

试谈铂族元素矿床地质及其类型

桂林冶金地质研究所岩矿室铂矿专题组

无产阶级文化大革命以来，在毛主席关于要注意矿产资源综合利用指示的指引下，铂族金属矿床的找矿、勘探和生产有了很大发展，科学研究工作也相应取得一定的成果。铂族金属有它特殊的性能和重要的工业用途，铂矿资源的找矿和综合利用工作愈来愈显得重要。最近，我们开始注意国内外铂矿资源的情况，并向有关勘探队进行了学习和调查。本文主要是学习汇报，着重谈我国铂族元素矿床地质及其类型，并根据文献资料与国外铂矿床进行初步对比，阐明其共性和特性。由于了解情况不够全面和分析能力有限，本文必然会有不少错误，不当之处请同志们批评、指正。

一、一般情况

铂族元素在地壳中是十分稀少的元素之一，它们同金、银统称为贵金属（铂、钯、铑、铱、钌、铇、金、银），其原子克拉克值分别是：铂 5×10^{-8} ，钯 1.6×10^{-7} ，铑 5×10^{-7} ，铱 8.5×10^{-9} ，钌 1×10^{-7} ，铇 1.7×10^{-8} 。从矿物学角度来看，它们主要形成自然合金和化合物两大类，并可以显微细粒和类质同象，存在于硅酸盐矿物及各种金属矿物之中。

国外铂族金属资源分布不均衡，主要在加拿大安大略的萨得贝里、曼尼托巴的利恩湖和汤姆逊、不列颠哥伦比亚等地区；美国

阿拉斯加的古德纽斯湾，哥伦比亚的乔科，南非特兰士瓦地区的鲁斯顿堡、麦伦斯基、莫依赫克、维特瓦特士兰德；津巴布韦的大岩墙；埃塞俄比亚的比尔比尔；苏联乌拉尔的下塔吉尔、彼尔姆、西伯利亚的诺里尔斯克地区、科拉半岛芒切苔原；澳大利亚西部的卡姆巴尔达等。其它国家如挪威、西德、意大利、新几内亚、新西兰、刚果、巴西等，亦有小规模的铂矿床。近年来，苏联在诺里尔斯克区发现了含铂族金属分别为5克/吨和11克/吨的塔勒纳赫和“十月”（哈拉耶拉赫）硫化铜镍矿床，使其铂族金属地质储量已超过南非。值得重视的是，澳大利亚发现了卡姆巴尔达等含铂铜镍矿床及印度发现了大型含铂铬铁矿矿床，使国外铂族金属储量有较大增长。上述地区的铂族元素矿床类型，主要为岩浆岩型含铂族硫化铜镍矿床，其次是含铂族的铬铁矿矿床和砂铂矿床。

目前国外主要生产铂族金属的国家是苏联、南非和加拿大。三个国家从矿石中生产的铂族金属占国外总产的98%，美国和哥伦比亚约占1.5%，其它国家只占千分之几。97%的铂族金属从硫化铜镍矿石中综合回收获得，3%来源于铬铁矿矿石、砂铂精矿及多金属精矿冶炼中的副产品。当前生产的铂族金属以铂和钯为主，其次是铑和铱，最少的是铇和钌。国外铂钯总产量比值是3:2。

二、铂族元素矿床地质及类型

我国铂族金属最早发现于内蒙和宁夏某些铬铁矿矿床。寻找和研究铂族金属矿床主要开始于本世纪六十年代,以后陆续发现不少铂矿化点和含铂族元素的岩浆岩矿床,主要是岩浆岩型含铂铜镍矿床和铬铁矿矿床。其它类型铂族金属和砂铂矿床亦有发现,但只处于从属地位和发现的萌芽阶段。一般说,铂族金属的产出都与主金属伴生,特别是铬、铜、镍、铁、金、钼等,形成所谓含铂族金属的岩浆岩矿床和多金属矿床,在开采主金属的同时回收铂族金属。国内外迄今还未真正找到一个不与其它主要金属伴生的单独开采利用的原生铂矿床。据此,按其产出的地质环境、岩石类型和主要伴生金属,划分为内生矿床和外生矿床。

1. 内生矿床

(1) 含铂族元素的硫化铜镍矿床 是世界上的铂族金属矿床的主要来源和开采对象。据成矿特点可分成岩浆深部熔离底部矿床和岩浆深部熔离晚期贯入式矿床。在我国,这类矿床主要产在海西期超基性侵入岩体中,基性岩中所见不多。岩体多呈单斜岩墙和盘状,含矿岩相主要为纯橄岩、橄榄岩、二辉橄榄岩、含辉橄榄岩和辉岩等,可有大型的含铂族元素铜镍矿床。例如某含铂族硫化铜镍矿床,岩体为海西期侵入前震旦系片麻岩大理岩系的超基性岩, $M/F=3\sim 5$, 属铁质岩类。岩相分异良好。含矿母岩主要是纯橄岩、含辉橄榄岩、二辉橄榄岩。铂族元素在铜镍富矿中比贫矿高,贫矿又比围岩高,边部交代大理岩的交代型矿石亦含有铂、钯。矿石中 Pt、Pd 含量约占铂族金属总量的70~80%,主要形成独立矿物,占

矿石中铂钯的85~90%,少数呈类质同象分布于金属硫化物和硅酸盐矿物中。矿石中铂、钯比值约为2:1。本矿床铂族金属有大于1克/吨的富铂钯矿体,大者长几十米、宽10多米,并富含金和银。又如某含铂族元素硫化铜镍矿床,岩体为岩墙状和漏斗状,含矿母岩为橄榄岩、辉岩和碳酸盐滑石岩, $M/F=3\sim 5$, 属铁质岩类。铂、钯主要呈独立矿物产出,砷铂矿占铂族金属矿物58%,钼、铀、钒、铯极微。再如某地含铂族硫化铜镍矿床,岩体主要为单斜辉岩,含矿母岩为辉岩,除铜镍矿体含铂族金属外,矿体两侧的辉岩都有具工业价值的铂矿化。辉岩 $M/F=1\sim 3$, 也属铁质岩类。铂钯比约为2:1。澳大利亚西部卡姆巴尔达含铂族元素铜镍矿床与上述三个矿床类似,均产于超基性岩内。但就矿石中所含的铂族元素和赋存状态,却类似于苏联诺里尔斯克、加拿大萨得贝里的含铂族硫化铜镍矿床,不同的是后者含矿母岩为基性的辉长—辉绿岩和苏长岩,成矿主要与基性岩有关。苏联诺里尔斯克铜镍矿石中含铂族较高,平均为5~10克/吨,矿石中 $Pd>Pt$; 加拿大萨得贝里铜镍矿石中,含铂族为0.78克/吨, $Pt>Pd$ 。苏、加二个矿床中的矿石铂钯含量占铂族金属总量的85~90%。钼、铀、钒、铯含量极微。

无论是岩浆深部熔离底部矿床还是晚期贯入式矿床,在造矿矿物的组合、铂族元素的分布和含量及其赋存状态上都是相似的,造矿矿物主要是磁黄铁矿—黄铜矿—镍黄铁矿组合,并出现黄铁矿、方黄铜矿、紫硫镍铁矿、辉铁镍矿以及微量方铅矿和闪锌矿。矿石主要含铂、钯,多以砷、硫、锑、铋、碲、锡化合物产出。铂、钯常形成独立矿物,计有砷铂矿、锑铂矿、锑钯铂矿、碲铋银钯矿、硫镍钯铂矿、锡钯矿、铋碲铂钯矿、黄铋碲钯矿、方铋钯矿、硫钯铂矿等,偶见自然铂。铂钯与铜镍一般呈正消长关系。钼、铀、

钨、铍含量低微。

从现有资料分析,并非所有硫化铜镍矿床都含有铂族元素,某些大型硫化铜镍矿床,铂和钯含量都小于0.05克/吨,达不到综合利用的经济指标。一般认为这与深部岩浆熔体是否富含铂族元素或者由于成矿作用物理化学条件的不同,铂族元素的分散或富集有密切关系。

(2) 含铂族元素的铬铁矿矿床 含矿岩石为蛇纹石化纯橄岩、橄榄岩或辉岩,铂族元素主要分布在铬铁矿石中,在铬铁矿或围岩的纯橄岩、辉岩中较低。例如我国某铬铁矿矿床赋存在吕梁期侵入的超基性岩中,含矿母岩为粗粒纯橄岩和蛇纹石化纯橄岩,矿体一般为不规则的透镜体,矿石含钨、钨、铀较高,钨最低,主要矿物为硫钨铀矿,次为砷铂矿、硫砷铀矿、铀铂矿、钨铀矿等。西南超基性岩北带某铬铁矿矿床,含矿母岩为燕山晚期的纯橄岩和橄榄岩,铬铁矿矿石含铂族元素较高,以钨、铀和钨为主,铂、钨和铀较低。

含铂族元素的铬铁矿矿床中,铂族元素的分布和赋存状态与硫化铜镍矿床显著不同,常以钨、铀为主,次为铂、钨,铀、钨最低。铂族元素主要形成自然合金,如暗钨铀矿、亮钨铀矿、自然铂、粗铂矿、铁铂矿、铀钨矿及硫钨铀矿等,广泛与铬铁矿伴生。如是辉岩类的铬铁矿矿床,铂和铀含量略高,而钨和铀含量较低。

(3) 超基性岩中钨铀磁铁矿床 这类矿床目前发现不多。含矿岩石主要为辉岩和橄榄岩。钨铀磁铁矿矿石本身含铂族元素并不高,一般为0.05克/吨。但在成矿过程中,由于岩浆分异和结晶作用,硫化物相对凝聚而下沉在矿体下部,形成富含硫化物的矿层,其中富集铂族元素。如某钨铀磁铁矿床,在辉岩下层底部富硫化物带,铂族金属以富含钨、钨为特征;橄榄岩下矿层底部富硫化物带则以富铂、铀为特征。经查定虽有

砷铂矿等,但铂族元素主要赋存在黄铜矿、黄铁矿和磁黄铁矿中。

(4) 超基性岩中含铂磷矿床 某含铂磷矿床,含矿岩石为单斜辉石岩、角闪岩和角闪辉石岩,矿体一般为条带状和透镜状。铂族元素除赋存于与磷矿相同的岩石外,还见于透辉岩中。铂族矿物有:自然铂、硫铂矿、硫铂钨矿、砷铂矿和粗铂矿等。

(5) 超基性岩中低品位铂矿床 某些超基性岩体,若按铬、铜、镍工业指标圈定矿体,既达不到铬铁矿的工业矿床,也达不到铜镍工业矿床,但如作为岩浆岩原生铂矿床,以铂族金属总含量为2~2.5克/吨圈定矿体,又圈定不出铂矿体,故暂称为超基性岩低品位铂矿床。这类矿床的特点是,含铂族元素矿化的超基性岩,由于岩浆分异和元素凝集作用的影响,岩体内部的某些岩相,局部形成透镜状或似层状的含微量铬、镍、铜的低品位铂矿体,所见多为铂、钨的低品位铂矿床,铂钨含量大体为0.5~0.8克/吨,个别达1~1.5克/吨,钨、铀、钨含量在仪器灵敏度之下。例如某低品位铂矿床,含铂岩石为角闪单斜辉岩,含Ni0.08%、Cu0.2%、Pt0.23克/吨、Pd0.2克/吨,矿体呈透镜状和饼状,分布在岩体垂深较大幅度,长度可达200米,最宽可达10多米。铂矿体中铂族元素、铜和镍含量与围岩有明显差异,矿体中铂钨与铜镍呈正消长关系。在我国其它超基性岩带中,还可发现类似这类低品位铂矿床。

上述五类矿床也称作岩浆岩矿床,矿体均产在岩浆岩体内部或底部,是由于岩浆熔体分离凝集和富集作用而形成的似层状、透镜状、条带状和不规则状的矿体。

(6) 含铂族元素矽卡岩型多金属矿床 主要是矽卡岩铜钨矿床和矽卡岩铜铁矿床。初步认为与中性闪长岩和酸性花岗岩类侵入,并同石灰岩和泥灰岩发生直接交代作用有关。如某矽卡岩铜钨矿床,侵入岩为闪长

岩类。铜铂矿石含铂和钯，原矿中铂、钯分别达0.02~0.3克/吨，铂大于钯，铂、钯可能呈细小微粒或类质同象赋存在硫化金属矿物中。巴西和扎伊尔的矽卡岩铜矿床，为花岗岩质岩类与泥灰岩接触而形成，矿石中的铂族矿物有铋钯矿、铋铂矿、铋金矿和钯金矿等。

(7) 硫化物石英脉金矿床 这类矿床在国外很具代表性。如南非瓦捷尔斯别尔山矿床，矿石中铂钯含量从数百克/吨到5000克/吨。美国内达华州的鲍斯金铜石英脉矿床，矿石中铂和钯的品位分别是1.6~31和3.4~34克/吨，认为铂、钯可能存在于一些金属硫化物或其它金属矿物中。在新西兰、加拿大、德国等，亦发现有类似矿床。我国某硫化物石英脉金矿床，经初步查定，肯定有铂、钯存在，矿石中铂钯分布不均，含量较低。

2. 外生矿床

国外铂族金属的来源，外生矿床比内生矿床逊色得多，类型也比较单一，主要是砂矿床和古老地层中的沉积矿床，而以砂矿床的发现和开采历史更悠久。如美国阿拉斯加的古德纽斯湾、南非的维特瓦特士兰德、哥伦比亚的乔科、苏联乌拉尔的富铂矿床，都是著名的矿床。乌拉尔原生铂矿床经济意义并不大，但原生铬铁矿矿床和铂族元素矿化的纯橄岩和辉岩风化破坏后，在中生代、第三纪和第四纪阶地和河床形成的含铂富砂矿，经济意义很大。砂铂矿床主要形成于超基性岩发育地区，是一些含铂族元素的岩体或矿体经风化淋滤冲刷到古河床和现代河床，或者在超基性岩的风化壳中形成残积和坡积砂铂矿。如我国西藏、青海、河北、陕西等超基性岩发育区，其周围的低洼谷地和现代河床都发现有砂铂矿，并常与金伴生，铂族矿物主要是粗铂矿、钨铀矿、钨钨铀矿、

硫钨铀矿、钨铀矿及硫钨铀矿等。南非的维特瓦特士兰德金铂砂矿是钨和铀的主要产地。

沉积型铂矿床 目前发现不多，主要是沉积型的镍铂矿床和古砾岩中的含铂—金矿床。在德国、南非和巴西均有所发现。成矿作用与前寒武系地层或古生代的泥灰岩、黑色页岩及砾岩有关。我国某地下寒武系黑色页岩的沉积型镍铂矿床，伴生有铂和钯。铂钯与镍一般呈正比关系，并常可构成富铂和贫铂矿层。

随着地质勘探事业的发展，将会不断发现其它新类型矿床。例如锡矿床、铀矿床、钼矿床、超变质岩（斜长岩）中，也发现有铂族金属。因此，铂族金属来源不局限于基性超基性岩的岩浆岩矿床，对寻找其它类型铂矿床也不应忽视。

三、铂族元素成矿作用的讨论

铂族元素在物理化学性质上是相似的，但在成矿过程中的迁移和富集却有它们自身的特殊性。有人曾指出，铂族元素在超基性岩、基性岩和中酸性岩中的含量几乎是等级相同的，但在超基性岩和基性岩中有趋于富集、在酸性岩中则趋于分散的现象。特别是铂和钯可从超基性岩和基性岩中分异出来，而在残余岩浆的高温热液阶段富集，甚至认为铂和钯在热液阶段比岩浆阶段更有利于富集，从而形成小而富的铂矿床，并与金属硫化物密切共生。

岩浆阶段和气成热液阶段都表现有铂族元素的活动，在岩浆期、伟晶期和热液期都可形成有经济价值的各种类型的铂族元素矿床，这是不可忽视的事实。在不同的成矿阶段中，铂族元素具有本身和对其它元素的亲和力和络合力，形成自然合金、化合物和分布在其它矿物的晶格中，并和一些重矿物聚

集共生,在岩体内形成富集体或分布在各类型金属矿床中。这就是铂族元素本身的成矿专属性和地球化学行为的特点。从各类岩石和矿床中铂族元素的含量和分布可见,铂族元素具有亲铁、亲硫的双重性质,钌和铱更显亲铁性,铂和钯则显亲硫性。部分钌、铱和铂在岩浆早期结晶阶段,可分布在一些硅酸盐矿物中,特别是镁铁橄榄石、铬铁矿和铬铁尖晶石中,呈元素分散状态出现。随着岩浆物理化学条件的改变,这些元素在岩浆分凝结晶阶段,形成各种自然合金与铬铁矿共生,富集在纯橄岩的铬铁矿中。这就是超基性岩的纯橄岩铬铁矿矿床富含钌、铱和铂的自然合金,并富钌、铱的原因。当铬铁矿的氧化比值($Fe^{+3}/(Fe^{+2}+Fe^{+3})$)低时,更有利于富集。

铂和钯在岩浆期后明显富集。深部岩浆分成二种不混溶的硅酸岩熔融物和富硫化物的岩浆熔融物时,由于铂和钯具有较强的亲硫性,而形成硫、砷、铋、锑、碲的化合物,与金属硫化物密切共生,并以细小的不规则体分布在硫化物中,形成的硫化物以高温的磁黄铁矿、黄铜矿和镍黄铁矿组合为特征,这就可解释为什么硫化铜镍矿床富含铂和钯并形成各种铂钯矿物,而且磁黄铁矿,黄铜矿含铂钯较一般的高。至于钌和铱,无论在岩浆早期或晚期成矿过程中,都处于较分散状态,没有明显富集现象,而以置换的方式存在于其它铂族元素的自然合金和化合物中。

不论何种元素都有分散和富集的双重性。当岩浆演变到最后阶段时,部分铂、钯还可分散在富含挥发组分的岩浆残余溶液中。由于构造活动,在岩体的边部或内部脆弱部位发生断裂而成为残余溶液活动的通道和容矿场所,形成含铂和钯的高温热液贯入脉状矿体,由致密块状、细脉浸染状矿石组成,铂、钯重新富集,形成砷、铋、碲、锑化合物。矿物共生组合以黄铁矿和黄铜矿组合为特征,还有紫硫铁矿、辉铁镍矿、针镍矿等伴生,无疑具有热液成矿的特点。这阶段钌、铱、

钌和铱显然趋向贫化,矿石中含量极微。所以,有人认为铂和钯在热液阶段比在岩浆阶段更有利于富集,并不是没有道理的。

至于一些多金属矿床中,主要赋存有铂和钯,这表现分散在较酸性的岩浆中的铂族元素,在岩浆侵入的同时,由于热力作用和气水溶液的影响及铂、钯的亲硫性质,分散在岩浆中的铂族元素重新分配,在成矿过程中进入到金属硫化物晶架中,或在合适的结晶-化学因素下,与稀贵元素形成微细的独立矿物,这可说明酸性岩分散有铂族元素,特别是铂和钯。所以多金属矿床中含有铂和钯是与岩浆岩侵入有密切关系。

四、铂族金属的综合利用

在毛主席“独立自主,自力更生,艰苦奋斗,勤俭建国”方针的指引下,我国铂矿资源综合利用已取得较大进展,有色冶金系统中铂族金属的回收早已持续生产,合理地回收低品位铂矿的铜、镍及铂族金属也初获成效。

铜镍矿石一般是通过选矿富集铜镍精矿,然后冶炼铜镍金属,在电解铜镍金属产品后的阳极泥中提取铂族金属。目前我国的铂族金属生产主要是从电解铜镍金属后的阳极泥提取铂族金属。

多金属矿床(主要是矽卡岩铜钼矿床和矽卡岩铜铁矿床)、石英脉金矿床及其它含铂族金属的矿石,在冶炼铜精矿时,铂族金属作为副产品综合回收。如某厂在冶炼铜精矿后,粗铜电解时可获得铂、钯金属,并可回收金、银及其它稀散元素。所以查明我国含金石英脉矿床、多金属矿床及其它沉积矿床中的铂族元素,对增加铂族金属产量是有现实意义的。

超基性岩低品位铂矿床,由于铜、镍和铂族金属目前尚不能作为单独的工业矿体开采利用,但若走综合利用的道路,就能得到合理的回收,为国家提供工业建设的原料。这类矿床的铂族金属综合利用的方法,主要

有以下几种:

钙镁磷肥法 利用低品位的铂矿石和磷矿石, 熔炼钙镁磷肥, 在磷镍铁中富集回收铂族金属, 吹炼磷镍铁使铂族金属富集于铜镍合金中, 电解含铂的铜镍合金, 将铜、镍与铂族金属分离, 处理阳极泥, 提取铂族金属和金、银。

高镁水泥法 利用低品位铂矿石, 经鼓风炉溶炼, 炉渣做高镁水泥, 处理含铂合金, 得出铂钨铜镍合金, 经电解提取铜镍和铂族金属。

铸石法 通过制造耐磨、耐酸、耐碱和抗压的铸石, 获得镍铁合金, 提取铜镍和铂族金属, 使超基性岩低品位的铂矿石, 得到综合利用回收。

上述方法都是通过制造某种工业产品的途径, 使铂族金属得到综合利用。今后应加强这项工作的研究, 试验出更好的合理的工艺流程, 为开发我国铂族金属作出应有的贡献。

(上接第17页)

3. 勘探中注意的问题

鞍山式铁矿受了多次改造作用, 因此无论形态、品位、物性都已复杂化了。如稳定的矿层, 可以因褶皱和冲断层的影响而反复出现浅处, 并造成深部中断。矿层既有混合岩的干扰, 又有热液蚀变使其贫化和破坏。特别是靠近鞍山式铁矿层上下的沉积围岩, 在混合岩化后剩余程度如何, 对矿层稳定性的估计有着重要意义。凡稳定的矿层, 大都一侧或两侧保有围岩。

从开采利用出发, 要注意氧化作用的多样性和相互穿插因素, 正确圈定矿体物性类型。铁矿物颗粒大小、不同物性铁矿物的分布状态和占有比例, 都是决定选矿方法的依据。与磁选有关的 Fe₂O₃ 含量, 及其究竟是在磁铁矿中、菱铁矿中, 抑或在含铁硅酸岩中, 应在矿相上和化学分析上弄清楚。

本文在成稿中有些看法是与有关同志共

本文所引述的资料主要来自兄弟单位, 由本所分析、岩矿室同志提供部分分析和鉴定成果, 在此表示感谢。

(梁有彬执笔)

主要参考文献

- (1) 杨敏之等, 《铂族元素及铂矿地质》, 科学出版社, 1973
- (2) 地质科学研究院, 《地质科技》, 1973, No.2, 1-33, 110-113页
- (3) Das Sarma B., Sen B.N., and Chowdhury A.N., Econ.Geol., V.61, 1966, pp.592-597
- (4) John, B., Mertil, J.B.Jr., 1966, Economic geology of platinum metals
- (5) Keays, R.R. and Crockett, J.H., Econ.Geol., V.65, 1970, pp. 438-450
- (6) Molly, E.W., Econ.Geol., V.54, 1959, pp.467-477
- (7) Norman, J.Page, Leonard, B.Riley, and Joseph Halferty, Econ.Geol.V.67, 1972, pp.915-923

同讨论的意见, 有些是不成熟的个人看法, 请指正。

主要参考资料

- (1) 鞍钢地质勘探公司, 1954年以来的有关鞍钢各铁矿区的地质勘探总结报告
- (2) 鞍钢地质勘探公司, 鞍山式铁矿勘探方法, 1959
- (3) 李鸿业, 鞍山式铁矿成因问题(未刊), 1964
- (4) 李鸿业、赵秀德, 鞍山式富铁矿成因问题(未刊), 1965
- (5) 阪本俊雄, 前寒武纪条带状铁矿石的成因, 《地质译丛》, 1957
- (6) M.C. 马尔科夫, 前寒武纪地壳发育特点, 《地质译丛》, 1965
- (7) 程裕淇等, 鞍山附近鞍山群的层序和时代, 《地质丛刊》, 1933
- (8) 鞍钢地质勘探公司(周铭浩执笔), 鞍山式铁矿特征和规律, 冶金部地质干部学习班材料, 1973
- (9) K.K. 马尔科夫, 《古地理学》, 地质出版社, 1959
- (10) 程裕淇, 中国东北部辽宁山东等省前震旦纪鞍山式条带状铁矿中富矿的成因问题, 《地质学报》, 37卷 1957
- (11) 李鸿业, 鞍山地区前震旦纪花岗岩问题, 《地质知识》, 1957