

国家机械工业委员会统编

工业炉节能常识

(高级筑炉工适用)

机械工人技术理论培训教材

JIXIE GONGREN JISHULILUN PEIXUN JIAOCAI



机械工业出版社

机械工人技术理论培训教材

工业炉节能常识

(高级筑炉工适用)

国家机械工业委员会统编

机械工业出版社

本书收集了近年来国内外在工业炉上所应用的主要的一些节能技术。主要内容有：燃料炉和电炉的各种节能措施；新材料、新技术、新炉型的推广应用；各种工业炉的余热利用和能源管理。本书内容广泛，切合实际，通俗易懂。不仅可以作为高级筑炉工的技术理论培训教材，也可以作为从事工业炉设计、制造、安装、维修、热工设备管理和其它有关人员的参考书。

本书由第一汽车制造厂曾正明和吴中林编写，由第一汽车制造厂唐经武、谷安振和第二汽车厂徐万恒审稿。

工业炉节能常识

(高级筑炉工适用)

国家机械工业委员会统编

★

责任编辑：何月秋 责任校对：熊天荣
封面设计：林胜利 方 英 版式设计：张世琴

机械工业出版社出版 (北京东黄门大街25号)

(北京市书刊出版业营业性印制业出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

机械工业出版社发行 · 新华书店经销

开本 787×1092 $1/32$ 印张 5 · 字数 107 千字

1988 年 12 月北京第一版 · 1988 年 12 月北京第一次印刷

印数 00,001—11,700 · 定价：1.65 元

★

ISBN 7-111-01121-X/TK · 54

前 言

1981年，原第一机械工业部为贯彻、落实《中共中央、国务院关于加强职工教育工作的决定》，确定对机械工业系统的技术工人按照初、中、高三个阶段进行技术培训。为此，组织制定了30个通用技术工种的《工人初、中级技术理论教学计划、教学大纲(试行)》，编写了相应的教材，有力地推动了“六五”期间机械行业的工人培训工作，初步改变了十年动乱造成的工人队伍文化技术水平低下的状况，取得了比较显著的成绩。

鉴于原机械工业部1985年对《工人技术等级标准(通用部分)》进行了全面修订，原教学计划、教学大纲已不适应新《标准》的要求，而且缺少高级部分；编写的教材，由于时间仓促、经验不足，在内容上存在着偏深、偏多、偏难等脱离实际的问题。为此，原机械工业部根据新《标准》，重新制定了33个通用技术工种的《机械工人技术理论培训计划、培训大纲》(初、中、高级)，于1987年3月由国家机械工业委员会颁发，并根据培训计划、大纲的要求，编写了配套教材149种。

这套新教材的编写，体现了《国家教育委员会关于改革和发展成人教育的决定》中对“技术工人要按岗位要求开展技术等级培训”的有关精神，坚持了文化课为技术基础课服务，技术基础课为专业课服务，专业课为提高操作技能和解决生产实际问题的能力服务的原则。在内容上，力求以基本概念和原理为主，突出针对性和实用性，着重讲授基本知识，

注重能力培养，并从当前机械行业工人队伍素质的实际情况出发，努力做到理论联系实际，通俗易懂，具有工人培训教材的特色，同时注意了初、中、高三级之间合理的衔接，便于在职技术工人学习运用。

这套教材是国家机械工业委员会委托上海、江苏、四川、沈阳等地机械工业管理部门和上海材料研究所、湘潭电机厂、长春第一汽车制造厂、济南第二机床厂等单位，组织了200多个企业、院校和科研单位的近千名从事职工教育的同志、工程技术人员、教师、科技工作者及富有生产经验的老工人，在调查研究和认真汲取“六五”期间工人教材建设工作经验教训的基础上编写的。在新教材行将出版之际，谨向为此付出艰辛劳动的全体编、审人员，各地的组织领导者，以及积极支持教材编审出版并予以通力合作的各有关单位和机械工业出版社致以深切的谢意！

编好、出好这套教材不容易，教好、学好这些课程更需要广大职教工作者和技术工人的奋发努力。新教材仍难免存在某些缺点和错误，我们恳切地希望同志们在教学和学的过程中发现问题，及时提出批评和指正，以便再版时修订，使其更完善，更好地发挥为振兴机械工业服务的作用。

国家机械工业委员会
技工培训教材编审组

1987年11月

目 录

前言

第一章 绪论	1
第一节 热效率	1
第二节 工业炉的节能途径	5
复习题	9
第二章 燃料炉的节能措施	10
第一节 常用的节能措施	11
第二节 煤炉的节能措施	15
第三节 油炉的节能措施	24
第四节 煤气炉的节能措施	31
第五节 冲天炉的节能措施	38
复习题	47
第三章 电炉的节能措施	43
第一节 电阻炉的节能措施	48
第二节 盐浴炉的节能措施	52
第三节 电弧炉的节能措施	61
第四节 感应炉的节能措施	69
复习题	75
第四章 节能新技术简介	76
第一节 超轻质砖和耐火纤维的应用	76
第二节 高温节能涂料	89
第三节 耐热钢构件	97
第四节 计算机控制	101
第五节 发展新炉型	103

VI

复习题	116
第五章 余热利用	117
第一节 换热器的应用	120
第二节 热风除尘	134
第三节 余热锅炉	138
第四节 其它余热回收利用的方法	141
复习题	142
第六章 能源管理	144
第一节 计量管理	144
第二节 工业炉的管理	146
复习题	150

第一章 绪 论

能源是我国经济建设和发展的战略重点，是实现四个现代化及提高人民生活水平的重要物质基础。特别是近10年来，在世界范围内，它的重要性已愈来愈明显地被人们所重视。

能源是能量的来源或源泉。在自然界中天然存在的、没有经过加工或转换的能源，称之为一次能源(或称自然能源)，如煤炭、石油、天然气、太阳能、风能、地热、核能等。

为了满足生产和生活的特定需要，便于输送和使用，提高劳动生产率和能源利用效率，自然界现成的能源除有些可直接使用外，通常需要经过加工以后再加以使用。由一次能源加工转换而成的能源产品，一般称为二次能源(或称人工能源)，如电力、煤气、蒸汽及各种石油制品等。表1-1列出了一次能源与二次能源的范围。

表1-1 一次能源与二次能源的范围

一 次 能 源			二 次 能 源		
煤炭	风能	海洋能	电力	蒸汽	柴油
石油	太阳能	波浪能	焦炭	汽油	重油
天然气	水力	核能	煤气	酒精	柴油
油页岩	生物能	地热	氢能	液化气	

在工矿企业中，从广义的角度来说，把水和压缩空气也称之为(动力)能源。

第一节 热 效 率

工业炉的热效率是其最重要的热工特性参数，是评价炉

子设备能量利用水平的依据。国家标准《设备热效率通则》上定义：“设备热效率是指热设备为达到特定目的，供给能量利用的有效程度在数量上的表示，它等于有效能量对供给能量的百分数”。

工业炉的热效率是按不同体系而言的。它分为炉膛热效率、炉子热效率和炉子系统热效率。其中我们经常谈到的是炉子热效率，它最具有现实意义。

炉子热效率是一个完整的炉子体系“炉膛、空气、燃料换热器”的热效率，它包括了炉膛外的一个(或几个)热流回路，它以为工艺有效热服务的整个设备为体系。炉子热效率是炉子设备热工水平、能量利用水平的最根本的标志。

$$\eta_{\text{炉}} = \frac{Q_{\text{效}}}{BQ_{\text{低}}}$$

或

$$\eta_{\text{炉}} = \frac{BQ_{\text{低}} - Q_{\text{失}}}{BQ_{\text{低}}}$$

式中 $\eta_{\text{炉}}$ ——炉子热效率(%)，

$Q_{\text{效}}$ ——工艺有效热量(J)，

$BQ_{\text{低}}$ ——炉子供入热量(J)，

$Q_{\text{失}}$ ——炉子损失热量(J)。

炉子热效率的意义在于表征为达到一定工艺要求而供给工业炉的热能中，目标值的达到程度，但它不是纯粹的设备性和工艺性参数，因为它除与炉型结构、燃料和燃烧条件、工艺条件和物料条件等有关外，还与操作条件和炉子生产率有关，因此，它是一个综合性的热工参数和技术指标。

现将第一汽车制造厂以及日本、苏联、美国的一些炉子的热效率列于表 1-2、表 1-3、表 1-4 和表 1-5，供分析参考。

表1-2 第一汽车制造厂部分
炉子的热效率

炉 子 名 称	热效率(%)	备 注
室式煤气加热炉	7.3~16.2	
半连续式煤气加热炉	13.3~27.8	
台车式加热炉	8.9~15	
贯通式铸件补焊炉	22.9	
箱式电阻炉	31.4~32.6	
井式回火炉	24	
中温盐浴炉	13.9	
高温盐浴炉	25.3	
贯通式电阻炉	45~60	
贯通式有燃气渗碳炉	10	
升降式电退火炉	36~59	
铅熔化炉	5.3	
锌熔化炉	6.7	
冲天炉	27.5~31.6	
电弧炉	12.8~23.57	过热铁水
感应炉	50~57	
卧式烘砂炉	8.7	
砂芯烘干炉	32.3	
电烘干室	10~15	
远红外烘干室	25~30	

表1-3 日本一些炉子的热效率

炉子名称	工艺温度 (°C)	平均热效率 (%)	波动范围 (%)
室式炉	886	12.3	2.5~34.4
锻造加热炉	1250	15	6~17
台车式炉	900	8.5	1.8~32.9
推杆式炉	875	11.2	4.6~37.4
连续式步进炉	890	30.1	3.5~55.7
连续式加热炉	1250	40	30~55
间歇式井式炉	843	8.4	7~29.2
罩式炉	723	29.9	18.1~40.9
传送带式炉	724	11.1	42~48
辊道炉	863	33.4	19.7~50.7
间歇式台车退火炉	850	16	6~30
冷轧钢板退火炉	680	35	30~40
厚钢板热处理炉	960	18	16~20
不锈钢板连续退火炉	1100	30	15~30
熔铅炉	450	12	5~24
熔锌炉	500	30	10~40

表1-4 苏联一些炉子的热效率

炉子名称	热效率 (%)	单位热耗 (kJ/kg)	加热 1kg 金属 需标准燃料 (kg)
手锻炉(开式)	3~10	8373~26377	0.13~0.9
开敞式和孔眼式炉	10~16	5024~8373	0.17~0.27
室式炉	12~20	4103~7118	0.14~0.25
双室式炉	14~25	3223~5862	0.11~0.2
空气预热的室式炉	14~26	2931~5862	0.1~0.2
半连续式推杆炉	20~40	1884~4103	0.065~0.14
连续式推杆炉	30~60	1340~2721	0.045~0.098
传送带式炉	10~30	2638~8373	0.09~0.3
连续式转底炉	18~50	1591~4396	0.05~0.15
转炉底炉或振动炉底炉	—	3349~8373	0.12~0.03
快速加热装置	18~30	2638~4396	0.09~0.15

表1-5 美国一些炉子的热效率

炉 子 名 称	平均热效率(%)	波动范围(%)
罐式炉	7.9	2.9~14.3
箱式炉	10.3	3.1~28
环形炉	39	13~46.5

第二节 工业炉的节能途径

一、节能的意义

国家使用能源的一大户，就是工业炉。工业炉耗用的能源约占全国总能耗的 1/5。

目前，在机械工业中，工业炉仅占设备总数的 5~8%，但它大量消耗煤、油、气、电。在一般机床、汽车、轴承行业中，工业炉的能源消耗却占全厂总能耗的 50~60%；重机行业约占 70~80%，热加工专业厂约占 80%以上。从这可以看出：工业炉耗能巨大，素有“煤老虎”、“油老虎”、“气老虎”、“电老虎”之称。因此，机械工业部门要节能，首先就要在热工专业，特别是工业炉上节能。

我国的工业炉在能源利用方面，当前还存在很大的浪费。如锻造加热炉的单耗竟高达 0.7kg 标准煤/kg 锻件，热效率只有 3~15%；连续式加热炉的热效率为 30%左右。各厂矿企业之间，工业炉的热效率相差也很悬殊，最好的为 50%以上，最差的仅有 3%。而有些工业先进的国家，锻造加热炉的单耗只有 0.15kg 标准煤/kg 锻件，其热效率为 20%；连续式加热炉的热效率为 50%左右，节能型加热炉在 56%以上。因此，做好工业炉的节能工作是一项非常迫切而艰巨的任务。

我国虽然能源很丰富，但燃料工业和能源的开发都跟不

上生产的发展和人民生活的需要。能源利用率低是我国普遍存在的突出问题。由于能源利用率低，所以，长期以来，我国能源供应一直是十分紧张的。近几年来，由于能源短缺，大约有 20% 左右的生产能力没有能发挥作用（时常拉闸限电），明显地影响了国民经济的发展和人民生活水平的提高。因此，节能工作对于发展国民经济，提高人民的生活水平，加快四化建设的步伐，都有着十分重大的现实意义和深远的历史意义。

二、节能途径

工业炉的节能途径一般有：改善工业炉的热平衡；采用新型燃烧装置；选用节能新炉型；采用新型节能材料；利用余热以及加强节能管理工作。此外，还应根据不同炉型、不同用途、不同的使用情况，采取相应的节能技术措施和管理措施。

1. 编制工业炉的热流平衡图 通过对工业炉的热工测定和热平衡的编制，可以全面地了解工业炉的热工过程，了解哪些热量是有用的，哪些热量没有起作用，哪些占的比例较大，以及如何减少热损失等，并可以得到各种热工参数，了解炉子的工作状况，从而找出节约能源的最有效的途径和节能方向，达到节能的目的。

图 1-1 是一般加热炉的热流平衡图。图中热量的收入有：燃料发热量；物理热；空气带入热；钢氧化热；化学热。热量的支出有：钢材吸热（热效率）25%；排烟热损失 35%；不完全燃烧热损失 5%；其它热损失（包括炉墙蓄热、散热，炉门、孔缝漏损以及机械件、冷却水带走的热）35%。

图 1-1 是一个比较普遍而又典型的热流图，从图中可以清楚地看出，热效率低的主要原因是废气带走的热和炉墙的

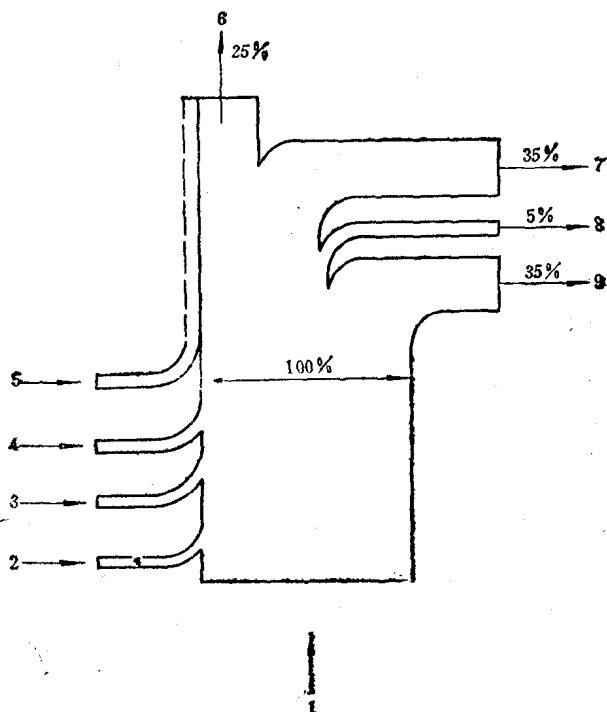


图1-1 加热炉热流平衡图

- 1—燃料发热量 2—物理热 3—空气带入热 4—钢氧化热 5—化学热
6—钢材吸热 7—排烟热损失 8—不完全燃烧热损失 9—其它热损失

蓄热、散热占的比例较大，这与筑炉有密切关系，因此，筑炉工在这两方面是可以大有作为的。

2. 采用新型燃烧装置 对工业炉来讲，燃烧装置是很关键的，它是工业炉的心脏部分，燃烧装置的好坏直接影响到能源消耗的多少。先进的烧嘴可以得到良好的燃烧效果，提高燃烧效率，降低燃料消耗。近年来出现的新型燃烧装置

有平焰烧嘴、高速烧嘴、自身预热烧嘴、转杯烧嘴、低压比调烧嘴等。

3. 选用节能新炉型 现在能源界把节能称为“第五能源”，把它与煤炭、石油、天然气、水电等四大能源相提并论。并紧紧以节能为中心来研究和设计工业炉。当前一般使用的节能新炉型有快速加热炉、步进式加热炉、热滑道加热炉、罩式炉、气垫式热处理炉、无罐渗碳炉、卡腰冲天炉、热风冲天炉等。

总之，发展新炉型是改变工业炉耗能大、效率低的一项重要措施。

4. 采用新型节能材料——耐火纤维 在工业炉上采用耐火纤维的节能途径，主要表现在加热和热处理过程中减少炉墙的蓄热和散热损失，在这些炉型中蓄热和散热损失大约占总能量消耗的40~50%。在周期性间歇式操作的炉子中又以减少蓄热损失为主而耐火纤维具有质量轻、热导率小、热容小、热惰性低、升温快、降温快的特点。因此，在这些工业炉内采用耐火纤维可以大幅度地降低这部分热损失，一般可节约能源20~30%左右。

5. 余热利用 火焰炉最大的热损失是离开炉膛的烟气所带走的热量，炉温愈高，这种热损失愈大，一般在40%以上。因此，减少和利用烟气带走的热量是提高火焰炉热效率的主要途径。概括起来，该炉余热利用的方法大致有以下三种：

(1) 装设换热器，利用烟气预热助燃的空气和燃料；

(2) 装设余热锅炉，产生热水或蒸汽，以供生产和生活用；

(3) 利用烟气作为低温炉的热源或用来预热冷的工件

(炉料)。

5. 加强节能管理工作 加强管理工作，对节能也很重要。事实上采取各项节能措施也只有正常的管理前提下，才能取得应有的效果。

(1) 组织管理：设有专职的能源管理人员，制订有关的节能条例或规定，提出考核指标和奖惩细则，并督促各级人员重视能源节约和合理使用。

(2) 生产管理：采取集中生产、连续生产、满炉生产。尽量减少或避免炉子停歇、“开炉待料”、装炉不足、炉温不准确、炉况失常等不正常现象，这对节能都是有益的。

(3) 操作管理：在工业炉的节能工作中，还要注意每一项细小的操作管理。如果忽视了这些方面，也会造成热能的浪费。烟气中氧的管理、炉压管理、冷却水管理、换热器的泄漏管理以及保温制度管理等，都与节能有密切关系。

复 · 习 题

1. 什么叫能源？
2. 举例说明一次能源和二次能源。
3. 什么叫热效率？按不同体系又可分为哪三类热效率？
4. 试列出炉子热效率的公式。
5. 为什么工业炉素有“煤老虎”、“电老虎”之称？
6. 一般说来，节能的途径有哪六种？
7. 编制热平衡可以了解工业炉的哪些状况？
8. 耐火纤维具有哪些特点？使用后大致能节约多少能源？

第二章 燃料炉的节能措施

燃料炉是靠燃料燃烧发出的热量对物料进行热加工的设备，又称火焰炉。

燃料炉可根据燃料的种类分为固体燃料炉、液体燃料炉和气体燃料炉三类。

煤炉是应用范围较广的固体燃料炉，要求煤炉有较大的燃烧室。煤炉因受煤块和加煤间断操作的影响，使煤与空气很难混合，煤不能得到完全燃烧，而且炉内温差大，黑烟多，劳动条件差，污染环境严重，因而限制了煤炉的使用范围。

液体燃料炉主要是油炉，油需要雾化，燃烧不易控制，但炉温均匀性尚好，可满足常规热处理工艺的要求。

气体燃料炉常被称为煤气炉。气体燃料与空气很容易混合，能达到完全燃烧，其燃烧过程也比油炉容易控制，炉温均匀性好，可满足各种零件热处理工艺的要求。

燃料炉最大的热损失是烟气带走的热量，炉温越高废气带走的热量也越多。表 2-1 为不同温度的炉子中，废气带走的热量占总热量的比值，在炉温为 1000°C 时，约等于 50%。

表2-1 废气带走的热量占总热量的比值

炉子最高温度 ($^{\circ}\text{C}$)	$Q_{\text{废}}/Q_{\text{总}}$	
	发生炉煤气	重油
550	0.3	0.27
650	0.34	0.28
850	0.43	0.41
1050	0.59	0.49