

系统节能基础

中国金属学会

冶金继续工程教育丛书

科学出版社

76.18111

陆钟武 蔡九菊 编著

76.18711
281

冶金继续工程教育丛书

系统节能基础

陆钟武 蔡九菊 编著

三 503/19



(京)新登字 092 号

内 容 简 介

本书是“冶金继续工程教育丛书”之一,可作为热工热能及冶金能源方面工程技术人员继续教育的基本教材。

本书以“载体”和“系统”两个概念为基础,讲述了系统节能技术的理论和方法。全书共十二章,主要讲述节能方向和途径、系统节能的模型化方法、工艺流程的能耗评价、企业的能源数据、炼铁系统的节能、炼钢系统的节能、轧钢系统的节能以及系统节能应用实例等。

本书可供钢铁冶金、有色金属冶炼、金属压力加工等冶金类专业的工程技术人员参考,对于在石油、化工、建材、机械等工业部门从事节能工作的工程技术人员也有重要参考价值。

冶金继续工程教育丛书

系统节能基础

陆钟武 蔡九菊 编著

责任编辑 杨家福

科学出版社出版

北京东黄城根15号16层

邮政编码:100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经销

★

1993年8月第 一 版 开本:787×1092 1/32

1994年8月第一次印刷 印张:8

印数:1—4000 字数:178 000

ISBN 7-03-003498-8/TF·19

定价:8.90元

序

中国金属学会组织编写了“冶金继续工程教育丛书”，为大家办了一件好事。积极开展继续教育，对于提高冶金科技人员水平，促进冶金工业的发展具有重要意义。希望冶金战线各级领导重视这项工作，努力创造条件，为科技人员在职学习提供方便；同时也殷切希望广大冶金科技工作者坚持学习，不断吸收新知识，学习新技术，为实现四化、振兴中华做出更大贡献。

中国继续工程教育协会理事
冶金工业部副部长

徐大铨

一九八八年十二月

冶金工业出版社

前 言

如果说我国冶金工业广泛开展节能工作还只有十多年历史的话,那么系统节能的历史就更短了。系统节能这个术语几年前才在冶金界较为普遍地使用,大专院校开设相应课程的时间也很晚。东北工学院(东北大学)热能工程系1982年才开设了一门以系统节能为主要内容的选修课,当时课程的名称是“冶金工业的能源利用”。

热能工程专业或冶金炉专业的早期毕业生没有接触过这门课程。冶金类其他专业如钢铁冶金、有色金属冶炼、金属压力加工等,直到现在也没有开这门课;这些专业的毕业生在校时都没有接触过这门课程。所以,在冶金继续工程教育计划中,列入“系统节能基础”这门课,并编写这门课的教材,是非常必要的。本书就是作为这门课的教材,按照中国金属学会冶金继续工程教育的要求编写的。

从事热工热能和冶金能源工作的工程技术人员,理应较全面地掌握本书的内容,以便做好本职工作。其他各专业的工程技术人员,也可参考本书,熟悉系统节能的基本概念和基本知识,并在工作中加以运用。我们深信,这对于冶金工业的节能工作定能起到有力的促进作用。

系统节能技术基于两个主要概念:一是“载能体”,二是“系统”。本书的全部内容基本上围绕这两个概念展开的。为了分析研究生产中的能耗问题,所用的方法是各色各样的,可以是定性的,也可以是定量的。关于定量的方法,因受篇幅限制,本书只介绍了投入产出法和线性规划法两种。其实,可

供选择的数学方法较多,读者可视情况灵活选用,不要受本书的约束。

本书主要由陆钟武、蔡九菊二人执笔,其中部分章节取自以前出版的《冶金工业的能源利用》一书(冶金工业出版社,1986),但作了适当修改,还作了大量补充。这些修改和补充工作主要由蔡九菊完成。池桂兴、邵玉良、马宏毅也参加了部分章节的起草。第10章开始的几个应用实例都是作者及其合作者所发表过的论文。

我们感谢徐业鹏、孟庆生以及中国金属学会继续教育部的同志们,他们在本书成稿过程中审阅了初稿,提出了宝贵的修改意见,对本书质量的提高起了很好的作用。

这门课程虽已经历了整整10年,然而应该说它仍然处在初创阶段,课程的框架、内容的取舍等方面,都还有不少不尽人意之处。我们相信,在系统节能工作广泛开展的过程中,这门课程必将得到充实和提高。我们衷心希望广大读者关心这门课程的建设,提出批评和建议,集思广益,使这门课程更加完善。

目 录

序.....	i
前言.....	iii
1 绪论	1
1.1 我国能源形势和节能任务	1
1.2 我国钢铁工业的能源消耗和节能进程	5
1.3 系统节能的一般概念	8
1.4 系统节能技术的现状和展望	14
2 基本概念	16
2.1 产品能耗	16
2.2 载能体	19
2.3 产品能值的计算	23
2.4 系统和系统工程	28
3 节能的方向和途径	35
3.1 节能方向	35
3.2 节能的途径与措施	39
3.3 节能工作中的优化问题	43
4 系统节能的模型化方法	56
4.1 投入产出模型	57
4.2 线性规划模型	75
4.3 系统分析方法	108
5 工艺流程的能耗评价	119
5.1 评价的标准	119
5.2 例证	120
6 企业的能源数据	132

6.1	企业的能源平衡	133
6.2	企业的物料平衡	137
6.3	设备性能	141
7	炼铁系统的节能	143
7.1	炼铁系统简介	143
7.2	炼铁系统的节能方向	145
8	炼钢系统的节能	158
8.1	炼钢系统简介	158
8.2	三种炼钢方法的能耗比较	160
8.3	连铸与模铸的能耗比较	163
8.4	炼钢系统的节能方向	170
9	轧钢系统的节能	179
9.1	轧钢系统简介	179
9.2	热轧的节能	180
9.3	冷轧的节能	191
9.4	热轧与冷轧变形量的分配问题	193
10	我国钢铁工业吨钢综合能耗的剖析 (系统节能技术 应用实例之一)	195
10.1	概述	195
10.2	各工序能耗的变化及说明	198
10.3	各工序钢比系数的变化及说明	202
10.4	对 80 年代节能工作的总体看法	206
10.5	今后的节能方向	207
10.6	结论	209
11	炼铁系统用能优化模型的应用研究 (系统节能技术 应用实例之二)	210
11.1	炼铁系统用能优化模型概述	210
11.2	炼铁生产系统的数据统计及分析	214
11.3	模型的应用	224
12	钢铁企业产品结构的研究 (系统节能技术应用实例	

之三)	233
12.1 模型的建立	234
12.2 计算结果与分析	236
12.3 边际值分析	239
12.4 结论	242
参考文献	243

1.1 我国能源形势和节能任务

1.1.1 能源及其重要性

凡是能够提供能量(如热能、机械能、电能、光能等)的资源,都叫做能源。例如,煤炭、重油、天然气、电、焦炭、汽油、城市煤气、蒸汽等等都是能源。不过有些能源是自然界存在的天然能源,如原煤、石油、天然气、核燃料、太阳能等,这些能源叫做一次能源。有些能源是用一次能源通过加工转换以后得到的,如电力、焦炭、汽油、城市煤气、蒸汽等等,这些能源叫做二次能源。

能源对人类的重要性十分明显。我们的衣、食、住、行,工、农、商、学、兵没有一样离得开能源。没有能源就没有人类的文明。在远古时代,人类懂得钻木取火是一件了不起的事情。火的使用对人类的发展起了重要作用。

在历史上人类所用的主要能源有一个更替的过程,每一次更替都是人类文明进步的标志。最初人类使用的是木材,或者是木炭,无论炊事、取暖、冶金、制陶均不例外。木材是一种很好的能源,因为它含的杂质很少,但它的资源有限。大量砍伐森林,会破坏生态平衡,造成严重的后果。后来,改用煤炭。煤炭是我国最早使用的,开始是用它代替木材(木炭)做为工

业炉窑的燃料。出现发电机组以后,煤炭又成了锅炉的燃料。资本主义在发展过程中使用的是煤炭。从木材到煤炭,是人类一个大的进步。到了20世纪50和60年代,石油上升为主要能源。西方各国利用廉价石油使得国民经济有了一个明显的提高。1973年以后,由于石油危机,资本主义国家的经济受到冲击。石油涨价,供应不足,使这些国家的国民经济普遍进入了一个“低增长”时期。

将来,石油总有一天是要用完的,人类将被迫回到以煤炭为主的时代。与此同时,将开发一些新的能源,如太阳能、地热能等。

我们在现实生活中,更能直截了当地体会到能源的重要性,例如有些工厂因电力、燃料不足而使生产受到很大影响。

1.1.2 我国能源状况

我国是一个能源资源比较丰富的国家,煤的储量是世界第三位,石油储量是世界第八位,天然气储量居世界第十六位,水利资源极为丰富,居世界第一,原子能燃料铀、钍也很多。

解放以来我国能源开发的速度是比较快的(见表1-1)。

1990年,煤、石油、天然气、水电等能源生产总量折算成

表 1-1 1949年、1981年和1990年我国主要
能源产量的比较表

年 份 能 源	1949	1981	1990	单 位
煤	32.5	620	1080	10^4t
石 油	0.12	101	138	10^4t
天然气	11.17	12740	15200	10^4m^3
水 电	700	65550	126000	10^4kWh

标准煤，为 10.4×10^4 (其中不包括农村的非商品能源；所谓非商品能源是指当地生产当地使用，不进入商品市场的能源，如农村使用的秸秆、稻草、薪材等均是商品能源)。这个能源总量比解放前增加了 10×10^8 多吨。解放前大体上只生产 0.2×10^4 标准煤，还未达到现在能源总量的零头。

我国能源生产总量和消费总量都很大。但是，由于人口众多，平均每人每年能源消耗量只是 0.91t 标准煤。这是个很小的数字。人均能源量的全世界平均值为 2.3t。可见，我国的人均能源量还不到世界平均水平的一半，与世界上工业发达的国家比，那就更低了：日本、西欧各国大体上在 3—6t，美国超过 10t。

1980 年，我国国民生产总值是 4470×10^8 元，能耗近 6×10^4 标准煤，万元产值能耗为 13.36t 标准煤；1990 年，每万元国民生产总值能耗为 9.3t。目前，与工业发达国家相比，我国的万元产值能耗还高出许多，原因是多方面的，有管理不善、重工业比例大、设备陈旧、有些技术较落后、能源结构以煤为主等。这些复杂的原因，使我国的万元产值能耗比工业发达国家高很多。这里只讲两点。一是重工业比例大的问题。重工业比例大，万元产值能耗就高。重工业单位产值能耗比轻工业高。我国重工业万元产值能耗是 13.8t，而轻工业的万元产值能耗只有 2.6t 标准煤。前几年重工业比例是大的，这样总平均下来万元产值能耗较高。二是以煤炭为主的问题。我国的能源结构以煤为主，而工业发达的国家是以油为主。全世界平均也是以石油为主。现在全世界的能源中石油是主要的，占总量的 44%，煤炭只占 30%，而我国煤炭占总量的 71%。与油相比，煤炭在开采、输送、使用方面都相形见绌，燃烧的效率也较低，所以这也要影响单位产值的能耗。总之，我国的能源产量是相当大的，比解放前增加了几十倍，但

是由于人口很多,所以人均能源量很小,只是全世界平均的一半左右;而万元产值能耗却比人家高。

1.1.3 能源与四化建设

本世纪末,我国要实现工农业总产值在1980年的基础上翻两番。也就是说,到2000年,国民生产总值应为1980年的四倍。在实现这个战略目标的过程中,能源是一个关键。因为如果按现在利用能源的技术水平,到本世纪末,能源需求量将高达 17.6×10^4 t标准煤。但是各种预测表明,我国能源的年产量到本世纪末只能达到 13.6×10^4 t标准煤。且不说达到这个年产量有许多困难,即使达到这个产量,到2000年能源还缺约 4×10^4 t标准煤。这就是说,要保证翻两番任务的完成,后10年的年均节能率需达到2.6%。从近两年的实际完成情况看,要达到这个节能率,难度很大。因此,党中央规定,我国的能源方针是开发与节约并重,近期内把节约放在优先地位。这个政策是完全正确的,是从我国实际情况出发,实事求是的方针。也只有按照这个方针来办,我国的能源问题才能解决。

在能源开发方面,首先要优先开发煤炭和水电。按规划,我国今后要新建4—5个大的煤矿,要继续把现有的煤炭基地建设好,要开发黄河中上游以及红水河的水力资源,建设若干大型水电站。在地理位置上,发电地区多数偏西,而工业集中、需要能源的地区多数偏东,所以要西电东调,把大电网拉到我国东部、沿海一带、华中一带。

我国独特的农村小型水电站在全世界很有名气。农村1/3的电力都是由农村自己解决的。今后,还要继续开发农村的小水电。

其次,要积极勘探、开发石油和天然气。据专家估计,我国石油储量丰富,前景十分美好。近几年来在沿海一带和新疆

地区已发现了若干个含油气的盆地，相信今后我国的石油开采业将会得到较快的发展。

再次，要在缺能地区建设核电站(原子能发电)。一座在广东，已投产，另一座在长江三角洲，因为这两个地区是沿海开放地区，工业集中，而能源缺乏。此外，辽宁也是很缺能源的地方，每年要从关内运很多煤，国家正筹备在该地区建设核电站。

最后，要积极研究开发新能源，大力开发沼气和薪炭林，新能源包括太阳能、地热等。新能源在本世纪内看起来主要是用于取暖、炊事，用到工业方面还有一些技术问题要加以解决。等这些问题解决以后，也许下一个世纪它们会成为工业的重要能源。薪炭林和沼气是农村的重要能源，今后要大力开发。

在能源的节约方面，关键的问题是在 2000 年前必须使万元产值的能耗在 1980 年的基础上大幅度降低。目前，每万元产值耗能 9.3t 标准煤，到 2000 年要降到 7t 标准煤左右，否则翻两番就要落空。

怎样使万元产值能耗降下来呢？这涉及到调整结构，调整落后企业，加强管理、技术改造等问题。这几年，采取上述措施以后已经取得了初步成果，万元产值能耗有所降低。但是，这几年所以有这样的成果，主要是靠调整比例、调整结构得来的，而在技术、消耗定额、科学管理等方面实效并不大。今后的问题就要在这些方面下功夫。只有这样才有可能把万元产值能耗降下来。

1.2 我国钢铁工业的能源消耗和节能进程

在我国国民经济各部门中，钢铁工业是耗能大户。1989 年我国钢铁工业消耗能源 9155×10^4 标准煤，占全国耗能总

量的 9.45%。其中国家重点企业耗能 $4977 \times 10^4 \text{t}$ 标准煤,占钢铁工业耗能总量的 54.3%;地方中小钢铁企业耗能 $3005 \times 10^4 \text{t}$ 标准煤,占 32.2%;此外独立铁矿山和辅助原料矿山耗能占 2.4%,铁合金、炭素制品、耐火材料企业合计耗能占 6.4%,独立焦化厂、丝绳制品厂等企业合计耗能占 4.7%。

1990年钢铁工业消耗各种能源的实物量及其在能源总量中所占的比重(按标准煤计)如下:

洗精煤 $5531.86 \times 10^4 \text{t}$ 占 50.4%

燃料煤 $2537.24 \times 10^4 \text{t}$ 占 18.4%

重油 $448.64 \times 10^4 \text{t}$ 占 6.5%

天然气 $7.42 \times 10^8 \text{m}^3$ 占 1.0%

电力(含自发电) 579.65亿kWh 占 23.7%

我国钢铁工业从 1978 年开始,把节能工作放在重要位置。钢铁工业以节能求增产,求发展,千方百计节约能源。1978—1989 年间,吨钢综合能耗由 2.524 下降到 1.636t 标准煤,下降率为 35%,平均年节能率 3.87%。显然,节能工作取得了明显的进展。

1978 年以来在节能工作上经历了以下三个阶段:

1978—1982 年为起步阶段。当时主要是宣传节能意义,组建节能工作队伍,在重点企业和地方骨干企业查消耗,抓管理,减少能源的损失和浪费。这个期间节能工作取得明显效果,吨钢综合能耗从 2.524 降至 1.906t 标准煤,下降 24.5%,年节能率平均达 6.78%,四年节能 $2067 \times 10^4 \text{t}$ 标准煤。

1982—1986 年为扩展阶段。这期间节能工作由钢铁企业扩展到铁矿山、铁合金、炭素制品、耐火材料和丝绳企业,使冶金部直接考核的能耗量达到系统内耗能量的 80% 左右。制订了 15 种冶金炉窑的“热平衡测试、计算办法”和 19 种“工序(产品)节能规定”,在冶金系统内贯彻执行;广泛开展

了炉窑、工序和企业的节能晋等升级以及对比剖析、节能咨询、节能培训等活动,推动企业节能工作的深入开展,并重点推广低碳厚料层烧结、高炉热风炉烟气余热利用、转炉煤气回收、平炉多枪吹氧、连铸、钢锭液芯轧制、铁合金摇包热兑、和重油乳化燃烧等 30 项节能技术,加快了钢铁企业的节能改造步伐。第六个五年计划期间,钢铁工业共投入节能资金 14.14×10^8 元,其中节能技改资金 8×10^8 元,约占同期行业技改资金的 7%,形成节能能力 226×10^4 t 标准煤,占同期行业实际节能量的 20%。这一期间宝钢一期工程建成投产,由于宝钢采用了干熄焦(CDQ)、转炉煤气回收、高炉顶压发电(TRT)、能源中心等节能技术,以及现代化管理方法的运用,其吨钢可比能耗率先降到 850kg 标准煤左右。1982—1986 年,吨钢综合能耗从 1 906 降到 1.705t 标准煤,又下降了 10.55%,年节能率平均为 2.75%。

1987 年开始,钢铁工业的节能工作进入系统节能阶段。进入第七个五年计划以来,钢铁工业节能工作出现了一个新的情况,即节能率急剧衰减。虽然七五以来节能资金的投入比六五增加一倍,但由于存在多种阻碍节能潜力发挥的因素,节能效果不佳。阻碍节能潜力发挥的主要因素是,工序之间生产能力不匹配,生产节奏不均衡,设备运行效率不高。改变这种状况,靠孤立的单项节能改造不行,需要的是综合治理,即运用系统工程的思想和方法,努力实现各项技术措施和生产要素的优化组合,才能达到增加企业整体节能效果的目的。这就是我国钢铁工业进入系统节能阶段的背景和主要根据。

钢铁工业开展系统节能,要在组织管理方面实现三个转变:节能工作的着眼点要从注重单体设备、工序的节能转向企业整体的节能;节能管理方式要从经验管理转向现代化管理,提高管理工作水平和效率;节能管理工作体系要从单一的

能源部门纵向管理体系，转向计划、生产、技术、设备、原燃料供应和能源管理部门分工协作的综合管理体系。只有实现了上述三个转变，系统节能工作才能顺利地、有效地开展起来。

1.3 系统节能的一般概念

节能是个很广泛的问题。一个企业，一个工业部门要想节能必然涉及很多问题，例如认识、机构、奖励制度、技术人员的培养、管理、技术改造、经济结构等。哪个问题解决不好都不行。在此不可能全面地讨论这些问题。作为系统节能的一般论述，本节着重阐述以下三个问题。

1.3.1 能源和非能源

在节能工作中，不仅要注意节约能源，而且还要注意节约非能源。这是节能工作中的一个根本观点。

煤炭、石油、天然气、电是能源，各种人造煤气、石油制品、压缩空气等也是能源。在节能工作中当然要注意节约这些能源。

但是只注意这一个方面还不够，还要注意节约非能源。钢、铁、铁矿石、耐火材料、石灰、水泥、砖瓦、皮革、棉纱等等都是非能源，机器设备也是非能源。

也许有人要问，搞节能工作，为什么要注意节约非能源物资呢？其实，这个道理很简单。因为一切原材料、中间产品、各种各样消耗品都是消耗了能源才生产出来的，它们不是这个厂生产的，就是那个厂生产的，总之是国家花费了能源才生产出来的。把这些东西浪费了，就等于浪费了能源。

从根本上说，任何人造物品，都是以自然界的天然资源为原始原料，经过一道道工序，最后成为产品的。各道工序都要

· 8 ·