

中国铂业

主编 汪贻水

副主编 彭 觥 肖垂斌 王小文 尹克强



冶金工业出版社
Metallurgical Industry Press

中国铂业

主编 汪贻水

副主编 彭 觥 肖垂斌 王小文 尹克强

北 京

冶金工业出版社

2012

图书在版编目(CIP)数据

中国铂业/汪贻水主编. —北京: 冶金工业出版社, 2012. 9
ISBN 978-7-5024-6021-1

I. ①中… II. ①汪… III. ①铂—有色金属冶金—冶金
工业—经济发展—研究—中国 IV. ①F426.32

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 202487 号

出 版 人 曹胜利

地 址 北京北河沿大街嵩祝院北巷 39 号, 邮编 100009

电 话 (010)64027926 电子信箱 yjpbs@cnmip.com.cn

责任编辑 马志春 姜晓辉 美术编辑 李 新 版式设计 孙跃红

责任校对 王贺兰 责任印制 张祺鑫

ISBN 978-7-5024-6021-1

三河市双峰印刷装订有限公司印刷; 冶金工业出版社出版发行; 各地新华书店经销

2012 年 9 月第 1 版, 2012 年 9 月第 1 次印刷

787mm×1092mm 1/16; 11.5 印张; 276 千字; 177 页

120.00 元

冶金工业出版社投稿电话:(010)64027932 投稿邮箱:tougao@cnmip.com.cn

冶金工业出版社发行部 电话:(010)64044283 传真:(010)64027893

冶金书店 地址:北京东四西大街 46 号(100010) 电话:(010)65289081(兼传真)

(本书如有印装质量问题, 本社发行部负责退换)

· 目 录 ·

初议铂族元素成矿及找矿问题（代序）	涂光炽	1
-------------------------	-----	---

I 铂的资源

简论铂族金属	汪贻水	3
铂族金属	倪集众	10
康捷尔碱性 - 超基性岩体中		
铂族元素及金	И. Я. 聂克拉索夫 B. B. 伊万诺夫 A. M. 列尼科夫 等	30
世界铂资源形势预测	夏既胜 秦德先 付黎涅	36
铂族元素矿床地球化学勘查的战略和战术	成杭新 赵传冬 庄广民 等	42
河北省丰宁县红石砬铂矿床	陈希廉	49
开拓铂族元素新资源的重要途径	涂光炽	61
世界铂族金属矿产资源及开发	张 莓	66
甘肃金川铜镍矿体中铂、钯赋存状态研究	於祖相	76
元谋朱布铂钯矿地质特征及成因类型	王小文 王在权	80
河南省唐河县周庵发现含 30 余吨铂族及 400 余万吨铜镍硫化物矿床	群 集	89
四川大岩子铂 - 钯矿床（点）热液成矿的地球		
化学证据	成杭新 赵传冬 庄广民 等	90
陕西太白金矿含金角砾岩中铂族元素特征	邱士东 朱和平 林龙华	97
中国铂族元素矿床类型和地质特征	梁有彬 李 艺	104
新疆北部镁铁 - 超镁铁质岩的 PGE 成矿问题研究	王玉往 王京彬	111

II 铂的资源回收

我国铂族金属开发状况	王淑玲	129
我国铂族金属资源现状与前景	张光弟 毛景文 熊群尧	138
我国铂族元素矿床特征及资源潜力分析	耿 林 翟裕生 彭润民	143
金宝山低品位铂钯矿浮选中蛇纹石类脉石矿物的行为研究	许荣华	152

III 铂的加工

先进铂材料与加工制备技术·····	宁远涛 朱绍武 管伟明 等	157
以科技促进生产 同社会共进步·····	杨志先	167

IV 铂的首饰

我国铂钯首饰市场现状·····	彭 觥	169
我国铂金首饰需求旺盛·····	大 山	173
振兴我国铂业必由之路——开源节流·····	彭 觥 汪贻水	175

初议铂族元素成矿及找矿问题（代序）

涂光炽^❶

（中国科学院 北京 100864）

25 年来，我国黄金地质勘查和找矿已取得长足进展（尽管存在重要问题），以银为主要开拓对象的矿床研究也有不少成果。但在贵金属研究中，铂族元素的成矿与找矿，多年来停滞不前，成效甚微。近年来，在西方国家及俄罗斯，特别在 20 世纪 90 年代，铂族元素资源的开拓与研究发展迅速，已取得了一系列重要成果。

“他山之石，可以攻玉”。让我们看看别人在铂族元素找矿方面的主要成果。

1 已知独立铂族元素矿床类型

1.1 矿床赋存于镁铁岩—超镁铁岩中

- （1）层状杂岩型——南非 Bushveld、美国 Stillwater；
- （2）暗色岩型——俄罗斯 Norilsk；
- （3）蛇纹岩型——乌拉尔、西南太平洋岛屿。

1.2 矿床赋存于非镁铁岩—超镁铁岩中

- （1）黑色岩系——俄罗斯干谷；
- （2）不整合脉型矿床——澳大利亚 Coronation Hill。

2 原生铂族矿床中铂族元素赋存状况

- （1）铂族矿物主要与少量 Cu、Ni 硫化物或铬铁矿共生；
- （2）铂族元素中 Pt 或 Pd 常占主要地位；
- （3）铂族矿物主要是自然元素、金属固溶体、硫化物、碲化物、砷化物或硫酸盐等。

3 几个有关成矿与找矿思路的讨论

- （1）铂族成矿有无专属性；
- （2）岩体与矿体；
- （3）成矿流体、温度。

❶ 涂光炽先生已病故。此文是他 1999 年在矿山地质专业委员会召开的《21 世纪中国矿山地质的可持续发展》会上的报告。

4 存在的问题

- (1) 新类型铂族元素矿床的寻找与开拓；
- (2) 铂族矿物学；
- (3) 铂族元素分馏机制。

5 我国铂族元素找矿问题讨论

- (1) 首选地区及可能存在的铂族矿化类型，以川黔滇、三江、西北为例；
- (2) 层状杂岩问题；
- (3) 建议设立铂族元素找矿专项研究。

I 铂的资源

简论铂族金属

汪贻水

(中国地质学会矿山地质专业委员会 北京 100814)

1 发现小史

铂族金属包括：铂 (Pt)、铱 (Ir)、锇 (Os)、钯 (Pd)、铑 (Rh) 和钌 (Ru) 6 种金属，其中，铂、铱、锇为重铂族，钯、铑、钌为轻铂族。铂族金属与金银统称贵金属。

铂是“小银” (Platina) 演化为 Platinum 而来，美洲人、印第安人早已知道，第一个西班牙人德·乌略阿 (D. A. Deullos) 到南美洲知道了“小银”。1741 年伍德 (C. Wood) 把“小银”带到欧洲。1803 年英国人沃拉斯顿 (W. H. Wollaston) 确定了拉铂工艺，同时从铂的王水溶液中分离出两个新元素钯和铑。

钯以神女 (Pallas) 命名为 Palladium。

铑以玫瑰红色 (Rhodon) 命名为 Rhodium。

1804 年英国人 (S. Tennant) 从自然铂的王水不溶物中发现锇和铱。

锇的希腊字为 Osme，命名为 Osmium。

铱的希腊字为 Iris，命名为 Iridium。

1844 年俄国人克劳斯 (K. Krays) 发现了钌，以拉丁文命名为 Ruthenium。

2 铂族性质

铂族金属中除锇为蓝色金属外，其他均为银白色金属。它们对普通的酸和化学试剂有优良的抗蚀性能。铂不与普通酸作用，但能缓慢地溶解于王水中，生成氯铂酸 (H_2PtCl_6)。钯对酸的抗蚀能力稍差，能很快地溶解于硝酸中。铱、铑、钌能抗单一的酸和化学试剂的侵蚀，甚至在王水中也很难溶解。

铂和铑的抗氧化性很好，在空气中能长期保持光泽。在高温下铂和铑与氧气作用生成挥发性的氧化物，增加它的蒸发速度。粉末状的铱在空气或氧气中于 600°C 时氧化，生成一层氧化铱 (IrO_2) 薄膜。这种氧化物在高于 1100°C 时分解，使金属恢复原有光泽。铱是唯一可以在氧化性气氛中使用到 2300°C 而不严重损失的金属。钌、锇容易被氧化，在

室温下，铱的表面就生成蓝色的氧化膜（ OsO_2 ）。四氧化铱（ OsO_4 ）和四氧化钌（ RuO_4 ）都是挥发性的有毒化合物，能刺激黏膜，侵害皮肤。钌有吸氢和透氢的特性：一定体积的钌常温下能吸收比它本身大 900 倍甚至 2800 倍的氢气。铂和钌对气体有很强的吸附能力，当粒度很细（如铂黑、钌黑）或呈胶态（如胶体铂）时，吸附能力就更强，因此它们具有优良的催化特性。铂族金属为过渡金属，有多个化合价，最稳定的化合价如下：钌为 +3；铑为 +3；钌为 +2、+4；铱为 +3、+4；铱为 +3、+4；铂为 +2、+4。它们有生成配合物的强烈倾向，最常见的是生成配位数 4 或 6 的配合物。总之，它们的化学性质很复杂。

纯铂和钌有良好的延展性，不经中间退火的冷塑性变形量可达到 90% 以上，能加工成微米级的细丝和箔。铑和铱的高温强度很好，但冷塑性加工性能稍差。用粉末冶金方法制得的金属钌在 1150 ~ 1500℃ 时才能进行少量塑性加工，而铱即使在高温下也几乎不能进行塑性加工。

铂族金属的主要物理性质见表 1。

表 1 铂族金属的主要物理性质

性 质	铂	铑	铱	钌	铑	钌
元素符号	Pt	Ir	Os	Pd	Rh	Ru
原子序数	78	77	76	46	45	44
相对原子质量	195. 09	192. 22	190. 2	106. 4	102. 9055	101. 07
晶体结构	面心立方	面心立方	密排六方	面心立方	面心立方	密排六方
密度 (20℃)/ $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	21. 45	22. 65	22. 16	12. 02	12. 41	12. 45
熔点/℃	1769	2443	3050	1552	1960	2310
沸点/℃	3800	4500	5020 ± 100	2900	3700	4080 ± 100
比热容 (25℃)/ $\text{J} \cdot (\text{g} \cdot \text{K})^{-1}$	0. 0314	0. 0307	0. 0309	0. 0584	0. 0589	0. 0551
电阻率 (0℃) / $\mu\Omega \cdot \text{cm}$	9. 85	4. 71	8. 12	9. 93	4. 33	6. 80
熔化热/ $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	19. 7	26. 5	29. 3	16. 7	22. 4	26
汽化热/ $\text{kJ} \cdot \text{mol}^{-1}$	502. 8	612. 5	361. 7	494	592. 0	
热导率 (0 ~ 100℃)/ $\text{cal} \cdot (\text{cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C})^{-1}$	0. 17	0. 35	0. 21	0. 18	0. 38	0. 25
电阻温度系数 (0 ~ 100℃)/ $^\circ\text{C}^{-1}$	0. 003927	0. 00427	0. 0042	0. 0038	0. 00463	0. 0042

3 铂族资源

3.1 铂族矿物的种类及其工业指标

目前发现的铂族矿物和含铂族元素的矿物已超过 80 种，加上变种和未定名矿物已达 200 个。在自然界中，铂族金属主要呈自然元素、自然合金、铋化物、硫化物、砷化物和铋砷化物的单矿物存在，部分呈类质同象存在于硫化物，如黄铜矿、镍黄铁矿、紫硫镍（铁）矿等中。常见铂族金属矿物见表 2。

表 2 常见铂族金属矿物

矿物名称	化学式	元素种类	一般含量/%	备 注
自然铂	Pt	Pt	83.2 ~ 100.0	x = 0.06
铁自然铂	Pt · Fe	Pt	74.8 ~ 90.22	
砷铂矿	PtAs ₂	Pt	46.6 ~ 59.3	
铂碲矿	PtTe ₂	Pt	31.0 ~ 46.3	
铋碲铂矿	Pt(Te, Bi) ₂	Pt	60.34 ~ 41.0	
铋钯矿	Pd _{5+x} Sb _{2-x}	Pd	66.9 ~ 70.8	
碲钯矿	PdTe ₂	Pd	21.7 ~ 33.2	
铋碲钯矿	Pd(Te, Bi) ₂	Pd	25.6	
单斜铋钯矿	PdBi ₂	Pd	17.6 ~ 20.3	
硫铱矿	OsS ₂	Os	64.3 ~ 72.4	
硫砷铱矿	IrAsS	Ir	55.3 ~ 66.5	
砷钌矿	RuAs	Ru	43.4 ~ 44.7	
铱砷矿	OsAs	Os	46.5 ~ 51.2	
砷铑矿	RhAs ₂	Rh	41.3	
铱砷铂矿	(Pt, Ir) As ₂	Ir	10.7 ~ 12.0	
		Pt	44.9 ~ 45.7	

铂族金属矿床的工业指标见表 3。

表 3 铂族金属矿床的工业指标

矿床类型		金属种类	边界品位/ $\text{g} \cdot \text{t}^{-1}$	工业品位/ $\text{g} \cdot \text{t}^{-1}$	地段品位 / $\text{g} \cdot \text{t}^{-1}$	最小可采 厚度/m	夹石剔除 厚度/m
原生矿床	超基性岩 含铜镍型 矿床	Pt + Pd ^①	0.3 ~ 0.5	≥ 0.5	1.0	1 ~ 2	≥ 2
		Pt	0.25 ~ 0.42	≥ 0.42	0.84		
		Pd	1.25 ~ 2.1	≥ 2.10	4.20		
	伴生矿床 *	Pt、Pd	0.03				
		Os、Ir、Ru、Rh	0.02				
砂矿床	松散沉积 型矿床	Pt + Pd	0.03 (g/m^3)	≥ 0.1 (g/m^3)		0.5 ~ 1	≥ 1
		Pt	0.025 (g/m^3)	≥ 0.085 (g/m^3)			
		Pd	0.125 (g/m^3)	≥ 0.42 (g/m^3)			
	砂砾岩型 矿床	Pt + Pd	0.1 ~ 0.5 (g/m^3)	$\geq 1 \sim 2$ (g/m^3)			
		Pt	0.085 ~ 0.42 (g/m^3)	$\geq 0.84 \sim 1$ (g/m^3)			
		Pd	0.42 ~ 2.1 (g/m^3)	$\geq 4.2 \sim 8.4$ (g/m^3)			

①上述指标 Pt : Pd = 4 : 1。

现在铂和金的国际价格很相近，故一般工业要求可参照本书的岩金及砂金要求进行评价。以前铂和金的差价较大，所以一般工业要求也较低，已不适用，但为了对照，现将原指标列后，以供参考。(1) 铂与钯的比例为：Pt : Pd = 4 : 1；(2) 达到此指标时，要对其进行评价和综合回收利用的研究工作，如能回收利用，有多少算多少。

3.2 各类铂族矿物的综合评价

在原生铂族金属矿床中,铂族金属常与铜、镍、钴、铬、金、硒、碲等矿产共生;其围岩(超基性岩)有的可制钙镁磷肥和建筑材料;在铂族金属砂矿床中,铂族金属常与金共生,要注意综合评价。和基性岩、超基性岩有关的矿产,常伴有铂族金属,在评价主矿产时,要注意铂族金属的综合评价。

西北金川超基性岩型含铂族金属的铜镍矿床,铂族金属有多少算多少;西藏某铬铁矿中Pt亦可综合回收利用。

铂族金属全世界储量18000t,其中铂、钯量约占90%。

4 铂族提取

4.1 铂族金属的提取

砂铂矿或含铂族金属的砂金矿用重选法富集可得精矿,铂或钌、铑的含量能达70%~90%,可直接精炼。

20世纪50年代以来铂族金属主要从铜镍硫化物共生矿中提取,小部分从炼铜副产品中提取。铜镍硫化共生矿在火法冶金时,精矿中所含的铂族金属90%以上可富集于铜镍冰铜(铑)中。再经转炉吹炼富集成高冰镍后,经缓冷、研磨、浮悬和磁选分离,可得含铂族金属的铜镍合金。把这种合金经硫化熔炼,细磨磁选,以分离铜镍,产出含铂族金属更富的铜镍合金。将此合金铸成阳极,进行电解时,铂族金属进入阳极泥。阳极泥经酸处理后,就可得到铂族金属精矿。采用羧基法从镍精矿或铜镍合金制取镍时,铂族留于碳化残渣中,经硫酸处理或加压浸出其他金属后得铂族精矿。我国金川有色金属公司将含铂族的铜镍合金,再次硫化熔炼和细磨、磁选得到富铂的铜镍合金,用盐酸浸出分离镍,用控制电位氯化法分离铜,然后提取铂族金属。

铂族含量高的高冰镍(如南非的原料),现在直接用氧压下硫酸浸出,或氯化冶金分离其他金属后获得铂族精矿。铂族精矿经过直接溶解、分离、提纯,或先将钌、钌氧化挥发分离后,再分离、提纯其他铂族金属。在铜的火法冶金和电解精炼过程中,铂族金属和金银一起进入阳极泥。用此种阳极泥炼出多尔银(即含少量金的精银),铂族金属富集于多尔银中。铂族金属在火法炼铜过程中进入精铅,可用灰吹法除铅得多尔银,则铂族便富集其中;如果粗铅加锌脱银,则铂族金属富集于银锌壳中,然后脱锌得多尔银。多尔银电解精炼时,为了避免钯损失于电解银中,银阳极的含金量常控制在小于4.5%,同时控制金钯比等于或大于10。若部分钯和少量铂进入硝酸银电解液,可用活性炭吸附,或用“黄药”选择性沉淀加以回收。通常在电解银时,铂族金属富集于银阳极泥中。如铂族金属含量较高,可先用王水溶解阳极泥,然后分别回收;如含量较低,常用硫酸溶解除银,残渣铸成精金电极,然后电解提金;铂、钯富集于电解母液中,用草酸沉淀金后,用甲酸钠沉淀回收铂和钯;富集于金阳极泥中的其他铂族金属还可再分离。

4.2 铂族金属再生

铂族金属稀有而贵重,历来重视回收。废催化剂、废电器元件、含铂的残破器皿、废

电镀液、珠宝装饰品厂的废料等都可从中回收铂族金属。这些废料含铂量高时可直接分离提纯；含量低时，须先行富集。流体废料可以加廉价金属进行置换，或加硫化物使其沉出；也可用电解沉积或离子交换法富集。固体废料可用铜或铅熔炼捕集回收。

4.3 铂族金属的分离和提纯

铂族金属的提取和精制流程因原料成分、含量的不同而异，典型流程见图1。将铂族金属精矿或含铂族金属的阳极泥用王水溶解，钯、铂、金均进入溶液。用盐酸处理以破坏亚硝酰化合物（赶硝），然后加硫酸亚铁沉淀出金。加氯化铵，铂呈氯铂酸铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{PtCl}_6]$ 沉淀出，煅烧氯铂酸铵可得含铂99.5%以上的海绵铂。分离铂后的滤液，加入过量的氢氧化铵，再用盐酸酸化，沉淀出二氯二氨配亚钯 $[\text{Pd}(\text{NH}_3)_2\text{Cl}_2]$ 形式的钯，再在氢气中加热煅烧可得纯度达99.7%以上的海绵钯。

经上述王水处理后的不溶物与碳酸钠、硼砂、密陀僧（ PdO ）和焦炭共熔，得贵铅。用灰吹法除去大部分铅，再用硝酸溶解银，残留的铅、铊、铋、锑、钨富集于残渣中。将此残渣与硫酸氢钠熔融，铊转化为可溶性的硫酸盐，用水浸出，加氢氧化钠沉出氢氧化铊，再用盐酸溶解，得氯铊酸。溶液提纯后，加入氯化铵，浓缩、结晶出氯铊酸铵 $[(\text{NH}_4)_3\text{RhCl}_6]$ 。在氢气中煅烧，可得海绵铊。

在硫酸氢钠熔融时，铋、锑、钨不反应，仍留于水浸残渣中。将残渣与过氧化钠和苛性钠一起熔融，用水浸出；向浸出液中通入氯气并蒸馏，钨和锑以氧化物形式蒸出。用乙醇-盐酸溶液吸收，将吸收液再加热蒸馏，并用碱液吸收得锑酸钠。在吸收液中加氯化铵，则锑以铵盐形式沉淀，在氢气中煅烧，可得锑粉。在蒸出锑的残液中加氯化铵，可得钨的铵盐，再在氢气中煅烧，可得钨粉。

浸出钨和锑后的残渣主要为氧化铱（ IrO_2 ），用王水溶解，加氯化铵沉出粗氯铱酸铵 $[(\text{NH}_4)_2\text{IrCl}_6]$ ，经精制，在氢气中煅烧，可得铱粉。

将铂族金属粉末用粉末冶金法或通过高频感应电炉熔化可制得金属锭。

近年来，用溶剂萃取法分离提纯铂族金属的工艺得到应用，常用的萃取剂有磷酸三丁酯（IBP）、三烷基氧膦（TRPO）、二丁基苄基醇（DBC）、烷基亚砷等。

4.4 制取高纯铂族金属

一般将金属溶解后，经反复提纯，精制方法有载体氧化水解、离子交换、溶剂萃取和重复沉淀等，然后再以铵盐沉出，经煅烧可得相应的高纯金属。

5 铂族用途

铂族金属和合金有很多重要的工业用途。过去主要是制造蒸馏釜以浓缩铅室法制得稀硫酸，也曾用铂铱合金制造标准的米尺和砝码。在19世纪中叶，俄国曾制造铂铱合金币在市场上流通。

目前，铂族金属及其合金的主要用途为制造催化剂。因其活性、稳定性和选择性都好，化学工业上的很多过程（如炼油工业的铂重整工艺）都使用铂族催化剂。氨氧化制硝酸时，使用铂铑合金网作催化剂。近年来又在铂铑网下增加金钯捕集网以减少铂、铑的损失。钯是化学工业中加氢的催化剂。此外消除汽车排气污染的催化剂用量增长极快。在

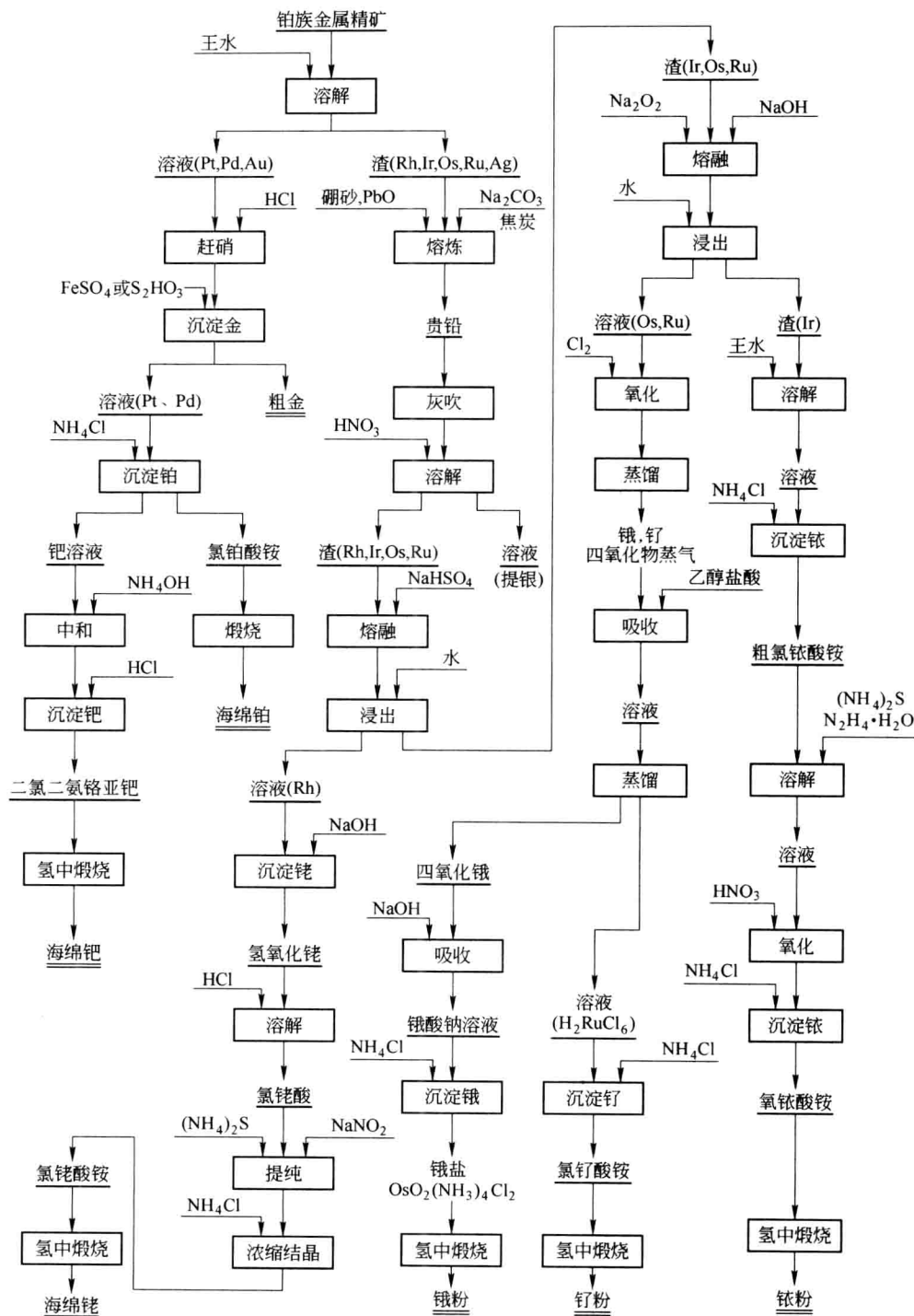


图1 铂族金属的分离和提纯流程

美国用于汽车排气净化的铂，1978年为60万金衡盎司（1金衡盎司=31.103克），占总消费量的51.3%，1979年为66万金衡盎司，占66%。

铂铑合金对熔融的玻璃具有特别的抗蚀性，可用于制造生产玻璃纤维的坩埚。生产优质光学玻璃时，为防止熔融的玻璃被沾污，也必须使作铂制坩埚和器皿。1968 年国际实用温标规定，在 630.74 ~ 1064.43℃ 范围内的测温标准是 Pt - 10Rh/Pt 热电偶。用于测量 13.81 ~ 903.89K 温域的标准仪器是铂电阻温度计，其电阻器必须是无应变退火后的纯铂丝，100℃ 时的电阻比 (R_{100}/R_0) 应大于 1.39250。

铂铱、铂铑、铂钯合金有很高的抗电弧烧损能力，被用作电接点合金，这是铂的主要用途之一。铂铱合金和铂钯合金用于制造航空发动机的火花塞接点。由于铂化学性质稳定，纯铂、铂铑合金或铂铱合金制造的实验室器皿如坩埚、电极、电阻丝等是化学实验室的必备物品。铂钯合金广泛用于制造各种首饰特别是镶钻石的戒指、表壳和饰针。铂或钯的合金也可作牙科材料。

铂、钯和铑可作电镀层，常用于电子工业和首饰加工中。银和铂表面镀铑，可增强表面的光泽和耐磨性。近年来涂钯和铂的钛阳极代替了电解槽中的石墨阳极，提高了电解效率，并延长电极使用寿命，是氯碱工业中一项重要的技术改性，为钯在工业上使用开辟了新途径。铱合金可造笔尖和唱针。钯合金还用于制造氢气净化材料 and 高温钎焊焊料等。在化学工业中还使用包铂设备。

铂族金属

倪集众

1 铂族金属概述

铂族金属包括铂(Pt)、钯(Pd)、铱(Ir)、铑(Rh)、钌(Ru)、铼(Rh) 6 种金属。

铂族金属以其特别可贵的性能和资源珍稀而著称；与金、银合称“贵金属”。但其发现与利用相对于金、银来说要晚得多。金、银饰品在人类纪元之前的墓葬中就有发现，而人类对铂族金属的了解和利用，不过两百多年的历史。其中铂发现最早，1735 年由尤尔洛（A. De. Ulloa）发现，其余几种元素都迟至 19 世纪才陆续被了解，如钯是 1804 年由沃拉斯顿（W. H. Wollaston）发现，钌是 1844 年克劳斯（K. Krays）发现。虽然发现较晚，但很快了解到它们有一些可贵的功能，因而被广泛应用于现代工业和尖端技术中。因此被称为“现代贵金属”。据报道，从公元前 4000 年到 19 世纪末，全球累计产金 2.9 万吨，19 世纪世界平均年产量 123t；到 1973 ~ 1980 年，世界平均年产量达 1375t。铂族金属的世界产量从 1969 年开始超过 100t，20 世纪 80 年代末便翻了一番，达到 200t（张文朴，1997），90 年代初年产量近 300t。从这些数据不难体会出“贵金属”与“现代贵金属”深层的含义：二者都是珍稀而贵重的，而铂族元素虽然绝对数量比不上金、银，但其发展的速度深刻体现出“现代”的含义。

1.1 矿物原料特点

铂族金属既具有相似的物理化学性质，又有各自的特性。它们的共同特性是：除了铱和钌为钢灰色外，其余均为银白色；熔点高、强度大、电热性稳定、抗电火花蚀耗性高、抗腐蚀性优良、高温抗氧化性能强、催化活性良好。各自的特性又决定了不同的用途。例如铂还有良好的塑性和稳定的电阻与电阻温度系数，可锻造成铂丝、铂箔等；它不与氧直接化合，不被酸、碱侵蚀，只溶于热的王水中；钯可溶于浓硝酸，室温下能吸收其体积 350 ~ 850 倍的氢气。铑和铱不溶于王水，能与熔融氢氧化钠和过氧化钠反应，生成溶于酸的化合物；铱与钌不溶于王水，却易氧化成四氧化物。它们的主要物理和力学性质见表 1。

目前，已发现 200 余种铂族元素矿物。可分为 4 大类：（1）自然金属：自然铂、自然钯、自然铑、自然铱等；（2）金属互化物：钯铂矿、铱铑矿、钌铱铑矿，以及铂族金属与铁、镍、铜、金、银、铅、锡等以金属键结合的金属互化物；（3）半金属互化物：铂、钯、铑、铱等与铋、碲、硒、锑等以金属键或具有相当金属键成分的共价键型化合物；（4）硫化物与砷化物。铂族元素的主要矿物及其组成见表 2。工业矿物主要有砷铂矿、自然铂、等轴铋碲钯矿、碲钯矿、砷铂铱矿、碲钯铱矿及铋碲钯矿。砷铂矿和等轴

铼铱钨矿多见于原生铂矿床，自然铂多产于砂铂矿。

表 1 铂族金属的物理和力学性质

性 质 \ 元 素	Ru	Rh	Pd	Os	Ir	Pt
密度 (20℃)/g·cm ⁻³	12.45	12.41	12.02	22.61	22.65	21.45
熔点/℃	2310	1963	1554	3045	2447	1772
沸点/℃	4080	3700	2900	5020	4500	3800
比热容 (20℃)/J·(kg·K) ⁻¹	230.5	246.4	244.3	129.3	128.4	131.2
伸长率/%		5	40			40
热导率 (0~100℃)/W·(m·K) ⁻¹	105	150	76	87	148	73
线胀系数/K ⁻¹	9.1×10^{-4}	8.3×10^{-4}	11.1×10^{-4}	6.1×10^{-4}	6.8×10^{-4}	9.1×10^{-4}
电阻率 (0℃)/μΩ·cm	6.80	4.33	9.93	8.12	4.71	9.85
电阻温度系数 (0~100℃)/℃ ⁻¹	0.0042	0.0046	0.0038	0.0042	0.0043	0.0039
磁化系数/cm ³ ·g ⁻¹	0.427×10^6	0.09903×10^6	5.231×10^6	0.052×10^6	0.133×10^6	0.9712×10^6
逸出功/eV	74.54	4.90	4.99	4.8	5.40	5.27
维氏硬度 (退火态)	200~350	100~102	40~42	300~670	200~400	40~42
抗拉强度 (退火态)/N·mm ⁻²	496	688	172		1090	125
弹性模量/N·mm ⁻²	4.17×10^5	3.16×10^5	1.17×10^5	5.56×10^5	5.16×10^5	1.72×10^5

铂族金属矿物在矿石中的含量一般甚微，以每吨几克 (g/t) 计，矿物颗粒小，6 个元素在不同的矿床中含量各异。如南非的布什维尔德杂岩中铂是主要元素，以铂为 100 的话，钯为 40，钌为 10，铑为 6，铱为 1，锇不及 1。俄罗斯的诺里尔斯克则以钯为主（是铂的 3 倍）。加拿大的萨德伯里矿石中铂、钯比率接近。

铂族金属在矿石中常以有色金属的硫化物、砷化物和硫砷化物为其主要的载体矿物，特别是自然金、自然银、黄铜矿、磁黄铁矿、镍黄铁矿、辉砷镍矿与斑铜矿等（表 2），如在自然金中铂可达 600g/t，钯达 1000g/t；黄铜矿中的含钯量是磁黄铁矿中的 100 倍。

表 2 铂族元素的主要矿物及其组成

类 别	矿物名称	化学式	主要化学组分/%
自然元素 及金属互化物	自然钯	Pd	Pd 8.6~100.0
	自然铂	Pt	Pt 83.2~100.0
	铁自然铂	Pt, Fe	Pt 74.8~90.2, Fe 8.8~18.5
	自然铱	Ir	Ir 78.8~95.0
	自然锇	Os	Os 78.0~99.8
	自然钌	Ru	Ru 64.4~1.1
	铂自然铑	Rh, Pt	Rh 41.7, Pt 59.6
	钯自然金	Au, Pd	Au 85.2, Pd 12.3
	铂自然铜	Cu, Pt	Cu 28.5~31.0, Pt 68.5~73.8
	正方铁铂矿	Pt, Fe	Pt 60.9~82, Fe 14.9~26.6

续表 2

类 别	矿物名称	化学式	主要化学组分/%
自然元素 及金属互化物	红石矿	Cu, Pt	Cu 24.4 ~ 24.7, Pt 73.8 ~ 76
	等轴钨铱矿	Ir, Os	Ir 54.1 ~ 82.2, Os 16.3 ~ 40.9
	铱铱矿	Os, Ir	Os 47.3 ~ 80.3, Ir 15.2 ~ 49.7
	汞钯矿	PdHg	Pd 34.8 ~ 35.9, Hg 64.1 ~ 65.2
	铅钯矿	Pd ₃ Pb ₂	Pd 37.2 ~ 44.6, Pb 49.2 ~ 58.7
	锡钯矿	Pd ₃ Sn ₂	Pd 58, Sn 38
各种化合物	砷铂矿	PtAs	Pt 46.6 ~ 59.3, As 37.6 ~ 46.8
	砷钯铋矿	Pd ₈ (As, Sb) ₃	Pd 76.8 ~ 78.5, As 16.1 ~ 17.1
	铱砷矿	OsAs ₂	Os 46.5 ~ 51.2, As 42.3 ~ 45.0
	铋钯矿	Pd ₅ Sb ₂	Pd 66.9 ~ 70.8, Sb 27.7 ~ 32.5
	硫钨矿	RuS ₂	Ru 46.7 ~ 67.0, S 31.8 ~ 41.4
	硫铱矿	OsS ₂	Os 64.3 ~ 72.4, S 25.0 ~ 26.6
	硫铂矿	PtS	Pt 75.7 ~ 86.2, S 12.4 ~ 17.6
	硫钯矿	PdS	Pd 52.4 ~ 73.5, S 20.0 ~ 25.2
	硫镍钯铂矿	(Pt, Pd, Ni)S	Pt 31.5 ~ 68.8, Pd 8.5 ~ 38.5, Ni 3.5 ~ 8.3
	硫砷铋矿	RhAsS	Rh 41.3, As 33.3, S 16.4
	硫砷铱矿	IrAsS	Ir 55.3 ~ 66.5, As 21.5 ~ 36.4, S 6.6 ~ 14.3
	碲钯矿	PdTe ₂	Pd 21.7 ~ 33.2, Te 50.8 ~ 67.8
	碲铂矿	PtTe ₂	Pt 31.0 ~ 46.3, Te 44.2 ~ 61.4
	等轴碲铋钯矿	PdTeBi	Pd 18.0 ~ 25.5, Te 27.7 ~ 33.0, Bi 36.6 ~ 48.0
含铂族 元素矿物	含铂钯自然金	Au	Au 84.6 ~ 95.6
	含铂钯银金矿	Au, Ag	Au 58.4 ~ 80.1, Ag 9.0 ~ 29.2
	含铂钯自然银	Ag	Ag 67.3 ~ 97.5
	含铂自然铋	Bi	Bi 大量
	含钨铋镍黄铁矿	(Fe, Ni) ₉ S ₃	Fe 15.4, Ni 37.6, S 30.7

1.2 用途与技术经济指标

铂族金属早期主要用作首饰, 20 世纪 50 年代后开始大量应用于石油、汽车、电子、化工、原子能, 以至环境保护行业。它们在这些工业中用量不大, 但起着关键的作用, 故素有“工业维生素”之称。

铂的用途最广, 可单独或与其他铂族金属联合使用。铂可作制造硝酸与氨的催化剂, 生产高质量的航空汽油; 电器与电子工业上的接触点和铂铑合金热电偶、铂铱火花塞电极; 玻璃工业上用作铂坩埚; 国防工业上可制造导弹发射燃料——过氧化氢的催化剂与宇宙飞行器的燃料电池电极等。钯主要作低电流的接触点和化工中的催化剂; 钯合金管可做提纯氢气用的扩散设备。铑对可见光谱的反射率高, 故可用做反射镜面; 铱、钨、钨作为铂和钯的添加剂, 提高它们的硬度、抗拉强度、耐蚀性和熔点。铱的耐磨性使之可用做钢