

冶金参考资料(3)

国外竖炉还原

第一集



64-53

科学技术文献出版社重庆分社

前 言

本专集系收集国外采用竖炉法（包括米德雷克斯、阿姆科及普罗费尔法等）还原铁矿石，以生产金属化团块与海绵铁的资料编译而成。书中介绍了某些小型试验到工业生产的概况。可供从事冶金工业生产、科研和教学的人员参考。

参加本专集编译工作的有重庆大学、重庆钢铁设计院、北京钢铁研究院和中国科技情报所重庆分所等单位的有关同志。

由于我们水平有限，错误肯定不少，请读者批评指正。来信迳寄中国科技情报所重庆分所冶金组。

中国科学技术情报研究所重庆分所

一九七五年七月

目 录

米德雷克斯 (Midrex) 直接还原工厂技术经济计划.....	(1)
第一座生产95%金属化产品的铁矿石球团矿厂.....	(10)
汉堡钢厂——直接还原生产钢的实例.....	(14)
魁北克的联合炼钢.....	(18)
西德比克-多斯科 (Sidbec-Dosco) 钢铁公司的直接还原和炼钢.....	(21)
还原铁氧化物为金属铁的方法和设备.....	(29)
含碳海绵铁的生产 and 再加工.....	(35)
× × × ×	
阿姆科 (Armco) 法的铁矿石直接还原.....	(36)
阿姆科钢铁公司的直接还原法.....	(42)
阿姆科直接还原法的发展.....	(49)
阿姆科的直接还原装置全部开工生产.....	(53)
球团矿的还原.....	(55)
铁矿石的气体还原.....	(58)
× × × ×	
普罗费尔 (Purofer) 法直接炼铁在工业上的应用.....	(59)
制造海绵铁的方法及设备.....	(68)
竖炉的改进.....	(70)
× × × ×	
关于海绵铁生产的研究.....	(72)
× × × ×	
小型竖炉试验.....	(76)
工业竖炉的模拟.....	(77)
海绵铁生产装置的投产与操作试验.....	(78)
竖炉还原时球团矿的性能和破损情况.....	(82)
× × × ×	
天然气在金属氧化物还原过程中的应用.....	(86)
低成本还原气体.....	(88)
× × × ×	
海绵铁制造和加工的技术经济比较.....	(95)

米德雷克斯(Midrex) 直接还原工厂 技术经济计划

B. H. HAMMARSKOG

米德雷克斯工厂

波兰特 (Portland) 直接还原工厂

波兰特工厂1969年6月建成，设有两座竖炉，每座生产能力为20万吨/年，厂址位于威拉米特河东岸俄勒冈钢厂附近，远洋轮可通过这条河道从太平洋到达靠近工厂的码头。原料的评价表明，从不列颠哥伦

比亚和秘鲁的马尔克纳 (Marcona) 有限公司 (加入现在发展的 Marconaflo 组织) 获得高品位精矿是最经济的。在工厂所在地，运来的铁精矿用河水搅拌成浆状，含固体颗粒约55%，以2000吨/时速率泵到9万吨贮矿池，用浮动挖泥机在白班挖出送到氧化球团厂。

如图1所示，精矿以矿浆形式 (固体颗粒含量约33%) 泵到浓缩箱，使矿浆的固体颗粒含量提高到

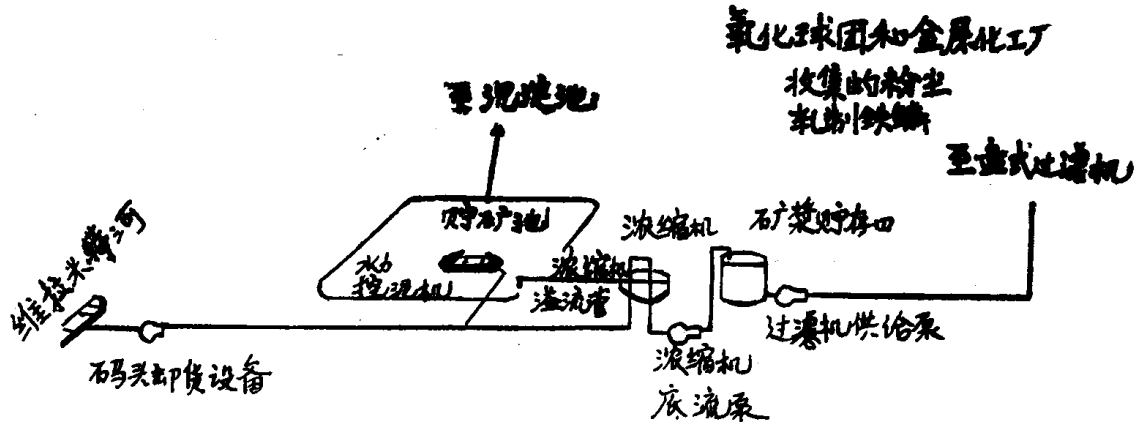


图1 波兰特工厂的矿浆处理系统

70%，浓缩机的底流贮存于24小时搅拌的贮槽，再以80吨(干)/时的速率 (其固体颗粒含量约60%) 泵到盘滤机，经过过滤的精矿含水约10%，与藻土粘结剂混合后在圆筒造球机中造球，生球 (湿) 公称直径12毫米，过筛生球的固结参见图2。米德雷克斯氧化球团竖炉生产含铁69%的赤铁氧化球团，在固结过程中磁铁矿含硫量 (0.2%) 降到可容许的水平0.005%。

氧化球团入还原炉以前经过筛分，细粉重新加工。还原炉 (图3) 内径为3.6米，高约为20米，氧化球团靠重力流过还原炉，通过位于炉底部的排料机控制速率。产品在30°C温度下连续排出，其金属化率为92%以上，含碳量控制在1.0—1.5%。

高金属化产品堆存于5000吨的贮仓，根据钢厂的需要由此供应。米德雷克斯工厂生产的金属化产品在俄勒冈钢厂用于生产钢板。矿浆池，球团工厂和还

原工厂占地约6万平方米，包括生产能力进一步扩大到二倍所需要的空地。

电力和天然气在工厂所在地均可得到，丰富干净、新鲜的水可从威拉米特河获得，并只一次通过废

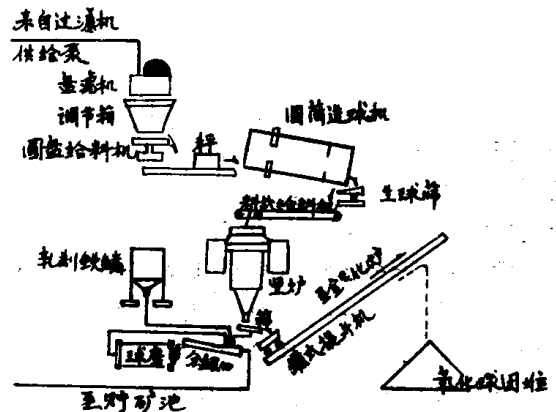


图2 波兰特工厂的球团化系统

气冷却和洗涤系统，排出的水在流回河里以前在沉淀池经过冷却和自然净化。熔炼车间具有一座65吨-30000千伏安的电炉，其金属化球团连续加入系统示于图4。为了生产40万吨/年低碳和低合金板材，钢水在板坯压铸机上浇注和轧制。

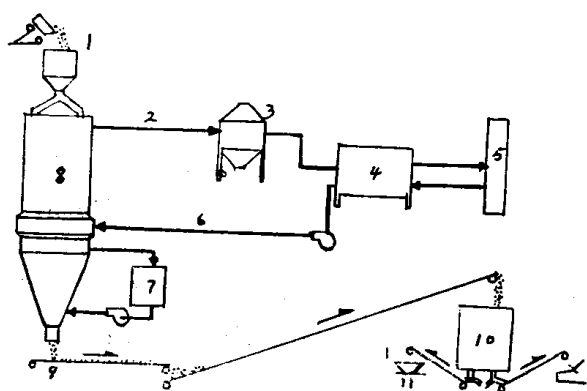


图3 波兰特工厂的还原系统

- 1. 氧化球团; 2. 燃料气; 3. 煤气洗涤器;
- 4. 转化炉; 5. 换热器; 6. 天然气转化气;
- 7. 煤气冷却器; 8. 金属化炉; 9. 金属化产品;
- 10. 贮仓; 11. 运输机

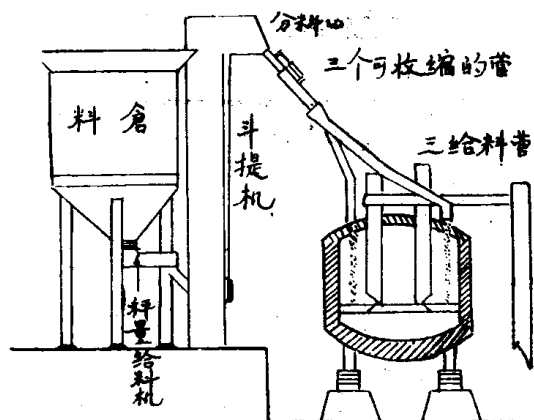


图4 波兰特工厂的电炉连续加料系统

一九六八年底，米德兰-罗斯公司与西德科尔夫公司达成协议，建立两座米德雷克斯直接还原工厂；一个在美国南卡罗利纳州乔治敦，一个在西德汉堡。工厂设计为一个还原炉，内径4.8米，高约25米，生产能力为52吨/时或40万吨/年。

乔治敦 (Georgetown) 直接还原工厂

该厂于一九七一年五月投产，处理瑞典球团及巴西球团和块矿，球团和块矿的比例约为1:1。

由于乔治敦港太浅，远洋轮不能驶入，原料卸到北卡罗利纳的威尔明顿，从威尔明顿再用1500吨的驳

船运输150公里到达工厂所在地的码头，在乔治敦工厂码头用蛤壳式起重机卸料，并通过运输系统转运到75000吨料堆，白班用4吨铲车（前端载料机）从料堆给到20小时的贮仓，原料在入还原竖炉以前筛除粉矿，产品均匀地还原到金属化率大于92%，含碳量控制在1.2~1.6%，贮存于6000吨料箱，根据钢厂需要由此提取。

所需的电力和天然气在工厂所在地均可得到，为给冷却和洗涤的闭路循环水系统补充用水（1.5米³/分）通过近50公里的长渠取得河水，用过的水在流回河里以前经过冷却和滤清，还原工厂（包括原料堆）占地32000米²。

金属化产品被乔治敦钢公司用于生产40万吨/年的线棒材和钢筋。

装备有两座65吨-3.5万伏安连续加料电炉，炉子的加料管是可伸缩的不锈钢管，倾斜地安装在成三角形的两个电极之间，现有的工厂安装连续加料设备约需25万美元。

汉堡 (Hamburg) 直接还原工厂

汉堡钢厂的直接还原工厂经过十八个月的建设，于一九七一年十月投产。汉堡钢厂是欧洲第一个采用直接还原的联合钢厂。如图5所示，该厂位于易北河港的延长部分，并有达8万吨远洋轮的码头设备，生产钢筋、钢绳和弹簧线棒材，其生产能力达40万吨/年以上。

直接还原、炼钢和轧钢工厂在现有的27万米²场地上可扩大到120万吨/年，现有的生产能力为60万吨钢和45万吨轧制产品，仅850人。

该厂处理瑞典氧化球团。还原产品的金属化率约95%，含碳1%。金属化产品连续地加到两座85吨-45000千伏安电炉。这个40万吨/年的直接还原工厂（不包括原料堆场）包括进一步扩建需要的空地占有22000米²。

电力和天然气在工厂所在地可以得到，冷却和洗涤闭路循环系统需要的补充用水，从港湾抽取，直接还原的工艺装备与建在乔治敦的近似。

西德比克 (Sidbec) 直接还原工厂

最近安装的米德雷克斯直接还原装置设在加拿大蒙特利尔西德比克-多斯科 (Dosco) 公司，该厂于一九七三年四月十一日投产，操作一个星期后日产达1000吨以上。

一九六四年为了促进当地自然资源的利用和创造吸引到第二工业基地的环境，魁北克政府在魁北克建立了西德比克公司。一九六五年底该公司得出了结论，建立普通高炉炼钢厂需要的投资太高，而且这种工厂的最小的实用规模，远远超过市场要求的能力，

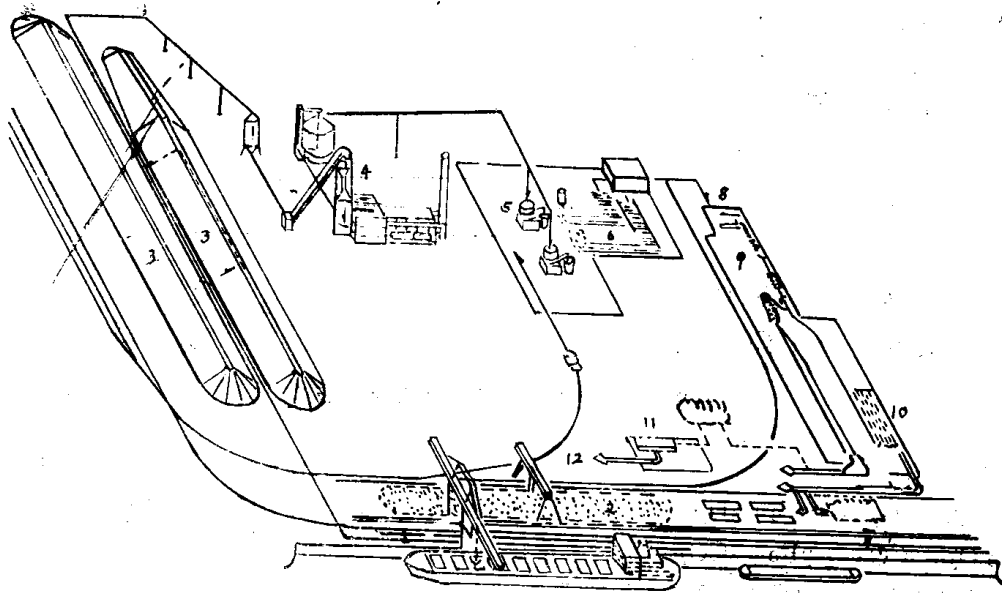


图5 汉堡还原工厂设备图

- | | | | | |
|---------|---------|--------|-----------|--------|
| 1.卸船设备; | 2.废钢场; | 3.球团场; | 4.直接还原工厂; | 5.电炉; |
| 6.连铸设备; | 7.钢坯场; | 8.预热炉; | 9.轧钢厂; | 10.冷床; |
| 11.精整; | 12.装货场。 | | | |

因此，该公司决定，依靠已有的设备并于一九六九年把多斯科变为该公司的子公司，那时，多斯科的炼钢能力为16.5万吨/年，精加工能力为70万吨以上，剩下的空额不得不购买钢锭、钢块和板坯，因此西德比克-多斯科公司的管理部门决定，一九七〇年投资7600万美元扩建康瑞考依尔 (Contrecoeur) 的工厂，并另投资于其他三个工厂，扩建包括车间和直接还原工厂。

选择米德雷克斯还原方法基于资金消耗，方法的发展情况，现有的燃料资源，以及环境的考虑。米德雷克斯直接还原工厂位于钢厂附近，供给加拿大氧化球团，原料用船运到劳伦斯河港附近的码头，而后再用卡车运到工厂所在地的25万吨堆料场，如图6所示(略)。

金属化产品存于三个6000吨成品仓，按熔炼车间的要求交付，或按车站要求装火车或卡车外运。米德雷克斯生产的产品，金属化率大于93%，含碳量低于2%。金属化料的均匀性质导致较高的熔炼速度，从而增加炼钢产量和质量。

新熔炼车间有两座120吨、5万伏安电炉，一套连铸机，年产能力60万吨，电炉设有连续加入金属化料和添加剂的系统。

摘要:

米德雷克斯直接还原方法已在四个工业生产工厂验证，设计能力合计为160万吨/年，这些工厂已证明，要求的目标可以达到，一百万吨以上的金属化

铁料已被用作废钢的代用品或补充料，提高了电炉产量，并使精确控制最终产品容易。

米德雷克斯直接还原过程

该法流程示于图7，除去控制和辅助系统是很简单的。还原炉是一个垂直的圆柱形竖炉，分为两个带，上部为还原带，在这里下行炉料首先被加热到过

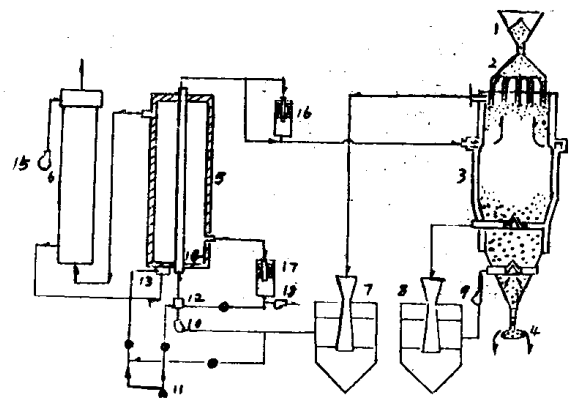


图7 米德雷克斯还原法工艺流程图

- 1.原料仓; 2.给料分配器; 3.还原炉; 4.排料机;
- 5.转化炉; 6.烟囱换热器; 7.炉顶气净化器;
- 8.冷却气净化器; 9.冷却气增压机; 10.过程气增压机;
- 11.天然气供给; 12.气体混合器; 13.烧嘴;
- 14.催化剂管; 15.助燃空气风机; 16.还原气冷却器;
- 17.密封气冷却器; 18.密封气风机。

程温度(约800°C),而后还原和渗碳。

在还原带停留约6小时(在生产能力充分发挥的情况下),还原气含有约95%的还原剂——CO和H₂(以N₂百分数为零计),它在精确控制温度和化学组

成条件下进入竖炉,通过沿炉子周围许多等间隔的缝隙使气体均匀分布于整个炉料,渗透铁的氧化物并夺取氧。其化学反应示于图8。

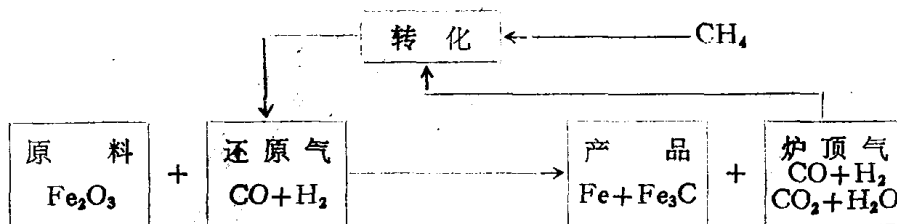
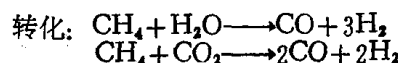
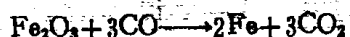
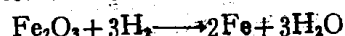


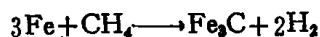
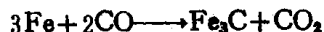
图8 米德雷克斯还原过程化学反应

总的还原反应为:



因为这些反应产生H₂O和CO₂,只能进行到建立平衡条件,在实际操作中平衡条件是经常达到的,使用过的还原气离开炉子时含有约60%的还原剂(CO+H₂)。

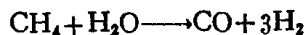
在还原中发生渗碳作用,其基本的渗碳反应为:



这些反应取决于温度和气体分析,使用过的还原气(称为炉顶气)从炉子里出来在净化器中冷却和洗涤——冷凝水蒸汽和除去灰尘。

炉顶气中载氧体——CO₂和少量H₂O的含量,足够转化的需要,不用另加空气和蒸汽,因此,一部分炉顶气与天然气混合在1000°C温度下,通过镍催化剂转化产生还原气。

为了保持均匀的还原气成分应用很精确的控制和混合系统,主要转化反应为:

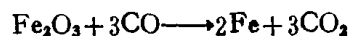


由于这些反应在正常操作条件下,工艺系统中气体的体积约增加50%,为保持系统的压力不变,一些过程气在还原炉中使用后,用作加热转化炉的燃料。

转化吸热所需的其余热量以天然气或燃料油形式给到转化炉底部的若干个烧嘴,加热转化炉产生的热烟气经热交换器预热助燃空气。

用上述系统保存炉顶气的热值,每吨铁的燃料消耗几乎与还原气在还原带的利用程度无关。

基本化学反应



还原炉下部是冷却带,下行热金属化料在这里通过一个气体闭路循环系统进行冷却。冷却气在再循环前进行冷却和洗涤控制气体组成。炉子在适当的压力下操作,还原气和冷却气通过炉顶和炉底的动力学气封保存在炉内。

密封气用冷却加热转化炉的燃烧产物的方法产生,密封气的含氧量控制在大约1%,这种惰性气体经增压送入还原炉的进料和排料管道,只有不可燃的气体放入大气。在密封气供给故障情况下,为了吹扫该系统设有单独的液氮或惰性气体的备用系统。

基本工艺系统备有转化炉的温度控制,分析,以及还原气与铁氧化物料的流量比例控制。

计划

目前,若干个国家许多工厂正在计划利用米德雷克斯直接还原方法,许多公司正在询问其详细情况,这是妥善计划这样的工程所需要的。本文给出的数据基于实际经验,对计划将来的工程可能是有用的。

设计直接还原工厂必须包括全面调查研究影响工厂生产有利性的各种因素,再加上所需要的工厂生产能力和产品质量的分析。这种调查研究必须包括厂址的评价,特别是关于原料和能量的成本和实用性。

工厂布置

米德雷克斯方法对工厂布置提供最大的灵活性,以便可能替换和扩大,这个布置简示于图9。

原料贮存区可代表氧化铁球团或块矿堆、或一座氧化球团工厂,金属化产品载运系统可包括一个卡车和铁路装运站,一个到附近钢厂或航运港口的运输系

统，原料和产品的搬运成本是生产成本的重要组成部分，必须通过适当的厂址选择和自动搬运方法保持到最小。能量、水和工厂废物的运输费用通常是次要的，但必须加以考虑。

米德雷克斯直接还原工厂实际上没有污染，根据地方的空气和水污染法，厂址选择不受限制。

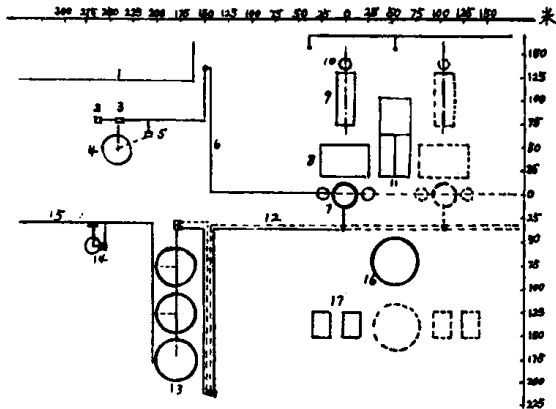


图9 米德雷克斯还原工厂简单布置图

- 1.氧化料贮存处； 2.回收漏斗； 3.筛； 4.粉料场；
- 5.粉矿给料机； 6.给料皮带运输机； 7.还原炉；
- 8.风机占地； 9.转化炉； 10.换热器； 11.控制室；
- 12.产品运输机 13.成品仓； 14.成型机； 15.成品装运；
- 16.沉淀池； 17.冷却塔

原 料

原料成本是金属化产品成本的主要组成部分，因此选择合适的低成本原料是极端重要的。天然的赤铁矿和赤铁矿氧化球团是直接还原常用的原料，现在开采的天然矿含铁25—67%，工业上实用的球团为63—68%以上。

脉石含量对还原能量消耗并没有什么重要影响。主要是影响电炉炼钢的能量消耗。每吨渣约需250度电能。

原料含硫量是重要的。测定其对直接还原的适用性时，30%的硫以 H_2S 的形式被还原气清除，原料含硫超过0.01%时，为了还原前降低硫含量必须实验测定其焙烧特性曲线。磷含量仅对炼钢是重要的，不影响还原。

评价原料时必须考虑热的和机械的粉碎。

表1列出用米德雷克斯方法处理各种原料时产生的粉矿量，由于破碎和爆裂产生的过量粉末降低还原炉中炉料的透气性，从而降低生产能力。成品中允许含有约10%的粉末，按照这个总粉量可以送入还原炉。

显然，对块矿D来说，没有粉末时可以入炉，原料中产生的23%粉末，达到还原炉之前必须筛除，清

除的铁的氧化物粉末可用于烧结或球团工厂。如果考虑运输成本，这样的工厂应在允许距离以内。

表 1 各种原料产生的累计粉矿量
(以<6毫米%计)

处理点	球 团		块 矿	
	A	B	C	D
载 货 船	4.0	4.0	7.0	7.0
工厂料堆	5.0	5.5	8.0	9.0
氧化物过筛	6.0	7.0	10.0	23.0
炉 料	0	0	0	0
炉 产 品	2.0	2.5	5.5	6.5
产品筛分	3.5	4.5	4.5	10.0

表 2 原料和运输成本美元/吨铁(干料)

原 料	球 团		块 矿	
	A	B	C	D
到 乔 治 敦	0.297	0.235	0.172	0.156
到西德比克	0.387	0.35	0.284	0.268
到波特兰	—	—	—	—

表2列出了米德雷克斯工业工厂处理的某些原料的成本和运输费，对这些成本来说，粉矿损失必须加到实际原料成本上。

工业生产经验已经证明6—30毫米尺寸范围的块矿是适于米德雷克斯直接还原方法的。含铁量低的矿石如果实际的原料成本(包括粉矿损失在内)低到足够补偿熔炼所增加的成本，即以熔渣形式排除过量脉石，含铁量低的矿石是可以被经济地加工的。

表3示出米德雷克斯工厂处理的某些原料特性，含铁量高于67%，酸性脉石成分—— SiO_2 和 Al_2O_3 合

表 3 各种原料的物理化学分析

化学分析	单位	球团(6—15毫米)		块矿(6—30毫米)	
		A	B	C	D
Fe	%	68.29	67.72	69.05	67.73
SiO_2	%	1.21	1.03	0.64	1.16
Al_2O_3	%	0.43	0.51	0.64	1.30
CaO	%	0.37	0.80	0.03	0.18
MgO	%	0.30	0.30	0.03	0.03
P	%	0.011	0.024	0.039	0.016
S	%	0.002	0.003	0.005	0.005

计不超过2.5%，碱性脉石成分——CaO和MgO，

(续表 3)

物 理 分 析	单 位	球 团 (6—15毫米)		块 矿 (6—30毫米)	
		A	B	C	D
抗压强度	公 斤	314.5	419.1	未 测	未 测
堆积比重	公斤/米 ³	2384.5	2153.1	2350.1	2513.5
转鼓值 (<3毫米)	%	4.7	5.5	9.09	13.2
筛分分析		mm	mm	mm	mm
		9.6+15	17.3+15	6.4+25	28.2+22
		54.8+12	60.7+12	31.5+19	42.4+19
		94.5+12	69.5+9	67.6+12	73.8+12
		96.9+6	99.5+9	94.3+6	93.5+6
		98.0+3	99.8+3	96.8+3	96.3+3
		2.0-3	0.2-3	3.2-3	3.7-3
还原产品					
化学分析:					
全铁	%	93.97	93.00	96.41	95.25
金属化率	%	96.3	93.6	93.9	93.4
C	%	0.79	0.81	0.77	1.07
P	%	0.011	0.026	0.054	0.019
S	%	0.002	0.002	0.003	0.003
物理分析:					
抗压强度	公 斤	171.4	154.3	未 测	未 测
堆积比重	公斤/米 ³	1722.2	1624.4	1603.6	1952.8
Midrex转鼓值 (<3毫米)	%	1.73	5.45	10.86	15.8

合计不超过 1.5%，氧化钙 (CaO) 含量是很重要的，它影响到还原和渗碳，通常应不超过 1%。

$$\text{脉石碱度: } V = \frac{\text{CaO} + \text{MgO}}{\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3}$$

可由原料分析计算，考虑到脱氧比例可用金属化程度 + 碳增量表示。

已经发展了一个实验室的程序，50公斤具有代表性的样品——块矿或球团，可以精确预测在实际生产操作条件下原料的变化特性。

能 量

处理加工氧化铁原料以电力和燃料的形式消耗的能量，正常生产时理论电能消耗约为120度/吨铁，实际电耗取决于操作条件。

在还原过程中用天然气或石脑油在转化炉中产生的一氧化碳和氢气从氧化铁中去除氧，用加热催化裂化方法生产还原气所消耗的燃料可以是油或气，总燃料消耗约为 3.6 百万大卡/吨铁，通过最佳利用和热量交换保持到最小值，燃料成本是转化成本主要组成部分，在计划阶段必须给予多方面的考虑。

水

冷却和洗涤过程气用水和机械冷却用水在两个单独的系统循环，在新鲜水供给丰富的地方通常设计为一次通过系统，在缺水和严格要求控制污染的地区，设计为闭路系统，设有冷却器和沉淀池（图10，略），用以沉淀从过程气中除掉的灰尘，流出的水在放掉之前进行过滤净化。

废 物

从过程气中清除的铁尘粒子在微米尺寸范围，目前还原工厂不能再处理，随着废水或沉淀池底流排出的炉尘约占生产的 1%。

产 品

产品被均匀地还原到金属化率92—96%，按照要求的含碳量渗碳，含碳量可控制在0.7—2%的范围，精确度±0.3%。

产品的抗压强度与原料有关，在大多数情况下，抗压强度可推测降低50%，如果产品的抗压强度降低到50公斤以下，装卸产品时可以预料产生大量粉末。

竖炉排出的产品为30℃—40℃，在空气中装运没有再氧化的危险。由于失氧，成品料比原料的密度约低30%，体积没有重大变化，重量损失伴随着气孔率

相应增加。

如金属化产品暴露在水中，材料的气孔可吸收10—12%的水，引起再氧化，因而温度升高。为避免被水再氧化，产品搬运系统是加盖的并贮存于密闭仓中。成品料在适当设计防雨条件下可安全地贮存于空气中。

含在原料中的和在还原炉中产生的细粉从产品中筛分离出去。在使用连续加料的电炉时，其优点是把细粉加到电炉中作原料，减少耐火材料的磨损。通常细粉含碳量比产品高1%左右，为分别加料提供了一个额外的有利因素。从产品中筛出的细粉可压成12×35毫米适于连续加料的团块。

炼 钢

电炉顶部连续加料在各工厂都成功地被应用着(图11)。金属化料自动从产品仓卸下运到熔炼车间的料箱，金属化料根据输入功率确定的速率控制供给量。通常应用的供给速率为每分钟每1000吨30—35公斤。

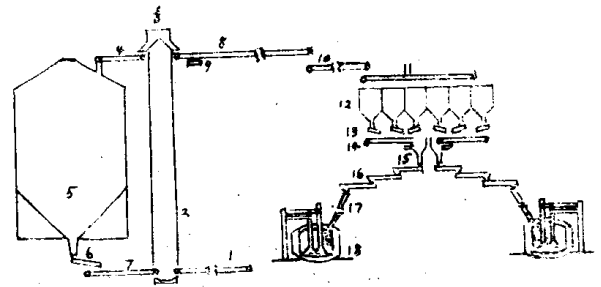


图11 汉堡厂连续装料流程

- | | | |
|------------|--------------|----------|
| 1. 产品运输机; | 2. 斗式提升机; | 3. 放料漏斗; |
| 4. 贮仓运输机; | 5. 产品贮仓; | 6. 卸料器; |
| 7. 卸料运输机; | 8. 装料运输机; | 9. 秤; |
| 10. 转送运输机; | 11. 移动运输机; | 12. 仓; |
| 13. 振动给料器; | 14. 秤量皮带给料器; | 15. 流槽; |
| 16. 振动给料器; | 17. 可收缩的喂料管; | 18. 电弧炉 |

金属化料均匀的物理化学性质允许可靠的预测加料末期，炉中的化学条件，提供了在熔炼期校正碳、硫、磷的可能性，最后可导致取消通常的精炼期，缩短出钢—出钢时间的结果，增加了生产，降低了热金属成本。

图13 西德比克还原工厂的材料、工时、建设一览表
(40万吨/年米德雷克斯工厂)

项 目	建设进度(月)																							
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
工 程	—————																							
采 购	—————																							
厂 址 准 备	—————																							
基 础 设 计	—————																							
原 料 贮 存	—————																							
原 料 运 输 系 统	—————																							
工 艺 结 构	—————																							
工 艺 设 备	—————																							
管 线	—————																							
成 品 贮 存	—————																							
水 系 统	—————																							
电 力 系 统	—————																							
准 备 操 作	—————																							

(接下页的表)

计 划 考 虑

设 计

还原工厂的设计(图12略)将是各种各样的,虽然标准化是合乎需要的,工厂的生产能力取决于熔炼车间对铁分的要求。目前,还原设备已经建设两种尺寸——产率20和40万吨/年,产品50万吨/年生产能力的设备正在提供给用户,更大的设备将在以后建设。

在给定规模的工厂里生产铁吨数取决于原料和燃料的质量,最大的生产能力是用高品位的球团矿达到的,而较低品位的块矿在较低的生产能力下处理,没有使用新原料的实际生产经验,特别是块矿,只能估计燃料消耗和可能的生产能力,因此工艺过程是靠均匀的原料质量——如高级氧化球团来保证的。

米德雷克斯还原工厂设计为每年操作8000小时,装运系统设计能力最大,工艺设备尺寸按照实践经验和所选择的原料的实验室试验结果估计。

我们的目的是提供具有相当于或超过要求特性的直接还原工厂,应当记住实际特性取决于所用的燃料和原料的质量。

建 设

为了降低资金消耗,现有的材料应当最大限度地利用。

图13给出了建设年产40万吨还原工厂(西德比克)所用的建筑材料,工时一览表。

人 员

米德雷克斯还原工厂职工人数需要少。表4示出西德比克工厂全部工作人员,操作和维修人员。关键的操作和维修人员计划在一个工业生产的米德雷克斯工厂培训三个月,并在准备操作期间参加设备和系统

建 设 材 料	单 位	
打桩 100 吨的桩数		680
混凝土体积	米 ³	5,500
钢筋重量	吨	480
钢件重量	吨	1500
皮带运输机长	米	700
耐火材料体积	米 ³	800
建设工时		
项 目		工 时
厂址准备和基础		75,000
钢 件		35,000
机械设备		60,000
管 线		80,000
耐火材料		30,000
电 气		50,000
杂 务		35,000
米德雷克斯监督		35,000

的试运转。

生产成本

米德雷克斯直接还原工厂的预计生产成本示于表5。

表 4 米 德 雷 克 斯 直 接 还 原 工 厂 的 组 织

	工 厂 经 理	(1)		
	工 厂 工 程 师	(1)		
行 政			工 艺	
行政经理	(1)		工艺生产助理	(1)
表报控制人员	(1)		工艺工程师	(1)
工具室人员	(1)		助理工程师	(1)
秘 书	(2)			
小 计	5		小 计	3
生 产		维 修	总 计	
生产助理	(1)	部长	行政办事人员	(19)
生产领班 1 × 4	(4)	仪器和电气管理人	生产岗位	(27)
副 领 班	(1)	机械管理人	岗位维修	(14)
小 计	6	小 计	全 厂	60

(续表4)

生产岗位		岗位维修	
Ⅱ工艺控制工	1×4 (4)	仪表工	(2)
Ⅰ工艺控制工	1×4 (4)	电工	(3)
原料装运工	1×4 (4)	机械	(5)
水系统护理工	1×4 (4)	机械	1×4 (4)
小计	16	小计	14
铲车操作工	(2)	实验室	
装工	(6)	实验室主任	(1)
小计	8	实验室助理	(2)
		小计	3

表5 每吨铁的生产成本(金属化率95%,含碳1%)

		美元/吨铁	
燃料	3.6百万大卡	1.58美元/百万大卡	5.69
电力	120度	0.01美元/度	1.20
水	1.5米 ³	0.013美元/米 ³	0.02
维修和生产供应			1.58
人员			1.78
		总计操作成本	10.27
原料	每单位铁0.25美元	×1.01产率	25.25
		金属化产品成本	35.52

发展

现在该工艺已通过其发展阶段,虽然为提高实用性和降低成本一直在进行改进。

现在的发展是针对利用除天然气以外的燃料,为了消除经济危机,缩短发展时间,米得兰-罗斯公司已决定利用现有的工业生产系统进行石脑油转化。利用石脑油的技术经济可能性已在一项新研究中证明,它促成一个新流程,每吨铁只需4.0百万大卡。利用煤气进行直接还原的考虑,虽然在经济上现在还不能充分给予评价,在技术上是可能的。

直接还原的过程和未来

一个世纪以前当炼钢工作者第一次实现了用氢气

或一氧化碳通过还原把氧从其铁矿载体上脱除的时候,炼钢工作者想象攻取氧化铁直接还原。研究工作者一直在努力把简单的化学反应应用于大规模生产,这个发展的动力来自某些国家的原料不适于用经济的高炉。

目前,直接还原,对在发展中国家建设钢铁工业的方法,在其他国家用来代替或补充电炉废钢,在工业化国家生产大量钢铁来说,都提供了一个较经济的途径。

现代的技术已经证明,直接还原铁矿石工业生产的长期幻想已变为现实,并得到公认。

[北京钢铁研究院炼铁室译自《SEALSI Quarterly》, 1974, No.1, 29—38]

第一座生产95%金属化产品的 铁矿石球团矿厂

世界上第一座金属化球团矿厂目前正在生产供美国俄勒冈州波特兰市一个新钢厂电炉炼钢用的原料。由米德兰-罗斯 (Midland-Ross) 公司的米德雷克斯 (Midrex) 分公司建造、拥有和操作的这座球团矿厂负责供给邻近的属于俄勒冈钢铁厂的电炉炼钢厂的原料,俄勒冈钢铁厂系吉尔摩钢铁公司的一部份。这样,世界炼钢工业就正在向着长期盼望的能在小型钢厂中生产钢的方面 (特别是在发展中国家更希望这样) 进了一大步。

米德兰-罗斯公司的经理Harry J. Bolwell认为,该法能把矿石转变成95%金属化的球团矿,这是近十年来炼钢工业中最惊人的进步,它将会对工业产生深远的影响。

波特兰球团矿厂及有关电炉炼钢厂的成本为3500万美元;炼钢厂的生产能力为每年40万吨钢。米德兰-罗斯公司预期在以后6个月内开始建筑另外三座球团矿厂。其中一个厂计划建筑在西德的汉堡,系与科尔夫工商业公司共同投资,旨在生产金属化球团矿和一些专业化钢材,并将它们在欧洲市场上出售。

米-罗(M-R)法的优点

新炉料提供了几点值得世界炼钢工作人员特别注意的优点:

(1) 采用米德兰-罗斯球团矿能提高电炉产量——每座电炉的生产率可提高35%以上。

(2) 能在以前不能炼钢的地区炼钢。

(3) 能准确地控制炉料的质量、铁含量和成本。

(4) 促使日益流行的电炉炼钢法获得进一步的发展,因为电炉法和平炉法或顶吹转炉法相比能灵活地生产较小的批量,而相等吨数的基建投资却要低得多。

米德兰-罗斯公司宣称,根据保守的估计推断,到1975年电炉钢的产量将占美国原钢产量的17%左右。但是可以预测,到1975年米德兰-罗斯球团矿法将使电炉炼钢不再依靠废钢市场,并将使电炉钢的份额增大到原钢产量的20%以上。

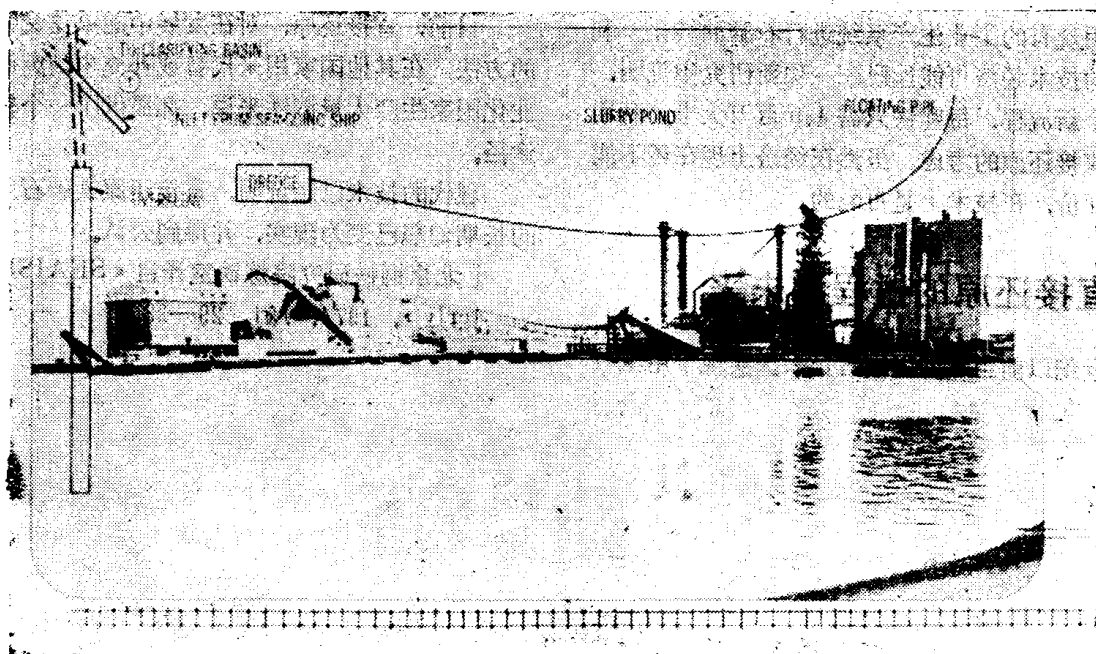
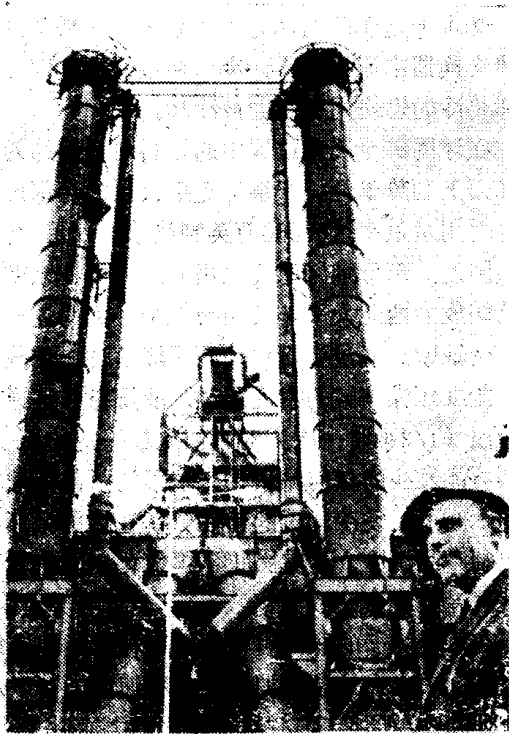


图 一

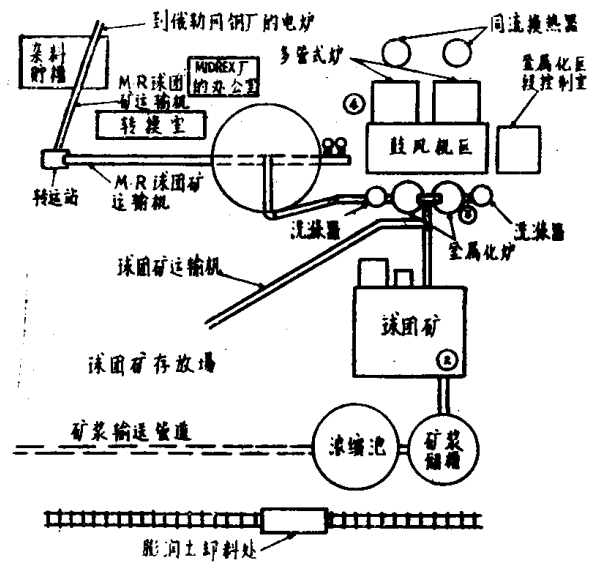
该负责人指出，美国现有将近50个电炉装置。其他的电炉装置分布在加拿大、墨西哥、日本和整个欧洲共同市场。希望发展电炉装置的国家有北爱尔兰、委内瑞拉、莫桑比克、坦桑尼亚和津巴布韦等。

米-罗(M-R)法的操作步骤

铁矿石用 Marcona 公司的矿浆船，从秘鲁 Mar-



图三、煤气转化装置的一对同流换热器和一些专用炉



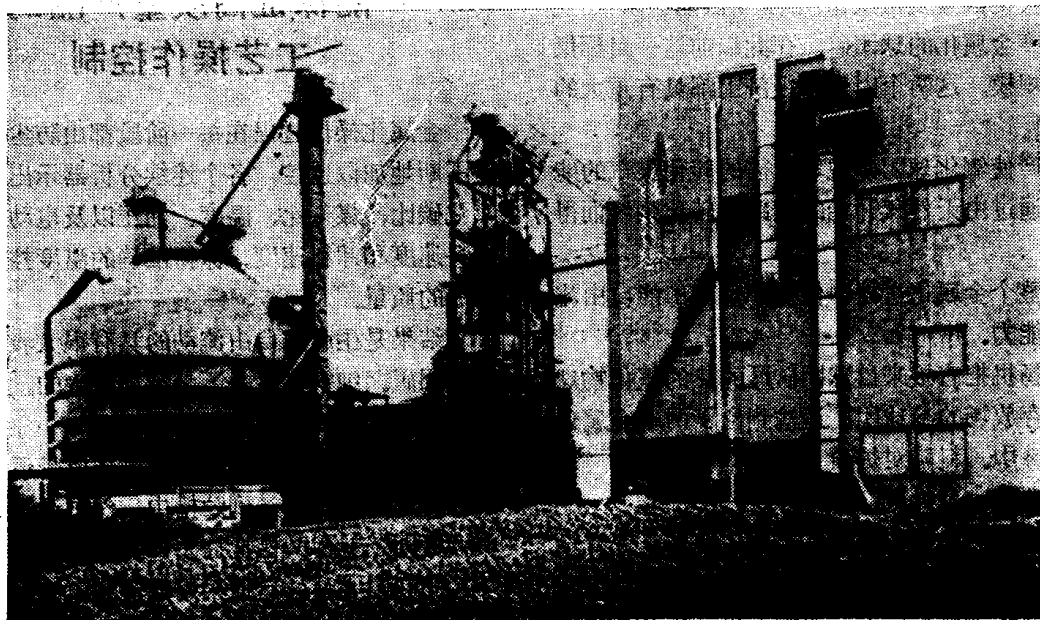
图二

图一、(照象图)前方的矿浆池(1)对图二中的米德雷克斯球团矿厂供给铁矿石精矿，而该球团矿厂又直接供给金属化厂(3)或把过剩的球团矿运到露天存放场。还原气体是在转化装置(4)中由天然气生产的，该装置也装设有高大的同流换热器。

一座5000吨的带盖储槽在具有正压的高氮烟道气、密封气体或惰性气体的混合气体的保护下储存米德兰-罗斯厂的金属化球团矿，以免制成的球团矿再氧化。

cona公司的矿山，运输到靠近波特兰(威拉米特河与哥伦比亚河在此处汇合)的河口工业区的米德兰-罗斯厂。来自矿浆船的矿浆用管子运输到小型采掘船上，后者将矿石直接分配到360×400呎的矿浆池内。矿浆池的容量为8万吨。

采掘船也从矿浆池内挖掘矿浆，并将它运送到生



图四、过剩的氧化物球团储存在球团矿厂(右侧)的附近，该厂对金属化厂(中央)供给原料球团。储槽(左侧)储存95%金属化的成品球团。

产的第一阶段中。时间是不成问题的，因为采掘船在8小时内能挖掘足够球团矿厂使用24小时的矿浆。

用米德兰-罗斯法操作时，第一站是直径为50呎的浓缩槽，它接受含有约33%固体（按重量计）的矿浆。浓缩槽将矿浆密度增大到固体含量约70%，并将这种浓缩矿浆送入邻近的直径为40呎的储槽中。后者用涡轮叶片搅拌器来使矿浆中的固体保持悬浮状态，以备24小时之内随时使用。

储槽每小时泵送64长吨（按干料计）（泵送量可以调节）到球团矿厂厂房内的盘式过滤器，后者把水份减少到10%。在添加膨润土后，把新的混合料送到鼓式造球机中，以制成 $\frac{1}{8}$ 到 $\frac{3}{8}$ 吋直径的生球团。尺寸过大和过小的球团返回造球机内，以便再制成适度的尺寸。

生球团由均匀地输送球团矿的专用运输机运送到竖炉中。由一台10磅/吋²压缩机往炉内供给逆流空气，以使 Fe_3O_4 转化成 Fe_2O_3 ，其耗热量为500000英制热单位长吨给料。球团硬化以后，在炉内冷却。

中央控制台保证最佳的连续给料条件。它监控水份控制、流量控制，鼓式造球机前的膨润土添加量和竖炉的生球团给入量。

从竖炉排出的球团矿立即进行筛分，以除去粉末的和尺寸过大的球团矿。运输机把产品直接运送到料车卷扬机，由后者将它装入金属化炉炉顶的料斗中。过量的球团矿则运送到存放场的料堆中。

金属化操作成功的关键

有两个关键因素使得米德兰-罗斯法能够以工业规模生产高度金属化的球团矿，在此以前这一目标仅限于实验室规模。这两个因素在经济上都具有重大的意义：

1) 生产使氧化球团矿脱氧所需的转化煤气的的能力。这一点通过由天然气开始的闭路式转化系统而得到解决。

2) 在整个金属化过程中保持使球团矿能自由流动的条件的能力。

料车卷扬机把直接来自球团矿厂的热的氧化物球团矿或来自存放场的冷球团矿运输到位于两座金属化炉炉顶的料斗中。料斗对炉顶上的10个受料格（“章鱼”腿）中的每一个供料。

这些受料格必须保持装满，否则，连锁装置就会使整个过程停止。从这些受料格落下的球团矿可作为密封，借以保持当球团矿均匀地向下移动时发生的适度金属化作用。

转化煤气的还原作用

热的转化煤气逆向通过经由炉子上部下降的球团矿料柱。该煤气是氢、二氧化碳、一氧化碳、水蒸汽和氮的混合物。它提供了 H_2/CO 的组合还原剂。

在从氧化球团矿中将氧脱除以后，这些煤气从炉顶放出，并回用于煤气转化炉中或用作燃料。

基本上是连续循环的煤气系统，包括从两个巨大的热交换器中通行一次。废气通过在这些同流换热器中加热冷的燃烧用空气而被冷却。

在球团矿金属化过程中的燃料总耗量约为每长吨1300万英制热单位。米德雷克斯公司的全部设备的每小时耗用量最高达65000万英制热单位（足以供给波特兰附近大部份地区取暖之用），从而使米德雷克斯分公司成为西北太平洋公司第二个最大的煤气用户。

当球团矿通过金属化炉向下降落时，这些球团矿从一些液压操作缸的附近通过，液压操作缸通过缓慢的冲程（1/2小时一次）对它们施加一定的压力，以破坏可能发生的任何粘聚物。炉子的下部使球团矿冷却到120°F。使冷却过的惰性气体在这里循环流动，以控制产品温度，这就防止了再氧化，即使产品暴露到大气温度下也不致氧化。

在每个炉子的底部有一根推料杆，用以连续推出球团矿。由中央控制台调整的推料速度，可以从很小变化到35吨/小时。炉料从金属化炉中通过一次只不需要几小时，但已足以生产出相当均匀的产品。

能保证高质量产品的 工艺操作控制

金属化操作过程在每一阶段都由防尘的集中控制室不断地加以监控。各个连续分析器示出甲烷比、二氧化碳比、煤气比、温度、油压以及电动机的操作、进料速度和卸料速度。保持准确的温度控制，以保证产品的质量。

结果是生产出自由流动的具有很大大表面积的海绵状球团矿。纯铁含量并不是波动很大的。这种方法能自然地达到95%的金属化。

球团矿从金属化炉产出后，用皮带运输机通过一个散料皮带秤运送到贮槽中，然后运送到俄勒冈钢厂。否则，就用溜槽把球团矿直接装到火车中。

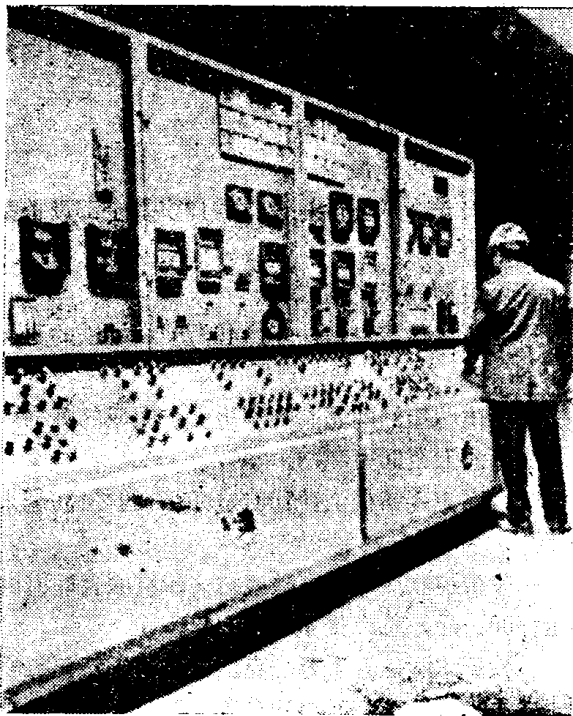
5000吨容量的储槽采用烟道气，密封气体或惰性气体作为具有微小正压的密封。

这些含氮量高的气体通过堆存的球团矿循环流动，从而防止球团矿的再氧化。

为防止公害而设计的工厂

据宣称，该厂的显著特点之一乃是没有污染。尽管使用大量的煤气，但工厂几乎没有向大气排出废气。全部气体都循环使用，排出的只不过是水蒸汽，而水蒸汽冷凝后，又被送回矿浆池。该工厂的设计中包括有许多集尘器，以控制空气污染，并将粉末和炉尘返回矿浆池，以便随后回收。在俄勒冈钢厂设置的沉淀池作为进一步的保护措施，用以回收有价的铁分，从而保证把净水排放到河流中。球团矿厂中的管道和集尘器是不锈钢的，以免被硫一类的东西腐蚀而产生污染。

整个金属化工段本来是一个不让粉尘逸出的封闭系统。监控和调整全部过程和所有部件的控制室，具有微小的正压，以防止灰尘进入。



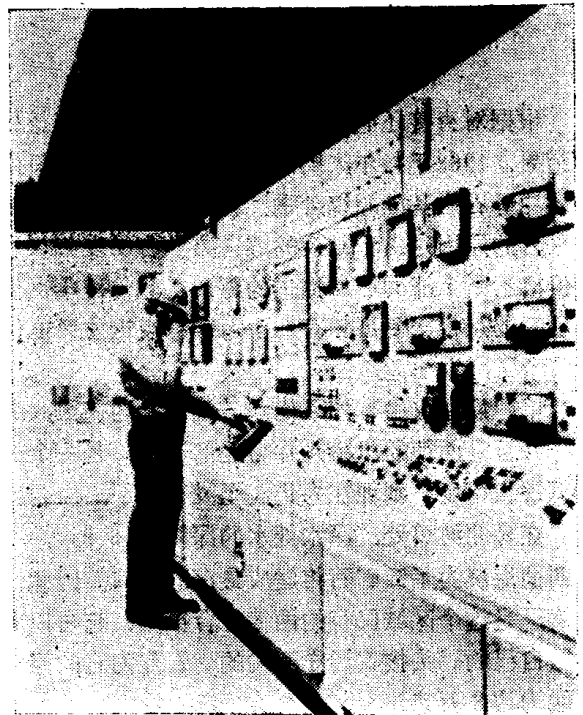
图五、在球团矿二楼的控制室监视和调节整个球团矿厂的生产过程

在米德雷克斯法的操作过程中，水是循环使用的。其主要作用是造成矿浆，以便有效地运送原料。在以过滤法去除矿浆中的矿石后，水就返回到矿浆池。

米德雷克斯法也力求消除噪音。在煤气转化炉下面的鼓风机区内，装置了消音材料，从而提供了较安静的操作条件。

米德雷克斯法的操作是高度自动化和机械化的。各种全面控制盘和开关装置充满了金属化控制室，并占据了球团矿厂二楼的一部份。这些控制盘显示出炉子的连续出料速度、煤气消耗率、在许多点上全套温度值、不同的压力和关于每个电动机和鼓风机以及运输机操作的全部读数。

该厂的操作人员只有4名值班工长（负责协调整个操作过程）和18名操作工（负责控制各阶段的操作过程），其中还有培训熟练工人的成分，否则尚可再减少25—30%。



图六、整个金属化厂包括气体转化装置都是从这一无尘室进行控制

质量检查

米德雷克斯公司通过对该厂各个装置的操作，能保证最终产品的质量。当该公司签订提供95%金属化球团矿的合同时，它是负担全部责任的。因此，关键的质量问题是金属化炉的产品——包括适当的粒度、形状和化学成分。目视检查就能容易地确定所需要的

物理特性——没有细粉或粘聚物。

化学测定是比较困难的。湿法化学分析需要的时间太长。这就是为什么米德雷克斯公司要装设一台具有分别供金属铁和磁铁矿用的两种标度的 Satmagan 磁力天平。在15秒钟内这种装置就能测出试样中铁的百分比。这种装置可用于统计质量控制（根据两个金属化炉炉底上推料杆每推出100次采取一次的试样的测定结果）。Satmagan 磁力天平是芬兰Outokumpu

Oy实验研究所研制的。

俄勒冈钢厂已订购了米德雷克斯公司生产的全部产品。但在可预见的未来，40万长吨可能是不够的。

俄勒冈钢厂是第一座由电炉供料生产钢板综合性钢厂。到目前为止，电炉钢板的生产已受到很大的限

制，因为需要精炼用作原料的废钢。米德雷克斯公司生产的金属化球团是电炉的理想原料。

[译自《Engineering and Mining J.》，1969，170，№12，68—71]

汉堡钢厂——直接还原生产钢的实例

[西德] P. Kehl

对直接还原法及其与炼钢的联合这两方面问题广泛研究的结果，科尔夫 (Korf) 财团决定在西德汉堡建立综合钢厂。总投资两亿三千万马克。这相当于每年每吨设备能力的投资费用为 460 马克，比现在建设一般的综合钢厂的费用低 50%。

计划和设计

根据对直接还原及其与炼钢联合的问题广泛研究的结果，1968年科尔夫财团决定在西德汉堡建设以直接还原矿石为基础的综合钢厂。采用直接还原与电弧炉联合的原因是由于常规的炼钢方法容易受到煤和焦炭价格不断上涨而增加损失的驱使。此外，废钢价格波动的弱点将会使每年有几十万吨靠废钢生产低价钢的几个工厂发生危险。

工厂设在汉堡有如下优点：汉堡是西德最大的海港，并且是西德的重镇，并与北部连结，是一个潜在的钢铁大市场。到现在为止汉堡没有钢厂。

在易北河口处，深水处水的深度有 15.9 米，不久在西德海滨为了卸矿石将建成最深的港口。因此，汉堡钢厂是这个区域仅有的西德综合钢厂，它可以利用工厂自己的码头接收远洋运输的矿石作为它的原料，其能力达 8 万吨。

同样，在海滨出口也方便。产品能用船横过大洋到全世界的预定地点去，或者经过国内的水路到欧洲的预定地点去。工厂布置在汉堡城边的草地上。为了发展还租用了邻接的地产。汉堡河道和港口工程局答应发展港口船坞和码头设备，并且同意长期租借。

最后，有价格便宜而充足的能源，电力和天然气可供使用。

在 1969 年科尔夫财团的科尔夫工程公司总包了新的综合钢厂的设计和建设。基本设想是：

产品——主要产品为棒材和线材，出售的线材和钢坯品种范围很小。

利用现有的和新的流程结合的最现代化的设计来生产高质量的产品，但是只需要简单、粗糙的设备，这是考虑的主题。

把原料的装卸减到最少。

劳动力尽可能最少。

在 1971 年，从开始建设以后 18 个月全部设备都投入生产。

工厂主要的设备组成有：

一座用米德雷克斯法年产 40 万吨海绵铁的直接还原厂。

一个由两座 85 吨超高功率电弧炉组成的炼钢厂，每年生产 55 万至 60 万吨钢。

两台四流连铸机浇铸 100×100 至 130×130 毫米的钢坯。

一座带控制冷却的高碳线材—棒材联合轧机供应卷重 1500 公斤，总产量 40 万吨/年。

总投资约两亿五千万马克。这相当于每年每吨设备能力的投资仅仅 420 到 450 马克，这与一般用焦炭生产的综合钢厂比较，投资低 50%。

直接还原

还原厂包括竖炉、气体转化系统、再生系统，以及其他一些系统，即煤气的清洗、冷却和混合系统。

汉堡钢厂米德雷克斯还原法的简图如图 1 所示。铁矿石的还原是用 H_2 和 CO 组成的还原气体在竖炉内进行的。铁球团矿连续装入竖炉，受逆流的还原性混合气体还原成金属 Fe 。金属化产物通过炉子下部的