

combined
HEAT & POWER
generating systems

[波] J. Marecki 著
蔡颐年 瞿钰 译
刘英哲 冯霄

西安交通大学出版社

31776303

热 电
联 合
生 产
系 统

3 1 7 7 6 3 0 3

TK11
14

HK50/01

热电联合生产系统

[波] J. Marecki 著

蔡颐年 瞿 钰 译
刘英哲 冯 霄



C0157513

西安交通大学出版社

TK11
14

TM6

内 容 简 介

本书论述热电联合生产系统，立论严谨，说理清楚，数据充实，举例详尽，适于有关大专院校师生、设计人员和科技人员教学、设计和科研参考之用。

(陕)新登字 007 号

热电联合生产系统

[波]J. Marecki 著

蔡颐年 冯钰 译
刘英哲 冯青

责任编辑 孙文声

*

西安交通大学出版社出版

(邮政编码 710049)

西安交通大学出版社印刷厂印装

陕西省新华书店经销

*

开本 850×1168 1/32 印张 6.625 字数：163千字

1992年10月第1版 1992年10月第1次印刷

印数：1—2000

ISBN7-5605-0485-X / TK·45 定价：7.00 元

译 序

热电联产是英文 Combined Heat and Power (编写为 CHP) 一词的中文译名。作为一种动力装置, 问世已有一百多年, 在我国也有半个世纪以上了。但是我们认为从技术学科的分类来看, 热电联产却应该被作为最近十余年来才刚刚兴起的广义“联产技术”(Cogeneration Technology) 的一个分支看待。据我所知, 在科技发展史上, 这种先出现分支学科后出现主流学科的现象并不罕见。

主流学科出现以后并不宣告分支学科的终止发展。正相反, 它可以在主流学科继续发展的同时进一步在自己的领域内深入发展下去。热电联产与广义的联产技术之间就很典型地体现了这种关系。从 1983 年到 1985 年集中地出版了一系列广义联产技术方面的书籍, 但是 1987 年却又出版了两本专门研究热电联产问题的书, 其中一本就是我们现在翻译出来的《热电联合生产系统》。附带也介绍一下另一本, 它叫作《联产技术: 热电联合生产 (CHP)》。它是由英国皇家学会院士 Horlock 教授所写, 是专门研究这种装置的热力学原理和经济问题的著作。从这本书的题名看出, 国外并不很严格地区分“联产技术”和“热电联产”, 但是我们觉得从学科的角度这样区分一下颇有好处, 至少从概念上可以澄清一些模糊认识。

近十年左右, 西安交大能源系在“能源工程”的领域内也进行过一些探索和研究, 包括热电联产和广义联产技术这两方面的内容。我们欣喜地看到我国能源工程工作者在这一较新的领域内也作出了一定的贡献。比较及时地将国外这方面的一些重要研究成果翻译出来供国内学者参考也算是这种贡献之一吧!

借此机会我想说明一下, 在已见到的许多“热电联产”和广义

“联产技术”领域内的英文著作之中，我们选择这本《热电联合生产系统》来翻译的主要理由。

首先一点是这本著作涉及的范围十分明确，它是专门研究（狭义的）热电联产问题的专著。与此对比，例如 Horlock 教授那本，在书名上就把联产技术（Cogeneration）与热电联产（CHP）相提并列，似乎有点不分彼此之嫌，颇不利于初学者领会。而本书各章内容的划分则有很强的逻辑性和科学性，易于为读者接受。

其次，本书立论严谨，说理清楚，举例详尽，在维持相当高学术水平的同时，又具有广泛的工程实用价值。我们用这些评语并非暗示其它著作在这些方面有什么欠缺。但我们十分肯定，这本著作是完全符合这些评语的。

最后，本书作者在波兰革但斯克市科技大学执教多年，专攻动力厂及能源经济。此次受英国电机工程学会 Swift-Hook 教授的邀聘用英文编写这本专著，成为一本相当完备的权威性教材。尤其值得提出的是，J. Marecki 教授凭他多年的教学经验和科研实践，在撰写本书时预先就考虑到会遇到的一些困难和问题，并在写法上采取了对策，从而进一步提高了本书的实用价值。

本书译者分工情况如下：蔡颐年同志总负责并负责第一章；瞿钰同志负责原序和第六章；刘英哲同志负责第五、七章并统稿；冯霄同志负责符号表，第二、三、四章并协助统稿。译文中倘有不当之处，衷心欢迎读者指正。

在本书的印刷出版方面，我们十分感谢西安交大出版社社长赵世星同志和副总编朱兆雪同志的关心和支持。本书责任编辑孙文声同志和其他有关人员的大力协助，也是与本书最后得以付梓分不开的，我们在此一并表示深切感谢。

蔡颐年 1991.8.15.

原 序

本书的主旨在于陈述热电站中热能和电能联产方面的主要技术和经济全貌。第一部分讨论联产系统中应用的蒸汽循环以及求取在工业电站和区域供热站中所生产热和电的效率。对背压式和抽汽-凝汽式汽轮机组的特性和工况，则以分析和图解的方式探讨，并给出联产系统中所产生的功率和能量的详细数值计算实例。

第二部分叙述热电联产的经济效果，它是相对于纯凝汽式电站和供热站所组成的分产系统而言的，以燃料的节省表示之。在这方面一并讨论决定联产的效益极限和热电站的优化问题的一些因素；并阐述将联产费用分摊入热能与电能的详尽计算方法。最后叙述了热电站中应用的燃气蒸汽联合系统。

本书是以著者在 Gdańsk 技术大学多年讲授“电站与能量经济”这门课程所用讲稿为基础编写的，也包括著者平时为了参加国内和国际动力工程领域的会议所进行的研究工作。最重要的参考资料乃是提交给世界能源会议和工业力能学国际会议的报告和论文。

为了避免可能因存在于本国内有关特殊的技术和经济条件上发生任何问题，书中所有数据值都用国际单位或者相对单位，而费用则用抽象的货币单位 (m.u.)。应当指出，本书所有得出的结论和详细数据结果可能随着特种假定和区域局部条件而有所不同，这里所引述的不过是举例而已。

对在编写过程中所有给予帮助者我在此深表谢忱。特别是对电气工程师协会的 D.T.Swift-Hook 教授的殷切鼓励表示感谢，他曾要求我写一本有关热电联产的书，列入其《能源丛书》之中；以及 B.Przybylska 女士对这本书以英文编纂曾给予很多宝贵帮助。

Jacek Marecki

Gdańsk 1987 年 12 月

符 号 表

a_b	蒸汽锅炉投资系数
a_t	汽轮机组投资系数
B	瞬时(每小时)燃料消耗
B_{ch}	联产系统中的燃料消耗
B_e	发电燃料消耗
B_{eb}	背压循环发电燃料消耗
B_{ec}	冷凝循环发电燃料消耗
B_h	生产输出热能的燃料消耗
B_{tb}	蒸汽锅炉燃料消耗
B_{tbr}	蒸汽锅炉额定燃料消耗
B_{te}	分产系统燃料消耗
B_{wb}	热水锅炉燃料消耗
B_{wbr}	热水锅炉额定燃料消耗
b	比燃料消耗
b_b	相当的动力厂中的比燃料消耗
b_{En}	附加净电能的比燃料消耗
b_{eb}	背压循环发电比燃料消耗
b_{ec}	冷凝循环发电比燃料消耗
c_w	水的比热
c_b	蒸汽锅炉比投资指标
c_{Db}	背压汽轮机组蒸汽需求增量
c_{De}	抽汽凝汽汽轮机组蒸汽需求增量
c_f	燃料或燃料中含热量的单位价格
c_{lf}	液体燃料单位价格

c_{SB} —— 蒸汽锅炉热需求增量
 c_{sf} —— 固体燃料单位价格
 c_T —— 汽轮机组热需求增量
 c_{Tb} —— 背压汽轮机组热需求增量
 c_{Te} —— 汽轮机组发电热需求增量
 c_{Th} —— 汽轮机组生产输出热量热需求增量
 c_i —— 汽轮机组比投资指标
 c_u —— 取决于单元数的系数
 c_{WB} —— 热水锅炉热需求增量
 C_W —— 热水锅炉比投资指标
 D —— 蒸汽或冷凝液流率
 D_{ad} —— 补偿冷凝液损失的补给水流量
 D_b —— 背压透平进 / 出口蒸汽流量
 D_{br} —— 背压透平进 / 出口额定蒸汽流量
 D_c —— 冷凝器进口处蒸汽流量
 D_e —— 抽汽流量
 D_{ib} —— 空转背压透平机组蒸汽需求
 D_{ic} —— 空转抽汽凝汽透平机组蒸汽需求
 D_{rc} —— 冷凝液回水量
 D_{rsh} —— 再热器蒸汽流量
 D_{sb} —— 蒸汽锅炉容量
 D_{sbr} —— 蒸汽锅炉额定容量
 D_T —— 透平进口处蒸汽流量
 D_0 —— 锅炉出口处蒸汽流量
 D_1 —— 第一级加热点处蒸汽流量
 d_b —— 背压透平机组比蒸汽需求
 d_T —— 透平机组比蒸汽需求
 E —— 电能
 E_b —— 背压循环生产的电能

E_c —— 冷凝循环生产的电能
 E_d —— 日电能
 E_G —— 燃气-蒸汽循环中燃气轮机机组生产的电能
 E_n —— 净电能
 E_r —— 燃气-蒸汽循环中汽轮机机组生产的电能
 e —— 焓
 e_b —— 背压透平出口处蒸汽焓值
 e_{sb} —— 背压循环生产的电能焓值
 e_{hb} —— 背压蒸汽输出热量的焓值
 e_{sc} —— 锅炉提供给蒸汽循环的热量焓值
 e_0 —— 透平进口处蒸汽焓值
 F —— 年度燃料消耗
 F_{ch} —— 联产系统中年度燃料消耗
 F_e —— 年度发电燃料消耗
 F_{eb} —— 背压循环发电年度燃料消耗
 F_{ec} —— 冷凝循环发电年度燃料消耗
 F_h —— 生产热能的年度燃料消耗
 F_{sb} —— 蒸汽锅炉年度燃料消耗
 F_{ss} —— 分产系统年度燃料消耗
 F_{wb} —— 热水锅炉年度燃料消耗
 G_w —— 区域供热水流率
 G_{wp} —— 区域供热水流量尖峰负荷率
 H —— 热能
 H_a —— 热能的年度贴现平均值
 H_b —— 背压(或抽汽)透平输出的热能
 H_d —— 日热能
 H_{d0} —— 贴现到 0 年的热能值
 H_f —— 标准燃料的热值
 H_G —— 燃气蒸汽循环中联合运行的燃气轮机机组输出的热能

H_g —— 总热能
 H_h —— 用于采暖的输出热能
 H_n —— 净热能
 H_q —— 传递给用户的热能
 H_r —— 减压阀或尖峰负荷锅炉输出的热能
 H_s —— 燃气蒸汽循环中汽轮机组输出热能
 H_T —— 提供给汽轮机组的热能
 H_{Tb} —— 提供给背压循环运行的汽轮机组的热能
 H_{Tc} —— 提供给冷凝循环运行的汽轮机组的热能
 H_{Tb} —— 提供给汽轮机组发电的热能
 H_{Th} —— 提供给汽轮机组供热的热能
 H_i —— 用于生产的输出热能
 h_{wb} —— 热水锅炉输出热能
 h —— 蒸汽或水的焓值
 h_{ad} —— 补偿冷凝液损失的补给水的焓
 h_{amb} —— 环境焓
 h_b —— 背压透平出口处蒸汽焓
 h_{bs} —— 背压透平出口处蒸汽焓的理论(等熵)值
 h_{bt} —— 考虑蒸汽管道效率时背压透平出口处蒸汽焓的理论(等熵)值
 h_c —— 冷凝器进口处蒸汽焓
 h_{cs} —— 冷凝器进口处蒸汽焓的理论(等熵)值
 h_d —— 冷凝器出口处冷凝液焓
 h_e —— 抽汽点蒸汽焓
 h_{es} —— 抽汽点蒸汽焓的理论(等熵)值
 h_{fw} —— 给水焓
 h_g —— 背压(或抽汽)蒸汽产生的冷凝液焓
 h_{rc} —— 回水焓
 h_{r1} —— 再热器进口处蒸汽焓
 h_{r2} —— 再热器出口处蒸汽焓

h_w —— 冷凝液和补给水的合成焓
 h_0 —— 新汽焓
 h_{0b} —— 锅炉出口处新汽焓
 h_{0r} —— 透平进口处新汽焓
 Δh —— 蒸汽焓降
 Δh_b —— 背压汽轮机蒸汽焓降
 Δh_{bs} —— 背压汽轮机蒸汽理论(等熵)焓降
 Δh_{br} —— 考虑蒸汽管道损失时背压透平蒸汽理论(等熵)焓降
 Δh_c —— 抽汽凝汽式汽轮机低压部分蒸汽焓降
 Δh_{cr} —— 抽汽凝汽式汽轮机低压部分蒸汽理论(等熵)焓降
 Δh_d —— 冷凝器中蒸汽焓降
 Δh_e —— 抽汽凝汽式汽轮机高压部分蒸汽焓降
 Δh_{er} —— 抽汽凝汽式汽轮机高压部分蒸汽理论(等熵)焓降
 Δh_q —— 背压蒸汽用户处蒸汽焓降
 Δh_{qr} —— 背压蒸汽用户处蒸汽理论(等熵)焓降
 Δh_0 —— 新汽管道中蒸汽焓降
 I —— 投资费用(支出)
 I_{sb} —— 蒸汽锅炉的投资费用
 I_t —— 汽轮发电机组的投资费用
 I_{wb} —— 热水锅炉的投资费用
 K —— 年度费用
 K_b —— 背压循环年生产能量费用
 K_c —— 年固定费用
 K_{cE} —— 分摊给电能的年固定费用
 K_{cH} —— 分摊给热能的年固定费用
 K_E —— 分摊给电能的年费用
 K_{Eb} —— 背压循环发电的年度价值
 K_f —— 年度燃料费用
 K_H —— 分摊给热能的年费用

K_i —— 投资费用
 K_{id} —— 贴现到 0 年的投资费用之和
 K_0 —— 年运行费用
 K_{oa} —— 年运行费用贴现平均值
 K_{oc} —— 年固定运行费用
 K_{od} —— 贴现到 0 年的运行费用之和
 K_{ov} —— 年可变运行费用
 K_r —— 年再生产费用
 K_{tr} —— 年热输送费用
 K_v —— 年可变费用
 K_{vE} —— 分摊给电能的年可变费用
 K_{vH} —— 分摊给热能的年可变费用
 ΔK —— 年度费用之差(联产系统较少)
 ΔK_c —— 年固定费用之差
 ΔK_E —— 分摊给电能的年费用之差
 ΔK_H —— 分摊给热能的年费用之差
 ΔK_v —— 年可变费用之差
 k —— 比费用
 k_c —— 比固定费用
 k_{cE} —— 电能的比固定费用
 k_{cH} —— 热能的比固定费用
 k_E —— 电能的比费用
 k_{Eb} —— 背压循环发电的比价值
 k_H —— 热能的比费用
 k_{hp} —— 供热厂比投资费用
 k_i —— 比投资费用
 k_{qT} —— 提供给汽轮机的热量的比费用
 k_{sb} —— 蒸汽锅炉的比投资费用
 k_t —— 汽轮发电机组的比投资费用

k_{tr} —— 热输送比费用
 k_v —— 比可变费用
 k_{vE} —— 电能的比可变费用
 k_{vH} —— 热能的比可变费用
 k_{wb} —— 热水锅炉的比投资费用
 k_z —— 投资费用冻结系数
 L —— 输热管道长度
 m_a —— 年负荷因子
 m_{ae} —— 年电负荷因子
 m_{ah} —— 年热负荷因子
 m_b —— 背压循环中的负荷因子
 m_d —— 日负荷因子
 m_{de} —— 日电负荷因子
 m_{dt} —— 日电负荷因子
 N —— 运行年限
 N_{st} —— 热电厂中蒸汽锅炉数
 N_t —— 热电厂中汽轮发电机组数
 N_{wb} —— 热电厂中热水锅炉数
 n —— 给水加热级数
 n_{pp} —— 尖峰负荷电功率与额定电功率之比
 n_{qp} —— 尖峰负荷输出热量与额定输出热量之比
 P —— 电或机械功率
 P_{av} —— 电功率的平均值
 P_b —— 背压循环发出的电功率
 P_{be} —— 背压汽轮机发电机组给动力系统提供的电功率
 P_{bn} —— 背压汽轮机发电机组的净电功率
 P_{bp} —— 背压循环发出的尖峰负荷电功率
 P_{br} —— 背压汽轮机发电机组的额定电功率
 P_c —— 冷凝循环发出的电功率

P_{cp} —— 冷凝循环发出的尖峰负荷电功率
 P_e —— 透平发电机组给动力系统提供的电功率
 P_i —— 汽轮机内输出功率
 P_{ib} —— 背压循环发出的内输出功率
 P_{ic} —— 冷凝循环发出的内输出功率
 P_{ih} —— 汽轮机高压部分发出的内输出功率
 P_{il} —— 汽轮机低压部分发出的内输出功率
 P_m —— 汽轮机轴输出的机械功率
 P_{mb} —— 背压汽轮机轴输出的机械功率
 P_{min} —— 最小电功率
 P_n —— 汽轮发电机组净电功率
 P_p —— 电功率的尖峰负荷值
 P_T —— 汽轮发电机组总电功率
 P_{Tr} —— 汽轮发电机组额定电功率
 P_s —— 辅机电功率需求
 P_{se} —— 与电能生产有关的辅机功率需求
 P_{sh} —— 与热能生产有关的辅机功率需求
 ΔP —— 电功率损失
 p —— 积累率
 p_a —— 背压循环所发电能占年电能生产的份额
 p_b —— 背压汽轮机出口处蒸汽压力(背压)
 p_c —— 冷凝器进口处蒸汽压力
 p_e —— 抽汽凝汽式汽轮机抽汽阀处蒸汽压力(抽汽压力)
 p_p —— 背压循环所发电功率占尖峰负荷电功率的份额
 p_0 —— 新汽压力
 p_{0p} —— 锅炉出口处新汽压力
 p_{0t} —— 汽轮机进口处新汽压力
 Δp —— 蒸汽压降
 Q —— 热量(热需求量, 输出热量)

Q_{av} —— 输出热量的平均值
 Q_b —— 背压(或抽汽)汽轮机输出热量
 Q_{bmax} —— 背压(或抽汽)汽轮机最大输出热量
 Q_{bp} —— 背压(或抽汽)汽轮机尖峰负荷输出热量
 Q_{br} —— 背压(或抽汽)汽轮机额定输出热量
 Q_G —— 燃气蒸汽循环中燃气轮机机组输出热量
 Q_x —— 总输出热量
 Q_h —— 用于采暖的输出热量
 Q_{hp} —— 用于采暖的尖峰负荷输出热量
 Q_i —— 空转汽轮机机组热需求
 Q_{ib} —— 当在背压循环中空转时抽汽凝汽式汽轮机机组的热需求
 Q_{ic} —— 当在冷凝循环中空转时抽汽凝汽式汽轮机机组的热需求
 Q_{ik} —— 空转汽轮机机组热需求的机电分量
 Q_{ih} —— 空转汽轮机机组热需求的热分量
 Q_n —— 净输出热量
 Q_p —— 尖峰负荷输出热量
 Q_q —— 用于空间加热的输出热量
 Q_{qp} —— 用于空间加热的尖峰负荷热需求
 Q_r —— 减压阀或尖峰负荷锅炉的输出热量
 Q_{rp} —— 减压阀或尖峰负荷锅炉尖峰负荷输出热量
 Q_S —— 燃气蒸汽循环中汽轮机机组输出热量
 Q_{sb} —— 提供给蒸汽锅炉的热量
 Q_{sb} —— 蒸汽锅炉输出的热量
 Q_T —— 提供给汽轮机机组的热量
 Q_{Tb} —— 提供给运行在背压循环中的汽轮机机组的热量
 Q_{Tc} —— 提供给运行在冷凝循环中的汽轮机机组的热量
 Q_{Te} —— 提供给汽轮机机组发电的热量
 Q_{Th} —— 提供给汽轮机机组产生输出热量的热量
 Q_{Tr} —— 提供给汽轮机的额定热量

Q_t —— 用于生产的输出热量
 Q_{tp} —— 尖峰负荷生产热需求
 Q_v —— 用于通风的输出热量
 Q_{vp} —— 尖峰负荷通风热需求
 Q_{WB} —— 提供给热水锅炉的热量
 Q_{wb} —— 热水锅炉输出热量
 Q_{wbp} —— 热水锅炉尖峰负荷热输出热量
 Q_{wbr} —— 热水锅炉额定输出热量
 Q_0 —— 提供给热电厂的热量
 Q_{0e} —— 提供给热电厂发电的热量
 Q_{0h} —— 提供给热电厂生产输出热量的热量
 ΔQ —— 热损失
 q —— 比热量需求
 q_b —— 背压汽轮机组比热量需求
 q_{be} —— 背压汽轮机组发电比热量需求
 q_c —— 汽轮机冷凝循环发电的比热量需求
 q_t —— 空转汽轮机组比热量需求
 q_{ie} —— 空转汽轮机组比热量需求的机电分量
 q_{ih} —— 空转汽轮机组比热量需求的热分量
 q_q —— 空间加热的比热量需求
 q_{qd} —— 寓所中空间加热的比热量需求
 q_{qi} —— 工业建筑中空间加热的比热量需求
 q_{qp} —— 公用事业建筑中空间加热的比热量需求
 q_T —— 汽轮机组比热量需求
 q_v —— 通风的比热量需求
 q_{vd} —— 寓所中通风的比热量需求
 q_{vi} —— 工业建筑中通风的比热量需求
 q_{vp} —— 公用事业建筑中通风的比热量需求
 R —— 固定费用的燃料当量值

r —— 年再生产率
 r_c —— 年固定费用系统
 r_0 —— 年固定运行费用系数
 s —— 熵
 s_a —— 年热电比(能量指数)
 s_{amb} —— 环境熵
 s_p —— 尖峰负荷热电比(能量指数)
 T —— 一年(8 760小时)
 T_{amb} —— 环境温度
 T_{av} —— 平均温度
 T_{av0} —— 供给厂热量的平均温度
 T_{avq} —— 厂输出热量的平均温度
 T_{bep} —— 背压汽轮机组尖峰负荷电功率的利用时间
 T_{ber} —— 背压汽轮机组额定电功率的利用时间
 T_{bhp} —— 背压汽轮机组尖峰负荷输出热量的利用时间
 T_{bhr} —— 背压汽轮机组额定输出热量的利用时间
 T_{bp} —— 尖峰负荷背压出力的利用时间
 T_{br} —— 额定背压出力的利用时间
 T_{cp} —— 冷凝动力尖峰负荷的利用时间
 T_d —— 一日(24小时)
 T_{di} —— 装机容量的日利用时间
 T_{dp} —— 尖峰负荷日利用时间
 T_{dpe} —— 尖峰负荷电功率日利用时间
 T_{dph} —— 尖峰负荷输出热量日利用时间
 T_h —— 采暖负荷持续时间
 T_{hp} —— 用于采暖的尖峰负荷输出热量的利用时间
 T_p —— 尖峰负荷利用时间
 T_{pe} —— 尖峰负荷电功率利用时间
 T_{ph} —— 尖峰负荷输出热量利用时间