

序 言

本书是一本关于降低现有设备和新设备的能耗和能源费用的综合性通俗读物。

整个来说，人们在降低工业能耗方面已经作了相当多的工作。这一方面是因为它有很大的经济意义，另一方面则是由于燃料涨价的结果，也大大促进了节能工作。从本书第一版出版以来，在这方面已经发生了许多变化。

大多数公司的“能源管理人员”业已变成一种新的职务。在七十年代设置兼职的能源管理人员的公司，现在发现有必要设置专职节能部门。而那些把节能看成是本来不需要投资的公司，现在则发现有必要在经济上对设备的现代化计划进行分析。

八十年代为能源管理人员展现了许多新的前景，希望本书作为一种工具能帮助他们制定能源管理的计划。

P.E.阿尔伯特·图曼

本书采用的单位及其符号对照表

名 称	符 号	备 注	名 称	符 号	备 注
英 寸	in	1in = 2.54cm	烛 光	cp	光亮度单位
英 尺	ft	1ft = 0.3048m	马 力	hp	1hp = 735.499W
英 里	mile	1mile = 1.6093km	千 伏 安	kVA	1kVA = 1kW (用于视在功率)
磅	lb	1lb = 4.44828N	千 乏	kvar	1kvar = 1kW (用于无功功率)
磅/英寸 ²	psi(lb/in ²)	1psi = 6894.76Pa	美 元	\$	
磅/英寸 ² 绝对	psia		英 分	¢	
磅/英寸 ² 表压	psig		小 时	h	
加 仑	gal	1gal = 3.7853l	分 钟	min	
英热单位	Btu	1Btu = 1055.06J	秒	s	
	Therm	1Therm = 10 ⁸ Btu	天	d	
(美) 桶	U.S. barrel	1barrel = 158.99l	月	mon	
度(华氏温标)	°F	$^{\circ}\text{F} = \frac{9}{5}(^{\circ}\text{C} + 32)$	年	a	
度(朗肯温标)	°R	$^{\circ}\text{R} = \frac{9}{5}(^{\circ}\text{C} + 491.67)$	转/分(转速)	r/min	
大 气 压	atm	1atm = 101325Pa	毫米汞柱	mmHg	1mmHg = 133.322Pa
标准立方英尺	scf	1scf = 28.317l	英寸汞柱	inHg	1inHg = 3386.39Pa
流 明	lm	光通量单位	英尺水柱	ftH ₂ O	1ftH ₂ O = 2987.04Pa
			英寸水柱	inH ₂ O	1inH ₂ O = 248.92Pa

目 录

序言

1	能源管理人员的作用·····	1
2	能源的经济决策·····	21
3	设备调查·····	65
4	电气系统最佳化·····	77
5	公用事业设备和工艺系统的最佳化 ·····	109
6	传热 ·····	154
7	减少建筑物的能量损失 ·····	176
8	采暖通风和空调系统最佳化 ·····	240
9	利用太阳能集热器 ·····	278
10	为提高工厂效率和节能而制定维修计划 ·····	317
11	有效节能计划的管理 ·····	331
12	实例分析 ·····	341
	参考文献 ·····	366

1 能源管理人员的作用

本书1977年第1版时，“能源管理人员的作用”尚未被认识到。在七十年代，大多数公司主要致力于寻找“低成本和不要成本”的节能机会，别无他求。一俟所采取的措施付诸实现后，能源管理人员发现，阻碍进一步节能的乃是管理上的障碍而不是技术上的障碍。

八十年代的能源管理人员必须深入了解节能的技术和管理两个方面，才能取得成功。本书的新版将着重讨论这些方面。

在七十年代，“节能”一词通常意味着在冬天把恒温器往回调，或者关掉电灯。而在八十年代，“能量利用”一词则已用来代替这一窄狭的概念了。这就是说，能源管理人员可以实行节能，但不得以牺牲良好的工况为代价。

工厂工程师们在七十年代是以查找“菜谱的方法”来解决他们的所有能源问题的。但很快就变得十分明显，各地区的各种工业设施都有各自的特点，需要更富有创造性的方法来解决这类问题。

本书的目的不是使你成为这个问题各个方面的专家，而是想说明这个问题的所有方面是怎样联系在一起的。每一章都说明了一些包括工业能量利用规划的不同方面。能源管理人员好似一个系统工程师。只有综观全貌，问题的解决才变得明显。当然应该指出，能源管理人员如果需要并利用有关专家的专门知识时，则必须向他们请教。

1.1 调查工业界正在干什么

1980年“幸福杂志”1000份调查表对318家制造厂进行的调查结果^[1]为:

——被调查厂家的52.1%有正式制订的用能计划;而在OPEC(石油输出国组织)禁运石油的1973年以前,则只有5.7%的厂家制订有用能计划。

——在大多数公司里,主管用能的负责人都在公司行政机构内居于很高的位置。21.7%的公司由一位副董事长负责能源管理,20.4%的公司由一位经理负责,16.4%的公司由一位董事负责。

——只有8.5%的主管用能负责人把他们的全部活动致力于节能问题。

——在一个公司中分配给节能的预算及职员人数仍然不多。在35.2%的公司中直接从事节能活动的职员不到20%。只有三分之一的公司在节能活动方面的拨款超过100,000美元。53.5%的公司不清楚他们的拨款数,其部分原因是由于:

1. 节能活动一般都是兼管;
2. 节能活动难于测算;
3. 大多数公司的能量利用管理活动尚处于起步阶段。

——93%的公司在他们的计划中包括有调查当前能耗的导则,88.5%的公司作为计划的一部分包括有节能的明确建议,85%的公司的计划中包括有测量节能的方法。

——77%的公司设有节能委员会或决策小组。71.6%的公司有管理工厂用能的兼职人员。

从这一调查中可得如下的结论:

1. 用能规划对大多数公司来说,仍是一项比较新的工

作，而且仍在发展中；

2.分配作节能用的预算不多；

3.大多数节能规划是由“兼职”来完成的；

4.大多数公司的用能规划中一般都有调查、分析和经济状况几个方面的内容。

1.2 工业用能规划的结果

美国用能最多的十大工业部门，从1972年到1979年，把它们的能源利用效率提高了15.4%，其中五个部门，即化工、石油、食品及有关产品、运输设备和机器制造业（电器部分除外），在1979年末已经超过了它们1980年的能源利用效率指标。

预计其中两个工业部门，即冶金和金属加工工业，在1980年底可达到它们的指标，石料、陶土、玻璃制品、纸及其有关制品和纺织业则可能接近于它们1980年的指标。

十大工业部门从1972年以来对能量需求的减少总量相当于每天一百万桶石油还多。

1.3 用能的组织

一个多部门的公司一般都以公司和工厂为基地进行能源利用活动。以工厂为基地时，能源利用活动的组织工作多落在工厂经理的身上。

能源利用规划不只是一是要制订出来，还需要有人贯彻执行。生产、能源费用和原材料供应是工厂经理的主要业务，所以他们也正是负责制订能源利用规划的人。

为了拟定一个连续的发展规划，能源管理人员需要为他们的工厂制订出“工业审计规划”。七十年代后期在大多数

能源利用规划中引用了“工业审计”一词，但此词尚缺乏明确的定义。

1.4 什么是工业用能审计

能量审计最简单的定义是：能量审计的目的在于分清楚建筑物或工厂设施的哪些地方在用能以及分清楚有无节能的机会。

审计的费用（收集和分析数据的总费用）与可找到的节能的机会数存在着直接的关系。所以首先要对审计费用作出决定，以便确定要进行审计的类型。

其次要对设施的类型作出决定，例如建筑物的用能审计着重于建筑物的围护、照明、取暖和通风的需要，而工厂的用能审计，则着重于工艺的需要。

大多数用能审计分为三类，即初步审计、最小审计和最大审计。

初步审计 这类审计是费用最低的。它对设备进行目检，便能确定维修和运行的节能机会，再加上收集的情报，则可确定出有否做更详细分析的必要。

最小审计 这类审计需要测试，以便能定量地说明能量的利用和损失以及确定改造前后的经济状况。

最大审计 这类审计比最小审计进了一步。它包括评价每种功能（例如照明或工艺）的能量消耗。这需要进行模型分析（例如计算机模拟），在考虑到气象资料这类可变因素的情况下，以便能预测出全年用能的类型和数量。

最小审计和初步审计的主要区别在于最小审计需要用数量表示出能源的使用和能源的损失，并确定改变后的经济性。

最大审计和最小审计之间的主要区别则在于最大审计需要为能量利用建立一个会计制度，并需要计算机模拟。

1.5 用能规划

能源利用规划通常包括下列步骤：

1. 确定能源的使用和损失，参看表1-1。

表 1-1 确定能源利用和损失的项目表

调查能源利用和损失

A. 首先调查通过维修或运行可以避免的能源浪费，例如：

1. 漏汽或别的公用设施的泄漏
2. 炉子燃烧器没有调好
3. 保温需要修理或增加
4. 不必要的设备运转

B. 调查并确定何处需要测量能流的仪表，以及这些仪表的安装费用是否合理。

C. 根据每道工序拟定出能量平衡，以便详细决定：

1. 作为原材料及公用能源的能源投入量
2. 用于废料处理的能耗
3. 副产品的能耗
4. 主产品的净能耗
5. 浪费的能源

附注：对所有原材料、燃料和公用能源(例如电力、蒸汽等等)都要提出能量的等效值，以便所有的能源都可采用共同的单位 Btu(英热单位)来表示。

D. 深入分析各道工序的能量平衡：

1. 废热可否用来生产蒸汽或加热水或加热原材料而得到回收？
2. 可否通过某种途径取消或改进某道工序以减少能源使用量？
3. 可否用含能值低的代用原材料？
4. 有办法提高产量吗？
5. 是否有理由：

- a. 采用节能的新设备以代替旧设备？
-

b. 采用节能的全新的和不同的工艺以代替过时的效率低的工艺?

E. 定期地进行周末和夜间调查。

F. 对专门系统和设备进行有计划的投资, 例如:

1. 蒸汽系统
2. 空气压缩系统
3. 电动机
4. 天然气管道
5. 采暖和空调系统

资料来源: 美国国家标准局手册115(NBS Handbook115)

2. 确定节能活动, 参看表1-2。

表 1-2 节能活动一览表

节能活动的实行

A. 通过必要的维修或操作, 纠正初步调查中发现的能源浪费情况;

B. 从能量的平衡分析、调查等方面列出有关节能的全部项目, 评价并选定实施项目;

1. 算出每个项目的年节能量
2. 预计今后的能源价格, 并算出每年节省的美元
3. 估计项目投资或经营费用
4. 根据采取的办法(例如投资偿还法)算出项目的投资收益
5. 根据投资收益决定项目的实施优先权
6. 选定要实施的节能项目, 并申请资金审批
7. 实施审批的节能项目

C. 审查所有投资项目(例如新厂、扩建厂、建筑物等等), 以保证在设计中考虑能源的有效利用。

附注: 包括新设备和工厂决策中能源可利用性的考虑。

资料来源: 美国国家标准局手册115。

3. 经常监督节能工作: 参见表1-3。

表 1-3

经常性节能工作一览表

经常性节能工作**A. 测量结果**

1. 各部门每单位产品的能耗表
2. 全厂每单位产品的能耗表
3. 在考虑复杂变量(例如室外四周的空气温度、生产率水平、产品混合等等)的情况下, 监督和分析单位产品的能耗(Btu)表。
 - a. 将单位产品能耗与过去的和理论的进行比较
 - b. 观察节能活动和项目实施对降低单位产品能耗的影响
 - c. 调查、找出单位产品能耗增加的原因, 如果可行的话并消除之

B. 节能委员会的经常活动

1. 举行定期会议
2. 每个委员都是委员会和所代表的部门监控员之间的联系人
3. 定期地检查修改节能项目表
4. 安排和参加节能调查
5. 交流节能技术
6. 规划并实施经常性的行动和交流计划, 以维持节能收益
7. 与社会团体发展合作关系, 以提高节能水平

C. 关于节能工作人员

1. 为节能委员会服务
2. 节能培训
3. 节能手册
4. 提出奖励计划
5. 鉴定节能成果
6. 讨论照明、保温、阻汽疏水阀及其他项目的技术问题
7. “节能”标语、宣传画、张贴物
8. 利用工厂新闻、通报作宣传
9. 利用公开新闻工具宣传
10. 指导家庭节能
11. 与地方机构会谈

D. 评价规划

1. 检查节能进展
2. 评价原定节能目标
3. 考虑规划的修改
4. 必要时修订节能目标

资料来源：美国国家标准局手册115。

1.5.1 确定能源利用和损失

实施用能规划的最重要方面也许是增强个人对用能的责任心。可惜许多能源管理人员发现，由于增加责任心而取得的节能效果是难于估计的。

表1-1中B表明，作为初步调查的一部分，应当决定谁负责哪一方面和哪道工序，并确定出哪些地方安装测量仪表所产生的影响最大。

1.5.2 节能活动的实施

只要知道能量利用的情况，就可找出可能的节能项目。根据规定的年节能量以及所需的投资多少，就可推荐出比较好的节能项目。

1.5.3 经常监督节能工作

能源利用要以单位产品能耗为基准来表示，这种表示能很快地看出能耗的变化。

本章剩下的部分将阐明节能术语及其应用。

1.6 能源会计制度 (Energy accounting)

能量审计程序的一个重要部分是要知道哪里是重点以及哪里将是重点。这个程序一开始就有必要建立一个能源会计制度。图1-1~图1-3表示一些典型工厂的用能情况。计算能源总的消费量、费用以及每个商品消费能源（如汽、水、空气和天然气）的情况是重要的。这种方法对于提出适当的节能策略也是有用的。

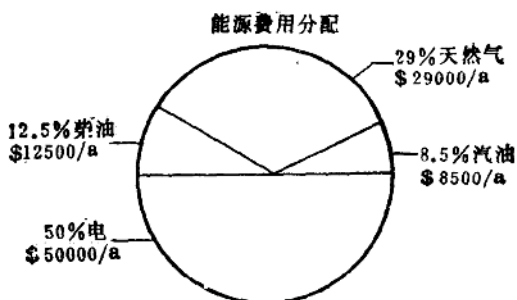
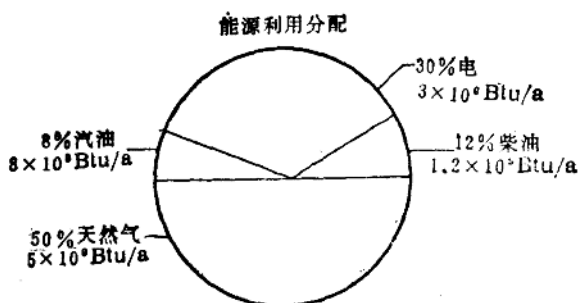


图 1-1 能源利用及费用分配

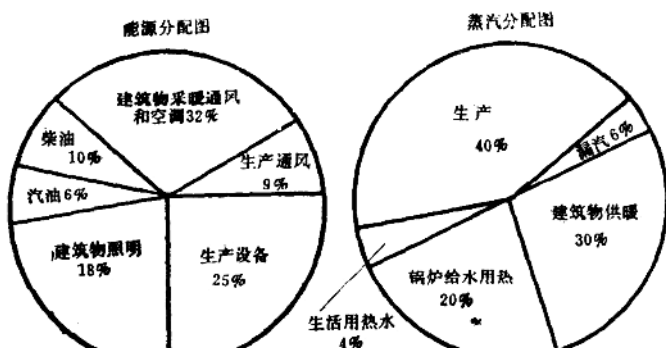


图 1-2 按功能分配的用能情况

图1-1的上面部分表示作为燃料用去的能源及其百分数，下面部分表示每种燃料耗用的金额。用一个圆形图或组合流程图来表示，令人对能源的使用情况一目了然。

图1-2则表示每种功能（如照明、工艺过程、建筑物取暖和通风）的用能情况。类似于此图右侧的圆形图应针对每种能源（如空气、蒸汽、电、水和天然气等）的利用情况分别列出。

图1-3是蒸汽分配的另一种表示方法。

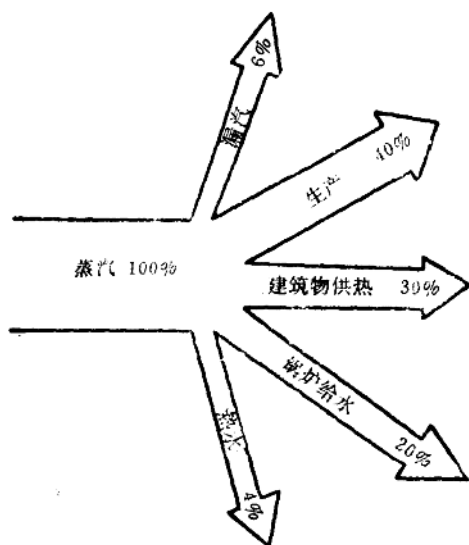


图 1-3 蒸汽分配的组成图

管理能源和节约能源的另一个重要方面是测定并计算能耗。金刚砂厂提出了一个在工业部门中非常杰出的用能会计制度和分析系统，这是一个简单而有效的分析管理决策工具。美国商业部能源规划局要求金刚砂厂与他们合作把这个

系统推广成为全国性的，并希望用于自愿的工业节能规划中。多数美国公司正在用或正在考虑用这个系统。这种系统可随时提供给用户。

大多数的能源会计制度都由工程师们制定，并由他们来实施。在制定能源会计制度中，工程师们的主要兴趣在于显示出单位产品的能耗。其比值叫做“能源效率”。很明显，能源效率的变化就是能源的节约或浪费。工程师的全部注意力都集中到减少单位产品的能耗上。

但单是能源效率不可能回答企业经理和（或）政府当局提出的下列问题：

如果我们在节约能源，为什么我们的总能耗却在不断增加？

如果我们在浪费能源，为什么我们的总能耗却在不断减少？

如果我们使能源效率不变，为什么我们的能耗却在不断变化？

为此还需要分析对能源利用有影响的一些因素，例如天气、混合产品和污染控制。

1.6.1 天气的影响

天气变化（冬冷夏热）对能耗的影响表示为所讨论的时间间隔中的度数—天数变化乘以作为分析基准的时间间隔内的加热效率或冷却效率。在金刚砂厂系统中，这个影响变成今年同期及去年同期的度一天之差乘去年同期每一度一天用的能源。天气在经济上的影响是上面计算的影响乘以去年同期每单位能源的价格。换句话说，天气变化对能源利用或能源价格的影响是这一时间间隔的天气与上一时间间隔的天气之差乘以上一时间间隔或基准时间间隔内的加热或冷却效

率。这一结果忽略了能效的改善（下面称为节能效应）和通货膨胀（下面称为价格效应），而是把天气影响孤立起来。

1.6.2 批量产品与混合产品的影响

批量产品及混合产品变化的影响通常表现为多用或少用能量，与以前相反，这只是由于生产了较多（或较少）产品或成比例地生产了一些能耗大的产品所引起的结果。

1.6.3 污染控制的影响

目前时期与其他任一时期为控制污染能量增减之影响，就是这两个时期所用能量的差值。经济上的影响，是上面算出的影响乘以上一个时期每单位能源的价格。同前述一样，这样算出的结果也忽略了节能和价格影响，而是把控制污染的影响孤立起来。

1.6.4 “其他”的影响

其他用能的影响（诸如新生产线的试验、起动、基本负荷，等等），简单地说，就是这两个要进行比较的时期所用能量的差值。在经济上的影响即上面算出的影响乘以上一个时期每单位能源的价格。这样的结果同样忽略了节能和价格影响，而是把这些“其他”用能的影响孤立起来。

表1-4表示金刚砂厂能源会计制度所用的数据输入格式。

1.7 能源管理人员的术语

为了交流节能情况和分析节能文献，懂得这方面的术语，是很重要的。

每种燃料都有它的热值，热值用英热单位Btu来表示。Btu是使1磅水的温度升高1°F所需的热量。表1-5表示不同燃料的热值。为了比较不同燃料的效率，最好把所用燃料换算成英热单位。表1-6表示节能计算中所用的换算系数。

如要比较燃料成本，则通常用每10000Btu多少美分来

表 1-4

金刚砂厂用能的会计制度和分析

制度数据输入格式

能源管理和节约规划		工厂				
		科				
		组				
工厂输入数据		日期:				
		所考虑的时间间隔:				
说 明	电 (kW·h) (000)*	气 (ft³)	油 (gal) (000)*	煤(lbs) (000)*	丙 烷 (gal) (000)*	其 他 (000)*
总的燃料消耗量						
数 量						
费 用(美元)						
**换算系数						
生产: 产品1						
产品单位						
产 量(000)						
燃料消耗量						
产品2						
产品单位						
产 量(000)						
燃料消耗量						
产品3						
产品单位						
产 量(000)						
燃料消耗量						

续表

说 明	电 (kW·h) (000)*	气 (ft ³)	油 (gal) (000)*	煤(lbs) (000)*	丙 烷 (gal) (000)*	其 他 (000)*
产品4						
产品单位						
产 量(000)						
燃料消耗量						
产品5						
产品单位						
产 量(000)						
燃料消耗量						
加 热						
度一天						
燃料消耗量						
制 冷						
度一天						
燃料消耗量						
污 染 控 制						
燃料消耗量						
其 他						
燃料消耗量						
代用燃料						

* 所有燃料都用“千”表示，准确到小数点两位。