

RECHULI

JIE NENG DE TUJING

22

热处理节能的途径

中国机械工程学会热处理学会 主编

√

机械工业出版社

72
144

热处理节能的途径

中国机械工程学会热处理学会 主编

朱培瑜 胡景川

张安全 齐立礼 樊东黎

编著



机械工业出版社

✓ 101760

本书共分四章。第一章绪言，介绍了国内外能源应用和耗能概况以及今后热处理节能的方向。第二章阐述了节能热处理工艺及材料的研究与应用。第三章讲述了热处理设备的节能与改造。第四章主要从热处理车间的组织管理工作方面来介绍节能的成熟经验。附录中列出了由节能座谈会起草并经过82年11月国家经委和中国热处理学会联合召开的临潼会议进行讨论修改的：“热处理合理使用能源的暂行规定”和“热处理车间（工段、小组）生产节能组织管理条例”二个草案以及热处理炉节能技术改造的结构图供参考。

本书可供广大热处理工作者参考。

2FS8/14

热处理节能的途径

中国机械工程学会热处理学会 主编

朱培瑜 胡景川

编著

张安全 齐立礼 樊东黎

机械工业出版社出版（北京百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业登记证出字第117号）

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 $850 \times 1168^{1/32}$ · 印张 $11^{5/8}$ · 插页 2 · 字数 347 千字

1986年2月北京第一版·1986年2月北京第一次印刷

印数 0,001—4,620 · 定价 3.90 元

统一书号：15033·5989

前 言

能源是国民经济的命脉，在我国是实现四个现代化的重要物质基础。经济合理地使用能源，关系到发展国民经济的全局。因此，在当前，节能已成为实现四化的重要课题。

在机械制造工业中，热处理是耗能最多的工艺之一。在大中型汽车、拖拉机制造厂，以及标准件、轴承制造厂和机床制造行业中，仅热处理车间的能耗就要占全厂能耗的四分之一以上，而有的中小型企业，能耗比例还要高些。如生产丝锥的工具厂和汽车齿轮配件的专业厂，能耗要占全厂能耗的二分之一以上。而热处理设备素有“电老虎”之称。为了制服“电老虎”，近年来各有关工厂、企业在节电方面做了不少工作，也取得了一定成效。为了总结经验，进行交流，推动热处理节能工作的开展，以及从节能要求出发完善热处理生产的组织，加强生产管理和能源管理，中国机械工程学会热处理学会，在1981年于北京香山召开了热处理节能座谈会，总结和交流了热处理节能的经验。在会上还提出了在学会下设立节能小组的建议，并组织编写《热处理节能的途径》这本书。希望它能在当前的热处理节能工作中，能起到“抛砖引玉”的作用，对整个热处理行业的节能工作有所推动，对读者有所裨益。

本书共分四章。第一章绪言，由樊东黎编写。第二章节能热处理工艺及材料的研究与应用，由齐立礼、樊东黎、张安全编写。第三章热处理设备的节能与改造，由樊东黎、胡景川编写。第四章热处理车间的节能管理，由朱培瑜编写。由朱培瑜负责全书的文字校订。

本书在附录中还列有经节能座谈会起草并在82年11月由国家经委和中国热处理学会在临潼召开的全国第三次热处理技术交流

IV

会和第三届热处理年会上讨论的“热处理合理使用能源的暂行规定”和“热处理车间（工段、小组）生产节能组织管理条例”二个草案，以供试行时参考。此外还附录了一部分有关的参考资料和井式炉、箱式炉节能技术改造的图纸，以供有关单位参考。

本书在编写过程中，得到机械工业出版社编辑丁文华同志的指导和溧阳第一耐火器材厂厂长蒋发金同志的支持和帮助，在这里谨向他们表示衷心的感谢。

编者

目 次

前言

第一章 绪言	1
第一节 国际上热处理的能源应用概况	2
第二节 我国机械工业的电能消耗和节能潜力	5
第三节 热处理节能的方向	8
第二章 节能热处理工艺及材料的研究与应用	11
第一节 综述	11
第二节 利用其它工艺过程余热的热处理	18
第三节 缩短加热保温时间的探讨	34
第四节 亚温淬火、正火及退火	69
第五节 等温退火和等温淬火	78
第六节 热处理工序的省略	86
第七节 表面硬化层深度的再研究	96
第八节 低温化学热处理	100
第九节 节能的渗碳技术	131
第十节 感应加热热处理	147
第十一节 流动粒子炉热处理	154
第十二节 激光、电子束热处理和冲击淬火	160
第十三节 氮基热处理气氛的应用	165
第十四节 水溶性淬火介质	174
第十五节 节能钢材的研究与应用	177
第三章 热处理设备的节能与改造	187
第一节 热处理能源的合理选择	187
第二节 热处理炉型的合理选择	189
第三节 耐热构件的合理选择	191
第四节 炉衬材料的合理选用	197
第五节 电阻炉的技术改造	234
第六节 盐浴炉的节能	261
第七节 燃烧装置与燃烧过程的控制	265

第八节	电阻炉炉温的控制与调节	277
第九节	其它节能措施与途径	285
第四章	热处理车间的节能管理	296
第一节	质量好是最大的节能	296
第二节	组织管理措施一向管理要能源	299
第三节	从节能要求出发安排生产	307
第四节	关于“让峰”问题的探讨	306
第五节	严格审查热处理工艺的合理性	309
第六节	加强基础管理工作——技术经济指标的测定和计算	311
第七节	加强节能管理工作的途径	315
	参考文献	326
附录一	机械工业部热处理合理使用能源暂行规定(草案)	331
附录二	热处理车间(工段、小组)生产节能组织管理条例 (草案)	335
附录三	热处理技术经济指标单项工艺统计测定办法	337
附录四	专业化协作厂点的技术经济指标	344
附录五	改造后的箱式炉、井式炉结构图(供参考)	

第一章 绪 言

能源是发展国民经济重要的物质基础，是实现四个现代化，到2000年产值翻两翻的重要物质条件。本世纪七十年代初，爆发了世界性的能源危机，能源问题严重地影响世界的政治经济局势，成为举世瞩目的大问题。由于各工业国家能源资源的逐渐贫乏和枯竭，世界上的大油田的发现愈来愈少，石油的新增储量赶不上产量的增长(例如，1979年石油消费量比1970年增加了36%，而储量只增加了20%)。导致了世界石油价格的暴涨。六十年代，伊朗的轻质原油每吨仅14~15美元，但到八十年代，每吨油价已涨到了230~240美元，十年之间猛涨了十七倍。因此在国际上使整个资本主义经济处于步履艰难的境地。由于石油危机而加深的能源危机，迫使多数国家在积极开发新能源的同时，不得不特别注意能源的节约和合理使用。

我国的能源供应也是十分紧张的。据调查，工厂企业1979年就缺电400亿度，将近20%以上的企业的生产能力不能发挥。有的地区不得不“停三开四”，估计要减少产值750亿元，占总产值的22%。前两年由于国民经济调整，能源供应矛盾似有所缓和，但随着国民经济的回升，国家建设的发展和人民生活水平的不断提高，能源的紧张状况又有所加剧。如不及时采取切实有效的措施——“开源节流”，势必会拖四化建设的后腿，影响宏伟目标的如期实现。

开发能源是需要一定条件的。因为能源的生产和建设周期很长，一般要十年左右。同时限于建设资金，也不可能把建设规模搞得过大。因此，近期国民经济增长所需的能源，也需要在节约和减少能源消耗方面寻找出路。我国的能源利用效率低、浪费大、管理水平也低，与国外先进水平相比，有很大的差距。因此

节能的潜力也是很大的。节约能源是克服当前能源紧张最现实、最有效的途径。在我国节约能源决非权宜之计，它既是一项建设社会主义四个现代化中的长期战略方针，又是持久的战术任务。

第一节 国际上热处理能源应用概况

我国机械工业的热处理设备，几乎占台数总量的95%都是电炉。欧美的设备，较多的是燃烧天然气（特别是大型的设备多用天然气、城市煤气或重油），但从七十年代开始，用电的数量有增加的趋势。由于电能的大量使用，奥、比、法、意、荷和西德的热处理用电总和，占其总发电量的1%以上。因此，如何节约用电，在西欧也受到了广泛的重视。在这些国家中，充分挖掘现有热处理设备的生产潜力，组织专业化的生产方式，以及各企业内部生产的合理安排，使设备的利用率达到很高的程度。因此，这些国家的节能措施，主要考虑的就是改进设备和革新工艺的技术性措施。

（一）采用经过准确的热传导计算的加热装置，主要依靠电子计算机，实现使用燃料和电能的合理化。目前已出现从发热体—炉料系统出发，并与稳定型和非稳定型热流现象相关联的，可以准确反映这一过程的数学模型。

（二）采用炉子的附加装置。直接控制炉气碳势、氮势、氧势的传感器和执行机构，可节约百分之几的燃料和电能。

（三）采用新型绝热材料（如陶瓷纤维），可减少百分之二十以上的热损失。如用在周期式加热炉上，则效果更为显著。

（四）采用直接加热工件的方法和发热体，以减少蓄热损失和辐射损失，也可有效的节约能源。例如用高频感应加热设备加热工件，以及将工件作为负载，直接通电（低电压、高电流）加热大型螺旋弹簧，进行热处理。

（五）改进料盘、夹具的结构，减轻耐热钢重量，增加强度以减少料盘、夹具的无效加热损耗。例如西欧的网带式传送带炉型的发展，据统计可节约10~25%的热能。

据统计，这些西欧国家在1974年拥有的10kW以上的电阻炉，

其总数约在2万台以上,其总容量为330万kW,由此可大致估算出其热处理单耗约为300~450kWh/t。每台设备的平均容量约为150kW。

日本由于本国的能源资源匮乏,主要是依赖从国外进口。七十年代的石油危机,对其工业的打击影响很大。这就迫使它不得不竭尽全力做好节能工作。在热处理方面也不例外。日本政府在1974年3月和1978年3月,先后公布了《普及推广低单位燃料消耗的工业炉》和促进节能工业炉的方针。并于1979年6月公布了《合理利用能源法》。日本工业炉协会于1975年成立了“电阻炉节能委员会”,通过了三年多的实况调查和分析,于1978年10月提出了“电阻炉热效率实况和提高热效率的对策”的报告,从该委员会提出的报告中,选择了各种热处理工艺总数为100炉次的测试数据,其单位电能消耗和平均热效率数值如表1-1所列。

表1-1系根据测试炉数共100炉的数据,计算出各种工艺的平均单位电耗为323kWh/t,平均热效率为54.3%。

根据上海市第一机电工业局对所属96个热处理厂点的测定数

表1-1 各种热处理工艺实测单耗及平均热效率(日本)

工艺名称	平均热效率(%)	单位重量电耗(kWh/t)	测试炉数
渗 碳	24.7	936	6
碳氮共渗	35.0	418	1
渗碳淬火	52.7	345	31
光亮淬火	48.7	367	11
淬 火	64.2	255	21
正 火	78.4	200	4
退 火	46.9	356	4
光亮回火	94.9	158	1
回 火	61.1	157	14
球化退火	52.2	233	2
渗 氮	25.4	391	3
时效	14.4	171	1
固溶处理	79.4	167	1
平 均	54.3	323	共100

据表明,1981年热处理的平均单耗为859.6kWh/t。82年的平均单耗为797kWh/t,比81年下降了7.2%。83年二季度平均单耗为750.6kWh/t,比82年又下降了5.9%。虽然由于计算方法和作业班次不同^①,与日本的平均单耗不能直接比较,但可看出肯定是有差距的。实际上,机电行业在上海地区节能工作还是比较好的,其它行业的单耗,还远远的超过此数。因此从全局来看在降低单耗和节约能源方面,还有大量工作可做。

表1-2 上海地区工艺单耗实测 (1987年9月)

序号	工序名称	测试设备		实测产量		生产率 (kg/台时)	劳动生产率 (kg/人时)	设备开动率 (%)	耗电量		
		名称	台	重量 (t)	表面积 (m ²)				总耗量 (度)	度/t	度/m ²
1.	中温淬火	箱式电炉	2	97.75	—	30	15	51	55588	569	—
2.	工量刃具 (高速钢 淬火)	盐炉生产 线	2	48.01	—	13	4.3	26	294045	6120 ^①	—
3.	模具淬火	盐浴炉	2	74.36	—	39	6.5	30	91350	1229	—
4.	齿轮渗碳	井式气体 渗碳电炉	2	68.12	—	30	30	39	80018	1175	—
5.	气体碳氮 共渗	井式气体 渗碳电炉	3	195.5	—	29	29	63	131453	672	—
6.	气体渗氮	井式渗氮 炉	4	47.69	—	14	11	37	55887	1172	—
7.	离子渗氮	离子渗氮 炉	1	6.38	—	10	204	57	18486	2917	—
8.	导轨感应 加热	高频	2	528.1	349.6	509	204	17	42575	81	122
9.	齿轮高频 淬火	高频	1	53.66	211.3	151	33	10	18720	349	89
10.	轴类中频 淬火	中频	2	125.2	769.9	196	98	17	29006	232	38

① 包括保温耗电在内。

就热效率来看,我们实测的数据更低,据上海市机械工业工艺专业化协调小组的测定,已经过改造的箱式电炉(采用0.6超轻质耐火材料,在保温层之间还有40毫米的硅酸铝耐火纤维),其热效率平均为35.4%。而盐浴炉(埋入式电极)在860~880℃

① 在我国,除少数工厂外,大都在星期天厂休日停炉,但在日本,除了炉子需要维修外,一般都是长时间连续运行的。

加热淬火处理三卡圆锥齿轮时,热效率仅为13.7%,在处理机床零部件时,热效率也不过16.8%。至于气体渗氮的热效率更低,仅7.5%。因此,改造炉子,减少热损失,增加装载量,以提高热效率,降低单位重量的能耗,其中是大有潜力可挖的。就以某台渗氮炉为例,在大修时更换了全部炉衬(改为0.6超轻质砖),由于减少了炉体的蓄热量,改善了保温效果,同时加快了升温速度,热效率也有所提高。单耗从每吨1450度下降到1000度左右。热效率提高到10.5%,提高了约三分之一。

第二节 我国机械工业的电能消耗和节能潜力

由于缺乏统计数据,只能根据现有的设备台数(估计为85000台),以及每台设备的平均容量推算,根据山西省和北京市的平均数字均为45kW。假定全国亦按45kW算,设备利用率取北京市的为25%,并设实际加热用电系数为0.7,平均班次为1.5班。就可以粗略的计算出,在1978年机械工业热处理的用电量约为24亿度。占机械行业总用电量的27%。根据我国已公布的1979年的全国发电量为2818亿度,因此热处理用电约占全国用电的0.85%,即接近1%。

根据机械行业全年的用钢数量,和需要热处理的钢材比重,可以估算出我国热处理加工的平均单位电耗约为1600kWh/t。由此可见,与日本和西欧的能耗指标相比,有3~5倍的差距。

从上列数字可知,国内外的统计计算数字,都说明热处理的用电将占总发电量的1%左右。这是一个相当可观的数字。从电阻炉的总容量来看,我国约有380万kW,而欧洲六国为330万kW,我国略超过奥、比、法、意、荷和西德的总和。但机械产品的总产值却和这些国家有着悬殊的差距,其中除各国的机械产品价格之间存在着差距之外,也可说明我国的热处理确实具有很大的节能潜力。

根据各省市多次调查的结果分析,造成热处理能耗过大的原因,有以下几方面。

一、设备负荷率低，装炉量不足

根据北京市技术交流站1977年的统计，全市共拥有设备2818台，平均容量为45kW，但平均每小时的产量只有9.5kg，有75%的设备闲置未用，按45kW箱式炉的每小时额定产量为150kg计算，则炉子的实际负荷只有：

$$\frac{2818 \times 9.5}{2818 \times 0.25 \times 150} \approx 0.25 = 25\%$$

即每次的装炉量，只能达到额定装炉量的25%。有将近75%的生产能力放空，没有利用。

根据上海市第一机电工业局对所属96个工厂的统计，1981年该局的平均设备利用率为34%，1982年由于工业生产回升，达到了42%，但其中除标准件行业较高，在80%以上外，其它企业均在25~50%范围内。而未统计在内的厂点其利用率可能更低。

造成负荷率低，设备利用率也低的原因是热处理生产太分散，厂点太多而又任务普遍不足。大厂为了“万事不求人”，小厂为了“自有自方便”，而且设备容量又远远大于实际需要。这样“大而全”、“小而全”大马拉小车的后果是，形成电能浪费估计要在50%以上。根据这些数字计算出来的平均单位电耗为1863kWh/t。大于1600kWh/t的数字。

二、设备有效利用率低

生产连续性差，用于升温、熔盐的时间就占了一半，辅助时间长了，设备的有效利用率就不会高。加上生产组织不当，计划性差，许多工厂的热处理车间只开一班生产，或两天打鱼、三天晒网，炉子开开停停，冷冷热热，大量的时间和电能消耗在冷炉升温上。这类情况，在小批单件生产的“全能厂”，只为本厂工模具生产服务的工具车间热处理小组，以及一部分军工、科研单位，表现最为突出。

在日本，按日本通产省的规定，热处理生产的加热设备都是连续运行的，连厂休日也不例外。除了炉子需要检修而必须停炉外，炉子都是连续运行的。

三、加热设备落后

设备陈旧，技术性能落后，加热设备热效率低，热损失大，炉衬材料保温性能差，吸热量大。例如在我国热处理设备中占有相当比例的盐浴炉，平均热效率不过16%，箱式炉也只有35%左右。必须认真进行技术改造，以节约能源的消耗。

四、无效消耗多

在加热过程中的无效消耗多。如井式炉、渗碳炉、连续式推杆炉，以及可控气氛多用炉上使用的马弗罐、装料筐、料盘以及悬挂工件的工夹具、吊具尺寸过大，耐热钢构件过厚，其重量有时甚至会远远超过加热工件重量。例如常用的JT-35A井式气体渗碳炉，其铬锰氮耐热钢铸件总重竟达481.1kg（包括炉罐、炉底托架、炉内料筐及其风扇等），而最大的工件装载量仅为100kg。前者超过工件重量4.8倍，致使至少有10~20%的能源是白白浪费掉的。

五、工艺落后

工艺落后，或工艺选择不当，加热保持时间计算过于保守。例如：螺纹磨床的硬丝杆，如采用“常规”的热处理工艺，先球化，加工后消除应力，再用井式炉加热淬火—热校直—回火—冷处理—回火—粗磨—时效—精磨—时效，加工程序多，质量也不易保证。但如果改变工艺，即毛坯调质—车加工—中频表面淬火—热校直（一般可不需要）—回火，工序既少，质量也可以保证，而且还可大大节约能源。

据上海市机械工业工艺专业化协调小组、上海市机电一局和机械工业部第一设计院联合测定的单项工艺电耗数据分析，在各项工艺中，感应加热是各项加热方法中生产效率最高，单位电耗最低的一种方法。例如：机床导轨类表面淬火，电耗仅为100~120kWh/t，如按加热表面积计算为20~140kWh/m²。轴类中频淬火，电耗为240~300kWh/t。齿轮高频淬火加热为400kWh/t。但如采用气体渗碳后再用盐浴炉加热淬火，则电耗将高达1600kWh/t，比单用感应加热的高出四倍。而渗碳—盐浴淬火的

生产效率，则仅为高频淬火的四分之一^①，要低得多。因此，从节能观点出发，在保证产品质量的前提下，凡可以采用感应加热的，应尽可能采用感应加热的工艺方法。从国外资料分析，感应加热的增长速度，比电阻炉加热要快 1.5 倍，而且还发展了一系列各种频率的感应加热发生装置，以适应不同用途的需要。

在加热保温时间方面，也存在着“宁长毋短”的倾向，而不能从实际需要出发。实质上加热保温时间过长不但多消耗了能源，而且增长了表面氧化和脱碳的倾向，对产品质量也是有害无益的。

此外，热处理件质量差，经常有成批退修重淬的事件（这类问题在油淬硬化的工件中较为突出）也增加了能源的消耗。至于工模刀具的使用寿命短、产品零件服役期短，因而增加的能源消耗，更无法统计。

第三节 热处理节能的方向

国家能源主管部门对热处理的节能是十分重视的。中国机械工程学会热处理学会也为节约能源做了不少工作。根据1981年底由学会组织的热处理节能座谈会上提出的节能方向，以及近两年来在工作中实践的体会，我们认为在近期内热处理节能工作的方向应该如下述。

（一）要从思想上明确：搞好热处理，零件一顶几是最大的节能，要保证产品质量，杜绝废品，减少次品和返修品，也是最有效的节能措施。工艺改革、设备改造，也都必须在坚持质量第一的前提下贯彻，不能为了节能而影响产品的质量，任何节能措施都必须在保证质量第一的原则下进行。

（二）要加强对能源工作的管理，首先从加强基础管理开始，要采取必要的检测手段，首先做好热处理车间、班组的热平衡测试和计算，掌握能源消耗的去向，摸清每一台加热设备一首先是

① 从保证产品质量出发，高频淬火的工件必须先进行调质或正火，以便获得均匀的淬火马氏体组织，这一工序属预先热处理，未计算在内。

常用设备的热效率，以便作为本部门今后技术改造的依据。

在加强能源管理工作的同时，必须做好车间的各项原始记录，建立必要的台帐报表和零件称重记录制度。如不搞好车间工段和班组的生产管理，搞好管理基础，节能管理就是一句空话。因此，各有关的车间班组，要结合开展能源管理，把生产管理工作带动起来。

在开展热平衡测试工作的同时，还必须做好计量器具的校准、检验工作并形成制度。要重视数据的统计和分析，不准确的数据比没有数据更坏，要培训管理人员、逐步建立和健全能源管理网。

（三）打破行业框框，改革生产体制，走专业化生产的道路，不但产品要实行专业化生产，工艺也要实行专业化协作，要按工艺专业化原则对现有的热处理厂点进行规划，调整和改组，首先要把分散的、质量次能耗大，三废污染严重的厂点进行调整。对集中的协作中心或专业厂进行整顿和技术改造，以保证和充分发挥专业化生产质量高、消耗低的优越性。要花大气力做好协作中心和专业化厂点的服务工作，坚持做到价格合理、交货快、服务周到、使用户放心。这是实现工艺专业化的关键。也只有把协作中心和专业化厂点的工作做好了，才能彻底改变“大而全”、“小而全”的局面。使专业化协作得到巩固。

以上两项工作做好了，就可以收到较大的节能效果。

（四）有计划有步骤地进行技术改造。我国当前的热处理设备，多数是能耗大，技术性能差的40~50年代产品，而且绝大部分是通用的标准设备，必须进行改造和革新。

1. 要首先抓好耗能大的设备的更新改造和改型换代工作。要开展节能炉型的研制工作，积极推广陶瓷纤维、超轻质耐火砖和其它新型筑炉材料，要制订炉衬材料的质量标准，对加热炉的能源利用指标，进行考核。

2. 结合我国当前热处理设备容量大于生产需要的情况，可淘汰一批能耗大陈旧落后的老炉子、老设备，大力推广转换效率

高的可控硅中频逆变器, 扩大感应加热和局部热处理的应用范围。

3. 减轻料盘、料筐和吊具的重量, 把铸造结构改为耐热钢板焊接结构或改为冲压结构, 以减少无效损耗。加快进行超轻质抗渗砖的研制工作, 以便早日生产能够节能的多用炉、无马弗炉。为最大限度的降低能耗创造条件。

(五) 加强热处理节能理论的研究, 试验和推广降低加热温度、缩短加热时间的节能新工艺。要开展对产品热处理零件的热处理工艺性审查, 以保证工艺要求的合理性。尽可能地改整体加热为局部加热, 利用锻后余热淬火、正火, 以及感应加热的自回火。开展燃烧废热的利用。

开展高能量的激光、电子束和离子轰击在热处理加热中的应用。探索远红外加热在热处理领域中应用的途径。

开展各种新能源的应用试验, 如太阳能以及煤作为热处理加热能源的合理途径。

我们认为, 结合我国目前的具体情况, 应把改善管理放在各项节能措施的首位。只有在管理工作走上正轨之后, 继而采取各项技术措施, 才能收到应有的效果。