普通高中教科书

通用技术

必修

技术与设计 2

河南省基础教育教学研究室
河南科学技术出版社 组编

河南科学技术出版社
·郑州·

微信公众号：电子课本大全

总　主　编：傅水根
本册主编：李喜桥　杨金红
编写人员：范　悦　杨伟群　甘　霖
责任编辑：邓　珺
美术编辑：张　伟
责任校对：吴贯一

普通高中教科书·通用技术（必修）

技术与设计 2

高中一年级下册

河南省基础教育教学研究室
河南科学技术出版社　组编

★

河南科学技术出版社出版发行
（郑州市郑东新区祥盛街 27 号）
邮政编码：450016　电话：（0371）65737028
辽宁虎驰科技传媒有限公司印刷
全国新华书店经销

★

开本：890mm×1 240mm　1/16　印张：8　字数：200 千字
2019 年 8 月第 1 版　2019 年 8 月第 1 次印刷
ISBN 978-7-5349-9615-3
定价：14.74 元（含光盘）

著作权所有，请勿擅用本书制作各类出版物，违者必究
如发现印、装质量问题，影响阅读，请与出版社联系调换
电话：（0371）65788609　65721407

微信公众号：电子课本大全

前言

尊敬的老师们，亲爱的同学们：

你们好！

新版的“通用技术”系列教材与大家见面了。这套新教材是在习近平新时代中国特色社会主义思想和社会主义核心价值观指导下，遵循教育部 2017 年新颁布的课程标准编写的。

高中阶段为什么要开设通用技术课程呢？

通用技术是与专业技术有所区别的技术，在当代技术体系中较为基础，在日常生活与生产中应用较为普遍。通用技术课程以立德树人、提高学生的技术学科核心素养为主旨，是一门来自生活与生产、面向全体学生、立足实践、注重创新、体现综合、科学技术与人文相统一的课程，着眼于培养德智体美劳全面发展的社会主义建设者和接班人。每本教材的编写，都有高中教师的积极参与。

纵观我国科技的发展，从群钻的发明、人工合成牛胰岛素，到治疗疟疾的青蒿素，再到为世界粮食安全做出重大贡献的超级水稻，以及为我国通信安全做出重大贡献的量子通信卫星，都说明我们中国人在科技领域开始走在世界的前列。要使我国由制造大国转变为制造强国，为中华民族的振兴和世界的繁荣做出更大的贡献，我们的基础教育和高等教育还需要深化改革，以培养出更多高素质、强能力和富于创造性的年轻一代。

当前，我国社会主义建设进入新时代。应用本套教材，我们将深刻理解技术，初识并感受设计的魅力，体验设计的创造乐趣；我们将认识设计中采用的 CAD/CAM 等软件和图样表达技术，在物化过程中采用的车工、铣工、钳工等常规制造工艺技术，先进的数控加工技术、激光雕刻技术、三维打印技术、机器人技术、无人机技术和智能家居技术等，会接触到互联网、大数据、云计算、物联网、人工智能和绿色生态技术。从难以忘怀的学习和历练中，同学们会受到创新意识、工程思维、工程素养和工匠精神的感染与熏陶，提高服务国家和人民的社会责任感，增强勇于探索的创新精神和解决复杂问题的能力。

通过情景导入、思维导图和设计任务引领，本教材充分展现“做中学”与“学中做”这一教育改革理念，并为此特意增添了“做中学”栏目。这里的“学”是在核心素养指导下，亲身经历将创意转化为设计的过程，培养学生在实践基础上的动手能力、实践能力或物化能力；而其中的“做”，就是“设计结合实践”。这种“做”

微信公众号：电子课本大全

不是盲目的，而是在完成具体项目的复杂过程中，以学生为中心，以教师为主导，体现出团队的合作与交流，旨在实现从思维创意到设计，再到产品物化的不间断的、系统的、完整的迭代与优化。在学生的亲身经历和体验中，既有丰富、活跃、探究式的深度学习与能力转化过程，也有进一步思考与挖掘技术背后隐含的设计思想、思维方法和价值观等问题。

学生亲身经历的、与“项目”或“任务”密切关联的实践活动，在人才培养中具有非常重要的多种转化功能，即将知识转化为能力，将潜力转化为实力，将自疑转化为自信，将历练转化为素质，将聪明转化为智慧。那么，如何实现这些转化呢？那就是在实践中观察，在观察中思考，在思考中领悟，在领悟中成长。

本教材将“技术意识、工程思维、创新设计、图样表达、物化能力”这一核心素养贯穿始终，力求在实践中做到：符合现代科技发展的实际情况；体现学科交叉与融合的时代特征；与丰富的生活紧密联系，结构合理，满足学生多样化发展的需要；立足融合科学、工程、数学、技术、人文和社会的视野，体现劳动教育，突出创新精神、创新思维、实践能力和工程素养的培养。

在科技发展日新月异的今天，具备良好的核心素养、知识视野、实践能力和创新思维，是未来攻坚克难，成为国家栋梁的必备基础。我们会发现，身边到处充满着技术与设计的应用，到处展现着创造与发明的魅力，到处都有新时代青年施展才华的舞台。

本分册属于必修教材，在介绍结构基本理论的同时，精选中国大剧院、山西应县木塔、港珠澳大桥等优秀建筑和典型结构，分析最常见的薄壳和桁架结构的受力；明确流程设计的对象和目标、环节和时序，用系统的思想进行规划设计；阐述系统的概念，分析系统各要素间的互相作用，明确整体大于部分之和的基本性质；描述控制的类型和方法，了解控制系统的反馈、干扰现象和抗干扰的方法。相信通过项目设计、具体实践和深入思考，同学们一定能掌握本教材的内容，为进一步学习通用技术的其他分册内容奠定基础。

尽管本套教材的编者们付出了极大努力，但囿于编者水平，仍会存在不足甚至错误之处，恳请广大师生在教与学的过程中，运用批判性思维方法，积极思考，发现问题，提出宝贵意见，以便在修订时加以改进与完善。

编　者

2019 年 3 月

微信公众号：电子课本大全

目　录

第一章　结构及其设计 …… 1
第一节　典型结构的认知 …… 2
一、什么是结构 …… 3
二、常见的结构类型 …… 4
第二节　结构的稳定性与强度 …… 8
一、结构与力 …… 8
二、结构与稳定性 …… 12
三、结构与强度 …… 17
第三节　简单结构的设计 …… 25
一、结构设计项目 1——桥梁模型的设计与制作 …… 25
二、结构设计项目 2——手机支架的设计与制作 …… 28
三、结构设计项目 3——创意玩具的设计与制作 …… 30
第四节　经典结构赏析 …… 35
一、结构欣赏 1——山西应县木塔 …… 35
二、结构欣赏 2——悉尼歌剧院 …… 37
三、结构欣赏 3——港珠澳大桥 …… 37
第二章　流程及其设计 …… 40
第一节　认识流程 …… 41
一、流程的含义与表达 …… 41
二、流程的特点与功能 …… 48
三、流程实例 …… 50
第二节　流程的设计 …… 51
一、流程设计中要考虑的主要问题 …… 52
二、流程设计的实例——远途配送公司的配送业务流程设计 …… 53
第三节　流程的优化 …… 56

微信公众号：电子课本大全

一、流程优化要考虑的问题 …… 57
二、流程优化的实施 …… 59
第三章　系统及其设计 …… 65
第一节　系统的概念 …… 66
一、什么是系统 …… 66
二、系统的基本特性 …… 68
三、系统的分类 …… 72
第二节　系统分析 …… 73
一、什么是系统分析 …… 73
二、系统分析的原则 …… 74
三、系统分析的步骤 …… 76
第三节　系统设计 …… 79
一、系统设计概述 …… 79
二、系统优化 …… 86
第四章　控制及其设计 …… 94
第一节　控制的基本概念 …… 95
一、控制的含义 …… 95
二、控制的分类 …… 96
三、典型控制案例 …… 98
第二节　控制系统的组成及工作过程 …… 100
一、什么是控制系统 …… 101
二、开环控制系统 …… 101
三、闭环控制系统 …… 104
四、控制系统的组成及各部分的作用 …… 106
第三节　干扰和反馈 …… 110
一、干扰 …… 111
二、反馈 …… 111
三、开环、闭环控制系统的特点 …… 112
四、控制系统案例 …… 112

微信公众号：电子课本大全

第四节　控制系统的设计 …… 114
一、控制系统的设计流程 …… 114
二、控制系统设计案例——自动升国旗装置的设计 …… 115
附录　部分中英文词汇对照表 …… 119

微信公众号：电子课本大全

微信公众号：电子课本大全

第一章
结构及其设计

导　言

如果你是一个小小旅行家，喜欢到各地去旅行，那么你不但可以欣赏伟大祖国的名山大川，还可以近距离地观察造型新颖、规模宏大的航站楼和高铁站等建筑。这些形态各异的建筑的结构之美会令你赞叹不已。当你来到工厂参观，功能各异的机器设备会让你感觉新奇不已。你可曾想到，这些建筑的建成、机器的生产首先要有精细的构思，也就是设计。设计是针对某一具体目的或为解决某一具体问题进行的，它以科学理论为依据，同时必须结合实践经验。正确恰当地选择结构方式是产品设计的关键。任何一个有形产品，无论其大小或复杂程度如何，首先要考虑的是产品的有效空间、表现形式及具体功能，而结构及其设计则是表现空间形态和实现其功能的核心内容。本章主要介绍结构的概念、影响结构稳定性与强度的因素、结构的设计与制作、结构评价与赏析等内容。希望通过本章的学习，同学们能够将结构稳定性和强度的基础知识迁移到日常生活和以后的工作中去，学会分析和解决实际问题，初步掌握简单结构设计的思路和基本方法。有条件的同学们可以进行技术试验，并注意将产品的结构设计与环境和人文科学结合起来，提高工程技术素养和创新意识。

思维导图



微信公众号：电子课本大全

第一节　典型结构的认知

学习目标

1. 了解结构的含义，能从力学角度理解结构的概念。
2. 能辨识几种简单的结构形式。

在我们日常生活或工作中经常会用到“结构”一词，如关系国计民生的经济结构，涉及人类本身奥秘的人体结构，以及研究物质组成的微观结构等。“结构”一词涉及的领域很广，在本教材中我们主要关注应用于工程技术领域的结构及其设计问题。大家认识图1.1中的这些建筑吗？查查看，它们都运用了什么结构。



图 1.1　我国著名建筑

再看一组我们生活中常见的物品（图 1.2），它们又都运用了什么结构呢？

微信公众号：电子课本大全



图 1.2　生活中常见的物品

一、什么是结构

古代人类利用土、石、草、竹、木等天然材料的特点，逐步摸索出圆拱、支架等结构形式，以及扎结、夯筑等构筑方式。通过不断实践，并结合当时的建筑艺术，筑成了雄伟壮丽、风格各异的工程建筑，如中国的长城、埃及的金字塔、希腊的神庙、意大利的古罗马竞技场等。

18 世纪工业革命后，建造技术由手工方式转变为半机械化和机械化；工程结构从简单的拱、梁、板、柱元件或框架（桁架）等组成的一般结构，变化为适应于大跨度的折板、薄壳、网架、悬索、筒体及悬吊等空间结构；在高度上由单层、多层、高层发展到超高层，跨度由十几米发展到几百米，长度由几百米发展到几千米。如中国四川凉山雅砻江上坝高 305 m 的锦屏混凝土双曲拱坝，跨度为 1176 m 的中国湘西矮寨特大悬索桥，阿联酋高达 828 m 的钢结构哈利法塔（原名迪拜塔），融合了中国古代营造法和现代设计理念的中华艺术宫等，它们以大、轻、美等特点展现在人们面前（图 1.3）。



a. 锦屏混凝土双曲拱坝　　b. 湘西矮寨特大悬索桥

c. 哈利法塔　　d. 中华艺术宫

图 1.3　现代工程结构

微信公众号：电子课本大全

人们常说“结构无处不在”。世界上任何事物都有其结构，所以从广义上讲，结构是指事物各个组成部分之间的有序搭配和排列，结构的多样性决定了事物的性质和形态的多样性。

从技术和设计中的力学角度讲，结构是指可承受一定载荷和应力的架构形态，可以抵抗引起形状改变的力。

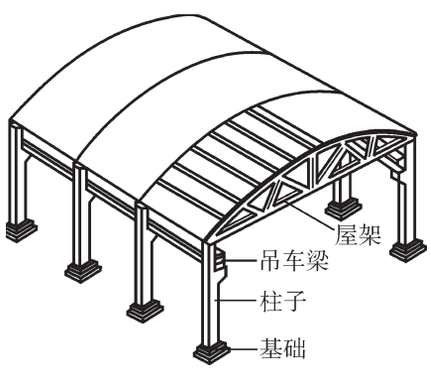
二、常见的结构类型

根据力学架构与形态，通常将结构分为三种基本类型：桁架结构、薄壳结构和实体结构。

（一）桁架结构

桁架结构是以刚性杆件组成的结构，杆件的基本特征是它的长度远大于其截面的宽度和高度。杆件按一定的规律在空间排布成简单或复杂的形状，其特点是支撑空间而不充满空间，可以支持比自身质量大得多的载荷。

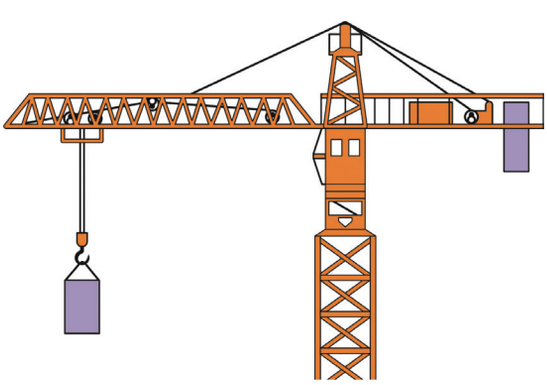
桁架结构不仅应用在厂房建筑、桥梁结构中，也常应用于民用机械和航空工业中。图 1.4 所示的结构都是典型的桁架结构。



a. 桁架结构的厂房屋顶



b. 桁架结构的桥梁



c. 工程机械



d. 桁架结构的卫星发射塔

图 1.4　几种典型的桁架结构

微信公众号：电子课本大全

（二）薄壳结构

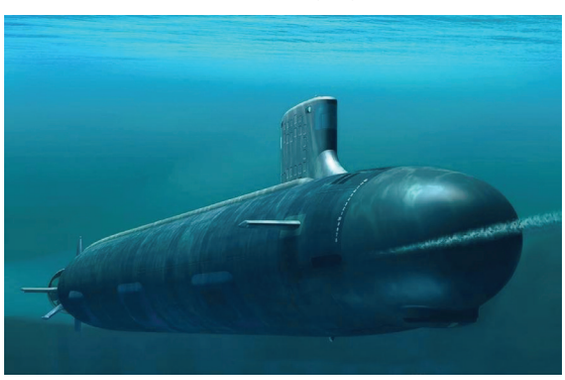
薄壳结构是由若干块薄板组成，板的厚度远小于长和宽两个尺寸，通常具有曲面轮廓的外形，且造型轻巧而优雅。其受力特点是：通过壳形来传递力和承受负载，特别是当壳形顶部受到压力时，它能将外力均匀扩散，以较小厚度的构件（组成建筑物或机械某一结构的单元）形成承载能力很高的结构。薄壳结构具有的这些特点，在生产生活、国防装备中得到了广泛的应用，如图 1.5 所示。



a. 工业用压力罐



b. 发电厂的冷却塔



c. 潜水艇



d. 玻璃茶杯

图 1.5　几种典型的薄壳结构

如图 1.6 所示的中国国家大剧院，就采用了薄壳结构屋顶，且没有使用任何柱子进行支撑，造型新颖、前卫，已成为一处别具特色的观景胜地。

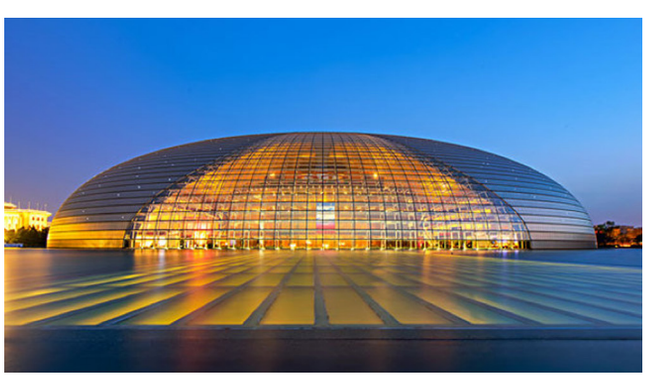


图 1.6　中国国家大剧院

微信公众号：电子课本大全

小贴士

膜结构

膜结构是一种新型大跨度空间结构形式。它是由高强度柔性薄膜材料与支撑体系完美结合形成的具有一定刚度的稳定曲面，是能承受一定外载荷的空间结构形式。膜结构体系一般可分为充气式膜结构、骨架式膜结构、张拉膜结构及索穹顶膜结构等。膜结构有以下特点：①建筑的形体塑造更自由，造型更加多样化，新颖美观，富有时代气息。②经济效益更明显。其结构质量仅为常规屋面的 1/30。③施工周期更短，比传统建筑几乎要缩短一半。④能源损耗更低。具有良好的透光性，可以充分利用自然光，减少能源消耗。⑤建筑空间具有更大的跨度。这种结构形式特别适用于大型体育场馆、入口廊道、公众休闲娱乐广场、展览会场、购物中心等场所。

做中学

鸡蛋受力试验

【目的】

探究薄壳结构的承重能力。

【准备】

大小相同的生鸡蛋三枚，胶带卷六个，木板一块，不同质量的杠铃片若干。

【步骤】

1. 将三个胶带卷按等边三角形放置在地面，鸡蛋立于胶带卷上，每个鸡蛋上方再放置一个胶带卷。

2. 将木板放置在胶带卷上方，轻轻在木板上放置杠铃片，如图 1.7 所示。

3. 逐渐增加杠铃片，记录鸡蛋能承受的最大质量。

4.试一试，用同样的方法放置六枚鸡蛋，轻轻站上去，看是否可以承载。

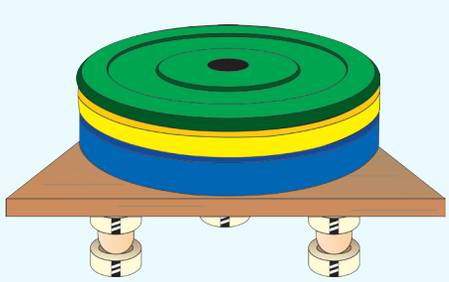


图 1.7　鸡蛋受力试验

【思考】

1. 为什么鸡蛋承受外力的能力这么强？

2. 生活中还有哪些地方应用了薄壳结构？

微信公众号：电子课本大全

（三）实体结构

实体结构也可称为实心结构，通常是指三个方向的尺度大约为同一数量级，构造物质充满整个结构空间的一种结构。它的受力特点是外力分布在整个结构中，可以承受较大的压力。典型的实体结构比较容易确认，如长城城墙（图 1.8），埃及金字塔，房屋的地基、承重墙等。



图 1.8　长城城墙

阅读材料

蜂巢仿生结构

蜂巢是由一个个排列整齐的六棱柱形小蜂房组成的，每个小蜂房的底部由 3 个相同的菱形组成，这些结构与近代数学家精确计算出来的最节省材料的结构——菱形（钝角 109° 28′、锐角 70° 32′）完全相同，且容量大、外形坚固，令人赞叹。人们模仿其构造用各种材料制成蜂巢式夹心结构板材（图 1.9），其强度大、质量轻、不易传导声和热，是建筑及制造航天飞机、宇宙飞船、人造卫星等的理想材料。

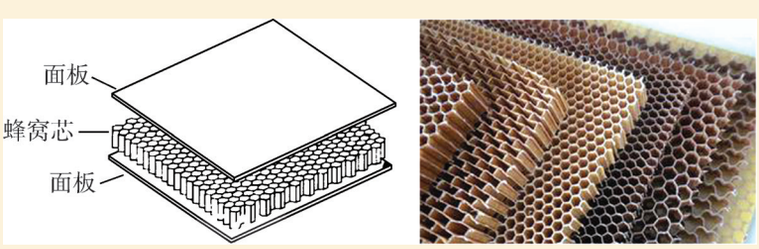


图 1.9　蜂巢式夹心结构板材

活动延伸

找一些身边的常见物品，说说它们的结构与受力特点。

微信公众号：电子课本大全

第二节　结构的稳定性与强度

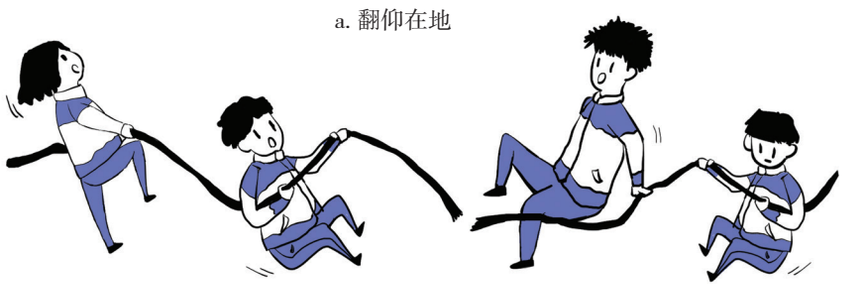
学习目标

1. 能够对简单结构的受力情况进行分析。
2. 探究影响结构的稳定性与强度的因素。

在生活中我们有时会看到下列情形：朋友聚会，大家在一起说笑笑得前仰后合时，有人因为过于激动结果连人带椅子一起翻仰在地（图 1.10a）；两个队正在进行拔河比赛，大家拉着的绳子突然断了，两队人一齐倒在了地上（图 1.10b）。这些现象的发生都与物体所受的力有关。



a. 翻仰在地



b. 拔河

图 1.10　生活中的情形

一、结构与力

做中学

如何从中间“断开”一块清洁海绵

【目的】

体验构件的五种不同受力形式。

微信公众号：电子课本大全

【准备】

长方体清洁海绵（图 1.11）、剪刀。

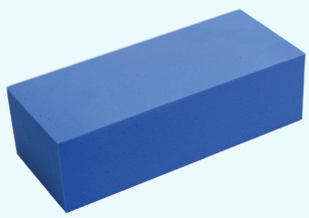


图 1.11　清洁海绵

【步骤】

1. 两手各握住清洁海绵一端，拉伸、压缩、弯曲、扭转清洁海绵。

2. 观察其形变，画出清洁海绵四种受力后形变的草图。

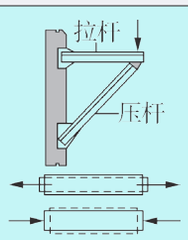
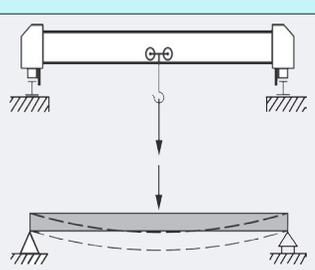
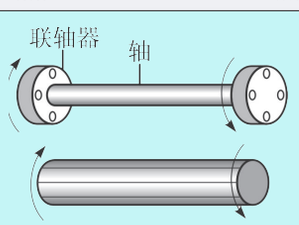
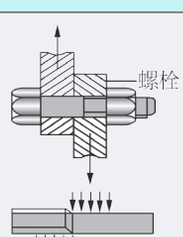
3. 用剪刀剪断一块清洁海绵，观察其剪切形变，并绘制草图。

【思考】

根据试验中清洁海绵的受力和形变形式，总结五种构件受力的基本形式。

在外力作用下，构件尺寸及形状会有不同程度的改变，这种改变称为变形。通过以上试验可以发现物体受力变形的形式是多样的。以常见的杆件构件为例，共有拉伸、压缩、弯曲、扭转、剪切五种基本变形形式。表 1.1 给出了这五种受力变形的特点及图例。

表 1.1　杆件的五种受力变形及图例

图例	受力变形特点
	拉伸和压缩：变形是由大小相等、方向相反、力的作用线与杆件轴线重合的一对力引起的。在变形上表现为杆件长度的伸长或缩短，而杆件的横截面积相应地表现为减小或增大
	弯曲：变形是由垂直于杆件轴线的横向力，或由作用在杆件的纵向平面内的力偶引起的。在变形上表现为杆件由直变弯，杆件轴线变成曲线
	扭转：变形是由垂直于杆件轴线平面内的力偶作用引起的。在变形上表现为杆件上的任意两个截面发生绕轴线的相对转动
	剪切：变形是由垂直于杆件轴线方向的一对大小相等、方向相反、作用线很近的横向外力引起的。在变形上表现为受剪切杆件二力之间的横截面沿外力作用方向发生相对错动

微信公众号：电子课本大全

（一）结构的拉压受力

拉伸或压缩是物体受力的常见现象。承受拉力的如电梯钢丝绳、电力传输线、起重机上的吊钩等，如图 1.12a 所示；承受压力的如建筑物中的立柱、墙壁以及桥墩等，如图 1.12b 所示。



a. 承受拉力



b. 承受压力

图 1.12　物体受力示例

拉伸和压缩是由外力作用引起的，外力在力学中又叫作载荷。它可以分为两类：

（1）分散载荷。例如平屋顶上积着一层雪，那么整个屋顶都要受到雪的压力，这种载荷是连续不断地分布在屋顶整个面积上的。

（2）集中载荷。例如人站在楼板上，这时，楼板上的受力部分只限于人脚所站的地方。这种力集中于一块很小的面积上，在计算时我们通常假定集中载荷作用在一点上。

内力是指在外力作用下，引起构件内部各部分之间相互作用的力。在工程上我们把构件截面单位面积上的内力称为应力。应力的法定计量单位是帕斯卡（Pa），简称帕，1 Pa=1 N/m^2。但在工程上我们习惯用兆帕（MPa）作为应力计量单位，1 MPa=10^6 Pa。这样表 1.1 中杆件所受的应力就可以按下面的式子来计算：

$$\sigma = P / A$$

式中，σ 为拉伸或压缩应力，单位为 MPa；P 为拉伸或压缩载荷，单位为 N；A 为拉伸或压缩所作用的截面面积，单位为 mm^2。

微信公众号：电子课本大全

（二）结构的弯曲受力

做中学

受弯曲形变的吸管

【目的】

探究使构件弯曲形变的内部作用力。

【准备】

带有褶皱、能弯曲的吸管（图 1.13）。

【步骤】

1. 将吸管在褶皱部分进行弯曲。

2. 观察吸管弯曲部分的褶皱（图 1.14），画出草图。

【思考】

1. 吸管弯曲后，哪边的褶皱距离较近？

2. 使褶皱部分张开的是什么力？

3. 将观察到的吸管现象迁移到构件中，分析构件在弯曲时的受力。



图 1.13　吸管



图 1.14　吸管弯曲部分

建筑物的横梁、桥梁的桥身以及各种机器上的轴类零件在工作时都会发生弯曲变形，那么弯曲时材料内部受到什么样的作用力呢？我们来做这样的试验（图 1.15），将一个即将被弯曲的杆件侧面先画上格子，当杆件弯曲后，通过观测格子的形状和尺寸变化可以得出这样的结论：当零件弯曲变形时，它的一面（这里指上面）被压缩，另一面却被拉伸。这两个面之间有一个中间层，它不被压缩也不被拉伸，故称为中性层。

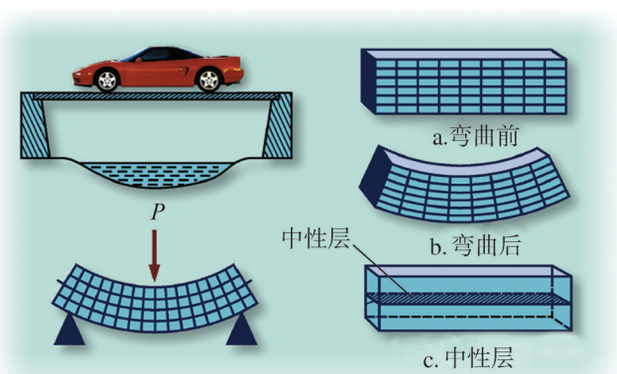


图 1.15　材料弯曲时的受力分析

在建筑结构中常用到拱形结构，这种结构有一个重要特性，就是可以用压缩来代替弯曲。如图 1.16 所示，作用于拱形桥两端的这些力都被河岸上的反作用力所平衡，改善了结构的受力状态，从而提高了结构的承载能力。

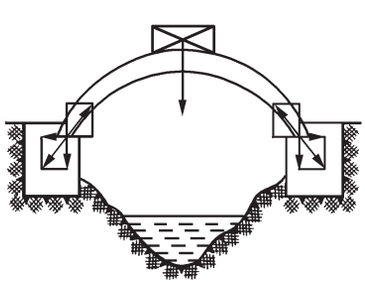
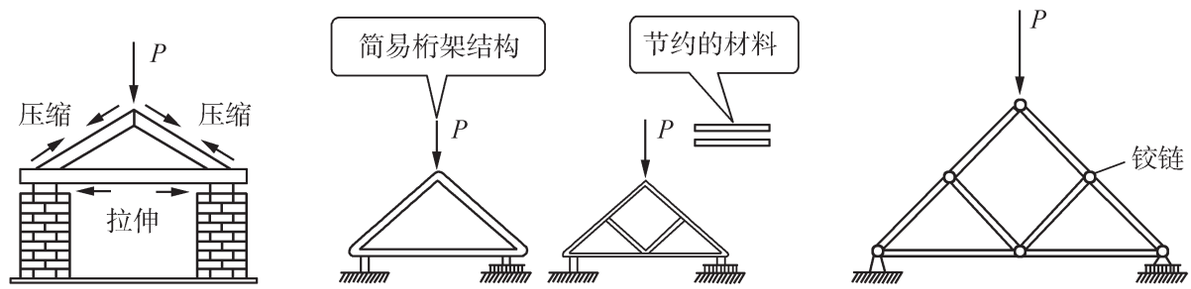


图 1.16　拱形结构受力分析

微信公众号：电子课本大全

（三）桁架结构的受力

一个屋顶的简易桁架结构如图 1.17a 所示。显然，它的两个斜臂（斜杆）受到压缩力，横杆受到拉伸力。为了节省材料，人们常常采取减少斜臂厚度的方法（图 1.17b）。如果简单地减少斜臂厚度，就会发生纵向弯曲的危险，一般可通过补加拉杆的方法来防止此类情况发生。各个拉杆之间可采用铰链连接，以便于结构施工和装配（图 1.17c）。

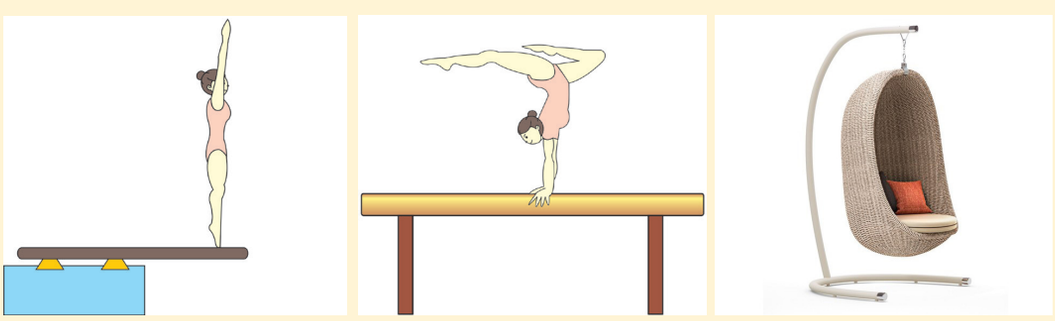


a　　b　　c

图 1.17　桁架结构分析简图

探究与交流

1. 分析跳水运动员起跳时跳板的受力情况（图 1.18a）。
2. 分析体操运动员比赛时平衡木的受力情况（图 1.18b）。
3. 分析吊篮椅上链子的受力情况（图 1.18c）。



a. 跳板　　b. 平衡木　　c. 吊篮椅

图 1.18　受力分析

二、结构与稳定性

一阵大风过后，我们会看到摆放在路边的自行车被吹倒了，然而放在附近的矮木凳却纹丝不动，并没有被吹翻。大家会说，这是因为自行车的稳定性较弱，而矮木凳的稳定性比自行车强得多。

结构的稳定性是指结构在载荷作用下维持其原有平衡状态的能力。稳定并不是指一个物体的状态绝对不变，当载荷消失后物体能够重新回到原有的平衡状态，我们也称其为稳定。

根据结构的稳定性所涉及的问题，我们从以下两个方面进行讨论：结构的形状稳定性和结构的位置稳定性。

微信公众号：电子课本大全

（一）结构的形状稳定性

我们先做个小试验：

（1）将三根木条用钉子钉成如图 1.19a 所示的三角形木架，然后沿箭头所示的方向扭动它，观察它的形状变化。

（2）将四根木条用钉子钉成如图 1.19b 所示的四边形木架，然后沿箭头所示的方向扭动它，观察它的形状变化。

（3）在四边形木架上再沿对角线方向钉一根木条，使之成为图 1.19c 所示的形状，然后沿箭头所示的方向扭动它，观察它的形状变化。

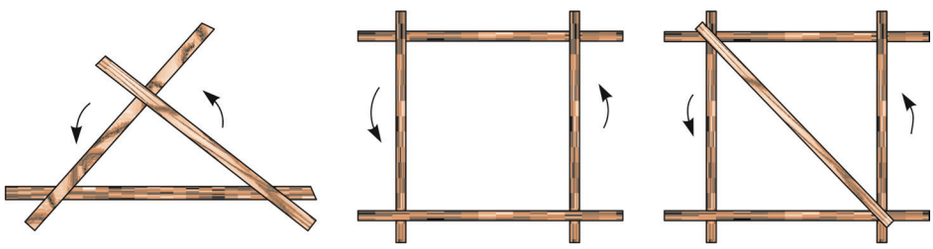


图 1.19　三角形和四边形木架

通过实验我们能够发现，用三根木条钉一个三角形，在外力作用下其形状和大小都不改变。也就是说，如果一个三角形的三条边的长度固定了，那么三角形的形状和大小就完全确定了，三角形具有结构稳定性。而用四根木条钉成的四边形木架，在外力作用下形状和大小很容易被改变，四边形具有结构不稳定性（易变性）。在四边形木架上沿对角线方向钉一根木条后，在外力作用下形状和大小并不改变。这是因为一个四边形分成了两个三角形，结构由不稳定结构转变为稳定结构。

三角形结构和四边形结构在生产和生活中都有着广泛的应用。

三角形结构稳定性好、不易变形，广泛应用于人类的生产生活中，如晾衣架、三角尺、钢架桥、起重机、屋顶的钢架等。

四边形结构易变形，灵活性强，也获得了广泛的应用，如活动衣架、缩放尺、活动铁门等。

对于多边形结构，人们经常采用加连杆的方式，将其划分成几个三角形，以增强其结构稳定性，如图 1.20 所示。

由此可见，三角形结构是最稳定的形状。结构的形状稳定性除了主要取决于结构的形状外，还与结构的连接方式及所采用的材料等有密切的关系。

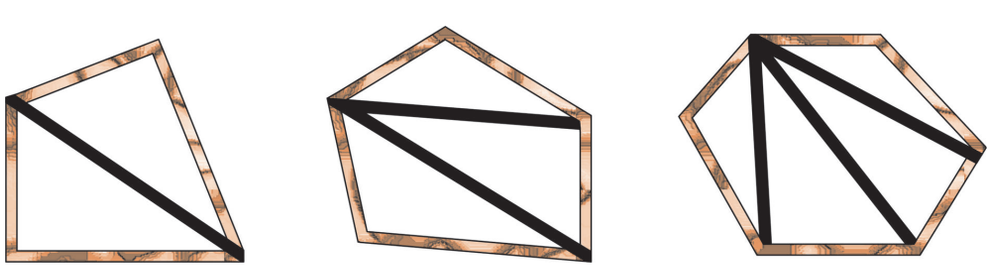


图 1.20　多边形木架增加连杆

微信公众号：电子课本大全

（二）结构的位置稳定性

做中学

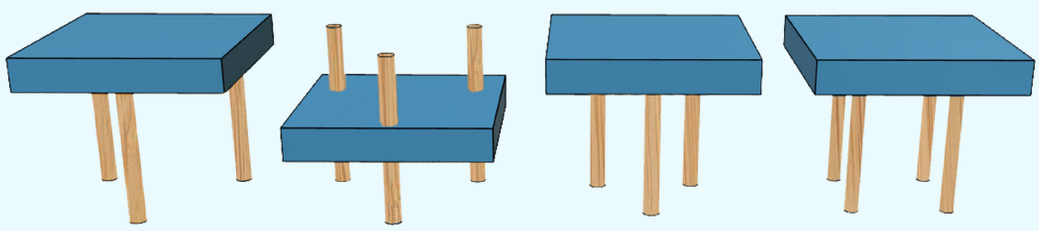
影响结构的位置稳定性的因素

【目的】

探究影响结构的位置稳定性的三个因素。

【准备】

尺寸及质量相同的橡皮四块、小木棍（如牙签）若干、木板一块。使用橡皮及小木棍自制四种试验用的支撑结构，如图 1.21 所示。



a. 结构 1　b. 结构 2　c. 结构 3　d. 结构 4

图 1.21　橡皮支撑结构

【步骤】

1. 制作橡皮支撑结构 1：将相同长度的小木棍插入橡皮指定位置，三根木棍垂直投影所形成的等边三角形如图 1.22 所示。

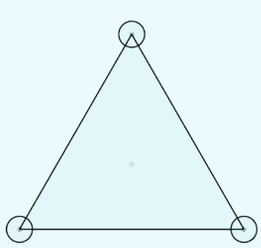
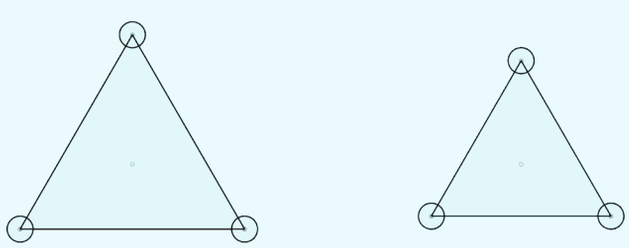


图 1.22　投影（一）

制作橡皮支撑结构 2：木棍与橡皮连接位置与橡皮支撑结构 1 相同，橡皮位于木棍中部。

2. 将橡皮支撑结构 1 与橡皮支撑结构 2 同向平放在木板上。慢慢抬起木板一端，保证木板另一端不离开桌面，直到有一个橡皮支撑结构翻倒。

3. 制作橡皮支撑结构 3：三根木棍垂直投影所形成的等边三角形的面积小于橡皮支撑结构 1，如图 1.23 所示。



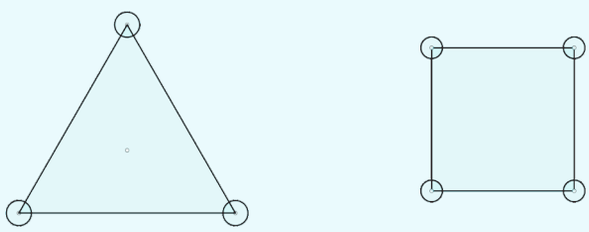
a. 结构 1 投影　b. 结构 3 投影

图 1.23　投影（二）

微信公众号：电子课本大全

4. 将橡皮支撑结构 1 与橡皮支撑结构 3 同向平放在木板上，操作同步骤 2。

5. 制作橡皮支撑结构 4：四根木棍与橡皮连接，木棍垂直投影所形成的正方形面积与橡皮支撑结构 1 投影面积相等，如图 1.24 所示（与橡皮相比，木棍的质量可忽略不计，因此不考虑结构 4 中增加一根木棍的质量）。



a. 结构 1 投影　　b. 结构 4 投影

图 1.24　投影（三）

6. 将橡皮支撑结构 1 与橡皮支撑结构 4 同向平放在木板上，操作同步骤 2。

7. 观察试验现象并记录，分析试验所用到的橡皮支撑结构的相同点和不同点。小组讨论分析，形成试验报告。

【思考】

1. 出现上述试验现象的原因是什么？

2. 哪些因素影响了结构的位置稳定性？

影响结构位置稳定性的因素较多，其中主要有支撑面的大小、形状和重心的位置。

1. 支撑面的大小和形状

我们把结构与地面接触的几个点连接所形成的面称为支撑面。支撑面越大结构就越稳定。例如，雄伟的金字塔、高耸的烟囱等，通常是上端小、下端大（图 1.25）。



图 1.25　高大建筑物

结构的稳定性还与支撑面的形状有很大关系。常见的物体支撑面的形状大都是三角形、四边形和圆形（图 1.26）。它们的共同特点是在支撑位分布的比较均匀。

微信公众号：电子课本大全



图 1.26　常见物体的支撑面

前面提到的自行车之所以容易被风刮倒，是因为它的三角形支撑面偏狭长，一遇到横向大风就很容易被吹倒（图 1.27）。



图 1.27　自行车的支撑面

2. 重心的位置

结构的重心位置分为两种情况：一种是重心在竖直方向上的高低，一种是重心在水平方向上的偏移。

重心越高的结构稳定性越差。例如，人们在登上高梯时，往往需要地面有人帮助将梯子扶稳。

对于一个稳定结构来说，重心投影一般在结构支撑面的中间，不能超出结构支撑面的范围，否则就有倾倒的危险。



探究与交流

某家庭买了个五屉柜，这个家庭的三岁孩子在无人看护的情况下独自爬进了柜子的抽屉中玩耍。五屉柜在孩子玩耍过程中突然倾倒，将这个孩子砸伤。想一想：为什么会发生这种情况？怎样才能避免这种情况的发生？



实践与体验

不倒翁的制作

不倒翁是深受孩子们喜欢的传统玩具，上轻下重，底部为半球形，扳倒后能自己起来。

微信公众号：电子课本大全

任务一：参考图1.28制作一个个性化的不倒翁。



图 1.28　不倒翁

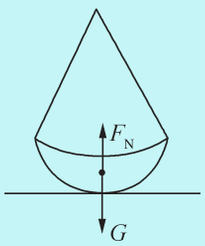


图 1.29　不倒翁受力情况

任务二：参考图1.29回答下列问题（表1.2）。

表 1.2　不倒翁思考题

为什么不倒翁里面的重物要置于下部的中间？	
为什么不倒翁外部的下表面要做成半球形的？	
不倒翁里面的重物可以随便移动吗？为什么？	

三、结构与强度

看看前面讲过的拔河比赛绳子断了的例子，大家会说，那是绳子不够结实。其实也可以换句话说，那是绳子的强度不够。

结构的强度是指结构具有的抵抗外力破坏的能力。结构的形状、结构使用的材料以及结构中构件之间的连接方式等对结构的强度有着较大的影响。

（一）结构的形状

结构的形状是多种多样的，这与它的性能、用途有关。如路边的路灯，只用一两根简单杆件构成即可（图 1.30）。

而承载量很大的航空器结构，则采用了高强度、高稳定性的较复杂桁架结构。这些构件大多呈三角形或方形，它们互相连接，多路传力，大大加强了其牢固程度。例如，飞机尾翼内的多个三角形结构（图 1.31）和飞机机体内部多个方形结构（图 1.32）。



图 1.30　路灯

微信公众号：电子课本大全

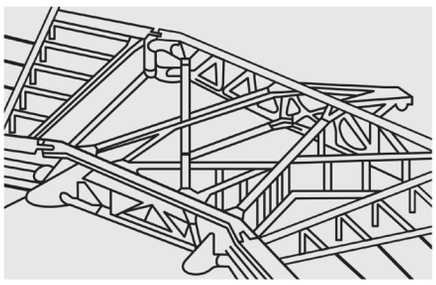


图 1.31　飞机尾翼内部

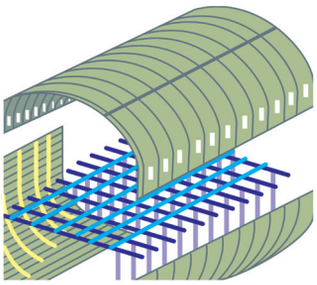


图 1.32　飞机机体内部

实践与体验

结构小试验

先找一副扑克牌和几张比扑克牌纸略薄的纸，如图1.33所示，分别将纸展平、弯曲并定型、曲折后放在两叠高度相同的书本上。请问：如果将扑克牌轻轻放在纸桥上面，在纸桥不塌的情况下，哪种纸桥放的扑克牌最多？可以边动手做边分析。

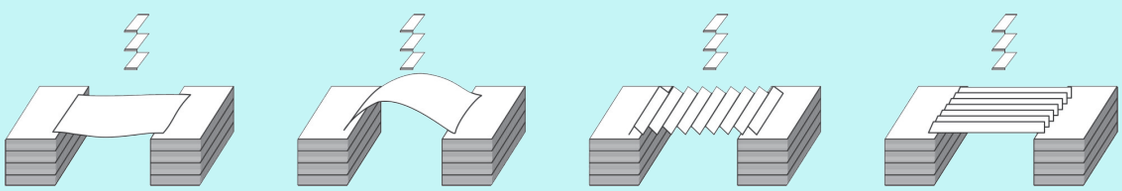


图 1.33　不同纸桥上放扑克牌

构件横截面的尺寸形状有多种多样。显然，由同一种材料制作的构件，横截面形状不同，其承载能力也是不同的。

做中学

截面形状对结构强度的影响

【目的】

测试不同截面形状的构件做成的简支梁（指梁的两端搁置在支架上）的强度。

【准备】

使用 3D 打印机制作长度、高度、截面的面积相同，截面形状不同的构件（图 1.34）；托盘，砝码若干。

【步骤】

1. 分别将不同截面形状的构件两端固定，中间悬空，构成简支梁，如图 1.35 所示。

2. 分别在不同的简支梁的中间悬挂相同质量的砝码，并依次增加相同质量的砝码，直到简支梁被破坏，记录此时砝码的质量。

微信公众号：电子课本大全

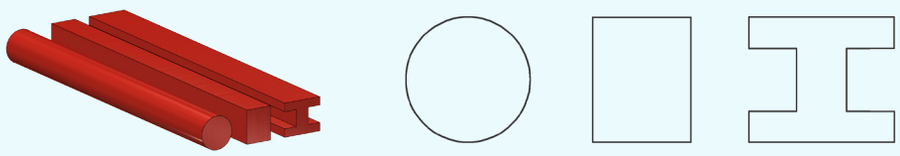


图 1.34　构件



图 1.35　简支梁

3. 整理记录，对不同截面形状构件所能承受的砝码质量进行排序。

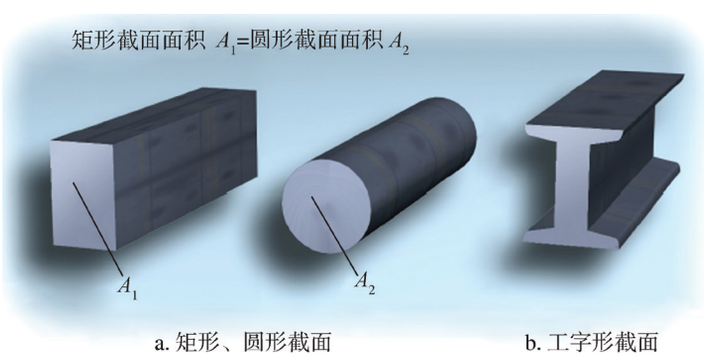
4. 小组讨论，形成试验报告。

【思考】

1. 哪种截面形状的 3D 打印构件可以承受的力更大？

2. 还有哪些截面形状的构件？如果有条件，可以探究一下。

拿具有矩形和圆形截面的同种构件来比，假设它们的截面面积相等（图 1.36a），从前文讲的构件弯曲变形后的受力分析可知，在它的上、下边缘处应力最大，而越靠近中性轴处应力越小。圆形截面在离中性轴较远的上下边缘处的面积较小，而接近中性轴处的面积较大，这样就有很大一部分材料没有充分发挥作用。显然，矩形截面比圆形截面的承载能力要大。



a. 矩形、圆形截面　　b. 工字形截面

图 1.36　不同形状截面的对比

当然，矩形截面还不是最好的，为了尽量做到物尽其用，可将中性轴附近的材料移放到离中性轴较远的地方去。根据这个原则，出现了工程上常用的工字梁等型钢的工字形截面（图 1.36b）。拿标准的工字钢梁来看，它的强度大约要比高度和截面面积相同的矩形截面梁大一倍。工业和民用建筑以及桥梁等工程常常采用工字钢梁，因为它可以在减轻自重的同时有效地提高结构的承载力。

微信公众号：电子课本大全

阅读材料

工字梁结构的再改进

是不是工字梁就是最好的梁呢？并不是，原因如下：

1. 它的腹板（工字梁的上、下两个“翅膀”叫作翼板，中间部分叫作腹板）部分的材料仍然不能被充分利用（图 1.37a）。

2. 当跨度很大时，梁的自身质量将会引起较大的弯曲。例如，高 20 cm、长 20 m 的工字梁，由于自身质量产生的弯曲会使梁的中点下移达到 13 cm；若长度达 50 m，梁就会因自重而折断。所以，对于大跨度的情况，工字梁就无能为力了。

要克服上述第一个缺点，可以将工字梁腹板中的一部分材料挖去，形成许多孔口（图 1.37b）。这个想法自然而然地使我们又想到了用杆件铰接成的结构来代替工字梁。这种结构就是前文提到的桁架（图 1.37c）。桁架的特点是各个杆件都只产生轴向拉伸或压缩变形，而不产生弯曲变形。因此，桁架与工字梁相比，不但大大节省了材料，而且更适于做大跨度的桥梁结构（图 1.37d），也克服了上述“对于大跨度的情况，工字梁就无能为力了”的缺点。

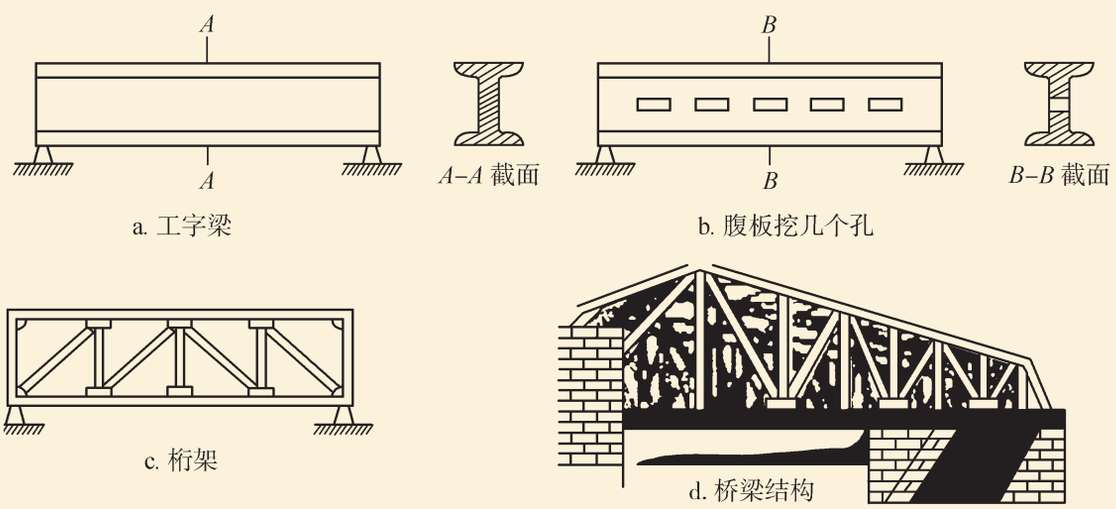


图 1.37　对工字梁结构的再改进

（二）结构的材料

不同种类材料的密度、极限强度、变形方式及工艺特点各不相同，所以结构的材料也会影响结构的强度。在《技术与设计 1》中已讲过材料，这里列表（表 1.3）比较一下日常生活中常见的木材、金属、塑料和复合材料，主要着眼于它们的力学性能。

表 1.3　四种常用材料的性能及特点

材料	性能及特点
木材	密度小、韧性高、易加工；强度不及钢材，不宜在重载荷结构场合使用
金属	密度大、强度高；塑性和韧性好；抗冲击和抗震动能力强；制作工业化程度高；在各行业中得到了广泛的应用

微信公众号：电子课本大全

续表

材料	性能及特点
塑料	以树脂等高分子化合物为基本成分，与配料混合后加热加压而成；主要在轻型、耐腐蚀、低能耗、低成本结构中使用
复合材料	由两种或两种以上物理、化学性质不同的物质组合而成；不仅保持各组分材料性能的优点，而且通过各组分性能的互补和关联可以获得单一组分材料所不具备的综合性能



探究与交流

雨伞和拐杖都是常见的生活用品（图 1.38），且雨伞的伞柄和拐杖形状相似。观察一下，它们各自采用什么材料制作而成？为什么？



图 1.38　雨伞和拐杖

（三）结构的连接方式

一个结构往往需要由若干个构件连接而成。采用的连接方式会受到结构材料和结构功能的限制。构件的连接方式不同，结构的强度也不相同。这里介绍常见的焊接、铆接、螺栓连接、胶接、榫接等连接方式。

1．焊接

焊接是两种材料通过高温熔化或高温、高压作用，产生原子或分子间的结合和扩散作用而形成焊缝，从而将两个零件连接成一个整体（图 1.39a）。这是钢材连接的主要方法，优点在于设备简单、省料省工，能实现自动化操作。焊接属于永久性不可拆卸连接。

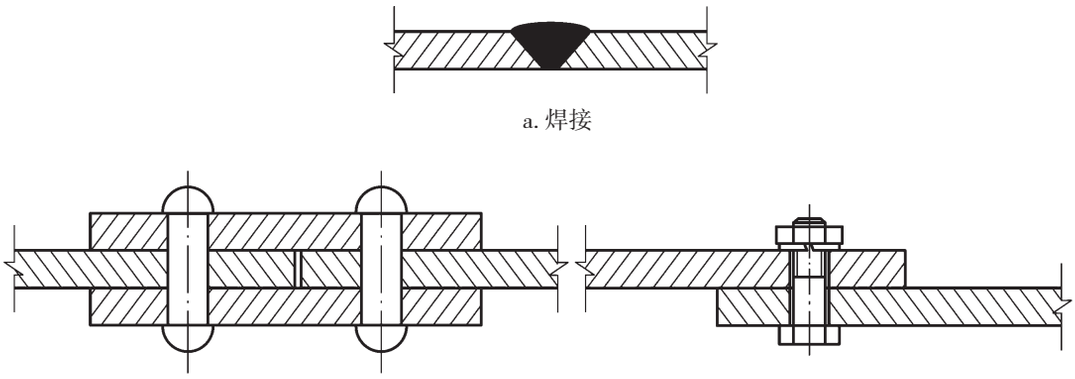
2．铆接

铆接须事先在构件上钻孔，然后用加热过或常温下的铆钉进行铆合（图 1.39b）。铆接的最大优点在于韧性和塑性好，传力可靠；缺点是费料费工。现在已很少采用大面积的平面铆钉连接了。铆接属于可拆式连接，巴黎的埃菲尔铁塔的构件连接就是主要采用铆接。

3．螺栓连接

螺栓连接是在被连接件上钻孔，穿入螺栓，拧紧螺母，实现可拆式连接的一种方式（图1.39c），通常用于结构的安装连接。普通螺栓连接件还有螺母垫圈。为了保持连接的紧密性和可靠性，必须适当拧紧螺母，从而在螺栓内产生一定的预紧力。为了防止螺母在工作中松动，可使用弹簧垫圈防松动或采用双螺母锁紧。

微信公众号：电子课本大全



a. 焊接

b. 铆接　　c. 螺栓连接

图 1.39　焊接、铆接和螺栓连接示意图

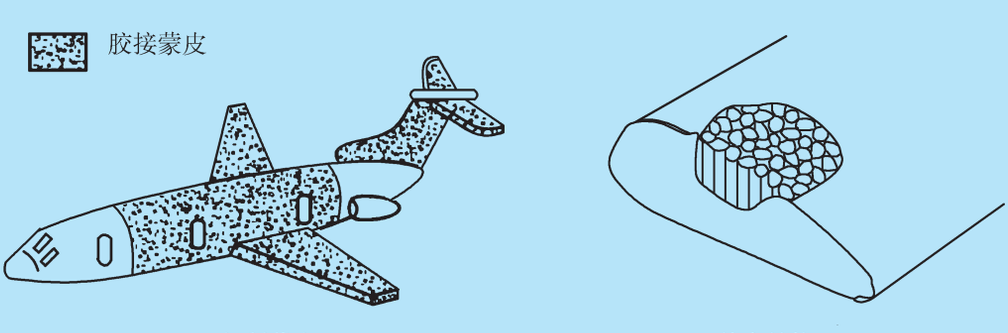
4. 胶接

胶接是在一定条件下用胶黏剂将两个零件连接在一起，并使其接合处具有足够强度的一种连接工艺。胶黏剂之所以能将两个零件牢固地连接在一起，其根本原因在于胶黏剂和被粘物表面间发生了物理或化学作用。

小贴士

胶接在飞机制造上的应用

胶接大量用于飞机制造业，有的飞机表面积 85% ~ 90%的铝制蒙皮采用的就是胶接技术(图 1.40a),从而替代了几十万个铆钉。由于没有铆钉,减少了机身表面的“起皱”和凸凹，降低了空气对飞机的阻力，减小了飞机的质量，因而提高了飞机的飞行性能。飞机机翼内部的蜂窝结构也多使用胶接（ 图 1.40b ）方式制造。



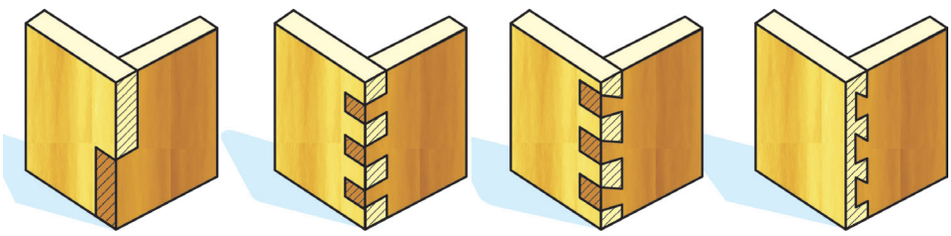
a. 铝制蒙皮　　b. 蜂窝结构

图 1.40　胶接在飞机上的应用

5. 榫接

榫接主要用于家具或建筑构件中木材的连接。使用榫接可以有效地避免钢钉、螺钉连接所产生的应力集中，减少结构质量，提高结构的整体强度。榫接实际上是在两个木构件上所采用的一种凹凸部位接合的连接方式。凸出部分叫榫（ 或榫头 ），凹进部分叫卯（ 或榫眼、榫槽)。榫接的榫头形状和连接形式如图 1.41 所示。

微信公众号：电子课本大全



a. 直角榫槽接合　b. 直角多榫接合　c. 燕尾榫槽接合　d. 插入榫槽接合

图 1.41　用于箱柜的榫接方式

探究与交流

观察一下身边的桌椅，分析一下它们用到了哪些连接方式。如果发现桌椅有点晃动或不够稳定，找出它们在连接方面存在的问题，并给出维修建议。

活动延伸

分析计算杆件受力情况

我们学习了强度的概念后，可以通过应力计算的方法，计算出各个杆件的应力，从而可以判断桥梁的安全性。

下面我们运用物理学中的静力学节点法来分析计算杆件的内力。因为每个节点都受平面汇交力系（平面力系中各力作用线交汇于一点的力系）的作用，所以求每个杆件的内力时，可逐个取节点为研究对象，由已知力求出全部杆件的内力。

已知载荷 P=10 kN，结构与尺寸如图 1.42a 所示，求桁架各杆件的内力。

1. 首先以整体桁架为研究对象画受力图（图 1.42a），桁架受外载荷 P 以及约束反力 F_{Ay}、F_{Bx}、F_{By} 作用，根据力和力矩平衡方程求解约束反力。

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow F_{Bx} = 0,$$

$$\sum M_B = 0 \Rightarrow 2P - 4F_{Ay} = 0,$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow F_{Ay} + F_{By} - P = 0 \Rightarrow F_{Ay} = F_{By} = 5\ \text{kN}。$$

2. 取节点 A，画受力图（图 1.42b）。

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow F_{Ay} + F_1 \sin 30° = 0,$$

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow F_2 + F_1 \cos 30° = 0,$$

$$\Rightarrow F_1 = -10\ \text{kN}(\text{压}),\ F_2 = 8.66\ \text{kN}(\text{拉})。$$

微信公众号：电子课本大全

3. 取节点 C，画受力图（图 1.42c）。

$$\sum F_x = 0 \Rightarrow F_4 \cos 30° - F_1' \cos 30° = 0,$$

$$\sum F_y = 0 \Rightarrow -F_3 - (F_1' + F_4) \sin 30° = 0,$$

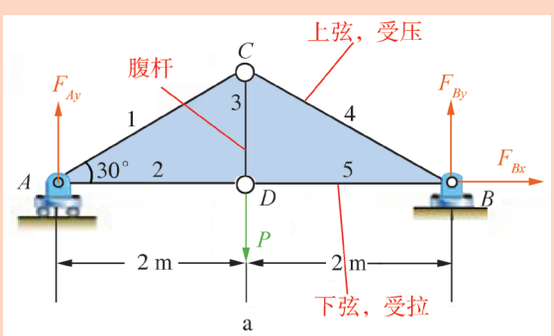
$$\Rightarrow F_4 = -10\ \text{kN}(\text{压}),\ F_3 = 10\ \text{kN}(\text{拉})。$$

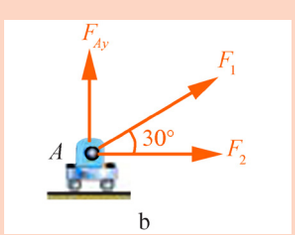
4. 取节点 D，画受力图（图 1.42d）。

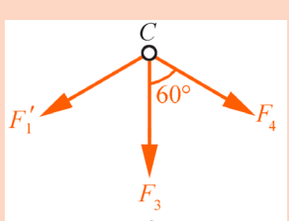
$$\sum F_x = 0 \Rightarrow F_5 - F_2' = 0,$$

$$\Rightarrow F_5 = 8.66\ \text{kN}(\text{拉})。$$

通过上面的分析计算，可以知道每根杆所受力的大小。再利用前面学习过的公式 $\sigma = P/A$ 就可以计算出各杆的应力（此处的 F 即公式中的 P）。显然，杆的截面积越大，承受的应力越小，结构越安全。在工程上，为了保证结构的安全性，会根据使用材料的特性将此部件的工作应力值限定在某一允许数值内，这个值就叫作许用应力，通常用 $[\sigma]$ 表示。许用应力用来确定结构特定部位的应力，它和材料的极限应力（强度）σ_b 的关系必须满足关系式：$\sigma \leqslant [\sigma]$，$[\sigma] = \sigma_b / k$。$k$ 为安全系数，其值大于 1，主要通过实验或经验来确定。







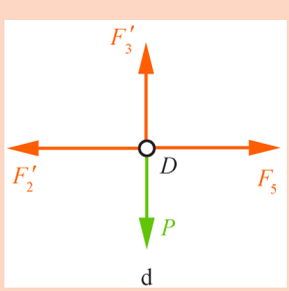


图 1.42　受力分析计算组图

微信公众号：电子课本大全

第三节　简单结构的设计

学习目标

1. 根据已学的科学技术原理，能够对生活中的问题进行简单的结构设计，并绘制出图样。
2. 利用工具、设备完成简单产品模型的制作。

当我们对结构的基本概念、结构的受力分析、影响结构强度与稳定性的因素等科学技术原理知识有了基本的理性认识后，可以将上述知识要点应用到具体的实践活动中，来指导结构模型的设计与制作。结构的设计与制作过程是一个手脑并用的过程，不但可以进一步巩固我们所学的知识，还可以提高我们的实践能力。

一、结构设计项目1——桥梁模型的设计与制作

【任务情景】

某峡谷上需要建造一座公路桥，请同学们设计并制造一座跨度为400 mm的峡谷公路桥模型，能够顺利通过至少总质量为900 g的电动小车（图1.43）。



图 1.43　桥梁模型示例

【设计要求】

（1）桥面平整，保证小车在通行过程中不受阻挡。

（2）桥梁模型要设计栏杆，保证小车不会冲出桥面。

（3）在满足要求的前提下，桥的载荷与自重比越大越好。

【设计准备】

（1）材料：A4白纸一张、5 mm × 5 mm × 1000 mm的桐木条若干、白乳胶（或速干胶）、大头针等。

（2）工具：直角尺、铅笔、美工刀（或手锯）、砂纸、锉刀、尖嘴钳等。

（3）测试设备：测试台、电子秤、钩码、电动小车等。

【设计过程】

任务一：搜集信息

同学们在进行模型设计之前，搜集有关桥梁的信息并进行整理和分析。了解桥梁种类

微信公众号：电子课本大全

及其受力特点。

任务二：设计分析

请同学们利用前面所学习的结构知识，从强度、稳定性、功能、安全、美观等方面，分析设计桥梁模型要考虑的主要因素。采用你认为最合理的构件连接方式，使你的桥梁模型更加稳固。

任务三：构思方案、绘制设计草图

请同学们在设计分析的基础上，进行方案构思并绘制出设计草图。

任务四：绘制加工图

运用《技术与设计1》中学习的绘图知识，将本小组的桥梁结构设计绘制成加工图。

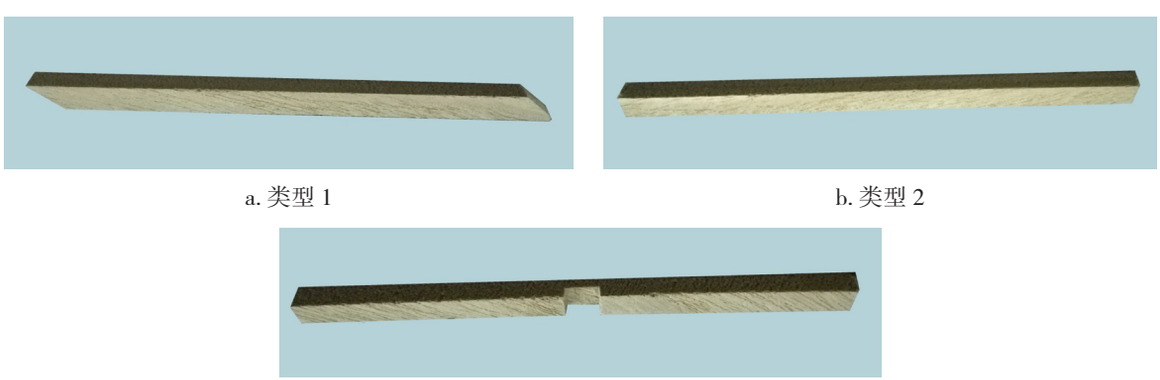
任务五：模型制作

模型制作步骤如下：杆件计算、截取→截面加工→结构单元连接→单元组合连接→修饰校正。

加工提示如下：

（1）杆件计算、截取：同学们可以挑选提供的材料，根据加工图上所标注的尺寸，进行每个构件的尺寸计算，使用美工刀截取。请注意长、短杆件搭配截取，节约材料。

（2）截面加工：根据所设计的结构特点，选择恰当的截面形状，利用美工刀和砂纸加工（图 1.44）。



a. 类型 1　　b. 类型 2

c. 类型 3

图 1.44　不同构件类型截面加工示例

（3）结构单元连接、单元组合连接：根据设计方案的结构特点，把桥体分为几个单元，先制作桥体两侧的栏杆，然后是桥面和桥顶，最后进行组合连接。构件连接可以采用先在截面涂白乳胶之后用大头针加固的方法，或直接用速干胶黏接（图 1.45）。

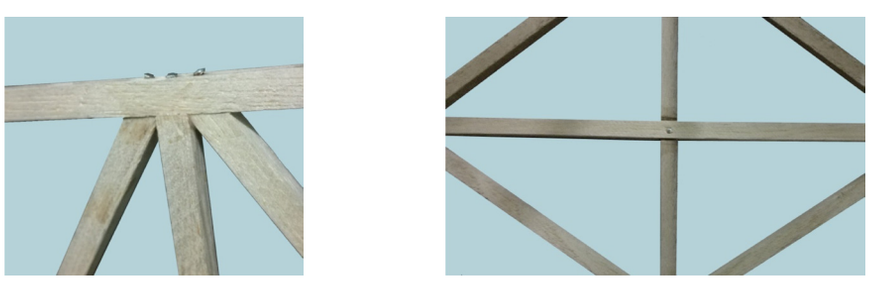


图 1.45　结构单元连接

微信公众号：电子课本大全

（4）修饰校正：进行桥体整形和外观修正美化，做到结构科学合理，外观整洁。

任务六：技术测试与评价

用电子秤测量桥梁模型自重。然后测量桥梁模型的通车效果，填在表 1.4 中。仔细观察小车是否可以顺利通过，观察、记录桥梁模型的形变程度，可以用手机或相机拍摄测试过程。如果可以顺利通过，可以适当增加小车上钩码的数量，重复测试。

请同学们根据设计要求和测试结果，参照表 1.5 对自己小组和其他小组的作品进行评价。

表 1.4　桥梁模型测试结果记录表

测试项目	测试结果
桥梁形变记录	
载荷	
自重	
桥的载荷与自重之比	

表 1.5　桥梁模型评价表（自评与他评）

评价项目	1 组	2 组	3 组	4 组	5 组	6 组
强度（参考测试记录）						
稳定性						
功能						
安全						
美观						
总体评价						

注：评价按 A、B、C、D 四个等级划分。

任务七：设计优化

基于测试和评价结果，请同学们对设计方案进行改进，优化和完善你的设计。

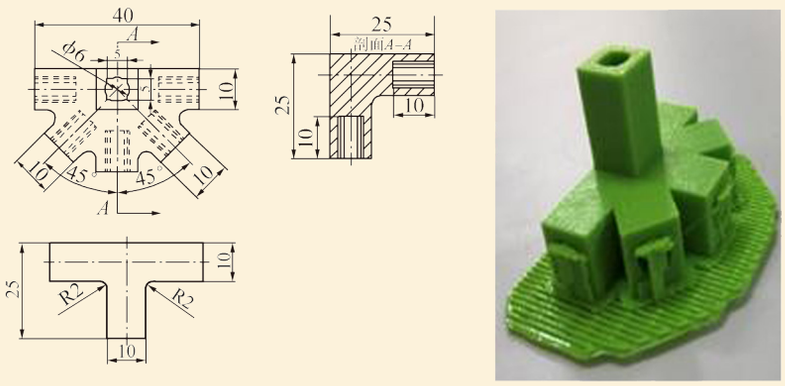


阅读材料

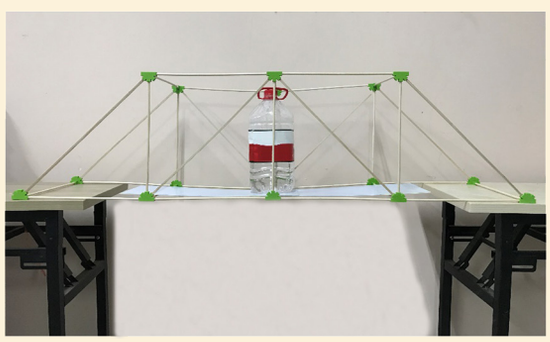
桁架结构桥梁模型的制作

真正的桁架结构桥梁都是由钢梁连接形成的，为此同学们可以尝试先在三维软件中设计一种针对桥梁结构的接头，并使用 3D 打印机制作接头，参照图 1.46 的桥梁模型设计过程连接杆件形成桁架结构。为了节约时间和成本并具有可比性，建议统一采用截面为 5 mm×5 mm、长度为 200 ~ 300 mm 的木条，也可以采用直径为 6 mm 的圆木棒。注意打印时要让接头内部易于连接，并易于探究结构连接方式对桁架桥梁强度的影响。

微信公众号：电子课本大全



a. 接头设计图　　b. 3D打印出的接头



c. 用接头将木杆连接构成桥梁

图 1.46　桁架结构桥梁模型设计过程

二、结构设计项目2——手机支架的设计与制作

【任务情景】

现代社会手机应用广泛，但是，长时间持握手机会对人的手腕及颈椎产生不良影响。请你设计并制作一款手机支架（图 1.47），把双手解放出来，降低手机带给人们的不良影响。

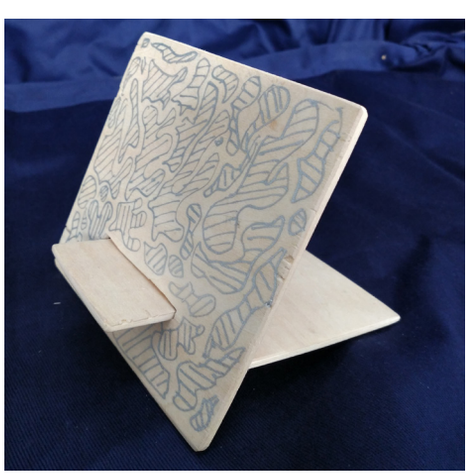


图 1.47　手机支架设计示例（一）

微信公众号：电子课本大全

【设计要求】

（1）支架能支撑在水平桌面上，屏幕便于观看。

（2）支撑、取放手机时，支架不易倾倒，稳定性好。

（3）支架不易断裂或形变。

（4）设计巧妙、有新意，造型美观。

【设计准备】

（1）材料：尺寸为 297 mm × 420 mm 的三合板一张、白乳胶（或速干胶）等。

（2）工具和设备：三角板、铅笔、微型锯床（或激光切割机）、砂纸、锉刀等。

（3）测试设备：不同型号的手机。

【设计过程】

任务一：搜集信息

请同学们在进行设计之前，搜集有关手机支架的信息并进行整理和分析。

任务二：设计分析

请同学们利用前面所学习的结构知识，从强度、稳定性、安全、实用、美观、创新等方面，分析设计手机支架要考虑的主要因素，连接方式建议采用拼插结构（图 1.48）。

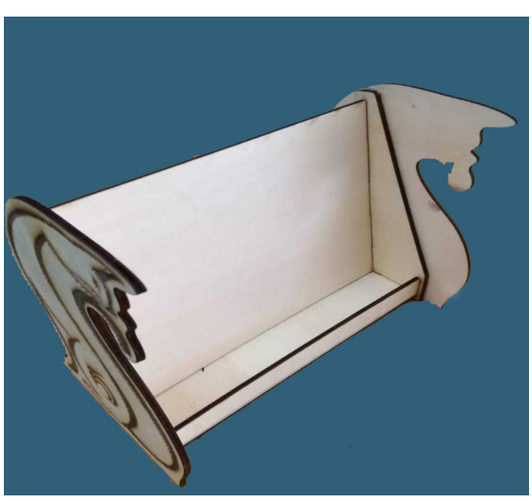


图 1.48　手机支架设计示例（二）

任务三：方案构思、绘制设计草图

请同学们在设计分析的基础上，进行方案构思并绘制出设计草图。

任务四：绘制加工图

运用《技术与设计 1》中的知识，将本小组的手机支架设计绘制成加工图纸。

任务五：模型制作

同学们可以根据学校的实际情况，使用 CAD 绘制加工图，并用激光切割机加工或使用微型锯床加工构件。

任务六：技术测试与评价

用不同型号的手机进行置放测试，观察支架在使用过程中存在的结构问题与功能问题。

请同学们根据设计要求和测试结果，参照表 1.6 对自己小组和其他小组的作品进行评价。

微信公众号：电子课本大全

表 1.6　手机支架评价表（自评与他评）

评价项目	1 组	2 组	3 组	4 组	5 组	6 组
强度						
稳定性						
安全						
实用						
美观						
创新						
总体评价						

注：评价按 A、B、C、D 四个等级划分。

任务七：设计优化

基于测试和评价结果，同学们可尝试一些新的想法，并对设计方案进行改进，优化和完善自己的设计。

三、结构设计项目3——创意玩具的设计与制作

【任务情景】

这是一个创意玩具——跳跃的袋鼠，其设计是对不倒翁原理的知识迁移。如图1.49所示，其运动原理如下：在开始位置，袋鼠依靠脚后跟（旋转中心1），以尾部为支点整体静立在斜坡上；由于袋鼠身体受到重力的作用，其身体开始前倾，后腿绕旋转中心1旋转，尾部支点脱开；当止点接触时，由于惯性作用，袋鼠身体仍要绕后腿轴旋转，这时尾部就会翘起，前腿脚底变成旋转中心2；一旦袋鼠沿旋转中心2转动，后腿稍离地并以逆时针绕重心点自由转动，袋鼠重心和旋转中心2形成的转矩使尾部支点重新触地，又开始以后腿脚后跟为旋转中心重复前述运动。

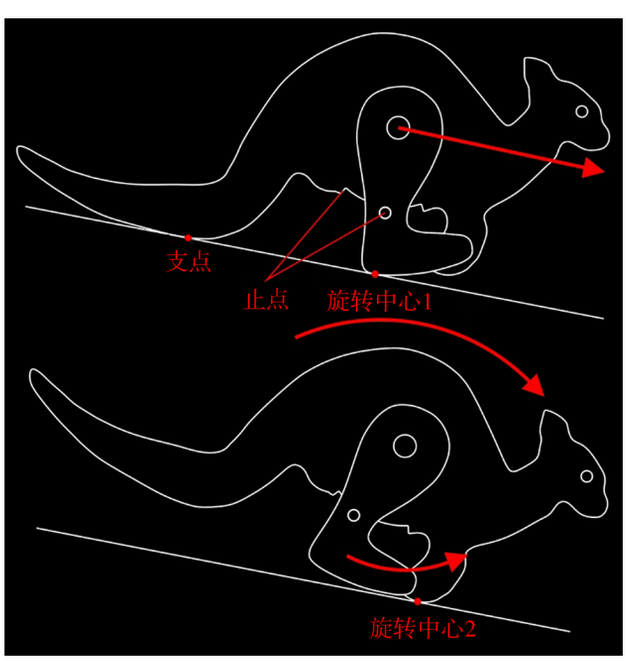


图 1.49　袋鼠下斜坡时的运动分析

【设计要求】

（1）尺寸要准确。

（2）周边要打磨光滑。

（3）孔与轴的配合不可过紧或过松。

【设计准备】

1．材料

（1）厚20 mm（制作袋鼠身体用）和8 mm（制作腿用）的410#代木板（或松木板）板材。

微信公众号：电子课本大全

（2）直径 3 mm、长 36 mm 和直径 6 mm、长 36 mm 的钢轴各一根。

（3）750 mm（长度）×200 mm（宽度）×5 mm（厚度）的中密度纤维板一块（制作斜坡，可以多组学生共用）。

2. 工具及材料

电动曲线锯（图 1.50a）或手工曲线锯（图 1.50b），小台钻配对应钻头及夹具（图 1.50c），以及砂纸、喷漆、502 胶水等材料（图 1.50d）。



a. 电动曲线锯



b. 手工曲线锯



c. 小台钻



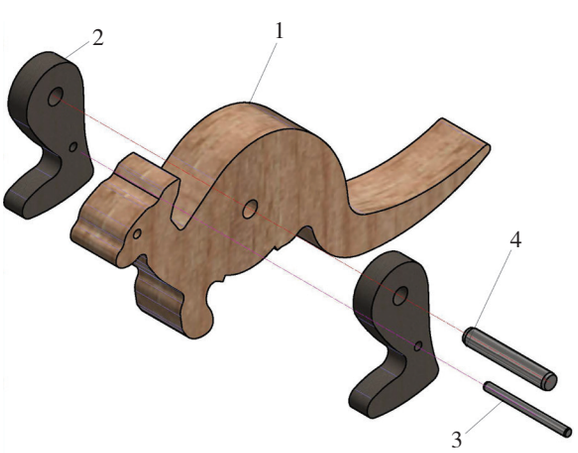
d. 砂纸、喷漆、502 胶水

图 1.50　加工袋鼠原型所需的工具

【设计过程】

任务一：设计分析

根据上文所介绍的运动原理，分析袋鼠模型的运动过程，明确关键数据（图 1.51）。



明细栏			
序号	名称	数量	材料
1	身体	1	代木板或松木板（板厚 20 mm）
2	腿	2	代木板或松木板（板厚 8 mm）
3	转轴	1	钢轴
4	转轴	1	钢轴

图 1.51　图纸和数据

微信公众号：电子课本大全

任务二：绘制加工图

在 A4 纸上，严格按照比例绘出袋鼠的图样（鼠身、鼠腿），如图 1.52 所示。如果是 1：1，可直接复印；也可在三维 CAD 软件环境中建立一个袋鼠模型，并利用数控机床或 3D 打印机快速而精确地加工出来。

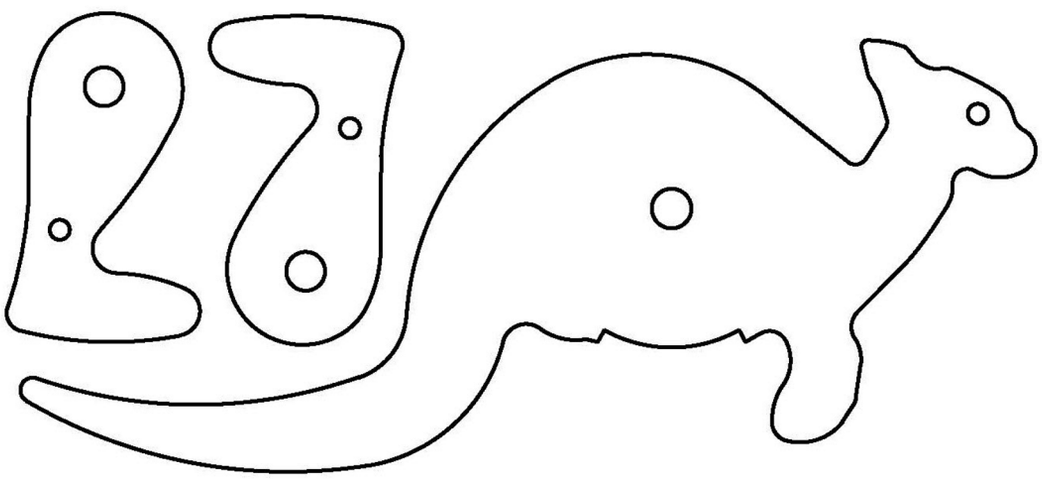


图 1.52　设计放样图（可以 1：1 复印后粘贴在加工板材表面）

任务三：模型制作

袋鼠模型制作步骤如图 1.53 所示。

（1）如果已有自己的三维模型，请生成二维图纸并打印出放样图；如果没有使用软件建模，可以按 1：1 比例扫描或复印图 1.50 的设计放样图并打印出来，将打印纸贴在木板表面并沿轮廓线切割加工（图 1.53a）。

（2）在钳工台上夹持住袋鼠工件进行整形及打磨处理（图 1.53b），保证外形的光滑，减少运动摩擦。

（3）使用钻床进行打孔，将加工完成的袋鼠身体、腿和钢轴进行组合，滴加少量 502 胶水固定钢轴和腿（图 1.53c）。为了减少身体和腿的摩擦力，建议使用薄的垫圈。

（4）如果想美化模型外观，可以将袋鼠身体和腿分别喷漆，然后再装配（图 1.53d）。



a. 沿图样的轮廓线用曲线锯切割袋鼠外形

图 1.53　袋鼠模型的制作过程

微信公众号：电子课本大全




b. 对袋鼠外表面进行打磨和整形




c. 在钻床上钻孔后安装腿并固定钢轴




d. 表面喷漆，干燥后用不同坡度的斜面测试运动性能

图 1.53（续）　袋鼠模型的制作过程

任务四：测试与评价

完成制作后请在斜坡上进行测试，注意斜坡的坡度是可调整的，目的是获得最佳的跳跃效果。

请同学们根据设计要求和测试结果，参照表 1.7 对自己小组和其他小组的作品进行评价。

表 1.7　袋鼠模型评价表（自评与他评）

评价项目	1 组	2 组	3 组	4 组	5 组	6 组
功能						
美观						
安全						
总体评价						

注：评价按 A、B、C、D 四个等级划分。

任务五：设计优化

基于测试和评价结果，请同学们对自己的设计方案进行改进，优化并完善你的设计。

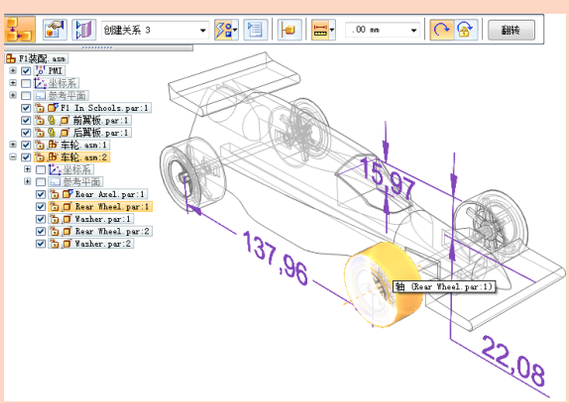
微信公众号：电子课本大全

活动延伸

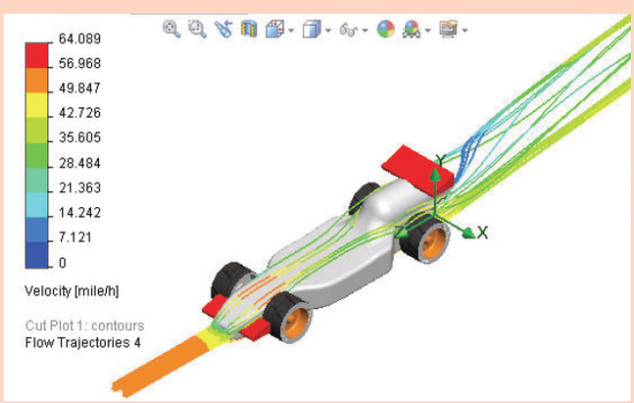
赛车模型设计与制作

这是一个 STEM（科学、技术、工程、数学）项目，综合了多学科知识。它要求能够应用流体力学中的伯努利方程来分析车身结构形状、前后翼形状设计对车辆动力学性能的影响，并在三维 CAD/CAM/CAE 环境中建立空气流体与车身相互作用仿真模型，分析预测赛车模型的运动性能，还要利用数控机床和 3D 打印技术进行原型加工，并完成赛车制作。

如果学校有适用的三维 CAD 软件、数控机床及 3D 打印机，则可以先到网站上下载教程、项目设计图纸、模型和加工程序，从而完成三维建模及装配（图 1.54a）、虚拟流体力学分析（图 1.54b）、数控机床加工（图 1.54c）和原型产品装调与涂装（图 1.54d）。



a. 三维建模及装配



b. 流体力学分析



c. 数控机床加工



d. 装调与涂装

图 1.54　赛车模型的数字化设计—仿真分析—数控加工—原型涂装过程

微信公众号：电子课本大全

第四节　经典结构赏析

学习目标

1. 初步学会从技术角度来评价结构设计。
2. 能够从文化美学角度来欣赏结构外形。
3. 提高技术设计中的文化素养和审美情趣。

在评价结构设计时，我们要学会将结构技术的科学美与视觉构图的艺术美结合起来。结构形式的要素就是功能（满足用户需求）、效率（最少量材料）、经济（最低的成本）和美观（最大限度地表现出美）。这些要素构成了当代文明生活的基础。

建筑被誉为凝固的音乐，一座建筑往往能反映出其历史时期工程技术和社会文化的水平，是人类智慧和劳动的结晶。

一、结构欣赏 1——山西应县木塔

我国古代房屋多采用木框架承重、木质楼盖及砖砌墙壁，结构形式类似于现代建筑结构形式。山西应县木塔（图 1.55）是中国现存最高的古代木构塔式建筑。它建于 1056 年，建在 4 m 高的两层石砌台基上。木塔通高 67.31 m，底层直径约 30.27 m，平面为八角形，五层六檐，但是塔内夹有暗层四级，实为九层。塔内各层均用内、外两圈木柱支撑，每层外有 24 根木柱，内有 8 根木柱，木柱之间使用了许多斜榫、梁、枋和短柱，组成不同方向的榫卯连接木架，将整个塔连接为一个整体，既坚固又壮观。塔建造至今已有近千年历史，经历了几次大地震仍巍然屹立。它是建筑结构、功能及造型艺术的典范之作，是中国古代建筑史上的一大奇迹。



图 1.55　山西应县木塔

阅读材料

斗拱结构

斗拱结构是中国古建筑特有的一种结构，在立柱和横梁交接处，从柱顶上一层层探出呈弓形的承重结构叫作拱，拱与拱之间垫的木块叫作斗，斗上加拱，拱上加斗，层层叠加，起到支撑作用。

图 1.56 所示为中国古建筑斗拱结构图。斗拱在中国古建筑结构上主要有四个方面的作用：

（1）它位于柱与梁之间，由屋面和上层构架传下来的载荷要通过斗拱传给柱子，再

微信公众号：电子课本大全

由柱子传到基础结构。因此，它起着承上启下、传递载荷的作用。

（2）它向外出挑，可把最外层的桁檩挑出一定距离，使建筑物出檐更加深远。

（3）它构造精巧，造型美观，如盆景，似花篮，又是很好的装饰性构件。

（4）斗拱采用的是榫卯连接方式。榫和卯咬合，起到连接作用。研究证明，用斗拱把屋檐质量均匀地托住，能起到平衡、稳定、抗震的作用。

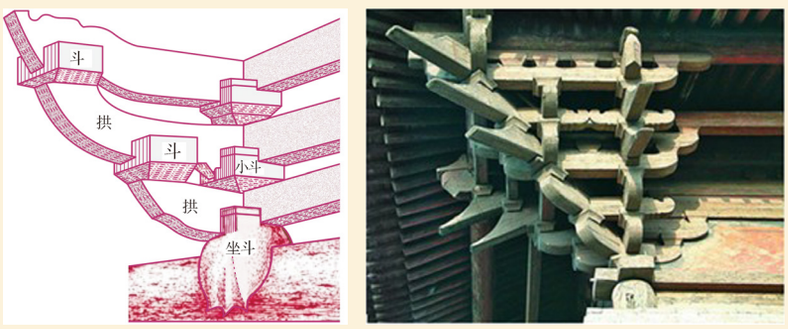


图 1.56　中国古建筑的斗拱结构

实践与体验

孔明锁 3D 打印

孔明锁（又称鲁班锁）的设计起源于古代中国建筑中独创的榫卯结构，相传是三国时期诸葛亮根据八卦学的原理发明的一种智力玩具，曾广泛流传于民间。请同学们从网上收集这种三维拼插结构的智力玩具图形，在三维 CAD 软件中完成榫卯零件的尺寸形状设计和装配啮合建模，并最终完成 3D 打印（图 1.57），从而了解中国古代榫卯结构的科学原理和工程应用价值。

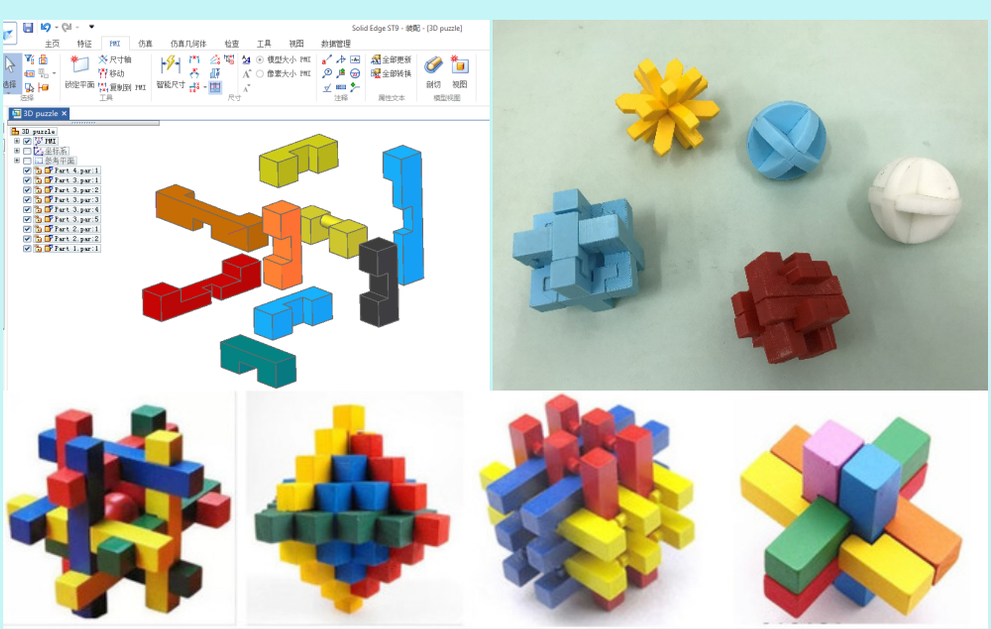


图 1.57　使用三维 CAD 软件进行孔明锁的建模与 3D 打印

微信公众号：电子课本大全

二、结构欣赏 2——悉尼歌剧院



图 1.58　悉尼歌剧院

1973 年落成的悉尼歌剧院（图 1.58），是建在海边的一座新颖奇特的建筑，是由丹麦建筑师伍重设计的。它的外形像一支扬帆出海的船队，又像海滩上洁白的大贝壳，里面有音乐厅、剧院、图书馆、展览馆、餐厅等，在周围海景的衬托下，显得十分和谐、美丽，被誉为当代建筑史上的一件“稀世之作”。

设计师当时考虑要使人们从四面八方都能看到这座建筑，不仅可以从海面上、陆地上、街道上、大桥上看到它，也可以从悉尼港南北两岸的高层建筑上看到它，还可以从经过悉尼上空的飞机上清楚地看到它。因此，它不仅应该有东、南、西、北四个漂亮的立面，还应该有第五个从上面看下来的漂亮的立面。倘若采用一般歌剧院的形式，则无法避免在舞台的上方设置一个方方正正、单调沉闷的起吊布景用的台箱，并且突出在整个剧院的最高处。于是设计师为歌剧院设计了三组既像贝壳又像白帆的屋顶。这个设计方案虽然被选中，但是在实施时遇到了不小的困难。由于这种造型奇特的薄壳结构在方案设计阶段仅仅是源于一时的灵感，没有考虑结构受力和施工方法，而经过科学计算，原先粗估的壳顶厚 10 cm，底部厚 50 cm，如此巨大的薄壳根本无法实现。工程师们一直设想以各种形式的薄壳来解决问题，比如抛物线薄壳、带筋的薄壳、双层薄壳等，还做了各种模型试验，结果全都失败了，最后不得不放弃单纯的薄壳形式而代之以预应力 Y 形、T 形钢筋混凝土筋骨拼接的三角瓣壳体。经过长达 6 年的计算、试验与施工，歌剧院终于落成。悉尼歌剧院已经成为悉尼港的象征，在碧海、蓝天、绿树的衬托下显得美丽动人，既富有诗意又充满浪漫色彩。这个例子，也说明了工程师在设计过程中，一定要考虑工程实施中的制造工艺问题。如果考虑不周，会给后续的施工带来很大的困难。

三、结构欣赏 3——港珠澳大桥

港珠澳大桥是连接香港、澳门和珠海的超大型跨海通道，全长 55 km，主跨 460 m 的“双塔空间双索面钢箱梁斜拉桥”是大桥全貌最具特色的标志（图 1.59）。港珠澳大桥是粤港澳三地首次合作建设的大型跨海交通工程，对促进香港、澳门和珠江三角洲西岸地区经济的进一步发展具有重要的战略意义。港珠澳大桥于 2009 年 12 月 15 日动工，2018 年 10 月 24 日正式通车。

港珠澳大桥是当今世界规模最大、标准最高、最具挑战性的跨海桥梁工程之一，是中国从桥梁大国走向桥梁强国的里程碑之作。

（1）港珠澳大桥的海底隧道长约 6.7 km，由 33 节钢筋混凝土结构的沉管对接而成，是世界上最长的沉管海底隧道。

（2）整个大桥的桥面铺装工作堪称世界范围规模最大，铺装历时一年，总铺装面积

微信公众号：电子课本大全

达 70 万平方米。

（3）大桥的主梁钢板用量达 42 万吨，约可建造 60 座埃菲尔铁塔或 10 座“鸟巢”。

（4）针对大桥跨度大、地势复杂的特殊工况，大桥建设者自主研制出世界最大尺寸的高阻尼橡胶隔震支座，可抵抗 16 级台风、8 级地震及 30 万吨巨轮撞击，好比为港珠澳大桥安装了“定海神针”。



图 1.59　港珠澳大桥

活动延伸

参观本地具有民族文化特色的建筑，感受经典结构的魅力。

本章小结

结构无处不在，结构普遍存在于自然、社会、技术等领域。结构是指事物各个组成部分之间的有序搭配和排列。结构的多样性决定了事物的性质和形态。

从力学角度讲，结构是指可承受一定载荷和应力的架构形态，可以抵抗能引起形状和大小改变的力。结构构件的基本变形形式有拉伸、压缩、剪切、扭转、弯曲。常见的结构有桁架结构、薄壳结构、实体结构。不同的结构类型受力特点不同。结构的稳定性和强度相互影响，相互联系。影响结构稳定性的主要因素有支撑面大小、形状和重心位置等。影响结构强度的主要因素有结构的形状、结构使用的材料和结构的连接方式等。

结构构件的五种受力变形形式、结构类型，以及结构的强度和稳定性等是进行结构设计必须关注的问题。结构的稳固、简约、和谐、美观是结构设计不变的追求。从结构的实用性、牢固性、美观性和文化性等角度去欣赏经典结构，感受经典结构的魅力。

微信公众号：电子课本大全

学习评价

评价内容			评价方式		
			自我评价	小组评价	教师评价
过程评价	师生互动	能积极思考老师提出的问题			
		能基于已有经验构建新的知识			
		能积极参与课堂讨论			
	实践活动	积极参与技术实践活动			
		与小组成员有效合作			
		在实践中提出创造性的构思			
		探究薄壳结构的承重能力			
		体验构件的五种不同的受力形式			
		探究使构件弯曲形变的内部作用力			
		探究影响结构稳定性的三个因素			
		测试不同截面形状的构件做成的简支梁的强度			
		桥梁模型（手机支架、创意玩具）的设计与制作			
结果评价	目标实现	知识学习			
		迁移应用			
		桥梁模型（手机支架、创意玩具）的设计图			
		桥梁模型（手机支架、创意玩具）的作品			
	收获反思	收获感悟，反思不足			
		能够将所学知识迁移到其他领域并加以应用			

微信公众号：电子课本大全

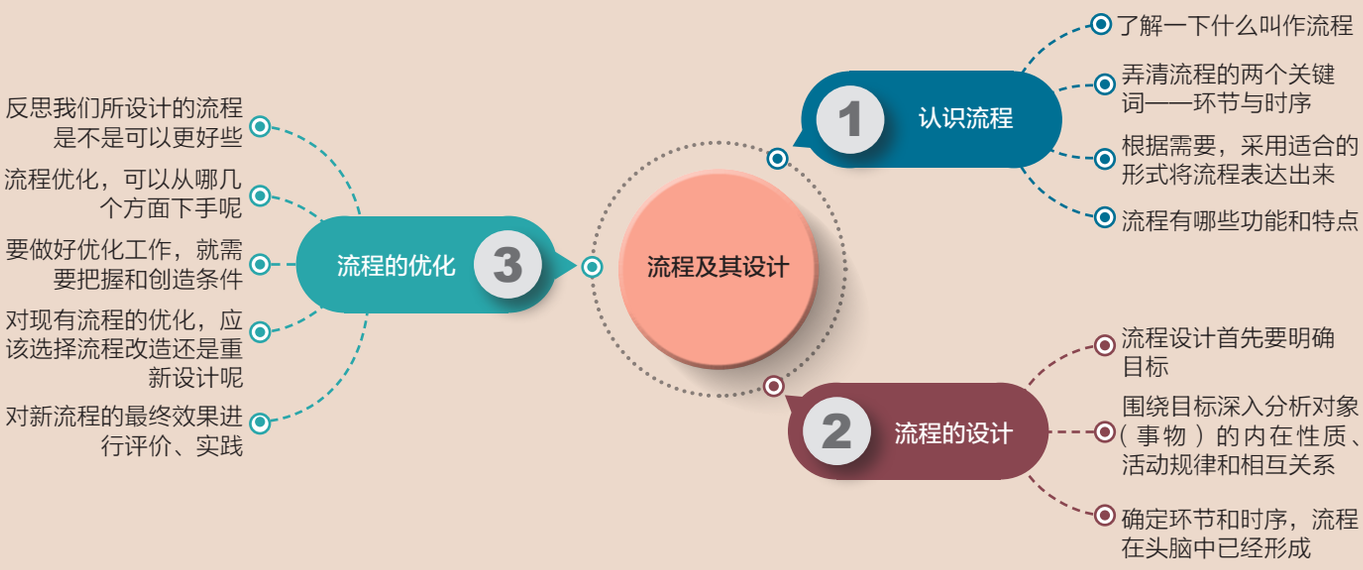
第二章
流程及其设计

导　言

同学们早晨由家里来到学校，在学校上完了数学、语文、地理、英语、体育等课程，又回到家中。可以说，你们完成了今天在校学习的过程。你们是否知道，描述这个过程还可以说：你们完成了一天在校学习的“流程”。流程在我们的工作和生活中几乎无处不在。我们所做的任何事情都可以划分成一些更小的事情，都有一个先做什么、再做什么、最后做什么的顺序，这就是按照一定的流程做事情。事物是作为过程向前发展的，因此，工作、生活中的很多事件以及产品的生产过程，都可以理解为流程，只不过我们不经常用“流程”这个术语来表达。

事物的发展是有其内在性质、活动规律和相互关系的。本章在介绍流程、环节、时序等基本概念的基础上，将进一步讨论流程设计中应考虑的基本因素及流程优化过程中应考虑的主要问题。通过本章的学习，同学们应能够理解流程的含义及其对工作、生产及生活的意义，能够初步分析设计对象的性质、活动规律和相互关系，画出所设计流程的流程图，并能对生产或生活中的简单对象进行流程设计和改进。

思维导图



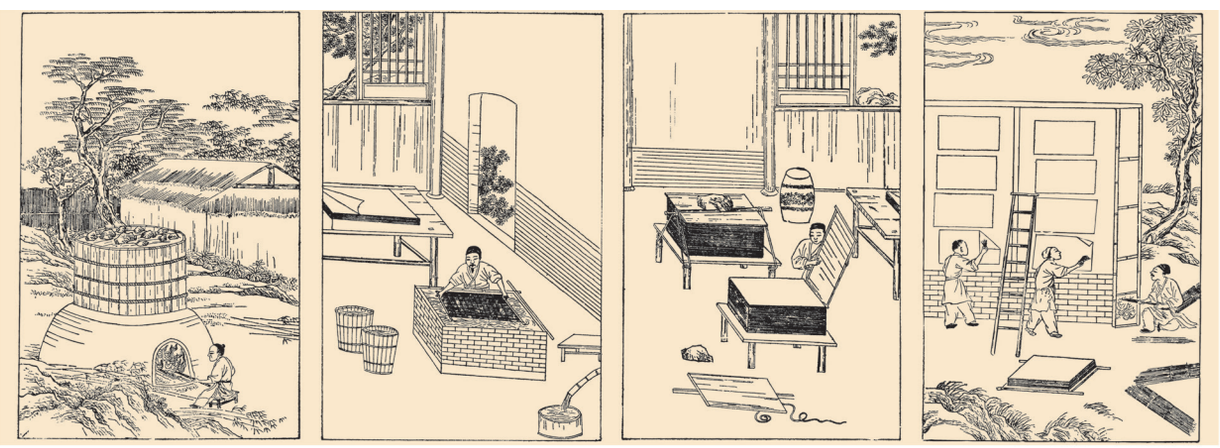
微信公众号：电子课本大全

第一节　认识流程

学习目标

1. 理解流程的含义及流程对工作、生活的意义。
2. 理解流程中的环节与时序的意义。
3. 学会阅读和绘制简单的流程图。

大家都知道，造纸术、指南针、火药及印刷术是中国古代的四大发明。其中，与我们学习关系最密切的是造纸术和印刷术。造纸的过程就是一个典型的生产工艺流程（图 2.1）。



a. 煮楻足火　b. 荡料入帘　c. 覆帘压纸　d. 透火焙干

图 2.1　造纸的工艺流程

一、流程的含义与表达

（一）什么是流程

流程一词来源于英文单词“process”，有时也译作“过程”。对于流程的定义，各家所言各有不同，这是因为他们所处的行业和视角不同。在管理学中将流程定义为一组将输入转化为输出的相互关联或相互作用的活动。在工业生产中将流程定义为从原料到制成品各项工序安排的程序。一般可以将流程理解为：一系列按照一定顺序进行的活动的组合（图 2.2）。

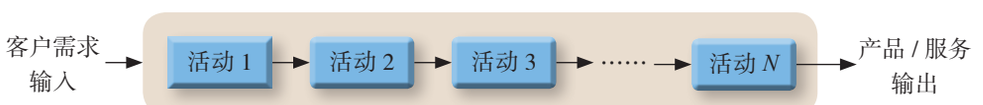


图 2.2　流程示意图

微信公众号：电子课本大全

（二）流程中的环节与时序

1. 环节

环节是指事件在发展的过程中，依据某种特征或方式把它分解成的若干个小的过程。上述的每一个“活动”，就是流程中的一个环节。换句话说，流程是由一个个环节组成的。

一个事件可以分解成若干个环节，一个环节又可以分解成若干个“子环节”，子环节还可以再分解，直至可以简单顺利地完成这个环节的工作为止。如果这个环节经常发生问题，那么就有必要把这个环节看作一个“子流程”，进一步地研究分解下去。

例如，把快递看作一个事件，它是按照一定的流程运作的（图 2.3）。首先由业务员上门收取将要寄出的物品和费用（也可在网上提前下单支付费用），然后交到公司，再按快件派送的目的地将快件分类，选择合适的运输方式将其送到目的地。如果快件是送往本地的，便直接由本地分公司 A 快递员送达；如果是运往外地的，就交到目的地附近的分公司 B，然后由那里的业务员派送。每一个业务员都有自己派送的范围，送件上门，因此快递公司的效率很高。快递的基本工作可以分解为取件、分拣、配送三个环节。如果在分拣环节上经常出问题，多次出现分拣错误，就应该研究一下分拣的流程，进一步细分为国外分拣、国内分拣、省内分拣、本市分拣等环节。这些工作本来是存在的，只不过原来没有明确为环节。

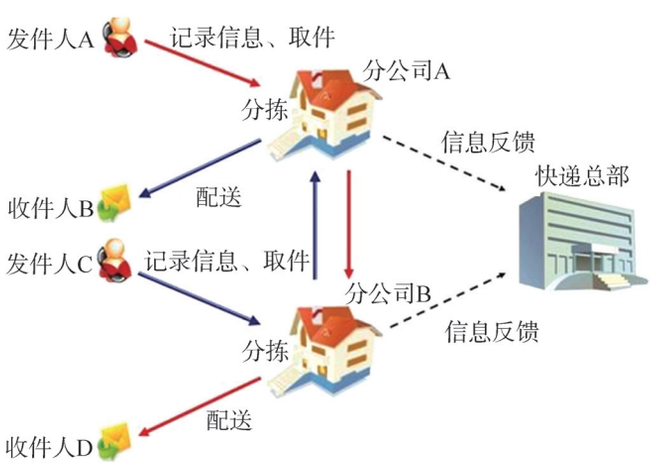


图 2.3　快递公司的工作流程

其中，快递公司的基本工作流程为：发件人发件→快递员记录信息、取件→分拣→运送→快递员配送→收件人收件。其中每个环节可根据需要划分为更小的“子环节”。

2. 时序

进行任何一项生产和生活活动都有一定的时序。时序是指随时间变化的发展经历，也就是“活动”的先后顺序，它体现的是具体活动内容的先后关系。这种先后关系有的是不可倒置的。不可倒置的时序往往反映出事物活动的规律和内在变化的机制。如上例中的快递工作流程，必须是先收取快件，再分拣、运输和配送，次序不能颠倒。又如，人们比较熟悉的合成氨的生产工艺流程，如图 2.4 所示。首先利用适当的方法生产大量合成氨的原料——氮气、氢气及氮气和氢气的混合气体，在合成塔内约 500 ℃高温、20 MPa 压力下，

微信公众号：电子课本大全

通过催化剂的作用产生氨气，再通过氨分离器不断地把生成的氨分离出来，同时未转化的反应气体又进入合成塔循环加工。

在此流程中，存在氮气和氢气的混合，以及氨的合成、分离、循环这几个主要生产环节，它们的时序是不可倒置的。

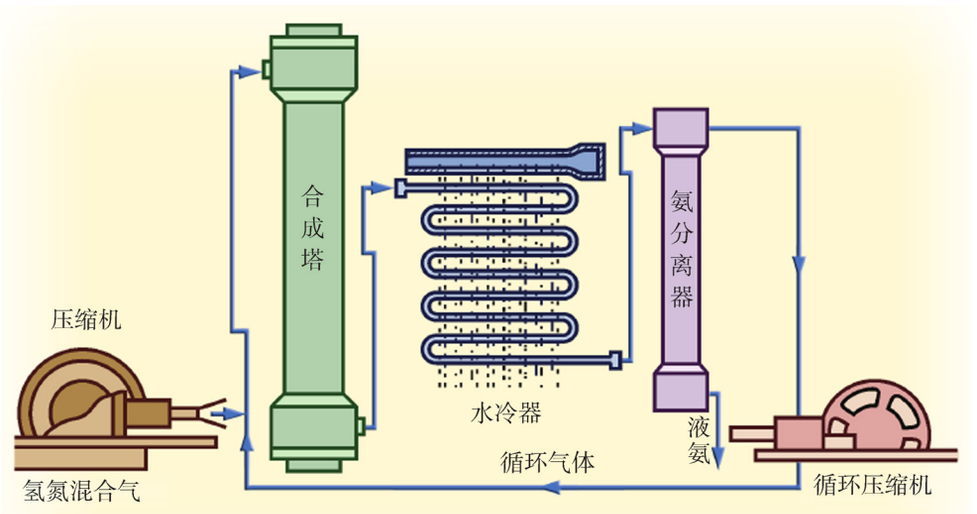


图 2.4　合成氨的生产工艺流程

然而也有一些活动的时序是可以颠倒改变的。如铣削加工一个四棱柱形状零件，有 A、B、C、D 四个长方形表面，先加工哪一个表面都可以，由操作者选择比较平整的表面作为工艺基准进行加工即可（图 2.5）。

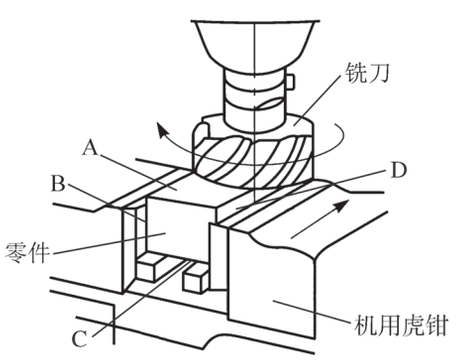


图 2.5　铣削加工零件示意图

做中学

拆解、拼装孔明锁

【目的】

探究拆解、拼装孔明锁的流程。

【准备】

孔明锁（图 2.6）。



图 2.6　孔明锁

微信公众号：电子课本大全



图 2.7　孔明锁组成部件

【步骤】

1. 拆解孔明锁，观察各组成部件的结构特点（图 2.7）。分析拆解流程包括哪些环节。

2. 尝试将孔明锁重新拼装起来，分析流程的时序应该如何排列，并写出拼装流程。

3. 尝试改变拼装流程的时序，是否还能完成拼装过程？

【思考】

回顾拆解、拼装孔明锁的过程，想一想：不合理的流程会影响拆装进程吗？

（三）流程的表达

为了使做事的过程清晰可见，我们需要用恰当的方式来表达流程。

1. 流程的常见表达形式

流程的表达有多种形式，常见的有图形、表格、文字等。

（1）图形。流程图是将一个过程（如生产过程、试验方法、质量改进过程等）的环节用图的形式表示出来的一种图示技术。通过对过程实际情况的详细了解，以及对一个过程中各步骤之间关系的研究，通常能发现问题的潜在原因，从而知道哪些环节需要改进。流程图既可以用来描述一个现有的过程，也可以用来设计一个新的过程。

生产生活中，经常需要读懂流程图，简单的有公共汽车或地铁线路的上行、下行流程图；复杂一些的有发电厂或化工厂的生产工艺流程图，以及军营里的作战流程图，要了解生产情况或作战部署，就要读懂这些图。

如图 2.8 所示的网络购物流程，是一种用图形表达的形式。这种形式具有形象活泼的优点，缺点是绘画过程比较复杂。

微信公众号：电子课本大全



图 2.8　网络购物流程

（2）表格。表格是零件加工或机器装配的常用表达形式，它的主要特点是过程严谨明确。零件加工要按照规定的程序进行，零件加工流程中的环节称作工序。例如，带键槽的阶梯轴（图 2.9）加工工艺流程可以表示为：车削端面，钻顶尖孔→粗车各外圆，半精车各外圆，倒角→钳工画键槽线→铣键槽→磨各外圆→去毛刺→检验。

为使图 2.9 所示的阶梯轴零件的加工流程更加严谨明确，可以使用表 2.1 的形式来表达。

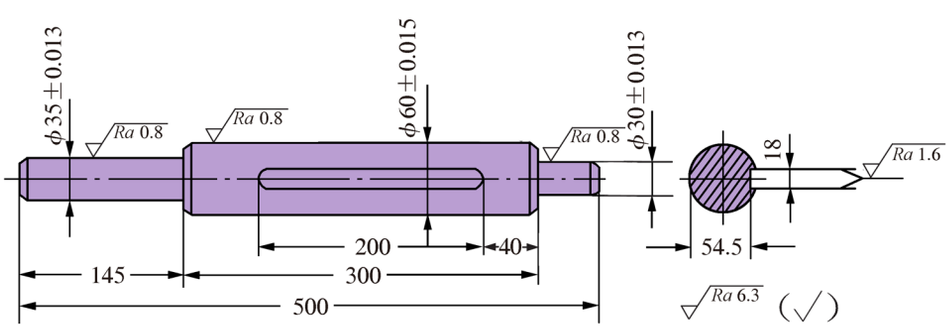


图 2.9　阶梯轴零件

表 2.1　阶梯轴零件的加工流程

工序	工种	工序内容	工作地点
0	车	车削端面，钻顶尖孔	卧式车床
5	车	粗车各外圆，半精车各外圆，倒角	卧式车床
10	钳	钳工画键槽线	钳工工作台
15	铣	铣键槽	立铣或键槽铣床
20	磨	磨各外圆	外圆磨床
25	钳	去毛刺	钳工工作台
30	检	检验	检验台

微信公众号：电子课本大全

（3）文字。根据需要，有时也可以完全用文字来表达流程。好的文字表达同样可以做到严谨明确。

制材工业是木材加工工业中最大的产业，制材是把原木锯解成板材、方材、枕木等锯材的工艺过程。请看下面一段说明“制材”流程的文字：

原木储存在露天仓库、水上作业场（水运）或原木楞场（原木存放场，陆运），在那里完成验收、出河（陆运为卸车）、造材（原条到材时有此作业）、选材、归楞，以及进车间前的工艺准备作业，包括原木预先区分（指按锯材的用途、规格挑选一定尺寸、等级的原木）、调头（把原木调整到小头进锯，以保证看材对线下锯）、截断（长原木一般在锯解前不截断，但对尖削度大或弯曲的原木要考虑截断），以及剥皮、整形、冲洗及金属探测等。然后，用运输链把原木送进车间，按原木锯剖、半成品再剖分、毛边板裁边、材头截齐等工序完成全部工艺流程。

2. 一般流程图的绘制

流程图中最常用的形式是框图，因为这种形式简单明了。图 2.10 给出了绘制框图的常用符号，利用这些符号，可以方便地绘出流程图。图 2.11 就是用框图形式表达的以产品为中心的企业业务流程图。

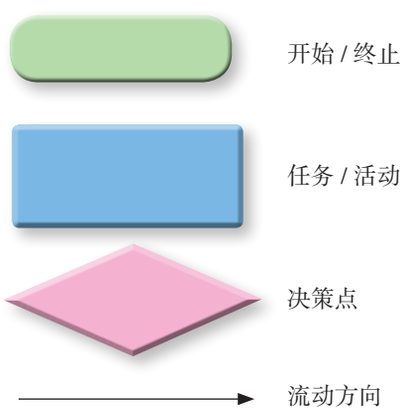


图 2.10　绘制框图的常用符号

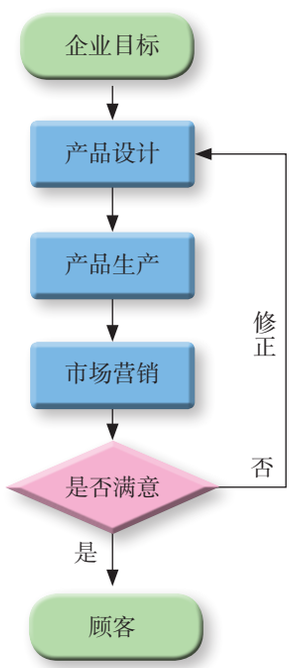


图 2.11　以产品为中心的企业业务流程

去医院找大夫看病是大家比较熟悉的活动。试试看，你能否画出去医院看病的流程图，给第一次看病的患者提供方便。

根据经验，一般患者去医院看病的大致过程是这样的：来到医院，先在挂号处挂号，然后到候诊室等候；等到分号护士或电子排队叫号系统叫到患者的号时，患者便走进指定的诊室看病；医生对患者进行了详细询问和检查（诊病），找到了患者的病因，根据病情对症治疗并开出处方；患者走出诊室拿着处方先去收费处交费，然后去药房取药；取药后离开医院（图2.12）。

微信公众号：电子课本大全

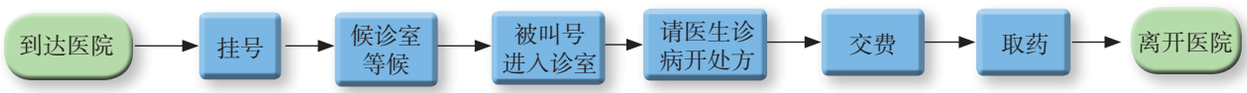


图 2.12　患者看病的流程

通过绘制患者看病的流程，可以总结出绘制流程图的步骤：

（1）根据流程的目标，确定该流程图的起点和终点。

（2）明确流程的环节（活动）及各环节之间的关系和时序。

（3）正确选择绘制流程图的符号。

（4）绘制并审核流程图。

流程图可以采用图 2.11 所示的纵向排列形式，也可以采用图 2.12 所示的横向排列形式。



实践与体验

海水淡化的流程

人类的生存离不开水，地球上虽然有大量的水，但能为人类所利用的淡水却少得可怜。我国淡水资源人均占有量只相当于世界人均占有量的 1/4。当我们为缺水而感到困扰时，自然便将目光投向总量远比淡水多的海水。

目前，全球海水淡化技术超过 20 种，主要采用的是两类方法，即反渗透法（膜法）和蒸馏法（热法）。

反渗透法是首先将海水提取上来，经过过滤器初步处理，降低海水浊度，防止细菌、藻类等微生物的生长，然后用特种高压泵增压，使海水进入反渗透膜，经过反渗透膜处理后的海水，其含盐量大大降低。产出的淡水可加以利用，不能用的浓水则排回海里，其淡化过程如图 2.13 所示。反渗透法适用面非常广，且脱盐率很高，淡化后的水质甚至优于自来水，因此可广泛供给工业、商业、生活，或船舶、舰艇使用。

蒸馏法是将海水加热，使其中的水变成蒸汽，再让蒸汽冷凝下来。由于海水中所溶的盐类不会随着蒸汽蒸发出来，因此得到的水就是蒸馏水。如同海水受热蒸发形成云，云在一定条件下遇冷形成雨，而雨水是不带咸味的。蒸馏法虽然是一种古老的方法，但技术仍在不断地改进。这种方法主要用于特大型海水淡化处理，在热能丰富的地方更具优势。

请同学们根据以上介绍，并结合对海水淡化的调查了解，完成以下活动：

任务一：画出“反渗透法”海水淡化的流程框图。

任务二：参考如图 2.14 所示的方法，实际操作一下用“蒸馏法”进行海水淡化的流程（海水可用盐水代替）。

任务三：品尝对比一下海水（盐水）淡化前后的味道。

微信公众号：电子课本大全

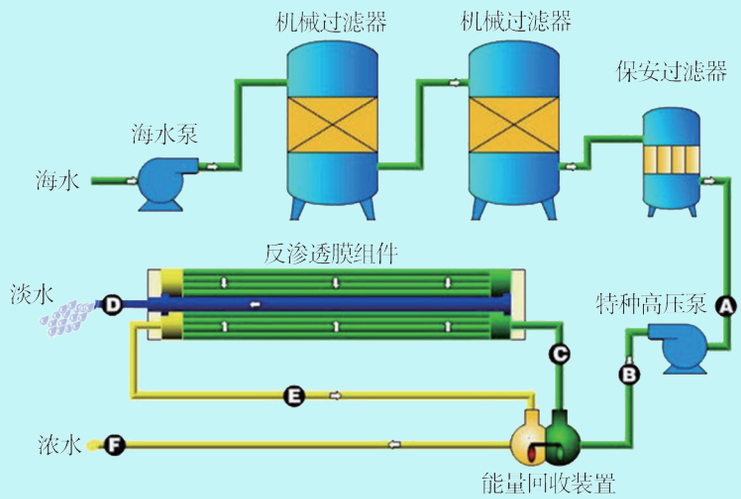


图 2.13　“反渗透法”海水淡化过程

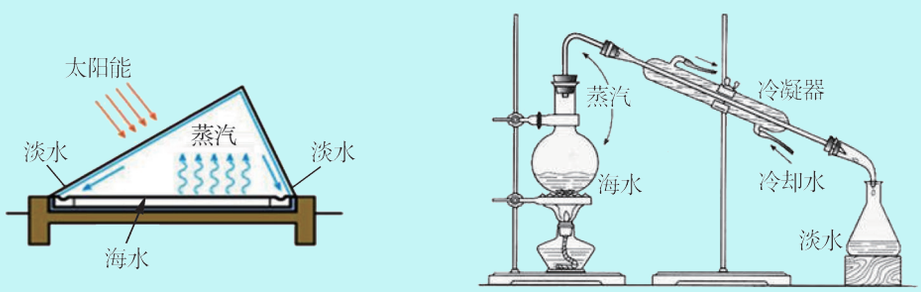


图 2.14　利用“蒸馏法”进行海水淡化

二、流程的特点与功能

（一）流程的特点

流程广泛存在于人们的生产和生活之中。领域不同，流程的种类也不同。只要认真观察和思考，不难发现，流程的种类虽然很多，但都具有一些共同点。

（1）目标性。流程有明确的目标或任务（明确的输出），如物品的送达、产品的生产或一次满意的客户服务等。

（2）内在性。流程包含于任何事物或行为中。这些事物或行为都可以进行同样的描述：输入资源→中间系列活动→输出结果→创造价值。

（3）整体性。流程至少由两个活动（环节）组成，仅仅一个活动（环节）不能成为流程，至少有两个活动（环节）才能建立结构或关系，才具有整体性。

（4）动态性。流程是按照一定的时序关系展开的，由一个活动到另一个活动，是运动的和变化的。

（5）层次性。组成流程的活动本身也可以是一个流程，称为子流程，子流程还可以继续分解为若干活动，依此类推。

（6）结构性。流程结构可以有多种表现形式，如串联、并联、反馈等。不同的结构

微信公众号：电子课本大全

形式，对输出效果有很大的影响。如管接头零件由套筒和带孔的盘体两个部分组成，加工时分为四道工序（图 2.15）。

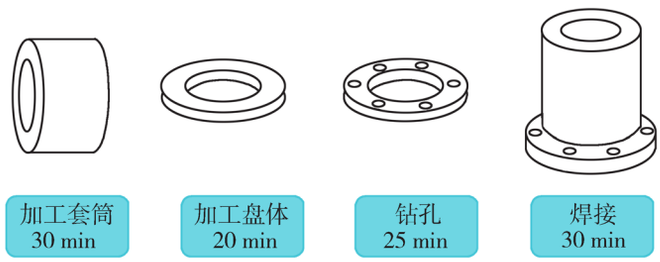


图 2.15　加工管接头零件的工序

在生产中，这四道工序可以分别采用串联结构、并联结构两种作业方式（图 2.16）。

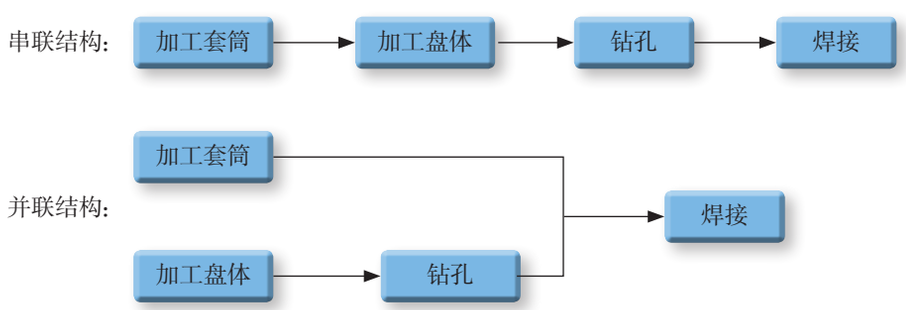


图 2.16　流程的串联与并联结构

可见，采用串联结构的作业方式，是完成了一道工序后再去完成下一道工序，所用的总时间要长一些；采用并联结构的作业方式，是两道工序同时进行，所用的总时间要短一些，生产效率要高一些。一般来说，并联结构的作业方式在成本和人员投入方面要多于串联结构的作业方式。在实际生产中，采用哪种作业方式需要考量生产批量、技术条件等因素后决定。批量生产一般采用并联作业方式。

阅读材料

并行工程

并行工程（concurrent engineering）是对产品设计及其相关过程（包括制造过程和支持过程）进行并行，是集成化处理的系统方法和综合技术。它要求产品开发人员从一开始就考虑到产品全生命周期内各阶段的因素，包括质量、成本、进度计划和用户要求。并行工程的目标为提高质量、降低成本、缩短产品开发周期和加快产品上市时间。并行工程强调各部门的协同工作。并行工程的具体做法：在产品开发初期，组织多种职能协同工作的项目组，使有关人员从一开始就获得新产品的信息，积极研究涉及本部门的工作业务，并将所需条件提供给设计人员，使许多问题在开发初期就得到解决，从而保证设计的质量，避免大量返工造成的浪费。

微信公众号：电子课本大全

（二）流程的功能

流程作为完成一项任务或一项工作的全过程，具有多项基本功能。

（1）完成一定的目标或任务。流程是一个过程，这个过程需要视其对某项任务或工作目标的完成是否有作用而定，没有作用的流程应该被淘汰。流程是为保证完成一定的目标或任务而存在的。当任务与工作发生变化时，原来的流程就不再需要了，要进行流程改造，或者重新设置效率更高的流程。

（2）帮助分工。为提高效率和实现最终目标，一项比较复杂的工作往往需要进行分工。应用流程的概念可以帮助我们把这些工作按照内在逻辑划分为系列工作环节或工作步骤，再按照完成任务和目标的先后顺序组成一个高效、有序的工作流程。

（3）界定执行者的责任。把一项工作按照流程分割成一个个相对独立的工作环节（包括工作岗位和工作步骤），便可以界定每一个工作环节执行者的责任，确保整个流程功能的发挥，从而更有效地完成工作任务。

三、流程实例

（一）快餐配送流程

现在，由于大家的工作和学习都很忙，常常需要订购快餐。订餐人通常会通过网络下单并付费，说明要订的快餐种类及送达的详细地址；快餐店的工作人员接到订单后，按订单要求，写入订餐单（一式两份），并将订餐单交给配餐室；配餐室的配餐员按照订餐单配餐并装盒（打包）；配餐员将快餐交给配送员；配送员按照订餐单上的地址出发送餐；送达后订餐人收取快餐。

依上所述，快餐配送流程可表示为：接到订单→ 配餐→ 送餐→ 将快餐送达订餐人。

按照这个流程操作，既满足了顾客（订餐人）的需求，又保障了快餐店的工作秩序和收入。

（二）纯净水生产流程

目前，在我国瓶装饮用水市场上，主要有矿泉水和纯净水两种类型，它们的生产过程大同小异。首先，采用原水经过砂滤、活性炭过滤、软化和离子交换等预处理工序，再经过二级反渗透的工艺，得到的是已清除各种有害物质和致病菌的纯净水，同时配以紫外线、臭氧杀菌，及全自动密封灌装系统，从而生产出符合国家标准的桶装和小瓶装饮用水。如图 2.17 所示，桶装纯净水生产经历了增压、砂滤、活性炭过滤、精滤、一级反渗透、二级反渗透、杀菌保鲜、灌装等工艺过程。这个合理有序的生产流程保证了纯净水的质量。

微信公众号：电子课本大全

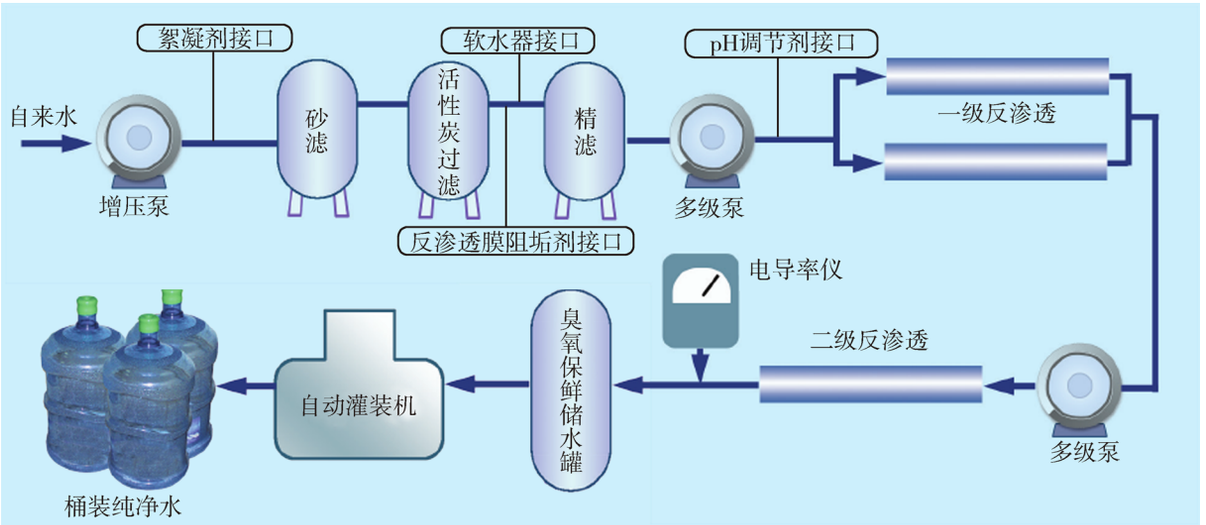


图 2.17　纯净水生产流程

活动延伸

1. 查阅资料，画出自制酸奶的流程图。
2. 画出利用 3D 打印技术打印相片框的流程图。
3. 查阅资料、咨询老师，画出从高考报名到录取的流程图。

第二节　流程的设计

学习目标

1. 能分析流程设计中应考虑的基本因素。
2. 能结合技术需求进行流程设计，并用流程图表达出来。

一家生产大头针的工厂，因为大头针小而且结构简单，开工之初没有进行分工，每个工人都单独工作。结果一个人一天最多只能生产出 20 枚大头针，有的人连一枚大头针也生产不出来。为改变这种状况，工厂经理决定进行分工：第一个人抽出钢丝，第二个人把它拉直，第三个人再把它切断……依此类推。这种程序使得 10 个人在一天内可以制造出 48000 枚大头针。由此人们得出了经验，生产大头针看似简单，但工序却不少，需要多人

微信公众号：电子课本大全

参与这项工作，并且要分工协作。既然要分工协作，就要设计出合理的流程。

我们了解了流程的目标、环节和时序等基本概念后，就可以自己练习设计流程了。

一、流程设计中要考虑的主要问题

（一）明确设计目标

任何一个流程设计，首先都应该确定具体的设计对象和功能目标。在设计工作流程时，往往把提升整体效率、完善管理体制、提升管理水平及增加现有相关工作流程的透明度作为设计目标。在设计生活流程时，会把节省时间、提高效率及实施方便作为设计目标。在设计生产流程时，一般把提高生产效率、产品质量、经济效益、管理水平，以及节省资源、安全生产等作为设计目标。

（二）流程设计中的基本因素

在工作和生活流程中，主要因素是各环节的时序问题。

在生产流程中，涉及的因素比较多，基本的因素可归结为人、机、料、法、环，即人员、机器设备、材料、工艺方法和规章制度、环境。上述因素在流程设计中具有密切的联系，如图 2.18 所示。



图 2.18　生产流程设计中的基本因素

（1）人员的技术水平和综合素质，对流程产生起决定性的影响。

（2）生产所用的机器设备的水平决定了流程的自动化水平，影响生产的质量和效率。

（3）不同的材料有不同的加工方法，材料是产品物化的物质基础。

（4）不同的产品有不同的工艺要求，生产中要遵守相应的规章制度，流程设计也会有所不同。

（5）流程设计要充分考虑环境对生产的影响以及防止生产过程中对环境造成污染等问题。

不同的行业有不同的特点，因此，流程设计应考虑的基本因素也会有所不同。如设计农业、林业生产流程时，还应考虑季节、气候、生态平衡等因素。

（三）流程设计中应该注意的问题

在流程设计中，以下问题应引起我们的特别注意：

（1）流程设计应关注执行者，而不是关注流程设计者。

（2）在流程设计初期，先建立相对简单且有条件实施的流程，充分保证流程执行的效率。在初步巩固流程执行的成果后，根据流程执行的情况及时调整。

（3）减少流程步骤。在设计流程时，可以先将获得输出结果所必须经历的活动列出，然后考虑流程正常运转需要哪些活动支持，把它们添加到流程中，避免流程中堆砌过多的执行活动。

（4）提高活动效率。流程是一系列活动，提高单个活动的效率（主要指时间方面），将有利于提高流程的整体效率。

微信公众号：电子课本大全

（5）流程模板化。将流程中例行性的工作模板化、表格化，一方面是使流程易读懂、易实施；另一方面是流程有模板支撑，能更好地确保流程结果的实现。

（四）流程设计的步骤

流程设计一般可按以下步骤进行，如图 2.19 所示：

（1）确定设计对象和功能目标。

（2）针对设定的问题目标及关键参数，收集数据和其他资料。

（3）进行流程设计分析，分析事物的内在性质、规律和相关因素，划分流程的环节，编排流程的时序。

（4）画出流程草图。

（5）在实施过程中进行检验、精简以使流程流畅、完整，最后画出正式的流程图。

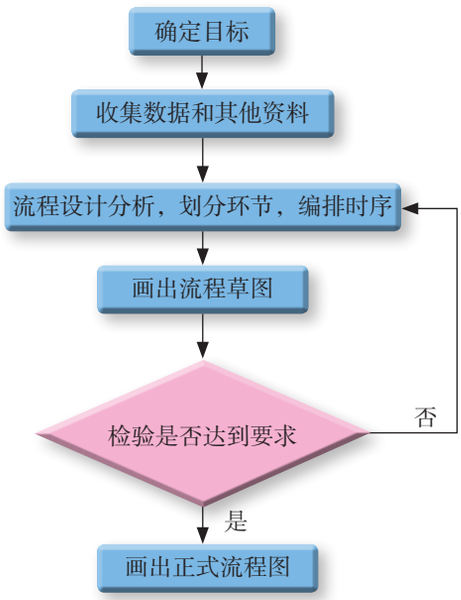


图 2.19　流程设计的步骤

阅读材料

机场的目标

A 机场和 B 机场同属一个管理机关，他们的共同目标是安全、准时地保障飞机飞行。A 机场的一架飞机出现严重故障，请求 B 机场派维修工程师增援，争取当晚修好。由于 A、B 机场是两个平行业务部门，经济上独立核算，B 机场考虑时间已晚，不如明早再去，可节省住宿费几千元。结果导致该飞机停运一天，损失上百万元。B 机场为自己的经济利益着想，导致全局受损，如图 2.20 所示。因此，目标确定后，要坚定不移地朝向目标努力，避免因为局部原因影响整体目标的实现。

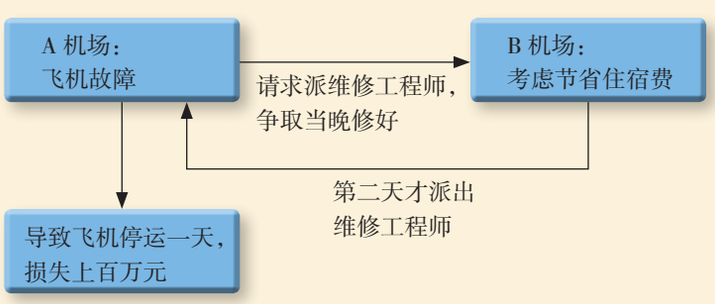


图 2.20　局部原因导致全局受损

二、流程设计的实例——远途配送公司的配送业务流程设计

图 2.21 所示为某配送公司的配送业务流程。配送的货物来自工厂（输入），配送的对象为客户（输出），配送的目的为获取服务效益。

微信公众号：电子课本大全

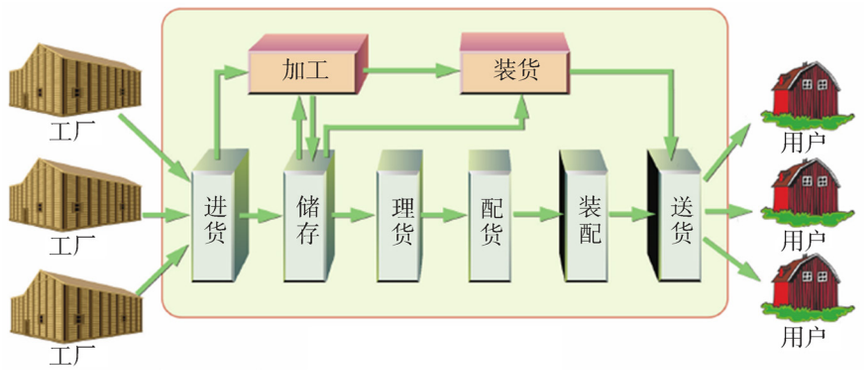


图 2.21　配送业务流程

（一）远途配送公司配送业务性质和功能分析

（1）配送：供应链管理中的物资（产品）配送，是根据顾客的需要，把所需物料配齐，按时、按质、按量送达指定地点。

配送是接近用户的资源配置的全过程；配送的本质是配货与送货；配送是一种“中转”形式的物流运动；配送是配与送的有机结合形式；配送是以用户要求为出发点的活动。

依据配送对象品种、数量的多少，可分为单品种大批量配送、多品种小批量配送、配套配送。

（2）配送网络：配送网络是由一定人员、物流设备与设施、资金等要素组成的，具有集货、储存、分货、配货、装配、运输等功能的物流中心，也称为配送中心。它是一个物资的集散场所，是一个物资服务型供应系统。物流中心的基本目标是高服务水平和低物流成本，两者是统一的整体。

高服务水平要求物流中心主动、全方位、全过程为用户服务，按质、按量、按时实施供应；低物流成本要求配送本身所需的各种费用最低，以减少总体成本。

配送网点布局合理，既要具备一定的覆盖面，又要有一定的辐射能力。

（3）仓储设备：用于保管和储存货物的仓库、场地和设施，如平房仓库、楼房设备、货架、装卸设备。

（4）自动分拣设备：由自动化输送机、机器人、重力货架及计算机控制系统等组成（图 2.22）。

（5）配送加工功能：为满足用户对物质不同形态的需求，充分利用资源，提高物流中心的经济效益，需要设立加工厂。

（6）贸易功能：配送中心可以使物流和商流紧密结合，成为既能承办物流又能进行期货交易的物贸中心。

（二）划分环节和编排时序

根据以上分析的配送性质和功能，将配送业务流程设计为六个环节：进货、储存、理货、配货、装配、送货。

进货是配送系统的输入，是从各生产企业或物资流通企业按用户需要品种大批量进货，以备齐所需物资。这是配送的起始工作。

微信公众号：电子课本大全

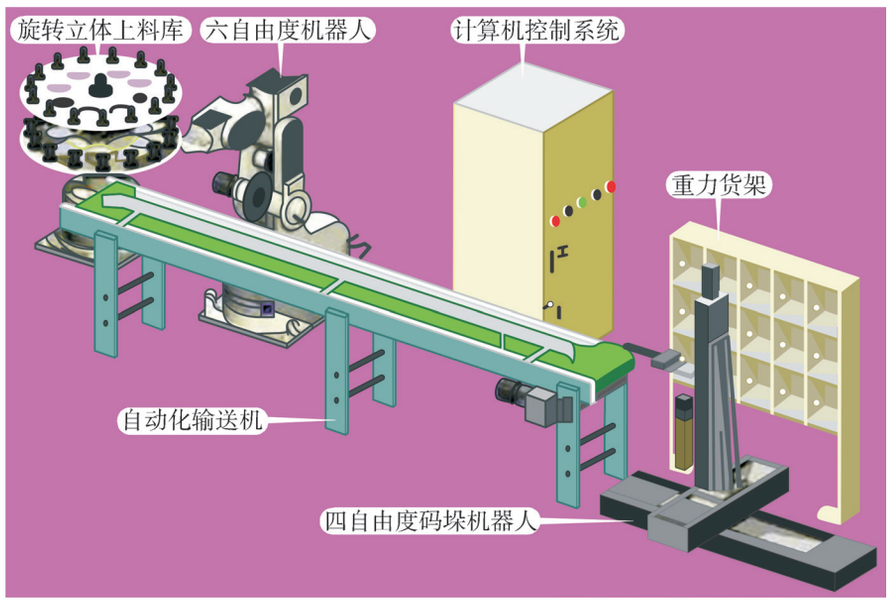


图 2.22　自动分拣设备

储存是为保障配送活动的连续进行，防止缺货所建立的一定的物资储备。

理货与配货是按用户的需要将储存物资分拣出来，将货物配齐，运至发货场所，进行必要的包装，做好装配。

装配是对多用户、多品种、小批物资的配送装车作业。

送货属于运输问题，配送系统必须具备一定的运输能力，及时将配送物资安全地送到客户手中。配送物资送达后，主要的配送活动也就结束了。

以上六个环节必须按照规定的时序进行。确定环节的主要依据是性质，确定时序的主要依据是规律，起于进货，终于送达，这就是配送业务的规律。时序对效率有着直接的影响。

（三）画出流程图

按以上分析，画出远途配送公司的配送业务流程图（图 2.23）。

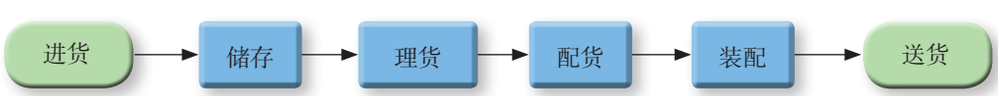


图 2.23　配送业务流程

实践与体验

纸提兜的制作流程

任务一：根据图纸（图 2.24），研究纸提兜的基本制作流程，画出流程图。

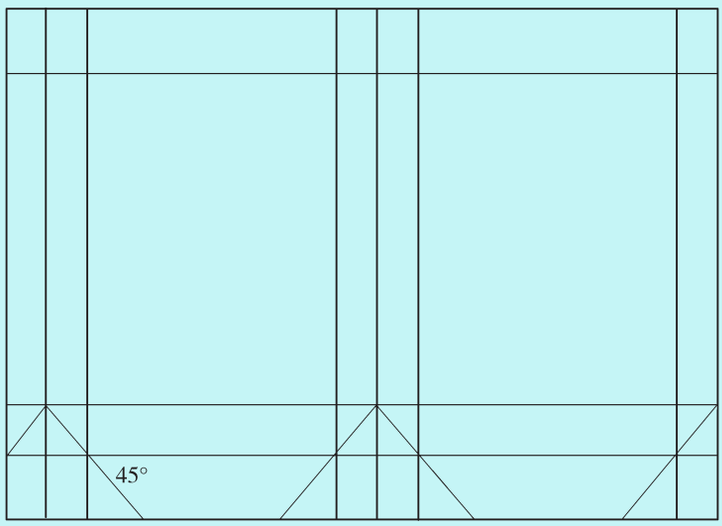
任务二：3 人一组完成 3 个纸提兜的制作。为了高效率、高质量地完成任务，为本组设计制作流程，画出流程图。

任务三：对比以上两个流程的不同之处，分析流程发生变化的原因。

微信公众号：电子课本大全



a. 半成品



b. 图纸

图 2.24　纸提兜的制作

活动延伸

1. 结合本班实际，设计大扫除的流程，画出流程图，通过实践检验该流程的实施效果。

2. 设计一次外出旅游，画出旅游行程的流程图。

第三节　流程的优化

学习目标

1. 能解释流程的改进与设备、材料等之间的关系。
2. 能概括简单生产流程优化过程中应考虑的主要问题。
3. 能对生活、生产中的简单对象进行流程优化。

我们无论做什么事情，总是希望达到最佳的效果。你学习了如何设计流程，就可以对生活、学习中的事项进行流程设计了。但是你会发现，最初设计的流程并不理想。在生产中，

微信公众号：电子课本大全

由于技术的发展、设备的更新等原因，原有的流程已经不合理。这就需要我们重新研究事物活动的规律和内在变化的机制，进行流程的优化，以达到最优的效果。

一、流程优化要考虑的问题

（一）流程优化的目的

在流程的设计和实施过程中，要对流程进行不断的改进，以期取得最佳的效果。对现有的流程进行梳理、完善和改进，称作流程优化。流程优化不仅仅指做正确的事，还包括如何正确地做这些事。

流程优化通常以提高工作质量和工作效率、降低成本、节约能源、降低劳动强度、保证安全生产及避免环境污染等为目的。

（二）流程优化的内容

流程优化涉及工期优化、工艺优化、成本优化、技术优化、质量优化等优化指标，当然，需要时还可以将指标再进行细分。进行流程优化时，应根据需要，针对某一个或多个指标进行优化。工期优化请看下面的“汽车保养流程”实例。

汽车保养的一般流程如图 2.25 所示。这种保养的流程时间周期较长，有些顾客急于用车，于是汽车保养单位将原来的串行流程改为并行流程（图 2.26），实现了工期优化，缩短了顾客等待的时间，满足了顾客的需求。

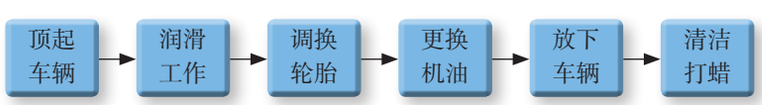


图 2.25　串行的汽车保养流程

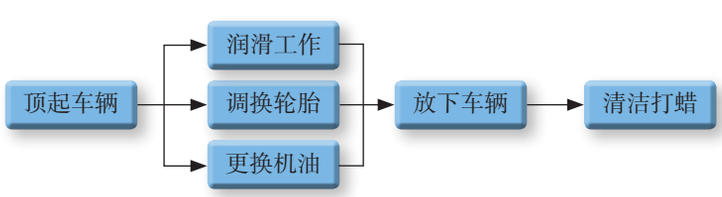


图 2.26　并行的汽车保养流程

（三）流程优化的条件

流程的优化和改进需要一定的条件。要做好优化，需要把握和创造条件。对于企业流程的优化，从外部条件来讲，是建立在设备和工艺水平提高的基础上；就内部条件而言，是建立在对流程内在机制进一步研究的基础上。

以电子信息技术、自动化技术为代表的高科技，在流程的优化中经常起到关键性的作用。仅以交通运输为例：航空技术的进步使运输业得到了空前发展，飞机在很短的时间里，就可以快速地将人和货物运到地球的任何地方。高铁的出现和广泛应用不但方便了人们的

微信公众号：电子课本大全

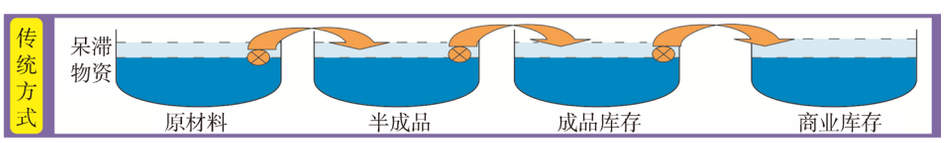
出行，还使得大宗货物可以高速地交流于祖国各地，使北方人可以吃上南方当天采摘的荔枝。未来的飞机和火车运行甚至都不需要人来驾驶，可以自动地飞行和奔驰。这些先进技术的出现和发展，无疑给人们优化工作、生活和生产的流程提供了优良的条件。

下面介绍一个进行机制研究并运用先进技术改造旧流程的实例：我国某电器集团物流业务的流程优化。

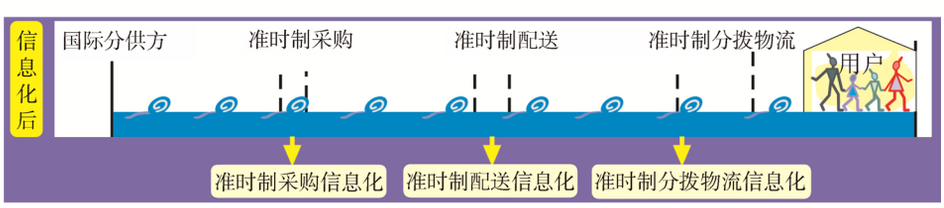
电器集团为应对中国加入世界贸易组织（WTO）及国内外家电市场竞争日益激烈的挑战，于 2001 年成功实施了以订单信息流为核心、以市场链为纽带、以计算机信息网络为支持手段的业务流程再造（流程优化），使企业在创新中得到提升。

电器集团根据国际化发展思路，首先对原来的事业部制的组织机构进行战略性调整，将企业内部原先分散的、各自对外的各种资源整合为全集团统一的营销（商流）、采购（物流）、结算（资金流）业务。

在物流业务方面，整合前各配送处以满足生产线不停为目标，生产线用量往往达不到 2 天以上，遇到计划变动，有些物资又未即时办理退库，时间一长就会变成呆滞物资，造成浪费，如图 2.27 a 所示。



a. 流程再造前



b. 流程再造后

图 2.27　电器集团的物流业务流程再造

信息化整合后，集团推行了准时制（JIT）采购制度：4 小时内准时配送，即控制物资在线时间不得超过 4 小时；1 小时之内及时补料。利用信息化改造后的物流流程，使呆滞物资减少了 50%，产品也能及时送达用户，如图 2.27b 所示。

通过物流业务流程再造，集团实现了零库存、零距离和零资金占用。

零库存：以过站式物流消灭库存式采购。

零距离：从大批量生产转为大批量定制。

零资金占用：实现产品的即时变现，形成有现金支持的利润。

目前，该电器集团已经成为全球拥有 7 万多名员工、用户遍布世界100多个国家和地区、多年稳居中国企业500强前列的全球最大的家用电器制造商之一。

微信公众号：电子课本大全

小贴士

首先优化核心流程

在一个企业内，可能同时存在着多个流程，应该首先优化核心流程。核心流程是对组织价值创造有着关键作用的流程。抓住了核心流程也就抓住了主要矛盾。因为一个企业很难什么事情都能做到最好，使每个流程都达到最优需付出极大的努力，但只要能做好一两个重要的流程，这个企业就不会发生根本性的问题。我们有时无法把所有的流程全部优化，几个核心流程的优化就显得非常重要。

二、流程优化的实施

（一）流程优化的途径

流程优化的主要途径是设备更新、材料替代、环节简化和时序调整。大部分流程可以通过流程改造的方法完成优化。对于某些效率低下的流程，也可以完全推翻原有流程，运用重新设计流程（流程再造）的方法获得流程的优化。

1. 流程改造

流程改造除采用设备更新和材料替代的方法外，还可以采取以下措施：

（1）取消所有不必要的工作环节和内容。如某些重复任务、繁文缛节等非增值活动，应坚决取消。

（2）合并必要的工作。对于不能取消的工作，可考虑将其合并，使之连贯、流畅、精减且效能更高。尽可能合并功能相近的工作任务，用同步工作代替顺序工作方式。有时为了提高工作效率甚至不必过多地考虑专业分工。

（3）简化必需的工作环节。对于取消和合并后形成的工作环节还可进行必要的简化，让复杂的工作变得简单。

（4）大力推广自动化。在上述取消、合并、简化的基础上，充分运用现代信息技术，实现流程加速、自动化与服务准确性的提升。

2. 重新设计流程

如果决定采用重新设计的方法优化流程，可按以下步骤进行：

（1）首先要充分理解现有流程，分析流程的每个关键步骤及流程的产出结果。

（2）集思广益，突破原有框架，提出新思路。

（3）将新思路转变成流程设计。在将新思路转变成设计的过程中，不以现有流程为基础，坚持“全新设计”的立场。流程设计是一个迭代的过程，也是一个持续改进体系的过程（图 2.28）。设计新



图 2.28　流程持续改进体系

微信公众号：电子课本大全

的流程通过反复迭代，多次检讨，深入细节，瞄准目标，设计出新的流程。

（4）新流程设计出来之后，应模拟它在现实中的运行以进行检验。在对新流程的评价上应着眼于其效率潜力，保证设计出来的流程是当前条件下提供所需结果的最佳选择。

流程改造和重新设计流程（流程再造）两种优化方式各具特点。流程改造方式的优点在于改变可以一点一点地积累实现，因此能够由小到大地逐步、稳定显现成效，而且风险较低，对正常运营干预较小。其缺点是仍然以现有流程为基础，创新流程虽然不是不可能，但与重新设计流程相比，更不容易实现。

重新设计流程，这种方式的优点是抛开现有流程中所隐含的全部假设，围绕目标重新进行思考，“全新设计”能够达到要求的流程。这就提供了绩效飞跃的可能性，实现事半功倍的效果。其缺点是风险高，经历改革的痛苦深，对正常运营干扰大。



阅读材料

流程再造

业务流程再造于 20 世纪 90 年代由美国的迈克·哈默和詹姆斯·钱皮提出。经典的业务流程再造的定义为：对业务流程进行根本性的再思考和彻底性的再设计，以便在成本、质量、服务和速度等衡量企业绩效的重要指标上取得显著性的进展。

流程再造的核心是面向顾客满意度的业务流程，而核心思想是打破企业按职能设置部门的管理方式，代之以业务流程为中心，重新设计企业管理过程，从整体上确认企业的作业流程，追求全局最优，而不是个别最优。流程再造必须有再造的参照物和基准，才能够做到有的放矢。

（二）流程优化的过程

流程优化要围绕优化对象所要达到的目标进行；在现有流程的基础上，提出改进后的实施方案，并对其做出评价；针对评价中发现的问题，再次进行改进……直至满意后开始试行，正式实施，流程优化的过程如图2.29所示。

（1）确定目标。在流程优化之前，首先对现有流程进行系统的、全面的调研、梳理，找出现有流程存在的问题，确定本次优化的对象和优化后要达到的目标。

（2）流程分析。结合新流程所要达到的目标，分析原有流程的关键节点和执行过程，分析原有流程有哪些需要改进的缺陷，并考虑优化过程中可能涉及的部门。

（3）改进。经过流程分析后，根据设定的目标及流程优化的原则，改善原有流程或者设计新的流程，简化或合并非增值流程，减少或剔除重复的、不必要的流程，构建新的流程。新流程构建

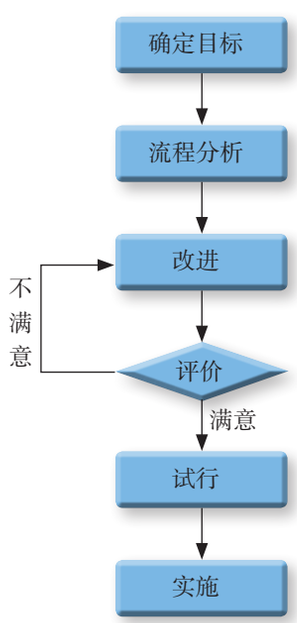


图 2.29　流程优化的过程

微信公众号：电子课本大全

后应尽量与信息技术相结合。

（4）评价。根据设定的目标与现实条件，对优化设计后的新流程进行评价，评价主要针对新流程的使用效率和最终效果。如果评价时发现问题，则应返回改进，提出新的改进措施。

（5）试行与实施。在评价基本满意后，进行流程的试行与实施。

流程优化是一个动态循环过程，实践一段时间后，应进行总结，再进入下一次分析、设计、改进、评价、实施，形成一种动态的自我完善机制。

（三）流程优化实例

流程优化实际上是流程的再设计，所以，流程优化也要依据事物活动的规律和内在变化的机制。根据不同的优化目标，确定优化的内容和条件，遵循一定的途径和过程。

1. 银行取款流程的优化

在银行柜台取款，需要顾客提交银行卡并报取款数额，工作人员应用计算机处理，顾客输入密码并在电子屏上签字，工作人员将钱、卡、单据交给顾客等环节（图 2.30）；有了自动取款机后，顾客取款可优化为：插入银行卡，输入密码和取款金额，自动取款机“吐出”钱、小票、卡三个环节（图 2.31）。



图 2.30　银行柜台取款流程

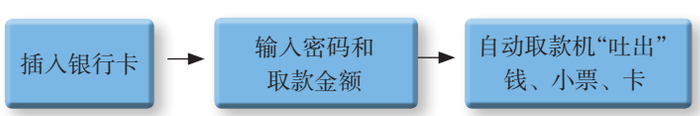


图 2.31　自动取款机取款流程

讨论：

（1）比较在银行柜台取款流程与自动取款机取款流程，对于顾客和银行来说各有哪些好处？

（2）自动取款机取款流程与银行柜台取款流程相比较，需要哪些外在条件？

2. 航空发动机压气机轮盘加工工艺的优化

航空发动机的压气机轮盘是发动机的重要零件（图 2.32），要求精度高，制造难度大，生产周期长，传统的加工工艺需要 21 道加工工序（图 2.33a）。特别是轮盘的幅板，厚度很小（有的仅约 0.2 mm），加工时很容易产生变形，造成很高的废品率。为解决这一问题，某发动机制造公司改进了工艺流程，采用了数控技术（CNC）和双面车的加工方法，使工艺流程的工序由原来的 21 道减少为 5 道（图 2.33b），机床数量由原来的 62 台减少为 31 台，制造周期由原来的 22.5 周下降到 8 周，废品率也下降了 40%。

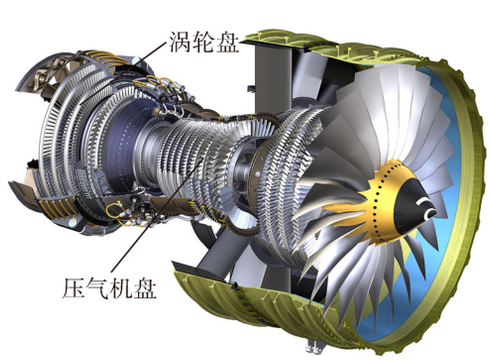
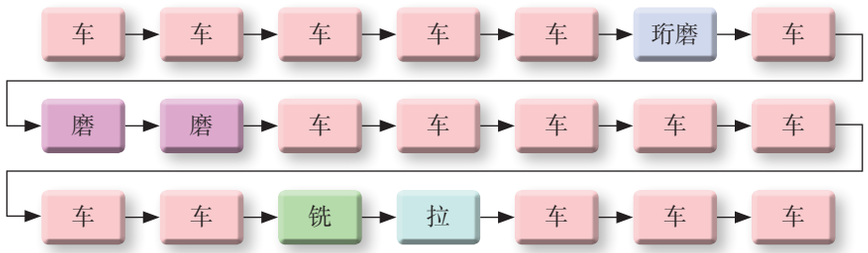


图 2.32　航空发动机的压气机轮盘

微信公众号：电子课本大全

新的工艺流程不但保证了轮盘的加工质量，还提高了轮盘的加工效率。



a. 传统的加工工艺流程（21 道工序）



b. 改进后的工艺流程（5 道工序）

图 2.33　航空发动机压气机轮盘加工工艺流程的优化

讨论：

（1）航空发动机压气机轮盘加工工艺优化的实现条件是什么？

（2）航空发动机压气机轮盘加工废品率下降与什么有关？

实践与体验

桥梁模型制作的流程优化

任务一：同学们在进行结构设计时若是 1 个人单独完成桥梁模型的制作，请画出制作桥梁模型（图 2.34）的流程图。

任务二：现在 3 人为一个小组完成模型的制作，你们将如何优化原有的制作流程呢？请画出优化后的流程图。

任务三：比较优化前后的流程图有何变化？引起这一变化的原因有哪些？

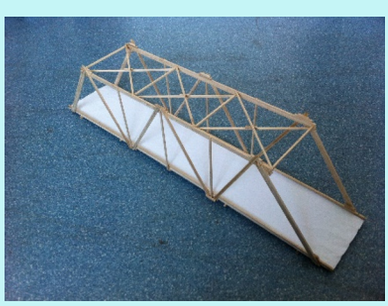


图 2.34　桥梁模型

阅读材料

“神舟”载人飞船飞天的流程

飞船到底是如何上天和运行的呢？首先，飞船和运载火箭完成技术准备工作后，整体垂直运输到脐带塔，并进行最后的功能检查。一切准备就绪后，火箭点火升空，开始程序转弯，继续飞行后，抛掉逃逸塔，船箭分离，飞船入轨。入轨后，飞船捕获地球，建立轨道运行姿态。飞船入轨一段时间后，地面测控系统通过测控站和测控船对飞船监控。飞行一周（约 90 min）后，当飞船进入海陆测控区时，飞船上的设备开机工作，发射遥测信息，接收遥控信息。飞船在环绕地球飞行规定的圈数和

微信公众号：电子课本大全

完成科学试验任务后返回。飞船进入返回轨道后，返回舱降低至 140 km 的离地高度时，推进舱与返回舱分离。飞船降至离地高度约 80 km 时，返回舱进入稠密大气层，着陆场的地面雷达站和测量站跟踪捕获目标，测量返回轨道，预报返回舱着陆点。返回舱着陆后，空中搜索直升机和地面搜索车辆发现目标后迅速赶往着陆地点，回收返回舱。“神舟”载人飞船飞天的流程可简单地表示为：火箭发射→程序转弯→船箭分离→按预定轨道飞行→进入黑障区→拉出引导伞→缓冲发动机工作→现场回收。更详细的流程如图 2.35 所示。

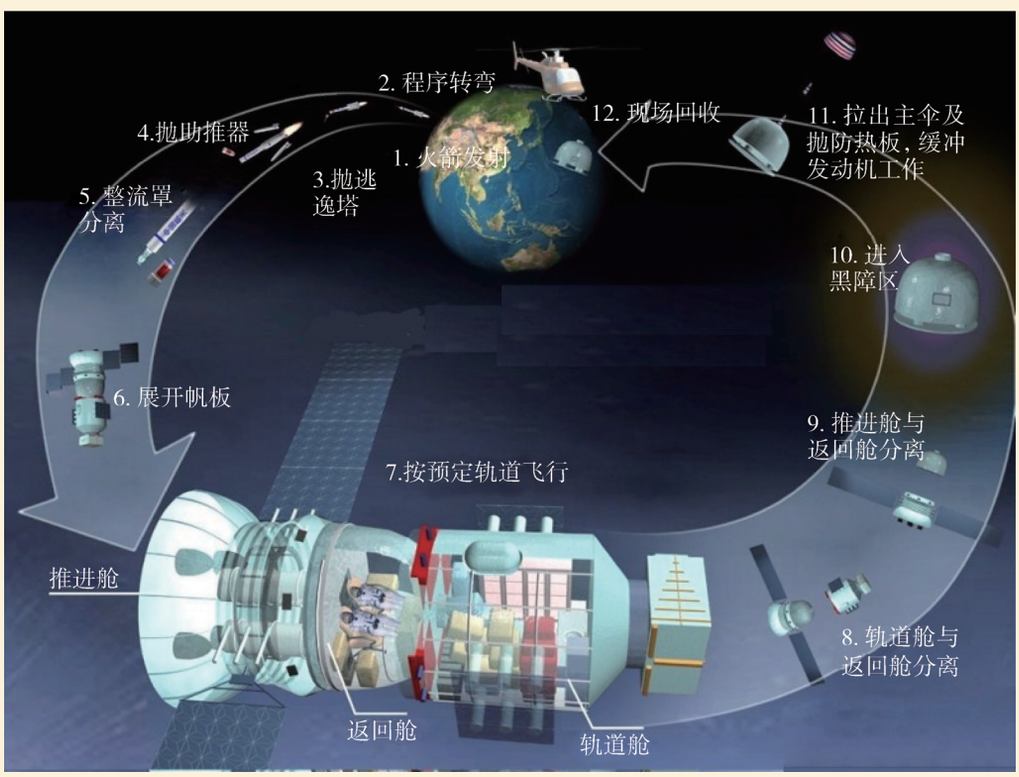


图 2.35　飞船飞天流程

我国于 2016 年 10 月 17 日成功发射了“神舟”十一号载人飞船，并实现了与“天宫”二号空间实验室的对接。这是我国成功发射的第六艘载人飞船。图 2.36 展示了“神舟”十一号载人飞船发射，助推器分离时的壮观场景。



图 2.36　飞船发射，助推器分离

微信公众号：电子课本大全

活动延伸

1. 房子住久了之后墙面就会慢慢地变旧，并且内墙面易出现气泡、开裂甚至脱落的现象。内墙面翻新的主要流程：搬走室内一切物品→清理旧墙面→整修墙面→上底漆→上面漆→通风晾干，耗时约 2 个月。请对该流程进行改进设计。

2. 某公司女业务员从起床到公司上班的安排是：洗漱 5 min→煮鸡蛋 5 min→热牛奶、面包 5 min→吃饭 10 min→化妆 10 min→乘车到公司 35 min，共需 70 min。她感觉时间有些紧张，你能帮她改进一下流程吗？

3. 画出你下午回家到晚上睡觉这段时间的生活和学习的流程图。从提高学习效率的角度，如果发现流程存在问题，请优化流程并画出流程图。

本章小结

流程广泛存在于人们的生活、学习、工作之中。流程是一系列按照一定顺序进行的活动的组合。流程具有目标性、内在性、整体性、动态性、层次性、结构性等特点。任何一项流程都可以划分成若干环节，都有一定的时序。科学合理的流程具有完成一定的目标或任务、帮助分工、界定执行者的责任等功能。

流程设计要明确设计目标、清楚流程设计中的基本因素及其应该注意的问题，依据事物活动的规律和内在变化的机制，遵循流程设计的步骤，科学合理地划分环节，确定时序。流程可采用图形、表格、文字等多种形式来表达。

流程设计是一个不断探索、优化的过程，流程优化可根据不同目标有所侧重，流程优化涉及工期优化、工艺优化、成本优化、技术优化、质量优化等优化指标。流程优化要明确优化的目的、清楚优化的内容和条件、遵循一定的途径和过程。

学习评价

评价内容			评价方式		
			自我评价	小组评价	教师评价
过程评价	师生互动	能积极思考老师提出的问题			
		能基于已有经验构建新的知识			
		能积极参与课堂讨论			
	实践活动	能积极参与技术实践活动			
		与小组成员有效合作			
		在实践中提出创造性的构思			
		活动进度安排合理			
		实践材料选用恰当，不浪费			
		机器设备的安全操作			
结果评价	目标实现	知识学习			
		迁移应用			
		拆解、拼装孔明锁的流程图正确			
		纸提兜的制作流程合理、高效			
		桥梁模型制作的流程优化合理			
	收获反思	收获感悟，反思不足			
		能够将所学知识迁移到其他领域并加以应用			

微信公众号：电子课本大全

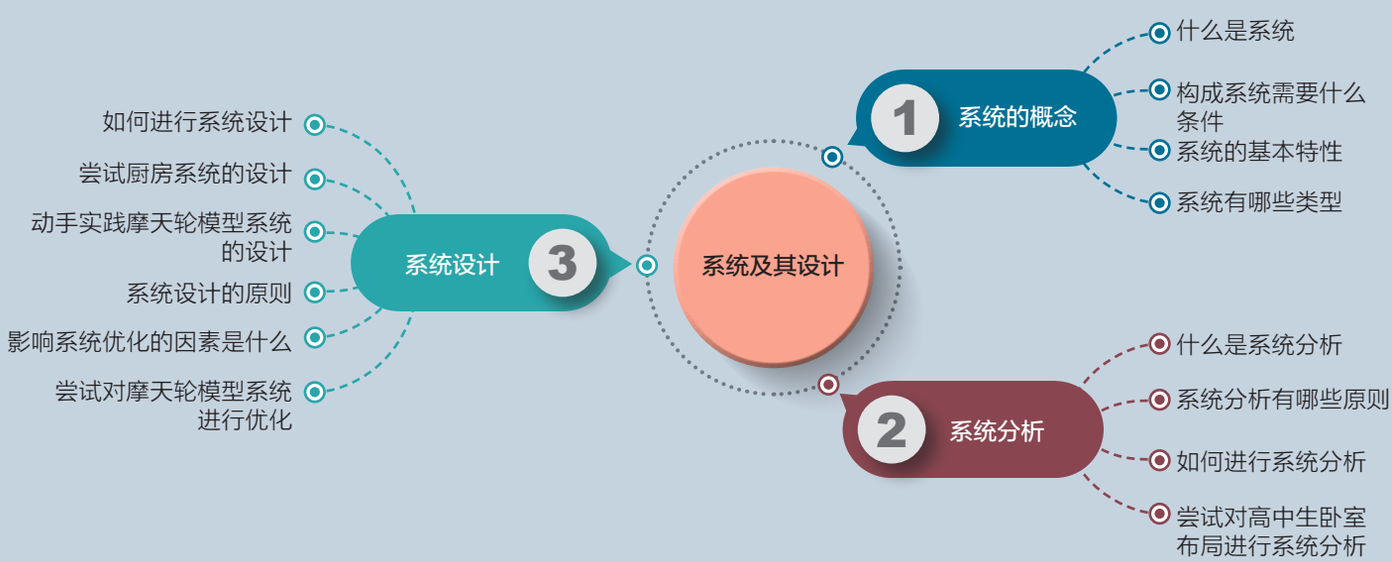
第三章
系统及其设计

导　言

如果你是住校的学生，就会拥有一张校园卡，这张卡绑定了校园内的若干系统。如果你去刷卡洗浴，就接触了供水系统；如果你去刷卡就餐，就接触了餐饮系统。它们都是学校后勤系统中的子系统。除此之外，还有教学系统、办公系统等。“系统”这一术语被广泛使用，如人体的血液循环系统、神经系统，城市的交通系统、医疗系统、供电系统，自然界的生态系统等。系统直接影响着我们的生活、学习和工作。

什么是系统？它有什么特点？怎样进行系统分析和设计？本章将结合大家的疑问，详细介绍系统的含义和系统的基本特性，建立初步的系统意识，了解系统分析的要素和系统分析的基本方法，初步学会简单系统设计的方法，能根据要求完成简单的系统方案设计，并能结合实例分析影响系统优化的因素。

思维导图



微信公众号：电子课本大全

第一节　系统的概念

学习目标

1. 理解系统的含义。
2. 了解系统的分类。
3. 理解系统的基本特性。

举目环顾，天上的飞禽，地上的走兽，水中的鱼虾，还有草木花卉等，在我们周围组成了生机盎然、奇妙无穷的生物系统。生物系统与其生存环境之间，又组成了千变万化的生态系统。系统在我们的学习和生活中广泛存在。学校的一间多媒体教室可以看作是一个系统，家庭的一台电冰箱可以看作是一个系统，我们人体本身也是一个异常复杂而精密的系统。

一、什么是系统

系统是由若干要素以一定结构形式组成的具有某种功能的有机整体，即系统由互相依赖的若干部分组成，各部分之间存在着有机的联系，它们形成一个整体以实现一定的功能。例如，汽车是一个系统，它是由轮胎、发动机、传动系统、电子系统、车体等相互关联、彼此影响的部件组成的一个整体，这些部件组合在一起可以完成交通运输的特定功能。

案例分析

共享单车

骑共享单车出行绿色、环保、便捷，已经成为人们喜欢的出行方式。共享单车通常都拥有扫码即开的智能锁和定时定位装置。如图3.1所示的共享单车，该单车由车架、前后车轮、车把、鞍座、前叉、脚蹬、车踢（支架）、车轴、轴转动机构、刹车柄、电磁刹车器、刹车线、电子锁、GPS（全球定位系统）模块、通信模块等主要部件组成。



图 3.1　共享单车

微信公众号：电子课本大全

讨论：
1.共享单车各组成部分的作用是什么？
2.如果共享单车的电子锁损坏、GPS模块损坏，可能会产生什么后果？

例如，图3.2所示的单灯照明系统，由电源、开关、灯泡几个部分组成。它们通过电线互相联系，具有照明的功能；它们又互相制约，只要其中一个组成部分出了问题，整个系统就不能发挥照明作用。



图 3.2　单灯照明系统

无论怎样的现实问题，要构成一个系统，必须满足三个条件：①要有两个以上的要素；②要素之间要相互联系、相互作用；③要素之间的联系与作用必须产生整体功能。这三个条件缺一不可。

在结构复杂的系统中，按不同的标准可以划分若干子系统。如“神舟”系列宇宙飞船，共有七大子系统，它们分别是航天员子系统、有效载荷子系统、飞船子系统、运载火箭子系统、发射场子系统、测控通信子系统和着陆场子系统。

系统的结构是系统内各要素的组织形式。一般来说，系统的性能主要取决于系统的结构。将结构“剖开”，就会发现结构中存在着“层次”与“秩序”。对于宏观结构它们是可见的，对于微观结构它们是肉眼不可见的（如晶体的点阵结构）。“结构决定性能”也可以理解为层次与秩序决定系统的功能。在系统的多层次结构中，高层次支配低层次，决定着系统的性质。



探究与交流

探讨交流以下系统，试分析这些系统可以划分为哪些子系统？这些子系统各包括哪些要素？它们各自的功能是什么？

1.血液循环系统。
2.运输系统。
3.消防系统。
4.学校系统。

微信公众号：电子课本大全

活动延伸

查阅资料了解老式挂钟（图3.3）的工作原理，讨论：挂钟系统分为哪几个子系统？每个子系统各包含哪些要素？

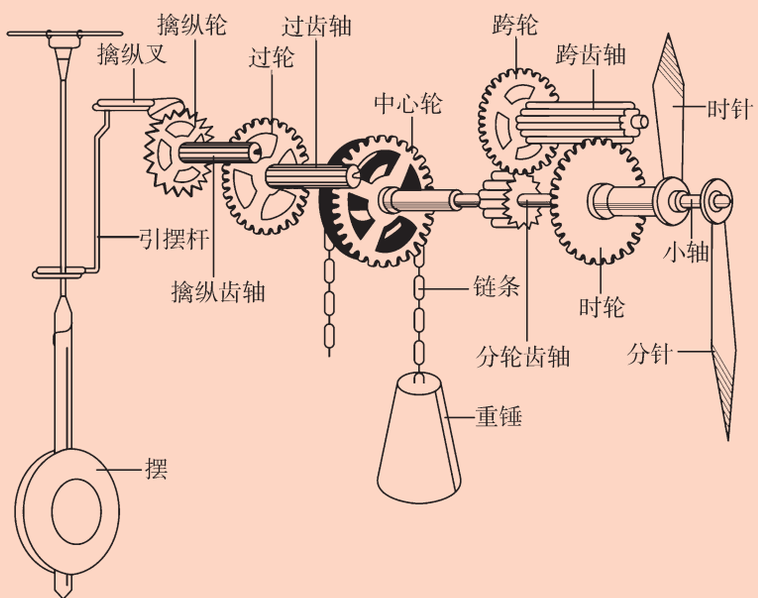


图 3.3　老式挂钟的内部结构

二、系统的基本特性

每个系统都有其基本特性，这就是整体性、相关性、目的性、动态性和环境适应性。

（一）整体性

做中学

小车的制作

【目的】

理解系统要素之间、整体与部分之间相互联系、相互作用的关系，以及要素对系统整体功能的影响。

【准备】

车轮、车轴一套，带开关的塑料电池盒一套，导线若干，螺栓、螺母若干，电机固定卡一个，微型电动机一个，带孔直角构件一个，宽、窄扇叶各一个（图3.4）。

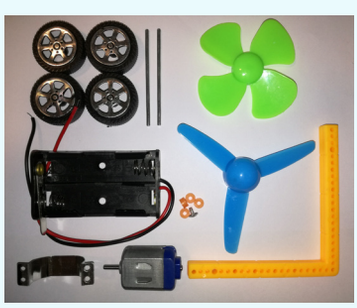


图 3.4　小车组件

微信公众号：电子课本大全

【步骤】

1.按照图3.5所示安装好小车，在指定平面上测试行驶速度。

2.改变电极正负极接线，对比前后行驶状态。

3.在步骤1的基础上，更换窄扇叶，重新测试行驶速度。

【思考】

1.对比测试结果，分析行驶状态改变或行驶速度变化的原因。

2.分析小车系统各组成要素之间的关系与可能会影响行驶性能的原因。

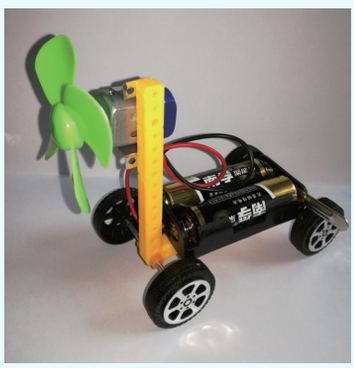


图 3.5　安装好的小车

要素构成整体，系统的整体功能不是各要素所单独具有的。例如一堆砖瓦、一堆木材等材料独立地码放在一起不能起到遮风避雨的作用，但是如果施工人员通过技术施工把它们有序地排列、安装之后，就具备了房屋的功能。

任何一个要素发生变化都会影响系统的整体功能。例如，图3.3挂钟中的一个齿轮损坏了，钟表就无法实现准确显示时间这个功能。所谓“蝼蚁之穴，可毁千里之堤”讲的就是这个道理。

系统整体功能大于组成系统的各部分功能之和。例如一部手机是由芯片、电池、显示屏、外壳等要素组成，只有这些部分有机地组合在一起才能实现通信功能。任何一个组成部分都不可能单独实现手机的整体功能。

探究与交流

1.为什么说“三个臭皮匠，顶个诸葛亮”？

2.分析“一个和尚挑水喝，两个和尚抬水喝，三个和尚没水喝”的原因。

3.分析人们常说的“一着不慎，满盘皆输”的原因。

4.大家经常谈到的“木桶原理”说明了什么？

（二）相关性

相关性是指系统内各子系统（要素）之间存在着某种相互依赖、相互制约的特定关系，某一要素的变化会影响另一要素。如城市生活这一大系统划分的子系统，有市政子系统、资源子系统、供电子系统、文教子系统、医疗子系统、交通子系统、邮电通信子系统等，具有密切关系，各子系统（要素）之间相互影响、相互制约、相互作用。假如供电子系统出现故障，其余各子系统都会受到不同程度的影响，并最终冲击整体城市生活系统。

微信公众号：电子课本大全

探究与交流

1.了解塞罕坝的荒漠变绿洲的发展过程，这种变化说明了什么？

2.为了保护草原植被，政府颁布了禁止大量捕杀野狼的法令，这是什么道理？（提示：围绕野狼、野羊、野兔、草进行相关探讨。）

（三）目的性

任何一个人工系统都具有其特定的目的，要达到既定的目的，系统必须具有一定的功能。以系统的结构为基础，把系统的行为予以展开就形成了系统的功能。系统之间的区别主要表现在功能的不同。例如，我们设计一台机床，目的是要能够高效、优质地加工出工件，机床要具有切削、调速、进给等功能。系统的目的一般用更具体的目标来体现，常见的研究、设计、制造、管理系统都是为了实现特定的功能目标而产生的。

（四）动态性

物质系统都有物质流、能量流、信息流在不断地运动，任何事物都是不断变化的。系统的这种运动、发展、变化过程就是它的动态性。任何系统都是作为过程而展开的动态系统。例如，汽车在使用过程中零部件会受到磨损，要定期进行维护保养，更换零部件，以保证汽车的正常运行。

（五）环境适应性

一个系统之外的一切事物或系统的总和称为该系统的环境。系统不能脱离环境而独立存在，系统和包围它的环境之间通常有物质、能量和信息的交换。外界环境特性的变化往往会引起系统特性的变化，即系统的形成和发展要受到环境的制约。因此，系统必须适应外部环境的变化，否则系统就不能继续存在下去。例如，一架正在飞行的飞机，周围的气流、云层、温度、山水、其他飞行器等构成它的环境（图3.6）。飞机常会因为环境的变化而改变飞行速度、飞行高度、飞行路线或停飞。总之，一个系统必须是动态的，它经常改变着自己以适应外部环境的变化，同时在适应的过程中又能动地改造着外部环境。



图 3.6　飞机与其环境

微信公众号：电子课本大全

探究与交流

1.从欧洲、美洲等地回来的人为什么需要倒时差?
2.你知道“春捂秋冻”的含义吗?
3.你看见过一群大雁往南飞吗?它们为什么往南飞?

实践与体验

雨水收集利用系统

随着城市化的迅速发展，城市不透水面积不断扩大，在夏季会造成城市雨洪。雨水收集利用系统可以有效地对抗雨洪并缓解淡水匮乏问题。如图3.7所示的是一个家庭雨水收集系统的方案，房屋的整个天花板背面安装了冷却水管，屋顶安装了洒水器，用于冷却房间。雨水通过屋顶的集水槽被收集在地下水箱中，一部分通过水泵提供给洒水器、冷却水管，一部分服务于家庭生活。

任务一：请同学们分析这个系统的整体功能是什么，从功能的角度划分出子系统并分析其功能与整体功能之间的关系。

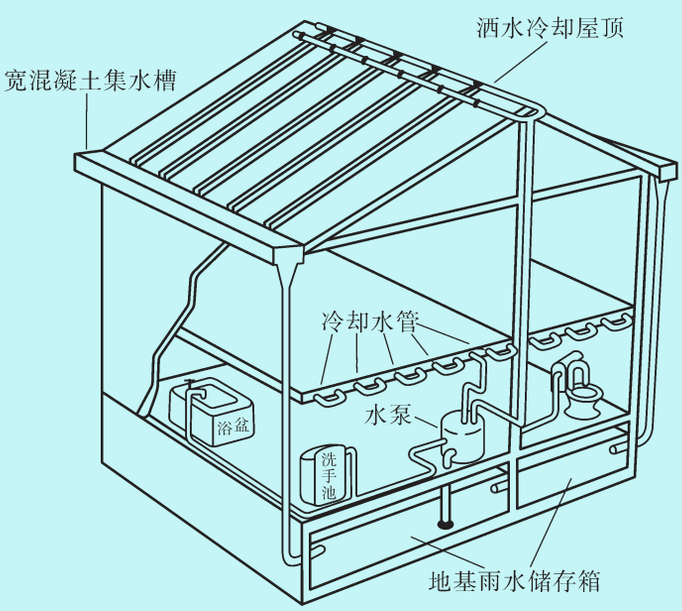


图 3.7　家庭雨水收集系统

任务二：请同学们分析，随着使用时间的增加，这个系统的输送管道会产生什么问题?如何去应对这些问题?这些问题体现了系统的什么特性?

任务三：请同学们分析，当环境雨量突然增大时，这个系统在运行过程中会出现哪些问题?在技术上应如何解决?这些问题体现了系统的什么特性?

微信公众号：电子课本大全

小贴士

中华民族古代文明中的系统思想

中华民族是一个富有系统思想的伟大民族。许多古籍，如《黄帝内经》《易经》等，都强调用整体的、有机联系的、协调有序的方法去观察和处理问题，并有不少应用系统思想观察和认识事物及解决实践问题的生动事例。四川的都江堰、广西的灵渠等，都是古代先贤们充满系统思想、惠及古今的大型工程杰作。挖掘我国古代先贤们系统思想的精华，汲取他们的智慧，古为今用，已成为我们今天弘扬传统优秀文化不可或缺的重要内容。

三、系统的分类

在自然界和人类社会中，存在着千差万别的系统。从系统形成的原因分析，系统可分为自然系统（如海洋系统）和人工系统（如人造卫星系统）；从系统构成要素的属性分析，系统可分为实体系统（如三峡水利工程）和抽象系统（如管理系统）；从系统与环境的关系分析，系统可分为开放系统（如生态系统）与封闭系统（如机舱内系统）；从系统状态与时间关系分析，系统可分为动态系统（如人体系统）和静态系统（如山体系统）；从系统要素数量及要素之间关系的结构复杂程度分析，系统可分为简单系统（如3D打印机系统）和复杂系统（如宇宙系统）。

阅读材料

系统论

系统论是一门研究系统的一般模式、结构和规律的学问。它研究各种系统的共同特征，用数学方法定量地描述其功能，寻求并确立适用于一切系统的原理、原则和数学模型，是具有逻辑和数学性质的一门科学。系统论、信息论、控制论俗称老（旧）三论。

系统论认为，任何一个系统都是一个整体，它不是各个部分的机械组合或简单相加，系统的整体功能是各要素在孤立状态下所没有的性质。系统分析的基本方法是把所研究和处理的对象当作一个系统，分析其结构和功能，研究系统、要素、环境三者的相互关系和变动规律，进而进行优化和改良。

系统论的任务，不仅在于认识系统的特点和规律，更重要的还在于用这些特点和规律去控制、管理、改造或创造一个系统，使它的存在与发展符合人们的目的需要。也就是说，研究系统的目的在于调整系统结构、协调各要素关系，最终使系统得到优化。系统论的出现，使人类的思维方式发生了深刻的变化。

微信公众号：电子课本大全

第二节　系统分析



学习目标

1. 初步掌握系统分析的基本方法。
2. 能够应用系统分析方法对简单系统进行分析。

面对复杂事物，首先把它看作是一个系统，应用系统分析的原则和方法进行科学的分析，统筹兼顾各要素之间、要素与系统之间的关系，找到解决问题的最佳方案。

一、什么是系统分析

系统分析就是采用系统的观点和方法，对研究对象的系统结构和系统状态进行定性和定量的分析，提出各种可行的备选方案，并进行比较、评价和协调，找出符合目标的最佳方案。例如，新小区建设中的管线铺设，会涉及通信线路、燃气管道、生活用水管道、污水管道等众多管线，但是，这些管线归属不同的管理部门。为了避免重复施工造成资源浪费，就需要把管线铺设看作是一个大的系统工程，需要各部门通力协作、权衡利弊、综合考虑，用科学的方法进行分析研究，方能找到最佳的解决方案。系统分析是工程思维的一个重要方面。



阅读材料

系统分析的诞生

系统分析最早是由美国兰德公司在第二次世界大战结束后提出并加以使用的。兰德公司制订了一套符合确定目标的与众不同的方案，从费用和效果两方面进行经济评价，这种方法即为系统分析方法。近年来，系统分析方法的应用范围已从早期的武器研制领域扩展到管理、交通、通信、计算机、公共卫生设施领域，在消防、医疗、电网、导航、社会政治、国际关系等领域也得到了广泛的应用。

系统分析是一种研究方法，它能在不确定的情况下，确定问题的本质和起因，明确咨询目标，找出各种可行的方案，并通过一定标准对这些方案进行比较，帮助决策者在复杂的问题和环境中做出科学决策。

微信公众号：电子课本大全

二、系统分析的原则

对任何系统进行分析，都必须妥善处理各种关系，特别是对复杂的大系统进行分析时，必须遵守下列各项原则。

（一）外部条件与内部条件相结合原则

系统变化运动的根本原因在于系统内部，但也受到外部环境的影响。因此，在进行系统分析时，只有将系统内部和外部各有关因素进行综合分析，才能实现方案的最优化。例如，某药厂生产的一种夏季用药，其保质期非常短。药厂就需要根据该药物生产周期调整内部生产计划，保证医院在特殊季节的正常用药。

（二）当前利益与长远利益相结合原则

选择系统的最优方案时，不仅要从当前利益出发，而且还要考虑长远利益。若所采用的方案对目前和将来均有利，当然是理想的。但在现实中，当前利益和长远利益常常会出现矛盾，在两者不能兼得的情况下，要从实际出发，根据各种因素认真权衡利弊，慎重决策。在服从长远利益的前提下，尽量使当前利益的损失减少到最低。例如，环境保护部门对污染环境严重的企业采取了关、停、并、转等措施。从短期看来，企业的生产和效益可能受到一定的影响。但从人民的长期利益和根本利益考虑，这样做无疑是正确的。当然，同时还要考虑尽量减少企业的损失，帮助其进行产业升级改造，以减少污染。

（三）局部效益与整体效益相结合原则

一个系统是由许多子系统所构成的。人们总是希望一个方案中，局部效益好，整体效益也好。但实际情况常常不理想，有时某些子系统的效益虽好，但整体效益并不好；有时子系统的效益虽不好，但系统整体的效益却很好。因为系统方法所寻求的是整体效益的最优化，所以要选择后者。在保证系统整体效益最优的前提下，努力提高局部效益。例如，产品的流水线生产系统，因每一个环节的生产种类不同导致生产效率不同，如果各环节都为了追求生产效率最大化，则生产效率高的环节会产生积压，为了整体的生产效益就应该全局考虑，统筹安排。

（四）定性分析与定量分析相结合原则

进行系统分析时，除了可以把数量、模型、公式、货币等作为定量分析的因素之外，还有许多不能用数量表示的因素，如政治、政策、法律、环境、心理状况等，它们往往只能根据经验统计和主观判断来进行考虑，这就是定性分析。

人们要认识事物，就要对事物质的规定性和量的规定性进行深入研究。因此，在系统分析中，必须遵循“定性—定量—定性”这一循环往复的过程，把定性分析和定量分析结合起来，只有这样，才能使分析的结果及建立的模型正确反映事物的性质和状态，达到最优的目的。例如，航空公司为了利润最大化，通常会采取超额售票的方式确保飞机坐满乘客，但如何对剩余顾客进行补偿而避免对声誉产生影响也是一个问题。因此，预订票系统需通过建立数学模型，做出合理的决策以使航空公司在不降低声誉的情况下，得到更多客源，获取最大利润。

微信公众号：电子课本大全

阅读材料

丁谓修复皇宫

宋真宗年间，东京（今河南开封市）发生火灾，皇宫被烧为灰烬，丁谓受命主持修复。接旨后他对废墟进行勘察，发现此工程存在三个难题：第一是取土困难；第二是运输困难；第三是清墟排放困难。他找到了主要矛盾后，就征集解决方案，最后他从众多方案中综合出了一个最佳方案，这个方案最终获得成功。

方案是这样的（图3.8）：沿皇宫前门大道至汴河岸挖道取土，将大道挖成小河道，挖出的土用来烧瓦，解决取土的困难。河道接通汴河，建筑材料可由小河道直运到工地，解决运输的困难。皇宫修复后，将建筑垃圾填到小河道中，恢复原来的大道，解决了清墟排放的困难。

丁谓修复皇宫的措施很巧妙，在解决一个问题的同时又为下一个问题的解决做好了铺垫，这使他用了很少的时间和经费就修好了皇宫。他充分把握了各个要素之间的相互关系，运用“大道变河道”“挖土来烧瓦”“废墟填河道”这三个事件之间的相互关系，使整个工程系统向有序并且理想的方向发展，最终达到按期修复皇宫的目标。在这个过程中，系统的每一个环节都彼此相连，忽略其中任何一个事件，整个工程系统都会受到影响。

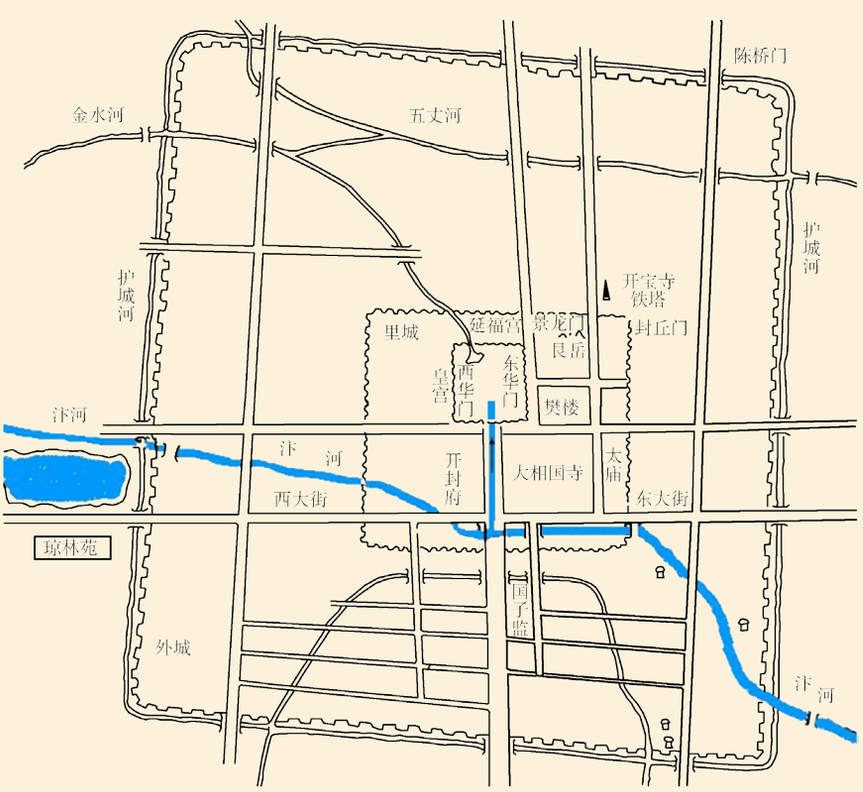


图 3.8　丁谓修复皇宫示意图

微信公众号：电子课本大全

丁谓组织挖河、填河、制作建筑材料、运输、排水，都是经过综合考虑，想得很周全，具有前瞻眼光，这就是系统分析在我们中国古代建筑工程上的一个具体体现。

三、系统分析的步骤

系统分析过程是对客观世界进行认识、描述、模拟和评价、协调的过程。因此，凡是需要确定目标和设计行动方案的活动，都可以使用系统分析的方法。系统分析的主要步骤如图3.9所示。

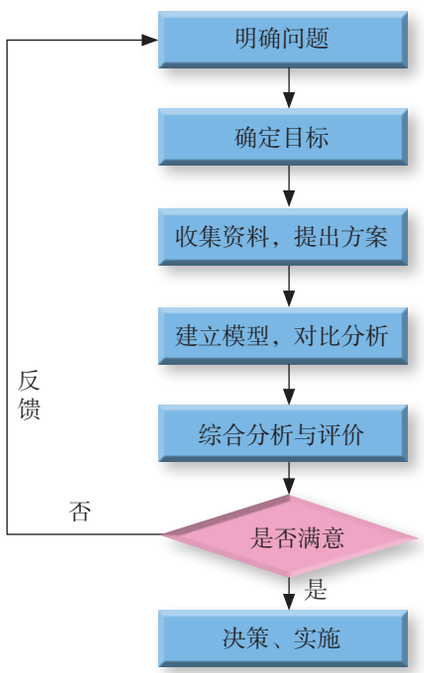


图 3.9　系统分析的主要步骤

（一）明确问题

所谓问题，是现实情况与计划目标或理想状态之间的差距。系统分析首先要明确问题，然后要进一步研究问题的本质属性和所包含的因素，以及因素间的联系和与外部环境的联系，恰当地划定问题的范围和边界。

（二）确定目标

在明确问题的基础上确定系统的目标，目标是系统目的的具体化，它们是通过一些具体指标来表达的。系统分析是针对所要实现的具体目标展开的。由于实现系统的目的是靠多方面因素来保证的，因此目标也不会是单一的。目标应尽量通过指标表示，以便进行定量分析。对不能定量描述的目标也应该尽量用文字说清楚，以便以后进行定性分析和评价。例如，把治理大气污染作为目的，那么就要选取大气中所含的物质（如二氧化硫、一氧化碳、二氧化碳、二氧化氮、臭氧等）作为控制目标，使它们不能超过规定的指标。

（三）收集资料，提出方案

围绕要解决的问题开展调查研究，收集国内外同类问题的各种资料。收集资料时经常采用实地调查、查阅历史资料档案、采集数据、试验、观察等方式。资料是系统分析的基础和依据，因此，要对资料去伪存真，交叉核实，保证真实性和准确性。通过对资料的分析，按照目标要求，提出各种备选方案。方案应从多个侧面提出解决问题的思路，反映多元化的特点。

（四）建立模型，对比分析

模型可采用实体模型、图式模型、模拟（仿真）模型和数学模型等。在系统分析中采

微信公众号：电子课本大全

用最多的是数学模型。模型要能够反映出影响系统功能和目标的主要因素及其影响程度，以及这些因素的相关程度、目标的实现途径及其约束条件等。通过模型把那些备选方案与整个系统的评价目标联系起来，可以开展定量的计算，进行方案对比分析。

（五）综合分析与评价

在定量分析的基础上再考虑各种无法量化的定性因素，对比系统目标达到的程度，得出综合分析与评价结果，推荐一个最优方案或几个可行方案。对可行方案可列出各方案的优先顺序，供决策者参考。

系统分析并非进行一次即可完成。对已确定的方案，如发现有问题或不满意，可以进行反馈，重新按原步骤进行分析，直到满意为止。有时需要对提出的目标进行再探讨，甚至重新划定问题的范围。

总而言之，系统分析是系统建立过程中的一个中间环节，也是整个系统建立过程中的关键环节，具有承上启下的作用。它确定了一个系统和系统的边界，明确了建立系统的必要性，确定了系统的目标。系统分析从问题开始，寻求和进一步探讨系统目的的实质，明确解决问题的目标。系统分析要对各阶段所给出的目的是否合适给以评价，对表述不清的目的给出具体的描述，以期在后续各阶段得以落实。科学的系统分析可以保证系统设计达到最优，避免技术上的重大失误和经济上的严重损失。

案例分析

阿拉斯加原油输送方案

【阐明问题】

任务：由阿拉斯加北部的普拉德霍湾油田向美国本土运输原油。

【分析研究】

环境：油田处于北极圈内，油田所处的海湾常年处于冰封状态，陆地最低气温可达−50 ℃。

当前可采用的一般方案：

方案一：由海路用油船运输。

方案二：用带加温系统的油管输送。

处理策略：考虑到安全和供油的稳定性，暂时把方案二作为参考方案做进一步的细致研究。同时继续考虑新的方案。

方案三：把含10％～20％氯化钠的海水加到原油中去，使原油在低温下呈乳状液体，仍能畅流，这样就可以用普通的输油管道运送了。

方案四：将地下石油蕴含的天然气转化为甲醇加到原油中，降低原油的熔点，增加流动性，从而用普通的管道就可以同时输送原油和天然气，仅管道铺设费用就可以节省近60亿美元。

微信公众号：电子课本大全

【评价比较】

综合各方案的优、缺点，兼顾成本、安全性等，确定方案四为最终方案。

讨论：分析4个方案的优点和不足。

实践与体验

高中生卧室布局系统分析

图3.10是一间高中生卧室的平面图，窗台高900 mm，房高2900 mm；房间需要靠窗户采光。房间要放置床（2000 mm×1500 mm）、写字台（1000 mm×600 mm×800 mm）、五屉柜（800 mm×600 mm×1000 mm）、双开门衣柜（1000 mm×600 mm×1900 mm）、双开门书柜（800 mm×400 mm×1900 mm）几样家具。主人需要把这些家具合理地放置在这个卧室中。

任务一：如果你是这个房间的主人，你认为这个房间布局系统的目标是什么？

任务二：从功能角度给这个系统划分子系统。

任务三：要达成系统目标有哪些约束条件？

任务四：请你利用已有数据对各子系统进行分析，结合系统的整体目标给出几种布局合理的方案。

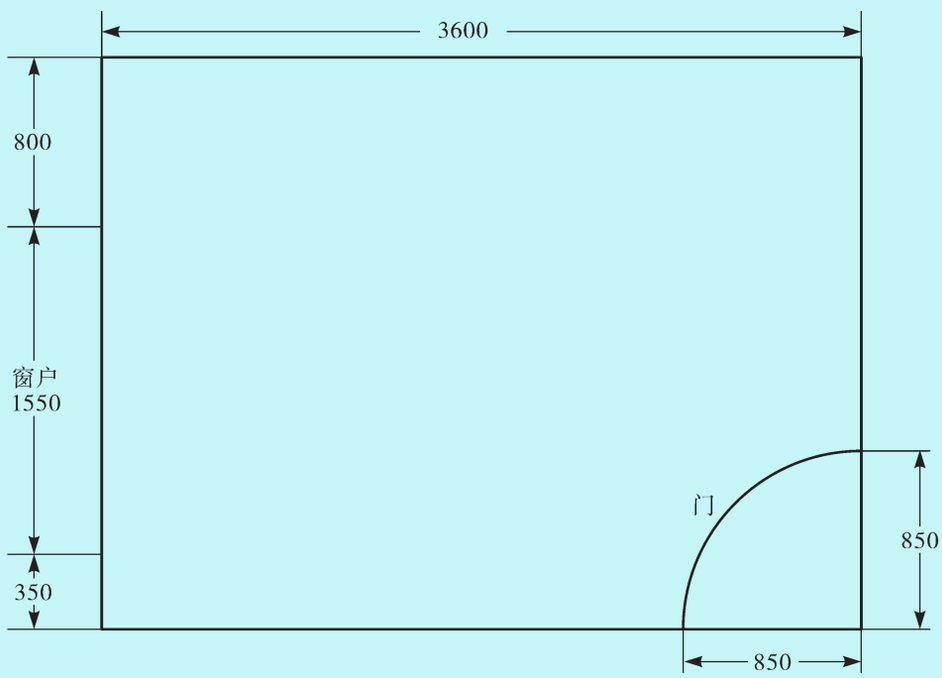


图 3.10　卧室布局平面图

微信公众号：电子课本大全

活动延伸

1.城市交通拥堵现象日益严重，以缓解城市交通拥堵为目标，对你所在的城市交通系统进行系统分析，并提出解决城市拥堵的方案。

2.杨女士开车上班，如果走一段11km的高速路（速度90 km/h），经过16个红绿灯，需交5元的高速公路费，总里程是33 km，用时50 min；如果不走高速路，要经过36个红绿灯（市区60 km/h），总里程是32 km，用时60 min。假定红绿灯的等待时间平均40 s，油价7元/L，杨女士车的油耗7 L/100 km。请从省钱的角度进行系统分析：当油价上升到多少以后，杨女士就要果断走高速？（提示：此车怠速油耗2.2~2.4 L/h。）

第三节　系统设计

学习目标

1. 初步学会简单系统设计的基本方法。
2. 能结合实例分析影响系统优化的因素并进行系统优化。

大千世界，物质系统千变万化，虽有一定的规律可循，却难有一成不变的模式可供套用。系统的分析和设计建立在对该事物的内部规律、外部环境（条件）、实现功能等充分研究的基础上，是一个不断完善、不断改进、不断优化的过程。优化是系统设计所追求的永恒目标。

一、系统设计概述

（一）系统设计的步骤

1. 分析系统设计要求

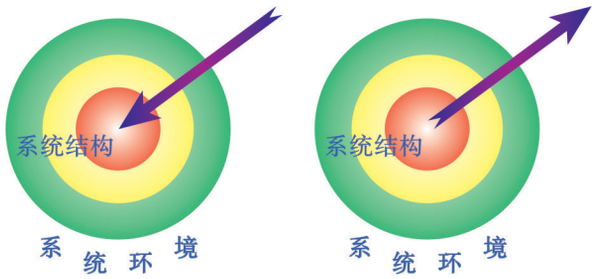
系统设计分析中，选定系统的总目标是分析的起点。目标要与客观实际相一致。目标要尽可能明确，因此要对所涉及系统的各种因素进行具体的调查与测定，如系统的环境，包括技术、经济、社会等外部条件，这些构成了对系统的约束；又如系统的资源，这是系统内部进行工作的手段，包括物质资源、信息资源与人力资源。

2. 确定系统设计方案

系统是由很多要素组成的，要研究各要素的特点和作用及它们之间的作用方式，要把握住系统的结构（即要素的组织程序），还要把各要素的工作成果与系统整体的成果联系

微信公众号：电子课本大全

起来。具体进行方案设计时的思路有两种：一种思路是“从外向里”，这是从系统的外部关系出发找出其组成部分和层次构成的方法（图3.11a）。采用这种方法的好处是能保证方案与环境协调，设计方案达到要求的成功率较高；缺点是如果内部组成部分发生了难以协调的问题，则可能导致费用增加，甚至会迫使寻求方案的工作停止。当已经比较清楚地知道主要变化来自外部环境时，“从外向里”的优越性就体现出来了。另一种思路是“从里向外”，这是在划分完要素和组成部分以后，首先从组成部分的组合开始，形成层次构成，逐步向总体目标逼近，并使方案适合于环境的方法（图3.11b）。



a. 从外向里　　b. 从里向外

图 3.11　方案设计时的两种思路

在方案设计过程中和初步完成后要进行综合分析与评价。在实际工作时，往往需要设计出几种方案，对各方案进行评价，从中选择最优的方案。

3. 系统方案的表达

方案表达形式多样，如表格、图形、符号、框图等，还可附加设计说明书（说明重点要素及之间的相互关系）。

案例分析

家庭电路系统的设计

某家庭有如表3.1所示的一些家用电器，试设计其电路系统。

表 3.1　某家庭家用电器使用情况

电器名称	数量	功率
照明电灯	4盏	共40 W
电视机	1台	250 W
电冰箱	1台	110 W
空调	1台	1400 W
洗衣机	1台	200 W
电熨斗	1台	300 W
抽油烟机	1台	60 W

【系统分析】

本例中该家庭共有七类家用电器，总电功率为2360 W，要求各电器能够安全正常工作。一般家用电器的电源电压为220 V。

【确定方案】

电表和总开关各作为一个要素，七类家用电器也各作为一个要素。

微信公众号：电子课本大全

1.若该家庭的电表为15 A，它允许的最大电功率$P=UI$=220×15=3300（W），因此总电功率为2360W的家用电器完全能够安全使用。可采取如图3.12所示的电路系统设计。

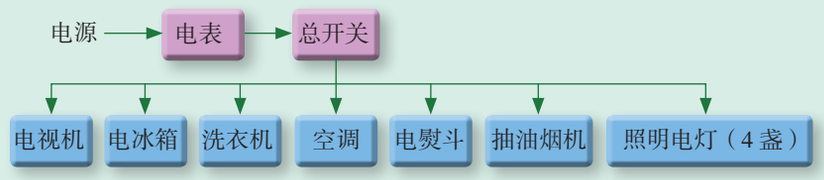


图 3.12　家庭电路系统的设计（方案 1）

2.若该家庭的电表为10 A，它允许的最大电功率为$P=UI$=220×10=2200（W）。总电功率为2360 W的家用电器超出了允许的最大电功率，如果仍按照图3.12设计，用电器将无法同时工作。要解决该问题，这里先研究一下各用电器的功率，不难发现其中有两个用电器功率较大，分别是空调（1400 W）和电熨斗（300 W）。家用电熨斗并不需要经常使用，家用空调主要是在夏季工作，如果将这两个用电器的使用时间错开，则家用电器的总电功率低于允许的最大电功率（2200 W）。为实现这一功能，电路系统中需要增加一个双向开关进行控制。改进后的电路系统设计方案如图3.13所示。

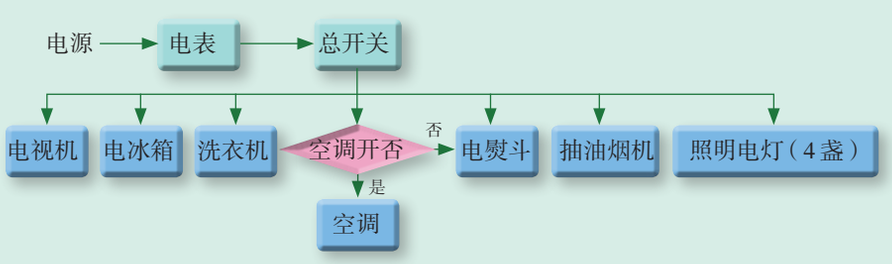


图 3.13　家庭电路系统的设计（方案 2）

讨论：方案2是如何进行统筹兼顾的？

实践与体验

厨房系统的设计

厨房（图3.14）是每个家庭中一个重要的组成部分，厨房本身要兼顾多个功能，同时要考虑整体布局以及各类管道等多种因素，厨房的设计是否合理决

微信公众号：电子课本大全

定了它的使用效果。图3.15是一间厨房的立体图，左上角是直径50 mm的天然气管道，右上角是直径50 mm的上水管道和直径100 mm的下水管道。厨房中要放置灶台（800 mm×500 mm）、洗菜池（600 mm×500 mm）、双开门冰箱（783 mm×710 mm×1799 mm），以及切菜台和橱柜等。

【设计要求】

1.不移动天然气和上下水管道的位置。



图 3.14　家庭厨房

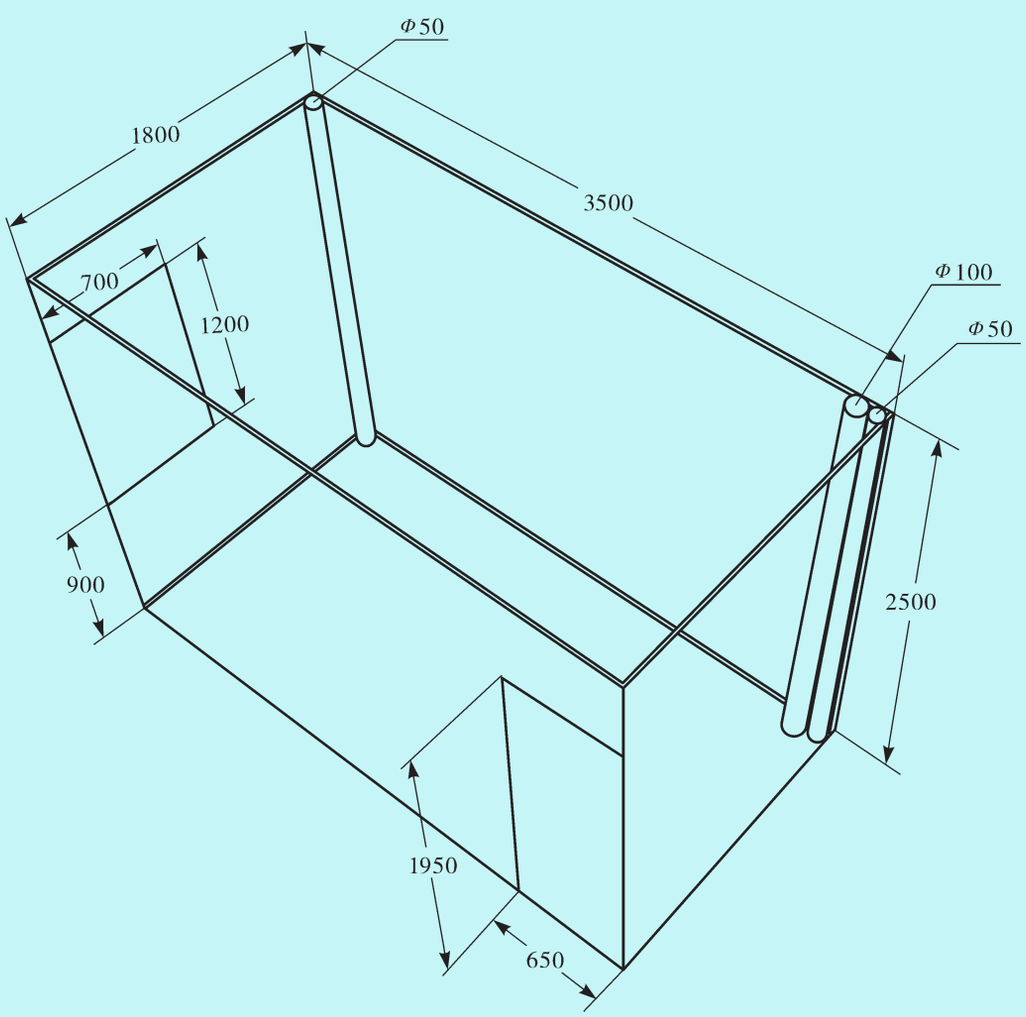


图 3.15　厨房的立体图

微信公众号：电子课本大全

2.注意厨房用气、用电安全。

3.厨房设备的摆放能方便主人取放物品、洗菜、做饭。

4.能满足一人做饭的活动空间。

5.开关窗户方便。

【设计过程】

任务一：请同学们根据设计情景和设计要求，分析厨房系统中都有哪些要素，这些要素之间存在哪些相互影响和相互制约的关系？（提示：灶台应尽量靠近天然气管道；厨房内的布局受到房屋尺寸的制约等。）

任务二：请同学们根据设计要求，在厨房系统设计分析的基础上，进行厨房系统的设计。在平面图（图3.16）中标明灶台、洗菜池、冰箱的位置，以及长、宽尺寸，并设计出切菜台的尺寸，在相应的位置标明。

任务三：请同学们在任务二的基础上，设计出橱柜的合理位置和尺寸，并在平面图（图3.16）上标注出长和宽。

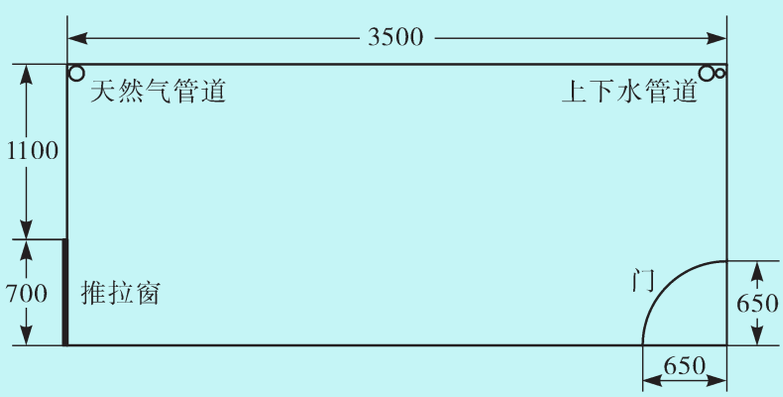


图 3.16　厨房的平面图

任务四：请同学们分析不同系统设计方案的优缺点是什么？应如何改进？

讨论：在厨房系统的设计中，合理安排冰箱位置时都考虑了哪些因素？做了哪些调整？

微信公众号：电子课本大全

实践与体验

摩天轮模型系统的设计

摩天轮是一种大型的机械建筑。游客坐在摩天轮上可以从空中不断变换的高度俯瞰城市的美景。著名的摩天轮“伦敦眼”（图3.17）自1999年开业迎客后，络绎不绝的游人排队登上这座摩天轮，一睹伦敦全貌。“伦敦眼”也逐渐成为伦敦的地标性建筑之一。



图 3.17　“伦敦眼”摩天轮

某城市现在想建造一座摩天轮，请分组帮助他们设计并制作摩天轮模型。

【设计要求】

1.摩天轮模型由电动机驱动，能够缓慢转动。

2.摩天轮模型的结构应稳固，确保安全。

3.能方便游客上下，尽量供游客无障碍地欣赏风景。

【设计准备】

方案一：使用通用技术实验室现有的各类套材。

方案二：使用3D打印机或激光切割机制作完成的各部分零件、电动机和齿轮组等。

方案三：使用桐木条、PVC板、电动机、齿轮组等。

【设计过程】

任务一：搜集信息，分析要素

同学们在设计摩天轮模型之前，可搜集有关摩天轮的信息与资料，进行整理，分析并总结出摩天轮模型系统的要素及其功能，完成表3.2的填写。

表 3.2　摩天轮模型要素及功能

摩天轮模型要素	功能
观光舱	
支架	
底座	

微信公众号：电子课本大全

任务二：划分子系统

请同学们运用之前所学子系统的知识，根据总结出的要素及其功能，划分摩天轮模型系统的子系统。

任务三：系统的设计分析

请同学们分析摩天轮模型系统各子系统的设计目标、功能以及子系统之间相互联系又相互制约的关系，完成表3.3。

表 3.3　子系统分析

子系统	子系统的目标与功能	子系统的相互关系
驱动子系统		

任务四：构思方案、绘制草图

请同学们在系统设计分析的基础上，进行方案构思并绘制出设计草图。

任务五：模型制作

对摩天轮模型系统的子系统（图3.18、图3.19）进行技术设计，制作模型，并进行评估。

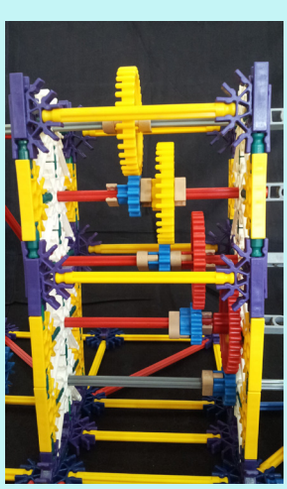


图 3.18　摩天轮模型系统的子系统（一）

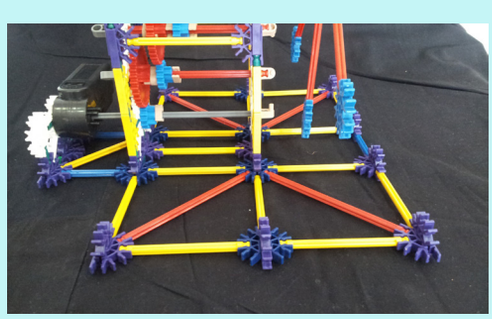


图 3.19　摩天轮模型系统的子系统（二）

任务六：交流评价

请同学们与其他小组进行交流，从表3.4所示的几个方面对自己和其他同学设计制作的摩天轮模型系统进行评价。

微信公众号：电子课本大全

表 3.4　摩天轮模型系统评价

评价项目	小组1	小组2	小组3	小组4	小组5	小组6	教师
缓慢转动							
结构稳固							
方便上下							
欣赏更多风景							

讨论：在摩天轮模型系统的设计中，在保证游客欣赏更多风景的要求下，是如何设计各个子系统的？考虑了哪些相互影响、相互制约的关系？

（二）系统设计的原则

1. 基本功能的实现

功能的实现是达到系统目标的保障，所以任何系统的设计首先必须保证实现基本功能。

2. 子系统间关联、冲突问题的合理解决

系统的多元性特征决定了系统由两个以上要素（或子系统）组成。系统设计的过程也就是对这些差异要素（或子系统）整合的过程。

3. 效益的最大化

效益的最大化是系统追求的目标。

4. 动态调整的实现

动态调整是为了达到系统追求的目标所采取的手段，而这种手段又是在过程中实施的。

二、系统优化

我们做任何事情都希望达到最优的效果，以最低的成本获得最大的效益。但是，系统问题是复杂的、多变的，需要我们不断地研究系统的内部规律、外部环境（条件）、功能实现等情况，不断完善、不断改进、不断优化。

（一）什么是系统优化

系统优化是系统设计的必要步骤。所谓系统优化，就是为了实现系统的目的，组织和调节活动，使系统在一定环境下形成最佳结构并发挥最好功能的过程。

微信公众号：电子课本大全

实践与体验

码头选址

如图3.20所示，在江边同侧有A、B两个工厂，它们到江边的距离AD、BE分别是3 km和2 km。设两厂沿江的距离ED是5 km，现在要在江边修建一个码头F，使得两厂的产品能够顺利过江。试分析：码头应建在什么位置才能使运输路线最短？

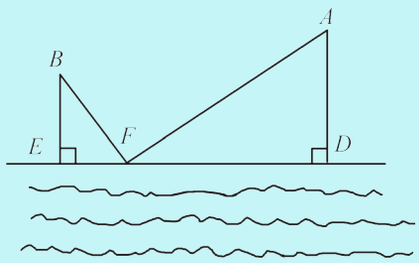


图 3.20　工厂、码头位置示意图

（二）系统优化的步骤

系统优化一般可分为以下几个步骤：

（1）提出需要进行优化的问题，收集有关资料和数据。

（2）建立求解优化问题的有关数学模型，确定变量，列出有关约束条件，分析模型。

（3）选择合适的优化方法。

（4）求解方程。

（5）最优解的验证和实施。

在实际工作中，系统优化是一个比较复杂的问题，数学是不可缺少的重要工具。系统优化是与建立数学模型、确定系统的目标函数和约束条件分不开的。系统优化的主要工作就是寻求系统目标函数在给定约束条件下的最优值。换句话说，就是通过数学模型求解来达到系统优化的目的。因此，研究系统优化，要从分析目标函数和约束条件着手。

阅读材料

系统工程

系统工程是运用系统科学的观点和方法，研究、设计运转复杂系统的一门综合性工程技术。其特点是强调系统的整体性和综合性。它应用自然科学和社会科学中有关的思想、理论，采用定性分析和定量分析相结合的方法，对系统结构进行分析，以达到最优规划、最优设计、最优管理和最优控制的目的。系统工程在我国比较系统地、有组织地研究和运用始于20世纪60年代。中国科学院在钱学森教授的倡导下，建立了第一个运筹学小组；著名数学家华罗庚大力推广统筹法、优选法。1977年以来，系统工程的推广和应用出现了新局面。1980年中国系统工程学会成立，开始与国际系统工程界有了广泛的学术交流。目前，系统工程已在不同领域得到广泛应用，形成了军事系统工程、工业系统工程、农业系统工程等分支。

微信公众号：电子课本大全

（三）系统优化案例

案例分析

田忌赛马

齐王常与大臣们赛马，三马对三马，三场比赛胜两场即为胜者，每一次输者付给赢者千金。有一次，齐王与大臣田忌赛马，各出上（一等）、中（二等）、下（三等）三匹马，齐王的三匹马比田忌的三匹马好一些，但是差异也不是很大。第一次比赛，田忌输了。第二次比赛，孙膑给田忌出了个主意，用田忌的三等马、一等马、二等马对齐王的一等马、二等马、三等马，结果一负两胜，赢了齐王，如图3.21所示。

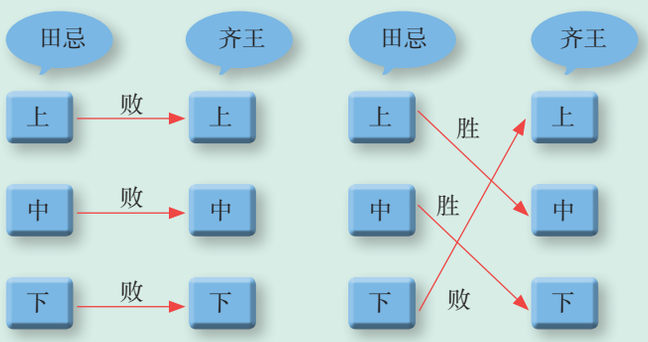


图 3.21　齐王与田忌赛马出场图

在上述故事中，实际上远远不止两种方案，六匹马可以组成36种方案。

齐王的三匹马有6种组合：

A_1（1，2，3）、A_2（1，3，2）、A_3（2，1，3）、A_4（2，3，1）、A_5（3，2，1）、A_6（3，1，2）。

田忌的三匹马也有6种组合：

B_1（1，2，3）、B_2（1，3，2）、B_3（2，1，3）、B_4（2，3，1）、B_5（3，2，1）、B_6（3，1，2）。

齐王的组合方案与田忌的组合方案相比，齐王可能获胜次数见表3.5。

表 3.5　齐王赛马可能获胜次数

齐王 \ 田忌	B_1	B_2	B_3	B_4	B_5	B_6
A_1	3	2	2	2	2	1
A_2	2	3	2	2	1	2
A_3	2	1	3	2	2	2
A_4	1	2	2	3	2	2
A_5	2	2	1	2	3	2
A_6	2	2	2	1	2	3

讨论：用系统的思想分析田忌取胜的原因，你从中得到了哪些启示？

微信公众号：电子课本大全

实践与体验

摩天轮模型系统的优化

在摩天轮模型（图3.22）系统的设计活动中，A组同学设计的摩天轮模型，经过小组自评以及老师和同学的评价后，发现其在使用一组齿数分别为30和15的齿轮传动后，摩天轮每分钟旋转2圈，没有达到缓慢转动的设计要求。

【优化要求】

1.帮助A组同学对摩天轮模型系统进行优化，使得摩天轮模型每分钟旋转小于1/4圈。

1.A组同学只有多个齿数分别为15和30的齿轮（图3.23）。

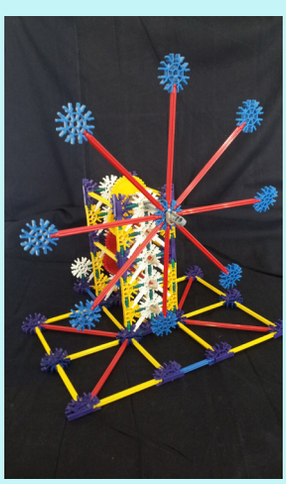


图 3.22　摩天轮模型

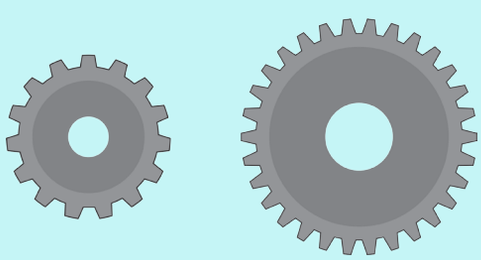


图 3.23　齿轮图

【优化过程】

任务一：明确问题，搜集资料和数据

本问题中，优化目标是降低摩天轮转速，约束条件是齿轮齿数。请同学们搜集有关齿轮传动的知识，了解主动轮、从动轮、转速、齿数、传动比。

传动比 $i=\frac{\text{主动轮转速}n_1}{\text{从动轮转速}n_2}=\frac{\text{从动轮齿数}Z_2}{\text{主动轮齿数}Z_1}$

摩天轮目前转速为每分钟转2圈，转速n_1为720° /min；期望的转速为每分钟转1/4圈，转速n_2为90° /min。我们需要使用齿数为15(Z_1)和30(Z_2)的齿轮组完成传动。

任务二：建立传动比的数学模型

优化目标：$i=\frac{n_1}{n_2}=\frac{720°\ /\text{min}}{90°\ /\text{min}}=8$

约束条件：$\frac{\text{从动轮齿数}}{\text{主动轮齿数}}=\frac{30}{15}=2$

任务三：选择最优方法

微信公众号：电子课本大全

A组同学没有传动比为8的齿轮组，因此需使用多组传动比为2的齿轮组叠加的方法进行优化。

任务四：计算求解

请同学们计算需要叠加几组齿数分别为30和15的齿轮。

任务五：验证与实施

请同学们验证这种方式的可行性。



案例分析

优化制度和方法——三个和尚

我们小时候都听过三个和尚没水喝的故事。如今情况不同了，每座庙里水多得喝不完。

第一座庙：三个小和尚商量后把路分成三段，三个人接力挑水，水缸就满了。

第二座庙：老和尚给三个小和尚制定新的规矩，谁挑的水最多，晚上加一道菜；谁挑的水最少，菜减半甚至吃白饭。于是，三个小和尚你追我赶，一会儿把水缸挑满了。

第三座庙：三个小和尚商量，山上的竹子很多，咱们干吗挑水呢！砍一些竹子，打通它，连成一个输水管，河边装一个轱辘。第一个和尚摇轱辘，水桶上去了；第二个和尚站在高处，把水桶里的水往漏斗里一倒，灌入输水管；第三个和尚在庙里接水，把水缸装满。三个小和尚分工不同，三天一轮换。

讨论：请从系统优化角度，分析三座庙里小和尚的做法。



阅读材料

高速铁路系统

我国2004年引进国外的高速列车技术，2008年8月1日，第一条高速铁路——京津城际铁路开通运营，拉开了我国高速铁路建设和运营的序幕。我国仅用短短5年时间就完成了国外长达40年才能走完的发展历程。经过引进、消化、开发、再创造，到目前为止，我们已系统掌握了时速350 km高速铁路的成套技术，成为世界上高速铁路发展最快、系统技术最全、集成能力最强、运营里程最长、运营速度

微信公众号：电子课本大全



图 3.24　“复兴号”动车组

最高、在建规模最大的国家，走出了一条具有中国特色的自主创新之路。图3.24所示为我国自行研制的、具有完全自主知识产权的新一代中国标准动车组“复兴号”，于2014年完成方案设计，2015年下线。自2017年9月21日起，“复兴号”动车组在京沪高铁线上按时速350 km正式运行。

高速铁路是继航天工程之后最庞大、最复杂的现代化系统工程。它所涉及的学科之多、专业之广，充分反映了系统的综合性。它是建立在多个相关领域高新技术基础之上，综合协调、集成创新的成果。高速铁路实现了高质量及高稳定性的铁路基础设施、性能优越的高速列车、先进可靠的列车运行控制系统、高效的运输组织与运营管理体系等的综合集成，如图3.25所示。

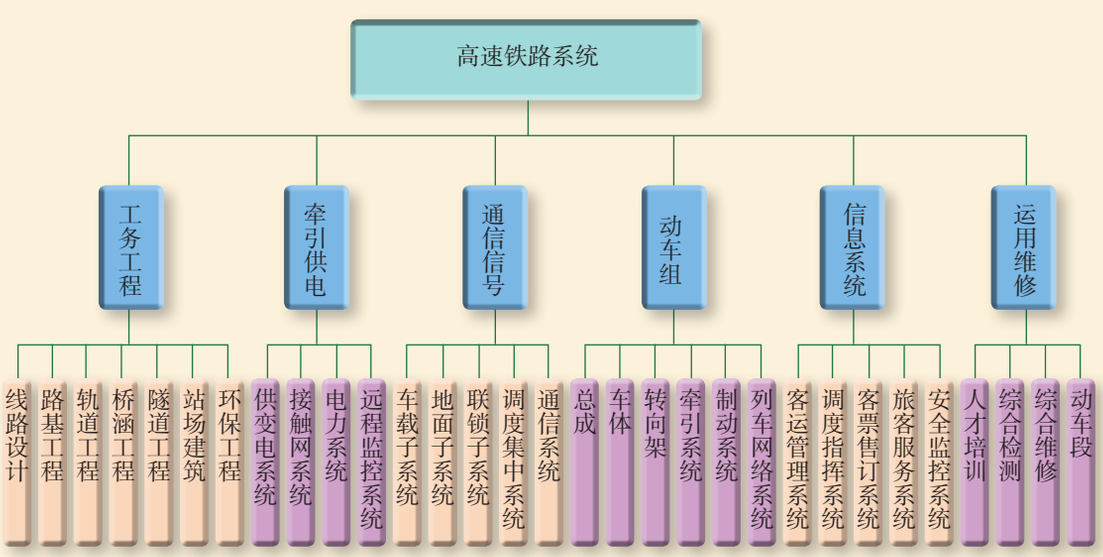


图 3.25　高速铁路系统结构

活动延伸

1.对学校运动会赛事进行系统设计，并考虑如何优化。

2.对你所住的小区停车系统进行优化，以增加更多的停车位。

微信公众号：电子课本大全

本章小结

系统是由若干要素以一定结构形式连接构成的具有某种功能的有机整体，即系统由互相依赖的若干部分组成，各部分之间存在着有机的联系，形成一个整体，以实现一定的功能。系统有大有小，有简单有复杂。复杂系统可以根据一定的标准划分为若干个子系统。系统具有整体性、相关性、目的性、动态性、环境适应性等特点。按照不同的分类标准可以将系统分为不同的类型。

系统分析就是采用系统的观点和方法，对所研究问题的系统结构和系统状态进行定性和定量的分析，提出各种可行的备选方案，并进行比较、评价和协调，找出符合目标的最佳方案。系统分析必须依据一定的步骤和方法，遵循外部条件与内部条件、当前利益与长远利益、局部效益与整体效益、定性分析与定量分析相结合的原则。

系统设计建立在对该事物的内部规律、外部环境（条件）、实现功能等充分研究的基础之上，它是一个不断完善、不断改进、不断优化的过程。系统设计必须依据一定的步骤和方法，遵循合理解决冲突问题、动态调整等原则实现系统基本功能及效益的最大化。系统优化就是为了实现系统的目的，组织和调节活动，使系统在一定环境下形成最佳结构并发挥最好功能的过程。

学习评价

评价内容			评价方式		
			自我评价	小组评价	教师评价
过程评价	师生互动	能积极思考老师提出的问题			
		能基于已有经验构建新的知识			
		能积极参与课堂讨论			
	实践活动	积极参与技术实践活动			
		与小组成员有效合作			
		在实践中提出创造性的构思			
		探究风动小车系统要素之间、整体与部分之间相互联系、相互作用的关系，以及要素对系统整体功能的影响			
		高中生卧室布局系统分析			
		厨房系统的设计			
		摩天轮模型系统的设计			
		摩天轮模型系统的优化			

微信公众号：电子课本大全

续表

评价内容			评价方式		
			自我评价	小组评价	教师评价
结果评价	目标实现	知识学习			
		迁移应用			
		厨房系统的设计布局合理、符合设计要求			
		摩天轮模型系统的设计满足设计要求			
		摩天轮模型系统的优化能实现优化目标			
	收获反思	收获感悟，反思不足			
		能够将所学知识迁移到其他领域并加以应用			

微信公众号：电子课本大全

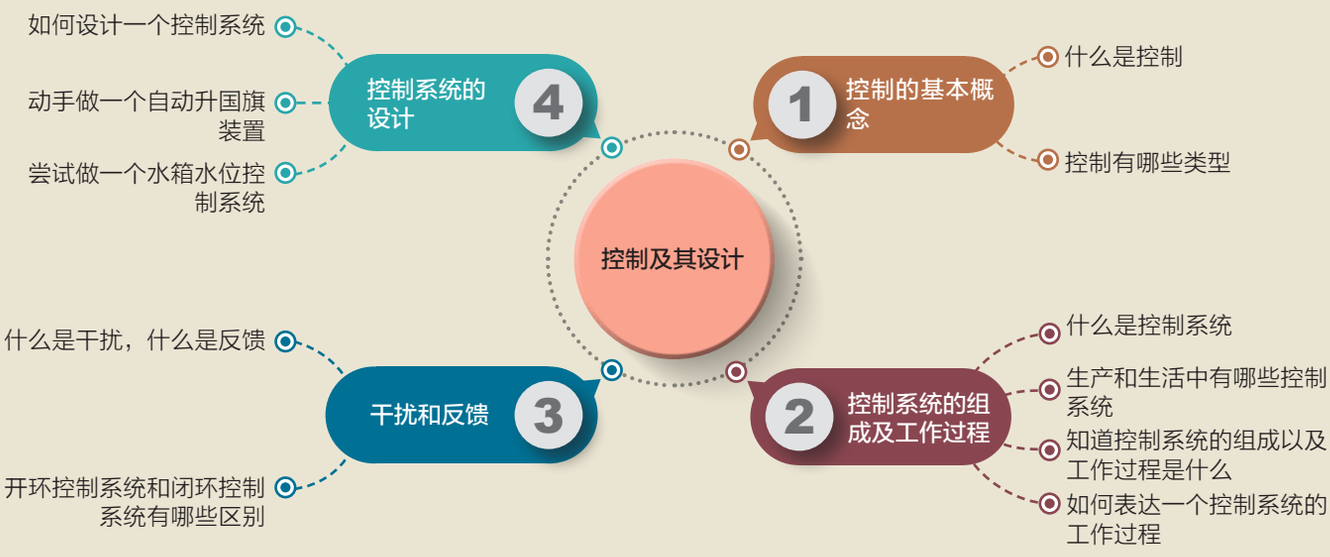
第四章
控制及其设计

导　言

远古时代，江河肆虐，洪水泛滥，人们常遭受灾害之苦。后来，人们学会了开渠修堰避免洪灾。现代的人们则拦河筑坝，调水发电。随着人类控制水的能力不断增强，水害变成了水利。人类是随着对事物控制能力的增强而逐步发展进步的。

如今，控制无处不在，已广泛应用于我们的日常生活、工农业生产和社会活动中，如工业系统中的温度控制、压力控制、流量控制、质量控制，社会系统中的物价控制、交通控制等。本章将要学习控制的基本概念和原理；认识控制系统的基本组成和简单的工作过程，学会画控制系统的方框图；在学习控制系统知识的基础上，进行简单控制系统的方案设计，并进行搭建和调试运行。

思维导图



微信公众号：电子课本大全

第一节　控制的基本概念



学习目标

1. 理解控制的含义。
2. 了解生产、生活中的控制问题和广泛应用。
3. 了解手动控制、自动控制、智能控制的特点。

我们先来做个“闭眼放硬币”的小游戏（图4.1）：把一个存钱罐放在你面前的桌子上，看准投币孔的位置，然后闭上眼睛，将硬币放入存钱罐的投币孔中。试试看，这个看似简单的活动当失去了眼睛提供的控制信号以后，是不是难了许多？



图 4.1　闭眼放硬币

放硬币的过程是一个复杂的控制过程。首先观察、判断存钱罐的位置，然后在手持硬币接近存钱罐的同时，不断观察和判断硬币与投币孔之间的距离，并不断调整手的位置，直到将硬币顺利放入投币孔。一旦闭上眼睛，失去了视觉的检测，就无法持续观察和判断硬币与存钱罐投币孔之间的距离并进行调整。这样，一件平常很容易做到的事，就变得困难了许多。

我们生活中经常能听到“控制”一词，如温度控制、压力控制、质量控制等。“控制”反映了人们的主观愿望和对客观事物的干预、影响。

一、控制的含义

控制是指人按照一定的目的，对事物施加影响，使其向目标发展变化的过程和行为。例如，夏天房间里温度高，人们打开空调，使房间里的温度下降到舒适的温度，这就是对房间温度的控制，实际就是对“温度”这个物理量进行调节，使其接近或达到人们的期望值。

控制广泛应用在生产生活的各个领域。例如，日常生活中公共场所经常使用的红外线自动水龙头、银行的自动取款机、商场的自动门等；工农业生产中温室大棚的温度自动控制系统、工业化的自动装配生产线；交通运输中的红绿灯自动控制系统、智能交通控制系统等；军事领域中的火炮随动控制系统等。

人体本身就是一个复杂的控制系统。人在站立时要控制自己的身体，使身体的重心线落在两脚的支撑面内。人在行走时，要控制身体的重心线交替地落在两只脚上。骑自行车

微信公众号：电子课本大全

也是一个控制过程。将自行车前后轮支撑点连线，人体的重心只有恰好落在这条线上才能保持平衡，在骑行时，人们可以通过调整前轮的运动方向，改变自行车支撑点的位置，使人体的重心始终落在自行车支撑点的连线上，就不会跌倒（图4.2）。

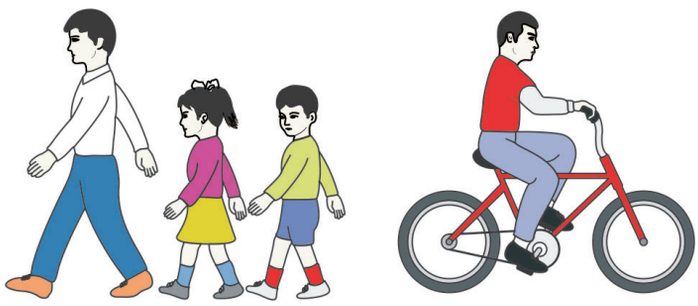


图 4.2　走路和骑自行车都是控制行为

人们发明了许多能够代替人的大脑进行判断和决策的控制装置，完成过去需要人工进行的控制。特别是随着计算机的广泛应用，人们给各种机器安装了“大脑”，机器可以按照人们的安排自动完成各种工作。现在有一种自动平衡车，由设计巧妙的机电控制装置自动实现平衡，人们不用经过复杂的学习训练，就可以很容易地操纵平衡车（图4.3）。

随着科技的进步，越来越多的原来由人进行控制的东西现在都可以由自动化装置来进行控制。



图 4.3　平衡车

二、控制的分类

根据人对控制过程的干预程度不同，控制可分为手动控制、自动控制和智能控制。

（一）手动控制

由人本身通过判断和操作进行的控制称为手动控制，也叫人工控制。例如驾驶汽车时，司机为到达目的地，需要根据路况和车况不断地操纵方向盘、油门、刹车；又如人的开、关灯，开、关门等行为，都为手动控制。



图 4.4　上课时间的手动控制敲钟

在手动控制过程中，人是控制的主体。人体的感官接收到控制对象的信息，通过大脑的分析判断做出决定，再控制手脚做出相应的动作完成对控制对象的调整，从而完成控制行为。

在电影、电视里可以看到，过去学校上课时间是由人敲钟（图4.4）来控制的。敲钟

微信公众号：电子课本大全

人通过观察钟表的时间决定什么时候敲钟，时间到了，就用锤子敲钟。后来有了电铃，敲钟就变成用开关控制打铃了。这都属于手动控制。

很多家用电器可以用遥控器控制，这实际上也属于手动控制，只不过不是直接用手去控制，而是用遥控器通过红外线间接进行控制。

（二）自动控制

自动控制是用各种控制装置代替人的感官、大脑和肢体，代替人自动完成控制动作。

现在有些楼道里采用的声、光控电灯，通过模仿人控制电灯的行为自动控制电灯的开关。首先通过光传感器（眼睛）感知楼道内的光线亮度，判断是白天还是夜晚；然后通过声音传感器（耳朵）感知是否有人通行；再通过控制装置（大脑）使执行装置（手）接通电源打开电灯（图4.5）。

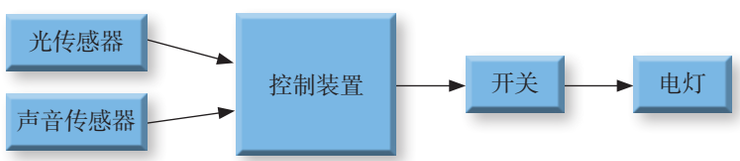


图 4.5　楼道电灯的自动控制

程序控制是让机器按照人提前设定好的时间和顺序进行工作。如上课铃声就是人们根据上、下课时间提前设定的，电铃装置按照设定好的时间响铃。交通信号灯、洗衣机等都是由程序控制的。程序控制也属于自动控制，在工业生产中有更加广泛的用途。



探究与交流

为了节能减耗，商场里的扶梯在没有人乘坐时低速运行，当有人乘坐时才以正常速度运行（图4.6）。对扶梯速度的控制，是自动控制吗？如果是，请探究扶梯是如何感应有没有人乘坐的。

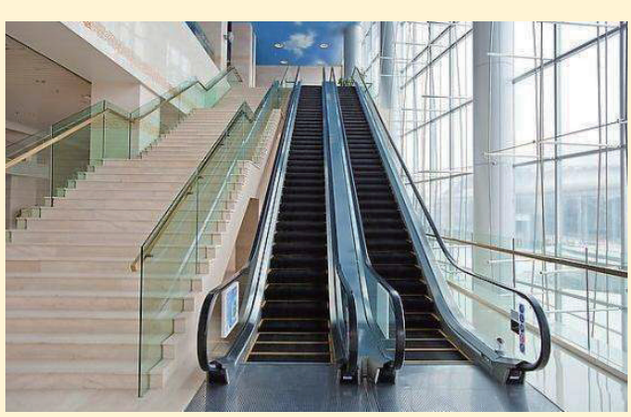


图 4.6　自动变速扶梯

微信公众号：电子课本大全

（三）智能控制

智能控制是指智能机器在无人干预的情况下，能模仿人的感知、判断和行为，自主地实现控制目标的自动控制技术。

智能控制系统可以像人一样，对环境变化或突发情况进行监测、判断和应对。智能控制系统具有自适应、自学习和自协调能力，可以自动地完成拟人任务。

智能服务机器人有的可以协助患者医疗康复，助老助残；有的可以进行儿童看护，协助儿童学习；有的还可以打扫卫生，炒菜做饭。如今，在配备了人工智能系统的医院，其门诊大厅的导医智能机器人（图4.7）能够像真人一样回答患者提出的问题，更好地为患者服务。

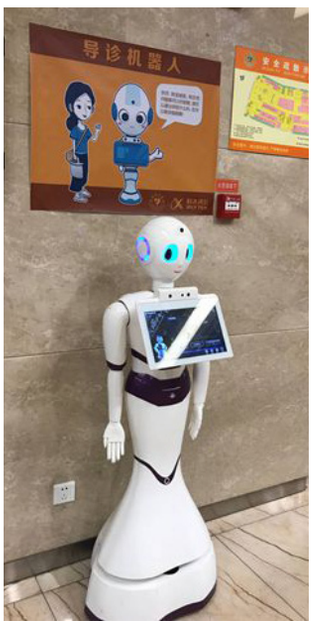


图 4.7　导医智能机器人

智能控制可以看作是自动控制的发展和进化，是传统控制技术与快速发展的计算机技术结合而演化出来的。近年来，人工智能技术发展迅速，在文字、声音和图像识别，数据检索和记忆，逻辑思维等方面接近甚至超过人类。因此，智能控制在理论上可以达到甚至超过人工控制的水平。

实践与体验

贴鼻子游戏

画一个没有鼻子的人的面部画像挂在墙上，用一张带不干胶的红纸剪一个圆代表鼻子。在一定的距离外蒙上眼睛，走过去把鼻子贴到画像的鼻子处。

分析一下，为什么睁开眼睛很容易做到的事情，蒙上眼睛就不容易了呢？

把“贴鼻子”当作控制行为来分析一下，整个控制过程是怎样的？

三、典型控制案例

（一）蒸汽机速度调节装置

1788年，詹姆斯·瓦特（James Watt）发明了飞球调节器，用于调节蒸汽机的转速，其原理见图4.8。调节器有一对与蒸汽机轴相连的重球，当蒸汽机轴转动时带动重球旋转。当蒸汽机的负荷减小时转速变快，重球在离心力的作用下远离旋转轴，带动与其连接的一端上升，通过杠杆作用带动汽控阀把手向下移动，关小阀门，降低转速；当蒸汽机的转速变慢时，重球所受的离心力减小，在重力作用下接近旋转轴，以相应的方式带动汽控阀把手向上移动，开大阀门，增加转速，使蒸汽机的转速控制在一个固定的范围内。

微信公众号：电子课本大全

飞球调节器是一个经典的控制装置，其控制目标是要把蒸汽机的转速稳定在一定范围内，方法是通过飞球调节装置调节蒸汽机的阀门，控制蒸汽的流量，从而控制蒸汽机的转速使其稳定。

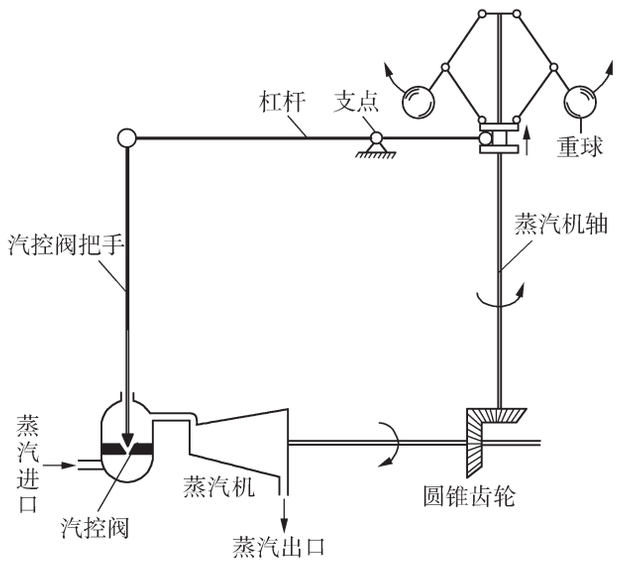


图 4.8　飞球调节器的原理

（二）都江堰水利工程

都江堰水利工程是我国古代人造控制工程的典范，历经两千多年，现在依然发挥着作用。

都江堰水利工程可以自动控制进入成都平原的水量，不需要人工调节。都江堰水利工程由鱼嘴分水堤、飞沙堰溢洪道和宝瓶口三部分组成（图4.9），其作用是把岷江的一部分水引入成都平原。岷江的水量较大，而且不同的季节水量变化很大。如果把岷江的江水全部引入，必然造成雨季洪水泛滥。鱼嘴分水堤的作用是把岷江分成外江和内江，只让一部分江水通过内江进入成都平原，其余的江水从外江流走。



图 4.9　都江堰水利工程

鱼嘴分水堤的设计保证了在枯水期所分流到内江的水量能够满足农业灌溉和人民生活所需。但在洪水期，其分流的水量就会大于需要量。这时，后面的宝瓶口和飞沙堰溢洪道就发挥了作用。宝瓶口的宽度是一定的，两面是陡峭的山崖。当来水量增大时，水位上涨，超过飞沙堰溢洪道高度时，一部分江水就会从飞沙堰溢洪道溢出，流入外江，从而控制了进入成都平原的水量，避免引发洪水。

微信公众号：电子课本大全

都江堰水利工程的控制目标就是要使进入成都平原的水量适度，通过宝瓶口的限流和飞沙堰溢洪道的限流来调节水量，从而达到控制进入成都平原的水量的目的。

探究与交流

老鹰追兔子（图4.10）的行为也是一种控制过程。尝试分析一下老鹰的控制过程。军事领域的导弹防御系统中，雷达侦察敌机位置信息，通过网络传递给计算机，计算机经过处理后，将控制命令传递给导弹上的驱动装置，调节导弹的飞行路线。这个控制过程与老鹰追兔子中老鹰的控制过程相似吗？请具体说明。



图 4.10　老鹰追兔子

活动延伸

分析下列表格（表4.1）中常见的控制系统是手动控制还是自动控制，并在相应的位置画“√”。

表 4.1　常见控制系统的控制方式

控制方式	电扇	空调	厢式电梯	变速扶梯	自动门
手动控制					
自动控制					

第二节　控制系统的组成及工作过程

学习目标

1. 理解控制系统的含义。
2. 熟悉简单开环、闭环控制系统的组成及工作过程，理解其中控制器、执行器、检测装置等的作用。
3. 能用方框图表达控制系统的工作过程。

控制系统已经广泛应用于社会各个领域，从家中的各类电器到高速铁路网络，从工业生产中的自动化流水生产线到飞机的导航系统，自动控制技术都有着实际的应用。随着技

微信公众号：电子课本大全

术的发展，控制系统的应用领域还在不断扩大。

一、什么是控制系统

什么是“控制系统”？控制系统是指实现对某个事物进行控制所需的一整套装置的统称。比如，都江堰水利工程就是一个水控制系统，包括了鱼嘴分水堤、飞沙堰溢洪道和宝瓶口三部分；楼道里的声、光控灯控制系统则包括了声音传感器、光传感器、控制装置和灯泡等。

理解任何控制系统，都要明确：控制系统的控制对象是什么？控制系统要达到什么目标？采取了什么控制手段？例如空调控制系统，若夏季空调的设定温度为26 ℃，空调温度传感器检测房间温度，当房间温度高于26 ℃时空调内部的控制装置发出指令，使压缩机和制冷系统开始工作，使房间内温度下降；当房间温度低于26 ℃时空调停止工作。该控制系统中控制对象是房间，控制目标就是使得房间的实际温度接近或达到设定的目标值，控制手段是控制空调压缩机的启动和停止，以维持房间温度，如图4.11所示。

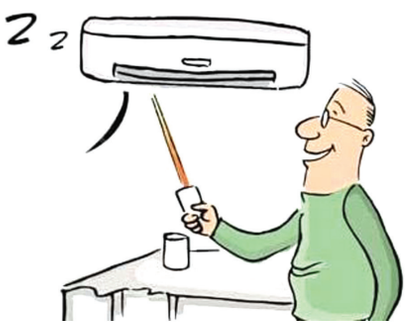


图 4.11　空调控制系统

控制系统方框图（图4.12）就是用图框和文字代表控制系统的组成部分，用箭头表达控制过程的信号和动作传递方向。它表示了控制系统各个组成部分在系统中的位置、功能和相互之间的关系，用这种方框图分析控制系统，简单明了。

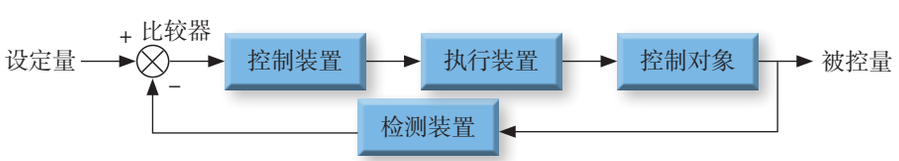


图 4.12　控制系统方框图

二、开环控制系统

在电暖器取暖控制系统中，通过调节电暖器的挡位来设定电暖器不同的加热功率。卧室、客厅一般采用的电热汀取暖器又叫充油式电暖器。当接通电源后，调整加热挡位，电暖器开始加热，电加热管周围的导热油被加热，然后沿着热管或散热片将热量散发出去，房间温度开始上升（图4.13）。图4.14为电暖器取暖控制系统的方框图。

电暖器取暖控制系统中的房间实际温度是我们想要控制的量，称为被控量。房间的实际温度不对电暖器取暖控制系统的控制产生任何影响。对该系



图 4.13　电暖器取暖示意图

微信公众号：电子课本大全



图 4.14　电暖器取暖控制系统方框图

统的控制产生影响的为设定的加热功率挡位，我们称为设定量。我们把这种被控量不对系统的控制产生任何影响的控制系统称为开环控制系统。

开环控制系统的方框图如图4.15所示，设定量是控制系统的输入信号，如设定加热功率挡位；被控量是控制系统所要控制的量，也是控制系统的输出信号，如房间实际温度；控制器是控制系统的核心，是对设定量进行处理并发出控制命令的装置；执行器是控制作用的最终执行者，即直接对被控对象进行控制的装置或元件，如电加热管；控制对象是控制系统中所要控制的装置或生产过程。



图 4.15　开环控制系统方框图

例如，学校上课铃控制系统是靠定时器控制的，其控制系统如图4.16所示，就是一个开环控制系统。如果电线发生断路，或者电铃出现故障铃声不响，控制装置不会发现问题，也无法采取补救措施。



图 4.16　上课铃控制系统方框图

实践与体验

生活中的控制

分析一下：空调、电冰箱、电热开水器、抽水马桶水箱、自动门等控制系统的控制对象、控制目标分别是什么？是通过什么手段对控制目标进行影响和改变的？最后完成表4.2的填写。

表 4.2　常见控制系统的控制对象、控制目标和控制手段

	空调	电冰箱	电热开水器	抽水马桶水箱	自动门
控制对象					
控制目标					
控制手段					

微信公众号：电子课本大全

探究与交流

下列控制系统都是开环控制系统吗？尝试分析它们的控制系统、执行系统、控制对象分别是什么，并画出控制系统方框图。

1.定时红绿灯（图4.17）控制系统。

2.自动水龙头（图4.18）控制系统。



图 4.17　定时红绿灯



图 4.18　自动水龙头

做中学

人体感应灯控制系统

【目的】

分析人体感应灯控制系统的组成，探究其工作过程。

【准备】

Arduino Uno控制板、扩展板、人体红外感应传感器、LED灯模块、计算机编程环境。

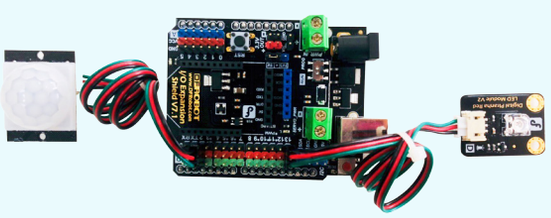


图 4.19　人体感应灯控制系统

【步骤】

1.认识人体感应灯控制系统。

2.按图4.19所示连接电路，编制控制程序，并上传程序。

3.观察试验现象，并分析人体感应灯控制系统的工作过程。

【思考】

1.人体感应灯控制系统由哪些部分组成？

2.人体红外感应传感器的作用是什么？

3.画出人体感应灯控制系统方框图，说明其工作过程。

4.分析自动门控制系统与人体感应灯有什么相似之处。

微信公众号：电子课本大全

三、闭环控制系统

在开环控制系统中，使用电暖器取暖控制系统给房间加热，电暖器无法感知房间内温度的变化，也不能根据室温的变化调节发热量，因此无法保证房间内温度恒定。但当我们在冬天使用空调温度控制系统给房间加热时，就可以解决这个问题。空调中通过一个温度检测装置对房间内的实际温度进行检测，并把检测值返馈到比较器与设定值进行比较，如果检测值与设定值有偏差，系统对被控量进行控制调节，直到达到设定值。例如，冬季我们将空调工作温度设定为22 ℃，空调温度传感器检测房间温度，当房间温度低于22 ℃时，空调内部的控制装置发出指令，使压缩机开始工作，使房间内温度上升；当房间温度高于22 ℃时，空调停止工作。图4.20所示为空调温度控制系统的方框图。

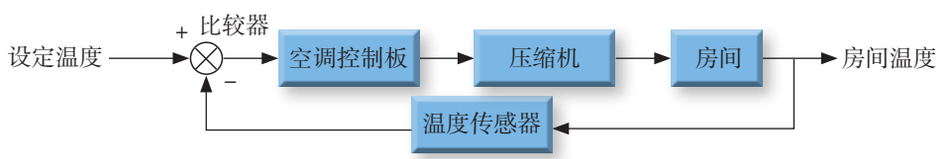


图 4.20　空调温度控制系统方框图

我们把这种将被控量检测结果与设定值进行比较，系统根据偏差再次调节被控量，直至达到或接近设定值的控制系统，称为闭环控制系统。

闭环控制系统的方框图如图4.21所示。检测装置检测出被控量并通过比较器与设定量进行比较，求出偏差值。控制器就这一偏差值进行运算，向执行器发出控制命令，进而控制被控对象，使被控量稳定在一定范围内。

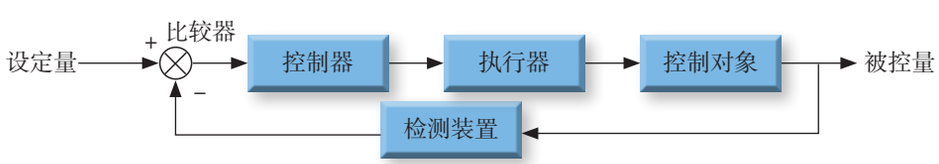


图 4.21　闭环控制系统方框图

案例分析

电热开水器控制原理探究

空调、电热开水器和电冰箱等都是靠温度控制系统来控制温度的，都是闭环控制系统。如电冰箱工作时，其反馈系统通过传感器对被控量（温度）进行检测，然后再把检测信号输入控制器与设定值进行比较，如果检测温度高于设定温度，冰箱压缩机开始工作，降低冰箱温度；当检测温度达到设定温度时，控制器发出指令使压缩机停止工作。反馈环节的检测工作由温度传感器完成，如热电偶、热电阻等。

电热开水器的控制原理与空调类似，其水温控制系统的控制原理可以用方框图表示，如图4.22所示。

微信公众号：电子课本大全

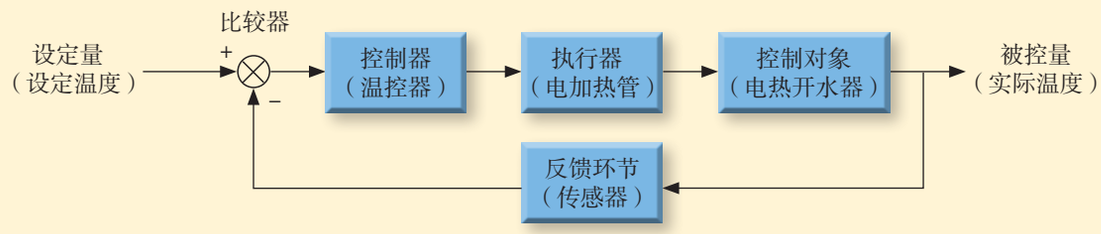


图 4.22　电热开水器温度控制系统方框图

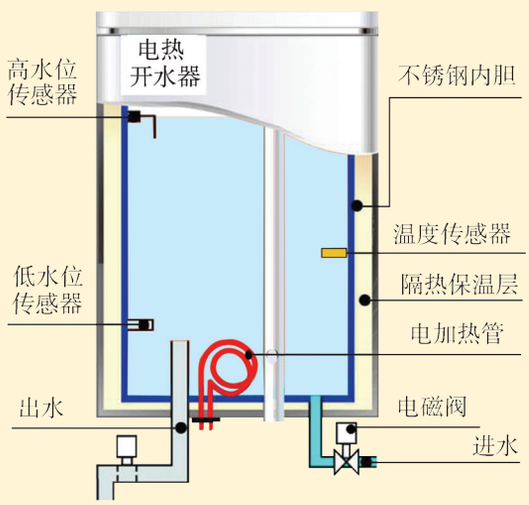


图 4.23　电热开水器工作原理

上述电热开水器工作原理图（图4.23）中，还存在一个水位控制系统。当电热开水器水箱里的水位低于低水位传感器位置时，电磁阀打开，开始进水；当水位到达高水位传感器位置时，电磁阀关闭，停止进水。

讨论：电热开水器水位控制系统是开环控制系统还是闭环控制系统？为什么要放两个水位传感器？

实践与体验

生活中的控制系统

找出生活中常见的控制系统，如自动烘手机、变速电梯、电冰箱温度控制系统、抽水马桶水箱水位控制系统等（表4.3），进行小组考察，判断这些控制系统是开环控制系统还是闭环控制系统，分析其被控量和设定量分别是什么，并画出控制系统的方框图。

微信公众号：电子课本大全

表 4.3　生活中常见的控制系统分析表

	自动烘手机	变速电梯	电冰箱温度控制系统	抽水马桶水箱水位控制系统
开、闭环控制系统				
设定量				
被控量				
控制系统方框图				

四、控制系统的组成及各部分的作用

（一）检测装置

检测装置是检测被控量并转换成控制装置可以识别的信号的装置。检测装置中的核心是传感器。检测装置要把传感器检测的信号转换成控制装置能够识别的信号，这样便于识别、传输和控制。所以，很多检测装置是由传感器和信号转换器组成的。有些传感器的信号不需要转换装置就能够识别，这时检测装置直接称作传感器。

1. 温度传感器

温度传感器可以检测温度，并能把温度转换成相应的电信号。常见的温度传感器有热电偶、热电阻（图4.24）。



图 4.24　热电阻



图 4.25　电阻式位移传感器

2. 位移传感器

位移传感器可以测量物体移动的距离。位移传感器的原理有很多种，如电阻式位移传感器（简称电阻传感器）就是利用金属的电阻与长度成正比的性质，根据电阻大小测量位移的，如图4.25所示。

微信公众号：电子课本大全

3. 力传感器

力传感器（图4.26）可以测量力的大小。根据弹簧的弹力和弹簧伸长（或缩短）的长度，在电刷上安装一个弹簧，用一个力压缩弹簧。通过电刷的位移可以计算出压缩弹簧所用的力，这样就制成了力传感器。



图 4.26　力传感器

4. 光传感器

光传感器（图4.27）是指能检测光的传感器，如光敏电阻、光敏二极管、红外传感器等。



a. 光敏电阻　　b. 光敏二极管　　c. 红外传感器

图 4.27　光传感器

（二）控制装置

控制装置是控制系统的核心，它接收设定的被控量目标值，对控制对象进行控制；或者接收由传感器从输出端传来的信号，把这个信号与设定的目标值进行比较、判断，向执行装置发出动作指令，调节被控量达到控制目标。

控制装置有很多种，包括定时控制装置、机械控制装置、控制开关、单片机、计算机等。

1. 定时控制装置

定时控制装置是以时间作为被控量进行控制的。控制装置的核心是计时器，通过开关控制对象或执行装置。比如微波炉的加热时间就是靠定时器控制的。设定好加热时间后，定时器开始计时，微波炉开始加热；达到设定时间后，定时器控制装置断开工作电源，微波炉停止加热。

定时控制装置可分机械式和电子式，如图4.28所示。



a. 机械式定时器　　b. 电子式定时器

图 4.28　定时器

2. 机械控制装置

机械控制装置是用机械零部件组成的控制装置。蒸汽机的飞球控制装置就是由齿轮、旋转轴、重球和杠杆等机械零部件组成的机械控制装置。

抽水马桶水箱液面控制系统（图4.29）中的控制装置是连接浮子和进水阀的杠杆。水箱液面是靠杠杆和浮子在杠杆上的位置来控制的。该控制系统是靠机械装置（杠杆）进行水位控制的，属于机械控制装置。

微信公众号：电子课本大全

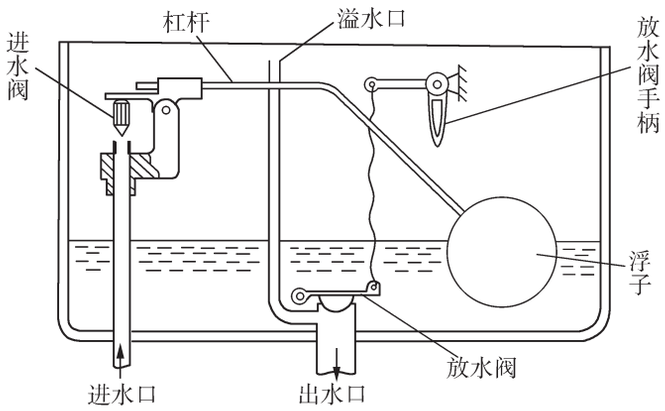


图 4.29　抽水马桶水箱液面控制系统

3. 控制开关

控制开关是带有某种传感器的开关。有些可以作为控制装置使用，有些可以配合控制装置使用。控制开关主要包括以下几种：行程开关（图4.30），是靠物体接触时的压力拨动触头触发电路通、断；液位开关（图4.31），简单的液位开关是靠导电液体与固定在某一高度的电极接触或利用液体导电接通电路；光敏开关（图4.32），是利用光线控制的开关；声控开关，是接收到一定音量的声音时触发电路。

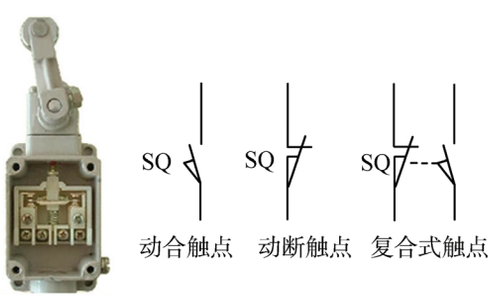


图 4.30　行程开关和触点符号



a. 电极式液位开关

b. 浮球式液位开关

图 4.31　液位开关



图 4.32　光敏式路灯开关

4. 单片机、计算机

单片机实际上是一种微型化的计算机，它是把计算机的基本单元集成在一个硅片（芯片）上制成的（图4.33）。单片机包含了微处理器（CPU）、数据存储器（RAM）、定时器和输入/输出接口等。单片机和计算机一样具有运算、控制功能，连接各种传感器后，可以进行温度控制、压力控制、声音控制等。许多电器以单片机为核心组成控制系统，如洗衣机、电冰箱、空调、电饭锅等。

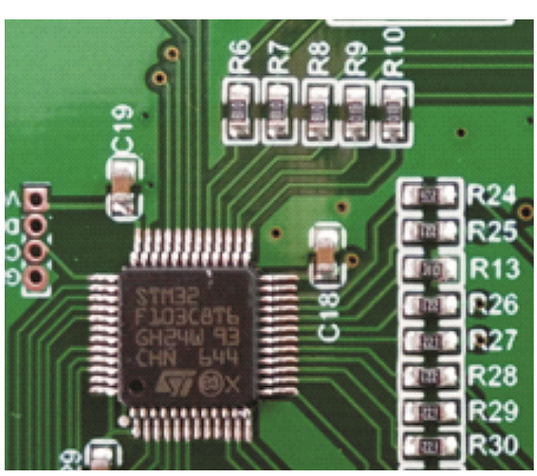


图 4.33　单片机控制装置

大型、复杂的控制系统常采用计算机作为控制装置。工业控制系统对可靠性的要求非常高，

微信公众号：电子课本大全

因为一旦计算机出现故障，可能会造成非常严重的事故。所以，工业控制系统要选用专门的工业控制计算机，简称“工控机”。

（三）执行装置

执行装置是按照控制装置的指令对控制对象及被控量进行控制、调节的装置。在控制、调节的时候往往需要某个动作。比如，水箱的水位达到预定高度了，要关闭阀门；电梯到达选定的楼层，要停下并开门；下课时间到了，要接通电源打铃；等等。执行这些动作，最终完成控制行为的装置就是执行装置。

执行装置需要某种动力来动作，这种动力可以是电动力、气动力、液压力、机械力等。常用的执行装置有电动机、电磁铁、电开关、阀门、气缸、油缸、杠杆、齿轮等。

1. 开关和继电器

开关经常用来控制电灯，是一种执行装置。开关也可以控制其他执行装置，比如控制电动机、电磁铁等，这时可以将其看作是执行装置的一部分。

继电器是一种间接的开关，是用低电压、小电流的控制信号来控制大电流、高电压执行装置的控制器件，其结构与原理如图4.34所示。

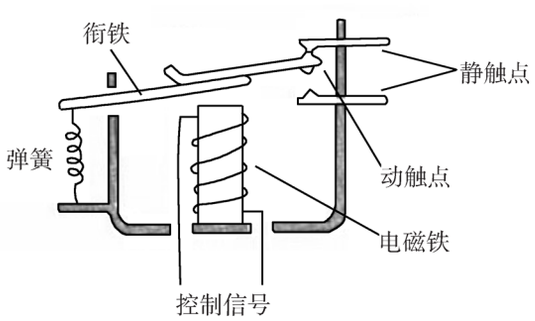


图 4.34　继电器的结构与原理

2. 电磁阀

电磁铁通电产生电磁力，可以吸引铁磁性物质，比如衔铁，断电后电磁力消失。电磁铁通常和弹簧配合，制作成短距离往复运动的执行装置——电磁阀。电磁阀结构简单，控制方便。

电磁阀是感应式水龙头控制系统的执行装置，其中的主要部件是电磁铁。如图4.35所示为控制水龙头用的电磁阀。



图 4.35　电磁阀

3. 电动机

电动机是最常用的动力装置，很多执行装置都是用电动机作为动力装置的。

电动机的规格种类非常多，如家用的电风扇、洗衣机、电冰箱等，使用的是220 V的交流电动机；电动玩具上用的是直流微型电动机。如图4.36所示的是常用的直流电动机和一种带减速器的电动机。



a. 直流电动机　　b. 带减速器的电动机

图 4.36　电动机

电动机产生旋转运动，也可以通过配合齿轮、连杆等机构改变转速，或者把旋转运动转变成往复运动、摆动等。

微信公众号：电子课本大全

4. 气动装置

公共汽车车门的开启和关闭是由司机按动控制按钮，通过电磁阀打开气缸（图4.37）进气门或排气门来完成的，气缸就是开关车门的执行器。

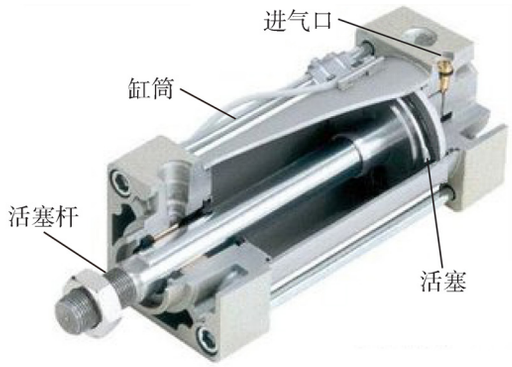


图 4.37　气缸

活动延伸

观察：生活中常见控制系统的组成都有什么？分析其中的检测装置、控制装置和执行装置分别是什么（表4.4）？

表 4.4　常见控制系统的检测装置、控制装置和执行装置

	自动门	楼道声控灯	泳池水位自动控制
检测装置			
控制装置			
执行装置			

第三节　干扰和反馈

学习目标

1. 了解干扰现象和反馈原理。
2. 了解开环、闭环控制系统的区别及各自的优势。
3. 认识典型的控制系统。

一只老鹰在捉兔子，老鹰向着兔子的位置俯冲过去；兔子发现了老鹰，快速逃跑，老鹰调整方向继续追击。这是一个控制过程。老鹰的目标是缩小与兔子之间的距离，最终捉住兔子。兔子逃跑使距离加大了，对于老鹰捉兔子的控制过程来说就是一种干扰。老鹰看到兔子逃跑，及时调整方向就是对干扰的一种反馈。反馈的作用是消除干扰对控制的不利影响。

微信公众号：电子课本大全

一、干扰

控制系统在运行的过程中会受到很多因素的影响。在控制系统中，除设定量以外，引起被控量变化的各种因素称为干扰因素。干扰会引起被控量发生意外变化，使控制精度下降，甚至达不到控制的目的。

导弹发射过程中，导弹受风的影响偏离目标，风就是干扰因素。另外，目标移动也是干扰因素。

探究与交流

在电冰箱（图4.38）温度控制系统中，改变设定的温度会引起被控量变化，这是设定量引起被控量的变化。你认为能引起电冰箱中实际温度变化的干扰因素都有哪些？当这些干扰因素发生作用时，电冰箱温度控制系统是如何工作的？



图 4.38　电冰箱

二、反馈

为了解决干扰因素对控制系统的影响，在很多控制系统中，人们采用反馈装置对干扰产生的偏差进行修正，从而提高控制的精度和可靠性。

反馈就是通过传感器检测出被控量的偏离量，把偏离量传递到控制装置，控制装置通过调整对偏差进行修正，使被控量逐渐接近设定值的过程。

开环控制系统没有反馈装置。例如，猎人用弓把箭射出去后，发现偏离了目标，但箭已经射出，他无法进行修正。

闭环控制系统带有反馈装置。闭环控制系统对经过控制系统调节后的被控量进行检测，如果测得结果与设定值有偏差，系统再次调节被控量，直至达到设定值。对被控量进行检测并将检测结果传回输入端的环节叫作反馈环节。

微信公众号：电子课本大全

探究与交流

请同学们依照如下空调温度控制系统方框图（图4.39）和电热开水器温度控制系统方框图（图4.40），根据本节的学习内容，找出其中的反馈环节，并说明其起到的作用是什么。

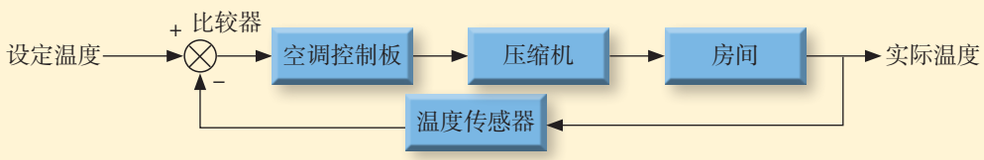


图 4.39　空调温度控制系统方框图

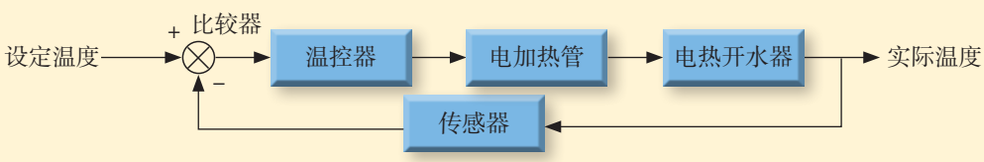


图 4.40　电热开水器温度控制系统方框图

三、开环、闭环控制系统的特点

开环控制系统没有反馈装置，不能对干扰因素作用在被控量上所产生的偏差进行调整，没有自动纠正的能力，系统会存在误差，控制精度低。开环控制系统适合干扰较小的情况。因其结构简单、功耗较小、速度较快、成本低等特点，仍被广泛采用。如自动售货机、自动洗衣机、十字路口的红绿灯等。

闭环控制系统带有反馈装置，对干扰因素具有较强的抵抗作用，当被控量偏离设定量，闭环控制系统会通过控制作用减少偏差，因此控制精度高。与开环控制系统相比，闭环控制系统结构较复杂，制作成本较高。在自动控制系统中，闭环控制系统因其控制精度高，应用极其广泛。

探究与交流

请同学们根据所学知识，设计并制作一个开环控制系统与闭环控制系统的对比表格。比较它们的相同点与不同点，优势与不足。

四、控制系统案例

（一）自行火炮

如果从发射一发炮弹来看，自行火炮（图4.41）是开环控制系统。虽然开炮也要经过

微信公众号：电子课本大全



图 4.41　自行火炮

瞄准、计算、调整，但炮弹打出去以后受到风的影响偏离目标，或者目标移动了，就无法再次进行纠正了。

如果在发射了一发炮弹后，可以根据弹着点的偏离度进行修正，使后面发射的炮弹更加接近目标，这时，整个火炮系统就是一个闭环控制系统了。

（二）导弹控制系统

导弹控制系统控制的是导弹（图4.42）和目标之间的距离，目的是要击中目标（偏离为零）。导弹控制系统采用雷达、红外线、激光或图像跟踪装置，将检测到的导弹与目标的距离和方位误差值输入控制器（计算机）进行分析计算，然后向执行器（动力装置和飞行姿态调整装置）发出指令，不断修正导弹飞行姿态，直至击中目标。这也是一个闭环控制系统，其控制原理如图4.43所示。



图 4.42　导弹

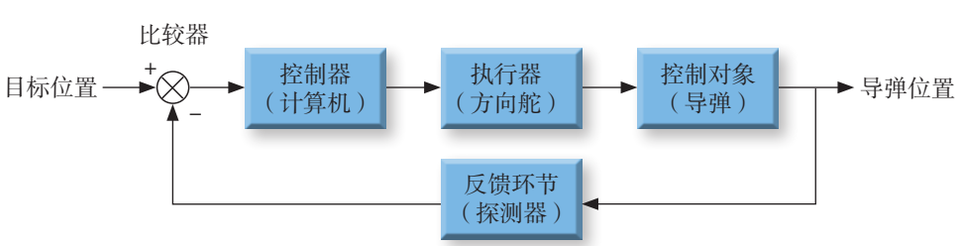


图 4.43　导弹控制原理方框图

（三）无人驾驶汽车

无人驾驶汽车能够在无人驾驶的情况下选择恰当的行驶路线，避开路上的车辆、行人和其他障碍物，遵守交通规则，安全、快捷地到达目的地。

无人驾驶汽车的控制系统通过卫星导航和电子地图确定目的地并引导汽车的行驶（图4.44）。当汽车的位置发生偏离时，控制系统通过反馈环节自动予以纠正。

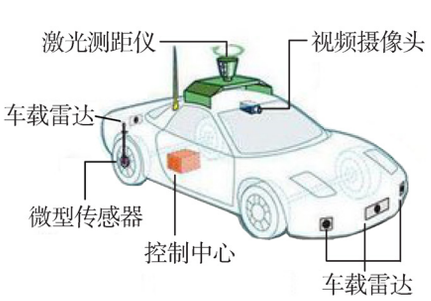


图 4.44　无人驾驶汽车

微信公众号：电子课本大全

汽车控制系统可以代替人来控制汽车的油门和刹车。控制系统通过激光测距仪采集信号，识别出周围的固定物体和移动的物体，在车载雷达的辅助下实时监控，判断汽车与相邻物体的距离。一旦发现距离过近，控制系统会立即采取措施，预防碰撞发生。控制系统还可以通过前置视频摄像头识别出红绿灯交通信号和交通指示牌，使无人驾驶汽车遵守交通规则。

无人驾驶汽车的控制系统包含了若干个控制子系统，每个子系统控制汽车的某项功能，所有的子系统在主系统的统一协调控制之下运行，完成对无人驾驶汽车整体的控制功能。



活动延伸

表4.5中的控制系统都有哪些干扰因素？一般会发生怎样的反馈？

表 4.5　控制系统的干扰与反馈

	老鹰捉兔子	电热开水器	空调	自行火炮
干扰				
反馈				

第四节　控制系统的设计



学习目标

1. 能根据控制系统的要求，确定被控量、控制量。
2. 能绘制控制系统的方框图，并制订简单控制系统的设计方案。
3. 能制作一个简单的控制系统，进行调试运行和评价。

要完成一个控制系统的设计不能操之过急，需要按照科学的方法和步骤进行。要分析控制要素与控制过程，计算控制参数，绘制控制方框图，准备相关元器件与工具，安装连接，最终还要试验、调试，如果发现问题，还需进一步改进优化。

一、控制系统的设计流程

在设计控制系统时，我们首先要确定控制的目的和要求，确定控制对象、被控量及控制范围、精度等；根据控制目的和要求进行方案设计，确定用什么控制方式，是开环还是

微信公众号：电子课本大全

闭环；分析控制方案并进行必要的计算；根据设计方案绘制出控制系统方框图，还要为控制器、执行器、传感器选定元器件；按照控制系统设计方案将控制系统的各种元器件固定安装好，并按照设计方案连接起来，再进行调试。控制系统的设计流程如图4.45所示。

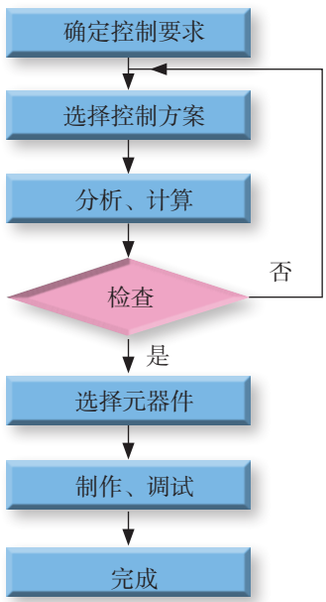


图 4.45　控制系统的设计流程

二、控制系统设计案例——自动升国旗装置的设计

（一）确定控制要求

（1）在国歌播放的时间内，匀速将国旗升到旗杆顶部，升旗装置自动停止。

（2）选用质量稳定、低成本、易于获取的元件、设备和材料制作模型。

（二）选择控制方案

选用开环控制方案。

控制升旗的时间可以用定时器。现在有各种电子定时器，使用非常方便。比如可以直接使用定时电源插座，也可以采用电子定时电路。

位置控制可以根据电动机的转速、滑轮的直径、绳子的长度等数据，经过计算得到电动机通电时间的长短，然后通过定时器来控制。设定的通电时间到了，定时器断电，升旗动作停止。升旗装置开环控制系统方框图如图4.46所示。

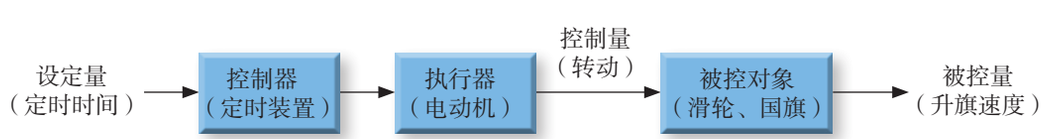


图 4.46　升旗装置开环控制系统方框图

（三）分析、计算

在升旗装置开环控制方案中，要通过控制电动机的工作时间来控制升旗的高度。通电时间到了就关闭电源，使电动机停止运转，国旗停止上升。可以根据电动机的转速n、滑轮的直径D、绳子的长度L等数据，经过计算得到升旗所需要的时间t：

$$t=\frac{L}{\pi Dn}$$

（四）选择元器件

根据设计方案中控制系统所需的控制装置和参数要求选择合适的元器件，用以制作控制系统。

微信公众号：电子课本大全

（五）制作、调试

在底板上用铅笔画出各元器件的安装位置，如旗杆安装孔、电动机固定螺钉孔、穿线孔等的钻孔位置。安装滑轮的孔位置要准确，要让绳子能够装上，而且有一定的张紧力，滑轮转动时应该能带动绳子一起运动。可以把其中一个轴孔做成位置可调的结构，便于调整皮带的松紧度。把各元器件、零件安装到各自的位置上，用螺钉把国旗固定在相应的位置。用导线把各元器件连接起来，检查无误后就可以通电试验了。

自动升国旗控制装置组装示意图如图4.47所示。

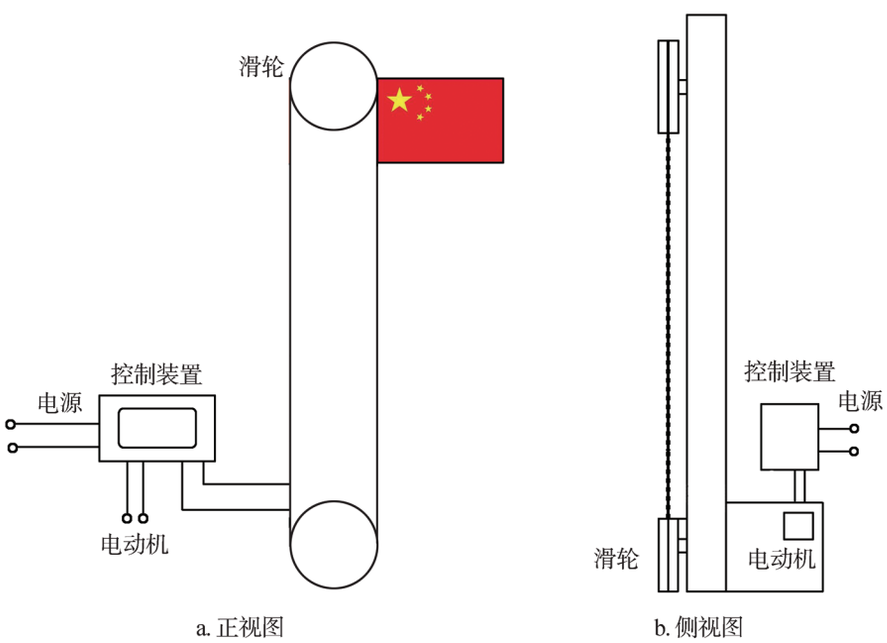


图 4.47　自动升国旗控制装置组装示意图

测试一下控制系统工作是否正常。如果控制系统不能正常工作，则要检查问题出在哪里，是什么原因，直到控制系统能够正常工作。

阅读材料

黑箱方法

在控制论中，通常把所不知的系统称为“黑箱”，而把全知的系统称为“白箱”。在社会生活中，广泛存在着不能观测却可以控制的“黑箱”。比如，大家每天都用手机，但并不清楚手机的内部构造和原理，对我们而言，手机的内部构造和原理就是“黑箱”。

黑箱方法的原理是：即使不清楚“黑箱”的内部结构，仅知道它的输入-输出关系，就可对它做出分析研究和设计制作，如图4.48所示。

微信公众号：电子课本大全

黑箱方法也是设计控制系统的重要方法。在设计之初，我们并不知道系统的组成和工作原理，这时的控制系统就是一个“黑箱”。根据输入的信息、能量、物质和输出要求，设计控制系统的组成、连接方式、运行方式等，使得控制系统在给定的输入条件下，能够输出我们所要求的信息、能量或物质，这样就得到了可以实现控制目标的控制系统，控制系统就成为“白箱”了。打铃的控制系统如图4.49所示。



图 4.48　黑箱方法的原理

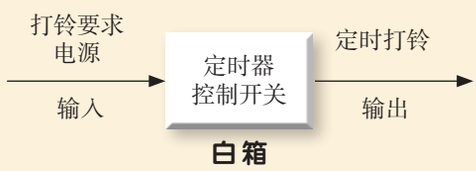


图 4.49　打铃的控制系统（白箱）

实践与体验

水箱水位控制系统的设计

【设计要求】

1.利用自动控制方式给水箱注一定量的水。

2.分别采用开环控制系统与闭环控制系统进行设计。

【材料与工具】

带刻度水箱、水泵、磁控干簧管、磁环、橡胶管、塑料管、Arduino UNO控制板、计算机、水泵电动机驱动设备、剪刀、胶带、胶枪等。

【设计过程】

任务一：请同学们根据设计要求，明确控制对象和被控量、控制目的。

任务二：分析控制系统的工作过程，制订设计方案并画出控制系统方框图。

任务三：根据方案选择材料，搭建控制系统的结构。

任务四：编写控制程序，并上传到Arduino UNO控制板。

任务五：运行、调试控制系统，直至控制系统能正常工作。

【思考】

对比自己设计的两种水箱水位控制系统，分析开环控制系统与闭环控制系统的优缺点各是什么。

微信公众号：电子课本大全

本章小结

控制现象在生活、生产中普遍存在。控制是指人按照一定的目标，对事物施加影响，使其向目标发展变化的过程和行为。控制可分为手动控制、自动控制和智能控制。随着人类的发展，控制手段也在不断地飞速发展。

控制系统就是指实现对某个事物进行控制所需的一整套装置的统称。开环控制系统是被控量不对系统的控制产生任何影响的控制系统。闭环控制系统是将被控量检测结果与设定值进行比较，系统根据偏差再次调节被控量，直到到达或接近设定值的控制系统。

在控制系统中，除输入量以外，引起被控量变化的各种因素称为干扰因素。反馈就是通过传感器检测出被控量的偏离量，把偏离量传递到控制装置，控制装置通过调整对偏差进行修正，使被控量逐渐接近设定值的过程。

设计控制系统时，我们首先要确定控制的目的和要求，确定控制对象、被控量及控制范围、精度等；根据控制目的和要求进行方案设计，还要决定采用什么作为控制器、执行器、传感器，选定元器件；按照控制系统设计方案制作并进行调试。

学习评价

评价内容			评价方式		
			自我评价	小组评价	教师评价
过程评价	师生互动	能积极思考老师提出的问题			
		能基于已有经验构建新的知识			
		能积极参与课堂讨论			
	实践活动	积极参与技术实践活动			
		与小组成员有效合作			
		在实践中提出创造性的构思			
		分析人体感应灯控制系统的组成，探究其工作过程			
		水箱水位控制系统的设计			
结果评价	目标实现	知识学习			
		迁移应用			
		画出人体感应灯控制系统方框图，说明其工作过程			
		按照设计要求完成水箱水位控制系统的设计、搭建并运行调试			
	收获反思	收获感悟，反思不足			
		能够将所学知识迁移到其他领域并加以应用			

微信公众号：电子课本大全

附录　部分中英文词汇对照表

安全系数	safety factor
薄壳结构	shell structure
编程	programming
闭环控制系统	closed loop control system
层次	level; layer
抽象	abstract
传感器	sensor
电子邮件	E-mail
仿生结构	bionic structure
分析	analyse; analysis
仿真分析	simulation analysis
飞船	airship; space aircraft
飞行器	aerocraft
反馈	feedback
光传感器	light sensor
惯性导航	inertial navigation
干扰	interfere
功能	function
核心	core
火箭	rocket
环境	circumstance; environment
环节	link
焊接	welding
桁架结构	truss structure
结构	structure
结构稳定性	structural stability
检测装置	detection device
胶接	bonding
静力学	statics
技术评价	technical evaluation
继电器	relay
控制	control
控制系统	control system
控制对象	control object

微信公众号：电子课本大全

控制器	controller
开环控制系统	open loop control system
流程	process; flow
流程图	flow chart
拉伸强度	tensile strength
螺接	screw joint
模型	model
铆接	riveting
目标	target; goal
全球定位系统	global positioning system, GPS
人造卫星	artificial satellite
榫接	joggle joint
三维打印	3D printing
数字化设计	digital design
时序	time sequence
实质	essential
实体	substantiality
生态平衡	ecological balance
特性	characteristic
无序	disorder
系统	system
系统科学	system science
系统工程	system engineering
应力/应变	stress / strain
有序	order
优化	optimization
元素	element
整体	whole
质点	particle
自动控制	automatic control
执行机构	actuator
子系统	subsystem

微信公众号：电子课本大全