

出国技术考察报告

西德铁矿石直接还原技术

(内部资料·注意保存)



冶金工业部情报研究总所

出国技术考察报告

西德铁矿石直接还原技术

(内部资料·注意保存)

冶金工业部情报研究总所

一九七九年五月

前 言

受冶金部派遣，我们“铁矿石直接还原组”于1978年9~10月对西德铁矿石直接还原进行了技术考察。

在十九天有效工作日中，我们走访了十三个城镇。接触了两个协会（钢铁协会、煤炭协会）；三个研究所（克虏伯研究所、应用技术研究所、采矿研究所）；四个大公司（克虏伯公司、蒂森公司、鲁奇公司和柯尔夫公司）；参观了一个试验厂（鲁奇公司试验厂）；三个煤制气装置（克虏伯——柯柏斯公司的谢尔——柯柏斯粉煤加压气化半工业性试验装置、采矿研究所利用核能水蒸汽气化试验装置和克虏伯研究所部分氧化法煤粉试验室造气装置）；五个冶金工厂（克虏伯工业制钢公司的莱茵豪森钢厂、蒂森公司的奥伯豪森普罗费尔试验工厂、柯尔夫公司的汉堡钢厂、克虏伯公司的基根威斯特伐伦钢厂和曼内斯曼莱茵钢铁厂）；还参观了制造直接还原和海绵铁冶炼设备的五个机械厂（玻利修斯厂、好望厂、柯柏伦压块机厂、布罗纹·波费利电器公司[BBC]和德马克厂）。

通过参观、座谈，加深了我们对米法、普法和回转窑法生产海绵铁工艺的了解。在炉子结构和一些设备性能上得到了一些新的东西，看到我们在科研和现代化技术应用上和他们的差距。

由于时间短、内容多、我们能力所限，加上德方对“专利”的保密，许多我们想知道的东西未能获得。对已得的某些数据缺乏图纸或书面资料的依据而仅凭对方座谈时口述。因此，报告中有不确切、不完整甚至错误之处，望大家批评指正。

冶金部赴西德铁矿石直接还原考察组

杨森培	(四川冶金局)
张安统	(成都钢铁厂)
陈道腴	(攀枝花钢铁研究院)
秦文浩	(重庆钢铁设计院)
黄丽全	(韶关钢铁厂)
王冠伦	(北京钢铁设计院)
刘春生	(北京矿冶研究院)
韦俊贤	(北京钢铁研究院)

一九七九年五月

目 录

第一部分 海绵铁冶炼对原料的要求	(1)
一、铁矿石	(1)
二、天然气	(3)
三、回转窑对原料和燃料的要求	(3)
四、小结	(3)
第二部分 两种竖炉法	(3)
一、米德勒法 (Midrex)	(3)
二、普罗费尔法	(14)
三、米法和普法的比较	(19)
第三部分 海绵铁压块	(19)
一、压球机构造	(20)
二、普罗费尔法热压块流程	(20)
三、冷压块	(21)
第四部分 海绵铁炼钢	(22)
第五部分 回转窑生产海绵铁	(24)
一、克虏伯法	(24)
二、SL/RN法	(25)
三、鲁奇试验窑概况	(27)
四、问题和意见	(28)
第六部分 西德直接还原研究概况	(29)
一、科研组织	(29)
二、西德铁矿石直接还原研究工作	(30)
三、讨论和建议	(32)

第一部份 海绵铁冶炼对原料的要求

为了达到高产、优质、低耗，一切冶金方法对燃料和原料都有一定的技术要求。目前，世界上已工业化的海绵铁生产方法有好多种。这里，我们只讨论在本次考察中涉及到的米式竖炉、普式竖炉、回转窑对原料和燃料的具体要求。

一、铁 矿 石

(一) 化学成份

1. 含铁量：海绵铁主要用来代替部分废钢。需要的铁矿石一般要求含铁量不低于65%，通常是67~69%。

2. 脉石： SiO_2 、 Al_2O_3 、 CaO 、 MgO 等总量最高不超过5.5%，最好<2.5%，一般3.5%左右。

3. 有害元素：对于竖炉法，以下三种元素要作严格要求：

P：主要影响炼钢工艺和钢材质量，在竖炉还原中不能除去，必须限制在0.04%以下；

V_2O_5 ：据日本神户制钢公司提供的米式竖炉资料介绍，钒能损坏转化炉中的转化管，原因不明。国外使用的实例是0.007~0.12%；

S：对直接还原和炼钢工艺均为有害杂质。米式对矿石含S要求<0.01%（对标准流程）。如果采取经冷却后的炉顶气直接引入冷却带，让海绵铁吸收一部分S的方法（改进的流程）；则矿石含S量可放宽到0.03%，普法由于在制气炉的烧炉过程可以烧掉一部分S，矿石含S量允许到0.05%。

米法、普法使用的原料实例见表1。

(二) 物理性能

1. 粒度：要求粒度均匀，一般6~30毫米，6毫米以下不超过5%。

2. 球团抗压强度：平均200公斤/个，<80公斤/个的部份不超过5%。

3. 转鼓试验（ASTM）：大于6毫米量至少超过90%。据介绍，球团入炉前要过筛，因为原始粉末量对竖炉煤气分布影响很大。一般情况下，氧化矿物到厂后，<6毫米量约占5~10%，其中3~6毫米部分约占50%，这部分可以入炉。粉末中<3毫米部分，对于单一的米式工厂，正在研究冷压块入炉的可能性，以减少经济损失。

(三) 还原性能

对铁矿石，要求还原性好、耐温性高、还原过程膨胀系数和粉化量小。

1. 用Cakustin方法测定，要求球团还原指数最小55%，膨胀指数最大15%，还原后压力强度最小35公斤/个。

2. 耐温性，即荷重还原条件下的软化特性。通常酸性球团软化温度在800~900℃，竖炉应在低于此温度40~50℃的条件下进行操作。

3. 爆裂性：矿石在还原和加热过程会产生爆裂现象，因为爆裂是发生在整个断面，

因而对气流均匀分布影响不大。但要引起料层的压力损失，影响炉子生产率。衡量这一特性主要看料层的压力损失。竖炉设计允许最大压差，米式竖炉是 0.85 巴（表压），普式竖炉是 1.2 巴。正常情况下，实际操作压差是 0.5~0.65 巴。就最大允许压差而言，普法比米法有条件扩大块矿用量。

米法、普法原料使用实例 表 1

商 标	化 学 成 份 %							粒 级 (毫 米) %			备 注
	TFe	SiO ₂	Al ₂ O ₃	CaO	MgO	P	S	>19	19~6	<6	
球 (LKAB) 团	68.13	1.53	0.74	0.12	0.30	0.009	0.002	4.5	88.2	7.5	Georgetown Hamburg
球 团 MPR (MalMBERGET)	68.00	1.20	0.40	0.20	3.30	0.015	0.005	—	—	—	Hamburg Oberhausen
球 团 MPD (MalMBERGET)	67.00	1.20	0.60	1.20	1.00	0.012	0.001	—	—	—	"
球 (Brazil) 团	68.12	1.01	0.91	0.59	0.11	0.027	0.009	10.0	84.8	5.2	Georgetown Sidbec
球 (Hilton) 团	67.08	2.18	0.25	0.22	1.40	0.005	0.006	0.4	97.4	2.2	Sidbec
球 (Carol) 团	65.26	5.73	0.33	0.34	0.26	0.012	0.002	4.5	91.3	4.2	Sidbec Oberhausen
球 (Marcona) 团	67.30	1.40	0.58	0.34	—	0.005	0.005	—	—	—	Portland
块 (Mutuca) 矿	67.46	0.70	1.18	—	—	0.042	0.005 0.01	9.8	84.7	5.5	Sidbec Oberhausen
块 (Itabira) 矿	66.30	1.18	1.50	0.10	0.05	0.050	0.02	—	—	—	Oberhausen
块 (Aguas Claras) 矿	68.00	0.60	1.50	0.30	0.20	0.030	0.005	—	—	—	Hamburg

(四) 球团矿与块矿

球团粒度均匀、还原性好，同时在生产过程中可人为改变其性质，是竖炉期望的好原料。从经济上考虑，各种直接还原法都把能够 100% 处理块矿作为突出优点来评价。实际上，由于多数块矿系酸性脉石，成份不稳定，还原性不如球团、易爆裂等原因，适于竖炉的块矿是不多的。

据米法介绍：米法在使用 100% 块矿时，生产率大约要降低 10~20%。为了保证炉子的正常运行，还须要采取相应技术措施，如提高还原气入口压力，改进炉顶布料；加快松动摇摆速；从松动摇处喷入一定量天然气以保证冷却效果等。

在实际生产上，汉堡厂 1978 年 8 月采用 75% 的球团和 25% 块矿混合使用，达到月产 46620 吨的最高纪录。汉堡厂经验认为：块矿有助于提高还原温度。过去使用单一球团，还原温度只能限制在 760℃，温度再高，球团有粘结趋势。配入 25% 的块矿后，还原温度提高到 850℃，竖炉顺行，产品合格。一般来说，提高入炉煤气的温度，有利于还原，有利于增产。这一经验表明，正确掌握各种原料特性，根据具体条件配合使用，是提高竖炉效率的可取方法。

二、天 然 气

对天然气的质量，主要看 CH_4 和S的含量。米法和普法对天然气含S量都有较严的要求，以防催化剂中毒。米法要求天然气含 $\text{S} < 15\text{PPM}$ ，委内瑞拉厂甚至把S脱到2PPM。普法因系间隙式转化工艺，允许天然气含 $\text{S} < 30\text{PPM}$ 。

三、回转窑对原料和燃料的要求

克虏伯公司认为，用固体还原剂的回转窑对矿石或球团物理性能和化学成份的要求不像竖炉那样严格，因此这种工艺的适应性较强。对矿石质量要求的高低，主要取决于下一步海绵铁应用的经济性。对还原剂的选择，要考虑下列因素：

1. 反应性；
2. 挥发份含量，最好大于16%；
3. 含硫量 $< 1\%$ ；
4. 灰份量 $< 25\%$ ；
5. 灰份软化点，需高于回转窑工作温度 200°C ；
6. 容积比重不宜太小。

四、小 结

无论哪种直接还原法，首先是对原料特性要有正确的评价，才能提出恰当的技术措施。因此要尽快地建立起对矿石和燃料性能的各种测试方法，统一全国的测试标准，建立技术评价中心，以指导各地直接还原工作的开展。

第二部分 两 种 竖 炉 法

一、米德勒法 (Midrex)

汉堡钢厂位于西德北部易北河畔，是欧洲第一个以米德勒法为基础的钢铁联合企业。对于这个厂的情况，过去发表的资料已有较详细的报导。这里，我们仅就此次考察收集到的资料和参观中注意到的一些问题提供大家参考。

(一) 汉堡钢厂生产流程，见图1。

(二) 汉堡钢厂设备技术性能

1. 米德勒法直接还原设备技术性能表 表 2

生产率	62.5吨/时
年运转时间	8000小时
装料	球团/块矿 混装
粒度	3~38毫米
单位能耗	
天然气	3.0百万大卡/吨

电	110瓩时/吨
水	1.0立方米/吨
竖炉	
直径	4880毫米
还原带高度	9.8米
还原带容积	183米 ³
冷却带容积	126米 ³
单位容积产量	
按还原带容积算	8.2吨/米 ³ ·日
按全部带容积算	4.854吨/米 ³ ·日
制气炉	
催化管数目	200根
催化管长度	9600毫米
催化管直径	254毫米
催化管材质	Ni—Cr—Nb合金
催化剂	Ni催化剂
加热方式	底部燃烧器
炉温	1150°C
生产还原气能力	95000NM ³ /时

2. 汉堡厂米法流程见图2。

3. 汉堡厂米法热量平衡图，见图3。

4. 汉堡厂电炉技术指标 表3

	1 [#] , 2 [#] 炉	3 [#] 炉
年产量	350000吨	500000吨
平均装料量	102吨	110吨
平均出钢量	90.5吨	100吨
炉子类型	好望厂产	克虏伯产
投产年份	1971年	1976年
变压器 公称/最大	40/45百万伏安	66百万伏安
单位功率	450千伏安/吨	600千伏安/吨
最大熔炼功率	32百万瓦	45百万瓦
初级电压	30千伏	30千伏
次级电压 高档/低挡 级数	500伏/175伏 18级	660伏/165伏 27级
最大熔炼电流	61千安	80千安
炉壳直径	5800毫米	6800毫米
极心圆直径	1450毫米	1300毫米
电极直径	550毫米	600毫米
耐火材料		
炉底	镁砂捣打	

炉壁	镁砖
炉盖	高铝砖 ($Al_2O_3 > 70\%$)
除尘系统	联合排烟罩—直接烟尘抽出一干式除尘
总气量	1.6百万标准立方米/时
海绵铁加料系统	从炉盖加料孔连续加入

5. 汉堡厂连续铸锭装置 表 4

已投产 计划建造

(1) 铸造设备

设备类型	弧形	弧形
制造厂家	康卡斯特—西罗曼 (Concast—Schlomann)	
投产年份	1971年	
设备台数	2	1
每台设备流股	4	6
浇注弧度半径	5000毫米	8000毫米
锭截面尺寸(mm)	100×100~130×130	100×100~200×200
结晶器长度	800毫米	
盛钢桶吊装设备	三台门型浇注车	旋转吊车
浇注液面调节方式	自动	自动

(2) 整理装置 表 5

制造者	霍斯特姆伯尔格和克里特茨 (Hoestenberghe und klütsch)	
切断装置	机械飞剪	火焰切割器
剪切力	300吨	
冷床	旋转冷床	旋转冷床
长度	14.4米	
最大锭长	14米	16米

6. 汉堡厂除尘设备技术数据 表 6

装置型式 联合罩式和直接抽出

	炉 1	炉 2	炉 3
功率指标			
吸尘能力			
除尘罩	700000NM ³ /h =412000cfm	700000NM ³ /h =412000cfm	700000NM ³ /h =412000cfm
加料罩	680000NM ³ /h =400000cfm	680000NM ³ /h =400000cfm	680000NM ³ /h =400000cfm
直接吸尘	90000NM ³ /h =53000cfm	90000NM ³ /h =53000cfm	100000NM ³ /h =59000cfm
设备总能力		1.6百万NM ³ /h =942000cfm	

操作温度为95°C设备总能力	2.17百万NM ³ /h =1.28百万cfm
风机总功率	4 MW
软管过滤器室数据	
过滤面积	30720M ²
过滤室数	16
软管数	3072
过滤器材质	聚酯纤维, 硅酮化
软管尺寸	φ292mm 11M长
最大工作温度	140°C
软管室规格	
长	48M
宽	11.5M
高	32M
监测仪	8个光学粉尘测定仪, 当超过30mg/NM ³ 极限值时, 就将有故障的室自动断路。

7. 汉堡厂轧钢设备技术数据 表 7

(1) 轧钢机

年产量	480000吨
加热炉型式	Bauart Stein—Surface
加热炉生产能力	110吨/h
炉子尺寸	长11.5M 宽14.8M
单位炉床面积生产率	640kg/M ² ·h
线材棒材综合轧机	Bauart Schloemann/Ashlow 型
开轧断面面积	100~120mm ²
原料	钢坯长14M 重1550kg
成品尺寸	线材5.5~16mm 棒材 12~38mm
轧制速度	线材至60M/sec 棒材至12M/sec
粗轧机 (Schloemann型)	9个二辊机架 1~9 轧辊直径 550~420mm
中间轧机 (Schloemann型)	8个二辊机架 10~17
成品轧机 (Achlow型)	二辊转坯型 8个二辊圆盘机架 17~25 辊环直径 216mm
终轧速度	60m/sec
从25架出来尺寸	5.5 6.0 6.5 7.0 7.5 8.0mm
从23架出来尺寸	8.5 9.0mm

孔型寿命	1200吨/孔	
已达到轧制产率	5.5mm	60t/h
	6.0mm	63t/h
	6.5mm	68t/h
	7.0mm	110t/h
线材冷却控制	水、空气综合冷却	
	由链传动输送立式或卧式线材卷	
棒材精整	回转剪切机	
	剪切公差	$\pm 1\text{cm}$
	冷床36M长从16M宽	

(2) 矫直机

年产量	80000吨
原料	人字钢筋, 圆钢至 $80\text{kg}/\text{mm}^2$ 强度 方钢
坯子重量	1500kg 卷重
尺寸	5.5~16mm直径
成品长度	2~16m
3 矫直机	Koch型
矫直速度	至210m/min
矫直设备	辊式或转子矫直机

(三) 汉堡厂竖炉结构的一些特点

(1) 炉顶结构

汉堡竖炉的炉顶结构如图 4 所示:

(2) 还原气进出口

汉堡厂竖炉还原气入口有 72 个, 每个口直径约为 150mm, 还原气总管为矩形环状结构, 高2000mm, 宽500mm, 煤气入口离总管底部高200mm, 入口处是一块特殊砖制作的。其结构如图 5 所示:

(3) 排料支撑辊

竖炉的排料支撑辊有三层, 第一层为三根, 第二层二根, 第三层为一根。第二层和第三层在竖炉的圆锥部分, 它们的作用有三: 一是起支撑物料作用, 二是起松动和控制物料均匀下流的作用, 三是起破碎的作用。其结构如图 6 所示。

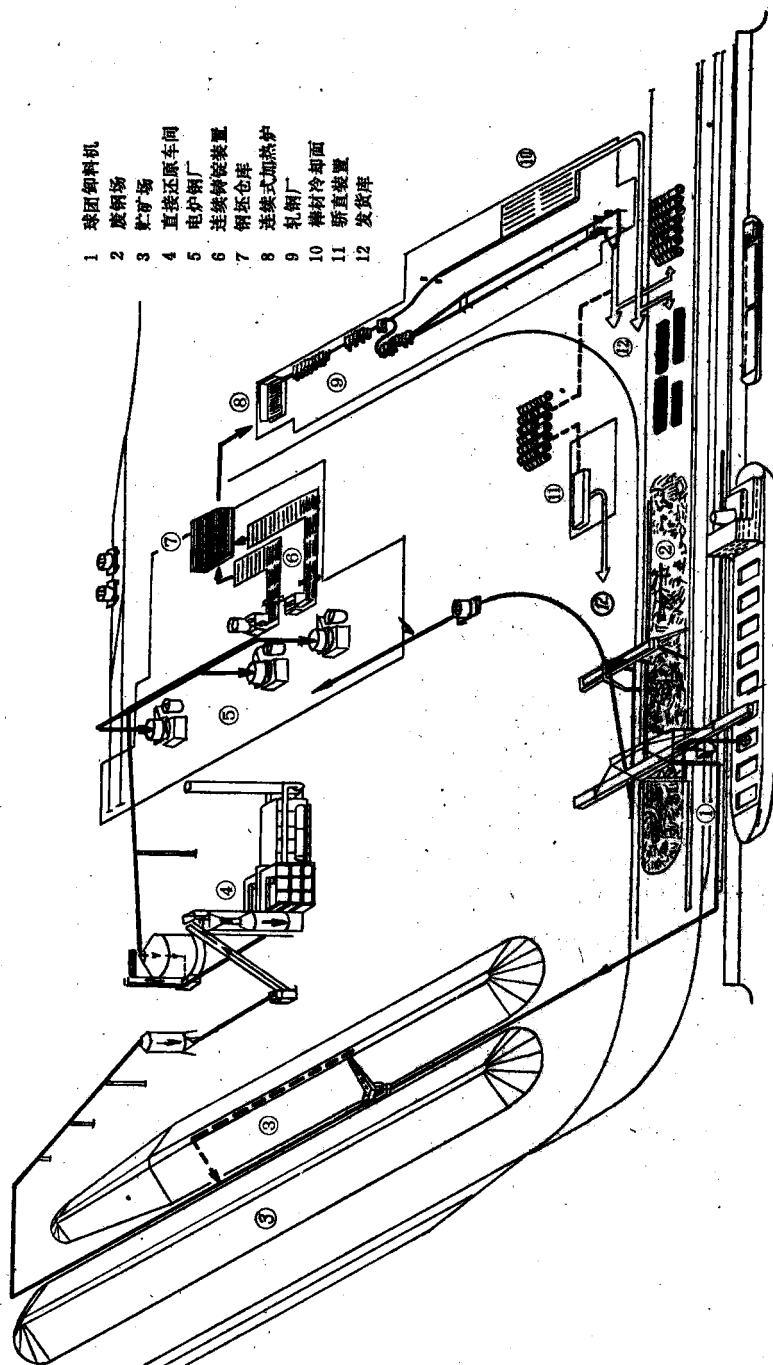


图1 汉堡钢厂生产流程图

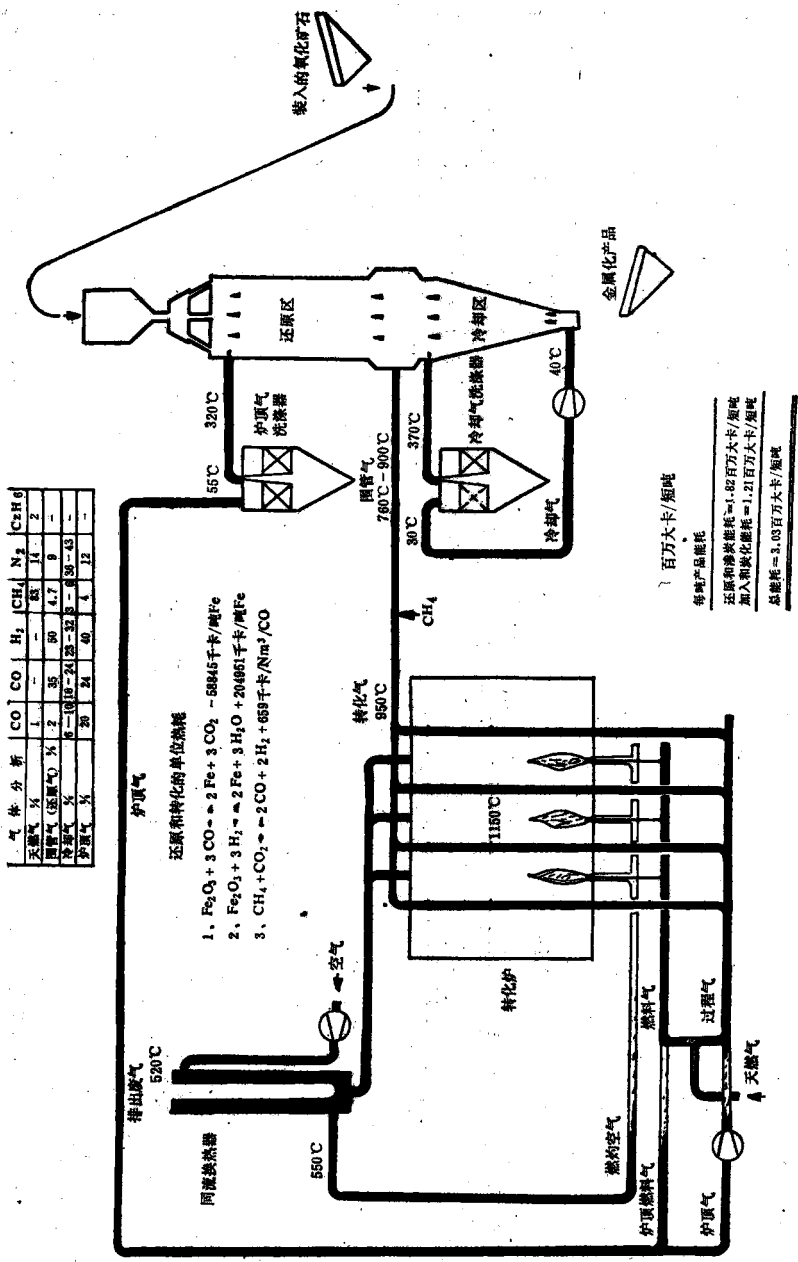


图2 汉堡厂米法流程图

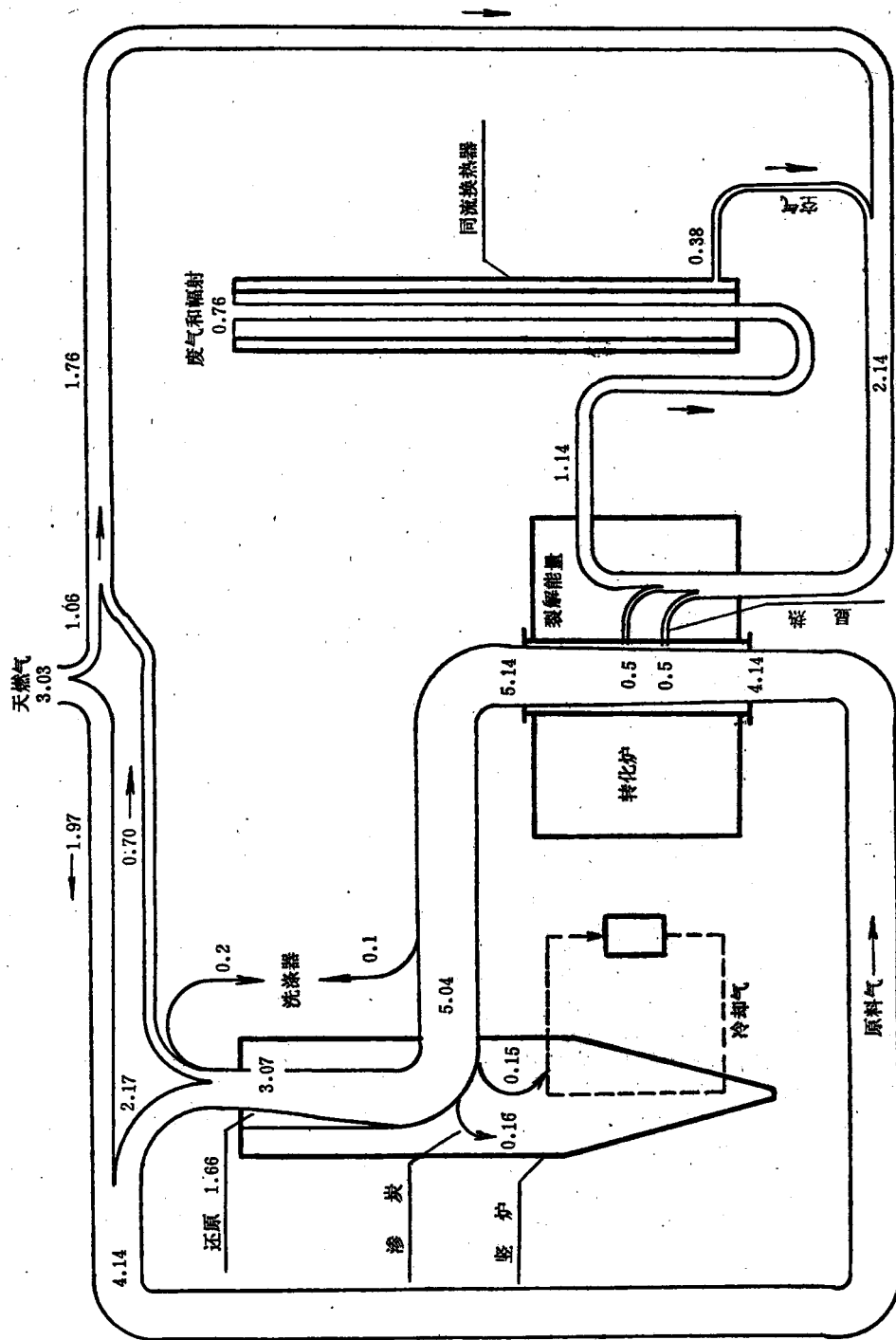


图3 汉堡厂米法热量平衡图
(百万卡/每吨金属化球团)

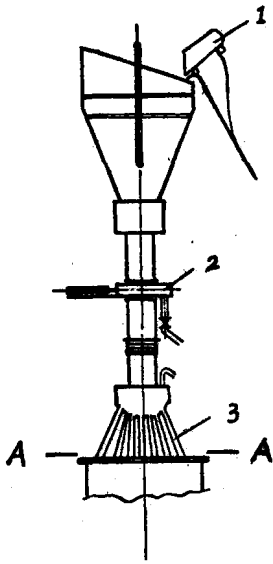


图 4 米式竖炉炉顶图

1—料车；2—安全切断伐；3—布料管

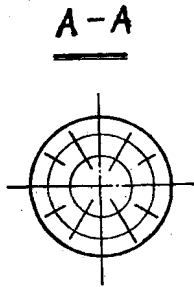


图 5 还原气进口结构图

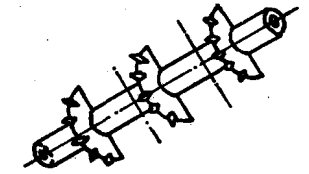
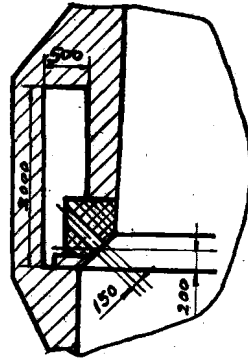


图 6 排料支撑辊结构图

第一层辊中心通水冷却，每根辊上有4~5个叶片，每片上有4~5个齿，辊摆动45°约30分钟，材料为含Ni, Cr的高温合金。传动方式为液力传动，三辊同向来回作45°摆动，如图7所示。

第三层辊的摆动是同竖炉排料机构相连的，同用一个油缸带动，如图8所示。

4) 冷却气分布器和集气管

分配器的形式为百叶窗式，如图9所示。

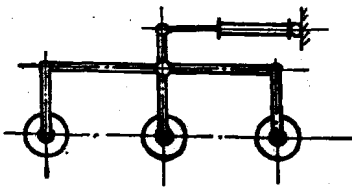


图 7 上层松动辊传动示意图

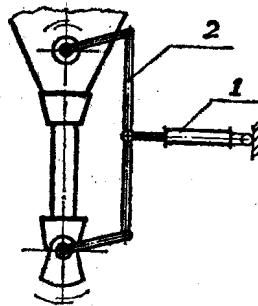


图 8 排料机构示意图

1—油缸；2—连杆

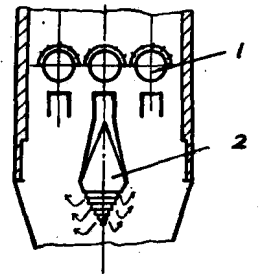


图 9 冷却气体分配器

1—松动辊；2—分配器

它是保证海绵铁均匀冷却的部件，安置在锥体的中心，使冷却气均匀分布在海绵铁中。

集气管为三支横跨竖炉的导管，安置在第一层排料辊的下面。在炉外汇合进入冷却气洗涤塔，经洗涤，冷却，加压脱水后再进入分配器，冷却海绵铁。

为了使冷却气不向上窜，集气管的压力必须与还原气入口压力保持一定的压差，在汉堡是0.05kg/cm²，(即冷却气压力低0.05)。

(5) 竖炉内衬

为高铝砖，砌在圆柱体部分，在圆锥体部分无内衬。

(四) 米法生产过程的一些参数

1. 温度

制气炉温度	1150°C
出制气炉还原气温度	950°C
入竖炉还原气温度 (按原料选择)	760~900°C
炉顶气温度	320°C
炉顶气出洗涤器温度	约55°C
冷却气入口温度	40°C
冷却气出口温度	370°C
出洗涤器的冷却气温度	约30°C
转换炉所需燃烧用空气预热温度	550°C
换热器废气排出温度	520°C

2. 压力

还原气入竖炉压力 (按原料选择)	0.8~1.2巴 (表压)
竖炉炉顶压力 (按动力学密封要求)	0.35巴
冷却气出口压力	0.75巴
催化管阻力损失 (正常情况下)	0.3巴

3. 气体成份

	CO ₂	CO	H ₂	CH ₄	N ₂	C ₂ H ₆
天然气(%)	1	—	—	83	14	2
还原气(%) (干)	2	35	50	4.7	9	—
冷却气(%) (干)	6~10	16~24	23~32	3~6	36~43	—
炉顶气(%) (干)	20	24	40	4	12	—

4. 气体量

制气炉能力	95000NM ³ /时
还原气耗量	1800~2200NM ³ /吨海绵铁
冷却气耗量	约54000NM ³ /时
	约1000NM ³ /吨海绵铁
动力学系统密封气量	1000~2000NM ³ /时
摆动辊轴端头密封气量	50~100NM ³ /时

5. 含尘量

炉顶气含尘	约6000mg/NM ³
净化后炉顶气含尘	约4 mg/NM ³
冷却气含尘	约6000mg/NM ³
净化后冷却气含尘	约4 mg/NM ³

(五) 制气炉

关于制气炉的部份数据已在前面表2中谈及。这里根据我们在现场参观和座谈的见闻