

张世芳 编

泵与

风机

机械工业出版社

泵与风机

张世芳 编

机械工业出版社

本书针对供水通风工程中泵与水管、风机与风道的有关问题，系统地介绍管中流动流体力学基本原理、离心式水泵、容积式水泵、离心风机、水管水力计算、风道水力计算。主要介绍了泵与风机的工作原理、结构及其选型以及流体在管中流动的具体计算方法。

本书适用于有关工程技术人员，也可供有关专业高等工科院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

泵与风机 / 张世芳编. — 北京: 机械工业出版社, 1997.2
ISBN 7-111-05333-9

I. 泵… I. 张… ①泵②鼓风机 N. TH3

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第14362号

出版人: 马九荣(北京市百万庄南街1号 邮政编码100037)

责任编辑: 刘文伯 版式设计: 王颖 责任校对: 姚培新

封面设计: 姚毅 责任印制: 王国光

机械工业出版社京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1996年12月第1版第1次印刷

787mm×1092mm^{1/32}·6.5印张·142千字

0 001-1 500册

定价: 12.00元

凡购本书, 如有缺页、倒页、脱页, 由本社发行部调换

前 言

本书是在江苏理工大学机械类专业泵与风机教学讲义的基础上，结合本人在工程实践中的体会重新编写的，可作为农业机械、制冷、机械制造、安全工程、工业工程等机械类专业选修课教材和相关培训教材，也可供有关工程技术人员参考。

泵与水管、风机与风道是配套的两种设备，在工程上应用极其普遍。为使输水送气工程装配合理，本书讲述了管中流动的流体力学原理，水管水力计算，风道水力计算，水泵及风机的原理、结构、装置、参数、性能曲线、系统运行时的工作点，并联和串联，正确选择泵及风机，正确安装使用等。全书在内容安排上注意到给读者一个“成套”的概念，并力求理论联系实际，简明扼要，深入浅出。

本书第七章由太仓第二棉纺厂刘金鸿编写，其余由江苏理工大学张世芳编写。书稿中离心泵与容积泵部分经林洪义、张淑英审阅，离心风机部分经许恭审阅。审阅中提出了许多宝贵意见和建议，对提高本书质量起到了重要作用，深表谢意。限于编者的水平，错误和不足之处在所难免，热诚欢迎读者批评指正。

编者

目 录

前言

第一章 流体力学基本原理	1
1 流体的物理性质	1
1.1 流体的密度、重度	1
1.2 流体粘性	2
1.3 空气分离压与饱和蒸汽压	2
2 静止流体的力学性质	3
2.1 流体静压强	3
2.2 压强的表示方法	4
2.3 静压强的测量	6
3 流体管中流动的力学规律	8
3.1 描述流动现象的术语	8
3.2 连续方程	10
3.3 能量守恒方程	11
3.4 管中流动的能量损失	13
3.5 沿程阻力系数 λ	16
3.6 局部阻力系数 ζ	19
3.7 伯努利能线图	25
第二章 离心式流体机械工作机理	27
1 流体机械概述	27
2 相对运动伯努利方程	32
3 离心式流体机械基本方程	35
第三章 离心式水泵	43
1 构造	45
2 装置	46
3 工作原理	48

4	参数	48
5	性能曲线	53
6	比转速	55
7	工作点	59
8	常用离心泵	60
9	离心泵的选择和安装	70
第四章 容积式水泵		81
1	活塞泵	81
1.1	工作原理	81
1.2	流量	83
1.3	性能曲线	88
1.4	空气室	88
1.5	吸液高度	91
1.6	活塞式空气压缩机	92
2	齿轮泵	93
2.1	工作原理	93
2.2	外齿轮泵的流量	94
2.3	齿轮泵的运行	95
2.4	常用齿轮泵	96
3	螺杆泵	96
3.1	种类	96
3.2	工作原理	97
3.3	特点	98
3.4	型号名称	98
4	旋板泵	99
4.1	结构	99
4.2	工作原理	99
第五章 离心风机		102
1	构造	103
2	装置	106
3	工作原理	108
4	参数	109
5	性能曲线	112

6	比转速	116
7	工作点	120
8	并联和串联	125
9	常用通风机代号	130
10	离心通风机的选择	132
11	通风机的安装	135
第六章 水管水力计算		137
1	概述	137
2	短管水力计算	138
3	等径长管水力计算	142
4	串联长管水力计算	144
5	并联管路水力计算	147
6	分支管路水力计算	150
第七章 风道水力计算		154
1	风道设计基本知识	155
2	风管压力损失	163
2.1	沿程压力损失	164
2.2	局部压力损失	167
3	风道内的压力分布	168
4	均匀吸风风道水力计算	171
4.1	等截面干管变侧孔均匀吸风	172
4.2	变截面干管等宽轴向条缝均匀吸风	178
4.3	变截面干管等截面支管均匀吸风	181
5	均匀送风风道水力计算	185
5.1	均匀送风设计一般原理	185
5.2	等截面干管变侧孔均匀送风	192
5.3	变截面干管等侧孔均匀送风	196
6	除尘风道水力计算	199
参考文献		201

第一章 流体力学基本原理

泵与风机的工作介质是水与气，其工作原理、设计制造、安装使用等方面都与流体运动基本原理有关。

1 流体的物理性质

凡是不能保持一定形状，又具有流动性的物体叫流体。泵与风机的工作介质是水和气，均是流体。

流体是充满容器空间的连续介质，它的力学规律是连续渐变的，可以用数学上连续函数的解析方法来研究流体的平衡和运动。

1.1 流体的密度、重度

单位体积流体所具有的质量称为密度，用符号 ρ 表示。

$$\rho = \frac{m}{V}$$

20℃空气密度 $\rho = 1.205 \text{ kg/m}^3$ ；4℃水密度 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ 。

液体（例如水）的密度随压力和温度变化很小，一般可忽略。气体的密度随压力和温度有一定的变化，在高温高压时不能忽视，一般通风工程是在常温常压下工作，不考虑密度的变化。

单位体积流体的重力 G 称为重度，用符号 γ 表示。

$$\gamma = \frac{G}{V}$$

液体的重度随压力和温度的变化很小，在工程上一般忽

略。

空气的重度随压力和温度有变化，在一般通风工程中压力和温度都不大，常忽略重度的变化。

重度和密度的关系是

$$\gamma = \frac{G}{V} = \frac{mg}{V} = \rho g$$

在国际单位制中质量是基本单位，故用密度的情况比较多，过去在工程单位制中常用的重度概念逐渐少用了。

20℃空气重度 $\gamma = \rho g = 11.809 \text{ N/m}^3$ 。4℃水重度 $\gamma = \rho g = 9810 \text{ N/m}^3$ 。20℃水银重度 $\gamma = \rho g = 133416 \text{ N/m}^3$ 。

1.2 流体粘性

流体流动时，流体内部各层之间产生内摩擦力的性质称为流体的粘性。一切流体都有粘性，不同流体粘性不同。

流体具有粘性的原因有两个：一个是流体流动时流体内部微团不规则的上下窜动，动量交换产生粘性阻力，气体的粘性以此为主。随着温度升高，气体微团活跃，动量交换频繁，所以气体粘度随温度升高而升高；另一个原因是流体微团间相互吸引力，引力大粘性就大，液体粘性以此为主。随着温度的升高，液体内部微团间距离拉大，内聚力下降，所以液体粘度随温度升高而下降。

反映流体粘性的物理量称为粘度。粘度有两种表示方法：一种叫动力粘度 μ ，单位是 $\text{Pa}\cdot\text{s}$ ；另一种叫运动粘度 ν ，单位是 m^2/s 。

由于流体有粘性，造成泵与风机运转时有功率消耗，造成水与气在管中流动时有能量损失。

1.3 空气分离压与饱和蒸汽压

一般情况下水中溶有空气，在一个大气压和常温下空气

溶解量占水体积的1%~2%。如果压力降低到空气分离压 p_0 时,水中溶解的空气首先以气泡形式分离出来。压力再降低,降到饱和蒸汽压 p_n 时(又叫汽化压力),水本身也要汽化(沸腾)形成大量小汽泡。

在水泵安装使用中,在水泵吸入口处是负压,即绝对压力低于大气压。如果压力降到空气分离压 p_0 时,溶入水中的空气首先释放,由于水中溶气量少($\leq 2\%$)真正发生危害在绝对压力再降到饱和蒸汽压 p_n 时,产生大量小汽泡的同时,物体表面剥蚀成麻子坑(气穴)。随着水流前进进入高压区,气泡崩溃,无数小汽泡冲击在物体表面上,形成气蚀。水泵中水流从低压到高压的过程,如果水泵安装不合适,在泵体内表面上有可能产生先穴后蚀,而损伤机械,产生振动和噪声,破坏水泵正常工作。

2 静止流体的力学性质

2.1 流体静压强

蓄水池中的水处于静止状态,在静止流体的内部各点都存在有压力。

水中各点流体静压强 p (图1-1)

$$p = p_0 + \rho gh$$

式中 p —— 流体静压强;
 p_0 —— 静止流体表面上所受的压强;
 ρ —— 流体密度;
 h —— 计算点所处的水深。

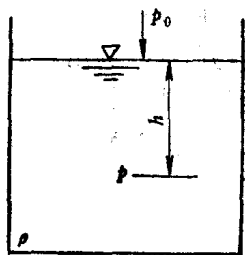


图1-1 水中各点静压强

公式适用于连续、均质、不可压缩的绝对静止流体。

从式中可以看出绝对静止流体中任一点静压强 p 是由两部分组成的：一部分是液体表面上的压强 p_0 ；另一部分是单位面积上的液柱重力 ρgh 。

静压强 p 沿水深 h 方向呈线性规律增长，如图1-2a所示，当 $p_0 = p_a = 0$ 时静压强分布如图1-2b所示。

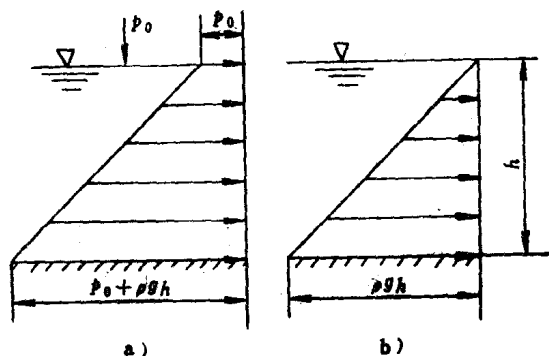


图1-2 静压强分布

在水深 h 相等处各点静压强 p 相等，可见等压面是水平面。

当水面上压强 p_0 增加（或减少）时，水中任一点压强 p 也随同增加（或减少）同一数值，就是说表面压强 p_0 可以等值的向液体内部各点传递，此即帕斯卡定律（Pascal）压强传递原理。利用这个定律设计并制造了水压机、液压驱动装置等流体机械。

2.2 压强的表示方法

从 $p = p_0 + \rho gh$ ，如果 $p_0 = p_a$ （大气压），则

$$p = p_a + \rho gh$$

这时压强 p 中包含了一个大气压，是以完全真空为零点起算的压强叫做绝对压强。

一般在水泵与风机行业中经常不计大气压强 p_a ，则

$$p = \rho gh$$

这时压强 p 中不包含一个大气压，是以一个大气压为零点起算的压强叫相对压强。由于它经常用金属式压强表测量，也叫表压强。工程上多用表压强。

相对压强 = 绝对压强 - 大气压强

即

$$p_m = (p_a + \rho gh) - p_a = \rho gh$$

如果绝对压强比大气压强小， $(p - p_a) < 0$ ，出现负表压 p_v 叫真空度，可见绝对压强不足于大气压强的部分(差值)叫真空度 $p_v = p_a - p$ 。

上述三种压强表示方法见图1-3。

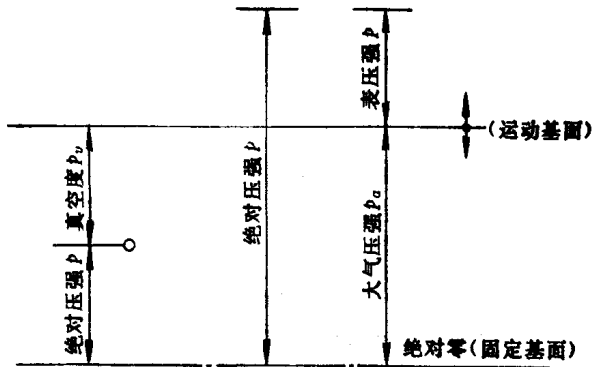


图1-3 绝对压强、表压强和大气压强

压强有三种计量单位。

(1) 应力单位 用单位面积上承受的力表示，应力单位是Pa，这种表示方法多用于理论计算。

(2) 液柱高单位 由 $p = \rho gh$ 得 $h = \frac{p}{\rho g}$ ，可见可用液柱高 h 来表示压强 p ，除什么液体的 ρ 就是这种液体的液柱高，工程上常用 H_2O 或 Hg 作工作介质表示液柱高，因此液柱高单位有 mH_2O 或 $mmHg$ ，它们的关系是：

$$p = \rho_{\text{H}_2\text{O}} g h_{\text{H}_2\text{O}} = \rho_{\text{Hg}} g h_{\text{Hg}}$$

得

$$h_{\text{Hg}} = \frac{\rho_{\text{H}_2\text{O}}}{\rho_{\text{Hg}}} h_{\text{H}_2\text{O}} = 0.07353 h_{\text{H}_2\text{O}}$$

或

$$h_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\rho_{\text{Hg}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}}} h_{\text{Hg}} = 13.6 h_{\text{Hg}}$$

用液柱高单位表示压强比较直观，多用于实验室计量。

(3) 大气压单位 压强用标准大气压 p_{atm} 表示，是根据北纬 45° 海平面上气温 15°C 测定的压强数值。

$$\text{一标准大气压是 } \frac{p_{\text{atm}}}{\rho_{\text{Hg}} g} = 760 \text{ mmHg} (=101325 \text{ Pa})$$

在工程上习惯用工程大气压 p_{e} 表示压强。一工程大气压是 $\frac{p_{\text{e}}}{\rho_{\text{H}_2\text{O}} g} = 10 \text{ mH}_2\text{O} (=98066.5 \text{ Pa})$

2.3 静压强的测量

水泵及风机性能实验中经常用到液柱式压力计测量流体静压强，它精度高，结构简单，使用灵活。常见的液柱式仪表有下面几种。

(1) 测压管 测量某容器内流体的压强，在测点接出顶端开口的玻璃管 ($\phi 5 \sim 10 \text{ mm}$)，就构成测压管。图1-4a 测量液体表压强， $p = \rho g h$ 。图1-4b 测气体真空度(负表压强) $p_v = \rho g h_v$ 。测读玻璃管中的液柱高 h 或 h_v 计算该点的表压强。此仪器简便、准确，但只能测液体压强，不能测气体压强。

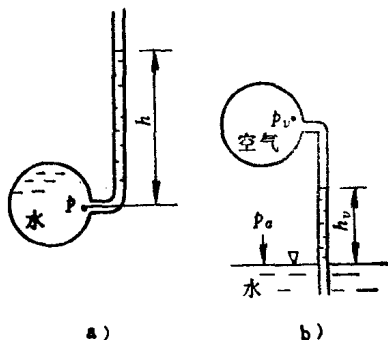


图1-4 测压管

(2) U形水银测压

管 可以在较短的管长下测较大的压力,能测到 3 个大气压。

U 形管一端接测点, 另一端开口通大气, 图1-5a测正压

$$p + \rho gh_1 = \rho_{Hg} gh_2$$

得 $p = \rho_{Hg} gh_2 - \rho gh_1$

图1-5b测负压

$$p + \rho gh_1 + \rho_{Hg} gh_2 = p_a$$

那么真空度

$$p_v = p_a - p = \rho gh_1 + \rho_{Hg} gh_2$$

有时为了测较大压力, 而将一组 U 形水银测压管串联起来, 如图1-6所示。

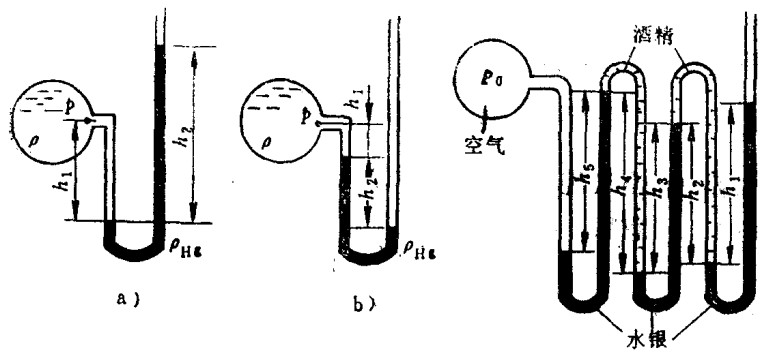


图1-5 U形水银测压管

图1-6 U形测压管串联

(3) 压差计 测水管或风管中的沿程损失,就是测管道中断面 1 与断面 2 之间的压强差, 如图1-7所示。

$$p_1 + \rho gh_1 = p_2 + \rho gh_2 + \rho_{Hg} gh$$

那么压差

$$\begin{aligned} p_1 - p_2 &= \rho_{Hg} gh - \rho g(h_1 - h_2) \\ &= \rho_{Hg} gh - \rho gh \\ &= (\rho_{Hg} - \rho) gh \end{aligned}$$

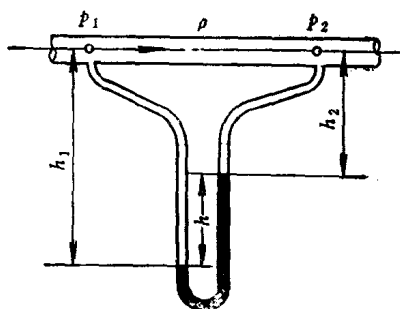


图1-7 压差计

如果是水管 $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$, 则

$$p_1 - p_2 = 123606h (\text{Pa})$$

用水柱高表示, 则

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho g} = \frac{\rho_{\text{Hg}} - \rho}{\rho} h = 12.6h (\text{mH}_2\text{O})$$

如管中是空气流动, $\rho = 1.205 \text{ kg/m}^3$ 比 $\rho_{\text{Hg}} = 13600 \text{ kg/m}^3$ 小多了, 可忽略, 压差

$$p_1 - p_2 = \rho_{\text{Hg}} g h = 133416h (\text{Pa})$$

用水柱高表示是

$$\frac{p_1 - p_2}{\rho_{\text{H}_2\text{O}} g} = \frac{\rho_{\text{Hg}} g}{\rho_{\text{H}_2\text{O}} g} h = 13.6h (\text{mH}_2\text{O})$$

3 流体管中流动的力学规律

供水供风工程是流体在管中流动, 管中流动的力学规律是供水供风工程设计的基础。

3.1 描述流动现象的术语

垂直横切输水(气)管的横断面(与流线垂直的横断面)叫过流断面 A 。圆管 $A = \pi d^2/4$, 矩形管 $A = ab$ 。

单位时间流过过流断面的流体量叫流量。流量有三种表示方法，体积流量 Q ，单位是 m^3/s 、 m^3/h 。质量流量 $M = \rho Q$ ，单位是 kg/s 。重量流量 $G = \rho g Q$ ，单位是 N/s 。

管中流动的整体叫总流，总流的断面平均流速 $v = \frac{Q}{A}$ ，单位是 m/s 。

水在管中流动由于流动内部结构不同，展现出三种不同的流态。将含色素的液体注入水管中与管中水流一起前进。当管流流速较低时，色素迹线有条不紊，是层流。随着流速增高，迹线开始动荡是过渡状态。流动超过一定流速之后，迹线分散碎裂杂乱无章，是紊流，如图1-8所示。

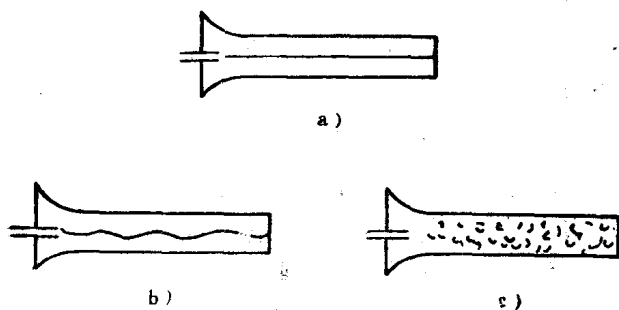


图1-8 流态

a) 层流 b) 过渡状态 c) 紊流

判断流态的标准是雷诺数 (Reynolds Number) Re ,

$$Re = \frac{vd}{\nu}$$

式中 v —— 断面平均流速；

d —— 圆管直径；

ν —— 流体运动粘度。

对于非圆形的管道，没有直径，改用当量直径 $d_H = 4R$ ，水力半径 $R = (\text{管道面积}) / (\text{管道湿周})$ ，因此，对圆管

$$R = \frac{\frac{\pi}{4}d^2}{\pi d} = \frac{d}{4}, \quad d = 4R$$

对矩形管

$$R = \frac{ab}{2(a+b)}$$

矩形管当量直径

$$d_H = 4R = \frac{2ab}{a+b}$$

当雷诺数 $Re < 2320$ 时管中流动呈层流状态， $Re = 2320 \sim 4000$ 这一很小的范围属过渡状态，一般统称当 $Re > 2320$ 以后呈紊流状态。层流与紊流是两种完全不同的流动状态，其力学规律也完全不同，一般讲水管中的流动及风道中的流动都是紊流，油管中的流动是层流。

管中流动如果遇到突然闭阀或突然开阀，管中流速突然变化，或者水泵突然起动或停止，管中水流的惯性就要造成管中压强突然升高或降低。速度变化越大，压强升降越大。这种现象叫水锤。从外表上看，轻微的水锤现象表现出管道振动和犹如锤击管道的咣咣声，严重时造成管道破裂。在水管系统中要注意预防水锤，在日常操作时缓慢关闭阀门，减弱水流惯性改变，必要时在阀门前安装溢流阀或安全阀等过载保护装置。

5.2 连续方程

物理学中有质量守恒定律，在流体力学中就是连续性方程，它表明管中流动流体在质量不变时必然体积守恒。只要沿程没有流体的加入或泄出，则必定流量 $Q = C$ （常数），对