

建筑门窗环境工学概论

(试 用 本)

建筑门窗环境工学概论编写组 主编

建筑门窗专业大专教材

86.3589

8705810

建筑门窗专业大专教材
建筑门窗环境工学概论
(试用本)

1986年12月

编 者 的 话

中国建筑金属结构协会受国内建筑门窗行业的委托，为了培养急迫需要的中高级建筑门窗设计和生产专业人才，经与有关大、中专院校研究制订了“建筑门窗专业教学计划”（草案）。根据教学计划、教学课程设置的规定，组织编写五门专业课教材，即：

一、建筑门窗环境工学概论

二、金属门窗模具设计

三、金属门窗加工工艺学

四、建筑门窗设计

五、门窗加工机械设备

组织担任各书主编和参加编著的都是有关研究所和工厂富有多年实践经验和较高理论水平的高级工程师、工程师和专家等。

“专业教材编辑委员会”对五本书稿都进行了审阅，但是由于时间仓促，误差难免，敬希读者提出指正意见，以便重印时增补修订。

专业教材编辑委员会

总 编 辑 郑廉致

编 委：郑廉致、郑金峰、张乃祯、丁子梁、高锡九、关崇善、浦志华、
阮景贤、吴志坚。

一九八六年七月

引言

建筑外门、外窗对维持建筑物内部适宜环境条件起着重要的作用。在不同气候区、不同季节和不同时刻，通过门窗利用或防止环境因素的作用，以满足居民对长时间停留房间的建筑物物理、建筑环境卫生、建筑心理和建筑安全等多方面的要求。因此，门窗构件与建筑物外界环境因素存在着密切的而又错综复杂的关系。反映在门窗的使用功能方面，各项功能之间的关系，也同样是错综复杂的。

建筑外门、外窗的主要使用功能以人类活动最集中的温带地区为例，其项目之多可见下表：

气候带	温带气候区	
季节	冬季	夏季
使用功能	防止冷风渗透 防止热量损耗 利用太阳热得量 抵抗强风吹袭 利用天然采光 隔绝噪声 防止尘砂进入 防止火灾蔓延 在操纵和清洗中保证安全 防止盗窃 （关窗时） 遮断外界视线 （关窗时）	利用自然通风 防止热量传入（空调房间） 防止太阳热进入室内 防止暴风雨袭击 利用天然采光但要防止太阳光直射 隔绝噪声（空调房间） 防止昆虫进入 防止火灾蔓延 在操纵和清洗中保证安全 防止盗窃 （开窗时） 遮断外界视线 （开窗时）

除了上述使用功能要求，门窗的形式、材料质地、颜色等外观装饰效果要能满足建筑物立面的艺术要求；门窗的几何形状，分割方式对形成室内的明快开朗、视野广阔的舒适环境，满足居民心理要求也起着重要作用。

随着建筑物的高层化和窗户面积的扩大化，幕墙这种全部由金属和玻璃构成的新型门窗和墙体综合构件的应用日益普遍，无论在抗风强度、阻止冷风渗透、防止雨水渗漏方面，还是在保温隔热和隔声采光等方面都提出了更高的要求。在防火和安全方面，更需特殊处理。因此，欲设计制作出符合现代建筑要求的门窗制品，能够巧妙地解决上述

多项功能要求中的相互矛盾的诸多难点，没有科学实用的设计原理的指导和严格准确的功能质量的检测方法的控制是很难作到的。

由于上述生产发展的要求，就诞生了一门专门研究门窗构件与周围环境因素之间相关规律的新学科——建筑门窗环境工学。这门新生学科的主要研究内容为利用建筑物理学、建筑气象学、建筑卫生学、建筑结构、建筑构造、建筑心理、建筑安全等诸学科的有关原理研究建筑门窗和幕墙在实用和精神两方面的功能设计原理。为门窗功能设计和制定门窗标准规范提供理论依据。

本书针对当前生产需要，在现有科研设计、生产水平和资料积累的基础上，首先编写了普通外窗使用功能方面的有关章节。随着对门窗功能要求的提高和生产实践经验和科研成果的积累，还要继续进行补充和修订工作。

由于建筑门窗（镶嵌结构）环境工学是一门崭新的学科，虽然各章的编写都邀请了有关专家亲自执笔，但在初编中肯定会存在不足，甚至错误的地方，希望各界读者能提出宝贵意见和建议，以便今后进行修订。

本书是由中国建筑金属结构协会按照建筑门窗专业大专教学计划组织编写。由中国建筑科学研究院建筑物理所高锡九工程师主编，参加编写的有中国建筑科学研究院建筑物理所工程师谈恒玉、（抗风压气密水密部分）杨善勤（保温隔热部分）林若慈（采光部分）丁国强（隔声部分）、洛阳有色冶金设计院总设计师刘智龙（防火部分），编后经协会专业教材编辑委员会讨论审定。

目 录

第一篇 风	1
第一章 风气候及流体力学基本知识	1
第一节 风气候的基本知识.....	1
第二节 流体力学的基本知识.....	4
第二章 建筑外窗抗风压功能	17
第一节 外窗所受风压的形成.....	17
第二节 外窗在风压作用下发生变形或损坏现象的机理.....	23
第三节 抵抗风压作用评价指标值的确定.....	26
第四节 外窗抗风压性能的检测方法.....	28
第三章 建筑外窗防止冷风渗透功能	29
第一节 外窗防止冷风渗透功能的重要性.....	29
第二节 缝隙渗透的机理.....	30
第三节 外窗缝隙空气渗透的评价指标及其测定方法.....	36
第四节 外窗防止冷风渗透的性能分级.....	42
第五节 外窗防止冷风渗透参数的应用方法.....	45
第六节 防止外窗冷风渗透的措施.....	47
第四章 自然通风	48
第二篇 降水	52
第五章 建筑外窗阻止雨水渗漏功能	52
第一节 防止雨水渗漏的重要性.....	52
第二节 雨水渗漏的机理.....	54
第三节 雨水渗漏的检测方法.....	54
第四节 雨水渗漏的评价方法和分级标准.....	58
第五节 防止雨水渗漏的改善措施.....	59
第三篇 气温	63
第六章 建筑外窗保温功能	63
第一节 概述.....	63
第二节 外窗保温功能.....	63
第三节 外窗保温机理.....	65
第四节 外窗保温性能指标.....	74
第五节 外窗保温措施.....	80
第四篇 太阳辐射	85
第七章 建筑外窗隔热功能	85
第一节 概述.....	85

第二节	外窗隔热功能	85
第三节	玻璃对辐射热的透过性能	86
第四节	外窗的得热	87
第五节	与太阳光线有关的各种角度	89
第六节	外窗隔热性能指标	92
第七节	外窗隔热措施	92
第八章	建筑外窗天然采光功能	102
第一节	光的基本知识	102
第二节	光气候和天然光源	107
第三节	外窗的采光	112
第四节	外窗的眩光	123
第五篇	噪声	126
第九章	建筑门窗隔声功能	126
第一节	声波的基本知识	126
第二节	噪声	136
第三节	薄板的隔声性能	144
第四节	双层结构的隔声性能	153
第五节	门窗隔声	156
第六节	门窗隔声性能试验	193
第六篇	火	203
第十章	建筑门窗防火功能	203
第一节	概述	203
第二节	门窗与火灾	207
第三节	我国现行规范对门窗耐火要求	208
第四节	门窗设计及构造处理对防火要求的考虑	209
第五节	防火门窗耐火试验简介	212

第一篇 风

风是建筑门窗设计中的主要气候因素之一。风是使门窗产生变形损坏,冷风渗透、雨水渗漏以及风砂进入等现象的原动力。针对上述风对门窗的作用,在门窗设计中提出了抗风压强度、阻止冷风渗透、防止雨水尘砂渗入的防御措施和利用自然通风等诸项功能要求。因此,作为合格的门窗设计人员,对于风的基本知识及其和建筑物之间相关规律的掌握是出色完成设计任务的主要条件之一。

第一章 风气候及流体力学基本知识

风气候是从宏观角度研究了风的运动规律。在确定不同地区门窗的适宜形式中须加以考虑。当进入门窗构造设计阶段,为使其达到要求功能的合格水平,在研究风力在构件中的传递规律,风在缝隙中的流动原理以及雨水渗入窗缝的方式时,流体力学基本知识也是同样重要的基础课程。本章在尽量保持上述学科的完整性和系统性的原则下,简介如后。

第一节 风气候的基本知识

一、大气的组成:

在地球表面,有一层肉眼看不见的很厚的空气,称为“大气”,大气成为一个连续的气圈层,称为“大气层”。风就是在大气层中空气的流动现象。

大气的主要组成成分为纯干空气、水汽和微尘。

(一) 纯干空:气为大气的主体,其中氮占78%,氧占21%,其余约1%的空气则由二氧化碳、臭氧、氨、氫、氦、氖、氩等混合组成。

其中对居室卫生有关的成分为二氧化碳。它是从火山喷发,燃烧和生物体的生活活动中产生出来的。因此,空气中所含二氧化碳的含量常有地方性变化。在城市和工业区,空气中所含二氧化碳比乡村和海洋上为多。在大城市中,由于环境污染随着工业生产的发展日益严重,空气中的二氧化碳的容积可达0.05%,甚至更多,如果达到0.2~0.6%时,就会有害于人类健康。

(二) 水汽:大气圈中约有20%的水汽集中分布在贴近地面5公里的气层中。

水汽是大气中最不稳定的组成物质。它在大气中的含量跟地表特性、气候条件等有密切关系,所以各处大气中的水汽含量不一。赤道地带的海洋面上含量最多,约占4%,中纬地带的海洋面上约占1%;极地极少,接近于0。

水汽对保持地面热量起着重大的作用,因为它几乎能完全吸收地面辐射出的热量,增加空气温度,减少地面辐射热量的损失。

(三) 微尘: 大气中浮游着大量的固体微尘。其含量随各地地表构成和风气候条件而变化。如为自然地面, 大风时, 空气中尘砂含量会迅速上升, 可达到须加以隔绝的程度。

二、大气层的分层

大气层可分为对流层、平流层和电离层。其中对流层是贴近地面的一层。这一层的空气密度最大, 约含有整个大气层的全部空气的75%, 对流层的平均高度为10~11公里。在极为8公里, 在赤道约为16公里。对流层的特征是气温随高度而下降, 每上升100m, 气温平均下降0.6℃。在中伟地带, 对流层的上限的气温约为-55℃, 而赤道对流层上限气温可达-80℃。

对流层对地理环境具有特别重大的意义。空气和大气水分的水平移动及垂直移动都在这一层内发生。

平流层和电离层和本教材关系不大, 故略之。

三、气压和风

1. 气压

包围在地球周围的大气具有重量, 因此, 地球表面和处在地球表面上的物体都受到大气压力的作用, 这时压力等于大气的总重量。

从物理学已知, 大气在海平面 1 cm^2 上的压力 (当气温为 0°C , 纬度为 45° 时) 等于 760mm 高的水银柱压力时, 称为“标准气压”。因为在气温为 0°C 时, 在南北纬处的海平面上的水银, 每 cm^3 重 13.6 克, 所以, 断面为 1 cm^2 的平面上, 高度为 760mm 的水银柱重量为 $1,033.4\text{ gm}$ (13.6×76), 即近于 1 kg ($1,000\text{ gm}$)

气压是用气压表中水银柱的高度 (以 mm 为单位) 来测量的。1914 年以后, 世界各国采用了绝对单位制表示大气压。依据挪威地球物理学家毕尔克涅斯的倡议, 把每 cm^2 上 100 万达因的压力作为标准单位, 叫做 1 巴 (bar)。

一个大气压等于 1.013 bar 。我国已实行国际单位制, 压力单位规定使用帕斯卡 (Pa), 标准大气压 (atm) 为 $101,325\text{ Pa}$, $1\text{ Pa} = 1\text{ N/m}^2$ ($1\text{ kg/m}^2 = 1\text{ mmHg} = 9.80665\text{ Pa}$)

(1) 气压的高度变化: 离海平面愈高的地方, 空气的密度愈小, 气压也愈低。由于下层大气密度大, 因之气压随地方高度降低而增高, 其规律是: 当地方的高度以算术级数增加时, 大气压力则以几何级数减少。例如在海拔 5,500m 的地方的大气压为海平面的一半; 高度增加一倍时, 压力等于海平面的四分之一; 高度增加两倍时, 压力等于海平面的八分之一。

(2) 气压的日变化和年变化

a. 气压的日变化: 在一昼夜中, 气压的变化有两次上升和两次下降。这种气压的日变化在赤道和热带地方表现得特别显著而有规律。在那里, 最高气压出现在上午和晚上的 9—10 点钟, 最低气压出现在下午和深夜的 3—4 点。热带的气压日变化可达 $2-3\text{ mmHg}$ 在温带和寒带地方日变化较弱。

b. 气压的年变化: 气压的年变化在温带和寒带变化显著而在热带变化较弱。在温暖季节里, 大陆的增热性比海洋大, 因此大陆上的气温比海洋高而空气密度较小, 这样就发生气流由大气层上层向海洋上空流动的现象, 以致大陆上空的空气数量减少。结

果，夏天大陆气压低于海洋。在冬季则反之，即大陆气压高于海洋。

2. 风

风就是大气压差所引起的大气水平运动。而增温不同是引起大气压差的主要原因。

(1) 风向和风速：风向和风速是决定风的特性的两个要素。风向一般在陆地上只用16个方位表示。如用角度表示风向，则北风是0度（即360度），东风是90度，南风是180度，西风是270度，其余风向均可由此计算出来。

风具有不同的速度。气压梯度愈大，风速愈大。

气压梯度是沿气压减低最速的方向每单位距离气压的差数，也就是沿等压线的垂线向气压减低的方向每进一单位距离（111公里）时气压所发生的变化量。这里所说的一单位距离更确切一些说，是111.1公里，是中纬度地方纬度一度的地面距离。

例如每隔500Pa引一等压线，AB为相邻等压线之间的垂线，（参见下图）等于230公里，根据比例尺截取AC为半径上1度之长（111公里）。则AC两点之间气压的差数则为：

$$\begin{aligned} & \frac{500\text{Pa}}{AB} \times AC \\ &= \frac{500\text{Pa} \times 111}{230} = 240\text{Pa} \end{aligned}$$

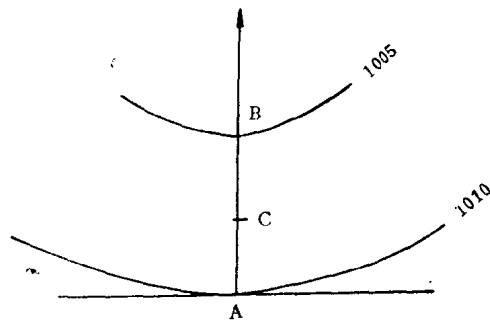


图 1—1 气压梯度的确定

由上可知，相邻等压线之间垂线距离间的气压差愈大，气压梯度就愈大。换言之，等压线愈密的地方，气压梯度愈大，因而风速度也愈大。

但地面上的实际风速并不完全是气压梯度所决定的，因为它还受到地面摩擦的影响。不平坦的地面，森林及城市大建筑物，都可在不同程度上使风速减弱。在森林中的观察证明：距森林边缘50m的地方，风速就会减弱60~70%，在进入森林100m的地方，风速减弱到7%，进入200m的地方可减弱到2—3%。

风速是以每秒钟内风进行的米数来表示的。现在世界通用的估计风力的标准，是1805年英国海军大将蒲福首倡的，各级风的风速和陆地上的动态可见表1—1。

(2) 风的类型：

现主要讲述的是与建筑实践关系密切的“地方风”。因其形成与地方条件有接关系故名之。现说明几种主要的地方风：

a. 海陆风：由于水面和陆地的比热不同，在水陆表面之间经常存在温度差。所可在海滨和大湖岸边，会出现周期性的海陆风。白天由于海面气温比陆地低，故形成海面吹向陆地的“海风”这种风一般可侵入陆地20~30公里。夜间则相反形成陆风。在热带全年都有海陆风，在温带只有夏季才有。

b. 季风：季风发生的原因和海陆风相似，但不是以昼夜为周期，而是以一年为周期。

季风是由于海陆间季节气温的差异所引起的。冬季大陆强烈冷却，气压增高，季风

表1—1

风 级 表

风 级	风 速 m/s	陆 地 地 面 动 态
0	0—0.2	烟直上。
1	0.3—1.5	烟能表示风向，不能转动普通风标。
2	1.6—3.3	脸感觉有风，树叶有微响，风标转动。
3	3.4—5.4	树叶和最细的枝摇动，旌旗招展。
4	5.5—7.9	灰尘和纸片飞午，树的小枝摇动。
5	8.0—10.7	有叶的小树摇，内河水面起小波
6	10.8—13.8	大树枝摇动，电线呼呼发响，举伞困难。
7	13.9—17.1	全树动摇，迎风步行感觉不便。
8	17.2—20.7	折毁小树枝，迎风步行感到阻力甚大。
9	20.8—24.4	折毁大枝普通屋顶上的烟囱等物易毁。
10	24.5—28.4	大陆上不常见，如果出现往往会拔树毁屋。
11	28.5—32.6	大陆上很少见，如果有，必遭重大损坏。
12	32.6以上	大陆上难以出现，破坏性极为强烈。

由大陆向海洋；夏季大陆强烈增温，气压降低，季风由海洋吹向大陆。例如，冬季亚洲大陆的气压是775mm，甚至达到780mm，而太平洋上的气压是755mm，甚至还要低，因而季风从大陆吹向海洋；到了夏季，亚洲内陆气压低到746mm，而太平洋上的气压却上升到765mm，这时，季风又从海洋吹向陆地。

季风发展最典型的区域是亚洲东岸和东南海岸地区，这些地区的季风，其厚度达3~4公里。夏季季风侵入大陆内部可达1,000公里以上。中国大部地区，夏季湿润多雨而冬季干燥，就是受了强大季风的影响。

c. 山风和谷风、在正常天气，山地一天当中有两种风作周期性的更替，那就是“山风”和“谷风”。

山风和谷风的形成原因如下：白天谷里的空气比山上的空气增温较多，发生膨胀，结果，在一定高度处，谷里的气压就比山上的气压高，这样，空气就由谷里吹向山上，形成上升的谷风。夜间，谷中气温低，空气收缩，山上的气流向谷中补充，形成下沉的山风。

第二节 流体力学的基本知识

流体力学是研究流体平衡和运动的规律，以及流体和固体之间相互作用问题的一门科学。是许多现代工程领域的理论基础。

流体力学包括两个基本部分：研究流体平衡规律的称为流体静力学；研究流体运动规律的称为流体动力学。

一、单位制和物理量的因次。

1. 物理量的单位和单位制

为了描述流体的物理性质以及流动过程的特性，使用了一系列的物理量。例如质量、密度、粘度、压强、流速等。

表示这些物理量的单位主要系由基本物理量的单位导出的单位。前者称为基本单位，如长度、质量、时间；后者称为导出单位。

基本单位制有：①CGS制即以厘米（cm）表长度，克（g）表质量，秒（s）表时间。

②MKS制即以米（m）表长度，千克（kg）表质量，秒（s）表时间。

③工程单位制，即以米（m）表长度，千克力（kgf）表力，秒（s）表时间。

由于工程单位制将力作为基本单位了，所以质量单位变为导出单位。在工程单位制中质量的单位为。 $\left[\frac{\text{kgf} \cdot \text{s}^2}{\text{m}}\right]$

今将CGS制、MKS制、工程单位制比较，列于下表。

表1-2 几种单位制的比较

单位制	CGS制			MKS制			工程制		
基本单位	cm	g	s	m	kg	s	m	kgf	
基本物理量	长度	质量	时间	长度	质量	时间	长度	力	时间
导出单位举例	速度cm/s			速度m/s			速度m/s		
	加速度cm/s ²			加速度m/s ²			加速度m/s ²		
	力，dyne或(gcm/s ²)			力，N或(kgm/s ²)			质量(kgfs ² /m)		
	功及机械能 erg或 dyne·cm			功及机械能 Joule或 kg·m ² /s ²			功及机械能 kgf·m		

目前各国正在全面普及使用国际单位制（国际符号为SI）。国际单位制是在MKS制的基础上发展起来的。国际单位制采用了七个基本单位制，除了MKS所用三个基本单位制以外，还加上电流强度单位A（安培）、热力学温度单位K（开尔文）、物质的量单位mol（摩尔），发光强度单位cd（埃德拉）

国际单位优点主要有两点：

▲自然科学和工程技术领域里的一切单位都可从上述七个基本单位和两个辅助单位（弧度和球面度）导出，通用性强。

▲任何一个导出单位如是由基本单位相乘、相除而导出，导出时都不引入比例常数或比例常数都等于1，例如力的单位采用牛顿N

$$1 \text{ N} = 1 \text{ kg} \times 1 \text{ m/s}^2 = 1 [\text{kg} \cdot \text{m/s}^2]$$

又如能量、热、功三者都用焦耳Joule；

$$1 \text{ Joule} = 1 \text{ N} \times 1 \text{ m} = 1 \text{ N} \cdot \text{m} = 1 [\text{kg} \cdot \text{m}^2/\text{s}^2]$$

2. 物理量的因次和因次一致性原则

用基本物理量去表示某一物理量的式子叫该物理量的因次。

根据物理规律建立起来的方程式，称为物理量方程式。在该方程式中的单位必须一致，因而它的因次必然相同。这称为因次一致性原则。导出一个方程式，如果怀疑其是否正确，首先可用这一原则来检验。即：如以L、M、F、T、Q依次代表长度、质量、力、时间、温度，则别的物理量的因次便是这些符号的依照一定规律的组合。例如，面积的因次是 L^2 ，速度的因次为 LS^{-1} ，体积流量的因次为 L^3S^{-1} 等。

二、流体的主要物理性质及表征这些性质的物理量

1. 作为连续介质看待的流体

流体是液体和气体的统称。

液体和气体都有很复杂的内部结构。它们都由大量分子组成，这些分子不断地作不规则热运动。分子与分子之间都保留有相应的空隙，所以，流体实际上是不连续的。而流体力学只研究大量分子的集体运动。所以，将流体看作是由许多相瓦紧靠的质量点所构成的，作为连续介质看待。

2. 流体的流动性

流体的变形（剪切变形）会产生阻力，但这种阻力与变形的快慢有关。即欲使流体迅速产生变形，需要用很大的作用力，而在用力的时间充分长时，任何细小的力（切向力）也能使流体产生非常大的变形，产生流动，这种性质便称为流动性。气体流动性不同于液体之处在于气体在容器中流动的同时体积也随容器而变化，即可充满整个容器。

3. 流体的压缩性和膨胀性

流体在外力作用下改变自身体积大小的特性称为压缩性。气体的压缩性是很大的，而且随气体的热力学过程而定，随压强增高而加大。空气在标准大气压条件下，其压缩性是水的20000倍。流体的压缩性是很小的。

流体在受热时（当然也可能是冷却时），会改变自身体积的特性称为流体的膨胀性。

液体的膨胀性很小，但气体的膨胀性却很大。因此，在压强和温度变化时，气体体积的变化较为显著。如果在气体的压强不太高而温度又不太低时，气体近似地遵守理想气体定律：亦即气体的压强、温度和体积之间的关系为：

$$PV = nRT \dots\dots\dots \textcircled{1}$$

式中： n——气体的量，以千摩尔数表之Kmol

P——气体的压强（帕）Pa。

V——气体的体积 m^3 ；

T——气体的温度，K；

R——通用气体常数，对任何理想气体都可适用，它的数值是 $8314 \cdot 3 \text{ joule}/(\text{kmol} \cdot \text{k})$

由上式可推导出下式：

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2} \dots\dots\dots ②$$

上式可说明气体体积和压强与温度之间的关系。

4. 流体的密度和重度

单位体积的流体的重量称为流体的密度。若以V表示流体的体积；m表示流体的质量；对于均质流体，密度ρ可由下式求之：

$$\rho = \frac{m}{V} = \text{kg/m}^3$$

混合流体例如空气、烟气，由于其总体积为各组分的分体积之和，故其密度可由下式计算之：

$$\rho_{om} = \rho_{01} a_1 + \rho_{02} a_2 + \dots\dots\rho_{0n} a_n \text{ kg/m}^3$$

式中： ρ_{0n} ：气体混合物中每个组分在标准状态下的密度 kg/m^3

a_n ：混合物每个组分的体积分数。

比容：以v表之，系指单位质量流体的体积。

$$v = \frac{V}{m} = \frac{1}{\rho} \text{ m}^3/\text{kg}$$

重度；以γ表示，系指单位体积流体的重量。

$$\gamma = \frac{G}{V} \text{ N/m}^3$$

由于流体的重量G与质量m的关系为：

$$G = mg$$

式中： g为重力加速度 m/s^2

将上式同时除以流体体积V，即可得出重度与密度的换算关系：

$$\gamma = \rho g$$

5. 流体的粘度

凡流体都具有流动性，但不同流体之间流动性相差很大。其中流体的粘滞性作用显著。由于粘滞作用使流体各层之间产生剪压力，以τ表之。其大小与速度梯度 $\frac{du}{dy}$ 成正比。这种关系称为牛顿粘性定律。

$$\tau = \mu \cdot \frac{du}{dy} \quad [\text{Pa}]$$

式中： μ——比例系数，称为粘度，或称粘滞系数。

流体的粘度与温度有关。当温度升高时，液体的粘度急剧下降。与此相反，气体的粘度则随温度的上而增大。

粘度和密度都是流体物理性质的主要物理量。在流体力学中常常用到粘度与密度的比值大小，这个比值称为运动粘度ν，即

$$v = \frac{\mu}{\rho} \text{ 米}^2/\text{秒} \text{ (m}^2/\text{s}^2) \dots\dots\dots ③$$

三、流体静力学

1. 流体静压强

在流体静力学中研究的是流体的平衡规律，并讨论这些规律的实际应用。

静压强的定义：

现观察处于平衡状态下的流体（见下图）用平面 CD 将其割分为两部分。用作用力 P 来代替上面部分的作用。在 CD 上某点 A 的周围取一面积 ΔF ，如果在此面积上作用的力为 ΔP 则

$$P_m = \frac{\Delta P}{\Delta F} \dots\dots\dots ④$$

称为平均流体静压强。

取极限，可得到接近 A 点实际压强的平均压强值。

$$P = \lim_{\Delta F \rightarrow 0} \frac{\Delta P}{\Delta F} \dots\dots\dots ⑤$$

P 称为点 A 上的流体静压强，或简称压强。

静压强的单位，在国际单位制中为帕斯卡 [pascal] $1 \text{ pa} = [1 \text{ N/m}^2]$ ；在 CGS 制中为 [dyne/cm²]；在工程单位制中是 [kgf/m²] ($1 \text{ kgf/m}^2 = 1 \text{ mmH}_2\text{O}$)

静压强还经常以大气压表示，1 标准大气压等于 101,325 Pa。此外，在气象工作中还使用毫巴 mb 的压强单位，

$$1 \text{ b} = 1000 \text{ mb} = 10^6 \text{ dyne/cm}^2 = 10^5 \text{ Pa}$$

2. 流体静压强的特性：

(1) 流体静压强必然垂直于所作用的面积。即压力 ΔP 必然沿着内法线方向作用于面积 ΔP 。

(2) 某点上流体压强的大小与其作用面积的方向无关。即在静止的流体中，沿任何方向作用于某一固定点的静压强均有相同的数值。

某点上流体静压强的大小虽与其作用力的方向无关，但在不同点上，流体静压强可以是不等的。于是，流体静压强是空间坐标的单值函数，即

$$p = f(x, y, z) \dots\dots\dots ⑥$$

(3) 流体静力学基本方程式：

流体静力学基本方程式形式如下：

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \text{ (仅处于重力作用下)}$$

其推导过程如下。

在处于平衡状态下的流体中点 A (x, y, z) 的周围取一平行六面体（见右图），其边长为 dx、dy、dz，点 A 处于微六面体的中心，其静压强为 p。依据静压强的特性点 A 各方向的静压强均等于 p。作用在此微六面体上的力有表面力（静压力）和质量力。

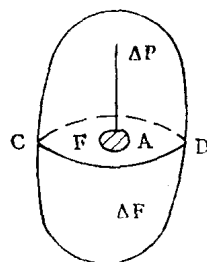


图 1-2

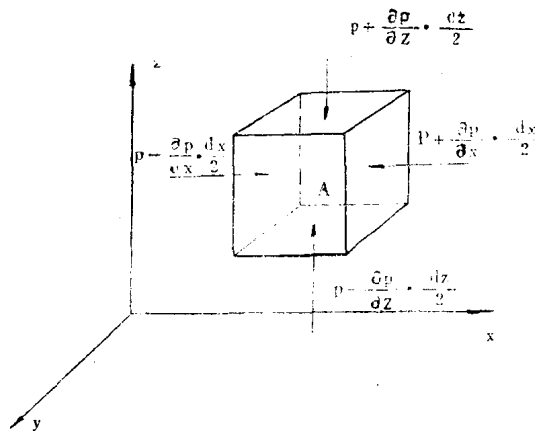


图 1-8

作用在左侧面上的力为 $(p - \frac{\partial p}{\partial x} \cdot \frac{dx}{2}) \times dy \cdot dz$, 作用于右侧面上的力为 $(p + \frac{\partial p}{\partial x} \cdot \frac{dx}{2}) \times dy \cdot dz$ 故沿 x 轴方向作用于该微六面体上的总压力是:

$$(p - \frac{1}{2} \frac{\partial p}{\partial x} \cdot dx) dy dz - (p + \frac{1}{2} \frac{\partial p}{\partial x} \cdot dx) dy dz = - \frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz \dots\dots\dots ⑦$$

同理可得, 沿 y 轴及 z 轴方向作用在微六面体上的总压力为:

$$- \frac{\partial p}{\partial y} dx dy dz \text{ 和 } - \frac{\partial p}{\partial z} dx dy dz$$

作用在此微六面体上的质量力分别为: $\rho X dx dy dz$, $\rho Y dx dy dz$, $\rho Z dx dy dz$, 式中 ρ 为该流体的密度, X 、 Y 、 Z 分别为单位质量流体的质量力在 x , y , z 轴上的投影。

根据平衡条件, 沿 x , y , z 轴各力之和应等于 0 故:

$$\rho X dx dy dz - \frac{\partial p}{\partial x} dx dy dz = 0 \dots\dots\dots ⑧$$

$$\left. \begin{array}{l} \text{或} \quad X - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} = 0 \\ \text{同理} \quad Y - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} = 0 \\ \quad \quad Z - \frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} = 0 \end{array} \right\}$$

上式称为欧拉平衡微分方程式。

将上式分别乘以 dx 、 dy 、 dz , 然后相加之得:

$$(X dx + Y dy + Z dz) - \frac{1}{\rho} \left(\frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz \right) = 0 \dots\dots\dots ⑨$$

因为静压强为连续函数, $p = f(x, y, z)$, 所以压强的全微分为

$$dp = \frac{\partial p}{\partial x} dx + \frac{\partial p}{\partial y} dy + \frac{\partial p}{\partial z} dz$$

因此上式可改写为:

$$(Xdx + Ydy + Zdz) - \frac{dp}{\rho} = 0 \dots\dots\dots ⑩$$

当流体的质量力只是重力时, $X = 0$, $Y = 0$, $Z = -g$ 所以: $-gdz - \frac{dp}{\rho} = 0$,

由于 $\gamma = \rho g$ 所以上式为: $dz + \frac{dp}{\gamma} = 0$

如流体可视为匀质的, 即 γ 是常数, 将上式积分得:

$$z + \frac{p}{\gamma} = \text{常数}$$

即在流体中任意点的 z 与 p/γ 之和的常值, 所以得到基本方程式:

$$z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \dots\dots\dots ⑪$$

由上式可见, 当 $z_1 = z_2$ 时, $p_1 = p_2$ 即在同一高度处, 其等压面为一水平面。

四、流体动力学:

流体动力学主要研讨流体运动的一般规律以及这些规律的实际应用。

流体运动的要素, 例如压强 p 、速度 u 、加速度 a 、密度 ρ 、剪应力 τ 等与流体质点的位置有关, 因而是空间坐标的连续函数。此外还可能因时间而发生变化, 因而也是时间 t 的函数。于是可将流体运动分为恒定流和非恒定流两类。

恒定流系指在流体内的任何空间点处, 所有运动要素仅与其位置有关, 而不随时间改变, 因而是空间坐标的单值连续函数:

$$p = f_1(x, y, z), u = f_2(x, y, z) \dots\dots\dots ⑫$$

非恒定流系指在流体内任何空间点处, 运动要素不仅因其位置而改变, 同时也随时间而发生变化。因而是座标和时间的函数。

$$p = f_1(x, y, z, t), u = f_2(x, y, z, t) \dots\dots\dots$$

如一密闭箱, 送入空气量和其排出的空气量相同, 使箱内内压力维持恒定, 不随时间而变化, 因而箱内气体任何点上的压强 p 、速度 v 、加速度 a 、密度 ρ 等要素均不随时间而有所改变, 所以是恒定流。

如果停止送气, 而继续使气体排出, 则箱内压力不断下降, 于是出现随时间而变化的非恒定流。

实际上, 流体运动时往往发生脉动现象, 因此真正的恒定流总很少见的。但只要各要素在较长时间内的平均值总是恒定不变的, 即可视为恒定流。因而在生产实践中, 流体运动大多数可作为恒定流处理。

(一) 流量和流速

讨论流速时首先应引进流线的概念。