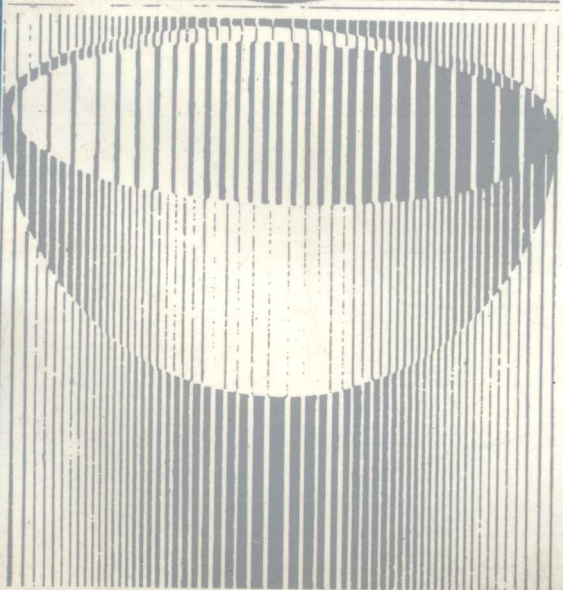
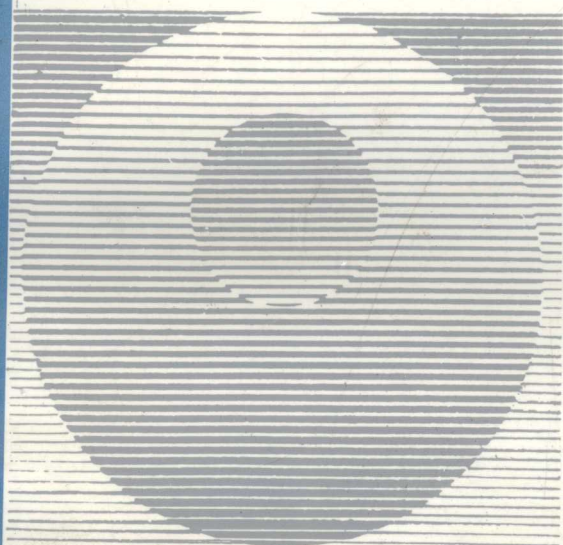


综合能源工程学

● 徐寿波 著



江苏人民出版社

综合能源工程学

徐寿波 著

江苏人民出版社

责任编辑:胡 凡

综合能源工程学

徐寿波 著

*

江苏人民出版社

石油管道报社印刷厂印刷

*

开本 850×1168 毫米 1/32 印张 17.25 字数:429 千字

1988 年 9 月第一版

1997 年 3 月第 2 次印刷

印数:7000—7300

ISBN 7-214-00197-7/F·33

定价:30.00 元

序

改革开放以来,由于国家对能源工业的重视,加上能源各行业的自身努力,我国的能源生产和供给基本上满足了国民经济增长的需要。但我国能源发展也面临着严峻的挑战。随着国民经济持续、快速、健康发展和人民生活水平的日益提高,能源问题会越来越突出,不很好地加以解决,就会极大地制约国民经济和社会的向前发展。四个现代化的宏伟目标也不可能实现。

要解决好能源问题,根据我国国情,一要靠开源,二要靠节能(节约能源应是我国的一项基本国策,任何时候,节能工作不仅不能削弱,而且一定要加强,各地区、各部门要作为一项重要工作来抓)。但无论开源和节能,都是要充分依靠科学技术,依靠能源工程技术的创新和应用。由于体制的原因,我国能源工业多年来(至今)是分散管理的:能源生产过程分别由煤炭、石油、电力和核工业部门或总公司管理,而能源利用和节能工程则由国家计委和经(贸)委管理;也曾有过国家能源委员会和能源部来综合管理全国的能源生产和利用,但因种种原因先后被撤消了。发展至今,我国的能源利用效率总是在30%徘徊,这恐怕与我们只重视能源生产科技而忽视能源利用科技和综合能源科技不无关系。一个国家的能源综合利用水平与其能源的生产水平、经济结构以及国民经济的整体水平是密切相关的。近些年来,我国整体经济技术水平进步很快,而且能源综合利用水平也有较大的提高,但与先进国家相比,还存在着很大的差距。

经济要发展,人民生活水平要提高,能源供应必然要增加,但这种增加要受到多种因素的制约。我国的能源要想得到持续发展,

必须要解决好一些亟待解决的紧迫问题,如:

(1)环境问题。能源发展不能以牺牲环境为代价,否则也不可能得到发展。我国能源结构以煤炭为主且资源分布极不均匀,这对能源运输特别是环境保护带来了巨大压力。大量烧煤是造成大气污染的主要根源。火电发展至今,已有了很多对环境影响较小的先进技术问世,像超临界技术(二次中间再热)、压力流化床技术以及高效脱硫、脱氮、除灰技术等等。因此,要尽可能地采用先进技术,大力提高能源生产和利用效率,这既是节约能源的重大举措,也有利于环境保护,降低污染量。

(2)劳动生产率和经济效益问题。我国能源工业经济技术水平虽然近些年有了长足的进步,但还远远落后于先进国家,这也说明存在着巨大的潜力。因此,我国的能源要能继续健康发展,必须在这方面加倍努力,千方百计降低生产成本,有信心在看得见的将来,使我国能源工业在劳动生产率上赶上世界先进水平。

我们要实现国民经济和社会发展“九五”计划和2010年远景目标纲要,在相当长的时期内,我国经济将要保持高速增长,但能源生产很难做到高速增长,在这种情况下,要保证能源有力地支持国民经济的增长,不仅要向能源生产工程要能源,更要重视能源利用工程和综合能源工程的创新和发展,要向能源利用科技和综合能源科技要能源。

徐寿波同志曾于1956年受国家委派去原苏联专门学习“综合能源工程学”这一新学科。他回国后,虽然几次变动工作单位,但他四十年如一日,坚持开展“综合能源工程学”的研究和应用,并取得了不少成果。六、七十年代他在中科院工作期间,先后搞过石油天然气合理利用的研究,被国家科委采用,得到中科院的奖励;搞过焦炭、煤矸石和石煤利用研究;搞过京、津、沪、辽四地区余热利用工程建设的前期工作和实施。由于他在能源利用工程技术应用方面,成绩卓著,1978年他获得了全国科学大会奖,成为中科院先进

工作者。八、九十年代他在社科院、国务院能源基地办公室和国家计委技术经济所工作期间,为山西能源基地建设工程做了大量前期工作,取得了很多有价值的成果,得到社科院和国务院能源办的奖励;在能源利用工程技术方面,取得了广义节能工程的重要研究成果,这一成果在燕化广义节能工程中证明是成功的,后来在“中国能源经济效率战略”和“中国全面节约战略”中得到了具体应用。15 年来的实践已经证明广义节能工程理论是正确的。这项研究成果还拍成科教片《广开节能之路》,被全国广泛应用,为此,先后获得国家计委科技进步一、二等奖和国家科技进步三等奖。

《综合能源工程学》一书总结了徐寿波同志长期来的成果,凝结了他四十年的心血。这本书的出版,是很有现实意义的。它对中国能源利用工程科技和综合能源工程科技的发展,对能源、环境和经济的可持续发展,将起到积极的作用。

甘立波

一九九七年二月二十七日

综合能源工程学

再版前言

能源工程可分为单项能源工程和综合能源工程两类。单项能源工程一般是指煤炭工程、石油工程、电力工程、水力工程、核电工程、太阳能工程、沼气工程,等等,通常是以能源的生产种类进行划分,因此,单项能源工程往往带有较强的生产部门性质,如矿业工程属于煤炭部门、石油工程属于石油部门、电力工程属于电力部门。综合能源工程不同于单项能源工程,它有三个特点:一是它不象单项能源工程那样立足于能源生产,而是立足于能源利用,但不等于它不考虑能源生产,而是从能源利用出发来考虑能源生产开发工程问题;二是它不能象单项能源工程那样往往可以立足于某个能源生产部门,而要立足于能源综合部门,如国家计委和国家经贸委等,这是因为从能源利用考虑,能源有着很强的替代性,可以用煤,也可用油,可以发展水电,也可以发展火电等等,但不等于它不考虑某个能源生产部门,而是要综合考虑各个能源生产部门;三是它不是单项能源工程的简单相加,它有自己专门的综合能源工程技术。对于综合能源工程技术,不能有象对待单项能源工程技术一样的要求,单项能源工程技术与综合能源工程技术的关系,好比汽车的制造技术和汽车发动机零部件的制造技术的关系一样。单项能源工程技术代替不了综合能源工程技术,综合能源工程技术也代替不了单项能源工程技术。对于国家来说,单项能源工程技术和综合能源工程技术应该是相等重要的,相辅相成,互相促进。然而,对于综合部门来说,或许综合能源工程技术更为重要,对于某

个能源部门来说,或许单项能源工程技术更为重要。但是,综合能源工程离不开单项能源工程,同样,单项能源工程也离不开综合能源工程。

综合能源工程学是一门研究综合能源工程问题的科学。综合能源工程是客观存在的,综合能源工程问题也是客观存在的,这是由能源工程问题本身具有很强的综合特性所决定的。能源工程问题具有五个综合特性:1. 它不单单是煤炭、石油、天然气和水力等常规能源和一次能源问题,而且还有核能、太阳能、风能、生物质能、地热能、氢能、潮汐能、波浪能等新能源以及二次能源问题,它是多种能源组成的综合能源体;2. 它不单单是能源单项利用工程问题,一是因为能量可以互相转换,相应能源就有多种用途,不是单项用途;二是因为能源本身兼有原料与燃料动力两种成分,比如石油包含燃料成分,也包含原料成分;水力包含灌溉用水成分,也包含发电动力成分,所以能源还有综合利用工程问题;3. 它不单单是能源工程技术问题,而且还有能源工程经济问题,是能源工程技术经济问题;4. 它不单单是能源利用工程问题,而且还包括能源的勘探、开发、生产、转换、加工、储存、输送和分配等一系列互相关联工程的问题,是一个能源工程系统问题;5. 它不单单是能源工程系统本身问题,而且还有能源、资源、环境、人口、经济多元组成的综合能源工程大系统问题。由于能源工程问题有上述五大综合特性,就构成了综合能源工程学这门学科特有的研究对象,并区别于单项能源工程如石油工程、煤炭工程、电力工程等等学科的研究对象。这也表明了研究综合能源工程学的必要性和重要性。综合能源工程学的名字也来源于此。

综合能源工程学是本世纪 20—30 年代苏联伟大科学家克尔日柴诺夫斯基院士创建起来的。当时,创建这门学科是有历史背景的。克尔日柴诺夫斯基院士是电气工程师,是列宁的亲密战友,十月革命胜利后,担任国家计划委员会主席,为了进行国民经济建

设,要制订国民经济规划,在研制规划过程中碰到了许许多多综合性的能源工程问题,无法用煤炭、石油、电力等单项能源工程学科所能解决,必须有一门综合性的能源工程学科来解决。由于这个国民经济规划的核心是电气化,所以后来把这个国民经济规划取名为俄罗斯电气化规划,不叫做国民经济规划。以电气化为核心的综合能源工程问题最多,于是,综合能源工程在制定俄罗斯电气化规划的实践中诞生了。尔后,克尔日柴诺夫斯基院士担任苏联科学院院长,成立了以克尔日柴诺夫斯基院士命名的苏联科学院能源研究所,综合能源工程是这个所最重要的研究领域之一,它同其他能源工程技术研究领域关系十分密切,相辅相成,互相促进,互相发展;每当一个新的能源工程技术的出现,综合能源工程学就需要有专门人才对它的发展前景进行综合地、准确地、科学地研究,研究它在综合能源系统中的地位和影响,研究它对综合能源大系统的影响。综合能源工程学的研究,虽然需要有一些经济、数学、计算机、资源、环境和社会政治多方面的知识,但是首先应该具有的是能源工程技术方面的知识,所以,在苏联它属于工程技术科学的范围,不属于文科范围。

1956年,苏联专家帮助中国制订了第一个全国科学技术发展规划,根据这个规划的要求,中国科学院派遣留学生到苏联科学院,去专门学习规划上规定要发展的各门学科,综合能源工程学是其中之一,从而我被派遣到苏联科学院能源研究所综合能源研究室学习综合能源工程学。我的导师是克尔日柴诺夫斯基院士的学生魏以茨,是苏联综合能源工程学的学科带头人,也是院士。1960年学习回国后,在中国科学院综合考察委员会成立了综合能源研究室,从此,在国内开始了这门新兴学科的研究。30多年来,中国在综合能源工程学方面的研究,已经取得了大量成果,成为一门新的学科。这门学科的代表作当时采用了综合能源工程学的中国别名—能源技术经济学(湖南人民出版社,1982年),但在前言中指

出,它实际上就是苏联的综合能源工程学。由于综合能源工程学有了这个别名,所以,容易把它看作是属于经济科学范围。实际上,真正的经济学着重于生产关系方面问题的研究,而综合能源工程学(当时取名能源技术经济学)着重于生产力方面问题的研究,两者是有很大区别的。所以,准确地说,综合能源工程学应该从属于工程技术科学范围,并且这门科学的研究,最重要的是要有能源工程技术知识基础,不是文科的知识基础。很难设想对能源工程技术不了解的文科研究人员会胜任综合能源工程学的研究。当然单单有能源工程技术知识也还不够,也难胜任这门科学的研究,需要有一些经济理论、数学、计算机、资源、环境和社会等方面的知识。这是因为它是一门多交叉性的综合学科的缘故。当时苏联的综合能源工程专业明确属于工程技术科学范围,不属于文科范围,是有道理的,这门学科的创始人克尔日柴诺夫斯基院士原来是电气工程师,也不是偶然的。由此可见,中国综合能源工程学应该名正言顺地归属于工程科技领域,不应归属于文科领域。综合能源工程学的研究,在建国以来历次全国自然科学技术发展长远规划中,都列为国家重点项目。因此,为了避免误会,作者后来改用了能源技术的名字(江苏人民出版社,1988年)。这次,作者在上两本书的基础上,修改补充和内容调整,进行再版,趁这个机会,把书名正式定为综合能源工程学,这样也有利于与国际接轨,有利于这门学科的正确归属,有利于在中国的很好发展。

根据综合能源工程学这门学科的研究对象,需要研究的综合能源工程问题很多,如能源系统工程问题,能源利用工程问题,能源效率工程问题,能源综合利用工程问题,综合节能工程问题(广义节能问题和全面节约问题),综合能源平衡工程问题,能源发展工程问题,能源基地建设规划工程问题,能源经济增长方式转变工程问题,能源、资源、环境、人口、经济多元组成的综合能源大系统工程问题。

当前,这门学科在中国的发展越来越重要,需要研究的课题越来越多,如能源、资源、环境、人口和经济的可持续发展工程问题,是当今人类面临的重大课题。还有,提高中国的广义能源系统效率问题,中国的全国统一电力系统问题,等等,都是这门学科的前沿研究课题。

今年正好是我这辈子开始学习外国先进科技《综合能源工程学》四十周年。为了不辜负党对我的培养,在有生之年,我有责任为这门学科在中国的发展尽一点力量,为此,我特地再版正式改名为《综合能源工程学》,并以此来纪念这门学科的创始人、我的导师的导师、苏联伟大科学家克尔日柴诺夫斯基院士和我的导师魏以茨院士。

如果本书的再版,能够为综合能源部门以及单项能源部门从事能源规划、设计和生产的管理干部与工程技术人员;为能源工程技术方面的科研人员、教学人员以及研究生和大学生提供参考;能够引起社会各方面对综合能源工程学的重视,从而促进这门新学科在中国的更大发展;能够得到读者的批评和指教,那么,这就是作者最感快慰的事!

最后,在本书写作和出版过程中,得到了秦中一、郭大伟、马抗、王家诚、李景元、贺清、徐文清、袁永斌等同志的帮助,得到了江苏人民出版社领导和胡凡同志的帮助,在此表示衷心感谢。

作 者 1996.9.16

目 录

序.....	(1)
再版前言.....	(1)
第一章 能源和能源工程.....	(1)
第一节 能量.....	(1)
第二节 能源.....	(3)
第三节 能源工程	(19)
第二章 综合能源工程学概论	(22)
第一节 综合能源工程学的研究对象	(22)
第二节 综合能源工程学研究的目的和意义	(24)
第三节 综合能源工程学的研究任务和内容	(25)
第四节 综合能源工程学的研究方法和程序	(26)
第五节 综合能源工程学的特点	(33)
第三章 综合能源工程学基本原理和方法	(34)
第一节 综合能源工程学的系统理论	(34)
第二节 综合能源工程学的综合理论	(35)
第三节 综合能源工程学的比较理论	(36)
第四节 综合能源工程学的评价理论	(48)
第五节 综合能源工程评价方法	(50)
第四章 能源系统工程	(70)
第一节 能源一元结构系统工程	(70)
第二节 能源和经济二元结构系统工程	(83)
第三节 能源、经济、环境、资源和人口多元结构系统工程	(103)
第五章 能源利用工程.....	(123)

第一节	概述	(123)
第二节	能源合理利用工程原理和方法	(124)
第三节	可燃矿物合理利用工程	(136)
第四节	生物燃料合理利用工程	(163)
第五节	电能合理利用工程	(165)
第六节	热能合理利用工程	(167)
第七节	新能源合理利用工程	(180)
第八节	能源合理利用工程条件和措施	(189)
第六章	能源效率工程	(191)
第一节	概述	(191)
第二节	能源效率工程原理和方法	(191)
第三节	能源系统效率工程	(218)
第四节	广义能源系统效率工程	(227)
第七章	广义节能工程	(232)
第一节	概述	(232)
第二节	广义节能工程原理和方法	(233)
第三节	广义节能工程评价指标体系	(261)
第四节	广义节能工程案例	(270)
第八章	能源平衡工程	(288)
第一节	概述	(288)
第二节	能源平衡工程历史和现状	(290)
第三节	能源平衡工程原理和方法	(296)
第四节	能源平衡工程规划和预测	(302)
第九章	能源发展工程	(322)
第一节	概述	(322)
第二节	能源发展战略工程原理和方法	(325)
第三节	中国能源发展战略工程	(329)
第四节	中国全面节约战略工程	(359)

第五节	能源发展规划工程原理和方法·····	(390)
第六节	中国能源基地建设规划工程·····	(393)
第十章	能源经济增长方式转变工程·····	(441)
第一节	概述·····	(441)
第二节	能源经济增长方式转变工程特点·····	(442)
第三节	能源经济增长方式转变工程评价原理和方法 ·····	(443)
第四节	能源经济增长方式转变工程规划和预测·····	(458)
第五节	能源经济增长方式转变工程实施对策·····	(462)
第六节	能源经济增长方式转变工程案例·····	(471)
第十一章	数学模型和计算机应用·····	(479)
第一节	概述·····	(479)
第二节	数学模型和计算机应用案例·····	(482)
作者研究成果目录·····		(502)
附录: ·····		(515)
I、能量单位换算表 ·····		(515)
II、能源单位换算表 ·····		(517)
III、燃料热值表 ·····		(521)
IV、能源效率表 ·····		(524)

第一章 能源和能源工程

第一节 能量

能量简称能,是度量物质运动的物理量,一般把能量称为物质做功的能力。能量是物质的重要属性之一。由于物质运动形式的不同,所以能量的性质也不同。能量有机械能、热能、光能、电能、化学能和核能几种:

机械能——指物体本身有规则有次序的机械运动(非随机运动)所具有的能量。

热能——指物体内部分子随机的不规则运动所具有的能量。

光能——指电磁波运动所具有的能量。

电能——指电子运动或带电物体所具有的能量。

化学能——指物体内部分子处于可与其他分子起化学作用状态所具有的能量。

核能——又名原子能,指重原子核处于可分裂状态或轻原子核处于可聚合状态所具有的能量。

以上这些形式的能量,都可以归纳为“动能”和“位能”两种。动能就是物质运动所具有的能量,如机械能、热能、光能、电能都是动能。位能是物质或系统由于它的位置或状态而具有的能量,如化学能、核能都是位能。位能是一种潜在能量,它最终还是要以热能、光能等动能形式反映出来,并转换成其他动能才能被人们所利用。

能量是自然界中存在的物质。它在自然界中既不能创造也不能消灭,只能互相转换,比如机械能可以转换为电能,化学能可以

转换为热能,热能可以转换为机械能,光能可以转换为热能和电能等等。所以,能量的总量在自然界中是不变的,守恒的,这就是能量守恒定律,也就是热力学第一定律。根据这个定律,如对某一系统(或体系)给以热量 Q ,则 Q 应等于该系统输出的能量(或功) W ,加上该系统总的内能升高值 ΔE ,即:

$$Q = W + \Delta E \quad (1-1)$$

所以,热力学第一定律规定了能量转换的数量关系。这个定律在实际中得到广泛的应用。企业搞的热平衡就是应用了这个原理。企业投入总能量 Q ,有一部分 W 是有用的,还有很大部分 ΔE 变为空气的热量而损失掉了。人们希望有用的热量越多越好。能量可以互相转换,但是有一定的方向性和限制性,也就是说,能量转换有难有易,有些容易转换,有些很难转换。比如,热量不可能自发地由低温向高温传热,这是热力学第二定律规定的。按照热力学第二定律,由高温热源传给热机的热量 Q 不可能全部变为功,必有一部分热量 Q' 传给较低温度的热源。所以热机的输出能量 $W = Q - Q'$,热机热效率是表示供热量 Q 转换为机械功的程度,即

$$\text{热效率 } \eta = \frac{W}{Q} = \frac{Q - Q'}{Q} = 1 - \frac{Q'}{Q} \quad (1-2)$$

理想热机的理想热效率比上述热效率高,即

$$\text{理想热效率 } \eta = \frac{\Delta T}{T} = 1 - \frac{T'}{T} \quad (1-3)$$

式中, T 和 T' 为绝对温度。由此可见,热源温度 T 越高,冷源温度 T' 越低,热机的理想热效率越高,即传热量 Q 转换为机械功 W 的部分越大。

能量是人类社会生产和生活所必不可少的,特别是现代社会,无论对能量的数量和质量,都有越来越高的要求。生产和生活直接所需要的能量主要是热能、电能、光能和机械能四种,它们所需要的数量越来越大。这些能量中,电能可以转换为其它各种能量(光、

热、机械能等),所以它可称为能量之“王”。列宁曾经有一句名言,共产主义就是苏维埃政权加电气化。可见,电能的作用是很强大的。

第二节 能源

一、能源概念

能源这个名词是 70 年代世界能源危机以后,才较多地使用它,而已往是叫动力,或者叫燃料动力。现在看来,能源的叫法更为科学。自从我国 1978 年 3 月科学大会通过的全国第三个科学技术发展长远规划中,把电力、石油、煤炭和节能四个方面科学技术综合取名为“能源科学技术”,并列为八大重要科学技术领域之一以后,能源这个名词就使用得更加普遍和广泛了。能源的科学定义是能量的源泉,就是说能提供各种能量的物质资源叫能源。它是能量资源的简称。大英百科全书的定义是这样的:“能源是一个包括着所有燃料、流水、阳光和风的术语,人类用适当的转换手段,给人类自己提供所需的能量”;日本大百科全书说:“在各种生产活动中,我们利用热能、机械能、光能、电能等来作功,可利用来作为这些能量源泉的自然界中的各种载体,称为能源。”我们的定义和它们的定义,内容上基本一样,但比它们更为言简意赅。

二、能源种类

能源的种类很多,大约有 40 多种。它们可以按能源的成因、能源的性质和能源的使用状况分类。(表 1—1、1—2)

(一)按能源成因分,全部能源可分为两大类:一类是自然界中以现成形式存在的能量资源,如原煤、油页岩、原油、天然气、核燃料、植物燃料、水能、风能、太阳能、地热能、海洋能、潮汐能等等,叫