



钢铁厂的能源技术研究

冶金工业出版社

76.193
171
C.2

钢铁厂的能源技术研究

北京钢铁设计研究总院
《钢铁厂的能源技术研究》编译组

冶金工业出版社



钢铁厂的能源技术研究

北京钢铁设计研究总院

《钢铁厂的能源技术研究》编译组

责任编辑 郭历平

*

冶金工业出版社出版

(北京灯市口74号)

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

*

787×1092 1/16 印张13 3/4 字数327千字
1982年6月第一版 1982年6月第一次印刷
印数00,001~1,800册
统一书号: 15062·3638 定价1.45元

编译前言

本书是根据国际钢铁学会技术委员会 (International Iron And Steel Institute, Committe On Technology) 编写和出版的《钢铁厂的能源技术研究》(A Technology Study On Energy In The Steel Industry) 1976年版本译出。

本书较系统地研究了钢铁工业主要生产工序的能源分配及消耗情况, 分析和讨论了钢铁生产操作结构和操作条件对能耗的影响, 提出了可能实现的节能技术和节能方向。书中还以大量图表列出了可供对比的世界各国的吨钢能耗数据, 是近年来研究钢铁工业能源技术内容较为完整的参考材料。

在本书编译过程中, 对原文某些部分图文及编排顺序略有删改。

由于编译者水平所限, 译文不免会有错误, 请读者批评指正。

北京钢铁设计研究总院
《钢铁厂的能源技术研究》编译组

1979年5月

36823

目 录

第一章 模型工厂的能源研究	1
第一节 引言	1
第二节 模型工厂的能源研究	1
一、模型工厂的建立	1
二、粗钢的定义	1
三、模型工厂操作的特征	2
四、能源研究的范围和基本条件	4
五、模型工厂(A)的操作条件	7
六、能量节约和代用技术	11
第三节 结论	12
第二章 节约能源技术	13
第一节 引言	13
第二节 操作结构及其对能耗的影响	14
第三节 操作条件及其对能耗的影响	17
一、炼铁	17
二、炼钢	29
三、轧制、精整及其它	41
第三章 工艺变化和能源利用之间的关系	43
第一节 引言	43
第二节 对能源数据的初步评论	43
一、不等量的能源形式	43
二、废钢问题	43
三、产品质量的变化	44
四、补充说明	44
第三节 炼铁	44
一、焦炭消耗	45
二、总能耗	49
第四节 炼钢	59
一、一般趋势	59
二、炼钢方法对能源的要求	61
三、炼钢厂的能耗	62
四、每吨粗钢总能耗	69
五、连续铸钢方法	70
第五节 轧制、精整及其它	72
第六节 总能源消耗	79
第七节 初步结论	102
一、炼铁	103

二、炼钢	103
三、轧制、精整及其它用途	103
第八节 图表说明	104
附录一 钢铁工业的生产构成和操作条件	105
附录二 钢铁工业中不同形式能源的利用	137
附录三 电力换算系数	211
附录四 钢铁工业中废钢用量	212

第一章 模型工厂的能源研究

第一节 引言

国际钢铁学会技术委员会工作组在第四次会议上决定：应当从节约能量的观点出发，描述一个典型的模型工厂。这个模型工厂应当利用目前可能应用的最新技术，使它在和采用现有技术的现代化大型厂对比时，能量消耗是最小的。

选择了下列三种不同类型的模型工厂：

- 1) 模型工厂A为800万吨^①的联合钢铁厂。
- 2) 模型工厂B₁为100万吨小型厂。包括：全废钢电炉—连铸—轧机。
- 3) 模型工厂B₂为100万吨小型厂。包括：直接还原炉—电炉—连铸—轧机。

选用800万吨工厂（模型工厂A）作为联合企业模型的理由，是因为它虽然不是目前世界上最大规模的，但是它表征了大型钢铁厂的倾向和这种工厂的特点。

选用100万吨产量作为所谓的小型厂（模型工厂B₁及B₂）的理由，是因为目前虽然40到50万吨的工厂已经很普遍，但是现在它们的生产能力几乎增加一倍。

全废钢小型工厂的另一种形式是把直接还原炉和电炉连接起来（模型工厂B₂）。在此情况下，电炉的金属炉料的75%用直接还原铁来代替，其余是废钢和铁合金。选用这个比例，是为了和模型工厂（A）有相同的基础，在模型工厂（A），75%的炉料是高炉的铁水，其余是废钢和铁合金。

由于模型工厂没有不适当的生产能力损失和经济的破坏，它耗用的能量是最小的，这就很难确定它应当采用哪些特殊的节能措施。

在对模型工厂的能耗进行研究之前，设定了以下条件：

- 1) 模型工厂内不包括那些最近才发展起来的节能装置。因为这些装置还只在少数几个钢铁厂处于试验阶段，而至今还未经主要产钢国家作出评价。
- 2) 列出了这些节能的设施。
- 3) 考虑了钢铁厂的整个系统的能量平衡。
- 4) 包括了环境保护措施。

第二节 模型工厂的能源研究

一、模型工厂的建立

考虑下面三种类型：

- 1) 模型工厂（A） 800万吨联合企业。
- 2) 模型工厂（B₁） 100万吨小型厂。包括：全废钢电炉—连铸—轧钢。
- 3) 模型工厂（B₂） 100万吨小型厂。包括：直接还原炉—电炉—连铸—轧钢。

二、粗钢的定义

^① 系指公吨。

如上所述，三种类型的模型工厂的规模为：800万吨，100万吨，100万吨。

上述规模是指粗钢的产量来说的。对“粗钢”这个词的理解如下：

1. 模型工厂 (A)

$$CS = I + SLc + BMc$$

式中 CS ——粗钢产量 (800万吨/年)；

I ——良锭量 (230万吨/年)；

SLc ——良连铸板坯量 (480万吨/年)；

BMc ——良连铸方坯量 (90万吨/年)。

2. 模型工厂 (B_1)

$$CS = BMc + BLc$$

式中 CS ——粗钢产量 (100万吨/年)；

BMc ——良连铸方坯量 (57.5万吨/年)；

BLc ——良连铸坯量 (42.5万吨/年)。

3. 模型工厂 (B_2)

$$CS = BMc + BLc$$

式中 CS ——粗钢产量 (100万吨/年)；

BMc ——良连铸方坯量 (57.5万吨/年)；

BLc ——良连铸坯量 (42.5万吨/年)。

三、模型工厂操作的特征

1. 模型厂 (A) 高炉操作中规定下列数字：

烧结矿对球团矿比例	70 : 30
焦比	400公斤/吨铁水
喷油率	65公斤/吨铁水

世界上大多数先进高炉使用的炉料是80~85%烧结矿和20~15%块矿，实际上并不需要球团矿，但是这里采用烧结矿对球团矿比例为70:30，其理由如下：

1) 烧结厂的能量消耗比球团矿大 (烧结矿的能耗是569000千卡/吨，球团矿为300000千卡/吨)。

2) 在模型工厂中使用烧结矿和球团矿，可以使读者有可能把这种炉料和其他任何一种炉料进行比较。

3) 炼焦厂所产生的焦末量相当于炉料中70%烧结矿所需的焦末量，从而避免外来的能量。

上述的焦比和重油喷吹率相当于目前世界上许多现代化高炉最好的操作水平。

在转炉炼钢生产中，规定铁水比为75%，选用较低铁水比的理由是为了减少高炉生产的铁水量，因为高炉是最大的耗能单位，由此也就减少了全厂的能耗。

有人认为，如果将来废钢供应不足，那么这样低的铁水比就不现实，如果废钢转移用到电炉，这个情况就更加突出。即使这些变成事实，重要的是不要忘记，从能量的观点来看，把废钢用在氧气转炉中炼钢，要比用在电炉中便宜些。

连铸对铸锭的比例，规定为70:30。初看起来，连铸比例似乎太高了，我们审慎地选用了这个比例，这是因为在最近的将来，技术的改进，使之有可能扩大连铸的使用。

在方坯铸模中浇铸出的初轧方坯量，规定为 90 万吨/年，其中 32.5 万吨/年送到型钢轧机，其余 57.5 万吨/年送到板坯和初轧车间。在初轧车间，初轧方坯将被轧成小方坯，再送到线材轧机。

关于热轧最终产品，即厚板、热轧板卷、线材和型钢的比例，在本研究中采用图 1—1 所示的比例。

上述全部设想和目前的实际情况是符合的。

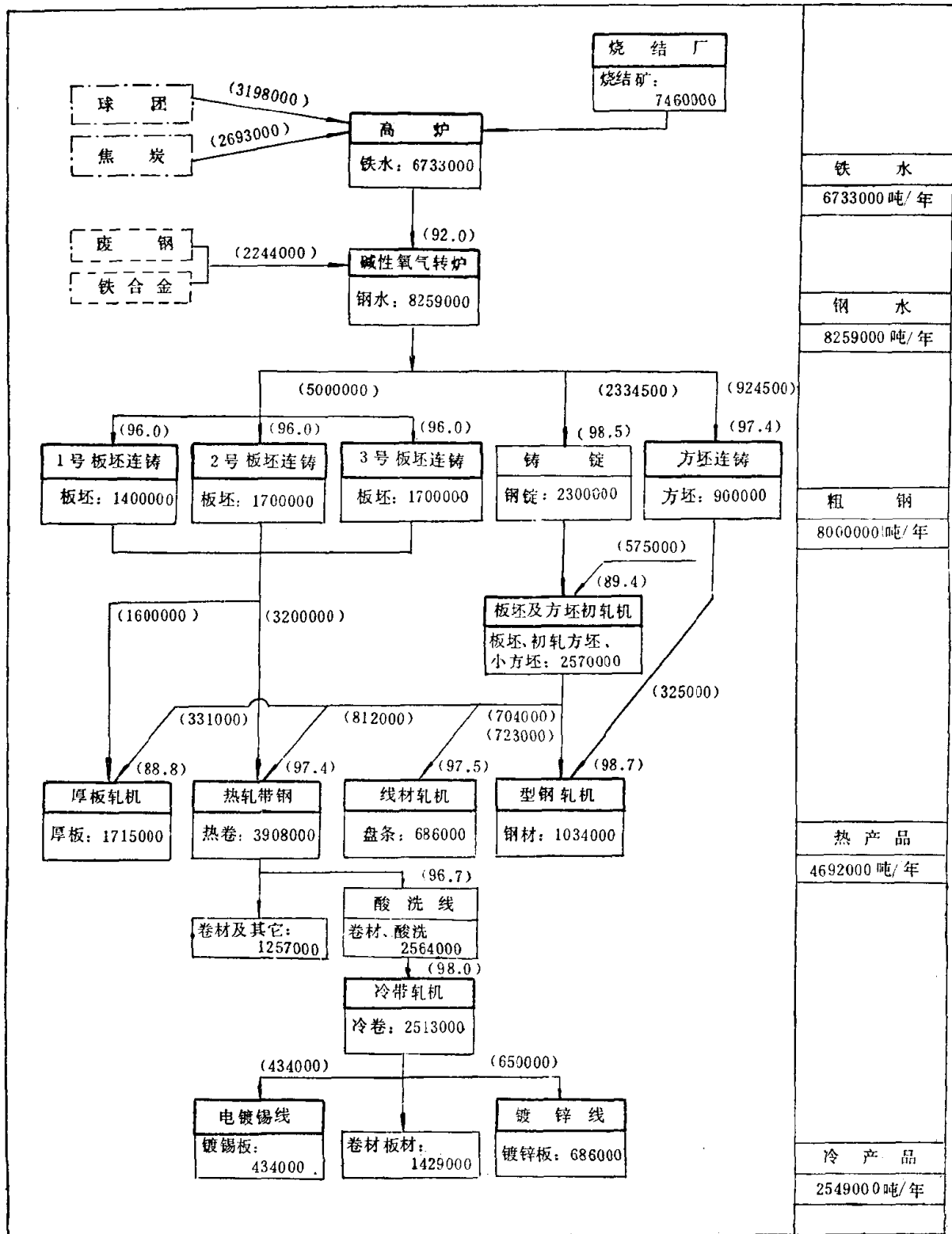


图 1—1 模型工厂 (A) 中物料流程及产品组合

在冷轧和精整线，即冷带钢轧机电镀锡线和镀锌线，物料的流程是非常复杂的，但是为了便于研究，我们采用了图 1—1 所示的简化流程。

2. 模型工厂 (B₁) 这是全部用废钢做原料的电炉钢厂。废钢中含铁量虽然变化很大，但这里按含铁量为100%考虑。如图 1—2 所示，在电炉中，产率选用96.0%，比一般情况稍高一些。氧气和电力的单耗固定在17标米³/吨和 460度/吨。因为合金钢耗能较多，故此处未把在电炉中生产的合金钢计算在内。初轧方坯和小方坯对钢水的产率规定为97.4%。把100万吨/年的初轧方坯和小方坯分送到线材和型钢轧机后，这些车间的产量为：

线材轧机 41.4万吨/年
型钢轧机 56.8万吨/年

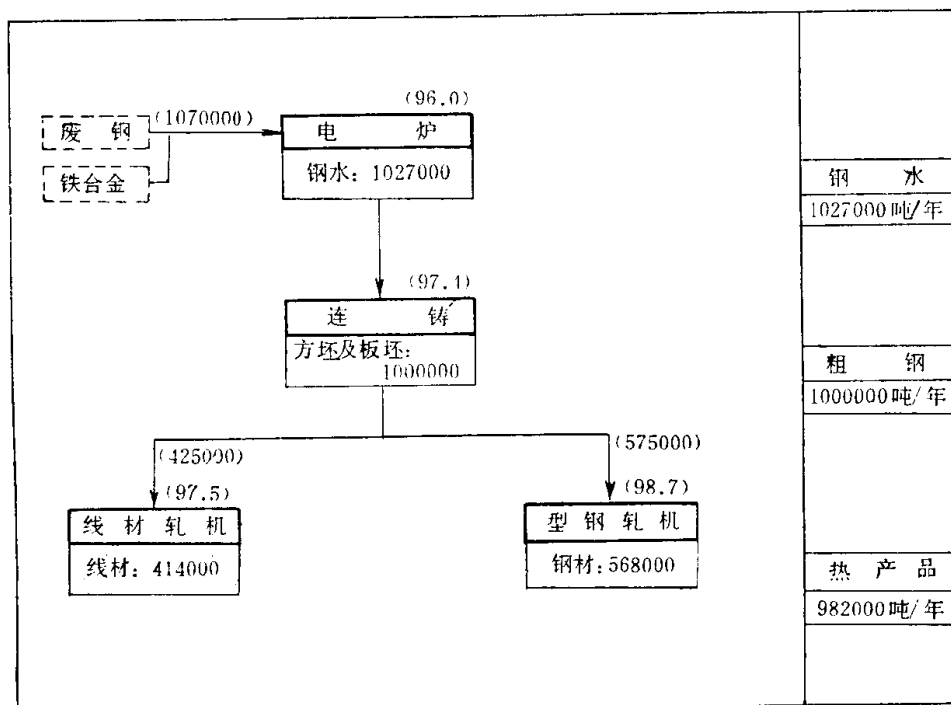


图 1—2 模型工厂 B₁ 物料流程及产品组合

3. 模型工厂 (B₂) 这是用废钢和海绵铁做原料的电炉钢厂。加入废钢和铁合金的总量是每吨钢水296公斤，这相当于模型工厂 (A) 的比例。如图 1—3 所示，电炉的铁产率固定在93%，由于渣量较大，它比模型工厂 (B₁) 低 3%。由于海绵铁中铁含量为91.7%，所以每年需要90.3万吨/年海绵铁。球团矿中铁含量为67%，并考虑球团矿的损失为 5%，这样需要的球团矿量为130万吨/年。电炉炼钢以后的物料流程，与模型工厂 (B₁) 相同。

模型工厂 (A)、(B₁)、(B₂) 的工艺能耗比较见图 1—4，按使用燃料的能耗比较见图 1—5。

四、能源研究的范围和基本条件

为了研究模型工厂 (A)、(B₁)、(B₂) 的总能耗，先计算在这些模型工厂中的各车间（在各图中用粗墨线框来表示）的各种能耗量，然后算总量，再加上其他公用事业及运输等能量，最后计算出全厂能耗的总和。所有各个车间的能耗以及全厂总的能耗见表 1—1、1—

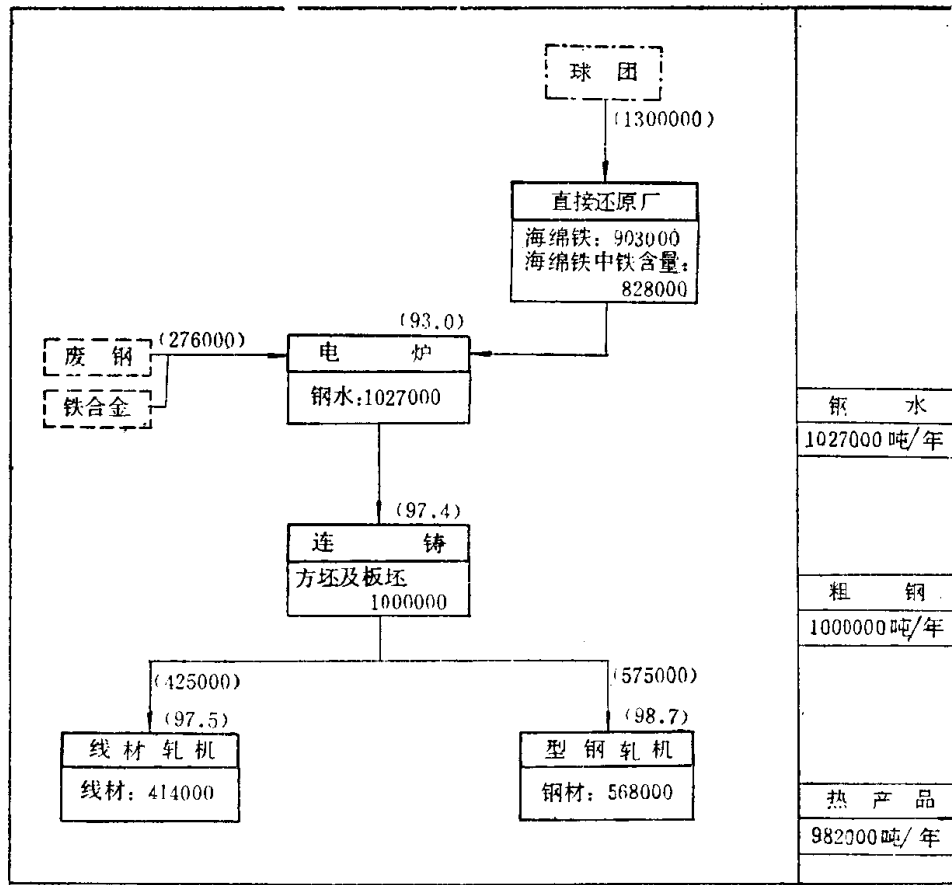


图 1-3 模型工厂 B₂ 物料流程及产品组合

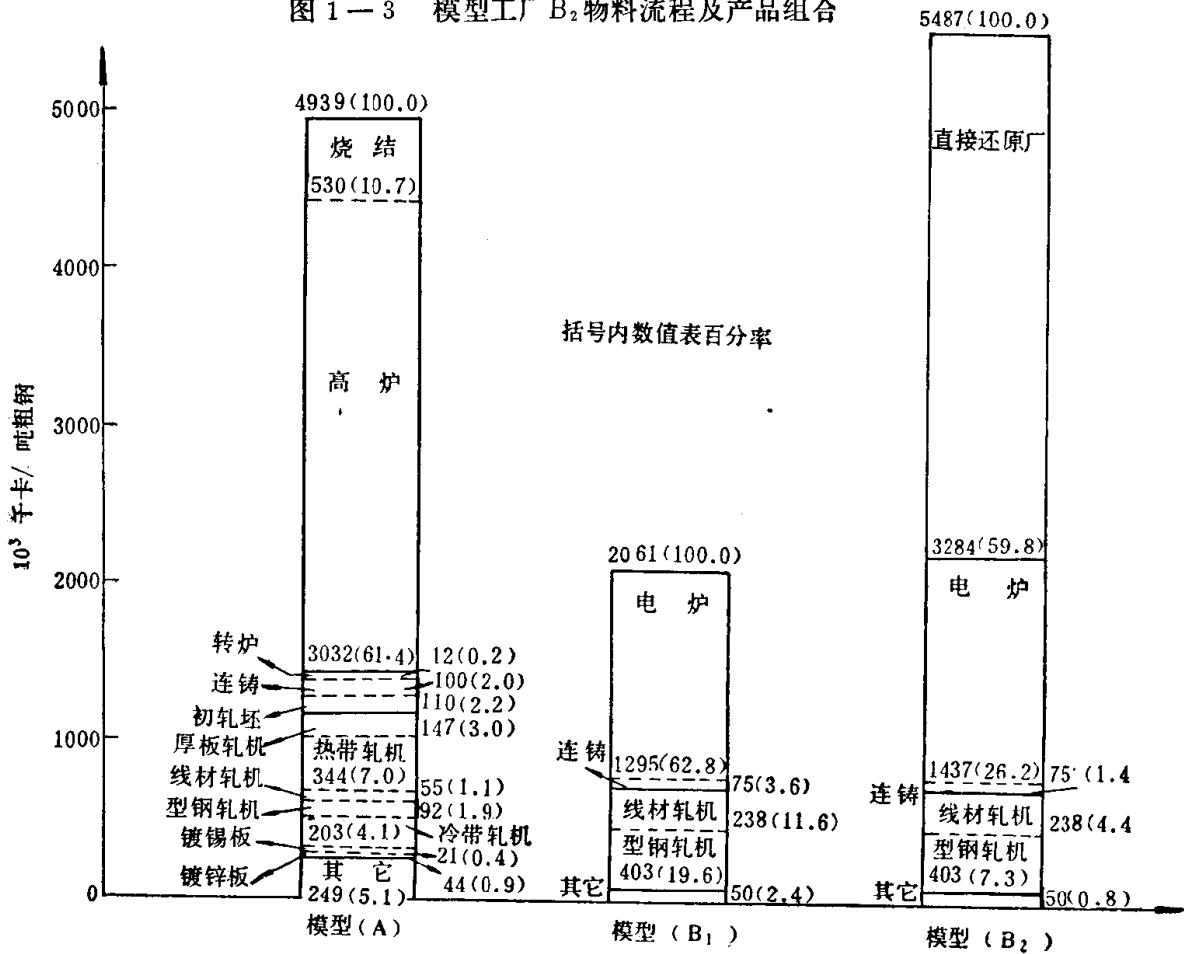


图 1-4 模型工厂 A、B₁、B₂ 工艺能耗比较

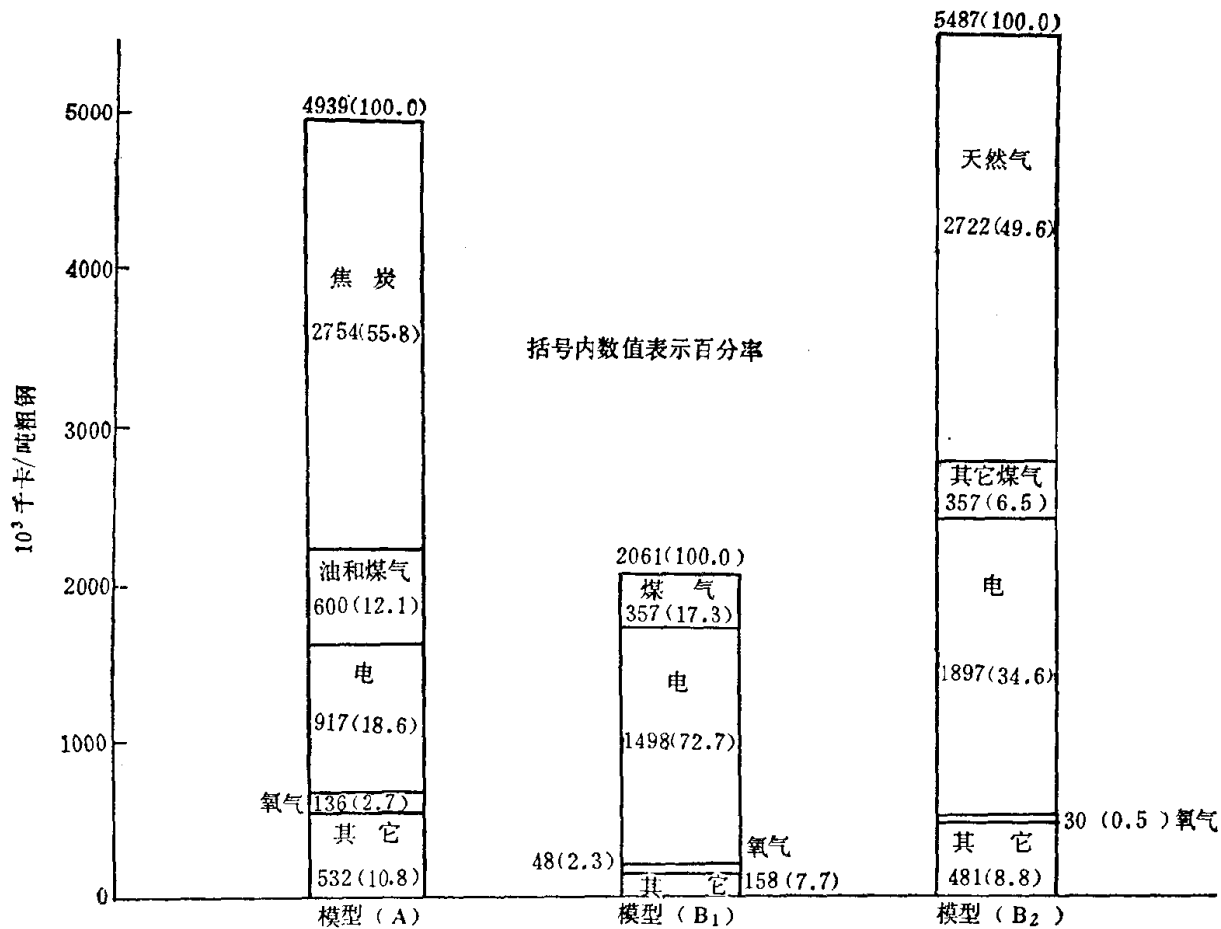


图 1-5 模型工厂 A、B₁ 及 B₂ 按使用燃料的能耗比较

2 和 1-3。

1. 球团矿 对图 1-1 及图 1-3 中点划线框内所示的球团矿，已计算了生产它所需的能量，并把它看作是“荷能体”。所以，计算的能量是被看作球团矿的实际能量值，其数量为 300000 千卡/吨球团矿。

2. 焦炭 在图 1-1 中，焦炭也是用点画线框来表示的。焦炭本身包含的能量，加上炼焦过程所损失的能量都进行了计算。这两个能量之和，就是焦炭的全部能量。

干焦炭的化学成分如下：

碳	88%
灰分	11%
挥发分	1%

由于固定碳的发热值为 8080 千卡/公斤，挥发分的发热值是 10000 千卡/公斤，所以焦炭的发热值就是 7210 千卡/公斤 ($0.88 \times 8080 + 0.01 \times 10000$)。

在这个研究中，焦炭的发热值用整数 7200 千卡/公斤。在炼焦过程中，焦炉本身的热损失，加上焦炭和煤气的显热损失，大约占焦炭发热值的 15%。因此，我们考虑它们是 1080 千卡/公斤。

3. 废钢及铁合金 在图中，示于点线框内的废钢和铁合金，它所包含的能量可看作等于零，虽然在制造铁合金和废钢产生过程中要耗用能量。对于把废钢包含的能量略去不计，可能会引起议论，但在作出选择时，已经考虑了以下几点：模型工厂必需只限于在厂内本身实际耗用的能量；外来废钢中所包含的从矿石还原开始的能量是个未知数；废钢和矿石

一样，是铁的来源，它的优点是需要较少的能量，缺点是使用它的数量有限。进一步说，循环使用的废钢中包含的能量决定于这些废钢是在什么阶段产生的。在任何情况下，废钢是钢产品中不可避免的副产品，它所包含的能量费用，已经算在早期的钢产品中了。耐火材料、石灰、碱和电石等也认为是没有实际能量值的。

4. 电力 电力的热当量值是860千卡/度。但考虑到发电厂的效率，在此处采用2450千卡/度作为实际的电热当量。这相当于35%的效率。厂内自备电站使用高炉煤气发电，其效率可能低些，用上面那个数字可以认为是太乐观了。但是由于有部分电力可以来自发电效率很高的发电厂或水力发电厂，所以选用了中间值。经济研究委员会所作的另外一个调查，给出每个国家的国家系数（参见本书附录三——译注），所以对每个读者都可以得到和本国情况相当的系数。

5. 燃料发热值 在本研究中，采用低发热值。

各种燃料的低发热值如下：

燃油	10000千卡/公斤
液化石油气	10900千卡/公斤
天然气	9000千卡/标米 ³
焦炉煤气	4400千卡/标米 ³
高炉煤气	800千卡/标米 ³
转炉煤气	2000千卡/标米 ³

6. 氧气的能耗 制氧的能耗考虑用1715千卡/标米³，是按耗电0.7度/标米³计算的。

7. 其他条件

1) 在本研究中，为保持环境条件所采用的环境控制和测量也包括在内。换言之，在表中能量单耗的数字中，包括了环境控制，它不容易分开计算。

2) 运输和公用事业的其他形式的能耗，采用了各现代化钢铁厂用于运输和公用事业的能耗标准值或平均值作为在这个模型工厂中计算的基准。

五、模型工厂(A)的操作条件

1. 炼铁 如本节三中所述，高炉操作中，烧结矿和球团矿的比例是70:30。烧结矿中铁含量为57~58%，球团矿中铁含量为65%，所以总的炉料中，平均含铁量为60%。生产一吨铁水需950公斤铁，所以总炉料量就是1583公斤/吨铁水(950/0.6)。因此生产一吨铁水需要1108公斤烧结矿和475公斤球团矿。每年需7460000吨烧结矿和3198000吨球团矿。

当烧结矿送到高炉料仓时，7%作为粉料送回烧结厂。把这些损失算进去，在烧结中考虑了较高的单耗，亦即46公斤焦炭/吨作为烧结厂本身的平均焦炭单耗。但是在本研究中，我们采用49.2公斤焦炭/吨作为焦炭单耗。当我们选用70%烧结矿和30%球团矿后，高炉操作的渣量大约为280公斤/吨铁水，渣的碱度为1.05~1.10。

如前所述，当炉料中烧结矿占70%时，烧结矿所需的焦末与炼焦厂所产的焦末量相平衡。

焦比和喷油率分别选用400公斤/吨和65公斤/吨，炉顶压力为2.5公斤/厘米²，鼓风温度为1250°C，这是现代化高炉操作的情况。鼓风中富氧率为1.5%。

环境控制的能耗，亦即出铁平台的通风罩已考虑在内，但不包括烧结厂废气脱二氧化硫装置的能耗。

表 1-1 模型工厂 (A) 的能耗表

工 厂 产品： 年产量(吨/年)		能 耗					小 计
		焦 炭	油 及 煤 气				
			燃 油	焦炉煤气	高炉煤气		
7200 千卡/公斤	10000 千卡/公斤	4400 千卡/标米 ³	800 千卡/标米 ³	2000 千卡/标米 ³			
烧 结 厂 烧结矿： 7460000	单 耗 10 ³ 千卡/吨产品 10 ³ 千卡/吨粗钢	49.2 354 330	0	13 57 53	0	0	53
高 炉 铁水： 6733000	单 耗 10 ³ 千卡/吨产品 10 ³ 千卡/吨粗钢	400 2880 2424	65 650 547	38.3 168 141	430 344 290	0	978
转炉车间 钢水： 8259000	单 耗 10 ³ 千卡/吨产品 10 ³ 千卡/吨粗钢	0	0	1.1 5 5	0 (液化石油气)公斤/吨	0	5
连 铸 板坯, 方坯： 5700000	单 耗 10 ³ 千卡/吨产品 10 ³ 千卡/吨粗钢	0	0	2.7 12 9	1.0 11 8	0	17
初 轧 方坯, 板坯： 2570000	单 耗 10 ³ 千卡/吨产品 10 ³ 千卡/吨粗钢	0	0	248 80		0	80
厚板轧机 厚板： 1715000	单 耗 10 ³ 千卡/吨产品 10 ³ 千卡/吨粗钢	0					509 109
热 轧 热轧板卷： 3908000	单 耗 10 ³ 千卡/吨产品 10 ³ 千卡/吨粗钢	0					410 200
线材轧机 线材： 686000	单 耗 10 ³ 千卡/吨产品 10 ³ 千卡/吨粗钢	0					310 27
型钢轧机 钢材： 1034000	单 耗 10 ³ 千卡/吨产品 10 ³ 千卡/吨粗钢	0					410 53
冷 轧 冷轧板卷： 2513000	单 耗 10 ³ 千卡/吨产品 10 ³ 千卡/吨粗钢	0		272 85			272 85
电镀锡线 镀锡板： 434000	单 耗 10 ³ 千卡/吨产品 10 ³ 千卡/吨粗钢	0					0 0
镀锌线 镀锌板： 318 27	单 耗 10 ³ 千卡/吨产品 10 ³ 千卡/吨粗钢	0					318 27
其它 蒸汽 水 其它	10 ³ 千卡/吨粗钢 10 ³ 千卡/吨粗钢 10 ³ 千卡/吨粗钢						141 27
总 计	10 ³ 千卡/吨粗钢	2754					1802

① 包括铸锭所需能量。

(1)					回收能(2)			耗能 (1)-(2)	累计
电力	氧气	其它		小计	高炉煤气	转炉煤气	小计		
		生产球团 能耗 300×10 ³ 千卡/ 吨球团	炼焦过程 能损失 1080千卡/ 公斤焦		800 千卡/标米 ³	2000 千卡/标米 ³			
2450 千卡/度	1715 千卡/标米 ³								
42.8 105 98	0		49.2 53 19	569 530				569 530	530
86 211 178	18 31 26	142 120	400 432 363	4858 4089	1570 1256 1057		1256 1057	3602 3032	3562
23 56 58	53 91 94			152 ^① 157 ^①		70 140 145	140 145	12 12	3574
40 98 70	10.5 18 13			139 100				139 100	到粗钢 3674
34 83 27	5 9 3			340 110				340 110	到半成品 3784
73 179 38				688 147				688 147	
120 294 144				704 344				704 344	
135 331 28				641 55				641 55	
122 299 39				709 92				709 92	
154 377 118				649 203				649 203	
156 382 21				382 21				382 21	
80 196 17				514 44				514 44	
65 16				249				249	
917	136	120	412	6141	1057	145	1202	4939	4939

表 1-2 模型工厂(B₁)能耗表

工 厂 产 品: 年产量(吨/年)		能 耗					总 计	累 计
		加进的碳	液化石油 气及其它	电 力	氧 气	电 极		
		8080 千卡/公斤	10900 千卡/公斤	2450 千卡/度	1715 千卡/标米 ³	8000 千卡/公斤		
电 炉 钢水: 1027000	单 耗	8	0	460	17	5		
	10 ³ 千卡/吨产品	65		1127	29	40	1261	
	10 ³ 千卡/吨粗钢	67		1157	30	41	1295	1295
连 铸 初轧坯、板坯: 1000000	单 耗	0	2.1	14	10.5	0		
	10 ³ 千卡/吨产品		23	34	18		75	
	10 ³ 千卡/吨粗钢		23	34	18		75	1370
产品轧机 钢材: 568000	单 耗	0	37.6	122	0	0		
	10 ³ 千卡/吨产品		410	299			709	
	10 ³ 千卡/吨粗钢		233	170			403	
线材轧机 线材: 414000	单 耗	0	22.5	135	0	0		
	10 ³ 千卡/吨产品		245	331			576	
	10 ³ 千卡/吨粗钢		101	137			238	
其 它	单 耗							
	10 ³ 千卡/吨产品 10 ³ 千卡/吨粗钢						(50)	
总 计	10 ³ 千卡/吨粗钢	67	357	1498	48	41	2061	2061

2. 炼钢 如本节开始所述, 铁水对废钢和铁合金的比例是75:25。钢水产量占总金属料的92%。从图1-1可知, 连铸板坯及初轧方坯占总粗钢量的70%, 我们决定70%这样高的比例是考虑了这样的情况: 即相对说, 只有少量的钢要求最高质量和给钢锭以较高的压缩比。采用较高连铸比的后果是循环废钢量减少了, 大约相当于金属料的10%, 这样就必须从外面买进废钢, 买进的废钢量必须占总金属投入量的15%。

转炉气的潜热, 考虑用未燃法净化系统回收利用。

铁水脱硫和钢水脱气的情况一样正在成为炼钢方法的一个组成部分而被广泛采用。但是在这个研究中, 没有考虑这两个工艺的任何能耗。围绕转炉炉口及受铁坑附近的通风系统的能耗已计算在内, 但不包括厂房的通风。

3. 轧钢及精整 在初轧的板坯和方坯中, 板坯的比例是45%, 方坯和小方坯共占55%。如本节三中所所述, 热轧产品, 如厚板、热轧板卷、线材以及型钢是采用一般的比例。这些是在现代化钢铁厂中经常采用的正常比例, 这些热轧厂的产量比平均值稍高一些。在热轧带钢后面, 物料要通过酸洗、退火、冷轧和表面清理等等, 远比图1-1所示的复杂。但是我们在这个研究中简化了它, 目的是简化计算。

在厚板车间, 规定需要热处理的厚板为20%。在厚板、热轧带钢和型钢车间用的是步进梁式加热炉, 在线材车间用的是连续式加热炉。

在线材车间, 考虑了空气强制冷却所需的较高的电耗。

在冷轧过程中, 冷轧带钢的退火是在间歇式退火炉中进行的。但对电镀锡线和镀锌线考

表 1-3 模型工厂(B₂)能耗表

工 厂	产 品: 年产量(吨/年)	能 耗							总 计	累 计
		加进的碳	天然气	液化石油 气及其它	电 力	氧 气	电 极	生产球团 能耗		
		8080 千卡/ 公斤	9000 千卡/ 标米 ³	10900 千卡/ 公斤	2450 千卡/度	1715 千卡/ 标米 ³	8000 千卡/ 公斤	300×10 ³ 千卡/ 吨球团		
直接还原设备 海绵铁: 903000	单 耗 10 ³ 千卡/吨产品 10 ³ 千卡/吨粗钢	0	344.5 3100 2722	0	80 196 172	0	0	432 390	3728 3284	3284
电 炉 钢水: 1027000	单 耗 10 ³ 千卡/吨产品 10 ³ 千卡/吨粗钢	0	0	0	550 1348 1384	7 12 12	5 40 41		1400 1437	4721
连 铸 板坯, 方坯: 1000000	单 耗 10 ³ 千卡/吨产品 10 ³ 千卡/吨粗钢	0	0		14 34 34	10.5 18 18	0		75 75	4796
型钢轧机 钢材: 568000	单 耗 10 ³ 千卡/吨产品 10 ³ 千卡/吨粗钢	0	0		122 299 170	0	0		709 403	
线材轧机 线材: 414000	单 耗 10 ³ 千卡/吨产品 10 ³ 千卡/吨粗钢	0	0		135 331 137	0	0		576 238	
其 它	单 耗 10 ³ 千卡/吨产品 10 ³ 千卡/吨粗钢								(50)	
总 计	10 ³ 千卡/吨粗钢	0	2722	357	1897	30	41	390	5487	5487

考虑使用连续退火线。

六、能量节约和代用技术

由于钢铁工业面临能源危机, 各钢铁公司研究和发展的新的和可能的节约或代用能量的技术。其中一些已在应用, 其余仍然处于计划或试验阶段。

下面是这些技术的全部项目。

1. 节能

1) 模型工厂(A) 炼铁包括: 干熄焦; 高炉炉顶余压透平; 高炉汽化冷却的热量回收; 热风炉废热回收; 烧结厂废热回收。炼钢包括: 转炉煤气回收^①; 转炉废热回收(废热锅炉); 增加连铸比^①。轧钢包括: 热装和直接热轧。

2) 模型工厂(B₁)及(B₂) 生球团供直接还原炉; 在直接还原过程中改进废热回收; 电炉热装海绵铁; 电炉中热熔; 废钢预热。

2. 能的代用 在模型工厂(A)的情况下, 可设想的能的代用如下: 在球团机中使用固体燃料; 在烧结机中使用低发热值煤气; 向高炉中喷吹较多的辅助燃料, 如煤、煤—油

^① 在本研究中已经采用了的。