

通风除尘与气力输送

无锡轻工业学院

1976年10月

语录

思想上政治上的路线正确与否是决定一切的。

实践的观点是辩证唯物论的认识论之第一的和基本的观点。

你们学自然科学的，要学会用辩证法。

教育必须为无产阶级政治服务，必须同生产劳动相结合。

改革旧的教育制度，改革旧的教育方针和方法，是这场无产阶级文化大革命的一个极其重要的任务。

说

明

遵照毛主席关于“教育要革命”的教导，几年来，我们走出校门，拜工人师傅为师，在开门办学的过程中，不仅在政治上、思想上受到了深刻的再教育，而且在业务上也得到了重新学习的极好机会。在深入学习无产阶级理论运动的推动下，在工人师傅的教育帮助和有关单位的支持下，我们整理了几年来实践的体会，收集的资料，也参考了一些专业书刊，编写了这本教学参考资料，供我院粮食加工专业学员学习参考。有关气力输送组成该图的详细内容及有关气力输送网络的操作、调整，均未能来得及编写，拟为^{补充}材料。由于我们思想水平和业务水平所限，缺乏实践检验，收集的资料又不全，其中一定会有不少的缺点和错误，恳切地希望给予批评指正。同时，对热情支持我们编写的海盐工业局、苏州地区粮食局、无锡粮科设计院等单位及有关兄弟院校表示谢意。

无锡轻工业学院食工系粮工组

1975.10.

第一部分 不可压缩空气管流的基本状况

第一节	空气的组成和有关物理性质	3
第二节	风量、连续方程	7
第三节	空气管流的能量方程	10
第四节	圆管内管流的流速分布	15
第五节	空气管流的压力损失	21

第二部分 通风除尘

第一节	通风的作用、通风方式的分类	27
第二节	粮食加工厂的通风除尘网络	31
第三节	空气中灰尘含量的测定方法、粉尘爆炸和预防	34
第四节	除尘器	42
第五节	重力沉降室	46
第六节	离心除尘器	49
第七节	袋式过滤器	59
第八节	湿式除尘器	63
第九节	通风除尘网络设计	70
第十节	通风除尘网络计算例题	73
	单独网络例题一例，集中网络例题四例	
第十一节	通风除尘网络的调整	89
第十二节	黄铜板破碎机下料器向管出料计算	90

第三部分 气力输送

第一章	绪言	108
第二章	气力输送管路的基本情况	
第一节	物料的性质	116
第二节	沉降速度和悬浮速度	120
第三节	物料管中颗粒的运动状态	128
第四节	物料管断面上气流速度的分布	131
第三章	气力输送网路的组成设备	
第一节	接料口	134
第二节	物料源及弯头	136
第三节	卸料口	140
第四节	料封压力门或关风门	142
第五节	汇集风管、除尘器及网络组合方式	144
第四章	气力输送网路设计	
第一节	设计前的调查研究和设计顺序	146
第二节	输送气流速度和质量混合比	148
第三节	阻力损失的计算	152
第四节	输送方式经济性比较	163
第五节	计算示例	164
第五章	气力输送的发展趋势	
第一节	气力输送斜槽	187
第二节	密集流气力输送装置	184
第三节	间断流气力输送装置	185

第四部分 离心通风机

第一节	通风机分类	201
第二节	离心通风机的结构和工作原理	204
第三节	离心通风机的空气动力性能	210
第四节	离心通风机的性能试验方法	217
第五节	离心通风机的性能换算	224
第六节	离心通风机的噪声、振动及其消治方法	236
第七节	离心通风机的标准和粮食加工厂常用的通风机	242
第八节	离心通风机的运行和选用	246
附:	罗茨式鼓风机	260

第五部分 附录——设计设计参考资料

(另册装订)

本书所用符号表	260
---------	-----

主要参攷书刊	263
--------	-----

第一部分

不可压缩空气管流 的基本情况

气体和液体（例如空气和水）都具有容易流动的特性，所以把它们统称为流体。

力学的研究对象是机械运动。最简单最普遍的运动形式是机械运动，是物体或位置移动。例如风雪中空气的流动，自来水管中水的流动，火车的行驶等这类物体位置变化的运动，都属于机械运动。

同样力学同其他自然科学一样，是改造自然，利用自然，改造自然，为社会主义革命和社会主义建设服务的有力武器。毛主席教导我们：“马克思列宁主义是一切革命者都应该学习的科学。”自然科学领域中的唯物论和唯心论、辩证法和形而上学两种世界观对于身的重要阵地。我们在社会主义革命和社会主义建设过程中，要总结和发展自然科学理论和科学技术成就，就必须学习和宣传辩证唯物论的世界观，批判唯心论的检验论，批判形而上学，肃清~~修正主义~~林彪反革命修正主义路线在自然科学领域中的反动影响。无数事实教育了我们，只有在实践中不畏劳苦，不断攀登新的高峰，才能使我们的认识日益符合唯物辩证法，从而使我国的社会主义科学事业在唯物辩证法的指导下胜利前进。

在现代社会生活中，特别是在三大革命实践中，流体力学起着非常重要的作用，几乎没有一个生产部门能够离开流体在

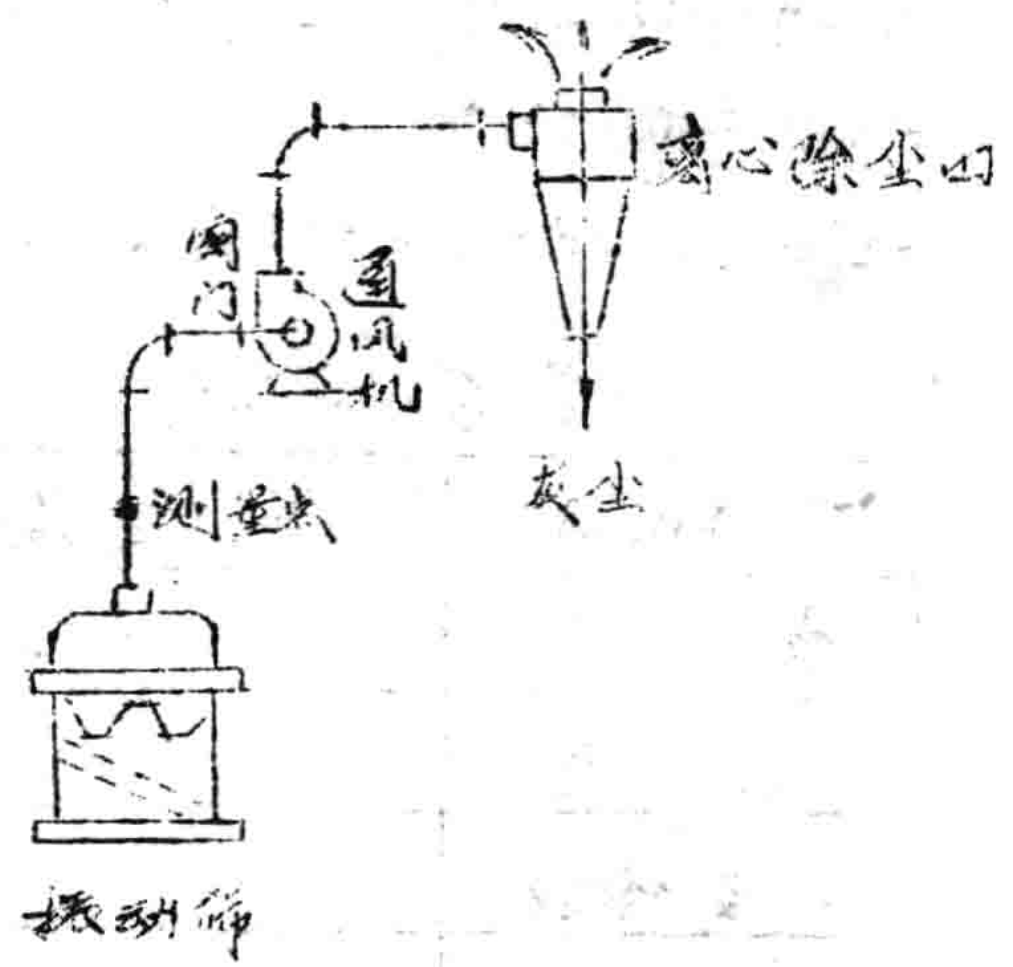
学。

流体力学问题是化学工厂里最常遇到的一个问题。也是化学工程里最基本的一个问题。粮食加工过程中虽然所处理的物体是固体（谷粒、小麦等），但是在除尘不可缺的通风除尘网络中以及越来越广泛地被使用起来的气力输送网络中，空气的流动和输送问题是一个极其重要的问题。同时，这几年来很多粮食加工厂在毛主席“综合利用，大有文章可做”的伟大号召下，兴办了各种化工车间。在这些化工生产中，流体的流动和输送问题更显示其重要的地位。流体的输送是在管道里进行的。例如在粮食加工厂或化工厂里，流体输送管道四通八出，纵横于各处，似乎同人体里的经脉一样。对于这样大量的输送管道和输送设备如果能做到正确的设计、布置和使用，就会有国家节约大量的材料。

作稳定运动时

本书第一部分，主要是讨论不可压缩流体的一些基本性质和规律及其在粮食加工厂通风除尘和气力输送中的应用。

附图所示为一通风除尘网络。用通风机将振筛产生的灰尘吸到离心除尘室内。虽然网络比较简单，但是也有许多问题需要正确处理 and 合理解决。这些问题可概括成以下几点：



1. 选用适当的空气流动速度，确定输送管道的直径，以达到既能经济节约，又能保证完成通风除尘任务。

2. 计算将会灰尘气与输送到除尘室所需要的热量（此热量是用来克服空气在流动、输送过程中的热量损失的），为选用

通风机提供一定的依据。

3. 正确选择向空气提供能量的通风机, 做到型式合适, 大小合理, 操作高效。

4. 合理配置计量, 调节装置, 做到计量、调节能满足工艺生产要求, 安装位置合理。

要解决上述问题, 必须首先了解有关空气动力学的基本情况至于流体力学所包含的其它更广泛的内容, 因同本课程关系不大, 不作讨论。

第一节 空气的组成和有关物理性质

一. 空气的组成

包围着地球的空气是许多气体, 水蒸气和机械杂质(如灰尘、细菌)的混合物。

地平面上干燥空气的组成如表 1-1 所示

空气的组成 表 1-1

气体成分	克分子容积百分率 (%)
氧 气	20.95
氮 气	78.09
二氧化碳	0.03
氩 气等	0.93

二. 空气的重量和密度

每 [米³] 空气的重量 [公斤] 称为重量, 以 γ 表示, 其公

· 4 ·

程单位为 [公斤/米³]。重度同重力加速度 ($g = 9.80 \text{ 米/秒}^2$) 之比称为密度, 以 ρ 表示, 其工程单位为 [公斤·秒²/米⁴]。

完全没有水蒸汽的空气称为干燥空气。干燥空气的重度可按下列式计算:

$$\gamma_{干} = 1.293 \times \frac{273}{273 + t} \times \frac{P}{760} \quad \text{[公斤/米}^3\text{]} \quad (1-1)$$

式中: t — 温度 [°C]

P — 绝对压力 [毫米汞柱]

实际上空气中永远含有或多或少的的水蒸汽, 把混有水蒸汽的空气称为湿空气。

计算湿空气重度 γ 时, 用 $(P - 0.378 \phi P_{饱})$ 代替上式中的 P 即可, 或用下列式计算公式:

$$\gamma = \gamma_{干} \left[1 - \frac{0.378 \phi P_{饱}}{P} \right] \quad \text{[公斤/米}^3\text{]} \quad (1-2)$$

式中: ϕ — 相对湿度 [%]

$P_{饱}$ — t °C 时的饱和水蒸汽压力 [毫米汞柱]

表 1-2 所示为不同湿度下干空气的 $\gamma_{干}$ 、 ν 值和饱和水蒸汽压力 $P_{饱}$, 以及湿空气的 γ 、 ν 值和饱和水蒸汽压力。

在工程上, 以温度 20°C、绝对压力为 760 [毫米汞柱]、相对湿度为 50% 的湿空气称为标准空气。标准空气的重度 $\gamma = 1.2$ [公斤/米³], 密度 $\rho = 0.1025$ [公斤·秒²/米⁴]

不同温度时干空气的 γ 、 ν 值和饱和水蒸汽压力 $P_{饱和}$
(绝对压力为760毫米汞柱时) 表1-2

$t^{\circ}C$	$\gamma_{干}$ (公斤/米 ³)	ν (米 ² /秒)	$P_{饱和}$ (毫米汞柱)
0	1.293	1.333×10^{-5}	4.58
10	1.247	1.421×10^{-5}	9.21
20	1.205	1.512×10^{-5}	17.54
30	1.165	1.604×10^{-5}	31.82
40	1.129	1.698×10^{-5}	55.33
50	1.092	1.795×10^{-5}	92.51
60	1.060		149.40
70	1.029		233.70
80	1.000		355.10
90	0.970		523.90
100	0.940		760.00

三、空气的粘性

空气在其质点间作相对运动时产生阻力的性质，称为粘性。以圆管中空气运动为例，紧贴管壁的空气质点由于其与管壁的附着力大于其分子的内聚力，因此其速度为零。离管壁越远的管壁影响越小，即速度越大。

粘性是空气运动时产生的阻力，因此维持空气运动必须消耗能量克服粘性阻力，这就是空气运动时有能量消耗的根源。粘性是空气很重要的物理性质，由于粘性而产生的空气内摩擦力（切应力）可按下列表式。

$$\tau = \pm \mu \frac{\Delta v}{\Delta r}$$

·6·

式中: τ — 切应力, 即单位面积上所受的摩擦力

μ — 反应空气粘性的一个量, 称为空气的粘性系数

$\frac{\Delta u}{\Delta \eta}$ — 速度梯度

上式只表示了切应力的大小, 切应力 τ 的方向根据下述规则来确定。对流动慢的一层空气来说, τ 的方向同速度方向一致, 对流动快的一层, τ 的方向同速度方向相反。这就是说 τ 的方向是阻止两层空气间的相对运动。空气的粘性系数 μ 同密度 ρ 的比值, 称为动力粘性系数 (运动粘性系数) 以 ν 表示。标准空气的 $\nu = 1.51 \times 10^{-5}$ [米²/秒], $\mu = 1.86 \times 10^{-4}$ [公斤·秒/米²]

四. 压力的单位及其表示法

工程上通常采用 [公斤/厘米²] 或 [公斤/米²] 作为压力的单位, 此外也用液柱高度 [毫米汞柱], [大气压] 为单位。它们之间的换算头像如下。

$$\begin{aligned} 1 \text{ [工程大气压]} &= 1 \text{ [公斤/厘米}^2\text{]} = 10000 \text{ [公斤/米}^2\text{]} \\ &= 10000 \text{ [毫米水柱]} = 10 \text{ [米水柱]} \\ &= 760 \text{ [毫米汞柱]} \end{aligned}$$

通常把 760 [毫米汞柱] 的大气压力规定为标准大气压。工程上为了简化计算, 采用上述 [工程大气压] 为单位, 简称 [大气压]。工程大气压比标准大气压要小一些。

$$\begin{aligned} 1 \text{ [标准大气压]} &= 160 \text{ [毫米汞柱]} = 1033 \text{ [公斤/米}^2\text{]} \\ &= 1033 \text{ [公斤/厘米}^2\text{]} = 1.033 \text{ [工程大气压]} \end{aligned}$$

对于测量上的原因, 压力有三种表示方法:

绝对压力 — 以绝对真空为基准的压力

正压力——当绝对压力高于大气压力时，其高于大气压力的部分称为正压力，也称表压力。即

$$(\text{正压力}) = (\text{绝对压力}) - (\text{大气压力})$$

事实上，一般压力计所能直接读数的均是^正压力。例如通风机吸风管中的压力就是正压力。

负压力——当绝对压力低于大气压力，其低于大气压的数值称为负压力，也称真空压力。即

$$(\text{负压力}) = (\text{大气压力}) - (\text{绝对压力})$$

例如通风机吸风管中的压力就是负压力。

从公式(1-1)看出，空气温度、压力的变化会引起空气重度的变化，因此空气是可以压缩的气体，但是在不少工程问题中，空气的温度、压力的变化并不大，即其压缩性不大，甚至可以忽略不计，而把空气的重度看作是常数（ $\gamma = 1.2$ [公斤/米³]）。在粮食加工厂的通风除尘和气力输送管道内空气的压力同大气压力之差一般不大于1000（毫米水柱），温度基本上是不变的，因此完全可以认为空气的重度是不变的（ $\gamma = 1.2$ 公斤/米³），这对实践来说是足够准确的。本课程讨论的内容均是指不可压缩空气管流的情况。

第二节 风量、连续方程

一、风量

若空气管流的断面面积为 A [米²]，平均速度为 V [米/秒]，

· 8 ·

则管流在该断面上的体积流量(风量) $Q_{秒}$ 、 Q 为:

$$Q_{秒} = VA \quad [米^3/秒]$$

$$Q = 3600VA \quad [米^3/小时] \quad (1-3)$$

式中: 圆形管道的断面面积 $A = \frac{\pi}{4} D^2$ [米²], D —直径(米)

矩形" " " " " " $A = bh$ [米²]

三. 连续方程

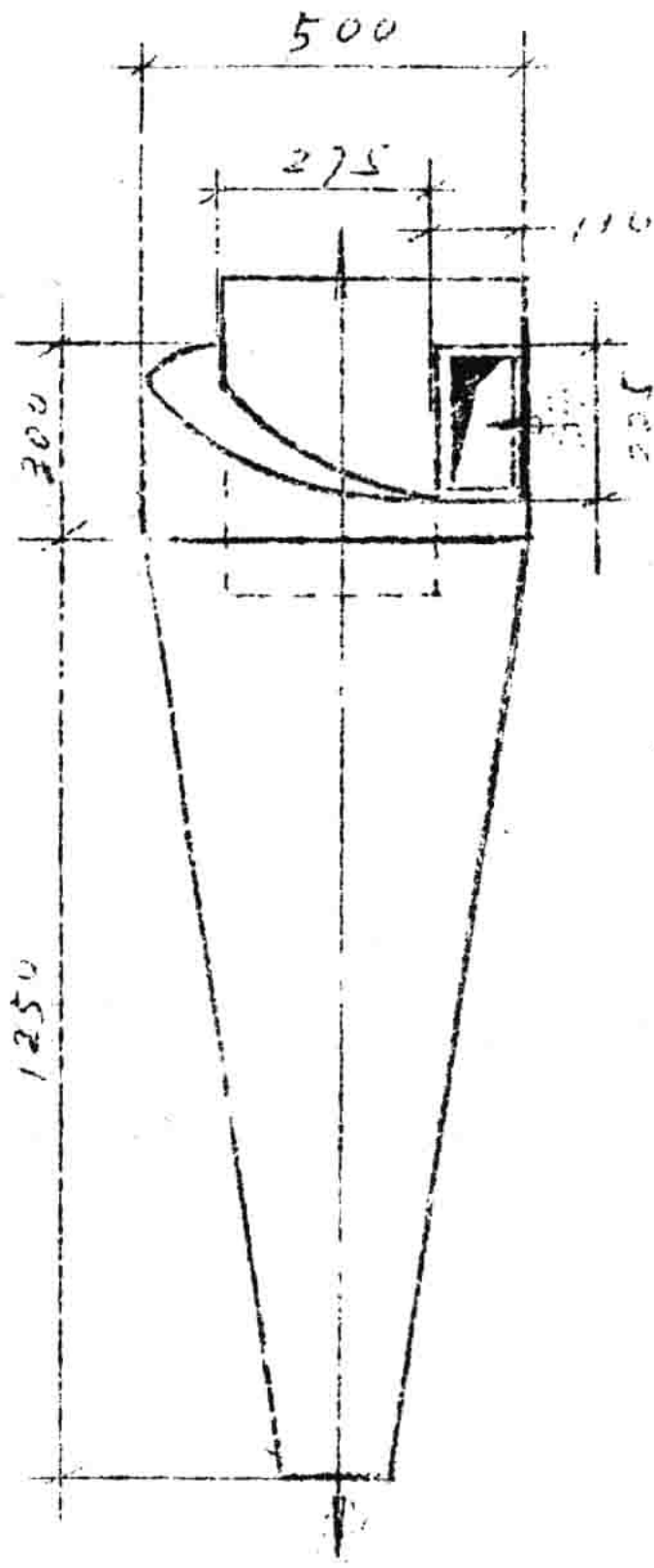
根据质量守恒定律, 在稳定流动情况下(空气作稳定流动时, 任一断面处的速度、压力等物理量不随时间而变化), 流经管流各断面的风量是相等, 即

$$V_1 A_1 = V_2 A_2 = Q = \text{常数} \quad (1-4)$$

公式(1-4)就称为管流的连续方程。圆形风管的连续方程也可写成:

$$V_1 D^2 = V_2 D^2$$

例题1: 用单只55型离心除尘器($r = 500$ 毫米) 处理 1250 [米³/小时] 含尘空气, 求离心除尘器的进口风速与排气管风速。



解:

进口风速 $V_{进}$

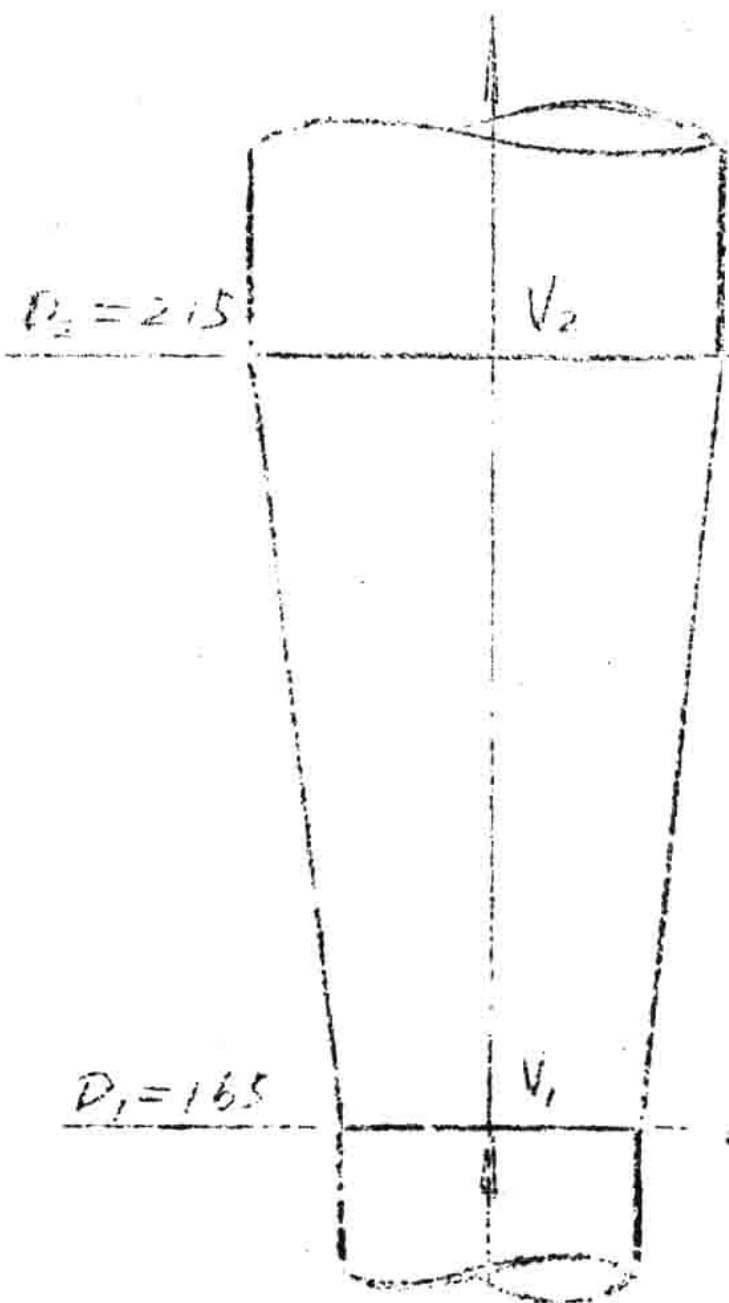
$$V_{进} = \frac{Q}{3600 A_{进}} = \frac{1250}{3600 \times 0.225 \times 0.11} = 14 \text{ [米/秒]}$$

排风管风速 $V_{排}$

$$V_{排} = \frac{Q}{3600 A_{排}} = \frac{1250 \times 4}{3600 \times 3.14 \times 0.275^2} = 5.9 \text{ [米/秒]}$$

例题2: 图示一新^扩管, 求断面1, 断面2的风速 V_1, V_2

解:



$$V_1 = \frac{Q}{3600 A_1} = \frac{1380 \times 4}{3600 \times 3.14 \times 0.165^2} = 18 \text{ [米/秒]}$$

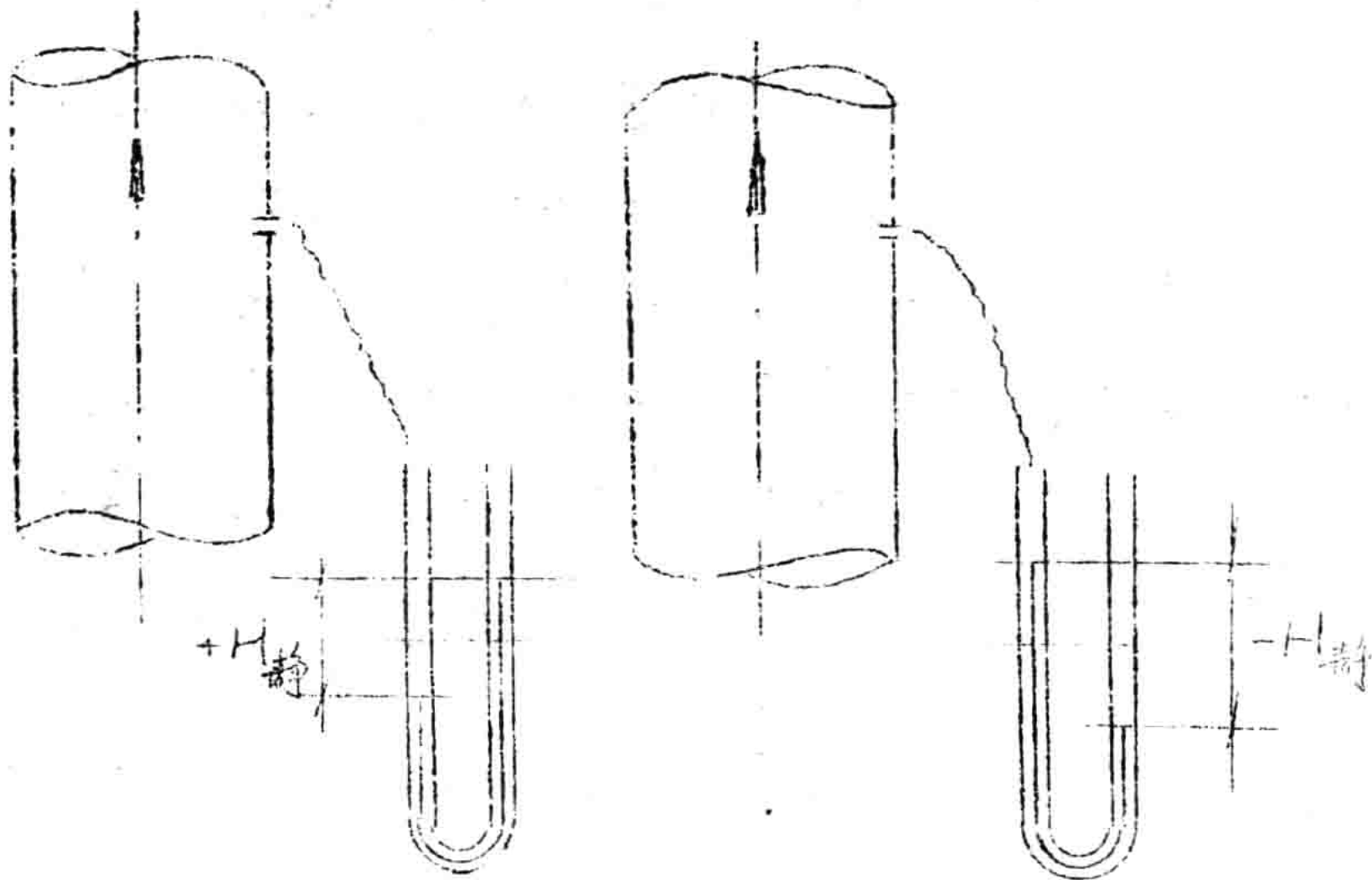
$$V_2 = \frac{V_1 D_1^2}{D_2^2} = \frac{18 \times 0.165^2}{0.215^2} = 10.5 \text{ [米/秒]}$$

$$Q = 1380 \text{ [米}^3\text{/小时]}$$

第三节 空气管流的能量方程

一. 静压、动压和全压

如图1-1所示，空气在管道内流过，若在风管壁上钻一个



(a) 压风管

(b) 吸风管

图1-1 空气管流静压力的表现

由(1-2) [毫米] 的小孔 (小孔同管壁面垂直，光滑无毛刺)，用乳胶管 (构成管) 的一头紧贴小孔，另一头接在 U 型压力计上，则压力计上就出现了一定的液柱高差，这就是空气管流的静压，以 $H_{静}$ 表示。压风管的静压为正压，吸风管的静压为负压。静压的单位为 [毫米水柱] 或 [公斤/米²]。

静压实际上是指空气沿管壁平行流动时作用在管壁的压力，它同密闭容器内空气对器壁所施的压力一样。它对各个方向都起相等作用的。例如篮球胆内的压缩空气对球胆各方向都起相等作用，此静压为正压；热水瓶胆内空气 (真空) 的静压为负

压。

空气层流静压的能量含义说明：设 V [米³] 体积的空气流过断面数为 A [米²] 的某一断面，空气通过该断面所走的距离为 $\frac{V}{A}$ [米]，则静压所作的功为 $H_{静} \cdot A \cdot \frac{V}{A} = H_{静} \cdot V$ [公斤·米]。若以 1 [米³] 空气为基准，则静压所作的功为 $H_{静}$ [公斤/米]。由于每 1 [米³] 空气静压所作功的单位为 [公斤/米]，实际上就是压力的单位，因此，空气的静压能就是空气的静压力。也称空气的压力位能。例如用打气筒把篮球打足气，外力所作的功变成了压缩空气的压力位能，也就是篮球胆内空气的正静压，热水瓶胆抽真空也是这了情况。不同的空气静压为正值。

空气在管道内以一定的平均速度（简称风速）运动，便具有一定的动能。 V [米³] 体积的空气以风速 V 通过管道时，其动能为 $\frac{1}{2} \frac{\rho V}{g} V^2$ [公斤·米]。以 1 [米³] 空气为基准，则其动能为 $\frac{\rho V}{2g}$ [公斤/米]。同理，空气的动能就是空气的动压力，以 $H_{动}$ 表示，永远为正值。

空气管流的动压力就是指空气流动时由于风速而产生的压力，静止空气的动压等于零。

动压的计算公式为：

$$H_{动} = \frac{\rho V^2}{2g} = 0.001 V^2 \quad [\text{公斤/米}^2] \quad (1-5)$$

公式 (1-5) 写成风速的表达式为：

$$V = 4.04 \sqrt{H_{动}}$$

空气管流的静压和动压的代数和称为全压，其表达式为：

$$\pm H_{静} + H_{动} = \pm H_{全} \quad (1-6)$$