

[英]H.G.霍威尔 K.W.迈兹基司 D.泰保 著
上海棉紡織工业公司技术研究委员会 譯

纺织工艺摩擦问题

中国財政經濟出版社

內 容 提 要

本書是討論纖維的摩擦性能及其對紡織工藝過程的影響的專門著作。全書共分三篇：第一篇是對摩擦和潤滑理論的概述，綜述了現有的各種主要理論以及尚待研究解決的問題。第二篇結合理論，闡述了紡織工藝過程中的許多實際問題，比較詳盡地綜述了纖維、紗綫和織物的摩擦理論的現有研究成果。第三篇評述了纖維摩擦、紗綫張力和磨蝕的各種主要測量方法和儀器。書末並有附錄，列舉了在不同實驗條件下紗綫和纖維的摩擦系數的一些典型數值。

全書由蔣學楨同志翻譯、譚炳勳同志校閱，還經華東紡織工學院嚴灝景同志作技術審校。

紡織工藝摩擦問題

[英]H.G.霍威尔 K.W.迈茲基司 D.泰保 著

上海棉纺织工业公司技术研究委员会 译

中国財政經濟出版社

1964年·北京

**FRICTION IN
TEXTILES**

H.G. Howell

K.W. Mieszkis

D. Tabor

Butterworths Scientific Publications

1959

紡織工藝摩擦問題

[英]H.G.霍威尔 K.W.迈茲基司 D.泰保 著
上海棉紡織工業公司技術研究委員會 譯

*

中國財政經濟出版社出版

(北京永安路18號)

北京市書刊出版業營業許可証出字第111號

中國財政經濟出版社印刷廠印刷

新華書店北京發行所發行

各地新華書店經售

*

850×1168毫米1/32 • 8¹⁴/₃₂印張 • 214千字

1964年9月第1版

1964年9月北京第1次印刷

印數: 1~2,100 定價: (科六) 1.30元

統一書號: 15166·198

目 录

原 序.....	(7)
----------	-------

第一篇 摩擦和潤滑理論

第一章 摩擦的一般机理 (泰保, D.Tabor)	(9)
---------------------------------	-------

1. 摩擦定律.....	(9)
2. 库仑摩擦理论.....	(11)
3. 摩擦的表面相互作用理论.....	(12)
4. 摩擦的粘附机理.....	(13)
5. 金属之间的接触面积.....	(14)
6. 电阻测量.....	(16)
7. 光学测量.....	(17)
8. 联接的形成.....	(18)
9. 摩擦理论.....	(21)
10. p 和 s 的相互关系	(23)
11. 极度洁淨金属的摩擦.....	(24)
12. 稳态滑动.....	(25)
13. 简单摩擦理论的局限性.....	(26)
14. 摩擦热点.....	(27)
15. 速度对金属摩擦的影响.....	(28)
16. 脆性固体的摩擦.....	(30)
17. 摩擦、磨损和磨蚀.....	(31)
18. 橡胶的摩擦.....	(32)
19. 结论.....	(34)

第二章 塑料的摩擦和纖維的摩擦 (泰保)	(38)
----------------------------	--------

1. 引言.....	(38)
------------	--------

2.	点接触上的摩擦	(39)
3.	纖維伸直长度上的摩擦	(58)
4.	结论	(63)
第三章	潤滑的机理 (泰保)	(67)
1.	引言	(67)
2.	流体潤滑或流体动力潤滑	(67)
3.	长链化合物的边界性能	(71)
4.	负荷和速度对边界潤滑的影响	(71)
5.	边界潤滑层的最小厚度	(72)
6.	溫度对边界膜行为的影响	(73)
7.	边界潤滑的放射性研究	(74)
8.	边界潤滑机理	(76)
9.	边界膜的剪切性能	(78)
10.	混合潤滑	(79)
11.	聚合物的边界潤滑	(80)
12.	潤滑纖維之间的摩擦	(82)
13.	实验结果的量纲分析	(86)
14.	速度和初始张力的影响	(87)
15.	粗糙度的影响	(88)
16.	结论——单絲和纱线的一般行为	(89)

第二篇 紡織工艺过程中的摩擦

第四章	羊毛的摩擦 (霍威尔, H.G.Howell)	(92)
1.	引言	(92)
2.	羊毛纖維的结构	(94)
3.	摩擦差微效应的实验研究	(95)
4.	摩擦差微效应和毡合	(100)
5.	羊毛的摩擦和弹性	(103)
6.	摩擦差微效应的各种理论	(105)

7. 棘齿理论.....	(106)
8. 不对称场理论.....	(110)
9. 接触点分布的理论.....	(111)
10. 鳞片的弹性各向异性理论.....	(114)
第五章 紡紗过程中的摩擦 (霍威尔)	(122)
1. 引言.....	(122)
2. 粗梳纖維网.....	(124)
3. 罗拉牵伸中的摩擦.....	(127)
4. 牵伸的理论研究.....	(130)
5. 牵伸的实验研究.....	(131)
6. 实验结果的解释.....	(135)
7. 帽锭精纺和环锭精纺.....	(138)
8. 走锭纺纱.....	(142)
9. 摩擦系数和工艺性能的相互关系.....	(144)
第六章 卷繞过程中的摩擦 (迈兹基司,	
K.W.Mieszkis)	(149)
1. 引言.....	(149)
2. 退绕张力.....	(149)
3. 运动纱线对导纱器的摩擦.....	(153)
4. 综述.....	(163)
第七章 紗綫加工成織物过程中的摩擦 (迈兹基司)	(167)
1. 引言.....	(167)
2. 整经中的摩擦.....	(167)
3. 针织中的摩擦.....	(169)
4. 机织中的摩擦.....	(172)
第八章 纖維之間的摩擦对帘子綫强力的影响	
(迈兹基司).....	(175)
第九章 織物中的摩擦 (迈兹基司)	(177)

第三篇 試驗方法

第十章 紗綫和纖維摩擦的測量 (迈茲基司)	(182)
1. 引言	(182)
2. 单点接触时摩擦系数的測量方法	(183)
3. 測量平面上或斜面上的牽引力以估計摩擦	(191)
4. 扭轉方法	(194)
5. 从紧压片中抽引出纖維以測量纖維間 摩擦的方法	(198)
6. 牽伸力的測量	(202)
7. 在杆上或滾筒上滑移紗綫以測量摩擦	(205)
8. 萊批多計	(217)
9. 织物之間的摩擦	(219)
10. 綜述	(222)
第十一章 張力的控制和測量 (迈茲基司)	(228)
1. 引言	(228)
2. 張力裝置	(228)
3. 运动紗綫的張力測量	(235)
第十二章 磨蝕的測量 (霍威爾)	(242)
1. 适用性、磨損和磨蝕	(242)
2. 表面磨蝕儀的一般特性	(244)
3. 磨蝕或抗磨性的评价	(244)
4. 起球現象	(248)
5. 抗磨和機械性能	(250)
附 录——紗綫和纖維的摩擦系数的一些典型数值	(254)

原 序

摩擦在纺织技术中起着极为重要的作用。纤维之间的摩擦，在很大程度上影响着牵伸装置的作用，纱线的强力，纺织机械上导纱器的磨损，处理纤维和纱线的设备上所产生的张力，经过整理的织物的毡合和收缩的可能性，甚至织物的手感。耐纶、涤纶和奥纶之类合成纤维在纺织业中的出现，给加工工艺增加了新的困难，而这些困难，在很多情况下，是由于摩擦的影响所致。由于这种种原因，似乎有必要对纺织工艺过程中纤维的摩擦及其影响加以深入的阐述。我们在这方面的知识还很不全面，我们只是企图为钻研纤维摩擦理论的研究人员，以及要解决由摩擦引起的许多生产上的困难问题的纺织工厂技术人员，写下了这样一本专论。

为了适应以上两类读者的需要，本书共分为三篇。第一篇论述摩擦和润滑的理论，着重讨论目前在物理学上的各种主要见解和尚待解决的许多困难和不完备之处。第二篇阐述纺织工艺过程中的许多实际问题，并尽可能详细说明目前的各种理论。第三篇详细评述用于测量摩擦、纱线张力和磨蚀的各种主要方法和技术。书末并有附录，列举不同实验条件下摩擦系数的一些典型数值。此外，还有详细的参考文献目录，读者可以从那里找到更多实验数据。我们在阐述上虽然想尽可能保持全书一致，但是各章不可避免地某种程度上反映了各个作者的经验和见解。为此，我们在本书目录中写明了每一章的作者。

这本专论的编写，在1954年9月英国纺织学会在比利时根特

召开纖維摩擦讨论会时就开始酝酿了。那次会议的参加者，有本书的两位作者D.泰保和K.W.迈兹基司。但如果没有其他方面的协助，本书的准备工作和完成将是不可能的。

霍威尔
迈兹基司
泰保

1958年12月

第一篇

摩擦和潤滑理論

第一章 摩擦的一般机理

1. 摩擦定律

当一个物体滑动于另一物体之上时，就会产生一种力以抵抗运动，这种力我们称为摩擦力。雷奥那耳多·达·芬奇（Leonardo da Vinci）首先阐明的摩擦的两项基本定律可归纳如下：

（一）摩擦力 F 与垂直负荷 W 成正比例，因而，对于给定的两个物体，摩擦系数 $\mu = F/W$ 是一常数；（二）摩擦实际上与物体之间的接触的几何面积无关。

1699年法国科学家亚蒙东^[1]重新发现以上定律，而在约一百年以后，库仑（1788年）^[17]又作了更充分的探讨和充实。库仑指出，开始滑动所需的力，即静摩擦，一般大于维持滑动所需的力，即动摩擦。然而，他认为，动摩擦几乎与滑动速度无关。这一说法，有时被引为摩擦的第三定律。

库仑曾考虑过摩擦系由于表面之间的粘附所引起的可能性，但当他观察到摩擦与物体的面积无关时，就不得已而放弃了这一理论。后来他提出摩擦主要是由于存在于一切表面上的粗糙不平所致，摩擦的功是用来把一个表面上的粗糙点部分抬起超越另一表面上的粗糙点的。按照这种看法，潤滑剂由于填充了粗糙部分之间的空隙而减小了摩擦。

十九世纪的研究工作者，一般都确认库仑的实验结果，并接

• • •

受他的摩擦糙面理论。但是芬斯 (1785年)^[51]则感到表面之间的粘附力或凝聚性能对摩擦起着某些作用。在静止的表面间, 可以观察到凝聚性能的充分影响, 而在滑动的表面间, 则只有糙面的因素。这可说明动摩擦系数 μ_k 小于静摩擦系数 μ_s 的观察结果, 并可用来 (虽然芬斯本人并没有这样应用) 解释库仑关于静摩擦随着接触时间的增加而增大并逐渐到达上限的稳定值的观察结果。对金属来说, 这种时间短得不易观察到, 而对于木材与木材之间的摩擦, 这一时间以分计, 木材与金属的摩擦则以時計。库仑把这种现象说成是由于各粗糙表面的一种缓慢的吻合所致。芬斯也指出, 摩擦只是大体上与物体的大小无关: 一般来说, 在给定负荷下, 较小的物体所产生的摩擦力, 将略小于较大的物体; 而对于给定的一组物体, 摩擦力的增大并不像负荷的增大一样快。

十九世纪的研究工作, 大都是有关实际工作中所接触到的摩擦问题的。当时没有人对摩擦定律的正确性有任何重大的怀疑。现在看来, 在早期的研究工作中所用的模型, 表面显然为油脂或其他表面膜所沾污。然而我们将从后面一章中看到, 摩擦定律同样适用于润滑表面, 除非在某种情况下, 润滑剂在表面之间形成了尖楔, 例如, 当轴颈在一个充满油液的轴承中旋转时就会产生这种情况。在这种情况下, 润滑剂中的动力学因素有着头等重要的意义。雷诺^[40]于十九世纪七十年代中所作的有关这一问题的理论研究开辟了一个新的领域——流体或液体动力润滑, 这对于动力传动机械的发展是极关重要的。此后, 直到第一次世界大战终了时, 才由哈代等人 (1936年)^[39]开始对摩擦和非液体动力润滑的基本机理加以认真的研究。

过去二十年中曾经提出并发展了几种摩擦理论, 它们实际上可归纳为两大类, 即库仑理论 (或称糙面理论) 和表面相互作用理论 (通常包括粘附或焊接)。

2. 庫仑摩擦理論

庫仑最初假定，滑动时消耗的摩擦能代表把一个表面抬起超过另一表面上糙点所需的功（毕格门，1944年）^[4]。这里有两个困难之点。第一，难以看出为什么这是一种损耗的过程。如果表面毫无粘附的相互作用，人们将看到在沿着一个倾斜的糙点向上时所损失的能量，将在向下时获得。这就像在一个游戏場里滑轨上的一辆沒有摩擦的车辆那样。如果车辆的初始位置高度及最后位置高度相同，那末，它在理论上就能行驶任何长度的水平距离而不致有任何能量的损耗。这种困难可以借助于以下假设来避免，即假设所做的功是用来把一个表面抬到另一表面的糙点之上；而在上面的表面突然降落，把所获得的能量全部损耗在碰撞中，这样所损耗的能量成为热。这好像在游戏場里一个锯齿型的滑轨上的车辆一样；在每个斜面顶端处的致命的碰撞，将把在攀上斜面时所获得的势能损失掉。

第二个困难在于粗糙度的实际值，因为这必须是假定的。如果表面的糙点具有斜率 λ ，则摩擦系数为 $\mu = \tan \lambda$ 。许多材料的 μ 值在0.1与0.5之间，因此 λ 就应该在 6° 到 26° 之间。以洁淨的表面而言， μ 值在1左右是很普通的，这表示 λ 为 45° 。对表面粗糙度所作的详尽的研究指出，存在于金属表面上的细小的糙点很少有大于几度的。此外，摩擦对表面粗糙度的依赖关系一般也是小的。

但在有些情况下，表面粗糙度也可能是十分重要的。如果把两个粗齿銼相互紧压，就显然不易相互滑动。实际上这不是库仑效应，而主要是机械联锁的效应（详冯氏的著作，1952年^[24]）。在极端的例子中，表面糙点必须加以剪切才能产生滑动。如果一个粗糙的表面在另一光滑而较为柔软的表面滑动，后者就会起槽。在粘附机理中，这种现象被认作是由于粘附而引起的摩擦的

基本项之外有附加的犁耕项。这将表明，如果粗糙度因素的说法是确实的话，它将在那些粘附项微小的材料上最为显著；事实也正是如此。拿聚四氟乙烯来说，它的犁耕项值可以很大。这样，当一个坚硬的金属半球滑动于聚四氟乙烯之上时所产生的摩擦力，将由于犁耕聚四氟乙烯或使它起槽需要作功而比一个聚四氟乙烯半球滑动于金属之上所产生的摩擦力大（休烏特和泰保，1952年）^[43]。

表明摩擦与表面轮廓有显著关系的另一实验，是使经整理的织物相互滑动。摩擦力会非常明显地取决于织纹的相对方向。显然这不是由于如上所述的那种犁耕影响，而是可能由于在滑动时每根纱线的被反复拉伸与松弛所致。纱线并不是完全弹性材料，它们虽然也会回复到原来的形状，但是能量却会在这过程中损耗。关于这一问题还未有过详尽的研究，但是它将引起人们极大的兴趣。在橡胶的摩擦行为中，也在某种程度上发生着类似的能量耗散过程。滑动摩擦（以及滚动摩擦——泰保，1955年）中这类变形损耗现象，可能比过去一般所设想的更加经常发生。本书第二章“形变能损失”一节中将对此予以简短的阐述。

3. 摩擦的表面相互作用理論

另一类摩擦理论把摩擦说成是由于滑动表面之间的某种形式的物理性相互作用所致。许纳曼（1950年）^[44]曾指出在相对运动中，分界面处会有电荷的分离，随后有放电现象，所耗散的能量中有很大部分就是这样耗散的。对于洁淨的金属来说，这种现象是很不致于发生的，即使拿非金属来说，这种现象是否很重要也值得怀疑（参阅第二章“静电效应”一节）。在负荷轻微的表面间所产生的大量静电荷，虽然会有效地增加垂直负荷，从而增大摩擦力，但静电机理并不足以作为摩擦的一般理论。

湯林孙（1929年）^[50]在一篇发人深思的专论中，提出了一种截

然不同的表面相互作用理论。他认为表面之间所产生的分子粘附现象，是短距离分子间的力的结果。两个表面相互滑动时，表面原子从它们的平衡位置上被拉开，直至该项位移超越了一定的距离，然后它们在一定的振动后“弹回”到原来的平衡位置上。在这过程中，相等于摩擦损失的能量就成为热量而耗散。这一理论认为整个效应就是一个表面效应，因而它不能解释在没有润滑的表面相互滑动时一般观察到的那种磨损及物质转移的现象。此外，如果湯林孙的理论是正确的话，那末显然它将引导出一种以分子力来解释固体强力的理论；然而，如果不求助于脱节或裂口的性能，这种理论似乎是不可能成立的。

最简单的粘附理论是由霍尔姆（1946年）^[32]、欧恩斯脱和茂桑（1940年）^[28]，特别是包顿和他的学派（1954年）^[10]所提出。这项理论本来专指金属而言，它认为固体之间的粘附，是作为一种类似“冷焊”的宏观现象而产生的。这种理论在分析大部分观察到的摩擦与磨损现象方面曾经证明非常有效，最近还被应用于非金属固体方面。下面我们将对这一理论中有关金属的方面予以详述，并探讨它对于非金属特别是长链聚合物的适用程度。

4. 摩擦的粘附机理

应用于金属摩擦的粘附机理包括下面的一系列简单物理步骤：

（一）一般来说，金属表面的接触不是在它们的几何面积上，而只是在它们的表面糙点的尖端上，因此，实际接触面积将取决于表面糙点本身的变形性能。

（二）在实际接触区域上，由于“冷焊”而产生一种强烈的粘附现象。

（三）进行滑动时，必须剪切开在实际接触区域所形成的联

接点。摩擦力主要就是剪切这种联接点所需的力。

(四) 此外, 某些摩擦功可能消耗于较硬金属的糙点对较软金属表面的犁耕作用。在多数情况下, 它是观察到的总摩擦阻力的一小部分。

(五) 在高速滑动时, 虽然基本的机理不改变, 但实际接触处的摩擦热会大大改变摩擦行为。

(六) 潤滑剂的作用是放入一层薄膜以减少金属的接触, 而薄膜本身则是极易被剪切的。

下面我们将把这些概念逐项予以阐明。

5. 金属之间的接触面积

如果我们能够获得一种分子级光滑的表面, 把它们放在一起, 此时实际接触面积将和几何面积相同。然而, 金属并不是这样。检验金属表面的各种方法, 例如斜截面的方法(莫阿, 1948年)^[40], 表面光洁度计的方法, 多束光线干涉仪的方法(托兰斯基, 1948年)^[49], 和电子显微镜的方法(汉因和赫司脱, 1953年; 曼特, 1952年)^[28, 38], 都表明金属表面不论经过怎样仔细的准备, 以原子大小作量度尺度时, 总是有很大粗糙度的。即使用电镀的方法, 也会产生高达数百埃(1埃= 10^{-8} 厘米)的崎岖不平。当这样的两个表面相接触时, 起始时它们只在糙点的顶端相接触。由于表面力场只能延伸到几个埃的距离, 因此表面的其余部分不能在支承负荷方面起多大作用。这样, 表面之间的接触, 将主要取决于表面糙点的变形。

试将一块硬金属接触于另一软金属的平面部分, 来研究硬金属的一个糙点的行为。为了简化起见, 我们假定这个糙点是半径为 r 的球体的一部分。在极低的负荷下, 表面将作弹性变形。按赫兹的方程式, 得接触圆的半径为:

$$a = 1.1 \left[\frac{Wr}{2} \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right) \right]^{1/3} \dots\dots (1)$$

式中， E_1 和 E_2 为两表面的杨氏模数。负荷 W 增大时，接触圆上的平均压力也将增大，直至到达一临界值时，超过了较软金属的弹性极限而产生了某些塑性流变。负荷继续增大时，塑性变形的区域扩大，平均压力也增大，直至到达一上限稳定值，约为开始出现可塑现象时所观察到的压力的 $2\frac{1}{2}$ 倍。这一上限值 p 为金属的屈服压力，实质上它与金属的硬度相同。这一性能，一般是以宏观的尺度测定的，即把一个大的压痕物体压入表面，以测量在所压印痕上的平均压力 H 。这与一个较硬金属的细小糙点在较软金属上压成印痕的过程基本上是一样的。因此 H 与 p 是相同的。塑性变形开始产生时的负荷，取决于糙点的曲率半径 r 。即使是一个坚硬的钢质表面，如 $r=10^{-4}$ 厘米，它在负荷为 10^{-4} 克时就开始塑性变形；而给出上限值 p 的完全可塑现象，则要在更高一些的负荷时出现。在放大了尺寸的实验中可详尽地研究这种行为，这在泰保(1951年)的著作中也已全面地阐述过。这样，即使采用最微小的负荷，金属糙点的尖端显然也会有塑性变形，而接触面积则将取决于屈服压力 p 与负荷 W 。

金属的特性之一是，塑性屈服压力 p 对于一定的材料是一个定值，它不是明显地依赖于造成变形的印痕物体的形状的。 p 值的顺序为：铝，4公斤/毫米²；退火铜，40公斤/毫米²；加工硬化铜，90公斤/毫米²；工具钢，400公斤/毫米²；合金钢，900公斤/毫米²；碳化钨，1300公斤/毫米²。由此可见，不论表面糙点的形状如何，发生于实际接触区域的压力将几乎是恒定的。因而，实际接触面积 A 可用下面的简单关系式表示：

$$A = W/p \dots\dots (2)$$

同时， A 和它所接触的糙点的数量没有关系，这也是很清楚的。设有 n 个糙点在塑性情况下与面积 $A_1, A_2, A_3 \dots\dots A_n$ 相接触。