

学校编码: 10384
学号: 200424035

分类号 _____ 密级 _____
UDC _____

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

两类能量转换系统的性能特性研究

Investigation on the Performance Characteristics of
Two Classes of Energy Conversion Systems

胡巍强

指导教师姓名: 陈金灿 教授
专 业 名 称: 理 论 物 理
论文提交日期: 2007 年 5 月
论文答辩时间: 2007 年 6 月
学位授予日期: 2007 年 月

答辩委员会主席: _____
评 阅 人: _____

2007 年 月

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文原创性声明

兹呈交的学位论文，是本人在导师指导下独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考的其他个人或集体的研究成果，均在文中以明确方式标明。本人依法享有和承担由此论文产生的权利和责任。

声明人（签名）：

年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人完全了解厦门大学有关保留、使用学位论文的规定。厦门大学有权保留并向国家主管部门或其指定机构送交论文的纸质版和电子版，有权将学位论文用于非赢利目的的少量复制并允许论文进入学校图书馆被查阅，有权将学位论文的内容编入有关数据库进行检索，有权将学位论文的标题和摘要汇编出版。保密的学位论文在解密后适用本规定。

本学位论文属于

1. 保密（ ），在 年解密后适用本授权书。
2. 不保密（）

（请在以上相应括号内打“√”）

作者签名： 日期： 年 月 日

导师签名： 日期： 年 月 日

厦门大学博硕士学位论文摘要库

摘要

能量转换系统是日常生活及工业生产中的重要设备，其种类繁多，一直是人们关注的对象。近年来，随着能源问题的一再突显，寻找合适新能源成为各国所关心的问题，随之而来如何更加合理利用新能源也同样受到普遍关注，各种利用方法中的能量转换设备同样成为众人焦点。建立新的能量转换系统模型，以有限时间热力学方法对其展开研究，考虑各种模型中的不可逆因素影响，揭示内在机制，分析工作特性，以最优控制理论优化各个参量，提高各个系统的整体性能，以期对实际研究开发应用新能源提供理论依据。这些工作都非常有意义，是值得研究探讨的课题。

本文主要研究流体流动系统和耦合能量转换系统的性能特性。在第一章中，简要介绍有限时间热力学的进展及一些新能源的应用。在第二章中，建立不可逆流体流动系统的一般模型，模型中同时考虑线性与非线性流阻和不同类型的摩擦力。分析活塞速度和摩擦力对系统的瞬时输出功率和效率的影响，计算最大瞬时输出功率，揭示瞬时输出功率与效率特性，给出一些重要参数的优化判据，对一些特殊情况作了详细的讨论。所得的结果可包括相关文献中的重要结论。第三章是在 Bejan 建立的不可逆涡轮机模型基础上，分析由摩擦力引起的耗散损失对系统性能所产生的影响。计算出系统的最大输出功率和效率，绘制出系统的特性曲线，确定一些重要参数的优化工作区间，在近似条件下导出主要参数的解析表式。第四章中研究另一类耦合能量转换系统的性能特性。考虑实际能量转换耦合系统中的热漏损失、非理想回热、传热的不可逆性和循环中的内不可逆性，建立一类能量转换耦合系统的较一般模型。分析系统中各主要不可逆性对系统的效率和输出功率的综合影响，计算系统的最大效率和最大输出功率及所对应的性能参数，揭示系统的优化特性。特别是对一些有意义的特殊情况做了详细的讨论，直接导出 Bejan 和 Peterson 所建立的能量转换耦合系统模型的重要结论，并将有关的结果推广应用于太阳能驱动热机系统。

本文所得的结果可作为进一步深入研究相关能量转换系统性能特性的理论基础，也可为相关能量转换系统的优化设计提供理论参考。

关键词： 能量转换系统；不可逆性；优化分析

厦门大学博硕士学位论文摘要库

ABSTRACT

The energy conversion systems are some of the important equipments that are widely used in daily lives and industry productions, which have various categories and have been noted. In the last years, because of the emergence of the shortage of energy sources, more and more countries have paid attentions to searching new energy sources, and the problems of how to apply new energy sources are universally noticed. In the mean time, energy conversion fixings become something that people focus. By using finite time thermodynamic and optimal control theories, the new models of energy conversion systems may be established, the effects of multifarious irreversibilities in the models may be considered, the inherent mechanism of the systems may be revealed, the operating characteristics of the systems may be analyzed, the various performance parameters may be optimized, the whole performance of the systems may be improved, and it is expected that the results obtained may provide some theoretical bases for the practical researches and application of new energy sources. The research works mentioned above are very significant subjects to be worthy studied further.

In this thesis, the performance characteristics of two classes of thermodynamic systems, the fluid flow systems and energy conversion combined systems, are investigated. In Chapter 1, the development of the theory of finite thermodynamics and the applications of some new energy sources are introduced briefly. In Chapter 2, a general model of an irreversible fluid flow system is established, in which the linear and nonlinear fluid flow resistances and the friction forces with different types are taken into account. The influence of the piston speed and friction force on the instantaneous power output and efficiency of the system is analyzed. The instantaneous power output is maximized. The instantaneous power outputs versus efficiency characteristics are revealed. The optimum criteria of some important parameters are given. Some special cases are discussed in detail. The results obtained here can include the important conclusions obtained in literature. In chapter 3, on the basis of Bejan's model of an irreversible turbine, the influence of the dissipative losses resulting from friction on the performance of the system is analyzed. The maximum power

output and efficiency are calculated. The characteristic curves of the system are presented for a set of given parameters. The optimally operating regions of some important parameters are determined. Analytic expressions of the main parameters are derived under some approximate conditions. In Chapter 4, Performance characteristics of a class of energy conversion combined systems are investigated. The heat leak loss, non-perfect regeneration, irreversibility of heat transfer and endo-irreversibility of the cycle existing in real energy conversion combined systems are considered and a general model of a class of energy conversion combined systems is established. The synthetic influence of the main irreversibilities on the efficiency and power output of the system is analyzed. The maximum efficiency and power output and the corresponding parameters are calculated. The optimal characteristics of the system are revealed. Some significant special cases are discussed in detail. The important conclusions in the models of energy conversion combined systems established by Began and Peterson are directly derived. Some relevant results obtained here are generalized to apply to solar-driven heat engine systems.

The results obtained here may provide some theoretical bases for the deep investigation on the performance characteristics of some relevant energy conversion systems as well as some references for the optimal design of some relevant energy conversion systems.

Key words: energy conversion system; irreversibility; optimal analysis

第一章 引言	1
§ 1.1 有限时间热力学简介	1
§ 1.2 新能源的利用	2
§ 1.3 本论文的研究内容及安排	4
参考文献	4
第二章 流体流动系统的瞬时输出功和效率特性	9
§ 2.1 不可逆流体流动系统	9
§ 2.2 活塞速度的影响	12
§ 2.3 功率与效率特性	15
§ 2.4 一些特殊条件下的性能分析	16
§ 2.4.1 无摩擦力	16
§ 2.4.2 恒定摩擦力	16
§ 2.4.3 变摩擦力	17
§ 2.5 讨论	19
§ 2.6 小结	21
参考文献	21
第三章 不可逆涡轮系统的输出功率和效率特性	23
§ 3.1 涡轮机的功率与效率关系	24
§ 3.2 功率和效率特性	26
§ 3.3 无流阻涡轮机的性能特性	31
§ 3.4 小流阻涡轮机的性能特性	32
§ 3.4.1 无摩擦力	32
§ 3.4.2 恒定摩擦力	32
§ 3.4.3 变摩擦力	33
§ 3.5 讨论	34
§ 3.6 小结	35

参考文献	35
第四章 一类能量转换耦合系统的性能特性及参数优化分析.....	37
§ 4.1 一类能量转换耦合系统	37
§ 4.2 最大效率和最大输出功率	41
§ 4.3 几点讨论	44
§ 4.3.1 $\lambda = 0$	44
§ 4.3.2 $\varepsilon = 1$	44
§ 4.3.3 $I = 1$ 和 $U_i (i = 1,2) \rightarrow \infty$	45
§ 4.4 推广应用	46
§ 4.5 小结	47
参考文献	47
第五章 结束语.....	50
附录	51
致谢.....	52

CONTENTS

Chapter 1 Introduction.....	1
§ 1.1 A brief introduction to finite time thermodynamics	1
§ 1.2 Application of new energy sources	2
§ 1.3 Outline of the thesis	4
References	4
Chapter 2 The instantaneous power output versus efficiency characteristics of an irreversible fluid flow system	9
§ 2.1 An irreversible fluid flow system	9
§ 2.2 The influence of the piston speed.....	12
§ 2.3 The instantaneous power output versus efficiency characteristics	15
§ 2.4 Several special cases.....	16
§ 2.4.1 Without friction.....	16
§ 2.4.2 Constant friction force	16
§ 2.4.3 Variable friction force	17
§ 2.5 Discussion	19
§ 2.6 Conclusions.....	21
References	21
Chapter 3 The power output versus efficiency characteristics of an irreversible turbine.....	23
§ 3.1 The power output and efficiency of an irreversible turbine	24
§ 3.2 The power output versus efficiency characteristics	26
§ 3.3 The performance characteristics of the turbine without flow resistance	31
§ 3.4 The performance characteristics of the turbine with small flow resistances	32

§ 3.4.1 Without friction.....	32
§ 3.4.2 Constant friction force	32
§ 3.4.3 Variable friction force	33
§ 3.5 Discussion	34
§ 3.6 Conclusions.....	35
References.....	35
Chapter 4 Performance characteristics of a class of energy conversion combined systems and their parametric optimum analyses.....	37
§ 4.1 A class of energy conversion combined systems.....	37
§ 4.2 Maximum efficiency and maximum power output.....	41
§ 4.3 Discussion	44
§ 4.3.1 $\lambda = 0$	44
§ 4.3.2 $\varepsilon = 1$	44
§ 4.3.3 $I = 1$ and $U_i (i = 1, 2) \rightarrow \infty$	45
§ 4.4 Application.....	46
§ 4.5 Conclusions.....	47
References.....	47
Chapter 5 Summary.....	50
Appendix	51
Acknowledgements.....	52

第一章 引言

§ 1.1 有限时间热力学简介

能源问题一直是人们所关心的问题。十八世纪中叶，英国爆发第一次工业革命，机器代替手工工具，燃烧煤炭是此时的主要能源来源，蒸汽机作为动力机被广泛使用。19 世纪早期，人们发现电磁感应现象，通过深入研究这一现象，科学家们了解掌握电磁理论，实现电能和机械能的互换。电能的出现，又一次改变人类的生活，电能被广泛应用于工业和日常生活，成为取代蒸汽能的新能源。柴油机汽油机的相继出现在解决人们交通问题的同时，推动石油工业的发展，这是人类的另一重要能源，也是现代工业的基石。到上个世纪中叶，原子能、电子计算机和空间技术的广泛应用标志着人类科技的又一次飞跃，各种新能源被应用。三次工业革命是人类文明的进步，是科学的进步，是人类征服自然的体现，其中我们不难看到，能源一直发挥着举足轻重的作用。

人们在不断革新能源的同时，如何合理有效地利用能源更是成为很多科学家所感兴趣和研究的课题。研究热运动规律和宏观性质的热力学一直和能源应用紧密联系着。经典热力学主要研究对象是处于热力学平衡态的系统，一般在不考虑时间的情况下研究一个系统的准静态变化以及效率和输出功等性能系数。通过对热机的研究得到著名的卡诺效率： $\eta_c = 1 - T_L / T_H$ ，这是工作在高温 T_H 和低温 T_L 之间热机的最大效率。随着时代发展科学进步以及人们实际生产需要，经典热力学的局限性逐渐体现出来，有限时间热力学[1, 2]便应运而生。考虑到现实热机的工作时效性和尺寸有限，有限时间热力学主要研究非平衡系统在有限时间中的能流和熵流的规律，是经典热力学的进一步发展和延伸，成为当前研究热力现象和能源利用的重要理论之一。它可根据具体情况选择不同的目标函数，应用最优控制理论优化各种性能参数，并且已经取得许多重要成果。1975 年加拿大学者 Curzon 和 Ahborn[3] 考虑在工质与环境间传热不可逆情况下的卡诺热机模型，推导出著名的“CA 效率”： $\eta_m = 1 - \sqrt{T_L / T_H}$ ，它所描述的是一个工作在高温 T_H 和低温 T_L 之间热机在最大输出功率时的效率，这是有限时间热力学的一个重要成果和标志，限定了热机的最佳效率所允许选择的下限。此后，更多的科学工作

者投身于有限时间热力学的研究，各种模型被相继提出，从卡诺热机模型开始，到各种面向实际工程的热力学循环模型，如奥托 (Otto)、狄塞尔 (Diesel)、兰金 (Rankine)、斯特林 (Stirling)、埃里克森 (Ericsson)、布雷顿 (Brayton)、布雷森 (Braysson) 等各种内燃机和外燃机的循环模型[4-16]；除了动力循环外，还有制冷热泵等循环系统[16-18]。在近年来的研究中，除传热不可逆性外更多的影响因子和不可逆性已被考虑，诸如：热漏、热阻、回热、摩擦、惯性、涡流等等，还有一些学者提出引入的不可逆程度 I 来描述设备内部的不可逆性，等等[20-22]；同时，一些研究方法如焓分析理论、热经济理论、生态学优化理论等也被应用到各种循环的研究中[23-25]；还有如铁电材料、铁磁材料、热电材料等各种工质的热力学性质以及不同工质对循环性能的影响也被广泛地研究[26-33]。总之，有限时间热力学的蓬勃发展，各种研究所取得的成果对现实工作具有重要的指导和帮助。这些成果无一不体现有限时间热力学的价值和意义。

§ 1.2 新能源的利用

而今，人类对能源的需求越来越大，全球化石能源的枯竭是不可避免的，将在本世纪内基本开采殆尽。世界大部分国家能源供应不足，各国努力寻求稳定充足的能源供应，都对发展能源的战略决策给予极大的重视，能源问题又被突显出来。自上个世纪 90 年代以来各国开始大力发展可再生能源，许多国家都把可再生能源作为能源政策的基础。中国也将大力发展可再生能源作为明确目标。从世界范围可再生能源的利用看，风能、太阳能和生物能发展都取得重要发展，吸引了人们的关注。

在实际生产生活中，人们发现当存在两个有势差的库，就有可能在这两个库之间构建某个设备，这个设备可以将能量从高势的库引导到低势的库，并在这个过程中对外界输出功。此过程是完全符合热力学第一和第二定律的，而这两个库的势差，既可以是温度差，也可以是压强差、重力势差等等。于是各种模型依照这种想法被建立。在深入研究之后，发现从两个存在压强差的库间获得功输出（即流体流动系统）的模型和机制与先前所研究的热力模型有很大的相似之处。Bejan[34-36]便尝试将各种有限时间热力学的研究手段应用到此模型中，取得很好的效果，得到很多有意义的结果[37]。通过对此模型的进一步丰富和扩充，这

Degree papers are in the "[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)". Full texts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.

厦门大学博硕士论文摘要库