

41794

攀枝花资源 综合利用

(直接还原译文辑)

攀枝花资源综合利用情报网

一九七九年十二月

I.13

TF 111.13
1

直接还原译文辑

目 录

一九七九年八月

1978年最新的依尔法.....	(1)
米德雷克斯直接还原法的现状和发展.....	(12)
将来有可能实现的水上直接还原工厂.....	(21)
高压竖炉的数学模型.....	(32)
烧结成块和直接还原——一对技术共生体.....	(34)
米德雷克斯直接还原法的技术现状.....	(41)
现代化的米德雷克斯直接还原技术和革新.....	(50)
海绵铁的等效金属化率.....	(57)
锡德伯克—多斯科直接还原设备投产四年后的情况.....	(70)
阿根廷达尔米内西德卡直接还原.....	(78)
改变着的钢铁工业结构.....	(88)
米式 600 型直接还原厂实验初步总结.....	(97)
汉堡钢厂的技术数据.....	(116)
吉尔摩钢铁公司钝化产品试验堆实验.....	(122)
依尔法直接还原铁球团矿的贮存和运输.....	(140)
直接还原铁的贮存和运输辅助系统的设计.....	(147)
煤气化制气的米德法直接还原.....	(156)
用气化煤生产氨和直接还原铁.....	(161)
直接还原对钢厂的意义.....	(168)
炼钢用的海绵铁.....	(184)
大量使用海绵铁压块的氧气顶吹转炉的操作和冶炼.....	(190)
直接还原铁——钢铁铸造车间的新炉料.....	(202)
球团矿炉料在汉堡钢厂的使用.....	(208)
直接还原铁在各种钢铁生产装置上的使用.....	(221)
使用海绵铁的电弧炉炼钢.....	(235)
海绵铁的熔化和精炼.....	(253)

V-8/22



A791883

1978年最新的依尔 (HYL) 法

R. G. 昆特罗

概 述

HYL 直接还原法在 20 多年前发展起来, 它开辟了直接还原法的工业性生产阶段, 对炼钢来说, 已经证明它是一个经济的、有效的和可靠的方法。

自从它问世以来, 已经进行了相当大的改进。由于设备设计和工艺过程本身的革新, 能量消耗已减少到最初所需量的 50% 以下。

就包括天然气和电能的能量成本而言, HYL 方法已成为最经济的直接还原法。

在 90% 以上的工厂, 作业率超过了 95%, 这对于任何工业设备来说, 都是很突出的。

海绵铁的稳定性是很好的。试验指出, 假如海绵铁是冷的并贮存在遮盖物之下, 可以长期贮存而无任何再氧化的危险。就是在露天贮存时, 不需专门的钝化处理, 也不需要通惰性气体的特制的贮存容器和仓库, 其再氧化程度被证实是很低的。这个特点为向海外装运提供了安全而可靠的条件。

由于直接还原过程是固定床这一特点, 产生的粉料量很少, 容许这些粉料和其他原料一起直接装入电炉, 因此在直接还原装置之后不需设置筛分工序, 所以免除了筛分和压块的成本费用。

这个工艺过程已发展到经济地使用除天然气以外的还原剂, 如转化石脑油或轻质碳氢化合物、气化煤和气化石油, 以及使用无需任何转化设备的焦炉煤气的新工艺。

产品很适于炼钢。除了用于碳素钢的生产是最经济的以外, 其他的用途已发展起来, 例如用于电炉和化铁炉的铸造方面。

HYL 产品的一个新的用途是用于高炉, 用适当数量的海绵铁作为提高生产率和降低焦比的一种手段。这对于有高炉的联合企业, 显然是一种扩大生产的好方法。

本文旨在介绍上述 HYL 工艺的特点, 以及对工艺过程经济情况的全面评价。产品的性质及其应用也要探讨, 其中包括当量金属化率的概念。

工 艺 过 程 说 明

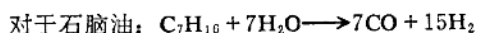
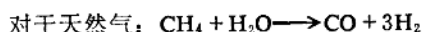
a) 转化部分

论述这一工艺过程的一些文献早已发表^[1,2], 因此, 在这里仅作一梗概的介绍, 重点放在还原剂方面。

在 HYL 过程中, 使用的是含氢和一氧化碳很高的还原性气体, 它可以用几种方法获得, 其中一种是触媒转化天然气, 天然气和水蒸汽在进入转化炉之前混合。

虽然很多已生产和正在进行建设的 HYL 工厂是用天然气, 但其他可能使用的原料是蒸汽转化丙烷、丁烷和石脑油。赞比亚已买到一套用石脑油生产的 HYL 工厂。

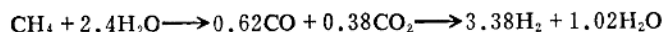
用蒸汽转化这些物质可用下列两个化学反应式表示:



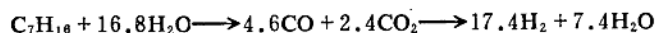
这些反应是吸热的, 因此需要热量和镍基催化剂。

在工业性生产中, 需要的蒸汽量比上述化学反应计算的要多, 过剩的蒸汽量用以防止碳的形成和延长催化剂的寿命。实际的转化过程可用反应式表示:

天然气转化:



石脑油转化:



从这些气体中回收水蒸汽后, 结果提高了氢的含量, 氢是非常活性的还原性气体。

该系统所需要的转化炉是由一组不锈钢钢管组成, 其中装填有镍催化剂, 并且使用过程中产生的“尾气”燃烧, 进行外部加热, 即利用“尾气”的余热作为燃料。原料气的成份可以有较大幅度的变化。原料气在工厂入口处要通过一个脱硫装置, 因此允许其原料气有较高的含硫量。

其他的气源:

至今, 工业实践主要是建立在天然气转化的基础上。近几年来, 天然气的成本有很大的提高, 因此促使寻找其他的气源来生产还原性气体。经研究发现了两种可供选择的气源:

——气化煤

——燃料油的部分氧化法

任何一个较好的工业性气化法或部分氧化法工艺都能适用于 HYL 工厂。

第三个可供选择的方案由一个全新的系统组成, 它在技术研究、小规模试验和工业性试验研究的基础上发展起来, 该系统用未经转化的焦炉煤气进行还原。这个新的方案, 使煤气直接来自焦炉, 经过清洗和脱硫, 然后送入还原装置。煤气中的甲烷(22~25%), 大多数在 HYL 工艺过程的逐级还原阶段中被转化。这一过程的尾气中未转化的甲烷被富集后作其他用途。将未经处理的新鲜煤气加入尾气后作为煤气和空气予热器的加热之用。

该工艺过程的尾气在离开直接还原工厂后, 仍有相当数量的发热值, 因此用其他燃料使其再次富化后, 用于板材加热炉中。使用这个方案, 直接还原所需的净能耗大幅度下降(减少30%)。这个新方案的投资总额与通常的直接还原工厂相比, 是大大的减少了。

b) 还原部分

HYL 工厂的还原部分是由 4 个反应

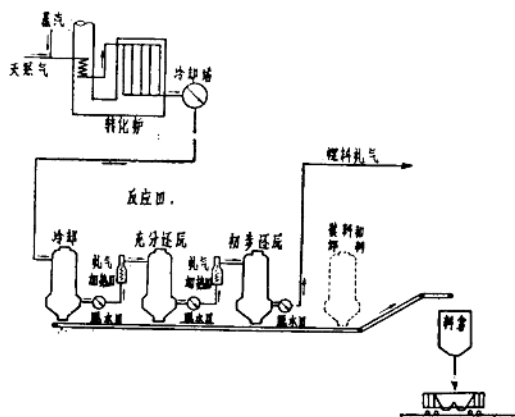


图1 HYL工艺流程示意图

器组成一套还原装置，其中有3个反应器是连贯操作，第4个则进行卸料和装料操作，如图1所示。

矿石的还原是分两步来完成的，第三步则是使炉料冷却和碳化，每一步大约进行3小时。第一步是加热和初步还原，即炉料刚加入之后，产生第一次还原作用。第二步是对炉料进行充分的还原，第三步使原料达到金属化的要求、完成碳素沉积和产品的冷却，以便输出适于贮存或直接送到熔炼车间的稳定性产品。产品从第4个反应器卸出后，重新装料，这时有一空隙时间，可供反应器小修之用。

一组阀门系统使反应器能按任何要求的程序连接，以便使任一反应器都处于适当的反应阶段。还原气体流动的方向与铁矿石相反。新鲜还原气首先用于处在冷却阶段而随后要卸料的反应器中，然后还原气体流到正进行充分还原的反应器，最后，还原气体通过刚装完料而处在初步还原阶段的反应器。

过程煤气在进入反应器还原之前首先要先在换热器内加热，然后使未转化的碳氢化合物与喷入的少量空气在反应器入口的燃烧室内燃烧。

由于还原反应要生成水，所以还原气在离开反应器时要冷却，除掉其中的水份。

过程“尾气”被用来加热转化炉和换热器。转化炉的废气用以生产蒸汽，供工艺过程使用 and 驱动蒸汽透平，这样可以减少或甚至不需要电能。

HYL法的还原温度有可能最大限度的满足矿石的固态还原，还原温度超过1000℃以上。这样的还原温度是现有任何一种直接还原法中最高的。这能提高含氢很高的还原气的利用率。这样的高温还有一个重要的优点，产品一旦冷却和卸料后，比低温还原下生产的产品有较好的稳定性。

c) 碳素的沉积

碳素沉积发生在冷却阶段，并且主要发生在产品的温度处于“碳化范围”内，即550℃左右。

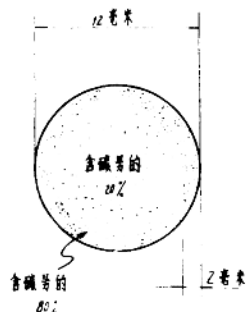


图2 HYL海绵铁内碳的分布

在这样的温度下碳以 Fe_3C 的形式沉积，形成一个“渗碳壳”，保护产品不遭受再氧化，这是最重要的优点。

当温度处于碳化范围时，含碳量的多少可由控制冷却速度来达到。假如要将碳控制在很低的水平，工厂须提供一个与另外管线相连的专门装置，用控制冷却气成份的方法，使产品冷却，从而获得所希望的任意含碳量。

碳的成份很重要，在HYL海绵铁中，95%以上的碳呈 Fe_3C ，并主要集中在表层。从图2可看出，大约80%的沉积碳是集中在2毫米左右的表层中。

任何HYL工厂都能准确地使产品碳化，当含碳量控制在1.0~2.5%时，同金属化率无关。

HYL 工 厂

a) 生产能力

HYL工厂建设一套HYL还原装置，年生产能力为10~70万吨，若生产能力要扩大一倍

或二倍，则需建设两个或三个 HYL 工厂。

一套还原装置的工厂，其基本生产能力为年产 10 万吨、25 万吨、42 万吨、52.5 万吨和 63 万吨（金属化率 85%）。这些基本能力可以作些变更，以适应买主的需要。

1977 年 5 月在墨西哥的普埃布拉投产了一座 HYL 工厂，年产能力 70 万吨，已满意地超过了它的设计能力。

b) 金属化率和生产率

由于金属化率同还原气和铁矿石的接触时间有关，所以金属化率的高低可以用控制周期时间来很好的控制。HYL 工厂能满意地使金属化率控制在 83~94% 的范围内。

反应器顶部到底部金属化率相差 2~3%，俟反应器卸料后，这个差值减少到 1% 以下，取得这一优越性是在于产品在卸料过程中物料流动的形式使之自然混合。

HYL 工厂的生产率与金属化率有直接关系。所有工厂生产的产品都保证金属化率为 90%（HYL 金属化率的测定是采用氯化汞法，它比用溴甲醇法测定的结果大约少 2%）。金属化率随周期时间的减少而降低，结果使生产率得到提高。假如沉积碳素能够增加，则减少金属化率是有益的，这样便生产出一种“平衡”海绵铁，含碳量补偿了产品中多余的 FeO ，这点将在后面阐述。

在一定的范围内，金属化率每减少 1%，产量增加 1.8%，其中 0.6% 为金属铁，1.2% 是以 FeO 形式存在的部分还原铁。工厂产品中金属化率的减少，意味着金属铁产量和 FeO 的增加。

生产率的增加意味着操作成本的下降。由于工厂是在同样的煤气总耗量、同样的电力、同样的人力、同样的财务成本下操作，所以成本的降低同产量增加的百分数相似。

这个结果可从表 1 看出。表 1 为依尔公司普埃布拉二厂在 1977 年下半年的有代表性的成本。

c) 能量消耗

HYL 工厂的能量消耗不断的改变，使工艺过程变得很经济。在工艺过程发展的最初阶段，20 多年前建成并仍在生产的“第一代”工厂中，还原气的使用和价格不能充分说明需要安装昂贵的高效率炉子和余热回收装置的正确性。随着能源成本的增加，配备了更多的高效率设备，使还原气耗量减少到最低限度。

HYL 厂的设计相当灵活，完全适应个别地方或国家的“能量价格结构”。在热能和电能之间转换利用，能得到最低的合理成本和总能耗。这种灵活性是 HYL 厂独一无二的，普埃布拉二厂是一个典型的设计例子。

当热能比较便宜而电能昂贵时，工厂可以设计有生产自己所需电能的设备，它是用转化炉对流段中产生的蒸汽作动力。在普埃布拉新厂的情况下，热能的消耗量是每吨产品 380 标米³ 天然气，相当于 3.4 百万大卡。这个厂不仅电力自给，而且还有大约 2500 千瓦的过剩电力输给别的单位，象过剩蒸汽一样供炼钢企业使用。

假如每吨产品用大约 70 度的外部电能，在此情况下煤气消耗量将减少大约 0.2 百万大卡/吨，达到每吨产品热耗 3.2 百万大卡，但最初的投资稍有增加。

投资和操作成本间的关系也是这样。在煤气很贵的地方，如欧洲和日本，这个工厂应配备附属的余热回收装置，虽然开始的投资稍有增加。但由于输入大约 70 度/吨的电能，使热能消耗每吨产品减少大约 0.4 百万大卡，达到每吨产品热耗 2.8 百万大卡。表 2 示出不同情

表1 依尔公司普埃布拉二厂成本

	单位成本 (美元)	金属化率85%		金属化率90%	
		每吨成品的消耗量	成本(美元)	每吨成品的消耗量	成本(美元)
氧化球团/吨成品	33.50	1.32	44.20	1.35	45.30
生产成本:					
天然气(标米 ³ /吨)	0.0119	382	4.55	414	5.00
电 能(度/小时)	0.016	0	—	0	—
水 (米 ³ /吨)	0.010	1.85	0.02	2.02	0.02
人 力					
生产(人·小时/吨)	1.50	0.12	0.18	0.13	0.20
维修(人·小时/吨)	1.50	0.14	0.21	0.15	0.23
管理和其他			0.24		0.26
原料和其余部分			0.90		0.99
合计生产成本:			6.10		6.70
折旧(20年)			4.00		4.40
每吨成品的总成本			54.30		56.30
当金属化率85%时,多用9%的海绵铁而减少购买废钢的成本校正(1):					
由于增加海绵铁以补充铁量,因而减少购买废钢的资金	85	0.079(2)	-6.70		—
多用9%的海绵铁所需氧化球团的成本	33.50	0.120(3)	+4.00		—
海绵铁的当量成本			51.60		56.30

(1) 在综合性的HYL厂熔炼车间,当金属化率为85%时,允许比90%的金属化率时多使用9%的海绵铁,这样,将少购买外来废钢。

(2) 增加使用9%的海绵铁,产生 $0.09 \times 0.88 = 0.079$ 铁量。

(3) 增加使用9%的海绵铁,需 $0.09 \times 1.32 = 0.120$ 吨的氧化球团。

表2 HYL 厂的 能 量 消 耗

	煤 气 便 宜 时		煤 气 昂 贵 时	
	百万大卡/吨	度/吨	百万大卡/吨	度/吨
本厂发电供给所需电能	3.4	0	3.0	0
使用外来电能	3.2	70	2.8	70
多数设备通过蒸汽透平驱动	3.6	10	3.2	10

况下的能量消耗。

d) 原料

HYL 法已生产了 20 多年, 积累了 60 多个工厂历年的经验, 在这期中使用了各种原料。

HYL 厂有 13 年仅用块矿生产, 其效果良好。1970 年依尔厂开始使用本厂造球车间生产的球团矿。

使用球团矿一个好的方面是除去了铁矿石中的部分脉石, 对于直接还原工厂, 特别是对电炉熔化来说, 节省大量的能耗, 能量消耗在很大程度上随脉石含量的增加而增加。同块矿相比, 使用球团矿是否适当主要取决于矿石中脉石含量和选矿工艺是否基本上是经济的。

在直接还原工厂和熔炼车间, 使用一些脉石含量与球团矿一样低的块矿, 能达到比用任何一种加工原料都好的效果。这是巴西的 Vsiba HYL 厂 1977 年上半年的情况。

在依尔工厂中, 用块矿和球团矿的混合物进行生产的几个试验已经完成。当用低脉石块矿时 (4%), 对生产率无影响; 假如用脉石含量高的块矿 (10%), 而又有一个好的矿石分级装置和化学分析, 生产率仅下降 10%~12%。随着混入球团矿里块矿量的增加, 生产率以图 3 所示“次线性”方式下降。

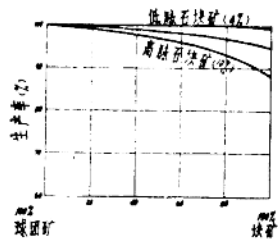


图3 块矿量对生产率的影响

由于 HYL 厂的过程煤气在通过铁矿石之后, 不再循环回到转化炉, 因此原料中的硫将不会被转化了的煤气送回转化炉, 也就没有毒化触媒的危险存在, 从而允许原料有较高的含硫量。

e) 工厂效率

由于 HYL 流程固有的特点, 工厂很容易获得高效率。

在总的时间内, 一般的效率是在 90% 以上, 甚至有达到 95% 以上的数值, 它主要的优点如下:

——转化炉的操作均匀。转化炉的操作一年内稳定不变: 温度、压力和流量不需要随时变化。为使操作更加均匀, 过程煤气不通过转化炉进行循环, 以延长管子和触媒的寿命。转化炉部分, 有代表性的效率在 98% 以上。

——固定床。由于还原炉没有移动部件, 所以很少有可能存在停工的时间。

——节约维修时间。在还原阶段中仅有 3 个反应器在连贯操作, 一个处于程序之外进行装料和卸料。由于装料和卸料正常的操作时间不大于 1.5 小时, 所以一天有两次时间适于进行小修, 3 小时用于煤气预热炉和冷却塔, 1.5 小时用于反应器。这保证了每天均有高效率的维修, 显著地减少了厂里机械设备事故。

——用 3 个反应器操作的可能。当一套还原装置中 (煤气预热炉、反应器和冷却塔) 任一个需要检修而又比上述的检修时间长时, 这一套装置可以保持在程序之外, 而工厂仍能由 3 个反应器操作。此时生产能力仅下降大约 15%。

f) 工厂投产和操作数据

HYL 厂的投产可在短期内完成。在蒙特雷的 3M 厂仅用 9 天就达到全负荷能力。普埃布拉的二厂, 产品的一半输出, 它于 1977 年 5 月投产, 由于增加输出量保证了市场的需要。从 1977 年的生产数据可以看出, 这个厂的生产水平已超过设计能力, 如表 3 所示。

对 HYL 工厂操作情况可以作一个总的说明, 即现已生产的全部工厂的产量都能达到和

超过它们的设计能力。在蒙特雷于1957年建成的“第一线”1M厂，生产了20多，年且并一直在超过设计能力26%以上的情况下，进行有效的生产。

表3 普埃布拉HYL二厂操作数据

	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	下半年 平均值
平均日产量 (吨)	1342	1516	1558	1737	1752	1700	1781	1787	1719
金属化率 (%)	83.6	85.6	85.8	84.8	87.1	86.3	86.5	86.2	86.1
当月金属化率水平 下的额定产量(吨/日)	1742	1680	1675	1706	1635	1660	1654	1663	1665
平均产量/额定产量(%)	77.0	90.2	93.0	101.8	107.2	102.4	107.7	107.5	103.3
煤气消耗量(标米 ³ /吨)									
实际	461	432	406	392	391	376	387	392	390
按85%金属化率校正	472	427	400	393	376	367	376	383	382
含碳量 %	2.46	2.49	2.68	2.61	2.58	2.44	2.52	2.57	2.56

HYL 产 品

a) 技术要求

HYL 海绵铁的一般技术要求是：

——金属化率，即金属铁与总铁量之比。如前所述 HYL 的这个参数控制在 83~94% 之间。

——含碳量。HYL 产品的含碳量精确地控制在 1.0~2.5%，并且以 Fe_3C 形式（95% 以上）主要沉积在表面层。

——当量金属化率，即金属化率加碳的金属化能力，正如将在后面所述那样，可用 $M + 6 (\%C)$ 表示。在 HYL 产品中，当量金属化率控制在 88%~109% 之间。对于碳素钢的生产，最佳值的 98~99%。

——脉石含量。它取决于入炉的原料成份。当使用球团矿时，石灰粘结剂比酸性粘结剂好，这可使熔炼车间的能量消耗减少（在炉内附加较少量的石灰是需要的）。

——筛分分析。粒度组成取决于入炉原料的脆性。在一般情况下，由于 HYL 过程是固定床这一特性，因此本装置生产的产品的粉料量是很少的，在原料条件相同的情况下，大约为移动床工艺流程产生的粉料量的三分之一。

用优质球团矿作原料时，小于 3 毫米的粉料量有代表性的数字是 2~3%。在依尔厂，这个大量约是 2.5%。用 ALzada 球团矿生产的海绵铁的典型筛分分析列于表 4 中。HYL 过程粉料量的产生与金属化程度无关。

由于产生的粉料量很少，无需筛分和压块。这样的海绵铁可以不用任何筛分操作直接装入电炉，这就节约了用粉料压块的时间、设备和能量消耗。

——物理性能，取决于原料的物理特性。一般情况下，对于优质球团矿而言，海绵铁的落下指数应低于 5%，而已还原料的典型物理强度只相当于氧化性球团的 1/5~1/6。

表4 HYL海绵铁在两种金属化率水平下的典型物化性能

化 学 性 能			
金属化率		85.0%	90.0%
当量金属化率		98.0%	98.0%
全铁量		67.9%	89.9%
脉石量		4.2%	4.3%
石 灰(附加)		1.9%	1.9%
氧		3.8%	2.6%
碳		2.2%	1.3%
物 理 性 能			
堆 比 重		1.6吨/米 ³	
似 密 度		2.6吨/米 ³	
抗 压 强 度		50公斤	
粒级:		+ 3/4"	1 %
	- 3/4"	+ 1/2"	60%
	- 1/2"	+ 1/4"	52.5%
	- 1/4"	+ 1/8"	3.5%
	- 1/8"	+ 28网目	2.0%
	- 28网目		1.0%

b) 稳定性

这个问题在以前发表的文章中已详细地予以说明^{3,4}。一般说来, HYL 产品在冷的和干燥的条件下是稳定的, 产品从工厂卸出后不需钝化处理, 周围的湿度对它没有影响, 但应避免与水直接接触。

从已作的关于确定产品稳定性的一些试验结果中看出, 假如产品是干燥的, 露天贮存只要它的初温在 150℃ 以下, 它既不再氧化, 温度也不上升, 而是逐渐冷到常温。在初温低于 100℃, 并且最好是低于 90℃ 时, 不管贮存的方法如何, 产品将不会再氧化。

当产品需要长期贮存时, 全部产品的温度都应低于送去贮存之前规定的温度。

从经常观察安全生产的情况来看, 为达到安全而可靠的生产, 推荐的安全贮存温度为 65~70℃。

几种别的测定 HYL 海绵铁露天贮存时稳定性的试验方案已经进行。最后一个方案是在 1977 年第 4 季度完成的。

最切合实际的试验是堆积几个由连续卸料形成的 6 米高的成品堆, 一组热电偶装置安放在堆里, 严密地监测不同地点和不同水平高度的温度规律。这个由不同温度的海绵铁形成的堆, 最高温度为 75℃。

在实验的 52 天中, 尽管有些天下了一些雨, 但每个热电偶的读数都逐渐下降。几天之后, 温度没有更多的变化, 所有的读数都达到周围环境的温度, 然后将这个堆拆掉, 取样作金属化率的分析。测定结果, 除表面层以外, 金属化率没有显著的下降, 而表面层金属化率

减少了5~10%。通过称量并计算得到整堆产品的金属化率平均减少0.8%。

通过试验已看出,即使把产品露天贮存,产品也具有高度的稳定性,但把产品置于有可能因下雨而变湿的这种状况下是不合理的,因为潮湿的产品将影响电炉的操作。

c) 运输性能

HYL 海绵铁是一种适用于火车、卡车或船运输的产品。

已有 50 多万吨的产品用不同的方式运输:

——巴西与欧洲之间用船运。

——墨西哥与美国之间,以及墨西哥国内用火车运输。

——在墨西哥和巴西国内用卡车运输。

另外有一些文章详细地叙述了运输方面的经验^[5,6]。在这方面 HYL 有丰富的经验^[3]。

产 品 的 应 用

a) 钢的加工

HYL 产品主要用于生产碳素钢,即深压延和超深压延的板材或非板材。从已生产的1千多万吨 HYL 产品中生产了1千5百万吨以上的钢,这些钢生产了9百万吨以上的钢材。

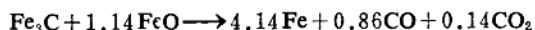
已销售 40 万吨以上的 HYL 海绵铁给巴西、西班牙、意大利、美国和墨西哥等国的非钢铁联合企业用户。

经过 20 多年炼钢的实践,依尔发展了几种技术工艺过程和生产操作,并从海绵铁的应用中获得了最大的利益。

b) 当量金属化率

几篇早期发表的文章清楚地阐述了依尔炼钢车间的操作^[7,8]。这些操作中最重要概念是关于 HYL 海绵铁组成的特点,它的含碳量主要以 Fe_3C 形式存在,可以认为,这是电炉中的一种还原剂,能减少海绵铁中残余的 FeO 。

无论在实验室或是在工业规模的试验中,都已证实了在电炉熔炼期间,这些碳同海绵铁中的残余氧发生反应而生成 CO 和少量 CO_2 。事实上,最能代表炉内实际反应的反应式是:



从这个反应式中可以看出,1克分子的碳还原1.14克分子氧化亚铁中的铁,或者1公斤碳还原 $\frac{1.14 \times 55.85}{12} = 5.32$ 公斤 FeO 中的 Fe ,若产品含铁约 88~89%,折算成产品重量

百分数,则1%的碳还原 $\frac{5.32}{0.88} \approx 6\%$ 海绵铁中的铁。这种碳素的“金属化能力”导致“当量金属化率”一词^[10],即是说一般的金属化率加6倍海绵铁中碳的百分率,或者用下列方程式表示:

$$\text{当量金属化率}\% = \text{金属化率}\% + 6(\text{C}\%)$$

在当量金属化率为 98~99% 之间时,海绵铁被认为是“平衡状”。这意味着,有足够的碳量还原海绵铁中残余的氧化物,剩下的 FeO 刚好是成渣所必需的 FeO 含量,同时,根据第一次化验也须加必需的碳量至熔池中。较低的当量金属化率意味着有过多的 FeO 量,在电炉内需要补加相应的碳量,在此情况下,碳的利用率是低的。较高的当量金属化率意味着

必须在炉内追加氧或氧化性球团矿，结果成本较高，并带来操作上的问题。

从熔炼车间这个角度看，金属化率 90% 和含碳量 1.5% 的海绵铁，与金属化率 85% 和含碳量 2.3% 的海绵铁一样，是“平衡状”的海绵铁，它们是等效的。

C) 海绵铁熔炼的实际研究

许多 HYL 厂均使产品的最低金属化率维持在 90%。但是，有一个 HYL 厂用较低 的金属化率，当采用适宜的操作方法后，发现了一些经济上的优点，可归纳如下：

直接还原工厂：

——如前所述，增加产量 9%，相应地节约了生产成本。

熔炼车间：

——由于形成较多的 CO 和 CO₂，发生非常猛烈的沸腾作用，结果使钢的组织均匀而纯净。

——由于泡沫炉渣的隔热作用，使炉子获得较高的热效率。热效率的增加补偿了炉内完全还原理论上需补加的能量消耗。因此，熔炼金属化率为 90% 和含碳 1.5% 的海绵铁与熔炼金属化率为 85% 和含碳 2.3% 的海绵铁的能量消耗大致相等。事实上，根据炉子的大小和熔炼的实际情况，在炉料中海绵铁占 70% 时，使用较低金属化率的海绵铁，每降低 1% 的金属化率，能量消耗只高 0~2 度/吨，而理论上这个数值是 7 度/吨^[8]。

——由于泡沫渣的密度小，海绵铁连续加入有较好的穿透性。

——由于泡沫渣的保护，使炉墙和炉顶免于电弧的辐射，因而耐火材料的寿命较长。

——将金属料加至炼钢炉中时，由于光亮点温度较低，减少了挥发的损失，因而产量较高，炉料中海绵铁的百分数与产量的关系见图 4。

——由于在电极周围生成了 CO，减少了电极圆柱形表面的氧化作用，故电极消耗较低。

——由于对炉墙的辐射较小，允许采用超高功率的电炉，从而减少了炼钢时间。

——熔池被渣覆盖，对炉顶和炉墙没有剧烈的辐射作用，允许在较长的时间里连续加入海绵铁。这可使熔炼期和精炼期相重叠，缩短了炼钢时间，关于这部分操作的完整的分析研究已在早期发表的技术文献中^[8]由塞兰得先生作了充分的阐述。

d) HYL 海绵铁的其他用途

在墨西哥国内，已销售了 10 万余吨海绵铁，作为各种用途已在不同类型的炉子上使用，例如：

——在电炉内将海绵铁加工成含碳量为 2.3~3.8% 的铸造铁，可锻铸铁和球墨铸铁。

——在化铁炉内，生产含碳 3.0~3.5% 的铸造铁。

这些铸造厂的经验是极好的，成本大幅度下降而生产大幅度上升。用电炉制造球墨铸铁和铸造铁时，随着炉料中海绵铁达到 40%，产量则增加 15%，同样，在小型化铁炉中，当炉料中海绵铁量达 50% 时，产量增加 20%。大大地节约了为增加生产所需铁屑而消耗的费用。

海绵铁作为高炉原料是一个新的用途。刚完成了一个试验计划，在墨西哥 Altos Hornos

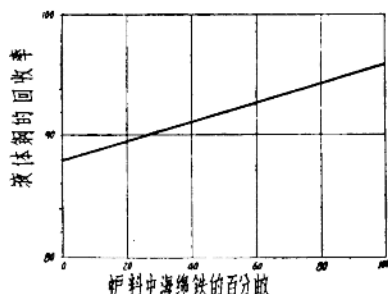


图 4 炉料中海绵铁的数量对钢产量的影响

厂的高炉上已用 4 万多吨的海绵铁作为高炉的原料, 这是墨西哥最大的一个钢厂, 用它作为提高高炉产量和降低焦比的一个方法。

在块矿、烧结矿、氧化性球团和海绵铁组成的炉料中, 加入海绵铁的比例为 15%、25% 和 35% (以金属料而论, 金属铁分别为 18%、28% 和 38%)。高炉冶炼的效果很好, 超过了在其他地方进行并发表的那些试验结果^[11,12]。

产量增加 30% 以上, 焦比也相应的降低。

用海绵铁代替废钢作为顶吹氧气转炉的冷却剂的小规模试验也完成了。

用于试验的海绵铁已达总炉料量的 24%。一个新的工业性试验已初步开始, 并获得了工业生产所需的代表性数据。

这些海绵铁的新用途, 以及焦炉煤气作为能源用于 HYL 工厂, 被认为是扩大具有高炉和焦炉设备的联合企业生产的最经济的方法。

结 论

1978 年最新的 HYL 技术工艺可扼要简述如下:

- a) 生产能力: 工厂具有一套或几套还原设备时, 年产量达 10~70 万吨。
- b) 还原气体可使用转化了的天然气或任何轻质碳氢化合物, 也可用气化煤或气化油, 或直接使用焦炉煤气作为还原性气体。
- c) 能准确地控制金属化率和含碳量, 使二者相适应, 成为“平衡状”的产品。
- d) 能量消耗低于 3 百万大卡/吨。
- e) 能使用各种铁矿石为原料, 如球团矿、块矿或它们以任意比例组合的原料。
- f) 工厂的作业率一般高于 90%, 甚至能达到 95% 以上。
- g) 产生的粉料量最少, 这些粉料可不经筛分或压块直接入炉。
- h) HYL 产品是稳定的, 就是在露天贮存时, 产品稳定性也好。采用任何一种运输方式都是可行的。
- i) 对炼钢而言, HYL 产品有显著的特点, 由于生成气体产生的沸腾作用提高了热效率, 从而降低了成本和增加了产量。
- j) HYL 海绵铁可作为铸造厂、高炉和顶吹氧气转炉的原料。

现已生产的 8 个 HYL 厂的产量为 280 万吨。15 个新厂正在建设中, 年产量将增加到 1000 万吨。新的设计正在几个国家进行, 预计在不久的将来动工。

有关 1978 年 HYL 工艺的技术现状已作了介绍。鉴于持续的研究、工程的进展和改进、在直接还原和熔炼车间的操作实践、对签订厂家操作人员广泛深入的培训、以及技术援助组的准备等工作, 使 HYL 法成为炼钢生产的一个最可靠、最经济和最现代化的技术工艺。

参 考 文 献(略)

刘光谔译自《1978 年墨西哥依尔公司代表团访华技术交流资料》; 徐楚韶校

米德雷克斯直接还原法的现状和发展

Hans·Jürgen 等

本文简要地介绍了米法生产海绵铁的原理。综述了已投产和兴建中的米法工厂。以及对原料、煤气消耗、生产能力、设备使用和细粒处理等生产指标的探讨。

尽管几十年来人们就致力于各种铁矿石直接还原方法的研究，可是，直到最近几年才取得了明显的进展。现在，让我们来谈谈这种新的冶炼技术的大规模使用问题。

1977年终，世界上已投产的海绵铁生产装置的设备能力超过 1000 万吨。专家们估计，1980 年生产海绵铁的设备能力可超过 2000 万吨/年。在全世界的钢产量中，海绵铁的产量将由现在的 2% 以下逐年上升。用煤气作还原剂的这类方法要占很大比例。近年来，米法在总产量中所占的比例已超过 43%；现在可以说，米法是直接还原的主要方法。

米法直接还原的准则和所产海绵铁在炼钢工业中的运用已在过去作过详细的讨论。米法的基本流程在图 1 中再次作了描述。球团矿、块矿或两者的混合矿在竖炉的还原区被还原。炉顶气的一部分与天然气混合后送入转化炉。在转化炉中，天然气转化为由 H_2 和 CO 组成的还原气。在一个分离的循环系统中，海绵铁在竖炉的冷却区被惰性气体冷却到接近周围温度。

在米法中，实现了五项使过程更加完善的冶炼和操作技术的基本原则：

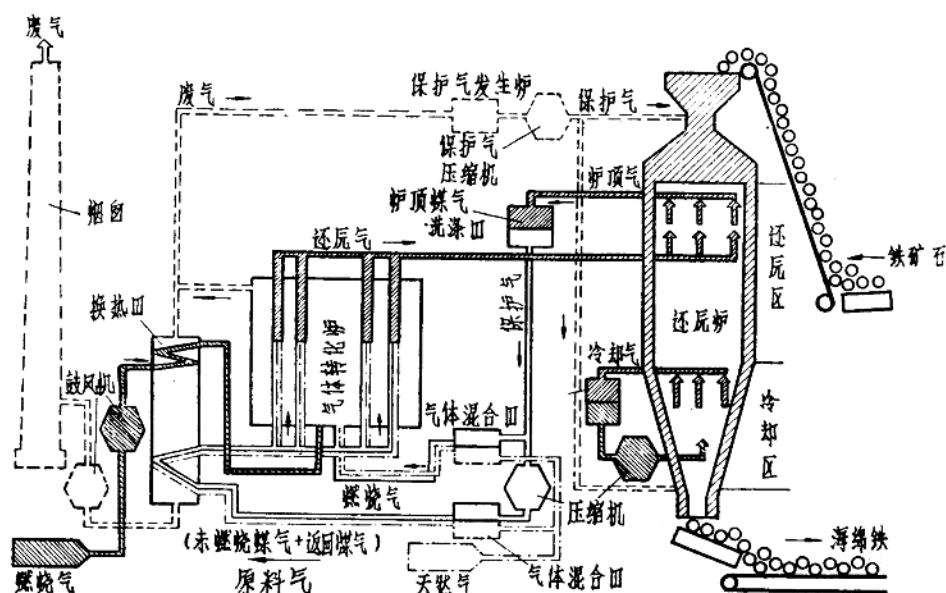


图 1 米德雷克斯直接还原法流程图（标准布置）

- 按对流原则还原;
- 炉顶气再循环和用气化势能裂化甲烷;
- 用转化炉废气的热量来预热各种气流;
- 按化学计算比例, 用 CO_2 连续裂化甲烷;
- 把产品冷却到接近环境温度。

最近几年, 这些原则的不断运用和继续发展, 使生产工厂取得了优异的生产结果, 并在世界上促进了更多的米法工厂的兴建和投产。

虽然米法的某些部分已在几十年前研究成功, 但大规模的运用还是从1969年开始。1965年, 在美国俄亥俄州的托莱多建了一座产量为1.5吨/天的试验装置后, 1969年在美国的波特兰(俄勒冈)就有两座年产量各为15万吨的米法装置投产。此后又于1971年在乔治

表1 投产和兴建中的米法直接还原工厂(1978年10月1日截止的情况)

序号	厂名	地址	系列	投产 (年)	设备 套数	生产能力 (吨/年)	还原炉 直 径 (米)	转化炉管	
								数量	直 径 (毫米)
已投产的有:									
1	俄勒冈铁还原厂	波特兰(美国)	200000	1969	2	300000	3.6	120	250
2		乔治城钢公司(美国)	400000	1971	1	400000	4.8	200	250
3	汉堡钢厂	西德汉堡	400000	1972	1	400000	4.8	200	250
4	锡德伯克-多斯科 I	孔特克尔克·魁北克 (加拿大)	400000	1973	1	350000	4.8	160	250
5	达尔米内	坎帕纳(阿根廷)	400000	1976	1	380000	4.8	180	250
6	西多尔 I	马坦萨斯(委内瑞拉)	400000	1977	1	400000	5.0	288	250
7	锡德伯克-多斯科 II	孔特克尔克·魁北克 (加拿大)	600000	1977	1	650000	5.5	320	250
8	卡塔尔钢公司	乌姆赛义德(卡塔尔)	400000	1978	1	400000	4.8	220	250
9	阿辛达尔	布宜诺斯艾利斯(阿根廷)	400000	1978	1	420000	5.5	220	250
兴建中的有:									
10	英国钢公司(BSC)	亨特斯頓(英)	400000	1978	2	800000	5.0	288	200
11	伊朗国家钢铁工业公司	阿瓦士(伊朗)	400000	1979	3	1200000	5.0	288	200
12	西多尔 II	马坦萨斯(委内瑞拉)	400000	1978	3	1280000	5.0	288	200
13	伊斯科特	利萨斯角(特立尼达和多巴哥)	400000	1979	1	420000	5.0	220	250
14	Federal Ministry	瓦里(尼日利亚)	600000	1980	2	1020000	5.5	360	200
15	北德铁厂	埃姆登(西德)	400000	1980	2	880000	5.0	288	200
16	OEMK	库尔茨克(苏联)	400000	1980	4	1670000	5.0	288	200

城和汉堡建了两座产量各为 1000 吨/天的大型装置。1977 年，加拿大又有一座设计产量为 2040 吨/天，即年产量为 65 万吨的装置投产成功（表 1）。

已投产的米法工厂

1978 年，已经有 9 个厂的 10 套装置投产。见表 1。

这些系列表明以 1000 吨/年为单位的设计计算值。实际的或预定的年产量可低于或高于这个值。通过入炉原料，个别设备构件的改变，通过操作方案和其它局部条件，例如在某些工厂中所规定的或已达到的设备年利用率的变化，是可以改变这个值的。

图 2a 中列出的工厂，设备总能力为 370 万吨/年。

美国波特兰俄勒冈钢铁厂有两套装置，还原炉直径为 3.66 米。1976 年，这个厂成功地建造了一套 Chemaire—钝化设备，有关问题不在这里详谈。

汉堡钢厂（HSW），乔治城铁还原厂（GFC），加拿大锡德伯克——多斯科厂，阿根廷达尔米内厂的装置，竖炉直径均为 4.88 米，并在技术设计上大致相同。汉堡钢厂和乔治城铁还原厂装置的转化炉生产能力，因在 1976 年把转化炉管数目由 160 根增加到 200 根（直径为 250 毫米）而有了提高。使这个装置的原设计能力从 1000 提高到 1250 吨/天。

委内瑞拉马坦萨斯的西多尔厂的装置属于第二代。除已轻易地把竖炉直径扩大到 5 米外，转化炉有直径为 200 毫米的转化炉管 288 根。此外，这个装置还装备了一套扩大了的热交换系统来预热过程气。因而，当海绵铁的金属化率为 92% 时，这个装置的煤气消耗下降到 10.7 千兆焦耳/吨海绵铁（2.55 千兆卡/吨）。

锡德伯克——多斯科 II 厂有一座直径为 5.5 米的竖炉，转化炉两座，每座有 160 根转化

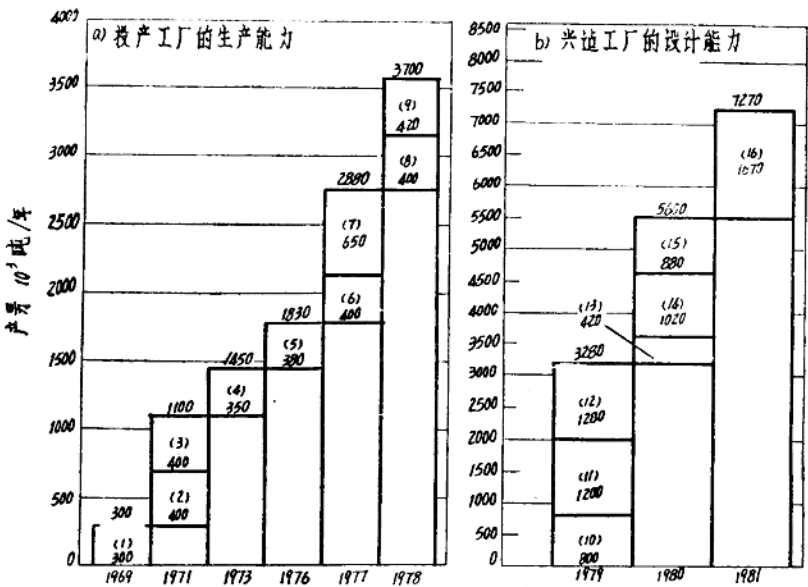


图 2 米法工厂的概况（1978 年 8 月 1 日为止的情况）

a) 已投产工厂的设备能力 b) 兴建工厂的设计能力（见表 1 中的序号）

管（直径为 250 毫米）。过程气经过同流换热器预热，使单位能耗下降到 10.7 千兆焦耳/吨（2.55 千兆卡/吨）以下。

波斯湾畔的卡塔尔库斯科厂的米法装置于 1978 年 8 月投产。它用海水热交换器代替了冷却塔对循环水进行回流冷却。这样，在炉顶煤气冷却器中每小时就会有近 10 米³的脱盐净水流出，并用此来弥补闭路循环中的损耗。这对那些必须用昂贵的海水脱盐设备来生产净水的国家是一个很大的发展。

1978 年 9 月投产的阿根廷阿辛达尔厂的米法装置是 400 型的。因为绝大部分是以矿石作炉料，所以竖炉的直径为 5.5 米。

兴建中的米法工厂

1978 年有 7 个米法工厂的 17 套装置正在兴建。其总产量超过 700 万吨/年，见图 2b。在这些工厂中，有几个有特殊的使用目的。

位于德国北海岸边的埃姆登的北德铁公司的海绵铁厂，与其它所有米法工厂不同的是，不与炼钢厂相联。这是这种类型的第一个直接还原厂，就原料供给而言，这个厂的厂址最为适宜——天然气来自挪威的埃柯非斯气田，铁矿石和球团矿主要来自挪威——它能把优质的海绵铁供给欧洲和海外的许多用户。

为了在不受气候条件限制的情况下，随时都能保证把海绵铁装运给不断变化的许多用户，为了降低用户的贮量，这个厂还附设有米法海绵铁钝化系统来防止海绵铁在运输和长期贮放时的再氧气。这种专门的钝化法叫 Chemaire 法。

生产结果

生产能力

米法的发展明显地证明，系列化装置，特别是还原炉的大小可以大型化（图 3）。仅在 10 年内，一座米法成套装置的生产能力就由原来的 1.5 吨/天达到 2485 吨/天，还原炉的单位产

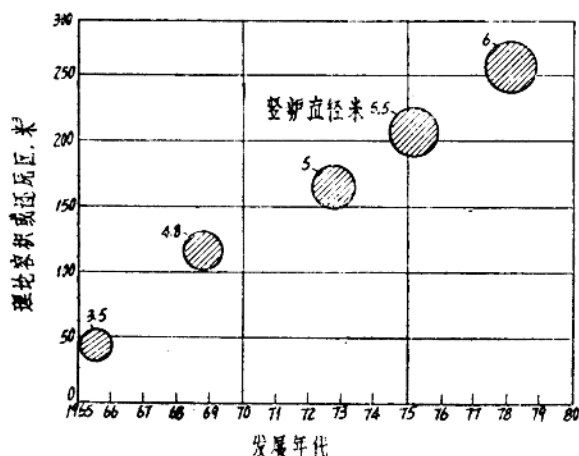


图3 米德雷克斯还原竖炉容积的发展

量现在已超过 12 吨/(米³·天)。海绵铁的金属化率是米法的重要工艺特征，也保持在 92 至 93%。把已达到的单位产量与一座炉缸直径为 6.8 米、单位产量为 2.5 吨/(米³·天)的现代高炉相比较，米德雷克斯直接还原法的生产能力之高令人吃惊。

在工厂中用熟练工人所获得的有效生产数据目前超过设计值的 11% 左右，如下列数字所示：

锡德伯克 I 厂

设计值：1000 吨/天，实际值：

1120 吨/天，1975 年 12 月份的月产量：34800 吨，1973 年的产量：364410 吨。