

# 航空工业科技词典

## 空气动力学与飞行力学

《航空工业科技词典》编辑委员会 编

国防工业出版社

## 内 容 简 介

本分册共收词 556 条, 包括空气动力学基础、飞机空气动力特性、实验空气动力学、飞行动力学、水上飞机的水动力学、直升机空气动力学。

本《词典》可作为从事航空工业的具体专业人员, 在了解航空工业整个领域的全貌和扩大知识面时的一部实用工具书, 并可供对航空工业技术有一般常识的广大干部、技术人员以及高等院校学生参考使用。

### 航空工业科技词典

#### 空气动力学与飞行力学

《航空工业科技词典》编辑委员会 编

\*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

\*

787×1092<sup>1</sup>/<sub>16</sub> 印张 11<sup>1</sup>/<sub>2</sub> 258千字

1982年2月第一版 1982年2月第一次印刷 印数: 0,001—3,900册

统一书号: 17034·38-1 定价: 1.80元

## 前 言

本《词典》是一部航空工业科学技术领域的综合性词典。是从事航空工业的具体专业人员，在了解航空工业整个领域的全貌和扩大知识面时的一部实用工具书，并可供对航空工业技术有一般常识的广大干部、技术人员以及高等院校学生参考使用。

本《词典》在编写过程中，参照了国内外一些同类型词典的编写经验，力求作到内容既能反映出我国航空科技研究的成果，又能够体现当代世界航空科技水平，以满足读者的需要。本《词典》的选词原则是：以航空专用名词术语为主，注重选收理论词目和新技术词目，产品词目以整机为主；一般选用国家标准规定的和常用的名词术语，也适当兼收一些非标准名词术语，以扩大查找途径。释文力求作到政治观点正确，技术内容准确，概念清楚，逻辑严密，语言通俗易懂，文图并茂。

本《词典》共收词目七千余条，分十三大类：1. 空气动力学与飞行力学；2. 飞行器结构强度；3. 飞机、部件、系统与附件；4. 航空发动机与附件；5. 航空仪表；6. 导航与飞行控制系统；7. 航空电子设备；8. 航空电气设备；9. 航空军械；10. 航空救生、个体防护、降落伞与航空医学；11. 航空材料与工艺；12. 飞行试验与测试技术；13. 航空科研与生产管理。为了便于读者查阅，还编制了包括十三大类全部词目目录的汉字笔划、汉语拼音和英文三种索引，并单独出版。

本《词典》先按大类以分册出版，随后装订一部分合订本。各分册是整部词典的组成部分，内容互为补充；为了便于读者使用某一分册，每分册内容又保持一定的系统性和完整性，因此各分册间存在着约二百余条重复的词目，它们大都采用了统一的释文。

本《词典》是为了响应提高整个中华民族的科学文化水平的号召和促进农业、工业、国防和科学技术的现代化的实现，根据广大干部、科技人员的要求组织编写的。参加编写工作的共有七十四各单位，主要单位是三机部有关研究所、高等院校和工厂，此外，空军、民航、总后、中国科学院、四机部、五机部等单位也给予了大力支持，并参加了有关专业释文的编写。在《词典》释文审查中，许多同志提出了宝贵意见，在此一并致谢。

由于我们经验不足和水平有限，《词典》中一定还会存在不少的错误和不妥之处，欢迎广大读者批评指正，以便再版时修订。

《航空工业科技词典》编辑委员会

一九八〇年三月

# 说 明

1. 分册按专业分类, 各分册正文前有词目目录, 词典正文一般先列概念词目, 然后列产品词目; 产品词目的排列是主词或整机在先, 派生词目、部件词目在后, 但与产品性能有关的理论词目则与产品或部件词目排列在一起。如:

航空电气设备理论词目: 飞机电源系统

⋮

电压调节点

⋮

频率精度

⋮

航空电气设备产品词目: 发 电 机

⋮

无刷交流发电机

⋮

空载特性

⋮

2. 词目均用黑体字印刷。词目释文中出现的需要参见的词目也用黑体字印刷。如: “提高级载荷系数能减少涡轮的级数, 从而减轻重量, 使发动机有更大的**推力重量比**。”释文中未出现而又需要参见的词目, 也用黑体字印刷, 但放在括号内, 其前加白体“参见”二字。如:

“五十年代的固体推进剂火箭发动机的比冲(参见**火箭发动机**)仅有210秒左右。”

3. 本《词典》大类与大类间的词目一般不作“参见”, 但考虑到有关飞机、部件的理论性、概念性词目, 主要在空气动力学与飞行力学、飞行器结构强度类内, 故该类中有跨类“参见”。

4. 各词目均有相应的英文对照词, 一般只收一个常用的英文词, 也有些词目列了几个英文对照词, 词与词间用逗号隔开。

5. 释文中所列数据多系常见值, 只作为知识介绍给读者, 不宜在技术工作中作为依据。

# 目 录

## 空气动力学与飞行力学

一、空气动力学基础	
介质	1-1
连续介质	1-1
大气	1-1
标准大气	1-2
流体	1-3
理想流体	1-3
完全流体	1-3
不可压缩流体	1-3
正压性流体	1-3
理想气体	1-3
完全气体	1-3
实际气体	1-4
稀薄气体	1-4
流体力学	1-4
流体动力学	1-5
空气动力学	1-5
磁流体动力学	1-6
压强	1-7
密度	1-7
粘性	1-7
粘性系数	1-8
运动粘性系数	1-8
粘性力	1-8
压缩性	1-8
比热	1-9
比热比	1-9
绝热指数	1-9
气体常数	1-9
内能	1-10
焓	1-10
熵	1-10
状态方程	1-10
热力学第一定律	1-11
热力学第二定律	1-11
流体质点	1-11
流场	1-11
流线	1-11
流管	1-12
流谱	1-12
迹线	1-12
源	1-13
汇	1-14
偶极子	1-14
旋涡	1-15
环量	1-16
流函数	1-16
位函数	1-17
音速	1-18
马赫数	1-18
普朗特数	1-18
雷诺数	1-19
速度系数	1-19
自由流	1-20
驻点	1-20
静压	1-20
静温	1-20
动压	1-20
总压	1-21
总温	1-21
定常流	1-21
非定常流	1-21
位流	1-21
绝热流	1-22
等熵流和均熵流	1-22
有旋流	1-22
扰动	1-23
马赫波	1-23
马赫锥	1-24
膨胀波	1-25
普朗特-迈耶流	1-26
压缩波	1-26
激波	1-27
高超音速激波层	1-28
波的反射	1-28
临界马赫数	1-29
亚音速流	1-29
跨音速流	1-30
超音速流	1-30
高超音速流	1-31
连续性方程	1-31
动量方程	1-32
柏努利方程	1-32
纳维尔-斯托克斯方程	1-33
能量方程	1-33
边界条件	1-34
一维流	1-34
二维流	1-35
三维流	1-35
轴对称流	1-35
锥型流	1-36
拉瓦尔喷管	1-36
临界截面	1-38
喉道	1-38
壅塞	1-38
附着涡	1-38
自由涡	1-38
尾涡	1-38
马蹄涡	1-39
卷起涡	1-39
气泡	1-39
翼端涡	1-40
卡门涡街	1-40
层流	1-40
紊流	1-41
紊流度	1-41
转捩	1-42

- 临界雷诺数 .....1-42  
 附面层 .....1-43  
 层流附面层 .....1-44  
 紊流附面层 .....1-44  
 粘性底层 .....1-45  
 附面层厚度 .....1-45  
 三维附面层 .....1-45  
 温度附面层 .....1-46  
 气动加热 .....1-47  
 热障 .....1-47  
 逆压梯度 .....1-47  
 分离 .....1-47  
 层流分离 .....1-48  
 紊流分离 .....1-48  
 尾流 .....1-49  
 激波附面层干扰 .....1-49  
 噪音 .....1-50  
 达朗贝尔疑题 .....1-50
- ## 二、飞机空气动力特性
- 空气动力 .....1-51  
 空气动力系数 .....1-51  
 升力 .....1-52  
 涡升力 .....1-52  
 最大升力系数 .....1-52  
 迎角 .....1-52  
 升力线斜率 .....1-53  
 失速 .....1-53  
 深度失速 .....1-54  
 激波失速 .....1-54  
 失速迎角 .....1-54  
 马格努斯效应 .....1-54  
 阻力 .....1-54  
 最小阻力 .....1-55  
 零升阻力 .....1-55  
 升致阻力 .....1-55  
 摩擦阻力 .....1-55  
 粘性压差阻力 .....1-55  
 型阻 .....1-56  
 废阻力 .....1-56  
 诱导阻力 .....1-56  
 激波阻力 .....1-56  
 底部阻力 .....1-57  
 阻力发散 .....1-57
- 升阻比 .....1-57  
 极曲线 .....1-57  
 俯仰力矩 .....1-57  
 侧力 .....1-58  
 偏航力矩 .....1-58  
 滚转力矩 .....1-58  
 铰链力矩 .....1-58  
 气动补偿 .....1-59  
 气动导数 .....1-59  
 静导数 .....1-59  
 动导数 .....1-60  
 交叉导数 .....1-60  
 空气动力干扰 .....1-60  
 气动阻滞 .....1-60  
 地面效应 .....1-61  
 翼型 .....1-61  
 翼型中弧线 .....1-62  
 前缘 前缘半径 .....1-63  
 后缘 后缘角 .....1-63  
 翼弦 .....1-63  
 弯度 .....1-63  
 设计升力系数 .....1-63  
 厚度 .....1-64  
 空气动力中心 .....1-64  
 压力中心 .....1-65  
 零升迎角 .....1-65  
 零升力矩 .....1-65  
 零升力弦 .....1-65  
 库塔-儒科夫斯基条件 .....1-65  
 NACA 翼型 .....1-65  
 NACA 四位数字翼型 .....1-66  
 NACA 五位数字翼型 .....1-66  
 NACA 六系列翼型 .....1-67  
 层流翼型 .....1-68  
 超临界翼型 .....1-68  
 尖峰翼型 .....1-69  
 超音速翼型 .....1-69  
 机翼平面形状 .....1-69  
 翼展 .....1-70  
 平均几何弦 .....1-70  
 平均气动弦 .....1-70  
 展弦比 .....1-71  
 梢根比 .....1-71  
 后掠角 .....1-71
- 亚音速前(后)缘 .....1-71  
 超音速前(后)缘 .....1-72  
 机翼安装角 .....1-72  
 几何扭转 .....1-72  
 气动扭转 .....1-72  
 锥形扭转 .....1-73  
 上反角 .....1-73  
 下反角 .....1-73  
 矩形翼 .....1-73  
 梯形翼 .....1-74  
 后掠翼 .....1-74  
 三角翼 .....1-75  
 箭形翼 .....1-75  
 细长翼 .....1-75  
 边条翼 .....1-75  
 边条 .....1-76  
 海鸥式机翼 .....1-76  
 环翼 .....1-76  
 双三角翼 .....1-77  
 S形前缘翼 .....1-77  
 斜翼 .....1-78  
 变后掠翼 .....1-78  
 翼身融合体 .....1-79  
 锯齿 .....1-79  
 锯口 .....1-79  
 旋涡发生器 .....1-79  
 翼载 .....1-80  
 下洗 .....1-80  
 有效迎角 .....1-80  
 洗流时差 .....1-81  
 前缘吸力 .....1-81  
 附面层控制 .....1-81  
 增升装置 .....1-82  
 喷气襟翼 .....1-82  
 机动襟翼 .....1-82  
 滑流 .....1-83  
 抖振 .....1-83  
 颤振 .....1-83  
 音障 .....1-84  
 音爆 .....1-84  
 薄翼理论 .....1-84  
 升力线理论 .....1-85  
 升力面理论 .....1-85  
 线化理论 .....1-85

- 面积律 ..... 1-86
- 细长体理论 ..... 1-86
- 有限基本解法 ..... 1-86
- 核函数法 ..... 1-87
- 螺旋桨 ..... 1-87
- 桨叶剖面 ..... 1-88
- 桨叶角 ..... 1-88
- 桨叶扭转 ..... 1-89
- 螺旋桨桨盘面积 ..... 1-89
- 进距比 ..... 1-89
- 叶素理论 ..... 1-89
- 拉力 ..... 1-89
- 螺旋桨桨盘载荷 ..... 1-90
- 螺旋桨效率 ..... 1-90
- 螺旋桨自转 ..... 1-90
- 顺桨 ..... 1-90
- 变距桨 ..... 1-91
- 恒速桨 ..... 1-91
- 反转桨 ..... 1-91
- 反距桨 ..... 1-91
- 共轴桨 ..... 1-91
- 纵串桨 ..... 1-91
- 函道螺旋桨 ..... 1-92
- 超音速桨 ..... 1-92
- 三、实验空气动力学**
- 实验空气动力学 ..... 1-93
- 物理模拟和数学模拟 ..... 1-94
- 相对性原理 ..... 1-94
- 相似理论 ..... 1-94
- 相似现象 ..... 1-94
- 完全相似和部分相似 ..... 1-95
- 量纲理论 ..... 1-95
- $\Pi$  定理 ..... 1-95
- 相似准则 ..... 1-96
- 斯特鲁哈数 ..... 1-96
- 佛劳德数 ..... 1-96
- 风洞 ..... 1-96
- 低速风洞 ..... 1-97
- 亚音速风洞 ..... 1-98
- 跨音速风洞 ..... 1-98
- 超音速风洞 ..... 1-99
- 高超音速风洞 ..... 1-100
- 烟风洞 ..... 1-101
- 稳定性风洞 ..... 1-101
- 尾旋风洞 ..... 1-101
- 立式风洞 ..... 1-101
- 垂直-短距起落实验  
  风洞 ..... 1-102
- 全尺寸风洞 ..... 1-102
- 结冰风洞 ..... 1-102
- 突风风洞 ..... 1-102
- 叶栅风洞 ..... 1-102
- 自由飞风洞 ..... 1-103
- 低温风洞 ..... 1-103
- 低密度风洞 ..... 1-104
- 二维风洞 ..... 1-104
- 高雷诺数风洞 ..... 1-104
- 压力风洞 ..... 1-105
- 变密度风洞 ..... 1-105
- 电弧风洞 ..... 1-105
- 激波管和激波管风洞 ..... 1-106
- 路德维希管 ..... 1-106
- 炮风洞 ..... 1-106
- 水池 ..... 1-107
- 气源系统 ..... 1-107
- 调压阀 ..... 1-108
- 稳定段 ..... 1-108
- 收缩段 ..... 1-108
- 固壁喷管 ..... 1-109
- 柔壁喷管 ..... 1-109
- 试验段 ..... 1-110
- 试验段菱形区 ..... 1-110
- 扩压段 ..... 1-110
- 第二喉道 ..... 1-111
- 启动载荷 ..... 1-111
- 驻室 ..... 1-111
- 通气壁 ..... 1-111
- 开闭比 ..... 1-112
- 角度机构 ..... 1-112
- 模型支架 ..... 1-112
- 模型 ..... 1-112
- 热线风速仪 ..... 1-113
- 风速管 ..... 1-113
- 皮托管 ..... 1-113
- 文氏管 ..... 1-114
- 紊流球 ..... 1-114
- 气动力天平 ..... 1-114
- 机械式天平 ..... 1-114
- 应变式天平 ..... 1-115
- 磁悬挂天平 ..... 1-115
- 天平干扰 ..... 1-116
- 天平轴系 ..... 1-116
- 风洞能量比 ..... 1-116
- 风洞轴系 ..... 1-116
- 实验数据处理 ..... 1-116
- 洞壁干扰 ..... 1-117
- 阻塞效应 ..... 1-117
- 升力效应 ..... 1-118
- 流线弯曲效应 ..... 1-118
- 下洗修正 ..... 1-118
- 浮力修正 ..... 1-118
- 阻塞度 ..... 1-118
- 支架干扰修正 ..... 1-119
- 尺度效应 ..... 1-119
- 流场品质和流场校测 ..... 1-119
- 气流脉动 ..... 1-120
- 人工转换 ..... 1-120
- 有效雷诺数 ..... 1-120
- 动量法 ..... 1-120
- 镜象法 ..... 1-121
- 丝线法 ..... 1-121
- 荧光油流法 ..... 1-121
- 实验的光测法 ..... 1-121
- 风洞实验 ..... 1-122
- 测力试验 ..... 1-122
- 测压试验 ..... 1-123
- 标准模型试验 ..... 1-123
- 半模型试验 ..... 1-123
- 铰链力矩试验 ..... 1-123
- 进气道试验 ..... 1-124
- 二维机翼试验 ..... 1-124
- 投放试验 ..... 1-124
- 外挂物试验 ..... 1-124
- 地面效应试验 ..... 1-125
- 喷流试验 ..... 1-125
- 气动弹性试验 ..... 1-125
- 动导数试验 ..... 1-125
- 自由飞试验 ..... 1-126
- 携带试验 ..... 1-126
- 颤振试验 ..... 1-126
- 抖振试验 ..... 1-127

## 四、飞行动力学

- 飞行动力学·····1-128  
 坐标轴系·····1-128  
 地面坐标系·····1-129  
 机体坐标系·····1-129  
 航迹坐标系·····1-129  
 气流坐标系·····1-129  
 半机体坐标系·····1-129  
 稳定性坐标系·····1-129  
 运动方程·····1-129  
 飞行性能·····1-130  
 需用推力·····1-130  
 可用推力·····1-130  
 需用功率·····1-130  
 可用功率·····1-131  
 水平飞行·····1-131  
 水平直线飞行·····1-131  
 定常飞行·····1-131  
 最大速度·····1-132  
 最小速度·····1-132  
 爬升·····1-132  
 爬升率·····1-132  
 升限·····1-133  
 动升限·····1-133  
 下滑·····1-133  
 下滑比·····1-133  
 下降·····1-134  
 飞行包线·····1-134  
 巡航·····1-134  
 可用燃料量·····1-135  
 小时耗油量·····1-135  
 公里耗油量·····1-135  
 久航速度·····1-135  
 远航速度·····1-135  
 航程·····1-136  
 航时·····1-136  
 活动半径·····1-136  
 起飞·····1-136  
 起飞功率·····1-137  
 起飞推力·····1-137  
 起飞重量·····1-137  
 离陆速度·····1-137  
 起飞距离·····1-138  
 起飞滑跑距离·····1-138  
 侧风起飞·····1-138  
 着陆·····1-138  
 着陆拉平·····1-139  
 接地速度·····1-139  
 着陆距离·····1-139  
 着陆滑跑距离·····1-139  
 侧风着陆·····1-140  
 复飞·····1-140  
 滑行·····1-140  
 机动飞行·····1-140  
 平飞加减速性能·····1-140  
 俯冲·····1-141  
 跃升·····1-141  
 盘旋·····1-141  
 盘旋速度·····1-142  
 盘旋半径·····1-142  
 盘旋升降·····1-142  
 机动性·····1-142  
 特技飞行·····1-142  
 筋斗·····1-143  
 倒飞·····1-143  
 横滚·····1-143  
 慢横滚·····1-143  
 急横滚·····1-143  
 战斗半滚·····1-144  
 战斗转弯·····1-144  
 自转·····1-144  
 尾旋·····1-144  
 飞行剖面·····1-145  
 飞行姿态·····1-145  
 俯仰·····1-146  
 偏航·····1-146  
 滚转·····1-146  
 侧滑·····1-146  
 航迹倾斜角·····1-146  
 航迹偏转角·····1-146  
 稳定性·····1-147  
 静稳定性·····1-147  
 重心·····1-147  
 重心后限·····1-148  
 重心前限·····1-148  
 中性点·····1-148  
 握杆·····1-149  
 松杆·····1-149  
 动稳定性·····1-149  
 平衡·····1-150  
 小扰动·····1-150  
 准定常假定·····1-150  
 模态·····1-150  
 模态特性·····1-151  
 纵向运动·····1-151  
 横侧运动·····1-151  
 纵向稳定性·····1-151  
 横侧稳定性·····1-152  
 横向静稳定性·····1-152  
 航向静稳定性·····1-152  
 风标稳定性·····1-152  
 沉浮模态·····1-152  
 短周期模态·····1-153  
 滚转收敛模态·····1-153  
 螺旋模态·····1-153  
 荷兰滚模态·····1-153  
 惯性耦合·····1-154  
 操纵性·····1-154  
 纵向操纵·····1-155  
 横向操纵·····1-155  
 航向操纵·····1-155  
 操纵面偏角·····1-156  
 传动比·····1-156  
 驱动力·····1-156  
 驾驶位移·····1-156  
 配平·····1-157  
 每  $g$  驾驶杆力·····1-157  
 每  $g$  升降舵偏角·····1-157  
 机动点·····1-157  
 副翼反操纵·····1-158  
 气动弹性力学·····1-158

## 五、水上飞机的水动力学

- 水动性能·····1-159  
 浮性·····1-159  
 静稳性(水上飞机)·····1-159  
 抗沉性·····1-160  
 回转性·····1-160  
 水阻力·····1-160  
 阻力峰·····1-161  
 兴波阻力·····1-161



- 滑行阻力……………1—161  
 波浪中阻力平均  
   增量……………1—161  
 驻线……………1—161  
 浸湿面积……………1—161  
 平均浸湿长度……………1—162  
 纵倾角……………1—162  
 纵摇……………1—162  
 吃水……………1—162  
 升沉运动……………1—163  
 安定性(水上飞机) ……1—163  
 海豚运动……………1—163  
 耐波性……………1—163  
 适航性……………1—164  
 喷溅……………1—164  
 着水撞击……………1—164  
 撞击载荷……………1—164  
 撞击压力……………1—165  
 附连质量……………1—165  
 离水速度……………1—165  
 着水速度……………1—165  
 水上飞机起飞滑跑时间  
   和距离……………1—165
- 水上飞机着水滑跑时间  
和距离……………1—165
- ## 六、直升机空气动力学
- 旋翼……………1—166  
 旋翼桨盘面积……………1—166  
 旋翼桨盘载荷……………1—166  
 马力载荷……………1—166  
 旋翼实度……………1—167  
 桨叶方位角……………1—167  
 前行桨叶和后行桨叶……………1—167  
 反流区……………1—167  
 桨叶剖面安装角……………1—168  
 桨叶几何扭度……………1—168  
 桨盘平面……………1—168  
 旋翼迎角……………1—168  
 悬停……………1—168  
 悬停升限……………1—168  
 前飞……………1—169  
 平飞升限……………1—169  
 旋翼锥度角……………1—169  
 旋翼下洗角……………1—169  
 挥舞运动……………1—169
- 摆振运动……………1—170  
 变距运动……………1—170  
 飞行状态系数……………1—170  
 轴向来流系数……………1—170  
 悬停时旋翼气动效率……………1—170  
 叶端损失系数……………1—170  
 挥舞调节系数……………1—171  
 总距操纵……………1—171  
 周期变距操纵……………1—171  
 旋翼拉力……………1—171  
 旋翼扭矩……………1—171  
 直升机可用功率……………1—172  
 直升机需用功率……………1—172  
 地面共振……………1—172  
 涡环状态……………1—172  
 自转状态……………1—173  
 回避区……………1—173  
 瞬时增距……………1—173  
 增稳器……………1—173  
 旋翼涡系……………1—174  
 涡-桨干涉……………1—174  
 旋翼理论……………1—174

# 空气动力学与飞行力学

## 一、空气动力学基础

### 介质

medium

又称“媒质”。传递力或其他作用的中间物质，一般指广延的实物，如空气、水等等。

### 连续介质

continuum

一种假定的宏观物质模型，它不论怎样细分，都不呈现离散的结构。在流体动力学中，通常认为流体是一种连续介质。这是因为虽然流体是由离散的分子或原子所组成，但流体分子的特征线度与流场或流体中运动物体的特征线度相比是非常小的，以至于可以忽略分子结构和运动的离散性，而将流体看成是连续分布的介质。在连续介质的前提下，流体的各种宏观属性，如密度、压强、温度等等，都在空间和时间中连续变化。

所谓分子的特征线度，对于气体通常是指分子的平均自由程，即分子在相继二次碰撞中间通过的平均距离（例如，空气在通常条件下约为  $10^{-7}$  米）；对于液体可取为分子间距离（例如，水约为  $10^{-10}$  米）的几倍。

把连续介质模型应用于流体运动的分析，主要是由欧拉（L. Euler, 1707—1783）于 1755 年提出的。采用连续介质的假定后，可以方便地使用连续函数这一有力的数学工具来分析流体的运动。

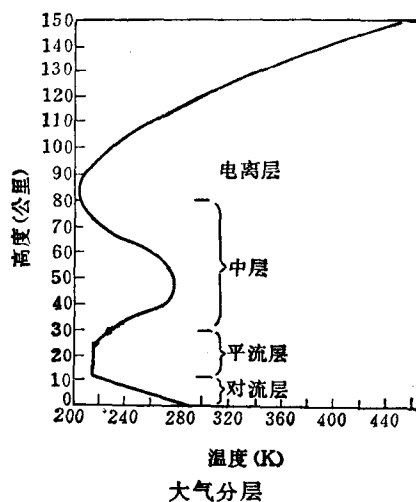
但是，当流体分子的特征线度与运动物体的特征线度相比不是很小时，连续介质的假定就不能成立了，如稀薄气体情况。此时，分析流动问题须采用分子运动理论和统计力学的方法。

### 大气

atmosphere

又称“大气层”。包围地球的空气层，由地面向上可分为五层（见图）。

1. 对流层：紧贴地面的一层。对流层顶离地面高度在赤道约为 17~18 公里，在中纬度地区约为 10~12 公里，在南北极地区约为 8~9 公里。就季节而言，对流层顶夏季时高于冬季。层内所包含的空气质量约占整个大气质量的 3/4。在这一层中，空气有上下方向的流动，风向和风速经常变化，云、雨、雾、雷等天气现象都发生在这一层里。温度随高度而下降，平均每升高 1 公里气温约下降  $6.5^{\circ}\text{C}$ 。



大气分层

2. 平流层：在对流层之上，顶界离地面约 30 公里。层内所包含的空气质量约占整个大气质量的 1/4。风向稳定，空气主要是水平流动，通常没有云、雨、雾、雷等现象。在 20 公里以下的高度，气温大体不变，平均

为 $-56.5^{\circ}\text{C}$ 左右; 20公里以上, 气温随高度的增加而上升。

3. 中层: 其范围由平流层顶到80公里高度左右。气温随高度的增加先是上升, 然后下降。

4. 电离层: 在中层之上, 整个层是电离的。约从85公里高度起, 气温随高度而迅速上升。

5. 外大气圈: 电离层以外的大气最外层。

大气的顶界不是很明显的, 在包围着地球的空气层以外, 还有极其稀薄的星际气体, 这两者之间并不存在一个截然的界限, 若以空气密度接近星际气体密度的高度作为大气的顶界, 则根据人造地球卫星探测到的资料推算, 这一高度约为2000~3000公里。

目前飞机主要在对流层和平流层中飞行。

### 标准大气

standard atmosphere

又称“模式大气”。在对流层和平流层大气中, 大气物理属性(如大气温度、压强、密度等)不仅随高度变化, 而且随所在地的经纬度、季节、气象条件以及日夜时间等不同而变化, 而大气中的飞行器的气动特性又颇受大气物理属性的影响, 因此, 为了便于设计计算、整理和比较飞行试验数据和给出标准的飞行器性能数据, 人为地规定了大气物理属性随高度变化的规律, 即为标准大气。美国于1925年首次提出标准大气, 其他国家和一些国际机构也曾提出过各种“国家标准大气”和“国际标准大气”。随着航空和宇航技术的发展, 标准大气的内容越来越丰富, 如增加了大气成分、粘性系数、重力加速度、音速、分子平均自由程、分子碰撞频率、分子量等等, 高度也已伸展到几百公里的高空。

目前较为通用的是美国1962年提出的标准大气, 它基本上是以北半球中纬度地区

大气物理属性的平均值为依据的。其具体规定如下:

#### 1. 海平面大气物理属性

温度  $t_0 = 15^{\circ}\text{C}$ ;

绝对温度  $T_0 = 288.15\text{K}$ ;

压强  $p_0 = 760$  毫米汞柱  
 $= 10332.3$  公斤/米<sup>2</sup>;

比重  $\gamma_0 = 1.2250$  公斤/米<sup>3</sup>;

密度  $\rho_0 = 0.12492$  公斤·秒<sup>2</sup>/米<sup>4</sup>;

粘性系数  $\mu_0 = 1.8247 \times 10^{-6}$   
 公斤·秒/米<sup>2</sup>;

运动粘性系数  $\nu_0 = \mu_0 / \rho_0 = 1.4607$   
 $\times 10^{-6}$  米<sup>2</sup>/秒;

音速  $a_0 = 340.294$  米/秒。

#### 2. 大气温度、压强、密度、粘性系数、音速随高度变化的计算公式。

(1) 大气绝对温度  $T$  随高度  $H$  (单位为米) 的变化关系;

当  $H \leq 11000$  米时,

$$T = T_0 + L_1 H$$

式中  $L_1$ ——温度梯度,  $L_1 = -0.0065\text{K}/\text{米}$ ;

当  $11000 \text{米} < H \leq 20000$  米时, 温度保持11000米高度上的值, 即  $T = 216.65\text{K}$ ;

当  $20000 \text{米} < H \leq 32000$  米时,

$$T = T_{11000} + L_2 H$$

式中  $T_{11000}$ ——11000米高度的绝对温度,

$$T_{11000} = 216.65\text{K};$$

$L_2$ ——温度梯度,  $L_2 = 0.001\text{K}/\text{米}$ 。

(2) 压强  $p$  随高度变化的关系:

$$\frac{dp}{dH} = -\rho g$$

式中  $\rho$ ——密度;

$g$ ——重力加速度,  $g = 9.80665\text{米}/\text{秒}^2$ 。

(3) 完全气体状态方程:

$$p = \rho R T$$

式中  $R$ ——气体常数,

$$R = 287.053\text{米}^2/\text{秒}^2 \cdot \text{K}。$$

(4) 粘性系数  $\mu$  随温度而变化的公式:

$$\frac{\mu}{\mu_0} = \left(\frac{T}{T_0}\right)^{3/2} \left(\frac{T_0 + s}{T + s}\right)$$

式中  $s$  —— 110.4K。

(5) 计算音速  $a$  的公式:

$$a = \sqrt{kRT}$$

式中  $k$  —— 比热比, 对于空气,  $k = 1.4$ 。

根据上述规定算出的各个高度的大气物理属性, 可以列成表格, 称为标准大气表。

### 流体

fluid

液体和气体的总称。由于液体和气体在静平衡下都不能承受切向力, 因而富有流动性, 不能保持一定的形状, 而且两者有相同的流动规律, 故合称流体。但液体通常很少有压缩性, 可近似看作不可压缩的流体; 而气体则有明显的压缩性。

### 理想流体

ideal fluid

真实的流体都具有粘性。但是, 在很多情况下, 流体的粘性对流动的影响很小, 可以忽略不计。由此引入一种抽象的流体模型, 即认为流体完全不具有粘性, 这种流体, 称为“理想流体”, 或“完全流体”(对于气体, 由于粘性的作用与热传导的作用是同量级的, 忽略粘性的同时, 也忽略了热传导)。以空气或水绕物体的流动为例, 除了在具有很大速度梯度或温度梯度的区域如邻近物体的附面层、激波层以及尾流区以外, 假定流体不具有粘性是很逼近真实情况的。

在理想流体的情况, 反映流体运动的基本方程变得比较简单(相对真实流体而言)。在处理流动问题时, 可以先以理想流体求解, 得到近似结果, 然后考虑粘性修正。

### 完全流体

perfect fluid

即理想流体。完全流体同完全气体是两个不同的概念, 不可混淆。

### 不可压缩流体

incompressible fluid

在外界影响下密度完全不改变的流体。是流体力学中的一个科学抽象概念。实际的流体都不是真正不可压缩的, 但在许多情况下, 压强或温度的改变不大, 因而密度的改变也不明显, 此时流体可以认为未受压缩。流体流动受压缩性的影响取决于流动的马赫数  $M$ 。液体在一般情况下几乎不可压缩; 气体虽然很容易压缩, 但在流速比较低时(例如,  $M < 0.3$ ), 密度变化很小, 可近似看作不可压缩流体。

### 正压性流体

barotropic fluid

密度  $\rho$  只取决于压强  $p$ , 即存在  $\rho = \rho(p)$  关系的流体。运动中熵值保持不变的流体(如对完全气体而言,  $\frac{p}{\rho^k} = \text{常数}$ ,  $k$  为比热比)或有任何一个热力学变量(如温度)保持不变的流体都是正压性流体; 不可压缩流体, 其压强变化引起的密度变化极小, 因而予以忽略, 也属正压性流体。当流体可假设为正压性流体时, 流体的运动方程在数学上便简单得多(参见柏努利方程)。

正压性一词来源于气象学。在气象学中, 若大气的压强和质量分布恰好使等压面和等密度面重合, 即空气的比容或密度只是压强的函数, 则这种大气称为正压性大气。在正压性大气中, 作用在任一个空气团表面上的压力的合力必与等密度面垂直并通过气团的质心。

### 理想气体

ideal gas

无粘性不传热的一种假想气体模型, 参见理想流体。但也有人把完全气体称为理想气体。

### 完全气体

perfect gas

完全符合状态方程描述规律的一种气体

模型。状态方程的形式如下:

$$p = \rho RT \quad \text{或} \quad p v = RT$$

式中  $p$  —— 压强;

$v$  —— 比容;

$\rho$  —— 密度;

$T$  —— 绝对温度;

$R$  —— 气体常数。

这是假定气体分子只有质量而不占有体积,并且分子间相互作用完全忽略的一种简化结果。

完全气体的热力学性质比较简单,例如它的内能、焓、熵等热力学参数都只是温度的函数,它的定压比热与定容比热之差等于气体常数。

在密度不太高时,实际气体可以相当准确地符合上述状态方程,而且只有在中等温度下,其比热比  $k = c_p/c_v$  才为常数(参见比热),在极高或极低温度下,比热比就会随温度而变化。另外,也有某些气体比热比为常数,却不符合上述状态方程。由此,称上述前者为热学上完全(即符合状态方程),热量关系上非完全(即  $k$  非常数);后者为热学上非完全,热量关系上完全。也有人把热学上和热量关系上都完全的气体,即既符合上述状态方程且比热比为常数的气体才称为完全气体。

在空气动力学中,除高超音速流动以外,都可把空气近似看作比热比为常数的完全气体。

### 实际气体

real gas

实际存在的一切气体。实际气体的热力学性质,由于分子之间的相互作用或分子内部的结构变化,因而不尽如理想气体或完全气体所描述的那样。如果气体的密度很大(如处于低温、高压情况),因而分子之间的平均距离变得很小时,在这样的平均距离上分子之间会发生重要的相互作用,这时气体的状态方程就不是理想气体的状态方程。如果压

强并不十分高,但温度高于或低于室温很多,比热都可能显著偏离常值。在十分低的温度下,因为分子的旋转自由度未被激发,定容比热下降,使比热比上升;在十分高的温度下,因为分子的振动自由度被激发,定容比热上升,使比热比下降,这时实际气体偏离完全气体是分子内部结构变化的结果。

### 稀薄气体

rarefied gas

密度很低,以致研究它的流动时不能忽略分子平均自由程大小的气体。“稀薄”是个相对的术语。稀薄气体的稀薄程度一般以气体中分子的平均自由程(气体分子在相继二次碰撞中间通过的平均距离)  $\lambda$  和流场中物体的特征线度(参见连续介质)  $L$  的比值来说明。比值  $\lambda/L$  称为努训数(Knudsen number),通常用  $Kn$  或  $K$  表示。一般认为当  $Kn < 0.01$  时,气体的流动还属于连续介质范畴。当  $Kn > 0.01$  后,流动开始丧失连续介质的性质,在物面上出现相对滑动的现象,这样的流动称为滑动流。当  $Kn > 10$  时,流动出现了所谓“自由-分子流”状态,这时平均自由程大到使分子和物面的碰撞成为基本的现象,而分子间的碰撞则很稀少且远不如前者重要。在  $0.01 < Kn < 10$  的范围内,存在一个滑动流和自由-分子流之间的过渡区。有人把这整个过渡区的流动粗略地划入滑动流;也有人把开始过渡的  $Kn$  值定为 0.1 或 1 等。

### 流体力学

fluid mechanics

力学中涉及静止的和运动的流体的一门学科。研究包括有流体变形、压缩和膨胀等现象在内的流体的内部压强、速度和加速度的变化规律。流体力学分“流体静力学”和“流体动力学”两部分。流体静力学研究流体静止时产生的压强和作用的力。流体动力学研究流体的运动同作用于流体的力之间的关系。流体的粘性、导热性以及其它热力学

性质也是流体力学研究的内容。

流体力学是物理学最古老的分支之一。十七世纪末期到十九世纪末期是流体力学的重要发展时期，这个时期建立起来的比较完整的理论体系称为经典流体力学。随着二十世纪生产技术的飞跃发展，流体力学已进入到广泛的领域中，出现了航空、船舶、爆炸、气象、磁流体力学等新的分支。

### 流体力学

fluid dynamics

流体力学的主要部分，研究流体的运动规律以及流体与物体相对运动时相互作用的规律。它的基本内容包括流体的物理性质，流体运动学，流体运动基本方程，理想流动，粘性流动，相似律与量纲分析，可压缩流动等等。

流体力学一般假设流体的性质如压强、密度、粘性等是与方向无关的。对于气体，通常假设它是完全气体。

将物理学的一些基本定律，如质量守恒定律、动量守恒定律（或牛顿第二定律）、能量守恒定律（其中包括热力学第一定律）以及热力学第二定律等等，运用于流体运动情况，可以推导出相应的流体运动基本方程，如连续性方程、动量方程、能量方程等等。这些方程一般为微分方程。在一定的边界条件下求解这些基本方程，是理论上解决流体力学问题的基本思路。

根据流动中流体密度变化是否可以忽略，流体力学可分为不可压缩流体力学（如水动力学）和可压缩流体力学（如气体动力学）两部分。根据流体粘性是否可以忽略，流体力学又可分为理想流体力学和粘性流体力学两部分。在粘性流动中，流体力学主要研究牛顿型流体（即粘性应力和应变成线性关系的流体），而且着重研究粘性比较小的流体（如水和空气）。对于这种流体，当雷诺数足够大时，流体粘性的影响

主要局限于速度梯度比较大的区域，如附面层和尾流区内，参见理想流体。

流体力学把流体当作连续介质，因此不包括稀薄气体力学。也不包括涉及电磁现象的磁流体力学。

十九世纪以前的经典流体力学，主要研究对象是不可压缩流体，而且侧重于理想流动。二十世纪以来，流体力学有了很大发展，并且形成了一门新的学科——空气动力学。

### 空气动力学

aerodynamics

在流体力学基础上发展起来的一门学科。主要研究空气运动的规律以及空气与物体发生相对运动时相互作用的规律，尤其研究飞行器（主要是飞机，也包括直升机和导弹等）在大气中飞行的原理。空气动力学是发展航空技术的一门基础科学，几十年来飞机外形不断改进，飞行性能不断提高，都与空气动力学的发展分不开。由于飞行器外形复杂，运动状态多变以及结构会发生弹性变形和振动等等，使得空气动力学的研究内容非常广泛，研究方法也比流体力学大有发展。空气动力学有低速、亚音速、跨音速、超音速和高超音速等不同的研究领域，速度范围的不同，不仅使空气流动有量的差别，而且有质的差别。针对飞行器种类的不同，除飞机空气动力学外，还发展了导弹空气动力学和直升机空气动力学等等。按流场边界的不同，空气流动可分为外部流动和内部流动，外部流动是指一般对飞行器的绕流，内部流动以研究进气道、发动机内的流动为主，又称内流空气动力学。按研究的方式或手段的不同，空气动力学也可分为理论空气动力学和实验空气动力学。空气动力学也应用于航空以外的其他工程领域，如建筑、桥梁、汽车、环境保护等，称为工业空气动力学，随着科学技术的发展，空气动力学的应用越来越广泛。

飞机空气动力学主要研究作用在飞机上的空气动力随飞机几何外形、飞行姿态、马赫数、雷诺数等基本因素而变化的规律,以及满足一定空气动力性能所要求的飞机及部件的几何特性。它的基本理论有二维(翼型)、三维机翼理论,机身或旋成体理论,翼身组合体理论等等。除一般以理想流为研究对象外,也发展了表征粘性影响的附面层理论。飞机空气动力学是飞机总体布局、各部件外形设计的理论基础。

同一切学科一样,空气动力学的发展是通过理论和实验两个途径而取得的。理论研究常从流动的基本方程出发,经过必要的简化假设,利用数学工具取得解析或数字的结果。实验研究则以相似理论为指导,通过实验手段,主要是利用风洞,求解流动问题(参见**实验空气动力学**)。

空气动力学的产生和发展可追溯到上一世纪。十九世纪后期,飞机的创造发明活动蓬勃开展,但主要依据实验或经验的手段,并未与当时已经发展成熟的古典流体动力学理论相结合。只是到了本世纪初,兰彻斯特(F. W. Lanchester, 1878—1946)、库塔(M. W. Kutta, 1867—1944)和儒科夫斯基(H. E. Жуковский, 1847—1921)相继建立的二维升力理论以及普朗特(L. Prandtl, 1875—1953)提出的附面层理论,才标志了近代空气动力学的产生。由此,空气动力学一直按理想流体理论研究升力,按附面层理论研究阻力(指粘性阻力)。随着飞行器速度的不断提高,空气动力学的研究领域不断扩大,研究问题也不断深入。但在使用电子计算机以前的相当长时间内,各个理论领域的发展是很不平衡的。例如,在单独部件和组合体之间,定常流与非定常流之间,二维与三维附面层之间,都有这样情况。

六十年代以来,由于电子计算机和计算数学的迅速发展,使空气动力学的数字计算

方法取得了巨大进展,大大提高了直接应用理论手段(在大容量、高速度电子计算机的基础上)解决绕飞行器流动问题的能力,并正在形成一门新的分支学科——计算空气动力学。这就为缩短飞行器研制周期、降低研制费用、提高设计质量开辟了新的途径。人们对飞行器性能的要求是无止境的,而且空气动力学本身也还存在很多尚未解决的问题,因此无论在理论或实验方面,空气动力学都有着广阔的发展前途。

### 磁流体动力学

magnetofluid dynamics

又称“电磁流体动力学”。研究导电液体在磁场中的运动规律的一门学科。其理论基础主要是电动力学(研究电磁运动一般规律的学科)和**流体动力学**。它起源于研究自然现象,在天体物理学、地球物理学、高超音速空气动力学等学科中都有应用。磁流体动力学一般地论述流体,它的分支磁液体动力学和磁气体动力学则专门论述导电液体和电离的可压缩气体(称等离子体)。

对磁流体动力学的一个简单描述是:当导电液体穿过横向磁场运动时,在流体中引起了感应电流,这种感应电流使流体和磁场发生相互作用,改变了原来的磁场并对流体产生出一种改变其运动的力。

近年来磁流体动力学被广泛应用于火箭推进、磁流体发电、受控热核反应等技术领域。它的原理也被用来解决空间运载工具的推进、控制和重返大气的问题。例如,在重返大气时,当运载工具以高超音速运动,在钝头体前面形成的脱体激波使气流温度升高到足以发生电离,而在激波面和物面之间形成一个导电的流场。利用固定在运载工具内部的一个横向磁场有可能降低导电流体的速度和驻点区的外流速度梯度,从而减轻驻点区的热传导,并增大整个运载工具的阻力,达到保护运载工具重返的目的。

**压强**

pressure

单位面积上作用的法向力，力的方向指向被作用的面。流体质点的压强在所有方向上都是均一的。在流体动力学中，压强可定义为热力学压强，即该压强满足流体状态方程

$$p = p(\rho, T)$$

式中  $p$  —— 压强；

$\rho$  —— 密度；

$T$  —— 绝对温度。

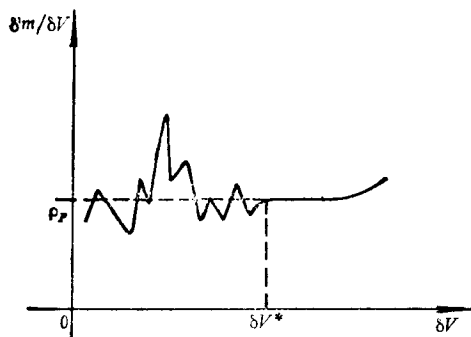
从本质上说，压强是流体分子作热运动（与一定的密度和温度相平衡）而表现出来的一种宏观作用。流体内一点的压强实质上就是该位置上一个流体质点的平均压强。

压强原称压力，许多场合下仍然沿用压力这一名称。

**密度**

density

每单位体积物质所含的质量。在**流体力学**中，一点的密度是指在这一点仍然具有**流体**



质点性质的一块体积的平均密度。设  $P$  是流体中的一点， $\delta V$  及  $\delta m$  分别是含该点的一个很小体积和这个体积内的流体质量，体积内的平均密度按定义为  $\frac{\delta m}{\delta V}$ 。在连续介质前提下，当使体积  $\delta V$  绕  $P$  点缩小但其大小仍然不小于某个最小体积  $\delta V^*$  时，比值  $\frac{\delta m}{\delta V}$  随着  $\delta V$  的缩小有确定的值。但当  $\delta V$  缩小到  $\delta V^*$  以下时，由于体积内只有少量分子且其数量时多时少，平均密度出现了偏离连续介

质范畴的很大的脉动。因此当  $\delta V \leq \delta V^*$  时就定不出一个确定的平均密度 ( $\rho$ ) 值 (见图)。  $P$  点的密度定义为

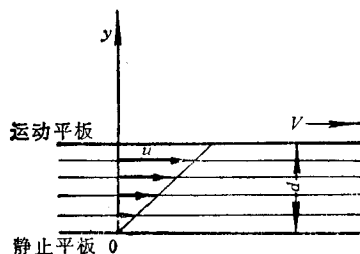
$$\rho_p = \lim_{\delta V \rightarrow \delta V^*} \frac{\delta m}{\delta V}$$

**粘性**

viscosity

实际流体的一种属性。显示为抗拒变形的内摩擦。

设有两块被流体分开的平行平板，距离为  $d$ ，其中的一块在它自己的平面内以等速  $V$  运动，另一块静止不动 (见图)。由于摩擦



作用，两板间的流体就发生运动；毗邻运动平板的流体层的速度和平板速度一样（“粘附”于平板），而中间的流体层的速度则与该流体层到静止平板的距离成正比，即

$$u = V \frac{y}{d}$$

式中  $u$  —— 中间的流体层的速度；

$y$  —— 从静止平板起始的平板法向坐标。

毗邻静止平板的流体层速度为零。流体各层之间有速度差，说明了摩擦力的存在。本质上，粘性作用是具有不同速度的流体质点之间交换动量的结果。实验表明，平板单位面积上所承受的摩擦力（或切应力）与  $\frac{V}{d}$  成正比。用速度梯度  $\frac{du}{dy}$  代替  $\frac{V}{d}$ ，相互滑动的流体层所产生的切应力一般可表示为：

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$



式中比例系数 $\mu$ 为**粘性系数**，它与流体介质的性质和温度有关。这个方程是牛顿(I. Newton, 1642—1727)于1687年根据大量实验结果而提出来的，称为**牛顿摩擦定律**。服从这个定律的流体称**牛顿型流体**。

实际的流体或多或少都有粘性，但考虑流体的粘性将使问题复杂得多。然而对雷诺数远大于1的流动来说，其粘性的影响只限于物面附近一层薄薄的附面层内，层外可将流动当作位流处理，而在层内的粘性流动也可简化处理(例如附面层内沿物面垂直的方向上，压强可视为已由外部位流确定了常数)。

流体的粘性是在流体中运动的物体受有**型阻**的根本原因。

### 粘性系数

coefficient of viscosity

又称“动力粘性系数”，在测定“粘稠”流体(如润滑油等)时又称“粘度”或“动力粘度”。

由牛顿摩擦定律所表示的相互滑动的流体层之间产生的切应力为(参见**粘性**)

$$\tau = \mu \frac{du}{dy}$$

式中  $\mu$  —— 粘性系数，量纲为公斤·秒/米<sup>2</sup>；

$\frac{du}{dy}$  —— 速度梯度。

粘性系数 $\mu$ 与流体介质的性质有关。不同的液体或气体在同样速度梯度下的切应力是各不相同的。对于气体和“流动轻快”的液体(如水、酒精等)，粘性系数很小；而对于“粘稠”的液体(如润滑油等)，粘性系数很大。无论液体或气体，粘性系数都几乎与压强无关，而与温度密切相关。液体的粘性系数随温度的增高而急剧降低；气体的粘性系数则随温度的增高而增大，并且随绝对温度 $T$ 的变化可用幂次近似式表示：

$$\frac{\mu}{\mu_0} = \left( \frac{T}{T_0} \right)^n$$

式中参数的下标“0”指某一状态时的参考值。 $n$ 为 $1 \sim \frac{1}{2}$ 之间的常数因子。对于空气，当温度 $T_0 = 273$  K时，粘性系数 $\mu_0 = 1.745 \times 10^{-8}$  公斤·秒/米<sup>2</sup>，常温下可取 $n = 0.76$ ，随着温度增高 $n$ 向 $\frac{1}{2}$ 减小。

### 运动粘性系数

kinematic viscosity

流体的粘性系数 $\mu$ 与它的密度 $\rho$ 之比。常用符号 $\nu$ 表示， $\nu = \frac{\mu}{\rho}$ 。

在流体力学的许多问题中，流体的粘性力常和惯性力同时存在，因此解析式里常出现粘性系数和密度的比值 $\frac{\mu}{\rho}$ ，以运动粘性系数表示则更为方便。因为它的量纲(米<sup>2</sup>/秒)只含有运动学的量：长度和时间，因此称为运动粘性系数。在绝对温度 $T = 288$  K，压强 $p = 760$  毫米汞柱时，对于空气， $\nu = 1.45 \times 10^{-5}$  米<sup>2</sup>/秒；对于水， $\nu = 0.1145 \times 10^{-5}$  米<sup>2</sup>/秒。

### 粘性力

viscous force

又称“内摩擦力”。参见**粘性**、**粘性系数**。

### 压缩性

compressibility

流体因压强或温度的改变而改变其密度的性质。

流体在经受压强变化 $\Delta p$ 时所引起的相对体积变化 $-\frac{\Delta V}{V}$ 可度量流体压缩性的大小。流体的弹性压缩可约略地依照胡克定律得到： $\Delta p = -E \frac{\Delta V}{V}$ ，式中弹性模数 $E$ 随压强和温度而变。一般工程问题中，压强和温度的变化不大， $E$ 可视作常数。根据**连续性方程**，改用密度变化代替体积变化：

$$\frac{\Delta \rho}{\rho} = \frac{\Delta p}{E}$$

因此流体流动时是否考虑其压缩性，须看流