^[27]、海水正常沉积与生物富集共同作用说^[28-30]及海底喷流成因观点^[31-37],毛景文等^[38]则认为这是一种蒸发—还原环境的正常产物,而范德廉等^[20]和 Lott 等^[33]则强调了金属来源的多样性及成矿作用的复杂性。

1.3.2 砂矿型铂族元素矿床

砂铂(族)矿床的发现和开采历史悠久,曾一度是世界铂族金属的主要来源。我国的砂铂(族)矿床主要分布在青海、内蒙古、西藏、新疆、河北、陕西等省区,通常与基性—超基性岩的分布密切相关,多由含铂(族)的铬铁矿及铜镍矿体经风化、淋滤冲刷到古河床或现代河床形成冲积砂铂矿,或直接在风化壳中富集形成残(坡)积砂铂矿床。它们一般都赋存在全新世早期松散沉积层中,并且铂族元素矿物通常与金密切共生,形成砂金、铂(族)矿。铂族元素一般呈自然元素、金属互化物、硫化物及砷化物等形式产出,铂族矿物主要有自然铂、铁铂矿、铱铱矿、铱铱矿、砷铂矿、硫钨矿、碲钨矿等。目前,我国发现的砂铂(族)矿一般都规模不大,铂族元素品位较低,如内蒙古阿拉善右旗的阿拉坦敖包砂金、砂铂(族)矿,铂族元素平均含量为 0.055×10^{-6} ^②;青海酸刺沟砂铂矿的铂族元素平均含量为 0.0162×10^{-6} ^[14]。

2 我国铂族元素矿床找矿潜力分析

铂族金属是我国的紧缺矿种,积极开展铂族元素矿床成矿特征及资源潜力研究具有重要的现实意义。我国西部地区镁铁质—超镁铁质岩石比较发育,尤其是在西南地区与峨眉山大火成岩省有关的铜—镍—铂矿床有多处发现,显示具有较好的铂族资源潜力。另外,新疆阿尔泰和东天山地区的已知岩浆 Cu-Ni 矿床内部和外围也有一定铂族资源潜力。这些在“中国 Pt 地球化学图”(图 1)上都有明显的显示。因此,在今后铂族元素矿床的找矿中,宜注重以下几方面的问题:

2.1 岩浆成因铂族元素矿床的重要地位

从国内外铂族元素矿床评价来看,岩浆成因铂族元素矿床依然是铂族金属的主要来源,其他类型的矿床都处于次要地位,其中 95% 以上铂族金属储量都集中在铜镍硫化物型矿床中^[40]。在我国,铜镍硫化物型铂族金属矿床主要分布于相对稳定的大地构造单元与造山带结合部位附近,常出现在古老地块边缘,找矿应注意古老地台与不同构造单元接壤附近构造发育区的基性—超基性岩石构造带^[10]。其中,祁连山褶皱系与阿拉善台块毗连处的基性—超基性岩带、阿尔泰褶皱带与准噶尔地台接合部的基性—超基性岩带、川滇地轴西侧丹巴—弥度一带、内蒙地槽褶皱系的过渡带及阴山纬向构造带南缘等,都是铜镍型铂族金属找矿的有利岩石—构造带,具有很大找矿潜力。

我国西南部峨眉山大火成岩省是寻找多种类型铂族金属矿床的优选远景区^[41],谢学锦等^[39,42]所圈定的川滇黔 Pt、Pd 地球化学省(图 1)就在此区内。王登红等^[43]曾将南非布什维尔德地幔柱与我国峨眉山地幔柱进行对比研究,认为我国峨眉山火成岩区具有寻找与地幔柱相关铂族元素成矿系列的前景。我国攀西—滇中地区与俄罗斯诺里尔斯克地区在成矿地质背景、火山岩组合、侵入岩类型及矿体特征等方面具有相似性^[40],并且在攀西—滇中地区已经发现了杨柳坪、金宝山等大型含铂铜镍矿床,所以该地区具有寻找诺里尔斯克型铂矿的前景。攀西裂谷带内的川滇地轴岩石—构造带是我国钒钛磁铁矿的重要成矿带,分布于安宁河裂谷和攀枝花裂谷之间的基性—超基性层状杂岩体分异良好,受川滇大陆裂谷带控制,化学成分以高铝、低钙为特征^[10],是

② 宁夏地质局区域地质调查队. 阿拉坦敖包幅 1:20 万区域地质调查报告(矿产部分),1980.

寻找钒钛磁铁矿型铂族金属矿床的重要远景区。

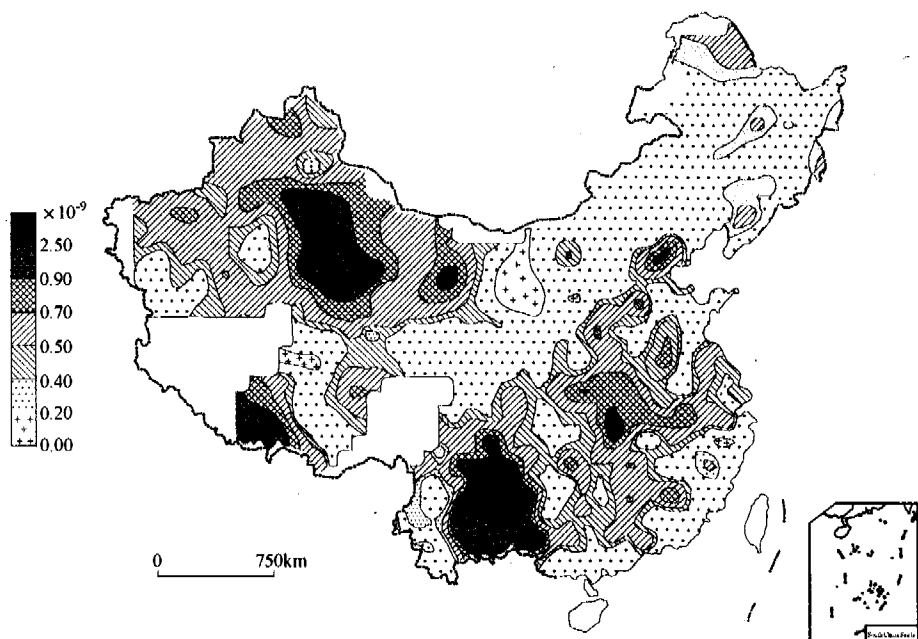


图1 中国 Pt 地球化学图

(据谢学锦^[39], 2003 修改)

I—川滇黔 Pt 地球化学省; II—新甘青 Pt 地球化学省; III—西藏雅鲁藏布江 Pt 地球化学省

2.2 黑色岩系型铂族元素矿床的巨大潜力

近十几年来,我国周边的中亚各国和世界有关国家相继发现了产在黑色岩系中的铂族元素(和金)矿床,它被认为是新的铂族金属资源类型和矿床类型。我国华南地区早寒武世黑色岩系内铂族金属矿化显著,研究程度也较高^[19-20,25-38]。其中,四川万源—重庆城口地区上震旦统陡山沱组的黑色岩系内铂族元素矿化明显, Pt、Pd 品位分别达到 $(0.5 \sim 1) \times 10^{-6}$ 和 3.68×10^{-6} , 控制长度达 1.3 km^[11], 找矿远景很好。在贵州、湖南、湖北、江西、浙江等地的早寒武世黑色岩系内也均发现了 Ni、Mo、V、Pb、Zn 等多金属矿床, 并存在不同程度铂族元素矿化, 其中湘黔地区早寒武世黑色岩系内铂族金属品位达 0.69×10^{-6} , 遵义地区达 1×10^{-6} ^[44]。因此, 华南地区的下寒武统是我国寻找黑色岩系型铂族矿床的首选层位。

此外, 华北地台北缘狼山—渣尔泰山地区的中元古代裂谷系内黑色岩系也十分发育, 最为典型的是中元古界渣尔泰山群浅变质岩系中的高炭黑色岩系^[45], 其成矿地质背景与俄罗斯等邻国的黑色岩系型铂矿床十分相似, 并且在该区黑色岩系内已经发现了东升庙、炭窑口、甲生盘、霍各乞和朱拉扎嘎等 Cu—Au 多金属矿床^[20], 还在黑色岩系分布区发现

有砂铂(族)矿、铂族元素重砂异常和地球化学异常等重要找矿线索^[45], 具有很好的找铂前景。

2.3 对现有金属矿床的含铂(族)潜力再评价

近年, 我国铂族元素的检测技术取得了重大突破, Pt、Pd 的分析检出限已降到 0.1×10^{-9} ^[46], Os、Ir、Rh、Ru 的检出限也均降到了 0.01×10^{-9} ^[47]。利用新的铂族元素检测技术和分析方法, 重新对现有的金、铜等多金属矿床进行含铂(族)性评价, 是发现共(伴)生铂(族)矿床的一种有效途径。俄罗斯干谷金矿床中 Pt、Pd 超常富集的发现就是典型例子^[48], 干谷矿床产于西伯利亚克拉通东南缘中晚元古代裂陷槽的巨厚黑色岩系内, 20 世纪 70 年代就被确定为一个储量达 1100 t 的巨型金矿, 在矿床即将开发时发现金矿石中铂族元素含量颇高, 经重新评价发现在金矿体及其上盘都发育铂矿化, 铂族元素的平均品位达 2.65×10^{-6} , 储量不亚于金, 这样干谷金矿就一举成为一个巨型铂—金矿床^[48-49]。因此, 在我国新一轮找矿中应当充分重视对现有金属矿床含铂(族)性的再评价, 并且采用地球化学勘查方法可能会取得比较理想的效果。

2.4 热液型铂族元素富矿体的识别与追踪

铂族金属热液矿床可能出现在基性—超基性岩体内部或内外接触带, 也可能出现在远离岩体的适

宜构造位置,受断层构造或裂隙构造控制明显。所以,寻找热液矿床的范围不应局限于岩体内部,还要扩展到接触带及围岩的有利构造地段。另外,由于Pd的热液活动性比Pt显著得多^[43],所以在找矿过程中不仅要重视对Pt的检测,还要加强对Pd的检测。我国已经在杨柳坪Cu-Ni-PGE矿床中发现了热液型富矿石^[50],在四川会理大岩子地区的辉石岩与变质沉积岩的接触带也发现了铂族金属热液型矿体^[51-52],它们都产在康滇南北构造岩浆杂岩带内,与铜镍硫化物型铂(族)矿床伴生。因此,今后在岩浆成因铂族元素矿床的勘查中,还要注意在有利构造位置对热液型富矿体的识别与追踪。

3 结 语

在今后铂族元素矿床的勘查工作中,通过深入研究国内外已知成矿区带的成矿规律与找矿标志,采用区域成矿学、地球化学、矿物学等研究方法及先进的分析检测技术,并系统分析我国铂族元素矿床特征及资源潜力,开拓找矿思路,则完全有可能在我国实现铂族元素矿床的找矿新突破。

[参考文献]

- [1] 朱训. 中国矿情(Ⅱ)[M]. 北京: 科学出版社, 1999: 468-488.
- [2] 王淑玲. 铂族金属资源的现状及对策研究[J]. 中国地质, 2001, 28(8): 23-27.
- [3] 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, 19(5): 18-22.
- [4] 靳湘云. 由供应短缺走向供需基本平衡——2004年铂市场回顾及2005年预测[J]. 中国金属通报, 2005(9): 27-38.
- [5] 国土资源网. 中国铂矿勘查, 远景乐观[DB/OL]. <http://www.cnr.cn/front/chinaResource/read/news-info.asp?ID=78518>, 2006.
- [6] Naldrett A J. Nickel sulfides deposits: classification, composition, and genesis [J]. Economic Geology, 1981, 6: 28-85.
- [7] Macdonald A J. Ore deposit models; the platinum group element deposits; classification and genesis [J]. Geoscience Canada, 1987, 14(3): 155-166.
- [8] Hulbert L J. 铂族元素的地质环境[M]. 沈承珩, 刘道荣, 卢军, 等译. 北京: 地质出版社, 1991.
- [9] 杨星, 李行, 杨钟堂, 等. 中国含铂基性超基性岩体与铂(族)矿床[M]. 西安: 西安交通大学出版, 1993.
- [10] 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.
- [11] 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.
- [12] 刘洪文. 铂族元素矿床特征及成因分类探讨[J]. 吉林地质, 2002, 21(4): 1-8.
- [13] 汤中立, 李文渊. 中国与基性-超基性岩有关的Cu-Ni(Pt)矿床成矿系列类型[J]. 甘肃地质学报, 1996, 5(1): 50-64.
- [14] 梁有彬, 李艺. 中国铂族元素矿床类型和地质特征[J]. 矿产与地质, 1997, 11(59): 145-151.
- [15] 地质科学院地质矿产所. 铬、镍、钴、铂地质矿产专辑(1-4集)[M]. 北京: 地质出版社, 1974.
- [16] 涂光炽. 中国超大型矿床(Ⅰ)[M]. 北京: 地质出版社, 2000.
- [17] Tarkian M, Stribny B. Platinum-group element in porphyry copper deposits: a reconnaissance study [J]. Mineralogy and Petrology, 1999(65): 161-183.
- [18] 李晓峰, 毛景文, 张作衡. 斑岩铜矿中铂族元素的研究现状及展望[J]. 矿床地质, 2003, 22(1): 95-98.
- [19] 叶杰, 范德廉. 黑色岩系型矿床的形成作用及其在我国的产出特征[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2000, 19(2): 95-102.
- [20] 范德廉, 张煮, 叶杰, 等. 中国的黑色岩系及其有关矿床[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [21] 季斯特列尔 B B. 俄罗斯干谷金矿床中的铂族金属存在形式及其成因[J]. 国外地质科技, 1997(7): 37-47.
- [22] Distler V V, Mitrofanov G L, Nemerov V K, et al. The platinum mineralization of the Sukhoi Log gold deposit (Russia) [A]. Lavrov N P, Distler V V. International platinum [C]. Theophrastus Publications, 1998: 178-194.
- [23] Hulbert L J, Carne R C, Gregoire D C, et al. Sedimentary nickel, zinc and platinum-group-element mineralization in the Devonian black shales at the Nick Property, Yukon, Canada; a new deposit type [J]. Exploration and Mining Geology, 1992, 1(1): 39-62.
- [24] Kucha H. Platinum-group metals in the Zechstein copper deposits, Poland [J]. Economic Geology, 1982, 77(6): 1578-1591.
- [25] 李有禹. 湘西北下寒武统黑色页岩伴生元素研究新进展[J]. 矿床地质, 1995, 14(4): 346-354.
- [26] 张光弟, 李九龄, 熊群尧, 等. 贵州遵义黑色页岩铂族金属富集特点及富集模式[J]. 矿床地质, 2002, 21(4): 377-386.
- [27] Fan D L, Yang R Y, Huang Z X. The lower Cambrian black shale series and iridium anomaly in South China [A]. Academia Sinica (Eds.). Developments in geoscience, contribution to the 27th IGC, Moscow [C]. Beijing: Science Press, 1984: 215-224.
- [28] 陈南生, 杨学增, 刘德权, 等. 中国南方下寒武统黑色页岩和砂质岩系及其共生的层状矿床[J]. 沉积矿床, 1982, 1(2): 39-51.
- [29] 张爱云, 伍大茂, 郭丽娜, 等. 海相黑色页岩建造地球化学与成矿意义[M]. 北京: 科学出版社, 1987.
- [30] Coveney R M, Murowchick J B, Grauch R I, et al. Field relations, origins, and resource implications for platinumiferous molybdenum-nickel ores in black shale of South China [J]. Exploration and Mining Geology, 1992, 1(1): 21-28.
- [31] 李胜荣, 高振敏. 湘黔地区牛蹄塘组黑色岩系稀土特征——兼论海相热水沉积岩稀土模式[J]. 矿物学报, 1995, 15(2): 225-229.

- [32] 李胜荣,高振敏. 湘黔寒武系底部黑色岩系贵金属元素来源示踪[J]. 中国科学(D辑),2000,30(2):169-174.
- [33] Lott D A, Coveney R M, Murowchick J B. Sedimentary exhalative nickel-molybdenum ores in South China[J]. *Economic Geology*, 1999 (94): 1051-1066.
- [34] Steiner M, Willis E, Erdtmann B D, et al. Submarine-hydrothermal exhalative ore layers in black shales from South China and associated fossils-insights into a Lower Cambrian facies and bio-evolution[J]. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 2001, 169(3/4): 165-191.
- [35] Jiang S Y, Chen Y Q, Ling H F, et al. Platinum group elements as useful genetic tracers for the origin of polymetallic Ni-Mo-PGE-Au sulfide ores in Lower Cambrian black shales, Yangtze Platform, South China [A]. Mao J W, Bierlein F P (Eds.). *Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge*, proceedings of the 8th SGA Biennial Meeting (Volume 1), Beijing [C]. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2005:765-767.
- [36] Coveney R M, Pasava J. Origins of Au-Pt-Pd-bearing Ni-Mo-As-(Zn) deposits hosted by Chinese black shales [A]. Mao J W, Bierlein F P (Eds.). *Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge*, proceedings of the 8th SGA Biennial Meeting (Volume 1), Beijing [C]. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2005:101-102.
- [37] Wang M, Sun X M, Ma M Y. Genesis of PGE-polymetallic deposits in Lower Cambrian black rock series, southern China: Evidence from fluid inclusion and inert gas isotopic studies [A]. Mao J W, Bierlein F P (Eds.). *Mineral Deposit Research: Meeting the Global Challenge*, proceedings of the 8th SGA Biennial Meeting (Volume 1), Beijing [C]. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag, 2005:191-193.
- [38] Mao J W, Lehmann B, Du A D, et al. Re-Os dating of polymetallic Ni-Mo-PGE-Au mineralization in Lower Cambrian black shales of South China and its geologic significance [J]. *Economic Geology*, 2002, 97: 1051-1061.
- [39] 谢学锦. 全球地球化学填图[J]. 中国地质, 2003, 30(1): 1-9.
- [40] 张光弟,毛景文,熊群尧. 中国铂族金属资源现状与前景[J]. 地球学报, 2001, 22(2): 107-110.
- [41] 李晓敏,郝立波,甘树才,等. 峨眉山玄武岩分布区内铂族元素异常分析及其找矿远景预测[J]. 矿物岩石, 2003, 23(3): 21-25.
- [42] 成杭新,谢学锦,严光生,等. 中国泛滥平原沉积物中铂、钯丰度值及地球化学省的初步研究[J]. 地球化学, 1998, 27(2): 101-106.
- [43] 王登红,应汉龙,骆耀南,等. 试论与布什维尔德杂岩体有关的铂族元素-铬铁矿床成矿系列及其对中国西南部的意义[J]. 地质与资源, 2002, 11(4): 243-249.
- [44] 高振敏,李胜荣. 铂族元素低温富集矿化研究[J]. 矿床地质, 1998(增刊): 393-396.
- [45] 黄占起,沈存利,王守光. 内蒙古狼山-渣尔泰山地区与黑色岩系有关的铂族元素矿床找矿前景[J]. 地质通报, 2002, 21(10): 663-667.
- [46] 张洪,刘宏云,陈方伦. 铂-钯区域地球化学勘查[J]. 地球化学, 2002, 31(1): 55-65.
- [47] 成杭新,赵传冬,庄广民,等. 铂族元素矿床地球化学勘查的战略和战术[J]. 地球学报, 2002, 23(6): 495-500.
- [48] 涂光炽. “旧地重游”,再次认识与评价:开拓铂族元素新资源的重要途径[J]. 矿物岩石地球化学通报, 2000, 19(2): 71-75.
- [49] Distler V V, Yudovskaya M A, Mitrofanov G L, et al. Geology, composition, and genesis of the Sukhoi Log noble metals deposit, Russia [J]. *Ore Geology Reviews*, 2004 (24): 7-44.
- [50] 王登红,楚萤石,罗辅勋,等. 四川杨柳坪 Cu-Ni-PGE 富矿体的成因及意义[J]. 地球学报, 2000, 21(3): 260-265.
- [51] 赵支刚,杨大宏,杨铸生. 四川会理大岩子铂矿地质特征及找矿模式[J]. 西昌地质, 2000, 15(1): 1-13.
- [52] 成杭新,赵传冬,庄广民,等. 四川大岩子铂-钯矿床(点)热液成矿的地球化学证据[J]. 地球学报, 2005, 26(4): 337-342.

CHARACTERISTICS AND RESOURCE POTENTIAL OF PLATINUM GROUP ELEMENTS DEPOSIT IN CHINA

GENG Lin^{1,2}, ZHAI Yu-sheng^{1,2}, PENG Run-min^{1,2}

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

2. Key Laboratory of Lithosphere Tectonics and Lithoprobe Technology, Ministry of Education, China University of Geosciences, Beijing 100083)

Abstract: Platinum group elements (PGE) as a strategic mineral resource were deficient in China. The PGE deposits in China can be classified into three geneses like magmatic, magmatic hydrothermal and sedimentary genesis, and nine types. This paper analyzed the basic characteristics of typical PGE deposits, and discussed resource potential of PGE deposits in China. It is concluded that magmatic genesis PGE deposits are still main type for prospecting, PGE deposits occurred in black rocks have a significant prospecting potential, and PGE reevaluation of polymetallic deposits is an effective method to prospect associated PGE deposit. It should be paid more attention to hydrothermal type PGE orebodies.

Key words: platinum group elements deposit, deposit characteristics, deposit classification, resource potential