

内 容 简 介

本书的主要内容包括机械基础知识、构件的外力分析、构件的基本变形分析、平面机构的自由度与运动分析、平面连杆机构、齿轮机构与齿轮传动、其他常用机构、带传动和链传动、轮系与减速器、弹簧、轴系零件。

本书可作为高等职业院校机械类及近机械类专业的教学用书,也可供相关技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

机械设计基础 / 王保华主编. -- 2 版. -- 北京: 北京邮电大学出版社, 2021.4(2023.2 重印)

ISBN 978-7-5635-6351-7

I. ①机… II. ①王… III. ①机械设计—高等教育—教材 IV. ①TH122

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2021)第 056117 号

策划编辑: 马子涵 责任编辑: 马子涵 封面设计: 刘文东

出版发行: 北京邮电大学出版社

社 址: 北京市海淀区西土城路 10 号

邮政编码: 100876

发 行 部: 电话: 010-62282185 传真: 010-62283578

E-mail: publish@bupt.edu.cn

经 销: 各地新华书店

印 刷: 三河市龙大印装有限公司

开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16

印 张: 19.5 插页 1

字 数: 403 千字

版 次: 2021 年 4 月第 2 版

印 次: 2023 年 2 月第 4 次印刷

ISBN 978-7-5635-6351-7

定 价: 59.80 元

• 如有印装质量问题,请与北京邮电大学出版社发行部联系 •

服务电话:400-615-1233



绪 论

一、本课程的地位与作用

在机械工业或其他工业部门从事工程技术工作的技术人员,都免不了要与机械打交道,主要包括两个方面:一是机械的使用;二是机械的设计。本课程的内容是研究已有机械的运动、工作性能及设计新机械的基本知识,对将来从事技术工作具有十分重要的意义。机械设计基础课程是许多学科知识的综合应用,为专业课中机械部分的学习打基础,起着承上启下的作用,且其许多内容可直接用于生产实践,因此在专业课程中占有十分重要的地位。

机械设计基础是机械类、机电类以及近机类专业的一门必修技术基础课程。机械设计就是从使用要求出发,对机械的工作原理、结构、运动形式,动力和能量的传递方式,各个零件的材料、尺寸和形状以及使用维护等问题进行构思、分析和决策的创造性过程。机械设计是机械产品研制的第一步,其好坏将直接影响产品的质量、性能和经济效益。

二、本课程的研究对象和内容

1. 研究对象

1) 机器

人们在日常生活以及工业、农业和国防等各项生产活动中,都会接触到各种各样的机器,如汽车、缝纫机、内燃机、各种机床、拖拉机、收割机等。机器是指根据某种使用要求而设计的一种执行机械运动的装置,用来代替或减轻人类的劳动强度,改善劳动条件,提高劳动生产率。数控机床如图 0-1 所示,汽车如图 0-2 所示。

机器的种类有很多,它们的结构、性能及用途等也各不相同,但是总体来说,机器具有以下三个共同的特征。

- (1) 机器是由人为制造的实物所组成的。
- (2) 机器的各个部分之间具有确定的相对运动。
- (3) 机器在工作时能够完成有用的机械功或实现能量的转换。



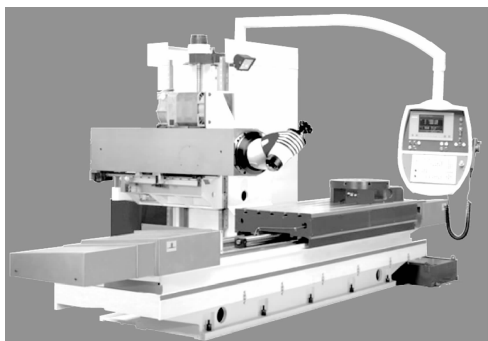


图 0-1 数控机床



图 0-2 汽车

从机器的组成来看,机器是由各种机构组合而成的。

2) 机构

机构是人为的实物组合,其各个部分之间具有确定的相对运动。因此,机构也符合机器的前两个特征。机构有很多类型,常用的有连杆机构、齿轮机构、凸轮机构以及各种间歇运动机构等。图 0-3 所示为蜗轮蜗杆机构。

3) 零件和构件

零件是制造的单元,构件是运动的单元。构件可以是单一零件,也可以是几个零件的刚性连接。常用的齿轮零件如图 0-4 所示。



图 0-3 蜗轮蜗杆机构



图 0-4 齿轮

4) 机械

从运动的观点来看,机器与机构并无差别。机械是机器和机构的总称。随着科学技术的飞速发展,伺服驱动技术、检测传感技术、自动控制技术、信息处理技术、精密机械技术以及系统总体技术在机械中的应用,形成了一个崭新的现代制造业。

因此,本课程的研究对象为刚体或刚体系统、经过力学模型化处理的杆状构件、常见的机构、常见的机械传动、机器中普遍使用的零部件等。



2. 课程内容

本课程所包含的内容如下。

(1)刚体在力作用下的平衡问题,即根据力系平衡条件分析平衡刚体的受力情况,确定各未知力的大小和方向,是计算构件承载能力的基础。

(2)刚体的强度和刚度问题,为机械零件确定合理的材料、截面形状和尺寸,达到既安全又经济的目的提供理论基础。

(3)机器中常用机构的组成、工作原理、运动特性、动力特性以及设计的基本原理和方法。

(4)机器中常用机械传动的工作原理、结构特点和运动特性以及设计的基本原理和方法。

(5)机器中常用零部件的工作原理、结构特点、选用以及设计原理和方法。

三、本课程的基本要求和一般过程

1. 机械设计的基本要求

机械设计是机械的重要组成部分,是机械生产的第一步,是决定机械性能的最主要因素。机械设计的类型很多,但其基本要求大致相同,主要有以下几方面。

1) 预定功能要求

一般机器的预定功能要求包括运动性能、动力性能、基本技术指标及外形结构等方面。设计机器的基本出发点是实现预定功能要求。为此,必须正确选择机器的工作原理、机构的类型和机械传动方案。

2) 安全可靠与强度、寿命要求

设计的机器必须保证在预定的工作期限内可靠地工作,防止个别零件的损坏或失效而影响正常运行。为此,应使所设计的机器零件结构合理并满足强度、刚度、耐磨性、振动稳定性及其寿命等方面的要求。

3) 经济性要求

设计机器时,应考虑在实现预定功能和保证安全可靠的前提下,尽可能做到经济合理,投入费用少、工作效率高且维修简便。机器的经济性是一个综合指标,它与设计、制造和使用等方面的因素有关,因此,设计的机器应具有良好的工艺性、有合理的选材、尽可能实现三化(零件标准化、部件通用化、产品系列化),以最大限度地提高经济效益。

4) 操作使用要求

设计的机器应力求操作方便,最大限度地减少工人操作时的体力和脑力消耗,改善操作者的工作环境,降低机器噪声,净化废气、废液及灰尘,使其对环境的污染和公害尽可能小。

5) 其他特殊要求

某些机器还有一些特殊要求。例如,机床应能在规定的使用期限内保持精度;经常搬动的机器(如塔式起重机、钻探机等),要求便于安装、拆卸和运输;食品、药品、纺织用机械不得污染产品等。

2. 机械设计的一般过程

机械设计按常规设计方法可分为理论设计、经验设计和模型实验设计等。随着科学技





术的发展,对设计的理解在不断地深化,设计方法也在不断发展,现代设计方法在机械设计中得到推广和应用。即使如此,常规设计方法仍然是工程技术人员进行机械设计的重要基础,必须很好地掌握。机械设计过程通常分为四个阶段,如图 0-5 所示。



图 0-5 机械设计过程

1) 产品规划阶段

机械设计的任务是根据生产和市场需求提出的。此时,对所要设计的机械只是个模糊的概念。

2) 原理方案设计阶段

原理方案设计包括机械系统总体方案设计、传动系统方案设计、控制系统方案设计和其他辅助系统方案设计等。

3) 结构和技术方案设计阶段

机械的结构和技术设计是根据机构运动简图提出合理的结构设计方案,进行产品的总体结构设计、部件和零件设计,绘制全部生产图纸,编制设计计算说明书、机械使用说明书、标准件明细表等技术文件。

4) 评估与决策阶段

在完成产品基本设计的基础上,根据设计任务书,拟定评价标准和指标体系,对设计方案进行评估、审查、决策,以进一步改进和完善设计,提高产品的实用性、可靠性和经济性。

四、本课程的特点、学习方法与目标

1. 课程特点

(1)实践性强。本课程是一门技术基础课,其研究对象是在生产实际中广泛应用的机械,所要解决的问题大多数是工程中的实际问题(与理论力学的不同点),因此,要求学生加强基本技能的训练,如简图测绘、齿轮参数测量等。要培养工程素养,作图应严格按照要求进行,要重视实验课。

(2)综合性强。本课程学习要综合运用已学过的知识,约有 1/3 的内容与理论力学、材料力学有关。有些内容可以说是力学的延续与扩展(用理论力学的原理分析具体的机械)。因此,一定要复习力学中的有关内容,如运动学、摩擦学、轴的强度和刚度等。

(3)独立性强。本课程内容多、概念多、符号多、公式多,且各模块内容彼此独立,前后联系不甚紧密。因此,要经常复习前面已学过的内容。

2. 学习方法

本课程的具体学习方法如下。

(1)注意把一般原理和方法与具体运用密切联系起来,并用所学知识观察在日常生活与生产中遇到的各种机械。

(2)注意培养运用所学基本理论与方法去分析和解决实际工程问题的能力;注意培养综合分析、全面考虑问题的能力。解决同一实际问题,往往有多种方法和结果,要通过分析、对比、判断和决策,做到优中选优。



(3)计算对解决设计问题固然很重要,但并非是唯一要求的能力。学习过程中必须逐步培养把理论计算与结构设计、工艺分析等结合起来解决设计问题的综合能力。

(4)注意培养科学严谨、一丝不苟的工作作风,在今后的工作中要与各种机械装备打交道,稍有不慎即可能造成重大损失。

在机械设计领域,每年都会有大量新的文献资料出现。作为技术基础课程,本课程只介绍一些最基本的原理和方法。

3. 学习目标

通过学习本课程,要达到以下目标。

(1)能熟练地运用力系平衡条件求解简单力系的平衡问题。

(2)掌握零部件的受力分析和强度计算方法。

(3)熟悉常用机构、常用机械传动及常用零部件的结构、工作原理、特点和应用;掌握常用机构、常用机械传动及常用零部件的选用和基本设计方法,具备正确分析、使用和维护机械的能力,初步具备设计简单机械传动装置的能力。

(4)培养与本课程有关的解题、运算、绘图能力,以及阅读应用标准、手册、图册等有关技术资料的能力;同时要学会创新,学习机械设计基础不仅在于继承,更重要的是创新,机械科学产生与发展的过程,就是不断创新的过程。





模块

机械基础知识

知识目标

- 了解机械发展史尤其是中国机械发展史。
- 掌握常用的机械工程材料的性能及应用。
- 理解机械中的常见摩擦学知识。

技能目标

- 已知机械(机器),能分析其历史渊源。
 - 根据机械的使用场合,能选用合适的机械工程材料。
 - 根据机械的工作条件,能进行基本摩擦与润滑的分析。
- 



中国是世界上机械发展最早的国家之一,中国古代许多专用机械的设计和应用均有独到之处。被中香炉如图 1-1 所示,是中国古代用来盛香料熏被褥的球形小炉。炉体、内环、外环和外壳内壁的支承轴线依次互相垂直,炉体由于重力作用,不论球如何滚转,炉口总是保持水平状态。这种结构完全符合现代航空航海中使用的陀螺仪原理。被中香炉的最早记载为西汉司马相如的《美人赋》。1963 年在西安沙坡村出土的唐代银质被中香炉,球体外径 50 mm,制造精细、镂刻雅致。被中香炉不仅是一种艺术珍品,从机构的观点看,也是一项重要创造。



图 1-1 被中香炉

如果说书籍是人类精神文明进步的阶梯,那么机械无疑是人类物质文化前进的动力。本模块主要介绍机械发展史、机械工程材料、机械中的摩擦学。



相关知识 ▶▶▶

学习情境一

机械发展史

一、世界机械发展简史

世界机械发展史可分为三个阶段:从公元前 7000 年城市文明出现到 17 世纪末为机械起源和古代机械发展阶段;从 18 世纪到 20 世纪初为近代机械发展阶段;从 20 世纪初至今为现代机械发展阶段。

1. 机械起源和古代机械发展阶段

根据考古发现,公元前 7000 年巴勒斯坦地区犹太人建立杰里科城,城市文明首次出现在地球上,最早的车轮或许是此时诞生的。公元前 4700 年,埃及巴达里文化进入青铜器时代,那时出现了搬运重物的工具,有辘轳、撬棒、滑轮和滑橇等,在建造金字塔时就使用这类工具。公元 14 世纪以前,中国的发明创造在数量、质量上以及发明时间上都是领先的,如四大发明、指南车、水排等。公元 1 世纪的东汉就开始使用水排(见图 1-2),用水力鼓风炼铁,其中应用了齿轮和连杆机构。15 世纪,中国仍然处于封建社会,而以英国、法国为代表的西方国家开始发展自然科学,兴办大学,培养人才,其机械科学超过中国。1698 年,英国的萨弗里制成第一台有实用价值的用于矿井抽水的蒸汽机——“矿工之友”,它开创了用蒸汽做功的先河。



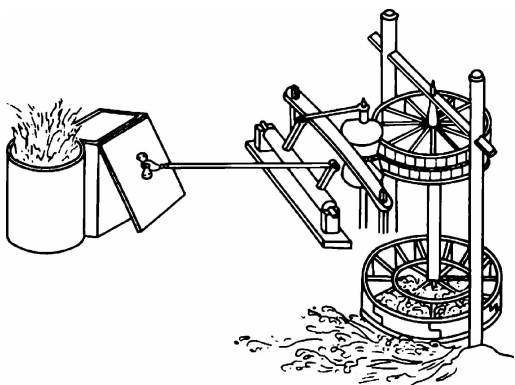


图 1-2 水排

2. 近代机械发展阶段

18 世纪从英国发起的工业革命,是技术发展史上的一次巨大革命,它开创了以机器代替手工工具的时代。这不仅是一次技术改革,更是一场深刻的社会变革。这场革命是以工作机的诞生开始的,以蒸汽机(见图 1-3)作为动力机被广泛使用为标志的。在该时期内英国的瓦洛和沃恩先后发明球轴承;英国的威尔金森发明较精密的炮筒镗床,这是第一台真正的机床——加工机器的机器,它成功地用于加工气缸体,使瓦特蒸汽机得以投入运行;英国的卡特莱特发明动力织布机,完成了手工业和工场手工业向机器大工业的过渡;英国的威尔金森建成第一艘铁船;英国的圣托马斯发明缝制靴鞋用的链式单线迹手摇缝纫机,这是世界上第一台缝纫机;德国的德莱斯发明木制、带有车把、依靠双脚蹬地行驶的两轮自行车;美国的奥蒂斯设计制造单斗挖掘机械;等等。1870 年以后,科学技术发展突飞猛进,各种新技术、新发明层出不穷,并被迅速应用于工业生产,大大促进了经济的发展。这就是第二次工业革命。当时,科学技术的突出发展主要表现在三个方面,即电力的广泛应用、内燃机和新交通工具的创制、新通信手段的发明。在该时期,美国发明家爱迪生发明了电灯,德国机械工程师卡尔·本茨制成第一辆汽车,电话、飞机等一些重要的使用工具被发明出来。这两次工业革命都发生在西方,而东方国家却停滞不前,导致了落后的局面。

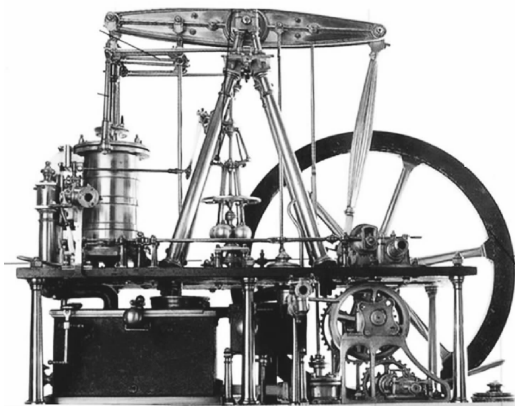


图 1-3 蒸汽机



3. 现代机械发展阶段

20 世纪初进入现代机械发展阶段。20 世纪 60 年代以来,一大批逐步发展起来的高技术群体,如微电子技术、信息技术、自动化技术、生物技术、新材料技术、新能源技术、空间技术、海洋开发技术、激光和红外技术、光纤技术等与机械技术结合起来,渗透到经济、军事各个领域,发展速度之快令人咋舌。例如,人们平时用的手机用的是通信技术、微电子技术和机械技术的结合,试管婴儿是生物技术与机械技术的结合,太空探索是空间技术和机械技术的结合,等等。随着计算机和伺服电机的出现,机器人作为现代机器的代表走上了历史舞台,工业机器人在工业生产中应用越来越广泛,承担搬运、装配、焊接、喷漆、凿岩等工作。焊接机器人如图 1-4 所示。

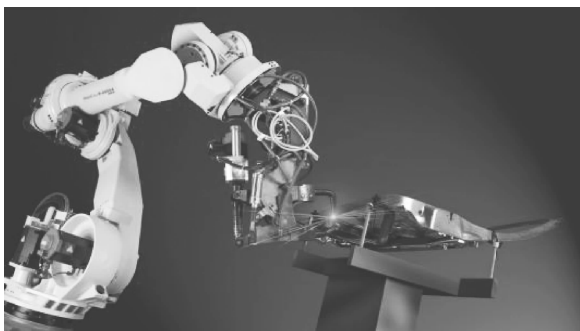


图 1-4 焊接机器人

未来机械发展与各方面技术结合起来,需要的不仅仅是传统意义上的机械设计人才,而是复合型人才,如材料机械人才、软件机械人才、计算机运用机械人才等,这需要新一代的青年通过学习各方面的技术来满足这个要求,同时也离不开社会、国家的大力支持。另外,对于现今有些工厂仍然冒着浓浓的黑烟、汽车尾气依然充斥着整个大气、石油天然气等资源日渐匮乏的情况,人们不能视而不见。地球污染越来越严重,如果不采取措施来减缓和避免这种无止境的滥用资源和污染环境的行为,人类前途堪忧。因此,未来机械的发展趋势是“绿色环保节能机械”,具体方向包括减少环境污染,提高机械的能源使用率,加大使用新能源如太阳能、风能的力度等。

二、中国机械发展简史

中国的机械工程技术不仅历史悠久,而且成就十分辉煌;不仅对中国的物质文化和社会经济的发展起到了重要的促进作用,而且对世界技术文明的进步做出了重大贡献。我国机械的发展大致可以分为三个阶段:早期的传统机械时期、中期的近代机械时期、发展至今的现代机械时期。

1. 传统机械时期

传统机械时期是中国机械发展的第一个时期,石器的使用标志着该时期的开始。青铜器的出现、铁器的使用标志着我国传统机械的发展进入了一个新的阶段。唐宋时期我国传统机械发展进入一个高水平发展的时期。

1) 石器时代

石器时代初期出现了磨制的石器箭头等一些简单的机械。到新石器时代,人们对石器





的选择、切割、磨制和钻孔等有了更高的要求,以及出现了桔槔、辘轳等复合机械工具和原始纺织机、制陶转轮等较复杂的机械,这都反映了这一阶段机械的发展水平有了显著的提高。但该时期在动力方面只有人力、畜力等并用,在材料方面多以石质材料为主,后发展为以木、铜质材料为主。

2) 商周时期

该时期青铜冶铸技术达到了高潮。1939年在河南安阳武官村出土的后母戊鼎(见图 1-5)



图 1-5 后母戊鼎

是世界上同时代最大的青铜器,重约 875 kg,高 1.33 m,长 1.66 m,器形凝重,纹饰华美,集中表现了我国商代青铜冶铸业的生产能力和技术水平。青铜器的出现标志着一种新的机械技术和制造工艺的诞生。到商中期已广泛使用分铸法等先进工艺,体现出机械工程的不断进步,并且该时期机械在结构方面由简单工具发展为复合工具和较为复杂的机械,在原理方面从对杠杆、尖劈等原理的利用发展为对惯性、摩擦、弹性和重力等原理的利用,在制造工艺方面经历了由石器制造工艺向青铜器制造工艺和其他机械工艺的转变。这充分说明在该时期中国传统机械技术已经形成并有了一定的发展。

3) 春秋战国至汉代时期

该时期铁器开始得到普遍使用,表明古代机械在材料方面取得了重大突破。另外,钢铁的冶炼以及铸造、锻造和表面处理等机械热加工技术在这时期都有很大的发展,标志着我国传统机械的发展又进入了一个新的时期。

1980年出土的秦始皇陵铜车马(见图 1-6)代表了当时铸造技术、金属加工和组装工艺的水平。东汉以后出现了记里鼓车和指南车。记里鼓车有一套减速齿轮系,通过敲击鼓镯的声响分段报知里程。三国马钧所造的指南车除用齿轮传动外,还有自动离合装置,在技术上又胜记里鼓车一筹。自动离合装置的发明,说明传动机构齿轮系统已发展到相当高的水平。东汉时已有不同形状及用途的齿轮和齿轮系统,有棘轮,也有人字齿轮,特别是在天文仪器方面已有比较精密的齿轮系统。张衡利用漏壶的等时性制成水运浑象仪,以漏水为动力通过齿轮系统使浑象仪每天等速旋转一周。汉代纺织技术和纺织机械也不断发展,绀机已成为相当复杂的纺织机械。到三国时期,马钧创制了新式提水机具——翻车,能连续提水,效率高又十分省力。



图 1-6 秦始皇陵铜车马

该时期的农业机械发展也很快,出现了三脚耒(见图 1-7)这样的重要播种机械,以及高效粮食加工机械——风扇车。磨、碓等谷物加工机械也都已出现,并有了很大的发展。东汉



时期还出现了用了齿轮传动的连磨和用水力推动的槽碓和水碓。西汉时期已有犁壁出现,到东汉时期犁的结构已经基本定型。在纺织机械方面出现了手摇纺车、布机和提花机等重要机械。

该时期的水上机械也开始发展,如造船技术已较发达,橹、舵、帆等部件逐渐完善了起来,并且能够制造大型的楼船和战船。在动力方面开始利用水力为机械的原动力,出现了一些水力机械。在结构原理方面也有新的突破,不少机械上出现了齿轮机构、凸轮机构和曲柄连杆机构等复杂的传动机构。水排、水碓、指南车以及浑天仪、地动仪等机械的出现反映了该时期的机械在结构原理方面已经达到了相当高的水平。

4)南北朝、唐宋元时期

该时期我国的机械发展进入了一个新的时期。水利机械有了新的发展,唐代已有筒车(见图1-8),从人力提水发展为水力提水。水动力应用方面也有了很大的提高,如造船方面有南齐祖冲之所造日行百里的所谓千里船和南梁侯景军中的160桨快艇,都是人力推进的快速舰艇。此外南北朝时期还出现了车船,唐代的李皋对车船的改进起了承前启后的作用。唐末时期机械制造已有较高水平,如西安出土的唐代银盒,其内孔与外圆的不同心度很小,子母口配合紧密,刀痕细密,说明当时机械加工精度已达到新的水平。另外,计时仪也有很大发展,北宋苏颂和韩公廉等制成的木构水运仪象台能用多种形式表现天体时空的运行,它由水力驱动,其中有一套擒纵机构。水运仪象台代表了当时机械制造的高度水平,是当时世界上先进的天文钟。

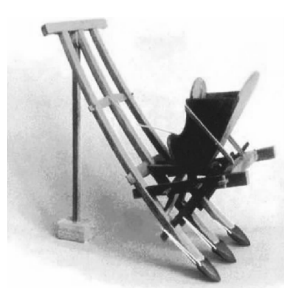


图 1-7 三脚楼

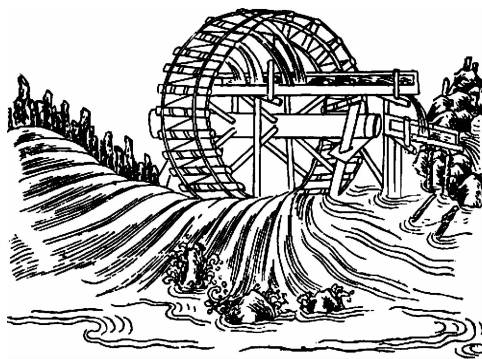


图 1-8 筒车

南宋末期创造出的水转大纺车曾是当时世界上比较先进的纺纱机具。元代的滚柱轴承也属当时世界上先进的机械装置。

5)明清时期

该时期出现了技术含量高的机械,如郑和所乘宝船(见图1-9),其长约137 m,张12帆,舵杆长11 m多,是当时最大的远洋船舶。当时的机械制造主要仍靠手工操作,大者如千钧锚,是靠人工先锻成四爪,然后依次逐节锻接,小者如制针用的冷拔钢丝,也用手工制成。明代已有活塞风箱,它是宋元木风扇的进一步发展,风箱靠活塞推动和空气压力自动启闭活门,成为金属冶铸有效的鼓风设备。在明中叶或稍前,木帆船已能逆风行驶,并拥有全风向





航行的能力。

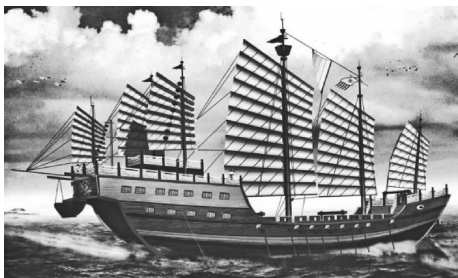


图 1-9 郑和宝船

明宋应星编著的《天工开物》，记录了许多先进的工艺技术和科学创见。它反映出当时的农业和手工业的生产技术水平，是当时机械技术的见证。书中记载了不少有关机械制造和产品性能的内容，涉及泥型铸釜、失蜡法铸造以及铸钱等铸造技术，还记述了千钧锚和软硬绣花针的制造方法、提花机和其他纺织机械以及车船等各种交通工具的性能和规格等。《天工开物》被称为中国 17 世纪的工艺百科全书。

清乾隆年间宫廷造办处曾制造大更钟，它依靠悬锤的重力驱动，并增添了精确的报更机构，加工精致，富有中国民族特色。明清两朝中国钟表工匠创制了不少新奇的钟表。当时的广州、苏州、南京、扬州等成为有名的制造钟表的城市。

在传统机械方面，我国在很长一段时期内都领先于世界。这也是作为炎黄子孙的我们值得骄傲的。只是随后，受社会风气和闭关锁国政策等影响，我国机械技术水平逐渐落后。

2. 近代机械时期

到了近代，特别是从 18 世纪初到 19 世纪 40 年代，由于经济、社会等诸多原因，我国的机械行业发展停滞不前，这 100 多年正是西方资产阶级革命和工业革命时期，西方机械科学技术飞速发展，远远超过了中国的水平。

从 1840 年至 1949 年中华人民共和国成立为近代时期，这期间中国的机械工业逐步由手工业作坊式小生产向使用动力机器的生产方式转变。该时期机械发展开始的标志是洋务运动，自此中国开始开设机械制造学校及机械制造工厂。19 世纪后期到 20 世纪初期，我国兴起了工程教育，不但翻译了不少机械书籍，而且有了自己编写的机械工程著作，还派出部分留学生去专攻机械工程。1866 年，闽浙总督左宗棠奏准在福州马尾设立船政局，并附设船政学堂，亦名“求是堂艺局”，次年 1 月开学，它是中国最早的海军学校。1895 年，北洋大学堂在天津创办（1912 年改称北洋大学校，1913 年易名为国立北洋大学，1929 年又改称国立北洋工学院，1951 年定名为天津大学）。这开启了中国机械教育的先河。

20 世纪以来，中国机械进一步发展。在引进国外机械的同时，也自制了不少类型的机械产品。到二十世纪三四十年代，我国自行生产的产品种类有了较大的增加：在原动机方面能够生产蒸汽机、柴油机等，在工作机方面能生产刨床、铣床、旋床等，在农机方面可以生产碾米机、面粉机和灌溉泵等。此外还能生产化工、纺织、矿山、印刷等方面的不少机械设备。这时的机械工程教育有了新的发展，许多院校设有机械工程系或专业。我国逐渐有了自己的机械工程技术人员。

到民国时期，中国的机械有了新的发展，1931 年南京政府开始筹备中央机械厂。另



外,当时中国也能仿制一些技术水平较高的机器,如自动缫丝机、钨丝拉细机等。民营机械厂也迅速发展,如新中工程公司、永利化学公司机器厂、大隆机械厂、顺昌机械厂等。这都体现了中国机械 engineering 的发展进入了一个新的时期。但由于战争的关系,这时期的机械 engineering 发展受到了种种阻碍,中国的机械工业主要还是修理性质的。

3. 现代机械时期

1949 年 10 月 1 日,中华人民共和国成立。当时,中国的农业基本上仍然是以手工个体劳动为主的传统农业,而此时的工业,则比世界上主要的资本主义国家落后 100 余年。当时,中国的机械工业企业只有 3 000 多家,职工 10 万多人,拥有金属切削机床 3 万台左右。大多数机械厂只能从事修理和装配业务。

新中国成立后特别是近四十年来,我国的机械科学技术迅速发展。经过不懈的努力,中国机械工业已经逐步发展成为具有一定综合实力的制造业,初步确立了在国民经济中的支柱地位,并向机械产品大型化、精密化、自动化和成套化发展,在有些方面已经达到或超过了世界先进水平。总体来说,就目前而言,中国机械科学技术的成就是巨大的,发展速度之快、水平之高也是前所未有的。例如,被誉为“中国天眼”的 500 m 口径球面射电望远镜(见图 1-11),由我国天文学家南仁东于 1994 年提出构想,历时 22 年建成,于 2016 年 9 月 25 日落成启用。其由中国科学院国家天文台主导建设,具有我国自主知识产权,是世界最大单口径、最灵敏的射电望远镜,综合性能是著名的射电望远镜阿雷西博的 10 倍。2019 年 12 月 17 日,经中央军委批准,中国第一艘国产航母命名为“中国人民解放军海军山东舰”,舷号为“17”,如图 1-10 所示。

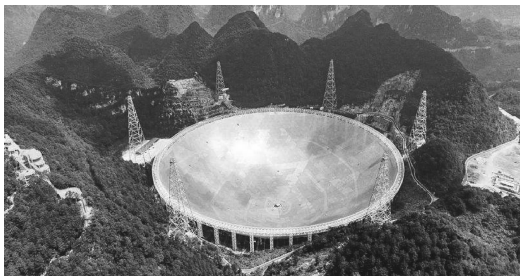


图 1-10 中国天眼



图 1-11 山东舰

延伸阅读

为全面展现 30 年来中国装备工业取得的伟大成就,记录和传播为振兴中国装备工业做出突出贡献的先进人物及事迹,工业和信息化部 and 中央电视台联袂推出电视纪录片《大国重器》。通过人物故事和制造细节,鲜活地讲述了充满中国智慧的机器制造故事,再现了中国装备制造业从小到大,到赶超世界先进水平背后的艰辛历程。在充分阐释中国装备制造业创新成就的同时,展望了中国装备制造业迈向高端制造的未来前景。





“十三五”期间,我国机械工业进入中高速发展阶段。在“十三五”国家战略性新兴产业中,高端装备制造占据重要地位。《中共中央关于制定国民经济和社会发展第十四个五年规划和二〇三五年远景目标的建议》提出发展战略性新兴产业,加快壮大新一代信息技术、生物技术、新能源、新材料、高端装备、新能源汽车、绿色环保以及航空航天、海洋装备等产业,推动互联网、大数据、人工智能等同各产业深度融合,推动先进制造业集群发展,构建一批各具特色、优势互补、结构合理的战略性新兴产业增长引擎。

此后,我国的机械科学技术还将向更高的水平发展。只要我们能够采取正确的方针、政策,用好科技发展规律并勇于创新,向机械产品大型化、精密化、自动化和成套化的趋势发展,我国的机械工业和机械科技一定能够振兴,重新引领世界机械工业的发展潮流。

三、机械设计的发展史

机械设计发展史可分为三个阶段:从古代社会到17世纪为机械设计起源和古代机械设计阶段;从17世纪至第二次世界大战结束为近代机械设计阶段;第二次世界大战结束至今为现代机械设计阶段。每个阶段在设计理论、方法和制造工艺方面都有明显的特色。

1. 机械设计起源和古代机械设计阶段

从内容上看,机械设计起源和古代机械设计阶段属于直觉设计阶段。我国古代典籍中对于使用、制造机械的情况有许多记载。如《周易》“系辞下”中有“黄帝、尧、舜氏作……剡木为舟,剡木为楫,剡楫之力,以济不通……服牛乘马,引重致远……断木为杵,掘地为臼”。由此可见,在4 000多年以前,我国古代已经发明了车、船、农具和许多生活用具。我国考古发现证实了一些传说和记载。在浙江余姚河姆渡、河南郑州裴李岗等遗址中都发现了七八千年以前制造的相当精致的农具,如石铲等。商周时期青铜冶铸技术达到了高峰。在制造工艺方面经历了由石器制造工艺向青铜器制造工艺和其他机械工艺的转变。这充分说明在该时期中国传统机械技术已经形成并有了一定的发展。到秦汉时期我国机械设计和制造已经达到相当高的技术水平,在当时世界上处于领先地位,在世界机械工程史上占有十分重要的位置。

在我国古代,机械发明设计者与制造者是统一的。有许多著名的人物,他们的成果代表了当时我国的机械的设计水平。唐代时我国与许多国家开展了经济、文化和科学技术的交流,与东南亚、南亚、阿拉伯、非洲东海岸贸易频繁,国际贸易对中国和世界其他的一些国家都有很大的影响。贸易的发展要求商品增加,从而需要改进生产设备,进而推动机械设计有了很大的发展,在造纸、纺织、农业、矿业、陶瓷、印染、兵器等方面都有了新的进展。但此阶段设计多是凭设计者的经验完成的,缺乏必要的、有一定精度的理论计算。

2. 近代机械设计阶段

从内容上看,近代机械设计阶段是经验设计阶段。17世纪欧洲的航海、纺织、钟表等工业的兴起,提出了许多技术问题。此时,英国组成了哲学学院,德国成立了实验研究会和柏林学会,法国、意大利也成立了研究机构。在这些机构中工作的意大利人伽利略(1564—1642)发表了自由落体定律、惯性定律和伽利略相对性原理,还进行过梁的弯曲实验;英国人牛顿提出了运动的三大定律,奠定了古典力学的基础;英国人胡克建立了在一定范围内弹性





体的应力-应变成正比胡克定律;瑞士人伯努利提出了梁弯曲的微分方程式,在古典力学的基础上建立和发展了近代机械设计的理论(也称常规机械设计理论),为18世纪工业革命中机械工业的迅速发展提供了有力的技术理论支持;英国人瓦特成功改良了蒸汽机,这种具有工业价值的蒸汽机为纺织、采矿、冶炼、船舶、食品、铁路等工业提供了强大的动力,推动了多种行业对机械的需求,使机械工业得到迅速的发展,而机械化使生产力迅速提高,时代进入了工业革命时期。该时期,对机械设计提出了很多的要求,各种机械的载荷、速度、尺寸都有很大的提高,因此机械设计理论也在古典力学的基础上迅速发展。材料力学、弹性力学、流体力学、机械力学、疲劳力学、疲劳强度理论、实验应力分析方法等都取得了大量的成果,形成了自己的学科体系。

1854年,德国学者劳莱克斯发表了著作《机械制造中的设计学》,把过去融在力学中的机械设计学独立出来,建立了以力学和制造为基础的新学科体系,由此“机构学”“机械零件设计”成为机械设计的基本内容。在此基础上,机械设计学得到了很快的发展。在疲劳强度、接触应力、断裂力学、高温蠕变、流体动力润滑、齿轮接触疲劳强度计算、弯曲疲劳强度计算、滚动轴承强度理论等方面都取得了大量的成果,新工艺、新材料、新结构的不断涌现促使机械设计的水平也得到了很大的提高。机器的尺寸减小,速度增加,性能提高,机械设计的计算方法和数据积累也相应有了很大的发展,反映了时代的特色。

3. 现代机械设计阶段

从内容上看,现代机械设计阶段是理论设计阶段。第二次世界大战以后,作为机械设计理论基础的机械学继续以更加迅猛的速度发展,摩擦学、可靠性分析、机械优化设计、有限元计算,尤其是计算机在机械设计中迅速推广,使机械设计的速度和质量都有了大幅度的提高。在机械中广泛运用计算机和自动化程度的提高,使现代机械设计具有明显的特色。因此,机械设计在理论、内容和方法方面与过去相比都有了划时代的发展。而国际市场的激烈竞争,是现代机械设计发展的催化剂。世界各国逐渐认识到产品市场竞争对各国经济发展的重要作用。在产品竞争中,德国发现印有“MADE IN USA”的美国产品充斥德国市场,计划努力恢复德国产品的信誉,使“MADE IN GERMANY”风靡世界,提出了“关键在于设计”的口号。日本虽然在某些尖端科学研究方面走在了一些国家的后面,但是在产品设计方面发展很快,大量生产各国市场上需要的产品,取得了巨大的经济效益。美国、英国也逐渐认识到产品设计的重要性,美国提出了“为竞争的优势而设计”的口号。有人说“21世纪是设计的世纪”,机械产品设计在21世纪获得了空前的发展。机械设计成为一门与机械学并立的技术科学。

现代机械设计的特征是具有自己的学科体系和专门的内容。其核心内容有三个方面的。

(1)以产品的“功能”作为机械设计的核心目标。美国人麦尔斯提出了“顾客购买的不是产品的本身,而是产品所具有的功能”,明确地说明了“功能”是产品的本质和灵魂。这一论点的提出大大地解放了设计师的思想,为了实现某一功能,可以采用各种不同的原理和结构。从近年来的计时装置、文件复制设备、通信方法等方面的飞速发展可以看出,设计师的聪明才智得到了空前的发挥,多方面地满足了社会的需要。

(2)“人机学”的形成和发展。机械的工作与人往往是不可分的,如汽车、飞机有些操纵信号要靠人输入,设计时必须考虑操纵者的反应速度和能力限制,还必须考虑操纵者和乘客





的舒适性;一些武器设计者已经考虑到使用者虽然大部分是右利者(习惯于用右手者),但左利者也占一定的比例。虽然许多产品已经向自动化发展,许多民用产品对使用者的技术要求日益降低(俗称“傻瓜化”),但是机械产品毕竟是为了人类设计的,因此注重“人机学”是提高产品竞争力的重要方面。实际上“傻瓜化”就是当前处理人机问题的一个重要的途径。

(3)建立系统的“工业设计”学科体系。工业设计是设计者使产品在外观、色彩、形状、尺寸比例等方面得到合理设计,使产品与人、环境更协调,以得到更好的使用效果与竞争力。

学习情境二

机械工程材料

一、金属材料的力学性能

任何机械零件或工具,在使用过程中往往要受到各种形式外力的作用,如起重机上的钢索受到悬吊物拉力的作用;柴油机上的连杆在传递动力时不仅受到拉力的作用,还受到冲击力的作用;轴类零件受到弯矩、扭力的作用;等等。这就要求金属材料必须具有一种承受机械载荷而不超过允许变形不被破坏的能力,这种能力就是材料的力学性能。例如,强度、塑性、硬度和韧性等就是用来衡量金属材料在外力作用下表现出的力学性能的指标。

1. 强度

强度是指金属材料在静载荷作用下抵抗变形和断裂的能力。强度指标一般用单位面积所承受的载荷即力表示,符号为 σ ,单位为MPa。

工程中常用的强度指标有屈服强度和抗拉强度。屈服强度是指金属材料在外力作用下产生屈服现象时的应力,或开始出现塑性变形时的最低应力值,用 σ_s 表示。抗拉强度是指金属材料在拉力的作用下,被拉断前所能承受的最大应力值,用 σ_b 表示。

对于大多数机械零件,工作时不允许产生塑性变形,因此屈服强度是零件强度设计的依据;对于因断裂而失效的零件,而用抗拉强度作为其强度设计的依据。

2. 塑性

塑性是指金属材料在外力作用下产生塑性变形而不断裂的能力。

工程中常用的塑性指标有伸长率和断面收缩率。伸长率指试样拉断后的伸长量与原来长度之比的百分率,用符号 δ 表示。断面收缩率指试样拉断后,断面缩小的面积与原来截面积之比,用 Z 表示。

伸长率和断面收缩率越大,其塑性越好;反之,塑性越差。良好的塑性是金属材料进行压力加工的必要条件,也是保证机械零件工作安全,不发生突然脆断的必要条件。

3. 硬度

硬度是材料表面抵抗局部塑性变形的能力,是反映材料软硬程度的力学性能指标。硬度是材料的一个重要指标,其测试方法简便、迅速,不需要专门试样,也不损坏试样,设备也很简单。而且对大多数金属材料,可以从硬度值估算出它的抗拉强度。硬度值是通过试验测得的。硬度的测试方法很多,生产中常用的硬度测试方法有布氏硬度测试法和洛氏硬度



测试法两种。

1) 布氏硬度测试法

布氏硬度测试法是用一直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球作为压头,在载荷 P 的作用下将其压入被测试金属表面,保持一定时间后卸载,测量金属表面形成的压痕直径 d ,以压痕的单位面积所承受的平均压力作为被测金属的布氏硬度值。

布氏硬度指标有 HBS 和 HBW。前者所用压头为淬火钢球,适用于布氏硬度值低于 450 的金属材料,如退火钢、正火钢、调质钢及铸铁、有色金属等;后者压头为硬质合金,适用于布氏硬度值为 450~650 的金属材料,如淬火钢等。

布氏硬度测试法压痕较大,故不宜测试成品件或薄片金属的硬度。

2) 洛氏硬度测试法

洛氏硬度测试法是用一锥顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588 mm(1/16 英寸)的淬火钢球为压头,将其以规定的载荷压入被测试金属材料表面,根据压痕深度可直接在洛氏硬度计的指示盘上读出硬度值。

根据所用压头种类和所加试验力不同,洛氏硬度分为 HRA、HRB 和 HRC 等,其中 HRC 应用最多。表 1-1 所列为有关洛氏硬度指标的规定。

表 1-1 洛氏硬度及其应用范围

洛氏硬度符号	压头类型	总载荷 $F_a/\text{kgf(N)}$	硬度值有效范围	应用举例
HRA	120° 金刚石圆锥体	60(588)	70~85	硬质合金、渗碳钢
HRB	$\phi 1.588\text{mm}$ 淬火钢球	100(980)	25~100	非金属、铜合金等
HRC	120° 金刚石圆锥体	150(1 471.1)	20~67	淬火钢、调制钢

洛氏硬度测量简便易行,压痕小,既可测定成品和零件的硬度,又可检测较薄工件或表面较薄硬化层的硬度。

硬度是材料的重要力学性能指标。一般材料的硬度越高,其耐磨性越好。材料的强度越高,塑性变形抗力越大,硬度值也越高。

4. 冲击韧性

前面所述的强度、塑性、硬度都是在静载荷作用下测得的力学性能指标。而实际上有许多工件是在冲击载荷作用下工作的,如冷冲模上的冲头、锻锤的锤杆、飞机的起落架、变速箱的齿轮等。对于这些承受冲击载荷的工件,不仅要有高的强度和一定的塑性,还必须有足够的冲击韧性。金属材料在冲击载荷作用下抵抗破坏的能力称为冲击韧性。目前测量冲击韧性最普通的方法是一次摆锤弯曲冲击试验。

冲击韧性值越高,材料韧性越好;反之,韧性则越差。实际工作中,零件的破坏是多次能量冲击导致的,实验表明:材料的多次冲击抗力由强度和塑性综合性能决定。冲击能量小时,取决于材料的强度;冲击能量大时,取决于材料的塑性。此外,材料的韧性还和温度有关,脆性转变低温越低材料,低温下承受冲击的能力就越强。

5. 疲劳强度

有些机器零件,如轴、齿轮、连杆、弹簧等,在交变载荷长期作用下,往往在工作应力低于屈服强度的情况下突然破坏,这种现象称为疲劳。





金属在交变应力作用下产生疲劳裂纹并扩展而导致的断裂称为疲劳断裂。疲劳断裂具有很大的危险性,常造成严重的事故。交变应力是指大小、方向随时间呈周期性变化的应力;疲劳强度是指材料经受无数次的应力循环仍不断裂的最大应力。

据统计,在机械零件失效中大约 60%~70% 属于疲劳破坏。无论为韧性还是脆性材料,在疲劳断裂时,事先无明显塑性变形的预兆,往往是突然发生的,因此具有很大的危险性,易造成重大事故,故设计时应充分考虑材料的疲劳断裂。

6. 蠕变

在长期固定载荷作用下,即使载荷在屈服点以下,金属也会产生塑性变形的现象称为蠕变。蠕变是高温下金属力学行为的一个重要特点。为保证在高温长时载荷作用下的机件不致产生过量蠕变,要求金属材料具有一定的蠕变极限。蠕变值是金属材料在高温长时载荷作用下的塑性变形抗力指标。各种材料的蠕变情况与强度有关,如铝合金发生蠕变的温度为 100~200 °C,而钢材要在温度达到 300~400 °C 以上时才会发生蠕变。

二、金属材料

金属材料来源丰富,并具有优良的使用性能和加工性能,是机械工程中应用最普遍的材料,常用以制造机械设备、工具、模具,并广泛应用于工程结构中。

金属材料大致可分为黑色金属和有色金属两大类。黑色金属通常指钢和铸铁;有色金属是指黑色金属以外的金属及其合金,如铜合金、铝及铝合金等。

1. 钢

钢分为碳素钢(简称碳钢)和合金钢两大类。碳钢是指含碳量小于 2.11% 并含有少量硅、锰、硫、磷杂质的铁碳合金,工业用碳钢的含碳量一般为 0.05%~1.35%。为了提高钢的力学性能、工艺性能或某些特殊性能(如耐腐蚀性、耐热性、耐磨性等),冶炼中有目的地加入一些合金元素(如 Mn、Si、Cr、Ni、Mo、W、V、Ti 等),这种钢称为合金钢。

(1) 碳钢。

① 碳钢的分类。碳钢的分类方法有多种,常见的有以下三种。

a. 按钢的含碳量多少分为三类:低碳钢,含碳量小于 0.25%;中碳钢,含碳量为 0.25%~0.60%;高碳钢,含碳量大于 0.60%。

b. 按钢的质量(即按钢含有害元素 S、P 的多少)分为三类:普通碳素钢,钢中 S、P 含量分别不大于 0.055% 和 0.045%;优质碳素钢,钢中 S、P 含量均不大于 0.040%;高级碳素钢,钢中 S、P 含量分别不大于 0.030% 和 0.035%。

c. 按钢的用途分为两类:碳素结构钢,主要用于制造各种工程构件和机械零件;碳素工具钢,主要用于制造各种工具、量具(见图 1-12)和模具等。

② 碳钢牌号的表示方法。

a. 碳素结构钢。碳素结构钢的牌号由屈服点“屈”字汉语拼音第一个字母 Q、屈服点数值、质量等级符号(A、B、C、D)及脱氧方法符号(F、B、Z)等四部



图 1-12 常见量具



分按顺序组成。其中,质量等级按 A、B、C、D 顺序依次增高,F 代表沸腾钢,B 代表半镇静钢,Z 代表镇静钢。如 Q235-A·F 表示屈服强度为 235 MPa 的 A 级沸腾碳素结构钢。

b. 优质碳素结构钢。优质碳素结构钢的牌号用两位数字表示。这两位数字代表钢中的平均含碳量的万分之几。例如,45 钢表示平均含碳量为 0.45% 的优质碳素结构钢,08 钢表示平均含碳量为 0.08% 的优质碳素结构钢。

c. 碳素工具钢。碳素工具钢的牌号用碳字汉语拼音字头 T 和数字表示。其数字表示钢的平均含碳量的千分之几。若为高级优质,则在数字后面加“A”。例如,T12 钢表示平均含碳量为 1.2% 的碳素工具钢,T8 钢表示平均含碳量为 0.8% 的碳素工具钢,T12A 表示平均含碳量为 1.2% 的高级优质碳素工具钢。

③ 碳钢的用途。碳钢的用途举例见表 1-2。

表 1-2 碳钢的用途举例

碳钢的牌号	用 途
Q195、Q215	用于铆钉、开口销等及冲压零件和焊接构件
Q235、Q255	用于螺栓、螺母、拉杆、连杆及建筑、桥梁结构件
Q275	用于强度较高转轴、心轴、齿轮等
Q345	用于船舶、桥梁、车辆、大型钢结构
08	含碳量低,塑性好,主要用于制造冷冲压零件
10、20	常用于制造冲压件和焊接件,也常用于制造渗碳件
35、40、45、50	主要用于制造齿轮、套筒、轴类零件等,这几种钢应用非常广泛
T7、T8	用于制造具有较高韧性的工具,如冲头、凿子等
T9、T10、T11	用于要求中等韧性、高硬度的刀具,如钻头、丝锥、锯条等
T12、T13	用于要求更高硬度、高耐磨性的锉刀、拉丝模具等

(2) 合金钢。

① 合金钢的分类。合金钢的分类方法有多种,常见的有以下两种。

a. 按用途分为三类:合金工具钢,用于制造各种性能要求更高的机械零件和工程构件;合金结构钢,用于制造各种性能要求更高的刀具、量具和模具;特殊性能钢,具有特殊物理和化学性能的钢,如不锈钢、耐热钢、耐磨钢等。

b. 按合金元素总含量多少分为三类:低合金钢,合金元素总含量小于 5%;中合金钢,合金元素总含量为 5%~10%;高合金钢,合金元素总含量大于 10%。

② 合金钢牌号的表示方法。合金钢是按钢材的含碳量的数字。合金元素的种类和数量编号的。

a. 钢号首部是表示含碳量的数字。合金结构钢与碳素结构钢相同,以万分之一的碳作为单位,如首部数字为 45,则表示平均含碳量为 0.45%;合金工具钢以千分之一的碳作为单位,如首部数字为 5,则表示平均含碳量为 0.5%。

b. 在表示含碳量的数字后面,用元素的化学符号表示出所含的合金元素。合金元素的含量以百分之几表示,当平均含量小于 1.5% 时,只标明元素符号,不标含量。例如,25Mn2V 表示平均含碳量为 0.25%、含锰量约为 2%、含钒量小于 1.5% 的合金结构钢;





9SiCr 表示平均含碳量为 0.9%,含硅、铬都少于 1.5%的合金工具钢。

c. 对于含碳量超过 1.0%的合金工具钢,则在牌号中不表示含碳量。如 CrWMn 表示含碳量大于 1.0%并含有铬、钨、锰三种合金元素的合金工具钢。但也有特例,高速钢的含碳量小于 1.0%,牌号中也不表示含碳量,如 W18Cr4V 钢,其含碳量仅为 0.7%~0.8%。

d. 特殊性能钢牌号表示方法基本上与合金工具钢相同,如 2Cr13 表示平均含碳量为 0.2%、含铬量约为 13%的不锈钢。

e. 有些特殊用钢,则用专门的表示方法,如滚动轴承钢,其牌号以 G 表示,不标含碳量,铬的平均含量用千分之几表示,如 GCr15 表示含铬量为 1.5%的滚动轴承钢。

f. 对于高级优质钢,在钢牌号末尾加一个 A,如 38CrMoAlA。

③合金钢的用途。合金钢的用途举例见表 1-3。

表 1-3 合金钢的用途举例

合金钢的牌号	用 途
09MnNb、16Mn、15MnTi	用于制造桥梁、车辆、锅炉、油罐、建筑结构和化工容器等
14MnVTiRe、14MnMoV、18MnNb、14CrMnMoVB	用于制造大型船舶、重要桥梁、电站设备及锅炉、化工、石油等中高压容器
20Cr、20MnV	用于制造渗碳小齿轮、小轴、活塞销等
20CrMnTi	用于制造汽车、拖拉机上的齿轮
18Cr2Ni4WA、15CrMn2SiMo、20Cr2Ni4A	用于制造大型渗碳齿轮和轴类件
40MnB、40Cr、35CrMo、40CrMnMo	用于制造重要调质件,如主轴、曲轴、连杆和齿轮等机械零件
65Mn、60Si2Mn	用于制造截面小于 25 mm 的弹簧,如车厢板簧和机车板簧、扭杆簧等
GCr15、GSiMnMoV	用于制造滚动轴承的内圈、外圈和滚动体,也可用于制造冷冲模、冷轧辊等
CrWMn、CrMn、9Mn2V	用于制造测量工具,如卡尺、千分尺、量规、块规、塞规等
W18Cr4V、W6Mo5Cr4V2	用于制造高速切削的刀具,如钻头、铣刀、滚刀、拉刀、铰刀、车刀等
5CrMnMo、3Cr2W8V	用于制造热锻模、热压模、压铸模等
Cr12、Cr12MoV	用于制造冷冲模具、冷剪切刀具等
1Cr13、2Cr13、3Cr13、4Cr13	用于制造抗弱腐蚀性介质并承受冲击载荷的零件,还可用来制造具有较高硬度和耐磨性的医疗工具等
1Cr18Ni9、1Cr18Ni9Ti	用于制造耐硝酸、冷磷酸、有机酸及盐、碱溶液腐蚀的设备零件
Mn13	用于制造拖拉机链轨板、挖掘机铲齿、球磨机衬板、铁路道岔等
15CrMo、4Cr10Si2Mo	用于制造在高温下工作的零件或构件

2. 铸铁

铸铁是含碳量大于 2.11%的铁碳合金,它含有比碳钢更多的硅、锰、硫、磷等杂质。工业上常用的铸铁含碳量为 2.5%~4.0%。根据铸铁中碳的存在形式不同,铸铁可分为白口铸铁和灰口铸铁两大类。

(1)白口铸铁。白口铸铁中的碳几乎全部以渗碳体 Fe_3C 形式存在,断口呈银白色,性能硬而脆,很难进行切削加工,工业上极少用来制造机械零件。其主要用作炼钢原料或可锻铸



铁的毛坯。

(2)灰口铸铁。灰口铸铁中的碳大部分或全部以自由状态的石墨形式存在,断面呈暗灰色。根据灰口铸铁中石墨存在形式不同,它又可分为普通灰口铸铁、可锻铸铁和球墨铸铁等。

①普通灰口铸铁。普通灰口铸铁简称灰口铸铁,其石墨形态呈片状。由于片状石墨的存在割裂了金属基体组织,减少了承载的有效面积,因而其综合力学性能较低,但其减振性、耐磨性、铸造性及切削加工性较好,主要用于制造承受压力的床身、箱体、机座、导轨(见图 1-13)等零件。



图 1-13 导轨

灰口铸铁牌号的表示方法为 HT 加数字,其中“HT”是灰铁两字汉语拼音的第一个字母,数字表示最低抗拉强度。常用的灰口铸铁牌号为 HT100、HT150、HT200、HT250、HT300 等。

②可锻铸铁。可锻铸铁是由白口铸铁经石墨化退火后而得到的,其石墨形态呈团絮状。因为其石墨呈团絮状,对金属基体的割裂作用减小,故其抗拉强度、塑性、韧性都比灰口铸铁高,主要用于制造一些形状比较复杂而在工作中承受一定冲击载荷的薄壁小型零件,如管接头、农具等。

可锻铸铁的牌号由 KTH 或 KTZ 加两组数字组成。其中“KT”是可铁两字汉语拼音第一个字母,后面的“H”表示黑心可锻铸铁,“Z”表示珠光体可锻铸铁。其后面的两组数字分别表示材料的最低抗拉强度数值和最小伸长率数值,常用牌号有 KTH350-10、KTZ550-04 等。

③球墨铸铁。球墨铸铁中石墨形态呈球状。由于球状石墨对金属基体的割裂作用更小,因而它具有较高的强度、塑性和韧性,应用较广,在某些情况下可替代中碳钢使用。球墨铸铁主要用于制造受力较复杂、负荷较大的机械零件,如曲轴(见图 1-14)、连杆、齿轮、凸轮轴等。



图 1-14 曲轴





球墨铸铁的牌号由 QT 加两组数字组成。其中 QT 是球铁两字汉语拼音的第一个字母,两组数字分别表示最低抗拉强度数值和最小伸长率数值,常用牌号有 QT500-7、QT800-2 等。

3. 铸钢

铸钢也是一种重要的铸造合金,其应用仅次于铸铁。铸钢件的力学性能优于各类铸件,并具有优良的焊接性能,适于采用铸焊联合工艺制造重型铸件。生产上铸钢主要用于制造形状复杂、难于锻造而又需承受冲击载荷的零部件,如机车车架、火车车轮、水压机的缸和立柱、大型齿轮、轧钢机机架等。

常用的铸钢有碳素铸钢和合金铸钢两大类,其中碳素铸钢应用较广,约占铸钢件的 80%。

一般工程用铸钢的牌号由 ZG 加两组数字表示。其中 ZG 为铸钢二字汉语拼音第一个字母,后面两组数字分别表示材料的最小屈服强度值和最小抗拉强度值,如 ZG200-400、ZG270-500、ZG340-640 等。

4. 铜合金

铜合金、铝合金是工业上最常用的有色合金。因具有某些特殊的使用性能,其成为现代工业技术中不可缺少的材料。

在纯铜中加入某些合金元素(如锌、锡、铝、铍、锰、硅、镍、磷等),就形成了铜合金。铜合金具有较好的导电性、导热性和耐腐蚀性,同时具有较高的强度和耐磨性。图 1-15 所示为铜制品。



图 1-15 铜制品

根据成分不同,铜合金分为黄铜和青铜等。

(1)黄铜。以锌为主要合金元素的铜合金称为黄铜。按照化学成分,黄铜分为普通黄铜和特殊黄铜两种。

①普通黄铜。普通黄铜是铜锌二元合金,由于塑性好,适于制造板材、棒材、线材、管材及深冲零件,如冷凝管、散热管及机械、电气零件等。铜的平均含量为 62% 和 59% 的黄铜也可进行铸造,称为铸造黄铜。

②特殊黄铜。为了获得更高的强度、抗蚀性和良好的铸造性能,在铜锌合金中加入铅、锡、铝、硅等元素,就形成了特殊黄铜,如铅黄铜、锡黄铜、铝黄铜、硅黄铜等。铅黄铜的切削性能优良,耐磨性好,广泛用于制造钟表零件,经铸造制造轴瓦和衬套;锡黄铜的耐腐蚀性能好,广泛用于制造海船零件;铝黄铜中的铝能提高黄铜的强度和硬度,提高在大气中的抗蚀



性,主要用于制造耐蚀零件;硅黄铜中的硅能提高铜的力学性能、耐磨性的耐蚀性,主要用于制造海船零件及化工机械零件。

(2)青铜。青铜原指铜锡合金,但工业上都习惯称含铝、硅、铅、铍、锰等的铜合金也为青铜,因此青铜实际上包括锡青铜、铝青铜、锰青铜、铍青铜、硅青铜、铅青铜等。青铜也分为压力加工青铜和铸造青铜两类。青铜是金属冶铸史上最早的合金。青铜发明后立刻盛行起来,从此人类历史也就进入新的阶段——青铜时代。青铜狮子如图 1-16 所示。



图 1-16 青铜狮子

①锡青铜。以锡为主要合金元素的铜基合金称为锡青铜。工业中使用的锡青铜,锡含量大多为 3%~14%。锡含量小于 5%的锡青铜适于冷加工;锡含量为 5%~7%的锡青铜适于热加工;锡含量大于 10%的锡青铜适于铸造。锡青铜在造船、化工、机械、仪表等工业中广泛应用,主要用以制造轴承、轴套等耐磨零件和弹簧等弹性元件,以及抗蚀、抗磁零件等。

②铝青铜。以铝为主要合金元素的铜基合金称为铝青铜。铝青铜的力学性能比黄铜和锡青铜高。实际应用的铝青铜的铝含量为 5%~12%,含铝为 5%~7%的铝青铜塑性最好,适于冷加工使用。铝含量大于 7%~8%后,强度增加,但塑性急剧下降,因此多在铸态或经热加工后使用。铝青铜的耐磨性以及在大气、海水、海水碳酸和大多数有机酸中的耐蚀性,均比黄铜和锡青铜高。铝青铜可制造齿轮、轴套、蜗轮等高强度抗磨零件以及高耐蚀性弹性元件。

③铍青铜。以铍为基本元素的铜合金称为铍青铜。铍青铜的含铍量为 1.7%~2.5%。铍青铜的弹性极限、疲劳极限都很高,耐磨性和抗蚀性优异,具有良好的导电性和导热性,还具有无磁性、受冲击时不产生火花等优点。铍青铜主要用于制造精密仪器的重要弹簧、钟表齿轮、高速高压下工作的轴承、衬套,以及电焊机电极、防爆工具、航海罗盘等重要机件。

5. 铝合金

铝合金既具有高强度又保持纯铝的优良特性。铝合金常加入的主要元素有 Cu、Mn、Si、Mg、Zn 等,此外还有 Cr、Ni、Ti、Zr 等辅加元素。铝合金是工业中应用最广泛的一类有色金属结构材料,在航空、航天、汽车、机械制造、船舶及化学工业中已大量应用。航天飞机的乘员舱、前机身、中机身、后机身、垂尾、襟翼、升降副翼和水平尾翼都是用铝合金制造的。各种人造地球卫星和空间探测器的主要结构材料也都是铝合金。铝合金隔断型材如图 1-17 所示。

根据成分及加工特点,铝合金分为形变铝合金和铸造铝合金。

①形变铝合金。形变铝合金包括防锈铝合金、硬铝合金、超硬铝合金等。因其塑性好,故常利用压力加工方法制造冲压件、锻件等,如铆钉、焊接油箱、管道、容器、发动机叶片、飞机大梁及起落架、内燃机活塞等。

②铸造铝合金。铸造铝合金是用于制造铝合金铸件的材料,按主要合金元素的不同,铸造铝合金分为铝硅合金、铝铜合金、铝镁合金和铝锌合金。



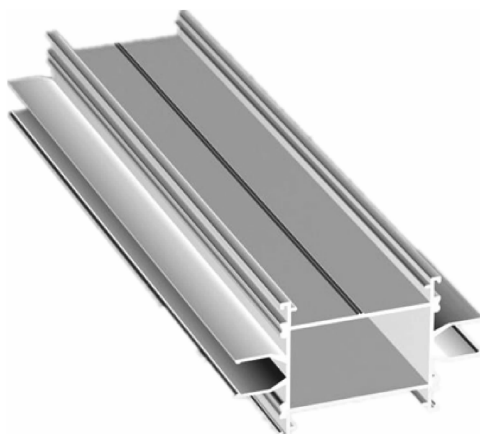


图 1-17 铝合金隔断型材

a. 铝硅合金。铝硅合金是应用最广的铸造铝合金,通常称为硅铝明。其铸造性能好,比重小,并有相当好的抗蚀性和耐热性,适于制造形状复杂的零件,如泵体、电动机壳体、发动机的气缸头、活塞,以及汽车、飞机、仪器上的零件,也可制造日用品。

b. 铝铜合金。铝铜合金的强度较高,耐热性较好,铸造性能较差,常用于铸造内燃机气缸头、活塞等零件,也可作为结构材料铸造承受中等载荷、形状较简单的零件。

c. 铝镁合金。铝镁合金强度高、比重小,有良好的耐蚀性,但铸造性能不好,多用于制造承受冲击载荷、在腐蚀性介质中工作、外形简单的零件,如舰船配件、氨用泵体等。

d. 铝锌合金。铝锌合金价格便宜,铸造性能优良,强度较高,但抗蚀性差,热裂倾向大,常用于制造汽车、拖拉机发动机零件及形状复杂的仪器元件,也可用于制造日用品。

6. 钛合金

纯钛加入合金元素形成钛合金。钛合金几乎都含有铝,铝能提高钛合金的强度、比强度和再结晶温度。钛合金强度高而密度又小,机械性能好,韧性和抗蚀性能也都很好。钛合金主要用于制造飞机发动机、压气机部件,其次用于制造火箭、导弹和高速飞机的结构件。它也广泛应用在汽车工业中,应用钛合金最多的是汽车发动机系统。钛合金排气管如图 1-18 所示。



图 1-18 钛合金排气管

按退火组织,钛合金可分为 α 型钛合金、 β 型钛合金和 $\alpha + \beta$ 型钛合金三类,它们的牌号分别用 TA、TB、TC 加顺序号表示,如 TA5、TB2、TC4 等。其中 TA0~TA3 为工业纯钛。

(1) α 型钛合金。其主加元素为铝,还有锡、硼等。不能热处理强化,通常在退火状态下使用,组织为单相固溶体,强度低于其他两类钛合金,但高温强度、低温韧性及耐蚀性优越,常用牌号有 TA5、TA7 等。其主要用于制造在 500 °C 以下工作的零件,如飞机压气机叶片、导弹的燃料罐、超音速飞机的蜗轮机匣及飞船上的高压低温容器等。

(2) β 型钛合金。其加入的合金元素有钼、铬、钒、铝等。经淬火加时效处理后,组织为 β 相基体上分布着细小的 α 相粒子。这类合金强度高,但冶炼工艺复杂,应用受到限制。 β 型钛合金有 TB2、TB3、TB4 三个牌号,主要用于制造在 350 °C 以下工作的结构件和紧固件,如



飞机压气机叶片、轴、弹簧、轮盘等。

(3) $\alpha+\beta$ 型钛合金。其加入的合金元素有铝、钒、钼、铬等,可进行热处理强化,强度高,塑性好,具有良好的热强性、耐蚀性和低温韧性。 $\alpha+\beta$ 型钛合金共有九个牌号,其中以 TC4 应用最广、用量最大,其经过淬火加时效处理后,组织为 $\alpha+\beta$ +时效析出的针状 α 。 $\alpha+\beta$ 型钛合金主要用于制造在 400 °C 以下工作的飞机压气机叶片、火箭发动机外壳、火箭和导弹的液氢燃料箱部件及舰船耐压壳体等。

7. 轴承合金

制造滑动轴承的轴瓦及其内衬的耐磨合金称为轴承合金。滑动轴承是许多机器设备中对旋转轴起支承作用的重要部件,由轴承体和轴瓦两部分组成。与滚动轴承相比,滑动轴承具有承载面积大、工作平稳、无噪音及拆装方便等优点。各类型轴瓦如图 1-19 所示。

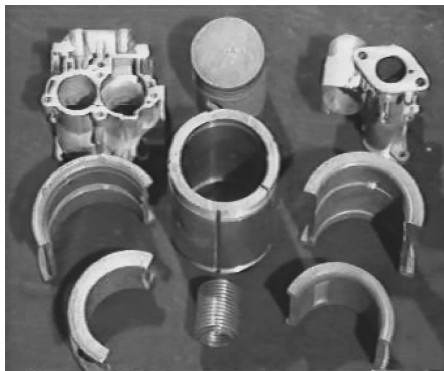


图 1-19 各类型轴瓦

(1)轴承合金组织性能。当轴高速旋转时,轴瓦与轴颈发生剧烈摩擦,承受轴颈施加的交变载荷和冲击力,因此对轴承合金的组织性能要求如下。

- ①足够的韧性,以承受轴颈施加的交变冲击载荷。
- ②较小的热膨胀系数,良好的导热性和耐蚀性,以防止轴与轴瓦之间咬合。
- ③较小的摩擦系数,良好的耐磨性和磨合性,以减少轴颈磨损,保证轴与轴瓦良好的跑合。

为满足上述性能要求,轴承合金的组织应是软的基体上分布着硬的质点或硬的基体上分布着软的质点。当轴旋转时,软的基体(或质点)被磨损而凹陷,减少了轴颈与轴瓦的接触面积,有利于储存润滑油和轴与轴瓦间的磨合,而硬的质点(基体)则支承着轴颈,起承载和耐磨作用。软基体(或质点)还能起嵌藏外来硬杂质颗粒的作用,以避免擦伤轴颈。

(2)轴承合金分类。

①锡基轴承合金。以锡为主并加入少量锑、铜等元素组成的合金,熔点较低,是软基体硬质点组织类型的轴承合金,典型牌号为 ZSnSb11Cu6。锡基轴承合金具有较高的耐磨性、导热性、耐蚀性和嵌藏性,摩擦系数和热膨胀系数小,但疲劳强度较低,工作温度不超过 150 °C,价格高。

②铅基轴承合金。以铅为主加入少量锑、锡、铜等元素的合金,也是软基体硬质点型轴承合金,典型牌号为 ZPbSb16Sn16Cu2。铅基轴承合金的强度、硬度、耐蚀性和导热性都不如锡基轴承合金,但其成本低,高温强度好,有自润滑性。





锡基和铅基轴承合金强度比较低,为提高其承载能力、延长其使用寿命,生产上常采用离心浇注法,将它们镶铸在低碳钢轴瓦上,形成一层薄而均匀的内衬,称为双金属轴承。

三、非金属材料

1. 塑料

塑料是以单体为原料,通过加聚或缩聚反应聚合而成的高分子化合物,其抗形变能力中等,介于纤维和橡胶之间,由树脂及填料、增塑剂、稳定剂、润滑剂、色料等添加剂组成。塑料的基本性能主要取决于树脂的本性,但添加剂也起着重要作用。

塑料制品应用广泛,庞大的下游行业为我国塑料制品行业的发展提供了强有力的支撑。我国塑料制品市场需求主要集中于农用塑料制品、包装塑料制品、建筑塑料制品、工业交通及工程塑料制品等方面。家用塑料制品如图 1-20 所示。



图 1-20 家用塑料制品

(1) 塑料的组成。

①树脂。树脂是塑料中最重要的成分,它决定了塑料的类型和基本性能(如热性能、物理性能、化学性能、力学性能等)。在塑料中,它联系或胶黏着其他成分,并使塑料具有可塑性和流动性,从而具有成型性能。树脂包括天然树脂和合成树脂,在塑料生产中,一般都采用合成树脂。

②填充剂。填充剂又称填料,是塑料中重要的但并非每种塑料必不可少的成分。填充剂与塑料中的其他成分机械混合,它们之间不起化学作用,但与树脂牢固胶黏在一起。

填充剂在塑料中的作用有两个:一是减少树脂用量,降低塑料成本;二是改善塑料某些性能,扩大塑料的应用范围。例如,聚乙烯、聚氯乙烯等树脂中加入木粉后,既克服了它的脆性,又降低了成本。用玻璃纤维作为塑料的填充剂,能使塑料的力学性能大幅度提高,而用石棉作为填充剂则可以提高塑料的耐热性。

常用的填充剂有木粉、纸及棉屑、硅石、硅藻土、云母、石棉、石墨、金属粉、玻璃纤维、碳纤维等。塑料中的填充剂含量一般为 20%~50%。

③增塑剂。有些树脂(如硝酸纤维、醋酸纤维、聚氯乙烯等)的可塑性很小,柔软性也很差,为了降低树脂的熔融黏度和熔融温度,改善其成型加工性能,改进塑件的柔韧性、弹性以及其他各种必要的性能,通常加入能与树脂相溶的、不易挥发的高沸点有机化合物,这类物质称为增塑剂。



在树脂中加入增塑剂后,可使塑料能在较低的温度下具有良好的可塑性和柔软性。例如,聚氯乙烯树脂中加入邻苯二甲酸二丁酯,可变为像橡胶一样的软塑料。加入增塑剂在改善塑料成型加工性能的同时,有时也会降低树脂的某些性能,如硬度、抗拉强度等,因此添加增塑剂要适量。

④着色剂。为使塑件获得各种所需色彩,常常在塑料组分中加入着色剂,也称色料。着色剂品种很多,但大体分为有机颜料、无机颜料和染料三大类。有些着色剂兼有其他作用,如本色聚甲醛塑料用炭黑着色后能在一定程度上有助于防止光老化;聚氯乙烯用二盐基性亚磷酸铅等颜料着色后,可避免紫外线的射入,对树脂起着屏蔽作用。因此,它们还可以提高塑料的稳定性。

⑤稳定剂。为了防止或抑制塑料在成型、储存和使用过程中,受外界因素(如热、光、氧、射线等)影响而发生的性能变化,即所谓“老化”,需要在聚合物中添加一些能稳定其化学性质的物质,这些物质称为稳定剂。稳定剂可分为热稳定剂、光稳定剂、抗氧化剂等。常用的稳定剂有硬脂酸盐类、铅的化合物、环氧化合物等。

⑥固化剂。固化剂又称硬化剂、交联剂。热固性塑料成型时,线型高分子结构的合成树脂需发生交联反应转变成体型高分子结构。添加固化剂的目的是促进交联反应,如在环氧树脂中加入乙二胺。

⑦润滑剂。润滑剂对塑料表面起润滑作用,防止塑料在成型加工过程中黏附在模具上。同时,添加润滑剂还可以提高塑料的流动性,便于成型加工,并使塑料表面更加光滑。常用的润滑剂为硬脂酸及其盐类,其加入量通常小于1%。

塑料的添加剂除上述几种常用的以外,还有发泡剂、阻燃剂、防静电剂、导电剂和导磁剂等。并不是每一种塑料都要加入全部这些添加剂,而是依塑料品种和塑件使用要求按需要有选择地加入某些添加剂。

(2)塑料的分类。

工程上所用的塑料,其成分都是以各种各样的合成树脂为基础,再加入其他添加剂制成的。

①按性质分类,通常分为热塑性塑料和热固性塑料两种。

a. 热塑性塑料。该类材料加热后软化或熔化,冷却后硬化成型并保持既得形状,而且该过程可反复进行。常用的材料有聚乙烯、聚丙烯、ABS 塑料等。这类塑料加工成型简便,具有较高的力学性能,但耐热性和刚性比较差。较后开发的氟塑料、聚酰亚胺具有较突出的特殊性能,如优良的耐蚀性、耐热性、绝缘性、耐磨性等,是塑料中较好的高级工程塑料。

b. 热固性塑料。初加热时软化,可塑造成型,但固化后再加热将不再软化,也不溶于溶剂,故只可一次成型或使用。这类塑料有酚醛、环氧、氨基、不饱和聚酯等。它们具有耐热性高、受压不易变形等优点,但力学性能不好。

②按使用范围分类,通常分为工程塑料、通用塑料和特种塑料。

a. 工程塑料。工程塑料是可用于工程结构或机械零件的一类塑料,它们一般有较好的稳定的力学性能,耐热耐蚀性较好,且尺寸稳定性好,如 ABS、尼龙、聚甲醛等。

b. 通用塑料。通用塑料主要是用于日常生活用品的塑料。其应用范围广,生产产量大,占塑料总产量的 3/4 以上,是一般工农业和日常生活不可缺少的低成本材料。

c. 特种塑料。特种塑料是具有某些特殊的物理化学性能的塑料,如耐高温、耐蚀,有光





学性能类塑料。其产量少,成本高,只用于特殊场合。

(3)常用工程塑料。

①聚烯烃塑料。聚烯烃塑料的原料来源于石油天然气,原料丰富,因此一直是塑料工业中产量最大的品种,用途也十分广泛。

a. 聚乙烯(PE)。聚乙烯由乙烯单体聚合而成,根据合成方法不同,可分为高压聚乙烯、中压聚乙烯和低压聚乙烯三种。高压聚乙烯相对分子质量、结晶度和密度较低,质地柔软,常用来制造塑料薄膜、软管和塑料瓶等。低压聚乙烯质地刚硬,耐磨性、耐蚀性及电绝缘性较好,常用来制造塑料管、板材、绳索以及载荷不高的零件,如齿轮、轴承等。聚乙烯产品的缺点是强度和刚度低,热变形温度低,耐热性差,且容易老化。

b. 聚氯乙烯(PVC)。聚氯乙烯是最早工业生产的塑料产品之一,产量仅次于聚乙烯。聚氯乙烯由乙炔气体和氯化氢合成的氯乙烯聚合而成,具有较高的强度和较好的耐蚀性,用于制造化工、纺织等工业的排污排毒塔、气体液体输送管,还可代替其他耐蚀材料制造储槽、离心泵、通风机和接头等。当增塑剂加入量达 30%~40%时,便制得软质聚氯乙烯,其延伸率高,制品柔软,并具有良好的耐蚀性和电绝缘性,常制成薄膜,用于工业包装、农业育秧和日用雨衣、台布等,还可用于制造耐酸耐碱软管、电缆外皮、导线绝缘层等。PVC 适宜的加工温度为 150~180℃,使用温度一般在 -15~55℃。其突出的优点是耐化学腐蚀,不燃烧,且成本低,易于加工;但其耐热性差,冲击韧度低,还有一定的毒性。当然,若用共聚和混合法改进,也可制成用于食品和药品包装的无毒聚氯乙烯产品。

c. 聚苯乙烯(PS)。该类塑料的产量仅次于 PE、PVC。PS 具有良好的加工性能,其薄膜有优良的电绝缘性,常用于电气零件,其发泡材料相对密度低达 0.33 g/cm³,是良好的隔音、隔热和防震材料,广泛用于仪器包装和隔热。PS 可用以制造纺织工业中的纱管、纱锭、线轴,电子工业中的仪表零件、设备外壳,化工中的储槽、管道、弯头,车辆上的灯罩、透明窗,以及电工绝缘材料等。其中还可加入各种颜色的填料制成色彩鲜艳的制品,用于制造玩具及日常用品。聚苯乙烯的缺点是抗冲击性差,易脆裂,耐热性不高。

d. 聚丙烯(PP)。聚丙烯由丙烯单体聚合而成。聚丙烯的密度仅为 0.90~0.91 g/cm³,是常用塑料中最轻的。但它的强度、刚度、表面硬度都比 PE 塑料大,且无毒,耐热性也好,是常用塑料中唯一能在水中煮沸、经受消毒温度(130℃)的品种。聚丙烯还具有优良的电绝缘性能和耐蚀性能,在常温下能耐酸、碱,因此经常制成导线外皮。但聚丙烯的抗冲击性差,耐低温及抗老化性也差。聚丙烯可用于制造某些零件,如法兰、齿轮、风扇叶轮、泵叶轮、把手及壳体等,还可制造化工管道、容器、医疗器械等。

②ABS 塑料。ABS 塑料是丙烯腈、丁二烯和苯乙烯的三元共聚物。其中丙烯腈使材料耐蚀性和硬度提高,丁二烯提高其柔顺性,而苯乙烯则使其具有良好的热塑性加工性,因此 ABS 是“坚韧、质硬且刚性”的材料,是最早被人类认识 and 使用的“高分子合金”。ABS 由于其低的成本和良好的综合性能,且易于加工成型和电镀防护,因而在机械、电器和汽车等领域有着广泛的应用,可制造齿轮、泵叶轮、轴承、把手、管道、储槽内衬、电机外壳、仪表壳、仪表盘、蓄电池槽、水箱外壳等。近来 ABS 在汽车零件上的应用发展很快,如做挡泥板、扶手、热空气调节导管,以及小轿车车身等,做纺织器材、电信器件都有很好的效果。

③聚酰胺(PA)。聚酰胺又称尼龙或锦纶,是最先发现能承受载荷的热塑性塑料,在机械工业中应用比较广泛。它的强度较高,耐磨,自润滑性好,而且耐油、耐蚀、消音、减振,故



大量用于制造小型零件,代替有色金属及其合金。大多数尼龙易吸水,进而导致性能和尺寸的改变,这在使用时应予以注意。

④聚碳酸酯(PC)。聚碳酸酯是新型热塑性工程塑料,品种很多,工程上常用的是芳香族聚碳酸酯,其综合性能很好,产量仅次于尼龙。聚碳酸酯誉称“透明金属”,具有优良的综合性能:冲击韧度和延性率突出,在热塑性塑料中是最好的;弹性模量较高,不受温度的影响;抗蠕变性能好,尺寸稳定性高;透明度高,可染成各种颜色;吸水性小;绝缘性能优良,在 $10\sim 130\text{ }^{\circ}\text{C}$ 间介电常数和介质损耗近于不变。PC可制造精密齿轮、蜗轮、蜗杆、垫片、套管、电容器等,由于透明性好,在航空工业中广为应用,是一种不可缺少的制造信号灯、挡风玻璃、座舱罩的材料。

⑤聚甲基丙烯酸甲酯(PMMA)。PMMA 俗称有机玻璃。其透明度比无机玻璃还高,透光率达 92% ,是目前最好的透明材料;密度也只有无机玻璃的一半,为 1.18 g/cm^3 。冲击韧度比普通玻璃高 $7\sim 8$ 倍(厚度为 $3\sim 6\text{ mm}$ 时),不易破碎,耐紫外线和防老化性能好。但其硬度低,耐磨性和耐热性差,使用温度不能超过 $180\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。它主要用于制造各种窗体、罩类及光学镜片和防弹玻璃等。

⑥聚四氟乙烯(PTFE)。聚四氟乙烯是氟塑料中的一种,具有很好的耐高、低温,耐腐蚀等性能。聚四氟乙烯几乎不受任何化学药品的腐蚀,它的化学稳定性超过了玻璃、陶瓷、不锈钢,甚至金和铂,俗称“塑料王”。聚四氟乙烯由于使用范围广,化学稳定性好,介电性能优良,自润滑和防黏性好,因而在国防、科研和工业中占有重要地位。

⑦其他热塑性塑料。常用的热塑性塑料还有聚砜(PSF)、聚酰亚胺(PI)、聚苯醚(PPO)、氯化聚醚等。

a. 聚砜。聚砜是分子链中具有硫键的透明树脂,具有良好的综合性能,耐热性、抗蠕变性好,长期使用温度为 $150\sim 174\text{ }^{\circ}\text{C}$,脆化温度为 $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$,广泛应用于电器、机械设备、医疗器械、交通运输等领域。

b. 聚酰亚胺。聚酰亚胺是含氮的环形结构的耐热性树脂,其强度、硬度较高,使用温度可达 $260\text{ }^{\circ}\text{C}$,但加工性较差,脆性大,成本高,主要用于制造特殊条件下工作的精密零件,如喷气发动机供燃料系统的零件、耐高温高真空用自润滑轴承及电气设备,是航空航天工业中常用的高分子材料。

c. 聚苯醚。聚苯醚是线型、非结晶的工程塑料,具有很好的综合性能。它最大的特点是使用温度范围宽($-190\sim 190\text{ }^{\circ}\text{C}$),达到热固性塑料的水平;它的耐摩擦磨损性能和电性能也很好,还具有卓越的耐水、耐蒸汽性能。因此聚苯醚主要用于制造在较高温度下工作的齿轮、轴承、凸轮、泵叶轮、鼓风机叶片、水泵零件、化工用管道、阀门及外科医疗器械等。

d. 氯化聚醚。氯化聚醚的主要特点是耐化学腐蚀性极好,仅次于PTFE,加工性好,成本低,尺寸稳定性好,主要用于制造在 $120\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下腐蚀介质中工作的零件或管道及精密机械零件等。

⑧热固性塑料。热固性塑料也很多,主要是酚醛塑料(PF)和环氧塑料(EP)。

a. 酚醛塑料。酚醛塑料是由酚类和醛类在酸或碱催化剂作用下缩聚合成酚醛树脂,再加入添加剂而制得的高聚物。酚醛塑料具有一定的强度和硬度,耐磨性好,绝缘性良好,耐热性较高,耐蚀性优良。缺点是性脆,不耐碱。酚醛塑料广泛用于制造插头、开关、电话机、仪表盒、汽车制动片、内燃机曲轴皮带轮、纺织机和仪表中的无声齿轮、化工用耐酸泵以及日





常用具等。

b. 环氧塑料。环氧塑料为环氧树脂加入固化剂后形成的热固性塑料。环氧塑料强度高,且耐热性、耐腐蚀性及加工成型性优良,对很多材料有好的胶粘性能,主要用于塑料模具的制造,电气、电子元件和线圈的密封和固定等领域,还可用于修复机件。

2. 橡胶

橡胶是以高分子化合物为基础的具有显著高弹性的材料,分子量一般在几十万以上,甚至达到百万。它与塑料的区别是在很宽的温度范围内($-50\sim 150\text{ }^{\circ}\text{C}$)处于高弹态,并保持明显的高弹性。某些特种橡胶在 $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的低温和 $200\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高温下都保持高弹性。橡胶的弹性模量值很低,在外力作用下变形量可达 $100\%\sim 1\,000\%$,外力去除又很快恢复原状。橡胶有优良的伸缩性,良好的储能能力和耐磨、隔音、绝缘、不透气、不透水等性能,是常用的弹性材料、密封材料、减振防振材料和传动材料。橡胶密封件如图 1-21 所示。



图 1-21 橡胶密封件

(1) 橡胶的组成。工业用橡胶由生胶(或纯橡胶)和橡胶配合剂组成。生胶是橡胶制品的主要成分,对其他配合剂来说,起着黏结剂的作用。使用不同的生胶,可以制成不同的橡胶制品。但生胶性能随温度和环境变化很大,如高温发黏、低温变脆且极易为溶剂溶解,因此必须加入各种不同的橡胶配合剂,以提高橡胶制品的使用性能和加工工艺性能。

橡胶配合剂种类很多,有硫化剂、硫化促进剂、增塑剂、防老剂、填充剂、发泡剂和着色剂等。硫化剂的作用是使橡胶分子产生交联成为三维网状结构,这种交联过程称为硫化。硫化剂主要为硫黄、含硫有机化合物等。

(2) 橡胶的种类。橡胶品种很多。根据原材料的来源,其主要有天然橡胶和合成橡胶两类。

① 天然橡胶。天然橡胶是橡树上流出的胶乳,是以异戊二烯为主要成分的不饱和状态的天然高分子化合物。天然橡胶具有很好的弹性,弹性模量为 $3\sim 6\text{ MPa}$,具有较好的力学性能、良好的耐碱性及电绝缘性,缺点是不耐强酸、耐油差、不耐高温,用来制造轮胎。

② 合成橡胶。合成橡胶种类繁多,常用来做各种机器中的密封圈、减震器等零件,又可作为电器用的绝缘体和轮胎等。

a. 丁苯橡胶。丁苯橡胶代号 SBR,可以和任意比例的天然橡胶混合使用,耐磨性、耐油性、耐热性及抗氧化性都优于天然橡胶,价格低廉,但弹性不如天然橡胶,主要用来制造轮胎、胶带和胶管。

b. 顺丁橡胶。顺丁橡胶代号 BR,由丁二烯聚合而成,其弹性、耐磨性、耐热性及耐寒性



均优于天然橡胶,缺点是强度低、加工性差、抗撕裂性差,主要用来制造轮胎、胶带、减震部件和绝缘零件。

c. 氯丁橡胶。氯丁橡胶代号 CR,由氯丁二烯聚合而成,不但具有高弹性、高强度、高绝缘性,而且具有耐溶剂、耐氧化、耐油、耐酸、耐热、耐燃烧和抗老化等性能,有“万能橡胶”之称,但它耐寒性差,生胶稳定性差,主要用来制造输送带、风管、电缆和输油管。

d. 乙丙橡胶。乙丙橡胶代号 EPDM,由乙烯和丙烯共聚而成,结构稳定,抗老化,绝缘性、耐热性及耐寒性好,并且耐酸碱,缺点是耐油性差,黏着性差,硫化速度慢,主要用来制造轮胎、电线套管和输送带。

e. 丁腈橡胶。丁腈橡胶代号 NBR,由丁二烯和丙烯共聚而成,耐油、耐磨、耐热、耐燃烧、耐火、耐碱、耐有机溶剂,抗老化性好,但耐寒性、耐酸性和绝缘性差,主要用来制造耐油制品,如油桶、油槽及输油管等。

f. 硅橡胶。硅橡胶由二基硅氧烷与其他有机硅单体共聚而成,具有高的耐热性及耐寒性,在 $-100\sim 350\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内保持良好的弹性,抗老化,绝缘性好,缺点是强度低,耐磨和耐酸碱性能差,价格贵,主要用于制造飞机和宇航器中的密封件、薄膜和耐高温的电线和电缆等。

g. 氟橡胶。氟橡胶代号 FPM,是一种以碳原子为主链,含有氟原子的聚合物。其化学稳定性高,在各类橡胶中耐蚀性最好,耐热性也好,最高使用温度达 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$,缺点是加工性差,耐寒性差,主要用于制造国防和高技术中的密封件和化工设备。

3. 陶瓷

传统意义上的陶瓷主要指陶器和瓷器,也包括玻璃、搪瓷、耐火材料、砖瓦等,所使用的原料主要是天然硅酸盐类矿物,故又称为硅酸盐材料,其主要成分是 SiO_2 、 Al_2O_3 、 TiO_2 、 Fe_2O_3 、 CaO 、 K_2O 、 MgO 、 PbO 、 Na_2O 等氧化物。传统瓷器如图 1-22 所示。



图 1-22 传统瓷器

现今意义上的陶瓷材料已有了巨大变化,许多新型陶瓷已经远远超出了硅酸盐的范畴,不仅在性能上有了重大突破,在应用上也已渗透到各个领域。因此,一般认为陶瓷材料是各种无机非金属材料的通称。现代陶瓷材料是指用人工合成的高纯度原料(如氧化物、氮化物、碳化物、硅化物、硼化物、氟化物等)采用传统陶瓷工艺方法制造的新型陶瓷。当今的陶瓷材料与金属材料、高分子材料一起构成了工程材料的三大支柱。





(1)陶瓷材料制造工艺。陶瓷胚体的生产过程要经历三个阶段,即坯料制备、成型和烧结。

①坯料制备。采用天然的岩石、矿物、黏土等作为原料时,一般需经过原料粉碎、去杂质、磨细、配料(保证制品性能)、脱水(控制坯料水分)、练坯等过程。

②成型。陶瓷成型就是将粉料直接或间接地转变成具有一定形状、体积和强度的形体,也称塑坯。成型方法很多,主要有可塑法、注浆法和压制法。

a. 可塑法又称塑性料团成型法,是将粉料与一定量的水或塑化剂混合均匀,使之成为具有良好的塑性的料团,再用手工或机械成型。

b. 注浆法又称浆料成型法,是将原料粉配制成糊状浆料注入模具中成型,还可将其分为注浆成型和热压注浆成型。

c. 压制法又称粉料成型法,是粉料直接成型的方法,与粉末冶金的成型方法完全一致,其又分作干压法和冷等静压法两种。

③烧结。陶瓷制品成型后还要烧结,未经烧结的陶瓷制品称为生坯。烧结是将成型后的生坯加热到高温(有时还需同时加压)并保持一定时间,通过固相或部分液相物质原子的扩散迁移或反应的过程,消除坯料中的孔隙并使材料致密化,同时形成特定的显微组织结构的过程。

(2)陶瓷材料的显微结构及性能特点。陶瓷的显微结构是决定其性能的基本因素之一,因此有必要了解陶瓷的显微结构。

①陶瓷的显微结构。陶瓷的显微结构主要包括不同的晶相和玻璃相,晶粒的大小及形状,气孔的尺寸及数量,微裂纹的存在形式及分布。陶瓷的显微结构如图 1-23 所示。

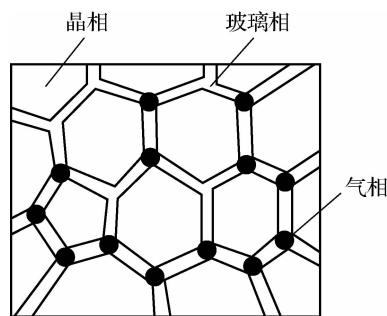


图 1-23 陶瓷的显微结构

a. 晶相。陶瓷主要由取向各异的晶粒构成,晶相的性能往往能表征材料的特性。陶瓷制品的原料是细颗粒,但由于烧结过程中发生晶粒长大的现象,烧结后的成品不一定获得细晶粒,因而陶瓷生产中控制晶粒大小十分重要。保温时间越短,晶粒尺寸越小,强度越高。

b. 玻璃相。玻璃相是陶瓷烧结时各组成物及杂质发生一系列物理、化学反应后形成的一种非晶态物质,它的作用是黏结分散的晶相,降低烧结温度,抑制晶粒长大和填充气孔。由于玻璃相熔点低、热稳定性差,导致陶瓷在高温下产生蠕变,因而一般控制其含量为 20%~40%。

c. 气相。气相是指陶瓷孔隙中的气体,是在陶瓷生产过程中形成并被保留下来的。气孔对陶瓷性能的影响是双重的,它使陶瓷密度减小,并能减震,这是有利的一面;不利的是它



使陶瓷强度降低,介电耗损增大,电击穿强度下降,绝缘性降低。因此,生产上要控制气孔的数量、大小及分布。一般气孔体积分数占5%~10%,力求气孔细小,均匀分布,呈球状。

②陶瓷材料的性能特点。陶瓷材料原子结合主要是靠离子键和共价键,因此陶瓷材料总的性能特点是强度高、硬度大、熔点高、化学稳定性好、线膨胀系数小,且多为绝缘体;相应地其塑性、韧性和可加工性较差。在这里主要介绍陶瓷材料一些主要的性能特点。

a. 强度和硬度。陶瓷材料弹性模量较大,即刚性好;但陶瓷在断裂前无明显塑性变形。因此,陶瓷质脆,作为结构材料使用时安全性差。但同时陶瓷材料的高温强度比金属高得多,且当温度升到 $0.5T_m$ (T_m 为熔点)以上时陶瓷材料也可发生塑性变形,虽然高温时陶瓷材料强度下降,但其塑性、韧性却大大提高,加之陶瓷材料优异的抗氧化性,其可能成为未来高速高温燃气发动机的主要结构材料。

高硬度、高耐磨性是陶瓷材料主要的优良特性之一,因此硬度对陶瓷烧结气孔等缺陷敏感性低。陶瓷硬度随温度升高而降低的程度较强度下降得要快。

b. 脆性与陶瓷增韧。脆性是陶瓷材料的特征。其直观性能的特征为抗机械冲击和热冲击性能差。脆性的本质是与陶瓷材料内原子为共价键或离子键结合特征有关的。改善陶瓷脆性主要有三方面的途径:一是增加陶瓷烧结致密度,减小气孔所占比例及气孔尺寸,尽量减少脆性玻璃相数量,并细化晶粒;二是通过陶瓷的相变增韧,同金属一样,某些陶瓷材料也存在相变和同素异构转变,具有补强效应;三是纤维增韧,利用一些纤维(长纤维或短纤维)的高强度和高模量特性,使之均匀分布于陶瓷基体中,生成一种陶瓷基复合材料。

c. 陶瓷的电性能。大部分陶瓷是好的绝缘材料,这是由于陶瓷中组成原子的共价键和离子键的饱和性。但由于成分因素和环境因素的影响,有些陶瓷可以做半导体或压电材料。

d. 陶瓷的化学性能。陶瓷的组织结构非常稳定,不与介质中的氧发生氧化,即使在高温下也不氧化,因此陶瓷对酸、碱、盐等都有极好的抗腐蚀能力。

e. 陶瓷的热性能。陶瓷熔点高,而且有很好的高温强度和抗氧化性,是有前途的高温材料,用于制造陶瓷发动机,不仅重量轻体积小,且热效率大大提高;陶瓷热传导性差,抗熔融金属侵蚀性好,可制造坩埚热容器;陶瓷线膨胀系数小,但抗热振性能差。

陶瓷材料还有一些特殊的光学性能、磁性能、生物相容性以及超导性能等;而陶瓷薄膜的力学性能除与其结构因素有关外,还应服从薄膜的力学性能规律以及其独特的光、电、磁等物理化学性能。利用之,将可开发出具有各种各样功能的材料,有着广泛的应用前景。

四、复合材料

根据国际标准化组织的定义,复合材料是“由两种以上在物理和化学上不同的物质组合起来而得到的一种多相固体材料”。由两种以上物理性质和化学性质不同的材料组合而成的复合材料,可以通过物理方法或化学方法获得。通常其中的一种作为基体起黏结作用,另一些作为增强材料,提高承载能力。复合材料能克服单一材料的弱点,发挥其优点。

复合材料已在建筑、交通运输、化工、船舶、航空航天和通用机械等领域广泛应用。如先进的B-2隐形战略轰炸机的机身和机翼大量使用了石墨和碳纤维复合材料,这种材料不仅强度大,而且具有雷达反射波小的特点。石墨和碳纤维复合材料如图1-24所示。



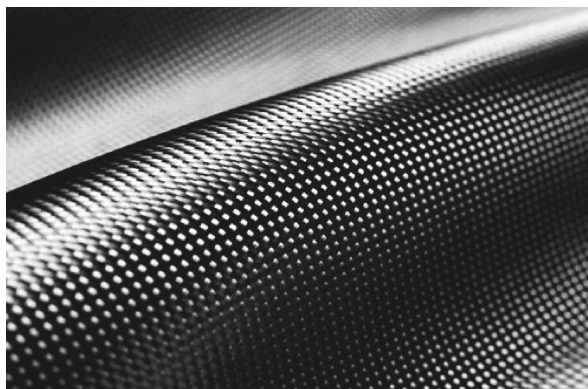


图 1-24 石墨和碳纤维复合材料

1. 复合材料的性能特点

复合材料的性能主要取决于增强材料的性能、含量及分布状况,基体材料的性能、含量,以及它们之间的界面结合情况,作为产品还与成型工艺和结构设计有关。因此,无论对哪种复合材料,性能都不是一个定值,但就常用的工程复合材料而言,与其相应的基体材料相比较,其主要有以下力学性能特点。

(1)高比强度、高比模量。比强度、比模量是指材料的强度或模量与其密度之比。复合材料增强体一般为高强度、高模量、低密度的纤维、晶须、颗粒,从而大大增加了复合材料的比强度和比模量。

(2)良好的耐疲劳性能。复合材料中的纤维缺陷少,本身抗疲劳能力高;而基体的塑性和韧性好,能够消除或减少应力集中,不易产生微裂纹;大量纤维的存在,使裂纹扩展要经历非常曲折、复杂的路径,促使复合材料疲劳强度提高。

(3)优越的高温性能。由于各种增强纤维一般在高温下仍可保持高的强度,因而用它们增强的复合材料的高温强度和弹性模量均较高,特别是金属基复合材料。如 7075-T6 铝合金,在 400 °C 时弹性模量接近于零,强度值也从室温时的 500 MPa 降至 30~50 MPa,而用碳纤维或硼纤维增强组成的复合材料,在 400 °C 时强度和弹性模量可保持接近室温下的水平。碳纤维复合材料在非氧化气氛下可在 2 400~2 800 °C 长期使用。

(4)良好的减振性能。材料的比模量越大,则其自振频率越高,可避免在工作状态下产生共振及由此引起的早期破坏。

(5)良好的断裂安全性。纤维增强复合材料是力学上典型的静不定体系,纤维增强复合材料在每平方厘米截面上有几千至几万根增强纤维(直径一般为 10~100 μm),较大载荷下部分纤维断裂时载荷由韧性好的基体重新分配到未断裂纤维上,构件不会瞬间失去承载能力而断裂。

(6)良好的耐磨性。金属基复合材料,尤其是陶瓷纤维、晶须、颗粒增强金属基复合材料具有很好的耐磨性。

2. 复合材料的类别

复合材料种类繁多,分类方法也不尽统一。原则上讲,复合材料可以由金属材料、高分



子材料和陶瓷材料中任两种或几种制备而成。

按基体不同,复合材料可分为树脂基复合材料、金属基复合材料、陶瓷基复合材料及碳-碳基复合材料。目前应用最多的是树脂基复合材料和金属基复合材料。

按增强体的种类和形态不同,复合材料又可分为纤维增强复合材料、颗粒增强复合材料、层状复合材料和填充骨架型复合材料。其中,纤维增强复合材料又分为长纤维增强型、短纤维增强型和晶须增强型复合材料。其中,发展最快、应用最广的是各种纤维(玻璃纤维、碳纤维、硼纤维、SiC 纤维等)增强的复合材料。

按主要作用不同,复合材料又分为结构复合材料和功能复合材料两大类。

(1)树脂基复合材料。树脂基复合材料又称聚合物基复合材料,是目前应用最广泛的一类复合材料。它是以有机聚合物为基体,以连续纤维为增强材料组合而成的。以玻璃纤维增强的塑料(俗称玻璃钢)问世以来,工程界才明确提出“复合材料”这一术语。此后,碳纤维、硼纤维、碳化硅纤维等高性能增强体和一些耐高温树脂基体相继问世,发展了大量高性能树脂基复合材料,其成为先进复合材料的重要组成部分。

①玻璃纤维增强热固性塑料。玻璃纤维增强热固性塑料是玻璃纤维作为增强材料,热固性塑料(包括环氧树脂、酚醛树脂、不饱和聚酯树脂等)作为基体的纤维增强塑料,俗称玻璃钢。根据基体种类不同,可将其分成三类:玻璃纤维增强环氧树脂、玻璃纤维增强酚醛树脂、玻璃纤维增强聚酯树脂。玻璃纤维增强热固性塑料的突出特点是比重小(为 1.6~2.0,比最轻的金属铝还要轻)、比强度高(比高级合金钢还高)，“玻璃钢”这个名称便由此而来。该种复合材料耐磨性、绝缘性和绝热性好,吸水性低,易于加工成型;但是这类材料弹性模量低,只有结构钢的 $1/5 \sim 1/10$,刚性差,耐热性比热塑性玻璃钢好但仍不够高,只能在 $300\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以下工作。为提高它的性能,可对基体进行化学改性,如环氧树脂和酚醛树脂混溶后做基体的环氧-酚醛玻璃钢热稳定性好,强度更高。热固性玻璃钢主要用于制造机器护罩、车辆车身、绝缘抗磁仪表、耐蚀耐压容器和管道,以及各种形状复杂的机器构件和车辆配件。

②玻璃纤维增强热塑性塑料。它是玻璃纤维(包括长纤维或短切纤维)作为增强材料、热塑性塑料(如尼龙、ABS 塑料等)作为基体材料组成的,具有高强度、高冲击韧度、良好的低温性能及热膨胀系数小的特性。热塑性玻璃钢强度不如热固性玻璃钢,但成型性好、生产率高,且比强度也不低。如尼龙 66 玻璃钢刚度、强度、减摩性好,可用于制造轴承、轴承架、齿轮等精密件,以及电工件、汽车仪表、前后灯等;ABS 玻璃钢可用于制造化工装置、管道、容器等。

③碳纤维增强树脂复合材料。碳纤维增强树脂复合材料由碳纤维与聚酯、酚醛、环氧、聚四氟乙烯等树脂组成,其性能优于玻璃钢,密度小,强度高,弹性模量高(因此比强度和比模量高),并具有优良的抗疲劳性能和耐冲击性能,还具有良好的自润滑性、减摩耐磨性、耐蚀和耐热性;但碳纤维与基体的结合力差(必须经过适当的表面处理才能与基体共混成型)。这类材料主要应用于航空航天、机械制造、汽车工业及化学工业中。

④硼纤维增强树脂复合材料。硼纤维增强树脂复合材料由硼纤维和环氧、聚酰亚胺等树脂组成,具有高的比强度和比模量以及良好的耐热性。如硼纤维-环氧树脂复合材料的弹性模量分别为铝或钛合金的 3 倍或 2 倍,而比模量则为铝或钛合金的 4 倍;其缺点是各向异性明显,加工困难,成本太高。这类材料主要用于航空航天和军事工业。





⑤碳化硅纤维增强树脂复合材料。碳化硅纤维增强树脂复合材料是碳化硅纤维与环氧树脂组成的复合材料,具有高的比强度和比模量,抗拉强度接近碳纤维-环氧树脂复合材料,而抗压强度为其两倍,是一类很有发展前途的新材料,主要用于航空航天工业。

(2)金属基复合材料。与传统的金属材料相比,金属基复合材料具有较强的比强度和比刚度;与树脂基复合材料相比,它具有优良的导电性和耐热性;与陶瓷材料相比,它又具有高韧性和抗高冲击性能。

①纤维增强金属基复合材料。纤维增强金属基复合材料是由高性能长纤维和金属合金组成的一类先进复合材料。纤维增强金属基复合材料常用的增强纤维有硼纤维、碳(石墨)纤维、氧化铝纤维、碳化硅纤维等。基体金属主要有铝及其合金、镁及其合金、钛及其合金、铜合金、高温合金及新近发展的金属化合物。常见类型如硼纤维增强铝基复合材料(B/Al)、碳化硅纤维增强铝基复合材料(SiC/Al)、氧化铝纤维增强镁基复合材料($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Mg}$)、氧化铝纤维增强镍基金属化合物复合材料($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Ni}_3\text{Al}$)。

纤维增强金属基复合材料特别适合于做航天飞机主舱骨架支柱、发动机叶片、尾翼、空间站结构材料,也常用于制造汽车构件(保险杠、活塞连杆等)、自行车车架、体育运动器械等。

②颗粒增强金属基复合材料。颗粒增强金属基复合材料是由一种或多种陶瓷颗粒或金属基颗粒增强体与金属基组成的先进复合材料。这种材料一般选择具有高模量、高强度、耐磨及良好高温性能,并在物理、化学上与基体相匹配的颗粒作为增强体,一般为碳化硅、三氧化二铝、碳化钛、硼化钛等陶瓷颗粒,有时也用金属颗粒作为增强体。典型的代表有 SiC/Al 复合材料、SAP 复合材料及弥散无氧铜复合材料。

③晶须增强金属基复合材料。晶须增强金属基复合材料是由各种晶须为增强体、金属材料为基体所形成的复合材料。增强晶须主要有碳化硅晶须和氮化硅晶须。

目前以碳化硅晶须增强铝基(SiC/Al)复合材料发展较快,它是针对航空航天等高技术领域的实际需求而开发的一类先进复合材料,可以采用多种工艺方法,如粉末冶金法、挤压铸造法进行制备。

(3)陶瓷基复合材料。现代陶瓷材料的致命弱点是脆性大,这使陶瓷材料的使用受到了很大的限制。陶瓷中加入起增韧作用的第二相而制成的陶瓷基复合材料即是一种重要的改善脆性的方法。

陶瓷基复合材料的增强体通常为纤维、晶须和颗粒。纤维主要是碳纤维或石墨纤维,它能大幅度地提高冲击韧性和热振性,降低陶瓷的脆性,而陶瓷基体则保证纤维在高温下不氧化烧蚀,使材料的综合力学性能大大提高。例如,碳纤维—石英陶瓷的冲击韧性为烧结石英的 40 倍,抗弯强度为 5 倍~12 倍,能承受 $1\,200\sim 1\,500\text{ }^\circ\text{C}$ 的高温气流冲蚀,可用在宇航飞行器的防热部件上;碳纤维- Si_3N_4 复合材料可在 $1\,400\text{ }^\circ\text{C}$ 长期工作,用于制造飞机发动机叶片。

五、钢的热处理

热处理就是通过对固态金属的加热、保温和冷却,来改变金属的显微组织及其形态,从而提高或改善金属的机械性能的一种方法。铸造、锻压、焊接和机加工的目的是使零件成型或改变其形状,而热处理的目的是改变金属材料的组织和性能,而不要求改变零件的形状和



尺寸。各种机械零件中,大多数或绝大多数都要经过热处理才投入使用。钢的热处理对提高和改善零件的机械性能发挥着十分重要的作用。

热处理方法很多,常用的有退火、正火、淬火、回火和表面热处理等。热处理可作为预先热处理以消除上一道工序所遗留的某些缺陷,为下一道工序准备好条件;也可作为最终热处理进一步改善材料的性能,从而充分发挥材料的潜力,达到零件的使用要求。因此,不同的热处理工序常穿插在零件制造过程的各个热、冷加工工序中进行。

任何一种热处理的工艺过程,都包括下列三个步骤。

(1)以一定速度把零件加热到规定的温度。这个温度范围根据不同的金属材料、不同的热处理要求而定。

(2)在此温度下保温,使工件全部或局部热透。

(3)以某种速度把工件冷却下来。

钢的热处理工艺曲线如图 1-25 所示。通过控制加热温度和冷却速度,可以在很大范围内改变金属材料的性能。

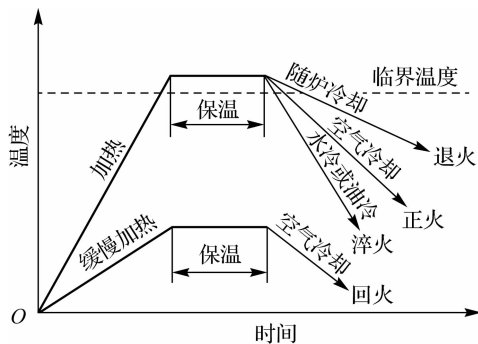


图 1-25 钢的热处理工艺曲线

1. 退火

退火是把工件加热到适当的温度(对碳钢一般加热至 $780\sim 900\text{ }^{\circ}\text{C}$),保温一定时间后随炉子降温而冷却的热处理方法。

工具钢和某些重要结构零件的合金钢有时硬度较高,铸、锻、焊后的毛坯有时硬度不均匀,存在着内应力。为了便于切削加工,并保持加工后的精度,常对工件施以退火处理。

退火后的工件硬度较低,消除了内应力,同时还可以使材料的内部组织均匀细化,为进行下一步热处理(淬火等)做好准备。

加热时温度控制应准确。温度过低达不到退火目的,温度过高又会造成过热、过烧、氧化、脱碳等缺陷。操作时还应注意零件的放置方法,当退火的主要目的是消除内应力时更应注意。如对于细长工件的稳定尺寸退火,一定要在井式炉中垂直吊置,以防止工件由于自身重力所引起的变形。

操作时还应注意不要触碰电阻丝,以免短路。为保证安全,应安装炉门开启断电装置,装炉和取出工件时能自行断电。

2. 正火

将工件放到炉中加热到适当温度,保温后出炉空冷的热处理方法称为正火。正火实质





上是退火的另一种形式,其作用与退火相似。与退火不同之处是加热(对碳钢而言,一般加热至 $800\sim 930\text{ }^{\circ}\text{C}$)和保温后,放在空气中冷却而不是随炉冷却。由于冷却速度比退火快,因而正火工件获得的组织比较细密,比退火工件的强度和硬度稍高,而塑性和韧性稍低。但这一点对于一般低碳钢而言差别并不明显,对中碳钢零件而言有时由于正火后的硬度适中,更适合于切削加工。又由于正火冷却时不占炉子,还可使生产效率提高,成本降低。因此,一般低碳和中碳结构钢等多用正火代替退火。

3. 淬火

淬火是将工件加热到适当的温度(对碳钢一般加热到 $760\sim 820\text{ }^{\circ}\text{C}$),保温后在水中或油中快速冷却的热处理方法。工件经淬火后可获得高硬度的组织,因此淬火可提高钢的强度和硬度。但工件淬火后脆性增加、内部产生很大的内应力,使工件变形甚至开裂。因此,工件淬火后一般都要及时进行回火处理,并在回火后获得适度的强度和韧性。

淬火操作时要注意工件浸入淬火剂的方法。如果浸入方式不正确,可能使工件各部分的冷却速度不一致而造成很大的内应力,使工件发生变形和裂纹,或产生局部淬不硬等缺陷。例如,钻头、轴、杆类细长工件应以吊挂的方式垂直地浸入淬火液中;薄而平的工件(圆盘铣刀等),不能平着放入而必须立着放入淬火剂中。最终目的使工件各部分的冷却速度趋于一致等。

淬火操作时还必须穿戴防护用品,如工作服、手套、防护眼镜等,以防淬火液飞溅伤人。

4. 回火

将淬火后的工件重新加热到某一温度范围并保温后,在油中或空气中冷却的操作称为回火。回火的温度大大低于退火、正火和淬火时的加热温度,因此回火并不使工件材料的组织发生转变。回火的目的是减小或消除工件在淬火时所形成的内应力,适当降低淬火钢的硬度,减小脆性,使工件获得较好的强度和韧性,即较好的综合机械性能。

根据回火温度不同,回火操作可分为低温回火、中温回火和高温回火。

(1)低温回火。回火温度为 $150\sim 250\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。低温回火可以部分消除淬火造成的内应力,适当地降低钢的脆性,提高韧性,同时工件仍保持高硬度,一般多用于工具、量具。

(2)中温回火。回火温度为 $300\sim 450\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。淬火工件经中温回火后,可消除大部分内应力,硬度有较大的下降,但是具有一定的韧性和弹性,一般用于处理热锻模、弹簧等。

(3)高温回火。回火温度为 $500\sim 650\text{ }^{\circ}\text{C}$ 。高温回火可以消除绝大部分因淬火产生的内应力,硬度也有显著的下降,塑性有较大的提高,使工件具有高强度和高韧性等综合机械性能。淬火后再加高温回火,通常称为调质处理。一般要求具有较高综合机械性能的重要结构零件,如汽车车轴、坦克的扭力轴等,都要经过调质处理。用于调质处理的钢多为中碳优质结构钢和中碳低合金结构钢。也把用于调质处理的钢称为调质钢。

5. 表面热处理

有些零件如齿轮、销轴等,使用时希望它的心部保持一定的韧性,又要求表面层具有耐磨性、抗蚀性、抗疲劳性。这些性能可通过表面热处理来得到。表面热处理按处理工艺特点可分为表面淬火和表面化学热处理两大类。

(1)表面淬火。将钢件表面层迅速加热到淬火温度然后快速冷却下来的热处理工艺称为表面淬火。通常钢件在表面淬火前均进行正火或调质处理,表面淬火后应进行低温回火。





这样,不仅可以保证其表面的高硬度和高耐磨性,而且可以保证心部的强度和韧性。

按照加热方法不同,表面淬火分为火焰淬火和高频感应加热表面淬火(简称高频淬火)。火焰淬火简单易行,但难以保证质量,这种方法现在使用不多。而高频淬火质量好,生产率高,可以使全部淬火过程机械化、自动化,适于成批及大量生产,因此被广泛使用。

(2)表面化学热处理。表面化学热处理就是将钢件在含有活性介质中加热一定时间,使某些金属元素(碳、氮、铝、铬等)渗透零件表层,改变零件表层的化学成分和组织,以提高零件表面的硬度、耐磨性、耐热性和耐蚀性等。常用的表面化学热处理有渗碳、渗氮、氰化(碳氮共渗)以及渗入金属元素等方法。

渗碳是应用得比较广泛的一种方法。渗碳法分气体法、液体法和固体法等,其中气体渗碳法比较常用。

气体渗碳是将工件装入密封的井式气体渗碳炉中,加热至 $900\sim 950\text{ }^{\circ}\text{C}$,通入气体渗碳剂进行渗碳。目前常采用的方法是将煤油、丙酮、酒精等液体碳氢化合物放入渗碳炉内,使之受热后分解出活性碳原子,渗入工件表面。也可以直接通入天然气、液化石油气等气体进行渗碳。渗碳适用于低碳钢和低碳合金钢。渗碳后可使零件表面 $1\sim 2\text{ mm}$ 厚度内的含碳量提高到 $0.8\%\sim 1.2\%$ 。渗碳后的零件,其表面硬度和耐磨性并不高。为了获得高硬度和高耐磨性的表面层,同时改善心部的组织,渗碳后还要进行淬火和低温回火。

学习情境三

机械中的摩擦学

摩擦现象在日常生活中随处可见,它既给人们带来一些益处,又带来许多危害。其积极作用:驱动(如摩擦轮、无级变速、带传动)、缓冲(如宇航员座椅);自锁、制动,如汽车、拖拉机的摩擦制动器等。其消极影响:消耗能源;破坏精度(包括磨损和爬行);增大噪声。任何机械中都存在着摩擦,摩擦是一种不可逆过程,其结果必然有能量损耗和产生磨损。据估计,世界上在工业方面约有 $1/3\sim 1/2$ 的能量消耗于摩擦过程中,大约有 80% 的损坏零件是由各种形式的磨损引起的,因为磨损会使零件的表面形状和尺寸遭到缓慢而连续的破坏,使机械的效率和可靠性逐渐降低,丧失原有的工作性能。

关于摩擦、磨损与润滑的学科构成了摩擦学(Tribology),是研究相对运动的作用表面间的摩擦、磨损和润滑,以及三者间相互关系的理论与应用的一门边缘学科。在机械设计中,人们普遍非常重视零部件的强度问题,而往往对涉及的摩擦、磨损及润滑问题重视不够,主要原因在于摩擦学设计远不像强度设计那样可以定量分析,它是一个极其复杂的过程,涉及的问题和影响因素众多。在机械设计中若能很好地运用已有的研究成果,正确处理好摩擦、磨损和润滑中的各种问题,则所取得的经济效益必将是巨大的,既能减少设备维修次数和费用,又能节省制造零件及其所需材料的费用。

一、摩擦

外力作用下,相互接触的两个物体做相对运动或有相对运动的趋势时,其接触表面上就





会产生抵抗滑动的阻力,这一现象称为摩擦,所产生的阻力称为摩擦力。

摩擦的类型包括以下几种。

- (1)内摩擦,即在物质的内部发生的阻碍分子之间相对运动的现象。
- (2)外摩擦,即在相对运动的物体表面间发生相互阻碍作用的现象。
- (3)静摩擦,即仅有相对运动趋势时的摩擦。
- (4)动摩擦,即在相对运动进行中的摩擦。
- (5)滑动摩擦,即物体表面间的运动形式是相对滑动的摩擦。
- (6)滚动摩擦,即物体表面间的运动形式是相对滚动的摩擦。

这里只介绍金属摩擦副的滑动摩擦。滑动摩擦又分为干摩擦、边界摩擦、流体摩擦和混合摩擦,如图 1-26 所示。

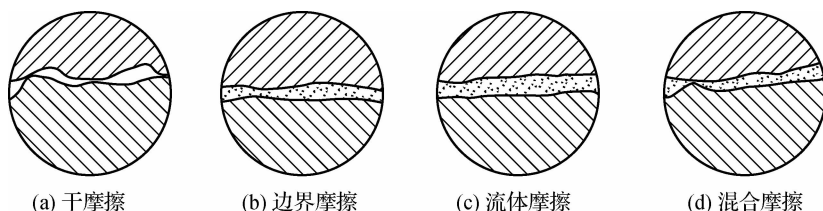


图 1-26 滑动摩擦的类型

1. 干摩擦

干摩擦即摩擦表面间无任何润滑剂或保护膜 of 纯金属接触时的摩擦。摩擦系数 $f=0.3\sim 1.5$ 。而实际上,即使很洁净的表面上也存在脏污膜和氧化膜,因此实际 f 比在真空中的测定值小很多。

2. 边界摩擦

边界摩擦即两摩擦表面被吸附在表面的边界膜隔开的摩擦,其摩擦性质与流体的黏度无关,只与边界膜和表面的吸附性质有关。边界膜极薄,不能避免金属间的直接接触,这时仍有摩擦力产生,其摩擦系数 $f=0.1\sim 0.5$ 。

按边界膜形成机理,边界膜分为物理吸附膜(极性分子)、化学吸附膜(化学键)、化学反应膜。

物理吸附膜即润滑油中脂肪酸极性分子与金属表面相互吸引而形成的吸附膜。物理吸附膜受温度影响较大,受热后膜易脱附、乱向甚至破坏,因此适合于常温、轻载、低速下工作。

化学吸附膜即由润滑油中的分子靠分子键与金属表面相互吸引而形成的吸附膜。其强度、稳定性好于物理吸附膜,受热后熔化温度较高,适合于中等载荷、速度和温度下工作。

化学反应膜即润滑油中加入硫、磷等元素的化合物(即添加剂)与金属表面进行化学反应而形成的膜。化学反应膜较厚,熔点较高,剪切强度较低,稳定性较好,适合于重载、高速和高温下工作。

减小边界摩擦的措施如下。

- (1)控制摩擦发热,防止边界膜脱附。
- (2)合理选择摩擦副材料及润滑剂。
- (3)降低表面粗糙度。



(4)在润滑剂中加入油性润滑剂和极压添加剂,提高边界膜的强度。

3. 流体摩擦

摩擦表面间的润滑膜足以将两个表面完全隔开,即形成了完全的流体摩擦。换言之,形成的压力油膜可以将重物托起,使其浮在油膜之上。摩擦系数极小,为 $0.001\sim 0.008$ 。流体摩擦无磨损产生,是理想的摩擦状态。

在一切机器零件的摩擦表面上,必须尽力建立液体摩擦,只有这样才能延长零件的使用寿命。一般滑动轴承在正常工作和润滑条件下能获得液体摩擦。

4. 混合摩擦

摩擦表面间处于边界摩擦和流体摩擦的混合状态时称为混合摩擦。摩擦系数为 $0.01\sim 0.08$ 。边界摩擦和混合摩擦在工程实际中很难区分,常统称为不完全液体摩擦。

随着科学技术的发展,关于摩擦学的研究已逐渐深入到微观研究领域,形成了纳米摩擦学理论,引发出许多新的概念,如提出了超润滑的概念等。从理论上讲,超润滑是实现摩擦系数为零的摩擦状态,但在实际研究中,一般认为摩擦系数在 0.001 量级(或更低)的摩擦状态即属于超润滑。

二、磨损

机器零件在工作过程中,由摩擦而引起零件表面层材料的破坏,这种现象就称为磨损。磨损会影响机器的效率,降低工作的可靠性,甚至促使机器提前报废。另外,工程上也有不少利用磨损作业的场所,如精加工中的磨削及抛光、机器的磨合等。

1. 磨损的类型

根据磨损延续时间的长短,它可分为自然磨损和事故磨损两类。

1) 自然磨损

自然磨损是指机器零件在正常工作条件下,在相当长的时间内逐渐产生的磨损。这种磨损的特点是,其磨损量是均匀、逐渐增加的,并不引起机器工作能力过早地或迅速地降低。因为这种磨损是一种不可避免的自然现象或正常现象,所以称它为自然磨损或正常磨损。

自然磨损是由下列因素造成的:零件配合表面摩擦力的作用;冲击负荷的作用;高温氧化的作用;介质的化学和电化学腐蚀的作用;等等。

自然磨损可分为机械磨损、氧化磨损和腐蚀磨损三种,其中以机械磨损为最主要。因此,润滑工作的目的就是减少机器零件在工作过程中的机械磨损。

2) 事故磨损

事故磨损是指机器零件在不正常的工作条件下,在很短的时间内产生的磨损。这种磨损的特点是,其磨损是不均匀、迅速增加的,会引起机器工作能力过早地或迅速地降低,甚至会引发机器或零件突然损坏的事故,因此称它为事故磨损或不正常磨损。

事故磨损是由下列因素造成的:机器构造有缺陷;零件材料质量低劣;零件制造和加工不良;部件或机器装配或安装不正确;违反机器的安全技术操作规程和润滑规程;修理不及时或修理质量不高;其他意外原因;等等。

一般情况下,自然磨损达到一定的极限而又没有及时地修理,是导致事故磨损的主要原因。因此,为了防止事故磨损的发生,必须首先了解和掌握磨损的变化规律。





2. 磨损机理

(1)磨粒磨损。外部进入摩擦面间的游离硬颗粒(如空气中的尘土或磨损造成的金属微粒)或硬的轮廓峰尖在软材料表面上犁刨出很多沟纹时被移去的材料,一部分流动到沟纹两旁,一部分则形成一连串的碎片脱落下来成为新的游离颗粒,这样的微粒切削过程就称为磨粒磨损,简称磨损。

(2)黏附磨损。黏附磨损也称胶合。当摩擦表面的轮廓峰在相互作用的各点处由于瞬时的温升和压力发生“冷焊”后,在相对运动时,材料从一个表面迁移到另一个表面,便形成黏附磨损。严重的黏附磨损会造成运动副咬死。

(3)疲劳磨损。疲劳磨损也称点蚀,是摩擦表面材料微体积在交变的摩擦力作用下反复变形所产生的材料疲劳所引起的机械磨损。点蚀过程:产生初始疲劳裂纹—扩展—微粒脱落,形成点蚀坑。

(4)冲蚀磨损。冲蚀磨损即流动的液体或气体中所夹带的硬质物体或硬质颗粒冲击零件表面所引起的机械磨损。利用高压空气输送型砂或高压水输送碎石时,管道内壁所产生的机械磨损是实例之一。

(5)腐蚀磨损。当摩擦表面材料在环境的化学或电化学作用下引起腐蚀,在摩擦副相对运动时所产生的磨损即为腐蚀磨损。

(6)微动磨损。微动磨损是指摩擦副在微幅运动时,由上述各磨损机理共同形成的复合磨损。微幅运动可理解为不足以使磨粒脱离摩擦副的相对运动。例如,轴与孔的过盈配合面、滚动轴承套圈的配合面、旋合螺纹的工作面、铆钉的工作面等的磨损。

3. 磨损规律

机器在工作过程中,其中各个零件的磨损速度是不同的,但是它们之间仍然有着共同的变化规律。典型磨损过程如图 1-27 所示。

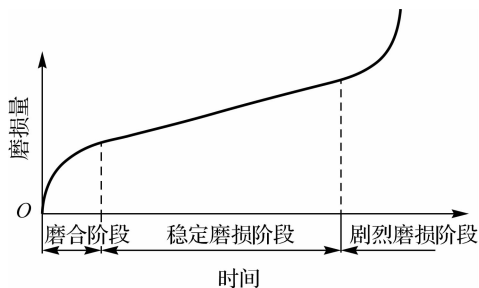


图 1-27 典型磨损过程

(1)磨合阶段。磨合阶段形成一个稳定的表面粗糙度,且在以后过程中,此粗糙度不会继续改变,所占时间比例较小。该阶段表示组合件在新装配或修理好后的试车初磨(跑合)期,这段时期内曲线急剧上升,表示组合件在试车初期内的磨损速度较大,初磨结束,应重新换新油再投入正常运转。

(2)稳定磨损阶段。该阶段经磨合的摩擦表面加工硬化,形成了稳定的表面粗糙度,摩擦条件保持相对稳定,磨损较缓匀。此段时间长短反映零件的寿命。

(3)剧烈磨损阶段。经稳定磨损后,零件表面破坏,运动副间隙增大导致动载、振动,进而润滑状态改变,导致温升,使磨损速度急剧上升,直至零件失效,使组合件处于危险状态。



这时机器如果继续工作,就可能立即发生意外损坏事故。剧烈磨损阶段又称事故磨损期。

注意:实际机械零件在使用过程中,这三个过程无明显界限。若不经跑合,压力过大,速度过高或润滑不良等,则可能直接进入剧烈磨损阶段。

正常磨损的速度决定于下列因素:机器构造的特点;机器工作时的工艺条件;制造零件所选用的材料质量;零件的加工精度和光洁度;摩擦表面的润滑情况;润滑剂的性质和品种;轴承压强的大小;机器的修理和装配质量;机器的操作和维护保养质量;等等。

4. 影响磨损的因素和减少磨损的措施

1) 润滑对磨损的影响

润滑对减少机器零件的磨损具有特别重大的意义。因为在摩擦表面之间建立液体摩擦以后,摩擦系数可以降低到原来的几十分之一甚至几百分之一。

建立液体摩擦的许多因素中以配合间隙对油膜厚度的影响为最主要,其次为润滑油的黏度。采取最适宜的间隙,其摩擦和磨损为最小。

例如,轴颈和轴承的滑动摩擦表面之间建立液体摩擦的必要条件如下:润滑油的供应要充分,漏损要最少;注油孔和油槽应开设在轴承的承载区以外;润滑油的黏度和润滑性能要符合工作要求;轴颈的转速要足够高;轴颈和轴承表面应有最适宜的加工粗糙度;轴颈和轴承之间应有最适宜的配合间隙。

2) 零件表面层材料的性质对磨损的影响

零件表面层材料的硬度、韧性、化学稳定性和孔隙度是影响磨损的主要因素。因为增加硬度就可提高材料表面层的耐磨性;增加韧性就可防止或减少磨粒的产生;增加化学稳定性就可减少腐蚀磨损;增加孔隙度就可蓄积润滑剂,从而减少机械磨损,提高零件的耐磨性。

3) 零件表面加工质量对磨损的影响

零件表面的加工质量越高,即不平度越小,一般来说对提高耐磨性是有利的。但过于光滑的表面不一定具有最好的耐磨性能。因为表面过于光滑,使润滑油不能形成均匀的油膜(形成球状油滴),所以反而使耐磨性变坏。

4) 零件的工作条件对磨损的影响

零件的工作条件是指单位面积的负荷(压强)、相对运动的速度和摩擦面运动的性质等。通常单位面积的负荷增大会使零件的磨损速度增加。

5) 安装、修理质量对磨损的影响

机器安装、修理的质量对其使用寿命有很大的影响。如不正确地拧紧轴承盖与轴承座的连接螺栓、齿轮和轴等相互配合的零件不同轴或装配得不好、轴颈和轴承等相互配合的表面不平整等,都能引起单位面积的负荷分布不均匀或者增加了附加负荷,使磨损加速。

摩擦组合件修理和调整,配合间隙过大或过小,都会使磨损迅速增加,最后必然会引起事故磨损和损坏。因此,为了延长组合件的寿命,必须保证安装和修理的质量。

三、润滑

1. 润滑的概念

向承载的两摩擦表面间引入润滑剂,形成润滑膜,这种方法称为润滑。

2. 润滑剂的作用

润滑剂的作用有润滑、冷却、冲洗、密封、减振、卸荷、保护等。





- (1) 润滑作用。改善摩擦状况,减少摩擦,防止磨损,同时还能减少动力消耗。
- (2) 冷却作用。摩擦时产生的热量,大部分被润滑油带走,少部分经过传导辐射直接散发出去。
- (3) 冲洗作用。磨损下来的碎屑可被润滑油带走,称为冲洗作用。冲洗作用的好坏对磨损影响很大。若在摩擦面间形成的润滑油很薄,金属碎屑停留在摩擦面上会破坏油膜,形成干摩擦,造成磨粒磨损。
- (4) 密封作用。压缩机的缸壁与活塞之间的密封,就是借助于润滑油的密封作用。
- (5) 减振作用。摩擦件在油膜上运动好像浮在“油枕”上一样,对设备的振动起一定的缓冲作用。
- (6) 卸荷作用。由于摩擦面间有油膜存在,因而作用在摩擦面上的负荷就比较均匀地通过油膜分布在摩擦面上,油膜的这种作用称为卸荷作用。
- (7) 保护作用。润滑油可以防腐和防尘,起保护作用。

3. 润滑剂的分类及其特点

润滑剂有液体润滑剂、气体润滑剂、润滑脂和固体润滑剂。其中用得最多的是液体润滑剂和润滑脂。

(1) 液体润滑剂。液体润滑剂又称润滑油,主要有以下三大类。

- ① 矿物油。其主要是石油产品,此种油来源充足,稳定性好,成本低,故应用最广。
- ② 动、植物油。其油性好,最适于边界润滑使用,但稳定性差,来源不足,故应用较少。
- ③ 合成油。如磷酸酯(低温润滑剂)、硅酸盐酯(高温润滑剂)、氟化物(耐氧化润滑剂)等,近年来应用面不断拓广。

润滑油的主要性能指标是黏度,它表示润滑油流动时内部摩擦阻力的大小,是选用润滑油的主要依据。选择滑动轴承的润滑油时,主要是考虑黏性和油性两项性能指标。对液体摩擦轴承,黏性起主要作用;对非液体摩擦轴承,油性起主要作用。黏性以黏度为性能指标,而油性目前尚无具体性能指标,这是因为影响油性的因素较复杂,难以定出。工业常用润滑油的主要质量指标、性能和用途见表 1-4。

表 1-4 工业常用润滑油的主要质量指标、性能和用途

名 称	牌号	主要质量指标					性能和用途
		运动黏度 $/(\text{mm}^2 \cdot \text{s}^{-1})$ (40 °C)	凝点 /°C (≤)	倾点 /°C (≤)	闪点 /°C (≥)	黏度指数 (≥)	
L-AN 全损耗系统用油 (GB/T 443—1989)	15	13.5~16.5		-5	150		适用于对润滑油无特殊要求的轴承、齿轮和其他低负荷机械等部件的润滑;不适用于循环系统
	22	19.8~24.2		-5	150		
	32	28.8~35.2		-5	150		
	46	41.4~50.6		-5	160		
	68	61.2~74.8		-5	160		



续表

名 称	牌 号	主要质量指标					性能和用途
		运动黏度 /(mm ² ·s ⁻¹) (40℃)	凝点 /℃ (≤)	倾点 /℃ (≤)	闪点 /℃ (≥)	黏度指数 (≥)	
L-HL 液压油 (GB 11118.1—2011)	32	28.8~35.2		-6	175	80	抗氧化、防锈、抗乳化等性能优于普通机油。适用于一般机床主轴箱、齿轮箱和液压系统及类似的机械设备的润滑
	46	41.4~50.6		-6	185	80	
	68	61.2~74.8		-6	195	80	
	100	90.0~110		-6	205	80	
L-CKB 工业闭式齿轮油 (GB 5903—2011)	100	90~110		-8	180	90	具有抗氧防锈性能。适用于正常油温下运转的轻载荷工业闭式齿轮润滑
	150	135~165		-8	200	90	
	220	198~242		-8	200	90	

(2)气体润滑剂。气体润滑剂最常用的是空气。此外，氢气、水蒸气及液态金属蒸气等均可作为气体润滑剂。其特点是黏度低、功耗少、温升小，其黏度随温度变化小，故适于高温和低温环境下的高速场合，但承载能力低。

(3)润滑脂。为使润滑剂易于保持在摩擦表面，用稠化剂将润滑油稠化成膏状，即润滑脂。稠化剂是各种金属皂，如钾皂、钠皂、钙皂等，从而可形成不同皂类的润滑脂。有时为提高抗氧化能力和润滑性能，还常常加入添加剂。润滑脂的主要性能指标是针入度和滴点。工业上常用的润滑脂有以下几种。

- ①钙基润滑脂：有良好的抗水性，但耐热能力差，工作温度不宜超过 55℃。
- ②钠基润滑脂：有较高的耐热性，工作温度可达 120℃，但抗水性差。
- ③锂基润滑脂：既能抗水，又能在较高温度下工作，适用于-20~120℃，但价格较前两者贵。

常用润滑脂的性能及用途见表 1-5。

表 1-5 常用润滑脂的性能及用途

名 称	代 号	滴点 /℃ (≥)	针入度 /(10 ⁻¹ mm)	性能和主要用途
钙基润滑脂 (GB/T 491—2008)	1	80	310~340	耐水性好，但耐热性差，用于各种工农业、交通运输设备的中速、中低载荷轴承润滑，特别是有水、潮湿处
	2	85	265~295	
	3	90	220~250	
钠基润滑脂 (GB/T 492—1989)	2	160	265~295	耐热性很好但不耐水，用于工作温度在-10~120℃的一般中等载荷机械设备轴承的润滑
	3	160	220~250	
通用锂基润滑脂 (GB/T 7324—2010)	1	170	310~340	多效通用润滑脂，用于各种机械设备的滚动轴承和滑动轴承及其他摩擦部位的润滑，使用温度为-20~120℃
	2	175	265~295	
	3	180	220~250	





续表

名 称	代 号	滴点 /℃ (≥)	针入度 /(10 ⁻¹ mm)	性能和主要用途
7407 号齿轮润滑脂 (SH/T 0469—1994)		160	75~90	用于各种低速,中、高载荷齿轮、链和联轴器的润滑。使用温度小于 120 ℃

(4)固体润滑剂。固体润滑剂分为无机化合物(石墨、二硫化钼、硼砂等)润滑剂与有机化合物(金属皂、动物脂等)润滑剂,使用时常将润滑剂粉末与胶黏剂混合起来应用,也可与金属或塑料等混合后制成自润滑复合材料使用。固体润滑剂适用于高温、大载荷以及不宜采用液体润滑剂和润滑脂的场合,如宇航设备及卫生要求较高的机械设备中。

4. 润滑材料添加剂

润滑材料是润滑技术发展的核心内容。为了提高油的品质和性能,常在润滑油或润滑脂中加入一些分量虽小但对润滑剂性能改善起巨大作用的物质,称为添加剂。添加剂的种类很多,起到的作用也各不相同,主要作用是提高油性、极压性,延长使用寿命,改善物理性能。常用添加剂有以下几种。

(1)清净分散剂:吸附氧化产物,将其分散在油中。

(2)抗氧抗腐剂:提高油品氧化安全性,即防止金属氧化、催化陈旧,延缓油品氧化速度,隔绝酸性物,与金属接触生成保护膜。

(3)极压抗磨剂:在摩擦面的高温部分能与金属反应生成熔点低的物质,节省油耗和减小振动噪声。其大部分都是硫化物、氯化物、磷化物,在高温下能与金属反应生成润滑性的物质,可在苛刻条件下提供润滑。

(4)油性剂:带有极性分子的活性物质,能在金属表面形成牢固的吸附膜,在边界润滑的条件下,可以防止金属摩擦面的直接接触。

(5)防锈剂:极性化合物,对金属有很强的吸附力,能在金属和油的界面上形成紧密的吸附膜以隔绝水分、潮气和酸性物质的侵蚀,此外还能阻止氧化、防止酸性氧化物的生成,从而起到防锈的作用。

5. 机械润滑的分类

摩擦副在全膜润滑状态下运行,这是一种理想的状况。但是,如何创造条件、采取措施来形成和满足全膜润滑状态则是比较复杂的工作。人们长期生产实践中不断对润滑原理进行了探索和研究,有的比较成熟,有的还正在研究。现就常见的动压润滑、静压润滑、动静压润滑、边界润滑、极压润滑、固体润滑、自润滑等润滑原理做简单介绍。

1) 动压润滑

通过轴承副轴颈的旋转将润滑油带入摩擦表面,由于润滑油的黏性和油在轴承副中的楔形间隙形成的流体动力作用而产生油压,即形成承载油膜,这种润滑方式称为流体动压润滑。流体动压润滑理论的假设条件是润滑剂等黏性,即润滑油的黏度在一定的温度下,不随压力的变化而改变;其次是假定了做相对摩擦运动的表面是刚性的,即在受载及油膜压力作用下,不考虑其弹性变形。对一般非重载(接触压力在 15 MPa)的滑动轴承,这种假设条件接近实际情况。但是,在滚动轴承和齿轮表面接触压力增大至 400~1 500 MPa 时,上述假





定条件就与实际情况不同了。这时摩擦表面的变形可达油膜厚度的数倍,此时根据润滑的金属摩擦表面的弹性变形和润滑油黏度随压力改变这两个因素,来研究和计算油膜形成的规律及厚度、油膜截面形状和油膜内的压力分布更为切合实际。这种润滑就称为弹性流体动压润滑。

2) 静压润滑

通过一套高压的液压供油系统,将具有一定压力的润滑油强行供到运动副摩擦表面的间隙中(如在静压滑动轴承的间隙中、平面静压滑动导轨的间隙中、静压丝杆的间隙中等),摩擦表面在尚未开始运动之前,就被高压油分隔开,强制形成油膜,从而保证了运动副能在承受一定工作载荷的条件下,完全处于液体润滑状态,这种润滑称为液体静压润滑。

3) 动静压润滑

随着科学技术的发展,近年来在工业生产中出现了新型的动静压润滑的轴承。液体动静压联合轴承充分发挥了液体动压轴承和液体静压轴承两者的优点,克服了液体动压轴承和液体静压轴承两者的不足。其主要工作原理为:当轴承副在起动或制动过程中,采用静压液体润滑的办法,将高压润滑油压入轴承承载区,把轴颈浮起,保证了液体润滑条件,从而避免了在起动或制动过程中因速度变化不能形成动压油膜而使金属摩擦表面(轴颈表面与轴瓦表面)直接接触产生的摩擦与磨损。当轴承副进入全速稳定运转时,可将静压供油系统停止,改用动压润滑供油形成动压油膜,仍能保持住轴颈在轴承中的液体润滑条件。

这样的方法从理论上讲在轴承副起动、运转、制动、正反转的整个过程中,完全避免了半液体润滑和边界润滑,全程为液体润滑。因此,摩擦系数很低,只要克服润滑油黏性所导致的液体内部分子间的摩擦阻力就行。此外,摩擦表面完全被静压油膜和动压油膜分隔开,因此,若情况正常,则几乎没有磨损产生,从而大大地延长了轴承的工作寿命,节约了动能消耗。

4) 边界润滑

边界润滑即边界摩擦,是从摩擦面间的润滑剂分子与分子间的内摩擦(即液体润滑)过渡到摩擦表面直接接触之前的临界状态。这时摩擦界面上存在着一层吸附的薄膜,厚度通常为 $0.1\ \mu\text{m}$ 左右,具有一定的润滑性能,称这层薄膜为边界膜。边界膜的润滑性能主要取决于摩擦表面的性质,以及润滑剂中的油性添加剂、极压添加剂对金属摩擦表面形成的边界膜的结构形状,而与润滑油的黏度关系不大。

5) 极压润滑

极压润滑是属于边界润滑的一种特殊情况,也就是摩擦副处在重载(或高接触应力)、高速、高温条件下,润滑油中的极压添加剂与金属摩擦表面起反应生成一层化学反应膜,将两摩擦表面分隔开,并起到降低摩擦系数、减缓磨损(或改变金属表面直接接触的严重磨损)和达到润滑的作用,称为极压润滑。

6) 固体润滑

在摩擦面之间放入固体粉状物质的润滑剂,同样也能起到良好的润滑效果。在两摩擦面之间有固体润滑剂,它的剪切阻力很小,稍有外力,分子间就会产生滑移,这样就把两磨面之间的外摩擦转变为固体润滑剂分子间的内摩擦。固体润滑有两个必要条件:首先是固体润滑剂分子间应具有低的剪切强度,很容易产生滑移;其次是固体润滑剂要能与摩擦面有较强的亲和力,在摩擦过程中总是使摩擦面上始终保持着一层固体润滑剂,而且这一层固体润





滑剂不腐蚀摩擦表面。其一般在金属表面上是机械附着的,但也有形成化学结合的。具有上述性质的固体物质很多,如石墨、二硫化钼、滑石粉等。

对于非层状结构固体润滑剂或软金属来说,主要是以其剪切力低而起到润滑作用的,然后使其附着在摩擦表面形成润滑膜。对于已经形成固体润滑膜的润滑,可以按边界润滑机理近似地解释其润滑作用。

7) 自润滑

自润滑是指将具有润滑性能的固体润滑剂粉末与其他固体材料相混合并经压制、烧结成材,或是在多孔性材料中浸入固体润滑剂,或是用固体润滑剂直接压制成材作为摩擦表面,这样在整个摩擦过程中不需要加入润滑剂仍能具有良好的润滑作用。自润滑的机理包括固体润滑、边界润滑,或两者皆有的情况。例如,聚四氟乙烯制品制成的压缩机活塞环、轴瓦、轴套等都可实现自润滑,因此在这类零件的工作过程中,无须加任何润滑剂也能保持良好的润滑。

6. 设备润滑管理的意义

设备润滑管理是设备工程的重要内容之一,设备润滑是防止和延缓零件磨损和其他形式失效的重要手段之一。加强设备的润滑管理工作,并把它建立在科学管理的基础上,对保证企业的均衡生产、保持设备完好并充分发挥设备效能、减少设备事故和故障、提高企业经济效益和社会经济效益都有着极其重要的意义。

搞好设备的润滑工作是企业设备管理中不可忽视的环节。润滑在机械传动中和设备保养中均起着重要作用,润滑能影响设备的性能、精度和寿命。对企业的在用设备,按技术规范的要求正确选用各类润滑材料,并按规定的润滑时间、部位、数量进行润滑,以降低摩擦、减少磨损,从而保证设备的正常运行、延长设备寿命、降低能耗、防治污染,达到提高经济效益的目的。

四、密封

泄漏是机械设备常见的故障之一。造成泄漏的原因主要有两方面:一是机械加工的结果使机械产品的表面必然存在各种缺陷和形状及尺寸偏差,因此,在机械零件连接处不可避免地会产生间隙;二是密封两侧存在压力差,工作介质就会通过间隙而泄漏。

减小或消除间隙是阻止泄漏的主要途径。密封的作用就是将接合面间的间隙封住,隔离或切断泄漏通道,增加泄漏通道中的阻力,或者在通道中加设小型做功元件,对泄漏物造成压力,与引起泄漏的压差部分抵消或完全平衡,以阻止泄漏。对密封件的基本要求是密封性好,安全可靠,寿命长,并应力求结构紧凑,系统简单,制造维修方便,成本低廉。大多数密封件是易损件,应保证互换性,实现标准化、系列化。

1. 密封的类型

根据密封元件间有无相对运动通常把密封分为静密封和动密封两大类。密封元件间没有相对运动的密封称为静密封,密封元件间彼此有相对运动的密封称为动密封。各种形式的密封,都有其特点和使用范围,设计密封时应先进行分析比较。

静密封主要有垫密封、密封胶密封和直接接触密封三大类。根据工作压力,静密封又可分为中低压静密封和高压静密封。中低压静密封常用材质较软、宽度较宽的密封垫,高压静



密封则用材质较硬、接触宽度很窄的金属垫片。

动密封可以分为旋转密封和往复密封两种基本类型。按密封件与其做相对运动的零部件是否接触,可分为接触式密封和非接触式密封;按密封件的接触位置又可分为圆周密封和端面密封,端面密封又称为机械密封。动密封中的离心密封和螺旋密封,是借助机器运转时给介质以动力得到密封,故有时称为动力密封。

2. 密封材料

常用密封材料有以下四大类。

1) 纤维

纤维具有低的弹性模量,在较低的密封力作用下,即能获得一定的弹性变形,对泄漏间隙产生较强的密封作用。这类材料适用于制成各种形式的填片、软填料、成形填料等,如与金属配制将会大大提高其抗压抗磨能力。

常用纤维包括以下几类。

- (1)植物纤维,如软木、麻、纸、棉。
- (2)动物纤维,如毛、皮革、毡。
- (3)矿物纤维,如石棉。
- (4)人造纤维,如有机合成纤维、玻璃纤维、石墨纤维、碳石墨纤维、陶瓷纤维。

2) 高分子材料

高分子材料以橡胶与树脂为主要材料,它具有较高弹性,其耐磨性能一般高于纤维材料,变形量大,能耐较高压力。但其耐温性能较低,使用寿命不长,适于制成各种形式的成形垫料、油封、填片及全密封件。高分子材料按化学组成可分为以下类型。

- (1)树脂型,如热塑性树脂、热固性树脂。
- (2)橡胶,如天然橡胶、合成橡胶。
- (3)塑料,如尼龙、氟塑料、聚苯等合成制品。
- (4)复合型,如高分子与高分子组合、高分子与非高分子组合。

3) 无机材料

无机材料的最大优点是耐高温、耐磨,如石墨制品,除了耐高温外,还有良好的自润滑性能,既能起到良好的密封作用,又不容易损坏摩擦副;缺点是价格较贵。陶瓷的特点是较硬、耐高温,缺点是较脆,主要用于机械密封、硬填料、泵等功力设备上。常用无机密封材料有以下几类。

- (1)碳石墨,如天然石墨、碳石墨纤维、电化石墨。
- (2)工程陶瓷,如氧化物瓷、氯化物瓷、硼化物瓷。

4) 金属

金属作为密封材料的最大优点是耐高温、强度高,这是其他材料所不能及的,硬度可根据需要任意选择。高真空密封可选用贵重金属,但它最大的缺点是弹性差,对振动较大部位的密封可靠性差。这类密封材料主要用于机械密封、填片、活塞环,高温、低温、高真空动力的设备和化工容器上。金属密封材料有以下几类。

- (1)有色金属,如铜、铝、铅、锌、锡及其合金等。
- (2)黑色金属,如碳钢、铸铁、不锈钢、合金等。
- (3)硬质合金,如钨钴类硬质合金、钨钨钛类硬质合金等。





(4) 贵金属,如金、银、钢、钽等。

3. 油封和防尘密封的区别

1) 油封

油封即润滑油的密封,常用于各种机械的轴承处,特别是滚动轴承部位。其功能在于把油腔和外界隔离,对内封油,对外封尘。油封与其他密封比较有下列优点。

- (1) 油封重量轻,耗材少。
- (2) 油封的安装位置小,轴向尺寸小,容易加工。
- (3) 密封性能好,使用寿命较长,对机器的振动和主轴的偏心都有一定的适应性。
- (4) 拆卸容易,检修方便。
- (5) 价格便宜。

2) 防尘密封

油封可做防尘密封件使用,但是在粉尘严重或是为了保护其他密封件时,常常使用专门的防尘密封。防尘密封的材料,油压机械多用橡胶,气压机械多用毛毡,飞机和寒带工作的油缸为了应对活塞杆外部结冰而用金属,化工部门为防止活塞杆上的黏着物也用金属。

防尘密封对保护关键性的液压设备是十分重要的,渗入尘土不仅磨损密封件,而且会大大磨损导向套和活塞杆。此外,杂质进入液压介质中,也会影响操作阀和泵的功能,在最坏的情况下甚至可能损坏这些装置。防尘圈能除掉活塞杆表面上的尘土和杂物,但同时会损坏活塞杆上的油膜,这对密封件的润滑也有一定影响。

思考与练习

1. 简述世界机械发展简史。
2. 简述中国机械发展简史。
3. 简述机械设计发展简史。
4. 材料的力学性能有哪些?
5. 常用黑色金属材料有哪些? 有何应用?
6. 常用有色金属材料有哪些? 有何应用?
7. 常用非金属材料有哪些? 有何应用?
8. 查询资料,完成《新型材料及其应用》小论文。
9. 查询材料,完成《生活中的摩擦学》小论文。