



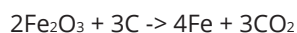
在向低碳世界转型的过程中，我们需要转变钢铁的生产方式。低碳炼钢没有唯一的解决方案，需要实施多种技术组合，可以选择独立部署，也可以根据实际情况进行混合部署。应对气候变化系列资料概览，将主要介绍和探讨目前开展的关键突破性技术以及面临的现状。

### 关于氢还原技术

直接还原铁技术是应用化学方式，从铁矿石中去除（还原）氧。

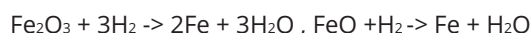
目前，通过化学还原生产炼钢用铁，使用的还原剂是化石能源（天然气或煤炭）。这一工艺被称为直接还原炼铁工艺。

根据下列简化化学反应公式，碳与铁矿石中的氧结合，生成金属铁和富含碳的工艺煤气：



目前，每使用铁矿石生产1吨铁，平均要释放2.21吨二氧化碳。

另外一种方法是使用氢替代碳还原铁矿石。根据下列化学反应公式，替换后产生的废气变成了水：



### 氢的生产和使用现状

氢可以从含氢燃料（例如，天然气和沼气）中提取，还可以利用电解技术，从水中提取。目前天然气制氢是主要来源，约占全球专供氢产量7000万吨的四分之三，约占全球天然气用量的6%。<sup>1</sup>

目前，全球专供氢产量只有不到0.1%来自水电解工艺。

### 氢在钢铁行业的应用现状

采用焦炉煤气生产直接还原铁所排放的温室气体，低于高炉工艺的温室气体排放量；每生产1吨直接还原铁，所排放的二氧化碳是1.5吨。目前还未开展纯氢炼铁技术。

### 潜在应用办法

氢主要有三个来源。“绿氢”是可再生能源与电解技术组合生产的氢，“蓝氢”是装备有碳捕获与封存设备（CCS）的工厂利用化石燃料生产的氢，“灰氢”是使用未减排的化石燃料生产的氢。

国际能源署在2020年减排技术路线图中指出，“根据《可持续发展方案》，绿氢将成为2030年代中期主要的还原剂大规模应用”。到2050年，需求将扩大至每年1200万吨。虽然对于一项新技术而言，这意味着快速的扩张和部署，但国际能源署的模型却表明，到2050年，钢铁生产总量中，依靠电解氢作为主要还原剂的产量还不足8%（相当于原生钢产量的14%）。

基于天然气的直接还原铁生产工艺中，氢在还原工艺中确实起到重要作用，尽管这是与碳相结合后产生的。

### 开发现状

目前，蓝氢工艺的开发生产项目包括壳牌公司的“Quest”项目<sup>2</sup>和空气产品公司（Air Products）的亚瑟港项目（Port Arthur）。<sup>3</sup>当今世界上最大的电解装置是日本的10兆瓦机组<sup>4</sup>，该机组能够每小时生产高达1,200标准立方米的氢气。在德国汉堡港，将要兴建一处100兆瓦的制氢厂。<sup>5</sup>

### 钢铁企业正在开拓多种方式进行氢能利用。

第一种方式是开发和部署突破性氢还原技术，这几乎可以全部消除炼铁工艺过程中直接产生的温室气体排放。许多钢铁企业都采用这种方式；主要项目包括Hybrit（瑞典钢铁/LKAB/大瀑布电力）和安赛乐米塔尔的汉堡港试点项目。

国际能源署认为，氢还原技术对于实现净零排放具有十分重要的意义，并且该技术有望从2030年起达到技术就绪度（TRL）5级。<sup>6</sup>

还有一些钢铁企业把氢作为过渡产品使用，将氢与化石还原剂混合后用于传统炼钢工艺（高炉和直接还原铁工艺），以提高温室气体减排效率。蒂森克虏伯公司目前正在测试氢在高炉中的使用；日本的COURSE 50项目也曾对此做过研究。<sup>7</sup> 这种应用方法被国际能源署评为TRL 7级，将在2025年实现部署。

特诺恩公司、萨尔茨吉特钢铁公司以及蒂森克虏伯公司已经或正在测试采用高水平氢混合的天然气直接还原铁工艺（TRL 7级，2030年）。奥钢联集团的SuSteel项目寻求在炼铁工序中应用氢等离子还原技术，犹他大学正在研究闪速炼铁技术（TRL 4级）。

另外，氢还可替代天然气，用于附属工序（例如，加热炉）。

### 挑战

#### 扩大规模

根据国际能源署的《可持续发展方案》，到2030年代中期，作为主要还原剂的电解氢将大规模应用，到2050年，电解氢的用量将增至1200万吨。另外，国际能源署预计到2050年，钢铁行业电解氢的最大需求将来自印度和中国（均超过450万吨），原因在于两国巨大的生产能力，以及大量可利用的低成本可再生能源。<sup>8</sup>

今天生产的专供氢约7000万吨，其中76%来自天然气制气，剩余23%几乎全部利用煤炭生产。今天全球专供氢产量中，只有不到0.1%来自水电解工艺。如果今天的专供氢全部使用水电解工艺生产<sup>1</sup>（利用水和电制氢），每年将需要3,600太瓦时电力——这已超过欧盟的年度电力产量。

根据国际能源署的《可持续发展方案》，到2050年，全球氢需求量将增至2.87亿吨，<sup>9</sup> 这意味着从2020年起，每年增加400%。这将构成巨大的增产挑战。

### 基础设施

作为一种轻质的小分子气体，氢的储存输送难度大，为实现规模配送，可能需要开发专门设施。

今天全球氢输送管道接近5,000千米，而天然气输送管道约为300万千米。<sup>10</sup> 现有的高压天然气输送管道经过改造后，未来可用于输送纯氢，但是要对这些管道的适用性进行个案评估，包括管道使用的钢材类型以及输送氢的纯度。<sup>11</sup> 另外面临的一个挑战是：

如果供应与天然气相同的能量，体积需扩大三倍。因此，需要扩大全网的输送和存储能力。<sup>1</sup>

电解技术需要水和电。生产1千克氢，需要约9升水，另外还要产生8千克的共生产品-氧。在水源稀少的地区，这也将成为一个难题。

### 成本

国际能源署发现，在特定地区背景下，创新型工艺路线（包括高炉CCS技术、熔融还原技术以及利用煤气的直接还原铁技术）的预期成本要比其他商业化同类技术高10-50%。国际能源署同时指出，这部分增加的成本要显著高于今天炼钢行业的利润率。<sup>8</sup> 国际能源署的分析表明，到2030年，由于可再生能源成本的下降以及制氢生产的规模扩大，利用可再生能源生产氢的成本可能降低30%。<sup>1</sup>

### 安全问题

如同其他能量载体一样，氢的大规模使用也会引发某些健康和安全问题。作为一种轻质的小分子气体，氢的运输需要使用专门的设备和程序。氢气分子体积很小，能够透过部分材料的结构间隙渗透出来，包括某些铁管和钢管，从而增加这些材料的失效风险。另外，相对于天然气等大分子气体，氢更容易逸出密封件和连接件。<sup>1</sup>

另外，氢还可能导致钢管和容器的脆化和开裂。但不会造成奥氏体不锈钢的脆化。

钢铁企业已在开发和部署相关工艺安全管理系统，管理有毒或易燃危险物质围阻体泄漏所带来的风险。为管理氢的使用风险，还需要更新相关风险评估办法及控制措施。

2021年7月 | AP/AE/RJ

<sup>1</sup> <https://www.iea.org/reports/the-future-of-hydrogen>

<sup>2</sup> <https://sequestration.mit.edu/tools/projects/quest.html>

<sup>3</sup> [https://sequestration.mit.edu/tools/projects/port\\_arthur.html](https://sequestration.mit.edu/tools/projects/port_arthur.html)

<sup>4</sup> <https://fuelcellworks.com/news/worlds-largest-hydrogen-plant-in-fukushima-opens/>

<sup>5</sup> <https://www.hannovermesse.de/en/news/news-articles/hamburg-to-build-worlds-largest-hydrogen-electrolysis-plant>

<sup>6</sup> <https://www.iea.org/reports/iron-and-steel-technology-roadmap> 91页

<sup>7</sup> [https://www.jisf.or.jp/course50/tecnology01/index\\_en.html/](https://www.jisf.or.jp/course50/tecnology01/index_en.html/)

<sup>8</sup> 钢铁减排技术路线图，国际能源署，2020年

<sup>9</sup> <https://www.iea.org/data-and-statistics/charts/selected-decarbonisation-indicators-scenario-in-2050>

<sup>10</sup> 壳牌公司（2017），《壳牌公司氢研究：未来能源？》，2017年

<sup>11</sup> <https://www.nrel.gov/hydrogen/infrastructure-cdps-all.html>