

工业炉节能技术

中国金属学会

冶金继续工程教育丛书

冶金工业出版社

沈德兴 李耀章

010928

冶金继续工程教育丛书

工业炉节能技术

池桂兴 等编著

冶金工业出版社

1994·7

(京)新登字 036 号

内 容 简 介

本书是“冶金继续工程教育丛书”之一。本书以钢铁生产过程主流的工业炉节能为主要内容,包括:高炉冶炼节能、电弧炉炼钢节能、氧气转炉炼钢节能、均热炉节能、轧钢加热炉节能、热处理炉节能和干燥炉节能等。

本书为热能工程、钢铁冶金、轧钢等专业的继续工程教育用书,对高等院校有关专业师生亦有参考价值。

冶金继续工程教育丛书

工业炉节能技术

● 池桂兴 等编著

*

冶金工业出版社出版发行

(北京北河沿大街葛城院北巷 39 号)

新华书店总店科技发行所经销

北京昌平百善印刷厂印刷

*

787×1092 1/32 印张 12.125 字数 286 千字

1994 年 6 月第一版 1994 年 6 月第一次印刷

印数:1~4000 册

ISBN 7-5024-1461-4

TF · 336 定价:13.40 元

序

中国金属学会组织编写了“冶金继续工程教育丛书”，为大家办了一件好事。积极开展继续教育，对于提高冶金科技人员水平，促进冶金工业的发展，具有重要意义。希望冶金战线各级领导重视这项工作，努力创造条件，为科技人员在职学习提供方便；同时也殷切希望广大冶金科技工作者坚持学习，不断吸收新知识，学习新技术，为实现四化，振兴中华做出更大贡献。

中国继续工程教育协会理事
冶金工业部副部长

徐大铨

一九八八年十二月

前 言

《工业炉节能技术》是中国金属学会冶金能源分会、热工和热能分会共同编写的热能工程专业继续工程教育的教材,供 20 学时教学使用。为了适应本专业技术人员从事冶金能源工作的需要,教材以钢铁生产过程主流程的工业炉节能为主要内容,包括:高炉冶炼节能、电弧炉节能、氧气转炉炼钢节能、均热炉节能、火焰加热炉热工特性、轧钢加热炉节能、热处理炉节能和干燥炉(器)节能等。

本书在编写过程中,注意增加冶炼炉节能,弥补了传统热工专业书籍在这方面的不足。全书全面地反映了国内外在工业炉节能方面的最新研究成果,为有关专业技术人员学习生产主流程节能,提供系统的教材。

参加本书各章编写工作的是:第 1 章池桂兴,第 2 章杜鹤桂、虞蒸霞,第 3 章武振廷、芮树森,第 4 章邢玉禄,第 5 章吴建国、池桂兴,第 6、7 章杨宗山,第 8 章陈洁珍、陈辛、齐复,第 9 章陈鸿复。全书由池桂兴统稿。

本书由徐业鹏、孟庆生主审。参加本书审稿工作的还有陆钟武、贺毓辛、齐宝铭、马廷温、刘铁岭和钱家澍等。对他们在审稿过程中提出的许多宝贵意见,表示衷心感谢。

由于编者水平所限,书中不妥之处在所难免,恳请读者批评指正。

编 者

1992 年 11 月于沈阳

目 录

1 绪论	(1)
1.1 我国的能源形势	(1)
1.2 工业炉与节能	(5)
2 高炉冶炼节能	(8)
2.1 炼铁工序能耗	(8)
2.2 搞好精料	(10)
2.3 发展高炉炉料分布控制技术	(15)
2.4 提高热风温度	(18)
2.5 冶炼低硅生铁	(20)
2.6 发展喷煤技术	(21)
2.7 降低动力消耗—风耗	(27)
2.8 回收利用二次能源和余能	(28)
3 电弧炉炼钢节能	(47)
3.1 电弧炉的大型化与高功率化	(48)
3.2 电弧炉的功能分化与过程的连续化	(60)
3.3 长弧泡沫渣操作	(63)
3.4 氧—燃喷吹助熔技术	(68)
3.5 废钢预热技术	(75)
3.6 电弧炉短网的改进	(80)
3.7 水冷导电横臂	(92)
3.8 偏心底出钢电弧炉	(98)
3.9 直流电弧炉	(101)
4 氧气转炉炼钢节能	(127)
4.1 概述	(127)
4.2 改进氧气转炉现有操作	(130)
4.3 提高废钢比	(136)

4.4	采用全废钢的转炉炼钢法	(139)
4.5	顶底复合吹炼技术	(144)
4.6	顶底复吹少渣冶炼	(148)
4.7	转炉的煤气回收利用	(152)
5	均热炉节能	(158)
5.1	概述	(158)
5.2	充分利用钢锭的热量	(159)
5.3	合理的供热制度	(166)
5.4	低氧燃烧控制	(173)
5.5	降低钢锭出炉温度	(177)
5.6	采用火焰可调烧嘴	(181)
5.7	脉动火焰加热	(183)
5.8	减少排烟口的辐射热损失	(186)
6	轧钢加热炉节能之一——火焰加	
	热炉的热工特性	(191)
6.1	概述	(191)
6.2	一类工作制度的火焰加热炉热工特性	(194)
6.3	二类工作制度的火焰加热炉热工特性	(232)
7	轧钢加热炉节能之二——火焰加热炉的节能途径	(254)
7.1	工艺节能技术	(255)
7.2	炉子结构和操作节能技术	(263)
8	热处理炉节能	(309)
8.1	概述	(309)
8.2	热处理工艺与节能	(313)
8.3	燃烧器与节能	(316)
8.4	耐火纤维及陶瓷涂料的应用	(324)
8.5	烟气余热利用	(332)
8.6	可控气氛节能	(333)
8.7	炉子构造的改进	(336)
8.8	炉型与节能	(341)

8.9	电子计算机在热处理炉上的应用	(344)
8.10	加强节能生产管理工作	(345)
9	干燥炉(器)节能	(348)
9.1	概述	(348)
9.2	气体再循环干燥	(350)
9.3	远红外线辐射干燥	(355)
9.4	流态化干燥	(367)
9.5	圆筒旋转干燥	(372)

1.1 我国的能源形势

我国是世界上最早发现并利用煤炭、石油和天然气的国家,能源资源比较丰富。已探明的储量,煤居世界第三位,石油居世界第八位,天然气居世界第十六位,水力资源也极丰富。

在旧中国,能源工业十分落后,1949年,能源产量只有2374万t标准煤,居世界第九位,石油几乎是空白。新中国成立后,作为基础工业的能源工业,一直受到党和政府的高度重视,发展很快,特别是党的十一届三中全会以来,在改革、开放方针的指引下,经过能源工业广大职工的努力奋斗,能源生产和建设发生了巨大的变化。能源产量也有很大的发展,如表1-1所示。1990年,我国的能源生产总量已达到10.39亿t标准煤,是1949年的43.7倍,全国平均每8.3d(天)的产量即相当于1949年全年的产量,成为世界上第三个能源生产大国。1990年原煤的产量为10.80亿t,是1949年的33.3倍,居世界首位;原油产量1.383亿t,是1949年的1152倍,居世界第六位;天然气产量153亿 m^3 ,是1949年的2185倍,居世界第二十位;发电量6212亿 $\text{kW}\cdot\text{h}$,是1949年的144倍,居世界第四位;发电装机容量达12664万 kW ,成为世界上发电装机容量超过1亿 kW 的为数不

多的国家之一。

建国 40 多年来,我国的能源生产虽然达到了相当大的规模,但由于人口众多,平均到每人的能源消耗量却很低,只有 0.9t 左右,还不到世界平均水平(2.3t)的二分之一,与发展中国家相比,也处于中等偏低的水平。如同一些工业发达的国家相比,差距就更大了,象日本和西欧约为 3—6t,美国则超过 10t。所以,从人均能源消耗的角度来说,我国又是一个能源短缺的国家。

不仅我国的人均能源耗量低,而且浪费现象比较严重,这主要表现在:能源利用率低,产品单耗高,经济效益差。据世界能源经济有关单位的研究报告,按美元计算的国民生产总值能耗,中国是最高的,分别是法国的 4 倍,英国的 3 倍,印度的 1.6 倍。我国的每万元国民生产总值的能耗,1976 年高达 17.4t 标准煤,1980 年为 13.4t 标准煤,1985 年是 10.5t 标准煤,1990 年达 9.3t 标准煤,虽逐年下降,但比世界上主要的工业发达国家,还是高得多。

再从主要产品的单位能耗来看,我国比工业发达国家平均要高 40%,如火力发电煤耗高 32%;水泥煤耗高 66%;平板玻璃能耗高 45%;合成氨和吨钢可比能耗高 30%。

造成单位产值能耗和产品单位能耗比主要工业国家高的原因是多方面的,例如设备陈旧、技术落后,中小企业多、重工业比重、能源结构中以煤为主,以及生产管理不善等。

重工业的单位产值能耗,本来就比轻工业高,而我国重工业的能源消耗约占全部能耗量的一半以上,这与工业发达国家的情况是很不相同的。在工业发达国家中,重工业和轻工业的能耗之和仅占总能耗量的三分之一左右。

我国的能源结构中,以煤为主,而一些工业发达国家用煤的比重相对要少得多,如表 1-2 所示。由于煤在开采、输送和使

表 1-1 我国的能源产量⁽¹⁾

年 份	1949	1952	1957	1960	1965	1970	1975	1980	1985	1990
一次能源总量 万 t 标准煤	2374									103922
原煤产量 万 t	3243	6600	13073	39700	23180	35399	48224	62015	87200	108000
石油产量 万 t	12	44	146	520	1131	3065	7706	10595	12490	13831
天然气产量 亿 m ³	0.07	0.08	0.70	10.40	11.12	28.70	88.50	142.70	129.3	153
发电量 kW·h	总量	43.1	73.0	193.0	594.0	676.0	1159.0	1958.0	3006.0	4107.0
	水电	7.1	13.0	48.0	74.0	104.0	205.0	476.0	582.0	924.0
										1207

用等方面,不如石油和天然气等燃料方便,燃烧效率也低,而且对环境的污染严重,所有这些都会影响单位国民生产总值的能耗。

表 1-2 一些国家的能源结构^[4]

国 名	能源, %				
	石油	天然气	煤	水电	核能
中 国	22	3	71	4	0
日 本	75	3	15	5	2
原西德	49	13	35	1	2
美 国	43	29	21	5	2
世界平均	44	18	30	6	2

我国的能源消耗高,同国外虽有许多不可比的因素,但能源利用率低,浪费严重,经济效益差是客观存在的,值得重视并应努力使它降下来。否则,将会影响在本世纪末实现工农业总产值翻两番目标的实现。因为,若按目前的能耗水平,到 2000 年,约需能源 17.6 亿 t 标准煤,但按初步规划,只能达到 13.6 亿 t,所以,在相当长的一个时期内,我国的能源供需矛盾是相当突出的。

综上所述,我国四化建设所面临的能源形势是:一方面能源供应不能满足国民经济发展的需要;另一方面,能源的利用率又比较低,浪费严重,相对的节能潜力就比较大。因此,能源工作必须坚持开发与节约并重的方针,各行各业都应把节约能源放在突出的地位,下大力量搞好节能降耗工作。

1.2 工业炉与节能

在工业原材料的冶炼、加工或成品的制造过程中,为实现预期的物理变化或化学变化所需要的加热装置,一般称为工业炉^[5]。但在某些情况下,也有将“工业炉”仅仅指金属加热时所用的炉子^[6]。在本书中,则是以前者为基础的。

工业炉是工业用原材料的生产中不可缺少的装置。它是现代工业的基础设备,也是工业发展和技术进步的有力支柱,而且它的这种作用还会日益增强。

工业炉大量消耗煤炭、焦炭、石油系统的液体燃料、煤气、电力等各种能源。据调查,我国现有各种工业炉窑约 14 万座,年耗能源总量达 2 亿 t 标准煤,占全国总能耗的五分之一左右,是我国能源的一个大用户。

例如钢铁冶炼企业,炼铁高炉所消耗的能源占钢铁生产总能耗的 30% 以上;炼钢用的氧气顶吹转炉,虽然不直接消耗多少能源,但它却使用着许多高能耗的原材料,如铁水、耐火材料和石灰等,在钢铁生产的节能工作中,也占有十分重要的地位;在轧钢生产中,75—80% 的燃料消耗于各种加热炉,一座大型加热炉的热量消耗可高达 400—800GJ/h。在机械工业企业中,炉子的数量也很大,据统计有各种工业炉窑 5 万余座,其中锻造用的加热炉约万余座。机械工厂工业炉的能耗占全厂总能耗的二分之一,而重型机器制造厂则可达 70—80%。

我国工业炉的节能工作,尽管已取得了一定的成绩,但就全国情况来看,工业炉的炉型结构和装备,多数较陈旧落后,能源的利用率较低,损失、浪费还很严重。如轧钢加热炉的热效率平均在 40% 以下,而日本的加热炉热效率达 50% 左右。又如机械工厂的锻造加热炉,每公斤锻件单耗,平均高达 0.7kg 标准煤,

热效率只有 2—5%，这与工业发达国家的差距甚大，日本、英国的锻造加热炉，热效率可达 20%，每公斤锻件单耗只有 0.15kg 标准煤。

以上情况说明，工业炉与节约能源的关系十分密切，大力降低各种工业炉的燃料、电力以及各种物料消耗，是一项迫切的，具有长远意义的任务，对国民经济的发展，具有举足轻重的作用，它不是消极地节支不用或少用能源的问题，在某种意义上也是一种积极的能源开发。

由于工业炉的应用范围十分广泛，它涉及冶金、机械、建材、化工、陶瓷等许多工业部门。其中冶金工业的钢铁生产用炉，约可占工业炉的一半，有十分重要的地位，是其他行业不能与其相比的。因为钢铁工业是拥有大型、高温装置的工业，使用众多的工业炉窑，消耗大量能源，无疑是节能的重点。有代表性的钢铁工业用炉如：焦炉、烧结机、球团烧结炉、高炉、热风炉、化铁炉等炼铁设备；电弧炉、氧气顶吹转炉和平炉等炼钢设备；均热炉、加热炉等轧钢用炉；还有退火炉、热处理炉、镀层用炉、干燥炉等热处理用炉。

正因为工业炉的种类繁多，应用广泛，本书不可能对各种工业炉的节能技术一一论述。只能介绍有代表性炉子的节能问题，即以钢铁生产主流程的炉窑为例，说明有关节能技术和原理，供读者在从事工业炉节能工作中，举一反三，使节能工作向纵深方向发展。至于具体的炉型结构、设计原理等，请参阅有关教材，这里不再重复。

参 考 文 献

[1] 新华，能源，1985，№2，18。

[2] 周小谦，中国能源，1991，№1，8。

[3] 卿定彬编著，工业炉用热交换装置，冶金工业出版社，1986。

- [4] 陆钟武编著,冶金工业的能源利用,冶金工业出版社,1986。
- [5] 日本工业炉协会编,工业炉手册,冶金工业出版社,1989。
- [6] W. 特林克斯等著,工业炉(上册),冶金工业出版社,1978。

2

高炉冶炼节能

2.1 炼铁工序能耗

钢铁工业在国民经济中的能耗占全国总能耗的 1/6, 炼铁能耗约占钢铁联合企业能耗的一半, 即占吨钢能耗的 50% 以上, 所以降低炼铁能耗实质是降低钢铁生产总能耗的主体部分, 对发展我国钢铁工业有重要作用。

炼铁工序能耗组成中主要是燃料消耗, 占工序能耗的 85% 左右, 余下的是水、电、蒸汽、鼓风等动力消耗。广义而论, 炼铁所消耗的辅助材料、备品、备件在生产过程中都要消耗能量, 属于社会能耗的范围。当前炼铁节能的重点是降低燃料比, 同时对节约动力与辅助材料要给予足够重视。此外, 冶金厂节能是一项系统工程, 只有把各工序(包括炼铁)的节能纳入总体节能系统综合考虑, 才能取得最佳的经济效果。因此, 在大力降低燃料比的同时, 要积极进行二次能源的回收和利用。

2.1.1 高炉燃料消耗

高炉炼铁所消耗的热量只有 50—70% 是炼铁还原所必不可少的, 其余 50—30% 能量变成余热, 被铁水、炉渣、煤气、冷却水等带走。从普通的高炉热平衡能量分配看出(表 2-1), 随着冶

炼条件的改变,还原氧化物耗热所占比例是不同的,大体在 50—70%之间。

从铁矿石中还原 1t 金属铁,消耗的能量绝对值差别更大,这部分能量主要取决于两方面:首先是精料,其次是煤气利用程度,前者是冶炼的物质基础,后者主要是操作条件。由于还原是高炉能耗的最大环节,因此精料和煤气利用两个方面,也是高炉节能的基本环节。

表 2-1 高炉热平衡能量分配

项目	收 入		总计	支 出						
	热风	焦炭		铁水	炉渣	煤气	冷却水	还 原 氧化物	碳酸盐 分解	热损失
kJ	1792591	8111674	9903671	1260320	584055	504068	223138	6913907	1709	429211
%	18.1	81.9	100	12.73	5.90	5.09	2.25	69.78	0.02	4.33

高炉热损失和冷却水带走的热量,在很大程度上决定于高炉寿命,寿命对高炉节能的影响不仅这两方面,还对煤气利用程度有较大影响,因此延长高炉寿命,不仅有巨大的经济效益,而且对降低消耗也是十分重要的。

2.1.2 烧结能源消耗

烧结生产是炼铁系统的重要生产单位,它的能耗在整个钢铁生产能耗中约占 10%,仅次于高炉冶炼而居第二位,因此对烧结生产的节能也应高度重视。

表 2-2 列出我国烧结厂 1992 年各项平均能耗指标。日本新日铁 80 年代 8 个烧结厂的吨烧结矿的能耗为:焦粉 45.9kg,煤气 77177kJ,电 37.9kW·h,折合标准煤 63.1kg,它代表了世界先进水平。我国重点企业的吨烧结矿能耗中固体燃料、气体能耗和电耗三项合计为 77.04kg,比新日铁多 13.9kg,还有相当大