

JM

铂金：  
能源转型的  
可持续解决方案



Johnson Matthey  
Inspiring science, enhancing life



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。本白皮书中所含的任何信息不视作、也不应视作对买卖或者处置任何受管制的贵金属制品或任何受管制的产品、有价证券或投资的推荐与建议。亦不应假定专利、版权和外观设计下的任何自由权利。

© 2023庄信万丰集团

## 摘要

随着对能源转型材料的日益关注，本书探讨了铂金在氢能经济中所发挥的关键作用，包括燃料电池车（FCEV）、燃料电池固定式电力系统及电解水制氢等。

铂金供应充足，开采规范灵活，并拥有高效的回收网络。我们回顾了铂金目前的应用情况，随着化石燃料的逐步淘汰，燃料电池车和氢能应用将自然地获得化石燃料领域原所需的铂金。其他能源转型所需的金属（如锂和铜）面临供需差距扩大的问题，而铂金因下游需求的调整，使其凭借现有的供应基础就能够满足燃料电池车的大规模生产。

即使燃料电池车和能源转型领域的其他应用对铂金的需求增长超过目前的铂金供应量，数十年积累下来的地上存量可弥补供应的不足。若存量也被消耗，只要有足够的投资，铂金矿可相对轻松地扩大规模。

铂金在氢能经济中的单位用量较低且仍在下降，因此即使价格上涨，也不太可能对燃料电池车和其他涉及铂金的应用产生明显的负面影响。事实上，铂金的价格促进了回收和循环，用户应将其成本视为一种投资而非支出。

可再生电力所涉及的矿物使用效率问题目前尚未得到足够的重视，在矿物资源有限的世界中是不应被忽视的。关于纯电动汽车（BEV）和燃料电池车之间的“竞争”，大多数讨论都集中在能源效率上。但却忽视了应用于质子交换膜（PEM）燃料电池技术的铂族金属催化剂所能提供的关键优势，即相对较低的矿产使用量。如果两种路线协同发展，我们就能够在有限的矿物资源中更轻松地过渡到净零排放的世界。

因此，铂金为能源转型提供了宝贵的机遇，我们必须抓住。庄信万丰凭借对铂族金属的全面了解，在下文中将阐述铂金的应用优势，并消除利益相关者的潜在顾虑，助力全球能源实现脱碳化。

## 引言

随着能源从化石燃料向可再生能源的加速转型，许多金属和材料的需求量将达到前所未有的高度。其中有几种被列为关键原材料，正受到越来越高的关注。但目前的关注点主要集中在电动汽车领域的金属需求上：

- 能否进一步扩大金属供应规模以充分满足市场需求？
- 能否实现循环再利用，将金属回收再加工成新产品？
- 是否有安全、可持续和合乎道德的方式实现金属的开采和加工？

但世界各地的监管机构现已认识到，洁净的氢能对能源转型至关重要，尤其是对重型货车、炼钢和其他重工业、航运和航空等较难实现脱碳化的行业。氢将通过燃料电池和燃气轮机为上述行业提供动力来源，同时也是制造其他可持续燃料的原料。因此，对于迅速增长的氢能经济所需的金属，也面临同样的问题。

铂金是关键材料之一，对于通过PEM电解槽生产洁净氢气的技术以及燃料电池车所采用的PEM技术而言，铂金的作用至关重要。因此，对铂金来说，需要解决是否有充足的库存来实现上述技术规模化的问题，以及铂族金属的循环利用方式、潜在成本、环境、可持续性和治理（ESG）等方面的问题。

庄信万丰同时涉足铂族金属和氢能技术这两大业务，因此我们在解决这些问题方面独具优势。我们在铂族金属领域拥有业内领先的专业知识，作为全球体量最大的铂族金属精炼商，能够保障金属的可持续供应与回收，生产并提供各类铂族金属产品。凭借近30年的燃料电池技术开发经验，我们在PEM燃料电池和PEM电解槽催化剂涂覆膜（CCM）领域享有盛誉，并在开发催化剂涂层和质子膜以及优化系统协同工作的价值链中占据独特地位。通过持续的研发投资，我们已走在上述技术的前沿。

# 铂金在氢能生产和消费中的应用

PEM电解槽和燃料电池的核心是质子交换膜，在阴阳两极均需要涂覆催化剂。只有在催化剂的作用下，才能高效发生电化学反应。在电解槽中，水被电解生成氢气和氧气；而在燃料电池中，氢气和氧气反应生成水的同时产生电流，并副产热。

由数百个催化剂涂覆膜组成的PEM电解槽或燃料电池堆在强酸和氧化环境中工作，这就需要催化剂能够在这些苛刻条件下在电堆的使用寿命内维持高性能。铂族金属（铂和铱）具有独特的催化活性和耐用性，在这些技术中具有不可替代的作用。

膜电极组件（MEA）的两侧是两块双极板，可将水、氢气和氧气输送到膜上或从膜中排出，同时还传导电流和循环冷却剂。镀铂层在保护MEA免受酸性条件侵蚀方面起到至关重要的作用，通过防止双极板和多孔传输层氧化，从而将

接触电阻降至最低，最终在保持导电性的同时减少膜电极组件的降解。

组装成电池电堆后，每块MEA之间均有隔板，用以传输电流。隔板表面上通常涂覆含有铂金和黄金的导电层，因为贵金属的稳定性和导电性较好。

大多数氢能和燃料电池市场仍处于起步阶段，不同技术的市场份额仍可能大幅变化，因此对铂金用量的预测仍有一些不确定性。不过目前的预测表明，未来燃料电池车（PEM燃料电池路径）的铂金消耗量将远远超过可再生能源电解水制氢和燃料电池在非道路应用中的总需求量。到2030年中期，这些其他应用领域仍然可能占据铂金消费重要地位，大约占氢能应用中铂金消耗量的20-30%（其余70-80%用于燃料电池车）。

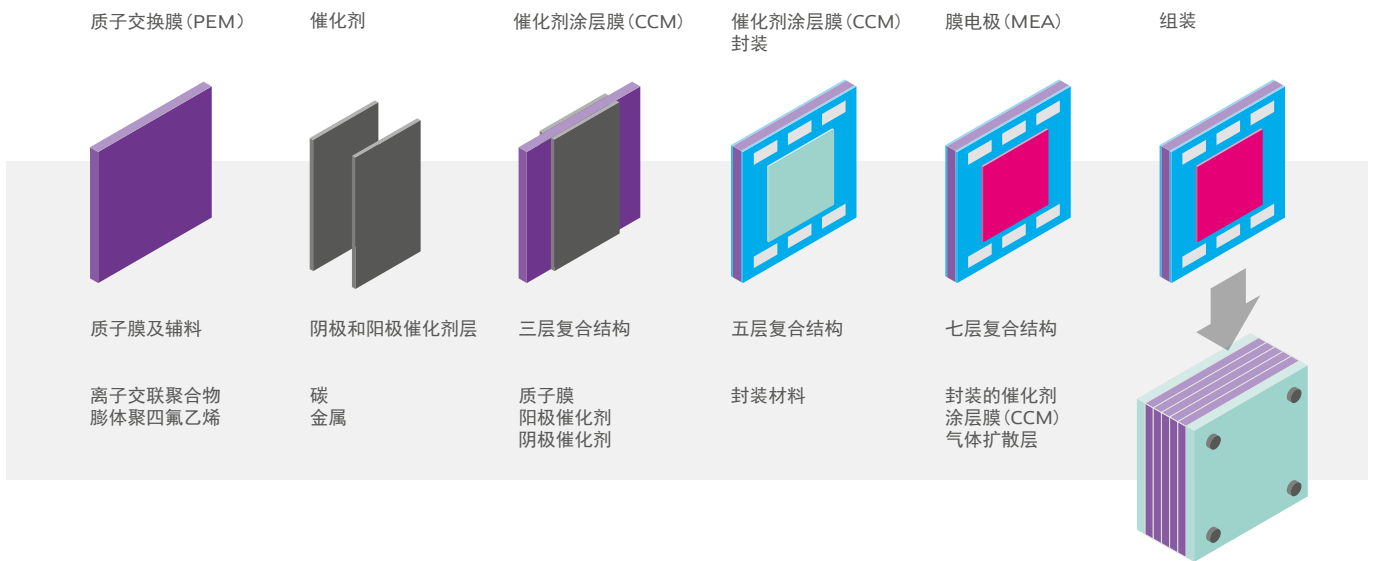


图1 PEM电堆组成和组装

# 铂金供应

## 铂金市场得益于两大成熟供应源。

铂金的矿产供应历史悠久，20世纪初在南非发现大量的铂金矿脉，20世纪50年代起，铂金被广泛应用于工业领域，自此铂金的重要性与日俱增。铂金的回收供应是来自各种废料的金属回收，庄信万丰等专业精炼商对各种废料进行加工，回收提炼其中金属。

更为重要的是，铂金开采和循环利用的悠久历史意味着市场上潜在的铂金存量不限于矿产供应和回收供应，还包括几十年来以各种形式、在各地积累起来的、但尚未回销给市场的潜在铂金库存。

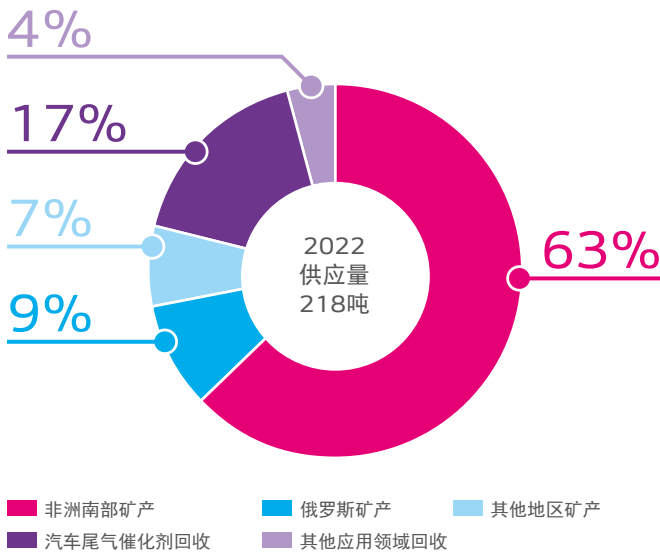


图2 2022年铂金供应

### 铂金供应：矿产

地球上已知最丰富的铂族金属储量主要集中在非洲南部地区<sup>1</sup>，这也是铂金的主要矿产地。此外，北美的钯金矿脉、加拿大和俄罗斯及其他地区的镍铜矿也会副产少量铂金。但未来几十年，非洲南部仍将是铂金储量最丰富、最重要的产地<sup>2</sup>。

对单一地区供应的严重依赖也意味着存在潜在的地缘政治风险，但这对铂金供应的影响甚微，有以下原因：首先从政治角度看，虽然南非和津巴布韦政府均已认识到铂族金属矿产开采和销售所带来的重要经济效益，但两国政府对这两方面无权直接干涉与控制。这是因为铂族金属的开采和精炼工艺复杂，技术难度大，且准入门槛高，因此在非洲南部地区，几乎只有大型的跨国上市矿业公司才能从事此项业务，这些公司为股东及其他利益相关者服务，国际范围的金属销售也通常采用长期协议机制。

该地区的运营风险更令人担忧：南非的电力供应严重依赖煤炭，经常出现停电（“甩负荷”）现象，进而影响居民生活和企业生产。但是，政府会优先保障工业用电，因此迄今为止，工业还未遭受甩负荷的最严重影响：我们估计，2022年南非因停电最多损失了1%的铂族金属产量。但毫无疑问，不稳定的电力供应是铂族金属矿业公司始终面临的挑战。

尽管如此，这些矿业公司目前均能良好应对这两项挑战。在过去二十年间企业经营环境动荡时期，尤其是2014年南非罢工和劳资谈判、以及2020年新冠肺炎疫情期间，南非和津巴布韦的铂族金属生产均表现出极佳的韧性（见图3）。

非洲南部铂族金属矿产开采的环境、社会和治理（ESG）表现也优于当前行业认知。所有的大型铂金矿业公司均斥巨资，争取在生产工艺及过程上降低碳排放。通过可再生能源电力和其他举措，使生产运营更加灵活和清洁，从而减少对煤电的严重依赖。因此，有望降低铂金矿产供应的碳排放<sup>3-6</sup>。

南非矿业公司在采矿、环境、健康和安全管理方面均受到严格监管，“作坊式”开采的现象鲜有发生，因此ESG在铂族金属供应链中并不是问题。

虽然深层硬岩开采存在不可避免的危险，但它们没有被忽视，矿井须定期接受安全检查，这体现了南非政府对矿井生产安全的重视。一旦出现安全问题，公司自身及外部审查人员均有权停止运营，并对问题进行深入调查。南非所有铂族金属采矿作业均将健康和安全管理置于首要地位，矿业公司员工本人及其家属可在当地医疗设备完善的医院和诊所享有公司提供的免费、全面的医疗保健服务。

位于非洲南部的铂族金属采矿业不仅减轻了采矿行业在社会层面的负面影响，而且在明确支持联合国若干个可持续发展目标的同时，切身实践社会公益。

《2018年采矿宪章》<sup>7</sup>规定所有矿业公司需将铂族金属矿产开采产生的经济效益转化为南非当地的社会效益。因此矿业公司为了从事采矿业务，必须制定并执行多项社会和劳工计划，包括全面开发和实施以人为本，搭建矿区社区项目、改善住房和生活条件以及保障就业公平。此举旨在促进就业，确保经济增长的同时，推动南非的社会经济发展。

ESG的高标准也是津巴布韦铂族金属采矿业的一大特点。矿业公司明白，与当地居民合作对于巩固业务的持续性至关重要。在津巴布韦铂族金属采矿项目中，明确将投资当地社区、发展当地企业作为供应链的一部分，以及直接或间接地创造就业机会，作为重要发展目标。

但在非洲南部进行铂族金属开采的成本是极其高昂的。随着老矿井使用寿命的临近，需要持续的资本投入以用于开发新矿脉，以及大量金属精炼设备的维护。新矿井的投产往往需要数年时间，因此矿业投资务必着眼于更远的未来。

随着内燃机（ICE）的逐步淘汰，传统汽车市场对铂金（及其矿产副产品钯金和铑金）的需求将逐渐下降，因此，铂金在氢燃料电池和电解槽中的应用前景是持续在非洲南部投资铂族金属矿产的重要动力。这同时也将保障铑的未来供应<sup>8</sup>，铑是铂金开采的副产品，每年有90%以上的铑矿产供应来自非洲南部，对PEM电解技术至关重要。

### 铂金供应：回收

从废料中回收的铂金（以及所有铂族金属）与原矿开采精炼的铂金的物化属性相同，因此矿产铂金和回收铂金是完全一样的，并且可以多次重复利用。其他金属的情况却并非总是如此：例如，目前从报废的化工催化剂中回收的镍不再适合作为化工催化剂，只能用于如大宗钢材等其他用途。

理论上，铂金的循环利用性非常高，如果能做到高效回收，几乎所有的铂金均可重复使用。但实际操作中，收集和加工过程中的金属损失意味着回收率通常低于技术上理论可行的水平。需要强调的是，尽管可通过强制规定来促进回收和循环再利用，但铂金的循环再利用通常由金属价值所驱动。因此，铂金回收供应已受益于全球完善的回收网络和现有的

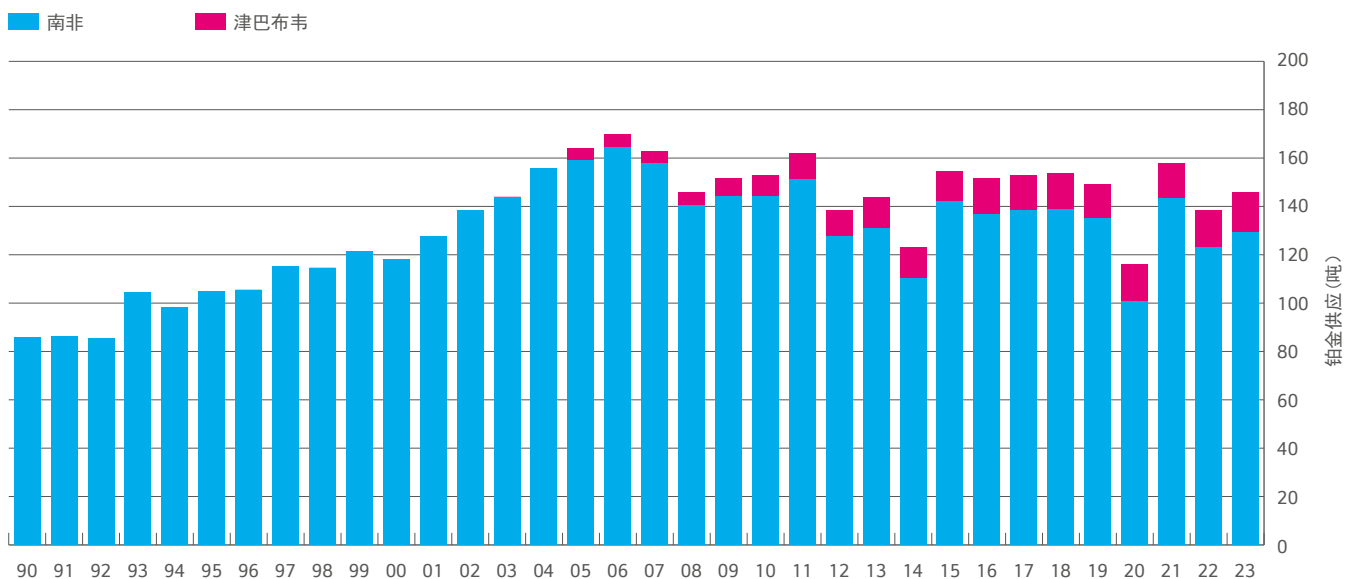


图3 1990年至今非洲南部矿产铂金供应量统计<sup>9</sup>

巨大回收能力，全球几家大型精炼厂商（包括庄信万丰在美国、英国和中国的工厂）对来自世界各地的铂金进行加工，供客户再利用或向市场销售。

目前供应端的铂金约有20-25%源自回收，与目前的矿产供应相比，回收铂金的二氧化碳排放量和生产成本都相对较低。目前，大部分回收供应来自于报废车辆尾气催化剂，在未来几十年中，报废汽车尾气催化剂仍将是铂金回收的重要来源。考虑到内燃机汽车的使用寿命通常会有十到二十年，所以即使禁售燃油车，废旧汽车尾气催化剂中的铂金回收也将持续至21世纪50年代或更久。

还有一部分铂金回收来自汽车传感器、电子废料和旧首饰。在中国和日本，每年都有大量的旧铂金首饰回收再利用，这些地区的消费者手中仍有累计高达数吨的铂金首饰。

但这远不是铂金回收的全部来源。在市场看不见的地方，大

量铂金在“闭环”中不断循环再利用，这种模式下，一般当产品达到使用寿命时会被送去精炼回收，但所有权不发生转移，返回给用户后在相同的应用中循环使用（见图5）。这种情况相当普遍，包括使用铂金催化剂的石油化工、煤化工和制药等领域，以及包含铂金合金的玻璃生产设备。这些应用将铂金作为一种可循环使用的资产保留下来。这种闭环的存在大大减少了对“新”金属的持续需求，也意味着每年回收加工的铂金总量远远高于市场上报告的金属回收供应量。

毫无疑问，用于燃料电池和电解槽技术的铂金（及其他铂族金属）将实现循环利用，这不仅得益于已有的回收网络，另外铂金本身较高的价格，以及与矿产铂金相比更低的单位碳排放，也有助于推动铂金回收。剩下的挑战将是优化新应用材料的收集和铂金精炼工艺，尝试最大限度地提高金属回收率，这也是业界正在积极突破的课题。

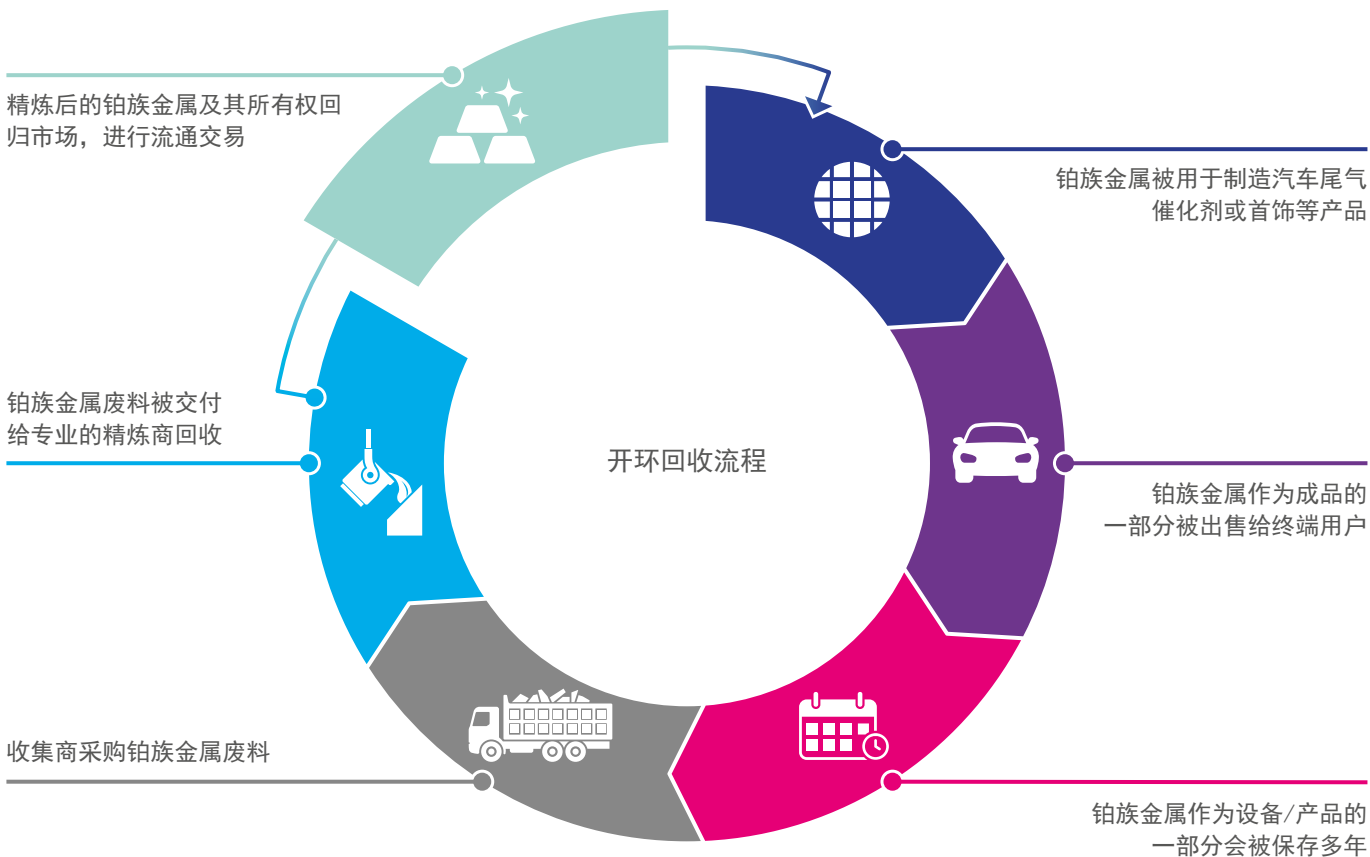


图4 铂族金属的开环回收

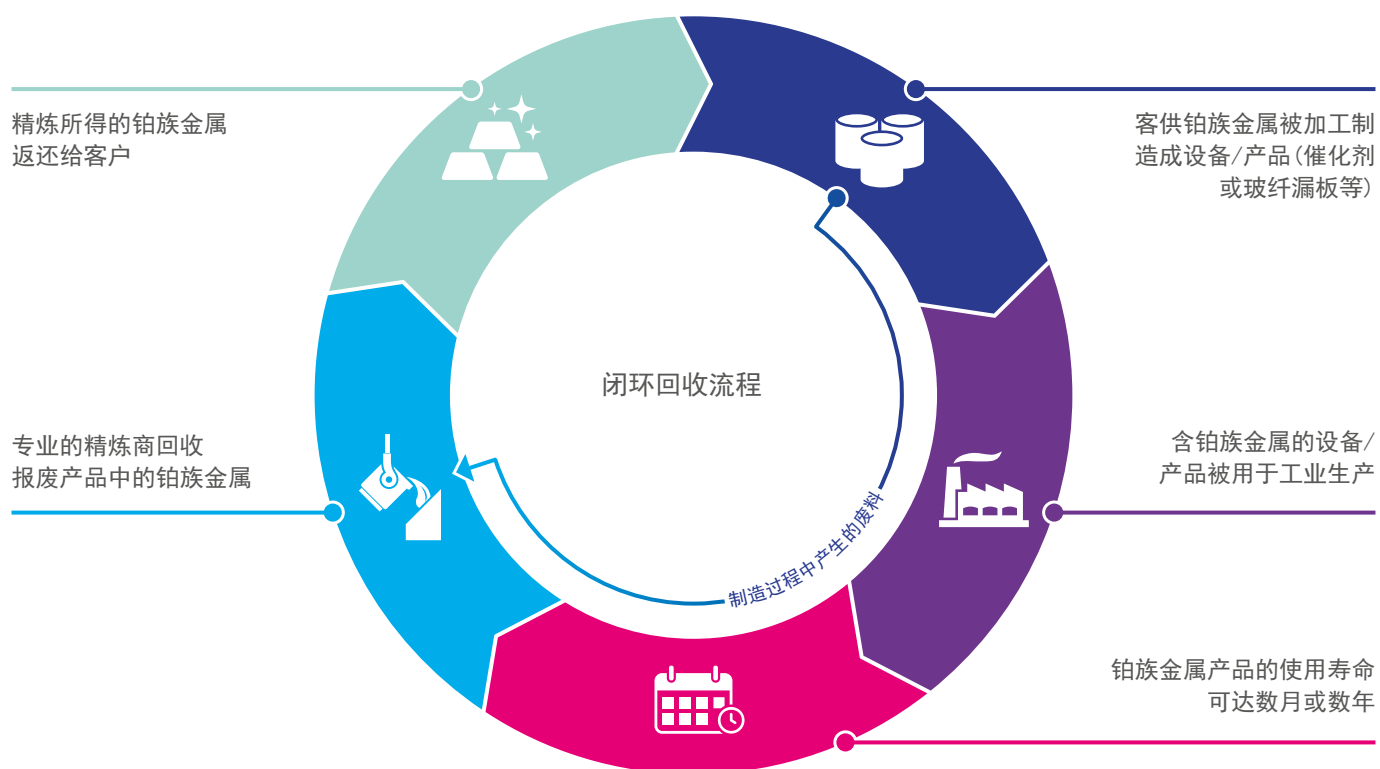


图5 铂族金属的闭环回收



# 铂金的供需平衡

## 铂金供应

未来应用中的铂金需求预计将超过现有年度供需水平，但全球现有大量的地上存量，以及南非丰富的地下铂金储量，只要投入足够的资金，即可增加矿产供应。

围绕燃料电池车对铂金需求的讨论经常涉及到一项顾虑，认为铂金的供应将成为大规模应用此项技术的制约因素或瓶颈。但事实上，铂金供应非常充足，甚至供大于求：在过去6年间，其中有4年铂金的供应量超过各类应用对铂金的需求量。这种供需不平衡在铂族金属中是常见的，因为简单的供需法则并不完全适用于铂族金属。

这是由于铂族金属矿产开采时是以一篮子金属的形式开采出来，铂金无法被单独开采。南非的铂金矿脉称为铂族金属矿脉更为准确，因为该地区的矿石包含所有铂族金属（以及其他金属）。矿业公司受到地质条件的限制，无法通过自主调整铂族金属产量做到完美适配每种金属的需求。例如，目前汽车尾气催化剂对钯金和铑金的大量需求，促使钯金、铑金的矿产供应量增加，但由于钯金和铑金是铂金矿脉的伴生矿，这进而影响到铂族金属矿产供应的总体产量。管剩，但减少铂金的回收供应毫无意义，因为铂金的价格推动其回收再利用，而废料中积压过多金属会对供应链的现金流产生负面影响。任何过剩的精炼金属均以库存的形式存放于世界各地的银行和仓库，这是贵金属的典型状态<sup>10</sup>。

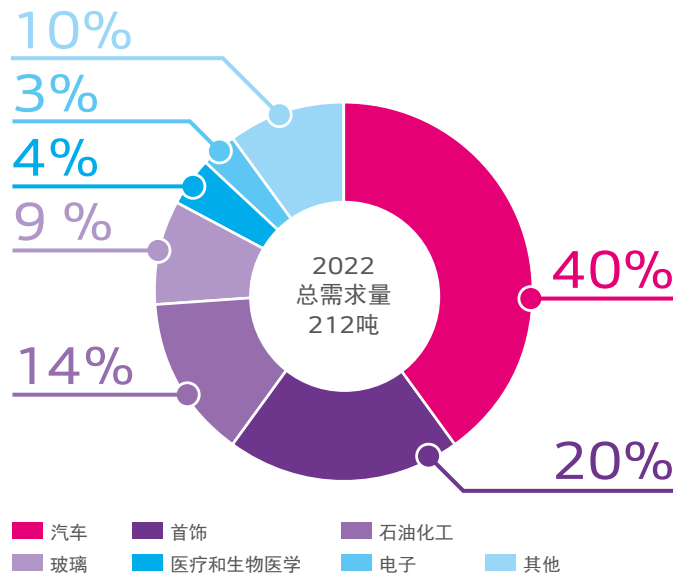


图6 2022年铂金需求

展望未来，铂金已准备好迎接一个巨大的新市场，即燃料电池市场。铂金目前最大的应用领域是内燃机汽车的汽车尾气催化剂。尽管全球各地排放法规的不断加严使得铂金需求仍然强劲，2022年铂金需求量接近85吨，但随着我们向净零排放社会过渡，铂金市场将不可避免地衰退。

此外，铂金的第二大市场，即铂金首饰，预计不会与全球GDP同步增长。亚洲是铂金首饰需求的主要地区，日本人口发展趋势不利于铂金首饰需求的增长，而中国消费者的意愿和消费模式的变化已导致铂金首饰制造量连续九年下滑。虽然铂金首饰已在印度市场占有一席之地，但黄金首饰仍持压倒性优势。

# 燃料电池车作为铂金的替代需求

假设铂金供应保持不变，那么其在氢能经济领域，特别是在燃料电池车领域的应用规模能有多大？

尽管近些年燃料电池车年产量已有数千台，但为方便计算，我们以2023作为起点进行假设。我们认为铂金供应端至少可以提供45吨的金属用于燃料电池车行业，而这仅仅是目前铂金年供应量中的一部分。

在我们的估算中，到2040年，铂金对燃料电池车行业的最大年供应量将快速增长至130吨/年。这一数字约等于是2022年首饰行业需求量（42吨）和汽车行业需求量（86吨）的加和，同时有少量（2吨）额外的供应量。因此，这里隐含的假设是，自2023年起，上述两个应用市场的需求以稳定的速度下降，到2040年降至0，而燃料电池车的铂金供应量自2040年起保持在130吨/年（同时假设其他应用的总需求保持不变）。

需要强调的是，这不是预测，也不是对某些应用发展的明确态度，仅仅是为了说明如何在现有供应基础上实现燃料电池

车大规模生产而做出的假设。

自20世纪90年代初以来，燃料电池车的单车铂金用量已经减少了90%以上。我们预计，随着PEM燃料电池中铂金的使用效率得到持续改善，铂金用量将进一步降低，这在铂族金属应用中非常普遍。目前，每辆燃料电池车平均铂金含量约为45克（乘用车和商业车的加权平均值），我们假设到2050年每辆车的金属利用效率提高两倍，即平均每辆车节约50%，铂金用量将降至23克/辆；如果单车金属利用率提高三倍，即节约67%，铂金用量将仅有15克/辆。

凭借数十年铂族金属技术的优化经验，我们认为在未来25-30年内实现这一程度的改进是合理且可行的。例如，就单位汽车重量而言，2016年欧洲汽油车尾气催化剂中铂族金属的平均含量与1992年的汽车相同，但由于多年来不断研发出更有效的铂族金属尾气催化剂，其排放的废气污染物含量减少了约70%<sup>11</sup>。

庄信万丰等公司已经证明回收报废燃料电池车是可行的，所

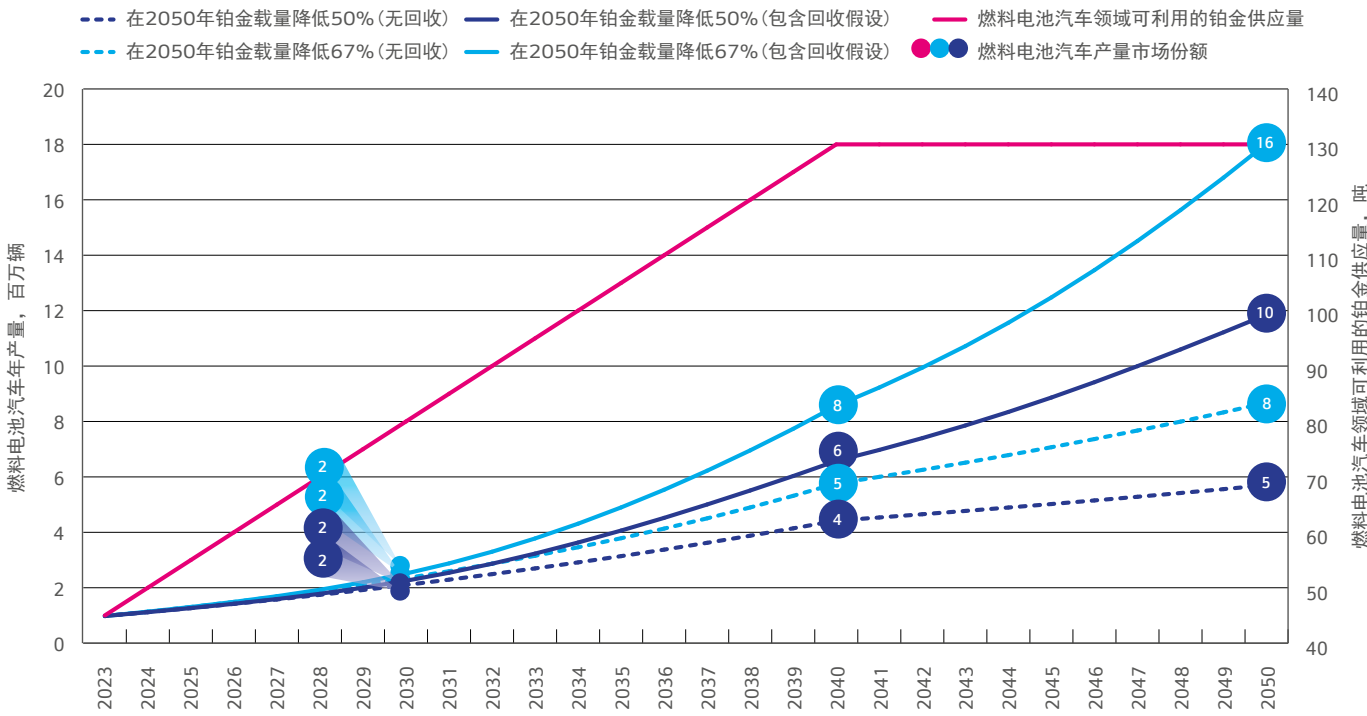


图7 现有铂金供应能力下，燃料电池中铂金节省和回收对轻重型车产量影响的分析

以我们在模拟中还考虑了铂金回收再利用的影响。假设燃料电池车应用中的铂金全部以闭环回收的方式周转，且收集和回收加工的铂金损失为20%<sup>12</sup>，车辆平均寿命为12年。

则在上述假设下每年可生产多少辆燃料电池车？

**到2030年**，如果有80吨铂金可用于燃料电池车行业，根据实现的节省程度不同，当年可生产出总计210万至250万辆燃料电池车。这约占到2030年车辆总产量的2%（包括所有车辆类别）。

针对细分市场，燃料电池车在轻型车和重型车中的市场份额有所区别。目前，以年产量算，轻型车占据绝对的主导地位，预计2030年94%的新车为轻型车辆。所以燃料电池在汽车总产量中所占的2%市场份额，意味着燃料电池将占据重型车市场四分之一到三分之一的份额，外加大约1%的轻型车产量份额<sup>13</sup>。这已经超出了业界对2030年燃料电池车市场份额的预期。

**到2040年**，燃料电池车行业铂金每年的可用量达130吨，外加从报废燃料电池车回收的金属，根据节省程度的不同，每年可生产660万至860万辆燃料电池车。占总体市场份额的6%-8%，燃料电池动力系统在重型车中将占据主导地位，在轻型车中相对小众，但其重要性会与日俱增。

**到2050年**，在铂金年潜在供应量不超过130吨的限制条件下，燃料电池车仍可占全球汽车产量的10-16%<sup>14</sup>。这将足以使燃料电池车占据所有的商用车市场，并在乘用车市场上占有相当大的份额（根据实现的节省程度的不同，将达到6%-12%<sup>15</sup>）。

### 氢能经济中的铂金供应

我们的模型并非严谨的供需预测，主要是为了说明为何铂金供应不该被视为燃料电池车应用的主要障碍。新的铂金应用非不会对供应造成挤压，反而会因创造了新需求，从而激励对采矿和精炼基础设施的持续投资。

因为道路车辆市场的庞大规模，预计燃料电池车将成为铂金需求最大的来源，但燃料电池在氢能经济中的其他领域也会有所应用，例如，固定式发电装置，可以产生电力的同时

副产一定的热能。还可用于飞机、轮渡、采矿车、无人机和仓库叉车等其他多种交通工具的动力源，其中叉车已经在美国得到广泛推广。

除此之外，铂金还可用于制氢，与铱一样，铂金是PEM电解槽的主要催化剂之一。此外，铂金还用于其他电解槽技术，以提高其性能和耐用性。

我们认为铂金的供应量足以满足以上市场以及道路车辆的需求增长。

短期内，成品库存是供应的有效补充。全球各地的银行金库和仓库中累计保存着数百吨的铂金锭和铂金币。除此之外，大量的铂金以催化剂或合金的形式“被占用”于工业应用中，最主要的是石油工业。几十年来，铂金一直被用作生产高辛烷值汽油混合燃料以及石油化学品的催化剂，因而世界各地的石油精炼厂都保有大量的铂金催化剂。

目前石化行业的铂金需求仍在增长，短期内不可能被释放用于其他应用。特别是近几年，由于新兴市场燃料标准的提高和全球对石化产品需求的增长，铂金的消费量持续增加。但随着我们向净零排放社会过渡，汽油需求预计将在可预见的未来达到峰值，最终进入衰退期<sup>16</sup>。因此，从长远来看，我们预计石油炼化行业会释放出一些铂金（以及其他铂族金属）<sup>17</sup>。这些金属会被氢能或其他能源转型应用吸纳，例如可持续燃料和绿色化学品的生产。

不过，最终可能仍需要开采更多的铂金以满足不断增长的市场需求。非洲南部矿藏规模巨大，蕴藏着大量的铂金以及其他铂族金属，我们很确定这些金属是可以被开采的，并可满足未来几十年的全球需求。而能否开采出充足的铂金更多是投资问题，而非地质问题。因为必须挖掘新的矿井才能到达新的矿脉区域，同时还必须扩建冶炼厂和精炼厂等基础设施以提高产量。

而投资的决策取决于铂金需求的前景。因此，如若认为未来铂金供应不足，从而对新技术中使用铂金过于谨慎，最终可能导致自证预言的出现。在最坏的情况下，这可能会让铂金被供应、效率和ESG问题更为严重的其他金属所取代。

## 价格的影响

在铂金可回收的背景下，铂金的成本更应被视为一种投资。铂金在燃料电池或电解槽达到使用寿命后仍可被回收，且其价格有助于回收效率的提高。这使得铂金成为一种资产，并可在新的电池堆中重复使用。

除了回收利用外，铂金的价格也促使人们努力“节省”铂金的用量，从而在不影响性能的情况下最大限度地减少所需的铂金用量。我们已经看到，单位燃料电池和电解槽的铂金（以及铱等其他铂族金属）用量已大幅下降，随着技术的持续优化，以及材料科学的进步，我们预计单位铂金用量将进一步减少。

铂金价格上涨对设备成本的影响将因这种节省而得到缓解，而且由于未来单位铂金用量较少（每辆车和每个电解槽仅需用几克），所以涨价的影响也相对有限。我们目前估计，铂族金属占据整体燃料电池车或电解槽成本的比例不到5%。

现在内燃机汽车的尾气催化剂中使用的铂族金属平均量只有几克，与未来燃料电池车中预计需要的铂金数量相当。由此可以得出一个合乎逻辑的结论：未来燃料电池车上的铂金成本将与如今传统汽车上的铂族金属成本相当。

尽管与其他金属相比，铂金在每克或每盎司的基础上相对昂贵，但其用量通常比诸如电池等清洁能源技术中使用的贱金属用量要低得多。因此，以克为单位去比较能源转型金属的成本是有失偏颇的，应同时考虑使用总量和再利用的难易程度。

## 有何代替方案？

全球交通仍必须及时实现脱碳化。但是，如果无视脱碳的时效要求，却时刻担忧铂金的供应和成本问题，从而导致人们不再使用铂基燃料电池和电解槽，又会给能源转型带来怎样的后果呢？

首先，可能会开发使用替代材料的燃料电池用于车辆，但迄今为止的所有证据和燃料电池性能均表明，这种替代材料制备的燃料电池的性能和耐用性均不如铂基PEM燃料电池，而且相差甚远。

如果完全放弃燃料电池路径，那么道路车辆必须通过纯电动动力系统的电池和内燃机车辆使用可再生燃料的组合来实现脱碳化。可再生燃料将成为能源转型的重要组成部分<sup>18</sup>，但可再生燃料的燃烧仍会排放有害污染物，而且供应量有限<sup>19</sup>，因此更适用于航运和航空这类难以实现电气化动力系统的交通形式。因此，如果不在道路车辆中使用燃料电池，很可能导致对电池需求的进一步增加。

这将显著增加达到零排放道路交通目标的矿物需求量，因为每辆纯电动汽车所含的核心金属用量远高于同级别的燃料电池车的铂金用量（见图8）。

虽然采矿业已大幅增加对铜、锂和镍矿产开采的投资，也许未来每辆汽车都会是纯电动车，但采矿业对气候和生物多样性的影响不容小觑，我们仍面临着金属供应缺口无法弥补的巨大风险<sup>20</sup>。世界银行的“气候智能采矿倡议”<sup>21</sup>已认识到这一问题。这也将加剧铜等关键材料已有的供需不平衡，纯

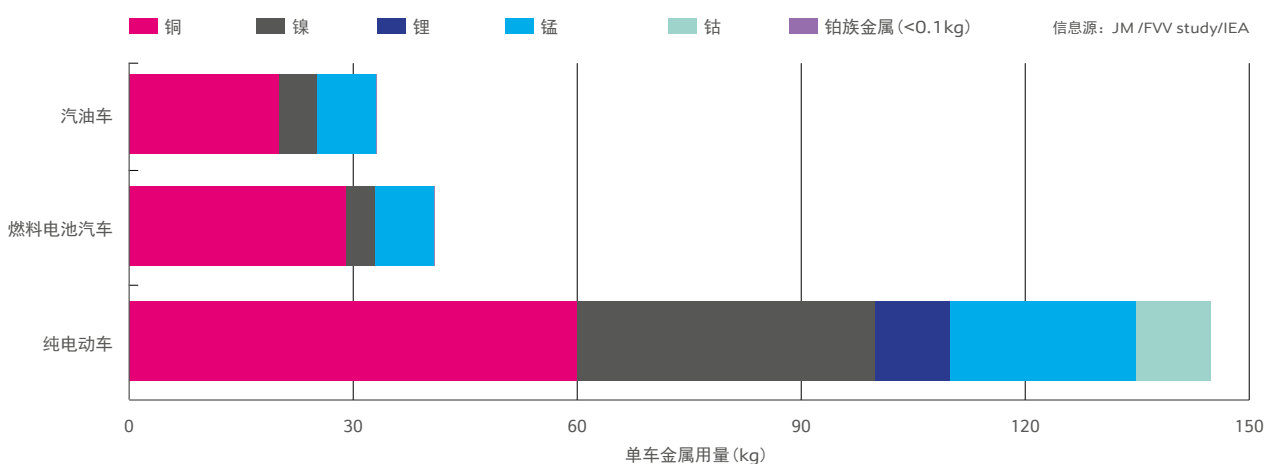


图8 中型车对主流金属的需求情况（千克每车）

## 矿产需求量的讨论

电动车充电基础设施以及电网发展所需的电缆均需要大量的铜。

相比之下，燃料电池车的加氢基础设施与目前内燃机汽车的加注非常相似。此外，由于燃料电池车的加氢时间（加满一箱氢气约需5分钟<sup>22</sup>）比纯电动车的充电时间要快得多，因此每个“补能点”可为更多的汽车提供服务，从而降低加氢网络对矿产的需求总量。

事实上，纯电动路线和氢能路线协同发展可能在成本方面更具优势<sup>23</sup>。因为燃料电池更适用于难以通过纯电实现碳减排的车辆，即大型车辆或高能耗车辆。这些“难以减排”的车辆市场份额较低，但对充电基础设施成本的影响巨大：它们需要更快的充电速度，所以必须升级相关的电网以输送所需的大电流，而满足同样需求时氢能路线的成本要低得多。

**“在矿物资源有限的世界里，排除燃料电池车的方案并不是一个明智的选择”。**

使用燃料电池车和纯电动车来实现道路交通的碳减排，不仅可以降低总体矿物需求，还可以达到单一金属需求的新平衡和再分配，从而减少制约因素。

这一点极为重要。虽然可再生能源和电气化将抵消化石燃料的需求，而且取之不尽、用之不竭、无污染。但是，随之将大幅增加的矿产开采却不是如此。人们在比较纯电动汽车和燃料电池车时经常讨论能效问题，但却忽视了矿物使用的效率问题。必须将可再生能源发电设施的矿物和能源使用效率计算在内，这样纯电动汽车和燃料电池车的总体效率才具有可比性<sup>24</sup>。更为重要的是，我们必须最大程度地提高矿物资源在脱碳化过程中的总体效率，因为其供应是有限的。可再生电力和氢气协同发展将大幅降低整个能源转型过程中的矿物需求量，我们将在后续发布的白皮书中进一步探讨此问题。

还有其他考虑因素。脱碳化和环境管理已成为采矿业面临的重大挑战：当采矿业以前所未有的速度扩大规模时，挑战会变得更加严峻。但铂族金属采矿业即使要长期扩张，也会在现有开采地点以更加稳健的速度进行，而那些历史悠久、对公众负责的铂族金属采矿者将会利用现有的基础设施和熟练的人力资源来实现这一目标。在这种情况下，环境管理、社会责任和碳减排的挑战性都会降低。

从矿产的角度看，将燃料电池车作为道路交通脱碳化的重要解决方案是一个明智之举，而且是不可或缺的。仅依靠纯电动车实现能源脱碳转型难度极高，而且过度依赖一种已经在原材料供应和可回收性方面面临严峻挑战的电池路径，是不理智的。

排除燃料电池车路径也可能最终使得在南半球大有作为的铂族金属采矿业公司面临关闭，世界也无法再从现有的成熟金属循环网络中获得收益。在矿物资源有限的世界里，这并不是一个明智的结果。

## 结论

铂金在金属中几乎是独一无二的存在，其在新兴应用中不断上升的需求，将自然而然地取代传统化石燃料应用领域中持续走低的需求，与能源转型所需的其他金属相比，铂金受供应短缺影响的可能性要小得多，所以铂金会阻碍氢能应用的担忧是不必要的。尽管不应低估扩大清洁能源技术规模所面临的挑战，但铂金的供应问题更多是机遇，而非挑战。

通过投资含铂金技术，用户将受益于现有成熟的铂族金属供应链，例如：负责任的采矿企业和全球高效的铂族金属回收网络。同时铂金的地上存量可以在短期内为快速增长的需求提供支持，而已探明的充足矿藏储量则保障了长期的稳定供应。

铂金是一种贵金属，正如价格体现的那样，其价值推动了铂金的高效利用和回收。向市场供应更多的铂金就必须提高铂金的价格，这是激励投资扩大采矿业务的必要条件。如果铂金价格上涨，考虑到铂金在氢能经济中的使用强度较低（而且还在下降），也几乎不可能威胁到基于铂金的氢能经济技术的商业前景。

关键金属在能源转型应用中的关注度与日俱增。某些金属（如铜）面临的供应短缺问题，可能会严重阻碍社会向净零排放世界的转变。通过在运输和能源储存等关键领域采用基于铂金的PEM技术协同电池和其他多种技术，可以降低过渡时期的总体矿物需求，并优化能源系统的总体效率。这些都是至关重要的考虑因素。

铂金因其在氢能经济中应用的可持续性，成为能源转型的关键之一。

# References

1. The Platinum Group Element Deposits of the Bushveld Complex in South Africa – <https://technology.matthey.com/article/54/4/205-215/>
2. <https://matthey.com/products-and-markets/pgms-and-circularity/pgm-markets/primary-supplies>
3. <https://www.sibanyestillwater.com/sustainability/>
4. [https://www.angloamericanplatinum.com/~media/Files/A/Anglo-American-Group/Platinum/sustainability/environment/climate-change/anglo-american-platinum-2021-climate-change-report\\_02112022.pdf](https://www.angloamericanplatinum.com/~media/Files/A/Anglo-American-Group/Platinum/sustainability/environment/climate-change/anglo-american-platinum-2021-climate-change-report_02112022.pdf)
5. <https://www.implats.co.za/environment.php>
6. <https://www.northam.co.za/downloads/send/162-2022/1473-annual-integrated-report-2022-spread>
7. 2018 Mining Charter | Deloitte Africa – <https://www2.deloitte.com/za/en/pages/energy-and-resources/articles/2018-mining-charter.html>
8. <https://matthey.com/iridium-whitepaper>
9. <https://matthey.com/products-and-markets/pgms-and-circularity/pgm-market-data>
10. <https://matthey.com/products-and-markets/pgms-and-circularity/pgm-availability>
11. Based on JM Market Research analysis of average vehicle loadings and EU emissions limits applicable at the time for carbon monoxide, hydrocarbons and nitrogen oxides (NOx). Period chosen excludes the more recent introduction of on-road testing.
12. Losses in PGM recovery from automotive catalytic converters today are typically higher than the 20% assumed here (around 30-40%, mainly from collection losses as well as some processing losses) but take place within an open-loop model; we expect increasing focus on circularity and closed-loop approaches will mean relatively low collection losses in recovery of PGM from FCEV – potentially significantly lower than the 20% assumed here.
13. These market shares imply around 55% to 60% of all FCEVs produced in 2030 would be heavy vehicles. Using the projected weighted average loading, and assuming the light FCEV produced in 2030 have an average loading of 12g/vehicle, the heavy FCEV made in 2030 would then have average loadings of 55 to 60g per vehicle.
14. Depending on the size of the future vehicle market: this projection assumes 115 million vehicles are produced in 2050, up from output of around 90 million this year.
15. For the more ambitious projection of a 67% thrift to an average 15g/vehicle for all FCEVs produced in 2050, if we assume that the light FCEVs produced that year have an average loading of 8.5g/vehicle, this implies an average loading for heavy FCEVs in 2050 of 32g/vehicle – a reasonable allowance, given the larger stacks and tougher durability requirements typical of commercial vehicles.
16. To achieve net zero soon after 2050, in line with the Paris climate agreement, requires that all vehicles burning fossil gasoline must be eliminated from the global road vehicle fleet by that point. As gasoline is mainly used in passenger cars, which are subject to both rapidly improving fuel economy and increasing electrification, gasoline demand is expected to peak ahead of demand for middle distillates (diesel/ jet fuel) and well ahead of peak oil demand.
17. Recent years have in fact already seen a wave of closures of older petroleum refineries in the West, as they are outcompeted by newer facilities constructed in the East, and as growth in gasoline fuel demand has abated in these mature markets.
18. To reach net-zero targets, it is increasingly evident that sustainable (or 'climate-neutral') fuels, both advanced biofuels and synthetic/e-fuels will be needed to decarbonise the legacy fleet of ICE vehicles still on the road by 2050, and will play a supporting role in decarbonising hard-to-abate vehicle segments such as freight haulage.
19. To be truly climate neutral, these sustainable fuels must either make use of sustainable biomass, which is limited by what can be harvested without deleterious effects on food supply, biodiversity, or carbon sinks, or must be synthesised from green hydrogen plus carbon or nitrogen sourced from direct air capture.
20. The great minerals scramble: how can we provide energy transition materials | World Economic Forum – <https://www.weforum.org/agenda/2023/01/minerals-metals-energy-transition-davos2023/>
21. Climate-Smart Mining: Minerals for Climate Action – <https://www.worldbank.org/en/topic/extractiveindustries/brief/climate-smart-mining-minerals-for-climate-action>
22. Stations | UK H2Mobility – <https://www.ukh2mobility.co.uk/stations/>
23. Page 23: Roadmap towards zero emissions: BEVs and FCEVs | Hydrogen Council – <https://hydrogencouncil.com/en/roadmap-towards-zero-emissions-bevs-and-fcevs/>
24. Page 8 and 9: Roadmap towards zero emissions: BEVs and FCEVs | Hydrogen Council – <https://hydrogencouncil.com/en/roadmap-towards-zero-emissions-bevs-and-fcevs/>

For further information on Johnson Matthey and our  
PGM market research, please visit our website.

[www.matthey.com/pgm-market-research](http://www.matthey.com/pgm-market-research)