

余热利用系统优化方法

——余热利用系统技术和效能参数优化

Optimization Approaches for Waste Heat Recovery System

Optimization of Technical and Efficiency Parameters for Waste Heat Recovery System

[拉脱维亚] 阿尼斯·扎格里斯 (Arnis Zageris)

明平剑 张文平

著
译



國防工業出版社
National Defense Industry Press

余热利用系统优化方法

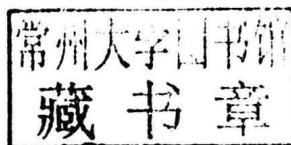
——余热利用系统技术和效能参数优化

Optimization Approaches for Waste Heat Recovery System

Optimization of Technical and Efficiency Parameters
for Waste Heat Recovery System

[拉脱维亚] 阿尼斯·扎格里斯(Arnis Zageris) 著

明平剑 张文平 译



国防工业出版社

·北京·

著作权合同登记 图字:军-2015-219 号

图书在版编目(CIP)数据

余热利用系统优化方法:余热利用系统技术和效能
参数优化/(拉脱)扎格里斯(Zageris,A.)著;明平剑,
张文平译. —北京:国防工业出版社,2016.8

书名原文:Optimization Approaches for Waste
Heat Recovery System:Optimization of Technical
and Efficiency Parameters for Waste Heat Recovery
System

ISBN 978-7-118-10704-3

I. ①余… II. ①扎… ②明… ③张… III. ①船舶—
余热利用—系统优化 IV. ①U66

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第030606号

Optimization Approaches for Waste Heat Recovery System
Optimization of Technical and Efficiency Parameters for Waste
Heat Recovery System/by Arnis Zageris/ISBN:978-3-8383-7482-6.
Copyright © 2010 by LAP LAMBERT Academic Publishing.
All rights reserved.

※

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路23号 邮政编码100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710×1000 1/16 印张 10 $\frac{3}{4}$ 字数 198 千字

2016年8月第1版第1次印刷 印数 1—2000册 定价 72.00元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

译者序

能源问题已经成为经济发展中一个头等重要的问题。船舶是能源消耗量巨大的运输工具,高能耗一方面使船舶运行成本增加,另一方面也给船舶运行带来了严重的环境问题。如何有效降低船舶能耗是一个现实而又重要的课题。国际海事组织 IMO 已将新船能效设计指数(Energy Efficiency Design Index, EEDI)作为考核船舶运行能耗高低的一个指标。船舶主机余热利用系统可以充分利用主机废气和冷却介质中的能量,是一种先进的船舶节能措施。在能源资源日益紧张、航运成本逐渐增长的今天,综合利用好船舶上的各类能量,提高船舶的能量利用效率,是船舶制造商、运营商和海事组织等部门都十分关心的问题。

本书原作者阿尼斯·扎格里斯自 1986 年于圣彼得堡海洋学院毕业后,作为一名化学品运输船的轮机工程师工作 10 年,在船舶工程轮机管理岗位工作多年,2009 年开始在里加理工大学攻读博士学位,从事船舶余热技术研究。原著 *Optimization Approaches for Waste Heat Recovery System Optimization of Technical and Efficiency Parameters for Waste Heat Recovery System* 是作者在 V.A. Semeka 教授和 Juris Cimanskis 教授指导和帮助下完成的,是作者多年深入研究和工程实践的精心总结,系统地介绍了余热利用系统优化方法,给出了优化理论的数学模型,具有很高的参考和实用价值。

本书由引言、6 个章节、主要结论和参考文献组成。第 1 章“发展余热利用系统的必要性”首先通过介绍燃油市场现状和世界发展趋势,强调余热利用系统的必要性。船用燃气轮机的复苏和严苛的国际环境保护法是在新建阶段余热利用系统就被密切关注的原因。第 2 章“余热利用系统的主要参数的选择”致力于为热利用循环的选择提供根据。第 3 章“给定余热锅炉尺寸(高度)的热力循环分析及其优化方法”中,提出在预先确定的锅炉尺寸下找到效率特性的原始方案。第 4 章是“紧凑式高功率动力装置的热利用循环及余热锅炉设备优化”,也是本研究中重点章节,建立了广泛适用的数学模型,对估算得出的结果进行了全面的分析和分类。第 5 章“有限资源下的余热利用”之所以对低速柴油机和最终利用率有专门的讨论是因为这种发动机在船舶推进中占主导地位,并且由于发动机发展趋向于减少所有可能热损失,找到可有效利用的其他部分是个挑战。第 6 章为“现役动力装置污染系数的决定因素”。烟气侧污染系数也是个重要参数,它不仅决定了换热效率,而且对对流受热面的可靠性有很大影

响。因此,在第6章中详细研究了适用于现役船体的原始污染系数。在结论部分,不仅给出了主要结论,而且对在现有研究基础上深入研究的可行计划进行了阐述。

本书出版得到了工信部高技术船舶科研项目“船舶柴油机动力系统余热利用技术研究”和国家自然科学基金(51206031,51479038)资助,在此深表谢意!

在翻译过程中,尽量做到忠实于原著,部分术语给出了英文描述,便于读者理解。本书的出版得到了国防工业出版社编辑的悉心指导与帮助,在此表示衷心感谢。

鉴于译者水平有限,翻译过程中难免有不妥之处,敬请读者批评指正。

译者

2015年8月

前 言

本书主要研究余热利用系统,该系统对船舶动力装置具有非常重大的意义。本书的核心部分就是原创性地提出了一种余热锅炉优化方法,该方法可以考虑不同热力循环、不同几何结构参数,尤其是在给定了锅炉尺寸(主要是高度尺寸)和换热面的条件下,对余热锅炉效率的影响。最终建立一组非线性方程组模型,该模型的优点是引入的统一数学模型可以获得适用于大范围不同输出功率的动力装置的结果。该模型可以考虑热工水力、传热热阻以及其他因素的影响。

为了实现单位装备体积内的最大输出功率,采用前面提出的分析方法对带有恒温调节阀的余热利用系统进行全面优化,并将这种形式的余热利用系统作为一种基本形式。通过研究找到蒸汽压力、换热面分布以及强化换热等优化的一般规律,从而选择最优的方案。作为一种替代方法,对带有中间抽汽装置系统的方案进行对比研究。

对于先进低速柴油机动力装置的余热利用系统需要进行特别说明,因为过低的排气余热利用潜能使其成为一项极具挑战性的任务。因此,为了尽可能多地利用排气余热,根据所期望的或者给定的冷却率(如余热锅炉中的烟气温降),可以建立另外的非线性模型。结果可以在不同的运行状态和外部环境下,计算得到压力和其他特性参数值。主要任务就是获取尽可能高的输出功率。

在实验研究部分对烟气侧污染系数的测试方法和影响进行研究,得到的结果应该可以有效地应用到余热利用系统的优化过程中。

目 录

缩略词表

主要物理量

余热锅炉的主要几何参数

引言

第 1 章 发展余热利用系统的必要性	11
1.1 燃料价格的影响	12
1.2 世界船舶运输发展因素	12
1.3 贸易区域因素影响	16
1.4 环境要求的影响	18
1.5 先进的低速柴油机作为主机时船舶动力装置热效率的提高	20
1.6 燃气轮机及其性能特点	23
1.7 研究现况	25
1.8 小结	27
第 2 章 余热利用系统主要参数的选择	29
2.1 余热锅炉的选型	29
2.2 锅炉腐蚀影响	31
2.3 余热利用系统受热面布置的选择	32
2.4 余热锅炉几何尺寸的选择	37
2.5 翅片受热面几何尺寸的选择	38
2.6 主要热力特性的选择	40
2.7 结论	42
第 3 章 给定余热锅炉尺寸(高度)的热力循环分析及其优化方法	43
3.1 引言	43
3.2 实体化与主要参数选择	44
3.3 总体参数输入	45
3.4 热力计算需要的热物性参数的选取	46

3.5	管束几何参数选取和空气阻力计算	46
3.6	管束水动力阻力计算所需几何参数的选取	49
3.7	热力循环一些参数的选取	49
3.8	主要输入参数初步选取	51
3.9	余热锅炉的热力学效率分析	51
3.9.1	锅炉蒸汽产量的确定	51
3.9.2	锅炉蒸汽压力损失	52
3.9.3	有效利用的烟气热量	54
3.9.4	锅炉蒸发器压力损失对热效率的影响	54
3.9.5	锅炉受热面尺寸计算	57
3.10	余热锅炉烟气阻力的计算	59
3.11	蒸汽循环效率增益的确定	60
3.12	中间抽汽循环效率的调整	61
3.13	总结	63
第4章 紧凑式高功率动力装置的热利用循环及余热锅炉设备优化		64
4.1	引言	64
4.2	余热锅炉受热面对系统热力学指标的影响	65
4.2.1	受热面无限增长时对过热器的影响	66
4.2.2	受热面无限增长时对省煤器的影响	71
4.2.3	受热面无限增长时对蒸发器的影响	71
4.2.4	省煤器受热面改变的影响	73
4.2.5	结论	75
4.3	余热锅炉蒸汽压力的优化	76
4.3.1	引言	76
4.3.2	压力对循环质量指标的影响	77
4.3.3	压力对汽轮机循环效率的影响	80
4.3.4	受热面增长的效应	82
4.3.5	进口烟气温度因素	84
4.3.6	耦合效应	84
4.3.7	结论	87
4.4	固定尺寸的余热锅炉受热面优化	88
4.4.1	引言	88
4.4.2	省煤器与蒸发器的相互影响	88
4.4.3	过热器与蒸发器的相互影响	89
4.4.4	过热器与省煤器的相互影响	89

4.4.5	额外增加的受热面重新分布的优化方法	91
4.4.6	进口烟气温度的影响	92
4.4.7	结论	93
4.5	中间抽汽的可行性	94
4.5.1	引言	94
4.5.2	锅炉尺寸固定	94
4.5.3	冷却速率固定	99
4.5.4	结论	101
4.6	余热锅炉管加翅后对余热利用系统效率以及尺寸参数的影响	101
4.6.1	在相同锅炉尺寸、高度时的翅片效率	101
4.6.2	在相同余热利用系统净增益下的翅片效率	108
4.6.3	总结	110
第5章	有限资源下的余热利用	111
5.1	引言	111
5.2	烟气温度较低时余热利用可行性研究	112
5.2.1	主要输入参数	112
5.2.2	主要分析方程	112
5.2.3	蒸气过热度的影响	113
5.2.4	可用烟气热量变化的影响	114
5.2.5	接近点温差的影响	115
5.2.6	结论	116
5.3	蒸汽压力选择的一些相关事项	116
5.3.1	引言	116
5.3.2	主要分析方程	116
5.3.3	进出口烟气温度的影响	117
5.3.4	过热器的影响	119
5.3.5	接近点温差的影响	120
5.3.6	给水温度的影响	121
5.3.7	特定锅炉实际工况分析	122
5.3.8	结论	124
5.4	先进低速柴油机动力装置余热利用可行性	124
5.4.1	主要输入条件	124
5.4.2	电能的有效利用	126
5.4.3	系统方案研究	128
5.4.4	环境条件和主机负荷水平影响	129

5.4.5	不同船舶贸易路线综合余热利用系统效率	132
5.4.6	综合余热利用系统最优化实例	137
5.4.7	总结	140
第6章	现役动力装置污染系数的决定因素	141
6.1	烟气侧污染系数的本质	141
6.2	燃油对灰分沉积的影响	142
6.3	低温影响	143
6.4	实验的准备	144
6.5	实验测量	145
6.6	结论	149
主要结论	151
参考文献	154

缩 略 词 表

- AB —— 辅锅炉 (Auxiliary Boiler)
- a/a —— 环境空气 (ambient air)
- BCS —— 锅炉控制系统 (Boiler Control System)
- CWHRS —— 综合余热利用系统 (Complex Waste Heat Recovery System)
- DG —— 柴油发电机 (Diesel Generator)
- EB —— 余热锅炉 (Exhaust Boiler)
- (S)EPP —— (船舶) 电力装置 (Ship's Electrical Power Plant)
- f/w —— 给水 (feed water)
- GT —— 燃气轮机 (Gas Turbine)
- HFO —— 重油 (Heavy Fuel Oil)
- HRC —— 余热利用循环 (Heat Recovery Circuit)
- HRSG —— 余热利用蒸汽发电机 (Heat Recovery Steam Generator)
- HTS —— 船用主机 (柴油机) 空气冷却器的高温级 (High Temperature Stage as part of main engine (diesel) air cooler)
- MCR —— 最大连续出力, 例如, 主机负荷水平, % (Maximum continuous rating, i. e. load level of main engine)
- ME —— (船舶推进系统的) 主机 (Main Engine (of ship's propulsion system))
- MSDE —— 中速 (四冲程) 柴油机 (Medium Speed (four stroke type) Diesel Engine)
- PE —— 调峰发动机 (Peak Engine)
- PZRR —— 可靠性降低的性能区间 (Performance Zone of Reduced Reliability)
- RSMD —— 二次方差 (Root Mean Square Deviation)
- SFOC —— 燃料消耗率, kg/(kW · h) (Specific Fuel oil Consumption)
- SSDE —— 低速 (二冲程) 柴油机 (Slow Speed (two stroke type) Diesel Engine)
- ST —— 汽轮机 (Steam Turbine)
- STG —— 汽轮发电机 (Steam Turbo-Generator)
- s/w —— 海水 (Sea water)
- t/c —— 涡轮增压器 (turbo charger)
- TG —— 涡轮发电机 (Turbo Generator)
- VLBC —— 超大型散装货轮 (Very Large Bulk Carriers)
- VLCC —— 超大型原油运输船 (Very Large Crude Oil Carriers)
- WHRS —— 余热利用系统 (Waste Heat Recovery System)

主要物理量

- \bar{c}_g —— 烟气平均比热, kJ/°C
- G_g —— 烟气流量, kg/s
- G_{st} —— 余热锅炉蒸汽产量, kg/s
- G_{sat} —— 饱和蒸汽消耗量, kg/s
- h_{gi} —— 锅炉烟气焓, kJ/kg
- h'_j —— 第(j)个锅炉水焓, kJ/kg
- h_{sji} —— 第(j)锅炉不同循环节点(i)的蒸汽焓, kJ/kg
- Ha —— 等熵过程中的焓差, 一般用于汽轮机计算, kJ/kg
- ΔH_{e_g} —— 余热锅炉烟风阻力造成的主机相对功率损失的烟气焓, kJ/kg
- k —— 对流传热系数, W/(m² · K)
- k_{circ} —— 强制循环倍率
- k_{rec} —— 通过温控阀混合给水温度上升时, 锅炉水再循环系数
- $k_{\Delta\eta}$ —— 由于主机冷却工质的余热利用产生额外的效率相对增值, %
- L_{SLel} —— 所需电能的安全下限
- Ne_{el} —— 船舶电站功率, kW
- Ne_{ST} —— 汽轮机输出功率, kW
- Ne_{TC} —— 汽轮发电机输出功率, kW
- ΔP_{gi} —— 各受热面的烟风阻力, kgf/m²①
- P_j —— 蒸汽或锅炉水压力, bar②
- ΔP_{ji} —— 蒸汽每个沿程(j)的阻力损失, bar
- P_s —— 余热锅炉锅筒蒸汽压力, bar
- Q_i —— 通过烟道烟气、蒸汽、水传热或消耗的热量, kJ
- S_j^i —— 第(j)个锅炉在一定的蒸汽循环点(i)的熵, kJ/(kg · K)
- t_a —— 环境温度, °C
- t_{g_0} —— 锅炉进口烟气温度, °C
- $t_{g_{exh}}$ —— 锅炉出口排烟温度, °C

① 1 kgf/m² = 0.98 Pa, 余同。

② 1 bar = 1 × 10⁵ Pa, 余同。

t_{g_i} ——余热锅炉特定部分出口烟气温度, °C

t_{fw} ——锅炉进口给水温度, °C

t_{fwp} ——热井中给水温度, °C

t_g^Σ ——余热锅炉有效利用的烟气温度, °C

$t_{s/w}$ ——海水温度, °C

Δt_{LOG_i} ——各点的受热面温差, °C

t_s ——相应蒸汽压力 p_s 下的饱和温度, °C

w_g ——烟气速度, m/s

W_{C_i} ——锅炉流通截面的烟气质量流速, $\text{kg}/(\text{m}^2 \cdot \text{s})$

U_{SLe1} ——所需电能的安全上限

x_1 ——蒸发器出口烟温 t_{g_i} 和饱和温度 t_s 之差, °C

x_2 ——锅炉进口烟温 t_{g_0} 和过热器出口蒸汽温度 t_{st} 之差, °C

x_3 ——接近点温度——饱和温度与省煤器出口水温之差, °C

a ——过量空气系数

a_1 ——烟气对管壁的放热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

a_2 ——管壁对工质的放热系数, $\text{W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$

ε ——余热锅炉烟气侧受热面污染系数, $(\text{m}^2 \cdot \text{K})/\text{W}$

η_{ij} ——相对效率

Π ——余热利用系统提供的相对净功率/效率的增长, $\frac{\text{kJ}}{1\text{kg 烟气}}$

Π_0 ——余热利用系统提供的相对净功率/效率在整个电力推进系统的增长, $\frac{\text{kJ}}{1\text{kg 烟气}}$

ξ ——余热利用系统产生蒸汽的能力, $\frac{\text{kg 蒸汽}}{1\text{kg 烟气}}$

ξ_{st} ——余热利用系统产生饱和蒸汽的能力, $\frac{\text{kg 饱和蒸汽}}{1\text{kg 烟气}}$

ξ_{sat} ——相对饱和蒸汽消耗量, $\frac{\text{kg 饱和蒸汽}}{1\text{kg 烟气}}$

Y_i ——提取点坐标

χ ——蒸汽过热度

ψ ——烟气余热利用率

余热锅炉的主要几何参数

L, B, H —— 余热锅炉尺寸, 长度、宽度、高度, m

$L \times B$ —— 余热锅炉烟气流通截面, m^2

d —— 管束外径, m

d_i —— 各管束外径, m

S_1 —— 管束横向节距, m

S_2 —— 管束纵向节距, m

S'_2 —— 管束对角线节距, m

Z_i —— 各受热面管排数

Z_1 —— 蒸发器管排数

Z_2 —— 过热器管排数

Z_3 —— 省煤器管排数

S_r —— 翅片节距, m

h_r —— 翅片高度, m

δ_r —— 翅片厚度, m

D —— 翅片管外径, m

引 言

受经济全球化的影响,商贸更加发达和专业化,这直接影响了船体大小、设计和技术特性。另外,化石燃料储备有限,这已经造成一定程度的短缺和随之而来的价格持续上升,进而提高了贸易成本。另外,国际社会对包括不断减少气体排放在内的环境污染安全更加关注,国际组织和地方政府对此就有不同的法律要求和标准。由此,在造船行业发展方面产生两种相互矛盾的需求——在燃油限制因素下,对货物供应提出更快更多的要求。因此,高效且环保的船舶推进装置是本书的研究对象。除了发展主机,本文也要达到另一个目的,综合回收利用主要由柴油机或燃气轮机排气的余热再生动力或再生热,也能取得很好效果。因此,这些余热利用系统就是本书研究的对象,在保证最高输出功率的前提下,减小装置尺寸,否则不加限制地增大设备尺寸将会导致货物容量的减少。既然余热锅炉是余热利用系统的主要组成部分,那么本书的研究将对该设备予以更全面的关注。对于一些特种快速船来说,尽可能地选择小尺寸动力装置是十分重要的,尤其是高度,这样同时可保证有效的货船操控。因此,任何在主机上安装大型余热锅炉可能都有风险。尽管事实上船舶主要以低速柴油机作为主机,但另一些装置在高输出功率的情况下因为其高度紧凑性而越发引人关注。首先航空发动机改型为船用燃气轮机对特殊货船和高舒适度的游轮来说是个很有前景的选择,但仍会因货物或乘客的高容量带来的燃料高消耗而提高成本。材料科学上取得的成就和在涡轮机生产(包括叶片冷却的不同方法)上广泛应用的金属陶瓷,在显著降低维护成本同时,可使进口温度的进一步提升进而全面减少燃料消耗量。同时,如果没有高效的烟气余热利用装置,燃气轮机动力装置将很难有足够的竞争力。根据以上考虑,提出如下任务。

- (1) 确定本书研究目标是余热利用系统;
- (2) 在尽可能减少尺寸(成本)的前提下,保证系统高效性;
- (3) 对于部分船体而言,装置的高度尤为重要;
- (4) 同时也应保证船舶有足够高的输出功率。

余热锅炉是余热利用系统的重要组成部分,在锅炉尺寸已确定的条件下,本书应重点研究其优化方案。

既然如此,本书应对不同的参数影响展开全面研究,以期达到动力装置最高效率的目标。

对于烟气潜热大大降低的低速柴油机动力装置,为进一步提升余热利用系统的效率,除最终利用率外,还要考虑冷却剂热量的利用。

研究内容

本书由引言、6个章节、主要结论和参考文献组成。

第1章“发展余热利用系统的必要性”。首先通过介绍燃油市场现状,强调余热利用系统的必要性。世界发展趋势倾向于船舶专业化。高速动力装置的配置,吨位还有船体尺寸的增加,都激励人们找到有效降低燃油成本的方式。船用燃气轮机的复苏和严苛的国际环境保护法是在新建阶段余热利用系统就被密切关注的的原因。

第2章“余热利用系统的主要参数的选择”致力于为热利用循环的选择提供根据。选择锅炉中的管束首先要考虑运行经验和设计期望。考虑到最终运行的可靠性,不同的受热面分配要根据合理尺寸下的最大效率增加量设定。管子和管束的几何特性的选择是另一项复杂的任务。任何受热面强化对于每单位体积效率的提升的影响不言而喻,然而相应的,很多隐藏的不利影响也随之而来。因此,要在预测收获和最终风险中找到最佳平衡。为了从单一结果中得出一般规律,本书研究中所选择的参数对开展进一步研究十分重要。然而,这些参数也不可看做一成不变和过于死板,在其他情况下,即使用或建造时,消耗的燃油种类、应用的材料和特定的服务程序等不同,其他的几何特性也许会更适于本书设计的动力装置。在余热利用系统的主要参数选择方式中,本章的价值得以体现。

第3章“给定余热锅炉尺寸(高度)的热力循环分析及其优化方法”中,提出在预先确定的锅炉尺寸下找到效率特性的原始方案。作为锅炉的截面尺寸(长和宽),已经依据主机参数(产生烟气量)基本确定,但又受到烟气速度的限制,因而锅炉高度这个重要参数是受热面换热量的测量值。另外在特定船体的初建阶段,烟气参数和发动机大小已经确定。余热利用系统作为辅助系统,定位于特定的空间以期达到最高利用率。目前的方法可分为5个部分。

- (1) 主要输入参数的选择;
- (2) 锅炉蒸汽量计算;
- (3) 锅炉受热面对利用率的影响评估;
- (4) 烟风阻力的确定;
- (5) 汽轮机循环效率和整体动力装置性能。

另外,几何学和热力学方面的主要输入参数的选择分为对应效率评估的几个具体部分,这样就可以通过反复计算,为余热利用系统找到最适宜的参数设定。当管子的尺寸、长度数据以及弯头的数量都确定时,受热面积便可通过加热盘管数表示,它也是个实用的数据,一旦有了这些数据就可以开始生产。同时,

锅炉效率要根据热力学参数,如相关锅炉受热面温度差的计算。这种计算得出的锅炉受热面与可接受面积的不一致,因此,超越方程系统能通过非线性方程的数学方法解决,如迭代法。对于一个设计好的动力装置,这样得出的最终结果不是确定的,但其相对值可适用于一定范围内的主机。基于确定的数学模型流程图,也可能通过适当的调整适应更加复杂的热力学余热利用循环。

第4章是“紧凑式高功率动力装置的热利用循环及余热锅炉设备优化”,也是本研究中重点章节。基于第3章所提出的方法,建立了广泛适用的数学模型。对估算得出的结果进行了全面的分析和分类,因而,这部分研究分为以下5小节介绍。4.1节“余热锅炉对流受热面对余热利用系统热力学效率指数的影响”,主要任务是找出单位余热锅炉体积内如何达到余热利用系统最高的输出功率,然后研究了每一受热面的影响,这些体现于4.2节“余热锅炉对流受热面对余热利用系统热力学效率指数的影响”中。在某一特定受热面改变而其他两个部分不变的条件下,得出了一些普遍规律。排气和蒸汽的循环温度导致烟气的余热利用可能性很低,因此受热面积的无限制扩张并不能保证汽轮机效率与其同比例增加,而锅炉烟风阻力增加使主机(燃气轮机)的输出功率减少,从而使相关的动力装置整体效率的显著降低。基于这两种相反的事实,可确切得出余热锅炉受热面的最大值。蒸汽压力是余热循环的另一个重要热力学特征参数,在4.3节“尺寸确定的余热锅炉的蒸汽压力优化”中描述了其选择方式。任何蒸汽压力的提高有利于朗肯循环效率指数的增加,然而,在确定的余热锅炉尺寸下,排气的余热利用率,也就是产汽量,存在几乎同比例减少的趋势。因此,需要考虑其总体效率,最终在特定蒸汽压力值下,达到汽轮机最高输出功率的最大化,这对应着第一优化。第二优化是基本与蒸汽压力成正比的锅炉烟风阻力,它对主机(燃气轮机)功率产生不利影响。根据以往的研究:第二压力优化水平比第一优化要低。这两种优化都直接受进气温度变化或锅炉受热面积的影响。考虑到以上研究中所得到的规律,在总的受热面尺寸固定的情况下,通过找到锅炉内部各组成部分的受热面面积的合理分配,可得到更深层次的余热优化方案,这些内容在4.4节“余热锅炉总尺寸固定时,受热面的精细优化”中会有详细的描述。锅炉组成部分,即省煤器、蒸发器和过热器,它们之间的相互影响很复杂,其中任何一个的增加都会影响另外两个。最终得到的最佳内部受热面分配,这个分配情况并不是固定值,也都会受到进气温度和锅炉总尺寸的影响。在4.5节“中间抽汽提升余热利用系统效率的可能性”中,有中间抽汽装置的余热利用系统看作是再热循环系统的替代方案。不论汽轮机中的余热利用方法的效率是否更高,通过中间抽汽带来的额外收获却微乎其微,因为对选定的余热利用途径,在锅炉尺寸相同的情况下,其烟气余热利用率已事先确定。同时,由于循环安排得更好,中间抽汽的余热利用系统对烟气热量的要求较低,导致出口烟气温度对于再热循环有些高。另一方面,由于通过冷凝潜热来加热锅炉给水,不需要增加