

绪 论

在现代工业社会里，材料、能源、信息被称为现代技术的三大支柱，而能源和信息的发展，在某种程度上又依赖于材料的进步。因此，材料科学的发展在现代工业社会中占举足轻重的地位。

材料是人类生产和生活所必需的物质，人类社会的发展伴随着各种材料的不断开发和利用。目前，世界上已存在的自然材料和人工材料有近百万种，自然材料仅占 $1/20$ ，其余均为人工材料。在当前社会中，绝大多数的生产和生活用品是采用人工材料制造的，人工材料在材料科学的发展中占有着极其重要的地位。

同样，就汽车工业来讲，材料也是汽车工业的基础。汽车工业作为现代工业社会的一个重要标志，带动和促进着石油、化工、电子、材料等工业，以及交通运输业、旅游业等 30 余个其他行业的发展。由于制造和使用汽车的原材料品种多、数量大，汽车工业在国民经济中占有着重要的地位。据统计，世界上每年钢材产量的 $1/4$ 、橡胶产量的 $1/2$ 、石油产品的 $1/2$ ，均用于汽车工业及其相关工业。

一、汽车的主要构成

现代汽车的结构比较完善，是由许多机构和装置组合而成的，大多数汽车的总体构造及其主要机构的构造和作用原理大体上是一致的。常用汽车的总体构造基本上由以下四个部分组成：发动机、底盘、车身、电器电子设备。一般轿车、货车总体构造的基本形式如图 0-1、0-2 所示。

1. 发动机

发动机是汽车的动力装置，是汽车的“心脏”。其作用是使供入其中的燃料燃烧而发出动力，通过底盘传动系驱动汽车行驶。发动机主要由缸体、缸盖、活塞、连杆、曲轴以及配气、燃料供给、润滑、冷却等系统组成。

2. 底盘

底盘接受发动机发出的动力，使汽车得以正常行驶。底盘将汽车各总成、部件连接成为一个整体，并具有传动、转向、制动等功能。底盘主要包括传动系（离合器、变速箱、后桥等）、行驶系（车架、车轮等）、转向系（转向盘、转向蜗杆等）和制动系（油泵或气泵、刹车片等）四大系统。

3. 车身

车身用以安置驾驶员、乘客和货物。通常，货车车身由驾驶室、车箱等组成，客车、轿车则由车身结构件、车身覆盖件、车身外装件、车身内装件和车身附件等总成零件组成。

4. 电气电子设备

汽车电气电子设备主要包括电源、发动机的起动系和点火系、照明、信号、电子控制设备等。在现代汽车中，电子技术配备有了飞跃性的发展。目前，在汽车上，尤其是在轿车上较普遍地使用了电子打火、发动机动力输出控制（EPC）、发动机电控喷射系统、自动防抱死系统（ABS）、安全气囊系统（SRS）、自动诊断装置等电子设备，大大提高了轿车的可靠性和安全性。随着 21 世纪电子技术的不断发展，汽车将更加电子化和智能化。

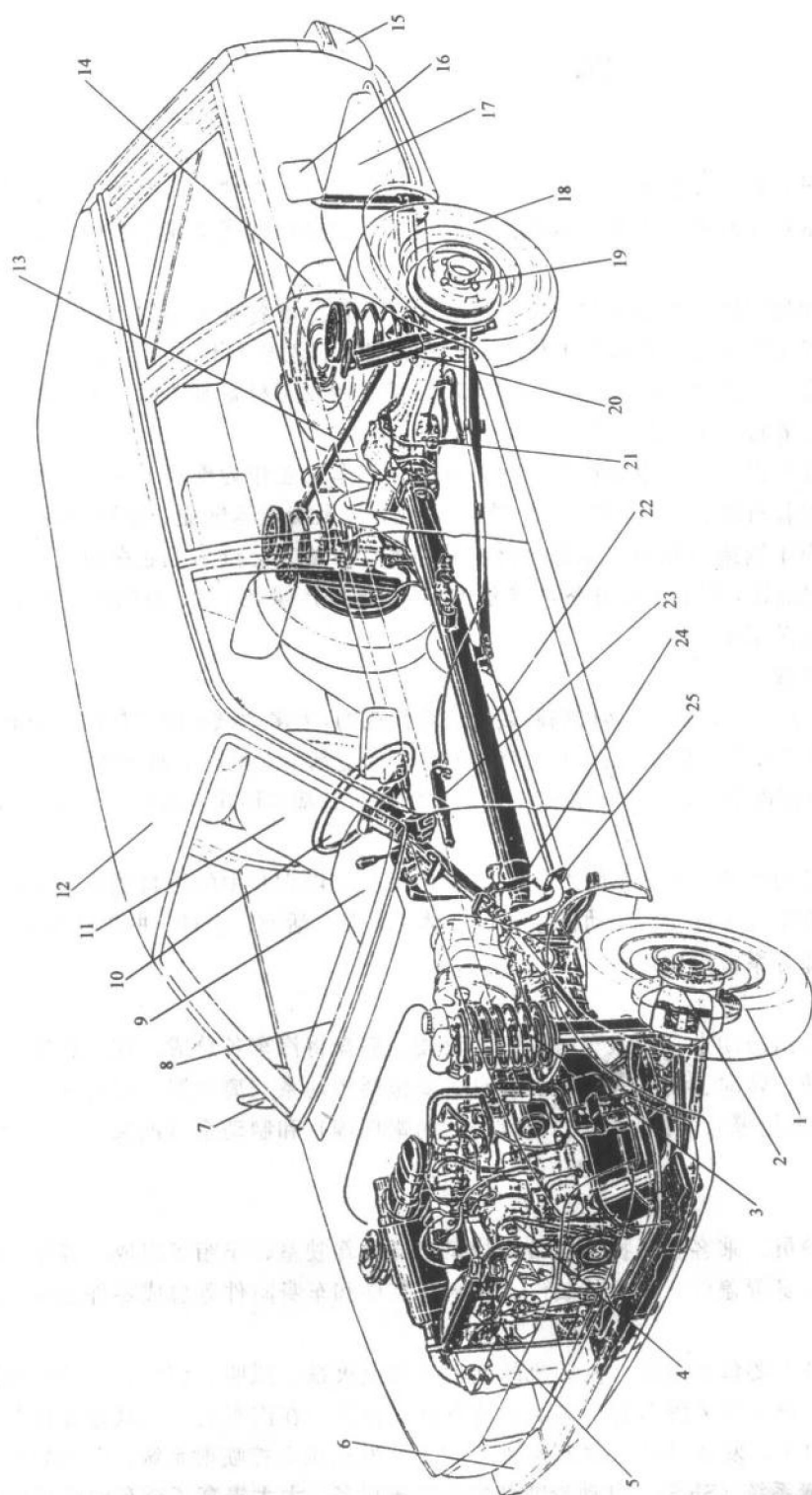


图 0-1 轿车总体构造示意图

- 1—前轮 2—前轮制动器 3—前悬架 4—发动机 5—散热器 6—前保险杠 7—后视镜 8—杂物箱 9—仪表板 10—转向盘
11—座椅 12—车身 13—稳定杆 14—备胎 15—后保险杠 16—加油口 17—油箱 18—后轮 19—后轮制动器
20—后悬架 21—后桥 22—传动轴 23—驻车制动器 24—变速器 25—离合器和行车制动器踏板

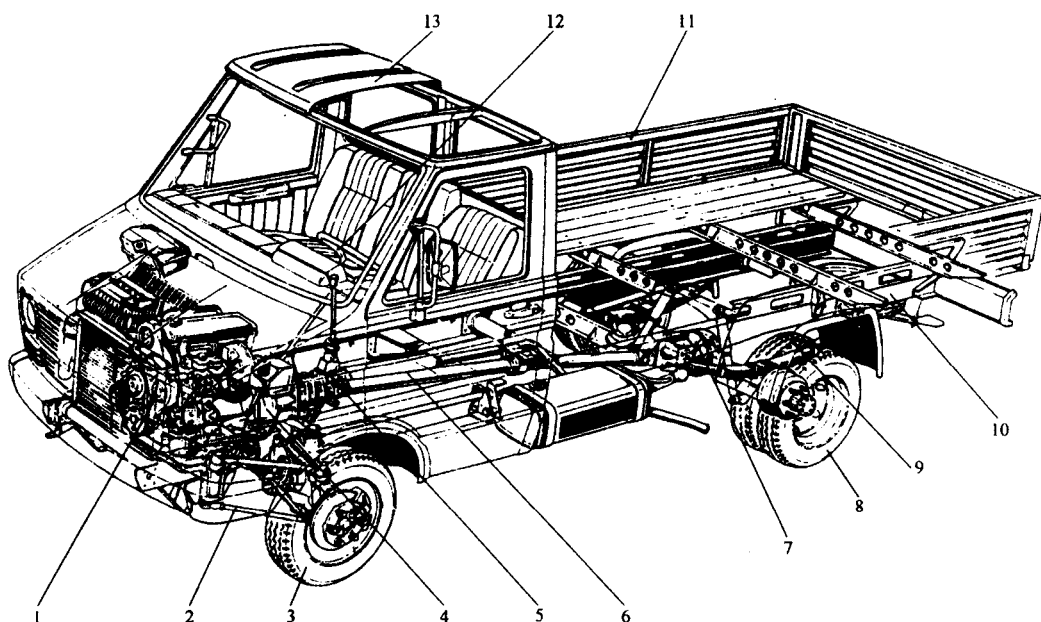


图 0-2 货车总体构造示意图

1—发动机 2—前悬架 3—转向车轮（前轮） 4—离合器 5—变速器 6—万向传动装置 7—驱动桥 8—驱动车轮（后轮） 9—后悬架 10—车架 11—车箱 12—转向盘 13—驾驶室

二、汽车材料的应用

通常，一辆汽车由约 3 万个零部件组装而成。汽车上每个汽车零件的生产制造都涉及到材料问题。据统计，汽车上的零部件采用了 4000 余种不同的材料加工制造。从汽车的设计、选材、加工制造，到汽车的使用、维修和养护无一不涉及到材料。

以现代轿车用材为例，按照重量来换算，钢材占汽车自重的 55%~60%，铸铁占 5%~12%，有色金属占 6%~10%，塑料占 8%~12%，橡胶占 4%，玻璃占 3%，其他材料（油漆、各种液体等）占 6%~12%。目前，汽车制造用材仍以金属材料为主，塑料、橡胶、陶瓷等非金属材料占有一定的比例。在本书中，我们将系统地介绍汽车应用材料的基础知识，以对汽车上应用的各种工程材料，以及汽车在运行过程中使用的各种运行材料有一个大致的了解。

汽车工业的发展一直是与汽车材料，及材料加工工艺的发展同步的。现代社会中，人们对汽车的要求从代步、运输逐渐转向多功能。因此，现代汽车要满足安全、舒适、自重轻、污染排放低、能耗小、价格低等要求，首先就要从材料方面考虑。目前，大量新型材料，如高分子材料、复合材料等的迅速发展，为现代汽车的发展提供了必要的条件。此外，其他新型材料，如复合材料、陶瓷材料、特殊用途材料（耐蚀、耐高温、隔光、隔热材料等）的用量也呈增长趋势。此外，随着全球能源危机趋势的加剧，汽车代用燃料的开发、以电动机替代内燃发动机，也将使传统的以汽油、柴油作为汽车燃料的状况发生根本性的变革。

三、汽车应用材料的组成

（一）汽车工程材料

汽车应用材料是指生产制造汽车，以及汽车在运行过程中所用到的材料。按照用途来分，

一般将其划分为汽车工程材料和汽车运行材料。

工程材料主要是指用于机械、车辆、船舶、建筑、化工、能源、仪器仪表、航空航天等工程领域中的材料。它既包括用于制造工程构件和机械零件的材料，也包括用于制造工具的材料和具有特殊性能的材料。汽车工程材料是指用于制造汽车零部件的材料。参照工程材料的分类，常用的汽车工程材料分类如图 0-3 所示。

1. 金属材料

金属材料是目前汽车上应用最广泛的工程材料。工业上，一般把金属材料分为两大部分：黑色金属和有色金属。黑色金属指钢铁材料；有色金属是指钢铁材料以外的所有金属材料，如铝、铜、镁及其合金。按照特性来分，有色金属又可分为轻金属、重金属、贵金属、稀有金属和放射性金属等多个种类。

钢铁材料在我国汽车工业生产中仍占主流地位。一部中型载货汽车上钢铁材料约占汽车总重量的 $3/4$ ，轿车上钢铁材料则超过总重的 $2/3$ 。钢铁材料最大的特点是价格低廉，比强度（强度 / 密度）高，便于加工，因而得到广泛的使用。汽车用钢铁材料有钢板、结构钢、特殊用途钢、钢管、烧结合金、铸铁及部分复合材料等，主要用于制造车架、车轴、车身、齿轮、发动机曲轴、气缸体、罩板、外壳等零件。

有色金属因具有质轻、导电性好等钢铁材料所不及的特性，在现代汽车上的用量呈逐年增加的趋势。例如：铝合金材料具有密度低、强度高和耐蚀性好的特性，在轿车的轻量化中占举足轻重的地位。据统计，近十年来轿车上铝及其合金的用量已从占汽车总重的 5% 左右上升至 10% 左右。此外，采用新型镁合金制造的凸轮轴盖、制动器等零部件，可以减轻重量和降低噪声。在轿车制造行业，采用铝、镁、钛等轻金属替代钢铁材料来减轻汽车自重，已成为轿车轻量化的一个重要手段。

2. 高分子材料

高分子材料属于有机合成材料，亦称聚合物。高分子材料可分为天然高分子材料（如蚕丝、羊毛、油脂、纤维素等）和人工合成高分子材料。后者因具有较高的强度、良好的塑性、较强的耐腐蚀性、很好的绝缘性和较轻的质量等特点，很快成为工程上发展最快、应用最广的一类新型材料。在工程上，根据高分子材料的力学性能和使用状态，一般将其划分为塑料、合成纤维、橡胶、胶粘剂和涂料等种类。

塑料主要指强度、韧性和耐磨性较好的，可用于制造某些零部件的工程塑料。塑料具有价廉、耐蚀、降噪、美观、质轻等特点。塑料正式应用于汽车始于 20 世纪 60 年代石油化工工业的兴盛期。现代汽车上许多构件如汽车保险杠、汽车内饰件、高档车用安全玻璃、仪表面板等零部件，均采用工程塑料制造，与钢铁材料相比更具有安全性，并可降低造价，较大地改善了汽车的安全性、舒适性、经济性。

其他高分子材料在汽车上也有着广泛的应用。汽车的座垫、安全带、内饰件等多数是由合成纤维制造的。合成纤维是指由单体聚合而成具有很高强度的高分子材料，如常见的尼龙、

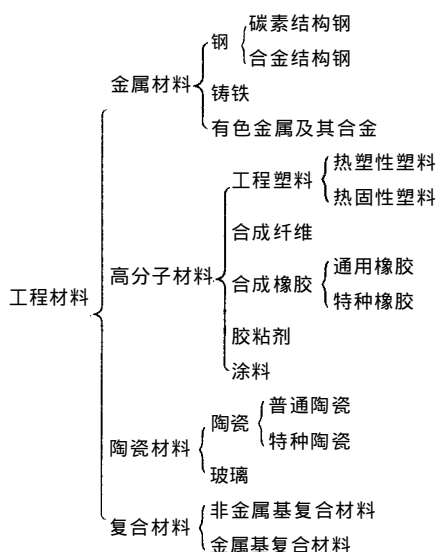


图 0-3 常用汽车工程材料的分类

聚酯等。橡胶通常用来制造汽车的轮胎、内胎、防振橡胶、软管、密封带、传动带等零部件；各种胶粘剂起到粘接、密封等作用，并可简化制造工艺；各种车用涂料对车身的防锈、美化及商品价值有不可忽视的作用。

3. 陶瓷材料

陶瓷材料属于无机非金属材料，主要为金属氧化物和非金属氧化物。陶瓷材料是人类最早利用自然界提供的原料进行加工制造而成的材料，具有耐高温、硬度高、脆性大等特点。传统的陶瓷多采用粘土等天然矿物质原料烧制，而现代陶瓷则多采用人工合成的化学原料烧制。典型的工业用陶瓷材料有普通陶瓷、玻璃和特种陶瓷。

普通陶瓷（传统陶瓷）主要为硅、铝氧化物的硅酸盐材料；特种陶瓷（新型陶瓷）主要为高熔点的氧化物、碳化物、氮化物、硅化物等的烧结材料。近年来，还发展了金属陶瓷，主要指用陶瓷生产方法制取的金属与碳化物或其他化合物的粉末制品。陶瓷在汽车上的最早应用是制造火花塞。现代汽车中，陶瓷的用途得到大大的拓展：一部分陶瓷作为功能材料被用于制作各种传感器如爆振传感器、氧传感器、温度传感器等部件；另一部分陶瓷则作为结构材料用于替代金属材料制作发动机和热交换器零件。近年来，一些特种陶瓷用于制造发动机部件或整机、气体涡轮部件等，可以达到提高热效率、降低能耗、减轻自重的目的。

玻璃的主要成分是 SiO_2 。汽车上使用的玻璃制品主要为窗玻璃，要求其具有良好的透明性、耐候性（对气温变化不敏感）、足够的强度和很高的安全性。因而，车用玻璃必须是安全玻璃，主要有钢化玻璃、区域钢化玻璃、普通复合玻璃和 HPR 夹层玻璃等几种类型。其中，HPR（High Penetration Resistance）夹层玻璃是指具有高穿透抗力的夹层玻璃。采用这种玻璃，当车受到冲撞时，乘客若撞到车窗玻璃上，玻璃不会被击穿，从而避免了乘客因玻璃碎裂而受伤的危险。在欧美等国家，已规定前挡风玻璃只允许使用 HPR 夹层玻璃。

4. 复合材料

复合材料是指由两种或两种以上不同材料组合而成的材料。由于它是由不同性质或不同组织结构的材料以微观或宏观的形式组合形成的，不仅保留了组成材料各自的优点，而且具有单一材料所没有的优异性能，在强度、刚度、耐蚀性等方面比单纯的金属材料、陶瓷材料和高分子材料都优越。

原则上来说，复合材料可以由金属材料、高分子材料和陶瓷材料中任意两种或几种制备而成。按基体材料的种类来分，复合材料可分为非金属基复合材料和金属基复合材料两大类。非金属基复合材料是指以聚合物、陶瓷、石墨、混凝土为基体的复合材料，其中以纤维增强聚合物基和陶瓷基复合材料最常用；金属基复合材料是指以金属及其合金为基体，与一种或几种金属或非金属增强的复合材料。

复合材料是一种新型的、具有很大发展前途的工程材料。起初主要应用于宇航工业，近年来在汽车工业中也逐步得到应用。对于汽车车顶导流板、风挡窗框等车身外装板件，采用纤维增强复合材料（FRP）制造具有质轻、耐冲击、便于加工异形曲面、美观等优点；汽车柴油发动机的活塞顶、连杆、缸体等零件，采用纤维增强金属（FRM）来制造，可显著提高零件的耐磨性、热传导性、耐热性，并减小热膨胀。

（二）汽车运行材料

汽车运行材料是指汽车在运行过程中所消耗的材料。它包括燃料、润滑剂、工作液和轮胎等。这些材料大多属于石油产品。据统计，全球石油产品的 46% 为汽车及相关工业所消耗。

汽车运行材料的大致分类如图 0-4 所示。

1. 燃料

燃料通常是指能够将自身贮存的化学能通过化学反应（燃烧）转变为热能的物质。汽车燃料主要指汽油和轻柴油。

汽油作为点燃式发动机（汽油机）的主要燃料，其使用性能的好坏对发动机工作的可靠性、经济性以及使用寿命有极大影响。汽油是从石油提炼出来的密度小、易于挥发的液体燃料。对于汽油的使用性能，主要从蒸发性、抗爆性、化学稳定性、耐腐蚀性、清洁性等几方面考虑，从而保证了发动机在各种工况下的可靠起动、正常燃烧和平稳运转。

轻柴油（可简称柴油）是车用高速柴油机的燃料。与汽油相比，轻柴油的密度较大，易自燃。由于柴油机与汽油机的工作方式不同。对于柴油，主要从低温流动性、燃烧性、蒸发性、粘度、腐蚀性和清洁性等方面要求其使用性能。

据预测，石油资源只能供全世界使用到 2040~2050 年左右。随着全球石油资源的日趋紧张，汽车业作为最大的石油消耗工业之一，降低油耗和开发汽车新能源比过去任何时候都显得重要与迫切，并已成为近代汽车技术发展的重要研究课题。此外，进入 21 世纪以来，针对环境和能源形势的日趋恶化，世界范围内的环保呼声也越来越高，开发使用被称为“绿色能源”的清洁代用燃料也成为汽车燃料发展的趋势。

目前，较普遍使用的汽车清洁代用燃料有天然气、液化石油气、电能、氢、太阳能、醇类、醚类和合成燃料等。由于天然气、液化石油气、醇类、醚类和合成燃料的相对分子质量比汽油、柴油小得多，有利于与空气的混合、燃烧，其尾气排放 CO、HC、CO₂ 等污染比汽油、柴油低得多。除此之外，人们还正在尝试利用无污染的太阳能、电能驱动汽车。

2. 车用润滑油

汽车用润滑油主要包括发动机润滑油、车辆齿轮油和汽车润滑脂等。由于汽车可运行的地域辽阔，各地区的气候条件相差很大，因而对车用润滑油的要求比一般的润滑油更高。

汽车发动机润滑油的主要功用是对汽车摩擦零件间（曲轴、连杆、活塞、气缸壁、凸轮轴、气门）进行润滑。除此以外，性能优良的发动机润滑油还应具有冷却、洗涤、密封、防锈和消除冲击负荷的作用。

车辆齿轮油是用于变速器、后桥齿轮传动机构及传动器等传动装置机件摩擦处的润滑油。它可以降低齿轮及其他部件的磨损、摩擦，分散热量，防止腐蚀和生锈，对保证齿轮装置正常动转和齿轮寿命十分重要。

润滑脂是指稠化了的润滑油。与润滑油相比，润滑脂蒸发损失小，高温高速下的润滑性好，附着能力强，还可起到密封作用。

3. 汽车工作液

汽车用制动液、液力传动油、减振器油、冷却液及空调制冷剂，统称为汽车用工作液。

制动液是汽车液压制动系中传递压力的工作介质，俗称刹车油，是液压油中的一个特殊品种。

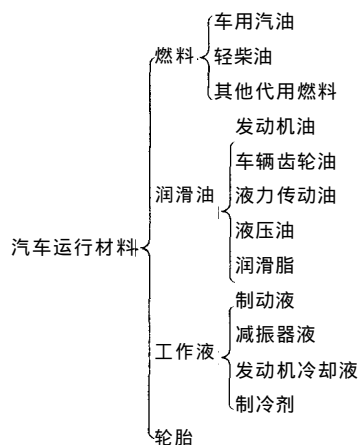


图 0-4 汽车运行材料的分类

液力传动油是用于自动液力变速器中的，用于传动、控制、润滑和冷却的工作介质。

发动机冷却液是对发动机冷却系统的冷却介质。其中防冻冷却液不仅具有防止散热器冻裂的功能，而且具有防腐蚀、防锈、防垢和高沸点（防开锅）的功能，可以有效地保护散热器，改善散热效果，提高发动机效率，保障汽车安全行驶。

减振器油是汽车减振器的工作介质。它利用液体流动通过节流阀时产生的阻力起到减振作用。

制冷剂是汽车空调器工作介质。它在空调器的系统中循环，不断地被压缩和膨胀，在膨胀蒸发时吸热，达到制冷的目的。

4. 轮胎

轮胎的主要作用是支承全车重量，与汽车悬架共同衰减汽车行驶中产生的振荡和冲击，支持汽车的侧向稳定性，保证车轮与路面有良好的附着性能。

汽车轮胎以橡胶为原料制成。世界上生产的橡胶约 80% 用于制造轮胎。轮胎的费用占整个汽车运输成本的 25% 左右。轮胎使用性能的好坏，直接影响着车辆的安全性、行驶稳定性和经济性。随着车辆行驶速度的不断提高，对轮胎的技术和安全要求也越高。掌握轮胎特征，正确地使用养护轮胎，可以延长轮胎的使用寿命，降低汽车的运行成本。

不同类型的轮胎有不同的结构特点和使用性能。按汽车轮胎组成结构，可分为有内胎轮胎和无内胎轮胎；按胎面花纹不同，又可分为普通花纹轮胎、越野花纹轮胎和混合花纹轮胎；按胎体帘布层的结构不同，又可分为斜交轮胎和子午线轮胎。

四、汽车应用材料的使用模式与选用原则

汽车应用材料是多种多样的，汽车应用材料的合理选用是汽车工业发展的重要因素。汽车各种应用材料的使用模式详见图 0-5。

选择适合的材料是设计和制造产品的必要条件，汽车选材也不例外。汽车应用材料的选择首先必须遵循一般的材料选择原则。由于材料的种类繁多，性能、作用和应用场合也各不相同，材料的选择主要从三方面进行：

- (1) 材料的使用性能 所选用材料制造的零件在使用过程中具有良好的工作性能。
- (2) 材料的工艺性能 所选用材料能够确保零件便于加工。
- (3) 经济性 所选用的材料能使产品具有较低的总成本。

五、汽车应用材料的展望

21 世纪是高新技术的世纪，信息、生物和新材料代表了高新技术发展的方向。总体来说，随着现代新技术、新材料的不断开发应用，现代汽车工业得到快速发展，而且，随着现代社会人们的生活水平的提高和环境意识的增强，汽车轻量化和减少污染成为汽车工业发展的方向。

对于汽车材料来说，其总的发展趋势是：结构材料中钢铁材料所占比例将逐步下降，有色金属、陶瓷材料、复合材料、高分子材料等新型材料的用量将有所上升。在性能可靠的条件下，将尽可能多地采用铝合金、复合材料等轻型、新型材料取代钢铁材料。

为了满足汽车轻量化的要求，汽车上采用了纤维增强聚合物基复合材料（FRP）、铝合金或纤维增强金属基复合材料（FRM）材料取代原有的钢铁结构零件；采用新型高强度陶瓷材料制造汽车发动机部件乃至整机；运用碳纤维增强树脂基复合材料（CFRP）制造驱动轴等；此外，汽车运行材料趋向采用绿色环保材料或燃料。这些措施，可使汽车向轻量化、高效、节能、低噪声、高舒适度、高安全性等方向发展。

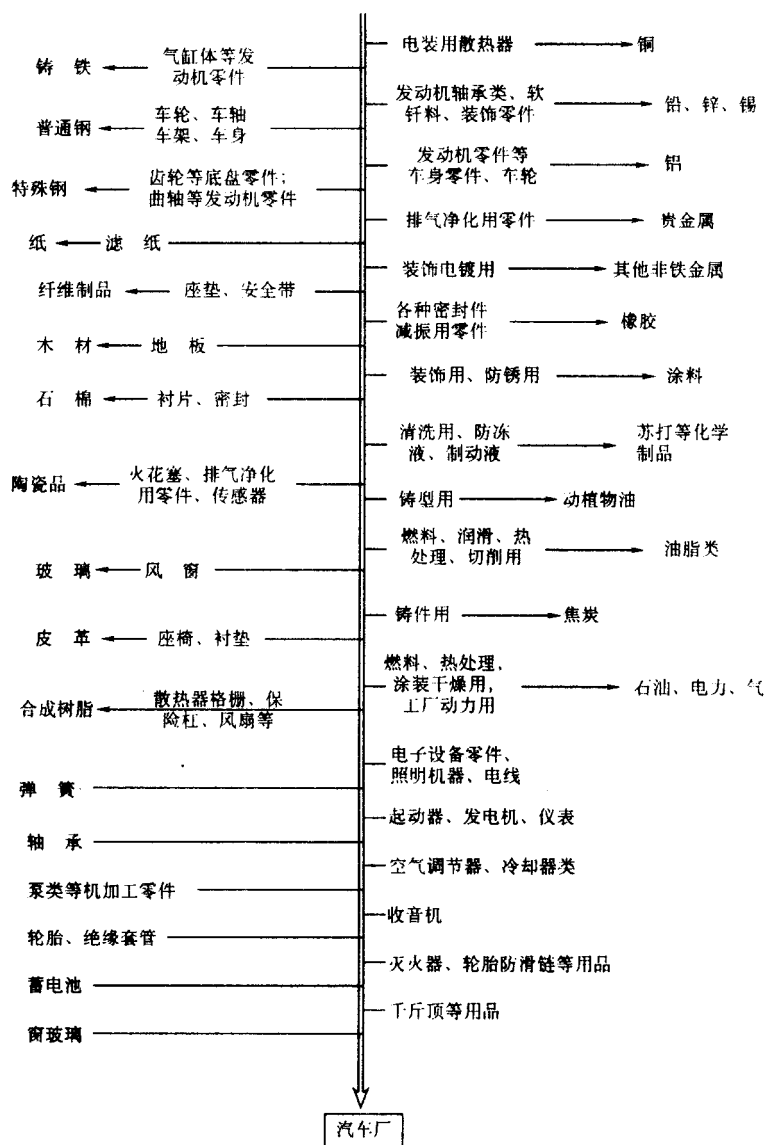


图 0-5 汽车应用材料的使用模式

近年来刚刚发展起来的纳米材料出现了许多传统材料不具备的奇异特性，已引起科学家相当大的兴趣。与常规材料相比，纳米材料体现出许多新奇特特性，其光、热、电磁等物理性质与常规材料不同。比如纳米金属材料的电阻率会随尺寸的变化而变化；氧化物纳米材料对红外线微波有良好的吸收特性和光致发光现象；另外，由于纳米材料的化学性质也与常规材料截然不同，可开发出许多在传统工艺中难以生产的材料。例如将金属纳米颗粒放入常规陶瓷中可大大改善材料的力学性质，放入金属或合金中可以使晶粒细化，纳米氧化铝加到透明玻璃中，既不影响透明度又提高了抗高温冲击的能力。

对于汽车制造业，纳米技术也在近年来不断被开发。在汽车纳米材料和技术的开发中，迄今为止所取得的有实用价值的成果是生产了微电子零部件，这些部件最常应用于汽车安全气

囊的传感器；由我国最近研发的纳米汽油是纳米技术在汽车上的又一个具体应用。纳米汽油具有节约燃油、降低污染、改善车辆性能等特点。据测，在汽油中加入微量乳化剂制成的纳米汽油，油耗可以降低 10%~20%，动力性能可以提高 25%，尾气排放污染物（浮炭、碳氢化合物等）降低 50%~80%。另外，还可以清洗积炭，提高汽油的综合性能，既节约能源又减少污染；正在研究的纳米陶瓷材料在硬度、韧度和变形性等方面较传统陶瓷将有突破性的发展，既可降低成本，又可提高经济效益；此外，纳米技术还广泛应用于汽车玻璃、塑料合成、橡胶改性等方面。据记载日本本田汽车现在已经制造出体积仅有米粒大小而且能开动的汽车。

随着科技水平的不断进步和发展，相信会有更多的汽车新材料不断问世，不断应用于汽车行业之中。

第一章 材料的性能

材料的性能包括使用性能和工艺性能。

材料的使用性能是指零部件在正常使用条件下材料所表现出来的性能。主要包括力学性能、物理性能和化学性能。材料的使用性能决定了材料的使用范围、安全可靠性和使用寿命。

材料的工艺性能是指材料在各种加工过程中适应加工的性能。对于金属材料来讲，工艺性能主要包括了铸造性能、锻造性能、焊接性能、切削加工性能和热处理性能。材料的工艺性能直接影响着零部件的质量，是零部件选材和制订加工工艺路线时必须考虑的因素之一。

汽车应用材料主要以金属材料和非金属材料为主。由于非金属材料在性能指标及测试方法与金属材料相同或相似，所以本章主要以金属材料为例阐述工程材料的一般性能及主要指标。重点介绍材料的力学性能及相关指标。

第一节 材料的物理性能

材料的物理性能是指材料的固有属性，如密度、熔点、导热性、导电性、热膨胀性、磁性和色泽等。常用金属材料的物理性能见表 1-1。

一、密度

材料的密度是指单位体积物质的质量，用符号 ρ 表示，单位为 g/cm^3 。材料的密度关系到产品的重量和效能。

对于金属材料，按照密度的大小可分为轻金属和重金属。一般地，密度小于 $5\text{g}/\text{cm}^3$ 的金属称为轻金属，如铝、镁、钛及其合金；密度大于 $5\text{g}/\text{cm}^3$ 的金属称为重金属，如铁、铅、钨等，见表 1-1。非金属材料，其密度相对更小。陶瓷的相对密度为 $2.2\sim 2.5\text{g}/\text{cm}^3$ 塑料的相对密度则多数在 $1.0\sim 1.5\text{g}/\text{cm}^3$ 之间。

表 1-1 常用金属材料的物理性能

金属名称	元素符号	密度/(g/cm ³)	熔点/°C	热导率/[W/(m·K)]	线膨胀系数×10 ⁻⁶ /K	电阻率×10 ⁻⁶ /(Ω·m)	磁导率/(H/m)
银	Ag	10.49	960.8	418.6	19.7	1.5	抗磁
铝	Al	2.6894	660.1	221.9	23.6	2.655	21
铜	Cu	8.96	1083	393.5	17.0	1.67~1.68	抗磁
铬	Cr	7.19	1903	67	6.2	12.9	顺磁
铁	Fe	7.84	1538	75.4	11.76	9.7	铁磁
镁	Mg	1.74	650	153.4	24.3	4.47	12
锰	Mn	7.43	1244	4.98(-192°C)	37	185	顺磁
镍	Ni	8.90	1453	92.1	13.4	6.48	铁磁
钛	Ti	4.508	1677	15.1	8.2	42.1~47.8	182
锡	Sn	7.298	231.91	62.8	2.3	11.5	2
钨	W	19.3	3380	166.2	4.6(20°C)	5.1	---
铅	Pb	11.34	327	—	29	7	抗磁

实际生产中，一些零部件的选材必须考虑材料的密度，如汽车发动机中要求采用质量轻、运动时惯性小的活塞，多采用低密度的铝合金制成。在航空领域中，密度更是选用材料的关键性能指标之一。

二、熔点

熔点是指材料由固态向液态转变的温度。熔点是制订冶炼、铸造、锻造和焊接等热加工工艺规范的一个重要的参数。

纯金属及其合金都具有固定的熔点。金属可分为低熔点金属（低于 700°C ）和难熔金属。常用的金属材料的熔点见表 1-1。难熔金属钨、钼、铬、钒等常用来制造耐高温的零件，如汽车、拖拉机的发动机排气阀（ $40\text{Cr}10\text{Si}2\text{Mo}$ 、 $4\text{Cr}9\text{Si}10$ ）等；铅、锡、锌等易熔金属常用来制造熔丝、易熔安全阀等零件。对于非金属材料，陶瓷材料的熔点一般都显著高于金属及合金的熔点；而高分子材料、复合材料一般没有固定的熔点。

三、导热性

材料的导热性是指材料传导热量的能力。常用热导率（亦称导热系数） λ 表示，单位为瓦特每米开尔文，符号为 $\text{W}/(\text{m} \cdot \text{K})$ 。材料的热导率越大，导热性就越好。

纯金属的导热性以银为最好，铜、铝次之。一般来说，金属纯度越高，其导热性就越好合金的导热性比纯金属差，但金属与合金的导热性远好于非金属，塑料的热导率只有金属的 1% 左右。常用金属的热导率，见表 1-1。

导热性是金属材料的重要性能之一，在热加工时，必须考虑金属材料的导热性，防止材料在加热和冷却中产生过大内应力，导致零件变形和开裂。导热性好的材料其散热性能也好，例如制造散热器、热交换器与活塞等零件应选用导热性好的材料。反之，氮化硅、氧化硅等导热性差的陶瓷材料，可用于制造汽车排气歧管的陶瓷衬管和柴油机分隔燃烧室镶块等零部件。

四、导电性

材料传导电流的能力称为导电性。常用电阻率 ρ 和电导率 δ 表示。电阻率 ρ 的单位符号为 $\Omega \cdot \text{m}$ ，电导率 δ 的单位符号为 $1/(\Omega \cdot \text{m})$ 。 δ 与 ρ 互为倒数，显然，电导率大的金属，其电阻率值小。金属中，银的导电性最好，铜、铝次之，合金的导电性较纯金属差。生产中最常用的导电材料是纯铜、纯铝，在高频电路中则采用具有优良导电性的镀银铜线。非金属材料中，高分子材料都是绝缘体，陶瓷材料一般情况下是良好的绝缘体，但某些特殊成分的陶瓷如压电陶瓷却是具有一定导电性的半导体材料。

五、热膨胀性

材料的热膨胀性是指材料随着温度的变化产生膨胀、收缩的特性，常用线膨胀系数 α_L 和体膨胀系数 α_V 来表示。常用金属的线膨胀系数 α_L 的值见表 1-1。一般来说，陶瓷的线膨胀系数最低，金属次之，高分子材料最高。用膨胀系数大的材料制造的零件，在温度变化时尺寸和形状变化较大。生产中，在热加工时要考虑材料的热膨胀性的影响，可减少工件的变形和开裂。

六、磁性

材料能被磁场吸引或磁化的性能称为磁性或导磁性。常用磁导率 μ 来表示，单位是亨利每米，符号为 H/m 。具备显著磁性的材料称为磁性材料，目前应用较多的磁性材料有金属和陶瓷两类。

金属磁性材料又分为铁磁材料、顺磁材料和抗磁材料。铁、钴、镍等金属及合金为铁磁

材料，它们在外磁场中能强烈地被磁化，主要用于制造变压器、继电器的铁心、电动机转子和定子等零部件；锰、铬等材料在外磁场中呈现十分微弱的磁性，称为顺磁材料；铜、锌等材料能抗拒或削弱外磁场的磁化作用，称为抗磁材料。抗磁材料多应用于仪表壳等要求不易磁化或能避免电磁干扰的零件。

陶瓷磁性材料统称为铁氧体，常用于制作电视机、电话机、录音机及动圈式仪表的永磁体。

磁性只存在于一定的温度内，在高于一定温度时，磁性就会消失。如铁在 770°C 以上就会失去磁性，这一温度称为居里点。

第二节 材料的化学性能

材料的化学性能是指材料抵抗周围介质侵蚀的能力。对于金属材料来说，化学性能一般指耐蚀性和抗氧化性。对于非金属材料，还存在着化学稳定性、抗老化能力和耐热性等问题，将在以后的章节提及，在此不再叙述。

一、耐蚀性

材料在常温下抵抗周围介质（如大气、燃气、水、酸、碱、盐等）腐蚀的能力称为耐蚀性。

金属材料在腐蚀性介质中常常会发生化学腐蚀或电化学腐蚀。碳钢、铸铁的耐腐蚀性较差；钛及其合金、不锈钢的耐腐蚀性较好；铝和铜也有较好的耐腐蚀性。因此，对金属制品的腐蚀防护十分重要。对于汽车上易腐蚀的零部件，一方面要采用耐蚀性好的不锈钢、铝合金等材料制造；另一方面，要采用适当的涂料进行涂覆，起到防腐蚀、填平锈斑的作用。

大多数高分子材料如陶瓷材料和塑料等都具有优良的耐蚀性。被誉为塑料王的聚四氟乙烯，不仅耐强酸、强碱等强腐蚀剂，甚至在沸腾的王水中其性能也非常稳定。

二、抗氧化性

材料在高温下抵抗氧化的能力称为抗氧化性，又称为热稳定性。在钢中加入 Cr、Si 等元素，可大大提高钢的抗氧化性。在高温下工作的发动机气门、内燃机排气阀等轿车零部件，就是采用抗氧化性好的 $4\text{Cr}9\text{Si}2$ 等材料来制造的。

第三节 材料的力学性能

材料的力学性能是指材料在外加载荷作用下所表现出来的性能。材料的力学性能主要决定于材料的化学成分、组织结构、冶金质量、表面和内部的缺陷等内在因素，但一些外在因素如载荷性质、应力状态、温度、环境介质等也会对材料的力学性能有较大的影响。因此，力学性能不仅是零件设计和选择材料的重要依据，也是验收、鉴定材料性能的重要依据之一。

材料的力学性能包括强度、塑性、硬度、韧性、疲劳强度及断裂韧性等，用来表征材料力学性能的各种临界值或规定值均称为力学性能指标。材料的力学性能的优劣就是用这些指标的具体数值来衡量的。

要研究材料的力学性能，必须先了解零件所承受的载荷的性质和作用方式。根据载荷的性质，一般分为静载荷、冲击载荷和交变载荷。静载荷指载荷的大小和方向不变或变动极缓慢的载荷，汽车在静止状态下，车身对车架的压力属于静载荷；冲击载荷是指以较高速度作

用于零部件上的载荷，当汽车在不平的道路上行驶时，车身对悬架的冲击即为冲击载荷；交变载荷指大小与方向随时间发生周期性变化的载荷，运转中的发动机曲轴、齿轮等零部件所承受的载荷均为交变载荷。根据载荷形式的不同，载荷也可分为拉伸载荷、压缩载荷、弯曲载荷、剪切载荷和扭转载荷等，如图 1-1 所示。

金属材料受到载荷作用时，发生几何尺寸和形状的变化称为变形。变形一般分为弹性变形和塑性变形。所谓弹性变形，是指材料受到载荷作用时产生变形，载荷卸除后恢复原状的变形。而塑性变形则是指材料在载荷作用下发生变形，且当载荷卸除后不能恢复的变形，也叫永久变形。

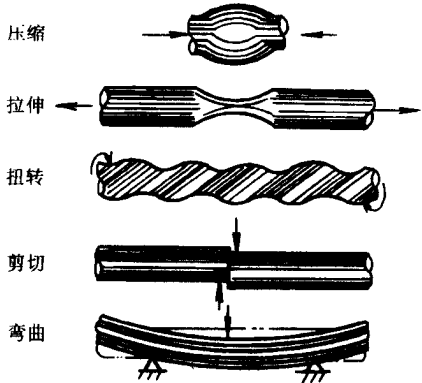


图 1-1 载荷的形式

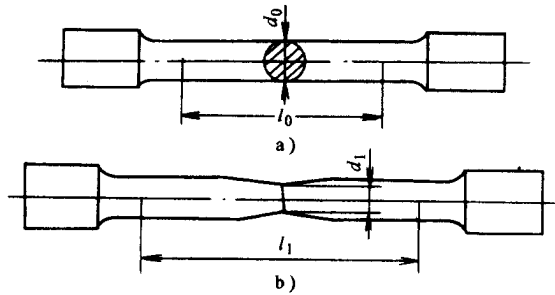


图 1-2 标准拉伸试样示意图

一、强度与塑性

材料的强度与塑性是材料最重要的力学性能指标。

强度是指材料抵抗塑性变形或断裂的能力。根据所加载荷形式的不同，强度可分为抗拉强度 σ_b 、抗压强度 σ_{bc} 、抗弯强度 σ_{bb} 、抗剪强度 τ 和抗扭强度 τ_b 等。塑性是指材料在断裂前产生永久变形而不被破坏的能力。材料的塑性通常采用伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 两个指标来表征。

通常，采用拉伸试验来测定材料的强度与塑性的各种力学性能指标。

1. 拉伸试验

根据国家标准《金属材料拉伸试验》（GB228—1987）规定，将材料制成标准拉伸试样如图 1-2 所示，装在材料拉伸试验机上，缓慢地加载进行拉伸，试样逐渐伸长，直至断裂。在拉伸试验过程中，自动记录装置可给出能反映静拉伸载荷 F 与试样轴向伸长量 ΔL 对应关系的拉伸曲线，即 $F-\Delta L$ 曲线。低碳钢的 $F-\Delta L$ 曲线，如图 1-3 所示。

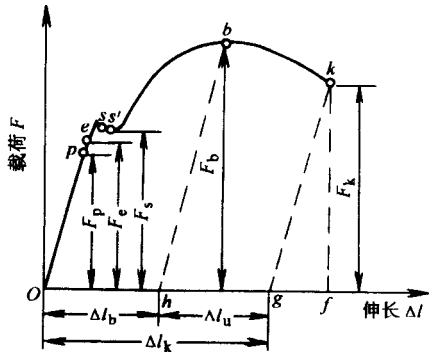


图 1-3 低碳钢的 $F-\Delta L$ 曲线

将载荷 F 除以试样原始横截面积 A_0 得到应力 $\sigma (\sigma = F/A_0)$ 单位 MPa。将伸长量 ΔL 除以试样原始长度 L_0 得到应变 $\epsilon (\epsilon = \Delta L/L_0)$ 。以 σ 为纵坐标， ϵ 为横坐标，作出应力-应变曲线，即 $\sigma-\epsilon$ 曲线。低碳钢的 $\sigma-\epsilon$ 曲线如图 1-4 所示。

比较以上两图可看到，曲线的形状差别不大。由于 $\sigma-\epsilon$ 曲线已消除了试样尺寸的影响，从

而能直接反映出材料的性能，也便于材料之间力学性能指标的比较。

由图 1-4 曲线可以看出，拉伸过程中明显的表现出以下几个变形阶段：

(1) 弹性变形阶段 (Op 段, pe 段) 在 Op 段, 试样的变形量与外加载荷成正比。如卸除载荷, 试样立即恢复原状。在 pe 段, 试样仍处于弹性变形阶段, 但载荷与变形量不再成正比。

(2) 屈服阶段 (es 段, ss' 段) 此时不仅有弹性变形, 试样还发生塑性变形。即载荷卸掉以后, 一部分变形可以恢复, 还有一部分变形不能恢复。在 ss' 段, 会出现平台或锯齿线, 这时载荷不增加或只有较小增加, 试样却继续伸长, 这种现象和称为屈服, s 点称为屈服点。

(3) 强化阶段 ($s'b$ 段) 要使试样继续发生变形, 必须不断增加载荷, 随着试样塑性变形的增大, 材料的变形抗力也逐渐增加, b 点即为试样抵抗外加载荷的最大能力。

(4) 缩颈阶段 (bk 段) 当载荷增加到最大值后, 试样发生局部收缩, 称为“缩颈”, 此时变形所需载荷也逐渐降低。至 k 点, 试样断裂。

应该指出, 做拉伸试验时, 低碳钢等材料在断裂前有明显的塑性变形, 这种断裂称为塑性断裂, 塑性断裂的断口呈“杯锥”状, 这种材料称为塑性材料。铸铁、玻璃等材料在断裂前未发生明显的塑性变形, 为脆性断裂, 断口是平整的, 这种材料则称为脆性材料。

不同类型的材料, 其 $\sigma-\epsilon$ 曲线有很大差异。不同材料的 $\sigma-\epsilon$ 曲线如图 1-5 所示。从图 1-5 可以看到, 反映出不同材料所具有的不同的抗拉性能特点。

2. 材料的强度指标

根据材料的变形特点, 表征材料强度的指标主要有弹性模量 E 、弹性极限 σ_e 、屈服点 σ_s 和抗拉强度 σ_b 。

(1) 弹性模量 E 表征材料抵抗弹性变形的能力, 也称为刚度, 单位 MPa。

$$E = \sigma / \epsilon = \tan \alpha$$

式中, σ 为弹性变形阶段的应力; ϵ 为相应的应变; $\tan \alpha$ 为拉伸曲线的斜率。

弹性模量 E 越大, 材料保持其原有形状与尺寸的能力也越大。高分子材料的弹性模量低, 约为 $2 \sim 20 \text{ MPa}$ 而一般金属材料为 10

$\sim 2 \times 10^5 \text{ MPa}$ 。金属材料抵抗弹性变形的能力要比高分子材料的高出许多。

(2) 弹性极限 σ_e 指材料在弹性变形阶段所能承受的最大应力。

$$\sigma_e = F_e / A_0$$

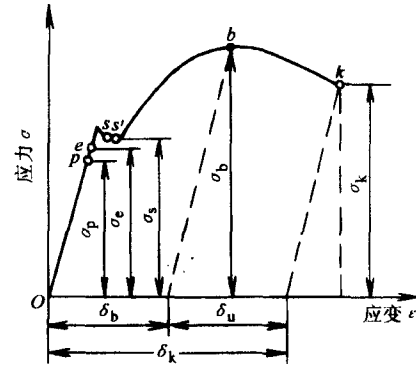


图 1-4 低碳钢的 $\sigma-\epsilon$ 曲线

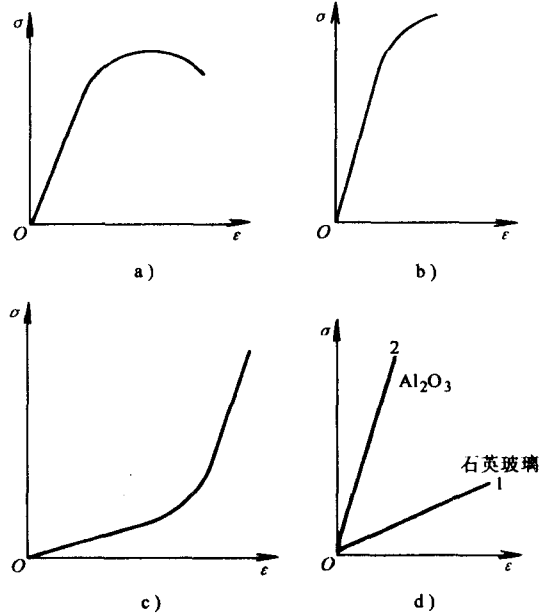


图 1-5 不同材料的 $\sigma-\epsilon$ 曲线

a) 铸铁 b) 铜 c) 天然橡胶 d) 玻璃

式中, F_e 是试样不产生塑性变形时的最大载荷; A_0 是试样的原始横截面积。 σ_e 表示材料保持弹性变形、不产生永久变形的最大应力, 所以, 它是弹性零件设计与选材的重要依据。例如设计车用弹簧时应根据弹性极限来选材, 以保证工作应力不超过材料的弹性极限。

(3) 屈服点 σ_s 表示材料产生屈服时对应的应力, (MPa)

$$\sigma_s = F_s / A_0$$

式中, F_s 为试样发生屈服变形时的载荷 (N); A_0 为试样原始横截面积 (mm^2)。

机械零件经常因过量的塑性变形而失效, 一般来说不允许发生明显的塑性变形。正因为这样, 工程中常根据 σ_s 确定材料的许用应力。

除退火和热轧的低碳钢和中碳钢等少数材料在拉伸过程中有屈服现象以外, 工业上使用的大多数材料没有屈服现象。因此, 须采用条件屈服强度 σ_r 。 σ_r 是指规定残余伸长下的应力。国家标准 GB228—1987 中规定: 当试样卸除载荷后, 其标距部分的残余伸长达到规定的原始标距百分比时的应力, 即作为条件屈服强度 σ_r , 并附脚标说明规定残余伸长率。例如 $\sigma_{r0.2}$ 表示规定残余伸长率为 0.2% 时的应力。

(4) 抗拉强度 σ_b 指试样在拉伸过程中所能承受的最大应力值, 单位 MPa

$$\sigma_b = F_b / A_0$$

式中, F_b 是试样断裂前所承受的最大载荷 (N); A_0 是试样的原始横截面积 (mm^2)。

抗拉强度 σ_b 是设计和选材的主要依据之一, 是工程技术上的主要强度指标。一般来说, 在静载荷作用下, 只要工作应力不超过材料的抗拉强度, 零件就不会发生断裂。

在工程上, 屈强比 σ_s / σ_b 是一个有意义的指标。其比值越大, 越能发挥材料的潜力。但是为了使用安全, 该比值亦不宜过大, 适当的比值一般在 0.65~0.75 之间。另外, 比强度 σ_b / ρ 也常被提及, 它表征了材料强度与密度之间的关系。在考虑汽车轻量化的问题时, 常常用到这个指标。

与金属材料比较, 高分子材料的强度很低, 强度平均为 100MPa, 比金属低得多, 但由于其重量轻、密度小, 一般为 $1.0 \sim 2.0 \text{g/cm}^3$, 因此许多高聚物的比强度还是很高的。某些工程塑料的比强度比钢铁还高。

3. 材料的塑性指标

工程上广泛应用的表征材料塑性好坏的力学性能指标主要有伸长率 δ 和断面收缩率 ψ 。

(1) 伸长率 δ 指试样拉断后, 标距伸长量与原始标距的百分比。即

$$\delta = \frac{l_1 - l_0}{l_0} \times 100\%$$

式中, l_1 是试样断裂后的标距; l_0 是试样的原始标距。

必须指出, 同一材料的伸长率与试样尺寸有关。短试样 ($l_0/d_0=5$) 的伸长率要比长试样 ($l_0/d_0=10$) 的大 20% 左右。国家标准规定用长、短两种试样得到的伸长率分别以 δ_{10} 和 δ_5 表示。因此, 在比较伸长率时应注意规格要统一。

(2) 断面收缩率 ψ 指试样拉断后横截面积的缩减量与原始横截面积之比。即

$$\psi = \frac{A_0 - A_1}{A_0} \times 100\%$$

式中, A_1 是试样断裂处的最小横断面积 (mm^2); A_0 是试样的原始横截面积 (mm^2)。

由上述公式可知, δ 、 ψ 值越大, 材料的塑性越好。材料具有一定的塑性, 可以提高零件

使用的可靠性。零件在使用过程中偶然过载时，若发生一定的塑性变形，就不至于突然断裂，造成事故。同时，对于金属材料来讲，具有一定的塑性才能顺利地进行各种变形加工。例如汽车车身外用钢板件，只有采用具有优良塑性的冷轧钢板，才能确保加工出各种复杂的形状。

对于高分子材料，其弹性和金属材料的弹性在数量上的巨大差别，在本质上也是不同的。高分子材料的弹性变形最大，可达到 $100\% \sim 1000\%$ ，而一般金属材料只有 $0.1\% \sim 1.0\%$ 。高弹性取决于高分子材料的分子结构，这在以后章节将进一步说明。

二、硬度

材料抵抗其他硬物压入其表面的能力称为硬度。硬度是衡量材料软硬程度的力学性能指标。由于硬度试验的设备简单，操作方便、迅速，不必破坏工件，而且硬度值与材料的抗拉强度之间存在一定的对应关系，并与材料的冷热成形性、切削加工性、焊接性等工艺性能之间也有一定联系。所以，硬度试验已成为产品质量检查、制订合理工艺的重要试验方法之一。在产品设计的条件中，硬度也是一项主要的技术指标。

生产中，测定硬度的方法最常用的是压入硬度法，是用一定载荷，将一定几何形状的压头压入被测试的金属表面，根据压头压入程度来测量硬度值。同样的压头在相同载荷作用下压入金属材料表面时，压入程度愈大，材料的硬度值愈低；反之，硬度值就愈高。

最常用的硬度有布氏硬度和洛氏硬度。此外，还有维氏硬度、肖氏硬度（弹性回跳法）、显微硬度和锤击式布氏硬度等。

1. 布氏硬度

布氏硬度试验是用一定大小的载荷 F 把直径为 D 的淬火钢球或硬质合金球压入被测试样表面，如图 1-6 所示。保持规定时间后卸除载荷，移去压头，用读数显微镜测出压痕平均直径 d 。用载荷 F 除以压痕的面积所得的商，即为被测材料的布氏硬度值。布氏硬度的单位为 MPa，但习惯上只写明硬度值而不标出单位。

用淬火钢球作为压头所测得的布氏硬度值用符号 HBS 表示，适用于测量退火、正火、调质钢件、铸铁及有色金属等硬度值低于 450 的材料；用硬质合金球作为压头所测得的布氏硬度用符号 HBW 表示，适用于测量硬度值不超过 650 的材料。布氏硬度试验因压痕面积较大，能反映出一定范围内被测金属的平均硬度，所以试验结果较精确。但因压痕偏大，一般不宜测试成品或薄片金属的硬度。

布氏硬度的表示方法规定为：符号 HBS 和 HBW 前面的数值为硬度值，符号后面按以下顺序表示试验条件：压头球体直径（单位 mm）、试验载荷（单位 kgf， $1\text{kgf} \approx 9.807\text{N}$ ）、试验载荷保持时间（单位 s）（ $10 \sim 15\text{s}$ 不标注）。例如：500HBW5/750 表示用直径 5mm 的硬质合金球在 750kgf（7355N）的载荷下保持 $10 \sim 15\text{s}$ ，测得的布氏硬度值为 500；120HBS10/1000/30 则表示用直径 10mm 的淬火钢球压头，在 1000kgf（9807N）载荷下保持 30s 测得的布氏硬度值为 120。

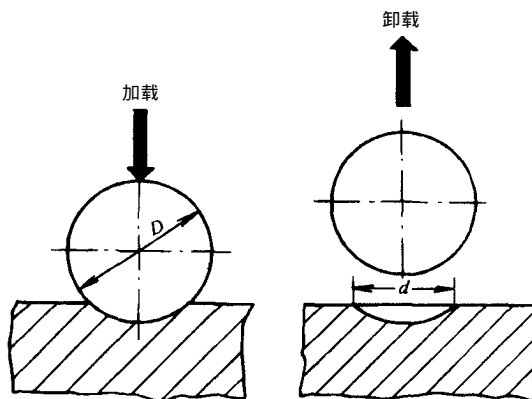


图 1-6 布氏硬度实验原理

在实际测试时，布氏硬度值一般不用计算，而是在测出 d 值之后，根据 d 值查表得到硬度值。

2. 洛氏硬度

洛氏硬度是目前应用最广泛的硬度力学性能试验方法之一，它是采用直接测量压痕深度来确定硬度值的。洛氏硬度 HRC 可以测量的范围宽，操作简便迅速，压痕很小，几乎不损伤工件表面，故工件热处理质量检查中应用最多。

洛氏硬度试验原理如图 1-7 所示。它是用顶角为 120° 的金刚石圆锥体或直径为 1.588mm 的淬火钢球作为压头，先施加初载荷 F_1 (99N)，再施加主加载荷 F_2 。总载荷 $F = F_1 + F_2$ 。总载荷分为 588N，980N 和 1471N 三种。

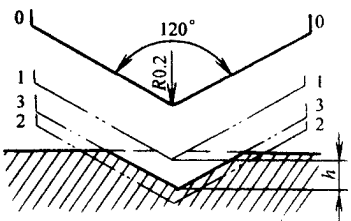


图 1-7 洛氏硬度试验原理

图 1-7 中 0-0 为压头没有与试样接触时的位置；1-1 为压头受到初载荷 F_1 后压入试样的位置；2-2 为压头受到总载荷 F 后压入试样的位置；经保持规定时间后卸去主载荷仍保留初载荷 F_1 的位置，试样的弹性变形的恢复使压头上升到 3-3 位置，此时压头受主载荷作用压入试件的深度为 h (单位 mm)。 h 值的大小即表明了试件的软硬。

材料越硬，其 h 值就越小。为了适应人们习惯上的数值越大硬度越高的观念，人为地规定了一个常数 k 减去压痕深度 h 的值作为洛氏硬度指标，并规定每 0.002mm 为一个洛氏硬度单位，用符号·HR 表示，则洛氏硬度值

$$HR = (k - h) / 0.002$$

式中， k 为常数。用金刚石作压头时 $k = 0.2\text{mm}$ ；用钢球作压头时 $k = 0.26\text{mm}$ 。

为了能用一种硬度计测定从低到高的硬度，洛氏硬度试验采用了不同的压头和总负荷组成几种不同的标尺。我国常用的是 HRA、HRB、HRC 三种，试验条件及应用范围见表 1-2。由于压痕较小，洛氏硬度值的代表性就差一些。如果材料组织粗大且不均匀，则所测硬度值就不够准确，重复性比较低。所以需要在三点以上不同部位测量后，取其算术平均值。洛氏硬度试验方法应在平面上进行，若在曲率大的工件上测定硬度时，应在测得的硬度值上再加上一定的修正值，修正值的大小可由 GB/T 230—1991 中查得。

表 1-2 常用的三种洛氏硬度的试验条件及应用范围 (GB/T 230—1991)

硬度符号	压头类型	总试验力/N	硬度值的有效范围	应用范围
HRA	金刚石圆锥体	588.4	70~85	硬质合金、碳化物、表面淬火钢等
HRB	φ1.588 钢球	980.7	20~100	有色金属、正火钢、退火钢等
HRC	金刚石圆锥体	1471	20~69	一般淬火钢、调质钢等

洛氏硬度值的表示方法规定为：硬度符号前面注明硬度值，例如 52HRC、70HRA。

在上述两种硬度试验方法中，布氏硬度试验载荷与压头直径受制约关系 (F/D^2 为某一定值) 的约束，并有钢球压头的变形问题；洛氏硬度各标尺的硬度值之间没有简单的对应关系，使用上也有不便之处；而维氏硬度 (HV) 则克服了上述缺点，用同一硬度标尺，测定由极软到极硬的金属材料的硬度值，特别是表面强化处理的工件和很薄的零件，但由于维氏硬度测定较麻烦，工作效率不及洛氏硬度，在此不再叙述。

由于各种硬度试验条件不同，因此各硬度试验之间不能直接进行比较。但根据试验结果，