

内燃机先进技术译丛

 Springer

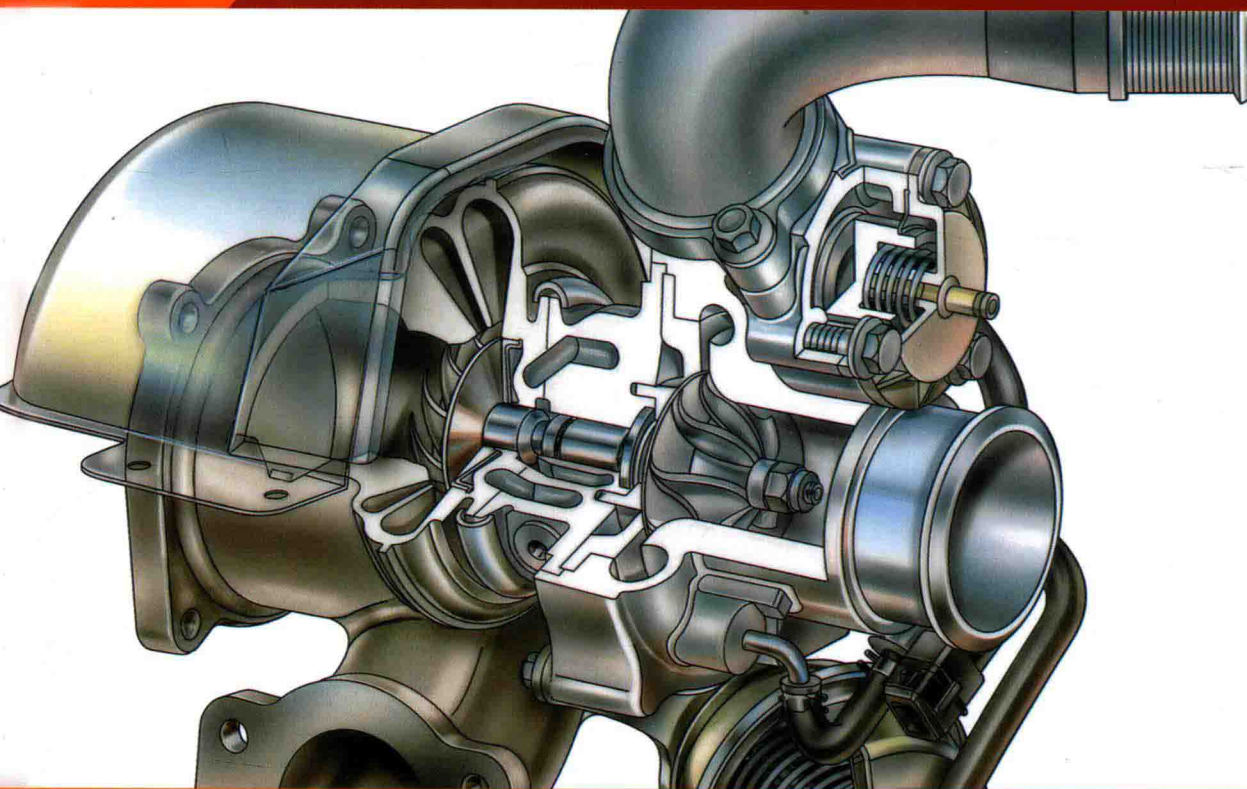
内燃机增压

——基础、计算和设计

Aufladung von
Verbrennungsmotoren 原书第4版

[德] 赫尔穆特·普赫 (Helmut Pucher) 编著
卡尔·青纳 (Karl Zinner)

倪计民团队 译



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS



内燃机先进技术译丛

内燃机增压

——基础、计算和设计

[德] 赫尔穆特·普赫 (Helmut Pucher) 编著
卡尔·青纳 (Karl Zinner)
倪计民团队 译



机械工业出版社

Translation from German language edition;

Aufladung von Verbrennungsmotoren

by Helmut Pucher and Karl Zinner

Copyright © 2012 Springer Berlin Heidelberg

Springer Berlin Heidelberg is a part of Springer Science + Business Media

All Rights Reserved

版权所有，侵权必究。

This title is published in China by China Machine Press with license from Springer. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR, Macao SAR 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.

本书中文简体版由 Springer 授权机械工业出版社在中国境内（不包括香港、澳门特别行政区以及台湾地区）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。

北京市版权局著作权合同登记 图字：01-2014-6310。

图书在版编目（CIP）数据

内燃机增压：基础、计算和设计/（德）赫尔穆特·普赫（Helmut Pucher），（德）卡尔·青纳（Karl Zinner）编著；倪计民团队译。—北京：机械工业出版社，2018.6

（内燃机先进技术译丛）

ISBN 978-7-111-59447-5

I. ①内… II. ①赫… ②卡… ③倪… III. ①内燃机—增压发动机
IV. ①TK413.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2018）第 048675 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：孙 鹏 责任编辑：孙 鹏

责任校对：王 延 封面设计：鞠 杨

责任印制：常天培

涿州市京南印刷厂印刷

2018 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 20.5 印张 · 2 插页 · 395 千字

0001-2500 册

标准书号：ISBN 978-7-111-59447-5

定价：149.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

服务咨询热线：010-88361066

读者购书热线：010-68326294

010-88379203

封面无防伪标均为盗版

网络服务

机工官网：www.cmpbook.com

机工官博：weibo.com/cmp1952

金书网：www.golden-book.com

教育服务网：www.cmpedu.com

本书除对内燃机增压技术的理论基础、结构形式、过程仿真、工作特性、冷却等内容进行详尽论述外，还对相继增压、二级增压、与发动机的热力耦合和机械耦合，以及增压技术在车用、船用、固定机械用、航空用发动机上的应用进行了全面介绍，尤其是对增压技术在增加内燃机功率密度、降低油耗、减少排放进而促进发动机小型化的作用进行了详尽分析。本书适合从事增压发动机和相关增压部件研究、设计、开发的工程师阅读使用，也可供大专院校相关专业师生阅读参考。

丛书序

我国的内燃机工业在几代人前仆后继的努力下，已经取得了辉煌的成绩。从1908年中国内燃机工业诞生至今的一百多年里，中国内燃机工业从无到有，从弱到强，走出了一条自强自立、奋发有为的发展道路。2017年，我国内燃机产量已突破8000万台，总功率突破26.6亿千瓦，我国已是世界内燃机第一生产大国，产量约占世界总产量的三分之一。

内燃机是人类历史上目前已知的效率最高的动力机械之一。到目前为止，内燃机是包括汽车、工程机械、农业机械、船舶、军用装备在内的所有行走机械中的主流动力传统装置，但内燃机目前仍主要依靠石油燃料工作，每年所消耗的石油占全国总耗油量的60%以上。目前，我国一半以上的石油是靠进口，国家每年在石油进口上花费超万亿美元。国务院关于《“十三五”节能减排综合工作方案》的通知已经印发，明确表明将继续狠抓节能减排和环境保护。内燃机是目前和今后实现节能减排最具潜力、效果最为直观明显的产品，为实现我国2030年左右二氧化碳排放达到峰值且将努力早日达峰的总目标，内燃机行业节能减排的责任重大。

如何推进我国内燃机工业由大变强？开源、节流、高效！“开源”就是要寻求石油替代燃料，实现能源多元化发展。“节流”应该以降低油耗为中心，开展新技术的研究和应用。“高效”是指从技术、关联部件、总成系统的角度出发，用智能模式全方位提高内燃机的热效率。我国内燃机的热效率从过去不到20%提升至汽油机超30%、柴油机超40%、先进柴油机超50%，得益于包括燃油喷射系统、电控、高压共轨、汽油机缸内直喷、增压系统、废气再循环等在内的先进技术的研究和应用。除此之外，降低发动机本身的重量，提高功率密度和体积密度也应得到重视。完全掌握以上技术对我国自主开发能力具有重要意义，也是实现我国由内燃机制造大国向强国迈进的基础。

技术进步和技术人员队伍的培养不能缺少高水平技术图书的知识传播作用。但遗憾的是，近十几年，国内高水平的内燃机技术图书品种较少，不能满足广大内燃机技术人员日益增长的知识需求。为此，机械工业出版社以服务行业发展为使命，针对行业需求规划出版“内燃机先进技术译丛”，下大力气，花大成本，组织行业内的专家，引进翻译了一批高水平的国外内燃机经典著作。涵盖了技术手册、整机技术、设计技术、测试技术、控制技术、关键零部件技术、内燃机管理技术、流程管理技术等。从规划的图书看，都是国外著名出版社多次再版的经典图书，这对于我国内燃机行业技术的发展颇具借鉴意义。

据我了解，“内燃机先进技术译丛”的翻译出版组织工作中，特别注重专业

性。参与翻译工作的译者均为在内燃机专业浸淫多年的专家学者，其中不乏知名的行业领军人物和学界泰斗。正是他们的辛勤工作，成就了这套丛书的专业品质。年过8旬的高宗英教授认真组织、批阅删改，反复修改的稿件超过半米高；75岁的范明强教授翻译3本，参与翻译1本；倪计民教授在繁重的教学、科研、产业服务之余，组织翻译6本德文著作。翻译人员对于行业的热爱，对知识传播和人才培养的重视，体现出了我国内燃机专家乐于奉献、重视知识传承的行业作风！

祝陆续出版的“内燃机先进技术译丛”取得行业认可，并为行业技术发展起到推动作用！

何光素

译者的话

正如 Pucher 教授《内燃机增压》原著的前言中讲到这本书后的故事，而我决定翻译出版这本著作，其实也有一些话要说。

2001 年秋，我作为同济大学中德学院（CDHK）汽车技术基金教席助手，首次接待了柏林工大内燃机研究所所长 Pucher 教授。Pucher 教授是应邀来 CDHK 讲学的。在此后的十年时间里（期间先后由三位基金教席教授提出邀请），Pucher 教授每年都来 CDHK 讲学。按照 CDHK 的规定，聘请的外教一般三年一聘，特殊情况可以五年。之所以连续十年聘请 Pucher 教授，是因为 Pucher 教授开设的课程深受学生欢迎，是学生给予评价最高的外教课程。

Pucher 教授在柏林工大担任教授三十多年，这在德国高校的教授中也是少见的。曾经听 Pucher 教授说起过，教学对于他来说是一大乐趣（viel Spaß）。他在柏林工大开设的几门专业课，学生都非常认真，也有一些非注册学生来旁听，教室常常爆满。2004 年 12 月 - 2005 年 5 月，我在柏林工大做高访时就旁听过他的所有课程，受益匪浅。同时给我留下深刻印象的是，在此期间他从没有因为科研或其他原因调课。

Pucher 教授是德国大学汽车和内燃机技术教授联谊会主席，德高望重，深受专业人士的爱戴。

Pucher 教授在攻读博士学位时就师从 Seifert 教授，参与编制 PROMO 软件，自主开发了增压器试验台。获业界广泛认可的增压器试验设备制造商凯策公司的增压器试验台测试设备，其原理就出自 Pucher 教授研究所的科研成果。Pucher 教授在增压器试验和仿真计算方面的学术水平也是世界公认的。

Pucher 教授与中国内燃机行业的交往也很密切。我国内燃机增压技术领域著名的北京理工大学魏春源教授 20 世纪 80 年代就在柏林工大做博士学位论文。Pucher 教授与上海交通大学顾宏中教授也是老朋友，此外，Pucher 教授也曾与我国的增压器企业有过合作。

增压技术是汽车发动机节能减排的主要技术手段，而我自己也刚好从事这方面的科研工作，而且也深知方法和流程的重要性，所以决定翻译出版这本书。尽管德语水平有限，但是觉得有责任为行业发展尽绵薄之力。

我与 Pucher 教授长达十数年的交往，已不仅仅限于工作友情，教授比我年长二十岁，是热情、睿智、风趣幽默的长者，我们之间存在着宛如亲人般的感情。从当初他来同济大学讲学时每年一聚，到现在我每次去德国必去 Pucher 教授家拜访，我们从专业到生活有很多可聊的内容。而 Pucher 太太总是会亲自下厨款待，其中

有一道汤，类似于我们做的鸡汤面，很是美味。尽管得了 Pucher 太太传授的菜谱，可惜配料中的某些蔬菜国内寻来似是而非，终是不可复制。

虽然 Pucher 教授已经退休，但他始终关注专业，关注中国。本来着手翻译的计划是在教授的本命年时以此书的中译本献给他，令我惭愧的是，由于各种原因，完稿期一再拖延至今。2018 年，三月在望，谨以此书献给伟大的 Pucher 教授，衷心祝愿 Pucher 教授生日快乐！祝愿 Pucher 教授夫妇健康、长寿！

本书由同济大学汽车学院汽车发动机节能与排放控制研究所倪计民教授团队负责翻译，具体分工如下：

倪计民，现在同济大学工作：翻译前言、缩写、目录，第 1~5 章；

李涛，现在德国达姆斯达特工大攻读博士学位：翻译第 6~7 章；

陈彬，现在上汽大众公司工作：翻译第 8~9 章；

陈沁青，现在同济大学攻读博士学位：翻译第 10 章、第 12 章和 13.1 节；

张泽，现在上汽大众公司工作，翻译第 11 章、13.2 节、14.1 节-14.3.3 小节；

彭煌华，现在上汽大众公司工作，翻译 13.3 节、14.3.4 小节-14.3.6 小节、第 15 章；

全书由倪计民审校。

感谢同济大学汽车学院汽车发动机节能与排放控制研究所石秀勇副教授和团队的所有成员（已毕业和在校的博士生、硕士生）为团队的发展以及本书的出版所作出的贡献。

特别感谢原机械工业部何光远老部长为本书（译丛）作序。近五年来，与何老部长见面的机会不少，说起来与何老部长还真有缘分。20 世纪 80 年代，何部长一直提倡甲醇作为发动机的代用燃料，1986 年，我的硕士学位论文就是有关纯甲醇发动机的性能与排放研究。而三十年后，我也有两位博士生选择了醇类代用燃料发动机作为研究方向。何老部长多次视察辽宁省凤城市的增压器产业，并认为凤城市一些增压器小微企业可以作为示范基地。何老部长的关于“中国汽车工业的发展在于自主开发，而自主开发的关键是零部件”指明了中国汽车工业的发展方向。何老部长为本丛书作序，不仅是对我这个晚辈的关爱和鼓励，更是对致力于内燃机工业发展的业内同行们的支持。

本书的出版，还要特别感谢机械工业出版社的孙鹏先生，他的鼓励、支持使得我下定决心把这本书翻译出来。他所做的许许多多出版流程必需的工作，使得本书的出版工作顺利进行。

感谢我的太太汪静女士和儿子倪一翔先生，我们之间的相互支持是彼此共同成长的动力。同样感谢家人对我的支持和鼓励！

倪计民

2018 年 2 月

前 言

自 1975 年迄今，由 Karl Zinner 编著出版了 3 版的关于内燃机增压的书籍，成为历史最久远的关于增压技术的最“经典”的参考文献。而在日常的增压发动机的研究和开发中，当出现增压技术的基础问题时，仍由“Zinner”来支撑。

而 27 年后的现今出版了第 4 版。Karl Zinner 于 1991 年去世了，不是因为由他撰写的增压技术基础不再适用，而是因为自那时起，内燃机行业以及延伸的增压技术已经有了巨大的发展，以至于要求在专业书籍中增加新的成果，补充新的内容。

在大型发动机的增压技术的持续不断的开发过程中，不仅仅是考虑增压，而且在此期间有效热效率可以达到了 55%，尤其是自第 3 版起，最大限度地推动了汽车发动机的增压技术的研发，以至于如今商用车和乘用车柴油机实际上几乎都采用了增压技术，而汽油机也越来越多地采用增压。通过小型化，即发动机采用尽可能小的排量以达到所需要的功率，就必须采用相对比较高的增压，由此可以在乘用车发动机方面不断地降低油耗和 CO₂ 排放。新的增压技术的应用，尤其是可调二级增压，在提高效率和功率密度的同时，也能满足自第 3 版出版时起实施的严厉的排放法规。因为在此期间，大型发动机总能满足越来越严格的环保要求，因此，应该是无条件地保持高效率，甚至还要提高效率，但如今，这类发动机也在开发二级增压系统。相应地，在手头的新版本中，除了增压基础外，也介绍这些新的增压技术和增压策略，并以实例来阐述它们对油耗和排放的影响。

这本书的第 4 版同样主要是面向那些从事增压发动机和相关增压部件的研究、设计、开发的工程师们，但同样适合于机械制造和汽车技术专业的学生以及所有那些想深化内燃机构造中这个重要而有兴趣的领域的知识的人们。

我编著这个新版本，是出于我个人对伟大的 Zinner 教授的尊敬。当我 1968 年在奥格斯堡 (Augsburg) 的 M. A. N 公司作为年轻的发动机研发工程师时认识了 Zinner 教授并在他的领导下工作。当时，我也担任他在慕尼黑工业大学开设的增压技术课程的一个学期的助教。参考这个课程的底稿，Zinner 教授撰写了这本书的第 1 版。谁去过 Zinner 的学校，就可以从他那儿学到许多专业的和许多重要的、作为工程师和领导所具备的能力。对于后者而言，他总是给他的助教们足够的自由空间去发展他们自己的想法，指出其不足之处，并又容易被

接受。这些持续有效的经验在我作为柏林工业大学教师时也一直伴随着我，在我自己开设的增压技术课程中自然也依仗“Zinner”。

在此，我想感谢 Springer 出版社，是他们授权我编著新的版本，我也感谢所有专业文献的作者以及他们的公司转让有实用价值的图片材料。书中各种图片都标出了来源和出处，而没有标出来源和出处的图片要么是作者自己的制作，要么取自第3版。

赫尔穆特·普赫

柏林

2012年2月

中文版前言

本书是2012年柏林海德堡的施普林格出版社出版的《内燃机增压》一书的第4版的中文版。《内燃机增压》这本书的第1版（1975年）、第2版（1980年）以及第3版（1985年）由卡尔·青纳教授独自撰写，他在1991年去世，终年86岁。

由我编写的、现在以中文呈现的这本书的第4版除了增压的基本原理外，还论述了增压在当下所有种类的内燃机中的实际应用。作为柏林工业大学（1980~2008年）内燃机方向的教授以及在上海市同济大学中德学院每年每次为期一周的课程中，我能够向许多学生们传授增压技术的知识。由于在中国的课程中我不会使用中文，而是用德语或者英语来表达，所以我非常赞成内燃机增压的内容从现在起同样能以中文来呈现出来。

该书不仅面向在校大学生们，而且也面向已经在实际中从事增压内燃机开发的工程师们。增压技术除了其主要任务：提高发动机功率密度外，还可能减少燃油消耗率，并且同时减少 CO_2 排放以及 NO_x 排放。相应地我坚信，如同增压技术应用于驱动航海船舶的大型发动机中和在商用车发动机，在不久的将来增压技术还将在车用内燃机中得到这样的应用。

我要感谢中国机械工业出版社，该出版社获得我的书的中文版权，因此使该书更容易地向广大的中文语言地区开放。

我尤其感谢同济大学的倪计民教授和他的助手们将这本书从德文翻译成中文。其中，倪计民教授还负责该书的审校。

赫尔穆特·普赫
柏林，2017年10月

编辑的话

本书是由原柏林工业大学内燃机研究所所长、曾任德国 VDI 主席的 Pucher 教授和曾任 M. A. N 公司发动机研究负责人的 Zinner 教授合著的德文著作《Aufladung von Verbrennungsmotoren》(第 4 版) 翻译而来的。非常感谢同济大学汽车发动机节能与排放控制研究所所长倪计民教授的团队,正是他们的努力而认真的工作,尤其是倪教授,他对专业内容和文字的严格审校,使本书能顺利出版。

我国是内燃机产销大国,2017 年国内销量达 5645 万余台,其中包括用于乘用车的 2205 万余台与用于商用车的 398 万余台。正因如此,内燃机技术的进步具有重要的社会与经济意义。国内一代代的内燃机技术专家不断努力,也取得了令人瞩目的成就。国产汽油机热效率最好的已超过 37%,接近世界先进水平;国内整机厂、零部件配件厂产品质量和竞争力逐年攀升。然而,我们还远称不上内燃机强国,我国内燃机产品的综合能效和国际先进水平还有一定差距,需要在高强化整机技术、高性能关键零部件技术、先进的燃烧技术、低摩擦技术、低功耗的附件、余热利用、后处理等方面继续取得突破。

在此过程中,学习、吸收、消化国外内燃机方面的先进知识和经验,增加内燃机行业技术人员先进知识储备,完善知识体系,就成为解决内燃机行业发展的人才储备问题的关键。有鉴于此,我们机械工业出版社在行业专家的帮助下,从内燃机技术发达国家引进出版了一批高版次的内燃机技术图书,形成“内燃机先进技术译丛”,涵盖了技术手册、整机技术、设计技术、测试技术、控制技术、关键零部件技术、内燃机管理技术、流程管理技术等,目前已出版 8 种。本丛书的出版工作受到了行业内专家的鼓励和肯定,让我们深受鼓舞!

这项工作也得到了尊敬的原机械工业部何光远部长的关心和鼓励,他应邀为本丛书作序。何部长已年近九旬,然而仍挂念着不断进步的内燃机行业,在我国内燃机行业各个领域的进步过程中,处处都能看到何部长帮助、鼓励和督促的身影!

不用扬鞭自奋蹄!何部长的关心和鼓励,行业专家的帮助和肯定,都使我们更加坚定地履行我们服务机械行业的社会责任,为行业提供知识动力,义不容辞!

符号和缩写

符号 (拉丁字母)	单位	含义
A	m^2	截面积
A_K	m^2	活塞表面积
A_T	m^2	涡轮机(替代的)截面积
A_{Teff}	m^2	有效的涡轮机截面积
A_W	m^2	壁面面积
a	-	每循环曲轴转数
a	m/s	声速
B	s	加速度值
B	m	宽
b_e	$g/kW \cdot h$	有效比油耗
c	m/s	绝对速度
c_0	m/s	涡轮机处等熵出口速度
c_m	m/s	绝对速度的径向分量
c_m	m/s	活塞平均速度
c_p	$J/(kg \cdot K)$	比定压热容
c_u	m/s	周向速度
c_u	m/s	绝对速度的周向分量
c_v	$J/(kg \cdot K)$	比定容热容
D	m	直径
D	m	气缸直径
g	m/s^2	地球重力加速度
H_A	kJ	排气门后废气技术上的做功能力
H_Z	kJ	缸内废气技术上的做功能力
H_u	kJ/kg	热值
h	m	海拔
h	J/kg	比焓
Δh_{sL}	J/kg	压气机的比等熵焓差
Δh_{sT}	J/kg	涡轮机的比等熵焓差
Δh_t	kJ/kg	比技术功
I	A	电流

i	-	传动比
k	-	常数
k	$W/(m^2 \cdot K)$	传热系数
L	m	长度
L_{\min}	kg/kg	燃料的最小空气需求, 以质量计
M	$N \cdot m$	转矩
M_d	$N \cdot m$	转矩
m_A	kg	流出质量
m_B	kg	缸内燃料质量
m_E	kg	入流质量
m_{LZ}	kg	缸内空气质量
m_Z	kg	缸内质量
\dot{m}	kg/s	质量流量
\dot{m}_B	kg/s	燃料质量流量
\dot{m}_{LZ}	kg/s	每气缸空气质量流量
NO_x	$g/kW \cdot h$	NO_x 比排放
N	-	多变指数
n	r/min, r/s	转速
n_a	r/min	工作循环频率
n_L	r/min	增压器转速, 压气机转速
n_M	r/min	发动机转速
n_P	r/min	螺旋桨转速
P_A	kW/m^2	活塞表面功率
P_e	kW	发动机有效功率
P_i	kW	发动机指示功率
P_L	kW	增压器功率, 压气机功率
P_T	kW	涡轮机功率
p	bar (1bar = 0.1MPa)	压力
p_A	bar	废气压力
p_E	bar	进气压力
p_e	bar	平均有效压力
p_i	bar	平均指示压力
p_r	bar	平均摩擦压力
p_L	bar	增压压力
p_Z	bar	缸内压力
$p_{Z\max}$	bar	缸内最大压力
Q	J	热量

Q_B	kJ	每工作循环供给的燃烧能量
Q_W	kJ	每工作循环壁面传热
q	J/kg	比热量
R	J/(kg · K)	(比)气体常数
r	-	反应强度
r	kJ/kg	蒸发焓
S	J/K	熵
s	m	气缸行程
s	m	壁面厚度, 零部件厚度
s	J/(kg · K)	比熵
T	K, °C	温度
T	-	径流式涡轮机的平衡状态
TK	m ²	涡轮机常数
T_L	K, °C	增压空气温度
T_W	K	壁面温度
T_Z	K	气缸温度
T_t	K, °C	露点温度
t	s	时间
U	J	内能
u	J/kg	比内能
u	m/s	周向速度
i	-	传动比
V_C	m ³ , L	压缩容积
V_f	m ³	充满容积
V_H	m ³ , L	发动机总排量
V_h	m ³ , L	单缸排量
V_{hL}	m ³ , L	增压器排量, 压气机排量
V_Z	m ³	气缸容积
\dot{V}	m ³ /s	容积流量
v	m ³ /kg	比容积
W_i	J	每工作循环气缸的内功
W_L	J	发动机每工作循环增压器做功, 发动机每工作循环压气机做功
W_T	J	发动机每工作循环涡轮机做功
w	J/kg	比功
w	m/s	相对速度
w_t	J/kg	比技术功

x	m	位移
x	kg/kg, %	空气的绝对湿度
x_{AGR}	-	废气再循环率
x_R	%	调节位移
Y	J/kg	比功
ZAB	°KW	点火间隔
z	-	发动机气缸数
z	m	相对于参考高度（海拔）的高度间隔
(希腊字母)		
α	W/(m ² · K)	对流换热系数
α	1/K	线膨胀系数
α	°	绝对速度的角度
α_Z	W/(m ² · K)	缸内对流换热系数
β	°	相对速度的角度
γ	°	角度
ε	-	发动机压缩比
ε	-	速度比
η_A	-	出流效率
η_e	-	发动机有效热效率
η_i	-	发动机指示热效率
η_m	-	发动机机械效率
η_{sT}	-	涡轮机等熵效率
η_{sL}	-	增压器等熵效率, 压气机等熵效率
η_{mL}	-	增压器机械效率, 压气机机械效率
η_{mT}	-	涡轮机机械效率
η_{mTL}	-	涡轮增压器机械效率
η_T	-	涡轮机效率
η_{Tm}	-	涡轮机平均效率
η_{TL}	-	涡轮增压器效率
η_{TLK}	-	增压效率
η_ρ	-	增压空气冷却器效率
κ	-	等熵指数
λ	-	空燃比
λ	W/(m · K)	导热系数
λ_a	-	空气消耗
λ_f	-	充满度
λ_t	-	供给效率
λ_s	-	扫气效率

λ_V	-	燃烧空气比
μ	-	流量系数
ν	-	涡轮机速度 ($= u/c_0$)
π	-	压力比
π_L	-	增压器压力比, 压气机压力比
π_T	-	涡轮机压力比
ϕ	$^{\circ}\text{KW}$	曲轴转角
ϕ	-	空气的相对湿度
ψ	-	压力数
ψ	-	流量函数
ρ_L	kg/m^3	空气密度
σ_{th}	N/mm^2	热应力
ψ	J/kg	比耗散
Θ	$\text{kg} \cdot \text{m}^2$	惯性矩
ω	r/s	角速度

缩写和索引

1D	一维
3D	三维
A	废气
A	排气
AGR	废气再循环
AL	排气管
AÖ	排气门打开
AS	排气门关闭
ATL	废气涡轮增压器
AV	排气门
a	出流, 流出, 出口
a	外的
B	燃料
CFD	计算流体动力学
CVT	连续可变传动
const.	常数
D	喷嘴, 导轮
DWL	气波增压器
E	进气
EL	进气管
EÖ	进气门打开
ES	进气门关闭