

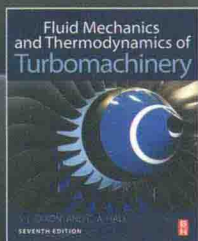
国外名校最新教材精选

透平机械中的流体力学与热力学

Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery

[英] S·L·狄克逊 著
C·A·霍尔
张荻 谢永慧 译
俞茂铮 审校

(第7版)



S.L.Dixon C.A. Hall



西安交通大学出版社
XI'AN JIAOTONG UNIVERSITY PRESS

✻ 国外名校最新教材精选

TK14
13

Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery

透平机械中的流体力学与热力学

(第7版)

S · L · 狄克逊

S. L. Dixon

University of Liverpool UK

[英]

著

C · A · 霍尔

C. A. Hall

University of Cambridge UK

张 荻 谢永慧 译

俞茂铮 审校



西安交通大学出版社

Xi'an Jiaotong University Press

Fluid Mechanics and Thermodynamics of Turbomachinery, Seventh Edition

S. L. Dixon and C. A. Hall

ISBN 978 - 012 - 4159549

Copyright © 2014 By Elsevier All rights reserved.

Authorized Simplified Chinese translation edition published by the Publisher and Co-Publisher

Copyright © 2015 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd. and Xi'an Jiaotong University Press

All rights reserved.

Published in China by Xi'an Jiaotong University Press under special arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd. . This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong, Macau and Taiwan. Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书简体中文版由 Elsevier(Singapore)Pte Ltd. 授予西安交通大学出版社在中国大陆地区(不包括香港、澳门以及台湾地区)出版与发行。未经许可之出口,视为违反著作权法,将受法律之制裁。

本书封底贴有 Elsevier 防伪标签,无标签者不得销售。

陕西省版权局著作权合同登记号 图字 25 - 2014 - 143 号

图书在版编目(CIP)数据

透平机械中的流体力学与热力学:第7版/(英)狄克逊,
(英)霍尔著;张荻,谢永慧译. —7版. —西安:西安交通大学出版社, 2015.12

书名原文:Fluid Mechanics and Thermodynamics of
Turbomachinery, 7ed

ISBN 978 - 7 - 5605 - 8123 - 1

I. ①透… II. ①狄…②霍…③张…④谢… III. ①透
平机械-流体力学②透平机械-热力学 IV. ①TK05

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 288532 号

书 名 透平机械中的流体力学与热力学(第7版)
著 者 (英)S·L·狄克逊,(英)C·A·霍尔
译 者 张 荻 谢永慧
审 校 者 俞茂铮

出版发行 西安交通大学出版社
(西安市兴庆南路10号 邮政编码 710049)

网 址 <http://www.xjtpress.com>

电 话 (029)82668357 82667874(发行中心)
(029)82668315(总编办)

传 真 (029)82668280

印 刷 陕西宝石兰印务有限责任公司

开 本	787mm×1092mm	1/16	印 张	27.5	字数	634 千字
版次印次	2015 年 12 月第 1 版		2015 年 12 月第 1 次印刷		印 数	0001~2000
书 号	ISBN 978 - 7 - 5605 - 8123 - 1/TK · 117					
定 价	78.00 元					

读者购书、书店添货、如发现印装质量问题,请与本社发行中心联系、调换。

订购热线:(029)82665248 (029)82665249

投稿热线:(029)82665380

读者信箱:banquan1809@126.com

版权所有 侵权必究

译者序

透平机械亦称为叶轮机械和涡轮机械,被广泛应用于发电、化工、航空航天、舰船动力等领域,其典型特征是装有叶片(或叶轮)的转子做旋转运动,流体与叶片相互作用,实现能量的转化与传递。

古希腊人早在 3000 多年前就开始使用最简单的透平机械——风车来灌溉和碾磨谷物等,我国利用风车始于汉朝,至今也有 2000 多年的历史。随着人类科技的发展,在 19 世纪末,瑞典工程师拉伐尔及英国工程师帕森斯分别独立发明了实用的汽轮机,由此开创了透平机械的现代化进程。其后各国科学家及工程师发展了满足人类多种需求的种类繁多的透平机械,包括汽轮机、燃气轮机、水轮机和风力机等将流体能量(热能、势能或动能)转化为机械功的原动机,以及泵、风机和压气机等将机械能转化为流体能量的工作机。理解并掌握这些透平机械的流体流动过程及能量转化原理,对于其设计、制造及利用具有重要意义。

本书为透平机械世界名家 S. Larry Dixon 的倾心之作,目前已更新至第 7 版,世界上许多高校和培训机构都采用本书作为热能动力工程(尤其是透平机械)专业的教材。本书第 7 版深入浅出地阐述了透平机械的流体力学和热力学基础知识,并详细介绍了常见的轴流式、径流式和混流式透平机械(如压气机、泵、涡轮机、水轮机和风力机等)的基本原理、工作性能和初步设计。本书各章节提供了丰富的示例,详细给出了计算公式及过程,为初学者提供了极佳的示范,也为透平机械研究人员提供了清晰的分析思路。同时,每章还附有多个综合性和设计性习题,便于读者巩固知识,深入理解。

本书可以作为能源与动力工程、核动力工程、舰船、航空航天等专业的本科生教科书,也可作为透平机械相关专业研究生及工程技术人员的参考书。译者有幸将此书译成中文并推荐给读者,期望本书能促进我国透平机械教学工作和

技术的发展。

本书共 10 章,其中第 4、5、6、7、8 章由张荻翻译,第 1、2、3、9、10 章由谢永慧翻译,全书最后由张荻统稿,并请俞茂铮先生对全书进行了审校。俞茂铮先生为本书提供了大量宝贵的修改意见,在此表示真诚地感谢! 译者指导的研究生吕坤、申仲旸、屈焕成、袁瑞山等在本书翻译的前期进行了大量基础性工作,西安交通大学出版社的鲍媛编辑为本书的出版付出了非常多的努力,在此一并表示感谢!

由于译者水平所限,译书的缺点和错误难免,欢迎读者批评指正。

张荻 谢永慧

2015 年 8 月于西安交通大学

第 7 版序

本书最初是作为透平机械相关专业,并且需要获得工程荣誉学位的学生最后一年使用的教材,也可作为进修硕士研究生课程的参考书。本书针对的读者主要从事工程技术,而非数学专业,但是具备一些数学知识对于阅读本书非常有益。此外,本书从第 1 章起就默认读者已经具备流体力学基本知识。全书着重阐述流动的实际物理意义,很少使用专门的数学方法。

与第 6 版相比,新版改动和补充了许多概念、科技进展和例题。第 1 章首先给出了透平机械的定义,介绍了连续方程、能量方程和熵方程等基本定律以及非常重要的欧拉功方程;其次,第 1 章还介绍了完全气体和实际工质的物理性质,并在附录中给出了水蒸汽焓熵图。第 2 章主要描述了“相似原理”的应用,以及各种类型透平机械及其性能特征的量纲分析。同时,介绍了低速及高速透平机械的性能特征。基于上述概念,给出了两个重要参数:比转速和比直径,并在科迪尔图中阐释了这两个参数的应用,该图说明了如何根据设计要求选取效率最高的机型。最后,第 2 章还介绍了泵和水轮机空化的基本知识。

对叶栅中气动特性的测量和理解是现代轴流式透平机械设计与分析的基础。第 3 章介绍了叶栅气体动力学,这是后续轴流式涡轮机与轴流式压气机两章的理论基础。上一版已经对第 3 章进行了重新编写,新版则更关注可压缩流动,以及影响透平机械叶片设计和叶栅性能的各种因素。此外,本章还添加了新的一节,介绍叶栅设计和分析的计算方法,并详细阐述了两种计算方法及其功能。

第 4 章和第 5 章分别介绍了轴流式涡轮机和轴流式压气机。第 4 章添加了一些新内容以更好地描述汽轮机特性,并补充了几个小节来阐述涡轮机内各种损失的来源,进一步分析了损失与效率之间的关系,同时更新了例题与习题。第 4 章还讨论了不同类型涡轮机设计的优缺点,包括与机械设计有关的问题,如离心应力水平以及高转速、高温涡轮机的冷却。采用比较简单的关系式描述了

涡轮机效率随主要参数的变化趋势。

第5章阐述了各种类型轴流式压气机的分析方法和初步设计方法,添加了一些插图、例题及习题,介绍了新的压气机损失来源,详细分析了高速旋转的动叶栅中的激波损失。本章还讨论了非设计工况和多级压气机中级的匹配,由此可以实现大型压气机性能的定量分析。同时,补充了新的例题和习题,作为上述新内容在设计工况、非设计工况以及高转速压气机可压缩流动方面的应用示例。

第6章介绍了轴流式透平机械中的三维流动效应。相比第6版,这一章可能最具新特色。本章添加了大量关于三维流动、三维设计特征以及三维计算方法的内容,改写和更新了介绍通流计算方法的小节,补充了大量解释性插图以及有关涡旋设计的新例题和习题。

径流式透平机械仍然是广泛应用的重要动力设备,如内燃机的涡轮增压器、油气运输以及空气液化中使用的透平膨胀机。由于喷气式发动机核心部件设计得越来越紧凑,因此径流式透平机械在航空航天领域将会有更多的用途。第7章和第8章阐述了离心压气机和向心涡轮机的分析及设计方法。相较第5版,新版增添了新的例题,修正了一些内容并重新编写了一些小节。

本书第4版首次引入可再生能源的内容,添加了威尔斯透平和新的一章“水轮机”。随后,第5版添加了“风力机”一章。由于世界各国越来越关注各种形式能源的利用,所以新版保留了上述章节。利用可再生能源获取更多电力的要求不断高涨,其中水力发电和风力发电是最重要的方式。新版第9章介绍了水轮机,包括威尔斯透平和潮汐能发电机,并补充了一些新的例题。第10章介绍了风力机的基本流体力学原理,给出了难度不同的例题。新版还增加了风特性的概率分析,从而可以确定给定尺寸的风力机从正常阵风中获得的能量。本章还介绍了通过风速仪测量瞬时风速来确定平均速度及平均风力发电量的方法,阐述了翼型选取和叶片制造的准则、常规功率输出和转子转速的调节方法以及性能测试等重要问题。此外,还简要讨论了风力机对环境的负面效应,这对风力机的发展越来越重要。

为了加深学生在全书学习过程中的理解,本书提供了很多例题来阐释相关理论。除此之外,每一章最后还给出了许多习题,有些习题比较简单,有些则难度较大。学生可以根据附录F中的答案来检查解答是否正确。

致 谢

作者衷心感谢出版社和教育、研究及制造机构的众多同仁在本书新版准备过程中的帮助和支持！特别感谢下列公司和机构许可本书新版使用多幅照片及插图：

ABB(Brown Boveri, Ltd.)

American Wind Energy Association

Bergey Windpower Company

Dyson Ltd.

Elsevier Science

Hodder Education

Institution of Mechanical Engineers

Kvaener Energy, Norway

Marine Current Turbines Ltd. , UK

National Aeronautics and Space Administration (NASA)

NREL

Rolls-Royce plc

The Royal Aeronautical Society and its Aeronautical Journal

Siemens (Steam Division)

Sirona Dental

Sulzer Hydro of Zurich

Sussex Steam Co. , UK

US Department of Energy

Voith Hydro Inc. , Pennsylvania

The Whittle Laboratory, Cambridge, UK

我要向已故的利物浦大学教授 W. J. Kearton 以及他那本影响深远的著作《汽轮机理论与实践》(Steam Turbine Theory and Practice)表达我迟到但诚挚的谢意。Kearton 教授花费了大量时间与精力传授我们工程知识,令我对透平机械的兴趣与日俱增,并将终生保持这种兴趣与热爱。此外,如果没有利物浦大学 W. R. Pickup 基金会奖学金在我大学期间给予我的支持,这一切都不可能实现,是它向我打开了机会之门,改变了我的人生。

同时,我要向 John H. Horlock 教授(如今已是爵士)表达我最诚挚的谢意,他在利物浦大学担任 Harrison 机械工程教授期间,培养了我对压气机和涡轮机叶栅流动奥妙知识的兴趣。在撰写第 6 版的初期,John P. Gostelow 教授(是我早前指导的本科学生)与我就新版中可以添加的内容进行了深入而有益的探讨。在我职业生涯中,还有很多机械工程系的同仁也给予了我大量帮助和指导,在此一并表示感谢。

此外,我曾频繁地在利物浦大学 Harold Cohen 图书馆查找第 7 版所需的技术资料,我要向该馆工作人员给予的帮助表达深深的谢意。

最后,由衷感谢我的妻子 Rosaleen 对我工作的耐心支持以及不时建议,使我有充分的精力完成本书新版。

S. Larry Dixon

感谢剑桥大学工程系,我曾是那里的一名学生、研究员,如今又受聘为讲师。在我成长为学者和工程师的过程中,许多同仁给予了我无私的帮助。在此我要特别感谢 John Young 教授,他对于热流体课程的精彩讲授,激发了我对学科的兴趣与热情。同时,我也十分感激我工作了多年的罗尔斯-罗伊斯公司。从众多同事那里,我学习到压气机和涡轮机气体动力学方面的许多知识,而且他们仍一如既往地支持着我的研究工作。

我利用休假时间在剑桥大学国王学院的办公室完成了本书新版中我承担

的所有工作。国王学院不仅为我提供住宿和餐饮,还有许多杰出而友好的同仁在我撰写本书的过程中给予了我热情的帮助,在此表示诚挚的谢意。

作为一名透平机械专业的讲师,Whittle 实验室对我而言是最好的研究机构,在此感谢实验室以往及现任同仁对我的所有支持和指导。其中,特别感谢我的博士学位导师 Tom Hynes 博士,是他鼓励我从工业界回归学术界,并在我担任讲师时就将透平机械课程的主讲工作交付于我。Rob Miller 博士是我在实验室工作期间的挚友及同事,非常感谢他在许多技术、专业以及个人事务上给予我的建议。实验室其他成员,包括 Graham Pullan 博士、Liping Xu 博士、Martin Goodhand 博士、Vicente Jerez-Fidalgo、Ewan Gunn 以及 Peter O'Brien 帮助我为本书准备了合适的插图,在此一并表示感谢。

最后,我要向我的父母 Hazel 和 Alan 为我所做的一切致以诚挚的谢意。同时,将我为本书所做的工作献给我的妻子 Gisella 和儿子 Sebastian。

Cesare A. Hall

符号表

A	面积
a	音速
$\bar{a}, a'$	轴向诱导因子, 切向诱导因子
b	轴向弦长, 通道宽度, 叶栅轴向弦长(宽度)
C_c, C_t	弦向力系数, 切向力系数
C_L, C_D	升力系数, 阻力系数
CF	容量系数($= \bar{P}_w / P_R$)
C_p	定压比热, 压力系数, 压升系数
C_v	定容比热
C_x, C_y	轴向力系数, 切向力系数
c	绝对速度
c_o	射流速度
d	管道内径
D	阻力, 直径
D_h	水力平均直径
D_s	比直径
DF	扩压因子
E, e	能量, 比能
F	力, 普朗特修正系数
F_c	叶片离心力
f	摩擦系数, 频率, 加速度
g	重力加速度
H	叶高, 水头(压头)

H_E	有效水头
H_f	摩擦导致的水头损失
H_G	总水头
H_s	净正吸入水头(NPSH)
h	比焓
I	转焓
i	冲角
J	风力机叶尖速比
j	风力机当地叶片速比
K, k	常量
L	升力,扩压器壁面长度
l	叶片弦长,管道长度
M	马赫数
m	质量,分子质量
N	转速,扩压器轴向长度
n	级数,多变指数
o	喉部宽度
P	功率
P_R	风力机额定功率
$\bar{P}_w$	风力机平均功率
p	压力
p_a	大气压
p_v	蒸汽压
q	蒸汽干度
Q	传热量,体积流量
R	反动度,比气体常数,扩压器半径,流管半径
Re	雷诺数
R_H	重热系数
R_o	通用气体常数
r	半径

S	熵, 功率比
s	叶片节距, 比熵
T	温度
t	时间, 厚度
U	叶片速度, 内能
u	比内能
V, v	体积, 比容
W	功, 扩压器宽度
ΔW	比功
W_x	轴功
w	相对速度
X	轴向力
x, y	干度, 湿度
x, y, z	笛卡尔坐标系方向
Y	切向力
Y_p	滞止压力损失系数
Z	叶片数, Zweifel 叶片负荷系数
α	绝对流动(气流)角
β	相对流动(气流)角, 叶片俯仰角
Γ	环量
γ	比热比
δ	落后角
ε	流体偏转角, 冷却效率, 风力机阻力-升力比
ζ	焓损失系数, 不可压缩流动的滞止压力损失系数
η	效率
θ	叶片中弧线折转角, 尾迹动量厚度, 扩压器的 50% 扩张角
κ	对数螺旋线叶片的包角
λ	叶型损失系数, 叶片负荷系数, 冲角系数
μ	动力粘性系数
ν	运动粘性系数, 轮毂比, 速比

ξ	叶片安装角
ρ	密度
σ	滑移系数,稠度,空化系数(Thoma 系数)
σ_b	叶片空化系数
σ_c	离心应力
τ	转矩
ϕ	流量系数,速比,风力机冲击角
ψ	级负荷系数
Ω	转速
Ω_s	比转速
Ω_{sp}	功率比转速
Ω_{ss}	吸入水头比转速
ω	涡量

下标

0	滞止参数
b	叶片
c	压气机,离心的,临界的
cr	临界值
d	设计
D	扩压器
e	出口
h	水力的,轮毂
i	进口,叶轮
id	理想的
m	平均,子午面的,机械的,材料
max	最大的
min	最小的
N	喷嘴
n	法向分量
o	总的
opt	最佳的

p	多变的, 泵, 定压的
R	可逆过程, 转子
r	径向的
ref	参照值
rel	相对的
s	等熵的, 围带, 失速工况
ss	级等熵的
t	涡轮机, 顶部, 横向的
ts	总-静
tt	总-总
v	速度
x, y, z	笛卡尔坐标系方向分量
θ	切向的(圆周向的)

上标

.	随时间的变化率
-	平均的
'	叶片角(与流动角(气流角)进行区分)
*	额定工况, 喉部工况
^	无量纲量

目 录

译者序
第 7 版序
致谢
符号表

第 1 章 绪论:基本原理	(1)
1.1 透平机械的定义	(1)
1.2 坐标系	(2)
1.3 基本定律	(5)
1.4 连续方程	(5)
1.5 热力学第一定律	(6)
1.6 动量方程	(7)
1.7 热力学第二定律——熵	(9)
1.8 伯努利方程	(10)
1.9 流体的热力学性质	(11)
1.10 完全气体可压缩流的关系式	(14)
1.11 效率的定义	(17)
1.12 小焓差级或多变效率	(21)
1.13 透平机械内流动的固有不稳定性	(26)
习题	(27)
参考文献	(28)
第 2 章 量纲分析:相似原理	(31)
2.1 量纲分析和确定性能的定律	(31)
2.2 不可压缩流体分析	(32)
2.3 低速透平机械的性能特性	(33)
2.4 可压缩流体分析	(35)
2.5 高速透平机械的性能特性	(38)
2.6 比转速及比直径	(41)
2.7 空化	(49)
习题	(50)
参考文献	(52)

第3章 二维叶栅	(55)
3.1 引言	(55)
3.2 叶栅几何特性	(57)
3.3 叶栅流动特性	(60)
3.4 叶栅受力分析	(63)
3.5 压气机叶栅性能	(66)
3.6 涡轮机叶栅	(75)
3.7 叶栅数值分析	(85)
习题	(89)
参考文献	(91)
第4章 轴流式涡轮机:中径流线分析及设计	(93)
4.1 引言	(93)
4.2 轴流式涡轮机级的速度三角形	(95)
4.3 涡轮机级设计参数	(95)
4.4 轴流式涡轮机级的热力学	(96)
4.5 重复级涡轮机	(98)
4.6 级损失与级效率	(99)
4.7 轴流式涡轮机的初步设计	(104)
4.8 涡轮机类型	(106)
4.9 反动度对效率的影响	(110)
4.10 流体在叶片排中的扩压	(111)
4.11 Smith(1965)效率关联式	(113)
4.12 涡轮机级设计工况的效率	(115)
4.13 涡轮机动叶片的应力	(118)
4.14 涡轮机叶片的冷却	(123)
4.15 涡轮机流量特性	(125)
习题	(128)
参考文献	(131)
第5章 轴流压气机与涵道风扇	(133)
5.1 引言	(133)
5.2 压气机级的中径流线分析	(134)
5.3 压气机级的速度三角形	(135)
5.4 压气机级的热力学	(136)
5.5 级的损失关系式及效率	(136)
5.6 压气机动叶栅的中径流线计算	(139)
5.7 压气机级的初步设计	(142)
5.8 非设计工况性能	(147)
5.9 多级压气机性能	(148)