

钢铁业的共生产品



过去20多年，钢铁业共生产品的回收率显著提高。创新技术的发展及其与其他行业的协作促使钢铁业距离零废弃物的目标越来越近。

钢铁业共生产品的回收利用为全球高达97.5%的材料利用率做出了贡献¹。我们的目标是100%有效利用原料和零废弃物。

回收的共生产品可以在炼钢过程中重复使用或者可以出售给其他行业使用。这就避免了废弃物掩埋，减少了二氧化碳排放，有助于保护自然资源。这些共生产品的销售也保持了经济可持续性，它为钢铁生产企业带来收益的同时也促进了循环经济的发展。

钢铁生产及其共生产品概况

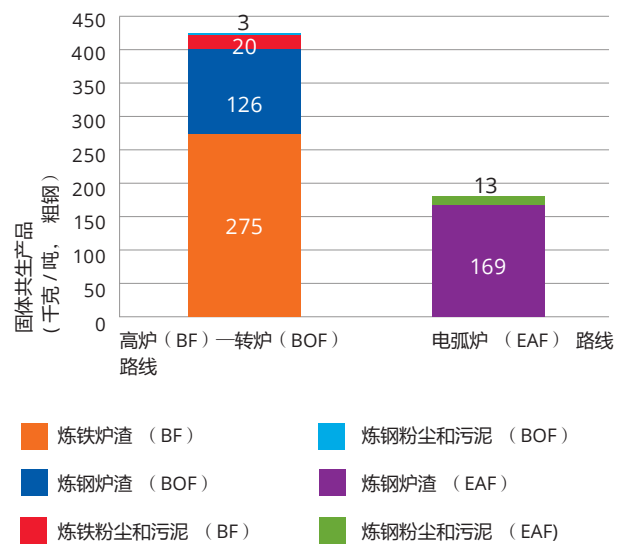
钢铁生产路线有两种主要途径：

1. 以铁矿石为原料的炼钢占世界钢铁生产的70%。铁矿石在钢铁冶炼过程中被还原成铁，然后转化为钢。主要原料包括：铁矿石、煤、石灰石和回收（废）钢。以矿石为主要原料的钢铁生产流程主要有：高炉炼铁辅以转炉炼钢，直接还原铁辅以电炉炼钢。
2. 以废钢为原料的炼钢占全球钢铁生产量的30%，主要是通过电弧炼钢炉中冶炼废钢。主要投入包括废钢和电力。根据设备配置和废钢的获取情况，其他来源的金属铁如直接还原铁或液态铁水也可以在电弧炉工艺中使用。

矿石和粗钢生产过程中产生的主要共生产品包括：炉渣（按质量计90%），污泥和粉尘。工艺气体如来自焦炉，高炉或氧气转炉的气体也是重要的共生产品。然而，本报告将重点关注固体共生产品。

电弧炉每生产一吨钢平均将会产生0.2吨的共生产品而高炉/氧气顶吹转炉将产生0.4吨的共生产品。这些共生产品包括炉渣，粉尘，污泥及其他材料。

钢铁生产路线产生的主要固体共生产品²
(平均产量 千克 / 吨 粗钢)



钢铁生产过程中的炉渣

每年产生的炼铁和炼钢炉渣可多达4亿吨以上。炉渣是二氧化硅、氧化钙、氧化镁、氧化铝和氧化铁的混合物。

在熔炼过程中，在高炉或炼钢炉中加入造渣剂和助溶剂（主要是石灰石或白云石和硅砂）来去除铁矿石、废钢和其他金属炉料里的杂质。炉渣形成一层保护盖，使得液体金属不被氧化，同时保持一定的温度。由于炉渣比液态金属要轻，因此浮在表面很容易被清除。

根据不同的冷却过程，市场上的炼铁或高炉炉渣主要有三种——气冷渣、水淬渣和渣球（或膨胀炉渣）。

- **气冷炉渣**硬度高、密度大，特别适合用做建筑骨料，也可用于预拌混凝土、混凝土制品、沥青混凝土，道路基层和路面材料、填充材料、水泥用渣块的原材料、铁路道碴、屋顶材料、矿物棉（主要用于隔热）和土壤改良剂³。
- **高炉水渣**以沙子大小的玻璃粒子形态存在，主要用做胶合材料。加入高炉水渣的混凝土强度比常见的含有波特兰水泥的混凝土更弱些，但是持久性强，在水化过程中产生的热量更少，渗透性低，耐化学侵蚀性强。炉渣还能降低水泥的成本。例如在美国，它的售价比波特兰水泥要低15%⁴。在某些国家，多达80%的水泥含有高炉水渣⁵。使用炉渣作为原料可以避免其作为垃圾被掩埋从而节约能源和自然资源，同时也大大降低了水泥生产中二氧化碳排。据矿渣水泥协会的信息，混凝土中用矿渣水泥代替波特兰水泥可以降低59%的隐含碳排放，降低混凝土及其组成材料生产过程中42%的隐含能耗。但是，这并不包括与炉渣生产相关的碳排放。
- **渣球或膨胀炉渣**结构呈多孔状（像火山岩），最常用做轻质骨料。经过细磨加工后，也具有胶结特性。

炼钢炉渣（包括氧气顶吹转炉和电弧炉）的冷却过程与高炉炉渣的空气冷却过程类似，其用途也类似。这个阶段生产不同类别的钢采用流程不同，炉渣化学性质有所不同，这使其比炼铁炉渣的回收利用更为困难。炼钢炉或烧结厂使用部分回收炉渣，约50%的回收炉渣则用于工厂外部的建筑，主要是道路建设。

利用炼钢炉渣主要的一个障碍是游离石灰含量高，不是建筑应用的理想材料。目前游离石灰分离技术还在紧锣密鼓的研发之中。游离石灰一旦分离后即可作为化肥，水泥和混凝土生产原料，可用于污水处理以及投放到沿海海洋区域以促进珊瑚的生长。曾被当作废物而掩埋的炉渣现已被视为可销售的产品。

炉渣的世界平均回收率的变动范围从炼钢炉渣的80%多到炼铁炉渣的近100%不等。炉渣回收利用的环境和经济效益意味着在许多国家仍然有潜力增加炉渣的使用。

工艺气体、粉尘和污泥

炼铁和炼钢过程所产生的气体（比如来自焦炉，高炉或氧气顶吹转炉的气体）被净化后，可以被钢铁厂内部用于生产蒸汽和发电，减少对外部发电的需求。这些气体可以在钢铁生产现场被充分再利用，还可以提供厂内60%的电能⁶。或者，这些气体也可

以出售用于发电。仅在没有其他选择的情况下，它们才被燃烧。

粉尘和污泥是通过炼钢和炼铁流程中附属的除尘设备（过滤器）来收集的。污泥是不同炼钢轧钢工艺中产生的炉尘或细粉形成的，含水量较高。煤气净化后产生的尘泥主要成分是铁，大多在炼钢厂被再次利用。氧化铁不能在内部循环利用，但是可以出售给其他行业，用于生产波特兰水泥或电机铁芯等多种用途。

电弧炉工艺可能产生的氧化锌经收集后，可以作为原材料出售。在转炉炼钢流程中，净化焦炉气可为其他行业提供有价值的原材料，包括硫酸铵（化肥）、BTX（生产塑料产品的苯、甲苯、二甲苯）、焦油和萘（用于生产沥青，还可为铝、塑料和涂料行业提供电极材料）⁷。

正在进行的技术研发是为了进一步提高共生产品回收率，更重要的是通过改善回收材料的品质扩大共生产品的应用，目前正在开展技术研发。

与现有技术相结合，新研发的技术可为钢铁行业迈进“零废弃”的目标提供环境和经济的可持续方案。

需要改变公众和政治认识，扩大共生产品的应用，用共生产品替代石头开采用于水泥生产，将共生产品用在公路路基或铁路轨道上，从而节约自然资源，减少环境影响。世界钢铁协会相信，共生产品和自然资源在同一法律框架下是能够替代的，因为它们都能够满足同样的目的。用共生产品替代自然资源避免了能源在生产阶段的重复使用。

2021年4月

1. 《可持续发展的钢铁-可持续发展指标2020》，worldsteel.org。
2. 2010年《共生产品报告》，世界钢铁协会。
3. 2012年《矿产年鉴》第69.2和69.6页，美国地质调查局，作者：van Oss和Hendrik G。
4. 2012年《矿产年鉴》第69.3页，美国地质调查局，作者：van Oss和Hendrik G。
5. 2006年1月出版《炉渣的法律状态》第2,10页，欧洲矿渣协会。
6. 2014年《钢铁行业能耗报告》，世界钢铁协会。
7. 《钢铁工业共生产品的重复利用》，博思格钢铁公司。