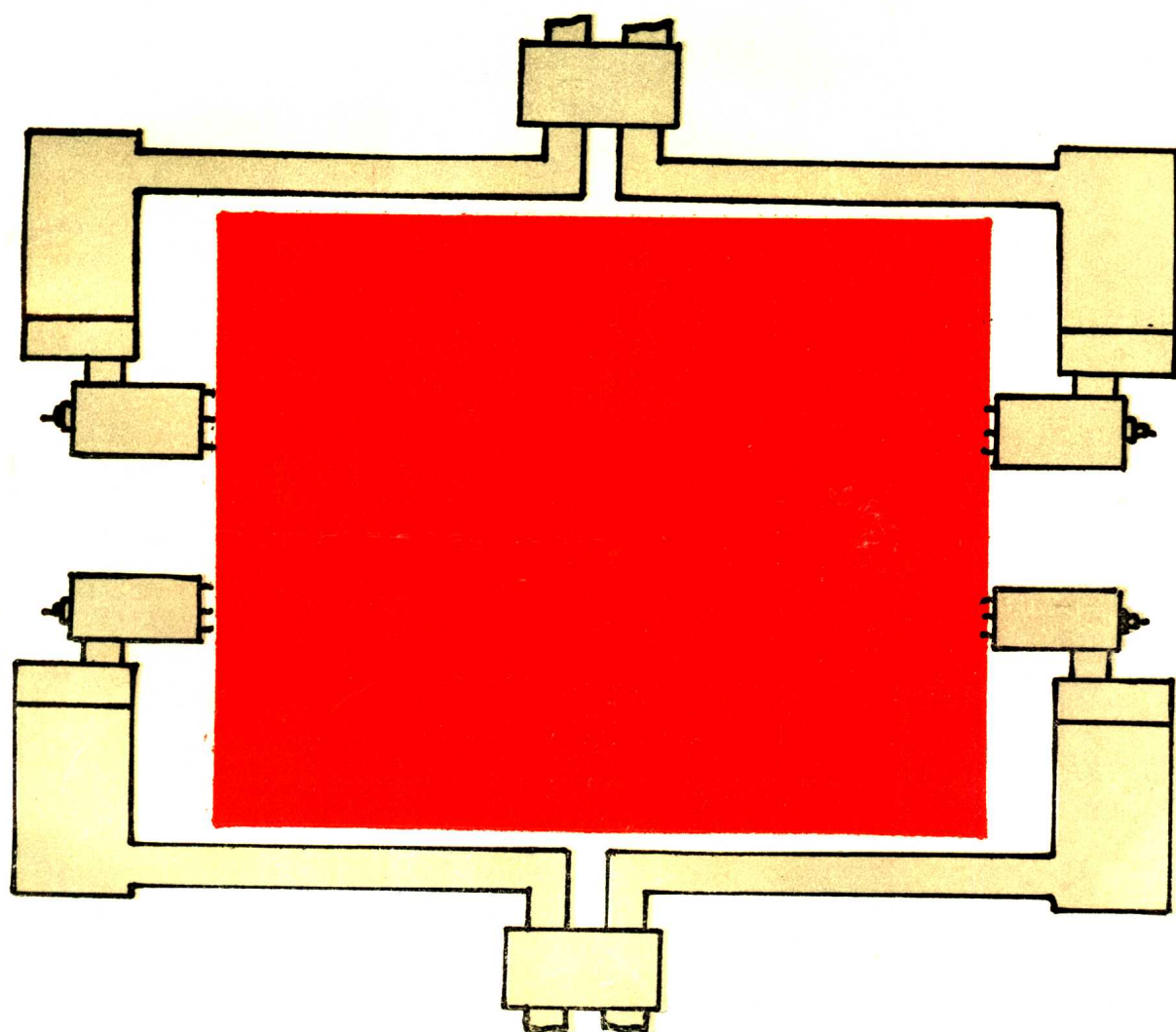


谢仲华 编著

华东理工大学出版社

发达国家工业窑炉节能技术



发达国家工业窑炉节能技术

谢仲华 编著

华东理工大学出版社

内 容 提 要

本书主要介绍英、美等发达国家工业窑炉上采用的各种节能技术,主要包括:燃烧技术与燃烧器(烧嘴)系统,余热回收技术和设备,新型隔热保温材料和技术,热工监测技术,窑炉内过程中数据模拟和炉型计算机辅助设计,以及典型炉种的现状和发展方向。本书可供从事能源研究,特别是从事节能技术的工程技术人员、管理人员参考。

(沪)新登字 208 号

发达国家工业窑炉节能技术

谢仲华 编著

华东理工大学出版社出版发行

上海市梅陇路 130 号

邮政编码 200237 电话 021-4772039

新华书店上海发行所发行经销

浙江上虞科技外文印刷厂排版

上海东方印刷厂印刷

开本 787×1092 1/16 印张 11 字数 268千字

1995 年 7 月第 1 版 1995 年 7 月第 1 次印刷

印数 1-2500 册

ISBN 7-5622-0118-4

定价 18.00 元

编 者 的 话

国家要进步、人民生活质量要提高,为此,一定要高度重视节约能源和原材料。目前我国能源利用效率较低,单位国民生产总值能耗比发达国家高6—10倍,单位产品能耗比国外高出50%—100%。

我国现有工业窑炉数量多、年消耗能源约占全国能源消费总量的五分之一,与发达国家相比,除了专业人员比例少、科学管理手段落后外,主要是工业窑炉技术装备综合水平比发达国家落后20—30年,在这方面,花些功夫,把产品消耗下降5%,每年节约的能源价值约50亿元,还可大大减轻对环境的污染。因此了解、借鉴发达国家的工业窑炉节能技术为我所用,是从事工业窑炉开发、生产、施工、管理等有关人员的光荣职责。编著本书的主要目的就是想提供发达国家工业窑炉节能技术方面的信息,为节约能源提高效益、保护环境尽一点力。

本书的出版,得到了倪德良、秦留臣、嵇端兰、王继光的帮助,他们分别参加了部分资料的调研、收集和整理工作,倪德良还对所有资料进行了审核、订正、增删改编和本书的部分校对工作,此外杨笺康也提供过资料,并对本书内容提过宝贵意见,华东理工大学出版社袁明辉、顾锦刚也为本书出版提供了帮助。特别是上海市经济委员会俞国生副主任,在百忙中为本书撰写了前言,这不仅是对作者的鞭策,也是对从事节能工作同行的鼓励,在此一并向对本书编写、出版过程中提供帮助、支持的领导,专家、朋友表示衷心的感谢。

由于水平所限,加之国外工业窑炉节能技术又在不断进步,因此书中缺点、错误在所难免,恳请专家,读者不吝批评指正。

前 言

能源是人民日常生活、产业经济活动不可缺少的重要资源。我国目前能达到较高的经济发展速度,与大量消耗能源不无关系。据统计,我国的工业部门能源消耗量占全国能源消费总量的70%。全国现有各类工业窑炉约80万台(包括5千瓦以上的工业电炉,但不包括工业锅炉),年消耗能源1.9亿吨标准煤,约占全国工业部门能源消费量的 $\frac{1}{3}$ 。

我国的工业窑炉与发达国家的工业窑炉相比,主要存在装备水平落后,技术管理落后、发展很不平衡等差距,具体反映在炉子平均热效率要比国外低20%左右,节能潜力极大。

随着社会主义市场经济体制的逐步建立,过去计划经济体制下的能源价格低廉的情况逐步改变,企事业必须依靠技术进步,强化科学管理,在调整产品结构上下功夫,才能适应改革开放的新形势。

作者长期从事节能技术和管理工作,对工业窑炉的节能技术尤为关心。1988年他受托组织“上海工业炉节能技术团”访问了英国一批工业窑炉公司,并到剑桥大学等高等学府和设计研究单位专题考察英国在工业窑炉节能技术方面所取得的最新成果,收集了一批资料。回国后又继续对日本、美国、前苏联和西欧等其他发达国家的工业窑炉节能技术进行收集和分析,针对国内工业窑炉的实际情况,对资料分类进行整理,编写了《发达国家工业窑炉节能技术》一书。

目前工业窑炉的专著不多,这本书的编写,凝聚了作者几年的心血,是他对节能技术进步执着追求的结果。

本书介绍的发达国家工业窑炉节能技术和发展方向,可供从事工业窑炉设计、制造、教学、研究和管理的工程技术人员参考。本书的出版,将有助于缩短国内外工业窑炉技术差距和提高国内工业窑炉经济运行质量和效益。

俞国生

目 录

第一章 概 述	1
第一节 工业窑炉的节能和节能工作的重点.....	1
第二节 国外工业窑炉发展与节能概况.....	2
一、美国工业窑炉发展概况.....	2
二、日本工业窑炉发展与节能概况.....	4
三、西欧工业窑炉节能概况.....	6
第二章 工业窑炉燃烧节能技术	9
第一节 富氧燃烧.....	9
一、富氧燃烧的优点.....	9
二、林德“A”型富氧烧嘴的结构和特点.....	11
三、林德“A”型富氧烧嘴的开发经过.....	12
四、新型氧气燃烧系统及其优点.....	12
五、新的节能型氧气燃烧系统应用实践.....	14
第二节 脉冲燃烧.....	20
一、原理.....	20
二、优点.....	20
第三节 低 NO_x 燃烧技术.....	21
一、低 NO_x 烧嘴.....	21
二、煤粉低 NO_x 燃烧.....	25
三、降低排烟中 NO_x 的烟气再循环技术.....	28
第四节 煤粉燃烧技术及烧嘴.....	29
一、英国煤粉燃烧.....	30
二、日本煤粉旋流燃烧炉.....	31
第五节 煤水浆燃烧及烧嘴.....	34
第六节 辐射管与浸没管燃烧加热技术.....	38
一、陶瓷辐射管.....	38
二、利用射流元件的辐射管.....	41
三、辐射管内插型热交换体.....	42
四、浸没管燃烧加热.....	43
第三章 工业窑炉余热回收	45
第一节 余热回收概述.....	45
一、西欧工业窑炉余热回收.....	47
二、前苏联工业窑炉余热回收.....	47
第二节 余热回收装置.....	49

一、概述	49
二、陶瓷空气换热器	49
三、铸铁辐射换热器	56
四、金属管式换热器	57
五、流化床废热回收装置	59
六、工艺余热锅炉	60
七、能源工艺系统	62
八、“过滤器-余热锅炉”联合装置	63
第三节 烟气余热回收的选择障碍和今后发展方向	65
一、烟气余热回收的选择	65
二、余热利用的障碍及今后发展方向	66
第四章 新型烧嘴(燃烧器)	68
第一节 自身预热烧嘴	68
一、日本的自身预热烧嘴	68
二、英国的自身预热烧嘴	70
三、前苏联的自身预热烧嘴	71
第二节 蓄热式换热陶瓷烧嘴(RCB)	73
一、RCB 原理	73
二、RCB 特性	74
三、RCB 的结构与系统控制	75
四、RCB 在美国的应用	77
五、日本蓄热式换热烧嘴及应用	79
第三节 高速烧嘴	80
第四节 表面燃烧烧嘴	82
第五节 高预热重油燃烧设备	83
第六节 多种燃料平焰燃烧器	85
一、工作原理和结构	86
二、运行特性	87
三、节能与经济效益	88
第七节 较低温窑炉气体燃料燃烧设备	88
一、具有燃烧稳定器的五个系列燃气烧嘴	88
二、烧嘴型号的选择	96
第五章 工业窑炉结构与材料的改进	97
第一节 窑炉结构的改进	97
一、窑炉结构对能耗与效率的影响	97
二、改进炉室结构,提高烟气再循环效果	98
第二节 窑炉耐火隔热材料的改进	101
一、耐火材料	101
二、耐火隔热纤维	102

三、日本耐火绝热材料与筑炉技术·····	103
四、美国耐火隔热材料的进展·····	109
五、前苏联耐火隔热材料·····	112
第三节 高温高辐射涂料与抗氧化、耐腐蚀热阻涂层材料·····	113
一、前苏联的高辐射涂层材料·····	114
二、美国的陶瓷涂层材料·····	116
第四节 窑炉用氮氧分离材料及应用·····	118
一、合成分子筛·····	118
二、空分膜·····	118
第五节 透气性固体材料(热转换体)·····	124
一、透气性固体的热转换原理·····	124
二、透气性固体用作传热介质实例·····	125
三、利用透气性固体进行低热值气体燃烧·····	125
第六章 工业窑炉检测与控制·····	129
第一节 西欧的窑炉检测、控制·····	129
一、炉温控制·····	129
二、燃料流量控制·····	130
三、燃料-空气比例控制·····	130
第二节 计算机控制节能·····	132
一、西欧(英国)的计算机控制窑炉进展·····	132
二、日本窑炉的计算机控制·····	133
三、美国的窑炉计算机控制节能实例·····	137
第三节 前苏联的窑炉检测控制·····	139
一、前苏联工业机组中的仪器仪表·····	139
二、引射式烧嘴的煤气-空气比例调节器·····	140
三、炉内真空度和料温的自动控制·····	141
四、烟气温度的自动控制·····	142
五、煤气泄漏的检测系统·····	143
第七章 典型工业窑炉节能技术·····	144
第一节 冶金炉·····	144
一、高炉·····	144
二、焦炉·····	146
三、电炉·····	147
四、转炉·····	148
五、直流电弧炉·····	149
第二节 化铁炉及有色熔炼炉·····	149
一、感应炉·····	150
二、等离子熔化炉·····	150
三、冲天炉·····	151

四、炼钢炉.....	152
五、熔铝炉.....	152
第三节 热处理炉.....	152
一、流化床热处理炉.....	152
二、综合改造节能.....	153
三、热处理炉的余热回收节能.....	154
第四节 锻造炉.....	155
一、美国的锻造炉节能.....	155
二、英国的锻造炉节能.....	156
三、前苏联的锻造加热炉改造.....	156
第五节 轧钢加热炉与均热炉.....	158
一、轧钢加热炉节能.....	158
二、均热炉节能.....	159
第六节 玻璃池窑与隧道窑.....	160
一、玻璃池窑.....	160
二、隧道窑.....	162
第七节 煤气化炉.....	162
一、德士古气化炉.....	163
二、U-Gas 气化炉	164
三、KRW 气化法.....	165
四、加压 K-T 炉.....	167
五、流化床气化技术.....	168

第一章 概 述

第一节 工业窑炉的节能和节能工作的重点

据国家经贸委和国家计委的有关资料推算,我国现有工业窑炉约 80 万台(包括 5 kW 以上的工业电炉在内),年消耗能源 1.9 亿 t 标准煤,约占全国能源消耗总量的五分之一。

党的十四大报告中提出“90 年代我国经济的发展速度可以更快些,增长 8%—9% 是可能的,要求在提高质量,优化结构,增进效益的基础上努力实现这样的发展速度,到本世纪末,我国国民经济整体素质和综合国力将迈上一个新的台阶。人民生活由温饱进入小康”。并提出了“到下世纪中叶基本实现社会主义现代化的战略”。以上的战略目标和任务是鼓舞人心的,也是十分艰巨的。

经济和社会的发展以及人民生活水平的提高离不开能源。如能源消费按 90 年代经济发展要求的速度 8%~9% 同比例增长(即弹性系数为 1)则能源消费量将达到 21—23 亿 t 标准煤。如此多的能源消费量是国力难以承担的,环境也承受不了。退一步讲,从 1980 年到 1990 年我国国民生产总值平均递增 8.97%,一次能源生产总量和消费总量平均递增为 5.01% 和 5.06%,平均弹性系数为 0.56 以此来计算则一次能源的生产和消费量也需要 17 亿 t 标准煤。而预计到 2000 年我国的能源生产总量只能达到 14—15 亿 t 标准煤,因此 90 年代后十年及今后能源消费和社会发展的矛盾将主要依靠节能和技术进步来解决。党的十四大明确指出“资源节约综合利用是我国经济发展的一项长远战略方针”“要高度重视节约能源和原材料,提高资源利用效率”。因此把占全国能源消费总量的五分之一的能源配置好既是全国所有工业窑炉的管理人员、操作人员和科技工作者的一项艰巨任务,也是应尽的职责。根据现有的资料表明,我国的工业窑炉与发达国家的工业窑炉相比,除了从事专业人员比例少、科学管理手段跟不上等因素外,主要差距还在于技术装备水平差、炉子容量小的问题。

我国的工业窑炉技术装备水平大多数还未达到发达国家七八十年代的水平。少数装备水平高一些的工业窑炉是近十年来改革开放后从国外引进的,其余大都处于五六十年代水平,个别甚至还是三十年代的老“古董”。大部分窑炉在炉型结构、燃烧系统、余热利用、绝热材料、热工检测、自控、微机应用及环保等方面都比较落后,而且容量大多数偏小,造成能源严重浪费。如全国电石产量,1980 年到 1990 年新增生产能力 120 万吨,几乎都是依靠乡镇企业,但新建的电石炉容量 80% 是小于 3000 kVA 的;而国营电石企业的电石炉 75% 是大于 15000 kVA 的。

另一方面我国有像上海宝山钢铁总厂那样的 4000 m³ 以上为世界一流水平的高炉;但在全国还有不少为 5m³ 以下的小高炉,仅山西省就有 1000 多座。

再如 1991 年全国约 5600 个水泥企业共生产水泥 25260 万 t,所消耗的能源占全国工

业能源的5.51%，其中大中型企业 68 家，地方小企业 5500 余家。大水泥生产1t熟料平均能耗为 183.44 kg 标准煤。其热耗为 5375 kJ/kg, (1284 kcal/kg)，按烧成 1kg 熟料的理论热耗为 1737 kJ 计，热效率仅 32.3%，而日本全国水泥平均热耗为 3131 kJ/kg (743 kcal/kg) 热效率达 55.5%，德国的水泥熟料热耗还要低一些。小型回转窑水泥能耗在 250—300 kg 标准煤比日本平均能耗要高出 3 倍。

我国的小玻璃厂生产一标准重箱玻璃耗油在 37—45 kg，而规模生产的浮法玻璃仅需 13—16 kg, 1994 年上半年，上海耀华、皮尔金顿的油耗甚至已降到 12.51 kg。

上海有冲天炉近 500 台，但外热式高温除尘冲天炉却一台都没有。全国 4000 台冲天炉中也只有长春第一汽车厂有一套。

日本在开工的 48 座炼铁高炉其产量是我国 336 座炼铁高炉的 2 倍。

再以炼钢电弧炉为例，1.5t 的热效率为 37.8%，5t 的为 44.5%，10t 的为 48.9%，可见容量愈大，热效率愈高。而同样的 5t 炉通过提高装备水平将交流改直流后，其热效率可从 48.9% 提高到 55%。同样全国近 70 万台工业电炉经过节能技术改造后，保守的估计可节电 10%，每千瓦小时电费平均按 0.5 元计算，一年可节约电费 15 亿元。全国的工业窑炉如平均节能 10%，则每年节约 1900 万 t 标准煤，按上海地区煤价平均 300 元/t 计，折合人民币 79.8 亿元。可见工业窑炉的节能潜力是非常大的，工业窑炉的节能技术是节能技术进步的重点。

显然，为了搞好我国工业窑炉节能工作，借鉴发达国家的工业窑炉节能技术是十分必要的。

第二节 国外工业窑炉发展与节能概况

工业窑炉的起源最早可追溯到人类用火烧制土器及熔化有色金属的古代。随着科学技术的发展，能源利用领域的扩大和利用技术的进步，将越来越体现出窑炉存在与发展的重要性。

一、美国工业窑炉发展概况

1932 年，美国“工业炉”杂志正式出版发行。这标志着美国窑炉工业或加热工业的正式建立。该杂志主编 Trinks 是美国早期的工业炉权威(1874—1966)，对工业炉的合理设计、燃烧和加热过程作过许多贡献，因而成为许多大公司的顾问。他的名字与美国工业窑炉联系在一起。1929 年，美国成立了工业加热设备协会，这是一个有关工业窑炉的行业组织。30 年代初，设立了 Trinks 工业加热奖，以后每年给为工业炉作过突出贡献的专家学者嘉奖，有力地促进了工业窑炉技术的进步。

50 年代是美国工业炉工业发展最快的年代，也是专家辈出的年代。例如：1951 年 Dr. Guillian H. Clamer (President of the Ajax Group Companies, Philadelphia PA) 开发了电感应炉、电盐浴炉和其他不少炉子；1952 年，Harris 完成了耐热合金的连铸技术设计，Mayr 完成了包括空气预热器在内的 17 项炉窑专利发明，从而他们和其他两位炉窑专家一起获得了工业加热奖；1953 年，W. M. Hepburn 在工业加热设备的研究开发和燃气炉用于热处理与金属加工方面取得了卓著成绩，如开发了用于控制炉子气氛的气

体发生炉,大对流加热炉,辐射管炉,气体渗碳炉和炉窑的自动高速操作处理等;1955年,Drever 开发成功了立式带材退火炉,使带材连续退火成为可能,并且发明了不锈钢制品的光亮退火等等;Hawke 开发了特种耐火材料包括超级耐火材料。他在 Carborundum Co. 的 45 年期间,开发成功碳化硅、熔融氧化铝,电炉用莫来石,高温陶瓷纤维,氮化硅连接的碳化硅等等新材料,并应用于许多炉窑中;1955 年,Decoriolis 完成了 17 项发明专利,解决了许多气体气氛化学与传热问题,开发了常压燃气发生器,露点指示仪以及对流型炉窑、锻造炉、渗碳炉的自动化。此外,Willermore 开发成功锆英石耐火材料,使高温炉制造成为可能;1956 年,Chrisman 发明了隔热耐火砖和特种耐火材料,对炉窑效率的提高作出了较大贡献;1957 年,Peck 完成了真空热处理炉和真空电弧熔化炉的设计和开发应用。

60 年代的发展也很快,如开发了电加热 SiC 元件,能使操作温度达到 700℃,并把电炉用于退火等热处理,锻造、熔化、烧结和隧道窑,其中有突出贡献的代表是 Bovee;开发了一批燃烧装置,这些装置今天仍广泛用于工业炉上如长火焰烧嘴,可调烧嘴 (tempored Burner),高释热烧嘴以及燃烧装置用安全装置,恒流阀等,这些方面作出杰出贡献的代表人物是 Campbell 和 Bloom,他们还改进了五区加热炉和开发了下烧式加热炉用水冷管绝热材料等;Dressler 发展了陶瓷工业用窑,他设计了美国第一条商业隧道窑和成功地开发了退火 Muffle 窑,还首先设计了锻造用隧道和台车式退火炉以及多烧嘴直接燃烧同流换热隧道窑;由 Koebel 发明的“L”型炉子首先成功地用于高速钢的热处理,既光亮又无脱碳。他还创造了分子筛氮气发生器,用于 Gantry 型炉窑的控制系统。

60 年代随着航天工业的飞速发展,要求耐高温、耐腐蚀、高绝热、并可清洁熔化的新材料问世,于是开发成功了真空电弧、真空感应,电渣、消耗电极双熔等许多精炼方法,同时也发展了许多新的合金与陶瓷热阻材料。

70 年代开始,由两次石油危机所导致的工业节能提到了重要地位。窑炉工业开始了节能为重要目标的改造历程,特别在 80 年代后期,通过改造各种炉窑,冶金工业由低谷逐步回升。

首先在工业窑炉的设计、制造和应用中明显注意了节能如广泛应用由耐热合金陶瓷和复合材料制造的各种同流换热器以回收高温烟气余热,并用于预热燃烧空气;大力推广蓄热式换热器,蓄热式陶瓷烧嘴,自身预热烧嘴和其他许多节能型烧嘴;重视燃烧与气氛的控制节能,让电子学、仪器仪表和机器人在工业加热领域发挥更大的作用;开发了富氧烧嘴和富氧燃烧技术以及氧的廉价获取方法;大多数炉窑采用了耐火隔热陶瓷纤维作为炉窑绝热衬里材料。此外,从行业生产工艺角度作了不少改造,提高了能源利用率如冶金行业中的炉外精炼,电弧炉的带烧嘴熔炼,连铸连轧乃至直接炼钢与粉末冶金;水泥工业中的窑外分解;玻璃工业中的浮法生产工艺等等。在金属熔炼领域,电感应、等离子熔化技术发展迅速,日益取代单纯以焦炭作为燃烧的化铁炉(Cupola)。它们既提高了化铁炉的熔化能力,又提高了能源利用效率。在成型加工领域,轧钢生产线不断减少长度,但仍保持质量和产量。在热金属成型过程中,采用感应炉、中间包、等离子焰、雾化器和喷射室等 Osprey 方法沉结金属形成带坯和管坯制品。此外,还有用于生产陶瓷基复合材料的直接金属氧化技术 (Lanxide 方法)与用于生产金属基复合材料的无压金属浸透技术 (Infiltration),以及用高频感应熔化扩散过程生产硅——碳化硅煤气辐射管等等。

耐热抗腐蚀合金、新型陶瓷和复合材料的发展大大促进工业加热节能。为了加速材料发展尤其是发展陶瓷,微波加热正在陶瓷加工中发挥作用。真空与感应加热方法以及利用膜技术制造炉窑工艺所需气体的开发工作继续在美国进行。

利用高温涂层为炉窑节能服务在美国得到重视。不仅开发了多种涂层材料用于金属和耐火材料上或作为热阻保护涂层或作为高辐射涂层,而且开发了多种喷涂方法如火焰喷涂和等离子喷涂等。

另一个重要发展是利用计算机优化炉窑过程,如利用计算机,通过数值模拟,改进关键部件的热处理。在美国,热处理过程用计算机控制甚为普遍。这是因为该过程中,无论温度还是气氛条件均需严格控制。计算机模拟控制的最重要问题是热过程实时控制能力,有了这种能力,炉窑操作、运行均能自动地根据需要调整,以产生所要求的性能,并最终优化了产品。这就是竞相发展计算机控制的根本所在。如果说美国炉窑有什么先进之处的话,恐怕首推炉窑过程的计算机控制了。

二、日本工业窑炉发展与节能概况

日本炉窑的创立及发展是在明治时期依赖国外技术的基础上发展起来的,诸如高炉、焦炉、平炉、电弧炉、煤气发生炉、回转窑等均在那个时期引进的。明治末期至昭和初期又引进水泥转窑、玻璃池窑、隧道窑等。经过长期的消化吸收,为日本工业窑炉的发展打下了基础。六七十年代中期工业炉技术已从引进发展成为日本固有技术。那时工业炉已出口到发展中国家,成为扩大发展的鼎盛时期。这一时期出现了环境公害、节约能源等与工业窑炉密切相关的重要问题,整个工业界积极投入有关技术的开发和采取有效措施,从而使日本工业窑炉技术跨入世界先进行列。

过去日本工业窑炉对重、大型产业的依存率很高,因此窑炉也较偏重于重大型,耗用许多能源。但是近年来的贸易不均衡,日元急剧升值等引起产业结构剧变,工业窑炉已转向轻、小型产业的依存形态。国内趋向需要中小型炉子。各产业界为争取参与国际竞争,以高质量、低价格生产作为基本目标,因此无疑对生产工业炉要求的技术也更趋严格。

由于缺乏最新统计资料,现将日本1975年资源厅调查资料中日本工业窑炉设施数及能耗量示于表1-1,仅供参考。表中工业炉用的能耗为9,400万kL(1~3类锅炉用能除外)。1975年后大力推行节能措施,获得了节约20%—40%的实绩。根据今后各种工业领域中热利用范围的扩大及1987年能源总需要量与1975年度的对比,推测现在日本工业窑炉的总耗能量约为1亿kL左右的重油。

以1973年的石油危机为转折点,石油价格飞涨,提高了能源在生产成本中的比重,因此节能在日本受到普遍重视。

近几年来日本在工业窑炉的节能方面积极致力于下列各项技术的研究开发和应用。

燃烧技术是工业窑炉节能的重要途径之一。日本发展的燃烧新技术,其主要特点体现在提高燃烧效率,扩大调节范围,控制燃烧气氛,减少环境污染,以及与余热回收相结合的烧嘴方面。

余热回收是工业加热领域最广泛且最有效的节能手段。除换热型烧嘴外,还采用高性能陶瓷热交换器进行余热回收。采用多孔性透气材料提高空气温度是日本的特色。它能改善燃烧工况,提高炉温和效率,大幅度节能,并使排气量降低一半,提高了环境清洁度。

表 1-1 工业炉窑设施数与耗能量

设 施 名 称	设 施 数		耗能量(重油换算1000kL)	
1. 电力药用锅炉	2,033	77,139	94,854	145,059
2. 产业用锅炉	32,350		38,23	
3. 暖房用锅炉	42,876		12,177	
4. 煤气发生,加热炉		511		2,072
5. 焙烧炉 (无机化学, 非铁金属用)		352		672
6. 烧结炉				
6.1 铁钢用	132	322	5373	5,722
6.2 非铁金属, 无机化学用	190		349	
7. 焙烧炉 (钢铁·非铁·无机化学用)		270		750
8. 熔矿炉				
8.1 铁钢用(包括热风炉)	96	243	10,133	10,711
8.2 非铁金属用	147		578	
9. 转 炉				
9.1 铁钢用	122	276	3,518	3,777
9.2 非铁金属用	84		239	
10. 溶解炉				
10.1 铁钢用	1,239	4,323	892	3,785
10.2 非铁金属用	2,595		1,501	
10.3 玻璃用	398		1,483	
11. 压延加热炉				
11.1 铁钢用	2,114	2,475	6,054	6,183
11.2 非铁金属, 其他用	361		129	
12. 热处理·锻造炉				
12.1 铁钢用	4,850	5,893	2,476	2,604
12.2 非铁金属用	753		198	
13. 石油加热炉		1,764		12,382
14. 烧成炉				
14.1 颗粒用	28	5,215	454	16,940
14.2 水泥用	213		9,124	
14.3 石灰用	313		2,221	
14.4 耐火材料用	598		614	
14.5 其他 (炭素, 陶器其他)	4,065		4,527	
15. 除反应炉外 (无机化学, 食品用)		1,030		1,298
16. 干燥炉				
16.1 窑业用	1,593	5,845	1,703	4,845
16.2 其他用	4,252		3,142	
17. 电气炉 无机用电弧炉、感应电炉、电阻炉)		938		4,831
18. 电气炉 (电石电弧炉、电石电阻电炉)		25		778
19. 废弃物焚烧炉				
19.1 城市垃圾用	2,666	5,123	2,444	5,282
19.2 废弃物用	2,457		2,758	
20. 焦炉		131		4,220
21. 其他 (无机化学, 其他)		5,044		7,157
合 计		116,547		238,972

注: 高炉用热风炉包括在钢铁熔矿炉中, 催化剂再生塔归入石油加热炉
(根据1976年资源能源厅调查资料)

工业窑炉离不开材料的应用, 而材料性能优劣与否直接影响窑炉的效率。故日本十分注重下列新材料的研究和开发。

(1) 耐火纤维 这是一种很有前途的新型保温隔热材料。其特点是热容热损小、轻质、工况变化适应快。日本和许多先进国家一样, 将耐火纤维直接用于炉体结构中, 改善了

筑炉工艺,提高了能源利用率。

(2) 高温陶瓷 再结晶质碳化硅(SiC)陶瓷,在高温加热领域发挥着重要作用。其成本低,耐高温,耐氧化,无污染。用它制成烧嘴、传热管组合于换热器中,可有效地用于超高温热回收。

(3) 多孔材料 这是近年来引人注目的新材料。它能有效地将气体显热转换成固体辐射热,用于烧嘴中使之产生预混功能,用于各种燃烧炉促进燃烧传热。由于该材料具有热屏蔽作用,因此可用于低热值燃料燃烧。

国外煤粉用于窑炉的实例不多见,大多用于电厂。但最近日本发展了一种旋流燃烧炉,除了应用于各种窑炉外,还成功地用于污泥处理和煤灰处理,有利于环保。

空燃比控制是窑炉节能中很有潜力的一项措施,对燃烧效率影响甚大,但是空燃比控制很困难,它有许多内容和方法通常控制空燃比是将流量和燃气成分作为控制量,但测定流量和气体成分均较困难,且装置也较昂贵。日本有一种利用计算机的空燃比控制装置。具有通用性强和成本低廉的特点。

日本除节能外,还非常重视环保。除热污染、CO、SO₂等有害气体外,还限制窑炉温度升高引起的NO_x排放量。据有关资料表明,NO_x浓度在0.15%时将危害人体健康,遇日光还会生成化学烟雾,毒化大气。故日本从1972年到1983年已制定出5个阶段的NO_x排放标准。1983年起推行第五阶段排放标准(是政府标准,而非民间标准)其中燃煤NO_x排放限为300ppm,1986年后又改为200ppm(6%过量氧);燃油排放标准为130ppm(4%过量氧);燃气为60ppm(5%过量氧)。由于日本在上述各技术领域采取了一系列有效措施,使日本窑炉技术在这个世界上有较高的地位。这是其重视应用及改良性技术的研究开发结果。日本的工业窑炉在提高效率、减少公害、保护环境、降低消耗、节约能源等方面取得较大成就,有的达到世界先进水平。

三、西欧工业窑炉节能概况

英国是老牌的工业发达国家,在与工业窑炉密切相关的八个主要工业部门的能源利用列于表1-2。

表 1-2

工 业	生产量,(百万 t)	总能耗,(PJ _{not})
钢 铁	13.7	292
玻 璃	3.0	40
铝	0.5	37
铸 铁	1.5	22
砖	6.5	18
耐火材料	0.7	14
陶 瓷	0.4	13
铜	0.5	10
		446

英国用于采暖和过程加热的能量分配示于表 1-3。

表 1-3

能 量 分 配	能耗(PJ/年)
工业采暖及生活服务	351.0
公共与商业楼采暖与生活服务	622.8
低温过程加热	461.5
高温过程加热	508.1

由表 1-3 可见过程加热与建筑物采暖、生活用热几乎各占一半。而高温过程和低温过程又几乎各占一半。所谓高温过程是指 200℃ 以上的加热过程,它们几乎都是在锅炉、窑炉中进行的。

英国高温过程用燃料,过去曾以煤炭为主。但自北海油气田开发以来,天然气大量输入英本土,因此天然气占了总能耗的 46%,既供民用,又供工业用。在英国燃料构成中,存在着煤、油、气、电的竞争。七个部门中煤油气电的分配情况是:气占 26% (水泥行业用量极少,其余行业都有一定数量。)油占 29% (与天然气分配相似)电占 9% (主要用于有色金属冶炼工业),煤和焦炭占 35% (主要用于水泥和钢铁工业)。当前有一个要把依赖于焦炭的过程转移到燃气上来的趋向,例如通常化铁炉用焦炭,现正在示范用燃气,但要完成这一转变,需要有个根本性的技术突破。

经初步调研,英国在工业窑炉节能技术方面,总的来说是较先进的,许多窑炉及其节能装置都有专业公司研究开发及商品化。如 Wellmen 炉子公司就是从事窑炉商品化开发的骨干公司。此外,政府对节能工作很重视,专门设立节能办公室,坚持抓节能示范工程,其中不少是窑炉节能技术改造工程,确保了新技术的推广应用。英国对窑炉节能项目的支持有两条渠道:(1)以前是能源部,现在是环境部,通过 Energy Efficiency Office (EEO) 由 Energy Technology Support unit (ETSU)管理的 Energy Efficiency Demonstration Scheme (EEDS),它的原名为 Energy Conservation Demonstration Project Scheme (ECDPS);(2)由 DTI (工商部)资助的工业废热回收咨询计划 Industrial Waste Heat Recovery Consultancy Scheme (IWHRCs)。

自 1987 年以来, EEDS 已有数百个项目完成或正在进行。约有 10% 是属于高温窑炉节能的。该计划的建立目的是宣传新的节能技术信息,并为某些缺乏资金的项目提供无偿的资助(大约总装置与基建费用的 25%)。为了保证公正地进行项目测试,特请他方组织监测,监测期半年或 1 年。其费用 100% 由其资助。监测组织须经国家主管部门批准。

近年由 DTI 主持,对(IWHRCs) 项目设计研究咨询提供一定资助。项目内容包括评价热回收技术和制订设计规范等等。首先对获准申请者免费提供价值 3000 英镑的咨询工作。超过此数部分 50% 可获资助。但政府支持的最大限额为 1 万英镑。本项目计划主要为制造工业部门所设,大多是每年燃料费超过 10 万英镑的工厂。本计划还可提供新的生产设备和现存装置。

在欧共体成员国中,有这类能源项目计划的,不仅是英国,法国等国家同样有这类示范项目。欧共体本身也设立了 European Community Demonstration Projects for

Energy Saving and Alternative Energy Sources, 即节能与替代能源示范项目, 由EEC能源总公司主持。

当然这不是说英国的能源管理已尽善尽美了。事实上也还有许多具体的节能技术管理工作可做。Lee R. G. 认为, 在不增加或很少增加用户成本的情况下, 通过加强管理和对操作者进行培训, 能耗还可下降 5%。这就是说, 即使在英国, 加强能源利用设备的管理, 仍有一定的潜力。

当然, 更大的节能潜力存在于技术进步之中。英国和欧共体其他成员国对于新的窑炉节能技术开发都是十分重视的。英国的自身预热烧嘴在窑炉上应用已十分普遍, 据说目前已使用着数千个这类烧嘴, 而且已有陶瓷型的, 能用于很高温度窑炉的余热回收。它还在世界上首先开发了更为先进的蓄热式换热陶瓷烧嘴。法国、西德、意大利等也分别拥有一些先进的窑炉节能技术。法国霍特斯坦南公司是一家大炉子公司, 具有大炉子的整体拼装, 用计算机控制等特长技术。在步进式加热炉中步进梁高温段如何用耐火纤维包扎技术方面形成了它的专利。其在推钢的同步性, 结构的稳定性, 液压系统的可靠性方面饮誉世界。它们搞的加热炉计算机模拟加热曲线与实际的加热曲线十分逼近, 其温差只差 6℃。西德是煤炭利用技术先进的国家之一。在沸腾炉燃烧劣质煤方面尤其成功。不到 4184 kJ (1000 大卡) 热值低的劣质煤也能被很好地燃烧使用。意大利的一个小炉子公司 (BEDOTTE) 据称已解决了煤水浆燃烧问题, 特别是找到了合适的烧嘴。该公司对劣质油的燃烧也颇有研究, 他们发明的柏油燃烧技术在南非应用相当成功。他们在刀片生产中使用的 800—1000mm 宽的薄板退火炉上实施相当精确的温度控制 ($\pm 5^{\circ}\text{C}$) 和线速控制, 达到了世界先进水平。西欧国家炉窑热效率之所以普遍较高, 主要在于燃烧设备的先进, 控制精细, 检测正确, 能做到高水平的余热回收。不仅实行全热风自回收, 高温强传热, 还普遍应用喷嘴、换热器和烟道组合成一体自身预热燃烧器, 实现高效热利用。此外耐火隔热材料大量应用, 包括耐高温陶瓷纤维材料和不定形耐火材料的应用。因此从总体上讲, 他们的窑炉节能水平较高, 比我国平均多节能 10%—20%。他们的窑炉排烟温度多数在 150—250℃。(而我们多数在 400—500℃ 甚至更高。) 他们的热风温度大多达 500—650℃, 有的更高, 而我们大多不超过 250—300℃, 先进的也不过 400℃ 左右。但是由于工业窑炉节能的重要性被愈来愈多的人认识, 因此近来不少部门在为此努力。1991 年上海市经济委员会批准组建的上海市工业炉公司是全国第一家省市级工业炉专业公司, 主要从事各类非标节能型工业电炉和燃料炉的设计、研究、制造和炉子的节能改造, 他们开发的 2500℃ 高温电炉和全纤维罩式电炉达到国际先进水平。