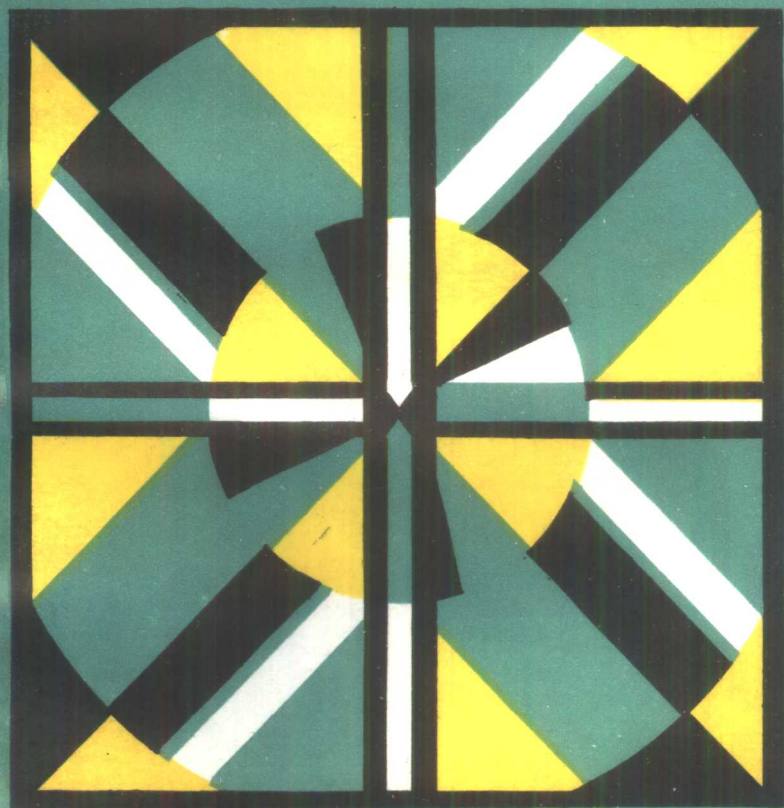


纺织工艺过程 与设备的空气动力学



纺织工业出版社

纺织工艺过程与设备 的空气动力学

〔苏〕 T. T 巴甫洛夫 著

周慈念 邢声远 译

周启澄 赵坚 校

纺织工业出版社

内 容 提 要

本书叙述了纺织空气动力学的气流分类,讨论了单纤维、纤维集合体、束纤维及纱线等与气流相互作用的问题。探讨了在前进和回转气流中气流及其与纤维状材料相互作用的计算方法。特别注意到纺纱和织造的最新方法。

本书可供纺织工程技术人员、科研和设计人员参考,对高等纺织院校的师生也有所裨益。

纺织工艺过程与设备的空气动力学

[苏] T. T. 巴甫洛夫 著

周慈念 邢声远 译

周启澄 [赵坚] 校

纺织工业出版社出版

(北京东长安街13号)

纺织工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

787×1092毫米 1/32 印张:5 20/32 字数:130千字

1988年11月 第一版第一次印刷

印数:1—4,000 定价:1.90元

ISBN 7-5064-0065-0/TS·0066

CAH 06/33

目 录

前言.....	(1)
---------	-----

第一篇 在气流前进运动时空气动力相互作用的 基本因素

第一章 纤维集合体和纺织机器某些部件与气流的相互作用.....	(5)
§1.1 空气动力作用的分析.....	(5)
§1.2 正面(迎面)阻力系数 C_x	(7)
§1.3 管道中流动气流的摩擦阻力 λ	(9)
§1.4 纤维密集体的阻力.....	(13)
§1.5 纺织机器机构与气流的相互作用.....	(20)
第二章 气流中的单纤维.....	(25)
§2.1 纤维纵向取向.....	(25)
§2.2 气流对纤维的横向绕流.....	(30)
§2.3 纤维的卷曲度对其阻力的影响.....	(34)
第三章 纱线和气流的相互作用.....	(36)
§3.1 在自由空间中的纱线.....	(37)
§3.2 管道中纱线的纵向牵引力.....	(49)
§3.3 管道中存在纱线时的压力损失.....	(54)
§3.4 空气介质的阻力对纱线气圈的影响.....	(57)
第四章 某些纺织材料和纤维构件的沉降速度.....	(62)
§4.1 球形物体的沉降.....	(64)
§4.2 多孔纤维状球的沉降.....	(65)
§4.3 单纤维和小纤维束.....	(65)

§4.4	纤维团块和颗粒材料	(66)
§4.5	气流受挤压影响的估算	(70)
第五章	纺织材料的起动速度和输送速度	(73)
§5.1	起动速度的实验资料	(74)
§5.2	材料的起动速度与沉降速度的关系	(76)
§5.3	气流输送的速度和边界条件	(78)
第六章	无锭纺纱喂给管内的离散纤维流	(81)
§6.1	喂给管的几何特征及空气动力学特征	(81)
§6.2	喂给管内的纤维	(90)
§6.3	离散纤维流的变细过程	(96)
§6.4	气流输送时单纤维定向和伸直的可能性	(99)
第七章	射流在纺织中的应用	(103)
§7.1	自由紊流射流的流动规律性	(103)
§7.2	射流中的纤维形态	(108)
§7.3	采用射流使纤维紧贴平面	(110)
§7.4	在织造工程中人为的限制手段对射流轴心速度衰减的影响	(113)
§7.5	射流引纬	(115)
§7.6	用剑杆上吸管握持射流输送的纱线	(119)

第二篇 回转气流中空气的动态相互作用

第八章	伴随纺织机器工作机构回转的气流	(125)
§8.1	滚筒端面(圆盘)在粘滞介质中的回转	(125)
§8.2	无防护罩板的圆柱形滚筒的回转与	

锭子附近的 气流.....	(131)
§8·3 罩壳中的 滚筒.....	(135)
§8·4 加捻成纱机构圆盘上的摩擦功率消 耗.....	(140)
第九章 包有针布的滚筒回转时的气流.....	(146)
§9·1 纤维和锯齿包覆物的空气动力的相 互作用.....	(147)
§9·2 梳理机械的空气动力.....	(154)
第十章 凝棉器的回转尘笼.....	(162)
§10·1 尘笼的几何特性和空气动力特性.....	(162)
§10·2 关于小孔中气流速度大小的选择.....	(167)
§10·3 在有孔滚筒 (尘笼) 中的压力损失.....	(170)
参考文献.....	(178)

绪 言

纺织空气动力学的气流分类。

空气动力学被广泛应用在纺织工业中，除了那些已清楚可控制的空气动力对纤维和纤维集合体的作用过程外，所有纤维材料的工艺过程都是在粘性空气介质中进行的。纤维集合体的质量很小，而表面积却很大。纤维经受工作机件（如锯齿包覆物）回转产生的气流以及运动部件等的边界气流的强烈作用和他们对于工艺过程的影响，还没有充分了解和掌握。机器的某些机构特征（例如梳理机上的锡林隔距），就是由于对空气动力学过程不够清楚，还是单凭多年工作的经验来确定的。

要研究有几十种机器和机构工艺过程中各种空气动力学现象，就需首先按照气流特点分门别类。例如，研究随着滚筒回转而产生的气流，可以了解许多机器诸如纤维初步加工机器的工作过程，以及清棉、梳棉和无锭纺纱某些机构中的成纱等过程。纱与气流的强力作用，可在无锭纺纱和环锭纺纱（气圈）机上，在剑杆织机和喷气织机上及在纱线卷绕和由无梭织机筒子上退绕时看到。

在某些工艺过程中，例如在气流输送、气流纺纱、喷气织机中，空气动力的作用已成为工艺过程的基础。在其他情况下，如清棉、梳棉，在凝棉器上形成棉卷等情况，空气动力作用是伴随性质的。此外，气流对改善工艺过程，造成车间有利的卫生条件起着辅助作用。属于此类的有通风、吸

尘、空气调节的气流，亦即辅助性空气动力学过程。辅助过程的气流特征如下：虽然在气流中含有较大浓度的飞花、灰尘和回花，但不存在可纺的纤维和纤维集合体。由此可见，工艺气流的主要特征是在其中含有完全合用的纤维和纤维集合体。

因此，纺织空气动力学的气流可分为工艺过程的气流和辅助过程的气流^①。下面为气流分类图。工艺过程的气流分成9种类型：有的按照形成气流的特点分，有的根据与纤维相互作用的类型来分，括弧内为某些存在这种气流或作用的工艺过程。这个分类并不包括纺织工艺中全部的空气动力学现象，但是它包括了主要的工艺过程，并使研究简化了。

图表中所列的辅助过程并不是按照气流的类型，而是根据一般用途特点来划分的。这些过程所特有的空气动力学作用如表所述。辅助过程的空气动力学的知识比工艺过程更为丰富^[1~4]。这是因为对多种工业生产来说，这些任务是相同的，例如机械制造工业、化学工业、木材加工工业。由于辅助过程和某些工艺过程（例如气流输送^[2, 5]，过滤^[6]）已有大量报导，因此，本书中所论述的不是分类图表中的全部过程，而仅仅是最低限度的概括。

根据纺织工艺中两种主要的气流形式：前进的气流和与纺织机器的工作部件或元件回转有关的回转气流，本书分为两篇共十章加以论述。

① 苏联《纺织工业》，1969，№10，11~16页。

第一篇 在气流前进运动时 空气动力相互作用 的基本因素

不管气流的类型和它形成的特征如何，纤维和纤维集合体（纤维小块和大块、纱和织物等等）的状态，取决于它们与气流的相互作用力（不考虑机械或静电的相互作用问题）。

另一方面，空气动力作用的特征也与气流的结构有关。而气流的结构是由管道几何形状所形成，同时受机器上运动着的工作机构、空气边界层和此时发生的各种干扰的影响（直到流动的不稳定过程为止）。因此，不仅要研究气流对纤维集合体的作用，而且应该研究气流在机器工作机件区域中的流动特征，因为后者决定着对气流作用的准确分析。

物体的形状是空气动力相互作用的决定因素。在纺织工艺中，纤维材料可能有各种各样的形状：从密集体到成为细长体为止。在许多情况下，纤维密集体可以近似于球形、平板形、圆柱形或其它的简单形状，气流与上述形体的相互作用，人们在不同程度上已经清楚。例如，气流沿着伸直的单根纤维的流动，可以近似于细长圆柱体的纵向绕流。

各种团、块形状的材料，如在初步加工阶段和清棉过程中的纤维，落棉和尘杂等，都属于纤维密集体。

纤维小块、纤维片等属被拉长的物体。其长度与直径或横截面尺寸相比差不多，则处于密集体和细长体之间。最

后，直径或横截面与其长度相比很小的细长体，才是纺织生产的特点。分离状态的纺织纤维、纱和股线均属于细长体。

除了单根未弯曲的纤维和复丝可以列为光滑的物体外，纺织材料都具有很粗糙的表面结构。纺织材料的另一个特点是透气性好，因此，物体外部绕流的问题同时结合物体内部的透过问题，改变了物体的空气阻力。

第一章 纤维集合体和纺织 机器某些部件与气 流的相互作用

§1.1 空气动力作用的分析

物体相对于空气移动或者气体绕物体移动，引起物体与气流之间的相互作用。作用于物体的力可以分成两组分力，即法向力和切向力。在物体的前部产生法向附加压力，是空气动力因素产生的结果。在物体的后部形成负压区(涡线)，也形成法向力。沿物体作用的切向力是气体粘性摩擦的结果。由于在绕流时边界层受到破坏，涡流区扩展使绕流图形复杂化。

作用于物体表面的各分力形成的力系，通常可以化为主向量力和对物体中心主力矩的力偶。

气流的主向量由两法向分力组成^①，这两个分力为升力和横向力。在气流速度 u_∞ 方向上的主向量的分力称为阻力 F ，该力的大小等于主向量 R 在速度方向上投影量。

$$F = R \cos(R, u_\infty) \quad (1.1.1)$$

为了使任意形状的物体迎气流运动，就要对它施加外力 and 外力矩。对长形体或正常几何形状的物体，当它们的主轴和气流速度方向一致时，与气流相互作用的主要的力是阻力。

① 在流体座标系统中。

暂且不详细地分析作用于物体上的全部合力和力矩，让我们先研究一下相互作用的最重要因素——阻力。

首先确定物体作匀速直线运动或气流绕静止物体流动时的阻力。如果物体离开气流的稳定边界足够远（在无边界的空间）的话，则根据可逆性原理，物体在气流中运动的阻力等于气流对物体绕流的阻力。物体在截面积有限的（相对于物体的尺寸而言）气流中运动，其阻力与沿截面速度分布不均匀和因物体截面积的限制（在物体的区域内）而使气流速度局部增加。

总阻力可由作用于物体上的微分压力和摩擦力所合成，因此阻力 F_x 可以用压力和摩擦力两项积分^[7]来表示：

$$F_x = \int_{S_0} P \cos(\hat{n}, \hat{x}) dS_0 + \int_{S_0} \tau \sin(\hat{n}, \hat{x}) dS_0 \quad (1.1.2)$$

式中： P 和 τ ——物体表面上的法向应力和切向应力，

$\hat{n}$ ——表面上一点的外法线，

$\hat{x}$ ——流向，

S_0 ——物体的表面积。

通常，对任意形状的物体和涡流绕流条件，表达式（1.1.2）不能积分。因此，阻力最普遍的表达式由量纲分析可表达如下：

$$F_x = C_x S \frac{\rho u_\infty^2}{2} + C_f S_l \frac{\rho u_\infty^2}{2} \quad (1.1.3)$$

式中： C_x 和 C_f ——正面（迎面）阻力和摩擦阻力的无量纲系数，

S ——物体的中央截面积。逆向取（+）号，同向取（-）号。

如果物体和气流相对某些固定的基准运动，则在表达式 (1.1.3) 中必须引入气流和物体运动的相对速度 v ：

$$F_x = C_x S \frac{\rho(u_\infty \pm v)^2}{2} + C_f S_0 \frac{\rho(u_\infty \pm v)^2}{2} \quad (1.1.4)$$

当表面摩擦阻力部分不大时，可以用主要因素来评价阻力，其表达式为：

$$F_x = C_x S \frac{\rho(u_\infty \pm v)^2}{2} \quad (1.1.5)$$

或者以物体和气流的速度差 u 来表示：

$$F_x = C_x S \frac{\rho u^2}{2} \quad (1.1.6)$$

式中：正面（迎面）阻力系数 C_x 用来评价包括摩擦成分在内的绕流的主要特征。

§1.2 正面（迎面）阻力系数 C_x

物体与气流的相互作用不仅发生在气流对物体的绕流，而且也发生在固定边界内的气流运动，亦即粘性介质在罩壳内的运动，在流体力学中被划分为所谓内部和外部问题。这些问题相应地作为气流在管道内或输送槽内及气流绕物体外部流动的问题来研究。纺织空气动力学包含了这两个问题，因为气流在罩板内运动，而且气流本身在输送纤维或纤维集合体时也对它们发生作用。

物体的正面（迎面）阻力系数 C_x 和摩擦阻力系数 C_f 乃是物体外部绕流的最重要特征。在内部问题中，它们所对应的即为局部阻力系数 ζ 和摩擦阻力系数 λ ，后者也称为水力摩擦系数。所有这些系数都是无量纲的。

随着气流运动速度的变化，气流对物体绕流运动特征的

变化是很大的。在层流条件下当气流速度很小时，可能发生不脱离物体的绕流（无涡流）。随着气流速度的增大，绕流的运动也发生变化，出现了边界层的运动，导致气流脱离物体形成涡流。图1所示为气流对球体绕流的不同阶段〔8〕。

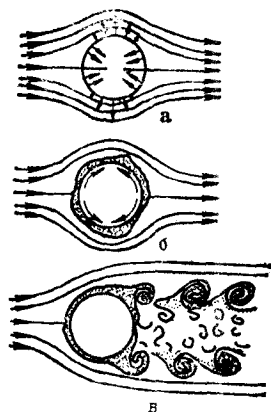


图1 气流对球体绕流的不同阶段

a—不脱离绕流 c—不脱离但带边界层变流

b—有漩涡的绕流（涡流）

随绕流特性的变化，阻力的物理规律性也相应改变，为了一致起见，计算阻力的公式，在绕流的各个阶段都保持同样的表达式。绕流条件的特征用正面（迎面）阻力系数 C_x 计算。绕流规律性的改变不仅与速度的绝对值有关，而且取决于流体的粘性和物体的特征尺寸， C_x 是雷诺数的函数。

在阻力表达式中采用的中间截面积 S 并不能充分反映物体的几何形状。例如，对球体和横放在气流中的同直径的圆形薄板而言，这个面积将是一样的，尽管绕流的特性改变了。系数 C_x 应该能够反映物体的形状，对不同的形状应有各自的

参数。

此外，流体初始紊流程度对阻力也有一定影响。初始紊流程度 ε 用百分数表示如下：

$$\varepsilon = \Delta u / u_{cp} \quad (1.2.1)$$

式中： u_{cp} ——在某一点上的气流速度平均值；

Δu ——在该点上速度脉动偏离其平均值的均方差。

因为在式（1.1.6）中没有考虑到紊流的程度，所以 C_x 也应取决于这个参数。

技术上表面光滑的物体，多少具有一定的表面粗糙度，在一定规则的绕流情况下也影响阻力。在全面分析绕流的特性时，系数 C_x 也应该与这个因素有关。因此，在最一般的情况下， C_x 是下列因素的函数： $C_x = f$ （雷诺数，形状，紊流程度，粗糙度）。

按照公式（1.1.6）的简单计算，使阻力系数的计算相当复杂，它深入到了物体与流体相互作用的结构分析。由于阻力系数 C_x 仅仅对某些在雷诺数小的情况下的个别问题才有可能用分析法决定，所以确定正面（迎面）阻力系数的主要途径是靠实验。现对某些正常几何形状的物体，积累和综合了相当数量的计算 C_x 的实验材料，其中一部分将引述于下。

并不是所有的因素都同等程度地影响 C_x 。对于技术上表面光滑的物体而言，最本质的因素是雷诺数和物体的形状，表面的粗糙度和初始紊流度则是确定细节的因素。

§1.3 管道中流动气流的摩擦阻力 λ

气流沿着固体壁面运动，由于介质的粘滞性引起壁面内运动的切向阻力，这种阻力阻碍了气流和壁面的相互移动。接近壁面的地方由于流体粒子浸润、吸附或粘附于固体壁面，气流的速度接近于零。粘滞性摩擦也阻碍了管道中气流的流

动，要计算这个阻力就必须先确定摩擦系数 λ 。

和系数 C_x 一样，摩擦系数 λ 是雷诺数、表面粗糙度，管道截面形状和流体紊流度的函数。在管道内流动时，流体的紊流性在没有附加外部干扰的条件下，可用雷诺数来表征，所以并不需要附加计算紊流度。存在于流体中的固体粒子会改变紊流的特性，然而对此问题的研究还很不够。

可以看到雷诺数和表面粗糙度对摩擦系数的影响最明显，例如由尼库腊泽（Никуралзе）所确定的在人造均匀粒状糙面管子中经典的阻力变化规律性，在壁面具有技术上粗糙的圆管中完满地得到再现（图2）。粗糙度并不表示凸出部分的绝对值 Δ ，而是凸出部分对管子尺寸 r 的比值，亦即 Δ/r 或 r/Δ 。

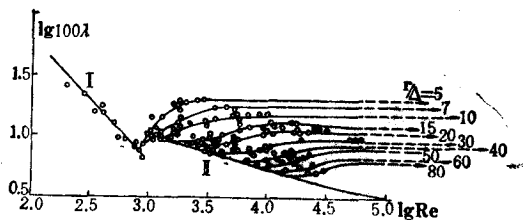


图2 在具有技术粗糙度的圆管中摩擦系数 λ 变化的规律性

在图2中，参数 λ 和 Re 采用 $lg 100\lambda$ 和 $lg Re$ 的形式，对具有不同的相对管壁粗糙度的管道都描出了实验点。可以明显地看出，图中可分成三个不同的阻力区，在第一区域（即层流区）中，到 $lg Re \approx 3.3$ 为止，粗糙度的影响没有表现出来，因为所有的粗糙度值位于一直线I上。该区的摩擦系数由下式确定：

$$\lambda = 64 / \text{Re} \quad (1.3.1)$$

随着雷诺数的增大导致附壁层厚度减小，而粗糙度的凸出部分穿透了该厚度，便影响了气流的运动阻力。图2中线II以上即为此区域，称为混合阻力区。该区雷诺数和相对粗糙度都影响到摩擦系数： $\lambda = f(\text{Re}, \Delta/r)$ 。代替综合的簇，在该区域中每一相对粗糙度都有单独的表达式——各自的曲线。当曲线的后面部分呈平行于雷诺数轴线时，表明新的阻力规律性的产生，同时也出现了第三阻力区，称为阻力的平方区或自模（автономельной）区。粗糙度是阻力的决定因素，而气流中紊流的充分发展降低了Re的影响。

为了计算阻力混和区和阻力平方区的摩擦系数，科学家们推荐了大量的关系式。科利勃鲁克-怀特（Колбрук-Уайт）[9]公式得到公认，然而 λ 值以不明显形式表达出来，

且只能用诺模图求解。极其简单的А.Д.阿利特舒利（Альтшуль）公式能给出和上述诺模图非常近似的 λ 值：

$$\lambda = 0.11 \left(\frac{K_s}{D} + \frac{68}{\text{Re}} \right)^{1/4} \quad (1.3.2)$$

式中：D——管道直径；

K_s ——按照管道材料及其完好度由表1.3.1确定的当量绝对粗糙度。

知道了摩擦系数 λ 以后，就可以确定气流在长度为L，直径为D的圆管中运动时的压力损失 ΔP 。达西-维希巴赫（Дарси-Вейсбах）公式：

$$\Delta P = \lambda \cdot \frac{L}{D} \cdot \frac{\rho u^2}{2} \quad (1.3.3)$$

常常需要确定输送一定耗气量所必需的管道直径，而且