铂族元素矿床研究的某些新进展及其对于四川找铂的启示

王登红[1]，陈振宇[1]，李建康[1]，应立娟[2]

(1. 中国地质科学院矿产资源研究所，北京 100037；2. 长安大学地球科学院，陕西西安 710054)

摘要：近年来由于市场需要，国内外都开始新一轮的铂族元素矿床找矿工作并取得了新进展。这些进展突出地表现为在世界各地都有新的矿床、矿点发现，其中特提斯—喜马拉雅成矿带有可能成为一条新的铂族元素成矿带。在成矿理论方面，铂族元素的热液成矿机制和铂族元素在相对低温条件下通过热液作用的活化转移、重新成矿机制受到普遍关注。我国西南部地区的铂族元素矿床具有点多面广、类型多、时代多的特点，尤其是后期构造—热事件对于前期含矿构造层的影响非常明显，这一方面可能破坏了原有的含矿岩体使之支离破碎，但也因此可能形成富矿体。以 PGE 找铂的地球化学方法在使用时应考虑到具体的地质情况，高异常不见得有矿，低异常也不见得无矿。

关键词：铂族元素矿床；找矿；新进展；热液活化

中图分类号：P681.53　　文献标识码：A　　文章编号：1006-0995(2003)04-0202-07

1　地质找矿方面的新进展

1.1　特提斯—喜马拉雅成矿带的新进展

近年来铂族元素(PGE)矿床在世界范围内的找矿活动此起彼伏，新发现和新进展层出不穷，此不赘述。其中最大的进展之一是在特提斯—喜马拉雅成矿带发现了很多新的铂族元素矿床与矿点，从而使特提斯—喜马拉雅成矿带有可能成为一个新的铂族元素成矿带。该成矿带内的铂族元素矿床以蛇绿岩型为特点，铂族元素与铬铁矿关系密切，包括我国西藏的罗布莎和东巧等铬铁矿矿床，有时也出现硅酸盐型铂族元素矿化(即铂族矿物主要与硅酸盐矿物共生)。这些矿床及赋矿围岩的时代可以是不一致的，从太古宙到新生代均有。四川得荣的徐麦(海西期)、白玉县的洛隆—叶青和伊科(印支期)等地也属于此列。印度近年来发现的矿床和矿点比较多。

在印度 Karnataka 州 Shimoga 地区的 Hanumalapur 杂岩体中产有硅酸盐—铬铁矿型铂族元素矿床，岩体的时代为 3000~2500Ma，矿化属贫硫化物型，矿体厚度大。该类型矿床是在对含钒磁铁矿(该钒钛磁铁矿早在 1916 年就由 Smeeth 和 Sampath Iyengar 发现)重新评价的过程中于 20 世纪 90 年代初由 Alapieti 等人发现；近南北走向的露头长 3km，由 8 个钻孔控制了 1.8km 的矿化范围，矿体最大厚度约 60m，最高 Pt+Pd+Au 含量过 6×10^{-6}。矿石由富铝绿泥石、角闪石和铬铁氧化物(铬铁矿变成富铬磁铁矿)组成，Pd>Pt，含贱金属硫化物的岩石不含 PGE，地表样品 PGE 富集在铬铁矿型矿石中，钻孔样品则富集在硅酸盐型矿石中。铂族元素配分模式呈左倾型，Ru 略亏损(Alapieti 等，2002)。

印度奥里萨邦的 Baula 杂岩体是另一个含矿岩体，矿化辉长岩中锆石的年龄为 3122Ma，杂岩体长 3km、宽 0.5km、厚度 170~200m，主要是辉长苏长岩，似斑状。其中的铬铁矿正在开采(厚 2~5m)。铂族矿物(PGM)赋存在硅酸盐中。有两类矿化：①岩浆型矿化的 PGM 赋存在辉石和斜长石中，包括等轴铁铂矿、布拉格矿和马兰矿(malanite)、砷铂矿和硫钌矿，热液蚀变不发育；②第 2 类矿化严格局限在角砾岩化带的基质中，六方锑钯矿(Sudburyite)及 Pd—Bi—Te—Sb 系列的 Pd 矿物与硫化物共生(以 Pd 为主)，而以 Pt 为主的矿化则不与硫化物共生，在超基性岩中没有可检测的 Pt 异常，属于正岩浆+热液成因。保拉矿区黄铜矿的

收稿日期：2003-08-20

基金项目：中国地质地调局地质大调查项目(200310200002、K1.4-3-4)；国家重点基础发展规划 973 项目(G1999043203)的资助

作者简介：王登红(1967-)，男，浙江嘉兴人，研究员，主要从事成矿学及地幔柱等方面研究

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

硫同位素 $\delta^{34}S$ 为- 0.8‰~ 1.4‰, 氧同位素在绿泥石中为 $\delta^{18}O$= 3.8‰、黑云母为 3.7‰、角闪石为 5.5‰; 氢同位素在黑云母中为 δD= - 70‰、角闪石为- 76‰、绿泥石为- 44‰。同位素平衡温度为 695℃或 490~ 525℃。PGE 来自于辉长岩本身(Auge 等, 2002)。

在埃及东部沙漠中南部发现有元古代铬铁矿—蛇绿岩型的铂族元素矿床, 矿体小而不规则, 赋存在彻底蛇纹石化的纯橄岩和方辉橄榄岩中, 铂族元素含量为 1.343×10^{-6}, PGE 高度富集, 富含 PGE 的铬铁岩外部的纯橄岩壳也富含 PGE, 可达 2.258×10^{-6}; 铂族元素的配分模式呈右倾型; 富含碳酸盐矿物且主要是白云石; 蚀变过程中 Au 和 Pt 最易于活动。Ahmed 和 Arai(2002) 认为此类矿床形成于俯冲带上部, 是高度部分熔融的产物, 岩浆期后热液导致了铂族元素的富集。

在埃塞俄比亚 Yubdo 地区(亚的斯亚贝巴西 540km) 产有阿拉斯加型铂族元素矿床, 裂谷型蛇绿岩套的纯橄岩位于核部, 外部为苦橄岩和角闪辉石岩等, 蛇纹石化, 矿化特征是低硫, Ru、Ir、Os 低于检出限, 铬铁矿中的 PGM 通常< 5μm 且位于环带状铬铁矿的核部, 在蛇纹石化的超基性岩中粒度可达 15μm, 均为 Fe—Pt 合金且以铬铁矿中者含 Fe 较高, 属于早期岩浆结晶成因, 后期又有蚀变(Belete 等, 2002)。土耳其南部和 Tauric 蛇绿岩带属于特提斯蛇绿岩带的一部分, 产有 2000 多个铬铁矿矿床(Billor 等, 2002)。阿尔巴尼亚的蛇绿岩面积达 $430km^2$, 主要由纯橄岩、辉石岩和辉长岩组成, 其中的 Bregui Bibes 岩体属于蛇绿岩型, 在铬铁矿中伴生或呈独立铂矿, Pd 和 Rh 少量。与铬铁矿伴生的是 Ru+ Ir+ Os, 在过渡带出现的是 Pt+ Ru+ Ir。堆晶岩的厚度 100~ 300m, 矿化集中在蛇纹岩与辉石岩的过渡带, 矿化厚度 60~ 100m, 矿体呈透镜状和层状, 延长 200m, 延深从 20m 到 150m, 上部矿层的 PGM 含量为 1×10^{-6}~ 7×10^{-6}, 有时高达 27×10^{-6} (Boshnjaku 和 Kulici, 2002)。

1.2 其他地区的新进展

特提斯—喜马拉雅成矿带以外的其他地区也发现有不少新的矿产地, 而且类型多种多样, 其中有的类型看来还比较重要, 如硅酸盐型矿化。地跨芬兰与俄罗斯科拉半岛的 Penikat 侵入体中产有硅酸盐型铂族元素矿床, 缺乏硫化物, 但富含铝绿泥石, 铂族元素配分曲线呈左倾, Ru 略亏损(Alapieti 等, 2002)。在日本北海道 Kamuikotan(Arai et al., 1999)、纽芬兰(Page et al., 1984) 等地也发现有铬铁矿型铂族元素矿床。

塞拉利昂的 Freetown 杂岩体形成于 193Ma, 与地幔柱的活动和大西洋的打开同时发生, 由辉长岩和橄长岩组成, 厚度 7km, 橄长岩在下部, 向上变为辉石橄长岩、橄长—辉长岩、橄榄辉长岩、辉长岩到浅色辉长岩, 顶部为正长岩。含铂矿化层延长 5.2km, 主要出现在富含辉石的部位如辉石橄长岩, 其中的橄榄石更富 Mg(Fo= 0.75, 其上和其下为 0.66), 斜长石更富 Ca(Ab 为 0.27, 其上和其下 Ab 为 0.39), 辉石是单斜辉石(Ca 为 0.46, 其上和其下为 0.42)。Pt 达 0.69×10^{-6}。硫铂矿是主要矿物, 通常与黄铜矿和镍黄铁矿等硫化物伴生, 粒度一般小于 1μm。铂族矿物出现在晚期岩浆、斜长石之间或斜长石与橄榄石之间的高 Ca 角闪石中, 在角闪石内部乳滴状磁铁矿中有时可见乳滴状硫铂矿。硫铂矿可以在蚀变过程(热带雨林风化) 中转化为 Pt—Fe 合金, 与角闪石、云母和石英伴生。那里在 70 多年前就已经发现了砂矿, 0.5~ 10mm 大小的颗粒在流入大西洋的河流中被发现。其成矿机制为: 在大西洋打开的过程中注入有新鲜的岩浆并形成硅酸盐, 随着结晶作用的进行, 残余岩浆中的金属、挥发份和 S 过饱和, 导致不混溶的富 PGE 的硫化物形成(Bowles 等, 2002)。

巴西 Rio Jacare 岩基中的 Gulcari 钒钛磁铁矿形成于 2841Ma, 主要由磁铁矿+ 辉石岩+ 辉长岩组成, 含钒铁矿石储量为 2×10^6t, 平均 V_2O_5= 2%, 磁铁矿矿石中 PGE 可达 4×10^{-6}和 1×10^{-6} Pd, 总平均 PGE 0.4×10^{-6}。包括三种矿物组合: 氧化物、硫化物和铂族元素的砷化物。铂族元素的合金充填在硅酸盐和铁钛氧化物的颗粒中。磁铁矿中砷铂矿的颗粒大小为 10μm, Pt—Cu 合金呈等轴铁铂矿的形式, 在铁镍齐(awaruite) 中含 Pt 5%, 属热液成因。在低氧逸度的情况下, 钛铁矿和磁铁矿的共存温度是 450~ 550℃。先形成含 PGE 的硫化物, 后来在堆晶过程中被 Fe—Ti—V 氧化物捕获, 在堆晶矿物的间隙中形成 PGE 的砷化物, 最后是在岩浆期后热液和变质流体作用下发生再分配。

俄罗斯东西伯利亚东 Sajan 山地 Kansky 绿岩带的东部 Kingash 属于铜镍硫化物型, 形成于太古宙—早元古宙, 辉长岩透镜体的面积为 $2.5km^2$, 局限于一个大背斜的北东翼, 并且受到 NW 向断裂控制。层状侵入岩的下部为橄榄岩, 中部为辉石岩, 上部为辉长岩, 堆晶厚度 1000m。辉长岩层的上部已经变质, 属于绿帘—

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

角闪岩相。侵入岩被大量的酸性岩墙、岩脉侵入,包括花岗岩、花岗闪长岩、闪长岩和斜煌岩等。Cu—Ni 硫化物矿化在外接触带的片麻岩和角闪岩中也有出现,但主要集中在橄榄岩中,而辉长岩中只是浸染状黄铁矿和磁铁矿。硫化物呈浸染状、角砾状和块状出现,矿层厚度 5~ 270m,硫化物含量向下增大(从 1%~ 2% 增加到 15%~ 20%)。主要矿石矿物是镍黄铁矿、黄铜矿和磁黄铁矿。矿石品位是Ni 6.05%、Cu 2.46%、Co 0.14%。Pt、Os、Ir 主要在浸染状矿石中,而 Pd、Rh、Ru 集中在块状和角砾状矿石中。Pt 与 Ni、Fe 呈正相关,Pd 与 Cu、Co、S 呈正相关。铂族矿物的分布极不均匀,以下部的黄铜矿一方黄铜矿角砾状矿石最富。在浸染状矿石中只出现砷铂矿。砷铂矿可呈 0.25mm 大的自形晶,与铬尖晶石、磁铁矿、黄铜矿、磁黄铁矿及其他铂族矿物共生。大部分铂族矿物颗粒在 20~ 60μm。入选品位 Pd 为 0.23×10^{-6}~ 1.4×10^{-6}, Pt 为 0.12×10^{-6}~ 1.32×10^{-6}(Dedeev 等, 2002)。

加拿大曼尼托巴东北部的 Fox 河岩体形成于 1883Ma 前,超基性岩体长大于 250km,岩基自下而上分 4 个带:边缘带、中部下带、中部上带、顶部带。边缘带可进一步分三个亚带:最下部的 BCU 带含有下伏地层的残留体,在其底部偶见浸染状磁黄铁矿和黄铜矿;BCU 之上为 100m 厚的第一旋回单元,自下而上由二辉橄榄岩(UM1)变为暗色辉长岩、辉长岩、浅色辉长岩,顶部有时出现英云闪长岩和斜长岩(LG1);第二旋回厚 100m,在第一旋回完全固结之前侵入。1999 年在边缘带的顶部发现了 KO 矿层,KO 矿层位于第一旋回浅色辉长岩、斜长岩与第二旋回底部超基性岩之间的接触带。在 KO 矿层之上的第二旋回为数米厚的二辉橄榄岩,二辉橄榄岩为中细粒橄榄石、二辉石堆晶岩,局部硫化物含量小于 1%。含矿的 KO 矿层一般厚度从小于 1m 到 3m,硫化物的含量从下部的 15% 向上减少到小于 1%。主要是黄铜矿,Cu∶Ni 一般是 2∶1~ 3∶1。阳起石的含量可达 15%,交代橄榄石和辉石。堆积的斜方辉石和伴生的钛铁矿出现在二辉岩中。KO 矿层的 Cu 含量为 2.1%,Ni 为 0.9%,Pd+ Pt+ Au 为 5.5×10^{-6}。在第二旋回的岩浆侵入过程中 S 是饱和的,并且导致下部带 LG1 变富。晶间流体富含挥发份,可以解释颗粒加大现象(Desharnais 等, 2002)。

1.3　老矿区的新进展

俄罗斯的乌拉尔及北美地盾等老矿区近年来开展了新一轮铂族元素的找矿并取得了新的进展。比如,俄罗斯的乌拉尔曾经是世界上最重要的铂族元素产地,在 1824~ 1970 年间共生产 450t 贵金属,尤以 20 世纪初达到鼎盛,占世界供应量的 95%。最近又开始了新一轮的找矿活动,并有不少新发现(Anderson 等, 2002)。比如,在俄罗斯乌拉尔中部 Volkovsky 的 Baronskye 产有阿拉斯加型岩体容矿的铂族元素矿床,岩体主要由早志留世的辉石岩和辉长岩(辉石岩被辉长岩包围)及晚志留世的石英闪长岩及正长闪长岩组成。其中富含磷灰石和橄榄石的条带含矿,且已经蛇纹石化。附近的 Vissim 砂矿铂族矿物的品位达到 115~ 4555mg/m^3,铬铁矿品位为 20~ 125kg/m^3,其中 30% 的自然铂(铁铂矿)粒度小于 100μm。槽探揭露的品位为:Pd 15.7× 10^{-6}, Au 7× 10^{-6}, Pt 0.4× 10^{-6}。钻探揭露的品位为:Pd 6.4× 10^{-6}、Au 0.5× 10^{-6} 和 Pt 0.2×10^{-6}。在狭(10m 宽)而长(900m)的剪切带上方出现达 55×10^{-9} 的 Pd 异常,在辉长岩与辉石岩的接触带 Pd—Au—Cu 的异常带较宽。矿化主要出现在角砾岩化和强烈剪切的辉石岩中,强烈绿泥石—绿帘石—绢云母化,肉眼可见黄铜矿和黄铁矿。

北美地盾也是铂族元素的重要产地之一,也有新的进展。位于加拿大安大略 Dryden 南 90km 处的 Entwine 湖侵入岩中发现含有铜镍硫化物型铂族元素矿床,形成于新太古宙(2780~ 2700Ma)。岩体的岩石成分比较复杂,包括片理化的二长岩、二长闪长岩、角闪辉石闪长岩、辉长闪长岩、块状及含钾长石斑晶的辉石二长岩和二长闪长岩、细晶岩和伟晶岩;原始结晶的硫化物包括黄铜矿、磁黄铁矿,少量镍黄铁矿和闪锌矿。氧化物相主要是磁铁矿和少量钛铁矿。SiO_2= 45%~ 55%, Mg' = 0.25%~ 0.40%, K_2O= 0.5%~ 1.75%。地表含 PGE 的矿带长 1km,铁帽状,在层状浅色闪长岩中平均 Pt + Pd 为 1 × 10^{-6}, Ag 3.8×10^{-6}, Cu 0.5%。矿石矿物除黄铜矿、磁黄铁矿和黄铁矿外,还有 Pd—Bi 的碲化物及银金矿。硫化物主要出现在绿片岩相中,Cu 与 Pt+ Pd 呈显著的正相关,Pd/Pt= 1.5。该矿床属于岩浆成因(Arnold 等, 2002)。

2　成矿理论方面的新进展

传统的铂族元素主要由岩浆结晶分异形成的理论正在受到挑战,即使是布什维尔德这样的最主要的矿区也不例外。层状杂岩体是如何分异的,这是一个基础问题,也是一个长期没有得到解决的问题。在布什维

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

尔德,物理和化学的分异导致了铂族元素的富集,这是最主要的成矿机制。Boudreau 通过对岩层中磷灰石的研究认为,布什维尔德和斯提耳沃特实际上并不是"干"的,而是"湿"的,因为,虽然含水矿物极少,但高 Cl 高 Mg 相中的气相成分比原先想像的要高,类似于岛弧区代表性的岩石——博宁岩(bonintite),H_2O 含量可能超过 1%(Boudreau 等,1997)。另外,含卤素矿物的高 Cl/F 比值和 H、Cl 同位素组成也有助于证明斯提耳沃特和布什维尔德并不是干的岩体,而且其磷灰石中 Cl 的含量比斯喀嘎尔德和大岩墙明显高得多。布什维尔德的 δD 与博宁岛的火山玻璃有重叠。根据磷灰石的含量,估算斯提耳沃特和布什维尔德基性岩浆中的 Cl/F 比值均为 10~ 100,H_2O 含量 ≥1.0%,与博宁岩类似(Cl/F= 8.6~ 15,H_2O= 1.0%~ 2.9%),而与大西洋中脊(Cl/F= 0.5,H_2O= 0.21%)等离散型板块边界的同类岩石差别较大。

美国的斯提耳沃特(Stillwater)长期以来也被认为是岩浆结晶分异的结果,但随着矿山的开采,人们得到了越来越多的信息,表明情况并不那么简单。比如,Childs 等人(2002)调查发现,一些断层正好是矿体的边界,而 0.1~ 1m 宽度的长英质小岩脉在采矿区随处可见,长英质岩脉中粒结构,浅色,主要由长石、石英和黑云母组成,黑云母常常定向分布,其方向与岩墙接触带平行。在断层中也有长英质岩脉充填。在另一些部位,靠近断裂带附近 J—M 矿层中的品位显著降低,表明岩浆硫化物发生了活化转移(Polovina 等,2002),尤其是沿 NW 方向断层,蚀变也很强烈,包括蛇纹石化、碳酸盐化、绿泥石化和绿帘石化等,那里的 PGE 含量比附近没有蚀变的部分要低得多。Corkery(2002)进一步研究发现,斯提耳沃特杂岩体区根据石英—斜黝帘石矿物对计算的成矿条件是 500~ 550℃和 1~ 2kbar。对含硫化物的随机样品(5kg)进行分析,PGE 含量为 0.6×10^{-6}。流体具有氧化性,含 OH、Na、Cl 和 Fe^{3+},它们对 PGE 起了淋滤和搬运的作用,当遇到还原性的流体或进入到含硫化物层的还原环境时,铂族元素重新沉淀成矿。

Bockrath 等(2002)也通过实验表明 FeS 的稳定性比 RuS_2 要强得多,硫钌矿固溶体不能直接从玄武岩熔浆中直接结晶出来。这与岩石学观察得到的结论不同,因此,需要寻求新的模式来解释。

对俄罗斯乌拉尔铂矿带铬—铂矿石的研究表明,无论是早期铬铁矿中的微矿物包体还是后期矿石胶结物中均存在钙质、碱质和富流体的矿物,而且 Na 的作用随着矿石的形成和温度的降低而更加显著。如矿石胶结物中的金云母比铬铁矿中的金云母含 Na 更高,后期的绿泥石含 Na_2O 可达 3%(Anikina,2002)。在 Gosshakhta 矿山及 Nizhny-Tagil 地块其它矿床中也常见同样富 Na 的绿泥石广泛出现在纯橄岩和铬铁矿的晶洞中,并且与等轴铁铂矿紧密交生。在塑性变形过程中,成矿物质可以活化并转移到压力影、裂隙、空洞、晶洞等部位再沉淀。因此,水和碱质在 Ural-Alaskan 型杂岩体铂矿床的形成过程中起了重要作用。

南非 Rustenburg 关键带之上的主带厚度达 3000~ 3400m,但一般不含铂族元素。Harney 等人(1990)在 300m 厚的主磁铁矿层上部发现 PGE 含量很低(Pt+Pd 为 5×10^{-9}~ 10×10^{-9}),而主磁铁矿层下部的 Pt+Pd 含量可达 40×10^{-9}~ 100×10^{-9}。主带的某些部位含 Pt+Pd 可达 6g/t,其富集机制主要归因于局部的热液作用(Page 等,1982)。Barnes S.J. 等(2002)进一步研究证实,上部带的绝大多数样品含 Pt 和 Pd 不超过 1×10^{-9},Os 和 Ru 低于检测限(0.2×10^{-9}和 1×10^{-9}),Ir= 0.08×10^{-9}~ 0.3×10^{-9},Au= 0.1×10^{-9}~ 7×10^{-9},Rh= 0.1×10^{-9}~ 0.5×10^{-9}。磁铁矿不富集 Os、Ir、Ru,Ir、Pd、Re、Au、Se、Cu 与 S 之间为正相关,表明主要还是硫化物控制了这些元素的富集。

3 启 示

从上述对于近年来铂族元素矿床地质找矿与成矿理论方面进展的简要综述可以看出,铂族元素矿床绝对不是局限于布什维尔德、斯提耳沃特和诺里尔斯克等少数地区。实际上,这些巨型矿床应该看成铂族元素矿床的特例,而不是典型,运用布什维尔德的成矿模式难以找到新的矿产地,因为象布什维尔德这样的大岩体在世界上本身就比较少。尽管这些大型超大型矿床意义巨大,但对于找矿来说,不大可能一下子就找到特大型矿床,而总是先发现矿点,从矿点中发现小型矿床,再从小型矿床发现到中型、大型、特大型矿床。因此,什么样的成矿模式才能反映不同地质环境下铂族元素矿床的成矿机制并有助于今后的地质找矿,看来是迫切需要研究的。

四川是我国铂族元素矿床、矿点分布最多的省区之一,成矿时代和矿床类型均呈多样化的趋势,如何从众多的信息中抓住最关键的因素,是当前需要研究的关键。尽管目前还是"满天星星,不见月亮",但通过进

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

一步的工作应该可以取得突破。需要注意的是:

1) 充分掌握国内外的新动向, 其他地区的新经验、新理论可以拓宽找矿思路。他山之石, 可以攻玉。四川地区已知的铂族元素矿床(矿点) 数量多、类型多、期次多, 这为获得更多的找矿线索提供了有利条件。但不同时代大地构造的反复变化和多次改造也增加了找矿的复杂性。从国外不同矿区铂族元素在后期构造活动过程表现出热液活化性的特征看, 后期构造、岩浆活动可以导致原先铂族元素的活化转移和重新定位。因此, 在新生代构造叠加的中生代构造层、在中生代构造叠加的古生代构造层、在古生代构造叠加的前古生代构造层尤其是康滇地轴中的基性超基性岩分布区, 在找矿的时候可能要充分考虑热液活化的积极意义和消极作用。积极意义是指可以提供更多的找矿线索(尤其是隐伏岩体分布区) 和热液成因的富矿体(规模不大但可能很富); 消极意义是指原先完整的含矿岩体在受到构造破坏之后变得支离破碎、岩浆岩型矿石品位降低、找矿难度加大。

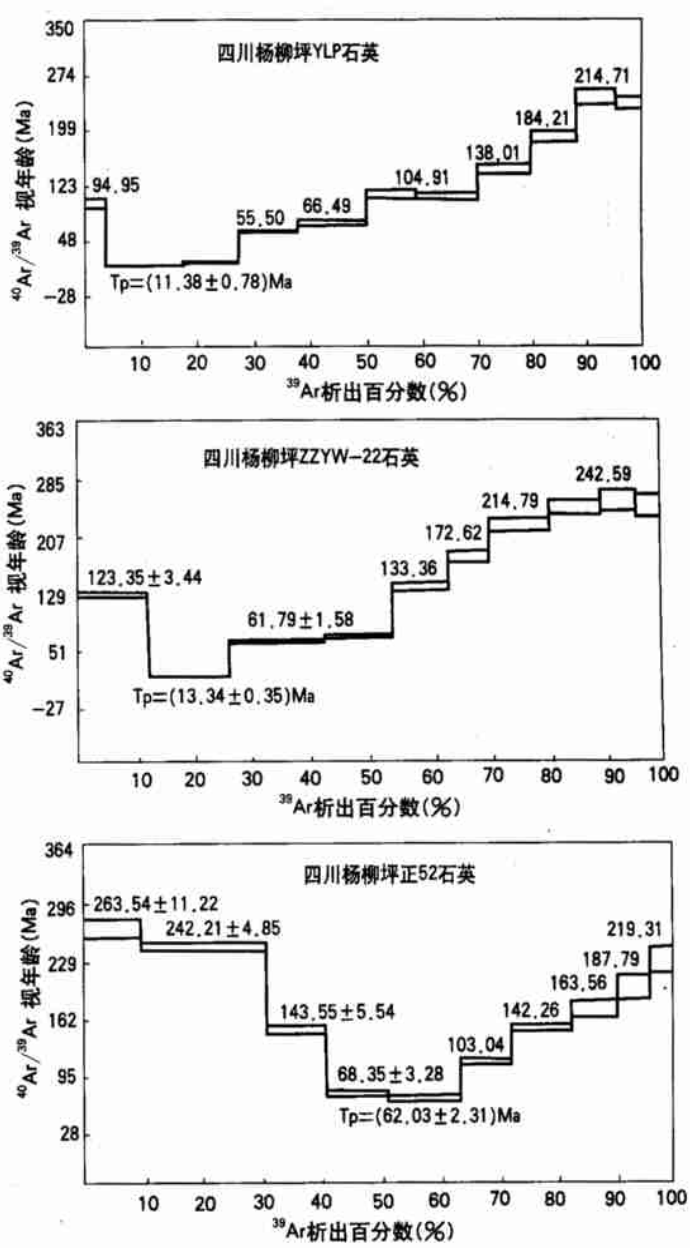


图 1　杨柳坪矿区热液型矿石中石英的$^{40}Ar/^{39}Ar$ 坪年龄谱图
(据王登红等, 2003)

笔者认为, 仅就四川和云南的典型矿床而言, 杨柳坪含铂岩体已经受到了中生代和新生代热事件、尤其是热穹隆的影响而抬升上来, 很可能深部隐伏有主岩体。在正子岩窝热液型矿石的石英中保存下了多阶段热事件的$^{40}Ar/^{39}Ar$ 同位素记录, 而其最初的事件略晚于峨眉山玄武岩的主喷发期(图 1), 表明杨柳坪铜镍硫化物铂族元素矿床最初的形成与峨眉地幔柱有关, 但受到了印支期、燕山期和喜马拉雅期多次的热事件改造。云南的金宝山铂族元素则是由于红河的深切割而剥露出来, 其岩体规模也很小, 似不足以结晶分异出目前控制的铂族元素的总量, 推测深部还可能存在隐伏岩体。云南的白马寨是由于新生代的剪切带将含矿岩体从深部"切割"再搬运上来的, 剪切带的活动时间与切割含矿岩体的煌斑岩大致相同。总体上看, 峨眉山玄武岩之下的基性、超基性岩除了一些构造活动带地区由于后期构造(如热穹隆、深断裂、剪切带) 而被重新定位到浅部以外, 大部分尚未被剥蚀。南非布什维尔德地区基性、超基性岩从元古代以来被长期剥蚀, 因此基性、超基性岩直接出露地表, 易于找矿; 俄罗斯西伯利亚地区的玄武岩与四川相似, 尚未被剥蚀完, 因此诺里尔斯克等矿床主要受到深大断裂带的控制。可见, 在四川及云南地区寻找大型、超大型规模的铂族元素矿床, 应该注意古生代以来长期活动在深大断裂带; 这些断裂带与峨眉山玄武岩相切割或其边缘地带的地球化学、地球物理异常区是首先需要注意的地方。

2) 深入解剖典型矿床, 加强勘查力度, 查明矿床成因和成矿规律是当务之急。铂族元素矿床常常是看不见、摸不着的, 属于难识别的矿床。因此, 对于矿床的认识可能会经历多次的反复。这种情况在国外也有类似, 印度卡纳塔克邦希莫加的 Hanumalapur 杂岩体中的钒钛磁铁矿早在一个世纪前就发现, 但铂族元素是

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

近来才认识到, 发现铂族元素矿化之后, 虽然在地表 3km 长的范围内沿 NS 向含矿带断断续续可以追溯, 并且有 8 个钻孔对深部情况进行了控制, 控制长度达 1. 8km, 最大厚度约 60m, 最高 Pt+ Pd+ Au 含量可超过 6g/ t(Alapieti 等, 2002) , 但矿化带的厚度和 PGE 的分布情况变化很大, 几乎是飘忽不定的。美国对于斯提耳沃特和俄罗斯对于干谷沉积岩型铂矿的研究都持续了数十年。因此, 长期的研究看来是不可避免的。四川寻找铂族元素的步伐很快, 新发现层出不穷, 从城口的黑色岩系型铂矿到大岩子等地的接触带型铂矿再到石棉的辉石 —辉长岩型自然铂矿, 都取得了重要的进展, 但总给人以似乎手到擒拿却又虚无缥缈的感觉, 没有取得根本性的突破。因此, 从四川地区的实际地质情况出发, 查明不同时代不同类型矿床的成矿条件和成矿机制是当务之急。

3) 关于找矿方法。目前看来, 铂族元素的成矿机制比较复杂, 铂族元素既可以在基性、超基性岩中形成世界级的大矿, 也可以在与中酸性岩浆岩有关的斑岩铜矿和矽卡岩型铜矿中广泛伴生, 还可以在沉积岩尤其是黑色页岩和砂岩型铜矿中达到大规模的富集; 可以是太古代、元古代成矿(如南非、北美) , 可以在古生代成矿(如诺里尔斯克) , 也可以在中新生代成矿(如特提斯—喜马拉雅成矿带) ; 可以是铂族矿物独立成矿, 可以伴生在硫化物中, 也可以伴生在氧化物(如铬铁矿、磁铁矿) 中。因此, 铂族元素矿床的产出环境是多种多样的, 类似于金矿。金矿的找矿由于 Au 化探方法的成功采用而取得了一系列的突破, 铂族元素的地球化学找矿方法目前也正在研究之中。原则上看, 以 PGE 找铂矿应该是有效的, 但由于大面积分布的峨眉山玄武岩本身铂族元素含量比其他类型岩石(尤其是沉积岩和花岗岩类岩石) 要高得多, 因此, 在圈定异常的时候如何选择异常的下限还需要结合地质情况综合考虑。另外, 考虑到铂族元素的活动性, 即使是低 PGE 含量的地区, 也不见得就没有铂族元素成矿的可能性。这种情况非常类似于金矿、铜矿或其他矿床周围出现的降低场(如德兴斑岩铜矿周围围岩 Cu 的偏低) 。因此, 对于地球化学异常的解释需要与地质情况密切结合。仅仅是大面积、小比例尺的化探扫面还是不够的, 需要配合以天然重砂和人工重砂的方法。

参考文献:

[1] Alapieti T T, Halkoaho T T A, Devaraju T C, Jayaraj K R. Chromitite- hosted PGE mineralization in the Channagiri area, Karnataka State, India. VII. International Platinum Symposium, 1- 4 August Moscow (Abstract), 1994, 3~ 4

[2] Devaraju T C, Alapieti T T, Halkoaho T A A, Jayaraj K R, Khanadali K D. Evidence of PGE mineralization in the Channagiri mafic complex, Shimoga District, Karnataka, J Geol Soc India, 1994, 43: 317~ 318.

[3] Chadwick B, Vasudev V N, Jayaram S. Stratigraphy and structure of Late Archaean Dharwar volcanic and sedimentary rocks and their basement in a part of Shimoga basin east of Bhadravati, Karnataka. Dept. of Mines and Geology, Govt. of Karnataka, Spec, 1998, 148: 39.

[4] Radhakrishna B P. Mineral resources of Karnataka. Geological Society of India, 1996, 471.

[5] 王登红, 刘凤山, 楚萤石, 等. 峨眉地幔柱与杨柳坪铁镍铂族元素矿床[M]. 北京: 兵器工业出版社, 2003.

Some Advances in the Prospecting and Study of PGE Deposits and their Inspiration to the Exploration of PGE Deposits in Sichuan, China

WANG Deng-hong[1], CHEN Zheng-yu[1], LI Jian-kang[1], YING Li-juan[2]
(1. Institute of Mineral resources, CAGS, Beijing 100037;
2. Chang'an University, Xi'an 710054)

Abstract: Due to the large market demand, a lot of exploration activities for platinum- group elements deposits around the world resulted in numerous new discoveries during the past decade. Even new localities distributed all over the world, it is more attractive that there are some important new discoveries in the Tethys- Himalayan metallogenic belt, suggesting that it is possible for this belt to become a new producer of PGE in the fu-

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

ture. On the other side, the traditional theories of PGE metallogeny are under challenge, because more and more evidences showing that the remobilization of PGE can occur under an even low temperature condition. In the southwestern China, there are numerous occurrences of PGE, which belong to different types and formed in different ages, suggesting a good future for explorationg new PGE deposits. However, all of these PGE deposits or occurrences have been subjected to poly- stage of tectonism, such as heating- uplifting, deep faulting or large scale thrusting in shear zone, resulted in the remobilization of plinium- group elements. Thus, some of the original orebody or ore zone might have been dismembered, but more informationg might be given by the process of tectonic- reactivity. The geochemical method of using PGE anomaly for exploration is generally useful, but should concordant with its geological setting and the mechanism of PGE mineralization, because the high abnormal of PGE content do not mean a PGE deposit (especially in the mantle plume originated large igneous province) while the low abnormal of PGE content do not mean no mineralization.

Key words: PGE deposits, exploration, new advance, hydrothermal mobilization

“国土资源与四川发展新跨越”战略研讨会将于 2004 年 9 月在成都召开

为提高国土资源对经济社会可持续发展的保障能力, 更好地为推动四川发展新跨越及全面建设小康社会献计献策, 四川省地质学会、四川省土地学会、四川省国土经济学研究会、四川省矿业协会、四川省旅游协会、四川省生态学会、四川省矿物岩石地球化学学会等七个学(协)会决定于 2004 年 9 月在成都联合召开“国土资源与四川发展新跨越”战略研讨会。主要议题有 13 项, 涉及国土资源、旅游资源的开发利用与可持续发展和地质生态环境保护、地质灾害防治以及长江上游生态屏障的建设等。

四川省地质学会办公室供稿

© 1994-2012 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net