

JM

铂族金属的 时代机遇



Johnson Matthey
Inspiring science, enhancing life



《2024年庄信万丰铂族金属市场报告》专题

庄信万丰致力于确保本白皮书中所含信息和资料的准确性，但对于其在任何特定用途下的准确性、完整性或适用性不作任何保证。庄信万丰不承担由于用户对本报告所载信息和资料的依赖所产生的任何责任，且明确表示使用此类信息和资料的风险应由用户自行承担。本白皮书所载任何信息不应解作是在推荐买卖任何受监管贵金属相关的产品或任何其他受监管的产品、证券或投资，也不应解作是此等推荐的组成部分。专利、版权和外观设计不受本白皮书的影响。

© 2024 庄信万丰集团

铂族金属：具备独特优势的奇特金属

铂族金属(PGM)可以在诸多颇具挑战性的应用中发挥关键作用，充分利用铂族金属的优异性能、成熟的供应链及回收网络，助力企业创新及市场发展。

预计传统内燃机(ICE)汽车产量将在政策推动下呈下滑态势，进而释放出一定的市场发展空间。这在“关键”/“战略”材料中是极为难得的：其他关键/战略金属(如锂离子电池中使用的贱金属)在能源转型需求的带动下快速增长，很有可能出现供应短缺问题。

铂族金属配备高度成熟的供应链和加工设施，并不断投入资金以提升效率和可持续性。在铂族金属的使用过程中，循环回收利用始终是大家关注的焦点，“金属效率”可能即将成为热点话题。无论用于何处，铂族金属可始终确保卓越的效率，原因在

于铂族金属相关工艺往往比其他工艺能耗更低、产生更少的废弃物。

铂族金属因其在极端环境下的优异性能及耐久性，往往成为众多技术中唯一可行的选项。不仅如此，铂族金属的众多优势也使得用户越来越倾向于选用铂族金属(图1)：

- 供应情况良好，货源充足可靠。
- 价格回归常态。
- 回收技术成熟，回收率较高。
- 超高的金属效率。

随着关键金属日趋成为未来的驱动力，甚至面临供应短缺的挑战，铂族金属的这些特点将不可或缺。



图1 铂族金属的应用优势

关键金属面临的挑战

关键金属效率

“关键材料”指决策者认为具备重要的经济价值但面临供应短缺或供应中断风险的金属以及其他材料。“战略材料”通常特指对未来发展至关重要且用于能源转型、国防或其他关键技术的相关材料。

何为“关键金属效率”

能源效率的概念已广为人知，在化石燃料领域尤为如此。燃料的供应量有限，且使用过程往往对生态环境产生影响，因此应竭尽所能地高效利用。

关键金属亦然。关键金属供应有限，且开采活动会对环境造成负面影响，因此应当对其加以有效利用。电池等部分能源转型技术对关键金属的回收利用率低，且往往需要消耗大量关键金属，因而属于“金属密集型”技术。

对于能源转型而言，关键金属效率与能源效率同等重要。毕竟，太阳能与风能取之不尽、用之不竭且环保无污染，但对其加以利用转化的金属并非如此，相反正面临着供需的巨大缺口。

世界碳中和的倡导引发了能源格局巨大转变，也伴随着诸多困难与挑战。其中，金属挑战或许最令人担忧，这一挑战可能推迟甚至中断能源转型的进程¹。原因在于清洁能源技术(特别是电池和电力基础设施)需要使用大量的特定金属，包括(但不限于)铜、镍和锂²。

这些金属需求旺盛且呈现日趋上扬态势，可能导致供给乏力，这一点已广为人知³。

在试图弥补供不应求局面的过程中，人类已造成严重的环境危害，例如，印度尼西亚对红土镍矿的碳密集型开采冶炼方式已导致森林过度砍伐和水道污染⁴，而目前正在考虑的海底矿床开采也必将招致更大的环境风险⁵。地缘政治局势的紧张致使问题的复杂性加剧且风险等级攀升⁶。

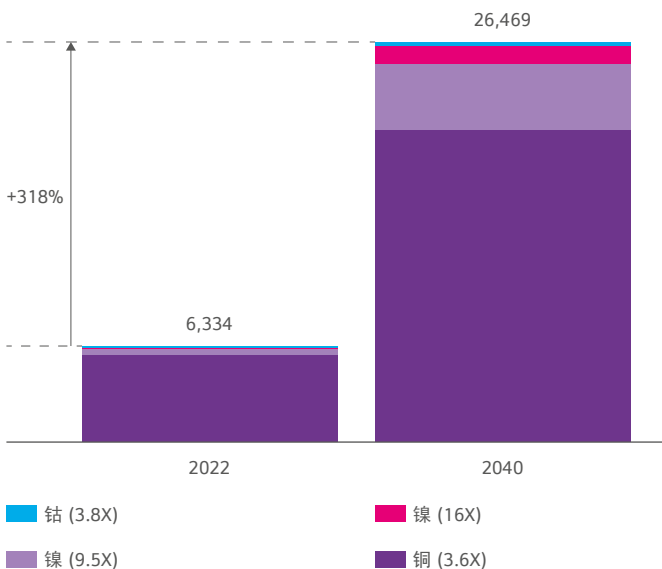


图2a 清洁技术发展带动的关键金属需求量预测(按金属划分, 千吨)

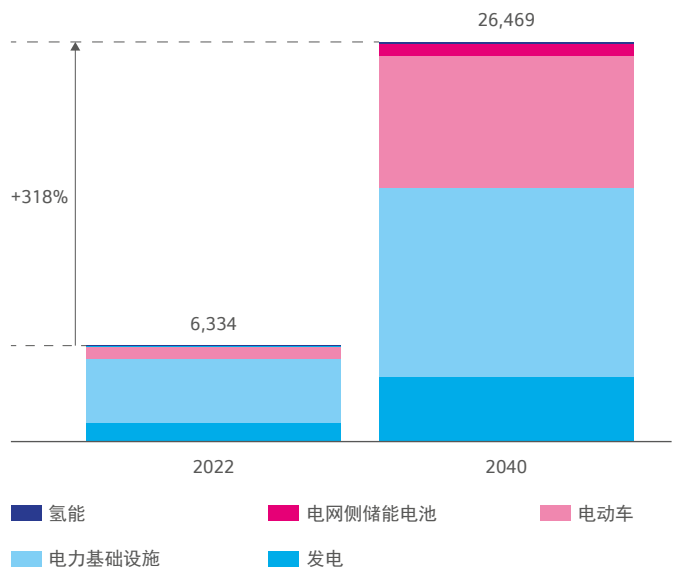


图2b 清洁技术发展带动的关键金属需求量预测(按应用划分, 千吨)

铂族金属的与众不同之处

与此形成鲜明对比的是铂族金属。虽然铂族金属常被视为“关键金属”，但铂族金属所面临的挑战与一般的关键金属并不相同，供需动态的压力也并不大。

需求转向新领域

新技术中使用铂族金属在很大程度上是对原有市场需求的取代(见图9)。某些情况下属于自然转型，例如内燃机汽车中的铂金被燃料电池车(FCEV)中的铂金所替代。

而在其他情况下(如：电解水制氢中的铱)，某一领域的用量增长势必导致其他应用领域受到价格驱动，作出一系列应对举措，包括：采用其他材料部分替代(如：使用铂金或钌替代铱)、提升使用效率(节省)、提高回收率——或将上述三种方式有机结合。

尽管必须加以调整，但仍可通过全球金属市场现有的供应链和基础设施满足铂族金属的新应用需求。

稳定的供应

铂族金属未来供应源相当完善且充足。

在矿产供应方面，南非占据着主导地位，因此铂族金属开采对南非的经济和社会意义重大。2023年，铂族金属的生产和销售占南非GDP的1.6%(而整个农业板块的占比仅为2.5%)，占南非商品出口总值的份额近10%⁷。南非的铂族金属采矿业在环境、社会和治理(ESG)方面表现相对优良，并普遍遵守负责任采购计划⁸。

南非布什维尔德火成岩杂岩体(BIC)富含丰富的铂族金属⁹，因此无需通过“非常规”来源获取铂族金属，且这种非常规的资源也难以被证明具备足够的铂族金属储量。受燃料电池等能源转型技术对铂金需求的刺激，南非仍将继续开采火成岩杂岩体，生产“一揽子”铂族金属，这也必将保障作为伴生矿的钯金、铑金、钌和铱的供应。

铂金、钯金及铑金的回收供应目前主要来自于北半球废旧汽车尾气催化剂中的铂族金属“城市矿山”。这将持续数十年：即使传统燃油车停止销售(预计欧洲将于2035年停售燃油车)，汽车的使用寿命加上目前汽车催化剂中大量使用铂族金属的情况(图3)也意味着铂族金属回收的来源将长期存在。

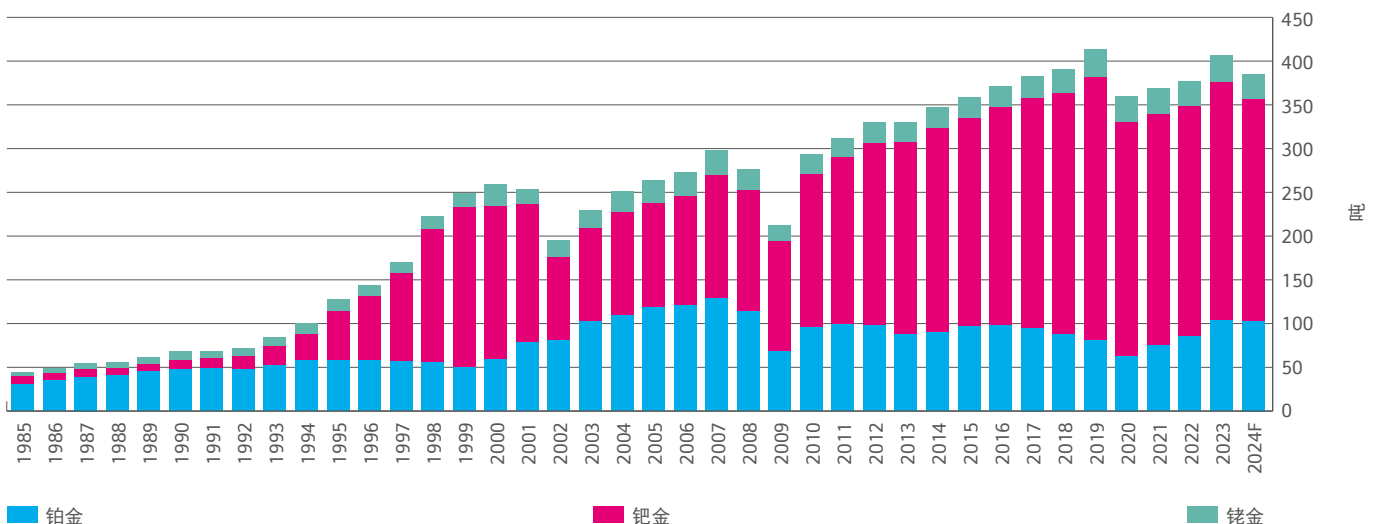


图3 自1985年以来汽车行业铂族金属的历史需求(来源：庄信万丰市场调研部)

回收循环利用是常规操作

除废旧汽车尾气催化剂外，铂族金属还存在其他的回收来源。这部分的铂族金属大多通过闭环回收，精炼后物归原主。这并未体现在我们报告的回收数据中，但闭环回收是一种日常操作，涉及到所有铂族金属。

现有的铂族金属回收精炼工艺，已实现从新型材料(如：质子交换膜(PEM)电解槽和燃料电池催化剂涂层膜(CCM))

中有效回收和循环利用铂族金属。但若未来回收量巨大，铂族金属精炼厂将持续创新以优化特定类型材料的回收情况，比如近期的技术不仅可通过催化剂涂层膜(CCM)回收铂族金属，还可回收其它有价值的膜材料(离子膜)¹⁰。

因此铂族金属新用户将会发现，只要将报废材料送至相关回收精炼厂就可以实现循环利用。

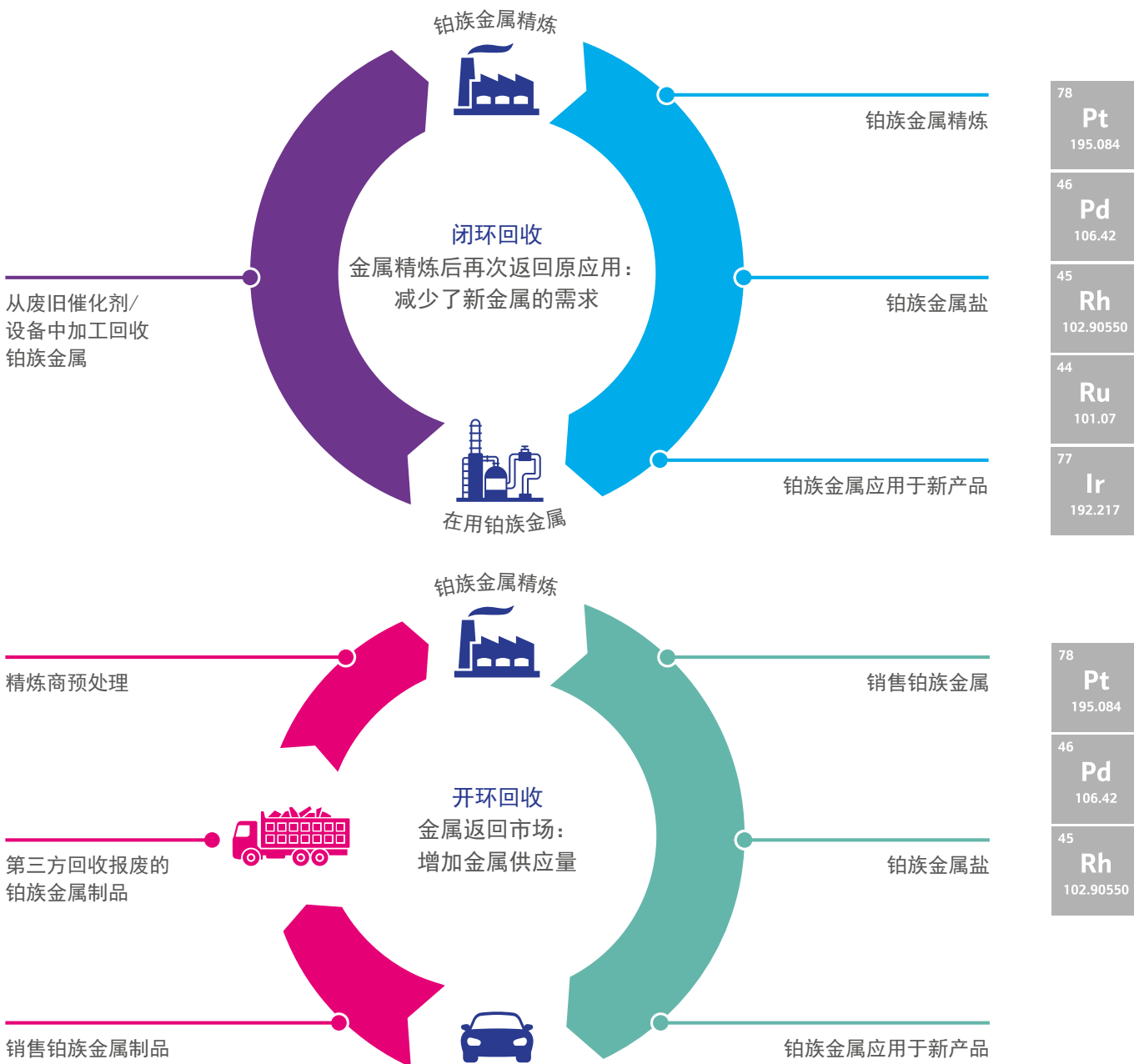


图4 两种不同的铂族金属回收模式（当前铱和钌的开环回收量极小）

高效率

数十年以来，人们始终认为应竭尽所能优先使用矿产资源储量较大的过渡金属，而非“稀有”金属。而如今该想法已有一定转变，因为能源转型的需求规模将给一些高储量金属带来供应压力，铂族金属则受益于上述更为有利的供需动态。

关注储量的同时往往容易忽视相对使用效率。相较于其他金属，满足同等技术条件下所需的铂族金属量通常很少，且使用过程中更节省、使用效率更高。

这在催化剂的性能评价上可以直接加以比较。例如，许多使用镍作为活性组分催化反应的工艺过程也可使用钯金予以替代，而钯金用量往往少一个数量级。

由于反应器内装填的催化剂必须定期加以更换，对不同金属采购总量的差异将日渐扩大。废镍催化剂可以送去回收利用，但若不具备足够的回收经济价值，则往往会被直接填埋；若已实现回收，再生镍也难以重新用于制备新催化剂，只能用于规格较低的其他用途，进行梯级利用。

而钯金催化剂则不会出现这种情况，因为钯金催化剂回收是非常普遍的，回收精炼后得到的“再生”钯金与“矿产”或“原生”钯金具备相同的特性。这对于催化剂持有人而言表明前期购买的钯金可多次使用，而镍催化剂在每次更换时都要新购。

金属效率及回收上的差异性将在一定程度上促进钯金替代镍。裂解汽油是乙烯生产过程中产生的低附加值的产物，不饱和烃含量较高，必须通过加氢精制将其加工为附加值更高的产品。不饱和烃类的一段加氢催化剂可使用镍或钯作为活性组分，出于成本考量，人们往往更倾向于选用镍催化剂。鉴于钯金近期价格有所下跌，且较之不可回收的镍基催化剂，钯金催化剂的反应效率接近100%，同时还具有可回收的优势，日趋受到关注。

图5所示的中型客车示例也说明了铂族金属的使用量之低。制造一辆零排放的纯电动汽车(BEV)需要100千克以上的关键金属，而一辆燃料电池车(FCEV)仅需20克钯金(以及约40千克的关键金属，具体用量取决于燃料电池车中混合动力电池的容量)。现阶段正在研发如何进一步减少钯金用量。

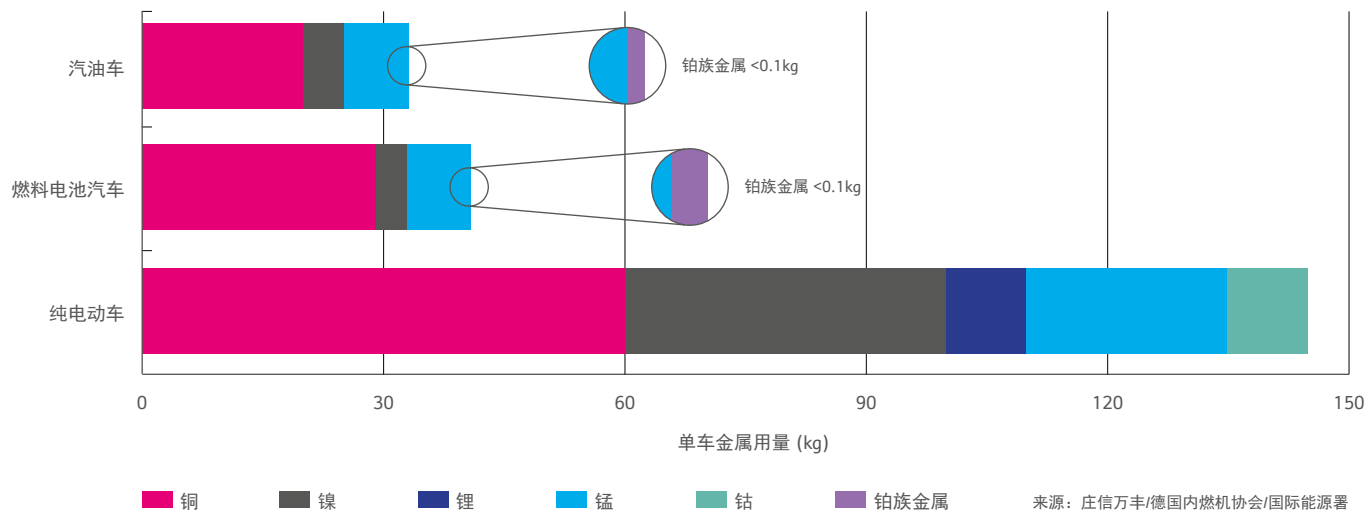


图5 中型乘用车典型单车关键金属用量，公斤/车

各类金属不尽相同

当然，将铂族金属与贱金属(如：镍)进行克对克的比较并无过多意义。人们普遍认为铂族金属非常昂贵，毕竟即使钯金价格进一步下跌(镍的价格很有可能随之上涨)，一克铂族金属的价格也远高于于一克贱金属的价格。

但铂族金属超高的使用效率意味着绝对的价格差异并不会对设备成本造成影响。以图5中的车辆为例，燃料电池车的铂金成本约为600美元，包括铂金在内的动力总成中关键金属的总成本约为1000美元。相比之下，尽管电池并不使用“昂贵”的铂族金属，但纯电动汽车动力系统中关键金属的总成本远超2000美元。

就工艺催化剂的应用实例，若铂族金属一直进行闭环式流转，铂族金属的总持有成本会逐渐降低，相较于贱金属的初始溢价可能会被抵消掉。

全球增温潜势(GWP)(即“碳足迹”)也适用于同样的原则，尤其是对于评估铂族金属矿产供应¹¹(按单位重量)而言。在评估铂族金属对设备碳足迹的影响时，必须考虑其使用量相对较少且可无限循环利用的优势。

事半功倍

这已是公认的事实：即使在二十世纪大多数时间内，相对稀有且高价值的铂族金属也给工业发展带来深远影响——在汽车尾气处理方面尤为如此。

自五十年前汽车尾气催化剂问世以来，已有逾三亿盎司(约一万吨)铂族金属用于汽车尾气催化剂，成功减少了无数污染物的排放，带给数十亿人口更加清洁的空气。目前，全球生产的内燃机车辆几乎均已装配含有铂族金属的尾气处理催化剂。

相信在二十一世纪，新技术中采用的铂族金属将产生同等影响力。



铂族金属的新市场

未来的潜力仍在孕育，但我们可以通过能源转型中的关键领域概述铂族金属发挥的促进作用。

清洁氢气

生产清洁氢气的方法主要包括两种，一是通过电解水分离出氢气，二是将化石燃料中的甲烷转化为氢气并捕集副产品二氧化碳。氢气的最终用途涉及交通、工业和发电等多领域，也可以转化为氨或其他燃料以及化学品被间接利用。

质子交换膜(PEM)技术离不开铂族金属催化剂：质子交换膜燃料电池中会用到铂、质子交换膜电解槽中使用铂、铱以及日渐增多的钌。铂还可用作质子交换膜电解槽组件的防腐蚀镀层，以便为导电表面提供电流。

铂族金属也应用于其他燃料电池以及电解槽技术。例如，碱性电解槽技术可以使用铂族金属提升性能，新兴的阴离子交换膜(AEM)电解槽技术则直接使用铂族金属催化剂。

在燃料电池方面，铂是磷酸燃料电池所必需的元素，这已成

为一种成熟、耐用且可靠的技术(已在韩国用于发电¹²)。固体氧化物燃料电池(SOFC)本身可能并不需要铂族金属，但会需要天然气作为燃料供给，而铂族金属(主要是铑金，也有钯金和铂金)会被用于天然气的生产和提纯过程。固体氧化物燃料电池(SOFC)已广泛应用于分布式电源应用。

在“氢能载体”(将氢气转化为不同形式，使其更易于处理和运输)领域也有铂族金属的身影。铂族金属(以铂金为主，也包括钌)经常参与到液态有机氢载体中“加氢装载”和“脱氢卸载”的催化反应过程，钌可用于合成氨及氨裂解制氢的过程，不过此过程也可使用贱金属将其替代。

氢气在使用之前通常需要提纯，根据设备和工艺路线的不同，可选择使用铂族金属催化剂或通过钯膜进行过滤。钯金具备独特的选择性吸附氢的能力，因此可制备成金属丝用于氢传感。

上述所有五种铂族金属推动了新兴氢能经济的发展以及净零转型的进程。

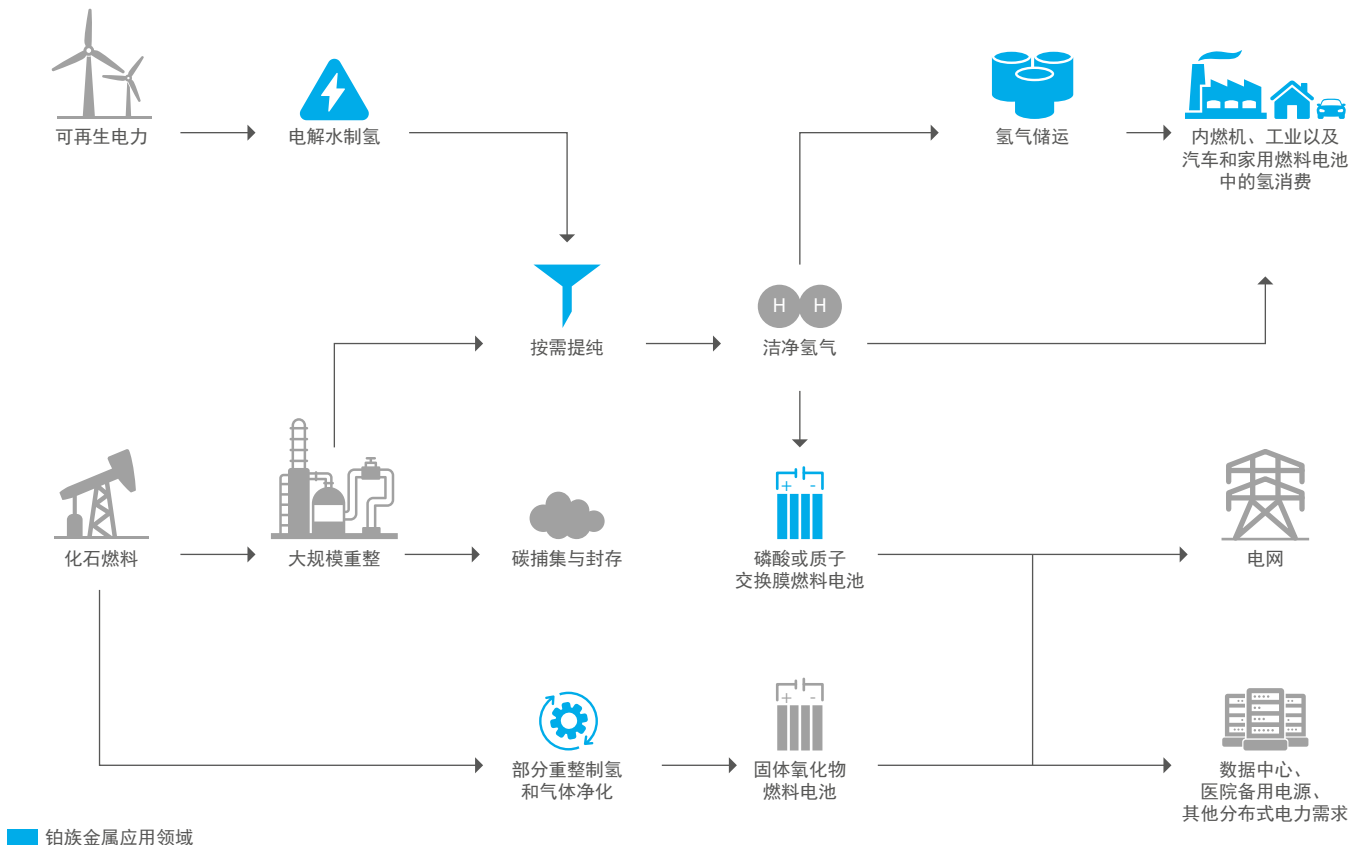


图6 铂族金属在氢能生态领域的应用

可持续航空

目前，航空业占全球能耗的份额为3%，而且这一比例还将继续攀升。航空业实现净零排放需要不同技术的加盟，其中许多技术亦离不开铂族金属。

现阶段正在研究如何将氢气用于喷气发动机或燃料电池的试验飞行，从长远来看，氢气有可能助力区域或短途飞行的去碳化进程。

大型飞机的远程飞行依赖多种解决方案。为此，航空业正致力于采用可替代煤油型喷气燃料的替代品。但这种替代品并非通过原油加以提炼，而是源自生物质，或通过将清洁氢气与从空气中捕集的二氧化碳结合制备出相应的碳氢化合物。

这种替代燃料被称为可持续航空燃料(SAF)，其形式多种多样，也涉及不同的制造工艺。原因主要在于尚无某种单一原料可满足所需的大量可持续航空燃料(SAF)，因而必须融合多种原料。

通过铂金催化剂对植物油进行加氢脱氧可以得到当前市场上最为成熟的可持续航空燃料(SAF)——也称为酯和脂肪酸加氢(HEFA)或加氢植物油(HVO)。对于这种植物油的需求必然增长，但可供使用的废弃植物油毕竟有限，因此供应量存在一定的限制。

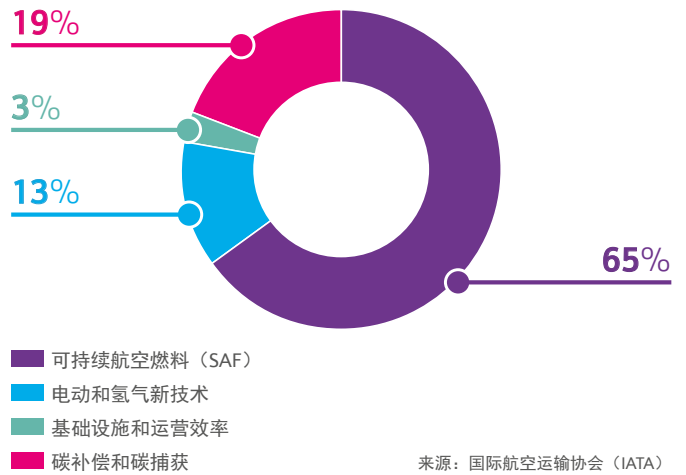


图7 航空业净零途径-国际航空运输协会 (IATA)

通过生物质和废弃物原料中生产可持续航空燃料(SAF)的其他几种工艺也需要铂族金属催化剂参与其中。为实现国际目标，需要各种技术紧密结合，而这些可替代的可持续航空燃料(SAF)途径必将发挥重要作用。

另一种形式的可持续航空燃料(SAF)是通过费托合成，将捕获的二氧化碳与清洁氢气反应，合成液态烃。若清洁氢气的来源是电解水，那么电解设备以及后续的提纯和加工过程中均会使用铂族金属。

因此，铂族金属广泛应用于整个可持续航空燃料(SAF)领域。

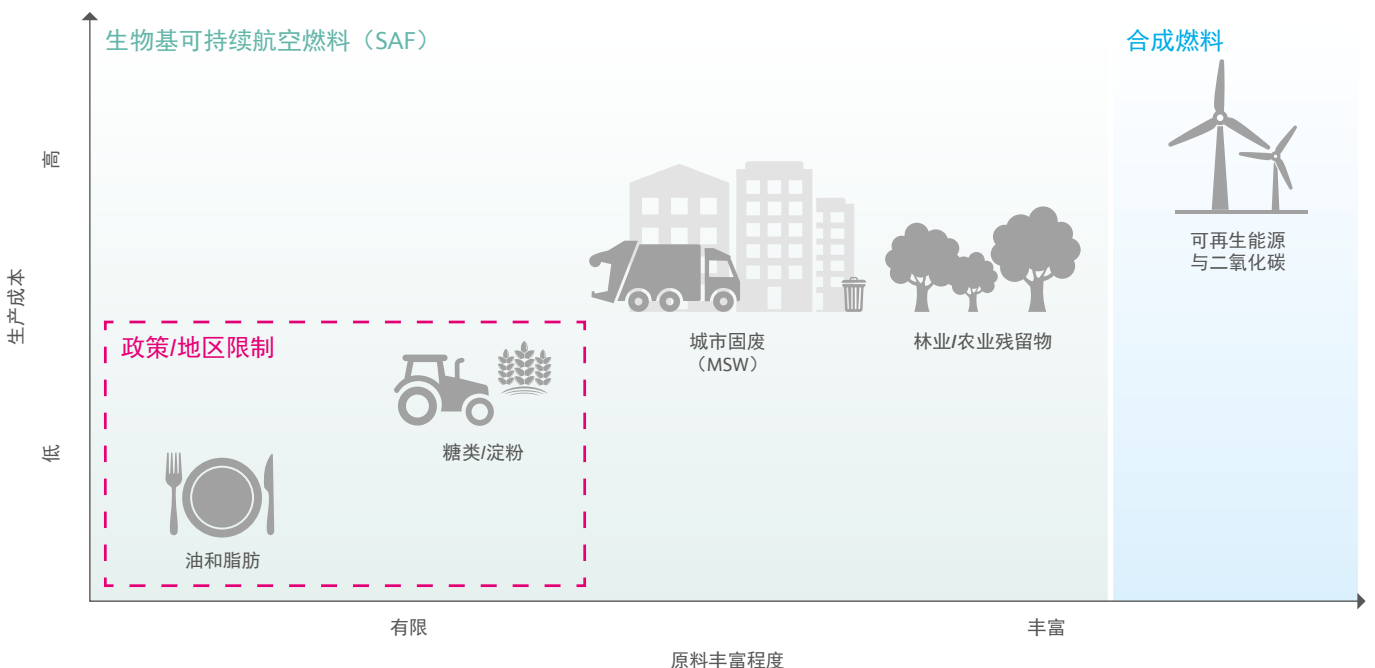


图8 可持续航空燃料 (SAF) 类型的范围

生物基化学品与材料

与航空燃料一样，工业文明中的大部分化学品和纺织品均源自化石燃料，碳氢结构是其分子框架，因此行业的长期目标在于以不增加大气中二氧化碳含量的方式用碳。

对此也离不开铂族金属的催化性能。例如，铂金-金、铂金-钯金或铂金-铑金催化剂可用于生物质原料改性，使其能与石化原料相同的方式加以使用。比如铂金工艺催化剂将糖类和其他生物质转化为聚合物单体，用于制造聚酯等塑料。

目前，整个石化工业均在使用铂族金属工艺催化剂，未来的“生物基化工”同样需要这种催化剂参与其中。

塑料等材料的使用必须实现循环(回收)以减少废弃物的生成，而铂族金属催化剂在这方面的性能日益受到关注。

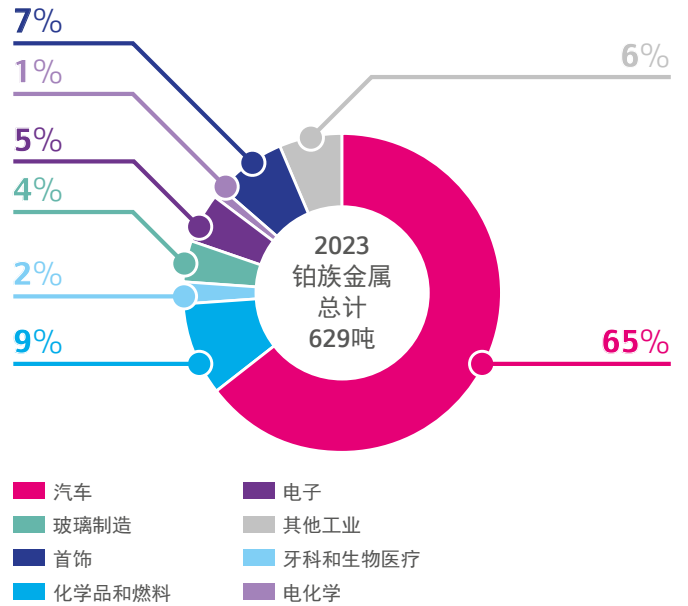


图9 当前五种铂族金属的净需求量(按应用, 但不包括投资)

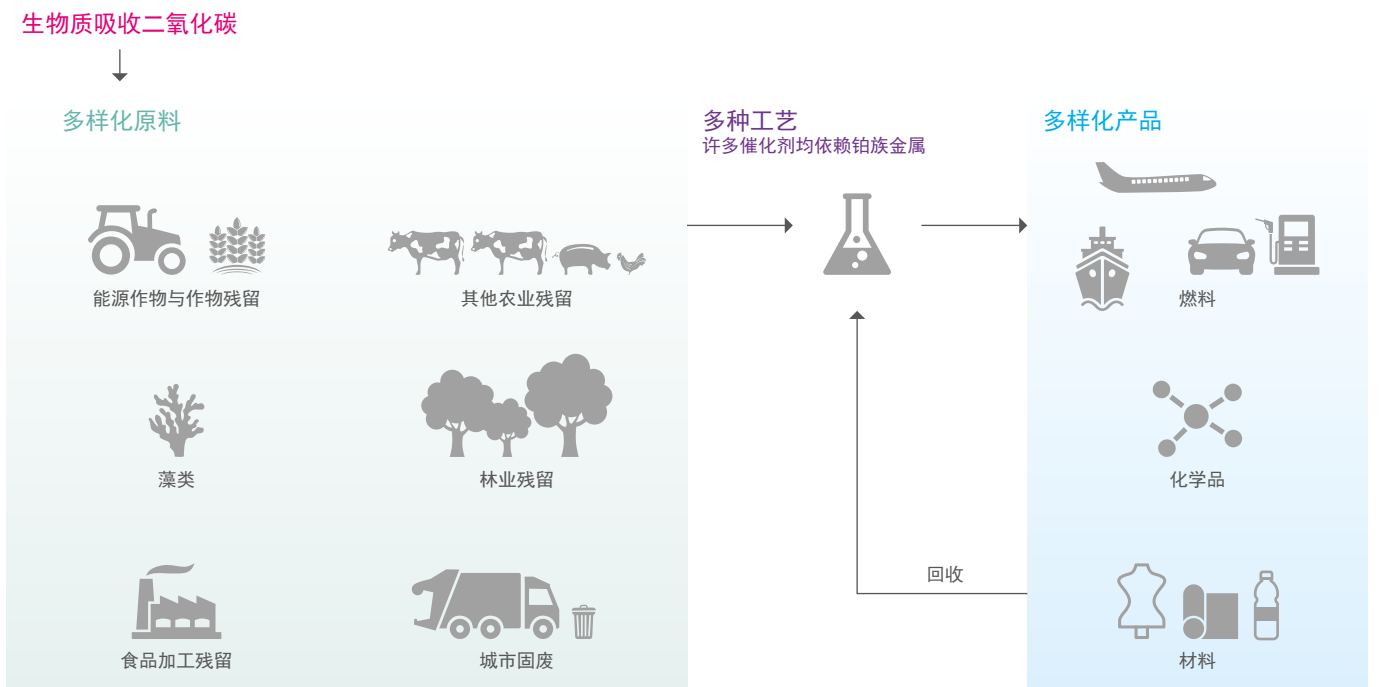


图10 未来，生物基化学品和材料将替代原油基材料，并实现更为广泛的回收利用

铂族金属为市场提供韧性

铂族金属因其独一无二的特性始终备受推崇，为创新提供了契机。当前，铂族金属的重要性愈加彰显，且比以往更加易于获取。

因此洞悉铂族金属前景至关重要，尤其是随着未来汽车尾气催化剂市场的衰退，铂金、钯金和铑金的可用量将不断增加。近年钯金和铑金居高不下的价格抑制了想要使用这两种金属的积极性，而价格一旦趋稳则会消除这种限制。

这对于善用手头资源的创新者而言无疑是难能可贵的机会，同时有助于增进行业间合作——铂族金属行业历来支持发展铂族金属市场，而这种合作关系将再次高效释放市场潜力。

铂族金属完善的供应和回收网络、行业内负责任采购的成熟度以及金属效率的高效性也有助于降低成本和采购压力。

随着其他关键金属(电池和电力基础设施¹所需的金属尤为如此)供应短缺风险的日益提升，铂族金属对能源转型的重要性日益凸显。通过铂族金属高效使用清洁氢气和可持续性生物能源有助于实现净零战略。

铂族金属技术还可帮助应对环境管理和医疗保健方面的全球挑战，并以高效且可持续的方式助推技术发展。

铂族金属已为助力创造、具有韧性的金属驱动型未来而蓄势待发。



尾注

1. 为何关键金属效率在清洁能源转型至关重要
(https://matthey.com/documents/161599/3147297/JM_Critical_Metals_Efficiency_Whitepaper_v1.pdf/2e5747ac-4acf-771b-fc56-c31db82a3e2f?t=1710172629356)
2. 国际能源署(IEA)关键矿产数据库：关键矿物数据资源 — 数据工具 — 国际能源署(IEA)
3. 请参见实例：能源转型：关键矿产的保障需要集体努力 | 世界经济论坛(weforum.org)
4. 印度尼西亚气候权利国际组织报告：已开采的镍矿
5. 我们所了解及尚未了解的深海采矿业 | 世界资源研究所世界资源研究所(wri.org)
6. 资源现实主义：关键矿产供应链的地缘政治局面 (goldmansachs.com)
7. 所有数据均来自南非统计局，由南非矿业委员会提供
8. 请参见示例：<https://www.angloamericanplatinum.com/sustainability>; <https://www.sibanyestillwater.com/sustainability/>; <https://www.implats.co.za/environment.php>; <https://www.northam.co.za/sustainability/overview>
9. Cawthorn, 2010年：<https://doi.org/10.1595/147106710X520222>
10. <https://matthey.com/hydrogen-fuel-cell-recycling-and-refining>
11. IPA — 国际铂族金属协会 — 生命周期评估(ipa-news.com)
12. 韩国：全球最大的氢燃料电池发电厂投入使用 (FuelCellsWorks)
<https://fuelcellsworks.com/news/south-korea-work-begins-on-worlds-largest-hydrogen-fuel-cell-power-plant-commissioned/>

获取更多信息，敬请访问我们的网站：
<https://matthey.com/pgm-markets>