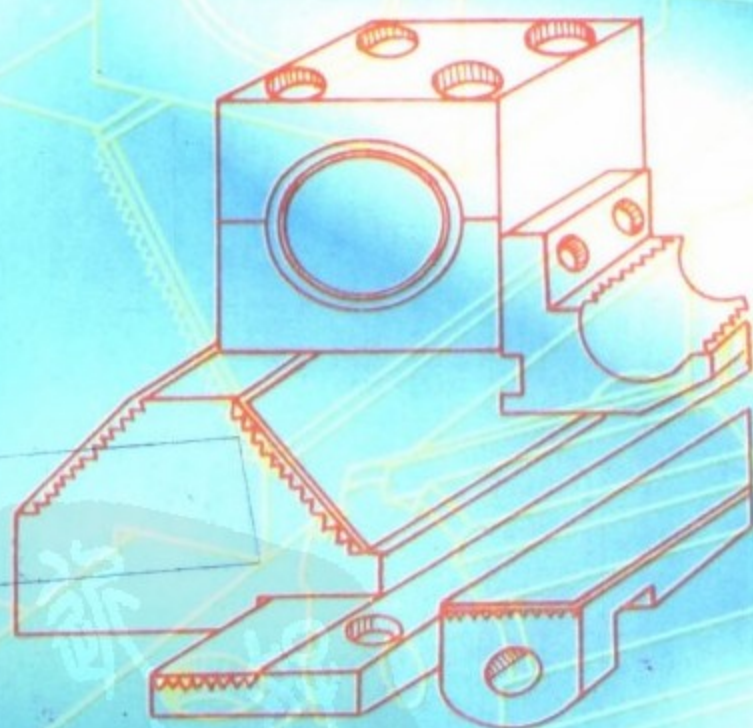


塑料导轨

应用技术

叶瑞汶 冯建跃 陈丽能 编著



机械工业出版社

PDG

塑料导轨应用技术

叶瑞汶 冯建跃 陈丽能 编著



机械工业出版社

新
解
答
PDG

本书系统地介绍了塑料导轨的材料及其性能、摩擦磨损原理、设计要点、应用工艺与实例。

全书分为九章，前五章是理论基础，即：机床导轨概论，常用耐磨工程塑料，聚四氟乙烯及其制品，塑料导轨的摩擦与磨损和塑料导轨的防止爬行特性。后四章是应用技术，即：塑料导轨的工艺设计，粘结工艺，涂敷工艺，注射成形工艺和镶装工艺。

本书可供从事机床设计、机械加工及机械维修的工程技术人员、科研人员和相关专业的高校师生阅读，也可供从事天体望远镜、电子显微镜、医疗精密机械、精密仪器和化工机械等方面的设计、操作与维修技术人员参考。

图书在版编目 (CIP) 数据

塑料导轨应用技术/叶瑞汶等编著. —北京：机械工业出版社，1998. 7

ISBN 7-111-06383-X

I. 塑… II. 叶… III. 机床-导轨 (机械)-塑料制品
IV. TG502.31

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (98) 第 12264 号

出版人：马九荣 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

责任编辑：余茂祚 版式设计：张世琴 责任校对：罗凤书

封面设计：姚学峰 责任印制：王国光

（河南宏达印刷厂印刷）·新华书店北京发行所发行

1998 年 8 月第 1 版第 1 次印刷

850mm×1168mm $1/32$ · 4.875 印张 · 103 千字

0 001 - 300 册

定价：10.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

前 言

我国塑料工业的起步比较晚，塑料导轨的应用也比西方工业化国家晚了大约 10 年。在机床上尝试用夹布胶木做滑动导轨副始于 50 年代，60 年代开始采用热喷涂方法将聚乙烯喷涂到导轨面上。这些主要用于机床维修，旨在减少导轨的磨损，提高使用寿命。

其实，早在二次大战期间，美国就已经采用聚四氟乙烯等工程塑料来解决原子弹生产中的技术关键问题。接着又在月球飞船阿波罗号上成功地采用金属基聚四氟乙烯作为自润滑轴承材料。现在的意大利菲亚特汽车，也采用聚四氟乙烯及其合成材料所做的轴承。

作为塑料导轨主要材料的聚四氟乙烯 (PTFE)，是美国杜邦公司青年化学家普伦凯特 (R. J. Plunkett) 于 1941 年研制成功的。它具有极低的摩擦因数和自润滑能力；能有效地防止低速爬行；耐磨性好，并可保护对磨摩擦副不受擦伤；化学稳定性高，无毒；加工性好和成本低等一系列的优异性能，是制作滑动摩擦副最理想的材料。特别适用于诸如数控机床等具有微电子脉冲微进给系统的精密机械和精密仪表。

受国外塑料导轨飞速发展的启示,从70年代开始,我国的一些机床厂开始从外国进口塑料导轨材料。原机械工业部所属的北京和广州等机床研究所,用了不到10年的时间,把国外行之有效的几种塑料导轨材料,先后一一开发出来,并一一形成批量生产能力。目前,我国生产的塑料导轨材料已经完全能满足国内市场的需要,并且还大批量的出口国外市场。

但是,尽管报道塑料导轨方面的研究和试验成果的论文、资料不少,却没有一本系统而完整的专著,我们金华职业技术学院在教学中也感到很大的困难。

塑料导轨和“不粘锅”一样,已经不是一件鲜为人知的事。但是,知道塑料导轨与“不粘锅”是一对孪生兄弟的人并不多,知道这是怎么一回事的人,则更少了。用“不粘锅”炒菜的人可以不问“所以然”,但作为一个教师,一个技术人员,是不可回避这个问题的。

要回答“塑料导轨”是怎么一回事,确实不是一件容易的事。从概念和定义出发,势必牵涉到高分子化学、高分子物理、复合材料、合成胶粘剂、摩擦学、机械和机床、仪器设计等机械和化工两个方面的基础理论。这种学科式著作,其篇幅肯定庞大,我们摒弃了这一思路。这里,我们“开门见山”,直接从塑料导轨的应用及其实效出发,“以机为体,以化为用,机化

结合”的方法，用简明扼要的化学理论来回答各种塑料导轨的结构、原理、性能和特点，目的是为机械工程师提供选用塑料导轨材料所必要的数据、实例和可行的工艺方法。对于现在和将来从事机械工程的工人、技术员、工程师们，也需要这样一本实用性的科技图书，同时也为相关专业的高校师生提供了一本教学参考书。

在本书的写作过程中，得到了我国著名的塑料摩擦学专家王承鹤教授、金华塑料总厂徐鸿生高级工程师和南京机床厂郑洁明工程师的大力支持。浙江大学马骥教授，在我们多次易稿过程中，力矫前非，析疑扶正，为提高书稿质量作出了重要贡献，在此一并表示深切感谢！

鉴于作者才学所限，未敢自信，切望读者指其疵谬，励为驳正！

作者



目 录

前言

第一章 机床导轨概论	1
一、数控机床对导轨的技术要求	1
二、塑料导轨的种类及其应用	3
三、现代机床的滑动导轨	8
四、金属导轨面的加工方法	17
第二章 常用耐磨工程塑料	23
一、热塑性耐磨塑料	24
二、热固性耐磨塑料	31
三、环氧抗磨涂层及其性能	34
四、镶嵌式自润滑导轨	40
第三章 聚四氟乙烯及其制品	43
一、聚四氟乙烯的分子结构	43
二、聚四氟乙烯的性能	46
三、聚四氟乙烯材料的摩擦行为	49
四、填充聚四氟乙烯导轨软带	55
五、三层复合导轨板	58

第四章 塑料导轨的摩擦与磨损	62
一、滑动导轨的摩擦形式	62
二、塑料滑动导轨的磨损机理	67
三、塑料的蠕变与老化	70
四、六种导轨材料摩擦磨损特性比较	75
第五章 塑料导轨的防止爬行特性	80
一、滑动导轨爬行的临界速度	80
二、低速爬行的速度范围	82
三、导轨油的防爬性能	86
四、塑料导轨的防止爬行性能	88
第六章 塑料导轨的工艺设计	95
一、工艺设计的基本原则	95
二、工艺设计的基本程序	97
三、塑料导轨的粘结问题	104
第七章 塑料导轨的粘结工艺	110
一、软带粘结的技术要求	111
二、导轨软带的粘结工艺	113
三、加工与装配	120
四、导轨板的粘结工艺	122
第八章 塑料导轨的涂敷工艺	126
一、涂敷导轨的设计要求	126

二、环氧涂层的涂敷工艺	129
三、含氟涂层的涂敷工艺	132
四、涂敷工艺在机床大修中的应用	134
第九章 注射成形与镶装工艺	138
一、注射成形工艺	138
二、聚甲醛导轨板的注射工艺实例	142
三、机械镶装塑料导轨板实例	145
参考文献	147



第一章 机床导轨概论

导轨是数控机床的重要支承结构之一。导轨的精度和耐磨性，是保证机床精度和延长使用寿命的关键因素。历来受到机床设计和制造工程技术人员们的充分关注。

一、数控机床对导轨的技术要求

数控机床必须在程序控制下实现全自动、高负荷、高效率和长时间连续工作。在工作过程中，最好能在一次定位下将零件从毛坯加工成成品，既要能实现大切削量的强力粗加工，也要能进行半精和精加工，并保证零件的精度和表面粗糙度要求。所以，数控机床导轨，要求重复定位精度高、刚度好、微进给时无爬行、寿命长。

具体体现在：

(1) 支承刚度 数控机床的主电动机功率，一般比同类型通用机床约高 50%~100%。因此，导轨应有更高的静、动态刚度和抗振性。有的国家规定数控机床的刚度比通用机床至少高 50% 以上。

(2) 导向精度 数控机床导轨的导向精度要求较高，如导轨面的直线度，通用机床为 0.02/1000，数控机床导轨为 0.005/1000~0.01/1000。导轨面的配合性质和公差等级，常

用 H6/h5、H7/h6、H6/g5、H7/g6 等配合。对导向精度要求较低的导轨面，可用 H8/h7、H8/f8 等配合。

(3) 表面粗糙度 表面粗糙度直接影响导轨副的接触刚度和抗振性。通用机床导轨的导向面表面粗糙度为 $R_a0.63 \sim 2.5\mu\text{m}$ ；数控机床导轨的表面粗糙度在 $R_a0.16 \sim 0.63\mu\text{m}$ 。

(4) 低速运动平稳性 数控机床主轴最高转速比同规格通用机床高一倍以上。进给速度上限，一般机床为 $2 \sim 4\text{m/min}$ ，数控机床已普遍为 $10 \sim 15\text{m/min}$ ；但低速进给速度却又低到 0.05mm/min ，微小位移仅为 0.001mm/次 。这样的微进给运动，一般的金属导轨副极易产生爬行现象。对于脉冲进给的数控机床是不允许出现爬行现象的。

(5) 导轨布局 数控机床加工时，主轴转速、进给速度均大大高于通用机床，切削用量大，切屑多，产生的切削热大于通用机床。导轨的布局设计要充分考虑畅通的排屑需要，以便让切屑更快地带走更多的热量。如图 1-1 所示数控高效转台自动钻床（德国产品），将主轴后倾 30° ，把床身和工作台的导轨都做成斜置导轨，排屑和操作都很方便。

与通用机床相比，数控机床采用斜置导轨比较多。导轨的倾斜角度，对立式床身，一般为 30° 、 45° 、 60° 、 75° 、 90° 。较小的倾斜角度，人机操作性差，排屑不方便；较大的倾斜角度，导轨导向性不好，受力情况差。常用倾斜角度为 45° 、 60° 、 75° 。对于中、小型的数控车床，导轨的倾斜角度一般采用 60° 。

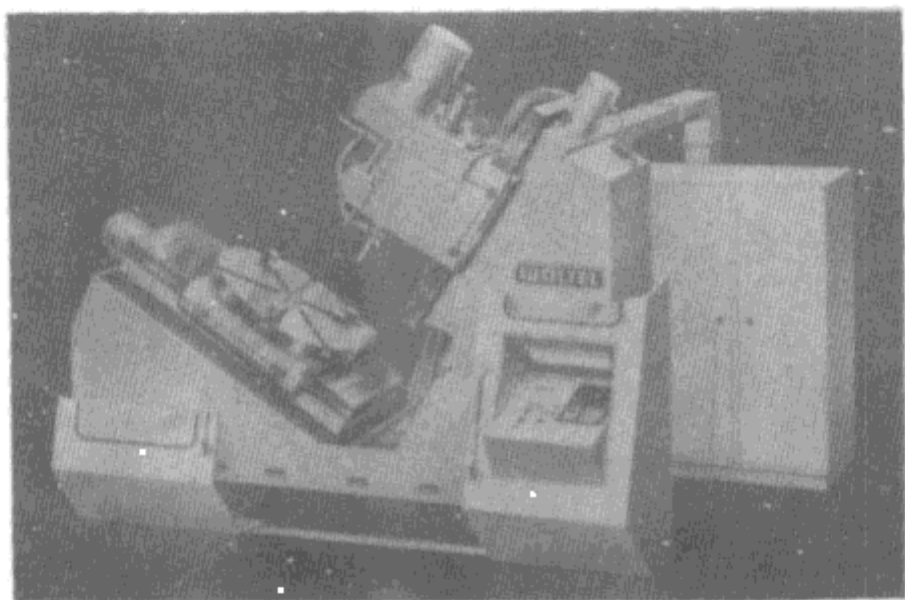


图 1-1 数控高效转台自动钻床的斜置导轨

二、塑料导轨的种类及其应用

传统的机床滑动导轨，一般指铸铁-铸铁、铸铁-淬火钢组成的滑动副。它是指机床的支承部件（如床身、立柱、横梁）和与之作相对滑动的执行部件（如工作台、溜板、刀架）相匹配而成的导轨副。在支承部件上的导轨称支承导轨或固定导轨，简称下导轨；在执行部件上的导轨称运动导轨或动导轨，简称上导轨。

这里所讨论的塑料导轨，是指塑料-金属滑动导轨副。就是以刚度高的固定导轨为基础，再在移动部件的导轨上贴或涂覆一层耐磨的塑料。图 1-2 是粘贴填充聚四氟乙烯导轨软带的示意图。所以，塑料导轨也称贴塑料导轨。

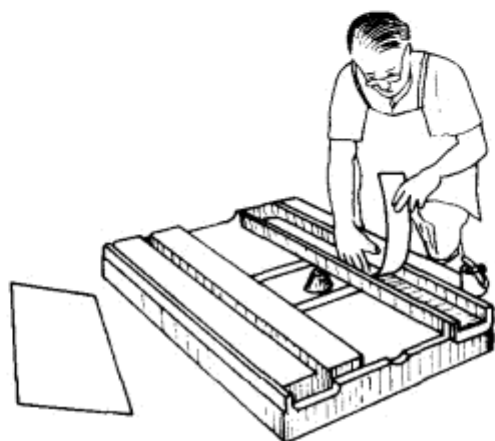


图 1-2 粘贴填充聚四氟乙烯导轨软带示意图

支承塑料导轨面的仍然是金属导轨及其移动部件。采用塑料导轨的主要目的在于：①克服金属滑动导轨摩擦因数大、磨损快、低速容易产生爬行和手动操作时手感重等缺点；②保护与其对磨的金属导轨面精度和延长其使用寿命。

使用耐磨工程塑料制造机床摩擦副的有：塑料导轨、塑料轴承、塑料涂覆的蜗母条、镶条、压板和活塞表面等（见图 2-1）。

1. 塑料导轨的种类与品牌

在机床导轨中采用 PTFE 为基的导轨塑料制品，国内外常用的主要有：

1) 填充聚四氟乙烯 (PTFE) 导轨软带，由美国 SHAM-BAN (霞板公司) 首创生产的 Turcite “B” 导轨软带，我国正式称“填充聚四氟乙烯导轨软带”，简称导轨软带。

2) 改性 PTFE 三层复合导轨板。国外最有代表性的产品, 是英国格拉西尔 (Glaciers) 金属公司生产的“DU”和“DX”, 我国称为“三层复合导轨板”, 简称导轨板。

3) 以环氧树脂为主的耐磨涂层材料, 首先由德国滑动涂层技术公司 (GLEITBEJAD-TECHNIKGmbH) 开发, 由德国罕斯·史密特 (HansSchmidt) 塑料加工厂生产, 其典型产品有 SKC-3。

以上三种材料, 国内都有相应的工厂或公司批量生产。在这三种工程塑料中, Turcite “B” 类型的导轨软带, 在数控机床、精密机床、大型和重型机床中应用最多, 它不仅工艺性好, 而且成本低, 抗低速爬行性能也好。如果为了解决低速爬行而采用直线滚动导轨的话, 则要付出比导轨软带高 20 倍的投入。

此外, 日本等国在注塑机、压力机等难以形成油膜的滑动副上采用 (Oiles) 嵌镶式自润滑导轨。它是把聚四氟乙烯、石墨或二硫化钼、润滑油等润滑剂渗透与嵌入铸铁导轨、镶条或压板的基体内, 制成嵌镶式自润滑导轨等产品。

耐磨工程塑料的品种很多, 对于不苛求防止爬行的, 但要求耐磨的摩擦副, 可以采用酚醛塑料 (夹布胶木)、聚酰胺 (尼龙) 等; 既要耐磨, 又要防腐的摩擦副, 可以采用低压聚乙烯等塑料; 还可以根据摩擦副的工作条件和工作环境的不同, 选择不同的耐磨塑料。详见第二、三章。

2. 塑料导轨的实用价值

理论和实践表明: 以聚四氟乙烯为基的工程塑料, 具有

摩擦因数低、自润滑性能好、能有效防止低速爬行、保护床身导轨不受擦伤、耐磨性好、加工性好、化学稳定性高和成本低等一系列优点。是满足现代机床发展需要的最理想导轨材料。

其主要原因是：

1) 数控机床对于导轨的要求是：重复定位精度高、刚度 high、微进给时无爬行、寿命长等，采用氟塑料导轨能满足上述要求。所以，现代数控机床中的滑动导轨大多采用塑料对金属导轨副，传统的灰铸铁对灰铸铁导轨副，在进给运动导轨中几乎不采用了。对定位精度特高、微进给位移均匀、灵敏度等有特殊要求的导轨，则采用直线滚动导轨。

2) 在大型和重型机床上，采用氟塑料导轨可以防止床身导轨面擦伤，特别适用于润滑不良或无法润滑的导轨，例如垂直导轨、横梁导轨等。

3) 在严重污染的润滑条件下，采用氟塑料对铸铁的导轨副是最合适的。它的磨损量比淬火钢对铸铁的导轨副要小得多。

以聚四氟乙烯为基的工程塑料作为导轨材料，当然也有缺点，即导热性差，热导率只有金属的几百分之一；线膨胀因数大，约为金属的 3~10 倍；吸水吸油后体积膨胀，受载后的冷流性。这些因素都影响导轨尺寸的稳定性。因为塑料品种比较多，优缺点程度不尽相同，选用时要注意。一般认为，以填充聚四氟乙烯 (PTFE) 最为优越，我国有专业的聚四氟乙烯树酯的生产厂家，如浙江衢州化工厂等。

3. 国内外塑料导轨的应用情况

国内外应用塑料导轨的一些典型事例，见表 1-1。

表 1-1 国内外采用塑料导轨的典型机床

导轨材料	机床名称	国家	生产厂家	年代
Turcite “B”、 TSF 等 导轨软 带	磨床（用于磨头导轨上）车 床	德国	瓦德里布·科堡	1997
	PN420 型数控车床	德国	计得美	1977
	VDFP560 系列车床	德国	伯林格尔	1975
	镗铣床、重型仿形车床立式 钻镗床、多轴钻床	德国	Busak Luyken	1975
	仿形车床	英国	邱吉尔	1997
	数控卧式转塔车床			1975
	数控卧式镗床和铣床	美国	吉丁斯-路易斯	
	MCC-1512-A60 型自动 换刀数控机床三坐标立式自 动仿形铣床	日本	牧 野	1975
	XHK716 立式加工中心 M1432G 万能外圆磨床 C620 卧式车床	中国	北京第一机床厂 桂北磨床厂 西安机床厂	1980
	Modula 和 Modulamatic 系 列自动换刀数控机床	英国	马 温	1975
	大型龙门刨床	中国	呼和浩特橡塑 机械厂	1981

(续)

导轨材料	机床名称	国家	生产厂家	年代
“SKC-3”HNT、JKC 耐磨涂层	重型龙门铣床、龙门刨床、 导轨磨床 FU400-Y 卧式万能铣床	德国	瓦德里希·科堡	1985
	YW4232 万能剃齿机 HZ-050 数控镗铣床	中国	南京第二机床厂 上海第二机床厂	

以 Turcite “B”、“DU” 和 “SKC-3” 为代表的三种塑料导轨制品, 从 70 年代开始, 我国就不断地在数控机床、大型和重型机床中得到了应用。其中, 以导轨软带 Turcite “B” 的应用为最多。

以环氧树脂为主的耐磨涂层材料, 不仅用于涂覆大型、重型机床导轨, 而且也用于涂覆螺母条、镶条、压板和活塞表面等摩擦件。

改性 PTFE 三层复合导轨板, 也广泛用于带孔、带槽的轴承、轴瓦, 垫片和滑块。

此外, 酚醛夹布胶木等, 在润滑不充分的条件下, 也具有较高的耐磨性。前苏联也有用酚醛夹布胶木、聚酰胺、尼龙等材料做成的塑料导轨用于大型和重型机床上, 以防擦伤金属导轨。

三、现代机床的滑动导轨

随着高效自动化、数控机床、高精度精密机床和重型机