

节能设备

[英] R. M. E. 戴曼特 著

机械工业出版社

本书对国外最新节能技术作了较全面的介绍。全书内容包括：节能的总体战略、辐射加热装置、原动机的总能、燃料电池、热泵、能量贮存、换热装置、回热器、热管。各章还分别列出设备类型选用一览表。本书可供广大从事节能和能源工作的工程技术人员和管理人员为开拓知识，了解最新节能信息和经验作参考。

Energy Conservation Equipment
R.M.E. Diamant
The Architectural Press, London 1984

* * *

节 能 设 备

〔英〕 R.M.E. 戴曼特 著
卫敬明 李美玲 王冠群 译
徐昂千 校订

*

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）
（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）
上海机械学院印刷厂印刷

*

开本 16 · 印张 11.5 · 字数 259 千字
1987年3月上海第一版 · 1987年3月上海第一次印刷
印数 8000 · 定价 2.65元

*

统一书号：15033 · 6680H

前言

能量是人类赖以生存和人类文明进步的物质基础。能量的形式多种多样，但是人类需用的却只是其中很少的几种形式。很多能量需要从它们原来的形式加以转换才能成为我们需用的形式而后得到利用。前者我们常称为“能源”。值得注意的是，人类现在会利用的能源并不多，掌握的转换方法也很少，最熟悉的就燃料燃烧。但遗憾的是燃料——煤炭、石油、天然气等——的贮藏量一天一天地在枯竭。这一现实已引起人们的注意，开始研究节约能源的方法，探索开辟新能源的途径。近几年来世界各国都广泛开展研究，取得了不少成果。这些成果都值得我国的节能和能源工作者引为借鉴。

本书介绍了国外近年来在节能和开辟新能源方面的一些工作和成就。书中所介绍的，就如该书原作者所指出的那样，不是理论而是实用的经验。而且它们都已在各个部门中付诸实用并已取得成效。书中涉及的节能方法是多方面的，有生活中的节能，也有工业中的节能，还有能量的贮存方法等等。书中也介绍了能量转换方法的研究新成就，例如燃料电池，它已不再是实验室中的实验，而是工业装置。所有这些对我国的节能和能源研究工作都有很好的参考价值。

本书也有它的局限和不足，书中对各种节能方法只作了粗略的介绍，它只能对我们提供启示而不是蓝图，这就需要我们从中得到线索以及作进一步的研究。

最后，我想本书对于节能和能源工作者都会有所裨益。

上海工程热物理学会副秘书长 徐昂千 1986年12月
上海机械学院动力工程学院教授

译者序

随着能源科学与能源技术的不断进展, 节能技术的研究也将更加深入和不断推出新的成果, 因此, 广大从事节能工作的工程技术人员迫切需要了解节能研究的新信息、学习新的节能技术。为了适应这种需要, 我们翻译了英国戴曼特 (R. M. E. Diamant) 所著《节能设备》(1984年第一版) 一书。该书较全面地反映了国外节能信息与节能技术。

原著内容全面、题材紧凑、叙述简洁。作者力求选择经过实践证明是有效的, 经济上又是可行的装置予以介绍, 对其原理、概算、优缺点、应用范围作了深入浅出的分析, 并分门别类地列成表格, 以供节能工程技术人员选用时作参考。为了便于实际推广应用, 作者对所介绍的各种设备均在每章末尾列出了供进一步深入了解的文献。原著所介绍的节能设备, 尽管和我国情况不尽相同, 但它却给我国节能工程技术人员提供了节能信息和实用选择所需要的资料, 仍不失有相当的参考价值。

本书由上海机械学院卫敬明 (第三、四、六、九章)、李美玲 (第二、七、八章)、王冠群 (第一、五章及附录) 老师翻译。徐昂千教授对全稿作了校订。本书在翻译过程中得到了陈之航教授、王乃宁教授、王兴安副教授的支持和鼓励, 在此谨向他们表示衷心感谢。

限于译者的专业知识和译作水平, 译文中难免有错误和不妥之处, 恳请读者批评指正。

译者 1986年11月

原 著 序

即使不考虑各类能源价格不断上涨这个因素，人们今后也不该浪费这种宝贵资源。矿物燃料是一种消耗性能源，它积贮了几百万年前辐射到地球上的太阳能，但在往后数十年内，这种资源将消耗殆尽。

能源问题的最终解决办法是在将来完全采用核动力。而与此同时，我们还面临着一个能源的成本日益增长的问题。

本书阐述了如何利用现代技术来节约资金，以及如何保存我们的矿物燃料库。书中所提方法并不是空想家所热望的乌托邦，而恰好是工程上所选用的解决方法。这种方法具有良好的技术经济性，是切实可行的。

许多工业公司给我提供信息，并允许我在本书中使用它们的图表实例，对此帮助我表示衷心感谢。我希望他们在销售自己的节能设备中一切顺利。在矿物燃料尚未耗尽，价廉而可靠的核动力最终开发出来之前，他们的企业将帮助我们度过这段能源短缺的时期。

R. M. E. 戴曼特

1983年于索尔福德 (Salford) 大学

目 录

第一章 节能的总体战略	1
§ 1-1 能量的经济概念	2
§ 1-2 废热利用的经济性	6
第二章 辐射加热装置	12
§ 2-1 辐射加热系统	13
§ 2-2 反射器	22
§ 2-3 舒适条件	22
§ 2-4 屋顶散热损失	23
§ 2-5 对流热损失	24
§ 2-6 辐射加热器的安装	25
§ 2-7 输入热与工作环境的关系	25
§ 2-8 辐射加热器的安装高度	26
第三章 原动机的总能	28
§ 3-1 总能	29
§ 3-2 已被应用的原动机——蒸汽透平	30
§ 3-3 开式循环燃气透平	34
§ 3-4 柴油机及煤气机	38
§ 3-5 总能系统整套设备的实例	44
第四章 燃料电池	47
§ 4-1 热力学分析	47
§ 4-2 燃料电池的应用	48
§ 4-3 燃料电池系统的成本	50
§ 4-4 燃料电池的种类	51
§ 4-5 燃料的转化	54
§ 4-6 燃料电池的运行	54
第五章 热泵	57
§ 5-1 热泵的一般原理	58
§ 5-2 前置发电用的高温吸收循环	68

§ 5-3 家用热泵	68
§ 5-4 热泵在工业与商业中的应用	71
第六章 能量贮存	79
§ 6-1 显热贮能	79
§ 6-2 潜热贮能	82
§ 6-3 化学贮能	86
§ 6-4 电化学贮能	90
§ 6-5 压缩空气贮能	91
§ 6-6 飞轮贮能	93
§ 6-7 泵水贮能	95
§ 6-8 蒸气贮能	98
第七章 换热装置	101
§ 7-1 液体-液体换热器	101
§ 7-2 液体-气体和气体-液体换热器	115
§ 7-3 气体-气体换热器	123
第八章 回热器	127
§ 8-1 热轮	127
§ 8-2 利用烟气作为能源	131
§ 8-3 回转式回热器的安装	136
第九章 热管	140
§ 9-1 热管的设计	141
§ 9-2 热管的分类	152
§ 9-3 热管的实际应用	155
附录 I 换算因子与符号	161
附录 II 管道与配件的符号	171

第一章 节能的总体战略

如果非再生资源正在接近耗尽，那末其价格必定上升，从而使其它相关的一切物品的价格也随之上升。因此，要精确地预测未来的经济趋势是不可能的。

当今世界上所使用的能源，绝大部分是非再生形式的石油、天然气和煤。这些埋藏在地底下千百万年的资源，现在的消耗速率差不多是每年9Gt标准煤（或 0.32×10^{21} J）。见表1-1。

已证明，现在世界上可找到的能源贮藏量，煤为 20.3×10^{21} J，石油与天然气为 11.2×10^{21} J，而当前的能源年消耗率可与此数量相比拟。但问题还不止如此：先进的资本主义工业国家的人口占世界总人口的15.75%，而每年消耗的能源却占 0.32×10^{21} J 中的54.5%。当然，不发达国家想达到富裕的西方国家的生活水准在短期内未必可能。如果不发达国家也达到这个水准，那末，即使所有西方国家的生活标准维持不变，每年世界的能源需求量也会上升到 1.11×10^{21} J。到目前为止，从西方社会的观点来看，事态还不是特别严重：或许可找到比目前已知的更多的煤和石油；或许可使快中子增殖核反应堆与聚变反应堆缓慢的发展速度加快；且由于他们对地球所贮能源的需求尚有节制。所以，能源贮藏量虽然有限，但还可以用很多年。

表1-1 1978年世界能源使用情况

国家类型	人口 (百万)	与世界总人口 之比(%)	人均标准 煤(kg)	能耗 (Mt 标准煤)	与世界总能耗 之比(%)
不发达国家	1300	30.5	161	209.3	2.4
中等收入国家	873	20.5	903	788.3	9.1
先进的资本主义工业国家	668	15.75	7060	4716.1	54.5
权威的共产主义国家	1353	31.86	2177	2945.5	32.9
没有主要工业的产油国家	60	1.4	1620	97.2	1.1
总计	4254	100.00		8756.4	100.00

摘自: A McKillop "Global economic change and new energy" *Energy Policy* 9.4 p.229~235
Dec.1981

另一方面，虽然实际的能源缺乏可能不需要经历几十年，但因矿物燃料是一种消耗性资源（如煤与石油消耗掉后不能再生），成本上升是肯定的。为此，必须抛弃那多年来，特别是当矿物燃料几乎是用不完的时期对能量利用所形成的许多不经济的做法。

必须采取一切可能的措施来节约能源，这是我们对子孙后代应尽的责任；还必须非常实事求是地努力追求良好的能源经济。此外，还得从商业角度考虑，为的是有可能与经营对手进行竞争。1976年英国工业消耗的能量为2410PJ，即66.95Mt标准煤。其节能潜力见表1-2。

表1-2 英国工业潜在的节能领域

节 能 型 式	Mt 标准煤/年	PJ/年
余热回收	6~8	216~288
以废料作燃料	3~5	108~180
改进测试设备与控制	2~3	72~108
热泵	1	36
工艺保温	1	36
改进干燥与脱水的工艺	1	36
工业热电联产	1	36
改进驱动机械的方法	2~3	72~108
共 节 能	17~23	612~828

摘自某委员会(由能源技术资助中心、哈韦尔(Harwall)和东基布里德(East Kilbride)组成)统计资料

由表可见, 根据这个非常权威的委员会的估计, 工业节能的目标均为工业用燃料总量的25~34%。

显然, 这只是一种估计。对于某些工业, 尤其是产生大量高品位余热的那些工业, 其废热回收要比它主要需要的机械能与电能更有所得。无疑, 某些工厂已偏离了极端能量经济线, 而另一些工厂在这方面是忽视了。

§ 1-1 能量的经济概念

虽然一切形式的能量可用相同的单位(J、MJ、GJ等)来表示, 但经济上的能量值却随其品位高低而变化很大。这意味着电能与机械能是最昂贵的, 其次是高品位热能。

在另一种极端情况下, 那超过周围环境温度只有几度的热能实际上根本没有商业价值, 这也就是某些美好想法的弱点。这些想法就是试图将诸如辐射到地球上的太阳能、地热流体的热焓与从矿物燃料或核动力中得到的高位能量等同起来。为了经济运行, 应该不用比所需能量的品位高得多的能量。

例如, 在所有能量品位中, 具有最高品位的电能应用于产生机械能、光能、声能及在电炉中产生极高的温度。同时, 它也是电子以及类似目的的最合适的能源。

另一方面, 电炉是极耗电的, 使用电炉一般只能将周围空气温度升高到20℃左右。电炉在家庭里和工业上都有应用。现在夜间电力生产过剩, 将部分夜间的电力廉价出售作供暖用是一种固有的损失。所以, 探索诸如飞轮、压缩空气或泵之类的蓄能方法是有价值的, 在蓄能过程中热力学不可逆性极小。

在工业生产中, 经常有若干需要能源的作业, 这些作业需要处于不同品位的能源。在这种情况下, 利用一个工艺过程的废热为另一个工艺过程的需要服务就很有意义。

例如, 玻璃厂产生的废热温度在400~500℃。这样的废热可用来产生中压蒸汽, 以驱动

背压式汽轮机产生电力与热量（它可以是 120℃ 的低压蒸汽），在汽轮机运行时，则可利用其蒸汽使农产品中的水分蒸发；蒸发过程中得到的水蒸汽凝结时又可提供 60℃ 左右的热，所得热水可用于采暖，或向鱼塘、温室供热。如果能这样做，燃烧煤、油或天然气所获得的最初供给的高位能量至少完成了四个单独的任务：

将不同成分的玻璃熔化，并使熔液温度保持在凝固温度以上（约 1500℃）；

得到中压蒸汽用于产生电力（500℃）；

背压式汽轮机的排汽用于作物干燥（120℃）；

水蒸汽凝结，将水加热（60℃），用于采暖、鱼塘或温室的加热。

表1-3 1976年英国的能源平衡

矿物燃料总的年消耗量	Mt 标准煤	PJ
	239.47	8553.5
用于电力工业（中央电力局）	68.26	2457.4
其中：产生电力	21.56	776.3
废热排放	46.70	1681.1
（冷却塔平均温度为30℃时所表示的矿物燃料与电力转换之比平均为 31.585%）		
用于其它工业	55.88	2013.3
购买的电力	11.02	396.9
产生的废热（温度通常大大超过30℃）	约35	约1270

一、工业脱水

玻璃工业排热品位的最高温度为 500℃，陶瓷炉窑放出的废热在 350℃ 左右，还有一些其它工业所排放出的热量温度在 200℃ 或更低一些。这种废热最适用于造纸和纸板工业、食品工业、纺织工业等的物质脱水。曾有过计算，仅英国的工艺脱水过程就有 20.45Mt 水要从湿的产品中排出，而此项脱水工艺需要的能源相当于 2.37Mt 标准煤或 85.4PJ 的惊人数量，其价值在 1982 年约为 2.8 亿英镑。

对于所有的工业脱水工艺过程来说，温度低于 200℃ 的热交换介质是十分充裕的，这意味着不用昂贵的燃料热，仅利用废热进行工业脱水是完全可以成功的。

再一个例子是将牛奶制成奶油、干酪与奶粉的工艺处理。在英国，1976 年上述产品的年产量为 0.5Mt，必须排水 4.20Mt。一般来说，从牛奶中除去 1t 水就需要使用 3t 低压蒸汽，即等于 8GJ，相当于 222kg 标准煤。这些煤的相应价格是 25 英镑左右（1982 年价格）。生产 1 kg 奶制品约需 1 kg 煤，这样，每吨牛奶的脱水费约为 130 英镑。而实际上需要的全是低品位热，因此，如果能从另外的能源获得低品位热，成本就极低。

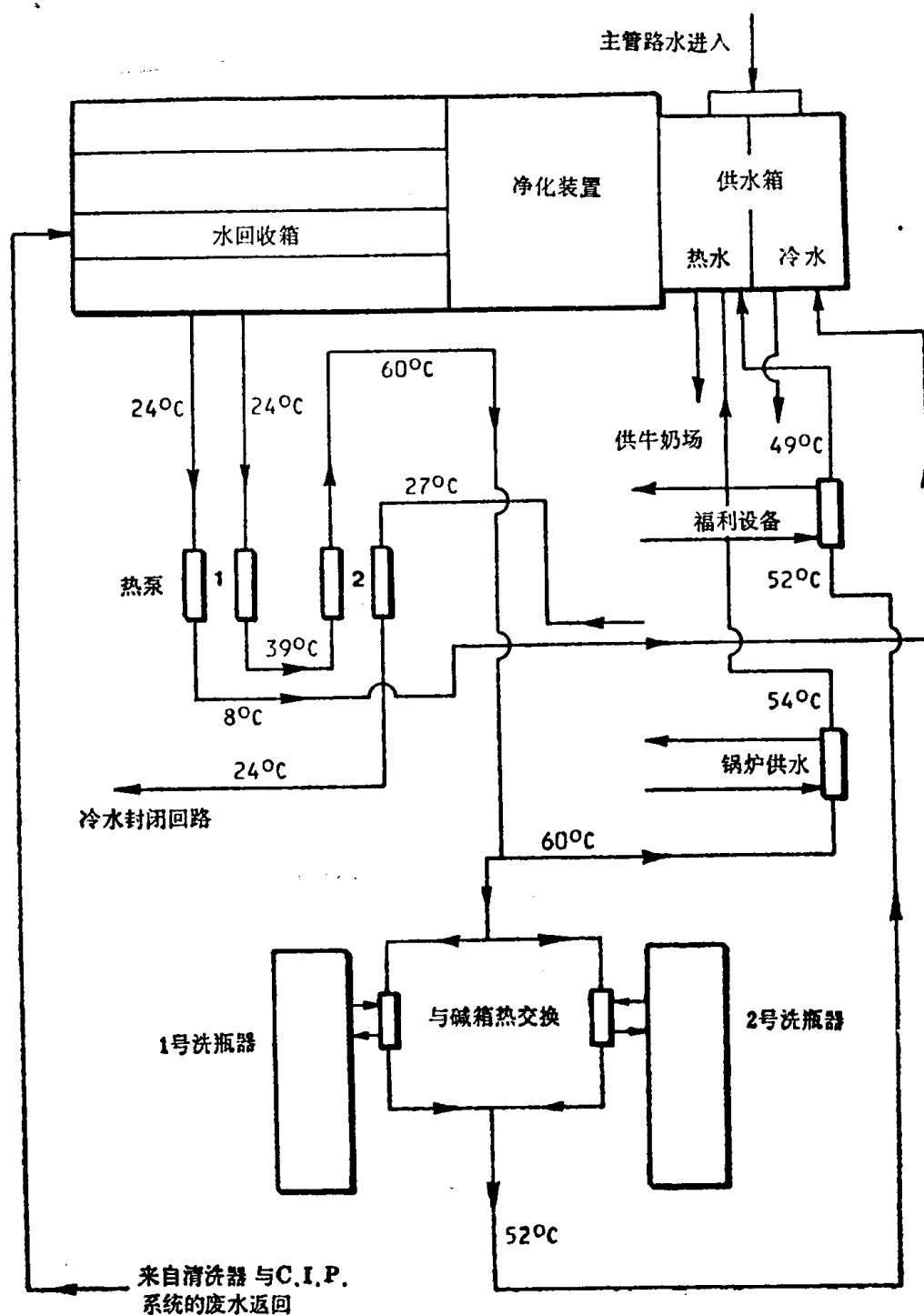


图1-2 英国普雷斯顿(Preston)的巴伯-布里奇(Bamber Bridge)MMB牛奶场的水与热回收系统示意图

次燃料来供热，那末寒冷地区的生产者要在种植生菜作物方面与有自然阳光的国家进行有效的竞争是困难的。因为温室中所用的热水温度品位不超过60°C，为了产生这种热量而使用一次燃料显然是划不来的。实际上，一切温室所需要的只是二次废热：即已用于象作物干燥这种目的之后的，温位已经降低的热量。鱼塘也能利用品位很低的热量。现已有几座核电站的

废热被如此加以利用了，例如亨特斯通（Hunterston）核电站。

三、低品位热的其它用户

在纸、纸浆与纸板的生产过程中，只有30%左右的能量用于干燥工艺。生产1t纸必须脱去1.5t水。干燥通常是用工作温度为200℃的滚筒来完成的，产生的排汽约为70~120℃，这种排热可进一步利用。英国当前该类产品的产量为4Mt上下。

英国的食品与饮料工业的能耗约为工业总能耗的9%，或约为211PJ。利用不同的热量能级，可使某些部门之间的能量需求达到极为满意的平衡。大多数装置的运行热效率是良好的，其它工业也有这方面的实例。年产量为0.9Mt精制糖的英国泰晤士（Thames）制糖厂是可以自豪的：该厂的排热物质只是30℃的冷却水。某些啤酒厂，尤其是使总能装置运转的那些厂，在这方面也是卓有成效的。其它工厂在合理地利用废热方面同样也开拓了很多领域。

四、石油化学工业与一般化学工业

英国的石化工业每年耗能约为330PJ，而且许多工艺过程的排热温度高达200℃。现在，石化工业已能利用所产生的大量废热中的一小部分。对于一个较大的炼油厂，这些废热相当于60MW的电力。

在化学工业方面，由于企业的规模、产品与厂址互不相同，因此在一些装置中已实现了充分的废热回收，而在另一些装置中仍然有相当于100MW电力、温度为120℃或更高的可用废热被浪费掉。

§ 1-2 废热利用的经济性

凡要利用废热，无论是设备投资，还是维修费用都需另外增加。需增添的设备大概有：
废气管道，
热回收设备，
控制与保护装置，
输送管道，

为此，必须将废热回收系统的投资与将一次燃料转换成相当品位热量的简单设备的成本进行比较。在所有的情况下，废热回收装置远较使用一次燃料的装置贵。

设废热利用系统的成本为 C_w 英镑，

设一次燃料利用系统的成本为 C_p 英镑，

设废热回收系统的附加维修与劳力费用为 X 英镑/年，

设每年节约的燃料费为 f 英镑/年。

在这种情况下，必须考虑装置使用期内燃料的大致平均费用以及今后的维修与劳力费用，因为这些费用会受到通货膨胀的影响。热回收系统的偿还期可简单地表示为

$$\frac{C_w - C_p}{f - X} \text{ 年}$$

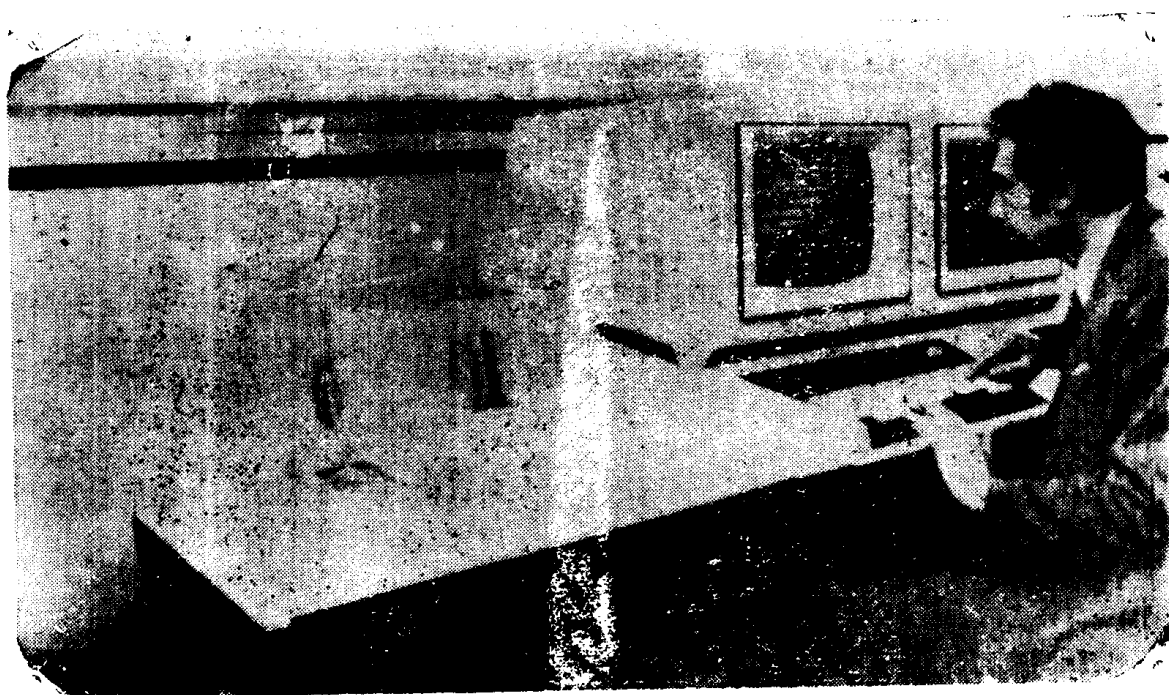


图1-3 操作霍尼韦尔计算机能源管理系统

对于最基本的热回收装置与回热器系统来说，因为这种设备的寿命短，所以一般要求其偿还期在三年以下。对于较复杂的动力装置，其偿还期可达十年，甚至更长些也是理应可以接受的。应该指出，这些仅是很简单的经验法则。再者，就未来的经济与政治发展而论，要作出可靠而又精确的预测似乎是不可能的。在这方面是否确实能提出许多有特别见解的论点还是值得怀疑的。

供热的电子控制

正如本章开始时所指出，加热设备的正确控制比许多其它硬件对建筑物总的热经济性有着更直接的影响，但是安装专用的电子设备要化高的代价。

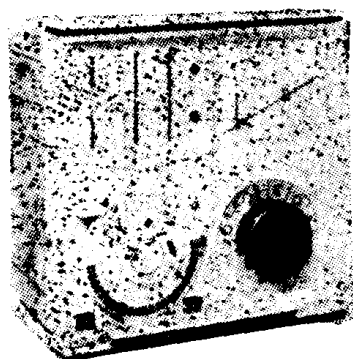


图1-4 现代电子能源控制装置
(由兰迪斯和盖尔公司提供)

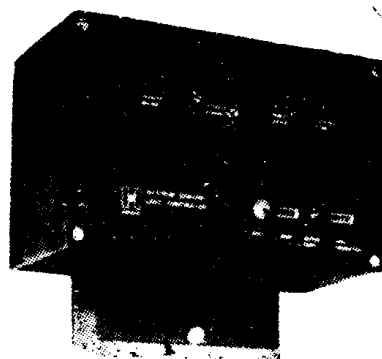


图1-5 最大需荷电子控制器
(由霍斯特曼公司提供)

直到最近,在大多数建筑物中唯一的自动控制是一种电-机械式时间开关,它能按预定时间闭合开关进行加热或切断开关停止加热,但这与当今高昂的燃料费用不相适应。如果采用技术很先进的程序设计器则在经济上是有生命力的,而且现代微处理机电路能简单、方便和可靠地满足这种需要。

对于尖端的电子控制设备,它必须满足的主要要求可以概括如下:

(一) 加速启动

为防止空房屋过热,应尽量迟些接通加热装置,但又须当人们到达屋内时能感到温暖舒适。这通常是在早晨由一个加速启动来完成。用电子仪器使这个加速幅度以及应启动的时间最优化。

(二) 开关的正确开、关方式

加热系统的正确运行由启动次数、结束次数以及建筑物每一部分要求的温度水准所决定。该系统有预先编制好的程序,该程序还能适用于周末、假日及季节的变更。

(三) 外部传感器装置

设置这些传感器是为了预报室外温降、风速等。由计算机将这些参数立即整理成结果,并修改加热程序,以便与气候的这些变化相适应。这样给出的室内气温控制的可靠性远比用室内恒温器来得高,因为建筑物结构中的蓄热效应会引起非常大的滞后。

(四) 防冻装置

该装置能确保在夜间或周末与假日房屋内的温度不低于 1°C 。一旦出现冰冻损坏的危险,它能启动加热系统。

(五) 气候补偿延缓通电

如果用一只简单的时间开关拨到给定的时间加热,那末加热时间与室外的气候无关。显然,这不是最经济的运行方法:当天气暖和时,接通加热开关应比很冷的天气或大风天气迟得多。应当用一个专用的延缓通电机构求出在不同气候条件下确切的加热时间与必需的精确的加速。

(六) 最佳费用分析器

煤气费和电费常与每天使用煤、电的时间有关。最佳费用分析器可用来评估加热系统的最佳运行方式,以便利用最有利的价格结构。

(七) 卸载

在许多系统中,最大需要不能超过某一给定值。当出现这种危险时,即估计到有可能超过最大负荷值时,该装置就以最合适的方法实现自动卸载。

(八) 多台锅炉装置

在这种情况下,由于锅炉是使用微处理机程序控制装置,因而能使最高的运行效率与最低的燃料消耗率结合起来。该程序装置通常与冰冻控制系统连在一起工作。如果某一台锅炉因故障或正常维修而停炉,则停用的锅炉在卸载程序中首先自动解列,而其它锅炉则继续运行。这就保证了有缺陷的锅炉只在不得已的情况下才使用。

停炉后,水泵继续运转30分钟,把锅炉的热量送往建筑物,于是就获得了最佳的能量利用,因为本来要被浪费掉的那部分热量它也利用了。

(九) 太阳能效果补偿

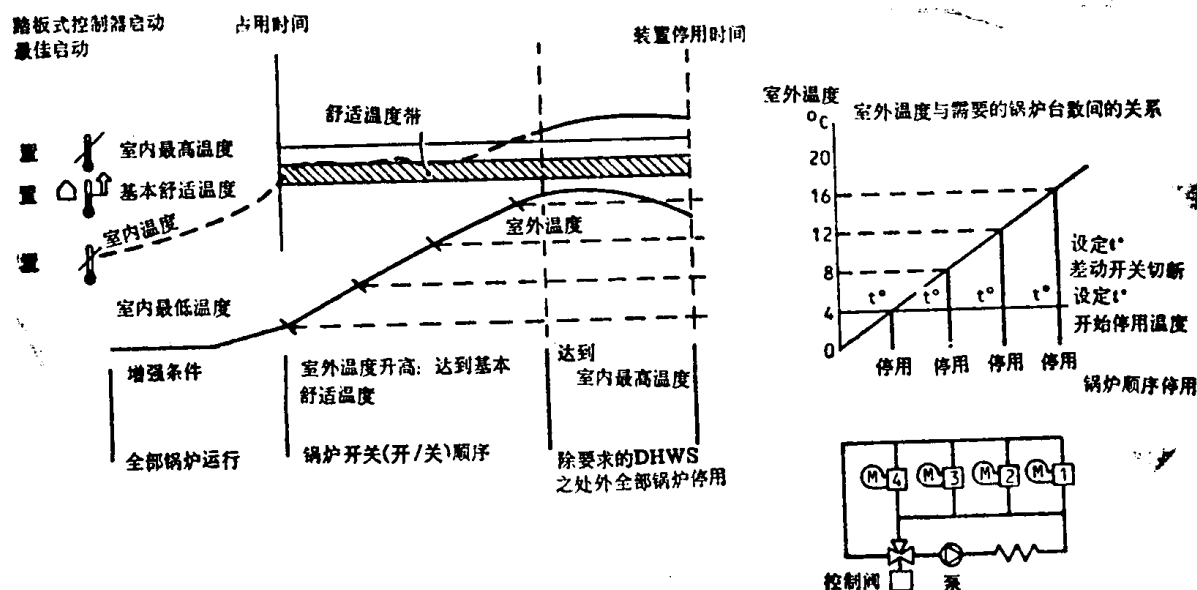


图1-6 没有电子控制的锅炉程序装置的典型运行 (由 JEL 公司提供)

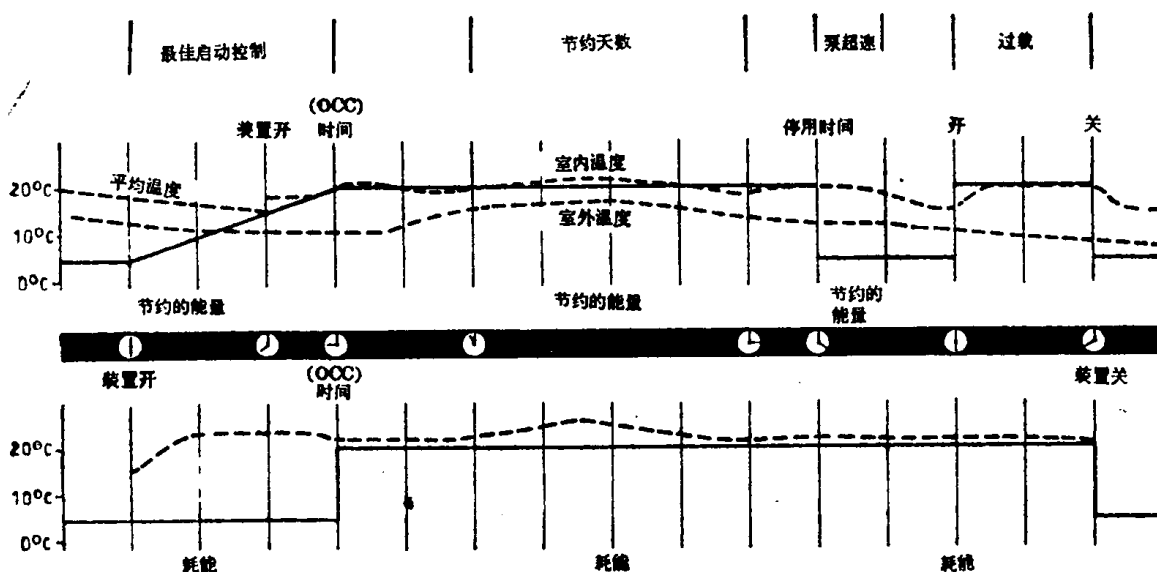


图1-7 具有电子控制的锅炉程序装置的运行 (由 JEL 公司提供)

许多装置具有太阳能效果的补偿。在直射阳光下，加热系统就停用，在某些情况下，甚至能变换到制冷状态，这时以空冷回路代替加热回路。这种类型的系统最好用综合性的热泵系统来工作。

(十) 采用有判断能力的微处理机电路

如已指出，加热运行的正确启动是在工作人员到达前，通过把开关拨到加热位置，在预定的时间内略微加速供热，以达到需要的温度。如果达到所需温度过早或过迟，微处理机就将此情况存贮起来，且在以后的日子里调整启动时间与增大运行的加速度。

同样，计算机在预定时间内使锅炉与水泵停止工作，为的是当工作人员按规定回家时室内温度不致低于设定温度。如果计算机使锅炉与水泵停止工作的时间过早或过迟，次日也会

进行调整,以便今后切断电源恰好发生在正确的时间。电子系统就是这样自动地修正自己的差错,直到正确为止。

(十一) 安全系统

控制系统通常与安全系统结合在一起。安全系统能于瞬间在建筑物的任何地方检测出火苗,并具备立即动作的能力。

(十二) 其它功能

通过计算机系统能执行许多附加功能。例如,按照时间开关程序接通其它系统与装置,这时经常是采用通过返回网络的普通开关来实现的。

市场上的各种系统,在控制台指示的数据、能执行的功能和控制系统方面都彼此不同。某些最新系统能利用电话网络使若干家工厂集中进行控制。

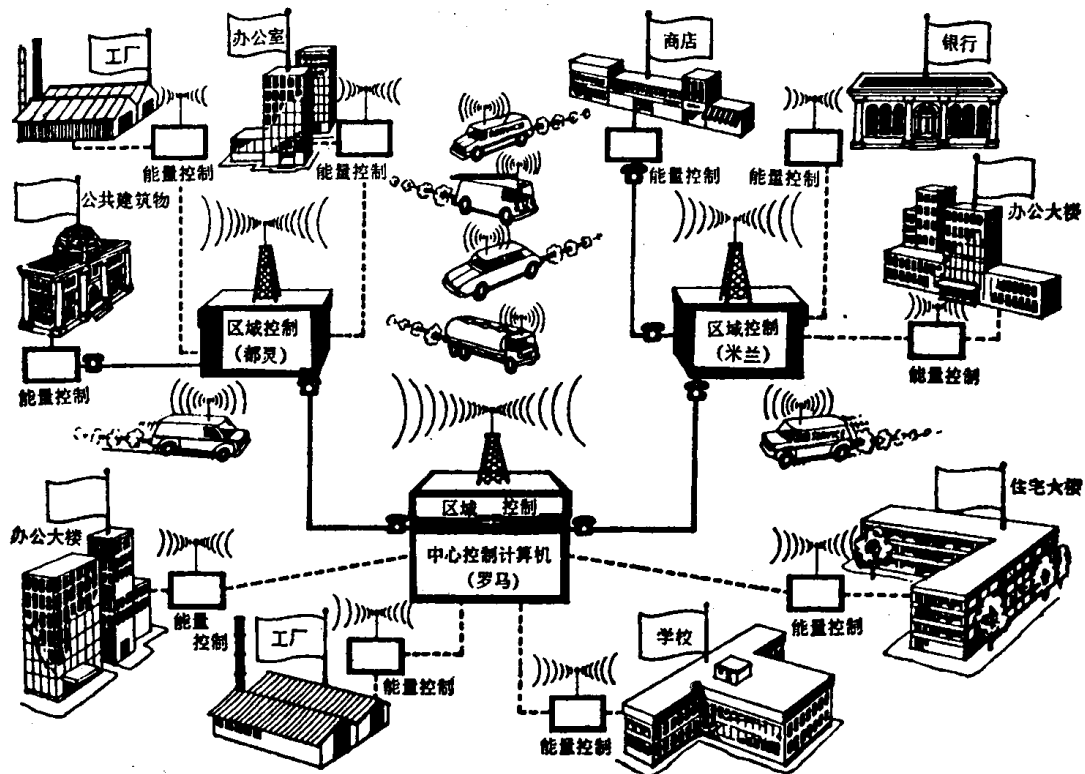


图1-8 意大利的集中能源控制(由 JEL 公司提供)

本章扼要地介绍了几家电子控制系统制造厂提供给我的信息,这些电子控制系统只是在细节上彼此有所不同。当然,在这个领域里还有其它许多制造厂,不过对下面各家工厂我应致谢:

英国霍尼韦尔(Honewell)有限公司

英国霍斯特曼(Horstmann)工程产品有限公司

英国 JEL 节能有限公司

英国兰迪斯(Landis)和盖尔(Gyr)有限公司

英国迈森(Myson)产品有限公司