



普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材
全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材

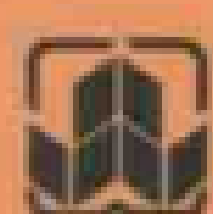
Regong
Xue
Jichu

热工学基础

(第二版)

(建筑设备类专业适用)

本教材编审委员会组织编写
余 宁 主编



中国建筑工业出版社
China Architecture & Building Press

普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材
全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材

热 工 学 基 础

(第二版)

(建筑设备类专业适用)

本教材编审委员会组织编写

余 宁 主 编

李国斌 罗义英 副主编

刘春泽 主 审

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

热工学基础/余宁主编. —2 版. —北京: 中国建筑工程出版社, 2011. 12

普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材. 全国
高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材.
建筑设备类专业适用

ISBN 978-7-112-13840-1

I. ①热… II. ①余… III. ①热工学 IV. ①TK122

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 251135 号

普通高等教育土建学科专业“十二五”规划教材
全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会规划推荐教材

热工学基础

(第二版)

(建筑设备类专业适用)

本教材编审委员会组织编写

余 宁 主 编

李国斌 罗义英 副主编

刘春泽 主 审

*

中国建筑工程出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京红光制版公司制版

北京云浩印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 17½ 插页: 2 字数: 445 千字

2012 年 1 月第二版 2012 年 1 月第八次印刷

定价: 36.00 元

ISBN 978-7-112-13840-1
(21602)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书共分二篇。第一篇为工程热力学，主要讲述：热力学第一定律及第二定律的基本知识；常用工质（理想气体、水蒸气、湿空气）的热力性质、状态变化规律和基本热力过程的分析；气体和蒸汽在喷管与扩压管内的流动及绝热节流的基本知识与应用；气体压缩和制冷循环等内容。第二篇为传热学，主要介绍稳态导热、非稳态导热、对流换热、辐射换热和稳定传热的基本定律及基本计算分析；介绍了换热器的类型、换热原理、基本构造及换热器的性能评价及选用计算等。

本教材为住房和城乡建设部的“十二五”规划教材，突出了高等职业教育的特色，内容既具有系统性、全面性，又具有针对性、实用性。除可作为土建类高职高专学校建筑设备类专业的教材使用外，也可作为电大、职大、函大等相同专业教学用书，并可作为从事通风空调、供热与采暖及锅炉设备工程的高等技术管理与施工人员学习的参考书。

* * *

责任编辑：齐庆梅 朱首明

责任校对：姜小莲 王雪竹

本教材编审委员会名单

主 任：贺俊杰

副主任：刘春泽 张 健

委 员：陈思仿 范柳先 孙景芝 刘 玲 蔡可键

蒋志良 贾永康 王青山 余 宁 白 桦

杨 婉 吴耀伟 王 丽 马志彪 刘成毅

程广振 丁春静 胡伯书 尚久明 于 英

崔吉福

第二版前言

“热工学基础”是高职高专教育建筑设备类专业的主要技术基础课之一，是从事通风与空调、供热与采暖及锅炉设备工程技术管理和施工安装技术人员必须掌握的基础理论知识。其任务是通过本教材的学习，使其掌握有关热力学基本定律、工质的状态参数及其变化规律等基础理论知识；掌握导热、对流、热辐射换热的基本定律以及稳定传热的基本计算；理解换热器的换热原理和进行换热器的选型基本计算，为学习专业知识奠定必要的热力分析与热工计算的理论基础和基本技能。

为了进一步加强高等教育土建学科教材建设，本书第二版是根据2011年3月中华人民共和国住房和城乡建设部（建人函〔2011〕71号）文件通知，在住房和城乡建设部组织的土建学科专业“十二五”规划教材选题的申报和评选工作中，经过作者申报、专家评审，作为土建学科专业“十二五”规划教材建设确定的172部高职高专教材之一。《热工学基础》（第二版）教材采用单元课题式编写，教材在符合建筑设备类专指委新制定的专业教育标准，专业培养方案和教学大纲中规定要求的知识点、能力点条件下，更加突出高等职业教育的特点，注意专业的需要与专业计算实例的联系。论述上尽量删繁就简，突出专业需要与实用，力求较快地切入主题，考虑适当的深度，做到层次分明，重点突出，使知识易于学习掌握；文字上力求简练、准确、通畅，便于学习；所用名词、符号和计量单位符合技术标准规定。为了加深理解，培养学生分析问题、解决问题的能力以及培养学生归纳问题的能力，本书各单元都有相应的小结、思考题与习题。

本书约讲72学时，共分两篇。第一篇工程热力学部分38学时，主要介绍：热力学第一定律与第二定律的基本知识；常用工质（理想气体、水蒸气、湿空气）的热力性质、状态变化规律和基本热力过程的分析；气体和蒸汽在喷管与扩压管内的流动及绝热节流的基本知识与应用；气体压缩和制冷循环等内容。第二篇传热学部分34学时，主要介绍：稳定导热、不稳定导热、对流换热、辐射换热和稳定传热的基本定律与基本计算分析；换热器的类型、换热原理、基本构造及换热器的性能评价与选用计算等。

本教材由江苏城市职业学院余宁副教授担任主编，辽宁建筑职业技术学院李国斌副教授和嘉兴学院罗义英副教授担任副主编，辽宁建筑职业技术学院刘春泽教授担任主审。参加编写的有：江苏城市职业学院余宁（绪论、第11、12、13单元）、辽宁建筑职业技术学院李国斌（第1、2、3、4单元）、嘉兴学院罗义英〔第5、6（课题1、2、3）、7单元〕、徐州建筑职业技术学院徐红梅（第8、14单元）、陈益武（第9、10单元），江苏城市职业学院桑海涛〔第6单元（课题4）〕。

限于编者水平，教材中难免有许多不妥或错误之处，恳请读者提出宝贵意见与指正。

第一版前言

热工学基础是高职高专学校供热通风与空调工程专业和建筑设备工程技术专业的主要技术基础课之一，是从事通风空调、供热及锅炉设备工作的高等技术管理和施工安装技术人员必须掌握的基础理论知识。其任务是通过本教材的学习，掌握有关热力学基本定律、工质的状态参数及其变化规律等基础理论知识；掌握导热、对流、热辐射换热的基本定律以及稳定传热的基本计算；理解换热器的换热原理和进行换热器的选型基本计算，为学习专业知识奠定必要的热力分析与热工计算的理论基础和基本技能。

本书是根据2004年初全国高职高专教育土建类专业教学指导委员会建筑设备类专业指导分委员会第三次会议决定的“启动高职水暖电三个专业主干课程教材编审规划”，按照几次会议讨论制定的专业教育标准、专业培养方案和《热工学基础》课程指导性教学大纲，考虑新技术、新规范和新标准的情况来编写的。

本书约讲90学时，共分二篇。第一篇工程热力学部分48学时，主要讲述：热力学第一定律与第二定律的基本知识；常用工质（理想气体、水蒸气、湿空气）的热力性质、状态变化规律和基本热力过程的分析；气体和蒸汽在喷管与扩压管内的流动及绝热节流的基本知识与应用；气体压缩和制冷循环等内容。第二篇传热学部分42学时，主要介绍稳态导热、非稳态导热、对流换热、辐射换热和稳定传热的基本定律与基本计算分析；介绍了换热器的类型、换热原理、基本构造、换热器的性能评价与选用计算等。

本教材在符合专业教育标准和培养方案及教学大纲中要求的知识点、能力点条件下，论述上尽量删繁就简，突出专业需要与实用，力求较快地切入主题，考虑适当的深度，做到层次分明，重点突出，使知识易于学习掌握；在内容安排上与同类教材相比有较大的变动；文字上力求简练、准确、通畅，便于学习；所用名词、符号和计量单位符合技术标准规定。章节的安排尽量考虑知识主次先后的照应关系；论述上考虑适当的深度，做到层次分明，重点突出，使知识易于学习掌握。为了加深理解，培养学生分析问题、解决问题的能力以及培养学生归纳问题的能力，本书各章节都有相应的实用例题、思考题与习题和小结。

本教材由江苏广播电视大学余宁担任主编，沈阳建筑大学职业技术学院李国斌和河南平顶山工学院罗义英担任副主编，沈阳建筑大学职业技术学院刘春泽担任主审。参加编写的有：江苏广播电视大学余宁（绪论、第十一、十二、十三章）、沈阳建筑大学李国斌（第一、二、三、四章）、河南平顶山工学院罗义英（第五、六、七章）、徐州建筑职业技术学院徐红梅（第八、十四章）、徐州建筑职业技术学院陈益武（第九、十章）。

限于编者水平，教材中难免有许多不妥或错误之处，恳请读者提出宝贵意见。

编者

2005年1月

目 录

绪论	1
----	---

第一篇 工 程 热 力 学

第 1 单元 工质与热力系统	5
课题 1 工质及其基本状态参数的概念	5
课题 2 热力系统、热力过程和热力循环	8
课题 3 系统的储存能及与外界传递的能量	10
小结	14
思考题与习题	14
第 2 单元 热力学第一定律	16
课题 1 热力学第一定律	16
课题 2 闭口系统第一定律的能量方程	16
课题 3 开口系统稳定流动能量方程	18
小结	22
思考题与习题	23
第 3 单元 理想气体的热力性质及热力过程	24
课题 1 理想气体状态方程式	24
课题 2 理想气体的比热容	27
课题 3 理想混合气体	32
课题 4 理想气体的热力过程	36
小结	46
思考题与习题	48
第 4 单元 热力学第二定律	50
课题 1 热力正循环和热力逆循环	50
课题 2 热力学第二定律	51
课题 3 卡诺循环与卡诺定理	52
课题 4 熵及温-熵图	55
小结	57
思考题与习题	58
第 5 单元 水蒸气	60
课题 1 液体的物态变化	60
课题 2 定压下水蒸气的生产过程	61
课题 3 水蒸气热力性质表	64

课题 4 水蒸气的焓熵图 (莫里尔图)	66
小结	70
思考题与习题	71
第 6 单元 湿空气	72
课题 1 湿空气的状态参数	72
课题 2 湿空气的焓湿图	78
课题 3 湿空气的热力过程	82
课题 4 常用空气状态参数的测量	88
小结	96
思考题与习题	96
第 7 单元 气体与蒸汽的流动与节流	98
课题 1 绝热稳定流动的基本方程	98
课题 2 喷管流动的基本规律	99
课题 3 气体的绝热节流	103
小结	105
思考题与习题	106
第 8 单元 气体压缩和制冷循环	107
课题 1 活塞式压气机的基本原理	107
课题 2 压缩式制冷循环	116
课题 3 蒸汽喷射式制冷循环	123
课题 4 吸收式制冷循环	124
课题 5 热泵供热与制冷的循环	125
小结	126
思考题与习题	126

第二篇 传 热 学

第 9 单元 稳态导热	131
课题 1 导热的基本概念和定律	131
课题 2 导热过程的数学描写	136
课题 3 通过平壁的稳态导热	140
课题 4 通过圆筒壁的稳态导热	144
小结	147
思考题与习题	147
第 10 单元 非稳态导热	149
课题 1 非稳态导热的基本概念	149
课题 2 对流换热条件下的非稳态导热	150
课题 3 常热流作用下的非稳态导热	156
课题 4 周期性热作用下的非稳态导热	158
小结	161

思考题与习题	161
第 11 单元 对流换热	163
课题 1 对流换热的基本概念和影响因素	163
课题 2 相似理论及其在对流换热中的应用	165
课题 3 单相流体的对流换热	169
课题 4 变相流体的对流换热	180
小结	184
思考题与习题	185
第 12 单元 辐射换热	187
课题 1 热辐射的基本概念	187
课题 2 热辐射的基本定律	189
课题 3 两物体表面间的辐射换热计算	192
课题 4 气体辐射	196
小结	202
思考题与习题	203
第 13 单元 稳定传热	205
课题 1 复合换热	205
课题 2 通过平壁、圆筒壁、肋壁的传热计算	206
课题 3 传热的增强	212
课题 4 传热的减弱	214
小结	216
思考题与习题	217
第 14 单元 换热器	219
课题 1 换热器的换热原理、基本类型与构造	219
课题 2 换热器平均温差的计算	224
课题 3 换热器选型计算的步骤和内容	228
课题 4 换热器选型计算的实例	232
小结	236
思考题与习题	236
附录	238
附表 1-1 各种单位制常用单位换算表	238
附表 3-1 几种气体在理想状态下的平均定压比热容	238
附表 5-1 饱和水与饱和蒸汽性质表 (按温度排列)	239
附表 5-2 饱和水与饱和蒸汽性质表 (按压力排列)	240
附表 5-3 未饱和水与过热蒸汽性质表	242
附图 5-1 水蒸气焓—熵图	插页
附表 6-1 0.1MPa 时的饱和空气状态参数表	254
附图 6-1 湿空气焓—湿图	插页
附图 8-1 氨 (NH ₃ , R717) 的 $\lg p-h$ 图	257

附图 8-2	氟利昂 22 (CHCl_2F_2 , R22) 的 $\lg p-h$ 图	258
附图 8-3	氟利昂 134a ($\text{C}_2\text{H}_2\text{F}_4$, R134a) 的 $\lg p-h$ 图	259
附表 11-1	$B=0.1013\text{MPa}$ 干空气的热物理性质	260
附表 11-2	饱和水的热物理性质	261
附表 12-1	各种不同材料的总正常辐射黑度	262
附图 12-1	热辐射角系数图	263
附表 14-1	容积式换热器技术参数	263
附表 14-2	螺旋板换热器技术参数	265
附表 14-3	板式换热器技术参数	266
附表 14-4	浮动盘管换热器技术参数	267
主要参考文献		269

绪 论

(1) 课程的性质与任务

“热工学基础”是高职高专建筑设备类专业的一门主要专业基础课，是从事本专业工作的技术人员必须掌握的基础理论知识。

本课程的主要任务是通过课程的学习，使学生掌握专业所需的工程热力学与传热学基本知识和基本定律，为学习专业知识奠定必要的热力分析与热工计算的理论基础和基本技能。通过本课程的教学，应达到下面的基本学习要求：

- 1) 掌握工质气体状态参数、理想气体状态方程，并能进行气体基本热力过程的分析 and 简单计算；
- 2) 掌握热力学第一定律的实质及其能量方程的应用；掌握热力学第二定律的实质和意义；
- 3) 掌握卡诺循环及卡诺定律、热泵的理论基础；
- 4) 了解水蒸气的热力性质及相应的图表，并能应用这些图表进行水蒸气的热力过程分析和有关计算；
- 5) 了解湿空气的热力性质及相应的图表，并能应用这些图表进行湿空气的热力过程分析和有关计算；
- 6) 理解气体和蒸汽的节流、气体压缩与制冷循环的基本原理及工程应用；
- 7) 理解导热、对流、辐射三种基本热量传递方式的基本定律及应用；
- 8) 掌握稳定导热、简单非稳定导热、对流换热、辐射换热的计算；
- 9) 掌握平壁、圆筒壁、肋壁稳定传热的计算，并了解传热增强与减弱的方法与措施；
- 10) 了解换热器的类型、换热原理、基本构造，掌握换热器的性能评价与选用计算等。

(2) 课程的研究对象及主要内容

本课程是由“工程热力学”和“传热学”两部分组成。

工程热力学主要是研究热能与机械能相互转换规律的一门科学。其内容主要有热力学第一定律和热力学第二定律，讲述能量（热能与机械能）转换或传递过程中的守恒、方向、条件和限度等问题；常用工质（理想气体、水蒸气、湿空气等）的热力性质、状态变化规律和基本热力过程的分析；有效利用热能的途径；气体和蒸汽在喷管与扩压管内的流动、气体和蒸汽的节流、气体压缩与制冷循环的基本知识和工程应用。

传热学是研究热量传递过程的一门科学。其内容主要有导热的基本机理、影响因素、数学描述和计算方法；对流换热的基本概念、主要影响因素分析、换热量计算实验准则方程的选用等；辐射换热的基本概念、基本规律以及两物体间辐射换热量的基本计算；增加或减弱传热的方法及其在工程上的应用；换热器的类型、换热原理、基本构造、换热器的性能评价与选用计算等。

(3) 热能的工程利用

在日常生活和生产科研中,人类都离不开对能量的需求。能量在自然界中存在着各种形式,如机械能、热能、电能、水位能、化学能、原子能、太阳能、地热能等,其中热能是所有能量形式中使用最广泛的一种能。目前,人类能源供应的90%来自于热能。

人类对热能的利用,概括地说主要有热能的直接利用和热能的间接利用两种形式。前者是把热能直接当作加热的能源来利用。例如在供热通风与空调工程中,寒冷地区冬季室内的采暖就是使用产生于锅炉的热水或蒸汽,通过散热器把热量传给室内空气,来补充空气通过房屋墙壁、屋顶、地面、门、窗等围护结构的热损失,以保持或提高室内较高而又适宜的温度。热能的间接利用则是通过热机,如汽轮机、蒸汽机和内燃机等将热能转变为机械能或电能后实现的。例如,在火力发电厂,通过锅炉中燃烧的煤,放出热量,使锅炉内的水受热汽化成为高温高压的蒸汽。蒸汽通过汽轮机,推动汽轮机转轴旋转,将热能转变成机械能,汽轮机转轴带动发电机旋转,又将机械能转化成电能。

节约能源是人类当前面临的重要任务之一,对于我国任务尤为艰巨。从长远看,虽然太阳能、原子核能、地热能等可以为人类提供几乎无限的能量,但由于技术上的原因,这些所谓的新能源还不能大规模地开发利用。目前,人类特别是我国使用的能源主要是煤、石油、天然气等石化燃料。石化燃料不可再生,资源是有限的。据权威估计,以目前的开采量,世界探明的石油贮量仅可供开采30余年,煤可开采160年,天然气可开采约60年。所以,从技术上改造能源设备,提高能源特别是热能的利用率,减少燃料消耗是世界各国的长期战略任务。我们学习热工学与换热器课程的目的之一就是为提高热能的利用,减少热能的损失,掌握必要的基础知识。

(4) 课程与专业的关系

“热工学基础”课程是从事本专业高等技术人员必备的理论基础。在暖通工程上,其工程的目的就是要实现生产、生活中对采暖、通风、空调等的要求,而要实现这些要求就需要了解热量、冷量是如何产生、传送的,在这产生、传送过程中,传递能量的介质热力性质发生了什么变化?传热过程有何基本规律?传热量如何计算?如何有效地增强传热量或减少热损失?空气调节的状态点又如何控制?换热设备又如何选择计算等等问题。这些暖通工程上的基本问题正是“热工学基础”课程所要研究的,它将从理论与实验、实践上提供解决这些问题的知识。

“热工学基础”课程是学习专业课重要的基础。对于建筑设备类的专业来说,在学习供热工程、通风与空调工程、锅炉房与换热站、制冷技术与应用、空调用制冷技术、供热系统调试与运行和空调系统调试与运行等专业课程时,必然涉及工质在加热、冷却、蒸发、凝结、加湿和除湿过程中的状态变化和热、湿量的计算,遇到工质在流动压缩或膨胀过程中能量转换和状态变化的问题。并要解决专业中各种热能利用设备最基本的热工问题,如换热器的选型计算问题,有效增强热工设备的传热的问题等。因此,学习好本课程,对于专业课的热工计算和热力分析有着重要的作用,它是学习专业课的重要基础。

第一篇 工程热力学

第 1 单元 工质与热力系统

课题 1 工质及其基本状态参数的概念

1.1 工质

人类在生产或日常生活中，经常需要各种形式的能量来满足不同的需求。各种形式能量的转换或转移，通常都要借助于一种携带热能的工作物质来完成，这种工作物质我们称之为工质。

工程上常使用的工质种类很多，有气态的、液态的和固态的。在暖通工程中，一般采用液态或气态物质作为工质，如：空气、水、水蒸气、湿空气、烟气和制冷剂等，主要是它们具有良好的流动性，而且膨胀能力大，热力性质稳定。

1.2 状态及其基本状态参数

在热力设备中，热能与机械能之间的相互转换与转移，需要通过工质的吸热或放热、膨胀或压缩等变化来实现，即能量交换的根本原因在于工质的热力状况存在差异。例如，锅炉中燃料燃烧生成的高温烟气能将锅筒中的水加热成为高温热水，就是由于高温烟气与水之间存在温度差异而完成了热量的转移；又如，汽轮机中能量的转换，也是由于高温、高压的水蒸气与外界环境的温度、压力有很大的差异而产生的。在这些过程中，工质温度、压力等物理特性的数值发生了变化，也就是说，工质的客观物理状况发生了变化。我们把工质在某瞬间的宏观物理状况或表现的热力性质总状况，称为热力状态，简称为状态；描述工质热力状态的各物理量，称为工质的状态参数，简称为状态参数。

工质的状态是由工质的状态参数所描述。工质的状态发生了变化，其状态参数也相应地发生变化，状态参数是状态的函数。工质的状态发生变化时，初、终状态参数的变化值，仅与初、终状态有关，而与状态发生的途径无关。

在热力学中，为了研究需要而采用的状态参数有温度 (T)、压力 (p)、比体积 (v) 或密度 (ρ)、内能 (u)、焓 (h)、熵 (s) 等。其中压力、温度、比体积可以用仪器、仪表直接或间接测量出来的状态参数，称为基本状态参数；而内能、焓、熵等只能由基本状态参数通过相关计算公式间接计算获得的状态参数称为导出状态参数。

1.3 温度

宏观地说，温度标志着物体的冷热程度。某物体的温度较高，显示其处于较热的状态，反之则表示处于较冷的状态。两个冷热程度不同的物体发生相互接触时，冷的物体变热，热的物体变冷，经过相当长的时间后最终达到相同的冷热程度而处于热平衡之中。显然，处于热平衡的两个物体具有相同的温度。

微观地说，温度表示大量分子热运动的强烈程度。根据分子运动论学说，理想气体热力学温度与分子热运动的平均动能有如下关系：

$$\frac{m\bar{\omega}^2}{2} = BT \quad (1-1)$$

式中 $\frac{m\bar{\omega}^2}{2}$ ——分子平移运动的平均动能，其中 m 是一个分子的质量， $\bar{\omega}$ 是分子平移运动的均方根速度；

B ——比例常数；

T ——热力学温度。

由上式可知，工质的热力学温度与工质内部分子的平移运动的平均动能成正比。

温度的数值标尺，简称温标。任何一种温标的建立都必须确定温标的基准定点以及分度的方法。在国际单位制（SI）中，采用热力学温标为理论温标，符号为 T ，单位为 K （开尔文）。热力学温标规定纯水的三相点温度（即冰、水、汽三相共存平衡时的温度）为基准定点，其热力学温度为 $273.15K$ ；每 $1K$ 为纯水三相点温度的 $1/273.15$ 。

国际单位制（SI）中还规定摄氏温标为实用温标，其符号为 t 、单位为摄氏度（ $^{\circ}C$ ）。其定义式为：

$$t = T - 273.15$$

式中 273.15 ——国际计量会议规定的值；当 $t = 0^{\circ}C$ 时， $T = 273.15K$ 。

由上式可知，摄氏温标与热力学温标的分度值相同，而基准定点不同。这两种温标之间的换算在工程上可近似为：

$$t = T - 273 \quad (1-2)$$

1.4 压力

在宏观上，压力表示垂直作用于容器壁单位面积上的力，也称为压强，用 p 表示，单位为 Pa ，或 N/m^2 。即：

$$p = \frac{F}{f} \quad (1-3)$$

式中 F ——整个容器壁受到的力（ N ）；

f ——容器壁的总面积（ m^2 ）。

在微观上，要从气体分子运动论讲，气体的压力是气体分子作不规则热运动时，大量分子碰撞容器壁的总结果。由于气体分子的撞击极为频繁，人们不可能分辨出气体单个分子的撞击作用，只能观察到大量分子撞击的平均结果。

根据分子运动论，作用于单位面积上的压力与分子运动的平均动能、分子的浓度之间有如下关系式：

$$p = \frac{2}{3}n \frac{m\bar{\omega}^2}{2} = \frac{2}{3}nBT \quad (1-4)$$

式中 p ——单位面积上的绝对压力；

n ——分子的浓度，即单位容积内含有气体的分子数。

式（1-4）把压力的宏观量与分子运动的微观量联系了起来，表明了气体压力的本质。

国际单位制中规定压力的单位为帕斯卡（ Pa ），即

$$1Pa(\text{帕斯卡}) = 1N/m^2(\text{牛顿/平方米})$$

由于帕斯卡的单位较小，在工程上，常将其扩大千倍或百万倍，即