

普通高等教育“十二五”规划教材

工业节能技术

主编 吴金星 副主编 刘泉 赖艳华



C14057852

普通高等教育“十二五”规划教材

工业节能技术

主 编 吴金星
副主编 刘 泉 赖艳华
参 编 詹自力 陈 雁 马新灵
主 审 魏新利



机械工业出版社



北航

C1742524

TK01-43
24

014027825

能源短缺和环境污染是当前我国经济发展中面临的两大难题。解决这些难题需要先进的节能技术、环保技术和强化管理措施等,更需要具备这些技术和管理能力的高级专业人才。工业企业一直是我国的耗能大户,解决工业生产系统及设备的节能技术问题,并积极推进节能技术的实际应用,将推动我国节能减排事业的快速发展。本书系统地阐述了节能的基本原理和节能方法,重点介绍了工业通用耗能设备的关键节能技术,以及重点工业系统余热回收利用的关键节能技术,并介绍了制冷空调与热泵系统、电力设备与系统、建筑环境与设备的相关节能技术。本书兼顾专业性与通俗性,既适合作为高校教材,也适用于相关行业的技术及管理人员培训等,具有广泛的实用性。

图书在版编目(CIP)数据

工业节能技术/吴金星主编. —北京:机械工业出版社, 2013. 12
普通高等教育“十二五”规划教材
ISBN 978-7-111-44573-9

I. ①工… II. ①吴… III. ①工业—节能—技术—高等学校—教材
IV. ①TK01

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第253673号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

策划编辑:蔡开颖 责任编辑:蔡开颖 孙阳 马军平

版式设计:赵颖喆 责任校对:陈越

封面设计:张静 责任印制:李洋

北京振兴源印务有限公司印刷

2014年9月第1版第1次印刷

184mm×260mm · 16.5印张 · 399千字

标准书号:ISBN 978-7-111-44573-9

定价:33.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066 教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294 机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649 机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203 封面防伪标均为盗版

前言

能源是发展社会生产力的物质基础和基本条件。一个国家或地区的能源利用水平是反映其科学技术水平的重要标志,人均能源消费量的多少是反映该地区人民生活水平的重要标志。我国既是能源生产大国,也是能源消耗大国,尤其是工业企业一直是我国的耗能大户。但我国人均能源拥有量和消费量都较少,总体能源利用效率较低,由此引起的环境污染和生态破坏问题却比较严重,因此,解决能源问题任重而道远。在当前新能源开发利用技术不成熟、利用规模较小的形势下,我国提出了“开发与节约并举,把节约放在首位”的能源发展战略,并树立了建设“资源节约型、环境友好型”社会的目标。要实现这个宏伟目标,关键在于开发和实施高效的节能技术,具体地讲,就是针对工业生产系统和重点耗能设备,系统地掌握节能的基本原理和节能方法,积极推进这些节能技术的实际应用。高效节能技术的实施,对于缓解我国当前的能源供需矛盾,加快我国节能减排事业的发展,促进社会进步、发展经济和改善人民生活都具有重大意义。

在工业生产过程中,掌握高效节能技术的原理和方法,不但对能源动力类专业技术人员是必需的,而且对化工、炼油、机械、材料、建筑、环境等所有工科专业技术人员都是必需的,对工业企业管理人才的培养和未来发展也是不可缺少的。对于培养和造就创新型的复合人才、全面提高各类人才的科学素质,特别是培养节能降耗的科学意识都是十分必要的。

本书系统地阐述了节能的相关概念、节能的基本原理和节能方法,重点介绍了工业通用耗能设备的关键节能技术,以及重点工业系统余热回收利用的关键节能技术,并介绍了制冷空调与热泵系统、电力设备与系统、建筑环境与设备的相关节能技术。

本书可作为高等院校能源动力类专业本科生的专业必修教材,也可作为各工科专业学生了解工业节能技术和具体方法的选修课,同时,可供工程热物理学科的教师和研究生、各级能源管理部门及企业事业单位的节能管理人员、工程技术人员作为节能技术实施的参考书。

本书由郑州大学节能技术研究中心主任吴金星教授主编和统稿。由郑州大学化工与能源学院魏新利教授主审。具体编写分工为:吴金星负责编写第1、2章,北京信息科技大学刘泉负责编写第3、4章,赖艳华负责编写第5、6章。郑州大学詹自力参与编写了第1、3章部分内容,河南工业大学陈雁参与编写了第2章部分内容,郑州大学马新灵参与编写第5章部分内容。另外,郑州大学研究生朱登亮、尹凯杰、乔慧芳、潘彦凯、李俊超、郭桂宏等参与了资料收集和书稿整理、绘图等工作。在编写过程中,郑州大学王定标教授、卢纪富副教授、靳尊龙副教授等提出很好的修改意见和建议,在此一并表示感谢。在编写过程中参阅了大量的国内外专著、教材和期刊论文,在此谨向这些文献的著者和相关单位表示诚挚的谢意。本书的出版得到郑州大学化学与能源学院的支持,特此致谢。

由于作者水平和经验有限,书中难免出现不足之处,敬请读者批评指正。

编者

目 录

前言

第1章 节能原理与节能方法..... 1

1.1 节能的定义及意义 1

1.1.1 节能的定义和类型 1

1.1.2 我国能源消费状况及节能的必要性 ... 2

1.1.3 节能的现实意义 5

1.2 节能的基本原理 7

1.2.1 节能潜力的分析方法 7

1.2.2 能源利用效率与用能效益 10

1.2.3 节能的组织管理 12

1.2.4 节能的环节 13

1.2.5 节能的任务和对象 14

1.3 节能的方法、途径和措施 15

1.3.1 节能的一般方法 15

1.3.2 节能的障碍和途径 17

1.3.3 节能的具体措施 20

1.4 我国的节能政策与节能发展动向 21

1.4.1 我国改革开放30年主要的节能政策 21

1.4.2 我国工业节能现状及发展动向 27

思考题 31

第2章 工业耗能设备及热力管道节能技术 32

2.1 工业耗能设备节能概述 32

2.2 工业锅炉节能技术 33

2.2.1 锅炉技术简介 33

2.2.2 锅炉富氧燃烧节能技术 36

2.2.3 链条炉分层燃烧节能技术 40

2.2.4 链条炉宽煤种喷粉复合燃烧节能技术 47

2.2.5 循环流化床锅炉节能技术 50

2.2.6 锅炉烟气余热回收利用节能技术 ... 57

2.2.7 供热系统中增设蒸汽蓄热器节能技术 60

2.2.8 供热系统中闭式冷凝水回收节能技术 63

2.2.9 供热系统中真空除氧节能技术 66

2.2.10 工业链条炉的其他节能改造技术 70

2.3 工业窑炉节能技术 71

2.3.1 窑炉节能概述 71

2.3.2 蓄热式燃烧节能技术 72

2.3.3 燃料预热节能技术 73

2.3.4 水泥窑炉中低温余热发电节能技术 75

2.3.5 玻璃窑炉余热驱动吸收式制冷节能技术 77

2.3.6 工业窑炉的管理节能技术 79

2.4 泵与风机节能技术 79

2.4.1 泵与风机变频调速节能技术 79

2.4.2 泵与风机切割叶轮节能技术 84

2.5 热工设备与热力管道保温节能技术 87

2.5.1 保温工程概述 87

2.5.2 保温材料与保温结构 89

2.5.3 保温结构设计 92

2.5.4 热工设备保温技术 94

2.5.5 热力管道保温技术 95

思考题 96

第3章 工业余热回收节能技术与设备 ... 98

3.1 工业余热资源及其利用概况 98

3.1.1 我国的工业余热资源 98

3.1.2 我国工业余热回收利用现状 100

3.1.3 余热资源对口回收利用设备 101

3.1.4 我国工业余热回收利用技术 103

3.2 余热(废热)锅炉——高温余热回收的关键设备 105

3.2.1 余热锅炉的结构形式及特点 105

3.2.2 余热锅炉的发展概况 109

3.2.3 余热锅炉在工业余热回收中的应用 111

3.2.4 余热锅炉及其附属设备的投资效益分析 116

3.3 管壳式换热器在余热回收中的应用 ... 117

3.3.1 换热器的类型及结构发展 117

3.3.2 强化管换热器在余热回收中的应用 121

3.3.3 高效管束支撑换热器在余热回收中的应用 127

3.4 热管换热器在余热回收中的应用	137	5.1.1 我国电力发展现状	195
3.4.1 热管的工作原理、特性及种类	137	5.1.2 我国的电力行业发展趋势	196
3.4.2 热管换热器的构造、类型及特点	140	5.2 电力工业节能技术	198
3.4.3 用于烟气余热回收的热管换热器	143	5.2.1 发电设备节能技术	198
3.4.4 热管换热器在工业余热回收中的节能应用	148	5.2.2 供电节能技术	199
3.5 工业余热回收利用技术及其应用	150	5.2.3 电力需求侧管理	201
3.5.1 玻璃窑炉烟气余热发电技术	150	5.2.4 用电节能技术	203
3.5.2 热压机高温冷凝水回收与热能梯级利用	153	5.3 发电新技术	205
3.5.3 锅炉余热综合回收利用	155	5.3.1 火力发电新技术	205
3.5.4 化工生产余热回收与热能梯级利用	157	5.3.2 智能电网	208
思考题	160	5.3.3 新能源发电技术	210
第4章 制冷空调与热泵系统节能技术	161	5.4 电力系统设备节能实例	215
4.1 制冷原理概述	161	5.4.1 锅炉排烟余热充分利用	215
4.2 制冷设备节能技术	163	5.4.2 循环流化床锅炉节能改造	216
4.2.1 提高制冷循环的性能指标	163	5.4.3 蒸汽压力充分利用	216
4.2.2 提高热交换设备的传热性能	164	5.4.4 大型凝汽机组改造成供热机组	217
4.2.3 提高制冷设备的自动化水平	165	5.4.5 冷热电三联供	217
4.2.4 研究新型制冷系统及部件	165	5.4.6 电站锅炉新型点火技术	218
4.2.5 压缩制冷设备的节能途径	166	思考题	219
4.3 家用空调的节能改造	166	第6章 建筑环境与设备节能技术	221
4.4 中央空调系统节能技术	167	6.1 概述	221
4.4.1 中央空调系统的能耗	168	6.2 我国建筑能耗与节能现状	221
4.4.2 中央空调水系统及其节能	170	6.3 建筑节能的影响因素及节能途径	224
4.4.3 加强中央空调的管理	172	6.3.1 建筑节能的概念和影响因素	224
4.5 变频空调器及其节能	172	6.3.2 我国建筑节能的潜力	225
4.5.1 变频空调器的工作原理	172	6.3.3 降低建筑能耗的途径	226
4.5.2 变频空调器的优点	173	6.4 建筑环境节能技术	228
4.5.3 变频空调器的节能优势	174	6.4.1 围护结构的节能技术	228
4.6 热泵系统及其节能技术	174	6.4.2 新型太阳能节能建筑	233
4.6.1 热泵简介	174	6.4.3 电气设计的节能技术	237
4.6.2 空气源热泵	177	6.5 建筑空调设备节能技术	238
4.6.3 地源热泵	182	6.5.1 楼宇空调的节能	238
4.6.4 水源热泵	189	6.5.2 自然冷却空调制冷系统的应用	240
4.6.5 水环热泵	192	6.6 暖通设备节能技术	240
思考题	193	6.6.1 采暖系统节能	240
第5章 电力设备与系统节能技术	195	6.6.2 低温热水地面辐射采暖	242
5.1 概述	195	6.6.3 高大空间建筑的辐射采暖	245
5.1.1 我国电力发展现状	195	6.7 建筑节能技术的发展前景	248
5.1.2 我国的电力行业发展趋势	196	6.7.1 建筑节能技术的经济性分析	248
5.2 电力工业节能技术	198	6.7.2 建筑能源的综合治理	249
5.2.1 发电设备节能技术	198	6.7.3 建筑节能的前景展望	251
5.2.2 供电节能技术	199	思考题	252
5.2.3 电力需求侧管理	201	参考文献	253
5.2.4 用电节能技术	203		
5.3 发电新技术	205		
5.3.1 火力发电新技术	205		
5.3.2 智能电网	208		
5.3.3 新能源发电技术	210		
5.4 电力系统设备节能实例	215		
5.4.1 锅炉排烟余热充分利用	215		
5.4.2 循环流化床锅炉节能改造	216		
5.4.3 蒸汽压力充分利用	216		
5.4.4 大型凝汽机组改造成供热机组	217		
5.4.5 冷热电三联供	217		
5.4.6 电站锅炉新型点火技术	218		
思考题	219		

第1章 节能原理与节能方法

能源供应紧张是当前世界各国面临的共性问题。为了缓解能源的供需矛盾,世界各国都在积极研究开发新能源,特别是开发利用可再生能源,同时,把节约能源作为能源有效利用的重要内容,并将节约能源视为除了煤炭、石油、天然气和水力能之外的“第五大能源”。我国“十一五”规划纲要明确提出,“十一五”期间单位国内生产总值(GDP)能耗降低20%左右,主要污染物排放总量减少10%。国家在“十二五”期间又提出了新的节能减排目标:单位GDP能源消耗降低16%,单位GDP二氧化碳排放降低17%;主要污染物排放总量显著减少,化学需氧量、二氧化硫排放分别减少8%,氨氮、氮氧化物排放分别减少10%。这是贯彻落实科学发展观、构建社会主义和谐社会的重大举措;是建设资源节约型、环境友好型社会的必然选择;是推进经济结构调整,转变增长方式的必由之路;是提高人民生活质量,维护中华民族长远利益的必然要求。

1.1 节能的定义及意义

1.1.1 节能的定义和类型

我国自1998年1月1日起施行《中华人民共和国节约能源法》。其中明确定义了节能的概念:节能是指加强用能管理,采取技术上可行、经济上合理以及环境和社会可以承受的措施,从能源生产到消费的各个环节,降低消耗,减少损失和污染物排放,制止浪费,有效、合理地利用能源。

节能并不是简单的能源消耗数量的减少,更不能影响社会活力,降低生产和生活水平,而是要充分发挥能源利用的效果和价值,力求以最小数量的能源消耗获得最大的经济效益,为社会创造出更多的可供消费的财富,从而达到发展生产、改善生活的目的。换句话说,生产同样数量的产品或获得同样多的产值,要尽可能减少能源的耗费量,或者以同样数量的能源,能生产出更多的产品或产值,这就是节能的经济性。

节能可分为直接节能和间接节能两种。直接节能是在满足相同需要的前提下,减少能源消耗量,所减少的数量就是节能的数量,它主要是通过技术进步来提高能源利用效率、降低产品或产值的能源消耗量实现的,也称为狭义节能。它包括生产工具、作业设备和工艺流程或作业程序及方法的改革,工艺操作方法和技能的改进,以及使用新材料、能源综合利用等所减少的能源消耗。直接节能最大特点是:它是看得见摸得着的能源实物的节约。间接节能是通过调整结构(如产业结构、行业结构、生产结构、品种结构),提高产品工作质量,在生产中减少原材料消耗,降低成本费用,提高劳动生产率,合理分配和输送,加强能源管理等途径而减少的能源消耗,也称为广义节能。例如,机械工业每年在锻造、切削等加工过程中要损坏数百万吨钢材,这意味着我国有相当数量的高炉、炼钢炉、轧钢机和几十万工人一年的劳动,以及与此相应的生产这些钢材所必需的煤、焦炭、电力都大量

的被浪费掉了。再进一步看,供应这些煤、焦炭、电所进行的连锁生产也都白费了。广义来讲,人们的日常消费品、家庭用品、办公用品及水、食品等的节约,除了节约资源也属于节能的范畴。我国二十多年来的能源节约量,主要是靠调整结构、加强管理等间接节能办法取得的。

1.1.2 我国能源消费状况及节能的必要性

能源是国民经济发展的原动力,是现代文明的物质基础。安全、可靠的能源供应和高效、清洁的能源利用是实现社会经济可持续发展的重要保证。当前,能源短缺和能源消费引起的环境污染问题已引起全世界人民的关注,世界各国在寻求能源可持续发展道路的同时,都把提高能源利用效率、节能降耗列为能源发展战略的关键环节。目前,我国在能源供应和消费方面正面临着严峻的挑战。

国家统计局数据显示,2009~2011年,我国能源消费总量从30.66亿t标煤增长到34.8亿t标煤,年均增长2.1亿t标煤。2012年全年能源消费总量为36.2亿t标准煤,比上一年仅增长1.4亿t,增长比率是3.9%。2013年,全国能源消费总量为37.6亿t标准煤,相比2012年增速为3.9%。

单位产值能耗高,能源利用效率低,能源使用中浪费严重,大量煤炭燃烧导致严重的大气污染。2013年全国万元GDP能耗水平为0.737t标准煤,比2012年下降3.7%。目前我国单位产值能耗是世界平均水平的2倍多。综合国际能源组织、美国能源署、中国国家能源局的统计,我国2013年初每万美元GDP的能耗约是美国的2~3倍、德国的4~5倍、日本的8倍左右,甚至是印度的2.8倍。我国能源利用效率仅有33.3%,比发达国家低约10个百分点。我国每增加单位GDP的废水排放量比发达国家高4倍,单位工业产值产生的固体废弃物比发达国家高10多倍。能源和材料浪费的严重程度可见一斑。

我国工业能源消费量占全国能源消费总量的70%左右。高能耗行业包括钢铁、有色金属、石油石化、化工、建材、煤炭、电力、造纸、纺织9个行业,其主要产品的单位能耗平均比国际先进水平高40%,而这9个行业的能源消费占我国工业部门能源消费总量的73%以上。在这9个重点耗能行业中,年综合能源消费量18万t标准煤以上的企业共有近千家,其能源消费量占工业能源消费量的一半,是能源消费大户。2012年我国能源消耗量比例如图1-1所示。

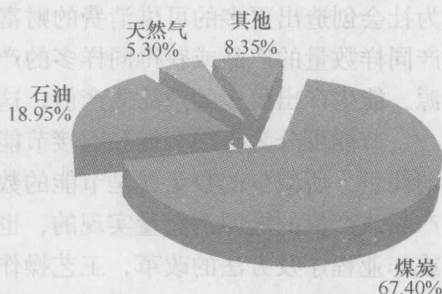


图 1-1 2012 年我国能源消耗量比例

2012年上半年,受乙烯、水泥、平板玻璃、粗钢和十种有色金属等重点耗能产品产量增速显著下降的影响,化工、建材、钢铁、有色四大高耗能行业能源消费量增长缓慢,占工业能源消费总量的比重下降。根据国家统计局统计,四大高耗能行业的工业增加值增速分别为12.0%、12.1%、8.5%和13.8%,但在其用电量增速中,钢铁、建材出现负增长。与2012年同期水平相比,2013年建材、钢铁行业电力消费弹性系数同比大幅提升,行业单位工业增加值能耗下降速度趋缓。2012年1~5月和2013年1~5月四大高耗能行业电力消费弹性系数对比见表1-1。

表 1-1 2012 年 1~5 月和 2013 年 1~5 月四大高耗能行业电力消费弹性系数对比

四大高耗能行业	2012 年 (1~5 月)			2013 年 (1~5 月)		
	工业增加值 增速	用电量 增速	电力消费 弹性系数	工业增加值 增速	用电量 增速	电力消费 弹性系数
化工	12.0%	7.6%	0.63	11.9%	4.6%	0.39
建材	12.1%	-1.4%	-0.12	11.5%	2.5%	0.22
钢铁	8.5%	-4.5%	-0.53	10.1%	4.2%	0.42
有色	13.8%	6.6%	0.48	13.0%	6.7%	0.52

当前我国工业的能源消费和能源利用状况主要体现在以下三个方面:

1) 工业生产的过程工业急需改进,余热、余压、伴生可燃气等能源浪费严重。过程工业通常是指化工、冶金、电力、食品等连续生产的工业,其产值占我国工业总产值的 37%,占制造业的 46.9%,是国民经济的基础产业。过程工业的节能可以从两个方面来进行,一是对整个工业系统或工艺流程进行优化,保证其在良好的工况下运行;二是对某一过程工业的具体环节进行能流分析和改进。同时,我国钢铁、建材、煤炭、化工、有色、纺织等行业的余热余压以及其他余能没有得到充分利用,我国钢铁行业许多高炉尚未配套炉顶压差 (TRT) 发电设备;我国现有干法窑水泥生产线尚有大量未配装余热发电装置;钢铁企业的焦炉气、高炉气、转炉气,煤矿的煤层气,焦化企业的焦炉气等可燃气体大量放空,不仅造成能源的严重浪费,而且污染了环境。在余热利用方面,先进的换热技术和高效换热设备,也有广阔的用武之地。

2) 能源转换、利用技术水平落后,单位产品能耗高、效率低。能量通常以电的形式被广泛地应用,电力电子技术无处不在,具有巨大的节能潜力。电力电子行业涉及 3 个领域:电力电子元器件 (上游)、电力电子装置 (中游)、电力电子技术在各个行业的应用 (下游)。据统计,动力机械能耗占我国工业能耗的大部分,风机系统电能综合利用率仅为 40% 左右,各种泵类电能综合利用率为 29% 左右,远低于国际先进水平。

3) 环境问题突出,电力、冶金、水泥等行业能耗高,污染严重。其主要原因是:消耗的能源总量持续增长;前期建设的工业项目陆续建成投产,而部分污染防治设施未同步建成或同步运行;近期投产的火电装机容量大多配套建设了脱硫设施,但是投运效率较低;城市化进程加快,污水排放量增加,一部分城市污水集中处理厂及配套管网未能按计划建设或投入运行。

在我国,建筑能耗占总能耗的 27% 以上,而且还在以每年 1 个百分点的速度增加。建设部统计数字显示,我国每年城乡建设新建房屋建筑面积近 20 亿 m^2 ,其中 80% 以上为高能耗建筑,单位建筑面积采暖能耗为气候相近发达国家的 3 倍左右;既有建筑近 400 亿 m^2 ,95% 以上是高能耗建筑。建筑能耗占全国总能耗的比例将从现在的 27.6% 快速上升到 33% 以上。我国新建建筑已经基本实现按节能标准设计,比例高达 95.7%,而施工阶段执行节能设计标准的比例仅为 53.8%。

我国虽然能源资源总量丰富,但人均的能源可采储量不足,而农业和民用能源的需求将不断增加,工业又要以一定速度持续发展,能源供需矛盾势必更加突出,能源缺口会越来越

大。据统计,我国已经探明的原煤储量是 1145 亿 t,而全球是 9845 亿 t,按人均计算,我国人均原煤储量是 90t,而世界人均均为 162t。我国的原油已经探明的数量是 33 亿 t,而全世界是 1430 亿 t,我国人均的储量只有 2.6t,世界是 26.3t。我国人均能源可采储量中,石油、天然气、煤炭仅为世界平均值的 10%、5% 和 57%,能源供应短缺已经严重影响我国经济发展和人民生活水平的提高。面临这种能源短缺的形势,以节约求增产,是解决我国当前能源短缺的重要措施。

过去 100 多年里,发达国家先后完成了工业化,消耗了地球上大量的自然资源,特别是能源资源。当前,一些发展中国家正在步入工业化阶段,能源消费增加是经济社会发展的客观必然。我国是当今世界上最大的发展中国家,正处于大量消耗资源的阶段。随着工业化和城市化进程的不断加快,特别是重化工业和运输业的快速发展,能源需求将大幅上升。近年来,我国已成为仅次于美国的世界第二大能源消费国,能源需求以前所未有的、远高于 GDP 增长的速率急剧增加,煤、电、油、气全面紧张,进口石油大幅增加。2007 年,一次能源消费总量达 26.5 亿 t 标准煤,约占世界能源消费总量的 16%,其中煤炭消费达 25.8 亿 t。在我国的能源消费中,尤以石油消费增长迅猛,过去 10 多年中年均增长率高达 7%。面对不断增长的能源需求,一方面,国内供需缺口不断增大,对外依存度持续上升;另一方面,改善环境质量的呼声也越来越高。资源环境问题已成为我国经济持续快速增长的首要制约因素。

为应对全球气候变化,促进经济发展方式转变,建设资源节约型、环境友好型社会,增强可持续发展能力,我国把降低能源消耗强度和减少主要污染物排放总量确定为国民经济和社会发展的约束性指标,把节能减排作为调整经济结构、加快转变经济发展方式的重要抓手和突破口。

我国“十一五”规划纲要确定的节能减排约束性目标基本实现。“十一五”期间,我国以能源消费年均 6.6% 的增速支撑了国民经济年均 11.2% 的增长,能源消费弹性系数由“十五”期间的 1.04 下降到 0.59,节约能源 6.3 亿 t 标准煤。我国单位国内生产总值能耗由“十五”后三年上升 9.8% 转为下降 19.1%;二氧化硫和化学需氧量排放总量分别由“十五”后三年上升 32.3%、3.5% 转为下降 14.29%、12.45%。但一些地方还存在着对节能减排的紧迫性和艰巨性认识不足、产业结构调整进展缓慢、能源利用效率总体偏低等问题。

按照“十二五”规划纲要总体要求,综合考虑安全、资源、环境、技术、经济等因素,2015 年能源发展的主要目标是:

1) 能源消费总量与效率。实施能源消费强度和消费总量双控制,能源消费总量 40 亿 t 标准煤,用电量 6.15 万亿 kW·h,单位国内生产总值能耗比 2010 年下降 16%。能源综合效率提高到 38%,火电供电标准煤耗下降到 323 克/(kW·h),炼油综合加工能耗(标准油)下降到 63kg/t。

2) 能源生产与供应能力。着眼于提高安全保障水平、增强应急调节能力,适度超前部署能源生产与供应能力建设,一次能源供应能力 43 亿 t 标准煤,其中国内生产能力 36.6 亿 t 标准煤。石油对外依存度控制在 61% 以内。

3) 能源结构优化。非化石能源消费比重提高到 11.4%,非化石能源发电装机比例达到 30%。天然气占一次能源消费比例提高到 7.5%,煤炭消费比例降低到 65%。

4) 国家综合能源基地建设。加快建设山西、鄂尔多斯盆地、内蒙古东部地区、西南地

区、新疆五大国家综合能源基地。到2015年,五大基地一次能源生产能力达到26.6亿t标准煤,占全国70%以上;向外输出13.7亿t标准煤,占全国跨省区输送量的90%。

5) 生态环境保护。单位国内生产总值二氧化碳排放比2010年下降17%。每千瓦时煤电二氧化硫排放下降到1.5克,氮氧化物排放下降到1.5克。能源开发利用产生的细颗粒物(PM_{2.5})排放强度下降30%以上。煤炭矿区土地复垦率超过60%。

6) 城乡居民用能。全面实施新一轮农村电网改造升级,实现城乡各类用电同网同价。行政村通电,无电地区人口全部用上电,天然气使用人口达到2.5亿人,能源基本公共服务水平显著提高。

7) 能源体制机制改革。电力、油气等重点领域改革取得新突破,能源价格市场化改革取得新进展,能源财税机制进一步完善,能源法规政策和标准基本健全,初步形成适应能源科学发展需要的行业管理体系。

由此可见,我国对节能降耗工作的高度重视,通过制定节能量、产品单耗、主要耗能设备等的具体目标,分阶段、分步骤地从各个层面提高我国能源利用效率。我国政府正在以科学发展观为指导,加快发展现代能源产业,坚持节约资源和保护环境的基本国策,把建设资源节约型、环境友好型社会放在工业化、现代化发展战略的突出位置,努力增强可持续发展能力,建设创新型国家。

1.1.3 节能的现实意义

20世纪70年代末以来,中国作为发展迅速的发展中国家,经济社会发展取得了举世瞩目的辉煌成就,成功地开辟了中国特色社会主义道路,为世界的发展和繁荣作出了重大贡献。我国经济快速增长,各项建设取得巨大成就,但也付出了巨大的资源和环境代价,经济发展与资源环境的矛盾日趋尖锐,群众对环境污染问题反应强烈。这种状况与经济结构不合理、增长方式粗放直接相关。只有坚持节约发展、清洁发展、安全发展,才能实现经济又好又快发展。同时,温室气体排放引起全球气候变暖,备受国际社会广泛关注。进一步加强节能减排工作,也是应对全球气候变化的迫切需要。

近年来,随着我国城市化建设的快速发展,能源紧缺问题突显,已严重影响和制约了我国社会经济的发展。要加快建设节约型社会,切实落实我国节能工作,有利于降低能耗,有效缓解我国能源紧张状况,促进我国能源、经济、环境的可持续发展,其意义和影响十分重大。

1. 节能是全面贯彻落实科学发展观、实现经济可持续发展的基本要求

我国是一个能源生产大国。2012年一次能源总量已达32.5亿t标准煤,居世界第一。但人均能源占有率还不足世界平均水平的一半。我国经济已进入高速发展阶段,据专家预测,2020年能源需求量约为27.94亿t标准煤。即使目前采用先进技术,加速新能源与可再生能源的开发利用,预计届时的能源的供应量仅有20亿t标准煤,这之间的差额只有靠节能来解决。可见节能事关可持续发展。

节约能源就是要在使用能源的各个环节减少浪费,提高能源的有效利用程度,要用相同数量的能源,获得生产和生活水平的提高。据有关资料显示,如果以世界人均水平为基本单位计算,我国资源除煤炭占58.6%之外,其他重要矿产资源都不足世界人均水平的50%,水资源为世界人均水平的28%,耕地为32%,石油、天然气等重要矿产资源的人均储量仅

分别相当于世界人均水平的 7.69%、7.05%。可见,只有节能才有利于国家的可持续发展。

我国当前面临着经济社会快速发展和人口增长与资源环境约束的突出矛盾。目前,我国的生态破坏和环境污染已经达到自然生态环境所能承受的极限,为了使经济增长可持续,缓解巨大的环境压力,必须以环境友好的方式推动经济增长。节能减排就是要从源头预防污染产生,有效地减少资源消耗,不排放废弃物,从而真正解决我国当代的发展困境。由此看来,节能是全面贯彻落实科学发展观、促进经济又好又快发展的基本要求。

2. 节能是保护环境和应对全球气候变化的客观要求

众所周知,矿物燃料在燃烧过程中都会排放出硫和氮的氧化物如 SO_x 、 NO_x 等,这些氧化物会危害人体健康,造成环境酸化,危及食物链和生物的生存环境,毁坏包括钢铁、油漆、塑料、水泥、砖砌体、镀锌钢材、石材等多种建筑材料。因此,节约常规能源并不仅仅是发展经济、解决能源资源匮乏的一项举措,也是对人类赖以生存的地球环境进行保护的一项严峻而又迫切的任务。

矿物燃料燃烧所排放的大量 CO_2 阻碍了地球向宇宙发射长波,对地球起到类似温室的作用,从而导致地球变暖。在 1750 年以前,地球表面 CO_2 的体积分数为百万分之二百八十,地球平均每 2000 年升温 0.5°C 。到了 1990 年,地球表面 CO_2 的体积分数增加到百万分之三百五十四。在过去 100 多年内,地球表面就升高了约 0.5°C 。到 21 世纪预计每 10 年地球表面可能要升温 $0.3 \sim 0.5^\circ\text{C}$,也就是说升温速度将大大加快。世界气象组织发布新闻公报称,2013 年为有现代气象记录以来全球第六热年份,该年度全球陆地与海洋表面气温比 20 世纪下半叶平均气温值高 0.5°C 。预计未来地球变暖的过程将比过去 100 年发生的更快,这对人类和生物界都是非常严重的威胁。地球变暖将使全世界生态环境发生重大变化,如极地融缩、冰川消失、海面升高、洪水泛滥、干旱频发、风沙肆虐、物种灭绝、疾病流行等。

温室气体排放引起的全球气候变化一直备受国际社会的关注。自 2007 年以来,从世界环境日、八国峰会、亚太经合组织(APEC)峰会到夏季达沃斯峰会等,气候变化、节能减排几乎是逢会必谈的主题。目前,全球气候变暖已经是一个不争的事实,这与使用煤炭、石油等化石燃料的燃烧过程中排放二氧化碳的量密切相关。气候变暖是人类共同面临的挑战,需要国际社会共同应对。

燃烧矿物燃料使空中的悬浮颗粒增加,致使太阳辐射强度减弱;同时,城区的日照持续时间明显减少,并且由城市外围向中心逐渐递减。有资料显示,在 1921~1950 年间,英国伦敦外围的日照持续时间平均每天 4.33h,而在该城市中心地区仅 3.60h。我国由于能源结构以煤炭为主,因而太阳辐射强度减弱的现象也特别显著。如山东省 2012 年平均日照时数为 2272.1h,较常年偏少 105.9h,至从 1998 年开始,连续 15 年偏少,太阳的年总辐射强度减少。1951~1960 年这 10 年间,广州平均日照为 1951h。从 2001~2010 年,广州的平均日照为 1616h。太阳是地球生命的源泉,太阳辐射强度的减弱会使生命的质量打折。因此,节能是保护环境和应对全球气候变化的客观要求。

3. 节能是提高生产效率、降低成本的重要手段

节能始终需要一个有效的组织管理体系。在项目前期阶段,一定要做好装置用能优化,特别是系统用能优化工作。应打破各个工艺装置自成体系的传统模式,进行工艺装置和公用工程设施之间的协调优化,尤其是蒸汽/电力和工艺热源之间的协调优化。提高燃料的利用率,采用节能新技术、新设备。与周围其他企业进行能源合作,创造条件,实现大系统范围

内的能量逐级利用、热电联产,达到减少能源消耗、减少环境保护压力、提高经济效益的目的。引入能源合同管理模式于企业节能工作中,解决节能投入资金困难的问题。建立科学用能的理论、方法和技术,做到多层次节能与全方位科学用能。

节能是要充分发挥在自然规律所决定的限度内能源利用的潜力,包括利用效率和利用质量,优化能源结构降低能源成本。优化能源结构有两个含义,一是根据不同燃料的热价,不同的热利用率,在不同市场情况下及时调整能源结构,降低能源的购入成本;二是尽量使用绿色能源,逐渐加大绿色能源比例,节约有限的化石能源,合理规划化石能源的使用。

4. 节能是中国政府和国家保护环境意志的体现

党中央、国务院始终高度重视节能减排工作,把它放在维护中华民族长远利益的战略高度坚持不懈地推进,明确提出了建设资源节约型、环境友好型社会的战略任务,并在“十一五”规划纲要中提出具体目标,向人民作出了庄严承诺。

在全球气候变暖的大背景下,我国也要主动承担节能减排的国际责任。因为减少排放、保护环境是我们“以人为本”发展理念的要求,是我们可持续发展的内在要求。我们要努力走出一条低消耗、低排放、高效益、高产出的新型工业化道路,努力实现经济发展和保护环境“双赢”的目标,这是对世界可持续发展和应对气候变化的一大贡献。节能是中国可持续发展道路上迈出的坚实步伐,也表现了我们敢于承担国际义务的勇气和胸襟,是中国政府向国际社会的承诺、向全国人民的承诺。

5. 节能是减小我国国际压力的重要措施

我国对国外资源需求的增长推动了全球资源需求总量的上升。美国能源部下属的美国能源信息局(EIA)公布的数据显示,2013年9月中国原油净进口量超过美国,成为全球最大的原油净进口国。中国日均消费量为1076万桶,日均产量为446万桶,净进口量为日均630万桶。预测未来中国原油净进口量超过美国将成为常态。我国二氧化硫和温室气体排放总量的快速增长已经成为国际关注的另一个焦点。虽然我国人均排放量远小于发达国家,但我国是全球二氧化硫第一大排放国和二氧化碳第二大排放国,二氧化硫和二氧化碳的排放量均占全球排放量14%,对全球大气污染有着重要影响。随着全球经济一体化的发展,环境问题已经成为影响未来世界格局及国家发展和安全的重要因素。未来我国在这方面的国际压力将不断增加。因此,节约能源、减少需求量是减小国际压力的重要措施。

1.2 节能的基本原理

节能原理的依据是能量守恒及能量转换的客观规律性,即对能的本性认识。对于能的本性认识的当代水平,早在20世纪的中叶就已经达到,其标志就是热力学第一定律和热力学第二定律的建立。开展节能分析工作就是要科学地找出节能潜力与部位,制定节能措施的指导原则,规划长短期节能目标。

1.2.1 节能潜力的分析方法

节能潜力就是在经济结构、生产布局及资源等因素均不变的情况下,依靠改进技术装备和提高技术管理水平等措施,进一步提高能源开采、加工、运输、转换、使用等全过程的能源利用效率,从而节约的能量。节能潜力可以用节能量予以评估,考虑到能源消费量和所需

要的有效能量随经济发展而增长, 将节能量 ΔE 定义为

$$\Delta E = \frac{\eta E_1}{\eta_0} - E_1 = E_1 \left(\frac{\eta_1}{\eta_0} - 1 \right)$$

式中, E_1 为对比年的能量消耗; η_0 为基准年的能源有效利用率; η_1 为对比年的能源有效利用效率。

实际上, 节能量 ΔE 就是对比年的有效能量 ($\eta_1 E_1$) 按基准年效率折算后的能源量 ($\eta_1 E_1 / \eta_0$) 与对年的实际能源投入量 E_1 之差。由于 $E_1 = E_0 + \Delta E'$, 所以上式也可改写为

$$\Delta E = (E_0 + \Delta E') \left(\frac{\eta_1}{\eta_0} - 1 \right)$$

式中, E_0 为基准年的能源消耗; $\Delta E'$ 为能源消费增量。

通常, 对节能潜力的分析主要采用热力学第一定律分析法和热力学第二定律分析法, 另外, 还可采用热经济学分析法和系统节能分析法等。

1. 热力学第一定律分析法

热力学第一定律即能量转换与守恒定律。这一定律指出: 能量是物质运动的量度, 能有各种不同的形式, 当任何一种形式的能量被转移或转化为另一种形式的能量时, 能的量不发生变化。根据这一定律可知, 自然界的能量在任何情况下, 既不能被创造, 也不能被消灭。热力学第一定律具有原则的普遍的重要性, 是人类认识自然、改造自然的有力武器。正是由于这一定律的指导, 使人们解决了并正在解决大量的科学与技术问题。热力学第一定律的思想已经深入人心, 成为能的计量、能的定量计算以及分析研究有关能的各种问题的理论基础。可见, 热力学第一定律所涉及的是关于能在“量”的方面的本性, 说明能在“量”上的守恒性, 没有区分不同形式的能在“质”上的差别。

节能问题的研究与分析由来已久, 其传统的方法主要以热力学第一定律为依据, 并沿用至今, 称为热力学第一定律分析法。该分析法得到了广泛应用, 它主要是用热效率的高低来估计节能潜力, 热效率越高说明节能潜力越大。能量平衡工作正是基于这一定律, 把能量的来龙去脉搞清楚, 确定多少能量被利用, 多少能量损失掉。其优点是简单直观, 容易理解和掌握, 运用得当对节能工作能起到重要作用。其缺点是, 由于它所依据的仅是能量在数量上的守恒性, 在挖掘节能潜力时有较大的局限性和不合理性。

2. 热力学第二定律分析法

在 20 世纪 50 年代以后, 热力学第二定律的理论开始在节能研究和节能实践中广泛地应用。事实上, 能量不仅有量的多少, 还有质的高低。例如, 一大桶温水的热量可谓很多, 却不足以煮熟一个鸡蛋, 而一勺沸水所含的热量可能很少, 却可以烫伤人。可见, 同样多的两个热量, 如果它们的温度不同, 即能的品位不同, 所产生的客观效果也不同。能的“质”就是的品位、可用性。

热力学第二定律指出了能量转换的方向性, 它涉及的是能在“质”的方面的本性: 自然界的一切自发的变化过程都是从不平衡状态趋于平衡状态, 例如一杯热水自发地将热量传给低温的空气, 最后水和空气温度相等, 而不可能相反。热力学第二定律的表述方法很多, 其中之一是: 当任何一种形式的能量被转移或转化为另一种形式的能量时, 其品位通常发生变化, 但只可能降低或不变, 绝不可能提高。这一定律说明, 能具有丧失其可用性的特性, 或者说, 能在质上具有贬值的特性。能量在数量的守恒性和质量上的贬值性, 就构成了能量

的全面本性。

现代节能原理与传统的节能原理不同,它所依据的不仅是热力学第一定律,而是同时依据热力学第一、第二定律,并通过直观实用的方式,来体现能的全面本性,由此建立的节能理论和方法,称为热力学第二定律分析法。这种方法有两大类,熵分析法和焓分析法。由于熵分析法比较抽象,不能评价能量的使用价值,且本身也不是一种能量,现在已被焓分析法取代。焓分析法认为:能量=焓+㶲。焓是这样一种能,在给定环境的作用下,可以完全连续地转化为任何一种其他形式的能量,而㶲是一种不可能转化的能量形式。焓主要是针对热提出的,即热量中最大能转化为功的部分。采用焓分析法,可从本质上找出能量损失。

热力学第一定律阐述了能在“量”上的守恒性,热力学第二定律阐述了能在“质”上的贬值性。因此,能量合理利用原则就是:追求供入系统的能量和系统供给用户的能量在数量上平衡,在质量上完全匹配,即能量利用的量和质匹配原则。要节约能源,必须要合理用能;只有遵照能量合理利用原则,才能达到节能目的。

在用能和节能实践中,人们常常仅注重数量的守恒,而忽视质量的匹配。例如,为了方便而常使用高品位能换取低品位能、将高压蒸汽供低压动力使用、用电热取暖等。在节能工作中,首要的问题是“分析节能潜力是否存在及节能潜力的大小”,传统的方法一是用热效率的高低来评估,二是用能量平衡或热平衡率分析,甚至将能量的来龙去脉绘制成能流图,看有多少能量为终端利用,多少能量被损失。显然两种方法均依据热力学第一定律,只考虑了能的数量守恒,体现的仅是能量本性的一个侧面,而不是全面本性。单纯用该分析法得到的结果往往带有不确切、不科学的成分。因此,要真正成功地解决使用能源和节约能源过程中的一系列问题,在运用热力学第一定律的同时,还要自觉地运用热力学第二定律去考察分析,以免对能的认识发生偏颇,这样才能把贯彻“节能优先”的能源战略方针落到实处。

3. 热经济学分析法

20世纪60年代以来,在节能原理领域中又出现了一种新的发展,产生了将焓分析法与经济因素及优化理论有机结合起来,称为热经济学,即除了研究体系与自然环境之间的相互作用外,还要研究一个体系内部的经济参量与环境经济参量之间的相互作用。一般来说,热力学第一定律和热力学第二定律分析法,在方案比较中仅能给出一个参考方向,而不能得出具体结论。而热经济学分析法可以直接给出结果,这种方法特别适用于解决大型、复杂的能量系统分析、设计和优化问题。

4. 系统节能分析法

系统节能是近年来发展起来的新型节能技术。系统节能就是按照能量品位的高低进行梯级利用,总体安排好功、热(冷)与物料内能等各种能量之间的配合关系和转换利用,从系统高度上总体综合利用好各类能源,并取得最有利的技术经济效益。简单地说,就是利用系统工程的原则,全面考虑能源转换、传递和消费整个系统的用能,使之整体优化,以达到整个系统的节能。按照系统划分的范围不同,有企业系统节能、行业系统节能、城市或地区系统节能和国家系统节能等。

过程系统能量综合、优化以及高效节能过程装备是当今工程节能中的主要手段,国内外对此一直都非常重视。在过程能量系统集成、优化研究方面,英国学者 Linnhoff 等提出了“夹点技术”用于分析换热网络的综合优化,在工业应用中卓有成效。该技术运用拓扑学的

概念和方法,对过程系统进行宏观、形象描述,工程技术人员容易掌握。但该技术也存在着一些问题和缺陷,例如很难找到整个系统综合的真正最优结果、未涉及系统综合的热力学和热经济学的定量分析等。

国内华贲教授提出了过程系统能量优化综合的“三环技术”。“三环技术”基于能量转换、利用、回收三个子系统的“三环节模型”,以能量的工艺利用环节为核心,通过分解协调,在子系统经济化基础上实现全局调优。但目前“三环技术”在理论和建模环境以及应用软件开发上还需进一步研究,才能达到比较实用的程度。

在高效节能过程装备方面,特别是换热器方面,国内外进行了大量的研究和开发工作,如热管技术、高效传热低流阻纵流式换热器技术等。但到目前为止,开发新型节能设备大多采用实验的方法,而传统的实验研究存在着费用高,开发周期长,不利于放大设计和优化设计等缺点,因此,开发一个高效节能设备周期长、费用高。未来的发展方向将是采用计算流体动力学和计算传热学的方法来对设备进行数值模拟即 CAE 研究,以便应用这种先进的设计手段来快速开发新的高效节能过程装备。

1.2.2 能源利用效率与用能效益

能源利用效率是衡量能量利用技术水平和经济性的一项综合性指标,对经济增长具有决定性作用。通过能源利用率分析,有助于改进企业的工艺和设备,挖掘节能潜力,提高能量利用的经济效果。

能源利用效率是指能量被有效利用的程度,通常用符号 η 表示。其通用计算公式为

$$\eta = \frac{\text{有效利用能量}}{\text{供给能量}} \times 100\% = \left(1 - \frac{\text{损失能量}}{\text{供给能量}}\right) \times 100\%$$

能源效率标识 (Energy Label), 是表示用能产品能源效率等级等性能指标的一种信息标识,属于产品符合性标志的范畴。国家对节能潜力大、使用面广的用能产品实行统一的能源效率标识制度。国家制定并公布《中华人民共和国实行能源效率标识的产品目录》,确定统一适用的产品能效标准、实施规则、能源效率标识样式和规格。能源效率标识包括以下基本内容:①生产者名称或者简称;②产品规格型号;③能源效率等级;④能源消耗量;⑤执行的能源效率国家标准编号。

对于不同的对象,计算能源利用率的方法也不尽相同。通常有以下几种计算方法。

1. 按产品能耗计算

对于一个国家或地区可能生产多种产品,对主要的耗能产品如电力、化肥、水泥、钢铁、炼油、制碱等,按单位产品的有效利用能量和综合供给能量加权平均,即可求得总的能源利用率 η_1 , 即

$$\eta_1 = \frac{\sum G_i E_{oi}}{\sum G_i E_i} \times 100\%$$

式中, G_i 为某项产品的产量; E_{oi} 为该项产品的有效利用能量; E_i 为该项产品的综合供给能量 (即综合能耗量)。

上述综合能耗量包括两部分,一部分为直接能耗,即生产该种产品所直接消耗的能量;另一部分是间接能耗,是生产该种产品所需的原料、材料和耗用的水、压缩空气、氧气等以及设备投资所折算的能耗。

2. 按部门能耗计算

将一个国家或地区所消耗的一次能源,按发电、工业、运输、商业和民用四大部门,分别根据技术资料 and 统计资料计算各部门的有效利用能量和损失能量,求得部门的能量利用效率 η_d , 即

$$\eta_d = \frac{\text{某部门有效利用能量}}{\text{某部门有效利用能量} + \text{某部门损失能量}} \times 100\%$$

全国或地区的总能量利用效率 η_t 则为

$$\eta_t = \frac{\sum \text{部门有效利用能量}}{\sum \text{部门有效利用能量} + \sum \text{部门损失能量}} \times 100\%$$

3. 按能量使用用途计算

一次能源在国民经济各部门除了少数作为原料外,绝大部分是作为燃料使用。其中一类是作为各种炉窑、内燃机、炊事和采暖等的燃料直接燃烧,另一类是转换成二次能源如电力、蒸汽、煤气等再使用。因此,可按发电、锅炉、窑炉、蒸汽动力、内燃动力、炊事、采暖等用途分别计算各种用途的能源利用效率 η_p , 即

$$\eta_p = \frac{\text{某用途的有效利用能量}}{\text{某用途的有效利用能量} + \text{某用途的损失能量}} \times 100\%$$

各种用途总的能量利用效率 η_t 则为

$$\eta_t = \frac{\sum \text{各种用途的有效利用能量}}{\sum \text{各种用途的有效利用能量} + \sum \text{各种用途的损失能量}} \times 100\%$$

4. 按能量开发过程计算

将能源从开采、加工、转换、运输、贮存到最后使用分为若干个过程,分别计算出每个过程的能源利用率 η_i , 然后相乘求得总的能源利用效率 η_t , 即

$$\eta_t = \prod_{i=1}^n \eta_i$$

5. 能源消费系数

除了用上述能源利用效率来衡量能量利用的技术水平和经济性以外,还可采用能源消费系数来评价能源利用的水平。能源消费系数是指某一年或某一时间内,为实现国民经济产值平均消耗的能源量,它是一个从整个社会经济效益去考察能源有效利用的指标。其表达式为

$$\text{能源消费系数} = \frac{E}{M}$$

式中, E 为能源消费量,单位为 kg 标准煤; M 为同期国民生产总值,单位为元或美元(与国外比较)。

6. 用能效益

在节能工作中,如果运用价值工程的观点,用能效益就相当于价值,能源消耗则相当于成本,因此有如下关系

$$\text{用能效益} = \frac{\text{产品功能}}{\text{能源消耗}}$$

不论产品的功能与能耗是增加还是减少,只要用能效益提高,就是取得了节能的效果。这样就从单纯的节能数量扩展到节能效益的范畴。根据产品功能和能耗的改变情况,有以下几种节能类型: