

地质科技资料选编（三十四）

铀矿地质资料选编

内 部 发 行

云南省地质研究所情报室 合编
中国地质科学院情报所

PDG

目 录

铂矿地质的几个问题	(1)
金宝山含铂超基性岩体地质概况	(9)
元谋—永仁一带含铂基-超基性岩体产出特征、成矿规律、找矿方向及方法的初步认识	(27)
I 号铂矿地质简介	(43)
迎风含铂岩体地质特征简介	(47)
红石砬铂矿地质特征及找矿标志	(57)
采用判别分析评价某地区基性-超基性岩体含矿性的初步尝试	(71)
铂族金属矿床的一般特点及其成因	(77)
不同类型金属矿床的含铂性	(97)
铂族金属矿床	(148)
南非阿托克铂矿山的梅林斯基矿层及其围岩	(166)
埃塞俄比亚的铂矿床	(179)
乌拉尔中-新生代砂金与砂铂矿床	(187)
阿纳巴尔河—奥列尼奥克河河间地区第四纪沉积中的铂矿物	(190)
对铂矿成因的进一步设想	(191)
铂矿成因的某些认识	(216)
含钨和铈的镍黄铁矿是铂金属热液活动的标志	(218)
热液环境中的铂族矿物	(223)
塞拉利昂刚果水坝地区自然铂与铜硫化物的产出状态	(231)
铂族元素矿物学	(241)
诺里尔斯克矿床矿石中铂族矿物的赋存条件及成分特征	(273)
铂族金属矿物名词表	(288)

铂矿地质的几个问题

铂族金属（铂、钯、钨、铑、铱、钌）及其合金，具有熔点高、耐摩擦、抗腐蚀、抗氧化、强度大、延展性强、热膨胀系数低、热电稳定性强、反光能力好等优良特性，在工业上广泛被利用。例如，铂在制造硝酸、硫酸、石油加工和制作火箭和导弹燃料时作催化剂；在控制汽车污染方面作催化转化剂；在喷气发动机制造中做二次点火器；在造船工业上用于船壳的阳极保护；在人造纤维和玻璃工业上作喷丝头材料；以及在化学器皿、精密仪器、电解等工业上都有重要用途。钯被用于催化剂、自动开关触点及牙科，国外还用钯合金管作提纯氢的扩散设备。铑、钨、铱、钌主要作为改变铂、钯性能的合金元素，此外，铱在电镀和电子元件，钌在薄膜电子电路，放射性铑在放射性照像方面也是重要材料。

铂族金属如此广泛的用途，使它成为工业发展的重要材料。据报道，美国每消耗一亿吨钢，就相应消耗铂 32.4 吨，一些资本主义国家则相应消耗 24 吨。从近些年来铂金属消费量的变化情况看，总趋势是增加的，1974 年国外总消耗量为 83 吨。1975 年铂的需求量略有减少，如美国比 1974 年减少 3%，西欧减少 11%。铂用量的缩减主要在石油加工（与用铑铂催化剂代替铂有关）、电力和玻璃工业方面；而在汽车工业上，由于控制空气污染装置的采用，铂用量却是增加的（美国 1975 年为 1974 年的 1.6 倍，日本为 1.85 倍）。从铂族金属的总需求来看，估计总趋势也是增长的。

目前，世界上约有 60 多个国家和地区发现（或开采）了铂矿床，但储量最大的是苏联和南非（阿扎尼亚），次之为加拿大、哥伦比亚、美国、巴西及澳大利亚等。据 1973 年资料，国外主要产铂族金属的国家和地区的储量如表：

国家或地区	储量（吨）	国家或地区	储量（吨）
美 国	93.3	南非（阿扎尼亚）	6220
加 拿 大	497.6	苏 联	6220
哥 伦 比 亚	155.5	国 外 总 计	13186.4

（为确定和推定储量）

我国的铂矿地质工作已取得了一定成绩，探明了一些矿床，查明了若干远景区，而且拥有大型含铂矿床。在铂矿普查勘探、地质及矿物学研究方面，积累了不少经验。但是，在储量和产量方面还很满足需要，须从国外进口。苏修则以每公斤铂 6500 元的高价对我们进行勒索。在以华主席为首的党中央领导下，我国铂矿地质工作者贯彻自力更生、艰苦奋斗的方针，有志气，有能力找到更多更好的铂矿床，打破帝修反的封锁，为实现四个现代化提供必要的铂矿资源。

为配合这项工作，我们收集了国内外的一些铂矿地质资料，初步编成此“选编”。由于

我们水平不高，已收集到的资料不多，“选编”还不能把铂矿地质中的所有重要问题都反映出来。收编的文章在内容和质量上亦难满足要求。就这些资料而言，我们所做分析和研究是不够的，然而为了便于读者了解“选编”内容，愿就本书涉及的一些问题谈几点肤浅的认识，不当之处，请给予指正。

关于铂矿床的类型

世界铂矿床的主要类型，自三十年代以来没有很大的变化，在储量和产量上起主导作用的，仍是三个主要类型，即：与基性-超基性岩有关的硫化铜-镍型铂矿床，与基性-超基性岩有关的铬铁矿型铂矿床，以及砂铂矿床。“选编”中《铂族金属矿床的一般特点及其成因》，《不同类型金属矿床的含铂性》，《铂族金属矿床》等三篇不同时期的文章，从不同角度对以上三种类型矿床的地质特征作了介绍，划分了亚类，例举了代表性矿床，大体可以给读者一个较完整的概念。

硫化铜-镍型矿床在这三个主要类型中经济意义最大，在储产量上占首要地位。其代表矿床有：苏联诺里尔斯克矿区，加拿大萨德伯里，南非（阿扎尼亚）布什维尔德杂岩体的梅林斯基层等。据1972年统计，南非（阿扎尼亚）、苏联和加拿大的铂族金属产量占国外总产量的90%以上，而这三个国家和地区的产量基本上来自硫化铜-镍型铂矿床。从铂矿资源的发展来看，这种类型铂矿的发现和开发，对于铂族金属产储量的增长起到巨大作用。例如，加拿大在萨德伯里铜-镍矿中发现铂族金属后，到1936年使其成为当时世界最大产铂国。苏联在很长时间内铂金属产量占第三位，在乌拉尔的砂铂矿将要开尽时，找到了西伯利亚诺里尔斯克的铜-镍型铂矿床，到1961年时，使它的铂产量上升为世界第一。我国发现的铂矿床大多属硫化铜-镍型。甘肃已探明的大型含铂硫化铜-镍矿床，是我国目前主要产铂基地。在云南元谋-永仁地区和金宝山地区，已探明和发现了一些属硫化铜-镍型的矿床和矿点，“选编”中有四篇文章介绍了它们的地质特征和找矿方向。广西元宝山地区，四川杨柳坪都发现了同种类型的铂矿点。

综上所述，硫化铜-镍型铂矿床是国外最重要的类型，其开采和选冶问题早已解决，正大量利用。我国已有这类大型矿床投入开采，一些规模较小品位较低的矿床也找到开采和利用的办法，同时还具备寻找这类矿床的地质前提，发现较高品位的矿床亦很有希望。因此，在铂矿勘查中着重寻找和扩大本类型的矿床和矿区是适当的。

——应当指出的是，硫化铜-镍型铂矿床是一大类矿床，其中根据岩体的性质和矿石矿物组合特点的不同，又可分出若干亚类。如苏联就分出诺里尔斯克型、芒切哥尔斯克型、贝辰加型等亚类。这些亚类的含铂性及所含铂族金属的特点都有区别。详细情况请见本书有关文章。我国河北红石砬铂矿从大类上被归入硫化铜-镍型，但它与其它矿床的差别是矿体产于透辉岩中，铂与其它金属硫化物的关系不密切。该矿床的情况，“选编”中有一篇文章介绍。黑龙江五星铂矿床亦产于透辉岩中，但铂与其它金属硫化物关系较密切。产于透辉岩中的铂矿床是我国与国外不同的一种特殊的亚类。

铬铁矿型铂矿床的经济意义不及前一类型，但在不同时期和不同国家仍具有重要性。如苏联的铂金属曾主要靠乌拉尔下塔吉尔的铬铁矿型铂矿，后来才转到铜-镍型铂矿上去。美

国的铂矿资源一部分也依靠这类矿床。南非(阿扎尼亚)布什维尔德杂岩体里有许多属此类型的岩筒,其中三个(翁韦尔瓦奇特、莫伊霍埃克和德里埃科普)铂的平均品位高达5~6—30克/吨,已经投入开采。但是这类矿床产在纯橄岩和橄辉岩中,矿化均属浸染型,矿床规模一般不及前一类型大;而且,铂族金属与锆尖晶石紧密伴生,呈自然铂、自然合金和硫砷化物产在锆铁橄辉石的颗粒之间和铬铁矿晶面上,因而采选成本较高;加之伴生的铬铁矿的铬铁比值低,一般不能利用,这些都给它的利用带来不利条件。然而铬铁矿型铂矿往往是砂铂矿床的原生源,如苏联乌拉尔、澳大利亚塔斯马尼亚岛和哥伦比亚的砂矿都是这种情况。由于砂铂矿床的开采成本大大低于它的原生矿床,有人认为铬铁矿型铂矿作为砂铂矿原生源的意义比其原生矿本身更重要。

我国铬铁矿型铂矿床比较少,已知矿床有河北高寺台,其铂品位低,而且主要含钼、铌,目前开采利用有一定困难。据了解,在西藏地区已有这类矿床的线索。在此值得一提的是美国蒙大拿州西南部铂钼矿床的新发现。该地的斯提耳沃特基性-超基性层状杂岩,早先是一个低品位铬铁矿产地。铬铁矿产在岩体下部超基性岩带的橄辉岩部分,矿石中可回收的铬含量为8.4%,以前也发现铬铁矿中含铂族金属,但含量低。1973年以前,有人对该岩体的铂族金属的分布等问题进行了研究,74年前已做了大量钻探、槽探、物化探和地质填图工作。73—74年间发现并扩大了与铬铁矿层紧密共生的铂、钼矿床,铂加钼的品位达12.4克/吨,铜加镍超过0.1%,此外尚含少量其它铂族金属和金、银,已知在4000多米范围内的六个地区发现有重要矿化。我国含低品位铬铁矿的基性-超基性岩体甚多,是否有可能在其中找到较好的铂族金属矿床,上述例子是值得借鉴的。

砂铂矿床是人类最早开采利用的铂矿类型。二十年代以前,世界对铂族金属的需求在很大程度上依赖于砂矿。其后大型原生铂矿(主要是德兰士瓦、萨德伯里、诺里尔斯克等)的发现和开发,才使之退居次要地位。但迄今为止,砂铂矿仍是在开采利用的经济意义上占第二位的铂矿类型。它的储量目前占世界铂金属储量的3%。哥伦比亚的铂金属储量全部来自砂矿。美国目前拥有的铂金属储量,大部来自阿拉斯加的砂矿。这说明在一定地质条件下砂铂矿还有重要的地位。

砂铂矿床有冲积型,滨海型,残积、坡积型,以及岩化(古)砂矿等,其中以冲积型砂矿工业意义最大。冲积砂铂矿的形成取决于下列条件:首先须有原生源。如前所述,产在基性-超基性岩中的铬铁矿型铂矿床是重要的砂矿原生源。此外,含铂的基性-超基性岩体以及含铂的老沉积层亦可作为砂铂矿的原生源,例如,在美国阿拉斯加,部分蛇纹石化的纯橄岩和辉石岩被认为是古德组斯湾地区砂铂矿的原生来源;在苏联西伯利亚地台北部,已发现的第四纪沉积中的砂铂矿聚集,其原生源据推断为元古代的含铂沉积岩系(见本书《阿纳巴尔河—奥列尼奥克河间地区第四纪沉积中的铂矿物》)。砂铂矿形成的第二个重要条件是构造运动和地貌的发育特点。有人认为,有利的条件是含铂岩体遭受很长时间的或很快速的风化剥蚀作用,也就是说,要求没有强烈的造山作用,或上升运动与剥蚀作用可以达到某种平衡,使岩体能够受到充分的风化剥蚀并能造成对砂矿富集有利的壮年期地形。例如,乌拉尔就是一个风化剥蚀时间很长的例子,而哥伦比亚则是风化侵蚀作用速度很快的例子。它们共同的特点是具有宽阔的河谷和平缓的地形,最富的砂铂矿即见于这样一些地区。而加拿大图拉敏地区没有达到壮年期地形,其砂铂矿的分布就不如前者广泛和富集;西班牙南部的地形处于幼年

期,形成的砂矿铂就不够富集。第三个有利条件是铂经历过多次的搬运和沉积,使之能够充分地分选和富集起来。一般说来,具备以上三个条件,才能形成较好的冲积砂铂矿床。

我国砂铂矿的工作开展甚少,在新疆、西藏、河北的某些含铬铁矿超基性岩地区做了砂矿工作,需要进一步注意砂铂矿的综合评价问题。另外,国外许多砂金矿都伴生有铂,如维特瓦特兰德含铂-金砾岩(古砂矿),乌拉尔的一些金-铂砂矿,巴西米纳斯吉拉斯的含金砂铂矿床等。我国目前正在广泛开展砂金矿的普查和开采工作,1976年新疆已从淘砂金的老矿区发现了铂矿物。因此,在找金同时找铂也是一个值得重视的问题。

除以上三种主要类型外,在不同矿产的许多种类型的矿床中都伴生有铂,其中主要的是:

含铂的金矿床:主要是含金石英脉矿床和含金-铋-碲硫化物矿床。近年来巴西、新西兰、哥伦比亚、加拿大、苏联乌拉尔和美国都发现含铂族金属的金矿石,进行综合回收的有25处。

含铂族金属的斑岩铜-钼和钼矿床:典型例子有美国的克莱麦克斯、智利的丘基卡马塔、苏联的科翁腊德和亚美尼亚的一些矿床。

含铂的页岩铜矿:典型代表是德国曼斯菲尔德铜矿,其铜矿石含铂0.02—4.5克/吨,此外,还含Au、Pd、Ni、Co等多种元素。波兰鲁宾页岩型铜矿中的钯已可利用。

其它含铂铜矿床:主要有黄铁矿型铜矿,如乌拉尔的该类型铜矿石中,含铂最高可达1.5克/吨。我国白银厂铜矿石中也含铂;含铂黄铁矿型多金属矿床;含铂砂卡岩矿床;以及含铂铜-钴矿床(热液型)。

含铂的钒钛磁铁矿矿床:据苏刊报道,在中乌拉尔类似卡奇卡纳尔(苏联重要的钛磁铁矿矿床)辉长-单斜辉石岩巨大岩体中,在其变纯橄岩异剥岩部分的浸染状和块状钛磁铁矿矿石中有铂矿化显示。这种含钒、铂的钛磁铁矿矿床的典型代表是古雪沃戈尔矿床。矿化成分主要为粗铂矿,其连晶和集合体的粒度平均达0.2毫米。此外,还有少量铂铋矿,铋矿、硫铂矿和自然钨。另外在巴朗琴假层状单斜辉石岩-辉长岩体的中色和深色辉长岩中,产有沃尔科夫钒铁铜矿床,在其黄铜矿和斑铜矿等硫化物中有钨的富集。但赋存状态尚须研究。这些矿床中铂族金属利用问题的解决,有待于现行工艺流程的改进。

在苏联远东地区有一些含铂锡石-硫化物矿床,在加拿大安大略省有含铂的铀-硫化物矿床。

我国对以上含铂的矿床类型的主矿种的普查工作正在进行,在普查勘探中注意和重视含铂性的评价是一件很有意义的工作。

关于铂族金属矿物学和 地球化学的进展

如果说工业铂矿床的主要类型至今还没有重大变化,那么铂族金属矿物学和地球化学研究却有重要的发现和进展,并且受到人们普遍的重视。

早期的铂族矿物研究工作,主要依靠矿相显微镜、光谱分析和化学分析,所以除了在铬铁矿型铂矿和砂矿中发现的自然铂、铂族金属合金和一些硫铂化物外,在硫化铜-镍型和其它类型铂矿床中没能发现独立的铂族矿物。六十年以来,显微电子探针的应用和磨片及矿物分

离技术的提高,促使新的铂族矿物不断发现。1960年已知的铂矿物只有六种左右,到1972年已达74种,另外还有65种未定名的铂族矿物。可见,现代精密分析技术的采用对于铂族金属矿物学研究的突破具有关键意义。

然而,铂族金属矿物学研究的重要意义不只是发现新矿物,更重要的是通过发现和研究新矿物的性质查明铂族元素的赋存状态,为铂矿床的工业利用和成因研究提供依据。直到1958年有人还认为硫化铜-镍型铂矿床中没有单独的铂族金属矿物存在,而只有呈固熔体状态的铂族元素存在。根据这种认识,得出铂族金属是与铜镍一起在岩浆结晶分异阶段富集成矿的结论。但是十多年来对这类矿床铂族矿物的研究证明,独立的铂族矿物是铂族元素的主要载体,只有占铂族元素总量百万分之几的极小部分呈固熔体状态存在于某些早期硫化物中。萨德伯里、诺里尔斯克和梅林斯基层的大部分铂族元素都是从分散的铂族矿物中回收的。大量独立矿物的发现及其成分的研究,动摇了铂族金属原生矿床只与岩浆分异作用有关的理论,提供了热液成因说的大量矿物学依据。例如塔尔纳赫的铂族金属矿物中有大量Pb、Bi、Cu以及Sn、Sb存在,除Cu外,其它元素一般是不与岩浆型矿石共生的,说明该矿床的铂族金属矿石是从低温热液中沉积的。

铂族金属矿物学研究中有两个情况值得一提。一个是铂族金属矿物学研究已不仅限于对矿物种类的鉴定和新矿物的发现,而且也开始做定量研究工作。从现有资料看,所谓定量研究有两种性质的工作,一种是对矿区内铂族金属矿物的种类作定量统计,求出相对比例,以便对矿床的成因作进一步探讨。例如有人对梅林斯基层的不同矿山的铂族金属矿物成分做出统计,查明在西部铂矿山中锑铂矿占铂族金属矿物总量的50.3%,硫镍钼铂矿只占6.8%,而在吕斯腾堡地区和阿托克等铂矿山中,硫镍钼铂矿却是重要矿物,占铂族金属矿物总量的60%,锑铂矿只占2%。在联合铂矿山硫钨钼矿和铁铂矿则是主要矿物。他们认为,铂族金属矿物成分上的差异具有成因方面的意义,指出为说明这些差异必须注意研究铂族金属矿物与硅酸盐和氧化物的成分的潜在联系。另一种定量研究是对矿物内部的铂族金属含量作精确的分析和对比,同样为矿床成因提供依据。例如坚京等人对乌拉尔下塔吉尔的镍黄铁矿和硫锑铋矿中钨和铋的含量作了测定,并与其它铂矿床作了对比,证明该矿床中存在由蛇纹石化作用形成的含铂族金属硫化物。此外他们还认为在铜镍矿石中钼含量达123克/吨以上的镍黄铁矿系岩浆旋回早期的产物,而钼含量约为20克/吨的镍黄铁矿系岩浆旋回晚期阶段(指岩浆晚期热液作用)的产物。

第二个值得注意的情况是在砂铂矿的研究中矿物包体受到重视,借此对原生铂矿床的情况作出判断。例如乌拉尔的毕塞尔斯克砂铂矿的主要有用矿物锑铂矿和自然铂中,都含有黄铁矿、磁黄铁矿、硫锑铋矿、金、方铋钼矿等的包体,根据对这些包体,特别是方铋钼矿和硫锑铋矿包体的研究可以得出两点结论:原生铂矿床的矿物学要比人们迄今所推测的复杂得多;同时,在乌拉尔含铂基性和超基性岩中的铂族金属矿物可清楚地划分为几个成矿阶段,锑铂矿和铋铂矿应该属于第二或第三(与蛇纹石化有关的)成矿阶段的产物。

诚然,无论是矿物的定量研究还是矿物包体研究,在其它矿种矿床学研究中都是常用的方法,而由于铂族金属矿物大部分颗粒细小,进行这种研究是较困难的。但从已有资料看,开展这类研究是必要和颇有意义的。

关于铂族元素的地球化学性质,旧有的观点认为,它们在化学上是惰性的,在风化条件

下是稳定的。新的资料完全打破了这种观念，为新的成因解释提供了依据。

大量新的铂族金属矿物的发现，证明铂族元素不但可以形成单质矿物、自然合金和与硫、砷等元素形成硫砷盐，而且可以与 Te、Sb、Bi、Pb 等形成化合物，它们的化学性质并不惰，而是颇为活跃的。

在外生作用下，铂族元素是可以溶解迁移和沉积的。如梅林斯基层的含铂硫化物矿体在遭受强烈的风化剥蚀后，并没有在风化淋滤带和残积层中发现铂和钯的富集，相反，在某些地区却贫化了。同时在矿段上部发现呈细小颗粒产出的铂族金属，其中心是钯，四周是铂，据判断它们是一种胶体沉积物。在巴西的铂矿中发现一些块状铂，呈钟乳状和葡萄状产出，说明它们是水溶液沉积物。在埃塞俄比亚比尔比地区超基性岩和比尔比岩上面的红土盖层中发现有铂合金，它主要由锇铱矿组成，含金和其它铂族元素，经研究认为是在大气降水作用下，镁铁质淋滤，铂族元素发生“凝集作用”而生成的。

实验工作也为铂族金属的溶解迁移和沉积提供了依据。有人针对维特瓦特兰德含金砾岩中的铂族元素的迁移问题做实验，证明在氧化条件下铂族元素可形成复盐，而这可能就是比较易溶的铂族元素在海水中溶解的方式。有人通过详细实验指出，在温度为 300—500°C 时，氯化物的络合物对金的溶解度有重要意义，金和铂以 AuCl_4 和 $(\text{PtCl}_6)^{-2}$ 络合物的形式搬运，在氧化还原条件有很小变化时，它们就会沉淀下来成为块金。在温度为 500°C，压力为 2000 巴时，当有赤铁矿-磁铁矿缓冲的条件下，约有 1000 克/吨的金可作为氯化物搬运。他们认为这些实验结果对铂族元素也有普遍意义。此外，有资料说明在有氧化剂（如氧化锰）存在的条件下，碱性氯化物溶液可以溶解铂族金属。含 Fe、Cu 的氯化物溶液在常温下不溶解铂族金属，但温度升高到 160°C 时就可溶解了。诺里尔斯克的实验资料也证明，氯化物型溶液是铂族金属可能的搬运剂。

在外生条件下铂族金属不但可以迁移和再沉积，而且可以发生化学变化。有人对砂铂矿中的铱锇矿颗粒进行了研究，发现沿着解理面发生了蚀变，而且从颗粒外部一直深入到中心。这说明通常认为耐酸耐热的铂族金属合金在地表水溶液中是非常不稳定的，这点在实验室内长期以来被认为是不可可能的。而在变质作用中，铂族金属则可能生成新的矿物。如有人认为梅林斯基层中的砷铂矿和硫砷铂矿大概是由不够稳定的碲化物和铋化物类矿物在变质过程中形成的。对古德组斯湾地区的砂铂矿中的含铁铂矿和两种铱的合金所做研究表明，它们不可能是从熔融体中结晶出来的，因那时温度太高，而可能是在较低温度条件下蛇纹石化作用对铂族元素的活化、搬运而从溶液中沉积下来的。

综上所述，近二十年来铂族金属矿物学和地球化学资料的积累，动摇了过去一些传统的旧观念，不但发展了铂族金属的矿物学和地球化学，而且为新的成矿理论提供了有力的证据，从而导致了铂矿成因认识的重大发展。

关于铂矿床成因问题

铂族金属矿床与基性-超基性岩有成因联系，这在大多数情况下是不成问题的。但是很久以来在地质学领域内占统治地位的观点，即认为铂族金属矿化与岩浆早期阶段有联系的看法，却远远不能反映出铂矿成因的全貌。诚然，在一些铬铁矿型铂矿床上，主要在乌拉尔和

阿尔丹地盾与纯橄岩有关的铂矿上,原始岩浆作用对于铂族元素富集的重要性是十分明显的,但大量证据表明这种成矿机理对大部分矿床并不是主要的,有人甚至认为与其说它是一种规律,不如说是例外。而斯顿夫尔和坚京等人所主张的热液成因观点,已被愈来愈多的人所接受。

热液在铂矿形成中的作用,早在二十年代时就有人提到过,只是到六十年代才积累了大量证据,并发展成系统的成因理论。这些证据除了矿物学和地球化学方面之外,还有许多宏观和微观的地质现象佐证。作为宏观佐证的例子有:在萨德伯里矿床所做观察表明,一些大矿体显然是在主要“含镍侵入体”结晶之后形成的,矿化作用与萨德伯里侵入体下盘中新形成的边缘侵入体有关,特别是与含捕虏体的苏长岩有关,而且矿体的时代比这些边缘侵入体更新一些。在诺里尔斯克含矿岩体的东部边缘,铂金属含量偏高的针镍矿-黄铜矿角砾状矿石胶结了侵入岩的碎块,说明这种铂族金属较为富集的矿石是在晚期侵入阶段以后才形成的。而在侵入体北部下盘的“凹槽”中,产有脉型矿石,脉体有时延伸到下盘岩石中去。微观佐证也是很多的,例如,显微镜下的研究表明,诺里尔斯克的铂族金属大部分是在硫化物(如镍黄铁矿脉)形成以后沉积的,富集在脉壁附近的镍黄铁矿晶体中(沿劈理分布),或形成切割较老的磁黄铁矿和黄铜矿的小细脉。芒切哥尔斯克矿床的铂族金属则产在交代了磁黄铁矿的磁铁矿中的时代较新的黄铜矿细脉中,说明铂族金属可能是由于晚期热液活动形成的。在矿物共生关系方面,发现铂族元素与各种金-银-铜合金的矿物构成组合,有些矿床上发现它们与水化硅酸盐密切共生,这都说明铂族元素的富集是在晚期岩浆热液环境中形成的。

从上一节和本节中已例举的热液成矿的证据,以及有关文献中给出的一些结论,对于铂族金属矿床的成因问题可以得到以下概念。

铬铁岩型铂矿床大部分是在岩浆旋回早期通过分异作用形成的,其主要代表是乌拉尔和阿尔丹地盾的矿床。而布什维尔德杂岩体中的纯橄岩岩筒里的该类型矿床,其成因有特殊之处。野外和室内研究资料的分析,使越来越多的人认识到纯橄岩岩筒是属于伟晶岩相的东西,它们是在很晚的阶段才形成的。有人认为翁韦尔瓦奇特岩筒是由于高温热液交代了古铜辉岩而形成的,这种热液很可能是使铂族矿物搬运和沉积的营力。有人进而认为,布什维尔德杂岩体中的岩筒状矿床和梅林斯基层矿床,如果说它们的形成作用是不同的,那么至少是相同的溶剂在铂金属成矿中起了作用。看来,在矿床类型上属于铬铁矿型的岩筒状矿床,高温热液在其形成中起了重要的作用。

硫化铜-镍型的代表性矿床诺里尔斯克、萨德伯里和梅林斯基层,其形成主要与岩浆晚期热液有关。有人认为铂族元素可能是由原始岩浆以溶解在硫化物熔融体中的形式带上来的,而最后在较低温条件下形成富集。因此,这种热液在温度和成分上与形成典型热液矿床的热液是不同的。这种热液成矿作用在许多实例中只是起着使铂族元素在基性和超基性岩中重新分布和最终富集的作用。

基性-超基性岩的蛇纹石化对铂族金属有成矿富集作用。在蛇纹石化时,镍和铂族金属从橄榄石和尖晶石晶架中释放出来,依能否得到硫和氧的条件不同,它们或作为自然金属或作为硫化物沉积下来,造成有经济价值的矿石。芬兰的希土拉含铂镍矿床是一个最好的实例,它产在蛇纹石化超基性岩中。岩体的Pt平均含量为0.027克/吨,Pd为0.048克/吨,经过蛇纹石化后生成铂矿床,蛇纹石化最强的部位铂族金属也最富集。在接触带上铜和铂的

品位皆高,而在接触带附近的绿泥石-角闪石岩的硫化物聚集体中铂的品位最高(600克/吨)。铂矿物主要为砷铂矿,有少量硫砷铀矿和硫砷铋矿。在阿尔丹地盾伊纳格林矿床中,蛇纹石化也对铂的富集起了重要作用。

与基性-超基性岩没有明显联系,成矿作用完全与热液活动有关的矿床也是存在的,典型的例子是德兰士瓦的米西纳矿床。该矿床产于高级变质岩中,周围没有发现基性火成岩,主要矿体受地质构造(两个褶皱系交汇处)控制,铂族金属矿物与辉铜矿、碲铅矿、斑铜矿、石英、绿帘石和绿泥石等低温热液矿物共生,因此被认为是典型的热液矿床。此外,美国怀俄明州的热液型新兰比莱铜矿中,铜矿石(主要是黄铜矿)含铂平均品位3克/吨(最高75克/吨),钼56克/吨(最高600克/吨),研究结果认为这些金属是由热液作用从受动力变质的辉长岩杂岩中带来的。

对砂铂矿来说,碎屑的搬运、分选和富集条件是其形成的主要因素,但是这种碎屑作用并不是唯一的因素,许多事实说明溶液在砂矿形成中的作用是不可忽视的。这里应当提及的有两点:一是在砂矿形成中有新矿物从溶液中产生出来,如在巴西米纳斯吉拉斯州的砂矿中,发现自然铂与钽铌矿组成连生体,这种连生体在原生矿中未发现,而且在Pd-Hg相上有铂的明显生长带,说明它是在河流搬运过程中由次生增生作用造成的。二是一些砂矿中表现出铂族元素以溶液状态搬运和沉积的规律, $(Os + Ir) / (Pt, Ru, Rh)$ 比值离海岸越远越高,这种规律是由Os和Ir的溶解度较大而造成的。在维特瓦特斯兰德砾岩中和古德纽斯湾滨海砂矿中都有这种现象。

综上所述,可以看出热液作用在岩浆旋回晚期阶段,在变质作用中,在典型的热液环境下,在外生条件的砂矿形成过程中,都对铂矿的生成起着重要的作用。然而铂族金属矿床的形成并不是某一种单独成矿作用的结果,从岩浆作用到沉积作用,铂族金属的成矿作用是一个连续的和有继承性的过程,各种类型铂族金属矿床的形成及成分上的变化,都是多种因素作用的一种最终结果。在这里,任何一种片面的观点都是应该避免的。

中国地质科学院情报所矿产室整理

金宝山含铂超基性岩体地质概况

金宝山为一有远景的铂矿区。目前,深部远景的普查评价工作尚在进行中。本文主要依据已有资料的初步认识,试就对本区含铂超基性岩体的地质概况作一简要的介绍。文中不当之处,诚望指正。

一、含铂超基性岩体

金宝山含铂超基性岩体位于滇中台拗的西南缘、红河深断裂之东北侧,属于云南山字型构造体系西翼与藏滇“歹”字型构造体系之复合部位。

区内出露地层主要为中、下泥盆统和上三迭统之云南驿组及罗家山组。此外,尚有零散出露的第三系上新统。中、下泥盆统下段下部为长石砂岩和板岩,组成依作地一五顶山短轴背斜之核部,中部为灰质镁质白云岩,上部主要为泥质灰岩、板岩、长石砂岩,上段主要为深灰色白云质灰岩、泥灰岩、灰岩,组成短轴背斜之外翼。上段下部白云质灰岩含有丰富的 *Amphipora* 化石。上三迭统之云南驿组下部为砾岩和板岩,中部主要为灰岩,上部为板岩。罗家山组主要为砂岩夹板岩。第三系上新统下部主要为砾状角砾状灰岩,上部主要为泥岩。

依作地一五顶山短轴背斜是控制岩体形态、产状的主体褶皱构造,背斜轴部相对较两翼产状平缓开阔,背斜轴向尚有异议,根据地层及磁力异常分布特征,初步认为北西 320° 方向展布。后生断裂构造较为发育,岩体生成后,被北西向的张—张扭性的纵向断裂错断破坏,略呈不连续分布。

出露岩浆岩主要为含铂超基性岩,次为基性岩,另有少量煌斑岩。含铂超基性岩受次一级层间裂隙构造控制,侵入于中、下泥盆统下段 (D_2^{1-2}) 地层内。初步认为基性岩、含铂超基性岩体可能属海西期侵入产物。

(一) 岩体产出特征

区内超基性岩体(群),沿依作地一五顶山短轴背斜呈北西—南东向延伸分布。

岩体呈似层状岩床产出。一号岩体(露头)顶底板略具缓波状起伏。一、八号岩体(露头)显示分支、复合现象。区内已发现超基性岩体(露头)八个,其中有五个含铂。出露在礼社江南北两岸(图1)。江北有一、三、八号岩体(露头);江南有二、四、五、六、七号岩体(露头)。江南、北岩体(露头)处于同一构造部位和标高,原应为一完整之体系,由于礼社江及其两侧沟谷的侵蚀和断层的破坏,形成现在平面上呈不连续环带状分布的岩体(露头)。据 1:5000 物探磁力异常资料,江北一、三、八号岩体(露头)处于同一的磁异常等值线 500 γ 圈定的范围内,钻孔深部也证实江北应为一个连续的岩体;江南五个岩体(露头)的分布情况与此类似。

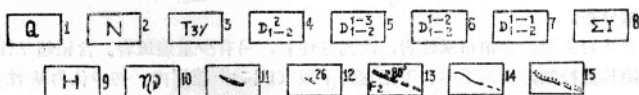
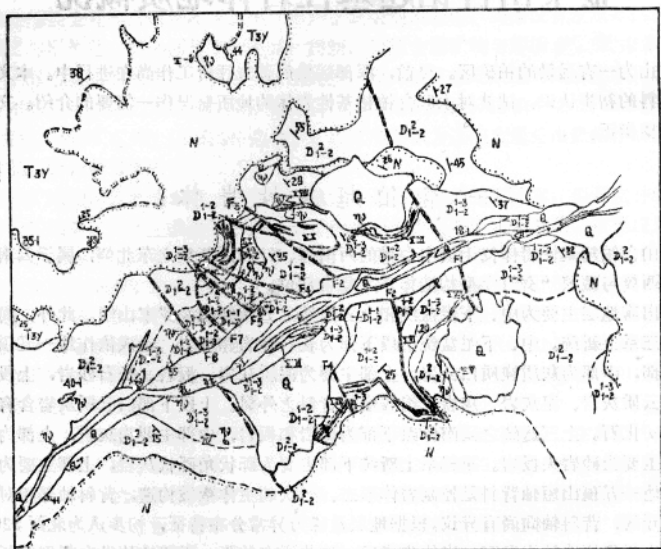


图1. 金宝山吕铂超基性岩体地质略图

1. 第四系。2. 上第三系：孔穴灰岩、泥岩。3. 上三迭统云南驿组：砾岩、板岩、灰岩。4. 中下泥盆统上段：白云质灰岩、泥灰岩、结晶灰岩。5. 下段上部：泥质灰岩、板岩、长石砂岩。6. 下部中段：白云岩。7. 下段下部：长石砂岩及板岩互层。8. 超基性岩体及编号。9. 煌斑岩脉。10. 辉绿辉长岩。11. 铂钨矿体。12. 地层产状。13. 实测、推测断层及编号。14. 实测及推测地槽界线。15. 岩层不整合接触界线。

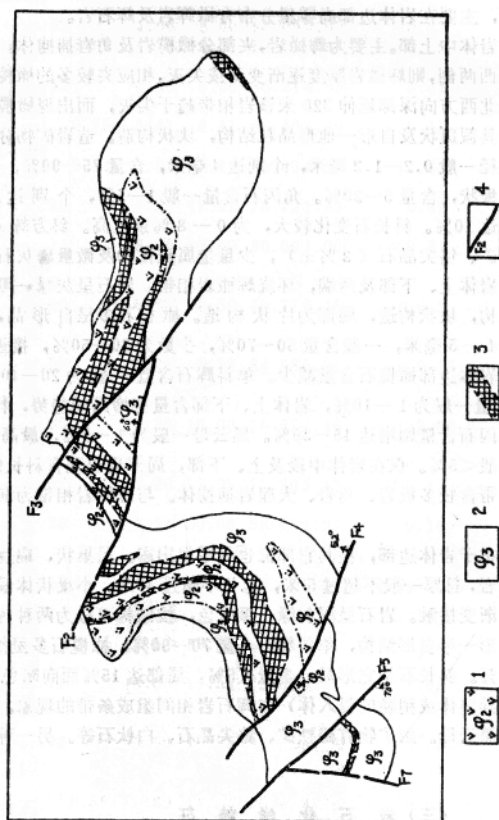


图2 元宝山—弓越基性岩作地障平面图

1. 辉斑岩带 2. 闪长岩带 3. 铂钨矿件 4. 断层及编号

目前已知一号岩体(露头)含矿性最好,规模最大,余者均较小。

(二) 岩相(带)及分异特征

岩体的岩石类型以橄榄岩为主。一号岩体(露头)较为厚大,分异特征稍为明显,表现为岩体中上部较周边部偏基性(图2),中部为辉橄岩相带,上、下部及东、西两端均为橄榄岩相带所环绕。此外,主要在岩体边部尚零星分布有橄辉岩及辉石岩。

辉橄岩相带:分布于岩体中上部。主要为辉橄岩,夹部分橄榄岩及角岩捕掳体。中段部位厚度达80—110米,往东西两侧,则辉橄岩厚度逐渐变薄或尖灭,相应夹较多的橄榄岩,而逐渐过渡为橄榄岩相带。往北西方向深部延伸320米该岩相带趋于尖灭,而出现橄榄岩相带。辉橄岩呈灰绿—暗绿色,具假斑状及自形—他形晶粒结构,块状构造。造岩矿物分布极不均匀。橄榄石呈圆粒状,粒径一般0.2—1.2毫米,个别达4毫米,含量75—90%。单斜辉石为自形—它形的短柱状、板状,含量5—20%。角闪石含量一般1—5%,个别达10%。黑云母一般1—3%,最高达10%。斜长石变化较大,为0—8%或更高。斜方辉石少见,偶含6%。副矿物有磁铁矿、铬尖晶石(2%±),少量金属硫化物及微量磷灰石。

橄榄岩相带:分布于岩体上、下部及两端,环绕辉橄岩相带。岩石呈灰绿—黑绿色,自形—它形晶粒及假斑状结构,块状构造,局部为片状构造。橄榄石多呈自形晶,粒径一般0.2—3毫米,少数达4—5毫米,一般含量50—70%,少数为30—50%,接近辉橄岩相带橄榄石含量增高,向岩体边部橄榄石含量减少。单斜辉石含量一般为20—40%,个别高达55%。棕色角闪石含量一般为1—10%,岩体上、下部含量有增高的趋势,特别在岩体东部分叉尖灭部位,角闪石含量剧增达15—30%。黑云母一般为1—5%,最高达10%。斜长石含量极不均匀,一般<5%。仅在岩体中段及上、下部,局部也出现有斜长橄榄岩。副矿物同于辉橄岩。此相带含较多板岩、角岩、大理岩捕掳体。与辉橄岩相带为渐变过渡关系。

辉石岩:主要断续分布于岩体边部,在其它部位也有零星出露。呈巢状、扁豆状及脉状产出。常伴生有少量橄辉岩,总厚一般不超过5米,延长不超过40米。小巢状体最小仅几十厘米。与橄榄岩呈突变或渐变接触。岩石呈深灰绿—黑绿色,按结构可分为两种辉石岩:一种是中粗粒—伟晶状、自形—半自形结构,单斜辉石含量70—90%。橄榄石多呈细圆粒状嵌于辉石中,含量5—10%。斜长石呈它形晶,含量<5%,局部达15%而向暗色辉长岩过渡。偶有暗色辉长岩(为分离体或稍晚的侵入体)与辉石岩相间组成条带的现象。次要矿物为角闪石(1—10%)、黑云母。副矿物有磁铁矿、铬尖晶石、白钛石等。另一种是细—中粒脉状侵入体,含矿差。

(三) 岩石化学特征

据区内现有18件各类超基性岩及1件基性岩岩石化学全分析成果和王氏数值特征(表1),及所作之图解(图3),反映出其岩石化学成分特征为:

1. 岩石多为正常系列,部分为铅过饱和系列。
2. 岩石化学成分总的特征是铁高而镁低,镁铁比值在1—5.3之间,属铁质超基性岩。同时,镁铁比值与铂钨矿化略显正消长关系(图4)。

表 1 岩石化学成分及微量元素特征一览表

样号 (DSS)	岩石名称	岩 石 化 学 成 分														主要数字特征										补充数字特征										铂+钨品位 (克/吨)
		SiO ₂	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	Al ₂ O ₃	CaO	K ₂ O	Na ₂ O	Cr ₂ O ₃	P ₂ O ₅	SO ₃	Ni	Cu	灼减	s	m	f	ac	m'	f'	c'	a'	k	na	ca	m/f							
1	辉石岩	45.54	0.09	3.61	6.64	0.18	21.04	4.82	9.020	0.08	0.15	0.58	0.20	0.060	0.06	0.13	5.36	45.07	31.03	15.34	8.56	67.31	17.70	14.99		4.00	8.00	88.00	2.02	0.82						
2	蛇纹石化辉	37.75	0.06	6.75	5.15	0.17	33.03	2.50	1.010	0.06	0.05	0.66	0.05	0.020	0.15	0.05	11.42	37.40	48.96	10.07	3.57	83.06	15.92		1.01	4.76	9.52	85.71	4.86	1.05						
3	蛇纹石化辉	35.08	0.07	7.90	4.74	0.17	30.78	2.74	2.750	0.07	0.05	0.90	0.02	0.020	0.11	0.03	12.86	36.47	46.88	11.63	5.02	80.25	17.23	2.52		6.90	6.90	86.21	4.03	0.41						
4	角闪闪长岩	37.68	0.08	6.29	5.31	0.19	31.40	3.52	2.220	0.10	0.08	0.85	0.03	0.020	0.10	0.02	10.44	37.39	46.57	9.72	6.32	82.96	16.29		0.75	5.41	8.11	86.49	4.79	0.11						
5	角闪闪长岩	37.16	0.08	8.34	5.27	0.19	29.58	3.72	1.790	0.08	0.10	0.91	0.06	0.050	0.420	0.37	10.51	37.46	44.91	11.21	6.43	80.13	19.43	0.44		5.41	8.11	86.49	4.01	13.48						
6	角闪闪长岩	43.44	0.09	4.29	7.35	0.15	20.82	4.31	8.510	0.14	0.27	0.33	0.06	2.390	0.07	0.16	4.67	43.92	31.45	16.67	7.97	65.48	19.92	14.59	4.26	17.02	78.72	1.89		0.62						
8	蛇纹石化辉	32.85	0.36	8.24	5.57	0.16	16.51	2.34	14.050	0.14	0.08	0.43	0.07	2.050	0.16	0.05	18.11	37.91	28.55	28.69	4.85	49.82	22.05	26.14	8.00	12.00	80.00	1.00		<0.3						
9	蛇纹石化辉	34.55	0.36	8.85	6.28	0.19	30.69	2.17	3.310	0.14	0.08	0.40	0.06	0.220	0.17	0.06	12.53	34.89	46.42	14.68	4.00	76.12	19.88	4.00	8.33	12.50	79.17	3.15		<0.2						
10	蛇纹石化辉	36.48	0.53	8.05	6.27	0.23	31.47	3.04	1.780	0.14	0.08	0.49	0.08	0.490	0.15	0.03	11.37	36.20	46.89	11.69	5.43	80.16	19.32	0.52	6.25	9.38	84.38	3.99		<0.15						
11	蛇纹石化辉	37.11	0.42	9.05	4.62	0.12	32.59	2.73	1.460	0.19	0.08	0.55	0.07	0.240	0.24	0.07	10.85	36.40	47.96	10.74	4.90	81.72	17.98	0.30	13.33	10.00	76.67	4.46		>2.00						
12	蛇纹石化辉	38.49	0.15	8.66	6.10	0.68	28.32	3.42	2.580	0.24	0.23	0.98	0.07	0.060	0.20		9.89	38.29	42.11	13.26	6.33	76.80	21.23	1.97	10.26	17.05	71.79	3.18		0.17						
15	绿帘角闪岩	43.56	1.38	2.26	9.77	0.34	16.65	10.51	7.200	0.72	1.18	0.42	0.08	0.090	0.04	0.02	5.83	42.75	24.41	13.03	19.81	65.56	26.19	8.25	11.54	30.00	58.46	1.87		0.10						
16	蛇纹石化辉	42.52	0.71	3.36	7.65	0.35	22.38	4.08	9.080	0.24	0.35	0.50	0.06	0.960	0.10	0.05	8.09	42.16	33.27	16.94	7.63	66.50	17.84	15.57	8.33	25.00	66.67	1.96		>0.5, <1.0						
18	蛇纹石化辉	37.30	0.28	3.50	7.33	0.44	34.83	1.56	0.420	0.09	0.05	0.74	0.05	5.240	0.43	0.81	12.73	36.85	51.69	9.73	1.72	84.54	14.29		1.17	18.18	18.18	63.63	3.31	>2.00						
19	蛇纹石化辉	38.51	0.41	7.55	4.84	0.52	32.91	2.31	1.700	0.21	0.10	0.93	0.06	0.160	0.20	0.05	10.62	37.46	47.87	10.52	4.15	82.51	16.38	1.11	15.38	11.54	73.08	4.55		2.00						
20	蛇纹石化辉	38.65	0.40	5.78	5.06	0.54	33.38	2.70	1.880	0.14	0.08	0.98	0.05	0.300	0.13	0.01	10.92	37.45	48.40	9.38	4.77	84.33	14.65	1.02	6.90	10.34	82.76	5.16		0.74						
21	蛇纹石化辉	37.82	0.42	6.50	6.57		34.42	2.74	1.230	0.14	0.11		0.08				10.48	36.30	49.22	10.27	4.21	82.74	16.68		0.58	7.69	11.54	80.77	4.79	0.61						
23	蛇纹石化辉	34.76	0.49	8.32	7.86		31.31	2.58	2.130	0.23	0.19		0.10				11.71	34.73	46.55	13.80	4.92	77.14	21.27	1.59	12.90	19.35	67.74	3.37		0.42						
24	蛇纹石化辉	36.21	0.41	7.50	6.41		32.78	2.90	3.950	0.19	0.14		0.08				9.76	34.70	46.92	13.20	5.19	78.04	17.55	4.41	12.12	12.12	75.76	3.55		0.96						

数字特征的计算, 系依据《地质学报》一九七五年第二期王祖升、白文吉关于《基性岩与超基性岩岩石化学计算及图解方法》

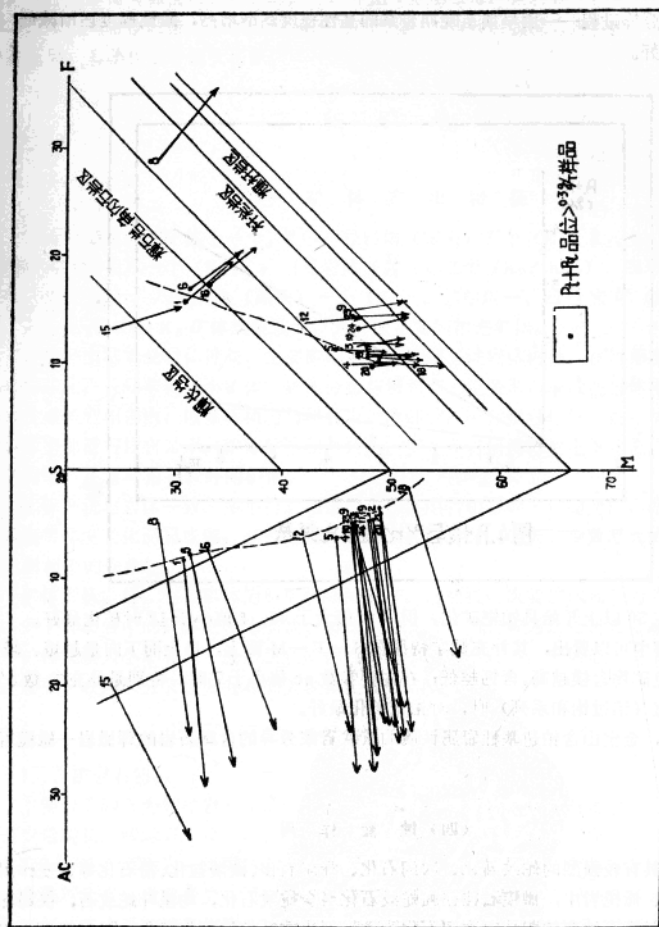


图3 英基性岩石化学成分向量图