

聚四氟乙烯 导轨软带

20.72

王承鹤 编著

轻工业出版社

聚四氟乙烯导轨软带

王承鹤 编著

轻工业出版社

内 容 简 介

本书介绍聚四氟乙烯滑动导轨软带的摩擦与磨损原理、设计要点、使用方法、应用实例，并论述了应用聚四氟乙烯滑动导轨的经济效果与社会效益。

本书可供从事机床、机械及仪器仪表设计、工艺、加工与维修的工程技术人员阅读参考。

聚四氟乙烯导轨软带

王承鹤 编著

轻工业出版社出版

(北京广安门南滨河路25号)

轻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：3¹/₂ 字数：68千字

1987年10月 第一版第一次印刷

印数：1—3,300 定价：0.72元

统一书号：15042·2210

ISBN7-5019-0108-2/TS·0074

前 言

聚四氟乙烯是性能特别优异的一种工程塑料。我国对聚四氟乙烯的研究、生产、应用是比较早的，但一开始是用于军事工业和尖端技术中。在做好四个转移，特别是在军转民的思想指导下，从八十年代初开始，对聚四氟乙烯在民用工业中推广使用的步伐加快了。聚四氟乙烯导轨是利用氟塑料的优良性能与新兴的学科摩擦学的理论获得的一项新的技术成果。这项新技术在国外刚出现不久，我国就已经注意到了，并且进行了独立的研究。

氟塑料导轨软带的研制与应用技术都被列为“六五”国家科技重点攻关项目，并且很好地按期完成了。为了使这项新技术能够迅速推广，编写了这本小册子，介绍了聚四氟乙烯滑动导轨软带的摩擦与磨损原理、设计要点、使用方法、应用实例，并论述了应用聚四氟乙烯滑动软带导轨的经济效果与社会效益。

本书可供从事机床、机械及仪器仪表设计、工艺、加工与维修的工程技术人员使用，也可供大专院校教师及从事有关科学研究的工程技术人员参考。

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 摩擦与磨损.....	(3)
第二节 滑动导轨发展简史.....	(6)
第三节 塑料导轨材料.....	(12)
一、酚醛塑料.....	(12)
二、聚酰胺 (尼龙)	(13)
三、聚甲醛.....	(15)
四、聚碳酸酯.....	(16)
五、聚乙烯.....	(16)
六、环氧树脂.....	(17)
七、聚四氟乙烯.....	(19)
八、金属基塑料.....	(21)
第四节 聚四氟乙烯基滑动导轨软带.....	(25)
一、聚四氟乙烯的一般性能.....	(25)
二、聚四氟乙烯基软带 (4FJ)	(35)
第二章 聚四氟乙烯滑动导轨设计	(41)
第一节 聚四氟乙烯滑动导轨的性能.....	(41)
一、耐磨性.....	(41)
二、摩擦系数.....	(45)
三、防爬性能.....	(48)
四、PV 值	(50)
五 温升.....	(51)

六、承压强度·····	(52)
七、压缩变形·····	(53)
八、蠕变·····	(54)
九、化学稳定性·····	(54)
十、老化·····	(55)
第二节 结构设计·····	(55)
一、软带-金属导轨副结构·····	(55)
二、设计原则·····	(56)
三、设计步骤·····	(57)
四、对粘结软带基体的要求·····	(57)
五、对金属对摩面的要求·····	(58)
六、对软带导轨的要求·····	(58)
七、对软带-金属副的接触要求·····	(58)
第三章 聚四氟乙烯滑动导轨生产工艺·····	(60)
第一节 工艺流程·····	(60)
第二节 粘结工艺·····	(61)
一、粘结的特点·····	(61)
二、粘结机理·····	(62)
三、粘结力形成过程·····	(63)
四、胶粘剂·····	(63)
五、粘结工艺·····	(67)
第三节 机加工·····	(75)
一、软带表面加工·····	(75)
二、开油槽·····	(75)
第四节 装配·····	(76)
第五节 软带导轨的维修·····	(76)
第六节 使用软带前的试验·····	(77)

第四章 聚四氟乙烯软带在滑动导轨上的应用

实例..... (78)

第一节 在金属切削机床上的应用..... (78)

一、普通机床..... (78)

二、精密机床..... (81)

三、数控机床与加工中心..... (83)

第二节 在仪器仪表中的应用..... (84)

第三节 在机械装置中的应用..... (85)

第四节 在维修滑动导轨上的应用..... (85)

第五章 应用聚四氟乙烯软带的经济效益与社会效益

会效益..... (89)

第一节 机械产品生产厂的经济效果..... (89)

第二节 机械产品使用厂的经济效果..... (92)

第三节 软带生产厂的经济效果..... (93)

**第四节 与使用外国进口软带在经济上的
比较**..... (93)

第五节 社会效益..... (94)

参考文献..... (94)

第一章 概 述

从70年代末、80年代初以来，有一大批新的科学技术群体崛起；归纳起来，大致可以分为六大群体：

- (1) 信息技术；
- (2) 新材料技术；
- (3) 新能源技术；
- (4) 生物技术；
- (5) 海洋技术；
- (6) 空间技术。

其中，信息技术是所有技术群体发展的核心与先导，新材料技术是其它技术群体发展的物质基础。信息技术、新材料技术与新能源技术被认为是现代人类文明的三大支柱。

当然，材料对于人类文明一直是一个极端重要的问题。人类早期经历了石器时代、青铜时代与铁器时代，这三个时期之所以这么命名，就因为当时人们赖以生存和发展的就是这些材料。到了现代，材料问题更为突出。因为，不论是像宇宙航行中的尖端技术，还是人类日常生活的用具，要想得到圆满的解决，总是与材料问题的解决有关。为了满足越来越高的使用条件，还要降低成本，所以，几乎没有一个工业部门不是把材料作为关键问题的。工程设计的目的在于制造出能够满足预定要求的系统或装置，而这些系统或装置的性能、寿命与成本取决于材料的特性，所以，选择适当的材料就成了工程设计中一个特别重要的方面。

因此，新材料出现的速度越来越快，近几十年，简直是

直线上升，已形成了新兴的材料学科。

远在古希腊文明史上就已记载有七种金属：金、银、铜、铁、锡、铅和水银。第一次炼出铁来，很可能在公元前1500年左右。从古希腊时代一直到公元1700年前后，没有发现和使用什么新的金属。从1700年以后，有五十多种天然金属被从它们的化合物中分离了出来。而过去三、四十年中，又用原子加速器制成了几种人工合成的新金属。

可以说，直到本世纪初，材料种类还是相当少的，不过是几种人们早已熟知的一般物质：铁、铜、铅、木材、玻璃、陶瓷和橡胶等。接着，钢和铝被冶炼出来了，工程塑料也出现了；材料世界出现了一个新天地。在近六十年里，新金属、新合金、新橡胶、新陶瓷以及新的工程塑料品种大量出现。当今，材料的品种已经是1900年的几百倍。据估计，如果把成分与等级不同考虑进去，当今约有七万种以上的材料品种。以汽车来说，1900年的时候，它使用的材料还不到100种，而现代的汽车需用的材料则在4000种以上。

在过去的几十年间，极少有什么材料能像塑料那样对我们的日常生活产生这么大的影响。工程塑料的出现被认为是二十世纪的十大科技成果之一。甚至有人认为，自本世纪中叶以来，人类已经开始进入高分子合成材料时代。

说起来，塑料并不是什么新颖的事物。几千年前，人类就已经进行粘土的压制与焙烧；实际应用人造塑料的最早记录约在一百多年前，本世纪初就有了人工合成的塑料。1863年，两位美国人用刚发现不久的赛璐珞来模制弹子游戏用的弹子以代替原来用稀少而珍贵的象牙制品。1909年，一位比利时人贝克莱特使酚醛树脂获得实际应用，通常这被看作是第一代塑料。然而，只是在本世纪三十年代起，塑料才开始被大

规模地应用，而且对科学技术、国民经济乃至人们的日常生活起着无可比拟的作用。

现在，塑料的用途越来越广泛——用于制造汽车、飞机、房屋、服装、军事装备，甚至用作人体功能材料。1984年制造出了塑料车身、塑料弹簧、塑料玻璃的汽车；1983年，在美国加利福尼亚州试验一架用塑料部件粘接起来的小型飞机取得成功；大型的塑料客机将于1992年建造好。潜水艇的塑料壳体正在研制。在医学方面，人们正在用塑料制品取代失去功能的人体器官；现在，大多数人工心脏是用塑料制造的，许多人工关节也是用塑料制造的，等等。

塑料应用的辉煌事例不胜枚举，它的应用前途正不可限量。据估计，1985年全世界塑料生产按体积计算已超过钢铁产量；以金属消耗量惊人的美国来说，到1985年，它的塑料用量已经超过了钢、铜和铝的用量总和，足见塑料在人类生活中的重要地位。

本书介绍的聚四氟乙烯导轨软带也是利用聚四氟乙烯这一工程塑料特性的一项新技术。

第一节 摩擦与磨损

摩擦与磨损现象广泛地存在于所有的工程以及人们生活的各个方面。人类在生活实践中，早就察觉到这个问题的重要性，一直在研究与努力解决由于摩擦与磨损带来的各种问题，在降低摩擦与减少磨损方面积累了不少经验，在理论上也进行了一些探索，至今仍然是有价值的。

但是，总的来说，过去对摩擦与磨损问题在工农业、国防上具有的经济方面与技术方面的重要意义估计不足，认识

不够，所以，在这方面实际解决的措施与理论上的进展都远远不能适应当今科学技术飞速发展的步伐。

1966年，在英国发表了有名的约斯特报告。报告大声疾呼摩擦与磨损问题具有重大的经济与社会意义，并建议由“摩擦学”这么一门学科把摩擦、磨损与润滑等方面的研究有机地联系起来。并明确指出，这是一门新兴的边缘学科，它的基础是物理学、化学、数学、力学、冶金学、材料科学、机械工程学及工程实际等。这个报告曾引起世界科学界及政府部门的极大兴趣与反响，从此，对摩擦与磨损问题的研究才蓬蓬勃勃地发展起来。

由此可见，虽然人类很早就注意到了摩擦现象，15世纪的达·芬奇、17世纪的亚芒顿与18世纪的库仑都先后建立了摩擦的基本概念，提出了摩擦的基本公式与进行了摩擦试验；但是，摩擦、磨损与润滑形成一门完整的学科，只不过是十多年来的事，所以，这门学科中一些问题还有待于实践与研究才能解决。例如，许多世纪以来，人们碰到的摩擦与磨损问题，基本上是一件金属之间的问题，因而，迄今为止，对这一类摩擦的规律从理论上已有较成熟的阐述，在实践上有较好的解决方案。如前所述，本世纪以来，特别是近几十年来，大批的塑料制品涌入各个工业部门，出现了金属与塑料的摩擦和塑料与塑料的摩擦等新的问题，对这些领域的探索至今还是凤毛麟角，因为对对这些问题的研究往往要涉及高分子化学、高分子物理、复合材料等等学科，大大地扩展了摩擦学的领域，也提出了许多实践上与理论上的问题，期待我们去解决。

那么，到底为什么摩擦与磨损问题受到各方面极端的高度重视与得到这么迅速的发展呢？

第一、摩擦与磨损问题大量地、普遍地存在于一切机器设备中。由于工业发展的速度很快，各种机构、机器设备及系统的工作条件日益苛刻，即功率增大，速度加快，载荷与工作温度的变化范围都在迅速增大，但是，与此同时，都要求设备的尺寸减小，温升降低，可靠性与精度提高，寿命延长——也就是性能的提高，而且还要求能耗大大降低，成本尽可能低。要满足所有这些要求，摩擦、磨损与润滑问题显得很突出，而单纯依靠某个学科已经不可能解决问题，促使摩擦学发展成一门综合性的边缘学科，依靠它来解决这方面的问题。

第二、摩擦与磨损问题，一经重视，认真解决，收效很快，效果显著，而花费甚小。

据统计，各种机器设备、机构与系统，大约有80%的坏、损零件是由于磨损造成的，世界上能量的消耗约有1/3到1/2消耗在摩擦上。在美国，消耗能源最多的四大部门，交通运输、电力、制造业以及商业和民用，1977年消耗的能源占全国能源消耗的80%，但是，其中将近一半是在使用过程中未经作功而损失掉的。照这样下去，到1990年，这四个部门的能源损失将达到56%。这些数字是十分惊人的，但是，那些坏、损的零件与能量的消耗，其中有相当大的数量并不是不可避免的。只要重视解决摩擦与磨损问题，所带来的收益更是令人惊讶！据估计，1966年英国因此可以节约5亿英镑以上，日本1974年应能节约27亿多美元，美国是120~160亿美元，联邦德国每年可节约100亿马克。以上这些估计或统计往往还是比较保守的呢！

第三、对现代各种机械装置、仪器及其它系统的设计，要求在设计阶段就能应用摩擦学的理论作指导，并用来解决

制造、使用、保养及维修中的问题。这促使人们对摩擦与磨损问题的研究；而各种装置在复杂条件下使用出现的问题，又反过来验证与丰富摩擦学理论。由于工程塑料的优越性能，各种装置中相继运用塑料轴承、塑料齿轮、塑料活塞环、塑料导轨等等，这就要求我们对塑料摩擦学进行探讨。

第二节 滑动导轨发展简史

导轨，应用非常广泛，从袖珍的装置到巨大的船台，从普通的挖掘机到超精密的仪器，从日常生活用品到宇宙航行装置都要使用。导轨，往往是影响这些机械装置、设备、系统的精确度、可靠性以及寿命的主要因素之一。例如，对于金属切削机床，导轨是安装精度的基础，也是机床寿命的基础。导轨之于许多机械设备、装置、仪器、机构、系统，类似腿脚之于人，虽然不如头脑与心脏那么重要，但如没有它或不灵便或不强健也是不行的。

导轨的功用主要有三方面：承载，导向与定位。

根据导轨的功用，对导轨的一般要求是：

- (1) 有足够的强度与刚性；
- (2) 具有适当的导向精度；
- (3) 良好的精度保持性；
- (4) 低速运动平稳与定位精确；
- (5) 运动中和工作中不产生振动；
- (6) 导轨副间的摩擦力小、操纵省力、灵便、节省能源；
- (7) 易于润滑；
- (8) 结构简单，制造、检验、装配与维修方便；
- (9) 价格便宜。

归纳起来，对导轨的要求主要是：耐磨、减摩、精确、防爬、防振、简单。并不是所有的机械装置、仪器等都要求导轨全面地具有这些性能和特点，而且，首要的性能要求也不一样。

传统上使用的导轨基本上都是金属导轨，主要是铸铁导轨。铸铁导轨的优点是：可以与基体制成一体，结构简单；价格便宜；阻尼性能较好。但是，随着科学技术的进步与工业的发展，出现了许多新设备，对原有装置的性能的要求也提高了。以机床为例，由于数字控制机床的出现，对导轨的要求提高了，要求它更耐磨，在低速与小位移时不出现爬行，能够精确定位等。铸铁导轨就不能适应这些要求了。铸铁导轨的主要缺点有：

(1) 摩擦系数大。干摩擦时，铸铁对铸铁的静摩擦系数达0.35，油润滑时为0.142。由于摩擦系数大，移动部件由手操纵时，相当费力；机动时，耗能较多。

(2) 爬行。也就是运动部件在低速或小位移时出现一快一慢、一停一动与跳跃式地运动状态。这种现象出现的根本原因之一是静摩擦系数与动摩擦系数差大（铸铁与铸铁的静、动摩擦系数之比大体上是2比1）；这对铸铁导轨来说是先天性的缺点。

(3) 干摩擦时根本不能工作。有些高精度的仪器不允许加润滑剂；有些导轨的位置不易润滑或润滑剂存留不住；有些导轨总的润滑状态不错，但不能保证整个接触面上不出现局部的干摩擦状态。在所有这些情况下铸铁导轨都满足不了对它的要求。

(4) 不耐磨。根据国外的检测，在正常的压力下，润滑充分，防护很可靠时，铸铁导轨每年磨损量约为0.004~

0.008厘米；正常维护下磨损约为0.03~0.12厘米；维护不良时，每年磨损量可能到0.25~0.30厘米，甚至更高。我国的情况更差。仍以机床为例，根据专业人员对典型工厂使用情况调查与分析，一般机床出厂精度丧失期限不到三年。这是很惊人的，因为现在对机床寿命要求是八年以上，而有些国家已经把机床寿命规定为十二年。

在过去的许多年中，对于导轨出现的技术难题就是一个耐磨问题。人们进行各种各样的研究与试验，只是为了找到各种耐磨的途径。今天，情况有了根本性的变化。耐磨性仍然是一个主要问题；与此同时，防止爬行的问题显得很突出；在地球上资源日渐短缺的今天，节省材料，特别是节省金属材料、节能、节省润滑剂也变得重要起来；在竞争更加剧烈的情况下，价格的考虑成了决定性的因素之一。即便只从技术问题来说，需要考虑的因素远比过去多，而且错综复杂。

为了满足对导轨的要求，陆续出现了一些新型的导轨，并且都已经在生产中应用，证明都是行之有效的。新型的导轨有：

- (1) 静压导轨；
- (2) 动压导轨；
- (3) 气浮导轨；
- (4) 滚动导轨；
- (5) 各种卸荷导轨；
- (6) 对铸铁导轨表面进行硬化处理；
- (7) 在铸铁导轨上镶装钢或有色金属板；
- (8) 非金属无机材料导轨；
- (9) 塑料导轨。

各类导轨各有其优缺点。

静压导轨的优点是：两摩擦面为油膜分开，没有磨损，精度保持性好；油膜有均化误差作用，可以满足高精度要求；摩擦系数极小，为 $0.0005\sim 0.001$ ，远远小于铸铁滑动导轨的摩擦系数（静摩擦系数为 $0.4\sim 0.2$ ，动摩擦系数为 $0.2\sim 0.1$ ），大大降低所需牵引力，减少摩擦发热；静、动摩擦系数差极小，不会出现爬行现象；低速移动准确，均匀，运动平稳；具有吸振能力；承载能力大。

静压导轨的优异性能可以全面地满足各种装置与仪器的高要求。但是，它结构复杂，需要一套液压系统，成本高昂；调整颇麻烦；在一些情况下，运动件容易发生飘移现象；受到水平作用力的时候，运动件退让量较大。

气浮导轨为目前国内外许多精密装置与精密仪器所采用。它摩擦系数小，运动轻便、灵活，没有磨损，没有爬行。但是，它需要一套压缩空气与净化、稳压装置，结构复杂，成本高昂，维护与保养也较困难。所以，适用范围不很广泛。

动压导轨是当运动件的运动速度足够高的时候，由于动压效应在两导轨面间形成油楔，有效地将两摩擦面隔开，这时，没有磨损，运动轻便，机械效率高；油楔有承载能力大、吸振的能力。但是，在导轨面上开油腔的工艺复杂；启动与停动时仍然有磨损；最主要的是，大多数导轨的运动速度都低，不足以形成动压效应。

滚动导轨主要用于中小型设备或仪器仪表上。它的优点是：摩擦系数小（ $0.0025\sim 0.005$ ）；不论高速还是低速运动，摩擦系数基本上不变，没有爬行；所需功率小，摩擦发热小；定位精度高，重复定位误差约为 $0.1\sim 0.2$ 微米（滑动导轨一般为 $10\sim 20$ 微米，在使用防爬措施如液压卸荷等之

后, 可达 $2 \sim 5$ 微米); 所需牵引力小, 运动轻便; 滚动体的运行指标一般可以达到 $10^5 \sim 10^6$ 米, 与滚动体相配的淬硬钢导轨具有极高的耐磨性, 寿命可达 $10 \sim 15$ 年, 精度保持性好; 润滑系统简单, 维护方便 (一般只需更换滚动体)。

但滚动导轨结构复杂, 制造困难, 成本高昂; 抗振性较差; 此外, 滚动体对污染比较敏感, 必须有较好的防护装置, 也存在飘浮问题。

为了降低导轨面的比压以提高导轨的耐磨性, 或者为了减小导轨面的摩擦力以提高运动的灵敏性, 常采用机械的或液压的卸荷导轨。这类导轨的主要缺点是结构复杂, 制造与维修都较困难, 成本高。

对铸铁导轨表面进行各种硬化处理与镶装各种钢或有色金属板, 目的都是提高耐磨性。这是最早出现与采用的一些技术措施, 至今也还相当广泛地在使用。这方面的方法非常多。采用各种耐磨铸铁作导轨材料也应属于这一类型。因为, 虽然整条导轨乃至基体都是耐磨铸铁作成, 目的仍然只是提高导轨表面的耐磨性。例如, 磷铜钨铸铁的耐磨性能比普通灰铸铁高 $1.5 \sim 2$ 倍; 高磷铸铁高 1 倍左右; 钒钨铸铁高 $1 \sim 2$ 倍; 稀土铸铁的耐磨性比灰铸铁也有明显的提高; 铬钼铜铸铁与铬铜铸铁都高一倍左右。此外, 有对铸铁导轨表面进行表面淬火等措施: 有火焰淬火, 高、中频感应加热淬火 (耐磨性提高 1.5 倍), 接触电阻淬火 (耐磨性提高近一倍)。也有采用对铸铁导轨表面进行化学处理方法的, 如渗碳、气体碳-氮共渗、氮化、软氮化、氰化等。还可以对铸铁表面镀钼、喷钼、镀铬、喷涂铬等等, 都可以在相当大程度上提高耐磨性。镶装各种淬火钢的耐磨性提高更多, 可以到 $5 \sim 10$ 倍。