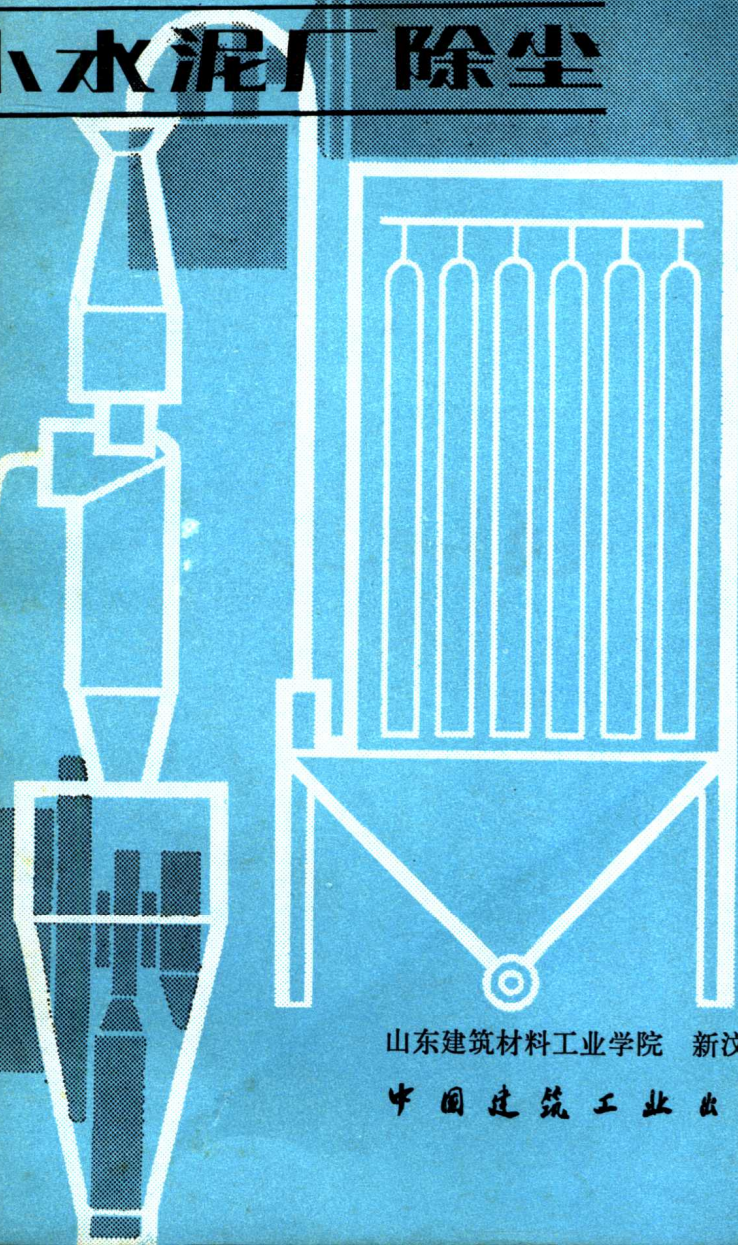


小水泥厂除尘



山东建筑材料工业学院 新汶水泥厂

中国建筑工业出版社

小水泥厂除尘

山东建筑材料工业学院
新汶水泥厂

中国建筑工业出版社

本书系统地介绍小水泥厂除尘的基本知识和经验，包括重力、惯性、离心力、过滤式、清洗式、静电等除尘设备的工作原理及其应用于立窑、磨机、烘干机、破碎机、包装机、输送机等除尘的实例，以及新汶水泥厂常年坚持除尘工作的经验，同时对除尘系统的简易选型计算也作了阐述。本书可供小水泥厂工人和技术人员阅读参考。

本书由山东建筑材料工业学院李兆钰、吴惠诚及山东新汶水泥厂高金龙执笔。

小 水 泥 厂 除 尘
山东建筑材料工业学院
新 汶 水 泥 厂

*

中国建筑工业出版社出版(北京西郊百万庄)
新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售
中国建筑工业出版社印刷厂印刷(北京阜外南礼士路)

*

开本：787×1092毫米 1/32 印张：4³/₈ 插页：1 字数：97 千字

1981年10月第一版 1981年10月第一次印刷

印数：1—6,100 册 定价：0.38元

统一书号：15040·4144

目 录

第一章 概述	1
第一节 除尘的重要意义	1
第二节 粉尘的分散度和除尘器的效率	2
第三节 空气的湿度	6
第四节 气体具有的能量和流动阻力	9
第二章 常用的除尘设备	14
第一节 重力除尘设备	14
第二节 惯性除尘设备	16
第三节 离心力除尘设备	18
第四节 过滤式除尘设备	27
第五节 清洗式除尘设备	35
第六节 静电除尘设备	38
第三章 生产设备和附属设备的除尘	46
第一节 立窑的除尘	46
第二节 磨机的除尘	63
第三节 烘干机的除尘	76
第四节 破碎机的除尘	82
第五节 包装机的除尘	89
第六节 附属设备的除尘	102
第四章 除尘系统简易选型计算	106
第一节 除尘管道设计	107
第二节 除尘风机的选型	116
第三节 吸尘罩的抽风量计算	123
第五章 新汶水泥厂的除尘经验简介	128
第一节 领导重视、方法有力	128
第二节 八字综合除尘措施	131

第一章 概 述

第一节 除尘的重要意义

在水泥生产中，无论是物料加工或是物料输送，均有大量的粉尘产生。近几年兴建的部分小水泥厂，由于设备简陋，缺少一定的除尘措施和除尘设备造成粉尘飞扬，这不仅直接危害操作工人的身体健康，污染周围的大气，妨碍农作物生长，而且加快机械设备的磨损，增加原、燃材料的消耗，提高产品的成本。所以消除粉尘危害，关系到保护环境，保护人民身体健康和多快好省地发展社会主义生产，应引起足够重视，结合技术改造，逐步加以解决。

根据我国《工业企业设计标准》（GBJ1-62）的规定，车间空气中粉尘的最高容许浓度如下：

含有10%以上游离二氧化硅的粉尘（石英、石英岩等）最高容许浓度为2毫克/米³；

含有10%以下游离二氧化硅的水泥粉尘最高容许浓度为6毫克/米³；

含有10%以下游离二氧化硅的煤尘最高容许浓度为10毫克/米³；

其它各种粉尘最高容许浓度为10毫克/米³。

对于工业企业所排出的气体在大气中扩散稀释后，居住区有害物质的最高容许浓度规定如下：

无毒粉尘一次最高容许浓度为 0.5 毫克/米^3 ，日平均最高容许浓度为 0.15 毫克/米^3 ；

烟煤一次最高容许浓度为 0.15 毫克/米^3 ，日平均最高容许浓度为 0.05 毫克/米^3 ；

根据我国《工业“三废”排放试行标准》（GBJ4-73）的规定，水泥生产最大允许排放浓度为 150 毫克/米^3 。

第二节 粉尘的分散度和除尘器的效率

一、粉尘的分散度

按粉尘的颗粒直径分组，以分组重量百分数来表示粉尘粗细程度，即粉尘直径的分布叫做分散度。例如某煤烘干机废气中粉尘的分散度（%）：

颗粒范围	$< 5 \mu$	$5 \sim 10 \mu$	$10 \sim 20 \mu$	$20 \sim 30 \mu$	$30 \sim 40 \mu$	$40 \sim 60 \mu$	$> 60 \mu$
(%)	17.5	20.3	22.1	17.0	9.7	10.2	3.2

一般 $< 50 \mu$ 的粉尘即能吸入呼吸道，而 $< 5 \mu$ 的粉尘能深入肺部，对人体的危害最大。

在除尘工作中，对于小颗粒的粉尘较难捕集。具体了解含尘气流中粉尘的分散度，对选择除尘器是很重要的。

二、除尘器的效率

评价除尘器的除尘效果，常用该除尘器能捕集的粉尘重量占进入除尘器的粉尘重量的百分数来量度，除尘技术中称为除尘效率。连续工作的除尘器，用单位体积的气体中含尘量（含尘浓度）的变化来求得除尘效率。除尘效率可用下式计算：

$$\eta = \frac{c_1 - c_2}{c_1} \times 100\% \quad (1-1)$$

式中 η ——除尘效率;

c_1 ——气体进入除尘器时的含尘浓度 (克/标米³);

c_2 ——气体出除尘器时的含尘浓度 (克/标米³)。

【例】 某一除尘设备(图1-1)气体进入除尘器时含尘浓度为3.48克/标米³, 出除尘器的含尘浓度为0.174克/标米³, 求该除尘设备的除尘效率。

【解】

其除尘效率为:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{c_1 - c_2}{c_1} \times 100\% \\ &= \frac{3.48 - 0.174}{3.48} \times 100\% \\ &= 95\% \end{aligned}$$

以上计算除尘效率的方法, 要在除尘设备不漏风或漏风很少的情况下使用是正确的。如果漏风较大, 又不知其漏风量, 就不宜用上式计算。

上面公式中的 c_1 和 c_2 是指的标准状况 (温度为 $t_0 = 0^\circ\text{C}$, 压力为一个气压即 $p_0 = 760$ 毫米汞柱) 下的气体含尘率。如果我们只知道工作状态 (温度为 t , 压力为 p) 下

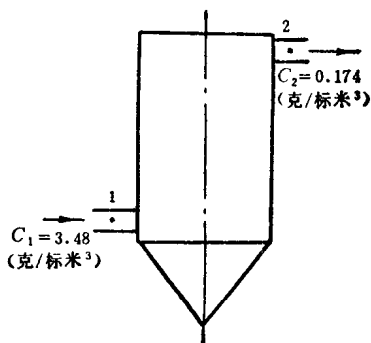


图 1-1 除尘效率计算图

气体的含尘率，如何换算成标准状况下的气体含尘率呢？下面讨论一下换算问题：

因为气体受压体积会缩小，即气体体积与压力成反比；气体受热温度升高体积又会膨胀，即气体体积与温度（绝对温度）成正比。

把影响气体体积的压力和温度的因素归纳起来可得下式：

$$\frac{pV}{T} = \frac{p_0 V_0}{T_0} \text{ 或 } \frac{pV}{273+t} = \frac{p_0 V_0}{273} \quad (1-2)$$

式中 p, p_0 ——工作状况和标准状况下气体的绝对压力（毫米汞柱）； $p_0=760$ （毫米汞柱）；

V, V_0 ——工作状况和标准状况下的气体体积（米³）；

T, T_0 ——工作状况和标准状况下气体的绝对温度（摄氏温度加上273°就是绝对温度）（K）；

t ——工作状况下气体的温度（°C）。

【例】 出除尘器的气体温度为86°C，风压为-7毫米水柱，其工作状况下气体的含尘率 $c_2=0.177$ 克/米³，求标准状况下气体的含尘率 c_{st} （当地气压为754.6毫米汞柱）。

【解】 工作状况下气体体积 $V=1$ 米³，在标准状况下气体体积 V_0 可用式（1-2）计算：

$$V_0 = \frac{pV \times 273}{p_0(273+t)}$$

因1毫米汞柱=13.6毫米水柱故-7毫米水柱= $-\frac{7}{13.6}$ 毫米汞柱（负号是表示其压力比当地大气压力低）所以其绝对压力为：

$$p = 754.6 - \frac{7}{13.6} = 754.1 \text{（毫米汞柱）}$$

得

$$V_0 = \frac{754.1 \times 1 \times 273}{760 \times (273 + 86)} \\ = 0.755 \text{ (标米}^3\text{)}$$

气体在标准状况下体积变了，可是粉尘量没有变，所以标准状况下的含尘率为：

$$c_{\text{标}} = \frac{0.177}{0.755} = 0.234 \text{ (克/标米}^3\text{)}$$

以上所述的除尘效率（全效率）只能说明除尘器总的除尘效果，而不能说明对各种不同粒径的粉尘的捕集能力。为了进一步说明除尘器的特性，常用除尘器的分效率（某一粒径范围的除尘效率）来标定除尘器的性能。例如CLP/A型旋风除尘器的分效率和粉尘粒度的关系曲线如图1-2所示。

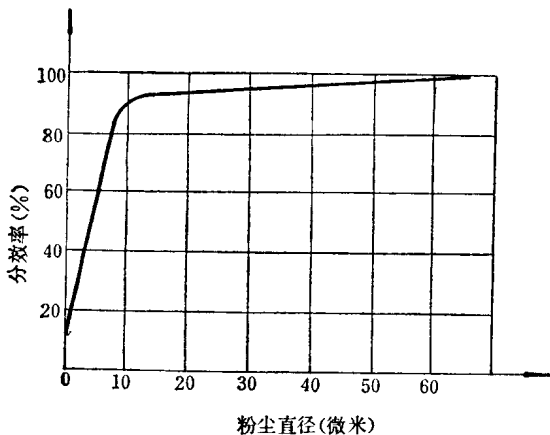


图 1-2 CLP/A型旋风除尘器分效率曲线

由上图可知旋风除尘器对大颗粒的粉尘，除尘效率比较高，而对小颗粒粉尘则比较低。在选择除尘器时，要了解需净化气体中粉尘的分散度及除尘器的分效率，这样才能正确地选择合适的除尘器。

两个除尘器串联使用时，其总效率可用下式计算

$$\eta_{\text{总}} = 1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2) \quad (1-3)$$

式中 η_1 , η_2 ——分别为第一级、第二级除尘器的除尘效率。

【例】 有一二级除尘系统，第一级除尘效率为75%，第二级除尘效率为95%，求其总效率。

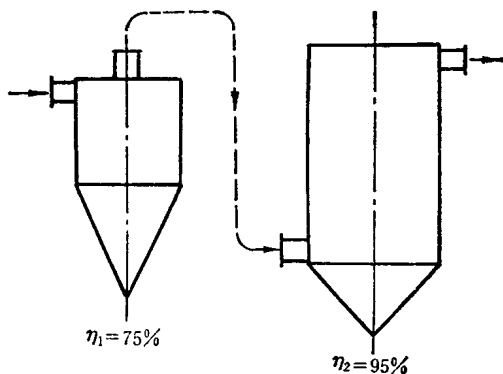


图 1-3 除尘总效率的计算图

【解】

$$\begin{aligned} \eta_{\text{总}} &= 1 - (1 - \eta_1)(1 - \eta_2) \\ &= 1 - (1 - 0.75)(1 - 0.95) \\ &= 1 - 0.25 \times 0.05 \\ &= 1 - 0.0125 \\ &= 0.9875 \\ &= 98.75\% \end{aligned}$$

第三节 空气的湿度

一、绝对湿度

空气能吸收一定数量的水蒸气成为湿空气。一立方米湿

空气中所含水蒸气的克数称为空气的绝对湿度（克/米³湿气）。在温度一定时，空气吸收水蒸气的量是有限度的，当空气吸收水蒸气到达某一程度后就饱和了，再也不能吸收了，此时的空气状态称为饱和状态。此时的绝对湿度叫做饱和绝对湿度。从表1-1中可以看出饱和绝对湿度是随空气温度的升高而急剧增加。

二、相对湿度

绝对湿度与该温度下的饱和绝对湿度的比值叫做空气的相对湿度。例如，15°C时1米³湿空气中含水蒸气6.4克。求其相对湿度时，可从表1-1查得15°C时的饱和绝对湿度为12.8克/米³湿气，则其相对湿度为：

$$\varphi = \frac{6.4}{12.8} \times 100\% = 50\%$$

三、湿含量

1公斤干空气所带水蒸气的量（克）称为湿含量（克/公斤干气）。饱和状态的湿含量可见表1-1。

四、露点

对不饱和的湿空气如果进行冷却，温度不断下降，相对湿度也就相应提高，直到湿空气达到饱和（ $\varphi = 100\%$ ），水蒸气就开始从湿空气中冷凝出来，这时湿空气的温度称为露点。例如80°C的湿空气的湿含量为20克/公斤干气时，从表1-1可以查到如果温度降到25°C时湿空气就饱和了，所以该湿空气的露点为25°C。如果温度再降到20°C，此时每公斤干空气就要凝结出5.4克（20-14.6=5.4）水来。

在我们日常生活中，冬天的玻璃窗上常会结水珠，这是由于玻璃附近的空气温度已低于露点，空气中的水蒸汽凝结在玻璃上而形成水珠。白天气温高，空气中的水蒸汽没有达

到饱和，到了晚上气温下降，空气中的水蒸气逐渐达到饱和，气温再低一点，水蒸气就从空气中凝结出来，落在草上成为露水，露点这个名词就是从此而来。

在760毫米汞柱压力下饱和状态时空气的含湿量 表 1-1

温度 (°C)	1米 ³ 干 空 气 重 (公斤/米 ³)	饱和绝对湿度 (克/米 ³ 湿气)	饱 和 湿 含 量 (克/公斤干气)
0	1.293	4.9	3.8
5	1.270	6.8	5.4
10	1.248	9.2	7.6
15	1.226	12.8	10.6
20	1.205	17.3	14.6
25	1.185	23	20
30	1.165	30.4	27
35	1.146	39.6	36.4
40	1.128	51.1	48.6
45	1.110	65.4	64.8
50	1.093	83	86.1
55	1.076	104.3	114
60	1.060	130	152
65	1.044	161	204
70	1.029	198	275
75	1.014	242	381
80	1.000	293	544
85	0.986	353	824
90	0.973	423	1395
95	0.959	504	3110
100	0.947	579	8000

在干法除尘系统中的气体一般都要求不要结露，以免影响除尘工作正常进行。要使气体不结露，只要气体温度高于露点即可。如果湿含量为20克/公斤干气的气体只要温度不

低于 25°C （露点）就不会结露。为了保险起见一般对无吸水性的粉尘气体温度应高于露点 $15\sim 20^{\circ}\text{C}$ ，对有吸水性的粉尘（水泥）气体温度应高于露点 $25\sim 30^{\circ}\text{C}$ 。

对湿含量高的气体，为了使其保持高于露点的温度，需在除尘系统的管道和除尘设备的外面敷设保温层保温，如果还达不到要求，则在除尘系统中用煤炉或电炉等加热，使气体温度高于露点。

第四节 气体具有的能量和流动阻力

一、气体的压力和能量

气体在管道中停止流动，从宏观来看是气体静止，从微观来看是气体分子不断地作热运动，不断地碰撞四周壁面产生压力，这个压力称静压。当气体流动时，在流动方向上如果有一壁面，气体分子也会碰撞壁面产生压力，这个压力称动压。另外还有气体的位压，由于在通风除尘系统中常常不予考虑，所以这里从略。

气体的静压和动压可用盛水的U形管压力计来测定，如图1-4所示。

图1-4（a）的测压管口为垂直气流，因此只能感受气流的静压 $h_{\text{静}}$ 。图1-4（b）的测压管口朝着气流流动方向，因此管口不仅能感受到气流的静压 $h_{\text{静}}$ ，同时还能感受到气流的动压 $h_{\text{动}}$ ，静压和动压之和称总压 $h_{\text{总}}$ 。或称全压 $h_{\text{全}}$ 。

从图1-4可以看出气流的动压 $h_{\text{动}}$ 可由气流的总压 $h_{\text{总}}$ 减去气流的静压 $h_{\text{静}}$ 而得，即：

$$h_{\text{动}} = h_{\text{总}} - h_{\text{静}} \text{（毫米水柱）}$$

例如，在管道同一截面上测得 $h_{\text{静}} = 10$ （毫米水柱），

$h_{\text{总}} = 15$ (毫米水柱), 那么很容易求得 $h_{\text{动}} = 15 - 10 = 5$ (毫米水柱)。

上面用毫米水柱作为气体的压力单位, 这与我们常用的压力单位 (公斤/米²) 有什么关系呢? 从图 1-5 可以看到它们的关系。

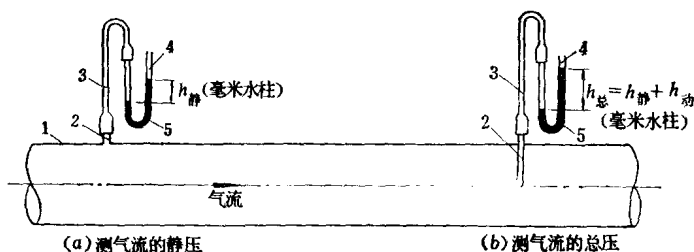


图 1-4 气流的静压和总压的测定装置

1—管道; 2—测压管; 3—胶皮管; 4—U形管压力计; 5—水

图1-5表示一个容器, 其底面积为1米², 内盛以1毫米高的水, 则水的重量为:

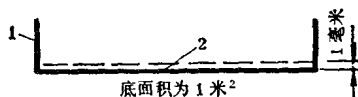


图 1-5 压力单位关系图

1—容器; 2—水

水重 = 水的体积 × 水的重度

$$= 1 \text{ 米}^2 \times \frac{1}{1000} \text{ 米} \times 1000 \text{ 公斤/米}^3 = 1 \text{ 公斤}$$

所以水对容器底面的压力为:

$$\text{压力} = \frac{\text{水重}}{\text{容器底面积}} = \frac{1 \text{ 公斤}}{1 \text{ 米}^2} = 1 \text{ 公斤/米}^2$$

通过上面的讨论，可以看到一个关系：

$$1 \text{ 毫米水柱} = 1 \text{ 公斤/米}^2$$

因水银（汞）的重度比水的重大13.6倍，所以：

$$1 \text{ 毫米汞柱} = 13.6 \text{ 毫米水柱}$$

从图1-4中还可以看到一个现象，如果把胶皮管从测压管上拔下来，那U形管压力计中两面的水平面就平了；胶皮管接到测压管上U形管压力计右面的水面就要升高。这个现象说明气流具有一定的能量，能对U形管中的水做功，将水升举了一个高度。虽然每米³气体具有的能量和压力在概念上不完全一样，但在数值和单位上是完全一样的。所以我们常用气体的压力大小来反映1米³气体具有的能量。

在通风除尘系统中的除尘设备，常提到正压操作和负压操作，下面图1-6就可看出正压操作和负压操作的含义。

正压和负压的含义是和外界大气（空气）的压力比较而得，比外面大气压力大者为正压，比外面大气压力小者为负压。

在通风除尘系统中，凡是受通风机鼓风的部分一般都是正压，凡是受通风机抽风的部分一般都是负压，如图1-7所示。

二、气体流动的阻力

在除尘系统中，把设备中含尘气体抽出来，通过管道进

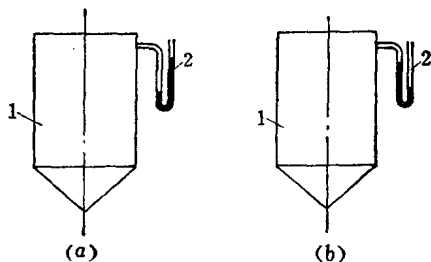


图 1-6 除尘器的操作状态

a—正压操作（除尘器内的气体静压力大于外面大气压力）；b—负压操作（除尘器内的气体静压小于外面大气压力）

1—除尘器；2—U形管压力计

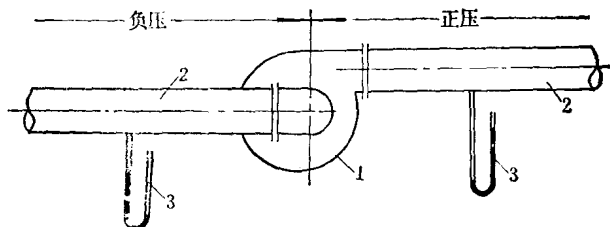


图 1-7 通风除尘系统的正负压
1—通风机；2—管道；3—U形管压力计

入除尘器，把粉尘捕集下来，净化后的气体排入大气。气流通过除尘系统会遇到各种阻力，要克服各种阻力就要消耗能量，消耗的能量一般由通风机供给（自然通风除外）。

1 米³气体通过除尘系统遇到的阻力或能量损失可用毫米水柱表示。下面举一例说明：有一水平放置管径不变的直管，在A及B处开一小口，用胶皮管接到里面盛水的U形管压力计上。A处U形管压力计指示值为-15毫米水柱（管内气流的静压小于外面大气压力，所以是负值）；B处U形管压力计指示值为-20毫米水柱。显然1米³气流从A处流到B处，损失了5毫米水柱的能量（B处比A处多负了5个毫米水柱）。如果没有阻力，能量消耗也就不存在，那么A和B处U形管压力计的指示值应该相等。

图1-8中因气流在直径不变的直管中流动，所以气流速度不变（A处和B处的气流速度相等），其动压也就不变，即A处和B处的动压相等（因气流的动压和气流速度的平方成正比，即气流速度越大，动压也越大，气流速度不变，动压也就不变）。所以气流从静压中消耗（或损失）了5毫米水柱的能量，也可看成气流的总压消耗（或损失）了5毫米水柱。

气流在直径不变的直管中流动所遇到的阻力称摩擦阻力；气流在管道中流过转弯处，管道截面积变化处等等，所遇到的阻力（即在管道的局部所遇到的阻力）称局阻力。所以气流通过除尘系统遇到的阻力有设备的阻力、管道的阻力（包括摩擦阻力和局部阻力）和除尘器的阻力。

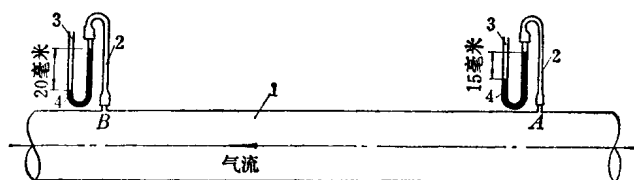


图 1-8 气体流动的阻力

1—管道；2—胶皮管；3—U形管压力计；4—水