

COREX 技术的新发展

COREX 技术是世界上唯一已实现工业生产的熔融还原炼铁技术，到目前为止，先后已有 4 套 COREX 装置投入运转，第 1 套于 1989 年在南非伊斯科公司比勒陀利亚厂建成投产，型号为 C-1000，设计日产铁量 1000t；第 2 套于 1995 年在韩国浦项钢铁公司投产，型号为 C-2000，设计日产铁量 2000t；第 3 套于 1998 年 12 月底在南非 Saldanha 公司投产，型号为 C-2000；第 4 套于 1999 年 8 月在印度京德勒公司投产，型号为 C-2000。正在建设中的有京德勒钢铁公司 2#装置（C-2000）和韩国韩宝钢铁公司 1#及 2#C-2000COREX 装置，韩宝公司项目虽暂时搁置，但该厂四分之三以上工程量已完成。

1 C-2000COREX 装置技术经济指标有较大幅度提高。

韩国浦项钢铁公司 COREX 装置于 1995 年投产，但因受到供氧能力不足（最大可能给装置供氧能力为 $54000\text{m}^3/\text{h}$ ）和炼钢转炉抢修、全厂铁水过剩时 COREX 装置需停产等问题的限制，技术经济指标不够好。C-2000COREX 装置设计能力为日产 2000t，目前实际达到 1850t/日左右，亦因此煤耗量及氧耗量均较高。

京德勒公司

1#C-2000COREX 装置生产指标

指 标 名 称	单 位	数 值
生产		
热金属	t/d	2616
渣比	kg/t 铁水	280
消耗		
铁料	kg/t 铁水	1470
燃料	kg/t 铁水	1050
氧气	m ³ /t 铁水	540
氮气	m ³ /t 铁水	86
热金属质量		
C 含量	%	4.4 ~ 4.8
S 含量	%	0.03 ~ 0.04
硅含量	%	0.6 ~ 0.8
温度	℃	1480 ~ 1520

印度京德勒公司 1#C-2000COREX 装置于 1999 年 8 月投产后，同年 12 月达到 2616t/d 的生产指标，原料是 35%

Karinga-nur 块矿和 65% Bahrain 球团，超过保证值 2184t/日，其煤耗为 1050kg/t，氧耗 540m³/t，均低于浦项。

2 合理利用 COREX 装置煤气

浦项和京德勒公司 C-2000COREX 装置煤气均用来发电，未能充分利用 COREX 装置炉气的价值，COREX 炉气经处理后可以达到 CO35%，H₂50%和 CH₄4.7%的要求，是很好的直接还原铁厂的还原剂，1999 年 6 月 13 日，南非 Saldanha 公司以 COREX 煤气为还原剂的直接还原铁厂成功投产，全部使用 C-2000COREX 炉排出煤气作为还原气体，达到每小时生产 80t 金属化率为 94%的直接还原铁的能力，不久的将来可以达到年产 80 万 t 直接还原铁的设计能力。

目前的原料配比为 40%的 SISHEN 块矿和 60%的 CVRD 球团，所生产的直接还原铁供给 Saldanha 公司的电炉炼钢厂作为原料使用。

将 COREX 炉气作为 Midrex 炉还原剂用于直接还原铁的成功生产实践，有利于降低 COREX 装置生铁生产成本（因炉气的利用价值可以提高，高于用于发电的高炉煤气），有利于增强 COREX 装置的竞争能力。

3 C-3000 型 COREX 装置的设计开发工作获得积极进展

COREXC-2000 装置（年产 80 万 t）和大高炉（年产 350 万 t）相比较，前者生产成本稍高，C-3000COREX 装置年产生铁量可提高到 110 万 t，有利于降低单位投资、能耗和生

产成本。C-3000COREX 装置已经设计，可达到实用阶段，每座这种型号机组生产炉气可供年产 100 万 t 直接还原铁用。

4 开发利用粉矿直接生产铁水的 Finex 工艺有新进展

韩国浦项钢铁公司、韩国工业科学和技术研究所和奥钢联积极进行开发利用粉矿直接生产铁水的新工艺试验。这种新工艺由于完全利用粉矿，不需进一步处理，因此大幅度降低了铁水成本，可以把粉尘和有害物质排出减少到高炉炼铁工艺的十分之一。在一台日产 15t 的试验设备已获得良好效果基础上，在浦项钢铁公司建造一台日产 150t 中间试验设备，已于 1999 年 5 月投入运行，进入实验阶段。

与此同时，他们还在已建成浦项 C-2000COREX 装置中喷吹矿粉试验，粉矿喷吹速率已达 3.1t/h，即在浦项 C-2000 装置中直接利用粉矿比例可增至 15%。

浦项公司计划于 2000 年年末完成 FINEX 工艺实验，2001 年对该工艺进行经济评估与设备的基本设计，为今后商业化做准备，到 2010 年，FINEX 法将逐步取代浦项公司的中小型高炉。

关于 COREX 熔融还原铁的有关数据

一、基建投资

1 VAI (奥钢联)于 1996 年 11 月初在宁波技术交流时介绍,按交钥匙工程:年产 60 万 t ~ 80 万 t 铁水的 COREX C2000 型项目投资为 2.2 亿美元,年产 60 万 t 海绵铁的 MIDREX (600 型)投资为 1.7 亿美元。

2 若建一个年产 240 万 t 铁水的高炉系统(3500m³BF)投资为:高炉:3.5 亿美元,烧结机:1.2 亿美元,焦化:2.0 亿~4.0 亿美元,合计 6.7 亿~8.7 亿美元,亦为交钥匙工程。

3 COREX C2000 型装置由奥钢联设计并提供关键设备、自动化设备和耐火材料,约 4000~5000t/座,约占全套设备总质量 28000t 的 15%~20%,其余 80%~85%的设备可由国内分交,这样基建投资还可降低约 8%~10%。

4 1995 年北京国际冶金设备展览与交流会上,奥钢联介绍韩国韩宝牙山湾钢厂采用 COREX 炼铁的投资如下:

2 套 COREX C2000+MIDREX 年产铁水 150 万 t,海绵铁 83 万 t,包括土建共计投资 5 亿美元,但不包括码头装卸设备和原料场。

整套 COREX C2000 设备重 2.7 万 t,奥钢联提供专利

(关键)设备约 0.4 万 t，其余 2.3 万 t 由韩国自己制造。

表 1 新建 1 座 3000m³高炉方案
与建 COREX+DRI 装置方案投资的比较

1 座 3000m ³ 高炉方案(A)		2 座 COREX C2000+MIDREX方 案(B)	
年产 230 万吨铁水 (系数 2.2)		年产 150 万吨铁水+60 万吨海绵铁	
投资估算 (亿元人民币)		投资估算 (亿元人民币)	
码头	4.83	码头	4.83
原料场	9.26	原料场	8.57
烧结	10.68	COREX	27.38
炼焦	22.20	氧气站	7.41
高炉	23.42	IMIDREX	10.12
制氧	0.7	热电站	1.91
拆迁	0.20		
其他未预料	8.66	其他未预料	9.23
小计	79.95 亿元	小计	68.93 亿元
建造期利息	0.89	建造期利息	2.46
流动资金	4.00	流动资金	4.20
总投资	84.84 亿元	总投资	75.58 亿元
单位投资	3688.69 元/t	单位投资	3599.05 元/t

二、生产成本

1 宝钢 3 期后设计中所作高炉生产成本与 COREX 工艺生产成本的对比，见表 2。

表 2 宝钢 3 期后设计中所作高炉生产成本与 Corex 工艺成本对比

项 目	高炉方案 (3000m ³)	COREX 方案
生铁原料成本 (元/t)	1162.3	1285.97
回收煤气炉渣 (元/t)	— 157.8	— 299.02
生铁实际成本 (元/t)	1004.5	986.94

2 ISCOR 的 COREX 铁水成本比其高炉铁水成本下降了 25%。

3 韩国浦项 COREX C2000 铁水成本比其高炉铁水成本低 10%。

4 韩国韩宝项目，由于使用 COREX 尾气生产海绵铁，能耗下降，其吨铁成本比高炉流程低 22%，印度京德勒项目则低 19%。

5 北仑项目预可行性研究计算 COREX 系统成本为 COREX 铁水单价 937 元/thm(不含税)，DRI 产品单价 1030 元/tDRI (不含税)。

6 按欧洲价格计算的铁水成本，见表 3。

表 3

一般 BF：190 美元/thm	富氧 BF185 美元/thm
COREX：180 美元/thm	还原气按焦煤气价格计算时
155 美元/thm	还原煤粉气按煤价格计算时

按不同的电价与煤价比较，当地电价低于 2.5 美分/kWh 时，等离子熔融还原工艺成本最低，当煤价低于 50 美元/吨时，COREX 成本最低，而当煤价高时（接近焦炭的 80 美元/吨 ~ 110 美元/吨）时，BF 系统铁水成本最低。

三、能耗

标煤折算系数为：0.875t/t 煤。

1 宝钢 1994 年 1 ~ 3 号大型高炉系统生产实绩：
0.5895t 标煤/t 铁。

2 宝钢 4#高炉系统方案：0.5758t 标煤/t 铁 ~ 0.5846t 标煤/t 铁。

3 宝钢 COREX+MIDREX 系统方案：0.5262t 标煤/t 铁。

四、COREX 技术生产指标

1 以浦项钢厂 COREX C2000 去年 7 月份生产为例：

铁水温度：1500-1540 °C（平均 1510 °C）铁水成分：
[C]4.2%~4.8%、[S]0.015%~0.030%，作业率 96.5%，月产量 57000thm。

2 1996 年 7 月浦项 COREX C2000 生产指标(平均值)为：

铁水产量：81t/h（最高 85t/h）

输出煤气量：145000m³/h（热值 7500kJ/Nm³）

煤气成分：一氧化碳 35%~45%，氢气 15%~20%，甲烷 1%，二氧化碳 35%，硫化氢 10 ~ 70ppm，其余为氮气、水，含尘量 < 5mg/m³。

耗铁矿石：1480kg/t · hm

煤耗：990kg/t · hm （煤为澳大利亚进口的高低挥发分煤各占一半，包括 5%～10%焦炭）

熔剂：325kg/t · hm

氧耗：560m³/ t · hm

炉渣量：约 340kg/t · hm

3 环保质量以高炉的排放量为 100%计，COREX 的排放量为：二氧化硫 3.5%、炉尘 12%、二氧化氮 11%、苯酚 1%、硫化物 1%、氰化物 6%、氨 8%。

五、原、燃料

1 原料：

理论上凡是高炉使用的原料 COREX 都能用，但实际生产中以球团矿为主，烧结矿很少用。因为球团矿强度好、品位高，有利用降低煤耗。浦项 C2000 使用 70%球团+30%澳大利亚块矿或各占一半，为了保持料柱的透气性，目前 COREX 以使用球团矿和天然块矿为主，矿石粒度见表 4。

表 4

种 类	使用粒度 (mm)	择优粒度 (mm)	TFe%
球团矿	6 ~ 30	8 ~ 6	>58
天然块矿	8 ~ 30	8 ~ 20	>55
石灰石、白云石	10 ~ 30		
石英	4 ~ 10		

矿石化学成分的主要要求是：含铁品位指标：球团矿 TFe%>58%，块矿 TFe%>55%，二氧化硅、三氧化二铝、二氧化

钛含量要求低些，以免增大渣量或引起炉渣粘度增大。为了控制炉渣中三氧化二铝 $<15\%$ ，必要时可添加石英砂或橄榄石。矿石中的磷约 90%转入铁水。对碱金属要求不严，可以使用含碱金属较高的铁矿石。生产 DRI 的球团要求 $\text{TFe}\%>66\%$ 、 $\text{S}<0.005\%$ 、 $\text{P}<0.05\%$ 。

2 燃料

COREX 工艺可以使用范围很广的非焦煤。评估煤质的主要指标包括固定碳、灰分和挥发分。具体要求列于表 5。

表 5

项目	普通值	优选值
固定碳 (%)	>55	60 ~ 75
挥发分 (%)	<35	20 ~ 30
灰分 (%)	<25	5 ~ 12
水分 (%)		
干燥前	<12	5 ~ 10
干燥后	<5	3 ~ 5
全硫 (%)	<1	0.4 ~ 0.6
粒度 (mm)	8 ~ 50	8 ~ 40

使用我国的神府煤、阳泉煤和大同煤按一定比例混合，可得到比较理想的 COREX 用煤。

六、产量

1 伊斯科公司比勒陀利亚厂的第一座 COREX C1000 装置从 1989 年以来已生产铁水 200 多万 t。1993 ~ 1995 年平均每年产铁 32 万 t。浦项第一座 C2000 型 COREX 装置自 1995 年 11 月 14 日开炉到 8 月 19 日已运行 8149 小时,已达到设计生产能力,目前累计生产铁水已达 45 万 t 以上。

2 韩国韩宝的两台 C2000 型 COREX 设备分别将于 1997 年春、夏季开炉投产。南非 Saldanha 的 C2000+DRI 装置将于 1998 年年底建成投产。印度京德勒的 2 台 C2000 分别于今、明年底投产。

到 1998 年底全世界共建成 7 套 COREX 装置,产量将达到 500 万 t/a。

七、关于 COREX 使用少量焦炭作燃料问题

VAI 解释其原因如下:

1 南非 ISCOR 工厂有便宜可用的焦炭,因此尽管 C1000 型 COREX 装置有一年完全用煤冶炼的记录,后来使用了 100kg/t 铁左右的焦粉或小块焦,但一般在矿石质量不好时使用。

2 VAI 解释浦项使用焦炭的原因:

a 其炼钢要求铁水温度高达 $1510 \sim 1530^{\circ}\text{C}$,为满足供热使用一部分高热值的焦炭。

b 浦项供应的煤不能满足工艺热能要求;

c 浦项供应的氧气纯度仅 95%;

d 浦项有焦炉，焦炭可以方便的获得供应。 VAI 认为，在 C2000 的稳定期使用 50 ~ 80kg 大块焦炭，暂时还不能用爆裂性大的无烟煤块取代，随着操作正常化，焦炭用量将逐渐减少或取消。

《世界金属导报》

1997 年 3 月 10 日

非高炉炼铁技术现状及发展方向

1 熔融还原

熔融还原技术将矿石和煤直接转化成液态金属，这种技术的重心已转向使用矿粉和气煤，至今，只有 Corex 工艺投入商业运营，而其它熔融还原技术仍处于开发阶段。

2 以块矿为原料的工艺

COREX 工艺 所有的熔融还原工艺均希望实现或大部分实现如下目标：①耐火材料消耗低；②生产率高；③操作稳定；④能使用各种煤；⑤达到传统冶炼工艺的规模；⑥使用低品位矿粉；⑦环保效果好。Corex 工艺没有实现第六条而是采用块矿，另外，它对入炉煤的粒度有严格的要求，入炉前须经过筛分，但粉料目前还不能在工艺中利用。目前，Corex 正与浦项公司合作，开发 Finex 工艺，目的是突破上述限制，使用 100%粉矿。

Corex 工艺特征为：二步法还原；预还原度高，二次燃烧率低；炉内压力 500kPa；投资高；操作成本高；放散煤气用于发电或生产 DRI 比较经济；设备设计较为困难。

3 以粉矿为原料的工艺

Romelt、Ausmelt、CCF 和 DIOS 工艺实质上是渣浴法，煤和铁矿石加入泡沫渣中，并在其中进行还原。相反，

Hismelt 工艺则采用铁浴法。

3.1 HISMET 工艺 Hismet 工艺属铁浴法，与渣浴法的区别在于热量传输机理不同，另外，该工艺使用热风，而其它工艺使用氧气或富氧空气。试验设备采用卧式铁浴，而商业工厂将采用转炉。CRA 公司可能要建一年产能 50 万 t 的工厂，并采用石球式加热炉，同考伯式热风炉比降低了投资成本。Hismelt 工艺特征为：商业厂将采用简单的水冷圆柱形容容器；采用加压操作；使用热风、粉矿和气煤；缺点是增加了空气预热系统的投资，煤气量大，二次燃烧率低。

3.2 CCF 工艺 CCF 工艺由英钢公司，霍戈文公司和 Ilva 公司合力开发，后来英钢公司和 Ilva 公司不再参与此项目，现在该工艺已建成一 20t/h 的试验厂。与此同时，意大利也在独立开发此工艺，名为 CSM，现已建成 5t/h 的试验厂。此类工艺的特点为：在一个反应器内实现二步反应；容器使用中心氧枪或侧枪，炉内压力 300kPa；熔池煤气可用来在第二旋风器中还原、熔化矿石；使用氧气、煤粉和粉矿（ $<2\text{mm}$ ）；结构简单；煤利用率高；放散煤气的处理技术仍有待验证；二次燃烧率有限。

3.3 AUSMELT 工艺该工艺由澳大利亚 Ausmelt 公司开发，现已建成 1 ~ 5t/d 的试验厂，新的 1.3t/h 试验厂正在计划中。Ausmetl 工艺特征：一步大渣量工艺；水冷矩形容器，水冷枪由顶部入炉；敞口炉工作。轻微有些负压，加料

系统简单；负压操作使原料不能预热和预还原；使用富氧空气（64%O₂），煤粉、块煤；操作成本高，但投资费用低；原料范围广。

3.4 ROMELT 工艺 Romelt 属一步法工艺，它以粉矿和非焦煤为原料。氧气直接吹入渣池，搅动渣池，燃烧掉部分碳。渣层上部的风口为二次燃烧提供氧气。目前该工艺的试验厂位于俄罗斯境内。工艺特征：原料不能预热和预还原；氧气含量 75%，使用块煤和任一种含铁原料；一步法反应，投资低；操作成本高；系统负压使工程技术和加料系统简化：放散煤气燃烧完全，只能用于生产水蒸汽；水蒸汽和电能的合理利用有待改进。

3.5 DIOS 工艺 DIOS 工艺现已达到 500t/d 的示范厂阶段，开发工作还未结束，亦未作出进入工业阶段的计划。Dios 工艺特征：三段式深渣工艺；终还原容器进行水冷，流化床预还原；以煤制造煤气；使用氧气，矿粉和非焦煤；投资高，系统复杂，操作控制困难。

3.6 TECNORED 工艺 此工艺由巴西开发，使用粉矿和焦炭，现在已建一座试验厂，工艺特征为：一步法熔融还原工艺；冲天炉式反应器；使用未焙烧的复合球团，煤和加热的空气：允许使用低强度原料，使用粉矿；燃料消耗较高。

3.7 IFCON 工艺 该工艺由南非伊斯科公司开发，使用矿粉和气煤生产低碳液态金属的一步法工艺。据公司报道，

此工艺耗气量非常大，目前已建成 3 ~ 3.5t/h 的试验厂。

熔融还原工艺对原料粒度的要求见表 1，熔融还原实际使用的原料范围要比直接还原宽，允许使无价值的、或低成本的副产品生产廉价生铁。表 2 给出了高炉铁水和各种熔融还原铁水的成分比较。需要指出的是 Hismelt 工艺铁水溶碳未达到饱和状态，轻微存在氧化条件，故可除去 50% 的磷，而其它工艺原料中的磷基本上全部进入铁水。

熔融还原和直接还原工艺降低生产成本的途径主要有：①从块矿／球团矿向矿粉转变；②提高二次燃烧率，降低煤耗；③以热风代替氧气；④将煤气处理量降至最低点；⑤提高设备生产潜能。因此在发展熔融还原和直接还原时应考虑如下技术因素；①使用粉矿，不使用块矿／球团；②充分利用所有矿粉；③使用气煤，且不限粒度。

本文所涉及的非高炉炼铁技术各有各的特点，在建设费用、操作成本、技术风险、原料种类和环保方面各有所长。用这些工艺所生产的产品也各具特点，很难对它们进行直接比较，比较公正的比较应在炼钢环节上进行。需要指出的是，入炉矿石的质量决定直接还原铁的质量，直接还原铁脉石含量每升高 1%，炼钢成本就要提高 5 ~ 7 美元/t。

本文只是将各种非高炉炼铁技术的优缺点进行比较，无需对某项技术下定论，至于每个工艺的优劣应当在不同的情况下进行研究。

表 1 熔融还原工艺对原料的要求

	Corex	Romelt	Hismelt	CCF	Ausmelt	Dios
铁矿	块矿 6 ~ 30mm	所有含	6mm	2mm	所有含铁料	8mm
	球团 10 ~ 15mm	铁料				
煤	10 ~ 40mm	块煤或粉煤	2mm	2mm	粉煤和块煤	8 ~ 22mm

表 2 各熔融还原工艺铁水成份比较

	高炉	Corex	Romelt	Hismelt	CCF	Ausmelt	DIOS
温度(℃)	1500-1550	1450-1500	1350-1400	1400-1500	1350-1450	1350-1450	1350-1450
C(%)	4.7-4.8	4.2	4-4.8	3.5	4-4.8	4-4.8	4-4.8
Si(%)	0.35-0.4	0.3-0.4	0.01-0.1	-	0.01-0.1	0.01-0.1	0.01-0.1
S(%)	0.03	0.04-0.05	0.03-0.05	0.1-0.15	0.03-0.05	2.05	0.03-0.05
P(%)	0.09	0.1-0.15	0.05-0.1	0.025-0.05	0.05-0.1	0.05-0.1	0.05-0.1

《世界金属导报》 1997 年 4 月 28 日