

HYL Technologies S.A. de C.V.



直接还原工厂

HYL ZR (希尔) 工艺 采用焦炉煤气生产直接还原铁DRI

作者: Pablo E. Duarte

目前,钢铁联合企业日常生产中产生的过剩焦炉煤气(COG)、转炉煤气和/或高炉(BF)煤气主要是送往电站用于发电。现在有一种新的工艺,技术上已证明为可行的,即把这些煤气用在冶金工艺中,生产直接还原铁和粗钢。

在铁水的生产过程之外,额外生产直接还原铁(DRI),以及进一步将直接还原铁作为高炉或电炉的金属炉料来利用,在不增加焦炉厂和高炉的容量,也不改变粗钢质量的前提下,实现粗钢产量的增加,并明显降低矿物燃料的消耗率。这种方式不仅可增加钢产量,还可降低一次性矿物能源的消耗率。

在电炉原料中添加直接还原铁,通过调整优化直接还原铁与废钢的比例,生产出的产品在质量和成本方面,比只采用废钢为原料的情况要范围广泛得多。

本文分析了以HYL-ZR(希尔)工艺流程(自重整)为基础,以焦炉煤气作为还原气源的HYL(希尔)直接还原厂的基本构成与配置。

并且对利用剩余的焦炉煤气来生产直接还原铁和/或发电进行了经济评估比较。以焦炉煤气为基础生产的直接还原铁,其成本很可能低于DRI/HBI的国际市场价格以及高涨的废钢价格。本文还列出了在高炉以及电炉中采用直接还原铁所产生的经济影响的例子。

一次性矿物能源的优化利用还会明显降低生产每吨粗钢的CO₂单位排放量。通过传统的高炉—转炉路径炼钢所产生的CO₂单位排放量,即使是以优化的工艺为基础,也约为1.6吨CO₂/t粗钢。而采用焦炉煤气和高炉炉顶煤气所生产的直接还原铁,作为高炉或电炉的金属炉料使用,可大大降低CO₂的绝对排放量和/或单位排放量。

关键词: 直接还原、HYL DR(希尔)工艺、直接还原铁、焦炉煤气、高炉炉顶煤气、CO₂排放

作者: HYL技术公司直接还原部主管, (墨西哥—蒙特雷)

介 绍

能源价格，主要是焦炭价格的提高，以及CO₂排放的相关环境限制，使人们开始考虑把钢厂主要的可用能源用于钢铁生产，而不是像目前这样用作它途。另外，目前钢铁料的涨价以及普遍的市场波动，需要人们寻找可降低生产成本并能就地取材的生产途径。

综合性钢厂中所回收的气态燃料副产品主要有焦炉煤气(COG)、高炉煤气(BFG)、以及氧气顶吹转炉煤气(BOFG)。这些煤气的热值和成分有很大差异。

在任何通过高炉/转炉进行钢铁生产的综合性钢厂中，能量是先天性不平衡的。由焦炉、高炉和转炉所产生的各种可燃性气体所含的能源，总是要多于该钢厂中要求作为燃料使用的能源。较为典型的是，综合性钢厂的能源平衡显示，大部分过剩的气态能源主要用于发电，甚至是放散燃烧。利用这些气体所生产的电力中，只有一小部分用于钢厂中，以满足其自身需求，而大部分电力都要输出。

过剩焦炉煤气的另一种利用方式是生产直接还原铁。所生产的直接还原铁有以下几种出路：

1. 替代氧气顶吹转炉中的废钢原料。
2. 作为高炉中的金属炉料。这将降低焦炭和/或煤粉喷射(PCI)消耗量，或增加铁水产量。
3. 可作为废钢的代替品出售给其他公司。

我们选取一家综合性钢铁厂作为分析的对象。选定的钢厂中设置有焦炉厂/烧结厂、生产铁水的高炉，以及转炉炼钢厂，同时包括钢包炉和板坯连铸机，其最终产品为板坯。图1所示为该厂的能源分配示意图。

高炉及高炉煤气

在过去30-40年中，高炉工艺的发展已将平均焦炭/煤的消耗量约减少至470公斤/吨铁水。通过这种发展，其它燃料如燃油、煤等也已部分替代了焦炭，从而使目前高炉的耗能量约为300公斤焦炭再加170公斤的煤（喷吹煤粉）便可以生产出一吨铁水。

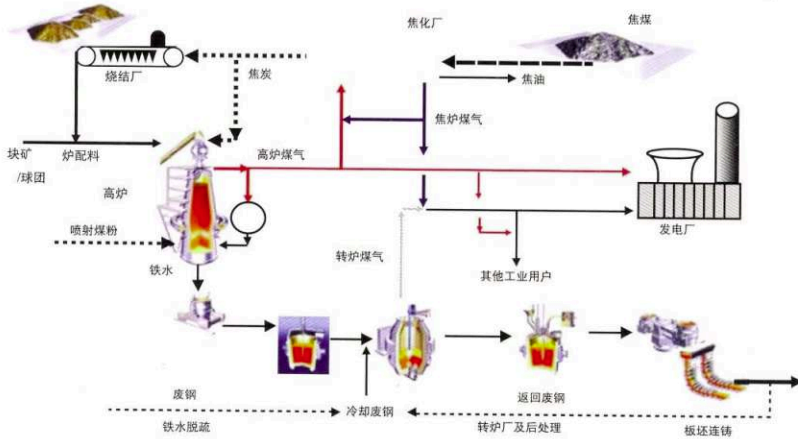
高炉煤气是由碳(焦炭/煤)混合空气进行不完全燃烧所产生的。高炉煤气中CO和CO₂的含量与炉身中碳的含量直接相关。多年以来，高炉气的主要用途是作为火炉和锅炉的燃料，但是这种用途缺乏经济效益。目前，有很多因素可以拓宽高炉气的用途。最重要的原因包括：

- 燃料的成本不断增加。
- 煤气净化技术得到改进，使得混合气体燃料的再生/回收变成可能。

经过预热的高炉煤气与预热空气共同燃烧，也已成功地用在了焦炉加热、均热炉以及随后的再加热炉中。

表1显示出了总体能源平衡中典型的高炉气体的成分分析和气体量。

图1 综合性钢厂的能源分配



分析基础

焦炉煤气(COG)

焦炉厂是现代钢铁厂能源网络的一部分。

焦炉煤气是生产焦炭的副产品，它是烟煤在隔绝空气的情况下，在焦化和分解蒸馏过程中形成的。

与高炉煤气相比，焦炉煤气的热值要高出5-6倍。由于以下原因，焦炉煤气的使用范围要比高炉煤气广泛：

- 由于其低比重和高热值而使其配送成本较低。
- 可通过燃烧产生极高的温度。
- 其热释放速率较高，从而可不采用过大的燃烧室。

在未经处理（没有脱硫）时，焦炉煤气含有较高的硫分（如硫化氢），特别是被用于为某些型号的轧制合金钢进行加热时，这是焦炉煤气的一个显著缺点。由于焦炉煤气具有这样的特点，所以必须采用抗硫腐蚀的材料来制造管路、阀门和燃烧器等。

在焦炭的碳化过程中，需要用燃料对炼焦炉进行加热。在这方面，炼焦厂用于加热的燃料就具有很大的弹性，其燃料来源也变得非常广泛，其中就包括可以使用高炉煤气和炼焦厂自产焦炉煤气。

在以铁水和转炉为基础的综合性钢厂中，焦炉车间与其他生产车间之间，存在一个能量“链接”。

这种气体链接系统具有很多优点，即：使用具有低热值的高炉气作为焦炉和高炉热风炉的燃料；同时，用具有高热值的焦炉煤气作为轧钢厂和发电站的燃料。

每吨焦煤大约可以产生420 Nm³的高温焦炉煤气。

相应的经过处理的焦炉煤气列于表1。通过焦炉煤气分析可以看出，我们为进行此项研究所选定的现代综合性钢厂，配置有焦炉煤气处理系统。然而有必要指出的是，在HYL-ZR DR（希尔）工艺中，同样可采用未净化、未经处理的焦炉煤气进行直接还原铁的生产。

转炉煤气(BOFG)

在吹炼期间，通常在转炉中产生的转炉气体量在0.75 GJ或80–90Nm³/t 钢水的范围内。主要由一氧化碳(CO)和二氧化碳(CO₂)组成的转炉煤气被收集、冷却和净化。在转炉的吹炼过程中，这些气体不允许泄漏到大气中。气体被收集在储煤气罐中。该储气罐同时作为缓冲器，用于连续向下游用户送气。目前，转炉煤体主要是被放散燃烧或用于加热炉。

表1中也列出了该气体的成分。

废气在综合性工厂中的应用

各钢厂很具有代表性的情况是，大量的材料和能与各冶金工序过程是相互关联的，正如图2的总体能源平衡中所示。

表1 典型综合性钢厂中的车间/系统的物流和能量流

项目	单位	高炉	焦炉厂	氧气顶吹转炉
<u>主要输入</u>		<u>单位/吨铁水</u>	<u>单位/吨焦煤</u>	<u>单位/吨钢水</u>
焦炭	GJ/t	8.99		
	公斤/t	300		
煤粉喷射	GJ/t	4.72		
	公斤/t	168		
炼焦煤	GJ/t		39.91	
	t/t		1.22	
附加燃料/能源	GJ/t	0.02	3.45	
	kWh/t			25
<u>废气流量</u>		<u>单位/吨铁水</u>	<u>单位/吨焦煤</u>	<u>单位/吨钢水</u>
物流	Nm ³ /t	891.8	418.1	8.690
能量	GJ/t	3.05	7.27	0.75
<u>成分</u>				
H ₂	体积 %	3.9	62.3	6.5
CO	体积 %	23.7	5.9	62.7
CO ₂	体积 %	23.2	1.4	17.0
CH ₄	体积 %	49.2	23.9	13.8
C _n H _m	体积 %		1.9	
N ₂	体积 %		4.6	
H ₂ S	g/ Nm ³		0.19	
LHV	MJ/ Nm ³	3.42	17.39	8.63

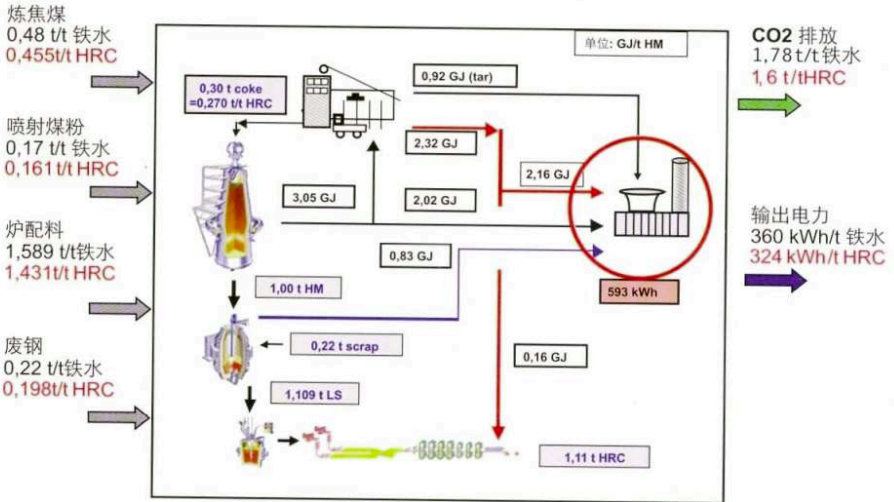
气态燃料主要有以下用途：

- 焦炉加热
- 高炉
- 均热炉
- 再加热炉
- 钢包预热，等

如上所述，此分析的目的是探讨，除了用于发电之外，这些过剩气体应用于其他目的的可能性，特别是用于直接还原铁的生产。

分析基础

图2 综合性钢铁厂的总体能源平衡

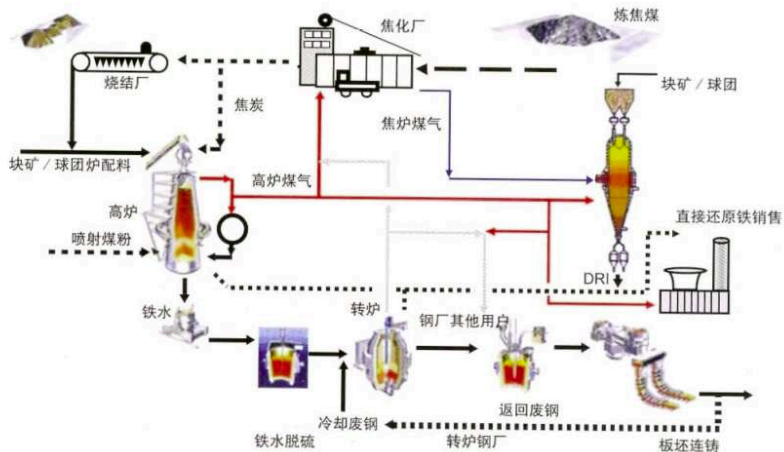


过剩气体在直接还原铁生产中的使用

在这部分中，我们将介绍用焦炉煤气和转炉煤气来还原铁矿石，而高炉煤气用于加热还原气体和生成蒸汽/发电。

图3是此概念的一个概览，其中简单地用直接还原(DR)厂代替了发电厂。在直接还原铁生产中使用过剩气体时，应根据钢铁厂对所生产的直接还原铁的使用情况，同时根据车间所采用的直接还原程序的需要，对钢铁厂所采用的传统应用方式进行改变，而传统的应用方式只将少量的废气返回到炼钢设备中。

图3 在综合性钢铁厂中设置直接还原厂



过剩气体在直接还原铁生产中的使用

对在直接还原厂中使用焦炉煤气和转炉煤气的研究是以HYL-ZR(自重整)希尔工艺技术为基础的,其通过在自身还原段中生成还原气体而实现最佳的还原效率。因此,无需使用外部重整炉设备或者其它的还原气体生成系统。

直接还原工艺

在目前市场上可利用的主要直接还原技术中,HYL-ZR(希尔)技术可在其工艺和设备无任何改动的情况下使用焦炉煤气,而其他技术,(如果应用焦炉煤气作为还原剂的话),都需要对其基本配置进行重大改动。

因此,现在对于直接还原厂中使用焦炉煤气来生产直接还原铁的研究是以HYL-ZR(希尔)技术为基础的,其通过在自身还原段中生成还原气体(现场重整)而实现最佳的还原效率。因此,无需使用外部重整炉设备或供替换的还原气体生成系统。也无需对焦炉煤气进行特殊处理。

HYL DR(希尔)工艺配置的总流程见图4[1]。反应炉在高压(4-6巴,绝对值)下运行,从而使反应炉的产量达到约 $10 \text{ t/h} \times \text{m}^2$,且使通过炉顶气体携带的粉尘损失保持到最少。这将降低铁矿石的消耗量,从而也降低了工厂的运营成本。

离开反应炉的炉顶气体中含有在还原过程中所产生的水(H_2O)和二氧化碳(CO_2)。这些成分将通过循环气体回路中的炉顶气体清理系统(除去水分)和 CO_2 清除系统被消除。还原气体中含有被加入补充焦炉气体的循环气体。还原气体在煤气加热器中再次加热到 950°C 。在喷入氧气使还原气体进行部分氧化后,温度将进一步升高至 1000°C 以上。

直接还原铁厂可设计成生产冷直接还原铁和热直接还原铁,成为炼钢系统(电炉或转炉)的原料,以及/或热压生成HBI(热压铁),见图4。

除了在转炉中作为冷却剂使用外,直接还原铁也可在高炉中使用,以降低焦碳/煤粉消耗量或增加铁水产量。

HYL-ZR (希尔) 工艺

HYL-ZR (希尔) 工艺流程 (图4) 的基本原理是用还原气体来还原铁矿石。还原气体是利用反应炉内还原部分的金属铁的催化作用, 通过碳氧化物 (天然气或焦炉煤气) 的不完全燃烧和现场重整而生成的。

该工艺流程包括以下特点, 而将这些特点综合到一起, 就无需再使用还原气体生成系统了:

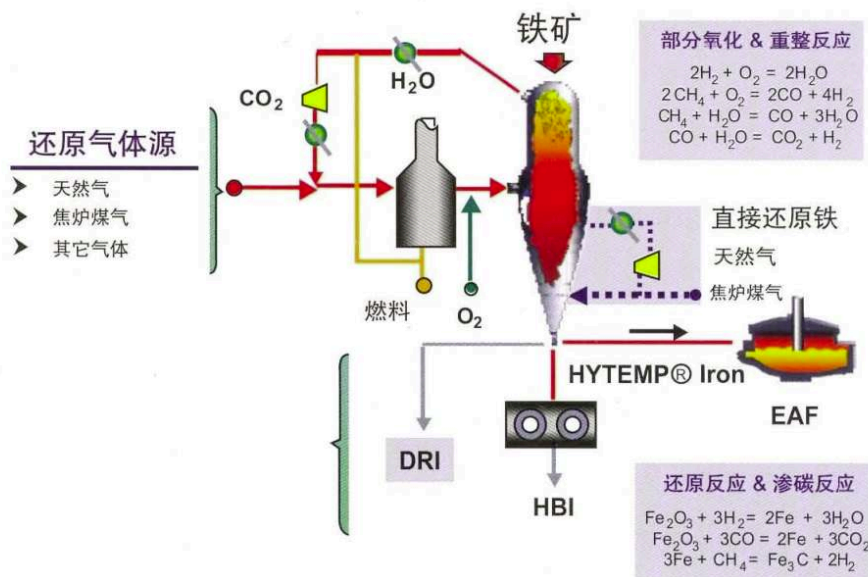
还原气体的不完全燃烧: 在反应炉入口前焦炉煤气与氧气所进行的不完全燃烧 (见图6a和6b), 可为甲烷现场重整和金属铁的渗碳提供所需的额外能量。由于此不完全燃烧过程, 使得反应炉入口的还原气体温度非常高——1000° C以上。在反应炉内部发生的组合化学反应的吸热行为将还原区域的温度约降低至820° C, 因此, 铁球团不具有可塑性, 也无法粘结在一起 (簇团构造)。

反应炉还原区域底部的现场重整: 一旦接触到反应炉内的固体, 由于金属铁的催化作用, 甲烷将会进一步发生现场重整。

还原气体的可调整成分: 金属化率和含碳量可分别通过调整主要过程参数和气体成分进行控制。

对直接还原铁渗碳的控制, 可通过调整进入反应堆的气体中所含氧化剂百分比的方式得以实现, 该百分比则是通过还原气体中的含水量、还原区域的注氧量或还原气体的二氧化碳含量来调整的。

图4 HYL-ZR总体工艺流程图 (带选项)



对于含量为4%的碳而言，约有95%是以Fe₃C的形式存在。Fe₃C在直接还原铁中的高百分比使其具有更高的抵抗再氧化能力。直接还原产品的主要特性见图5。

图5 HYL典型直接还原产品的特性



项目/用途	DRI	HYTEMP® Iron	HBI
	本厂应用	直接入电炉	出口
金属化率	93-95	93-95	93-95
炭含量	2.5-5	2.5-5	1-2
温度 (°C)	40	>600	40
散装比重 (t/m ³)	1.6	1.6	2.5
大约比重 (t/m ³)	3.2	3.2	5.0
额定尺寸 (mm)	6-13	6-13	110x60x30

自1998年以来，以HYL-ZR技术为基础的加工流程已经实现了大规模工业生产，并且安装在4M设备中，同时也在使用在3M5设备中，这些设备都运行在位于墨西哥蒙特雷的Hylsa工厂中。

从1998年至2005年，墨西哥蒙特雷的Hylsa工厂已经累计生产了近600万吨高碳直接还原铁。

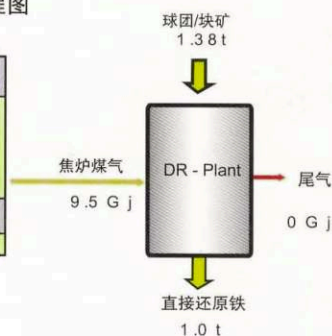
焦炉煤气在直接还原厂中的应用

在以气体为基础的直接还原过程中，天然气被重整为一种含有氢气和一氧化碳（作为还原剂）的气体。氢/一氧化碳比可根据直接还原工艺和天然气的成分而发生变化。事实上，焦炉煤气和天然气的化学成分是完全不相同的，而且目前还没有工厂采用焦炉煤气。然而，不管原始气体是焦炉煤气还是天然气，进入反应炉的还原气体的化学成分并没有太大的不同（图6）。这样，使用焦炉煤气代替天然气所产生的风险就因为采用了HYL-ZR（希尔）直接还原工艺而得到规避。在采用HYL-ZR工艺时，直接还原铁生产所需的焦炉煤气的热量为9.5 GJ/吨直接还原铁，此直接还原铁的金属化率为94%，含碳量为4.0%。

图6 比较气体分析

焦炉煤气与HYL-ZR (以天然气为基础)流程图

Item Vol.%	COG	Nat gas	COG to Reduction	Reduc. gas in HYL ZR Scheme
H ₂	56.5		47.7	50.0
CO	7.5		8.5	15.0
CH ₄ + C _n H _m	27.0	97.0	16.8	25.0
CO ₂	2.0		1.5	3.0
H ₂ O			4.0	4.0
(H ₂ +CO)/ (CO ₂ +H ₂ O)			10.2	9.3
N ₂	6.5	0.5	21.5	3.0



在综合性钢厂引入HYL DR系统

图7所示为生产板坯的典型综合性钢厂的全部能源流程和CO₂排放的简化图。此示例的相应数字见表2。

在此应用中，综合性钢厂的废气被送往直接还原厂，然后分流如下：

- 每吨铁水要送2.26GJ的焦炉煤气作为工艺气体，用于直接还原铁的生产。
- 以高炉煤气作为燃料来加热还原气体和生成蒸汽，用于直接还原厂中吸收CO₂。

图7 典型综合性钢厂（板坯生产）的总体能源/碳流程图
典型综合性钢厂（板坯生产）的气态能流

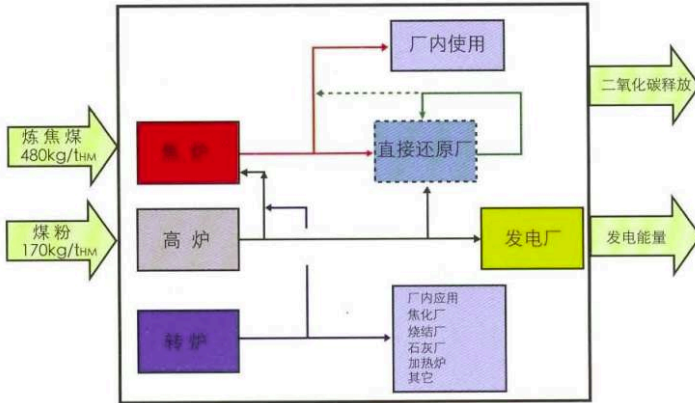


表2典型钢厂板坯生产的总体能量/碳/直接还原铁平衡

		没有直接还原厂	有直接还原厂
发电	MW/t _{HM}	375	142
输出电能	MW/t _{HM}	194	0
输入电能	MW/t _{HM}	0	21
CO ₂ 总排放量	kg _{CO2} /t _{HM}	1, 780	1, 780
选择性 CO ₂ 去除范围	kg _{CO2} /t _{HM}	0	30-150
直接还原铁产量	kg _{DRI} /t _{HM}	0	227
注：在均衡优化的综合性钢铁厂里，引进直接还原铁生产的最大潜能(应用焦炉煤气&转炉煤气)	kg _{DRI} /t _{HM}		380

在最优化的直接还原工艺中总是存在着多余的尾气，这主要是因为需要进行氮气清洗；特别集中在转炉气中，而转炉气也可用于直接还原铁的生产中。在还原回路中产生的多余尾气可被输入到钢铁厂，用在炼焦设备和/或钢厂中，也可以用在其他地方，如发电站，结烧车间或石灰煅烧等。经过二氧化碳除去系统过滤后的循环气体的总量，直接影响到直接还原铁的生产，最终也影响到尾气的排放量。根据直接还原铁生产的需要，以及钢铁厂的其他生产设备需要使用附加燃料，这样，可以实现直接还原铁的生产最大化，同时也最大限度地减少过剩尾气的排放；或者也可以通过降低直接还原铁的产量来平衡燃料的需要量。

如果综合性钢铁厂采用以上的流程，那么所生产的直接还原铁可有以下用途：

- a) 直接还原铁可作为废钢替代品出售给其他公司。
- b) 在转炉中用直接还原铁来替代废钢。
- c) 将直接还原铁作为金属配料加入高炉中，以降低焦炭和/或喷射煤粉（PCI）的消耗量，或增加铁水产生。

此分析的依据是：

- 为生产每吨铁水，高炉要消耗300公斤焦炭和170公斤煤粉。
- 以此案例厂能利用的焦炉煤气量来生产直接还原铁，所能达到的产量约为230公斤/吨铁水，有94%的金属化率和4%的碳含量。

a) 用焦炉煤气生产直接还原铁，并将直接还原铁出售

如前所述，焦炉煤气既可用于发电，也可用于生产直接还原铁。为了确定哪种应用的利益更高，在分析中要考虑以下因素：

从总体能源平衡（表2）中的结果可以看出，一般而言，等量的焦炉煤气可生产1.0公斤的直接还原铁或1.0MW的电（每吨铁水可以带来227公斤直接还原铁，或215MW的电）。

根据焦炉煤气的热值（LHV），若效率取35%，则可获得更简单直接的结果。为了方便比较，在两种情况中，均考虑38,100 Nm³/小时的相同焦炉煤气流量，利用此流量，可在一小时内生产65MW的电，或65吨直接还原铁（相当于每年500,000吨直接还原铁）。

在两个情况中，均未考虑投资成本；仅考虑运营成本。

比较中考虑了作为直接还原铁生产成本计算基础的下列因素：

- 直接还原铁生产采用进口的球团矿
- 直接还原铁生产所需的电力和氧气以市场价格来计算。

根据以上所述，以下表3中列出了直接还原铁生产成本估价。

为了比较两种不同的用途，假定：

i) 生产成本（焦炉煤气生产成本为0）

- 发电成本费为 0.01美元/千瓦时
- 直接还原铁生产成本为 125美元/吨

ii) 电能和直接还原铁均以市场价格向外出售，即，0.05美元/千瓦时和220美元/吨直接还原铁。

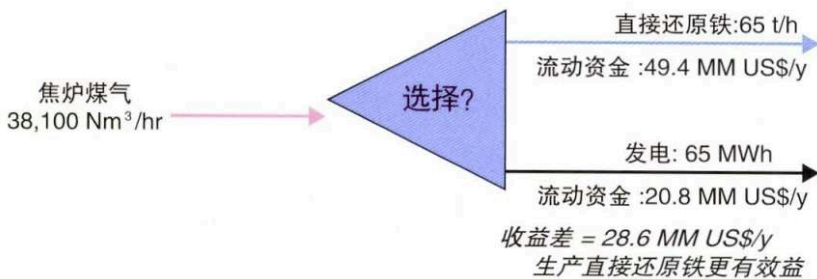
分析案例

表3 以焦炉煤气为基础的直接还原铁成本

		单位	希尔实验厂 70% 球团 / 30% 块矿 直接还原铁: 94% Mtz, 4% C	
Concept	unit	US\$	消耗/t	\$US/t
球团	t	90.0	0.97	86.94
块矿	t	70.0	0.41	28.98
焦炉煤气	GJ	-	10	-
电力	kMh	0.05	80	4.00
氧气	Nm3	0.05	11	0.55
水	m3	0.02	1.3	0.03
其它消耗	\$US			0.60
维修	\$US			3.01
人力	m-h	5.00	0.17	0.85
G&A	\$US			1.00
直接还原总成本	\$US			125.96

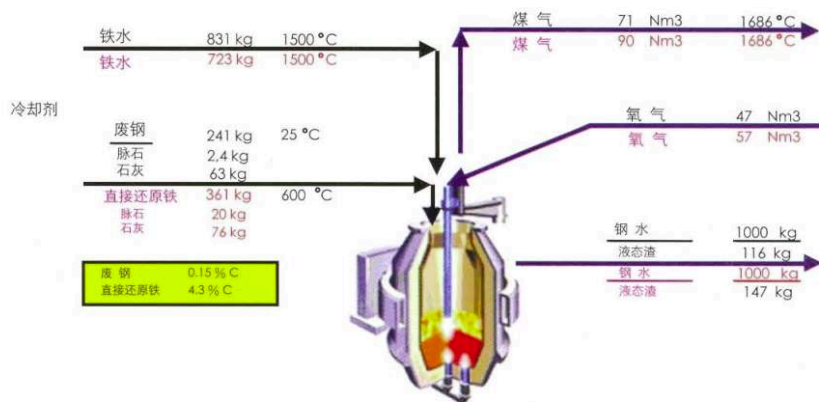
图8 采用焦炉煤气进行直接还原铁生产和发电的比较分析

焦炉煤气应用 - 经济比较						
DRI 成本 (w/o COG)	US\$/tonne	125.00	发电总成本 (w/o COG)	US\$/kWh	0.01	
DRI 价格	US\$/tonne	220.00		电价	US\$/kWh	0.05
DRI 收益	US\$/tonne	95.00		发电收益	US\$/kWh	0.04
DRI 生产能力	吨 DRI/hr	65.0	发电量	kWh/hr	65,000	
直接还原铁收益	MMUS\$/year	49.4	发电收益	US\$/year	20.8	



b) 氧气顶吹转炉中采用直接还原铁来替代废钢
 在转炉中使用直接还原铁的影响（与用废钢相比）见图9。在这种情况下，假定供应的是热直接还原铁[6]。此分析显示，用直接还原铁代替废钢作为冷却料时，钢产量可提高约15%。

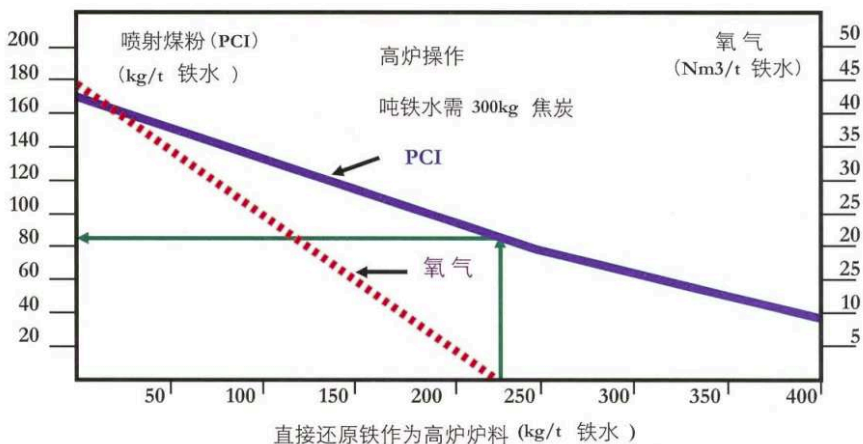
图9 转炉中采用直接还原铁炉料的影响（与废钢相比）



c) 高炉中采用直接还原铁作为金属炉料
 在这种情况下，向高炉供给直接还原铁。由于焦炭的单位消耗率已进行了优化，因此可有两种效益：

选项1) 保持相同的钢水生产率。在这种情况下，由于降低了煤粉喷射消耗量从而减少了单位耗煤率及CO₂排放量，因此，所得的收益主要是要降低了对环境的影响。这种情况已在以前的文章中进行了分析[2]。如图10所示，在高炉中焦炭的使用量不变，而每吨铁水可生产230公斤直接还原铁，那么每吨铁水的喷煤粉可以减少到约90公斤，这样，高炉的焦炭总供给量约降低17%。

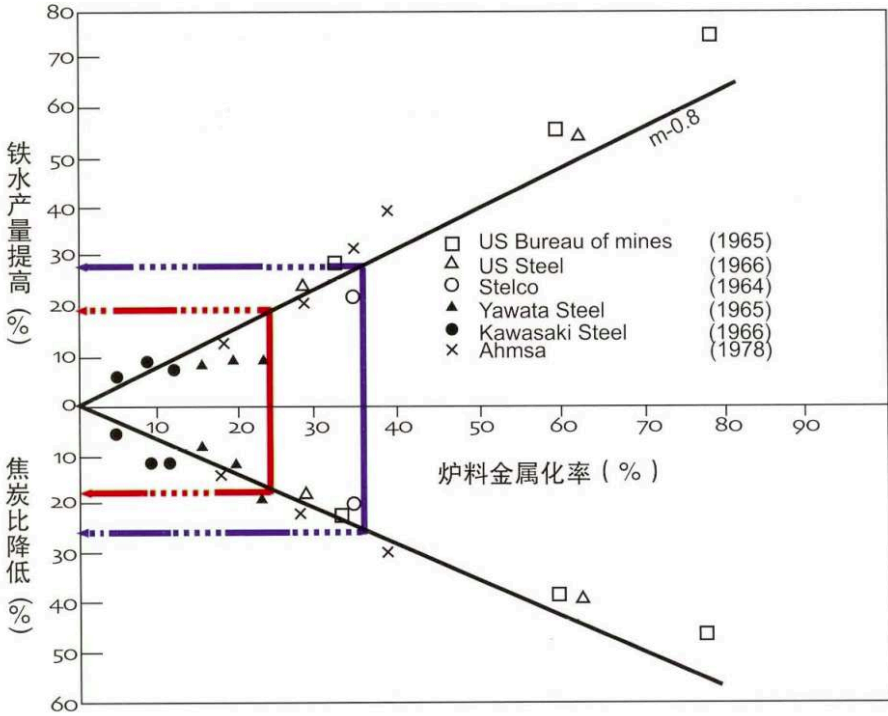
图10 高炉中直接还原铁装料对煤粉喷射消耗量的影响
 恒定焦比



分析案例

选项2) 提高高炉中的铁水生产率, 不仅可降低消耗率及二氧化碳排放量, 还可节省生产成本。用直接还原铁和热压铁块作为高炉的原料已经在世界各地的工厂中得以实施, 并形成相关的分析其影响的报告 [3]、[4]、[5]。图11所显示的是高炉产能所受的影响。

图11 直接还原铁装料对高炉生产率的影响



US bureau of mines, US steel, Stelco, Yawata steel, Kawasaki steel, Ahmsa 依次是: 美国矿务局, 美国钢铁, 加拿大钢铁公司, 八幡钢铁公司, 川崎钢铁公司, 墨西哥高炉钢铁公司

总之, 从上述分析可以看出, 一般而言:

- 铁水产量增加; 炉料金属化率每提高10%, 铁水产量增加8%。
- 焦比更低, 炉料金属化率每提高10%, 焦比约降低7%。
- 对于23-38%的直接还原铁装料, 产量分别增加20-28%。

对于综合性钢铁厂而言，以下因素将对其生产产生重要的影响：

- 焦炭和废旧钢铁的供应日渐趋紧，价格也会不断地攀升。
- 根据《京都议定书》的规定和商业规则，关于二氧化碳排放方面的环境限制可能会对各钢铁厂的经济效益产生影响。为保持钢铁厂的良好运行，必须采取相关措施来解决这些问题。通过调整当前钢铁厂的废气处理方式，改变以往的将废气用于发电，取而代之的是用废气生产附加值更高的直接还原铁。这样不仅可以降低化石燃料的消耗量，而且还可以降低二氧化碳的排放量。如果采取以上措施，那么非选择性的二氧化碳排放将降低23-34%。

在综合性钢铁厂建立一个直接还原车间，可以结合其具体的情况取得不同的收益。通过全文的分析，主要有以下好处：

- 如果用直接还原铁代替废钢作为转炉的原料，那么可使粗钢产量增加15%。
- 如果把可用的焦炉煤气/转炉煤气作为直接还原铁的原料，那么铁水的产量将会增加28%（每吨铁水可带来和喂入380公斤直接还原铁）。
- 对于有效地利用焦炉煤气而言，生产直接还原铁比发电更具经济效益。

参考文献

- [1]. - 《采用直接还原炼钢工艺在小型钢铁厂和综合性钢铁厂中的优势》，Duarte P.著，SEASI 2004，马来西亚吉隆坡。
- [2]. - 《生产直接还原铁不仅可以最有效地利用综合性钢铁厂的一次能源，而且还可以降低钢的生产成本和二氧化碳的排放》16-20页，Duarte P.、Knop K.、Zendejas, E. 和Gerike U.等著，METEC会议03，Düsseldorf，2003年。
- [3]. - 《为什么生产直接还原铁已经成为高炉运营商的一种极具吸引力的选择》43-49页，Becerra J.和Yañez D.著，国际钢铁出版社，1980年2月。
- [4]. - 《使用海绵铁作为高炉的原料》，Celada J., Quintero R.和Quiroga M.著，钢铁工程师协会1979年年会，俄亥俄州克里夫兰市，1979年9月。
- [5]. - 《Middletown三号高炉每天9吨/100立方英尺W.V.的持续生产》，Kercsmar D.、Yamauchi Y.、Dibert W.和Kleather J.，炼铁会议纪要443-450页，1994年。
- [6]. - 《在综合性钢铁厂生产和使用直接还原铁的技术和经济效益分析》49-53页，Duarte P.，Knop K. 和Zendejas, E.著，新千年钢铁，2004年。

MEXICO

Av. Eugenio Clariond Garza 155
Col. Cuauhtémoc San Nicolás de los
Garza, N.L. 66452 Mexico
Tel. (52 81) 8865-2801
Fax (52 81) 8865-2810

北京

地址：北京市朝阳区霄云路36号国航大厦1305室

电话：+86 10-8447 5656 (8条线)

传真：+86 10-8447 5858

E-mail: chen.jie@techint.com.cn