

钢铁行业的技术转型路径 适用于非工程师的入门解说

关于钢铁行业及其短期及中期脱碳计划的指南

2023年2月

要点

目录

简介

1

“一切照旧模式”

2

短期脱碳技术路径

3

中期脱碳技术路径

4

总结以及对日本钢铁行业的启示

5

- 目前的钢铁生产以高炉和电弧炉(简称电炉)为主。高炉的碳排放量在以铁矿石为主要原料的钢铁生产流程(通称长流程)中占主导地位,但高炉和电炉都依赖化石燃料来提供热量和电力。
- 已有的技术路径是从目前的短流程(以废铁为主要原料的钢铁生产流程)过渡到短流程绿钢。后者通过使用可再生电力,基于现有或新增电炉产能实现绿钢的生产。
- 从中期来看,低碳的直接还原铁(DRI)和电炉的应用或可能是长流程绿钢的脱碳技术路径。
- 到2050年,整个行业需要将高炉的使用率降至最低:这对当前或未来任何新建高炉的投资和为延长高炉使用寿命而对其进行的换衬改造提出了警告。

简介

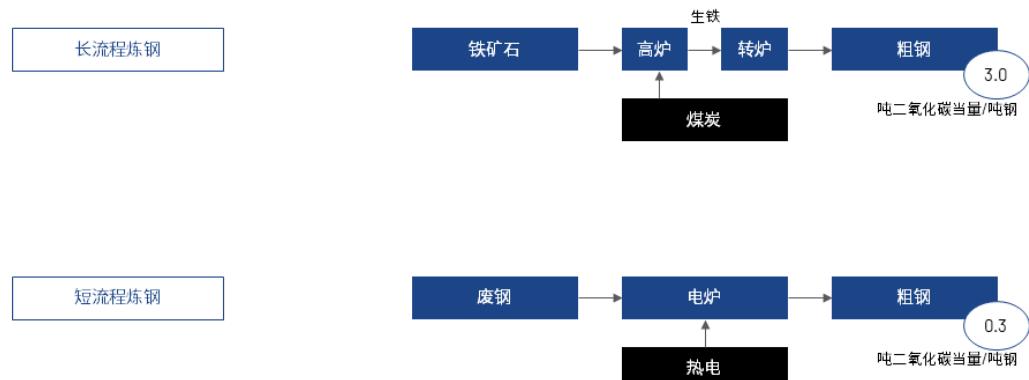
本文面向正在关注钢铁行业,尤其是东亚钢铁行业脱碳的投资者、媒体及非政府组织。它以遵循当前钢铁生产模式(或称“一切照旧模式”)为引,相继介绍了钢铁行业实现脱碳的短期及中期技术路径。

本文旨在用最浅白的技术语言来讲述钢铁的行业趋势、企业战略及它们的减排承诺。这意味着我们会保留一些简化的或较为粗略的解释。但读者完全可以将本文用作钢铁行业的启蒙读物或随身指南,从而进一步了解钢铁这个复杂的行业。

在文中,我们会使用碳强度这个指标。它代表每生产一吨钢材会产生的二氧化碳当量,包括了直接与间接排放,即直接来自于生产过程中的排放、电力排放和原材料生产过程中的碳排放。

“一切照旧模式”

图 1 - “一切照旧模式”下的钢铁生产



长流程炼钢

目前长流程生产以高炉-转炉 (BF-BOF) 工艺为主, 它主导了长流程的碳排放

目前, 长流程生产的第一步是在高炉 (BF: Blast Furnace) 中燃烧或熔炼铁矿石和冶金煤, 它们是高炉炼铁的核心原材料。虽然还需准备一些其他必要的原料和工艺, 但简而言之, 整个钢铁冶炼过程中的大部分煤炭都是在高炉炼铁这一步骤中燃烧的, 这是二氧化碳排放的最主要来源, 约占碳排总量的70%。

从高炉生产出的生铁随即会被转移到氧气顶吹转炉 (BOF: Basic Oxygen Furnace) 中进行粗钢生产。该工艺通过氧枪将氧气吹到熔融的生铁上, 从而将熔融的生铁转化为钢。BOF通常也被称为转炉。该工艺也包含其他原料的使用, 但数量要少得多。

虽然高炉和转炉分别生产生铁和钢, 但许多数据和分析都以高炉-转炉为一个整体模式来呈现的。实际上, 因为熔融生铁会被直接从高炉转移到转炉, 所以这个模式通常被称为一体化钢厂模式。在大多数情况下, 高炉与转炉是不可分割的。

高炉-转炉工艺占全球钢铁产量和产能的70%左右, 该工艺每吨钢的碳强度约为3吨二氧化碳当量。

短流程炼钢

用熔化废钢和其他原料 (如铁) 在电炉中炼钢的方式称为短流程炼钢。

短流程钢在电炉 (EAF: Electric Arc Furnace) 中炼造而成。废钢和热电是“一切照旧模式”生产过程中的核心原材料和电力来源。在大多数国家/地区, 废钢是电炉生产的主要原料。但电炉也可以使用直接还原铁 (DRI: 参见后文的中期脱碳部分, 下同) 作为原料之一。

在电炉中, 电极之间会产生高压电弧, 该过程产生的热量会熔化炉内的废钢。在这个工艺中, 废钢的碳排放为零。但是, 所用电力的排放量取决于它们的来源。目前, 大多数钢铁公司都使用火力发电, 即煤炭或天然气发电, 而这些电力的碳足迹都很高。例如, 日本制铁公司 (Nippon Steel) 的自行发电量占比95%, 这些几乎都来源于化石燃料。

电炉炼钢约占全球钢铁产量的25%左右, 并且还在不断增长。该工艺每吨钢的碳强度约为0.3吨二氧化碳当量。

长流程与短流程炼钢质量的对比

目前两种工艺之间的质量存在差异,但这种情况正在改变。

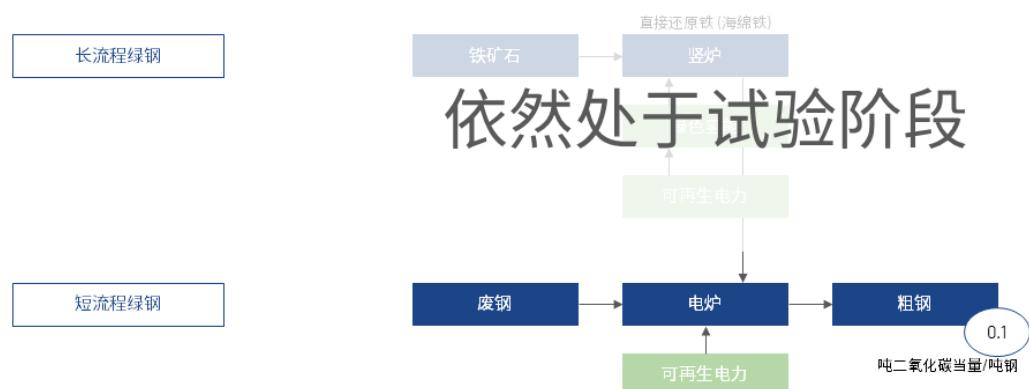
高炉-转炉工艺生产的钢杂质最少,质量最可靠。因此,它被用于对成品质量要求很高的行业,如汽车行业。

而在实际操作中,这两种工艺皆可使用多样化的原材料。例如,转炉也可以使用废钢作为原材料之一,而电炉中也可加入生铁或直接还原铁。例如,中国的电炉生产工艺使用了约50%的生铁,根据定义,这便不属于低碳钢的范畴,因为生铁是通过在高炉中燃烧煤炭而生产的。

接下来要谈到的短期脱碳技术路径是使用电炉生产更绿色的钢材,而中期脱碳技术路径则是在电炉中生产高质量的绿色钢材。

短期脱碳技术路径

图 2 - 短期脱碳技术路径



短期的脱碳战略是从高炉 - 转炉转向电炉生产工艺,并将电力来源转向可再生电力。

目前尚未有公认的关于绿色钢铁的定义,但关于在各种能源转型模型中应如何降低粗钢的碳排放强度这一课题,我们依旧将诸如国际能源署(IEA)发表的净零分析作为重要的研究依据。

短期内,钢铁行业的脱碳依赖于将生产工艺从高炉-转炉转向电炉,此外还要将电炉中使用的电力从热电转向可再生电力以降低碳强度。也就是说,在电炉全球产量份额增加的同时,电炉的碳强度也随着可再生电力的加入而下降。短流程绿钢(图2)是目前全球钢铁行业脱碳战略的重点。

用可再生电力为电炉供电不存在技术障碍。相比之下,电炉所在地是否有可再生电力的供应才是更为关键的。一贯使用自产热电的钢铁生产商必须通过获取可再生电力的购电协议,或通过构建使用可再生电力产能的“自备”或孤岛能源系统,从绿色电网为电炉供电。

依赖于低廉和丰富的可再生电力来使碳强度接近于零。

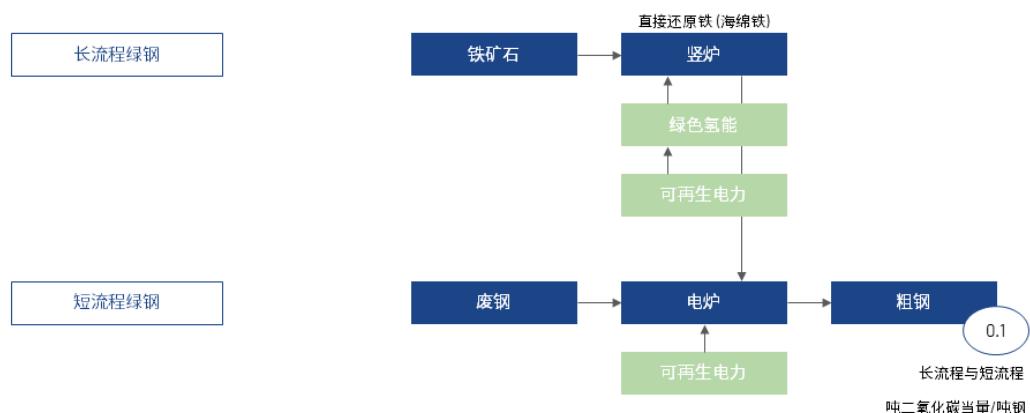
用电结构可以有许多组成方式,从100%使用可再生电力到依赖于一般电网供电,它们的碳强度可以产生很大差异(大多数电网由许多不同的能源形式供电),因此,国际能源署(IEA)提出了2030年每吨钢排放0.1吨二氧化碳当量的基准。目前,在可再生电力充足的情况下,每吨钢实现零碳是可行的。与此同时,电炉也有可能在不同批次中生产不同碳强度的钢。在实际操作中,这将取决于可再生电力的供应、成本以及对绿色钢铁的需求和定价。

长流程绿钢依然处于试验阶段。短期内还没有已经商业化及可广泛推广的、适用于长流程炼钢脱碳的解决方案。

接下来，我们来看钢铁行业的中期脱碳技术路径。

中期脱碳技术路径

图 3 - 中期脱碳



利用绿色氢能源生产直接还原铁 (DRI: Direct Reduced Iron) 的试点项目将成为优先发展的方向。

对于长流程绿钢生产技术的研发及许多试点项目正在尝试将直接还原铁应用于中期的钢铁脱碳技术路径。

目前，直接还原铁的生产方式是将铁矿石与合成气体（通常是天然气或煤炭燃烧产生的一氧化碳）置于竖炉中进行处理。这种气体除去了铁矿石中的氧气并产生海绵铁。与高炉-转炉工艺中的高炉不同，竖炉本身不燃烧煤炭。不过需要注意的是，虽然已有将直接还原铁应用于电炉的商业化模式，但目前使用的合成气体依然由化石燃料产生。

随着减碳承诺的激增，绿色氢气进入了人们的视野。绿色氢气由电解水制成，而用于电解水的电力则是由可再生电力为原料。目前，钢铁生产商正在加速用绿色氢气替代上述化石气体的经济性、技术和规模的探索。至关重要的是，鉴于可再生电力价格的大幅下降，分析师预测，到2030年，绿色氢气的价格将可以媲美化石燃料生产的氢气，成为新的商机。

优质的氢气直接还原铁 (H2-DRI: 由氢气还原得到的直接还原铁) 可用于在电炉中生产优质粗钢。

通过可再生电力生产绿色氢能，并在竖炉中通过绿色氢能生产直接还原铁正逐渐成为钢铁行业生产长流程绿钢的首要选择。

这意味着氢气直接还原铁成为了可以被用于在电炉中生产粗钢的原材料之一。在实际操作中，电炉中废钢与氢气直接还原铁的不同比例将对电力要求产生不同的影响。但国际能源署 (IEA) 在其预测中表示，这种工艺的碳强度可以达到接近零排放的程度。

值得注意的是，氢气直接还原铁的生产与电炉的炼钢可以分开，只需将氢气还原铁安全运输至电炉处即可开始炼钢程序。它们不必存在于同一个一体化钢厂中（可参考下文，我们会讨论日本钢铁生产商可以探索的一种可能性）。

长流程绿钢与短流程绿钢质量对比

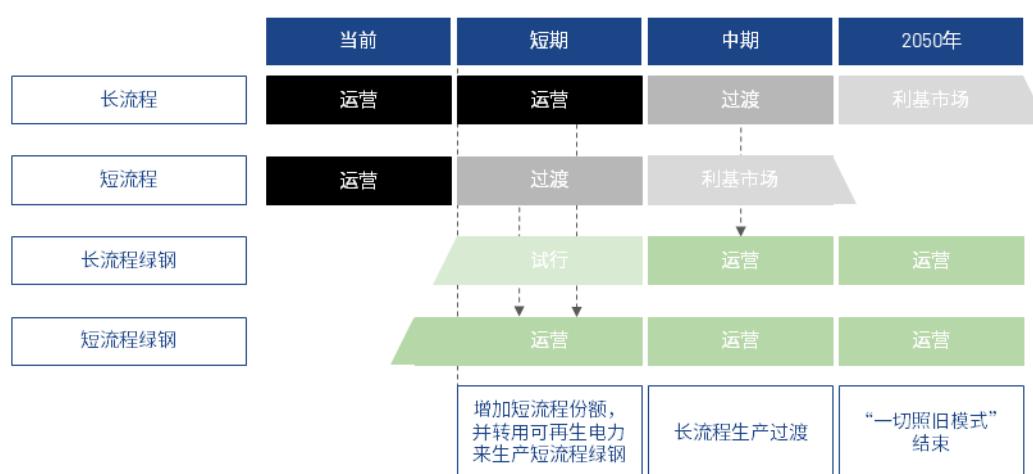
混合电炉将能够处理由100%可再生电力供电的氢气直接还原铁和废钢。

在电炉中使用氢气还原铁可以提高粗钢的质量,但这可能会消耗更多的电力。

新一代的混合电炉即将登场,它们具有更高的产能,在生产过程中处理直接还原铁的能力更强,并且可以整合到提供高质量成品的工艺中。

总结以及对日本钢铁行业的启示

图 4 - 随着时间推移的钢铁技术路径



新的钢铁格局 / 新钢铁地图

投资使用可再生电力的电炉并增加其产量将推动短期内解决方案的诞生。在电炉炼钢方面,现有的废钢库存是日本的一个机会,而可再生电力作为另一项关键原料,必须由政府和公用事业公司快速地、大规模地供应。

将生产工艺转向电炉是摆脱效率持续不变且煤炭密集型高炉-转炉模式的最简单、快捷的方法。因此,无论是在日本还是在海外,日本钢铁生产商对新建高炉-转炉的投资前景释放了一个明确的信号,总体来说,新建高炉-转炉是对气候缺乏上进心的表现,尤其值得注意的是,现在新建的高炉-转炉工厂的寿命将超过任何净零目标的目标年份。

更关键的是,在国际能源署 (IEA) 等方面的主要脱碳分析中,“到2030年,目前市场上的技术可将钢铁生产的排放量减少约85%”。也就是说,短期的解决方案是对变革的决心,而不是对新技术的决心。氢气直接还原铁-电炉模式不是短期内的核心解决方案。

而从中期 (2030 - 2050) 来看,情况则恰恰相反。IEA、大多数钢铁学者和分析师的意见表明,中期的大部分减排将“来自于使用目前正在开发的技术,包括氢气直接还原铁”。这些解决方案将在采用新技术,开发低碳钢 (尤其是长流程绿钢) 的主要原料,从而带来巨大的脱碳机会。行动越快越好,尤其是日本正在关注海外电炉产量和氢气直接还原铁的试点,试图迎头赶上。

上文提到的直接还原铁技术在炼铁过程中让还原气体取代了煤炭，这正适合那些正在国际化并可以预见新钢铁地图的日本公司。在这张新地图上，中国和印度将成为主要参与者，日本制铁公司 (Nippon Steel) 和JFE公司等在这两国设有合资企业的钢铁生产商也将成为主要参与者。

此外，在高炉-转炉工艺适合高度一体化作业的钢厂，相比之下，直接还原铁可以在高温下压制热压块铁 (HBI)，并以与铁矿石相同的边际成本进行储存和运输，这便形成了一个诱人的战略前景，即钢铁生产商可以将热压块铁的生产与电炉炼钢分开，并将后者扩大到日本的绿钢市场，这保持了国际化与脱碳步调的一致性。

分析否认了日本持续进口绿色氢能 (或任何其他颜色氢能，如化石燃料制成的灰氢) 或商业出口碳 (使用碳捕获、利用与封存技术 (CCUS)) 且依然生产可持续的商业钢铁的可能性。

我们的分析还表明，在高炉中将氢与煤共同燃烧以减少煤炭的总使用量并不是短期或中期的脱碳选择。它无法像上述路径一样降低钢的碳强度。同样，在日本，获取低成本氢气将是一个问题。且因为CCUS仍然是一种在很大程度上未经证实的脱碳方法，所以本文未涵盖CCUS在高炉-转炉工艺中的使用。

资本支出与可再生电力的双重考量

氢气直接还原铁和混合电炉需要工厂的资本支出以及用于产生氢气以及清洁电力的可再生能源。

在任何情况下，为新技术和新产能提供资金的资本支出以及通过多种途径获取可再生电力用于电炉生产和电解氢都将成为投资钢铁行业低碳转型的双重考量。除非日本电网电力实现脱碳，否则日本的电炉将需要通过自备电力或购电协议等形式来拓宽可再生电力资源的获取渠道。

因此，除了游说国家补贴外，日本的钢铁生产商还必须游说可再生电力导向的合适电力部门，以让他们满足日本钢铁脱碳所需的可再生电力规模，并使日本钢铁产业成为新钢铁地图上的赢家。投资者则需要游说钢铁生产商分别制定短期和中期脱碳战略和减排目标。

数据和免责声明

此分析仅供参考，不构成投资建议，不应作为做出任何投资决定的依据。本文表达了作者对被评估公司自愿披露的公开信息的观点与解释。虽然提供了与公司报告相关的参考资料，但作者并未尝试验证这些公司自愿披露的信息。因此，作者无法保证本文中提供的所有信息的准确性。作者与 Transition Asia 明确对第三方参考本文使用或发布的信息不承担任何责任。

我们的团队

投资者主管

Lauren Huleatt

lauren@transitionasia.org

ESG 分析

久保川 健太

kenta@transitionasia.org

左凌玥

bonnie@transitionasia.org

传讯专员

周澄

crystal@transitionasia.org

关于 TRANSITION ASIA (气候转型亚洲)

Transition Asia (气候转型亚洲) 成立于 2021 年，是一间总部设于香港的非牟利智库，专注于以深度的产业和政策分析、投资者洞见及策略性游说，在东亚地区推动与实现限升温 1.5°C 目标一致的企业气候行动。Transition Asia 与全球的企业、金融和政策持份者协作，致力推动变革，实现淨零排放、富抗逆力的未来。造访 transitionasia.org 或关注我们 @transitionasia 以了解更多信息。