

# 余热回收利用系统 实用手册

上册

〔日〕一色尚次等著

710171

机械工业出版社

# 余热回收利用系统实用手册

上册

〔日〕一色 尚次 等著

王世康 乔麟荣 译  
卢济美 王其均  
包文滌 审校



机械工业出版社

本书介绍日本近年来在余热回收利用技术方面的研究成果。系统地阐述有关节能的基础理论,以日本各产业实际应用的余热回收利用系统为例,介绍各种系统和节能设备的基本原理、结构与评价方法,并探讨了今后余热利用方向。图文并茂,内容丰富。译著分上、下两册。可供从事热能动力工作的科技人员、管理人员参考,也可供企业领导干部、高等学校有关专业师生参考。

### 余热回收利用システム実務便覧

一色 尚次 等著

発行: 株式会社 コシ・テクノシステム

発刊日: 昭和56年4月15日

### 余热回收利用系统实用手册

上册

〔日〕一色 尚次 等著

~~王世康~~ 乔麟荣 译  
卢济美 王其均  
包文濂 审校

责任编辑: 周性贤 责任校对: 孙志筠

封面设计: 田淑文 版式设计: 胡金瑛

责任印制: 张俊民

机械工业出版社出版(北京阜成门外百万庄南里一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

开本 787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub>·印张30·插页1·字数727千字

1988年12月北京第一版·1988年12月北京第一次印刷

印 0.001—4,300·定价: 11.50元

ISBN 7-111-00702-6/TK·32

## 译者的话

能源是我国四化建设的基础。为了实现“翻两番”的宏伟目标，必须认真解决能源问题。我国能源资源是丰富的，但能源生产远远不能适应国民经济发展的需要。解决能源紧张的最现实、最有效的途径是节约能源。

《余热回收利用系统实用手册》一书较系统地阐述有节能的基础理论，以日本各产业实际应用的余热回收利用系统为例，介绍各种系统和节能设备的基本原理、结构与评价方法，并探讨了今后余热利用的方向。图文并茂，内容丰富。日本虽是一个能源十分缺乏的国家，但能源利用率相当高，他们的节能经验，值得借鉴。为此，我们将该书全文译出，供各行各业的领导干部、工程技术人员和广大读者参考。

本书共分九章，译著将分上、下两册出版。上册为1~4章，主要内容包括日本的节能政策、节能基础理论、各产业的余热回收利用系统及实际应用的余热发电系统等；下册为5~9章，主要内容包括工厂致冷、采暖系统，热管，余热锅炉，能量储存及各国余热利用动向等。由于各章节是由不同作者撰写的，而且涉及的范围较广，所以原书的单位、符号等很不统一。在翻译过程中，仅对图文不一致的单位、符号作了更正。由于我们水平有限，错误难免，敬请读者批评指正。

最后，向热情推荐本书的潘承孝教授表示深切感谢，并向在翻译与出版译著过程中给予各种支持与帮助的马春霆副教授和天津市余热利用技术研究会等表示衷心的感谢。

译者 1985年5月

## 单位换算表

物理量名称	书中采用单位 单位名称(符号)	法定计量单位 单位名称(符号)	单位换算
长 度	公里(km) 英尺(ft) 英寸(in) 英里(mile)	米(m)	1km=10 <sup>3</sup> m 1ft=0.3048m 1in=0.0254m 1mile=1609.344m
面 积	公顷(ha) 平方英尺(ft <sup>2</sup> ) 平方英寸(in <sup>2</sup> )	平方米(m <sup>2</sup> )	1ha=10 <sup>4</sup> m <sup>2</sup> 1ft <sup>2</sup> =0.0929030m <sup>2</sup> 1in <sup>2</sup> =6.4516×10 <sup>-4</sup> m <sup>2</sup>
体积, 容积	立方英尺(ft <sup>3</sup> ) 立方英寸(in <sup>3</sup> ) 英加仑(UKgal) 美加仑(USgal) 升(L, l) 桶	立方米(m <sup>3</sup> )	1ft <sup>3</sup> =0.0283168m <sup>3</sup> 1in <sup>3</sup> =1.63871×10 <sup>-9</sup> m <sup>3</sup> 1UKgal=4.54609dm <sup>3</sup> 1USgal=3.78541dm <sup>3</sup> 1L=1dm <sup>3</sup> 1桶=0.15899m <sup>3</sup>
质 量	磅(lb) 吨(t)	千克(公斤)(kg)	1lb=0.45359237kg 1t=10 <sup>3</sup> kg
热力学温度	摄氏温度(°C) 华氏温度(°F) 兰氏温度(°R)	开〔尔文〕(K)	K=°C+273.15 K= $\frac{5}{9}$ (°F+459.67) K= $\frac{5}{9}$ °R
旋转速度	转每秒(r/s) 转每分(rpm)	转每分(r/min)	1r/min=(1/60)s <sup>-1</sup> 1rpm=1r/min
压 力	巴(bar) 千克力每平方厘米(kgf/cm <sup>2</sup> ) 毫米水柱(mmH <sub>2</sub> O) 毫米汞柱(mmHg) 工程大气压(at) 标准大气压(atm) 磅力每平方英尺(lbf/ft <sup>2</sup> ) 磅力每平方英寸(lbf/in <sup>2</sup> )	帕〔斯卡〕(Pa)	1bār=10 <sup>5</sup> Pa 1kgf/cm <sup>2</sup> =0.0980665MPa 1mmH <sub>2</sub> O=9.80665Pa 1mmHg=133.322Pa 1at=98066.5Pa 1atm=101325Pa 1bf/ft <sup>2</sup> =47.8803Pa 1bf/in <sup>2</sup> =6894.76Pa
能量, 功, 热	千瓦时(kW·h) 英马小时(hp·h) 卡(cal) 马小时 英热单位(Btu)	焦〔耳〕(J)	1kW·h=3.6MJ 1hp·h=2.68452MJ 1cal=4.1868J 1马小时=2.64779MJ 1Btu=1055.06J
功 率	马力, 米制马力(法ch, CV, 德PS) 英马力(hp) 千卡每小时(kcal/h) 每小时英热单位(Btu/h)	瓦〔特〕(W)	1ch=735.499W 1hp=745.700W 1kcal/h=1.163W 1Btu/h=0.293071W

(续)

物理量名称	书中采用单位 单位名称(符号)	法定计量单位 单位名称(符号)	单位换算
密度	磅每立方英尺(lb/ft <sup>3</sup> ) 磅每立方英寸(lb/in <sup>3</sup> )	千克每立方米(kg/m <sup>3</sup> )	1lb/ft <sup>3</sup> =16.0185kg/m <sup>3</sup> 1lb/in <sup>3</sup> =27680kg/cm <sup>3</sup>
比容	立方英尺每磅(ft <sup>3</sup> /lb) 立方英寸每磅(in <sup>3</sup> /lb)	立方米每千克(m <sup>3</sup> /kg)	1ft <sup>3</sup> /lb=0.0624280m <sup>3</sup> /kg 1in <sup>3</sup> /lb=3.61273×10 <sup>-4</sup> m <sup>3</sup> /kg
质量流率	磅每秒(lb/s) 磅每小时(lb/h)	千克每秒(kg/s)	1lb/s=0.453592kg/s 1lb/h=1.25996×10 <sup>-4</sup> kg/s
体积流率	立方英尺每秒(ft <sup>3</sup> /s) 立方英寸每小时(in <sup>3</sup> /h)	立方米每秒(m <sup>3</sup> /s)	1ft <sup>3</sup> /s=0.0283168m <sup>3</sup> /s 1in <sup>3</sup> /h=4.55196×10 <sup>-8</sup> m <sup>3</sup> /s
动力粘度	泊(P, Po) 千克力秒每平方米(kgf·s/m <sup>2</sup> ) 磅力秒每平方英尺(lbf·s/ft <sup>2</sup> ) 磅力秒每平方英寸(lbf·s/in <sup>2</sup> )	帕斯卡秒(Pa·s)	1P=10 <sup>-1</sup> Pa·s 1kgf·s/m <sup>2</sup> =9.80665Pa·s 1lbf·s/ft <sup>2</sup> =47.8803Pa·s 1lbf·s/in <sup>2</sup> =689.476Pa·s
比能	千卡每千克(kcal/kg) 英热单位每磅(Btu/lb)	焦耳每千克(J/kg)	1kcal/kg=4186.8J/kg 1Btu/lb=2326J/kg
比热容, 比嫡	千卡每千克开尔文 [kcal/(kg·K)] 英热单位每磅华氏度 [Btu/(lb·°F)]	焦耳每千克开尔文 [J/(kg·K)]	1kcal/(kg·K)=4186.8J/ (kg·K) 1Btu/(lb·°F)=4186.8J/ (kg·K)
传热系数	千卡每平方米小时开尔文 [kcal/(m <sup>2</sup> ·h·K)] 英热单位每平方英尺小时华 氏度 [Btu/(ft <sup>2</sup> ·h·°F)]	瓦特每平方米开尔文 [W/(m <sup>2</sup> ·K)]	1kcal/(m <sup>2</sup> ·h·K)=1.163W/ (m <sup>2</sup> ·K) 1Btu/(ft <sup>2</sup> ·h·°F)=5.67826W/ (m <sup>2</sup> ·K)
导热率	千卡每米小时开尔文 [kcal/(m·h·K)] 英热单位每英尺小时华氏度 [Btu/(ft·h·°F)]	瓦特每米开尔文 [W/(m·K)]	1kcal/(m·h·K)=1.163W/ (m·K) 1Btu/(ft·h·°F)=1.73073W/ (m·K)

## 前 言

由于石油供应不稳定和价格猛涨，以及电和煤气提价，各种原材料价格相应上涨等因素的影响，因而使日本各产业正面临所谓“能源危机”的重大难关。

对于迄今仍然依赖丰富而廉价的石油生存的日本来说，面对这种危机，首先必须推进石油代替能源的开发工作。但是，开发这种代替能源要有一段准备时期，所以作为应急的对策，是以不降低原有生产率及最大限度地减少石油和电等能源的消费量，谋求合理用能为前提，对各产业的结构和技术按节能的形式进行彻底地改造，并且对体制进行改革。经过上述努力而获得的节能技术，将是继石油之后过渡到贵重的代替能源的最佳准备。

从这一意义上来说，厉行通产省最近制订的《关于能源使用合理化法律》所规定的节能义务是非常及时的。

考察各产业和各工业节能的实际方法可知，将过去无谓地抛弃的排气和废热水等各种余热进行回收利用，对于节省石油消费量起到极大的效果。余热回收技术具有各种不同的形式和阶段，如预热空气、热装料等的余热焔再利用方式；依靠氟龙透平和蒸汽透平等实现动力化、发电的余热焔利用方式；使用吸收式热泵和脱湿装置等改善余热的品质进行再利用的热泵方式等等。当前已提出许多余热利用方式，有的正处于试验阶段，有的已取得较大成果，也有的还处于摸索阶段。最近产业界各公司对于研究和实施余热回收的热情十分高涨，往往使人们瞠目而视。

在这种形势下，我们深深地感到，将各种有关余热回收的先进技术汇集成册，是推进余热回收和节能技术发展的一件必不可少的事情，因而计划出版《余热回收利用系统实用手册》一书。在有关政府部门、大学、各产业的许多专家的热情赞同和协助下，该书终于与读者见面了，这是十分令人欣喜的。

就日本的节能技术而言，比欧美各国先进，已提出许多创造性的、有成效的技术，本书收集了这方面的资料，内容十分丰富。

我们深信，若能按照本书实行适合各公司的新的生产方式，将大大有助于日本的节能。

执笔者代表 东京工业大学教授  
工学博士 一色 尚次

## 执笔人员一览表 (按执笔顺序排列)

岡本 秀樹	通産省資源能源庁石油代替能源科輔佐科長 計劃班長
根津 浩一郎	日本工程標準 (JES) 日本環境技研 (株) 規劃室長
一色 尚次	東京工業大學工程系教授 生產機械工程專業應用熱學
仁井田 和雄	千代田化工建設 (株) 工藝技術部副主任
村田 朋美	新日本煉鐵 (株) 基礎研究所科長研究員
堤内 學	高壓氣安全協會 容器檢查部部長兼東京檢查辦事處處長
広井 和男	東京芝浦電氣 (株) 計測事業部檢測控制系統設計部部長
中原 崇文	三菱重工業 (株) 高砂研究所燃燒傳熱研究室室長
佐田 哲男	日本鋼管 (株) 京浜煉鐵廠能源部技術室科長
奥本 弘三	三井東洋化學 (株) 大阪工業所技術部原燃料管理室調查主任
猪井 啟之	昭和電工 (株) 橫濱工廠蘇打科輔佐科長
瀨野 幸一	日本礦業 (株) 石油事業總部石油技術部技師長
吉井 正勝	丸善石油化學 (株) 千葉工廠製造部技術科
藤井 石根	明治大學工程系教授
中島 常生	三菱重工業 (株) 神戶造船廠鑄造部長
下河 章啓	三菱重工業 (株) 神戶造船廠規劃部主管
川合 純夫	(株)大川原製造廠 開發部副部長
酒井 勝司	雪印乳業 (株) 裝置技術部裝置技術
松野 勉	王子製紙 (株) 技術總部
村上 弘二	中外爐工業 (株) 開發研究部研究科長
黒田 吉彦	日本石棉 (株) 袋井工廠技術科科長
門馬 広美	日本石棉 (株) 袋井工廠技術科主任
大矢 彰雄	日本石棉 (株) 袋井工廠技術科
依田 保男	日本石棉 (株) 總公司技術部主任
鈴木 俊行	三井造船 (株) 機械事業部設備工程設計總部科長
森 忠夫	(株)日立製造廠 系統事業部主任技師
石野 寿生	(株)日立製造廠 電力事業部火力技術總部燃氣透平部
大岡 五三実	大阪瓦斯 (株) 技術部輔佐部長
大岡 憲司	川崎重工業 (株) 鍋爐事業部空調設計科科長
杉本 滋郎	(株)日立製造廠 土浦工廠制冷機設計部部長
上田 宏	(株)荏原製造廠 冷熱機械部部長
立花 啓助	三菱重工業 (株) 技術總部名古屋研究所副所長
宮崎 菫平	大阪瓦斯 (株) 特需開發室股長
山本 格	公害資源研究所 公害第4部3科主任研究員



原田 和夫	日立造船(株) 技术研究所热机研究室候补专业部长
平野 栄	石川島通用锅炉(株) 技术部开发组科长
石川 正道	昭和铝(株) 节能机械营业部长
小泉 達也	古河电工(株) 中央研究所热管开发组组长
古谷 修一	古河电工(株) 中央研究所热管开发组
松本 厚二	古河电工(株) 中央研究所热管开发组
田中 修	三菱电机(株) 神户制造厂直流电机制造部专业科长
大串 哲郎	三菱电机(株) 中央研究所机电研究部门冷热系统组
本田 一郎	铃木金属工业(株) 董事热管事业部长
友田 勇	川崎重工业(株) 锅炉第2部锅炉设计科科长
平嶋 雅雄	(株) 田熊 综合研究所研究部长
越智 淑之	(株) 田熊 机械总部代理部长
渡辺 英行	三洋电机空调设备(株) 总公司营业部工程技术科股长
中村 洋男	荏原渗滤(株) 第2设计部部长
安田 顕弘	(株) 田熊 综合研究所董事研究部长
片山 功藏	東京工业大学工程系教授 机械工程专业
小沢 丈夫	电子技术综合研究所 能源系统部蓄能研究室长
神本 正行	电子技术综合研究所 能源部能源研究室
甲斐 潤二郎	三菱电机(株) 中央研究所能源材料专业部长
二階 勲	石川島播磨重工业(株) 技术研究所原子能机械部
保坂 彬夫	工业技术院月光室担任余热利用技术研究开发官

# 目 录

第一章 余热回收系统的必要性 .....	1
第一节 节能法、特别折旧制度 及余热利用对策 .....	1
1. 节能政策的概要 .....	1
1.1 前言 .....	1
1.2 推进节能的必要性 .....	1
1.3 节能政策及节能工作的开展 .....	2
2. “节能法”的概要 .....	3
2.1 本法的宗旨 .....	3
2.2 本法的能源对象 .....	3
2.3 有关工厂的措施 .....	3
2.4 有关建筑物的措施 .....	7
2.5 有关机械设备的措施 .....	7
2.6 其它措施 .....	9
3. 余热回收的重要性 .....	9
4. 关于节能特别折旧制度 .....	9
4.1 特别折旧制度的意义 .....	9
4.2 制度的概要(1980年4月1日前 制订的制度) .....	10
4.3 适用对象的设备概要 .....	12
第二节 城市的热环境与区域余热利用 .....	47
1. 城市的热环境问题 .....	47
1.1 城市的热岛 .....	47
1.2 伴随能源消费所排放 的人为热量 .....	49
2. 作为热环境对策的余热利用 .....	52
2.1 热环境对策的项目 .....	52
2.2 作为热环境对策的余热利用 .....	53
3. 余热源实际状况的分析 .....	56
3.1 余热源实际状况的调查 .....	56
3.2 余热实际状况的分析 .....	57
4. 区域余热利用的可能性及其评价 .....	60
4.1 可能回收的余热量的计算 .....	60
4.2 区域余热利用的可能性 .....	65
4.3 区域余热利用的节能 .....	66
4.4 区域余热利用的展望 .....	67
第二章 余热回收利用技术 的基本问题 .....	71
第一节 回收余热节能的热力学 各阶段及其评价 .....	71
1. 前言 .....	71
2. 工厂余热的分类和代表性的余热 ——热排水和排气 .....	71
3. 节能的各个阶段 .....	72
4. 从热力学上看,余热利用的三种 主要情况 .....	74
5. 焓利用的热力学 .....	74
6. 焓利用的热力学 .....	75
7. 利用氟龙循环的余热动力化 .....	76
8. 工质的选定 .....	78
9. 焓利用(动力化)的实例 .....	80
10. 余热热泵利用的分析 .....	83
11. 利用余热致冷和升温 .....	84
12. 总结 .....	85
第二节 节能工艺过程的数学分析和热能 的综合利用 .....	87
1. 前言 .....	87
2. 工艺系统 .....	87
3. 利用热力学研究方法分析能量 的有效利用 .....	88
3.1 焓和焓平衡 .....	88
3.2 热利用线图 .....	91
3.3 工艺过程的改进和热能 的综合利用 .....	94
3.4 换热网络及其简化 .....	95
3.5 能量有效利用的程序 .....	96
4. 应用示例 .....	97
4.1 分析例 I ——二元系 的蒸馏系统 .....	97
4.2 分析例 II ——原油常压 蒸馏系统 .....	99
4.3 分析例 III ——蒸气动力系统 .....	101
4.4 合成例 I ——换热系统 .....	103
4.5 合成例 II ——二元系蒸馏系统 .....	105
4.6 合成例 III ——多元系蒸馏系统 .....	106
4.7 合成例 IV ——化学工艺系统 .....	106
4.8 合成例 V ——液化天然气(LNG) 冷热发电系统 .....	109
5. 结束语 .....	110
第三节 废气所造成的腐蚀和对策 .....	116
1. 前言 .....	116
2. 余热回收设备的低温腐蚀和对策 .....	117

2.1 硫酸露点腐蚀	117	8.1 [例1] 变更换热方式 提高热回收	171
2.2 盐酸露点腐蚀	123	8.2 [例2] 回收排气中有效成分时 的灾害	173
3. 余热回收设备的高温腐蚀	125	8.3 [例3] 改进由漏泄所造成的危险, 达到安全化	174
3.1 由卤素和卤素化合物所产生 的高温腐蚀	125	8.4 [例4] 回收焦炭余热, 改进环境 和安全卫生条件	176
3.2 由离子化合物所形成的 高温腐蚀	126	9. 今后余热回收的课题	179
3.3 由粘着物所形成的高温腐蚀	127	第五节 节能的计测和控制技术	180
3.4 高温腐蚀对策	131	1. 前言	180
4. 结束语	133	2. 从计测控制看节能的基本观点	180
第四节 余热回收时的环境和安全 卫生对策	135	3. 最新计测控制机器的动向	181
1. 前言	135	3.1 传感器	181
2. 过量供给能量的功过	135	3.2 运算控制器	183
2.1 环境的污染	135	3.3 操作端	185
3. 余热回收的对象和分类	136	4. 最新计测控制技术的动向	186
3.1 余热回收的对象	136	4.1 修正计测技术	187
3.2 余热回收对象的分类	136	4.2 运算控制技术——极限控制	189
3.3 余热发生源的形态和回收 的难易	136	4.3 操作端修正技术——控制性 的改善, 应答性的改善	190
3.4 提高绝热性能, 防止散热损失	137	5. 在余热回收利用系统中的应用	191
4. 余热回收时的热计算和评价	137	5.1... 加热炉余热锅炉的控制	192
4.1 热平衡和热效率	137	6. 结束语	193
4.2 燃烧加热炉的计算	142	第六节 余热回收利用的计划 and 调查程序	194
5. 化工厂的热循环和余热回收示例	142	1. 概述	194
5.1 化工厂的热循环	142	2. 余热源调查	195
5.2 放热反应热的回收	143	2.1. 性质区别的一览表	195
5.3 乙烯工厂中的热回收示例	144	2.2. 计算排出量	195
5.4 毒性化学废液焚烧时的 余热回收	148	2.3. 排出热的温度测定	198
6. 废弃物的能量回收	149	2.4. 比热的推算	198
6.1 寻求从化工厂废弃物中回收 可用能源的方法	149	2.5. 余热源调查的示例	199
6.2 回收利用废弃物的能量	152	3. 热利用方面的调查	203
6.3 防止余热回收用的废油的恶臭	152	3.1 低温范围的利用方法 (常温 ~100℃)	203
7. 余热回收时的环境 and 安全对策	154	3.2 中温范围的利用方法 (100~300℃)	206
7.1 从废弃物中进行余热回收时 的环境 and 安全对策	154	3.3 高温范围的利用方法 (300~600℃)	208
7.2 防止废弃物和余热回收时 的灾害 and 公害的观点	155	3.4 余热利用调查示例	208
7.3 防止伴随余热回收产生的灾害 and 公害的对策	155	4. 介质的选定	209
8. 改善余热回收时的安全性示例	171	4.1 从利用方面考虑介质的选择	209
		4.2 从管道输送方面考虑介质	

的选择	209
4.3 从传热能力方面考虑介质的选择	211
4.4 从能量转换方面考虑介质的选择	211
4.5 从循环效率方面考虑介质的选择	212
5. 蓄热槽和系统	213
5.1 蓄热方式和蓄热材料	213
5.2 蓄热的规模	214
5.3 蓄热的编入	214
5.4 系统的组成方法	217
5.5 系统的最佳化	219
第七节 从余热回收利用对策实例看发展趋势和今后的课题	221
1. 绪言	221
2. 余热回收	222
2.1 在节能对策中余热回收的评价	222
2.2 余热回收的理想状态	222
2.3 余热的种类和回收	224
3. 余热回收设备的现状	225
3.1 余热回收的事例	225
3.2 空气预热器	227
3.3 气体预热器	230
3.4 余热锅炉	231
3.5 余热回收发电	234
3.6 高炉炉顶压回收发电	237
3.7 蒸发冷却	238
3.8 余热的直接利用	239
4. 余热回收的变迁	240
4.1 余热回收对象的变迁	240
4.2 余热回收设备的变迁	241
4.3 余热回收对象温度的变迁	242
5. 余热回收今后的课题	243
5.1 提高回收效率	243
5.2 耐热材料的要求	245
5.3 耐蚀性的改善	246
5.4 回收能量的储存	246
6. 今后的余热回收	246
7. 结束语	247
第三章 各产业部门的余热回收系统	249
第一节 一般化工厂工艺过程的低温余热的回收和利用	249

1. 引言	249
2. 多台设备组合有效地进行热回收的示例——折算成蒸气为45 t/h的热回收	250
2.1 流程图的说明	250
2.2 热回收系统及其成果	251
2.3 计划实施方面的问题	251
3. 其它实施示例	253
3.1 依靠设置副再沸器削减蒸馏塔的蒸气量	253
3.2 其它回收蒸馏塔潜热损失的示例	254
3.3 回收冷却水带走热量的示例	254
4. 结束语	255
第二节 回收副产氢气的有效利用系统和实际(一般化工厂)	256
1. 引言	256
2. 氢气的特性	257
2.1 一般特性	257
3. 氢气燃烧系统	259
3.1 基本观点	259
3.2 燃烧系统	261
3.3 燃烧开始与停止	264
4. 经济性	264
第三节 利用炼油厂流化催化裂化装置排气的余热回收系统	266
1. 引言	266
2. FCC装置的概要	266
3. FCC装置的排气能量	267
4. FCC装置的排气膨胀透平系统	268
4.1 系统的组成	268
4.2 膨胀透平	269
4.3 第3级旋风除尘器	272
4.4 系统设计上的问题	272
5. 在炼油厂中的实施示例	276
第四节 石油化工厂中的余热回收	277
1. 引言	277
2. 乙烯工厂的概要	277
2.1 热裂化工序	277
2.2 裂化气体的急冷工序	278
2.3 裂化气体的压缩工序	278
2.4 分离工序	278
3. 乙烯工厂中的热回收	278
3.1 裂解炉中的热回收	278
3.2 急冷工序中的热回收	279

4. 能源的有效利用 .....	281	2.3 提高热效率的措施 .....	310
5. 在乙烯工厂中的节能事例 (急冷水的余热利用) .....	283	3. 高温、高湿度干燥及其应用 .....	313
5.1 概要 .....	283	3.1 在高湿度条件下的干燥 .....	313
5.2 作为回收对象的余热 .....	283	3.2 开发实际装置 .....	314
5.3 余热回收的方法 .....	284	3.3 运转操作例 .....	315
5.4 结果 .....	284	4. 干燥装置的余热有效利用 .....	317
6. 今后的节能 .....	284	5. 结束语 .....	318
6.1 依靠运行管理维持节能 .....	285	第八节 高湿度含尘气体的余热回收 (食品工厂)——利用蓄热器的余热回收 .....	319
6.2 管理系统的改善和集中化 .....	285	1. 前言 .....	319
6.3 低温热源的有效利用 .....	285	2. 关于食品工业中的高湿度粉尘余热 .....	319
6.4 更大范围的节能 .....	286	3. 关于喷雾干燥机排气余热回收用换热器 .....	320
第五节 水泥厂中的节能对策 .....	286	4. 蓄热器余热回收系统 .....	322
1. 引言 .....	286	5. 结束语 .....	324
2. 水泥制造方法的概要与使用的能源 .....	286	第九节 造纸工业中的热回收 .....	325
3. 水泥工业的节能对策 .....	287	1. 前言 .....	325
3.1 水泥窑的形式、热消耗量的变化 .....	287	2. 纸浆制造过程的概要和单位能源消费量 .....	325
3.2 关于其它节能方法 .....	289	2.1 纸浆生产过程 .....	325
4. 结束语 .....	292	2.2 造纸过程 .....	326
第六节 铸造工厂中的余热利用系统 .....	292	2.3 消耗能源的主要过程 .....	326
1. 引言 .....	292	3. 机械纸浆过程的热回收 .....	328
2. 余热源与利用对象 .....	293	4. 化学纸浆过程的热回收 .....	328
2.1 余热回收对象 .....	293	4.1 蒸煮过程 .....	328
2.2 对象炉的余热特性曲线 .....	294	4.2 漂白过程 .....	330
2.3 余热利用对象 .....	295	4.3 黑液浓缩、燃烧和药品的回收过程 .....	331
3. 余热利用设备的设计 .....	295	4.4 回转窑 .....	332
4. 主要机器的概要和特点 .....	297	5. 造纸机干燥过程的热回收 .....	333
4.1 蓄热装置(蓄热罐与贮热水槽) .....	297	6. 结束语 .....	335
4.2 电弧炉系统的余热回收 .....	297	第十节 各种工业炉的余热利用实例 .....	336
4.3 热处理炉的余热回收 .....	301	1. 关于工业炉余热回收的意义 .....	336
5. 运行状况及实际效果 .....	302	1.1 工业炉的热效率和节能对策 .....	336
5.1 运行概况 .....	302	1.2 余热的回收 .....	337
5.2 15 t 电弧炉系统 .....	303	2. 回收余热的利用方法和投资效果 .....	338
5.3 蓄热装置 .....	303	2.1 回收余热的利用方法 .....	338
5.4 蓄热罐的绝热和成层特性 .....	305	2.2 余热回收的注意事项 .....	342
6. 结束语 .....	305	2.3 投资效果 .....	342
第七节 干燥装置中的节能对策 (食品工厂) .....	309	3. 工业炉用余热回收装置 .....	343
1. 前言 .....	309	3.1 蓄热器 .....	343
2. 干燥装置热效率的提高和问题 .....	309	3.2 陶瓷间壁式换热器 .....	344
2.1 干燥前的过程 .....	309		
2.2 干燥装置的热效率和经济性 .....	309		

3.3 金属间壁式换热器	346	7. 结束语	394
4. 预热空气用燃烧装置和燃烧控制	352	第二节 中低温(150~400℃)余热利用	
5. 各种工业炉的余热利用例	355	发电系统——采用氟龙介质的热回收发电装置及其系统	395
5.1 钢板加热炉	355		
5.2 悬链式带钢热处理炉	359	1. 前言	395
5.3 钟罩式卷材退火炉	361	2. 氟龙透平的基本内容	395
5.4 材料余热的利用	361	2.1 氟龙透平	395
5.5 在低温炉上的应用	361	2.2 氟龙透平的基本循环	396
5.6 排气燃烧热的利用	362	2.3 氟龙介质	396
第十一节 工厂蒸汽管道热损失的回收利用		3. 油-氟龙循环发电系统	398
——日本石棉公司(株)		3.1 油-氟龙双流体方式的必要性	398
袋井工厂	365	3.2 系统的工作原理及特性	399
1. 前言	365	3.3 中间载热体及透平工质的特性	399
2. 依靠管道保温的节能	366	3.4 直接接触换热器的特性与介质耐热性的提高	399
3. 阀门、疏水阀等处的热损失	372	3.5 油-氟龙发电的基本装置的输出特性	403
4. 从蒸气工作装置中的热回收	374	3.6 机器的组成与主要机器的构造	403
5. 结束语	376	4. 氟龙透平发电系统适用的各种余热	404
第四章 余热利用的实际发电系统	377	4.1 各种对象的余热源	404
第一节 中低温余热发电系统——采用有机媒质的热回收发电装置及其系统	377	4.2 热效率的分析	405
1. 前言	377	4.3 经济分析	406
2. 热回收循环	377	4.4 炼铁厂的氟龙透平发电系统	407
2.1 基本循环	377	4.5 水泥工厂的油-氟龙发电装置的设计示例	412
2.2 复合循环及其效率	378	4.6 炼油厂及石油化工厂氟龙透平发电系统	414
3. 热回收的动力	379	5. 其它氟龙透平发电系统	416
3.1 理论最大可利用量	379	5.1 利用废热水的直接接触式换热法的氟龙透平发电系统	416
3.2 实际循环	380	5.2 低温差的发电系统	416
4. 工质	381	6. 结束语	417
4.1 用作工质的水	381	第三节 回收燃气透平的余热作为热源的蒸气透平发电系统(燃气透平-蒸气透平联合系统)	418
4.2 氟利诺尔85	381	1. 前言	418
4.3 其它工质	382	2. 联合装置的种类	418
5. 热回收使用实例	383	2.1 给水加热循环	420
5.1 发电装置的主要设备细目	383	2.2 增压锅炉循环	420
5.2 发电装置的主要特征	386	2.3 排气再燃循环	420
5.3 运转结果	388	2.4 排气助燃循环	420
5.4 大型设备的使用实例	391	2.5 余热回收循环	420
5.5 适用范围	391		
6. 组成机器	391		
6.1 锅炉	391		
6.2 透平	394		
6.3 冷凝器	394		
6.4 再生器	394		
6.5 控制、安全装置	394		

3. 联合装置的动力.....	421	2. 兰肯循环 .....	443
3.1 美国的动态.....	421	2.1 单级单工质兰肯循环.....	445
3.2 欧洲的动态.....	421	2.2 多级兰肯循环.....	447
4. 余热回收型联合装置的概况 .....	422	2.3 混合工质的兰肯循环.....	447
4.1 装置的组成.....	422	3. 天然气直接膨胀方式 .....	452
4.2 装置的热循环.....	423	3.1 海水作为热源的发电.....	453
4.3 装置的种类.....	424	3.2 与兰肯循环的组合.....	453
4.4 装置的性能.....	426	4. 减少压缩动力的气体透平循环 .....	458
4.5 装置的主要机器.....	427	4.1 氮气循环气体透平.....	458
4.6 装置的控制.....	433	4.2 再生式开式循环气体透平.....	459
5. 余热回收型联合装置的实际状况 .....	434	4.3 氮气透平与开式循环透平 的联合循环.....	460
5.1 美国的实际状况.....	434	4.4 联合循环的应用.....	460
5.2 日本的实际状况.....	437	5. LNG基地的动力回收与削减 .....	461
6. 结束语 .....	437	5.1 LNG基地的能量消耗 .....	461
第四节 利用LNG的发电系统		5.2 削减BOG压缩机动力的方法 .....	461
(冷热发电).....	439	5.3 其它的动力回收及削减.....	462
1. LNG与棚 .....	439		

# 第一章 余热回收系统的必要性

## 第一节 节能法、特别折旧制度及余热利用对策

### 1. 节能政策的概要

#### 1.1 前言

当今以石油为中心的能源可比作为我们日常生活和生产活动的“血液”，是十分珍贵的，但当前确保能源的稳定供应已变得愈来愈困难了。

自从1973年秋的“石油危机”以来，由于石油输出国组织(OPEC)对石油的禁运以及将石油价格抬高四倍之多，因而改变了过去那种易于获得丰富而廉价的石油的局面。正因为产油国对石油供应的提价以及限制输出等原因，所以笔者认为世界能源供应将是中、长期内极为严重的问题。在期待新燃料和核聚变等可能代替石油而得到正式普及的21世纪之前的这一段时间，可称得上是“能源峡谷”，故应不断提高认识，迎接能源供应非常不稳定的时代。

再注意一下最近国际石油市场的情况，自1978年秋到1979年，原油供求明显紧张，使人们为石油供应感到不安。由于在此期间，原油价格约提高两倍之多，因而出现了所谓的“第二次石油危机”。

幸而，由于石油消费国在节约石油方面取得进展以及经济停滞等原因，石油需要量减少了，因而缓和了第二次石油危机，显得比较平静。虽然如此，今后还需要更进一步地努力推进以国际能源协会(IEA)会员国为中心的节能和开发引进石油代替能源等，抑制原油的输入。

#### 1.2 推进节能的必要性

在资本主义国家，日本是仅次于美国的第二位能源消费大国。而日本国内能源资源贫乏，所需能源中，约88%的能源要靠进口。可见，依赖进口能源的程度是相当高的。其它资本主义国家的能源依赖进口的程度如表1-1-1所示，美国约为20%，联邦德国约为55%。

表1-1-1 一些国家依赖进口能源的程度(%)

国 家	日 本	联 邦 德 国	英 国	法 国	美 国
总能源依赖进口的程度	87.5	55.4	26.3	74.0	20.4
石油依赖进口的程度	99.8	96.1	57.8	99.0	45.8

注：1. 为1977年数据。

2. 引自日本资源能源厅资料。

从能源的种类看，石油使用量占总能源的百分率，欧美的一些国家约为50%，而日本则达到75%，因此日本容易受到石油形势不稳定的影响。

日本为了转变这种能源供给方面的弱点以及避免类似石油危机的那种事态，因此推进石油代替能源的开发和利用，同时在能源消费方面，有必要积极地谋求节能化。

节能对策特别要靠每个国民的意愿和努力，才可期待取得相当的成效。根据这种见解，可以说全民节能相当于国民生产出“纯国产的能源”。



在1979年汇总的日本长期能源需求预测(草案)中指出,在大幅度增加原子能、液化天然气、新燃料油等供给的同时,依靠生产、生活供应、运输等部门积极地推进节能,可望抑制石油输入量的增加。另外,在同一个预测草案中所提出的节能指标是:1985年度的节能率为12.1%,1990年度为14.8%,1995年度为17.1%(皆以1973年度为基准)。长期能源需求预测草案如图1-1-1所示。

### 1.3 节能政策及节能工作的开展

在上述背景下,日本政府以“关于能源使用合理化法律”<sup>①</sup>(通常称为“节能法”)为核心,开展各种各样的节能工作,如促成节能设备的投资;推进节能技术的研究开发(月光计划);宣传节省石油的对策,做到人人皆知;由节能中心进行普及启蒙教育等等。

“节能法”,如后面所述,它是根据产业、民用、运输等各个能源消费部门的特点,以节能化为目标,强制地用基本法律形式确定下来。象这样的综合立法的例子,在其它国家尚未见到过

先例。“节能法”的基本出发点,是为了谋求国民生活的稳定发展,对日本经济的增长不受干扰的关切,集中国民的智慧和精力,在能源消费的各阶段,尽可能做到有效而合理地使用能源。

从中、长期来看节能的实际效果,因负担实施节能设备的投资是相当大的,因此作为促进节能的政策手段之一是在金融、税收方面制订相应措施。即对于产业部门节能设备投资的通融资金制度是依靠日本开发银行、中小企业通融资金公营贷款机关等;另外对于住宅绝热保温结构的改造,以及新建绝热保温结构的住宅,设立住宅通融资金公营贷款机构的补贴通融资金制度。在税收方面,对节能设备的投资实行特别折旧制度以及减轻固定资产税制度。

为了有计划的而且有成效地进行综合节能技术的开发,自1978年以来,推进了“节能技术研究开发制度”(“月光计划”)。它把从基础研究到开发利用阶段的节能技术研究工作列为国家项目,同时积极地推广和应用民间的节能技术研究成果,这是一个雄心勃勃的计划。“月光计划”的主要内容有下列几方面:

#### (1) 余热利用技术系统

这是有效地回收和利用从工厂等排放的余热之技术。

#### (2) 磁流体发电(MHD)

<sup>①</sup> 以下均译为“节能法”。——译者注

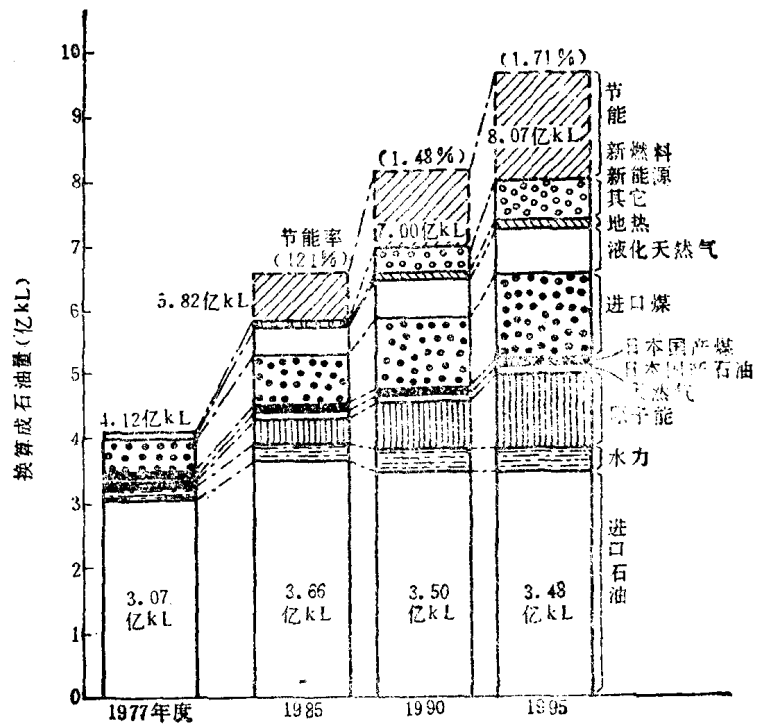


图1-1-1 长期能源需求预测草案