

• 节能技术 •

余热利用与 锅炉节能

赵宗煥 主编
彭敏华 编著

宁夏人民出版社



余热利用与 锅炉节能

赵宗燠 主编
彭敏华 编著

北京计劳干院图书馆



L041578

L041578

ENERG

内 容 提 要

本书是为适应当前节能工作的需要而编撰的。全书共分十章，阐述了热能的基本知识，介绍了工业余热的来源、用途和各种应用技术，工业锅炉节能的各种途径和方法，实现集中供热的有关技术方案，高温水供热与热水锅炉。并就节能工程项目如何进行经济评价作了分析讨论，简明扼要地叙述了一些测试技术和辅助设备的选择方法。最后对余热利用和锅炉节能的研究方向进行了展望。

本书可供从事节能工作的广大工程技术人员、工人、能源管理干部及各工矿企业领导同志阅读参考。

出 版 说 明

为了更好地配合国家节能工作的需要，我社组织了这一套“节能技术”丛书，其中包括：余热利用与锅炉节能、锅炉无油或少油点火技术、冶金工业节能技术、工业蒸汽节能技术、建筑物节能技术、农村节能技术、节能新材料与应用技术、节能电器等，并介绍一些与节能技术直接有关的环保技术。这套书分别由既有较深理论知识，又有实际工作经验的专家、学者和工程技术人员编写，并将陆续在我社出版。这套书着重于应用技术的介绍，内容简洁，技术实用，适合厂矿企业、农村社队等多行业的广大工程技术人员、工人及管理干部阅读。这套书由中国科学院学部委员、全国政协科技组副组长赵宗燠同志任主编，由中国科学院能源委员会高级工程师王世中和中国动力工程学会常务理事洪邦俊两位同志任副主编。

宁夏人民出版社

序 言

赵紫阳总理一九八二年十月在科学技术奖励大会上指出：一九八〇年，我国生产的各种能源，折合成标准煤，相当于六亿三千万吨，到本世纪末，能源供应量大体上可以翻一番。能不能以翻一番的能源，来保证翻两番的工农业总产值，决定于我们能否进行一系列的重大技术改革，把总产值和能源的比例关系提高到一个新的水平，把能耗大幅度降下来。

我国能源总利用效率约为30%。其中工业能源利用效率约为39%，是工业发达的日、美等国的二分之一；民用能源利用效率只有20%，是工业发达国家的三分之一。可见热能浪费之多，节能潜力之大。我国工业耗能约为民用耗能的三倍半，更是节能重点。耗能最多的各种工业锅炉，达二十万台以上，年烧煤达二亿多吨，烧油达2500万吨（主要是电站锅炉），平均热效率只有50%稍多。浪费之大，十分惊人，节能工作，刻不容缓。

本书是由彭敏华同志，根据工程实践经验，并系统收集中外文献资料，经过辛勤工作，编写完成的；并经中国机械工程学会动力工程学会常务理事洪邦俊同志认真评审，脱稿付梓。

本书主要围绕余热利用和锅炉节能两大主题进行编著，全书约二十余万字，是一部颇为完整的工程应用技术专著。其目的是为广大工矿企业有关工程技术人员及技术经济管理人员，在开展余热利用和锅炉节能活动中，进行方案选择、工艺及设备定型、设计运算、经济效益分析比较等方面的工作，提供切合我国实际而又合理可行的参考。

本书内容颇为丰富，既有热能、热工扼要的基本知识，又有应用工艺方法及工程设计简明运算公式和必要的数椐；既有一般现行工艺及设备，又有七十、八十年代新兴技术和近期发展展望；既有工程技术上的优缺点分析，又有技术经济上的效益比较；尤其难得的是不单重视了当前技术经济效益，同时也注意了环境保护的长远影响。

总之，本书是一部适合我国国情，符合国家需要，颇为完备而又便于运用的应用工程技术专著。本书的出版发行，必将有助于全国广大工矿企业和各行各业开创余热利用和锅炉节能的全面改革新局面，从而对到本世纪末实现工农业总产值翻两番的宏伟战略目标，作出工程技术上的贡献。

赵宗煊

1983年5月

前 言

能源是发展国民经济的重要物质基础，能源问题举世瞩目。我国要在二十年内使全国工农业的年总产值翻两番，解决能源问题是至关重要的。我们国家确定的能源总方针是：开发和节约并重，近期要把节能放在优先地位。这是因为：能源的开发受到开采条件、建设周期、交通运输和资金等限制，在短时间内不可能有大幅度的增长，而我国能源在使用上又浪费很大。对于节能，中央抓得很紧，只要我们对此认真重视，就一定能够取得成效。

编撰本书的目的，旨在对面广量大的工业余热怎样利用和对耗煤量极大的锅炉如何节能进行分析讨论，通过各种余热应用技术与锅炉节能途径的介绍，使大家掌握行之有效的节能技术和设备，提高能源利用率，有效地节约能源。节能技术与经济效益是休戚相关的，一项节能工程项目如果缺乏正确的经济评价，就会失去其现实意义，因此编写本书时，特别注重实际应用效果。

本书由中国动力工程学会常务理事、副秘书长洪邦俊同志审稿。在编写本书过程中，得到中国科学院学部委员、北京能源学会理事长赵宗燠同志大力支持。赵老在百忙中审阅书稿，提出许多宝贵意见，并为本书作序举荐，给编者很大鼓励。在此向赵宗燠同志、洪邦俊同志敬致衷心感谢。北京锅炉研究所唐欣宏同志参与插图绘制工作，也一并致谢。

由于编者水平所限，错误和疏漏之处在所难免，恳请读者批评指正。

编 者

1983年 5 月

目 录

第一章 绪 论	1
§ 1—1 能源的基本概念.....	1
§ 1—2 能源在国民经济中的地位.....	3
§ 1—3 余热利用与锅炉节能.....	5
第二章 热能的基本知识	8
§ 2—1 概 述.....	8
一、能量转换原理.....	8
二、热能应用的五大要素.....	9
三、工质的热力性质.....	9
四、热量和比热.....	13
五、功量.....	15
六、内能.....	16
§ 2—2 热力学第一定律.....	17
一、热力学第一定律的实质及其在工程应用上的数学描述.....	17
二、焓.....	18
三、热平衡.....	19
§ 2—3 热力学第二定律.....	21
一、热力学第二定律的表述与卡诺循环.....	21
二、熵与温熵图.....	23
§ 2—4 可用能(焓)的概念.....	26
§ 2—5 热量的传递.....	28
一、热阻与传热系数.....	29

二、热量传递的三种基本形式·····	30
三、传热系数的计算·····	40
四、平均温差·····	41
第三章 余热的来源、用途及计算·····	46
§ 3—1 余热的分类及来源·····	46
§ 3—2 余热的用途·····	51
一、余热的一般用途·····	51
二、余热利用的特点·····	56
§ 3—3 余热资源的计算·····	57
一、烟气余热量的计算·····	57
二、炉渣余热量的计算·····	57
三、产品余热量的计算·····	58
四、冷却介质余热量的计算·····	58
五、可燃气体余热量的计算·····	59
六、化学反应及残炭余热量的计算·····	59
七、冷凝回水余热量的计算·····	59
第四章 余热的应用技术·····	60
§ 4—1 概 述·····	60
§ 4—2 余热锅炉·····	63
一、余热锅炉在余热利用中的地位·····	63
二、余热锅炉的特点·····	64
三、余热锅炉的种类·····	67
四、余热锅炉的热工指标·····	68
§ 4—3 余热锅炉的设计方法·····	71
一、余热锅炉的回收率·····	72
二、余热锅炉的简单估算方法·····	75
§ 4—4 热交换器的分类及其设计计算方法·····	78
一、热交换器的种类·····	78

二、热交换器的一般设计方法.....	83
三、热交换器与管道流动阻力的简便计算.....	85
§ 4—5 气-气热交换器.....	87
一、同流热交换器.....	87
二、回转式热交换器.....	90
§ 4—6 热管换热器.....	98
一、热管的工作原理.....	98
二、热管的材料.....	99
三、热管的结构.....	100
§ 4—7 气-液热交换器与蒸发器、冷凝器.....	102
一、气-液热交换器.....	102
二、蒸发器与冷凝器.....	105
§ 4—8 中间介质法的发电装置.....	109
一、工质的选择.....	110
二、发电装置的容量.....	110
三、最佳蒸发温度与冷却水温升.....	113
四、凝结温度与冷凝压力.....	115
五、主要设备的选择.....	116
六、热力系统的设计计算.....	118
§ 4—9 热 泵.....	120
一、热泵理论.....	120
二、节能效益.....	122
三、热泵装置的最大经济温升.....	124
四、热泵装置的设计.....	125
第五章 锅炉节能	127
§ 5—1 概 述.....	127
一、锅炉节能的范围.....	127
二、锅炉节能的途径.....	128

§ 5—2 工业锅炉的化学清洗.....	129
一、锅炉水垢的形成与种类.....	130
二、垢层的溶解机理.....	131
三、化学清洗对基体金属的腐蚀及其防止.....	132
四、清洗工艺与系统的确定.....	133
§ 5—3 工业锅炉的改造.....	138
一、链条炉排.....	139
二、往复推动炉排与振动炉排.....	146
三、送风特性与二次风.....	149
四、炉拱.....	152
五、小型工业锅炉改造的有关数据估算.....	154
§ 5—4 工业锅炉的燃烧调整与维护方法.....	157
一、工业锅炉的燃烧调整.....	157
二、炉排的检修.....	159
三、锅炉的保养.....	162
§ 5—5 利用低品位燃料的锅炉 沸腾炉.....	162
一、沸腾燃烧的原理.....	163
二、沸腾炉的设计.....	164
三、沸腾炉存在的问题及改进措施.....	170
§ 5—6 蒸汽蓄热器.....	172
一、蒸汽蓄热器的结构及工作原理.....	172
二、蒸汽蓄热器的设计.....	176
第六章 集中供热与热水锅炉.....	181
§ 6—1 集中供热综述.....	181
一、集中供热的重要性.....	181
二、集中供热的经济性.....	184
三、实现集中供热的途径.....	186
§ 6—2 高温水供热.....	188

一、高温水供热的特点	188
二、供热管道	193
§ 6—3 热水锅炉	194
一、热水锅炉的水动力学	195
二、热水锅炉工作的可靠性	202
三、蒸汽锅炉改装为热水锅炉	204
§ 6—4 中低压发电机组的改造	207
一、低真空运行循环水供热方案	207
二、低背压式运行方案	210
三、改为抽汽供热机组方案	211
第七章 节能工程的经济分析	216
§ 7—1 概述	216
一、节能的概念与经济效益	216
二、节能工程经济评价的目的	218
三、节能工程经济评价考虑的因素	218
§ 7—2 收益与成本	219
一、节能工程收益的组成	219
二、节能工程投资费用的组成	220
§ 7—3 节能工程经济评价的主要方法	221
一、费用折现	222
二、净收益法	223
三、年度净收益法	224
四、收入成本比值法	225
五、投资回收率法	226
§ 7—4 节能工程的技术经济政策浅说	227
一、投资回收率	228
二、能源价格比	228
第八章 测试技术	231

§ 8—1 流量的测量	231
一、机翼型测速装置	231
二、动压测定管	235
三、节流孔板	240
§ 8—2 温度的测量	245
一、热电偶高温计	245
二、光学高温计	248
§ 8—3 烟气分析	250
一、奥氏分析器	250
二、氧量计	252
第九章 辅助设备的选择与维护	254
§ 9—1 泵与风机的选择	254
一、泵与风机的选取原则	254
二、泵与风机的选择方法	255
三、提高泵与风机运行的经济性	257
四、泵与风机的改造	258
§ 9—2 阀门	260
一、节能工程的阀门选择	260
二、阀门的阻力系数	262
三、节能工程常用阀门的型式与用途	263
§ 9—3 辅助设备的维护方法	269
一、泵为维护	269
二、风机的维护	269
第十章 节能技术展望	273
§ 10—1 热交换器的发展动向	273
一、换热管的研究与进展	273
二、热交换器污垢和涂层的研究	275
§ 10—2 锅炉节能技术的研究方向	276

一、煤浆新技术	276
二、真空式相变传热的新型热水锅炉	277
三、煤粉预燃室燃烧器	279
四、工业锅炉提高燃烧效率的研究动向	280
§ 10—3 余热利用技术展望	282
附 录	283
一、国际单位制与工程单位制的换算	283
二、常用工质的热力学性质	285
三、常用材料的热性质	296
四、常用工质的物理性质	298
五、炉渣中各种氧化物的真比热和平均比热	305
六、空气和烟气组分的平均比热	306
七、余热锅炉线算图	307
八、辐射放热系数线算图	309
九、三原子气体辐射系数线算图	310
十、复利系数表	313
十一、阀门的公称压力、试验压力与工作压力	31 ⁴
十二、阀门配管尺寸表	315
十三、基本符号表	316
主要参考文献	318

第 一 章

绪 论

§ 1—1 能源的基本概念

能源是指为人类生产与日常生活提供各种能量和动力的物质资源。我们所说的能源，既包括煤、石油、天然气、水力和核能等一次能源，也包括电、蒸汽、焦炭、煤气等二次能源，还有水、氧气、压缩空气等耗能工质所消耗的能源。

能源可分为常规能源与新能源两大类。一般我们把煤、石油、天然气和水力称为常规能源。新能源又称为非常规能源，它包括潮汐能、风力、地热、太阳能、生物能及核能等。新能源除核能外，其余部分与常规能源中的水力都属于再生能源，再生能源与有机燃料（煤、石油和天然气）不同，它可以较长期地使用。正因为这样，再生能源引起了世界各国的关注，并在积极开发和研究之中。现在，我们就这些新能源的开发应用情况作一简介。

一、太阳能

利用太阳的辐射能，是很有发展前景的一个领域。用太阳能取暖、供热水和制冷的成套设备，已开始商业化生产，但这些应用总的看尚趋于示范阶段。大规模的太阳能发电，无论是常规发电方式（热发电）还是光发电方式（通过光电器件，将太阳能直接转换为电能），是地面的还是空间的（在空间轨道可每天24小

时都发电，再用微波把电力送到地面接收站），都有许多需研究解决的问题，由于造价太高，实际运用尚有待时日。

二、地热

地球是一个巨大的热库，据一些研究者估计，若把地球上全部贮存的煤在燃烧时放出的热量作100%计算，那么石油的贮存量为煤的3%，可利用的核燃料为煤的15%，而地下热能的总量则为煤的一亿七千万倍。遗憾的是我们目前的技术水平只能开发地表能，这部分地表能仅仅是地热能极微小的一部分。国外现已有近二百万千瓦的地热发电厂。

三、潮汐能

潮汐是由于天体运动而形成的一种能源。它的范围虽然遍及四海，但只有在有利的海峡和海湾地区，方能开发利用。估计可供开发的潮汐能量，最多不超过现有水力资源的2%。世界上潮汐开发范围最大的是法国的潮汐水电厂，装有一万千瓦的贯流水轮发电机二十四台，年发电五亿度。

四、风力

地球表面的风力能量，相当于十三万亿度电。风力发电设备目前宜小型、分散，作为边远地区和孤立地区的电源最有利。由于大型风力发电机的叶片和蓄电设施等问题尚待研究，加上气象条件的限制，所以短期内难以扩大单机容量。

五、生物能

生物能是解决农村能源的一个重要途径。例如沼气就是一种生物能，它的热效率可达30~60%，同时还能增加大量的有机肥料，也能作为动力或发电，但不能用作大工业的能源。

六、核能

在所有新能源中，只有核能是解决目前和将来能源供应的唯一途径。核能大量发展之后，除发电外，还可以通过高温裂解或电解水来产生氢，用氢来作为燃料。这是一种与电能一样既干净