

70
JIENENG YU
KONGZHI



节能
与
控制

[美] F. G. 欣斯基 著



机械工业出版社

节 能 与 控 制

〔美〕 F. G. 欣斯基 著

谢雪峰 暴雪琴 译

朱 捷 校



机 械 工 业 出 版 社

内 容 提 要

本书是以节能为目的，阐述过程控制的专著。全书共分四篇。第一篇为引论，提出了全书的基本观点和“第二、三篇是全书的重点，通过对燃烧、蒸汽动制冷、蒸发、干燥、蒸馏等过程的详细分析，引出数学模型，并提出节能的控制系统和方法；第四篇物的能量利用，尤其是太阳能的利用。

本书特点是工艺和控制紧密结合，并运用热力学第二定律来分析各种过程，对现有设备提出了节能的控制系统和方法，因而相当实用。

本书可供石油、化工、电站、机械、轻纺、食品等专业从事自动控制的技术人员和大专院校师生阅读，也可供从事这些专业的设计和运行的工艺人员参考。

ENERGY CONSERVATION THROUGH CONTROL

F. G. SHINSKEY

ACADEMIC PRESS (LONDON) 1978

* * *

节能与控制

〔美〕 F. G. 欣斯基 著

谢雪峰 暴雪琴 译

朱 捷 校

责任编辑：严蕊琪

封面设计：田淑文

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）

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 787×1092 1/32·印张 117/8·字数 258 千字
1987年9月北京第一版·1987年9月北京第一次印刷
印数 3,001—4,300·定价：3.05 元

统一书号：15033·6913

译者的话

F. G. 欣斯基现任美国福克斯波罗公司系统开发顾问，是位著名的既通工艺，又精于控制的过程控制专家。在过程控制的许多领域内曾先后发表过许多著作，如《过程控制系统》、《工艺过程和废液中 pH 和 pIon 控制》、《蒸馏控制》等。另外，还经常在《仪表与控制系统》、《控制工程》、《加拿大控制仪器》、《化工进展》等刊物上发表关于过程控制方面的论文。

《节能与控制》是一本介绍通过控制来节省能量的专著。作者运用热力学第二定律，通过对工艺机理的分析，指出传统的控制方法浪费能量，他以工艺过程的数学模型为基础，提出节能的控制系统和方法，同时也考虑到现有设备的特性和限制。

本书的特点是工艺和控制紧密结合。要想通过过程控制来达到节能的目的，就必须结合工艺。只有透彻了解工艺，又精于控制的人，才能设计出节能的控制系统来。有效的控制系统，总是具体地体现过程的特征的。但了解工艺并不容易，尤其是用严格的数学形式来表达控制系统的要素更不容易。因此，本书既不是介绍工艺过程本身，也不是介绍过程控制理论，而是以这两门学科为基础，将工艺过程与过程控制紧密结合的著作。

本书的另一特点是以热力学第二定律为指导。应用热力学第二定律，就能评定能量的可用性，确定过程消耗能量的

效率，并引出提高效率的途径和建议。如滑压运行、浮压运行、蒸气压缩系统、阀位控制器等新的控制系统和方法。就以“滑压运行”来说，目前在中心电站的设计中被广泛应用。根据热力学第二定律，为了尽量减小可用功的损失，必须尽量减小节流损失。因此，在低负荷条件下，不应关闭汽轮机节汽阀，而应降低锅炉的压力，使之随负荷而变化。为此，控制系统应设计得容许多数阀门都接近全开时进行运行，而只容许少数阀门留作调节。这样就可使蒸汽动力装置中节约大量能量，而没有通常因采用“定压运行”的控制方法而引起的能量浪费。这种滑压运行还可用于其他过程控制，如蒸馏控制等。

总之，本书不同于其他同类书籍，其要旨是通过严密的控制来实现节能，提高设备的经济效益。本书对于国内从事过程操作的工艺人员和控制人员都具有相当的实用价值。

原书所用单位均为英制，为了便于读者阅读查考，在本书末附有非法定计量单位换算表。

本书在翻译过程中，曾得到有关同志的指点和帮助，在此一并表示感谢。由于我们水平有限，难免会有缺点和错误，请读者批评指正。

译 者

序

历来，控制技术主要着眼于尽量减小被控参数与给定点之间的偏差。为了这个目标，许多工程师和科学家耗费了他们大半生的精力，但这只是使设备成功地运行所遇到的问题之一。从实际工作的控制工程师对于设备的影响，远远超过了他表面上许可的职责范围。实际上，一个精通业务的控制工程师，能够从有限的设备“挤”出较高的产量，而且在降低运行成本方面作出的贡献是很大的。

如果控制技术有局限性，那么控制工程师怎样才能对设备的运行作出更大的贡献呢？答案在于为有效地控制重要设备的参数而必须采取的手段。如果应用控制装置时，对于设备的功能或要求了解得很少，则控制装置必然不灵，操作人员就不愿使用。最有效的控制系统，总是具体体现受控过程的特征的，包括它的缺点、局限性、相互影响和要求。设备和控制装置如彼此配合得当，工作时就犹如一个整体。管理人员与操作人员都会感到满意。但这不容易做到。因为要设计出与设备相配合的控制系统，要求控制工程师对于设备的了解，不亚于对设备的设计者、操作人员和管理人员。

因此，控制工程师对设备的了解，超过其他有关人员，也就毫不足怪了。由于控制工程师处在这样的地位，设备管理人员就常常请他对如何提高生产率或降低成本，甚至对改进工艺设备或改变操作程序提出意见。这样，由于控制工程师通过了解受控过程，他的实际工作范围扩大了，也就是超

出了“控制技术”的公认范围。

作者在本书里扩大了范围，把有些通常不属于过程控制领域的课题也包括了进去。本书通篇都使用“系统”这个概念，它所涉及的范围正在不断扩大。例如，发电厂主蒸汽压力的控制，就不能仅限于控制汽轮机的节汽阀或喷燃器的燃料。眼下急迫的能源短缺，在相当程度上正是由于抱着这种狭隘观点所造成的。现在，汽轮机的各种特性，应从热力学的观点去考虑，蒸汽的很大一部分可用功，让节汽阀损耗掉了。锅炉效率也必须与废物燃料的利用、储备能的利用一起进行研究。对汽轮机输出轴功的要求与热能利用率之间的平衡，也必须予以考虑，以使燃烧释放出来的能量得到最充分的利用。以这样的观点处理问题，首先可以提出节能的控制系统，最终还会对设备的设计，甚至对买卖双方的契约关系产生影响。

在本书的最前面讨论了包括能量转换在内的各个过程。但是，如果不先介绍经常被人忽视、不大为人理解的“热力学第二定律”，就难以对这些过程研究透彻。要不是根据第二定律对功和能的关系进行重新评价，作者就不太可能在“通过控制来节能”方面作出这样的贡献。通过把不可逆性与可用功的损失同等看待，第二定律便揭示出：一些习惯做法实质上是浪费能量的。读者从第一章中不难认识到这些习惯做法，从而引起警觉，避免它们继续下去，并消除或尽量减少它们。作者对搞好燃烧控制，尤其是在蒸汽动力装置管理方面提出的一些建议，正是运用了上述原理的自然结果。因此，有些已经沿用已久的传统控制方法，例如定压运行以及对过热蒸汽的冲水降温等，就必须改用一些新的控制方法，这些控制方法在保护设备和维持产量方面同样有效，而且没

有通常因控制而引起的浪费。接着的章节讨论了压缩机和制冷设备，如果将上述概念应用于这类旋转机械的控制方面，收益就更加显著了。

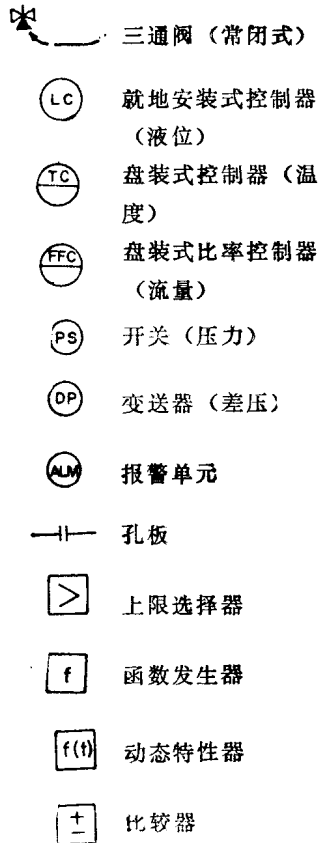
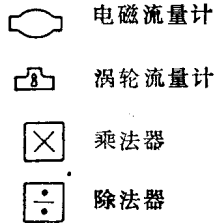
本书用很大篇幅来研究传质运行，因为在加工厂、精炼厂所消耗的能量中，如果不是大部分，也有不少是用于分离和提纯的。在这里，再次运用了热力学第二定律，因为原料和提炼出的产品两者所含能量往往是相等的。这些产品的主要价值就在于它们的纯度，而要提纯就得作功。这样，提纯或分离就有一个功当量，产品质量管理就可以直接转换为能量加以利用。

本书最后一部分讨论的是建筑物的能量利用问题。美国的能源，有相当大一部分是消耗在供暖、通风、空调和家用热水供应方面。现代办公楼中这些系统的设计和布局非常糟糕，这无需建筑学或土木工程学方面的行家就能看出。供暖与制冷、照明与遮光，一般都是在同一空间内同时进行的，其结果不仅是浪费，而且对于居住者也不舒服。对建筑设计极需要彻底地进行重新评价，必须更广泛地使用大气制冷和自然照明，做到既舒适，又尽量减少对燃料的依赖。在满足建筑物能量需要方面，太阳能可发挥主要作用。太阳能技术尽管处在起步阶段，但随着适用的元器件已经开始生产，其应用正在迅速发展。现今任何一本关于能源方面的书籍，如果不涉及这种无污染、用之不竭的能源，就不能认为是完整的。

符 号 表

<i>A</i>	空气流量; 面积	<i>a</i>	阀门开度; 常数
<i>B</i>	底部产品流量	<i>b</i>	常数, 偏差
<i>C</i>	比热; 流量系数; 修正系数	<i>c</i>	成本; 常数
<i>D</i>	馏出物流量	<i>d</i>	微分
<i>E</i>	效率	<i>e</i>	偏差; 2.718
<i>F</i>	流量; 进料流量	<i>f</i>	函数; 常数; 反馈
<i>G</i>	气体比重; 增益; 气体质量 流量	<i>g</i>	常数; 重力加速度
<i>H</i>	焓	<i>h</i>	压头; 差压
<i>I</i>	积分时间	<i>k</i>	常数
<i>K</i>	常数	<i>m</i>	操作量; 阀位
<i>L</i>	长度; 回流流量	<i>n</i>	数
<i>M</i>	质量流量; 克分子流量	<i>P</i>	压力
<i>N</i>	转速	<i>q</i>	负荷
<i>P</i>	比例带	<i>r</i>	幅度变化范围; 比
<i>Q</i>	热量; 热流量	<i>s</i>	分离系数
<i>R</i>	气体常数; 流率系数	<i>t</i>	时间
<i>S</i>	熵	<i>v</i>	速度
<i>T</i>	温度	<i>v</i>	容积; 比容; 渣
<i>U</i>	传热系数	<i>w</i>	分子量; 重量分数
<i>V</i>	容积; 容积流量; 蒸气	<i>x</i>	克分子分数
<i>W</i>	功; 功率	<i>y</i>	克分子分数
<i>X</i>	相对流量	<i>z</i>	克分子分数
<i>Z</i>	超压缩系数		
ϕ	成本	α	相对挥发度; 常数

β 塔特性系数
 γ 沃贝值; 比热比
 Δ 增量
 ∂ 偏微分
 η 效率
 θ 角度
 μ 焦耳-汤姆逊系数
 π 3.1416
 ρ 密度
 Σ 和
 τ 时间常数
 ϕ 比热比函数
 χ 变动



Ⅱ



比率器



下限



开方器



求和器 (加和减)



下限选择器



上限



积分器



延时继电器

目 录

译者的话	
序	
符号表	

第一篇 引 论

第一章 热力学和能量守恒	1
一、可用功的守恒	2
二、混合的不可逆性	10
三、传热的不可逆性	17
四、节流的不可逆性	27
参考文献	40

第二篇 能量转换过程

第二章 燃烧控制系统	41
一、燃料流量控制	41
二、空气流量控制	56
三、空气污染控制	67
参考文献	76
第三章 蒸汽动力装置的管理	77
一、汽轮机控制	78
二、蒸汽联箱控制	91
三、锅炉控制	104
四、多台锅炉装置	115
参考文献	125

第四章 压缩机控制系统	126
一、压缩过程热力学	126
二、压缩机特性	132
三、压力和流量控制	146
四、喘振保护	153
五、多台压缩机站	163
参考文献	171
第五章 制冷	172
一、机械制冷	172
二、深冷	186
三、蒸汽制冷	194
四、盐水和冷冻水系统	205
参考文献	214

第三篇 传质 运行

第六章 蒸发	215
一、蒸发系统	215
二、产品质量控制	228
三、水蒸气管理	239
参考文献	247
第七章 固体干燥	248
一、绝热干燥	248
二、连续式绝热干燥器	260
三、能量最佳利用	275
四、非绝热干燥器	286
参考文献	294
第八章 蒸馏	295
一、目标和原理	295
二、产品质量控制	305

三、节能技术	314
四、能量回收技术	325
参考文献	333

第四篇 建筑物中的能量系统

第九章 供暖、通风和空调	335
一、舒适环境确定	336
二、供暖、通风和空调系统	343
三、供暖、通风和空调管理	355
四、太阳能系统	362
参考文献	366
非法定计量单位换算表	367

第一篇 引 论

第一章 热力学和能量守恒

热力学第一定律告诉我们，在任何孤立系统中，能量是自然守恒的。物理学家焦耳当时能利用搅拌、电流、压缩气体的冷却以及铁块之间的摩擦定量地使绝热容器中的水加热，于是就建立了“凡是液压、气压、电气和机械系统所释放的能量都可以转变为热量”的理论。

能量既然决不会损失掉，那么它怎么会供应不足呢？回答是：能量不会供应不足，事实上，它十分丰富，不过，几乎没有多少是处于可用的形式。假设地球是一个孤立系统（实际并不，因为地球吸收来自太阳的辐射，最终又使它再辐射到空间中），在任意给定时间，储藏在地球上的全部矿物燃料都是一种高势能渣油，它可以通过燃烧来释放能量。要是这些矿物燃料全部立刻烧掉，地球（孤立）的净含能量就不会变化，环境温度就会升高，其升高的程度应准确地相当于这些矿物燃料所放出的能量。我们就会把所有储藏的高能级能量全都消耗在仅仅使环境温度升高。如果不降低任何实际的能量消耗，我们就会依然处于“能源危机”中。

与环境相同能级的能量是不能用来作功的。在寒冷的冬

天，温度为 $90^{\circ}\text{F}\ominus$ 的空气就会受到欢迎，原因是我们能用它来供暖屋子。但在炎热的夏天，这同一温度的空气就因与环境处于平衡而无用。这样，任一具体形式能量的价值取决于其相对于周围环境的能级（温度级）； 40°F 的冷冻水可用于制冷，而 120°F 的热水则可用于清洗；若将两者混合在一起，则其混合液的价值就很小。

由此，我们努力对“能量守恒”这一术语作进一步的评价是值得的。我们曾致力于“燃料节约”，至今这一术语对我们大多数要求是相符合的。然而，涉及燃料、电、蒸汽、太阳辐射等所有形式的能量均有一个共同特性，希望用它来定量地评定节能效果。这一共同特性就是热力学。应用热力学第二定律，就可以评定任一给定形式和位级能量的可用性。此外，还可以确定过程消耗能量的效率，并能导出提高效率的途径。

虽然，焦耳能使功定量地转变为热量，但逆向转变却相当困难。热力学第二定律表明在一循环过程中热量不可能全部转变为功（也就是说，有些余热仍然得不到转变），其原因是只有使热量或质量从较高能级向较低能级流动才能达到平衡。当引入了熵和可用性的概念时才能很好地评定这些关系。

一、可用功的守恒

有用的能量形式有两种：热和功。功是高级的形式，因为它能全部转变为热，而全部逆向转变是不可能的。流体中只有一部分热在整个循环中可转变为功，这决定于：（1）流

$$\ominus 1^{\circ}\text{F} = \frac{5}{9}^{\circ}\text{C}$$

体的初态和终态；（2）过程的热力效率。即使一较冷的流体相对于它的环境所含有的净能量，与一给定质量的很热的流体（例如蒸汽）相对于它的环境所含有的能量足以相同，但从这热流体中所能抽取的功还是要比从这较冷流体中能抽取的多。燃气能用来驱动轮机或给屋子供暖，而 120°F 的空气虽然能给房子供暖，但对于驱动轮机它的温度却是不够高的。因此，不应利用燃气来给屋子供暖，而应用于那些能使它的可用功得到充分利用的地方。相反，利用含可用功很小的流体，例如太阳加热的水或汽轮机的排汽就能给屋子供暖。

因此，对高温流体和产生高温燃烧产物的燃料仅以焓来表示其价值还不如以可用功来度量更为合理。用可用功就能将它们与可直接转变为功的电能或机械能作比较。

为了说明节约可用功的概念，假定有这样一个燃油发电厂，它将电发送到邻近的地区。假定这地区的住户也都用油来供暖，根据发电厂流体循环的性质，燃料中只有35%左右的能量转变为电，剩余部分则被排放到周围环境。同时，这些住户也在将一定的能量作为热损失排放到周围环境。要是利用这发电厂的废热来给这地区的住户供暖，就能节省与单独供暖所需的等量燃料。但如果这些住户用电来供暖，就会出现更坏的情况，因为这时发电厂需消耗的燃料几乎是为满足这些住户供暖要求所需的三倍。

单用燃料供暖会损失含功量，它在发电厂循环中只占燃料含能量的35%。但单用电供暖，则会损失含功量100%。用电来驱动电动机或供给电子设备较为有利。因此，根据可用功来考虑能源，就可以较有效地分配其利用方式，最终实现节能的目的。