

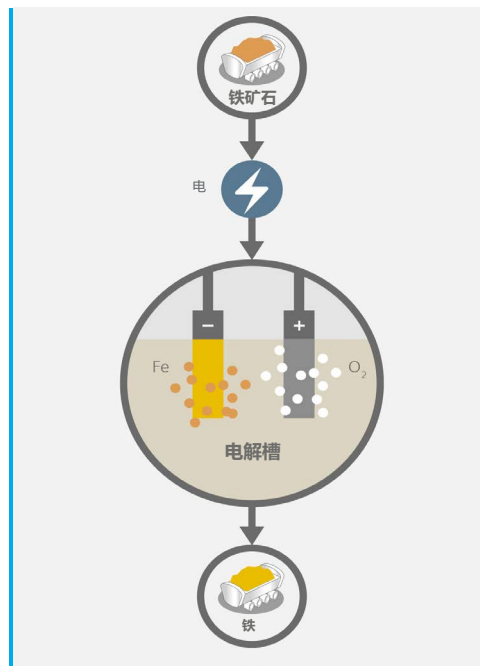


在向低碳世界转型的过程中，我们需要转变钢铁的生产方式。低碳炼钢没有唯一的解决方案，需要实施多种技术组合，可以选择独立部署，也可以根据实际情况进行混合部署。应对气候变化系列资料概览，将主要介绍和探讨目前开展的关键突破性技术以及面临的现状。

关于电解技术

电解技术是一种使用直流电，将化合物分解成组成元素的技术。将电极的阴极和阳极浸没在需要电解的化学物质中，进行通电。

电解水（ H_2O ），可生成氢和氧；电解氧化铝（ Al_2O_3 ），可生成金属铝和氧。



Siderwin概念，《气候行动报告》，2019年5月，安赛乐米塔尔

关于电解炼铁工艺

分离铁矿石中的金属铁与氧，有两种潜在办法。一种是利用化学还原剂（例如，氢或碳），另一种是采用电化学工艺，利用电能还原铁矿石。

在电解工艺过程中，铁矿石浸没在 $1,600^{\circ}C$ 的二氧化硅和氧化钙溶液中，当电流通过电解质溶液时发生分解。带负电的氧离子迁移到带正电的正极后，氧以气泡形式分离。带正电的铁离子迁移到带负电的负极后，被还原成元素铁。如果使用无碳电力，铁的生产过程将不会排放二氧化碳。

铁矿石电解技术已在实验室规模全面掌握，可生成金属铁和氧（共生产品）。

现状介绍

欧盟ULCOS项目通过电解冶金法（ULCOTWIN），证明了电解炼铁工艺的应用前景。

- 安赛乐米塔尔公司主导的Siderwin项目利用水基电解质，研究低温电解工艺。该项目已经达到技术就绪度（TRL）4级。在11家创新型欧洲伙伴机构的协助下，安赛乐米塔尔公司计划开发3米长的新试点项目，以在TRL6级展开验证工作。ULCWIN试点项目已经完成了TRL4级技术可行性验证，并且生产了4千克铁样品。

- 麻省理工学院设立了波士顿金属公司用于开展研究，2014年，该公司委托开发首个原形高温（1,500°C）熔盐电解槽，目前已经产出共计超过1吨金属。该公司正在计划建造一处试点规模工厂。

机会和挑战

扩大规模

2020年，全球钢材产量为18.64亿吨，一座高炉每年能够生产250万吨铁。

截止目前，已有多个批次的千克量级铁产品使用电解炼铁工艺制造，因此电解技术要想占据一定地位，还需扩大8个量级。

国际能源署发布的钢铁行业减碳技术路线图指出，“虽然电解技术可以实现炼钢过程的直接电气化，但由于其TRL等级相对较低，因此未被纳入可持续发展方案。尽管如此，随着创新速度的加快，长期来看，电解技术能够在可持续炼钢中占有一席之地。”

根据国际能源署提出的加速创新方案，通过加快创新清洁能源技术（其中电解技术发挥着重要作用），预计2050年能源系统有能力整体实现净零排放。国际能源署的建模表明，在极端条件下，2050年之前可以达到1亿吨铁矿石的电解能力。国际能源署指出，在加速创新情形下，要想实现高速创新，目前几乎没有先例可循。

能源供应

由于电解技术不产生二氧化碳，理论上属于净零排放，但前提是，电解技术所需的电力在生产过程中不会产生排放物，并且电极消耗也不会导致碳排放。

为规模化安装电解炼铁工艺所需的设施，低碳电力产能需要显著提高。

波士顿金属公司设立了年产400万吨钢的目标，如果这一目标实现，并且国际能源署畅想的1亿吨极端目标也得以付诸实施，这将需要46GW的低碳电力作为支撑，这相当于5500个全球最大功率海上风力发电机，或者28座1.6GW核反应堆。

冶金

不同于采用传统炼铁技术生产的铁，电解铁的化学纯度很高，完全由100%铁元素构成。高炉铁（铁水）通常最高含有5%的碳，

还含有一系列杂质（通常含有0.6-0.8%的硅，0.03%的硫，0.7-0.8%的锰，以及0.15%的磷），这些杂质必须在一次炼钢和二次炼钢过程中精炼去除，以达适合最终等级钢材的水平。

直接还原铁中化学成分的典型含量：总铁90-94%，金属铁83-89%，氧化铁6.5-9%，碳0.8-2.5%，矽石2.8-6%，磷0.005-0.09%，硫0.001-0.03%。矽石需要在电炉或转炉工艺中去除。

纯粹的电解铁就像一张白纸，只有添加了合金元素（包括碳），它才能达到所需属性。这有利于精密控制最终钢的化学成分。

电极

2018年，美铝公司宣布与力拓集团组建一个名为“艾利西斯”的合资项目，对美铝公司开发的一项创新炼铝技术进行规模化和商业化应用，该技术可以释放氧气并且消除温室气体，它的特点在于使用惰性阳极。不过，对比熔盐铁电解技术，电解铝技术所需的温度更低。

在电解铁技术达到商业可行性之前，仍有多个工程问题亟待解决。其中包括开发低廉、无碳的惰性阳极，并且在熔融氧化电解条件下，具备耐腐蚀性。

灵活性

与电炉相似，但又不同于高炉，电解炼铁可以根据可再生能源（例如，太阳能和风能）的可用性以及电力价格，随时进行扩大或缩减规模。

2021年5月 | AP

¹ Siderwin项目，零碳排放的激进创新钢材生产目标（arcelormittal.com）

² <https://www.newscientist.com/article/dn9878-electrolysis-may-one-day-provide-green-iron/#ixzz6tD08Hqo>

³ 主页 | Siderwin (siderwin-spire.eu)

⁴ 波士顿金属公司 | 建立一个无污染的生产金属的世界

⁵ FT Live, 《工业减排难题——炼钢工艺脱碳》，2021/04/26

⁶ 根据传输距离的不同，高压输电发生最高6%的损耗。

《输电损耗：从电站到插座，有多少电消失了？|能源内刊

⁷ 世界上功率最大的海上风电平台：Haliade-X | 通用电气可再生能源

⁸ 欣克利角C核电站——电力技术 | 能源新闻与市场分析（power-technology.com）

⁹ 美铝公司——艾利西斯项目

¹⁰ 铁矿石电解技术：最高效的温室气体减排技术 | SpringerLink