

工业设计丛书

# 产品造型设计 材料与工艺

王玉林 苏全忠 曲远方 编

天津大学出版社

产品造型设计材料与工艺

天津大学出版社

J06  
W47

382103

工业设计丛书

# 产品造型设计材料与工艺

王玉林 苏全忠 曲远方 编



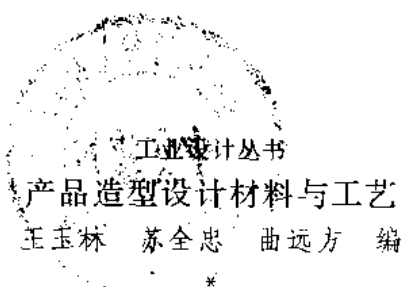
天津大学出版社

## 内 容 提 要

本书是《工业设计丛书》之一。全书重点介绍了各种工业产品常用材料及其加工工艺对现代工业产品造型设计的影响与作用。主要内容包括：金属材料、工程塑料、工业陶瓷、玻璃、木材、涂料等材质的种类、性能、选用及其加工技术和表面装饰工艺。

该书内容涉及工业产品造型设计专业技术人员必须掌握的基础知识。它既可作为高等院校工业设计专业的专用教材，也可作为产品造型设计人员的参考书。

(津)新登字 012 号



天津大学出版社出版

(天津大学内)

邮编:300072

河北省邮电印刷厂印刷

新华书店天津发行所发行

开本:787×1092 毫米 1/16 印张:13<sup>3</sup>/<sub>4</sub> 字数:343 千

1994 年 12 月第一版 1994 年 12 月第一次印刷

印数:1—5000

ISBN 7-5618-0677-9  
TB·14 定价:16.00 元

# 序

在 21 世纪即将来临的时候,面对社会发展与科学技术进步的生动现实,越来越多的人日益强烈感受到,除了自然资源,人的智力已经成为人类赖以生存的更为重要的宝贵财富。这种智力资源可以无限开发,却不能取代。人类依靠自己的智力加速了向自由王国进军的步伐。在当代,从用于征服宇宙的各种航天器,到生活中的日用工业品,无不是人类智慧的结晶。世界从来没有像今天这样需要人们自觉地把开发智力与合理利用自然资源更有效地结合起来,为最大限度地满足人类追求今天和明天更美好的生活目标服务。正是这种需要使工业设计这门集理论与实践于一身的学科,产生并得到了迅速的发展。

工业设计是伴随现代科学技术进步和社会经济发展需要而形成的一种具有全新设计观念的现代设计体系。它是将科学技术、文化艺术及社会经济综合为一体,并以人的生理和心理需求为出发点,合理而有效地进行具有全新质量和市场竞争能力的现代工业产品的设计,从而不断为人类创造更舒适、更合理的生产和生活条件。

作为一种现代设计方法,工业设计不仅涉及到产品本身的功能、结构、材料、工艺、形态、色彩、表面处理与装饰以及与人相关、与生态环境相关的各个方面,同时,还涉及到为推销产品和宣传企业所做的产品包装设计、广告设计以及企业形象设计和市场营销策略等方面的设计。所以,工业设计既关系到人们生活、生产、工作和劳动方式,又关系到生产企业的兴旺与发展。

作为增强产品竞争能力和加快产品开发速度、优化产品结构及提高企业经济效益的重要手段,工业设计已被世界许多工业发达国家所公认。然而,我们有些工业企业对工业设计还很陌生,以至在很长的一段时间内,忽略了正在国外迅速发展着的这一门科学。目前,正当我国加大改革力度、加速向社会主义市场经济转轨之际,工业企业面临的一项重要任务是尽快转换经营机制、调整产品结构、提高产品更新的速度,以优异的设计质量适应市场、占有市场。因此,广泛普及工业设计知识,使企业领导者和设计人员不断更新观念,掌握工业设计的基本理论和设计方法,已势在必行。许多先进国家的实践表明,只有提高产品的设计水平和设计质量,才能在市场竞争中求得生存,取得相应的经济效益和社会效益,才能促进企业跟上当代社会迅速发展的形势。

工业设计丛书以产品设计为重点,共分编 6 册,即《产品造型设计原理与方法》、《造型基础与传达设计》、《产品造型设计表现方法》、《人机工程设计》、《产品造型设计材料与工艺》、《产品造型设计实例图案》。这套丛书比较全面和系统地介绍了工业设计的基本体系和内容。它的正式出版,对天津市工业设计教育、普及和

发展等将产生积极作用。

工业设计既是人类进入现代文明的一种设计方法论,也是现代工业生产的一种实践技术。真正使工业设计在物质文明和精神文明的建设中发挥作用,还需要社会各界,包括政府与民间、教育与舆论界的大力推动。衷心地希望读者通过学习,掌握工业设计的科学理论与方法,能在实践中加以创造性的应用,并不断吸取新知识,开拓新思想,积累新经验,在迎接未来的挑战中,使工业设计结出累累硕果,为使我国工业产品设计进入世界先进行列而进行不懈的努力。

天津大学是在国内较早地开展工业设计研究与教学的高等学府之一。他们与国内外许多学术单位和工业企业有着广泛的联系,在和天津市科委共同组织有关专家、教授编写这套丛书的过程中,注意了理论与实际的结合,得到了天津市各级领导和机关的关注与支持,特别是被出版部门列为重点书目使丛书能够以较快的速度顺利出版,从而也可以成为迎接建校一百周年的献礼。对此,确实令人感到欣慰!



1994. 12

---

\* 王成怀同志原任天津市委常委、市科委主任,现任天津市人大常委会副主任。

## 工业设计丛书编辑委员会

主 编：王玉林

副主编：谢庆森 郭青山 崔发文

编 委：王玉林 谢庆森 郭青山

崔发文 苏全忠 陈士俊

闫祥安 金家琦 汪元辉

曲远方 徐友浩 陈东祥

## 前 言

材料是工业产品造型设计的物质基础。任何一种造型设计只有同选用材料的性能特点及其加工工艺性相一致,才能实现设计的目的和要求。材料的品种繁多,性能各异,但只有通过设计和加工才能实现真正的使用价值和审美价值。随着现代科学技术及人类物质生活水平与审美能力的不断提高,人们对工业产品的使用功能、技术性能及造型款式的要求愈来愈高。这就需要从事工业产品造型设计的专业技术人员熟悉造型设计与材料的关系,掌握各种材料的性能特点及其加工工艺,了解新型材料,从而运用设计手段,充分利用材料的内在功能和表面特征,创造出使用功能好、技术性能高、款式新颖的工业产品,以满足人们日益增长的物质和精神需求,提高人们的生活水平,实现设计造福于人类的宗旨。

本书内容分两部分。第一部分概论,主要介绍工业造型材料的种类与基本性能,造型材料质感的基本概念和质感设计在造型设计中的作用,以及各种工艺性对产品造型设计的影响,使造型设计人员对造型设计与材料及工艺性的关系有一个较全面系统的了解。第二部分着重介绍金属材料、工程塑料、工业陶瓷、玻璃、木材、涂料等常用工业造型材料的种类、性能、选用及其加工技术和表面装饰工艺,提供各种有关数据。全书文字力求简洁,通俗易懂。本书的编写出版,如能为培养工业设计的专门人才,提高造型设计人员的设计水平有所裨益,将是我们的最大夙愿。

本书第一、二章由王玉林编写;第三、四、五章由曲远方编写;第六、七章由苏全忠编写。王玉林最后审定全书。在编写过程中,得益于参考文献中编著者的有关资料。自始至终,得到郭青山、谢庆森同志的精心指导。在此,编者一并向他们表示衷心感谢!

由于编者水平有限,书中不当之处,敬请读者批评指正。

编 者

1994年8月

# 目 录

<b>第一章 概论</b> .....	(1)
<b>第一节 产品造型设计与材料</b> .....	(1)
一、材料与造型 .....	(1)
二、造型材料的种类与基本性能 .....	(2)
三、造型材料应具备的特性 .....	(9)
四、造型材料的应用与发展 .....	(10)
<b>第二节 工业造型材料的美学基础</b> .....	(12)
一、质感的概念 .....	(12)
二、造型质感设计形式与原则 .....	(15)
三、质感设计在造型设计中的作用 .....	(17)
<b>第三节 产品造型设计与工艺性</b> .....	(18)
一、造型设计与加工工艺 .....	(18)
二、造型设计与装配工艺 .....	(19)
三、造型设计与装饰工艺 .....	(23)
<b>第二章 金属材料及其加工技术</b> .....	(29)
<b>第一节 常用金属材料及其特性</b> .....	(29)
一、金属材料的特性及分类 .....	(29)
二、钢铁材料 .....	(30)
三、有色金属及其合金 .....	(38)
四、在造型设计中金属材料的选用 .....	(42)
<b>第二节 金属材料成型与工艺性</b> .....	(44)
一、铸造加工及其工艺性 .....	(44)
二、压力加工及其工艺性 .....	(53)
三、焊接技术及其工艺性 .....	(59)
四、机械加工及其工艺性 .....	(64)
<b>第三节 金属表面处理与装饰技术</b> .....	(69)
一、金属材料的表面处理 .....	(70)
二、金属材料的表面装饰 .....	(74)
三、其他面饰工艺 .....	(75)
<b>第三章 工程塑料及其加工技术</b> .....	(79)
<b>第一节 常用工程塑料及其性质</b> .....	(79)
一、高分子化合物及工程塑料 .....	(79)
二、工程塑料的分类及其性质 .....	(82)
三、工程塑料及其在产品中的应用 .....	(84)
<b>第二节 工程塑料的成型技术与工艺</b> .....	(96)
一、塑料成型的基本知识 .....	(96)



二、注射成型技术与工艺性 .....	(98)
三、挤出成型技术与工艺性 .....	(100)
四、压制成型技术与工艺性 .....	(102)
五、其它塑料成型技术 .....	(104)
六、塑料成形常出现的缺陷、原因和对策 .....	(105)
第三节 表面处理与装饰技术 .....	(108)
一、塑料制品的表面质量要求 .....	(108)
二、塑料涂装技术 .....	(108)
三、塑料电镀技术 .....	(109)
<b>第四章 工业陶瓷及其加工技术</b> .....	(111)
第一节 常用陶瓷材料及其性能 .....	(111)
一、陶瓷材料的特点与分类 .....	(111)
二、陶瓷材料的性能 .....	(111)
三、常用的工业陶瓷及制品 .....	(116)
第二节 工业陶瓷材料成型技术 .....	(139)
一、可塑法成型 .....	(139)
二、注浆法成型 .....	(140)
三、干压法成型 .....	(141)
第三节 陶瓷制品表面装饰技术 .....	(141)
一、陶瓷制品的表面加工 .....	(141)
二、表面层改性处理 .....	(142)
三、表面金属化处理 .....	(142)
四、陶瓷的表面施釉处理 .....	(143)
第四节 陶瓷成型常见缺陷及对策例 .....	(143)
<b>第五章 玻璃及其加工技术</b> .....	(146)
第一节 玻璃材料的基本知识 .....	(146)
一、玻璃材料的性质 .....	(146)
二、玻璃材料的分类和应用 .....	(147)
第二节 玻璃材料的成型技术 .....	(147)
一、玻璃制品介绍 .....	(147)
二、玻璃制品成型技术 .....	(150)
第三节 玻璃制品的表面装饰技术 .....	(155)
第四节 常见玻璃制品缺陷及对策例 .....	(155)
<b>第六章 木材及其加工技术</b> .....	(158)
第一节 常用木材及性能 .....	(158)
一、木材的特性、分类与结构 .....	(158)
二、木材的缺陷 .....	(160)
三、常用木材及其选用 .....	(162)
第二节 木材制品的成型技术 .....	(168)
一、木制品构件的加工技术 .....	(168)
二、木制品的装配 .....	(174)

第三节 木材制品的表面装饰工艺.....	(176)
一、木制品的表面覆贴.....	(176)
二、木制品表面的涂饰.....	(180)
<b>第七章 涂料及其涂装工艺.....</b>	<b>(187)</b>
第一节 涂料的基本知识.....	(187)
一、涂料的性质与作用.....	(187)
二、涂料的组成与分类.....	(190)
第二节 产品造型中常用的涂料.....	(194)
一、酚醛树脂涂料.....	(194)
二、醇酸树脂涂料.....	(194)
三、氨基树脂涂料.....	(195)
四、环氧树脂涂料.....	(196)
五、丙烯酸树脂涂料.....	(197)
六、沥青涂料.....	(197)
七、硝基漆类.....	(198)
八、过氧乙烯涂料.....	(198)
九、水溶性树脂涂料.....	(199)
十、粉末涂料.....	(200)
第三节 涂装技术.....	(200)
一、涂装的特点.....	(200)
二、涂装的三要素.....	(201)
三、涂装工艺与程序.....	(202)
<b>参考文献.....</b>	<b>(207)</b>

# 第一章 概 论

## 第一节 产品造型设计与材料

### 一、材料与造型

广义地讲材料是指人们思想意识之外的所有物质。具体地讲材料是指能为人类制造有用器材的物质。人类在生活和生产中,总是不断有效地利用各种各样的材料来制作器具,不断改变着他们周围的环境,丰富人类的生活。因此,材料在人类生活中一直占据着相当重要的地位,而生活中使用的材料的性质也直接反映了人类社会的文明水平。

从原始时代起,人类使用材料时就注意到各种材料的基本特性,并经过无数次的失败和成功,积累和丰富了对材料的认识和加工技术,尽量针对不同的材料予以不同的形态设计。科学技术的发展使现代新型材料不断出现和广泛应用,对工业造型设计有着极大的推动作用。所以,历史学家根据材料在人类社会中的应用,将人类生活的时代划分为石器时代、陶器时代、铜器时代、铁器时代,现今人类正跨进人工合成材料的新时代。了解材料与产品造型发展之间的关系,掌握其规律,将有利于在产品造型设计中更好地把握材料和应用材料。

远在石器时代,原始人类就使用找到的某种适当的石头,如用棱角尖锐的石头做为狩猎的武器。这是人类最早利用石头的自然形态造型,即利用显示锋刃的部分,目的是为了生存和生活。当人类逐步地摆脱开对自然界的依赖,懂得使用研磨、砍凿的石头代替早先的自然形态的石头,制成锋利且形状规整的石头匕首、枪尖和斧子等,并以此作为工具和自卫的武器。尽管简陋和粗糙,但加工的形状都是人们所希望和需要的,这是人类发展史上划时代的大事,是发明用工具按人们需要的形状加工材料的第一步。

公元前四千年,人类开始用火加热制造陶器。在陶器发明之前,人类对工具的造型都是只改变材料的形状,而没有改变材料的性质。发明制陶术的意义,在于人类能够制造新的造型材料,这是人类社会的一大进步。开始烧成的陶器是多孔的,到公元前二千年发明了釉陶,使陶器变得既光亮又不透水。更为重要的是在陶器烧成前人们须经过造型设计的过程,这是对器物造型的发展。具体到造型的各部分处理,虽然首先考虑的是使用的合理和方便,但同时也是按朴素审美原则进行创造。所以,原始社会的陶器造型不仅具有实用价值,而且具有一定的审美价值。它的实用与审美是统一的。可以这样说,原始社会陶器的产生,实质上是一种创造性的探求,是人类最早关于造型方面知识和经验的积累。

炼铜技术是在制陶术的基础上发展起来的。人类利用青铜的熔点较低、硬度高、便于铸造等特性,使铜的冶炼技术得到发展。我国的青铜冶炼在夏代(公元前2140~1711年)以前就开始了,到殷、西周时期已发展到较高水平,普遍用于制造各种工具、食器、兵器和装饰品。例如,河南安阳晚商遗址出土的司母戊鼎重达875kg,外形尺寸为133×78×110cm,是迄今世界上最古老的大型青铜器;湖北随县出土的战国青铜编钟是我国古代文化艺术高度发达的见证。其

雄伟壮丽,制作精细。由于青铜材料的性能和铸造技术的特点,使青铜器的造型能更深入地进行刻划,其造型更富于变化,出现了许多新颖花样,造型艺术达到了较高水平。反映出当时的生产工艺水平和造型风格,也反映出当时的社会文化、生活环境和生活方式。

到了铁器时代,由于铁矿丰富,分布较广,铁的硬度和韧性较高,加工性能好,成本低,出现了以铁为主的一系列金属与合金材料。铁被广泛用来制作各种器具、器皿、生产工具和武器等,使人类生产力获得了巨大发展,并由此给社会带来深刻变化。在这一时期,通过对材料性能、工艺和使用特性的长时间研究,在材料制造上发展了材料的实用性和美学的艺术性,从而逐步实现了实用和审美的结合,功能和形式的统一。进入18世纪英国产业革命时期,发展了以煤炼铁的技术,人们获得了大量廉价的钢铁,制造技术和机械生产的社会化程度有了很快发展。这使大批量制造各种性能优良、外观造型较复杂的机器和工业产品成为可能。随着蒸汽机的发明,使工业发展获得了强大而廉价的动力,这个重大突破,促进了近代工业的迅速发展,进一步为机器大工业生产准备了物质技术条件,即由初期依赖手工业生产的产品转向以机器为手段的大批量生产同一类产品。此时的设计已由手工设计逐步转向工业设计。设计过程中对材料的研究也发生了变化,以研究单个工艺品的材料转向以批量生产产品的工业材料为主要内容。因为设计的产品在生产过程中必须考虑材料用以批量生产的可能性和加工成型的方法。

从以上材料与造型关系的概略回顾,不难看出无论是手工业时代的手工产品的设计,还是工业时代的工业产品设计,它们都要用新材料、新技术、新工艺去创造满足人们生活需要的产品,每一次新材料的出现又会给产品设计带来新的飞跃。本世纪60年代是高分子材料和染料工业发展的鼎盛时代,形成了当时人们对红、绿、黄等流行色的狂热爱好,使人们憧憬美好的未来,从而改变了人们对于社会环境、生活方式和价值的观念。新型工业造型材料的广泛应用,同样扩大了产品的造型款式。像复合材料出现后,逐步实现了材料的可设计性,可以按照工业产品的功能特点和产品造型的要求选择或设计材料,扩大了产品造型的自由度和可能性。所以,新材料、新技术的不断发展和推广应用,必将促进工业产品造型设计发生较大变化,甚至产生产品造型设计观念性的变革。

总之,材料早已成为人类赖以生存和生活的不可缺少的重要组成部分,是人类物质文明的基础和支柱,它支撑着其它新技术的发展。因此,人类社会的发展,科学和物质文化的进步也总是与新材料的出现、使用和变化紧紧地联系在一起,并反映出人类在认识自然、改造自然等方面的能力。从人们长时间对材料性能、工艺、使用特性等得到的经验性基础知识,转变到对材料内部结构进行的基础科学研究;从对材料的科学认识,转变到在社会生活和生产中对材料的实际应用。恰好表明造型设计已经成为材料通过技术手段满足社会需要的纽带,这也符合造型设计通过材料实现为人类造福的宗旨。

## 二、造型材料的种类与基本性能

### (一)造型材料的种类

造型材料成千上万种,在浩瀚的材料世界中有各种不同的分类方法。比较科学的方法是依据材料结合键性质进行的分类。物质在固体状态下,当原子(离子或分子)聚集为晶体时,原子(离子或分子)之间产生较强的相互作用,这种相互作用就是晶体的结合力,也叫结合键。晶体的结合能也就是晶体的键能。由于电子运动,使原子产生聚集的结合力,该结合力即为化学键。固体中的结合键主要是化学键,其大小与原子的结构有关。不同类型的原子之间,具有不同性

质的结合键。固体中的结合键可以分为离子键、共价键和金属键三种化学键,以及分子键和氢键等物理键。因此,这种按照结合键性质,具有实质性的划分,可以较好地从根本上理解各种材料的性能差别。按照这种分类方法,一般将材料分为金属材料、陶瓷材料、高分子材料和复合材料四大类。

### 1. 金属材料

金属材料是最重要的造型材料,包括金属和以金属为基的合金。周期表中的金属元素分简单金属与过渡族金属。凡是内电子壳层完全填满或完全空着的元素,均属于简单金属;内电子壳层未完全填满的元素属于过渡金属。简单金属的结合键完全为金属键,过渡金属的结合键为金属键和共价键的混合,但以金属键为主。所以,工程金属材料原子间的结合键基本上为金属键。

### 2. 陶瓷材料

陶瓷材料是一种或多种金属同一种非金属元素(通常为氧)的化合物,其中较大的氧原子为陶瓷的基质,较小的金属(或半金属如硅)原子处于氧原子之间的空隙里。氧原子同金属原子化合时形成很强的离子键,同时存在一定成分的共价键,但离子键是主要的。也有一些特殊陶瓷,是以共价键为主的。

### 3. 高分子材料

高分子材料主要指有机合成材料。高分子材料又称聚合物,是由许多分子量特别大的大分子组成的。每个大分子由大量结构相同的单元(链节)相互连接构成。有机物质都含有碳元素(通常还含有氢)作为其主要的结构组成。在大部分情况下,碳元素构成大分子的主键。大分子内的原子之间由很强的化学键中的共价键结合,而大分子与大分子之间的结合力为物理键(范德华力)。当存在氢时,分子间最强的相互作用是氢键。

### 4. 复合材料

复合材料由两种或两种以上不同材料复合在一起,不同性能的材料显示各自的特性。从而获得任何单一组成材料所无法达到的优异性能,进而满足特殊需要。复合材料可以由各种各样的材料复合而成,因此它的结合键比较复杂。

除按材料的结合键性质进行分类之外,还有以下分类方法:按材料的用途分类,可分为结构材料和功能材料;按材料的构造分类,可分为晶质材料、非晶质材料、晶质与非晶质混合材料;按材料的组合分类,可分为单一材料和复合材料等。

## (二)材料的基本性能

材料的性能是一种参量,用于表征材料在给定外界条件下的行为。在这个定义中包含的“参量”和“外界条件”的内容,阐明如下:

### (1)参量

性能必须量化,也就是定量的表述其行为。多数性能都有量纲,通过量纲的分析,可以加深对某种性能的理解。例如,冲击韧性  $a_k$  的单位是  $\text{kJ}/\text{cm}^2$  或  $\text{J}/\text{cm}^2$ ,即在给定的 U 形缺口试样的条件下,冲击断口处的单位截面积( $\text{cm}^2$ )所消耗的功( $\text{kJ}$  或  $\text{J}$ )。

### (2)外界条件

在不同的外界条件下,相同的材料也会有不同的性能。所谓“相同的材料”,是指不仅成分相同,而且通过相同的工艺,具有相同的组织结构。例如,材料的强度这个力学性能,如不注明外界条件,其含义是不确定的含糊的。例如,“断裂强度”的临界条件是断裂,它表征断裂时的力

学性能,但是有不少外界条件可以影响断裂行为。①温度升高到熔点的40%~50%以上;②反复的交变载荷;③特定的化学介质等。对应这三种情况,分别有蠕变断裂强度、疲劳断裂强度和应力腐蚀断裂强度。这三种强度都与外界条件有关,它们分别突出了热学、力学及化学条件的影响。这三种情况的断裂机制不同,表明了材料的三种性能。再例如,含30%Zn的黄铜在室温下抗拉强度是313Mpa,从工程观点来看,这个叙述就足够确切。因为人们可以理解这个性能的外界条件是空气、室温、拉伸载荷、工业标准规定的拉伸速度。

材料的选择是以性能为依据的,材料的性能又受到外界条件(即使用条件)的制约。造型设计人员在设计工业产品,决定材料所要求的性能时,要考察其所处的外界条件。

材料的基本性能可分为使用性能和工艺性能。使用性能是指材料在使用条件下表现出的性能,具体如力学性能、物理性能和化学性能等;工艺性能则是指材料在加工过程中表现出的性能,如切削加工性能、铸造性能、压力加工性能、焊接性能、热处理性能等。

为使造型设计人员较系统地了解材料的基本性能,下面将材料的基本性能按金属材料和非金属材料两大类作简要介绍。

### 1. 金属材料的性能

金属材料的性能包括使用性能和工艺性能。

#### (1) 金属材料的力学性能

金属材料的性能中,弹性、强度、塑性、韧性、硬度等力学性能最为重要。

①强度。金属材料在静载荷下抵抗外力产生塑性变形和破坏作用的能力,称为强度。由于外力作用的方式不同,材料所表现出的强度也不同,主要有:抗拉强度 $\sigma_b$ 、屈服强度 $\sigma_s$ 、抗压强度 $\sigma_k$ 、抗弯强度 $\sigma_{ib}$ 。通常使用较多的强度指标主要有两个,一是抗拉强度,一是屈服强度。它们是将标准拉伸试样在试验机上经拉伸试验后测出的。试验时,试样两端所受的拉力缓慢增加,试验逐渐发生拉伸变形,中间局部变细,直至拉断为止。

屈服强度 $\sigma_s$ 是材料开始发生明显塑性变形时的应力,通常用 $\sigma_s = \frac{P_s}{F_0}$  (Mpa)来表示。式中 $P_s$ 为材料开始发生明显塑性变形时的拉力,单位N; $F_0$ 为试样原始横截面积,单位 $\text{mm}^2$ 。屈服强度是工程技术上非常重要的性能指标之一,是设计结构和零件时选用材料的主要依据。

抗拉强度是试样拉断前的最大拉应力,通常用 $\sigma_b = \frac{P_b}{F_0}$  (Mpa)来表示。式中 $P_b$ 为试样拉断前的最大拉力,单位N; $F_0$ 为试样原始横截面积,单位 $\text{mm}^2$ 。抗拉强度表示大量均匀变形的抗力指标。

②塑性。这是金属材料在外力作用下产生了永久变形而不破坏的能力。常用的塑性指标,一是断面收缩率( $\psi$ ),一是延长率( $\delta$ ),这两个指标用百分数(%)表示。

断面收缩率是试样拉断后,断口面积与原横截面积之比的百分数,即 $\psi = \frac{F_0 - F_k}{F_0} \times 100\%$ 。式中, $F_k$ 为试样拉断时,断口的截面积; $F_0$ 为试样原始横截面积。

伸长率是试样拉断后,在标距内总伸长量与原标距长度之比的百分数,即 $\delta = \frac{L_k - L_0}{L_0} \times 100\%$ 。式中, $L_k$ 为试样拉断时标距间的长度; $L_0$ 是试样原标距长度。

伸长率大小与试样尺寸有关,为了便于比较,必须采用标准尺寸。常用的规定尺寸是试样标距长度等于其直径的5倍或10倍。计算的伸长率分别用 $\delta_5$ 或 $\delta_{10}$ 表示。

③弹性。它是指金属材料在外力作用下产生变形,当外力去除后又恢复到原来形状和大小

的一种特性。在弹性变形范围内,材料所受的外力与变形量成正比。

弹性极限是材料在弹性变形范围内所能承受的最大应力,用公式  $\sigma_e = \frac{P_e}{F_0}$  (MPa) 来表示。式中,  $P_e$  为弹性变形范围内的最大拉力(N);  $F_0$  为试样原始横截面积( $\text{mm}^2$ )。

弹性模量是指材料承受外力时抵抗弹性变形的能力。弹性模量  $E = \frac{\sigma_e}{\epsilon}$  (MPa)。式中,  $\sigma_e$  为弹性极限,  $\epsilon$  为相对变形量。弹性模量是工程技术上衡量材料刚度的指标,  $E$  值越大,材料在弹性范围内能够承受的外力越大。换句话说,刚度越大,则材料在一定应力下产生的弹性变形越小。

④硬度。它是指材料表面抵抗塑性变形或断裂的能力。硬度值的物理意义随试验方法的不同而不一样,在应用最广泛的压入法试验中,硬度表示材料表面抵抗其它物体压入的能力。因硬度试验设备简单,操作方便,不需特制试样,在实际生产中普遍采用。

按试验方法不同硬度可以分为,布氏硬度(HB)、洛氏硬度(HR)、维氏硬度(HV)、肖氏硬度(HS),工程上常用的有布氏硬度(HB)和洛氏硬度(HR)。

⑤冲击韧性。这是在冲击负荷作用下,金属材料抵抗变形和断裂的能力。冲击韧性以冲击值  $a_k$  表示。冲击值  $a_k = \frac{A_k}{F}$  ( $\text{kJ}/\text{cm}^2$  或  $\text{J}/\text{cm}^2$ ), 式中,  $A_k$  为冲击试样破坏时所消耗的冲击功,单位为 J;  $F$  为冲击试样断口处的截面积( $\text{cm}^2$ )。

冲击值  $a_k$  越大,冲击韧性越好。冲击韧性的大小除了取决于材料本身以外,还受环境温度、试样尺寸、缺口形状和加载速度等因素的影响。所以,在分析冲击试验结果时,一定要注意试验条件及试样的型式。不同型式试样的冲击值,不能相互换算和直接比较。

⑥疲劳强度。它是指金属材料承受无限次交变载荷作用而不发生断裂破坏的最大应力,用  $\sigma_N$  表示,单位为 MPa。

所谓交变载荷是指载荷的大小和方向作周期性变化的载荷。如材料被反复弯曲所出现的拉、压交变载荷等。

所谓无限次循环周期,实际上是不可能进行无限次试验的。一般对各种材料规定一应力循环基数,超过这个交变载荷循环周期基数的应力作为疲劳强度,称疲劳极限,用  $\sigma_{-1}$  表示。按我国国家标准,钢铁的循环基数为  $10^7$ ,而有色金属材料的循环基数为  $10^8$ 。

## (2) 金属材料的物理、化学性能

金属材料的物理、化学性能主要有以下几类参数,它们是选择和使用材料的依据。

①密度。密度是材料单位体积内所含的质量,即物质的质量与体积之比。密度通常用符号  $\rho = \frac{m}{V}$  ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ) 表示。式中,  $m$  为物质的质量,单位为(kg);  $V$  为物质的体积,单位为( $\text{m}^3$ )。

②熔点。金属材料由固态转为液态的温度称熔点。通常金属材料可分为低熔点金属(熔点低于  $700^\circ\text{C}$ )和难熔金属两大类。

③导热系数。维持单位温度梯度(即温度差)时,单位时间内流经物体单位面积的热量,称为导热系数或导热率,用符号“ $\lambda$ ”表示。它是衡量金属材料导热性能的一个主要指标。

④线膨胀系数。它是指温度每升高  $1^\circ\text{C}$  时,金属材料的长度增量与原长度的比值,以  $\alpha$  表示,即  $\alpha = \frac{1}{\Delta T} \times \frac{\Delta L}{L}$  ( $1/\text{K}$ )。式中,  $\Delta T$  为温度变化量,  $\Delta L$  为相应  $\Delta T$  的长度变化量,  $L$  为物体的原始长度。线膨胀系数不是一个固定不变的数值,它随温度的升高而增加,钢的线膨胀系数一

一般在 $(10\sim 20)\times 10^{-6}$ 范围之内。体膨胀系数一般等于线膨胀系数的3倍。

⑤导电性。金属材料传导电流的能力称导电性。通常用电阻率、电导率来衡量导电性的好坏。电阻率是计算和衡量金属材料在常温下( $20^{\circ}\text{C}$ )电阻值大小的性能指标。电阻率大,表示材料的导电性能差,电阻率是表征金属电学性质的物理常数,由金属的本性所决定,与其形状及大小无关。

电导率是电阻率的倒数,电导率大的材料导电性能好。在金属中,银的导电性最好,铜和铝的导电性次之。合金的导电性一般比纯金属差。

⑥磁性。磁性是指金属材料在磁场中被磁化而呈现磁性强弱的性能。按磁化程度,金属材料分为:

铁磁性材料——在外加磁场中,能强烈被磁化到很大程度,如铁、钴、镍等。

顺磁性材料——在外加磁场中,只是被微弱磁化,如锰、铬、铜等。

抗磁性材料——能够抗拒或减弱外加磁场磁化作用的材料,如铜、金、银、铅、锌等。

铁磁材料包括软磁材料和硬磁材料。软磁材料在外磁场去除后,剩磁容易被消除;在反复磁化和退磁时,电能消耗小,材料也不易发热,如硅钢片。硬磁材料则相反,即使外加磁场去除后,材料本身仍留有很高的磁性,并且不易消除,如永久磁铁。

磁性指标包括:磁导率、磁感应强度、矫顽力等。

⑦耐磨性。耐磨性的好坏常以磨损量作为衡量的指标。磨损量是用试样在规定的试验条件下,经过一定时间或一定距离的摩擦之后,以试样被磨去的重量或体积来表示。磨损量越小,说明这种材料的耐磨性越好。

⑧耐腐蚀性。这是指金属材料抵抗周围介质腐蚀破坏的能力。对于不锈钢、耐酸钢、耐蚀铸铁、耐热钢、耐热铸铁及建筑、桥梁用的普通低合金钢等材料,耐蚀性是衡量这些材料性能优劣的主要质量指标。

⑨抗氧化性。抗氧化性是指金属材料在室温或高温下,抵抗氧化作用的能力。抗氧化性是高温材料的一项重要性能指标。

### (3)金属材料的工艺性能

金属材料的工艺性能是指材料在加工过程中呈现的接受加工的难易程度。工艺性能直接影响到制造零件的加工工艺和质量,也是选择金属材料时必须考虑的重要因素之一。

①铸造性。铸造性是指利用金属的可溶性将其熔化后,注入铸型制成铸件的难易程度。铸造性包括金属液体的流动性和收缩性等。一般说来,共晶成分的合金的铸造性较好。金属材料中,铸铁、铝硅合金等具有良好的铸造性。

②可锻性。它是指金属材料在锻造过程中承受压力加工而具有的塑性变形能力。可锻性好的金属材料易于锻造成型而不发生破裂。

③切削加工性。这是表示对材料进行切削的难易程度,它可用切削抗力的大小,加工的表面质量、排屑的难易程度以及切削刀具的使用寿命等来衡量。一般来说,材料过硬,切削加工性不好;软的、粘的材料排屑困难,也不易切削。添加使切屑形成不连续的断屑的合金元素,可使材料的切削加工性得以改善,如易切削钢和易切削黄铜等。

④焊接性。它是指材料被焊接的难易性质。通常,低碳钢有良好的焊接性,高碳钢、高合金钢、铸铁和铝合金的焊接性较差,中碳钢则介于两者之间。

⑤热处理工艺性。它包括的指标有:淬硬性、淬透性、淬火变形与淬裂,表面氧化与脱碳,过



热与过烧,回火稳定性与回火脆性等。

## 2. 非金属材料性能

非金属材料的基本性能包括物理性能、力学性能、与水有关和与热有关的性能以及耐久性。

### (1) 物理性能

主要包括容重、密度、孔隙、材料胀缩等,它是衡量材料质量和形态的主要指标。

①容重。材料在自然状态下包括孔隙或空隙在内的单位体积质量叫容重。容重可用公式  $\gamma_0 = \frac{m}{V_0}$  表示。式中,  $\gamma_0$  为容重,单位为  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $m$  为材料中的质量,单位为  $\text{kg}$ ;  $V_0$  为材料在自然状态下的体积,单位为  $\text{m}^3$ 。

材料的容重通常是指在干燥状态下的材料质量。材料在自然状态下,常含有水份,会影响其质量和体积变化,所以对所测定的材料容重,必须注明其含水状态。

②密度。材料在绝对密实状态下单位体积的质量叫密度。密度可用公式  $\rho = \frac{m}{V}$  表示。式中,  $\rho$  为密度,单位为  $\text{kg}/\text{m}^3$ ;  $m$  为材料本身的质量,单位为  $\text{kg}$ ;  $V$  为材料在绝对密实状态下的体积,单位为  $\text{m}^3$ 。

③孔隙。可用孔隙率作为衡量孔隙的指标。孔隙率是指材料内部空隙体积占材料总体积的百分比,孔隙率用下式计算:

$$P = \frac{V_0 - V}{V_0} \times 100\% = \left(1 - \frac{V}{V_0}\right) \times 100\%$$

式中

$P$ ——孔隙率;

$V_0$ ——材料在自然状态下的体积;

$V$ ——材料在绝对密实状态下的体积。

密度、容重、孔隙率是非金属材料的基本的物理性能,能反映出材料的密实程度,对其他性能影响很大。

④材料的胀缩。它是由于大气中温度、湿度的变化或其他介质的作用引起的。材料在使用过程中,其胀缩常受到制品结构的限制,会造成制品开裂和变形。

材料的胀缩主要包括湿胀干缩、热胀冷缩和碳化收缩等。碳化收缩指硅酸盐类材料在大气中受二氧化碳的作用而碳化,产生体积收缩。这种收缩会使制品表面产生微裂纹,并随着碳化作用的深入而发展,从而影响制品的功能。

### (2) 力学性能

非金属材料的力学性能主要是强度和变形。其强度和变形的概念与金属材料的相同,这里着重介绍不同之处。

①强度。非金属材料特别是脆性材料如陶瓷、玻璃等,在相当低的应变值时就发生断裂。所以,陶瓷等材料的应力-应变行为不能用拉伸试验确定,最常用的试验方法是弯曲试验。而高聚合物的应力-应变行为常常是用拉伸试验测定的。高聚合物的品种繁多,其力学性能变化范围也很广。

②变形。非金属材料的变形除弹性变形、塑性变形和弹性模量的概念与金属材料相同外,主要还有徐变(或称蠕变)和松弛,它们对材料的使用影响较大。