

工业微生物
生产过程设备
(上册)

广东化工学院工业发酵专业委员会编

一九七六年

目 录

第一篇 物料的输送

第一章 流体输送的理论基础

一、流体的基本性质	2
二、流体静力学基本规律及其应用	8
(一)流体静力学方程式	8
(二)静力学基本方程式的若干应用	9
1. 连通器	9
2. 液封	9
3. 静压强的测量	10
三、流体流动的基本规律及其应用	12
(一)流体输送方法	12
(二)流速与流量	13
(三)流体在管内流动的稳定性——稳定流动和不稳定流动	14
(四)两种流体形态——层流和湍流及“流态准数”	14
(五)流体流动的能量守恒——伯努利方程式	17
1. 流体流动时到底蕴藏有哪些能量呢?	17
2. 伯努利方程式的导出	18
3. 伯努利方程式在生产中的应用	19
四、流体在管路中流动时的阻力	22
(一)直管损失压头的计算	23
(二)局部损失压头的计算	24
(三)并联管路计算原则	26
五、流体流量的测定	27
(一)孔板流量计的结构及其原理	27
(二)转子流量计	29
1. 转子流量计的结构及其测速原理	29
2. 转子流量计的使用及其校核	32
附：管子管件	
(一)管子的种类及其选用	33

(二)管径的计算和选择·····	34
(三)阀门种类及其选用·····	35
(四)管件及管路的联结·····	36
(五)管路布置的基本原则·····	37

第二章 物料输送设备

一、液体的输送设备·····	38
(一)离心泵·····	38
1.离心泵的结构·····	38
2.离心泵的工作原理·····	39
3.离心泵的操作和运转·····	39
4.离心泵的性能指标·····	40
5.离心泵的特性曲线·····	41
6.离心泵的操作分析和调节·····	42
7.离心泵的选择和安装·····	44
(二)旋涡泵·····	45
(三)往复泵·····	47
(四)其他泵·····	51
1.齿轮泵·····	51
2.螺条泵·····	51
(五)泵的选择·····	53
二、气体输送·····	55
(一)概述·····	55
(二)气体压缩过程的变化·····	55
(三)压缩机·····	56
1.往复式压缩机工作的基本原理·····	56
2.L型往复式空压机的构造·····	59
3.压缩机的生产能力及其影响因素·····	61
4.螺杆式压缩机·····	61
5.离心式压缩机·····	62
6.离心式送风机·····	63
7.罗茨鼓风机·····	65
(四)真空泵·····	66
1.往复式真空泵·····	66
2.水环真空泵·····	69
3.水力喷射泵·····	70
4.蒸汽喷射器·····	70

三、固体的输送设备	72
(一)斗式提升机	72
(二)螺旋输送机	73
(三)气流输送设备	75

第二篇 物料的分离

第三章 过滤及离心分离设备

一、概述	78
二、过滤	79
(一)过滤原理	79
(二)过滤速度	80
(三)影响过滤速度的因素	81
三、板框压滤机	83
(一)板框压滤机的构造	83
(二)板框压滤机的操作	86
(三)板框材料	87
(四)板框压滤机的优缺点	87
(五)板框压滤机的发展动向	88
四、真空过滤	91
(一)陶瓷抽滤缸	91
(二)转鼓真空过滤机	92
(三)叶片式真空吸滤机	94
(四)加压叶片过滤机	95
五、离心机	97
(一)离心机的工作原理	97
(二)离心机的分类及适用范围	98
(三)三足式离心机	99
(四)三足式离心机的改革	100
(五)ZhL 锥鼓连续离心机	101
(六)上悬式离心机	102
(七)高速离心分离机	103
1.酵母分离机	104
2.高速离心机转鼓的结构形式	108
3.管式离心机	109

第四章 气体净化设备

一、气体净化的方法	111
(一)利用重力作用的净化方法	111
(二)利用吸附作用的净化方法	112
(三)旋风分离法	112
(四)袋滤法	112
(五)静电除尘器	112
二、气体净化效率	113
三、空气净化	113
(一)空气净化设备流程的选择	113
(二)常用空气净化设备的计算	115
(三)其他空气净化方法	123

第三篇 物料的加热与冷却

第五章 物料加热(或冷却)的理论基础

一、工业微生物生产中的传热问题	124
(一)生产中的传热问题	124
(二)传热过程的推动力	125
二、传热的基本方程式	125
(一)传热的基本关系	125
(二)传热方程式在生产中的应用	126
(三)传热方程式的讨论	126
1. 传热面积	126
2. 传热温度差	127
3. 传热系数K	129
三、传热的三种基本方式	131
四、热传导	132
(一)热传导遵守的规律	132
(二)导热系数	133
(三)圆筒壁的热传导	133
(四)多层圆筒壁的热传导	134
五、对流传热	137
(一)给热的概念	137

(二)给热过程服从的规律	137
(三)给热系数	138
(四)蒸汽冷凝时之给热	142
(五)液体沸腾时之给热	143
(六)传热过程的强化	144
六、热辐射	145
(一)基本概念	145
(二)辐射传热方程式	146
(三)热辐射概念在生产中的应用	147
(四)热损失及保温计算	147

第六章 物料加热(或冷却)设备

一、物料加热的方法	149
二、加热剂与冷却剂的选用	149
(一)饱和蒸汽	150
(二)过热蒸汽	151
(三)热水	151
(四)矿物油	151
(五)烟道气和热空气	152
(六)冷却剂	152
三、加热剂用量的确定	152
(一)定压加热过程的热量计算	152
(二)加热剂用量的确定	154
(三)加热剂的节约	156
四、加热(或冷却)设备——换热器	157
(一)列管式换热器	157
1.列管式换热器特点	157
2.列管式换热器的设计	157
(二)发酵工厂常用的其他换热器简介	165
1.夹套式换热器	165
2.蛇管式换热器	165
3.套管式换热器	166
4.翅片式换热器	167
(三)高效能换热器	167
1.波纹板式换热器	167
2.螺旋板式换热器	169
3.复波伞板换热器	171

第七章 蒸煮、糖化和连消设备

一、概述	172
二、间歇蒸煮设备	173
(一) 蒸煮锅的结构	173
(二) 蒸煮锅的计算	174
三、淀粉加压糖化设备	178
(一) 设备流程	178
(二) 设备防腐蚀	179
四、连续蒸煮糖化设备	184
(一) 我国连续蒸煮糖化设备的概况	184
(二) 连续蒸煮设备	184
1. 锅式连续蒸煮糖化流程	184
2. 柱式连续蒸煮糖化流程	185
3. 柱式连续蒸煮的特点	186
4. 接触式加热器的构造原理	186
5. 接触式加热器的设计	186
6. 柱式蒸煮器的构造原理及基本尺寸的确定	187
(三) 糖化设备	189
1. 糖化锅的构造	189
2. 糖化锅冷却面积的计算	189
3. 搅拌功率计算	190
五、连消塔	192

第四篇 发酵设备

第八章 发酵设备

一、概述	194
二、摇床	194
(一) 往复式摇床	195
(二) 旋转式摇床	196
三、制固体曲设备	197
四、嫌气性发酵设备	198
(一) 间歇式发酵罐	198
1. 间歇式发酵罐的结构	198

2. 发酵罐容积和个数的计算	198
3. 热量计算	199
(二) 连续发酵流程	202
五、通空气的发酵罐	204
(一) 机械搅拌发酵罐	204
1. 发酵罐的基本条件	204
2. 发酵罐的结构	204
3. 发酵罐的圆筒直径计算	205
4. 发酵罐底盖(或顶盖)大小的确定	206
5. 发酵罐总容积、高度及液柱高度的计算	207
6. 发酵罐的材料	208
7. 发酵罐壳体机械强度计算	208
8. 发酵罐的通气与搅拌	209
9. 发酵罐的轴封、轴承及联轴器	217
10. 发酵罐的传热装置	219
11. 发酵设备的放大	224
12. 发酵车间防止染菌的措施	226
13. 发酵罐的安装及安全技术	228
(二) 带升式发酵罐	229
1. 带升式发酵罐的结构特点	229
2. 带升式发酵罐的工作机理	229
3. 带升式发酵罐的性能指标	230
4. 影响带升式罐性能的主要因素	231
(三) 空气搅拌发酵罐	233
(四) 水泥发酵罐	234
(五) 通气的连续发酵	235
六、石油发酵设备	236
七、自动控制	237
(一) 发酵罐的温度自动调节	237
(二) 发酵罐空气流量的自动调节	242
(三) 消沫自动控制	243

第一篇 物料的输送

第一章 流体输送的理论基础

在发酵工业中所处理的物料很多是气体和液体（统称流体），例如在发酵生产中所遇到的水、酸、碱液、发酵醪液及空气等。流体在管道中输送的问题是发酵工厂中最普遍的问题。

图 1—1 为成熟醪液在醪塔中蒸馏的示意图。成熟醪液从成熟醪低位槽经泵输送至预热器后入塔，在塔中进行蒸馏。成熟醪的输送过程经过泵、流速计、管道及水封装置等都是流体动力学及静力学问题。因此，必须研究流体在运动和静止状态下的规律性，才能解决在生产过程中涉及到流体输送各种问题。例如确定流体流动时产生的阻力，决定输送流体所需的动力，由此而决定输送机械的型式、大小以及测定流体的流量和压强的各种方法等。

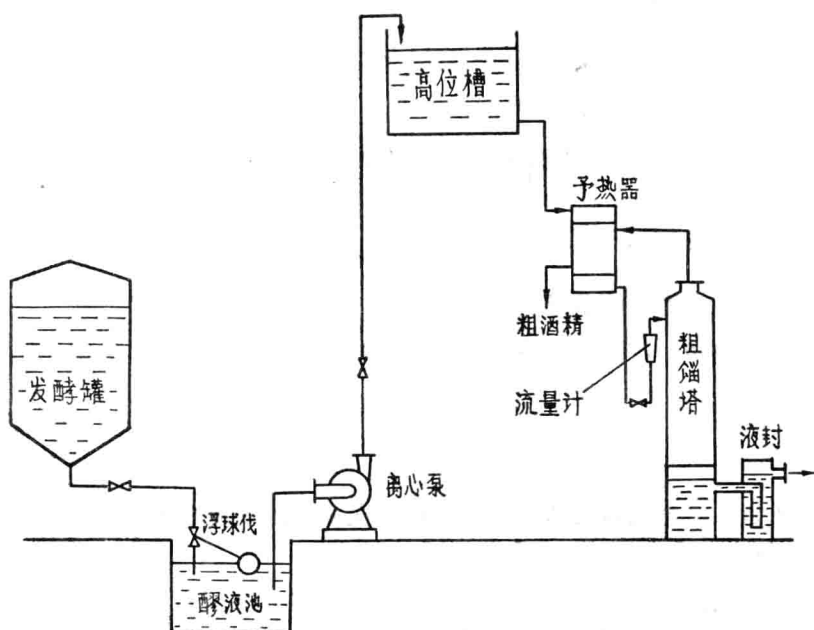


图 1—1 蒸馏流程简图

成熟醪液（流体）在塔中蒸馏过程也涉及到流体的传热和传质过程，而这些过程的操作效率与流体的流动问题有着密切的关系，因此流体力学不仅是直接解决流体在静止和运动时各种问题的理论基础，而且对于传热与传质的研究和提高设备效率也是非常重要的。

前面已经提到，在发酵工业中经常遇到液封，压差的测定等问题，都是属于静力学问题。因之需要研究流体处于静止状态下所服从的规律，这就是流体静力学任务。具体说来，流体静力学是研究流体静止状态下所受的各种力之间的关系，而这些力的大小是和流体的密度、压强等性质有关，这里先介绍一下有关的流体性质和基本概念。

一、流体的基本性质

伟大领袖毛主席说：“不懂得那件事的情形，它的性质，它和它以外的事情的关联，就不知道那件事的规律，就不知道如何去做，就不能做好那件事。”研究流体的输送，也必须对输送的对象——流体的性质有所了解，以便掌握它，为生产服务。

（一）密度与重度

密度——每单位体积流体的质量，一般以 ρ 表示。

$$\rho = \frac{m}{V} \left[\frac{\text{公斤} \cdot \text{秒}^2}{\text{米}^4} \right] \dots\dots\dots (1-1)$$

式中： m ——为流体的质量〔公斤·秒²/米〕。

V ——为流体的体积〔米³〕。

重度——每单位体积流体的重量，以 γ 表示。

$$\gamma = \frac{G}{V} \left[\frac{\text{公斤}}{\text{米}^3} \right] \dots\dots\dots (1-2)$$

式中： G ——为流体的重量〔公斤〕。

$$\because G = mg \text{〔公斤〕} \quad \therefore \gamma = \rho g \text{〔公斤/米}^3\text{〕} \dots\dots\dots (1-3)$$

（二）比重

液体的比重——是指该液体的重度与纯水在 4℃ 时重度之比，以 Δ 表示，它是一个无单位的物理量。

$$\Delta = \frac{\gamma}{\gamma_{4^{\circ}\text{C水}}} = \frac{\rho}{\rho_{4^{\circ}\text{C水}}} \dots\dots\dots (1-4)$$

在物理常数的手册中，常给出比重的数据，应用上式即可求出液体的重度

例题 用波姆比重计测得 32℃ 时, 谷氨酸发酵液为 10°Bé', 求谷氨酸发酵液重度?

解: 根据图 1—2 比重与波美度(°Bé') 的换算图查取比重为 1.06(1.06 为 15℃ 时的情况, 当温度升高为 32℃ 时, 比重下降, 但下降很少, 可忽略不计) 已知纯水在 4℃ 的重度为 1000 [公斤/米³] 则谷氨酸发酵液的重度

$$\begin{aligned} \gamma &= 1.06 \times 1000 \\ &= 1060 \text{ [公斤/米}^3\text{]} \end{aligned}$$

气体的比重是指该气体与标准状况下空气的重度之比。

在标准状况下(温度为 0℃, 压力为 760 mmHg 时), 空气的重度为 1.293 [公斤/米³], 用 γ 表示任何气体的重度则:

$$\text{气体的比重 } A = \frac{\gamma}{1.293} \dots\dots\dots (1-5)$$

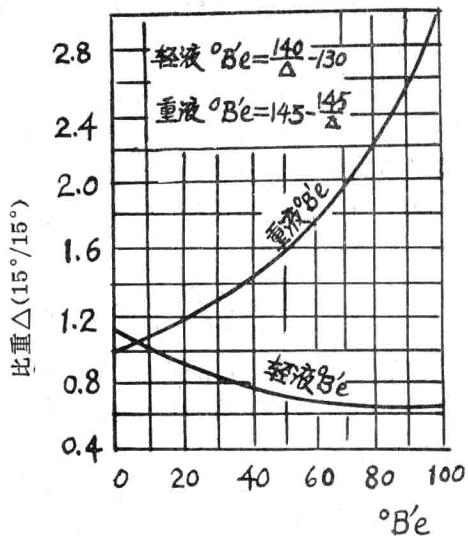


图 1—2 比重与波美度(°Bé)的换算

(三) 粘 度

1. 粘度的概念 它是表示流体流动难易程度的一种特性, 在流动时表现出来, 由于粘性的存在, 要加速或保持流体流动时就需要消耗能量。粘度愈大的流体愈难流动, 因此液体比气体难流动一些, 糖液比水又难流动一些。

由实验观察发现, 流体在管道流动的过程中, 通过管道横截面上各点的速度是不同的, 从图 1—3 可知中间流速最大, 由中间向两壁的流速逐渐减小, 紧靠管壁的速度为零。为什么会发生这种现象呢? 就是由于流体本身具有粘滞性, 当它在管中流动时, 流体与管壁产生摩擦, 阻碍流体向前运动, 而各层流体间也存在内摩擦力, 这种摩擦力就是由于流体的粘性所引起的。因之流体的粘性是其流动时产生阻力的内在原因。显然, 粘度大的流体在流动时, 层与层之间这种阻力就愈大, 输送这种流体所消耗的能量就愈多。

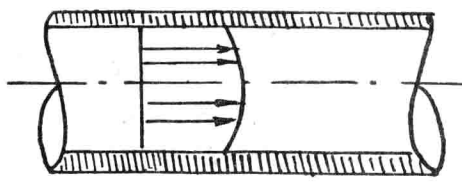


图 1—3 管内流速分布示意图

能不能减少流体的粘度? 粘度的大小除了与流体本身的性质有关之外, 还有外界条件的影响。改变外界条件可以改变流体的粘度。

2. 粘度与温度、压强的关系 流体的粘度一般在压力不大时与压强无关, 但温度对流体粘度影响较大, 例如成熟醪加热以后容易流动, 这说明液体的粘度随温度的升高而降低。

气体的粘度则随温度的升高而升高, 两者性质相反, 这是什么原因呢? 遵照毛主席

的教导：“事物的本质，主要地是由取得支配地位的矛盾的主要方面所规定的。”流体的粘性一方面由分子间的吸引力所引起，另一方面由于分子因不规则的热运动而交换动量的结果。当温度升高时交换动量增大，分子碰撞机会增加则粘性增加，而温度升高时分子间的吸引力减小，则粘性减小。对于液体的粘性来说，吸引力的因素是主要的，对于气体则动量交换因素是主要的，因此，液体的粘性和气体的粘性随温度变化情况就有所不同。

3.粘度的单位及其数值的查取 怎样量度粘度的大小呢？一般可用动力粘度系数 μ 来表示，其单位：

$$[\mu] = \left[\frac{\text{达因} \cdot \text{秒}}{\text{厘米}^2} \right] = 100[\text{厘泊}] = 1[\text{泊}]$$

由于[泊]的单位太大，经常使用[厘泊]，例如纯水在20℃时粘度为1[厘泊]，空气在100℃时粘度为0.022[厘泊]，各种纯物质的粘度可由化工手册或化工设计资料查阅。在工程计算中粘度的单位往往以[公斤·秒/米²]表示，它与[泊]或[厘泊]之间有如下换算关系：

$$1 \left[\frac{\text{公斤} \cdot \text{秒}}{\text{米}^2} \right] = \frac{981,000}{10,000} \left[\frac{\text{达因} \cdot \text{秒}}{\text{厘米}^2} \right] \\ = 98.1[\text{泊}] = 9,810[\text{厘泊}]$$

在设计时经常不用动力粘度系数而用运动粘度系数，以 ν 表示，而运动粘度的单位常为[米²/秒]或 $\left[\frac{\text{泊}}{\text{克/厘米}^3} \right]$

流体的动力粘度除以同温度下的该流体的密度之值，称为运动粘度，即

$$\nu = \frac{\mu}{\rho} \dots\dots\dots (1-6)$$

粘度的数值可以在一些算图中查取，下面介绍在粘度图中查取粘度的方法。

图1—4为一般液体在常压下的粘度图。图左边为温度线，右边为粘度线，中间有x、y座标。利用粘度图查液体粘度的方法如下：先在表1—1找到该液体的x、y值，在粘度图中确定此点的座标，将此点与温度线上某一点（液体的温度）联一直线并延长与粘度线相交，所得交点上的粘度数值即为所求之值。

例题：利用粘度图查乙醇（95%）在20℃时的粘度。

解：根据表1—1查出95%乙醇的xy值分别为9.8, 14.3，根据xy的数值在粘度图上确定

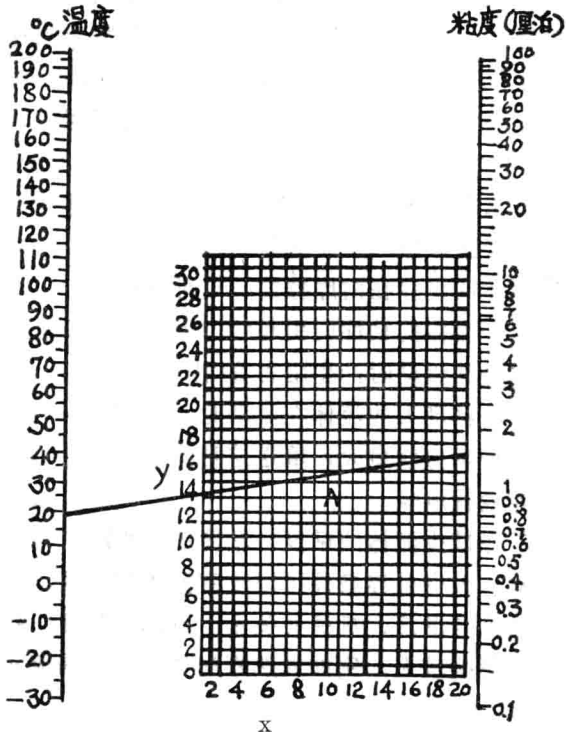


图1—4 液体的粘度（1大气压）

A点，将A点与温度线上20℃的一点联一直线并延长与粘度线相交，在所得交点上读得乙醇的粘度数值为1.5厘泊。

表1—1 发酵工厂常见液体的 x 及 y 值

液体名称	x	y	液体名称	x	y
水	10.2	13.0	甲醇 40 %	7.8	15.5
乙醇 40 %	6.5	16.6	甲醇 90 %	12.3	11.8
乙醇 95 %	9.8	14.3	甲醇 100 %	12.4	10.5
乙醇 100 %	10.5	13.8	丙酮 35 %	7.9	15.0
丁酮	13.9	8.6	丙酮 100 %	14.5	7.2
丁醇	8.6	17.2	苯酚	6.9	20.8
氨水 26 %	10.1	13.9	醋酸 70 %	9.5	17.0
液氨 100 %	12.6	2.0	醋酸 100 %	12.1	14.2

各种液体的 xy 值详见〔化工单元操作设计手册(一)〕或 Chemical engineers handbook。

各种混合液的粘度，一般手册难以查到，而是用粘度计进行测定，各种粘度计测得读数可根据化工计算集(第一集)P31图表查取粘度数值。

(四) 压 强

流体每单位面积上所受的力称为压强，以 p 表示之。若以 P 为作用于液体面积 F 上的力，则压强为

$$p = \frac{P}{F} \text{ (公斤/米}^2\text{)} \dots\dots\dots (1-7)$$

静止流体的压强，常称为静压强。

压强有各种表示方法。一种是以物理大气压来表示的：

$$\begin{aligned} 1 \text{ [物理大气压]} &= 760 \text{ [毫米汞柱]} = 10.33 \text{ [米水柱]} \\ &= 10330 \text{ [公斤/米}^2\text{]} = 1.033 \text{ [公斤/厘米}^2\text{]} \end{aligned}$$

在工程上为了方便起见，常用工程大气压。

$$\begin{aligned} 1 \text{ [工程大气压]} &= 1 \text{ [公斤/厘米}^2\text{]} = 10,000 \text{ [公斤/米}^2\text{]} \\ &= 10 \text{ [米水柱]} = 735.6 \text{ [毫米汞柱]} \end{aligned}$$

由此， $1 \text{ [物理大气压]} = 1.033 \text{ [工程大气压]}$

(五) 流体的膨胀与压缩

1. 流体膨胀与压缩的特性 流体的体积随压强的增加而减少的性质称为压缩性，实践证明气体具有压缩性，例如气体在压缩机的气缸中被压缩的过程就是明显的例子。而一般液体随压强的改变其体积变化不大。例如，对一定体积的水，增加20个〔大气

压 $\downarrow$ ，其体积才缩小0.1%，所以液体可看作是不可压缩的流体。

流体的体积随温度升高而增大的性质称为膨胀。温度升高，流体的体积就增加了，温度降低，流体的体积就减少，这就是我们所熟悉的“热胀冷缩”的道理。液体和气体都具有这一共同性质，但两者的性质有差别，所以在温度变化相同的条件下，两者的体积改变的程度不同，气体的体积变化很显著，而液体的体积变化较小，因此对于液体膨胀性在一般情况下可忽略不计。气体的体积随温度、压力变化服从何规律呢？服从理想气体方程式。

2. 理想气体的压力、温度和体积的关系 所谓理想气体，必须具备下列两条件：

① 气体分子间没有吸引力；

② 分子本身所占的体积与气体分子活动的总空间相比，是非常小，可以忽略。

从工程计算所要求的精度来看，在一般情况下，氧、氮、空气等都可以作为理想气体看待，只有与临界状态比较接近的蒸汽不能看作理想气体。

温度、压力、体积是三个互为影响的因素，怎样找出三者之间的关系呢？为了研究和分析问题方便，我们可以先将一因素固定不变，而研究其他两个因素之间的关系，这是我们常用的研究方法，通过大量科学实验人们发现：

① 在温度不变时，一定量气体的体积 V 与压力成反比，即：

$$V = \frac{K}{P} \quad \text{或} \quad PV = K \quad \dots\dots\dots (1-8)$$

式中 K 代表一常数。

② 在压力不变时，温度改变一度，一定量的气体的体积改变它在 0°C 时体积的

$$\frac{1}{273.16} \quad \text{即}$$

$$V_t = V_0 \left(1 + \frac{t}{273.16} \right)$$

$$\text{或} \quad V_t = V_0 \frac{273.16 + t}{273.16}$$

式中： V_0 —— 0°C 时气体的体积〔米³〕

V_t —— $t^\circ\text{C}$ 时气体的体积〔米³〕

如以 T 代替 $(273.16 + t)$ 并称之为绝对温度〔°K〕

$T_0 = 273.16^\circ\text{K}$ 代表 0°C 时的绝对温度，则得到

$$V_t = \frac{T}{T_0} V_0 \quad \text{或} \quad \frac{V_t}{V_0} = \frac{T}{T_0} \quad \dots\dots\dots (1-9)$$

此式表明：压力恒定时，一定量气体的体积与它的绝对温度成正比。

将以上两个关系式联系起来，则得：

$$V \propto \frac{T}{P}$$

也就是说对一定量的气体，其体积与绝对温度成正比，而与其压力成反比。

③ 在一定温度和一定压力下，气体的体积与其数量(以公斤分子数 n 表示)成正比。

联合以上三个关系可得：

$$V \propto \frac{nT}{P} \text{ 或 } PV = nRT \dots\dots\dots(1-10)$$

式中 R 为比例常数, 称为气体常数, V 是 n 公斤分子气体在温度 T 及压力 P 时所占体积[米³].

这个联系压力、体积、温度三者关系的方程式, 叫做理想气体状态方程式, 对大多数实际气体来说, 只有在压力较低和温度较高的情况下才适用, 压力较大时就有偏差。

对于实际气体, 这些规律适用有一定的压力范围, 因气体的性质及温度不同而有差异。对一些难液化的气体 (N_2 、 O_2 、 H_2 、空气等), 在常温下, 上述的规律适用的压力范围比较大, 但对一些容易液化的气体 (如 NH_3 、 SO_2 、 CO_2 等), 如果温度降低, 即使在一个大气压, 也有显著误差。但是这并不降低这些规律的实际意义, 因为在一般的工程计算中, 可以容许误差达 $\pm 5\%$, 但对低温和高压下的气体则须采用精确的关系式。上述理想气体状态方程式 $PV = nRT$ 中的 R 到底如何确定, 它是一个气体常数, 它的数值大小与 P 和 V 的大小以及气体的种类无关, 只与 P 和 V 的单位有关。

我们知道一公斤分子的任何气体, 在标准状态 (1 大气压、 0°C) 时占有 22.4 米³ 的容积, 根据这个关系代入上式便可求出 R 的数值, 即:

$$R = \frac{PV}{nT} = \frac{1 \times 22.4}{1 \times 273.16} = 0.082 [\text{米}^3 \cdot \text{大气压} / \text{公斤分子} \cdot ^\circ\text{K}]$$

如果体积、压力的单位不同, 则 R 的数值不同, 例如在工程计算上常常不用公斤分子, 而直接用公斤作为气体的计量单位, 气体状态方程式可写成:

$$Pv = RT$$

式中 v 代表 1 公斤气体的体积 (或称比容), 气体在标准状态时比容为 $22.4/M$ (M 为该气体的分子量)

压力 P 的单位不用大气压, 而用 [公斤/米²]

则此时 R 的数值为:

$$R = \frac{Pv}{T} = \frac{10330 \times \frac{22.4}{M}}{273.16} = \frac{848}{M} \left[\frac{\text{公斤} \cdot \text{米}}{^\circ\text{K} \cdot \text{公斤}} \right]$$

$$\text{对于空气} \quad R = 29.27 \left[\frac{\text{公斤} \cdot \text{米}}{\text{公斤} \cdot ^\circ\text{K}} \right]$$

3. 理想气体状态方程式应用举例 某味精厂需要空气量为 24 [米³/分] (绝对压强 1 [Kg/cm²], 温度 32°C), 压缩机名牌上写着排气量 8 [米³/分], 问需要几台这样压缩机才能满足要求? 根据现场测定, 进气状态表压为 750mm 汞柱, 温度为 34°C (夏天)

解: 首先根据气体状态方程将进气量换算成标准状态, 标准状态为 760mm 汞柱, 0°C 。

$$\begin{aligned} V_0 &= \frac{P_1 V_1 T_0}{P_0 T_1} \\ &= \frac{750 \times 8 \times 273}{760 \times (273 + 34)} = \frac{750 \times 8 \times 273}{760 \times 307} = \frac{1,635,000}{233,000} = 7 [\text{米}^3/\text{分}] \end{aligned}$$

再将需要空气量也换算成标准状态

$$V_0 = \frac{P_2 V_2 T_0}{P_0 T_2} = \frac{\frac{1 \times 760}{1.033} \times 24 \times 273}{760 \times (273 + 32)} = \frac{1 \times 24 \times 273}{1.033 \times 305} = \frac{6,550}{306.5} = 21.3 [\text{米}^3/\text{分}]$$

通常小型压缩机效率为0.7, 压缩机每天运转时间约为17小时, 故总效率约为0.5。

$$\text{则需要压缩机台数 } n = \frac{21.3}{7 \times 0.5} \approx 6 [\text{台}]$$

二、流体静力学基本规律及其应用

(一) 流体静力学方程式

设容器中盛有静止的液体, 任意取一段垂直液柱 (如图 1—5), 其底面积为 F , 重量为 G , 任意选定一水平基准面 (以后简称基准面), 这里以器底为基准面。液柱的上下两底面与基准面的垂直距离分别为 Z_1 、 Z_2 , 因为液体是静止的, 所以垂直作用于液柱的各力应成平衡 (否则将产生液体运动), 则向上的力 $p_2 F$ 必等于向下力 $p_1 F$ 与重力 G 之和即:

$$p_1 F + G = p_2 F$$

∵ 液柱向下重力 $G = F(Z_1 - Z_2)\gamma$, 将此式代入上式得

$$p_1 F + F(Z_1 - Z_2)\gamma = p_2 F$$

消去式中 F 并整理之得:

$$Z_1 + \frac{p_1}{\gamma} = Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} \dots\dots\dots (1-11)$$

此式即为流体静力学方程式。

(1—11) 式中, 高度 Z 的单位为米, 称为位压头; p/γ 的单位也是长度单位米, 这说明压强 p 除了采用单位面积所受的力来表示以外, 也可以采用与其相应的液柱高度 p/γ 来表示, 故 p/γ 称为静压头。例如 1 工程大气压相当于:

$$\frac{p}{\gamma} = \frac{10,000}{1,000} = 10 [\text{米水柱}]$$

由静力学方程式可见, 当 $p_1 = p_2$ 时, 则 $Z_1 = Z_2$, 由此可知: 等压面就在同一水平面上。同时由此方程可见, 位压头与静压头之和为一常数。位压头升高了, 静压头将相应地降低, 反之亦然。同理, 对任意一高度 (例如图 1—5 中的 Z_2) 和液面高度 Z_0 。将有下列关系:

$$Z_2 + \frac{p_2}{\gamma} = Z_0 + \frac{p_0}{\gamma}$$

$$p_2 = p_0 + \gamma(Z_0 - Z_2) = p_0 + \gamma h \dots\dots\dots (1-11a)$$

式中: $h = Z_0 - Z_2$ 为液面下的深度〔米〕

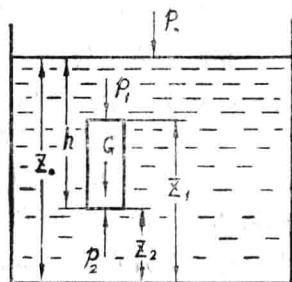


图 1—5 静力学方程式推导

p_0 ——液面上的压强〔公斤/厘米²〕

p_2 ——为液柱下端面向上的压强〔公斤/厘米²〕

由式(1—11a)可见：在液面下任一点的压强是深度的函数。距液面愈深，则压强也愈高。此外，从(1—11a)还可以看出，当 p_0 有任何数量上改变时，液体任一点的压强 p_2 也将有同样的改变，按这一规律，作用于器内液体上的压强，能以同样大小传递到液体各点。我国自己设计、制造出来的12,000吨水压机也是根据这一原理进行设计的。

流体静力学基本方程反映了静止流体的一般规律性（等压面在同一水平面上；压力是深度的函数；压强可以同样大小传递到液体各点等），这些规律在实际工业生产中是得到广泛应用的。下面以一些例子说明这些规律的具体应用。

(二)静力学基本方程式的若干应用

1. 连通器 设有两个开口的彼此相连的容器，即连通器，如图1—6所示。器中盛以重度为 γ 的同一液体，两端液面上的压强相等，即 $p_a = p_b$ 。根据同一液体的等压面在同一水平面上的概念，连通器两侧的液面应在同一水平面上。同理，在连通器任一位置作一水平面，如图1—6中的0—0水平面，则在此面上的1点和2点的压强相等。上述的结论表明了与连通器的大小和形状无关。

工业上就是根据这一原理来观测密闭容器内的液面高度的。例如我们要观测锅炉气鼓中液柱高度就在锅炉筒壁上设置玻管液面计（或水位计）。此外，连通器的原理，也是各种液柱压强计构造的基础。

2. 液封 液封在化工生产中应用很广泛。例如煤气柜通常用水来封住，以防煤气泄漏。如图1—7，设煤气压强为 p （表压），水的重度为 γ ，气柜内外的水位高度差为 h ，要不让煤气泄漏，液封高度 h 应为多少呢？根据等压面在同一水平面的原理，即

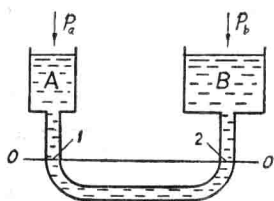


图1—6 连通器

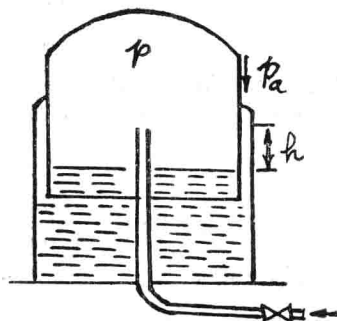


图1—7 煤气柜简图

$$p = p_a + \gamma h \text{ [公斤/厘米}^2\text{]}$$

式中： p_a ——为大气压，其表压为零。

$$\text{则 } p = h\gamma \text{ [公斤/厘米}^2\text{]} \text{ 或 } h = \frac{p}{\gamma} \text{ [米]}$$