**超低二氧化碳炼钢**

超低二氧化碳炼钢 - ULCOS

二十五年来，世界各地的钢铁行业已经将气候变化确定为一项主要的环境挑战。早在2007年政府间气候变化专门委员会（IPCC）得出结论之前，主要的钢铁生产商就认识到，需要长期的解决方案来解决钢铁生产过程中产生的二氧化碳（CO2）排放。

因此，钢铁业在改善能源消耗和减少温室气体（GHG）排放方面一直非常积极主动。

与世界钢铁业最相关的温室气体是二氧化碳（CO2）。根据世界钢铁协会（WSA），平均每生产一吨钢就会排放1.8吨二氧化碳气体。根据国际能源署（IEA）的数据，2010年钢铁行业的二氧化碳排放量约占世界总排放量的6.7％。

现在，每吨粗钢的二氧化碳排放量降低了约50%，这使得钢铁行业的气候影响大大降低。现在，高品质的钢铁厂都是在接近目前钢铁生产技术所规定的热力学极限的情况下运作。这反过来意味着，钢铁生产商在进一步提高能源效率方面受到限制。由于大多数主要的能源节约已经实现，使用目前的技术不可能再大量减少二氧化碳排放。

进一步减少温室气体的排放意味着引进突破性技术。将二氧化碳排放减少到后京都政策所要求的水平需要 "打破常规 "的思维，因为它提出了具体的挑战。没有现成的简单工艺可以用来实现这一目标。必须想象钢铁生产方式的深层范式转变，并设计和开发相应的突破性技术。政府和国际机构所要求的那种减少，需要发明和实施彻底的新生产技术。

这就是ULCOS（超低二氧化碳炼钢）计划创建的背景，该计划是2004年作为京都议定书的成果而发起的欧洲合作研究和开发倡议。ULCOS寻求进一步大幅减少钢铁生产中二氧化碳排放量的方法。该计划的主要目标是寻找突破性的工艺路线，这些工艺路线在未来得到充分发展后，可以证明在以铁矿石为原料的钢铁生产中大幅减少二氧化碳排放量的潜力。该计划的目标是与今天的生产技术相比，至少减少50%的二氧化碳排放。实现这样一个雄心勃勃的目标需要钢铁生产模式的转变，这将改变世界各地钢铁厂目前的运作方式。ULCOS是全球钢铁行业计划的一部分，旨在确定有可能大幅减少二氧化碳的炼钢技术。在该计划下，人们正试图找到一个以最可持续的方式制造钢铁的答案。

ULCOS计划的成员是一个由来自15个欧洲国家的48家欧洲公司和组织组成的联合体，包括所有主要的欧盟（EU）钢铁公司、能源和工程合作伙伴、研究机构和大学。它还得到了欧盟委员会的支持。ULCOS是一个欧洲项目，但它是全世界钢铁行业中专业的努力，积极寻求解决全球变暖的威胁。该联盟的专业知识包括从炼钢到生物质生产和二氧化碳地质储存，并包括工艺工程、能源经济学和气候变化的前瞻性研究。

今天，ULCOS是全球钢铁行业内专业的倡议，积极寻找解决全球变暖威胁的办法。在7500万欧元的预算中，ULCOS的合作伙伴出资60%。欧盟委员会通过其RTD（研究和技术发展）框架计划和RFCS（煤钢研究基金）计划提供其余40%的资金。两者都是为了促进欧洲内部的工业研究和技术发展而设立的。

目前的钢铁生产技术是基于主要是碳的煤炭，基于碳和氢的混合天然气，以及基于废料的电弧炉。为了确定二氧化碳清洁工艺路线，三个主要的解决方案可能的路径是：（i）从煤炭转变，称为脱碳，在氢气还原或电解铁矿石等工艺中，碳将被氢气或电力替换，（ii）引入CCS（碳捕获和储存）和矿物碳化技术，以及（iii）使用可持续生物质。

ULCOS是一个精心设置的大型计划，以应对钢铁行业和整个社会所面临的长期和复杂的挑战。ULCOS计划有四个步骤，即（i）建立工艺概念，（ii）大规模示范，（iii）第一个商业工厂的大规模实验。(iv) 在欧洲和世界范围内部署该技术。ULCOS是一项研究计划，目前已转变成一项示范计划。

自2004年启动以来，ULCOS计划已经进行了大量的研究。在其研究计划的最初阶段，一项持续四到五年的初步可行性研究调查了80多项技术/概念路线，使用建模和实验室方法评估它们在二氧化碳排放、能源消耗、炼钢的运营成本和可持续性方面的潜力。几个概念已被平行调查。在所有这些概念中，以下大多数工艺路线系列已在ULCOS计划中被选中，以进行进一步调查，并最终扩大到可以进行商业实施的规模。

高炉（BF）的一个变体，其中高炉的顶部气体经过二氧化碳捕集，剩余的还原气体被重新注入反应器底部，而且是用纯氧而不是热风（空气）操作。这个过程被称为顶部气体循环高炉（TGR-BF）。富含二氧化碳的气流被送入存储（CCS技术）。

一种被称为HIsarna工艺的熔炼还原工艺。该工艺以热旋风炉和熔池的结合为基础，包含了HIsmelt工艺的一些技术特征。该工艺还使用纯氧，产生的废气几乎可用于储存（CCS技术）。

一种直接还原（DR）工艺，被称为ULCORED。该工艺在竖炉中生产DRI（直接还原铁），可以使用天然气或煤气化产生的气体。竖炉的废气在捕获二氧化碳后被回收到工艺中，二氧化碳以浓缩流的形式离开DR工厂并被储存（CCS技术）。

两种电解工艺的变体被称为ULCOWIN和ULCOLYSIS。ULCOWIN在略高于100摄氏度的水碱性溶液中操作，其中有小粒的矿石（电泳工艺）。ULCOLYSIS在炼钢温度下操作，其熔盐电解质由矿渣制成（热电解）。

还有两个可供选择的方案。第一种是使用氢气进行直接还原，如果有的话，不会产生任何碳排放。第二种是基于使用可持续的生物质，第一种是由热带国家种植的桉树可持续种植园生产的木炭。

在新的超低碳技术中，CCS和矿物碳化的使用也得到了评估。CCS从一开始就被认为是一个强有力的解决方案。关于矿物碳化，已经确定它只能带来适度的，尽管是重要的总体减排量。

图1显示了ULCOS计划下正在研究和开发的工艺。

图1 在ULCOS计划下正在研究和开发的工艺

ULCOS现在已经选择了四个工艺概念--这些概念已经过实验测试--与目前的最佳实践相比，可以将二氧化碳排放量减少一半以上。这些概念现在正在ULCOS项目的第二阶段中的工作钢厂中实施。ULCOS项目第二阶段的成果有可能在大约15至20年后推广到生产工厂。所选择的工艺概念是：（i）重新设计高炉，将CCS纳入工艺的核心；（ii）具有CCS能力的冶炼还原；（iii）大量使用天然气，采用比现在更清洁的二氧化碳技术；（iv）氢气炼钢和电解铁矿石。

在短期内，TGR-BF似乎是最有希望的解决方案，因为现有的BF可以被改造成新技术。这可以使转向突破性技术所需的大量资本支出得到一定的控制。此外，该工艺的原理可以节省能源，因为二氧化碳的捕获和净化气体的回收替换了高温化学平衡（布杜瓦反应），并且在BF内使用焦炭和煤的效率比传统操作要高。这在一定程度上平衡了捕获和储存所产生的额外成本。应用于TGR-BF的正确概念是过程中的二氧化碳捕集，以及氧气操作。 氧气部分类似于纯氧燃料操作，但并不完全相同。循环部分是原创的，是获得一些能源节约和相应削减运行成本的关键原因。这个概念已经在瑞典吕勒奥的一座大型实验室高炉上进行了测试，成果是积极的。

在有天然气的地方，ULCORED工艺路线是一个有吸引力的选择。应用于ULCORED工艺的概念类似于TGR-BF的概念，它还包括使用纯氧和炉顶气体的过程中回收，此外还有其他一些特点，如回收循环中的一系列转变反应器。为了验证这一概念，ULCOS的合作伙伴LKAB计划在未来几年内在吕勒奥建立一个每小时一吨的试点。

正在开发的HIsarna工艺将在未来几年内成为绿地钢厂的一个可用选择。HIsarna工艺与TGR-BF和ULCORED工艺略有不同，因为它不涉及气体的回收循环。冶炼厂的气体在旋流器一级被氧化，在那里进行一些还原，同时进行燃烧以预热和熔化矿石。 气体对铁流有一个逆流，在这个逆流中，其化学能量被完全耗尽。一个8吨/小时的试验工厂已经建立起来，并在ULCOS项目过程中进行了测试。该试验工厂于2011年4月启动。在第一次活动中，该工厂从2011年4月18日至6月11日运行。共启动了四次。第一次启动没有成功。其他三次启动都很成功。实现的注入率为产能的60%。现有的运行数据表明，该工艺的运行符合预期，但还需要更多的运行时间来确认这点。操作小时数低于预期。第二次活动已于2012年10月16日开始。它一直持续到2012年11月底。

电解过程是在ULCOS计划内从零开始开发的，因此，仍在实验室规模下运行。尽管它们拥有零排放的承诺，但如果能够获得绿色电力，需要时间将其扩大到商业规模（10到20年）。 ULCOWIN工艺包括铁矿石的碱性电解。电解通常用于生产钢铁以外的金属，需要大量的电力。该工艺将取决于二氧化碳的清洁电力来源，如水力或核能。ULCOLYSIS是熔融氧化物电解法。熔融氧化物电解的工作原理是将电流通过装有氧化铁的熔融炉渣。氧化铁会分解成液态铁和氧气。不产生二氧化碳。使用二氧化碳清洁电力来源，可以进一步减少工艺排放。

在氢气炼钢中，铁在高温（高于1300摄氏度）下从铁矿石中还原，反应时间非常短。没有二氧化碳排放，但生产氢气需要大量的二氧化碳清洁电力。这个过程也可以用低二氧化碳燃料如天然气来操作。

氢气炼钢在很大程度上取决于绿色氢气的供应，而使用远离种植国的木炭则需要建立复杂的物流，包括跨越几个大陆的重型基础设施。

ULCOS是钢铁行业的一个长期倡议。它充满了承诺，但也有风险和陷阱，这种情况可能与其他行业正在经历的情况相似。风险与问题的复杂性有关，它要求在非常短的时间内开发和实施突破性技术。要使该计划成为钢铁行业的一项成功举措并实现大部分目标，需要耐心、支持、真诚和持续的决心。