

JM

技术创新和回收供应 将有效保障电解槽 发展中的铱需求



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为、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。

© 2022 庄信万丰集团

庄信万丰认为，在全产业链的共同努力下，铱金的使用效率、回收和再利用会显著提高，这保证铱的供应足以支持质子交换膜（PEM）电解槽在2030年甚至更远期的容量扩张。

国际能源署等机构预测，随着氢在工业、交通运输和电力行业的应用越来越广泛，到2050年其规模将与如今的电力比肩。质子交换膜（PEM）电解水是生产电解氢的主要工艺之一，其使用铂金和铱作为催化剂。为满足PEM电解槽对铱需求的增长，对铱供需两端进行合理规划是十分必要的。

前言

电解水制氢将在向“2050净零排放愿景”转型中发挥重要作用。电解槽的装机量也会从现如今的不足1吉瓦，扩张到总装机容量150吉瓦到800吉瓦甚至更大的规模，并包含多种主流电解槽技术。为满足大规模电解槽对能源的需求，则需要匹配更多可再生能源，如此便要克服可再生能源间歇性和负荷多变的特点。将可再生能源与PEM电解槽耦合则是有效的解决方案之一，PEM电解设备可在多变的负荷下仍保持高效运行，这是因为其对负荷变化的响应表现更好（更短的瞬态响应时间和低功率范围内更低的气体杂质含量），并且在启动机制上也更优秀。此外，PEM电解槽还具有其他优势，包括：

- 占地面积小（电池结构紧凑，无需重型起重设备即可轻松搬运）
- 易维护的配套设施
- 不使用腐蚀性化学物质，仅需纯水即可制氢

这些优势使PEM电解槽非常容易在快速增长的电解槽市场获得一席之地。

PEM技术

PEM电解槽的催化核心是催化剂涂层膜（CCM），在电流作用下将水分解为氧气和氢气。其阳极使用了铱基催化剂，阴极

则使用铂基催化剂。这些铂族金属是理想的电解催化剂，它们可以在恶劣的电解槽环境中保持高活性和稳定性——目前还没有已知的替代品可以在高压、酸性条件下发挥同等作用。催化剂涂层膜（CCM）中铂金的使用量已经很低，但铱的负载量仍然具有极大的优化空间。



铂族金属

什么是铂族金属？它是六种金属的统称——铂、钯、铑、钇、铱和钇。它们在元素周期表中的位置靠得很近，其独特的性质使其在很多应用中不可或缺，并且它们在矿床中也相互伴生。

铂金的原产地相对广泛，是一种相对比较“丰富”的铂族金属，但铱却仅仅作为铂金矿的副产物被提炼出来，因此铱的产量要稀少得多。平均来看，每年大约开采190吨铂金，而铱大约只有7.5吨。

铱是现存密度最大的元素之一（ 22.65g/cm^3 ）。它的密度如此之大，以至于每年开采的铱（7500吨）可以轻松放入七个随身携带的手提箱（ $55\text{cm} \times 35\text{cm} \times 25\text{cm}$ 或 0.05m^3 ）。

铱的应用主要有四个方向：

1. 电化学应用中的电极，例如氯碱电极、水处理电极、铜箔生产中的电极等
2. 电子行业，例如，铱坩埚和有机发光二极管（OLED）
3. 被用作化工生产中的催化剂，例如，醋酸
4. 高性能火花塞

在以上大多数应用中，铱是不可被替代的，且由于铱的稀缺性，在情况允许的情况下，铱都被充分的回收再利用。过去几年铱的价格大幅上涨，促使人们寻找可以替代铱的材料——例如，高性能火花塞正在尝试使用其他铂族金属。当然由于技术的变革需要时间来验证，所以目前可以被节省出来的铱的总量尚不明确。故而电解水行业可分得的铱供应目前也没有定数。

铱的供应挑战

有人认为，铱的稀缺性及其现存应用的特殊性会限制未来PEM电解槽的大规模发展。但我们并不认同这种观点。

氢能委员会估计，要在2030年实现净零排放，PEM电解槽需要从目前不到1吉瓦的规模增加到2030年的80-100吉瓦¹（假设PEM电解槽市场份额为40%）。如果按照2021年的数据估计，1吉瓦PEM电解槽所需的铱量为400千克，这导致一些人认为要实现2030年的目标将需要32-40吨铱。如果按照以上的铱负载量估计，要在剩余的八年时间内达到计划的PEM电解槽产能无疑是非常具有挑战性的²⁻⁷。

然而，没有理由认为在未来几年“一切都将保持不变”。事实上，变化才是世界的常态。因此，庄信万丰提倡从以下两个角度发力以满足长期的电解槽规模目标：

首先，必须更有效地使用铱。如果膜电极的性能可以提高到每吉瓦只需要100千克铱，那么80-100吉瓦规模的PEM电解槽在八年内只需要8-10吨铱，这样就更容易满足了。当然，为满足2050年的需求，铱的含量可能要更进一步降低。

需要指出的是，在CCM中使用更少的铱，需要多方共同进步，包括活性更高的催化剂、更高效的质子膜，更有效的催化剂涂敷方式等，以最大限度地提高铱的使用效率。简而言之，通过提高CCM的效率，单位铱的气体产量提高——随着这种效率的提升，每吉瓦PEM电解槽所需的铱量将会下降。创新带来的含量降低是十分显著的，以氢燃料电池的发展为例，铂族金属的使用量已从1991年的约3g/kW减少到2005年的1.1g/kW，乃至今天的0.14-0.2g/kW，在30年间减少了一个数量级，而未来燃料电池汽车很可能只需要几克铂族金属²⁻⁷。

第二，回收铱废料将变得至关重要。想象一下，如果今天1吉瓦的PEM电解槽需用到400公斤的铱，但在几年后，由于PEM电解槽技术创新，这400公斤的铱可以满足4吉瓦或更大规模的需求。从长远来看，PEM电解槽行业的铱总量将会不断积累，且持续被回收利用，并在未来几十年内保障越来越多的规模扩张需求。为了实现这一点，我们必须建立一个回收系统，将回收的（或称为“回收供应”）铱“闭环”返回到新的电解槽生产中。通过铱在同一应用中重复使用的方式，从而大大减少对矿产金属的持续需求。目前，大量的回收铱已在现有工业应用中起到重要的作用，因统计逻辑原因，庄信万丰并未在铂族金属报告中披露这一部分“闭环”回收铱需求，所以市场对回收铱的认知较少。

PEM的增长潜力

对于铱来说关键问题是，是否会有足够的金属供应支撑PEM电解槽容量如期增长？如果我们能最大限度地提高金

每年1.5吨的铱供应下，贵金属用量减少与回收对PEM电解槽规模的影响

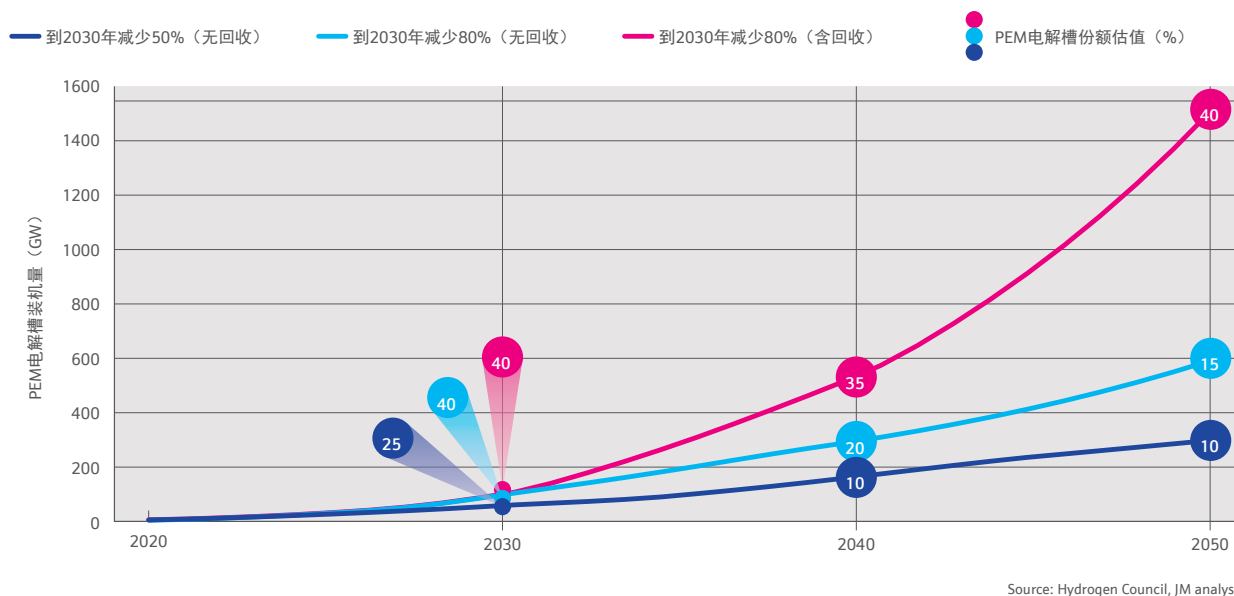


图1⁸

属的利用率，并进行回收利用，则答案是肯定的。并且这一假设也同样适用于任何试图使用铂族金属的新应用。

为了证明这一点，我们分析以下假设案例。在每年有1.5吨铱可用于PEM电解槽行业的限制条件下，PEM电解槽规模随着时间的变化情况。（注：1.5吨铱是年矿产供应量的20%左右，相对符合实际情况）。

根据现有的技术，每吉瓦的PEM电解槽大约需要使用400千克铱。图1上的蓝线显示了节约铂族金属的渐进式影响：到2030年，相比于每吉瓦所需金属减半，如果能做到将每吉瓦所需金属减少80%，那么铱就可以满足PEM电解槽额外60%的规模扩张³。若再加上铂族金属闭环回收，我们预计铱可以支持的电解槽规模到2050年将比仅做节约的假设高出2.5倍以上。

在该假设下，即使在每年仅有1.5吨铱供应的限制下，PEM电

解槽也可以占据电解水市场40%以上的市场份额，到2050年规模可以超过1,000吉瓦（基于氢能委员会环境变暖1.5°C目标的假设和庄信万丰的分析）。

庄信万丰支持电解槽的发展

作为电化学和铂族金属催化剂方向的专家，凭借多年处理铱复杂案例的经验，庄信万丰知道如何最大限度地提高这些铂族金属的利用率。例如，庄信万丰开发具有市场领先地位的汽车尾气催化剂和燃料电池催化剂。而如今，庄信万丰正在应用这些知识来支持电解制氢行业降低单位制氢成本（LCOH），帮助电解氢与其他路线竞争。

为实现这一阶段性变化，必须开发使用铱含量更少但仍能有高性能表现的CCM。这将使电解槽制造商能够在单位电解槽容量（GW）和单位铱（kg）载量的条件下生产更多的氢气，也就是说在使用更少的电力和更少铱的条件下生产所需

量的氢气。

当CCM或电堆达到其使用寿命需要更换，作为世界上最大的铂族金属回收商，庄信万丰可以利用在欧洲、北美和亚洲等地区建立的回收体系和生产能力，在全球范围内开展高效、安全的铂族金属回收业务。庄信万丰将采用先进的工艺来提取、分离和精炼高纯度的铱（这一点尤为重要，因为铱是最难精炼的铂族金属之一），并持续在该领域的投资。

不止于此，庄信万丰全球的铂族金属专家团队能够向客户提供铂族金属采购支持和供应管理。

总结

我们相信，PEM电解槽规模扩张的趋势不会受阻于铱供应量的限制——根据我们之前在汽车尾气催化剂行业所拥有的经验，只要采取如下正确的措施，铱就不会成为PEM电解槽容量增长的瓶颈：

1. 持续创新以提高电解槽效率，就能事半功倍，降低单位制氢成本。
2. 在规划、安装电解槽装置的阶段，就为电解槽、电堆以及CCM制定回收和报废方案，使整个回收过程标准化、规范化。

参考文献

1. Hydrogen Council, McKinsey & Company, Hydrogen for Net-Zero: A critical cost-competitive energy vector, 2021. HYPERLINK "<http://www.hydrogencouncil.com>" www.hydrogencouncil.com
2. T. Smolinka, N. Wiebe, P. Sterchele, A. Palzer, F. Lehner, M. Jansen, K. Steffen, R. Mieke, S. Wahren, F. Zimmermann, Industrialisierung der Wasser elektrolyse in Deutschland: Chancen und Herausforderungen für nachhaltigen Wasserstoff für Verkehr, Strom und Wärme, 2018.
3. D.H. Swan, O.A. Velez, I.J. Kakwan, A.C. Ferreira, S. Srinivasan, A.J. Appleby, The proton exchange membrane fuel cell - a strong candidate as a power source for electric vehicles, 1991.
4. J. Spendelow, K. Epping Martin, D. Papageorgopoulos, DOE Hydrogen and Fuel Cells Program Record 9018 - Platinum Group Metal Loading, 2010.
5. S.S. Kocha, Principles of MEA Preparation, in: W. Vielstich, A. Lamm, H.A. Gasteiger (Eds.), Handb. Fuel Cells – Fundam. Appl. Vol. 3, Wiley, Chichester, UK, 2003: pp. 538–565.
6. B. James, 2021 DOE Hydrogen and Fuel Cells Program Review Presentation, 2021.
7. A. Kongkanand, M.F. Mathias, The Priority and Challenge of High-Power Performance of Low-Platinum Proton-Exchange Membrane Fuel Cells, J. Phys. Chem. Lett. 7 (2016) 1127–1137.
8. JM projection assumes continued thriftig to 2050, based on the progression seen in other PGM applications. The US Department of Energy's Hydrogen from Next-generation Electrolyzers of Water (H2NEW) consortium's ultimate target for iridium loading is assumed to be reached in 2040, with further thriftig to around half that level by 2050.

Designed and produced by www.houseoftype.co.uk

For further information on Johnson Matthey, please contact your local sales representative or visit our website.

Billingham, UK
Tel +44 (0) 1642 553601
www.matthey.com