

---

# 德国智库动态

四川外国语大学德国研究中心

第二期 2022 年 10 月

---

## 本期主要内容

 用于氢变革的电解装置——挑战、依赖与解决途径

---

## 用于氢变革的电解装置

### ——挑战、依赖与解决途径

鉴于天然气危机与俄乌冲突，对于欧盟和德国的能源政策来说，加速氢气的市场需求变得愈加紧迫。然而，对于氢气这一绿色能源所制定的雄心勃勃的目标，将使欧盟和年轻的氢能源经济面临巨大的问题。除了电力需求外，现在主要欠缺的是电解装置的产量。计划完成的电解装置产量几乎不可能实现。此外，这也与进口的目标相冲突，并且这也将导致新的对于重要原料以及关键部件供应商的依赖。如果欧盟想要达成其目标，即便可能实现与俄罗斯原料供应的脱钩，中国也是绕不过去的一环。在此情况下，欧盟不仅要顾及到繁文缛节的简化、积极主动的原料管理以及新的合作伙伴关系，还要好好思考欧盟将如何应对其对于绿氢的单方面限制。

氢气在欧盟的气候和能源政策规划中扮演着越来越关键的角色，而俄乌冲突及其由此引发的能源危机也是其中一个重要原因。欧盟在 2020 年就已经在氢战略框架下制定了雄心勃勃的目标。而欧盟委员会最新发布的名为“RepowerEU”的能源计划细则又大大细化和提高了这些目标。按照这一细则，一方面到 2030 年为止，要在原本每年从本地生产 1 千万吨的基础上，再进口 1 千万吨氢气。另一方面，细则也更改了对于本地必要电能生产目标的估测：每年生产 1 千万吨氢气所需的电量不是 40 千兆瓦，而是 120 千兆瓦。更改后的规定要促成的结果是，欧盟得以实现到 2030 年削减 55% 二氧化碳排放量（“Fit for 55”）的目标，以及与俄罗斯能源供应的脱钩。

为此，欧盟委员会将希望全部寄托在绿氢上。人们借助电解装置和可再生能源，将水（ $H_2O$ ）分解为氢气（ $H_2$ ）和氧气（ $O_2$ ），从而获得氢气，在此过程中不会直接产生二氧化碳（ $CO_2$ ）排放。然而，也存在其它的环境友好型制氢法，例如使用天然气制氢的蒸汽重整（Dampfreformierung）法，在这一过程中会分离出

---

二氧化碳（CO<sub>2</sub>-Abscheidung）（所谓的蓝氢）。

现在的问题是，欧盟的这些宏伟目标，在只确定了一种技术的条件下，是否从根本上能够实现。仅是为了额外每年获得 1 千万吨氢气所需的可再生电量，就已将近等于欧盟 27 国 2021 年全年风能和太阳能所产电量的总和了。更加困难的是电解装置的生产。为了达到目标，在欧盟内建立的电解装置的产能，必须在 8 年内提高将近 900 倍。为此，欧盟面临着双重任务：一方面要建设足够的电解装置产能，另一方面还要保证自己在电解装置生产方面的市场份额。

在以新技术为基础的能源世界，在愈加激烈的经济和地缘政治的竞争中，快速扩大电解装置的产能以及为此所需的设备生产，成为确立工业生产地位的决定性因素。当前，欧盟在市场上的地位仍是强大的。此外，欧盟也在强调自身工业和能源政策的自主性。例如，欧盟绿色协议（Green Deal）和欧洲工业战略都要求，务必建立围绕可再生能源技术的战略性价值创造链。欧盟试图通过清洁氢联盟（Clean Hydrogen Alliance）来资助私人试点项目，以快速提高氢气生产。此外，对于欧盟来说，弹性的原料供应链的意义也越来越重要。

然而，总体上可以确定的是，正是在电解装置的问题上，欧盟当前的计划中几乎没有地缘、工业和资源政策方面的考虑。因此，在具有威胁性的世界经济的碎片化，以及全球化中重商主义的兴起的背景下，要做的首先是，更加清楚地确定在欧盟电解装置生产工业中可能存在的依赖性和弱点，以防止（地缘政治）风险。为此，有必要关注的是已存在的原料供应链和关键部件的相关方面，还有第三方在电解装置生产中不断提高的市场优势。

### **哪些电解装置适合欧盟？**

目前只有两种技术显示出较高的市场成熟度，并且其产能可能会在未来几十年内构成最大的市场份额。这两种技术分别是碱性电解槽和聚合物电解质膜电解槽。

碱性电解槽是最老且最成熟的技术。其占全球已有产能的 61%，是分部最广的技术。其优势在于相对简单的电解装置的设计，以及随之而来的相对简单的生产过程。碱性电解槽足够灵活，其可以根据太阳能和风能的变动而足够快地做出反应。然而超过 50 分钟的冷启动时间则相对较长。因此这种技术更适合基础生

---

产，而不适合最大产量的生产。

聚合物电解质膜电解槽技术较碱性电解槽装置更年轻，其全球市场占有率目前在近 31%。然而这种技术却增长快速。聚合物电解质膜电解槽技术的优势表现在快速的冷启动时间——大约 10-20 秒，以及对于电能生产波动性的更快的反应速度。因此这种装置特别适合电网中可再生能源生产的高峰时段，因为这需要快速反应。然而这种装置在技术上欠成熟，通常也比碱性电解槽模式更昂贵，因为生产这种装置要用到稀有金属。

虽然欧盟已确定发展绿氢，但在选择电解装置的问题上对技术的选择却是开放的。这样做是值得肯定的，因为为了让氢气生产符合期望的规模，每一种电解技术都是有用的。

## 原料与部件

如果想要大规模扩建欧盟的电解槽生产队伍，就必须检视两种电解技术的价值创造链。这要求必须在上游原料供应链和关键部件（也就是工业化生产的设备部件）之间做出区别。

镍和铂：印度尼西亚和南非是又不是俄罗斯和中国之外的其它选择

碱性电解槽装置不需要稀有金属。仅在镍和（镀镍）不锈钢方面还需要进一步观察。虽然镍矿床既不稀有也不在地理上具有集中性，但镍的供应却是一个问题。按贸易值或重量来算，目前有 35%到近 50%向德国及整个欧盟的进口来自俄罗斯。俄罗斯的镍储备在世界上排名第四，因此无论从非精炼镍，还是精炼镍方面来看，其都仍然是一个举足轻重的参与者。

其它国家，如印度尼西亚（22%），菲律宾（5%）和澳大利亚（22%），加在一起拥有一半的全球镍储备量，而它们的镍矿开采量的全球占比与前者是相似的。因此这些国家是俄罗斯外的其它选择。然而，印度尼西亚在 2020 年就决定停止对镍矿的出口，目的是将价值创造维持在自己国家内部。这也是欧盟在世界贸易组织提起申诉的理由。另一方面，澳大利亚的精炼产能只占全球市场的 7%。特别是在冶炼产业——精炼前的重要阶段——和精炼产业方面，虽然印度尼西亚

---

志向坚定（长期来看菲律宾也是如此），但中国仍是一个关键参与者：该国的镍储备量虽然不大，但据估计，全世界四分之三的冶炼熔炉由该国供应，其精炼生产也占全世界的三分之一。在当前的条件下，欧盟或者只能从印度尼西亚购买已经过冶炼的镍，并因此不得不与中国竞争；或者从澳大利亚和菲律宾等国购进镍矿石，但目前这些镍矿石绝大部分要在中国冶炼。因此，在这方面与俄罗斯脱钩的成本与风险是显著的。

而聚合物电解质膜电解槽的情况还要困难得多。这种技术的阴极氧化基于铂；阳极氧化基于铱。两种材料都属于最稀有、排放物最多，并且最昂贵的金属。它们都属于铂族金属（PGM）。对于聚合物电解质膜电解槽技术中所用的铱来说，没有其它选项。欧盟对于铂的进口依赖量是 98%，对于铱的进口依赖量是 100%。

两种金属的蕴藏量都显著集中在南非，该国是世界上最大的铂和铱金属的供应国。目前铱和铂的分解率大概只够将聚合物电解质膜电解槽的产能提高 3 至 7.5 千兆瓦，但估计到 2030 年的需求量将大规模提升。这将意味着矿藏开采量的巨大增长。

铱金属在供应上的困难并不主要在于地质层面的紧缺，而是在于必将增加的勘察工作及其所需要的社会和经济条件。例如，2013 年被血腥镇压的针对南非铂金矿中工作条件的抗议活动，导致了短时的出口暂停和高昂的价格峰值。

俄罗斯的铂金开采量占全世界的 13%，是全球第二大铂金供应国，对于欧洲来说也是如此。因此，与俄罗斯脱钩将使欧洲对南非的进口依赖更加巩固。真正的原料供应多样化似乎是不可能的，因为南非的铂族金属储备量占全球的 90%，是世界上绝无仅有的最大的储备国。另一方面，美国和加拿大这样稳定的矿业国家自身的需求量也在增长——尤其是来自美国的公司寄希望于聚合物电解质膜电解槽的生产。为了满足自己对于铂族金属的需求，美国试图通过《国防生产法》来推动本国的生产，以防止对于进口的依赖。如此一来，美国作为世界市场的固定供应国（铂金占 2%）也将失效。

总的来看可以确定的是，在为与俄罗斯脱钩而寻求原料供应多样化过程中存在的问题是显著的，但尽管如此，这个问题还是可以解决的。然而，由此产生的结果是，欧盟在镍冶炼方面对于中国的依赖，以及在铂族金属方面对于南非的依

---

赖将会增加。

## 欧盟对于聚合物电解质膜电解槽设备关键部件的依赖性

在碱性电解槽设备的生产中不存在会引发供应安全问题的零部件。所有的部件都是工业标准材料，都能在欧盟范围内获得。聚合物电解质膜电解槽生产的供应链虽然看起来和碱性电解槽相似，然而生产该设备所需的部件却存在着绝对依赖性，尤其是对于美国、日本以及英国的依赖。这些国家也许没有地缘政治上的风险，但市场的集中性却可能造成价格风险和物流方面的依赖。

生产聚合物电解质膜电解槽所需的其中三个部件被认为尤其关键：聚合物电解质膜、负载型催化剂以及膜电极组件。

聚合物电解质膜替代用于碱性电解槽的液体电解质，对聚合物电解质膜电解槽的性能以及氢气的纯度起到关键作用。虽然在欧洲有一家膜材料的生产商，因此欧盟对于该部件的依赖性可能保持在较低的程度。然而聚合物电解质膜本身还是必须从英国、美国或日本进口。因此，这三个国家可以保持它们在技术和规模上的现有优势。

聚合物电解质膜电解槽中的负载型催化剂可以加强电池组的电化学反应。在该市场上的领先企业，两家位于欧盟和英国，另外一家位于日本。在这一领域技术优势同样构成他者最大的进入门槛。

膜电极组件是一种最理想的将质子交换膜、催化剂和电极相互协调叠加并组合在一起的堆栈，其对于聚合物电解质膜电解槽的性能起到了最本质的作用。这种组件的其中一个主要生产商所在地位于英国。然而中国的生产商也在设法提高自己的制造能力。

## 电解装置的生产规模

欧盟占据优势地位，但在规模生产方面存在障碍

电解装置（不足的）产能是另一个阻碍欧盟实现其计划的因素。根据欧盟委

---

员会的估计，仅仅为了达到“RepowerEU”能源计划细则对本地氢气生产设定的目标，就需要电解装置拥有 120 千兆瓦的产能。然而 2021 年欧盟已有的产能仅仅只有 0.135 千兆瓦，2020 年全世界的产能也只有每年 2 兆千瓦。虽然已经预告了到 2030 年将达到 118 兆千瓦的电解装置的产能（其中 73 兆千瓦将来自西班牙），然而最终的投资大部分都还悬而未决。在清洁氢联盟框架下的 750 个是试点项目中，只有 64 个和电解装置生产有关。

欧盟如今就可以找到在所有技术领域拥有专业性知识的本土电解装置生产商。这同时包括了多家大型工业厂商——如蒂森克虏伯和西门子，以及一些较小型的企业，这些企业通常精专于还未成熟的生产法。目前欧盟拥有全球 60% 的电解装置产能，以及 40% 的电解装置存量。此外欧盟还拥有 40% 的相关专利，这在世界上也排在前列。尤其在聚合物电解质膜电解槽的技术上，欧盟的领先优势是突出的。

然而，电解装置生产商却在抱怨，买方至今几乎都还没有做出具有约束力的投资决定，因此无法建立起规模产能。而买方又指责欧盟委员会在授权行为上制定的高要求。这对于绿氢的定义及其生产条件起到决定性的影响。

最初的草案要求，首先受资助的项目要具有“附加性”：从 2026 年末开始，电解工艺只能使用来自新建的，并且没有受过补贴的太阳能和风田所发的电。第二，该草案要求空间和时间上的关联性：从 2027 年起，一个电解装置使用的电能，必须是同一小时内、在同一个供电区域，由与该电解装置直接关联的设备提供。然而这项严格的规定却与事实相悖：电解装置要想高性价比地生产，每年至少运转 4000 小时。出于此原因，欧洲议会在其最新的表决中否决了这两项严格的规定。但快速的市场增量还需要进一步的讨论和具有指导性的决定。首先要从对清洁氢的定义开始。

中国正在向市场领导者方向发展

除了规则障碍外，欧盟的电解装置生产工业还将面临其它竞争者的挑战——首当其冲的是中国。目前中国保持着全世界 35% 的电解装置产量。虽然这排在欧洲之后，但中国现已成为世界最大的电解装置制造国。其原因首先是其明显更低

---

的成本优势：尽管中国设备制造的效率和质量在逐步提高，但其生产成本仍然只有欧洲的五分之一。中国目前一直将重点放在碱性电解槽设备的生产上，全球有一半的碱性电解槽是由中国生产的。

这种发展趋势目前还在继续：2022 年，中国的生产能力将提高五倍，达到每年 2.5 千兆瓦的产量。这种发展趋势由国家 and 行业共同积极地向前驱动。中国第十四个五年计划（2021-2025）将氢能工业定为六大优先发展的工业门类之一。太阳能设备的主要生产商以及中国的国有企业已经进入电解装置的市场，它们遵循着已在其他生产部门——如太阳能行业——取得成功的策略：大规模生产、由此促成的单位价格的下降，以及快速的技术再发展。这些策略目前已经在市场中取得支配地位。目前中国只供应本土市场，然而该产业正在逐步（以更高的价格）面向国际客户发展——如阿拉伯海湾国家。

争夺市场份额的全球竞赛...以及电解装置

欧盟的电解装置产业会否经历与先前的本土太阳能产业同样的命运，还是个未知的问题。因为两种行业的区别是明显的：模块化太阳能系统组件小，便于运输，其生产也是标准化的。与此相反，电解装置是更加笨重的设备。此外，欧洲的太阳能产业主要由一些年轻的企业组成，而在电解设备产业中的通常是欧洲的多国大型企业。但无论如何，中国在碱性电解槽设备领域的领先生产商的发展趋势都表明，欧洲在技术上的领先优势会被逐渐地消融。即使在聚合物电解质膜电解槽领域中国也在逐渐站稳脚跟。而美国对这个市场也越来越感兴趣，并且已经成为聚合物电解质膜电解槽领域的重要竞争者。

可以说，电解装置可能被证明是全球性的瓶颈。尽管欧盟预估到 2023 年该设备的产能将提高五倍，但这可能不足以实现欧盟的雄伟计划。对于能源技术来说，欧盟要实现其计划，就必须在电解装置的生产 and 安装方面要实现空前的进步。这也许只有通过类似战时的资源集中管控的方式才有可能实现。与之相应，欧洲也许不得不重新考虑利用不断增长的中国的电解装置产业，而这可能又会造成新的依赖性。

应该强调的是，“RepowerEU” 能源计划细则的目标不仅是在欧盟内生产氢



---

气，而是还要从外部进口同样数量的氢气，而这部分进口的氢气的制造也需要电解装置。如此一来，这种进口和本土生产同时进行的高速发展，在产能受限的条件下，可能引发目标冲突。此外，在欧盟之外，其它国家也有自己对于氢气生产和使用的计划。中国借助自己的氢联盟所要达到的目标与欧盟委员会的目标相似：到 2030 年达到 100 千兆瓦。按照（全球）电解装置产能扩大的速度，该设备安装的高目标隐含着相应的风险。这可能导致新的依赖性的产生，并且电解装置的价格也可能被大规模抬升。

### **行动建议：**

#### **目标要现实，行动要实用且有战略性**

电解装置是现有绿氢领域的核心部件，而随着生产规模的扩大而产生的挑战却常常被忽略。

“RepowerEU”能源计划细则所规定的目标几乎不可能实现。这些目标对矿业、冶金业、设备制造以及电能生产的增长要求是不现实的。此外，相关市场的加速发展要促成的是与俄罗斯能源进口的脱钩，而这个过程本身又会造成新的、对于电解装置的依赖性。全球性的激烈竞争可能激起电解装置的生产竞赛，而这会导致绿氢更加昂贵。

尽管条件不利，但欧盟的成员国和企业至少还是可以抵抗这些问题。为此，或可制定六项基本措施：

首先，欧盟的成员国和企业应该通过将技术创新与国家协助相结合的方式，来应对对于电解装置原料供应链的依赖性。由于铂族金属供应商的多样化看起来可行性不大甚至没有，因此应该做的是，一方面，要顺利地建造可循环利用的基础设施；另一方面，尤其要减少聚合物电解质膜电解槽中的铱含量。

此外，原料供应商之间要明确沟通，这些金属的需求量有多高，以保证规划和投资新的矿业项目的可靠性。虽然欧盟的大部分国家都没有自己的国际矿业公司。然而日本国家石油、天然气和金属公司（JOGMEC）的经验却表明，通过贷款、投资和担保，也可以有目标的推进矿业项目。欧盟也应该开发相似的方法，来资助国外的私人矿业活动，并同时考虑在矿业部门建立欧盟的冠军企业。

---

第二，重要的是要同时考虑到原料供应链的可持续性。正如发生在南非矿业中的抗议活动，其也会造成供应安全问题。加强公共-私人伙伴关系，以及矿业国家中公共机构的能力，可能要求，除了要顾及合作的经济性以外，还要顾及环境和社会标准的加强，以防止骚乱和供应的停滞。

第三，要在此基础上有目标地为特定原料——如镍或铂族金属——的供应建立并扩大双边关系（尤其是与印度尼西亚、菲律宾、澳大利亚和南非之间的关系），通过贷款和投资，促进当地的精炼工艺。此外，鉴于印度尼西亚和菲律宾有潜力替代中国与俄罗斯的位置，将原料供应事项纳入到目前已协商好的欧盟-东盟自由贸易协定（EU-ASEAN-Freihandelsabkommen）中的做法也是有意义的。

第四，欧盟的电解装置制造商在迅速扩大产能的过程中必须得到积极的资助。国家对于大规模生产的许可、适合的贷款以及有保障的需求，会为项目开发者带来足够的激励。欧盟不久前建议设立欧盟氢银行，其作为买方要促成1千万吨氢产量的实现。然而还不清楚的是，该银行是否也将保证对于进口的需求。

此外，还需要时刻关注竞争性：欧盟氢工业行业联盟——氢能欧洲——已经警告，如果欧盟委员会在氢生产的最终规则的制定中，不像其竞争者那样直接和慷慨，那么欧洲的绿氢制造工业就会向美国“大规模外流”。新的美国气候法对氢气制造制定了慷慨的税收抵免政策。如果欧盟不照着做，美国的这些政策，配合着其更直接的生产规则，可能导致欧洲氢工业的资本和企业流向美国。做为阻止外流的尝试，欧洲议会的最新表决是重要但并不充分的一步，

第五，在与中国的交往中重要的是，要在寻求自主性与保持必要的供应链之间做出权衡。中国是绕不开的一个环节，如果说其对于欧盟内部电解装置商队的扩大来说，还不具备大的影响力，但至少对于欧盟从第三方国家购入绿氢的方面来说，中国是绕不开的。而欧盟也不得不逐渐地为其在电解装置方面的技术领先感到担忧。虽然，欧盟在专利和生产能力上仍然占据尖端位置，但中国在市场占有率方面已经超过了欧盟。对于欧盟和德国来说，这意味着目标冲突，因为想要快速扩大欧盟的电解装置在世界市场的产量，没有中国，几乎是无法完成的。

第六，要将蓝氢一起纳入欧盟的氢计划中。这不能只局限在技术层面，而是要直接将在氢生产和进口中产生的碳足迹算入总体量表中，也就是要对其进行碳定价。这样做或许必然会导致生产转向对气候无害的绿氢。虽然在欧洲由于许可

---

的困难性和天然气危机，蓝氢的制造是不经济的——在这里，绿氢暂时是最便宜的——，但在天然气价格低廉的地区（如海湾国家），蓝氢的制造却更划算。可以考察的是，哪种措施（如长期合约、专业化的基础设施建设）能够保证，出口商在中长期可以用蓝氢替代液态天然气。

电解装置的缺少已经表明，欧盟仅仅依靠绿氢是几乎不可能达到其所宣布的目标的。而蓝氢的进口可能加剧目标的冲突，这从本土和国外电解装置生产商必须时扩大的现实中已经可以看出。通过碳足迹的总体计算，可以很大程度上避免受到监管的欧洲氢气生产商在面对外国生产商时吃亏。同时，这也将使全球性和一致性的认证和规则框架的建立变得简单。

在当前全球能源和地缘政治的条件下，欧盟无疑必须大力推进电解装置产能的高速发展。在这个过程中，相对于选择哪种技术来说，必须优先考虑氢市场的高速发展。而在所有这一切中至关重要的一点是，欧盟要有符合实际的计划，以及实用的和具有战略性的行动。