

概 述

地铁站台门是一项集建筑、机械、材料、电子和信息等学科技术于一体的高科技产品，设置在站台边缘，将乘客候车区与列车运行区相互隔离，并设有与列车门相对应、可多级控制开启与关闭滑动门的连续屏障，分为低站台门和高站台门。封闭式站台门将站台区域与隧道轨行区完全隔离，屏蔽了列车运行时的噪音，消除了列车活塞风对站台的影响，改善了地铁车站的空气质量，保证了乘客候车的舒适度。

机械原理是研究机械中机构的结构和运动，以及机器的结构、受力、质量和运动的学科。一般把机构和机器合称为机械，机构是由两个以上的构件通过活动连接以实现规定运动的组合体，机器是由一个或一个以上的机构组成，用来作有用的功或完成机械能与其他形式的能量之间的转换。

材料的力学性能取决于材料的内部条件和外部环境，材料不同，环境不同，材料的力学性能也就不同。低碳钢和灰口铸铁力学性能具有典型的代表性。紧固件通常包括 12 类零件，紧固件的标记可根据简化原则进行简化；螺纹规格分公制和英制；螺纹标记的标注格式为螺纹代号-螺纹公差带代号（中径、顶径）-旋合长度。不锈钢具有美观的表面形态和耐腐蚀性能，可以按化学成分及金相组织来大体分类。铝合金是有色金属结构材料，生产包括熔铸、挤压和氧化三个过程。玻璃包括平板玻璃、钢化玻璃及夹层玻璃。

永磁无刷直流电动机主要由电动机本体、转子位置传感器和功率电子开关（逆变器）三部分组成，分为有位置传感器控制和无位置传感器控制。保留了直流电动机良好的运行性能，又具有交流电动机结构简单、维护方便和运行可靠等特点。

站台门系统由机械和电气两部分构成，机械部分包括门体结构和门机系统，电气部分主要包括电源设备和监控系统等。门体结构主要由承重结构、门槛、顶箱（高站台门）、滑动门、固定门、固定侧盒（低站台门）、应急门和端门等部件组成。承重结构主要由下部支撑部件、上部连接部件、高度调节装置、绝缘垫、顶箱、立柱等组成。门机是滑动门的驱动机构，主要由电机、传动装置、导轨与滑块总成、锁紧及解锁装置、行程开关和位置检测装置等组成。电机一般采用直流无刷电机，传动装置一般采用皮带或丝杆传动；高站台门采用一控一驱的门驱动方式，低站台门采用一控双驱的门驱动方式。监控系统主要由中央接口盘（PSC）、站台就地控制盘（PSL）、门控单元（DCU）、现场总线、接口设备及软件等组成。站台门控制系统具有系统级控制（信号系统控制、IBP 紧急控制），站台级控制（PSL 控制、单扇门就地控制），手动级控制（手动解锁操作）共三级五种控制方式，其中以手动级控制优先级最高，系

统级最低。站台门电源采用一级负荷供电，由驱动电源、控制电源、蓄电池等组成；驱动电源负责向门机系统提供电源，控制电源则向控制系统提供电源，蓄电池作为后备应急电源，需要满足半小时开关门三次的最低容量要求。同时为了确保乘客安全，站台门还设置了防踏空胶条、防夹挡板、安全斜块、瞭望灯带、红外光栅等安全防护装置。

新线筹备作为运营最早介入环节，是过程管理中的重要组成部分，新线筹备的好坏影响站台门是否达到相关规范要求，满足安全、可靠、可维护性、可扩展性的原则。新线筹备关键技术点主要以门体结构、门机系统、电源及接地、监控系统、安全防护装置等作为出发点逐一进行细化。新线筹备流程主要阶段包括 3 次设计联络、样机审查及功能性试验、安装质量控制、单体调试、系统调试、接口调试、综合联调、验收等重要环节，验前检查作为验收的前提条件，主要将各子系统分为主控项目、一般项目和运营需求进行检验和排查，以达到运行条件。

站台门设备检修是设备运营管理的重要环节，检修人员需遵循地铁公司的相关制度、规范并按要求持证上岗。检修作业应遵守作业场所安全条件，熟知高处安全操作要求，了解检修作业措施；站台门设备检修主要包括日常巡检、月度检修、季度检修、半年度检修和年度检修。

站台门作为高频使用的行车设备，难免发生设备故障，故障主要分为门机结构故障、控制系统故障以及供电系统故障；门机结构故障主要包括门体玻璃破裂/破碎、传动装置故障；控制系统故障主要包括与信号系统联动故障、安全回路中断故障、控制命令线故障处理、PSL 无法开门故障等；供电系统故障主要包括电池故障、打火故障等。在发生故障时，运维人员需对设备进行应急处理，保证乘客及工作人员人身安全，包括整侧门不联动、单道门故障、夹人夹物、玻璃破裂、打火故障等 11 种应急处理措施，基本涵盖了站台门在运行中所有可能出现的故障，为乘客提供安全、便捷的服务。

本教材能较好地体现当前成都地铁站台门检修工岗位的岗位要求和工作内容，实现培训教育与岗位技能的有效对接，帮助读者加深对站台门检修工岗位的了解。对于提高从业人员基本素质，掌握地铁站台门检修工岗位的核心知识与技能有直接的帮助和指导作用。

第一部分 基础知识

第一章 站台门概论

【本章学习重点】

本章主要介绍站台门的基本知识，了解站台门的历史、作用、类型。

第一节 站台门定义

站台门设置在站台边缘，将乘客候车区与列车运行区相互隔离，并与列车门相对应、可多级控制开启与关闭滑动门的连续屏障，分为低站台门（见图 1-1）和高站台门（见图 1-2）。低站台门通常被人们叫做“安全门”，比如成都地铁 2 号线的犀浦站使用的就是低站台门；而高站台门通常被人们叫做“屏蔽门”，也是最常用的一种，成都地铁的地下站均设置为高站台门。



图 1-1 低站台门示意图



图 1-2 高站台门示意图

第二节 行业发展

早在 1960 年代，列宁格勒（现俄罗斯圣彼得堡）的地铁系统早已采用类似现时站台门的钢门。

1983 年，法国自动捷运系统 VAL 的里尔地铁（Lille Metro）的生产商马特拉公司（Matra）为列车月台向瑞士的玻璃门生产商 Kaba Gilgen AG 特别订做了自动滑门。里尔地铁是世界上最早安装玻璃站台门的地铁。

1987 年启用的重型铁路系统新加坡地铁同样采用了玻璃站台门。其后，欧洲及亚洲多个地区的铁路系统相继采用站台门，成为现时铁路系统的安全标准之一。

国内第一条安装地铁站台门的是广州地铁二号线，随后上海、深圳、天津、北京等城市的地铁也增设了地铁站台门。

第三节 站台门作用

站台门设于站台板的边缘，把区间隧道、站台及乘客分隔开，防止人员或物体落入轨道产生意外事故，提高了乘客候车的安全性。

站台门的具体设计与实现技术以提高安全性与乘客体验为基础。门体运动动能的设计及防挤压模式能够保证乘客不被夹伤；采用直流无刷电机驱动，实现无级调速，传动方式采用齿形带或丝杆形式，使门体运动更加平稳；采用钢化玻璃和发纹不锈钢包边框架（或铝合金框架），门扇刚度好，通透性强；防滑门槛可以防止乘客跌倒。

封闭式站台门将站台区域与隧道轨行区完全隔离，屏蔽了列车运行时的噪音，消除了列车活塞风对站台的影响，改善了地铁车站的空气质量，保证了乘客候车的舒适度。同时，隔离设计减少了站台区与轨行区之间冷热气流的交换，列车运行时产生的热量不直接进入车站区域，则可大幅度减小车站供冷系统的负荷，降低通风与空调系统的能耗，降低运营成本。据估算，封闭式站台门使空调设备的冷负荷减少了 35% 以上，环控机房的建筑面积减少了 50%，空调电耗降低了 30%，有明显的节能效果。

第四节 站台门类型

站台门选择高站台门还是低站台门，主要受车站通风系统的制式、车站结构形式、车站装修效果以及其他各类型的特点等制约，站台门的选型应综合考虑上述各因素。

（一）高站台门

（1）高站台门高度约 3.2 m，可把站台区与轨道区完全隔离开，防止站台区与轨道区的热

量对流。

(2) 在站台布置上,高站台门的上部结构及下部结构与车站站台土建结构均设计有接口,增加高站台门与土建结构的接口面及绝缘安装处理的施工难度较大。

(3) 高站台门的设置,有效地降低了列车活塞风及噪音对站台乘客的影响,大大提高了地铁的服务水平,为吸引客流提供了良好的条件。

(4) 高站台门系统的门体部分、安装部分、电源部分属国产化设备,其工程量较大且份额高,而控制系统所占份额较少,若采用高站台门方案,则有利于站台门系统国产化率的提高,但会增加工程造价。

(二) 低站台门

(1) 低站台门与站台土建接口的设计较高站台门更为简单。低站台门系统与车站站台顶部没有接口,不用设置站台顶梁及顶梁上的预埋件,减少了与土建的协调量,安装施工方便。

(2) 对于高架车站来说,安装低站台门可以增加车站的通透性,采光效果好,有利于乘客观光的视觉体验;对于地下车站,可增加车站公共区与轨行区的通风效果。

(3) 由于低站台门没有将站台与区间完全封闭,所以列车运营过程产生的活塞风及自然风能促进站台空间的空气流动,有利于站台空间的通风,但对于地下车站来说,列车活塞风及列车运行噪音对乘客候车舒适度有很大的影响。

(4) 低站台门对车站建筑效果影响小。低站台门只与车站站台板设置有接口,与车站站台上部天花或车站结构没有连接或联系,对于车站站台的空间感及视线均不会造成影响。

(5) 低站台门的传动装置与高站台门有很大区别,低站台门的每扇滑动门采用一套传动装置,即一道滑动门须采用两套传动装置。而高站台门的传动装置安装在顶箱内,一套传动装置驱动一道(两扇)滑动门。虽然,低站台门门体造价比高站台门的要低,但是其传动装置、控制设备的造价相对要高。

第二章 机械基础知识

【本章学习重点】

本章主要介绍有关机械原理的基本理论知识，包括机械结构与材料力学等相关内容，通过对机械结构及原理、机械连锁传动知识、机械故障诊断、机械优化设计以及材料力学性能等内容的学习，使同学们深入了解生活与工作中常见机械的一些共性问题并对常见机构有较为深入的探讨，同时要求同学们在物理、理论力学等理论课程的学习基础上，更多的结合工程实际。在学习过程中，着重注意搞清基本概念，理解基本原理，掌握机构分析和综合的基本方法，最终具备运用所学的基本理论及设计方法去发现、分析和解决工程实际问题的能力。本章主要内容有机械结构、机械传动、机械故障诊断、机械制造工艺、机械材料性能等。

第一节 机械结构

第一目 机械结构及原理

一、机械

机械是机器和机构的总称。我们对机构并不陌生，在理论力学等课程中便对一些机构（如连杆机构、齿轮机构等）的运动学及动力学问题进行过研究。而在工程实际中，常用的机构还有带传动机构、链传动机构、凸轮传动机构、螺旋机构等。各种机构都是用来传递与变换运动和力的可动的装置。至于机器，则都是根据某种使用要求而设计的用来变换或传递能量、物料和信息的执行机械运动的装置，如电动机或发电机用来变换能量、加工机械用来变换物料的状态、起重运输机用来传递物料、计算机用来变换信息等。

二、机械的结构分析

（一）构件

机器中每一个独立的运动单元体称为一个构件，其是组成机构的最基本要素之一。从运动学的观点来看，可以说任何机构都是由若干个（两个以上）构件组合而成的。

（二）运动副

当由构件组成机构时，需要以一定的方式把各个构件彼此连接起来，而连接的两构件之间仍需产生某些相对运动。这种由两个构件直接接触而组成的可动的连续称为运动副，而两构件上能够参加接触而构成运动副的表面称为运动副元素。

（三）运动链

构件通过运动副的连接而构成的可相对运动的系统称为运动链。

（四）机构

在运动链中，如果将其中某一构件加以固定而成为机架，则该运动链便成为机构。

三、机械原理

机械原理是研究机械中机构的结构和运动，以及机器的结构、受力、质量和运动的学科。这一学科的主要组成部分为机构学和机械动力学。人们一般把机构和机器合称为机械。机构是由两个以上的构件通过活动连接以实现规定运动的组合体。机器是由一个或一个以上的机构组成，用来作有用的功或完成机械能与其他形式的能量之间的转换。

不同的机器往往由有限的几种常用机构组成，如内燃机、压缩机和冲床等的主体机构都是曲柄滑块机构。这些机构的运动不同于一般力学上的运动，它只与其几何约束有关，而与其受力、构件质量和时间无关。1875年，德国的F·勒洛把上述共性问题从一般力学中独立出来，编著了《理论运动学》一书，创立了机构学的基础，书中提出的许多概念、观点和研究方法至今仍在沿用。1841年，英国的R·威利斯发表《机构学原理》。19世纪中叶以来，机械动力学也逐步形成。进入20世纪，出现了把机构学和机械动力学合在一起研究的机械原理。1934年，中国的刘仙洲所著《机械原理》一书出版。1969年，在波兰成立了国际机构和机器原理协会，简称IFTOMM。

机构学的研究对象是机器中的各种常用机构，如连杆机构、凸轮机构、齿轮机构、螺旋机构和间歇运动机构（如棘轮机构、槽轮机构等）以及组合机构等。它的研究内容是机构结构的组成原理和运动确定性，以及机构的运动分析和综合。机构学在研究机构的运动时仅从几何的观点出发，而不考虑力对运动的影响。

机械动力学的研究对象是机器或机器的组合。研究内容是确定机器在已知力作用下的真实运动规律及其调节、摩擦力和机械效率、惯性力的平衡等问题。

按机械原理的传统研究方式，一般不考虑构件接触面间的间隙、构件的弹性或温差变形以及制造和装配等所引起的误差。这对低速运转的机械一般是可行的。但随着机械向高速、高精度方向发展，还必须研究由上述因素引起的运动变化。因而从 20 世纪 40 年代开始，又提出了机构精确度问题。由于航天技术以及机械手和工业机器人的飞速发展，机构精确度问题已越来越引起人们的重视，并已成为机械原理中不可缺少的一个组成部分。

第二目 机械传动

一、机械传动形式

机械传动有多种形式，主要可分为两类：① 靠机件间的摩擦力传递动力和运动的摩擦传动，包括带传动、绳传动和摩擦轮传动等。摩擦传动容易实现无级变速，大都能适应轴间距较大的传动场合，过载打滑还能起到缓冲和保护传动装置的作用，但这种传动一般不能用于大功率的场合，也不能保证准确的传动比。② 靠主动件与从动件啮合或借助中间件啮合传递动力或运动的啮合传动，包括齿轮传动、链传动、螺旋传动和谐波传动等。啮合传动能够用于大功率的场合，传动比准确，但一般要求较高的制造精度和安装精度。

本目选择三种较为典型的机械传动类型进行介绍。

二、各类型机械传动特点

（一）带传动的特点

常用的带传动有三种形式，即平带传动、V 带传动、同步带传动，站台门的带传动基本都使用的是同步皮带，以下是同步带传动的优缺点。

优点：

1. 工作时无滑动，有准确的传动比

同步带传动是一种啮合传动，虽然同步带是弹性体，但由于其中承受负载的承载绳具有在拉力作用下不伸长的特性，故能保持带节距不变，使带与轮齿槽能正确啮合，实现无滑差的同步传动，获得精确的传动比。

2. 传动效率高，节能效果好

由于同步带做无滑动的同步传动，故有较高的传动效率，一般可达 0.98。它与三角带传动相比，有明显的节能效果。

3. 传动比范围大，结构紧凑

同步带传动的传动比一般可达到 10 左右，而且在大传动比情况下，其结构比三角带传动紧凑。因为同步带传动是啮合传动，其带轮直径比依靠摩擦力来传递动力的三角带带轮要小得多，此外由于同步带不需要大的张紧力，使带轮轴和轴承的尺寸都可减少。所以与三角带传动相比，在同样的传动比下，同步带传动具有较紧凑的结构。

4. 维护保养方便，运转费用低

由于同步带中承载绳采用伸长率很小的玻璃纤维、钢丝等材料制成，故在运转过程中带伸长很小，不需要像三角带、链等经常调整张紧力。此外，同步带在运转中也不需要任何润滑，所以维护保养很方便，运转费用比三角带、链、齿轮要低得多。

5. 恶劣环境条件下能正常工作

在具有灰尘杂质、水及腐蚀介质的恶劣工作条件下，链条易生锈、磨损，三角带会产生打滑，而同步带传动却能适应这些条件。由于它是啮合传动，在有雨水情况下不会打滑，而且水是橡胶良好的润滑剂，反而可减少带的磨损。在有灰尘杂质时，由于同步带带齿进入带轮轮槽时，带齿将挤压原来留在轮槽内的空气，使受压的空气向轮槽两侧排出，这种空气挤压将同时起到清理啮合表面、带走灰尘杂质的作用，从而减少了同步带的磨损。此外同步带有较高的耐腐蚀性、耐热性，在高温、有腐蚀气体情况下仍能正常工作。

缺点：

(1) 同步带能够传递的力矩较小，只适用于力矩要求较小的场合使用。

(2) 传动带在接触到油等化学品时或工作在高温环境时，橡胶材质易发生老化，传动带会出现开裂、变形或被拉长，甚至出现断裂的现象。所以不适用于环境恶劣、工作稳定性要求高的场所。

(二) 螺旋传动特点

螺旋传动是利用螺杆和螺母组成的螺旋副来实现传动要求的，主要用于将回转运动变为直线运动，同时传递运动和动力。

优点：

螺旋传动具有精度高，寿命长，工作平稳，可靠性高等优点。

缺点：

(1) 丝杆在长距离重负载下易导致弯曲。

(2) 丝杆制造、安装精度要求较高，因而成本也较高，同时不宜做远距离传动。

(3) 丝杆的缓冲性能很低且有磨损，会因摩擦影响定位精度和刚性，摩擦力矩也会引起换向时的跳动突变，若出现碰撞会在滚道上留下压痕，缩短丝杆的使用寿命。

(三) 蜗杆传动

蜗杆传动是在空间交错的两轴间传递运动和动力的一种传动，两轴线间的夹角可为任意

值，常用的为 90° 。

蜗杆上只有一条螺旋线的称为单头蜗杆，即蜗杆转一周，涡轮转过一齿，若蜗杆上有两条螺旋线，就称为双头蜗杆，即蜗杆转一周，涡轮转过两个齿。

优点：

(1) 因为结构比交错轴斜齿轮机构紧凑，所以可实现空间交错轴间的很大传动比。

(2) 蜗杆传动接触方式不同于其他类型减速机，为线接触，噪音小，传动平稳。

(3) 当蜗杆导程角 g 很小时，传动具有自锁性，即只能由蜗杆带动蜗轮，而蜗轮不能带动蜗杆，故它常用于起重或其他需要自锁的场合。

缺点：

(1) 蜗杆传动的一般效率 $\eta=0.7\sim 0.8$ ，机械效率较低，具有自锁性的蜗杆传动的效率 $\eta\leq 0.5$ 。

(2) 蜗杆传动齿面的螺旋线方向滑动速度很大，因此容易引起磨损和发热，常用贵重的耐磨材料（如青铜合金）作蜗轮，而且还要有良好的润滑和散热条件。

(3) 蜗杆的导程角小，故其螺旋角大，因此所受轴向力大，故其轴承结构也较复杂。

第三目 机械故障诊断

一、机械故障诊断基础知识

(一) 机械故障的定义

机械故障包含以下两层含义：

(1) 故障：机械系统偏离正常功能。它的形成原因主要是机械系统的工作条件（含零部件）不正常，通过参数调节或零部件修复又可以使其恢复正常功能。

(2) 失效：是指系统连续偏离正常功能，且其程度不断加剧，使机械设备基本功能不能保证。一般零件失效可以更换，关键零件失效，往往导致整机功能丧失。

(二) 机械故障诊断技术的定义

机械故障诊断技术是一种利用各种检测方法，测取并分析、处理机械设备在运行中的状态信息，确定其整机或局部功能是否正常，尽可能早的发现故障及确定其产生原因，并能预报故障发展趋势的技术。

通俗地说，设备故障诊断技术是一种给机器“看病”的技术，包含“监测”和“诊断”两层意思。因此，设备故障诊断技术，又称机械设备状态检测和故障诊断技术，通常简称为

设备诊断技术。根据机器设备出现故障后能不能修复的区别，可以把设备划分为可修复的和不可修复的两大类。而在机械设备中，大多数产品是属于可修复的产品，因而，机械设备故障诊断技术的故障对象多指“故障”，而非“失效”。

机械设备故障诊断的目的是“保证可靠地、高效地发挥设备应有的功能”，这包含了以下三点含义：

(1) 保证设备无故障，工作可靠。

(2) 保证物尽其用，设备能发挥其最大的效益。

(3) 保证设备在将有故障或已有故障时，能及时诊断出来，并正确地加以维修（即视情维修或预知维修），以减少维修时间、提高维修质量，节约维修费用，促进目前计划维修体制的改革。

第二节 材 料

第一目 材料力学性能

我们想确定杆件在外力作用下是否会受到破坏？除计算工作应力外，还需知道所用材料的强度，才能作出判断，而在计算杆件的变形程度时，更需要知道材料的比例极限和弹性模量。这些都是材料受力时在强度和变形方面所表现出来的性能，均属于材料的力学性能。

材料的力学性能取决于材料的内部条件和外部环境。内部条件指的是材料组成的化学成分、组织结构（例如晶体或非晶体）等。外部环境则包括材料的受力状态（单向受力、双向受力、三向受力）、环境温度、周围介质和加载方式（静荷载、动荷载、交变荷载、冲击荷载）等。材料不同，环境不同，材料的力学性能也就不同。一般来讲，材料的力学性能必须用实验的方法测定。

在室温（20℃左右）、静载状态下，通过轴向拉伸和轴向压缩实验得到的材料的力学性能，是材料最基本的力学性能。低碳钢和灰口铸铁是两种广泛使用的金属材料，他们的力学性能具有典型的代表性。本节主要介绍这两种材料在室温、静载环境下，轴向拉伸和压缩时的力学性能。

一、材料在拉伸时的力学性能

为了使不同材料的实验结果能够进行比较，拉伸试样必须按国家标准《金属拉伸实验试样》（GB 6397—86）制成标准试样。

试样的几何形状和受力条件都符合轴向拉伸的要求。两端加粗是为了便于装夹和避免在装夹部位发生破坏。在试样的等直部分划上两条相距为 l 的横线，横线之间的部分作为测量变形的工作段， l 称为标距，如图 2-1 所示。通常规定：对截面试样， $l=10d$ 或 $l=5d$ ， d 为工作段的横截面直径；对矩形截面试样， $l=11.3\sqrt{A}$ 或 $l=5.65\sqrt{A}$ ， A 为工作段的横截面积。

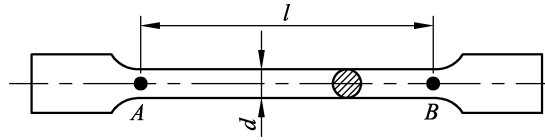


图 2-1 拉伸试样

低碳钢是含碳量不大于 0.25% 的碳素钢。将低碳钢试样装在试验机上，缓慢加载，由测力装置读出试样承受的拉力 F ，测量变形的装置记录标距 l 的拉伸量 Δl ，以纵坐标表示拉力 F ，横坐标表示拉伸量 Δl ，根据测试的数据，绘出低碳钢拉伸试样的 $F=\Delta l$ 关系曲线，通常称为试样的拉伸图，如图 2-2 所示。

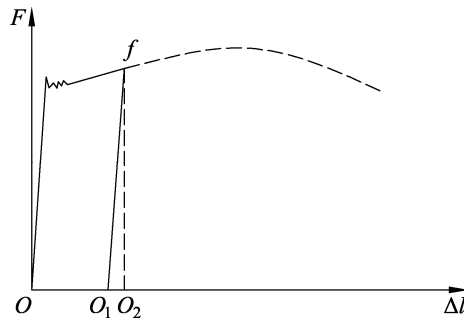


图 2-2 低碳钢拉伸试样的 $F=\Delta l$ 关系曲线

拉伸图中的拉力 F 与伸长量 Δl 都与试样的尺寸有关，若将试样的标距 l 加大，则由同一拉力 F 引起的伸长量 Δl 也增大；反之，缩小试样的直径 d ，则在同一伸长量 Δl 下，所需的拉力 F 下降。为消除试样尺寸的影响，反映材料本身的力学性能，将拉力 F 除以试样的原始横截面积 A ，得到工作段横截面的正应力 σ ；将伸长量 Δl 除以原始标距 l ，得到工作段的纵向线应变 ε 。根据 σ 和 ε 的数据，以 σ 为纵坐标，以 ε 为横坐标，绘出 $\sigma-\varepsilon$ 关系曲线，称为材料的应力-应变曲线，它反映了材料的力学性能。低碳钢材料拉伸时的应力-应变曲线（见图 2-3）与低碳钢试样的拉伸图相似。

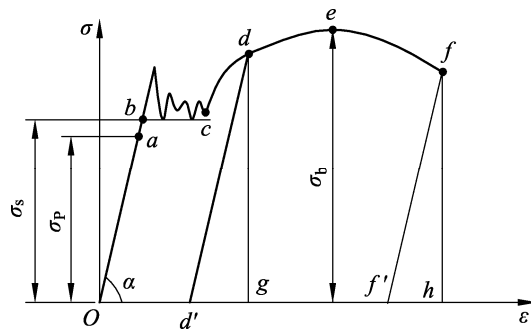


图 2-3 低碳钢材料拉伸时的应力-应变曲线

图 2-4 给出了 45 号钢、35CrMnSi 钢、合金铝等几种其他材料的应力-应变曲线。

可以看出：45 号钢与 Q235 钢的应力-应变曲线完全相似，具有完整的四个变形阶段；合金铝和黄铜都没有明显的屈服阶段，但其他三个阶段都存在；35CrMnSi 钢材料只有弹性阶段和强化阶段，没有屈服阶段和颈缩阶段。

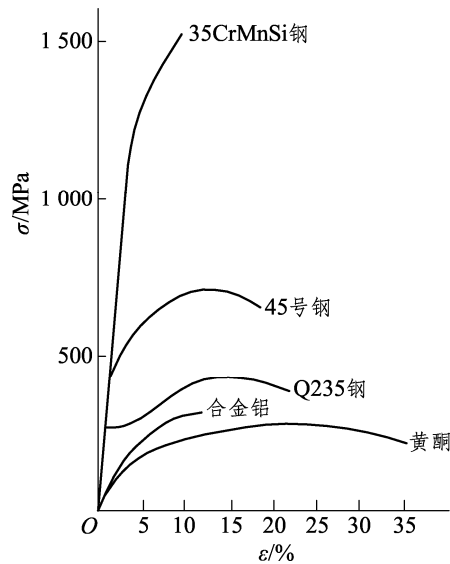


图 2-4 几种其他材料的应力-应变曲线

二、材料在压缩时的力学性能

金属材料的压缩试样，通常采用圆柱体，高度为直径的 1~3.5 倍，即 $h = (1 \sim 3.5)d$ (见《金属压缩试验方法》GB 7314—87)。实验时将试样放在试验机的两个压座之间，施加轴向压

力，如图 2-5 所示。根据记录的压力 F 和缩短量 Δl 的数据绘出的 $F=\Delta l$ 关系曲线，称为试样的压缩图。然后可改画为材料压缩时的应力-应变曲线。

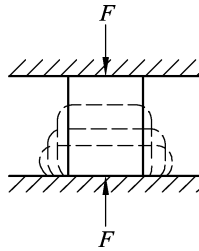


图 2-5 压缩试样

如图 2-6 所示，实线是低碳钢在压缩时的应力-应变曲线，虚线是低碳钢拉伸时的应力-应变曲线。可以看出，在弹性阶段与屈服阶段两条曲线基本重合，因此低碳钢压缩时的弹性模量 E 、屈服极限 σ 都与拉伸是基本相同的。在进入强化阶段后，试样逐渐被压成鼓形，横截面积越来越大，然而在计算应力时，仍用试样初始的横截面积，结果使压缩时的名义应力大于拉伸时的名义应力，压缩时的应力-应变曲线向上翘。由于试样压缩时不会发生断裂，因此，无法测定低碳钢压缩时的强度极限。故而，像低碳钢一类的塑性材料的力学性能通常由拉伸实验确定。

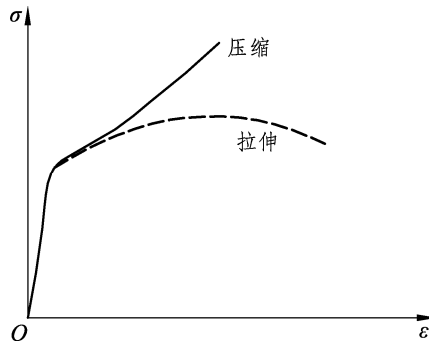


图 2-6 低碳钢的压缩/拉伸应力-应变曲线

脆性材料在拉伸和压缩时的力学性能显著不同，灰口铸铁在压缩时的应力-应变曲线，如图 2-7 所示。其应力-应变曲线的直线段也很短，因此是近似地符合胡克定律，但其压缩时的强度极限和塑性指标均比拉伸时大得多，因而灰口铸铁适合于作为受压构件。HT25-47 牌号的灰口铸铁压缩强度极限 $\sigma_{(b, e)}=981$ MPa，是其拉伸强度极限的 3.5 ~ 5 倍。

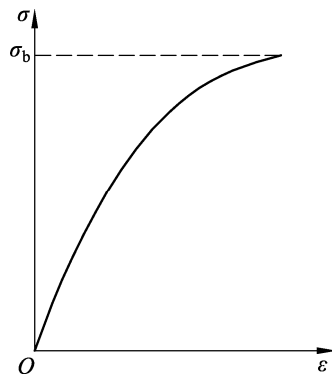


图 2-7 灰口铸铁在压缩时的应力-应变曲线