

普通高中课程标准实验教科书·通用技术（必修2）

技术与设计2

教师教学用书

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

· 郑州 ·

总 主 编：傅水根

本册主编：李喜桥 范 悦

编写人员：李喜桥 范 悦 杨伟群

责任编辑：李晓慧

美术编辑：黎隆安

责任校对：王晓红

普通高中课程标准实验教科书·通用技术(必修2)

技术与设计2 教师教学用书

高中一年级下册

河南省基础教育教学研究室 组编
河 南 科 学 技 术 出 版 社

★

河南科学技术出版社出版发行
(郑州市经五路66号)

邮政编码：450002 电话：(0371) 65737028

河南新华印刷集团有限公司印刷
全国新华书店经销

★

开本：787 mm×1092 mm 1/16 印张：5.75 字数：151 千字

2004年9月第1版 2017年8月第7次印刷

ISBN 978-7-5349-3233-5

定价：10.10 元

如发现印、装质量问题，影响阅读，请与出版社联系调换

目 录

《技术与设计 2》简介	(1)
第一章 结构及其设计	(5)
第一节 结构的概念	(5)
一、教学目标	(5)
二、结构分析	(6)
三、教学建议与说明	(6)
四、参考资料	(7)
第二节 结构是如何承受应力的	(11)
一、教学目标	(11)
二、结构分析	(11)
三、教学建议与说明	(11)
四、参考资料	(15)
第三节 影响结构强度和稳定性的因素	(17)
一、教学目标	(17)
二、结构分析	(17)
三、教学建议与说明	(18)
四、参考资料	(22)
第四节 结构的模型或原型的设计与制作	(24)
一、教学目标	(24)
二、结构分析	(24)
三、教学建议与说明	(25)
四、参考资料	(27)
第五节 结构的技术评价和文化欣赏	(29)
一、教学目标	(29)
二、结构分析	(29)
三、教学建议与说明	(30)
四、参考资料	(31)
第二章 流程及其设计	(34)
第一节 流程的概念	(34)
一、教学目标	(34)
二、结构分析	(34)
三、教学建议与说明	(35)
四、参考资料	(35)

第二节 流程的设计	(40)
一、教学目标	(40)
二、结构分析	(40)
三、教学建议与说明	(41)
四、参考资料	(41)
第三节 流程的优化	(44)
一、教学目标	(44)
二、结构分析	(44)
三、教学建议与说明	(44)
四、参考资料	(46)
第三章 系统及其设计	(52)
第一节 系统的概念	(52)
一、教学目标	(52)
二、结构分析	(53)
三、教学建议与说明	(53)
四、参考资料	(55)
第二节 系统的结构与层序	(58)
一、教学目标	(58)
二、结构分析	(58)
三、教学建议与说明	(59)
四、参考资料	(60)
第三节 系统的设计	(62)
一、教学目标	(62)
二、结构分析	(62)
三、教学建议与说明	(63)
四、参考资料	(64)
第四章 控制及其设计	(70)
第一节 控制的概念	(70)
一、教学目标	(70)
二、结构分析	(70)
三、教学建议与说明	(70)
四、参考资料	(71)
第二节 控制技术的分类	(74)
一、教学目标	(74)
二、结构分析	(74)
三、教学建议与说明	(75)
四、参考资料	(76)
第三节 控制系统	(76)

一、教学目标	(76)
二、结构分析	(76)
三、教学建议与说明	(77)
四、参考资料	(77)
第四节 控制系统的设计与制作	(81)
一、教学目标	(81)
二、结构分析	(81)
三、教学建议与说明	(81)
四、参考资料	(82)

《技术与设计 2》简介

根据中华人民共和国教育部制定的《普通高中技术课程标准（实验）》，我们编写了课程标准实验教科书·通用技术《技术与设计 2》（必修 2），供高中一年级学生使用。为了使大家更好地理解和使用该教材，现将有关的编写情况做以下说明。

一、编写指导思想和原则

作为通用技术教材的必修模块，《技术与设计 2》与另一必修模块《技术与设计 1》以及《家政与生活技术》《简易机器人制作》《电子控制技术》等七个选修模块一样，都遵循共同的指导思想和编写原则。

（一）编写指导思想

- （1）关注全体学生的发展，构建比较适合社会发展要求的知识体系，着力提高学生的技术素养。
- （2）加强学生实践能力的培养，注重学生个性发展和创造潜能的开发。
- （3）立足科学、技术、社会的视野，加强人文素养的教育和审美情趣的培养。
- （4）紧密联系学生的生活实际，努力反映具有时代特色的先进技术和先进文化。
- （5）丰富学生的学习过程，倡导学习方式的多样化，培养学生的团队精神。

（二）编写原则

- （1）全面反映通用技术课程的基本理念，立足于动脑和动手高度结合的技术实践。
- （2）体现普通高中通用技术课程的特点。既注意内容的可行性、实用性及技术的先进性，又注意内容的适应性，充分考虑全国各地技术课程的教学现状和条件存在的差异。
- （3）有利于培养学生的个性和独立思考能力，以不约束学生的自主发展为前提，考虑到与理工类大学相关技术内容的衔接，同时要体现一定的深度差别。
- （4）具有科学性，努力反映现代科学技术的思想观点，做到相关的知识、概念、技术原理、数据和范例正确可靠，技术名词规范、技术用语和技术图样准确。
- （5）各章内容尽可能体现由感性到理性，由具体到抽象，由简单到综合，由浅显到深入，问题前后相贯，逐步引向深入。活动延伸由简单到综合，符合学生的知识结构和认知发展规律。

(6) 贯彻安全 and 质量教育, 所涉及的制作、加工、装配、试验等内容都有相应的安全规程和质量准则, 以确保学生安全, 并使学生树立安全 and 质量意识。

二、知识体系的构建

《技术与设计 2》的内容相对《技术与设计 1》更为具体, 它介绍的是技术与设计中最关键、意义最普遍的问题。其中既有概念性问题, 又有生产、生活中遇到的实际问题。

(一) 总体框架

《技术与设计 2》由四章组成, 它们分别是: 结构及其设计、流程及其设计、系统及其设计和控制及其设计。这四个方面的内容具有方法论的普遍意义, 彼此间又有密切的内在联系。第一章讲的是结构, 结构是指物体各个组成部分之间的空间搭配和排列。在讨论结构时, 物体各个组成部分之间是相对静止的, 它可承受一定载荷和应力, 并决定了事物的性质和形态。第二章讲流程, 流程是一系列按照一定顺序进行的活动和组合。在一系列有序的“活动”中, 我们进行学习、生活、工作。第三章所说的系统则更具有普遍意义, 也更具有实质性。因为无论“各个组成部分之间相对静止”的结构和“按照一定顺序进行的活动”的流程, 及其他一切事物都是系统, 都可以用“系统”来进行概括和描述。系统论在揭示事物本质方面具有巨大的作用。第四章讲的是控制。根本无法控制的方法不是技术。“控制”一词含有“调节、调整”“管理、监督”“运用、操作”等意思。它更多地反映出人类认识和掌握自然规律, 能动地改造世界的思想。控制这一章的内容较前面几章的内容相对具体些, 但它是联系其他各章的桥梁, 起到承上启下的作用。

(二) 具体内容的处理

1. 受力分析的简化

社会、工程及日常用具上所应用的结构到处可见。上海的东方明珠电视塔、城市和农村的各种各样的桥梁、自行车的车架乃至存放自行车的车棚, 都是结构的展示。因此, 为了使同学们更加自然地贴近技术, 本书内容由结构问题导入。大多数结构不只是要求美观好看, 而且要有使用功能、使用价值, 既然这样, 结构就要承受负载。高中通用技术教材中所提到的力, 都是静载荷, 属于静力学的问题。如果有速度, 就转变为运动学的问题; 如果有加速度介入, 那就进一步转变为动力学的问题了。后面的问题属于深入性问题, 要到大学才能解决。即使是静力学的问题, 也只是给高中学生一些感性的东西, 某些复杂的静力学问题, 高中阶段也是解决不了的。基于这种认识, 教材中对于狩猎椅的受力分析进行了简化, 这种简化使狩猎椅的受力分析与实际受力状况不完全相同, 更加全面合理的受力分析留待大学学习时解决。

2. 流程的理解与分类

流程在人们的生产、生活、工作中随处可见, 但平时人们并没有把它上升到流程理论来认识。其实流程就是做事的过程。但作为一本教材, 就必须对流程的概念进行科学合理的论述。这样一来, 似乎使本来简单的问题变得复杂起来。为了使同学们能够正确理解流程的概念, 本书列举了较多流程的例子。这些例子的形式、内容都不相同, 但不可避免地会有实质性重复。由于流程应用的广泛性, 我们经常见到的有工作流程、生活流程、销售流程、生产流程等多种, 至今为止还没有一个统一的分类标准, 故本书没有对流程进行分类, 而是主要介绍应用较多的生活、生产和有关商务的流程。

3. 流程、系统的优化问题

学生对优化这个词并不陌生，我们做事情总是向最好的方向努力。因此，课程标准对流程和系统都提出了优化内容的要求。流程的内容标准提出“能概括某种简单生产流程优化过程中所应考虑的主要问题”，系统的内容标准也提出了“理解系统优化的意义，能结合实例分析系统优化的因素”。为了使学生更好地理解优化的意义，能够“概括……应考虑的主要问题”和“分析……影响优化的因素”，教材中列举了多个优化的实例，如流程章节中的某个工厂日报表流程的优化，电话维修流程的优化，系统章节中的齐王与田忌赛马的故事，某校二年级课表的设计优化等。实际上所有流程都是系统，流程优化和系统优化的内容分别在两章中介绍，这是遵照课程标准的要求，使流程和系统的内容各自保持其完整性。在实际应用时，系统优化的所有方法、步骤都可以应用于流程。

优化在生活中，特别是在工业生产和科学研究中十分重要，已经形成了完整的优化理论和方法。这些科学的方法大都需要运用数学工具：首先建立数学模型，确定变量，列出有关约束条件，然后通过求解最优值来达到系统最优化的目的。高中学生还不具备这些数学知识，不能够运用这些数学方法。为了使对于系统优化的主要方法（数学方法）有所了解，教材中编入了两个应用数学方法求最优解的案例（第三章第三节中的案例2和案例3），作为了解系统优化的思路。

4. 控制技术的讲述

如果系统不受人控制，那是很危险的。比如机器人是一个系统，如果这个机器人拿着手术刀在进行心脏手术，机器人必须绝对地受控于医生。如果机器人不听话，那危险性就可想而知了。因此，系统不仅需要控制，而且有时需要分毫不差。

在军事上引起广泛关注的导弹精确打击问题，我国“神舟”5号的成功发射与回收，都体现了高水平的控制技术。既然要控制，就会产生各种各样的控制方式，教材介绍了手动控制与自动控制。随着科学技术的发展，自动控制的应用日益广泛。自动控制又存在开环与闭环两种方式。就像射手射箭，弯弓搭箭，箭一出手，人就无法控制，结果只能取决于平时的训练了。这就是开环控制的弱点。而人工制导的导弹就不是这样。导弹一旦发射出去，系统不断提供相关信息，计算机自动进行核验、对比，并修正运行轨迹，保证最终命中既定目标。机械制造业广泛使用的数控机床，也是同样的道理。控制技术是现代高科技，为了使教材内容更加贴近生活，便于学生理解，本书比较详细地介绍了电熨斗温度控制电路、压力锅的压力控制装置的设计，以及具有实用价值的温度控制装置、时间控制器的设计和制作。

附表

本册教科书教学参考学时数

教学内容	参考学时数
第一章 结构及其设计	10
第一节 结构的概念	1
第二节 结构是如何承受应力的	1
第三节 影响结构强度和稳定性的因素	2
第四节 结构的模型或原型的设计与制作	4
第五节 结构的技术评价和文化欣赏	2
第二章 流程及其设计	8
第一节 流程的概念	2
第二节 流程的设计	4
第三节 流程的优化	2
第三章 系统及其设计	8
第一节 系统的概念	3
第二节 系统的结构与层序	2
第三节 系统的设计	3
第四章 控制及其设计	10
第一节 控制的概念	2
第二节 控制技术的分类	3
第三节 控制系统	3
第四节 控制系统的设计与制作	2

第一章 结构及其设计

“结构及其设计”的核心是“设计”，考查学生最后的学习成果，实际上是看他能否进行自主而有实用意义的“设计”，但任何设计都离不开社会需求的背景理论、素材和经验。本章的第一节实际上直接列出了一些结构的素材，都属于前人的经验或成果。而第二节、第三节主要是结构设计的道理所在——最基本的力学分析，目的并不是要学生学习材料力学或理论力学基础，而是为了使学能感悟出所学知识和真实结构的联系，并为未来深入学习或探究打下基础。第四节、第五节则可以让学生领会设计的过程、方法和评价准则。

在教材的讨论或讲解的过程中注意加强启发性，课本中的栏目如“新视窗”“小资料”“阅读资料”“探究与交流”等都是为此目的而设的。当然在选用时可以根据需要有所取舍。文中安排的“活动建议”内容能否进行还跟学校的教学硬件（仪器、工具、设备等）条件，以及当地可以利用的教学资源有关。教师应针对本校和当地的实际情况对活动所涉及的材料、工具、器械以及制作要求等做一些调整。

本章教学过程的组织应该坚持做到三个有利于：有利于培养学生自主学习、自主探究、自己动手的能力；有利于在引发学生兴趣的基础上培养创新精神；有利于积累生活、生产实践经验，培养科学的价值观。

总体目标：围绕提出问题、收集资料、交流讨论、动脑构思、动手制作五种能力培养来展开教学活动。

- (1) 了解结构的含义，能从力学角度理解结构的概念和一般分类。
- (2) 能结合 1 ~ 2 种简单的结构案例，分析结构是如何承受应力的。
- (3) 通过课堂讨论、模型试验分析影响结构强度和稳定性的因素，并能做一些归纳总结。
- (4) 应用已有知识仿制或自制某一简单产品，经历从设计到制作的过程，做出模型或原型。
- (5) 能从技术和人文角度欣赏并评价典型结构的设计成果。

第一节 结构的概念

一、教学目标

- (1) 从力学角度了解结构概念。
- (2) 会总结归纳结构的类型与分类，理解不同种类的结构形式。
- (3) 看图或找出日常生活、生产中的几个例子，观察外观或内在形式，分析用途，从而初步建立

起结构与功能之间的联系。

(4) 引发学生对各种类型结构原理的探究兴趣。

二、结构分析

本节目的是根据一些图例或实例引出学生对结构的认识和探究学习的兴趣，为此首先安排高压线铁塔、自行车、藤条椅图例来帮助说明结构的概念，首先要帮助同学建立结构在空间形式上的概念；接着更深一步地探讨结构的作用，这一部分教材中主要以总结和归纳性语句表达，未引具体实例，教师可以根据“新视窗”和“小资料”的内容加以佐证。最后在理解结构概念和意义的基础上对生产生活中常见的结构进行分类归纳，一方面开阔知识内容，另一方面为学生提供进一步思考的空间。

三、教学建议与说明

1. 内容引入

将教材图 1.1 ~ 图 1.3 三张图呈现给学生，组织学生讨论如下问题：

三种结构的用途；三种结构主要用到哪些材料？这些材料的性能和形状如何？三种结构的受力特点。

图 1.1 要用到各种型钢钢材（如截面为方形、直角、槽形），制成的钢架可以有多个立脚支在地面上，它和单根电线杆相比基础更加稳固，总体重量减少，易于抗风。

图 1.2 可以穿插自行车结构演变，重点讲明车的强度与载人的安全性关系，问同学们观察过自行车的梁截面是否都是管状或中空的，为什么？如果有兴趣，可进一步就本节的“参考资料”展开讨论。

图 1.3 属整体性的轻质结构，但由于有合理的捆绑或连接组合方式，可以支撑人体的重量，并且其外观比用钢铝架做得更具有自然的材质美感。

2. 对强度、刚度和稳定性的基本结构概念展开讨论

如对高压线铁塔的强度、刚度和稳定性要求是最高的；而对休闲躺椅，强度要求较高，但刚度要求较小，因为适当的弹性变形是舒适性的要求。

课本第 3 页的表的一种参考填法：

结构名称	结构形式与用途	结构特点
高压线铁塔	特定截面形状的钢架结构，用以架设电线	基础稳固，可以抵抗大风
早期自行车	1886 年，英国人斯塔利在自行车上装置车闸，在传动轴上首次采用滚子轴承，靠链条传动的后轮驱动，前后轮大小相同，并用钢管制成菱形（近似三角形）结构作为连接前后轮的横梁车架	在提高自行车整体强度的同时还减轻了重量，骑车人安全地坐在离地面合适高度的座位上
休闲藤制躺椅	将较粗藤条弯成曲线形成框架，并用藤线在接头处捆扎，躺椅可以提供足够的支撑力	整体结构变得轻而稳定，外观造型具有线条美感和返璞归真的效果

3. 结构的分类

更引申一步讲，突破从力学上来考虑结构问题，比如要充分考虑如何节省材料和加工工艺的需要，如桁架结构、薄壳结构、实体结构在建筑上常见，注意考虑力学强度和稳定性。而捆扎结构、焊接结构是将多个部件或构件组成一个整体后共同发挥作用，结构就更稳固，此处“活动延伸”安排2个活动。

对铸造结构的理解，建议有条件的参观铸造车间。

到此需要使学生建立一种基本概念或认识：结构的好坏与选材、形状和尺寸、连接方式、加工方法有关。

4. 活动实施建议

既然结构形式多样，但人们怎样才能选择合适的结构呢？培养观察力很重要，课本中建议的观察广告牌钢架、空竹篓、摩托车发动机外壳、自行车三角横梁等都属于从日常生活中发现结构设计的例子，并学会对这些例子的共性和特性进行归纳。

如果再深入探究，可以讨论一下有关机器的结构，如教材图1.4的机械手就是从人体的关节得到启发，仿生模拟动作实现其功能。

经过归纳和总结可以发现，节省材料，使用可靠，是所有结构共同的要求。

活动的目的主要是培养一种观察和归纳能力，并能进一步产生联想，为学习后续内容打下基础。

四、参考资料

自行车是目前生活中最普及的交通工具，同学们也非常熟悉。如果时间允许，可以针对自行车的设计历史展开教学讨论或向同学做专题讲座。

自行车设计的历史

纵观自行车的设计历史，同世界上大多数产品一样，也经历了从萌芽到初步形成直至日臻完善这样三个时期。本文简述了自行车的历史，并提供几款新型自行车，供进行结构设计教学时参考。

1. 老式自行车

木制两轮自行车：中国《清代述异》第十一卷记载，17世纪中叶，黄履庄氏“制双轮小车一辆，可坐一人，不需推挽，能自行”（图1.1）。

木马轮：1790年，法国人西夫拉克伯爵在孩子们玩耍的木马上，一前一后地装上两个轮子，发明用双足蹬踏地面行进的木轮车，时称木马轮（图1.2）。

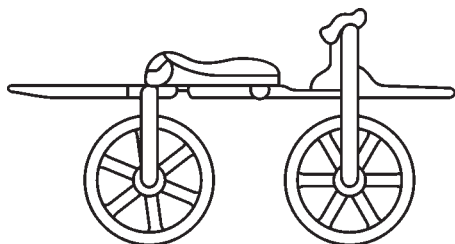


图 1.1



图 1.2

木制自行车：1818 年，德国人德赖斯给两轮车加上了转向装置，发明了前面有车把的木制两轮车，它能操纵两轮转向，并使两轮车在行进中保持平衡（图 1.3）。

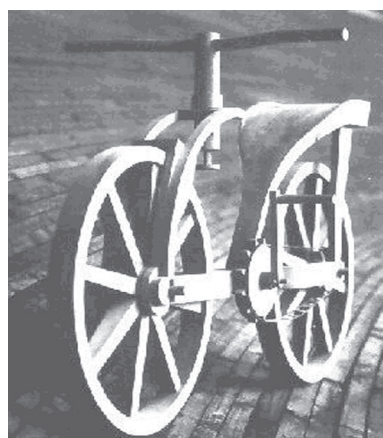


图 1.3

带有曲柄连杆机构的铁制自行车：1839 年，英国铁匠麦克米伦在蹬地车前轮的两侧各装一个悬臂，在悬臂末端装上脚蹬，制成了第一辆由曲柄连杆机构驱动后轮的铁制自行车，用脚踏踏板行驶（图 1.4）。

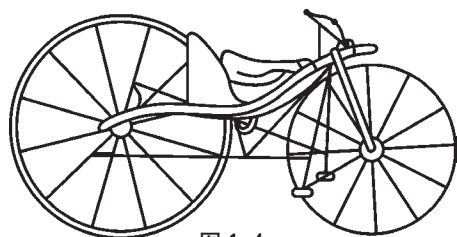


图 1.4

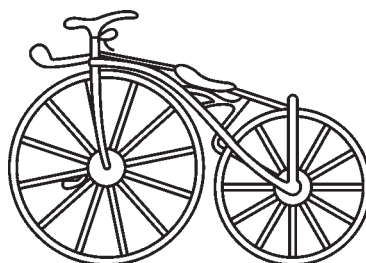


图 1.5

用辐条拉紧轮辋（车圈）并装有实心橡胶轮胎的自行车：1869 年，英国人雷诺首先采用辐条拉紧轮辋，并在轮辋上装上实心橡胶轮胎，同时采用轻细钢棒制成车架，使自行车的重量大为减轻（图 1.6）。

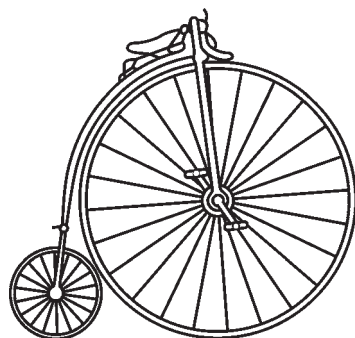


图 1.6

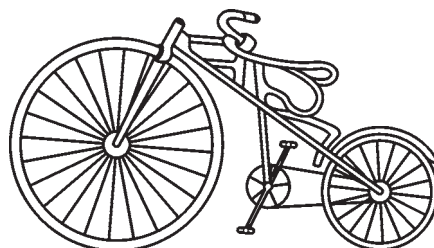


图 1.7

早期的链条传动自行车：前面的几种自行车均与现代自行车相差较大。1874 年，英国人劳森在自行车上采用链条传动机构，将脚蹬装在前后轮之间，但仍为前轮大、后轮小（图 1.7）。

早期的菱形车架自行车：1886 年，英国人斯塔利在自行车上装置车闸，在传动轴上采用滚子轴承，前后轮大小相同，并用钢管制成菱形车架（图 1.8）。

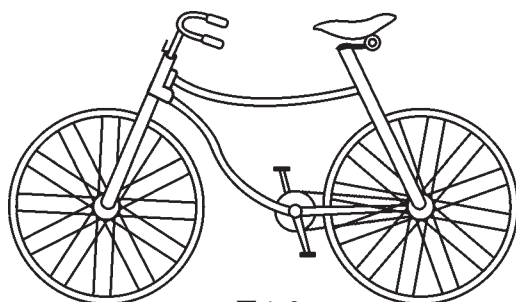
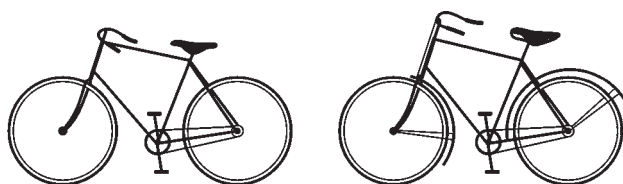
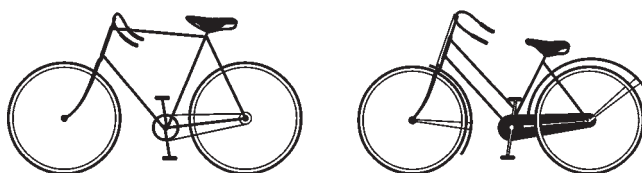


图 1.8

日趋完善的自行车：19 世纪末，英国人邓洛普将充气橡胶轮胎成功地应用在自行车上，显著地提高了自行车的骑行性能，使自行车的结构和性能臻于完善（图 1.9）。



(a)1893 年的自行车



(b)1894 年的自行车

图 1.9

2. 现代新型自行车简介

自行车拥有许多品牌，当然其中不少只是昙花一现。但也有些品牌却能深植人心且在市场上屹立不倒，在市场竞争中是一棵常青树。究其原因：设计及制造技术不断地推陈出新，始终保持自己的鲜明特色，就能吸引大众喜爱。

脚踏车：脚踏车是一种无污染及有省力装置的新设计。长方形的双支点脚踏板，改变了传统圆周回转式的脚踏动作为上下踏步；可站立骑乘或者坐着骑；兼具交通工具及运动器材双重功能；由于只是在脚踏板上做改良，成本增加有限，但功能增加很多，提升了附加值（图 1.10）。

休闲车：现代自行车已逐步向彩色涂装、不锈钢链盘及脚蹬、镶边轮胎、前后轮回光等高档化方向发展。目前国际上多采用碳纤维复合材料生产高档自行车和运动赛车，重量轻、刚性好、耐腐蚀，强吸震性能。超强金属预埋件与复合材料完美地结合，使自行车永不变形。计算机设计，突破传统造型，给人以视觉、触觉全方位的冲击，并集娱乐、健身、旅行于一体（图 1.11）。



图 1.10



图 1.11

铝合金不同步驱动双人自行车：本车的最大特点一是车上的前后骑行者可以用不同的频率来骑行，互不干扰；二是此车采用铝合金双避震车架，在舒适性和通过性上又有提高；三是三幅式一体成型轮组。该轮组一体成型，没有偏心的不良表现，使车子的整体性能又有提高（图 1.12）。

运动自行车：全车配有变速机构，一般可变换 10 ~ 12 挡速度，速比为 2 ~ 4.4。车把为可调下垂式，便于运动员上身向前倾斜，以减少在高速运行中气流的阻力。车架采用高强度铝合金制作。现国际上已有采用碳素纤维作为材料，或将前轮缩小等各种不同形式的结构，以尽量减轻车子重量（图 1.13）。

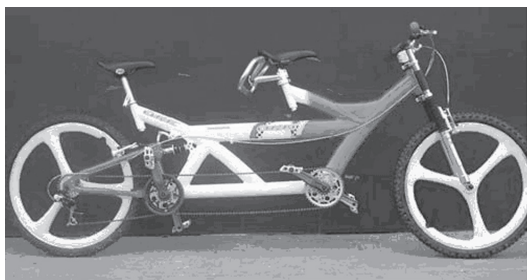


图 1.12



图 1.13

新型越野自行车：本车造型美观、结构独特，经精工细雕后，个性表现十分强烈。更加引人注目的是其避震越野之性能。该车车架后三角部位上装有一个避震弹簧、运动距离达 80mm 的连杆机构。此种高效避震机构可明显减轻车子在行驶中所产生的剧烈震动（图 1.14）。

折叠式休闲车：该自行车特点一是车身采用椭圆方钢管设计，强度及美学并重，全车重量仅约 8.5kg。二是突破小车在速度上的劣势，具有运动、休闲、代步等多种功能。三是操作自如，骑乘灵活。四是折叠后能当小座椅，体积非常小，携带方便，可置于汽车后车厢中。五是符合人机工程学，让骑乘者更舒适，更安全（图 1.15）。

结合自行车发明的历史，教师可以组织学生讨论，交流、归纳发明创造的一般规律。



图 1.14



图 1.15

第二节 结构是如何承受应力的

一、教学目标

- (1) 区别载荷和材料的内力，会进行拉、压、弯的简单受力分析。
- (2) 理解不同受力形式所引起的结构形状和稳定性的变化。
- (3) 将外因（载荷）和内因（材料应力）联系起来，通过力学分析来判断结构的合理性。

引导学生认识到：结构设计无处不在，每种结构形式都代表特定的力学道理，合理的结构实际上是理论计算和实践经验的统一，我们平时学到的力学原理随时可以在生活中找到用武之地。

二、结构分析

本节的教学需要按照“试验”——“分析”——“总结”的流程进行。课本图 1.16 的折纸小试验提出了结构受力和材料强度的问题，首先在学生的头脑中产生一个印象：结构的形状和材料的本质对结构的受力行为有着直接的影响。在接下来的受力分析中需要提出强度和应力的定义，然后教材重点分析了弯曲、拉伸、压缩的受力形式，在分析讲解前建议教师应该先读懂后面“教学建议与说明”中的有关应力、弯曲的受力计算方法，以保证分析讲解准确无误。

如条件允许，教师可以将分析内容扩展到“拉、压、剪、弯、扭”五种基本受力形式。

三、教学建议与说明

1. 教学引入

以折纸试验引入教学。

折纸试验简单易行，简捷明了，无须额外花费，利用讲台上现成的粉笔盒、废旧报纸、杂志或书本之类作为素材，引发同学们思考，给大家留下深刻的印象。做了试验，再讲述提高梁的弯曲强度问题就轻松多了。

折纸试验由于纸质上的差异或由于纸片挺括程度的不同，做起来数据不一，有较大的伸缩性，是在情理中的，并不影响试验或分析的效果。只要我们有心想做，用心去做，便可以摸索

出一套适合自己课堂教学的折纸方法。有关更深一步的讨论可参看本节“参考资料”。

例如，图 1.16 给出了更为简捷的验证材料的截面形状对抗弯强度的影响。你只需将纸张的两条对边折一下，照图 1.16 (b) 的样子来放置一恒定重量的物体，和图 1.16 (a) 的方法（纸张未折）相比可以明显提高抗弯强度和刚度。图 1.16 中 (a)、(b) 两图中木块之间的距离当然是一样的。

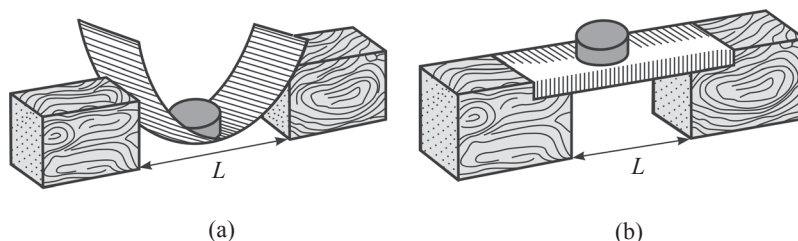


图 1.16 通过纸张的折边来提高纸张抗弯强度和刚度

所举例子在实际工作中的用途是：在工程结构的梁或杆的截面设计中，如果选择合理的形式，不但能提高梁的强度，还可提高梁的刚度。

2. 内力的形成概念

任何物体在外力作用下都会有不同程度的变形。比如铁丝受拉会伸长，弹簧受压会缩短，木梁受横向作用时会弯曲等。物体受外力作用而变形，其内部材料各微小部分之间的位置也就发生变化。于是各微小部分之间就会有某种“力”的产生来抵抗这种变形。这种物体内部材料各微小部位之间的相互作用就形成了内力。外力企图改变物体的形状，而内力则抵抗这种变形，它们总是同时成对出现的。

理论证明，内力与变形之间的数量关系符合胡克定律，即当物体在弹性限度以内受拉或受压时，其横截面上的内力 N 与横截面积 A 的比值大小与物体的相对伸长或缩短量成正比。即 $\sigma / \varepsilon = E$ ， σ 叫应力， $\varepsilon = \Delta l / l$ 叫应变， Δl 为实际伸长或缩短的尺寸， l 为原长， E 为比例常数。因此，上式也可表述为：应力与应变成正比。

我们不仅要研究截面上的内力大小，还要保证该截面的安全，这就是强度计算的目的。显然，截面不能承受任意大的应力，因此，截面安全工作的应力值应该限制在某一允许值内，这个值就叫作容许应力或许用应力。通常容许正应力以字母加括号 $[\sigma]$ 表示， $[\sigma]$ 一般由大量的试验再加上安全系数分析给出。在我们的问题中，某种材料的 $[\sigma]$ 一般是已知的，或者可以由有关手册查出。

强度计算的内容是根据截面上内力大小、性质和分布规律求出该截面上的最大应力，用它与容许应力进行比较，即 $\sigma_{\max} \leq [\sigma]$ 。

教材图 1.17 的 4 种金属丝的抗拉强度分析是为了使学生能够了解不同材料所表现出的不同抵抗外力变形或破坏的性能。其抗拉性能应该是钢、铜、铝、铅逐渐递减。

实际上要使图中的金属丝不断，有两个办法：其一是采用粗一些的金属丝，另外就是换上一根更抗拉的其他金属丝。前面一个问题就是怎样来选择合适的材料尺寸的问题，后一问题就是如何来挑选适当的材料的问题。这些问题在力学科学中专门有一个分支来研究它，就是材料力学。刚才提出的这些问题都是围绕着绳子够不够牢的问题，就是强度问题。所以，我们可以简单地定义材料力学：材料力学是一门研究材料的强度问题的科学。

3. 物体弯曲时的受力分析

从教材图 1.18 可以看出，离开中性层越远的地方，格子的变形（伸长或缩短）也越大。换句话说，格子的变形是与距中性层的距离成正比的。可以肯定，梁截面上由于弯矩所引起的应力是正应力。另外，我们又知道，变形愈大，应力也愈大。因此，这些正应力的分布规律是：弯曲时截面上正应力的大小与距中性层的距离成正比。显然，在中性层上，正应力为零；在凸出的那一边正应力是拉应力；在凹进的一边正应力是压应力；因为梁的上下边缘离开中性层最远，所以，它的应力也最大。截面上正应力分布的规律如图 1.17 所示。

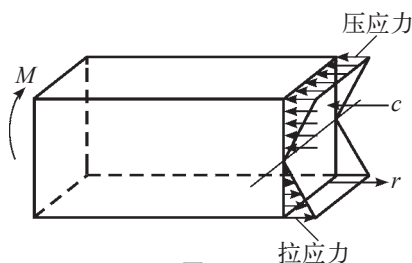


图 1.17

知道了正应力的分布规律，我们就可以具体地计算出正应力的大小。只要应用静力学中力的平衡原理，就可以推导出它的计算公式：

$$\sigma = \frac{Mz}{J}$$

式中， σ ——所求那一点处的正应力；

M ——作用在该截面上的弯矩（在上面所说的纯弯曲情形中，每个截面上的弯矩是相等的）；

z ——该点与中性轴的距离（对于对称截面中性轴就是对称轴，而对任何截面中性轴总是通过横截面中心即形心的）；

J ——截面对中性轴的“惯性矩”，它是一个几何性质的数据，决定于截面的形状和尺寸，而与材料的强度无关。对于宽为 b 、高为 h 的矩形截面， $J = bh^3/12$ ；对于直径为 d 的圆形截面， $J = \pi d^4/64$ 。

前面已指出，对于某一截面来说，它的最大正应力在梁的上下边缘，即 z 为最大处。但对于整个梁来讲，因为每一截面的弯矩不一定相等，所以，截面上弯矩比较大，它的应力也较大。当然，弯矩最大的截面，其上的应力也最大，这个截面叫作危险截面。因此，梁内最大正应力应发生在危险截面的上下边缘上，用公式来表示就是：

$$\sigma_{\max} = \frac{M_{\max} z_{\max}}{J} \quad W = \frac{J}{z_{\max}} \implies \sigma_{\max} = \frac{M_{\max}}{W}$$

这个式子跟拉伸的应力公式 $\sigma = P/F$ 在形式上是一样的。因为 J 和 $z_{\max}$ 都只决定于截面的形状和大小，所以， W 也只与截面的形状和大小有关，称它为截面系数。它的单位是长度单位的三次方。

对于宽为 b , 高为 h 的矩形截面: $W = \frac{1}{6}bh^2$ 。

对于直径为 b 的圆形截面: $W = \frac{1}{32}\pi d^3$ 。

梁所能抵抗的弯矩与截面系数 W 成正比。也就是说, W 愈大, 梁的强度也愈大。

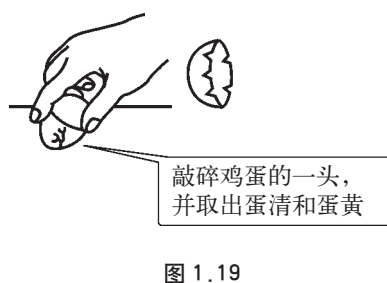
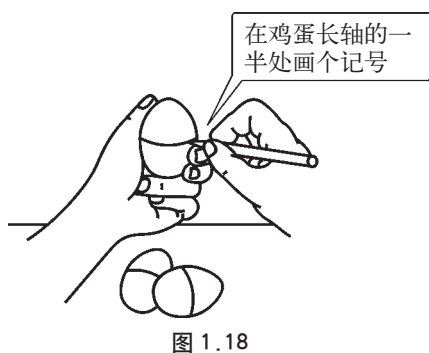
在选择梁的截面时, 当然希望能够用最少的材料得到最大的强度。如果用同样的材料可以承担较多的弯矩, 那就合乎经济的原则。怎样才能做到这一点呢? 问题的关键在于怎样选择合理的截面形状, 使它在同样材料条件下能够有较大的截面系数。

对于高为 h 、宽为 b 的矩形截面, $W = bh^2/6$, 因为矩形面积 $F = b \times h$, 所以 $W = bh^2/6 = 1/6 \times b \times h \times h = Fh/6$ 。这个式子指出: 对于面积同样大的矩形截面, 如果截面的高度 h 愈大, W 也愈大; W 愈大, 梁的强度也愈大。从这里你就可以明白为什么梁平放是不好的了。从这里也解释了教材图 1.20 的道理。

关于教材图 1.22 壳体结构受力特点, 可用下列小试验来验证:

材料准备: 两张纸巾或一块布, 4 个生鸡蛋, 剪刀, 几本书, 铅笔, 小勺子。

方法: 在每个鸡蛋的长轴的一半处画条线, 在一半处将它分开 (图 1.18)。现在, 小心地在一个硬物上轻拍每一个鸡蛋的一头, 使它们裂开 (图 1.19)。只弄裂一半, 你需要用另一半。下一步, 取出蛋清和蛋黄, 小心地用剪刀从鸡蛋壳裂开处沿着铅笔的线剪断 (图 1.20)。试着把剪断后的边弄光滑和水平。现在你有了 4 个鸡蛋壳制的圆屋顶。铺开两张纸巾, 一张放在另一张上面, 把它们放在光滑的平面上。把鸡蛋壳开口朝下放在纸巾上, 把它们摆放成比书稍微小的方形状 (图 1.21)。现在, 同时在蛋壳的上面慢慢地放置几本书。一般情况下可以承受住质量为 $6 \sim 7\text{kg}$ 的书, 而不会被压碎, 可见壳体结构比较坚固。这是因为压下来的重量被沿着圆屋顶的弯曲分散到周围的墙体上, 这个设计使得材料自身通过特定的形状而增加了强度。



4. 活动实施建议

教材 13 页的“活动延伸”主要是想让学生理解受力方式和结构强度或稳定性之间的必然联系。

做过教材图 1.17 上的试验你会发现，铁丝的抗拉强度比铝丝要大。但如果你参观一下飞机的零部件会发现，用钢铁材料制造的飞机零部件远少于用铝材料制造的，为什么？这是因为飞机零件除了要考虑材料本身的强度外，还要考虑材料自身的质量。钢材强度比铝材高，但其密度也比铝材大得多，如果考虑单位质量所能贡献的强度，那么反而是铝材更合适了。

四、参考资料

(1) 折纸原理。折纸实际上相当于提高梁的抗弯截面模量 W 。这种锯齿状纸的魅力在工业上得到一再的展现：例如将马粪纸压制成瓦楞纸板(图 1.22, 并参看教材图 1.12)用来替代木材，作为仪器、仪表、家用电器、日用百货的外包装材料，既具强度、刚度，有防震、防碰撞的特性，又能节省大量木材，是一种理想的包装材料。还常常可以见到用塑料、石棉纤维压制成瓦楞板来铺盖简易屋顶、公交车站顶棚等，既轻便美观又经济耐用，不失为一种好的结构材料。如果用普通的低碳钢板拼焊成类似的锯齿状，上下两面再分别铺焊盖板和底板，在军事上就这样搭焊成简易的渡河桥梁，不但能使部队顺利过河，还可以将坦克、装甲车、载重车等开过河去，迅速投入战斗。它不但简单易行，而且可靠。



图 1.22

(2) 一般来说建筑工程大量使用的梁、柱、桁架的内力主要有轴向力（构件的内力作用线与构件的中心轴线相重合，这样的内力称为轴向力）、剪力和弯矩三种。建筑物的柱子在受压时往往是轴向力、剪力和弯矩的共同作用而发生破坏。例如图 1.23 右图的混凝土支柱破坏是由于轴向压力作用线与构件截面形心轴线不重合时的偏心受压所致，而左图混凝土支柱破坏属于轴心受压。



图 1.23

(3) 材料受力后变形的五种基本形式。物体受外力作用后就要发生变形，但是，外力可以用各种不同的方式作用在物体上，因此，物体由于外力所引起的变形形式也就不同。以杆件为例，受力后变形的简单形式有以下五种：

①拉伸：比方说，你拿着一条橡皮带的两端向外拉，橡皮带被拉长了，这种变形形式，就叫作拉伸（图 1.24）。日常生活中遇到的拉伸例子很多，如起重机的吊绳（图 1.25）、工厂中的传送皮带、桁架中的拉杆、连接螺栓以及钢索、链条等。

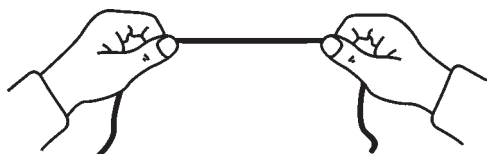


图 1.24

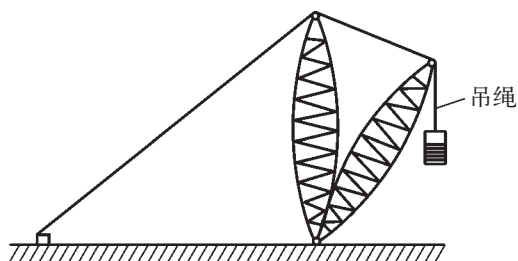


图 1.25

②压缩：如果你用两手来压弹簧，它被压扁了，这就是压缩（图 1.26）。建筑物的柱子（图 1.27）、基础、承重墙等要承担上层建筑的重量，机械中的缓冲器杆要承受由于冲撞引起的压力，它们都要受到压缩。

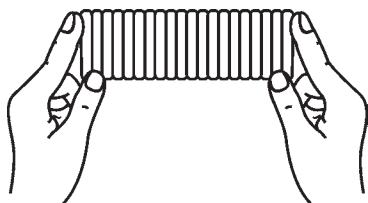


图 1.26

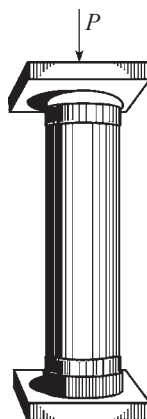


图 1.27

③剪切：取一本大辞典来，两手平放在封面和封底上，各自沿相反水平方向一推，这时，可以看到辞典歪斜了，这又是另一类型的变形，叫作剪切（图 1.28）。剪切的例子在工程上也是常见的，例如，用来连接两块钢板的铆钉，如果用放大镜来看一下接缝的地方，就可以看到在钢板受力时，铆钉就要变成图 1.29 右边那个样子。所以，铆钉的变形也属于剪切这一类。其他如用来连接两个零件或杆件的螺栓、铆钉、销子、楔子、键等都是剪切的例子。

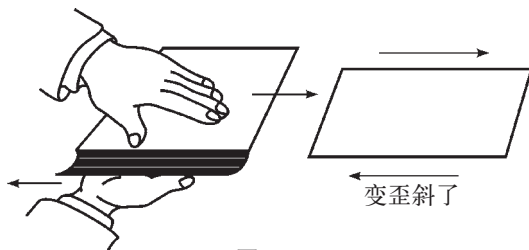


图 1.28

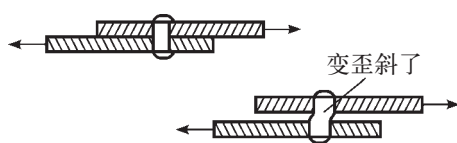


图 1.29

④ 扭转：如果你用两手拿住橡皮的两端向相反的方向一转，这时橡皮就被你扭转了(图 1.30)。扭转是另一种变形，常用的螺丝刀、机轴等就是受着扭转的变形。



图 1.30

⑤ 弯曲：取一块橡皮来做实验，用两手的拇指向上顶住橡皮。两手的食指把橡皮向下压，这样，橡皮就弯曲了(图 1.31)。弯曲也是一种变形的形式。建筑物中的大梁、小梁、楼梯，工厂中的吊车梁(图 1.32)以及火车通过架空的钢轨时的受力情况等都属于这一类。

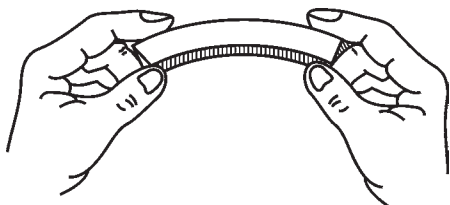


图 1.31

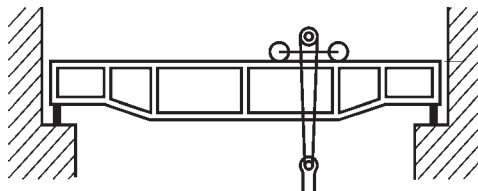


图 1.32

上面所说的拉伸、压缩、剪切、扭转、弯曲等五种变形形式叫简单变形。有时机器或建筑物的构件所受到外力的作用，并不像上面所讲的那么简单，因此，它们的变形也就复杂些。但是不管怎么复杂，实际上都是由上面所说的几种简单变形组成的。所以，上面五种变形形式是最基本的。

第三节 影响结构强度和稳定性的因素

一、 教学目标

- (1) 理解尺寸和形状是如何影响结构的强度和稳定性的。
- (2) 理解材料的性能和连接方式对强度和稳定性的影响。
- (3) 将外因（载荷）和内因（材料应力）联系起来，通过力学分析来判断结构的合理性。

二、 结构分析

通过前两节的学习，学生应该对结构的含义有了较为具体和深入的认识，在此基础上就需要帮助他们学会初步判断结构形式的“好”与“不好”，这一问题实际也是本章中的重点内容。为此，本节的内容由下面三个部分构成：

- (1) 结构尺寸、形状与强度和稳定性的关系。

(2) 材料与强度的关系。

(3) 材料连接方式与强度的关系。

此三个部分的教学不是孤立的，内容上应该尽量做到相互影响与关联，最后应该使学生能够建立起一个整体性、方法性的概念：即结构的好坏是受结构几何要素、结构材料、结构工艺综合作用的结果，从而使学生在方法上、理论上具有进行简单结构设计的基础。

三、教学建议与说明

1. 教学引入

教材图 1.25 的梯子日常生活中常见的，讨论时可以先让同学们列举出所见过的各种梯子，列成表格逐一比较表 1.1 中的各项内容。老师主要引导学生如何从组成梯子结构的材料、形状和连接方式出发，来找到这些设计方式与结构强度和稳定性的关系。另外要知道在设计梯子时首要考虑的是结构安全性和稳定性，但梯子的功能性要求如便携、轻巧等也要从结构上来考虑。通过表 1.1 的讨论，引出影响结构强度和稳定性的因素——材料性能、形状和连接方式。

表 1.1

比较项目	(a)	(b)	(c)	(d)
承载的重量	一般	大	较大	较小
支撑稳定性	一般	好	最好	较差
结构整体强度	一般	较好	最好	一般
选用木材	可以	可以	可以	不适宜
选用铝合金	可以	可以	可以	可以

2. 结构大小、形状对强度的影响

构件试验：通过教材图 1.26 的试验分析了材料尺寸形状与强度和稳定性的关系，接着教材图 1.27、图 1.28 是几个显见的例子来说明形状对结构强度的重要性。接着更深一步地讲解——列举两个实际生产活动中常用的典型结构，教材图 1.29 的工字形梁的截面形状有利于减轻材料重量，同时提高强度，其原理实际上和结构受力弯曲时的原理分析是一致的。教师应尽量用定性的道理来说明，不要涉及材料力学的计算公式，但在此有进一步的加深。

而三角形桁架和四边形桁架的结构形状对比，可以有力地证明结构几何形状和稳定性的关系，学生很容易将这两种结构的形状迁移应用到后面的制作活动中去。

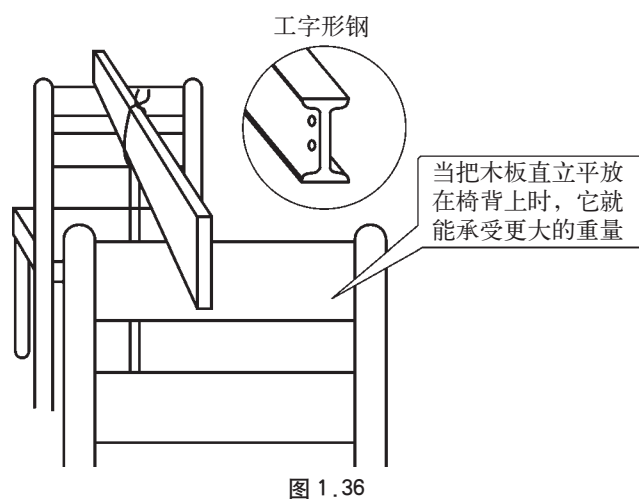
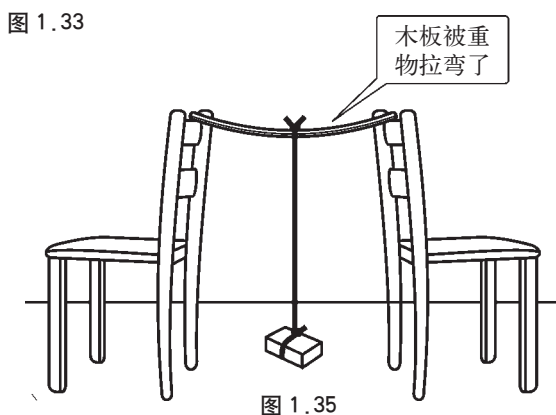
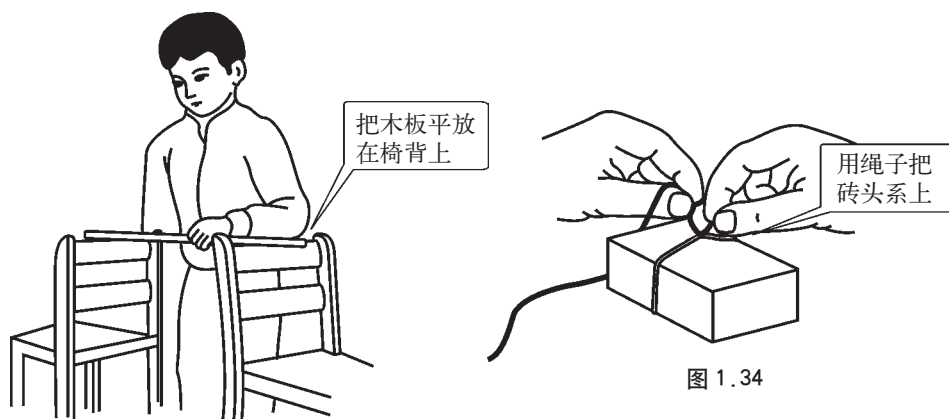
至于教材图 1.33 的有关结构对称性问题，实际上这既是力学上需要（即平面或空间力系的几何对称性高就易于达到力的平衡，这样也有利于结构的稳定性），同时也是工业设计时形体美感上的需要。

对教材图 1.29 有关工字形梁的合理性验证的简易方法：

材料准备：木板，绳子，砖头，两把椅子。

方法：把椅子背对背放着，分开约60cm的距离。把木板平放在椅背上成为一座桥(图1.33)。绳子的一头系上砖头(图1.34)，然后把它吊在木板上(图1.35)。注意观察木板被砖头拉弯的程度。现在，把木板直立平放在椅背上(图1.36)，你将会看到它基本上没被砖头拉弯。这个试验

说明了工字钢抗弯的原理。



关于对教材图 1.31 提及的撞蛋问题的解释：

有些人认为鸡蛋壳的形状是曲面的，在碰撞的时候对那只不动的鸡蛋所加的压力，是作用

在蛋壳外面的。而大家都知道，蛋壳像一切拱形物体一样，很能受得住从外面来的压力。但是，作用在运动着的蛋上的力，情形就完全两样了。在这里，运动着的蛋黄和蛋白，在发生碰撞的一刹那，要从内部压向蛋壳。而拱形的物体抗受这种压力的能力要比抗受外来压力的能力低得多，因此蛋壳就会破碎。

另外一些人却认为这两只蛋都有可能撞破。因为在去撞的和被撞的蛋之间，并没有什么区别。我们不应该强调去撞的蛋是在运动的，而被撞的蛋是不动的。“说物体运动而不指出是跟哪一个物体相对的运动，那只等于是一句废话。单独拿一个物体来说是无所谓运动的；要运动，至少要有两个物体——互相接近或互相远离。刚才那一对互撞的鸡蛋都是在相同的运动状态之下的：它们在互相接近。至于碰撞的结果，却不能因为把哪一只当作不动的、把哪一只当作在运动着的而有所不同。”

按照日常的打蛋方法，两只蛋互相接近的速度并不快，故完全符合 300 多年前伽利略首先提出的“匀速运动和静止的相对性”原理。也就是说，这两只蛋的运动状态无任何区别，因而“哪一只蛋会被撞破”，对它们来说概率应当是相等的。你若不信，不妨一试，实验的结果定会令你满意。

研究撞蛋问题很有现实意义，因为在交通事故中人脑的损伤状态，与那只“运动着的蛋”颇为相似：若将人的头颅比作鸡蛋，则颅骨就像蛋壳，脑浆就像蛋清，脑髓就像蛋黄。一旦头部受到强烈冲击，脑髓就要撞击头盖骨内侧，因此很容易引起脑震荡或脑血肿。即使颅骨不破裂，脑髓也要受到损伤。

一些骑摩托车的人以为只要戴上安全头盔，脑袋就不会受损伤了。然而，据推算，当车速超过 20km/h 时，一旦撞车，即使头盔完好无损，强大的惯性也会使乘员脑袋突然前倾而遭受激烈震荡，在震荡的瞬间（仅千分之几秒），头的转动角加速度将超过 1600r/s^2 而引起脑震荡。

3. 材料性能

此部分内容要讲透彻，实际上需要涉及不同种类材料的微观结构和宏观性能的关系，但由于课程性质所限，此部分内容只能依赖老师从生活中所见所闻的一些材料，使用一般经验来帮助同学判断在结构设计中应如何选择材料。教师在讲解过程中要注意从三种材料（木材、金属、塑料）性能特点的相异点上展开。

教材 19 页的“新视窗·背景外延”让学生归纳一下现代家具在选材上的多样性，体会设计与选材的关系。

教材 20 页的“新视窗·方法外延（钢筋混凝土结构）”说明材料单独使用往往在性能上难以满足使用要求，但如果将几种不同材料在微观或宏观上按特定方式组合使用，则可做到相互间的“取长补短”，最大限度地发挥各自的性能特点，从而使工程结构更可靠和稳定。

材料的强度本质上是由材料的微观结构决定的，一般情况下当材料受载超过极限应力后就会破坏，但也有在所受应力较小的情况下就发生破坏的现象，较常见的有疲劳破坏。

“疲劳”这一概念原来是应用在有生命的机体上，但以强韧为特点的金属材料也会“疲劳”。究其原因，请看本节的“参考资料”。

4. 连接方式

教材中提及的连接方式在工程中是常用的，但铆接、螺接和榫接属于物理连接，即在接头处（界面）两种被连接材料不发生化学反应，而焊接、胶接属于物理和化学连接，因为界面处有化学反应，两被连接材料界面处原子扩散或相互作用。最后可对连接方式做出表 1.2 中的比较性归纳。

表 1.2

	焊接	铆接	螺接	胶接	榫接
接头强度	+++	++	++	+	+
接头重量	+++	—	—	+++	+++
工艺效率	+++	++	++	+	+
可拆性	—	++	+++	+	+

注：+++ 表示好，++ 表示较好，+ 表示一般，— 表示差或没有。

教材图 1.42 是关于结构连接过渡处的处理，只需简单提及，不必细讲。

5. 活动实施建议

教材中建议的一项活动是观察一下你的自行车，看看有哪些零件是由金属材料制成的，哪些零件是由塑料制成的，哪些金属材料零件是可以用塑料来替换的，并讲明原因。教师要将材料的选择、材料的力学行为和材料的成本（经济性）联系起来。例如对于建造一个建筑物，必须要“实用、经济”，也就是说必须知道如何来选择和使用材料。同一种材料，用在某一建筑中合理而经济，但在另一建筑中，却可能造成浪费。例如小型建筑用钢筋混凝土就不经济，而砖木结构用在高大建筑上也会造成浪费。所以一个工程师应该知道如何来考虑“材尽其用”，同时也注意到“材尽其能”。学好材料力学能帮助我们深入了解材料的物理性能，去掌握材料在强度方面的基本计算，可以指导如何选择材料并将材料用在适当而合理的地方，从而达到“立得稳，用料省”这样一个主要原则。

用所学到的有关桁架结构的知识对衣架结构进行增强。

材料准备：铅丝衣架，塑料吸管，透明胶条，剪刀。

方法：抓住衣架两侧，注意观察，衣架侧面很容易弄弯（图 1.37）。现在，用剪刀剪断吸管，并在两头剪出一个缺口，使它正好卡在衣架的上下端（图 1.38），用胶条牢固地把它固定在衣架上（图 1.39，图 1.40）。现在挤压衣架，你将会感到它较以前更坚固。

这个设计是最简单的构架。构架包含了许多排列整齐的三角形（图 1.41），这些三角形增加了构架的力量。

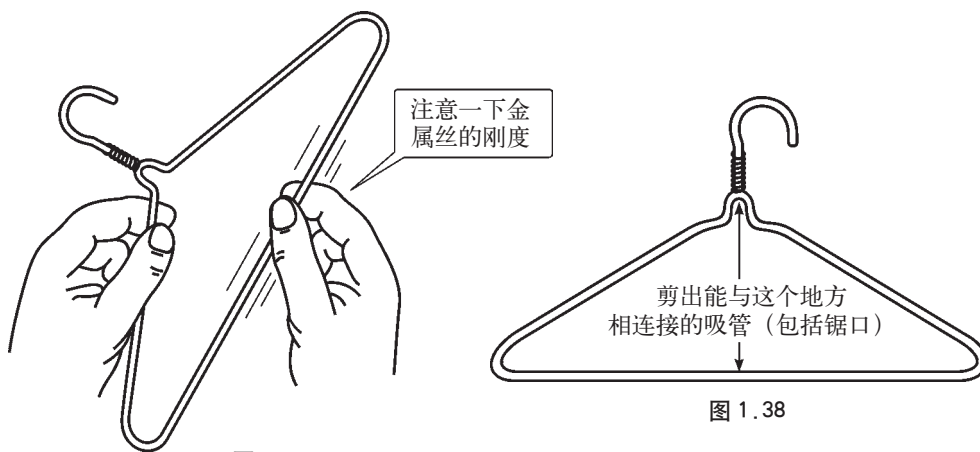


图 1.37

图 1.38



图 1.39

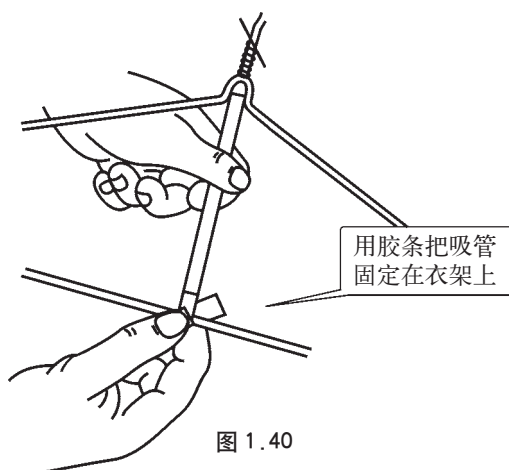
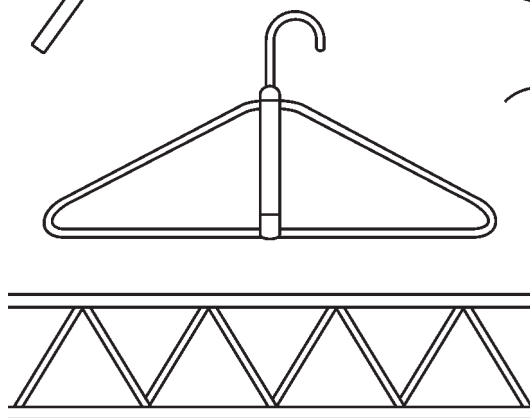


图 1.40



构架
图 1.41

四、参考资料

1. 工艺条件对结构的影响

一旦着手做抽象的设计方案，就必须同时考虑如何生产的问题。在设计高大建筑物的同时，必须考虑如何建造的问题。如果建筑物层数很多，就要考虑地面起重机能否满足设计要求。在机械加工时如果某个零件设计要求的精度超过了目前采用的生产设备所能达到的精度，那么这种设计只是一纸空文。一个优秀的设计者总要问自己，这样的设计用现有的机器和技术能做到吗？

例如，由于焊接的工艺特点不同于铸造的工艺特点，所以工艺因素必须在结构设计时就考虑进去。例如大辘轳用铸造法制造，设计成弯曲的辐条较好。因为在图1.42左图的直辐条设计中当金属冷却收缩时，会引起很大的张应力；而右图的设计中通过改变辐条的曲率半径可以有效地缓解张应力。如果辘轳是用焊接方法制造的，则应设计成左图形状，因为制造起来比较方便。

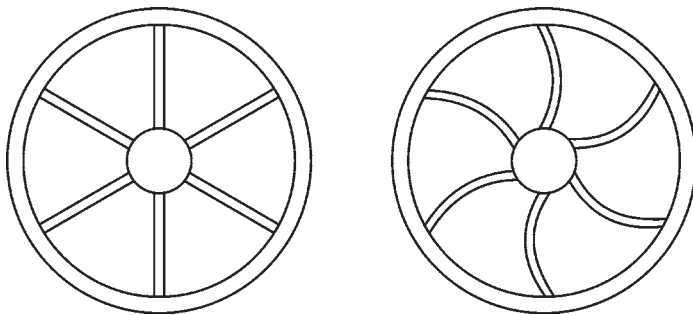


图 1.42 零件的结构形状和制造工艺的关系

2. 尼龙绳的蠕变现象

你如果在两棵树之间系上一根尼龙绳并将绳子绷紧，然后挂上一件重物，过两天后你取下重物，一定会发现尼龙绳变松了，实际上它是比原来伸长了，这一现象就叫作材料蠕变。材料蠕变会导致材料承载能力下降和结构变形，使整个系统的可靠性下降。

3. 材料的受力方式与疲劳现象

在教材所研究的问题中讲到外力时，都是假定它是慢慢地由小到大逐渐加到构件上的，当它增加到某一定值以后，就保持不变，或者变动非常不显著。我们将这一类型的力，叫作静载荷。例如，冬天下雪时，雪花纷纷飘落在屋顶上，过了一会儿，屋顶就堆积了一层雪，这就是静载荷。另外，蓄水池里所受到的水压力等也是静载荷的例子。在实际工程中，也常常会遇到另一类的载荷，例如，大家在建筑工地上常看到的用汽锤打桩，汽锤一下一下地冲击在桩顶上，这时，木桩就受着“冲击载荷”。又如，机车在行驶到桥梁上时，一下子突然将机车的全部重量加在桥梁上，这时，桥梁就受到“突加载荷”或“集中载荷”。再如，内燃机的活塞杆，忽而受拉，忽而受压，一拉一压有规律地变化着，这又是一类载荷，叫作交变载荷（图 1.43）。

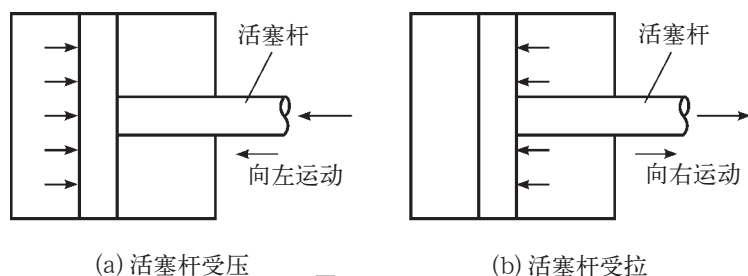


图 1.43

显然，不管是冲击载荷也好，突加载荷或者交变载荷也好，对一个构件的作用性质，跟静载荷完全不同，我们将这一类载荷叫作动载荷。除此之外，还有一种载荷是由于构件本身在运动的时候产生的，例如，圆环旋转时就会产生离心力，起重机的缆绳吊着重物因加速度地上升而引起的载荷等，都是动载荷。

构件在动载荷作用下的应力和变形的计算问题，跟在静载荷作用下的情形是完全两样的。构件受到冲击载荷作用时，它的应力和变形，要比静载荷时产生的应力和变形大得多。各种材料抵抗冲击载荷的能力各不相同，可以用冲击试验来确定。一般讲，脆性材料抵抗冲击载荷的能力很差，所以，我们都不用生铁来制造汽车的弹簧板、钢轨或其他承受冲击载荷作用的机器零件。

我们再来看一看构件在交变载荷作用下会有什么样的结果。上面提到的内燃机的活塞，当机车在奔驰时，燃气在汽缸里推动着活塞，活塞杆就忽而向左，忽而向右，不停地一会儿受拉，一会儿受压。从试验和实际工作中的观察，我们可以发现一个奇特的现象：哪怕构件是用最好的塑性材料制成，它在长时间受重复载荷作用后，也像是变“脆”了一样，在应力还远小于材料的强度极限的情况下，没有什么明显的变形，就突然断了。这一现象，我们习惯上把它叫作“疲劳”。为什么材料会“疲劳”呢？这是因为即使在应力不大时，由于材料中的气泡或个别不坚固的颗粒发生错移，而形成了非常细微的裂缝，以后随着载荷的正一反重复作用，裂缝时合时分，逐渐扩展，最后，裂缝使构件的截面削弱，终于引起破坏。疲劳破坏是非常危险的，机车和飞机引擎的轴一旦发生疲劳破坏，就会造成火车出轨、飞机失事等严重事故。因此，为

了防患于未然，必须及时发现裂纹，以免构件发生疲劳破坏。金属材料用久后都会有疲劳现象。但是，另一方面，试验又告诉我们，如果构件内的最大应力不超过某一限度，它也可以永不疲劳，无限期地工作下去。这个限度，叫作疲劳极限强度。所以，若要构件永远正常工作，就必须保持构件内的应力不超过它的疲劳极限强度。

总之，研究构件在动载荷作用下的应力和变形，是一个比较复杂，但也是比较重要的问题。在这里仅简单介绍了问题的性质，如果有兴趣的话可以进一步参考材料力学教材中有关动载荷的部分。

第四节 结构的模型或原型的设计与制作

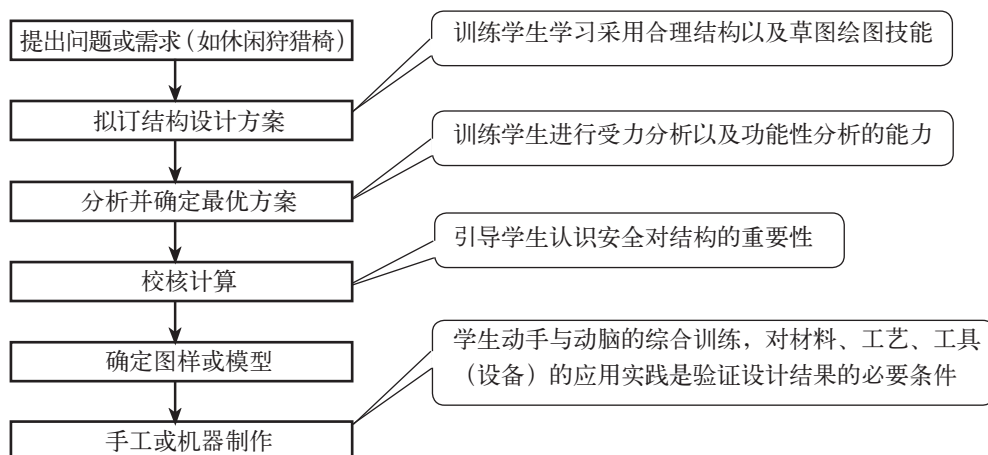
一、教学目标

- (1) 学会提出设计方案并确定最佳方案。
- (2) 合理利用材料和操作工具来学会动手实践，完成设计要求。
- (3) 学会“提出问题→设计（思考）→设计表达（图纸）→选择材料和工具→动手制作”这一工作流程，并从实践中观察设计图纸和真实产品间性能和功能上的差别。
- (4) 通过试验或试验判断结构是否合理和科学，发现问题并改进，从强度校核的重要性培养对工程结构安全第一的认识。

通过制作活动，培养个人的手脑协同能力以及团队合作精神。

二、结构分析

本节属于整个第一章的实践性教学环节，要求学生将前面所学的理论性概念应用到简单的动手制作中去，同时培养学生初步的设计、选材和加工操作等技术素养。教学内容之间的相互关系请参考下面的关系简图：



三、教学建议与说明

1. 结构设计与分析

主要着眼于力学分析和使用功能，让学生对教材图 1.45 三种方案展开讨论，当然老师应鼓励同学提出自己的方案，如果老师觉得和图 1.45 的草图具有可比性，可以一并讨论，但不宜太多，以 3 ~ 5 种方案较合理。进行方案选择时的主要依据为如下四点：

- (1) 射击时有后坐力产生，椅子结构要不影响射击精度。
- (2) 要有尽可能宽广的视野，椅子结构不妨碍枪的移动。
- (3) 尼龙带与树干绑定的安全性受到质疑，因为尼龙材料在长时间的应力作用下易发生蠕变。
- (4) 根据经验，位于空中的座椅应该强调结构的整体刚性，否则游人容易产生不安全感，影响狩猎。

比较结果可参看表 1.3。

表 1.3

设计参量	可供选择的方案			
	方案 1	方案 2	方案 3	创意方案
视野是否开阔	是	是	否	
后坐力是否影响射击精度	否	是	是	
和树干的绑定是否牢固	是	是	否	
座椅的整体刚性是否足够	是	否	否	

2. 受力计算与强度校核

桁架几何结构→最大载荷大小和作用点→力的分解与合成→力的平衡方程→桁架杆件的最大应力 $\sigma_{\max}$ →将 $\sigma_{\max}$ 和材料极限应力（强度）或者许用应力（须先确定安全系数）比较→结构是否稳定可靠。

对应力的校验可以使学生对工程结构的可靠性和安全性产生初步的认识，并需要向同学声明，任何产品创新或结构创新都必须坚持安全第一的思想。建议组织一次关于各种结构（桥梁、房屋、娱乐场所等）安全的讨论。

在一切工程实践中，为了达到经济实用，必须做到使用尽量少的材料，同时确保安全。例如为了保证建筑物的安全，需要增加构件的截面尺寸，而为了保证得到最大的经济效果，就需要减小构件尺寸。这正像我们有一句俗语“又要马儿跑，又要马儿不吃草”，要求一个工程师做到“马儿不吃草”自然是不可能，但是可以做到避免不必要的浪费。如果一个工程师强调安全而忽视经济，将引起材料和劳动力的浪费，这是不应该的，也是不允许的；同时也不应该偏重经济而忽视安全，否则将造成结构物的破坏，引起生命财产的更大损失。所以，作为一个工程师，他必须学会全面考虑安全与经济这一对矛盾，并给以正确处理，力求在保证安全条件下消耗最少的材料，得到最大的经济效益。因此，他必须掌握材料力学中有关安全系数的知识，并学会把这种知识运用到工程实践中去。

3. 图样与模型

此部分内容主要能帮助培养绘图或读图能力。《技术与设计 1》已经讲授了工程图的基本

知识, 对此处出现的零件图纸表达, 编者尽量用立体视图, 要求学生看懂零件的尺寸形状, 看懂零件的装配顺序和关系。

4. 材料及制作

利用现有设备、材料, 可以不拘泥书中提及的材料连接方法。最终目标: 能安全使用, 选材合理, 重量越轻越好, 制作时间要短。

5. 活动实施建议

教材正文中休闲狩猎椅的制作主要属于钳工操作技能, 建议尽量使用钢或铝的型材(截面为直角、圆管或方管), 如果找材料或制作有困难, 也可以考虑使用木材, 但狩猎椅的结构需要稍做修改。制作时分组开展, 以3~4个学生一组为宜, 这样可以培养团队合作精神。

如果具备制作休闲狩猎椅的条件, 活动延伸中的台钟造型的制作应该没有问题, 但此项设计可以发挥同学们的想象能力, 最后完成的作品既要稳固又要美观。

设计制作文件夹

办公室中常用铁皮文件夹放报纸或文件资料, 并经常将夹紧纸张的文件夹挂到墙上, 每次要增加新文件时需要将文件夹从墙上取下, 较为麻烦。而如果不取下直接在墙上夹放纸张, 不小心原来的纸张就会掉下来。现在想要设计一新文件夹, 不用从墙上摘下来, 就可以往夹子里增加新的纸张, 原来的纸也不会掉下来。

材料: 大号铁皮文件夹1个, 厚度约0.8mm的薄铁皮1块。

工具: 铁皮剪刀1把, 榔头1把, 钢锯1把, 小钢锉1把, 台钻或电动手钻1个, 钳子1把。

制作方法:

(1) 锯铁皮文件夹。铁皮文件夹较厚, 可用钢锯条锯去上夹片两侧各15mm, 锯完后用钢锉锉去毛刺、使边缘光滑[图1.44(a)]。

(2) 制作背托架。用薄铁皮制作背托架, 其主要作用是在夹放新文件时, 背托架的两脚可以顶住原有文件, 形状如图1.44(b)所示。用榔头锤平边缘, 用钻头打孔。上端的孔要与铁皮文件夹的夹头孔对齐, 凹槽左右两侧的孔须与铁皮文件夹的弹簧插销孔对齐。

(3) 组装。把铁皮文件夹上的弹簧插销取下。怎么取呢? 因为销的一头为半圆形状、另一头稍稍凸出, 可用小锉刀锉去凸出部分, 再用老虎钳把铁销拉出。为避免拉出铁销后文件夹散架, 事先可用绳子将文件夹绑住, 把背托架放在文件夹大片外侧(大片夹头位于凹槽内, 背托架两脚顶住大片内侧), 铁销从背托架和文件夹对齐圆孔处穿过弹簧, 从另一端穿出。然后,

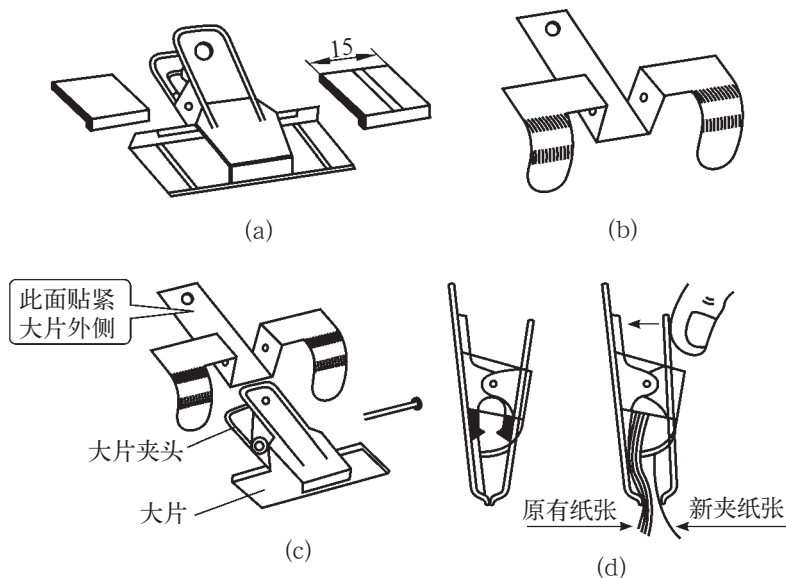


图 1.44 文件夹的制作 (单位: mm)

用榔头敲打几下，使铁销两端稍许扩大，防止它从圆孔中脱出。组装示意如图 1.44(c) 所示。

使用方法：

要把文件资料夹入文件夹时，只要用力压上面的夹头，夹头就会松开，文件夹好后，再把它挂在墙上。以后要把新的资料放入时，使用方法同上，只是由于背托架的两脚已顶住原有纸张使其不致下滑，故不需要把夹子从墙上取下来 [图 1.44(d)]。

四、参考资料

1. 力系概念

在很多实际问题中，我们遇到的物体，其受力不止一个。将同一物体所受的一群力称作力系。分析力系对物体的作用，不能单看其中某一力的作用效果，要看所有力的共同作用效果。

为了研究力系对物体总的的作用效果，常需要把各个力合成，求出它们的合力或合力偶，或者用一个较简单的力系代替原有力系，而不改变它对物体的作用效果。这类问题叫作力系的简化。

力系经过简化后，如果它的合力或合力偶都等于零，说明力系中各力的作用效果恰相抵消，此时物体的运动状态应该保持不变，原来静止的物体仍保持静止，原来以一定速度做直线运动的物体仍以原速度做匀速直线运动。这种运动状态不变的情况，称为平衡状态。例如，站在地面上的人，它的重力和地面给它的向上支持力大小相等、方向相反，其合力为零，人就在原处静止不动。

平衡状态是物体运动状态的一种特殊情况。只有当物体上所受各力满足一定的条件时，物体才会处于平衡状态。

2. 力的平行四边形法则

实验证明，用相交两力为邻边作一平行四边形，从两力交点作该平行四边形的对角线即为合力，这就是著名的力的平行四边形法则。

如图 1.45 所示， F_1 、 F_2 为作用于 A 点的两力，以这两力为邻边作出平行四边形 $ABCD$ ，则从 A 点作出的对角线 AC ，就是 F_1 与 F_2 的合力 F 。

用力的平行四边形法则可以将任意一个力分解为两个分力。如图 1.45 中的 F_1 和 F_2 可以看作是 F 分解而成的。当角 θ_1 、 θ_2 取值不同时将有不同的分力 F_1 和 F_2 。特殊情况，将一个力分解为互相垂直的两个分力，称为正交分解。研究建筑结构时经常用到这一概念。图 1.45 中 $\theta_1 + \theta_2 = 90^\circ$ 时为正交分解。

将力 F 看成是分力 F_1 与 F_2 的合力本身就是平行四边形的法则，这一过程也叫作力的合成。

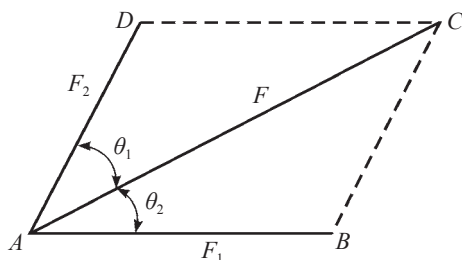


图 1.45

3. 阅读资料——对金属的疲劳破坏的分析

用你的双手抓住一根细金属丝的两端，只需反复弯曲若干次即可将它折断，这种现象称为

疲劳破坏。在早期的航空发展史中，许多小飞机在首次飞行前都要按图 1.46 所示的方式进行机翼疲劳试验。每只机翼用不同姿势的 5 个壮汉来加载，企图以此来验证机翼在飞行中发生振动时翼根不会产生疲劳破坏。同样道理，与车轮一起旋转的机车轴，虽然外力不变，但在运行中要（像金属丝一样）经受高速循环的反复弯曲，其上纤维要承受一会儿受拉、一会儿受压的高频“折腾”，因此设计上稍有差错，车轴就会因疲劳破坏而“短命”。

从大量的机器零件破坏调查中发现，90%以上属于疲劳破坏。破坏开始时常带有纯粹的局

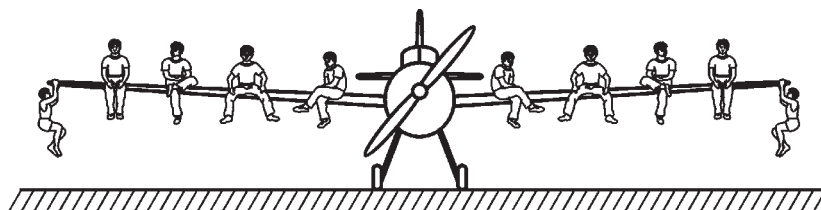


图 1.46 早期的机翼疲劳试验

部性（图 1.47），在循环载荷作用下，零件内部首先出现微观裂纹，随着循环次数增加（有时要达到几百万次甚至几亿次的循环），裂纹周围的晶体就开始破坏，使之向纵深扩展，直至断裂。

1985 年 8 月 12 日，一架日本航空公司波音 747 巨型客机，满载着包括日本著名歌星坂本九和一对新婚夫妇在内的 524 名旅客，由东京飞往大阪。起飞后不久，随着机尾的一声巨响，气压隔板断裂，接着飞机失控，飞行了“恐怖的 30 分钟”后坠毁，除 4 名幸存者以外，全机 520 名旅客和机组人员丧生，造成世界航空史上的最大悲剧。围绕一起航空事故的原因调查，开始了一场轰动一时的美日“航空官司”。要追究的问题是，事故的原因是由于飞机设计或制造中的不合理所引起，还是由于使用和维护不当的缘故。作为飞机制造厂家的美国波音公司和作为用户的“日航”，争吵不休，达一个月之久。直到 9 月中旬，日方公布了失事飞机断裂处的照片后，双方才停止争吵。日方所提供的断裂照片——断口照片是很有说服力的过硬证据，因为它是利用扫描电子显微镜拍摄的。根据照片中呈现出的清晰条纹，说明该机肇事“元凶”是飞机气压隔板的疲劳破坏。因为这架客机每天要多次往返于东京、大阪之间。在东京起飞时要升到 1 万多米的高空，然后马上下降到大阪，这种频繁的升降最容易增加机体的疲劳。

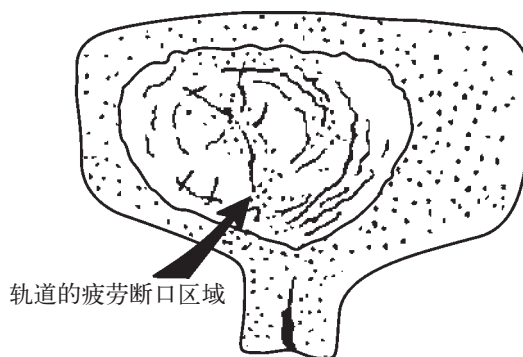


图 1.47

日方拍摄这些断口照片，采用了具有高分辨能力和高放大倍数的电子断口分析技术，这是近几十年来“诊断”金属疲劳的最新成果，被科学家称为破断零件的“尸体解剖”。研究者只需根据“尸体”断口照片上清晰的条纹，即可判断出破坏的原因和破坏的类型。例如，当断口出现“贝壳斑纹”时（图 1.48），就可认为这种破坏属于典型的金属疲劳破坏。

大量的实验证明，贝壳斑纹的形成与零件的几何形状是否发生突变有着密切关系。如一根机车轴在直径发生变化处采用圆弧状平滑过渡，一般可顺利地使用40年；若采用台阶式突变，则使用1年多就会“疲劳夭折”（图1.49）。20世纪50年代，英国空军飞机发动机主轴大量损坏，也是由于轴段过渡不够平滑所致。后来，飞机设计师对它们动了“外科手术”，在紧靠螺旋桨颈部的过渡圆弧半径仅仅增加3mm，疲劳断裂就避免了。

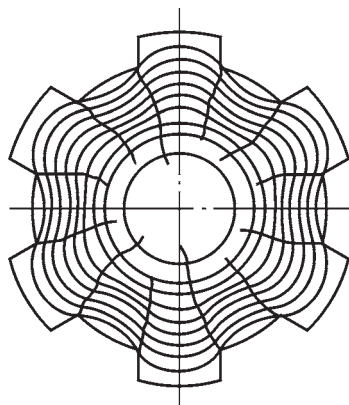


图 1.48 典型的疲劳断口斑纹

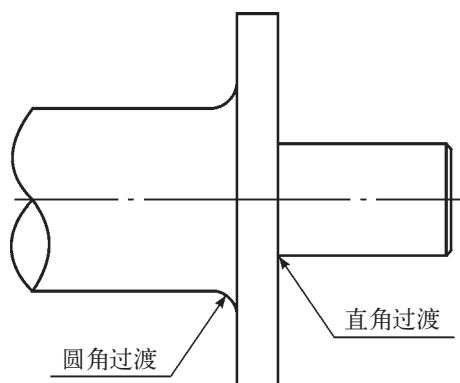


图 1.49 台阶处的两种过渡形式

第五节 结构的技术评价和文化欣赏

一、教学目标

- (1) 了解桥梁或建筑结构的归类和技术评价。
- (2) 注意将技术因素（力学、材料、工艺）和人文因素（造型、美学、环境、历史）联系起来评价设计作品。
- (3) 通过技术评价和文化赏析获得技术与人文相结合的思维素养，培养学生从技术和文化角度来对设计作品进行交流和评价，有助于为将来的技术交流能力打下基础。

二、结构分析

前四节内容集中在技术因素与结构设计的关系上，当对结构的理解达到一定的高度后，就需要同时从技术和人文的角度来审视或评价结构设计，尤其是对建筑结构设计的评价。教材主要从结构受力特点和功能性优点等方面来对结构进行技术性评价，从历史、文化、地理的角度来对一些著名建筑进行人文评价。

技术评价是文化赏析（人文评价）的物质基础，具有唯一性、客观性特点，而人文评价是技术性和艺术性的统一，所以它具有以客观性为基础的主观性特点。教学过程中应注意讲清这两者之间的关系。

三、教学建议与说明

1. 桥梁结构分类和技术评价

教材中给出的 5 种梁式桥、拱形桥、钢架桥、悬索桥、斜拉桥是按桥跨结构来分类的，教师只要能帮助同学理解这 5 种结构就可以了，重点引导同学在以下方面比较或评价不同桥型：

- (1) 桥跨的受力形式、特点。
- (2) 哪种结构有利于提高桥的跨度？
- (3) 哪种结构有利于减少桥的自重（即减少材料）？

建议同学回忆一下分别在哪些地方见到（或知道）哪类桥？桥梁的造型美感需要有自然环境的衬托才能表现出来，结合实用性评价桥梁的文化和社会价值。

2. 建筑结构的欣赏

不难看出，建筑结构欣赏与诗、乐、画、史是相通的，都属于文化的范畴，只是建筑将意境、节律、形象、历史都物质化了。在英语中，建筑写作“Architecture”，原意是“巨大的工艺”。俄国唯物主义哲学家车尔尼雪夫斯基曾讲：“建筑与工艺没有本质的区别，只有量的区别。”可见，建筑绝不是纯技术的产物，它应该考虑艺术性。当然，建筑毕竟是物质的产品，无法回避其技术性，故建筑也不是纯艺术作品。建筑具有的这种物质及精神的双重属性，是技术与艺术融合、渗透、统一的结晶。正因为如此，建筑就与其他门类的艺术相似，具有时代的风貌、民族的风采及地域的风格。所以，富有艺术特色的典型建筑就常常被作为时代、民族、国家或地区的标志或象征。

在古埃及，人们用巨石砌筑锥形的法老（国王）陵墓，在尼罗河西岸以孟斐斯为中心建造的金字塔就有大大小小 80 多座。其中，以建于第四王朝的吉萨金字塔群最为典型，它包括胡夫、哈夫拉、孟卡拉三座金字塔，均为正方锥体，互以对角线相接。金字塔以淡黄色石灰石砌筑，用磨光的白色石灰石饰面（今已大部剥落）。吉萨金字塔建筑群的结构技术是成功的。金字塔采用锥形体，不仅具有稳定均衡的剖面，而且在沙漠地区，每当吹到金字塔底部的风正拟肆虐时，即被沿塔斜面引导向上，形成盘旋而上的旋风，巨大的风力在空中消耗，实际破坏率便降低了。因而，除了体量巨大并厚重外，其外形也起到了保护作用，使得金字塔能够长期在沙漠中不受损害，不遭淹没，岿然留存。

建议老师在网或图书馆收集一些教材中提及的 3 个著名建筑（应县木塔、埃菲尔铁塔、悉尼歌剧院）的有关彩图或音像资料，向同学们介绍这些建筑设计在技术和美学上的欣赏价值。

如应县木塔是世界上仅存的最高的全木结构塔式建筑，利用了不同形状的柱、梁桁架结构，利用了中国独特的卯榫结构，堪称木结构设计的奇迹。

巴黎埃菲尔铁塔在技术上的成就主要是钢结构桁架设计的典范之作，造型上的美学以及社会政治上的价值，使其成为法国的标志性建筑。

悉尼歌剧院是薄壳结构的典范，它的浪漫和诗意是靠海洋和蓝天的衬托才得以发挥至极，所以对建筑的评价还离不开其周围的自然环境，对任何设计作品的评价实际上都应考虑人、物、自然和时间四者的相互关系。

3. 活动实施建议

教材中提及的活动方案主要是观察所在地的桥梁结构和评价高层建筑，老师组织教学活动时要尽量提供或利用真实感强的图片、视频甚至比例模型等，首先给学生造成视觉上的触动或享受。学生尽量利用已经学过的技术和文学上的术语及词汇来进行交流或评价。在现实生活中

如果你缺乏技术术语以及对历史、文化环境的背景知识，你对眼前呈现的一个雄伟或精美的建筑往往只会发出感叹，技术交流和评价的学习对表达能力的提高是非常有益的。

四、 参考资料

1. 建筑结构的审美价值观

建筑首先表现为一定的空间形式，而建筑空间又是结构空间、实用空间与视觉空间的融合。结构空间是一种建筑实体，具有物质的属性；视觉空间是一种建筑形态，具有精神文化的属性。这两种空间属性的统一，可以形成一定的使用功能——实用空间，它体现着建筑空间结构的社会属性。所以，从本质上讲，建筑或建筑空间具有物质的及精神的双重社会属性，这就是建筑结构或建筑空间的价值观。

建筑与音乐类似，虽不能再现生活，但却可以用空间结构的造型来表现时代的、民族的、地域的文化观念，蕴涵设计者的精神追求，体现使用功能与美的要素结合。然而，建筑作为空间结构的造型艺术，则更看重构图的形式美，即依靠尺寸形状、光影、外观质地及视觉色彩把方圆、曲直、刚柔、强弱、高矮、大小等因素，有机地组合成和谐的整体，从而给人以美感。所以，从形式美的角度出发，可以说建筑的美首先就是和谐。例如，北京故宫（图 1.50）从正阳门到景山，长约 3km，有十几个自成体系的院落结构，有上百个富丽堂皇的宫殿楼台，宫门重重，玉阶层层，形成了一种广阔而静谧、神秘而森严的气氛，造成了一种皇威显赫、君权至上的心理意象。作为封建时代的建筑，达到了形式美与社会美的和谐统一，显示了我国古代建筑的艺术及技术成就。

2. 建筑与环境

人们生活在一个有形有色的环境里，它既是一个可视的形象世界，又是一个物质构成的空间。某著名建筑师讲过：“建筑是寓于空间中的空间艺术。”在这里，建筑空间是个“小”空间，空间环境是个“大”空间，“小”与“大”之间有着相当密切的依存关系。当代建筑已由个体设计转向群体设计及环境设计，因此，个体建筑只求“独善其身”是很不够的，还应当充分考虑建筑与环境的融洽和谐。日本著名建筑师丹下健三说：“精彩的不是一座座个体建筑，而是凭借它们非常奇妙的配置而形成的环境。”所以，除了研究个体建筑的室内空间及外观以外，建筑与环境，即“小”与“大”的空间关系，也是建筑设计必须进一步思考的问题。

建筑环境主要包括有形环境与无形环境。

有形环境包括两类：一是基地自然环境，如绿地、水面、山地及天空，甚至包括气候；另一个是人工环境，如建筑群体、经济条件等。它们都是物质性的环境，对建筑的布局影响较大。例如，雅典卫城（图 1.51），居山抱势，用非对称布局，有运动的势态；我国故宫，凭借坦地，采取严谨的对称布置，获得庄严的情态。二者同是古典建筑，在整体形态上却大异其趣。

无形环境主要指人文环境，包括历史的、社会的因素，如文化、传统、观念、政治等。这是一种精神环境，虽属无形，但对建筑的影响却是有形的，因为建筑是以物质的表现形式去体现文化的。例如，同样是山地，同样是石料，同样是处于奴隶制社会，雅典卫城与我国西藏拉萨布达拉宫（图 1.52）在造型上的差异是有目共睹的。雅典卫城的建筑，以柱式为构图要素，形成的柱廊，典雅又端庄；拉萨古城红山上的布达拉宫却以大块实墙面为主，形成的碉房，粗犷又雄壮。不同地域、不同民族、不同历史文化的特征，通过这两组建筑展现得淋漓尽致。显然，物质环境及精神环境对建筑的影响总是综合性的及全面性的，是难以截然分开的。



图 1.50 北京故宫



图 1.51 雅典卫城

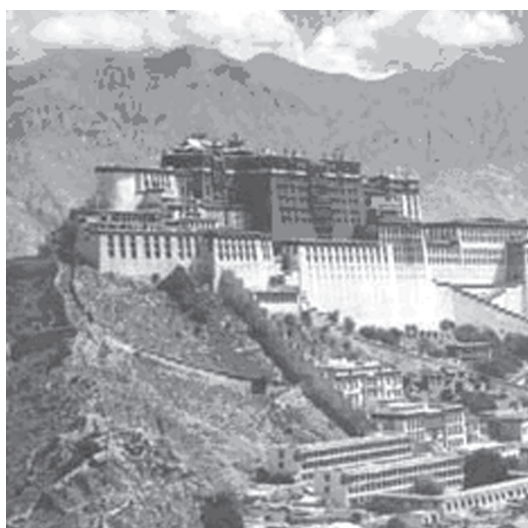


图 1.52 西藏拉萨布达拉宫

3. 仿生建筑

有人说，未来的建筑业是仿生力学的大乐园，此话颇有见地。因为生物体在长期自然力的作用下具备了出色的强度、刚度和稳定性等优点，甚至超出了人们所能想象的地步。可以毫不夸大地说，在 21 世纪的建筑业中，仿生建筑学将会得到蓬勃发展。

一种名叫“筒形叶桥”的仿生建筑，就是一个典型例子。它具有很高的强度、刚度和稳定性，而且用材经济，真是一项仿生建筑的杰作。它的独特造型是从茅草和禾本科植物的长叶子那里借鉴来的。因为这种植物叶子往往卷成筒状，以其弯曲了的表面来增加强度和稳定性，能经受狂风暴雨而不易折断。

此外，各种形状的贝壳，也为高强度轻型建筑结构提供了借鉴。国外所流行的贝壳式餐厅、杂技场、超级市场的顶盖，就是仿贝壳建筑的杰作（图 1.53）。还有山上的高大云杉，由于具

备了得天独厚的等强度（从树根到顶端强度均匀，没有明显的薄弱处）结构，在长年累月的狂风大雨和暴雪的袭击下仍然昂首挺拔。国外一种矮圆锥形的电视塔就是模仿了云杉的造型。

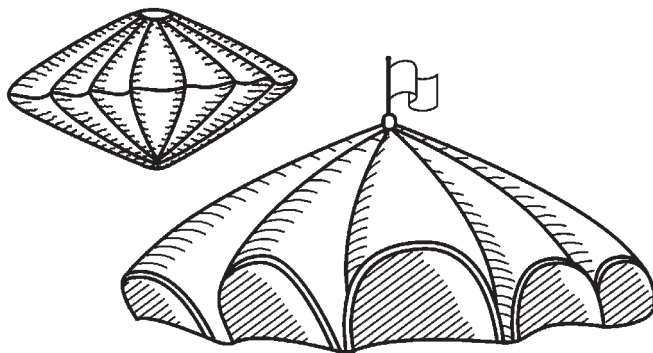


图 1.53 贝壳式建筑

第二章 流程及其设计

人们的生活、生产以及其他工作都离不开流程。由于人们对它缺乏认识 and 了解，所以本章第一节从“流程的概念”入手，对流程进行介绍。要全面了解、掌握一个概念，绝不能仅仅知道它的定义，还要把握它的基本特点。介绍“流程的概念”不仅仅指其自身，如“什么是流程”，还包括其相关的概念，如环节、时序等。理解了“流程的概念”，就不难理解流程在生产、生活中的巨大作用了。

既然流程有如此巨大的作用，自己如何设计一个生活、生产或产品销售流程呢？第二节就介绍“流程的设计”的步骤和方法。做事情总有一个先后顺序的问题，流程设计也要按照一定的步骤。一个流程设计出来，不但要自己看得懂，更重要的是别人也要看得懂。像机械制图一样，流程也需要使用规定的形式表达出来。流程最常用的表达形式就是流程图。为了使读者了解和掌握绘制流程图的方法，作者列举了多个实例，并进行了较详细的分析。

为了实现同一个目标（或任务），可能有多个流程可供选择，已经存在的流程并不一定是最好的，人们总是希望获得最好的流程，这就是第三节“流程的优化”问题。流程优化通常以提高工作质量、提高工作效率、降低成本、节约能源或减少污染等为目的。要达到这些目的，就必须采取一些方法。教材介绍了流程优化的途径和两种流程优化的方法。一种方法是“流程改造”，另一种方法是“重新设计新流程”。流程改造的措施和重新设计新流程的步骤，教材中均有详细的介绍，列举了多个实例。实例表明，实现流程的优化除了采取简化环节和调整时序等措施外，主要依靠科技进步。

第一节 流程的概念

一、教学目标

- (1) 了解流程的基本特点，理解流程的含义及其对生产、生活的意义。
- (2) 理解流程中的环节与时序的意义，能够确定简单流程的环节与时序。
- (3) 了解流程在生产、生活中的作用。

二、结构分析

本节首先介绍了流程的定义和流程的特点，旨在使同学们建立起对于流程整体上的基本概念。

将流程分解成为一个个的“环节”或“子流程”，换句话说，流程是由一个一个的环节组成的。当然，这些“环节”的排列不能是任意的、杂乱无章的，而应该按照一定的“时序”，即“活动”的先后顺序。由于流程可以分解为“子流程”，环节也可以分解为“子环节”，这样无限制地分下去，分到什么时候为止呢？教材中给出了一个一般性的标准。“子流程”“环节”“子环节”这三个概念都是相对其上一个层次而言，三者本质上没有什么区别。

学习、研究、设计流程干什么用，这是学习者很自然会提出来的问题。人们的生活、生产以及其他工作都离不开流程，只不过是流程比较简单或比较熟悉而没有意识到。教材列举的商务流程、工作流程及生产流程可以增强学习者对于流程重要性的认识。

三、教学建议与说明

理解流程的定义很重要。从不同的角度，人们对于流程下有多种定义，请看以下流程的定义：ISO9000：业务流程是把一个或多个输入转化为对顾客有价值的输出的活动。

T.H. 达文波特：业务流程是一系列结构化的可测量的活动集合，并为特定的市场或特定的顾客产生特定的输出。

工艺流程：指直接改变原材料或半成品的尺寸、形状、表面的相互位置、表面粗糙度或性能，使之成为成品的过程。

以上对流程的定义都有其特定的应用范围，如“业务流程”“生产工艺流程”。比较一下教材给出的流程的定义“流程是由一系列按照一定顺序进行的活动的组合”，就会发现教材给出的定义更具有普遍性。

任何一个流程都是“活动的组合”。因此，有必要对于“活动”进行更深刻的认识。任何一个流程都具有活动、活动的方式和活动的承担者。活动的承担者是活动的主体，活动是内容，活动的承担者和活动内容决定活动的方式。三者互动的结果是实现活动的目的。活动的主体可以是人、动物、植物、事物及大自然。

流程是由一个一个的环节组成的，环节和时序是流程设计的基本要素。流程设计的质量，与环节数量的确定有直接的关系。在一个流程中需要确定多少个环节不是固定不变的，环节确定取决于流程设计项目的性质和目的。关于环节数量的确定，教材中举了一个“邮寄信件”的例子。再看一个零件加工的例子：加工教材图 2.9 给出的“阶梯轴零件简图”所示的零件，教材给出的工艺流程是：车削端面和外圆→钳工划键槽线→铣键槽→磨外圆→去毛刺→检验，流程共划分了六道工序（即六个环节）。在实际生产中，这一工艺流程比较适合单件小批的生产。如果是大批生产，为提高加工效率，需要将第一道工序分解为“粗车外圆”和“半精车外圆”，工艺流程又增加了一道工序（环节）。这时，流程共有七道工序（即七个环节）。

关于流程时序的重要性与应用，在本章的第二节“患者看病的流程”的内容中有比较详细的讨论，这里不再赘述。

四、参考资料

1. 为什么流程如此重要

为企业实施信息管理系统管理咨询的顾问 Kun 先生，总是喜欢询问企业经理们一个简单的问题：如果有两件事，一事情很紧急但不重要，比如批阅文件、回复邮件、接打电话；另一件事情重要但不紧急，比如根据上月销售数据，调整生产计划——你选择先做哪个？

大多数经理都很自然地回答，当然是“急事先办”。但是，Kun 先生想表达的意思，显

然不止是一个“选择”问题。

(1) “紧急”与“重要”。企业信息系统投入运行之后，几乎所有的经理和部门的业务人员都发现，“事情找上门来的机会大大增加，而且，所有的事情都很‘紧急’。”

Kun 先生经过多年的细致观察后发现，实际上经理们虽然知道“急事先办”的朴素道理，但很快会陷入“心力交瘁”的状况。原因很简单，缺乏计划的“意外事件”似乎成为日常工作的“常态”。很多情况下，经理们已经无法分辨什么是“重要但不紧急”和“紧急但不重要”的事情，在他们的案头，总是有干不完的工作，处理不完的文件。

用于支撑公司日常办公的 OA 系统，以及大量用于业务处理的财务系统、销售系统、客户服务系统中，总是能发现大量“待办”事项，就是这种窘境的最好证据。

经理们甚至有一种无奈的想法：信息系统像抽得更猛的“鞭子”，把成堆的工作狂泻在经理的计算机屏幕上。

Kun 先生在进行流程咨询的过程中，致力于传播这样的理念：如果你总是陷入“紧急事务”的泥潭的话，你的日常工作流程实际上是非常混乱的。

“重要的并非区别‘重要但不紧急’和‘紧急但不重要’的事务处理的先后顺序”，Kun 先生说，“这只是为了说明问题而做的假设。实际上很多人会不自觉地被‘拖进急事先办’的恶性循环中”。

Kun 先生强调，如果是这样的话，需要思考的就是流程本身了。

(2) 不是没时间，而是流程混乱。“在中国的企业里，大多数人并不习惯做工作计划”，Kun 先生觉得这是一个很严重的问题——虽然看上去很不起眼。“这么说可能会有很多经理不同意”，Kun 先生解释道，“很多经理认为自己在做计划，但事实却是，很多计划根本没有得到执行。”

Kun 先生认为原因很简单——这些计划往往形不成完整的流程，无法顺畅地将工作“传递下去”。

事情一件接一件，“每天上班打开计算机，就是一大堆‘待处理邮件’‘待办事项’‘待阅文件’，还不用说无休无止的会议、讨论和沟通”，Kun 先生听到过无数次经理们的抱怨。经理们认为，不是他们不知道计划的重要性，也不是他们不知道如此“疲于奔命”带来的恶果，但是，“就是没有时间”。

在 Kun 先生看来，没有时间仅仅是表象。掩藏在背后的深层原因是流程的混乱。

“信息系统的使用，从时间上看加快了事务流转的速度”，Kun 先生分析道，“但并没有让这些‘事务链条’变得有序起来，这部分工作需要人来完成”。

Kun 先生的意思是说，由于计算机的精确性和网络传输的效率，事务流转已经可以说不存在时间和空间的任何瓶颈，“唯一的瓶颈就是人”。

用网络把人和部门连接起来很容易，但如果没有新型的流程，没有能适应这种“快速事务处理”的流程观念，信息系统只能是“忙中添乱”。

(3) 做“事务”的主人。Kun 先生描述的“混乱现象”，其实每个信息化的企业都不陌生。关键是怎么做。

以 Kun 先生多年的咨询经验，他给出的建议很具体：建立适合信息化环境的业务运转流程。这个建议听上去很像这些年说的一个词语 BPR（业务流程重组），但 Kun 先生似乎另有主张。

“BPR 的概念被人们搞反了”，Kun 先生的观点十分独特，“搞信息系统实施的专家，

总是把流程再造作为建立有效的信息系统的基础，这种看法并不完整”。

因为任何企业和组织的信息系统，都不可能覆盖组织的全部业务内容，所以信息系统只能承载一部分结构化程度高、流程边界清晰的业务，而那些无法进入信息系统的流程则被忽视。“让 BPR 为信息系统建设开路的做法，某种意义上是让流程为‘信息系统’服务，而不是让流程为‘人’服务”，Kun 先生的观点似乎有点特别，但并非没有道理。

无论什么信息系统，无论哪个流程，人都是不可缺少的“环节”。如果流程不是围绕人，而是围绕机器、网络来设计的话，最终人就会淹没在大量“自动化的流程”中，其实是“跟着软件流程走，而不是跟着优化了的业务流程走”。

做“事务”的主人，是 Kun 先生应付混乱流程的忠告。计算机中的事务列表和塞满信箱的会议通知、电子邮件，需要服从经理们对事物重要性、紧迫性的自主安排，而不是被动接受。

(4) 价值蕴藏在流程之间。流程成为众多管理学大师和顶级 CEO (Chief Executive Officer, 即首席执行官, 是美国人在 20 世纪 60 年代进行公司治理结构改革创新时的产物——编者注) 们关注的焦点, 是近 10 年才逐渐显现出生命力的事情。

汇集了德鲁克(Drucker)、哈默(Hammer)、钱皮(Champy)等人富有真知灼见的著作《管理的变革》(James Champy, Nitin Nohria 编, 1998), 由哈佛商学院收录在《哈佛管理经典丛书》中, 几乎全部文章都围绕着“改造工作流程, 成功制定战略”的主题。

简单说, 流程就是做事的顺序。达文波特给出的定义是: 企业流程是跨越时间和空间的有序的工作活动, 它有始点和终点, 并有明确的输入和输出。

这个定义的要旨在于, 它指出了“流程”必须有“时间控制”, 即明确的开始和终结; 同时, 流程必须有明确的预期和对结果的度量, 即“明确的输入和输出”。

表面上看, 企业组织是以业务和职能部门来划分的, 但实际上起作用的是流程。实际流程中呈现出来的是人员、物资(物料)和资金的流动; 但信息化企业需要更加留意的, 却是隐藏在这些可见的“流”背后的“知识流动”和“信息流动”。知识流和信息流, 才是企业资源的价值体现。

不同部门、不同人员、企业内外的合作, 就是检验流程是否完整、有效的试金石。因此, 流程作为活动的组合, 实际上是价值链传递的有效通道。

史密斯克莱因·比坎姆公司(制药行业)的总经理让·莱施利说: “是客户彻底改变了我们。”过去, 比坎姆公司有 4 项各自独立的业务——制药、大众医疗保健、兽医和临床实验室。从 1995 年起, 公司决定把精力集中在三个主要领域: 医疗服务、医疗管理和医疗保险。莱施利的看法是: 每个领域都是由一系列工作流程组成, 推动着医疗卫生系统的发展。

通过流程来重新认识企业, 是 20 世纪末期最为重要的管理思想之一。

衡量流程的不同状态, 实际上是衡量流程的各种资源利用效率和资源转化效果, 比如时间资源、人力资源、物料资源和资金资源。信息流是流程是否完整、有效、健康的标志, 它给出了度量的可能。

如果没有有效的度量, 流程就无法实现正常有序的运转。

(摘自赛迪网)

2. 求解一元二次方程的流程图

许多事物都可以用流程来描述。在数学课上经常计算的一元二次方程题, 把计算过程看作一个流程, 可以用流程图(框图)表示出来(图 2.1)。

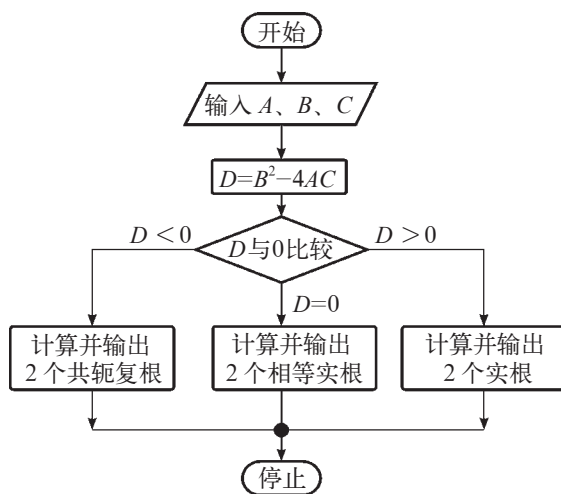


图 2.1 求一元二次方程根的流程

3. 聘请大学生家教的流程（图 2.2，见下页）

（摘自大学生家教网）

4. 购买汽车的全部流程

(1) 购买前咨询。网上查询、电话了解。

咨询内容：价格、车型、经销商、网上的资料。

(2) 选购汽车。汽车经销商需提供合法证明（正规购车发票、厂家提供的汽车质量合格证、进口车需提供海关货物进口证明或罚没证明书、商检证明书）。

(3) 工商验证。需提供正规购车发票、厂家提供的汽车质量合格证、进口车需提供海关货物进口证明或罚没证明书、商检证明书。

(4) 办理移动证。没牌照的车辆不能上路，因此验证后本地居民还得到当地交通大队（或其驻场代办处）办理车辆移动证。

(5) 验车。新车须经车辆检测场检验合格才能领牌。验车场由车管所指定。检验合格后填发由驻场民警签字的机动车登记表。

(6) 缴纳购置附加费。

(7) 保险。需提供身份证或法人代码证、购车发票。

(8) 领取牌照。需提供购车发票、质量合格证（进口车还须出示商检证书、进口单和车管所核发的准验单）；个人需身份证，单位需企业法人代码证；保险单；购置附加费证；验车合格的机动车登记表。注意，领取牌照需本人亲自到场。

(9) 办理行驶证。准备新车照片两张；临时行车执照；备案卡。

(10) 缴纳车船使用税。到附加费征稽处建档，并在附加费证上加盖已建档戳记，然后去所在地税务局（或购车时在其驻场代征处）缴纳车船使用税，领取税字牌。

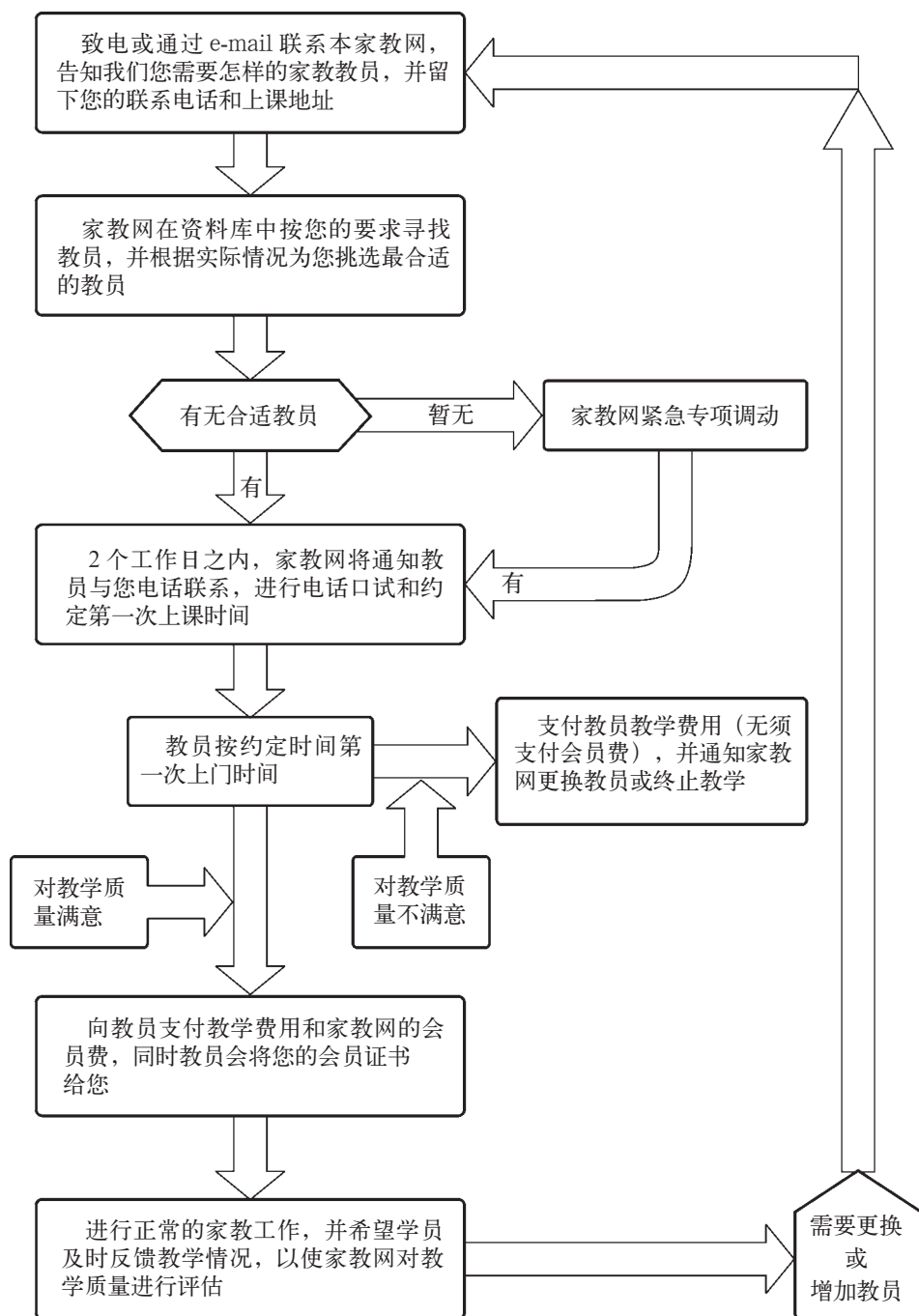


图 2.2 聘请大学生家教的流程

5. 卸船作业流程（南通港集装箱码头，图 2.3）

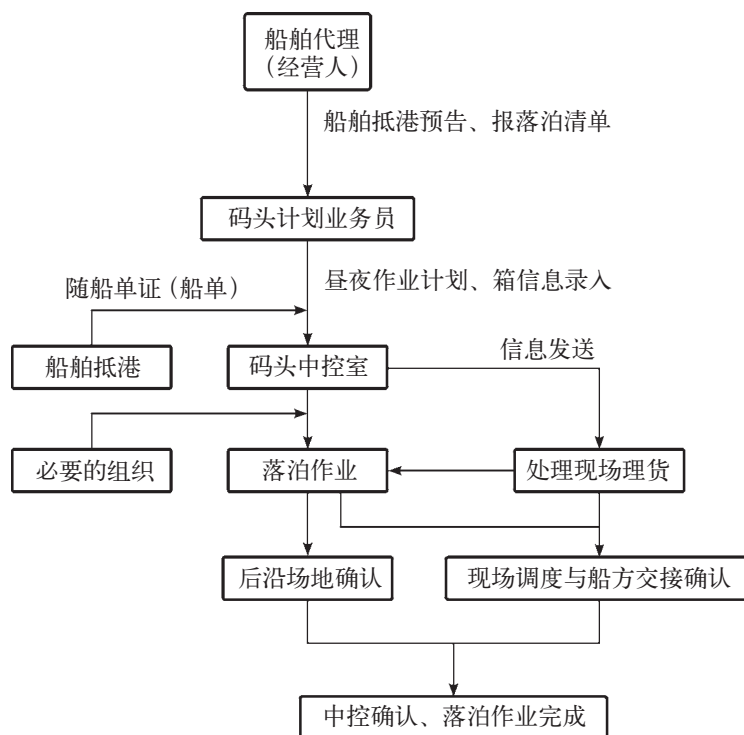


图 2.3 卸船作业流程

第二节 流程的设计

一、教学目标

- (1) 了解流程设计的步骤和应注意的问题，能分析流程设计中应考虑的基本因素。
- (2) 了解流程的表达式，知道绘制流程图的常用符号，会画简单流程的框图。
- (3) 理解时序在流程中的重要意义。

二、结构分析

要开展流程设计，首先应了解流程设计的步骤。了解了流程设计的步骤，并不等于学会了流程设计。进行流程设计，要通过学习，能够完成设计步骤中的每一项工作。本节以下内容可以看作是对设计步骤所涉及重点内容的展开分析。

(1) 在流程设计的 5 个步骤中，步骤 3 “流程设计分析”是关键问题，难度较大。本节将这一步骤单列为标题二，展开并举例进行介绍。

(2) 用流程图（主要是框图）表达流程，是流程设计步骤 4 和 5 要求完成的内容。画流程图必然涉及一些符号和格式，应用这些符号和格式，在流程设计分析的基础上，就不难把一个流程表达出来，这是标题三的主要内容。为开阔学生视野，在标题三下还介绍其他几种格式，但是要求学生会用框图表达流程。

(3) 为使学生便于理解“流程设计分析”的方法和时序在流程中的重要意义，合理地确定“环节”和“时序”，正确地绘制流程框图，教材列举了一个“患者看病的流程”的例子。该例的分析比较细致，对了解流程设计全过程有一定帮助。

三、教学建议与说明

教材提出了流程设计的 5 个步骤，教师在讲解这 5 个步骤时可以结合一些简单易懂的例子（如一次课外活动等）来进行。要想在教师讲完后，学生马上能够按照这 5 个步骤进行流程设计是困难的，需要通过下面的分析和练习逐步掌握。

流程设计分析是一种设计思想，是本节的难点。教材所列举的“配送业务流程”是学习和理解流程设计分析思想和方法的核心例子。例中，“性质功能分析”占了较多篇幅，充分、细致的分析是流程设计的基础。“性质功能分析”透彻了，划分环节和编排时序便不是难事。

要将流程的内容描述出来，就需要有一定的手段。要达到这个目的有许多方法，流程图是最好用的，它通过几个简单符号，就可以把一个复杂的活动过程表达得一清二楚。因此，绘制流程图是一项重要的设计技能。流程图对于识别流程的关键环节，找出内存的瓶颈，提高效率有巨大的作用。教材中所描述的绘制流程图的步骤可有如下详细解释。

(1) 根据流程的设计目标，确定该流程图的起点和终点。流程设计首先要明确设计目标和流程图描述的对象。目标明确以后，以实现流程的目标为基本思想，确定该流程图的起点和终点。

(2) 明确流程的环节（活动）以及各环节之间的关系和时序。根据系统的最高目标（系统的整体功能），从最高层次开始，自上而下有层次地逐层分解，一直分解到基本功能为止，流程的环节（活动）、关系（包括层次）和时序便可明确，从优化的角度对以上的内容进行思考，尽量减少环节（活动）和层次。分解时要注意关键活动的逻辑关系以及非关键活动的配合关系。还要进行必要的时间分析，确认流程运行的总时间是否满足流程设计的目标要求。

(3) 正确选择绘制流程图的符号。这实际上已经进入技能操作阶段，可依据环节（活动）的意义和符号标准选择相应的符号。

(4) 绘制并审核流程图。将流程的各环节（活动）按照已经明确的关系（包括层次）和时序，使用正确选择的符号绘图，并检查。

考虑到现在的学生是未来的劳动者，部分同学将来要从事工业产品的生产，同时，生产流程图和加工程序单也是流程表达的重要手段，故本节也用一定篇幅介绍了“数控机床的加工流程图”和“阶梯轴的加工工艺流程”（表格式）。

学习“患者看病时间表流程图”和“患者看病地理位置流程图”时，可以引导同学与“患者看病的流程”图对比分析。通过对比分析，可以加深同学对“层次”与“时序”的理解。

四、参考资料

1. 小型 FMS 的生产流程

图 2.4 是一个由我国自行研制的小型柔性制造系统 FMS 的结构示意图。它由两台加工中心和交换装置、有轨输送小车、托盘、托盘站及控制系统等组成。工作时，工件在装卸料托盘站装入托板，托盘由有轨输送小车送入单元的交换装置，再被交换进入回转工作台。托盘被系

统识别后调用相应的加工程序对工件进行加工。加工完毕后，交换装置将托盘（工作）取出。由输送小车送入卸料站。系统就这样不停地工作，直至加工完所有的工作。根据仓库容量、加工工件内容、机床程序号的容量等情况，两台加工中心可以进行互相交替或互相补充加工。FMS 中的设备有效利用率较单台设备大为提高。

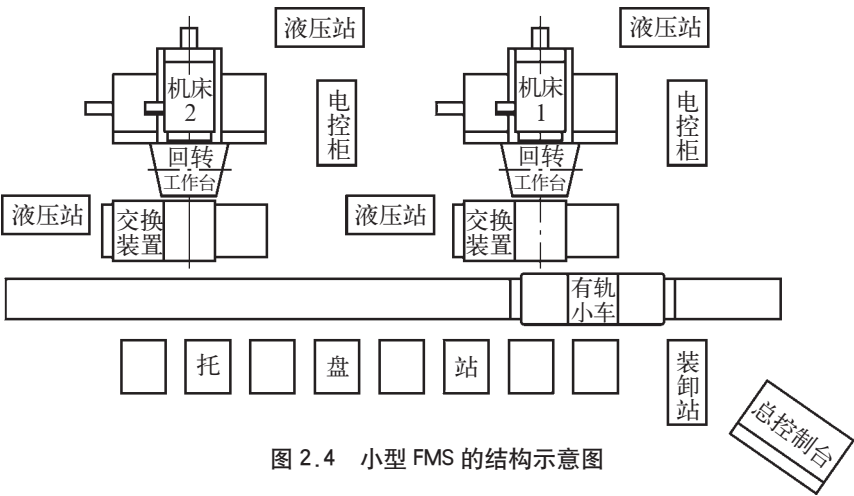


图 2.4 小型 FMS 的结构示意图

由上述生产过程可以看出，应用小型FMS的目的是自动、高效地进行零件加工，应将与目的有重要关系的活动确定为环节。两台加工中心交替加工是必要的环节，因为零件加工是由它们直接完成的；输送也是一个重要的环节，否则生产不能自动连续地进行；装卸料也应作为一个环节。这样，按照加工的顺序，可以画出小型FMS循环的生产过程方框图（图2.5）。

2. 某手机销售公司的网上购物（手机）流程及说明（图 2.6）

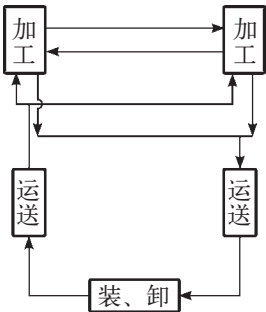


图 2.5 小型 FMS 的生产过程

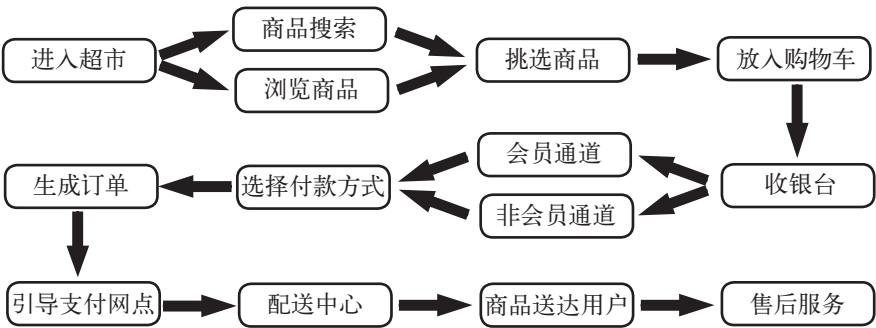


图 2.6 网上购物（手机）流程

(1) 选择商品。您可以通过“分类目录”浏览，也可以通过“选机中心”搜索，挑选想要购买的商品。

(2) 放入购物车（必须确保您的浏览器支持购物软件，否则不能进行以下操作）。当您选定了商品，您可以点击“放入购物车”，将会弹出“购物车”窗口，选定的商品就会出现在里面。包括商品名称、数量、单价和总价。这时您可以调整商品数量，取消某商品，也可以把购物车清空。同时系统会自动计算购物金额。对于需要邮购的用户，系统还会根据挑选商品的种类、数量，自动计算重量和邮费。

(3) 去收银台。在确认购物车里的商品正确无误后，点击“去收银台”，会弹出“收银台”窗口。如果您是本站会员，且已经登录，系统会自动调出会员信息自动填写订单，若没登录，系统会提示您登录；如果您不是本站会员，这时您可以选择注册为会员。通过会员购物可以累计购物积分兑换奖品，还可以参与论坛的讨论。如果您不想注册为本站会员，也可直接按提示填写、提交订单。

(4) 汇款转账。订单提交成功后，系统会自动生成订单号（交费确认和发货的依据），并根据你选择的送货方式和汇款方式，自动生成提示。若您所在地区有我们的分公司，可以上门购买（可参照“联系我们”栏目各分公司地图），若我们的当地公司开通送货上门服务，也可以要求送货上门。若当地没有我们的分公司，只能通过邮购。先汇款，款到发货。汇款前最好用电话或 e-mail 确认一下是否有货。我们的付款方式包括：

- 现金：此付款方式只限于送货上门、上门取货两种送货方式。

- 银行转账：汇款信息可参照“联系我们”栏目的各分公司账户。转账后请用电话或电子邮件通知本站。

- 邮局汇款：到当地邮局填写一份汇款单，一两天到账，在汇款人简短留言中注明您的订单号 / 姓名（非常重要）。

(5) 选择送货方式。

- 上门取货：若当地有我们的分公司，可以亲临我们的分支机构选购。

- 送货上门：若我们在当地开通了送货上门服务，可以要求送货上门。

- EMS特快专递：若当地没有我们的分公司，请选择这种方式。你需要在我们网站的收银台生成订单时仔细填写您的收货地址和邮政编码，我们收到汇款后，将您订购的商品邮寄到您手中。国内的用户特快专递，从发货到取货一般是 1~3 天。

(6) 售后服务。本公司所销售的手机全部是正品行货，全国联保，实行三包，假一罚十，若手机出了毛病，一年内可以到当地的售后服务中心免费维修；如果当地没有售后服务中心，可以和我们联系，我们会帮助你处理。

3. 某出版社图书出版流程

选题报批→签订出版合同→来稿登记→责任编辑初审，编辑加工→编辑室主任复审→总编辑终审或签发→计算机排版，打印初稿→一校→计算机改错改版→二校（送作者校）→计算机改错→三校→计算机改错→责编通读清样，对红→封面设计、审核→印前审读→计算机改错→印刷厂印刷、装订→样书检查→新版书审读。

从上述流程简介可以看出，图书的出版是需要多人合作，并经各部门配合才得以完成的一项工作。一般来说，30 万字左右的图书，其正常出版周期为 6 个月左右。

（摘自浙江大学网站）

4. 计算机辅助工艺流程编制

计算机辅助工艺流程编制 (computer-aided process planning, CAPP) 是通过向计算机输入被加工零件的原始数据、加工条件和加工要求, 由计算机自动进行编码、编程直至最后输出经过优化的工艺规程卡片的过程。其基本功能包括工艺路线设计、每道工序的详细设计和定额的制定等。以往工艺流程设计主要依靠工艺师多年工作经验来进行, 工艺流程的设计质量完全依赖于工艺人员的技术水平和经验, 一致性差, 不可能得到最佳方案, 更不利于把工艺人员的技术保留给年轻工艺人员。因此需要运用计算机辅助工艺流程设计。工艺流程设计既要结合本单位的技术条件, 又要考虑到新技术所可能带来的工艺变化。

(摘自御虎——国防科普知识网)

第三节 流程的优化

一、教学目标

- (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设计或改进, 并能说明流程设计方案的特点。

二、结构分析

流程优化首先要解决认识问题, 即什么是流程优化? 为什么要进行流程优化? 本节首先回答了这两个问题。

紧接着又会提出第三个问题, 即: 流程优化如此重要, 应该怎样开展流程优化? 教材“流程优化的途径”就是为了回答第三个问题。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过程。对于某些效率低下的流程, 也可以完全推翻原有流程, 运用重新设计的方法获得流程的优化。

为了使学生更好地理解流程优化的意义和方法, 教材在本节标题二下, 列举了多个流程优化的例子, 有工作流程、加工生产流程、商务流程等。

三、教学建议与说明

通过以上的“结构分析”, 教学的基本思路应该已经明确。

对于一个现有流程的优化, 主要是通过“流程改造”实现。当不可能进行设备更新、材料替代时, 流程改造的主要措施是: 取消不必要的工作环节和内容、合并必要的工作、简化工作环节、调整不合理时序。

以下对流程优化的几个实例进行说明。

(1) 桌面邮局是利用先进技术与设备优化工作流程的例子。桌面邮局的工作实质是“电子邮件+普通邮递”。利用桌面邮局, 不但省略了人工邮寄中的人工收集和分拣工作, 而且使用速度极快的电子传输代替了火车(或飞机)运输信件, 这就大大节省了时间, 提高了效率。桌面邮局的产生和使用, 必须建立在计算机技术和互联网技术的基础上, 上述所有提高效率的措施, 都是计算机技术和互联网技术及设备的运用。

(2) 航空发动机轮盘加工工艺的优化是利用先进技术与设备优化生产流程的例子。例中提到：轮盘的辐板，厚度很薄，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，改进了工艺流程，采用了数控技术和双面车的加工方法。“数控技术”和“双面车”不是同一类技术。“CNC车”表示的是数控车床，这是一种现代化的自动加工机床，仅凭这种机床的应用，就可大大提高生产效率和产品质量。“双面车”主要是为了解决轮盘辐板加工容易产生变形的问题。普通车床是车完工件的一面再车另一面（单面车），由于工件对应的两面受力不平衡，薄工件容易产生变形。“双面车”是对工件对应的两面同时用两把车刀车削，从而实现了力的平衡，减小了工件变形（图 2.7）。

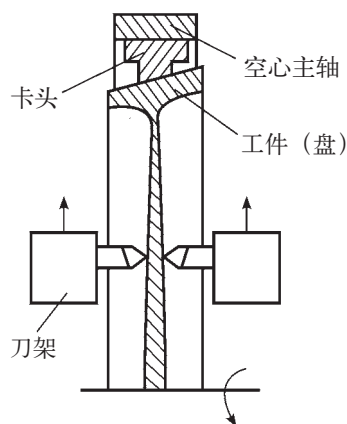


图 2.7 双面车轮盘辐板示意图

在航空发动机轮盘加工工艺优化的实例中还涉及一种机械加工的方法叫作“拉”（教材图 2.22），这种加工方法的全称作“拉削”。拉削是利用拉刀与工件之间的直线相对运动对工件加工的切削加工方法。拉削加工在拉床上进行，卧式拉床的形状、结构见图 2.8。

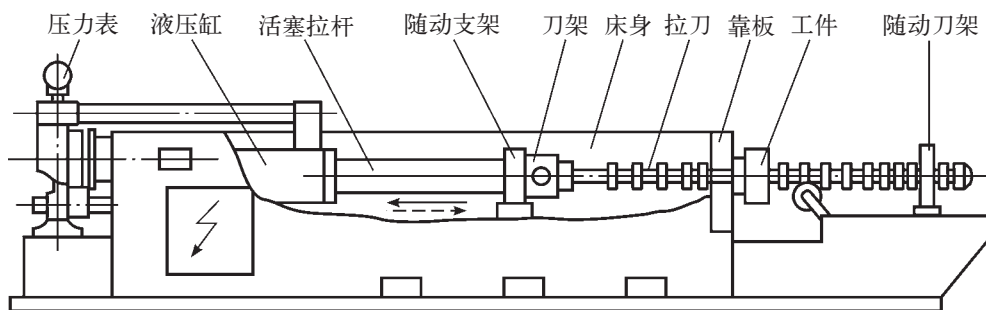


图 2.8 卧式拉床

拉床一般是由液压驱动的。拉削加工工件时，拉刀只做平稳的低速直线运动。拉刀上的每一个刀齿都比前一个齿尺寸大一些，拉削加工时随着拉刀的直线前进，工件上的金属就被一层一层地切下来。拉刀上最后几个齿尺寸相同，可以起确定尺寸和修光作用（图 2.9）。

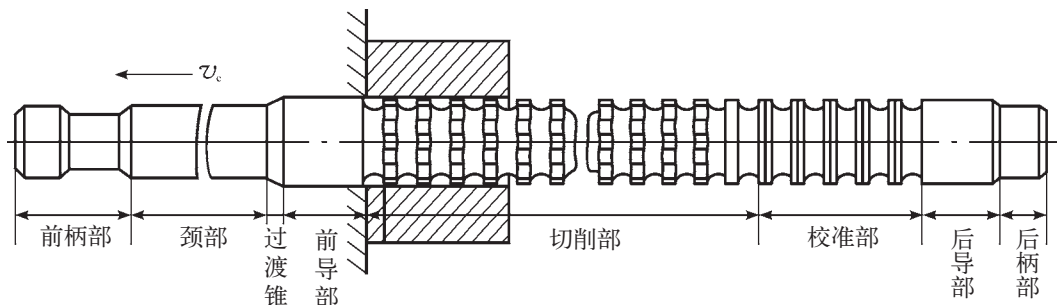


图 2.9 利用拉刀加工圆孔

拉削加工一次可以切去全部加工余量，粗、精加工一次完成，有很高的加工效率；在拉削的过程中拉刀运动缓慢平稳，工件可以获得很好的加工质量；拉削加工不但可以加工孔、键槽等内表面，还可以加工平面及多种外表面。这些优点使得拉削加工在工业生产中获得了广泛应用。图 2.10 列出了拉削加工的多种典型表面。

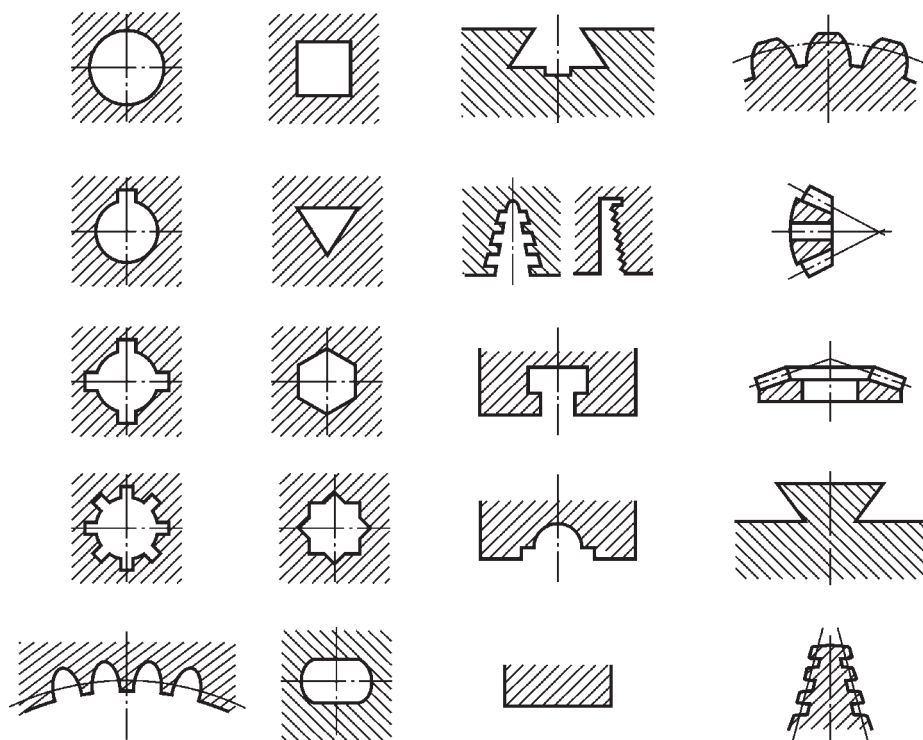


图 2.10 拉削加工的多种典型表面

(3) 如果能够利用先进技术与设备优化流程则是很幸运的。但这种优化方法必须随着科学技术的发展而得到应用。在一般情况下，采用“取消不必要的环节”也可以优化流程。“发票处理程序的优化”就是这样的例子。例子中取消了大部分发票的核查环节，可以省下一位作业员，减少了开支，提高了效率。由于取消核查可能造成的损失极小（全年 400 元左右）。可以引导学生想一想，在我们学习、生活过程中的哪些环节可以省略。

四、参考资料

1. 大头针制造的流程优化

早期大头针制造由一个人完成，流程的生产效率较低；后来将流程分解为两个部分：拉出铁丝至切断，削尖至装盒，于是流程分解成为两个子流程。然后随着制造技术提高，分工深化，结果便形成图 2.11 所示的具有 8 个工作环节的生产流程。在这个变动中，生产效率提高了，对工作者技能的要求相对简单了，生产质量得到更大的保证。

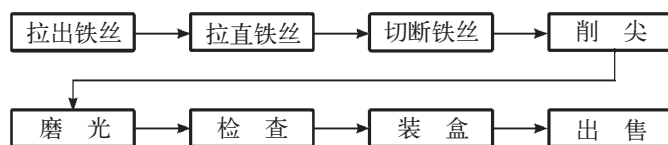


图 2.11 大头针制造的流程

2. 竞争王牌——简化生产流程

1996 年 11 月 8 日，在东京举行的一次原本平淡无奇的新闻招待会上，身为丰田公司财务主任的荒木隆次有意抑或无意地泄露出一条消息：丰田公司正在推出一种新型发动机，所用零件比标准发动机要少得多，并能降低三分之一的制造成本。

(1) 简化——制胜的法宝。日本产业之所以取得成功有着众所周知的原因，如产品的高品质和不断创新。然而，还有一个常被人们忽视的重要因素，即日本制造商一直千方百计地简化产品生产流程，努力降低生产成本，从而大大提高其产品的市场竞争力——这是日本产品在国际市场竞争制胜的一个十分重要的原因。

海内外企业生产的大量实践证明：许多产品，小至打字键盘，大至喷气式客机，最后的总装费用一般要占生产总成本的一半以上；尤其是，装配线上最大的单项费用却是用于将各部件组合成产品的螺钉、螺母、螺栓、铆钉等紧固件。虽然一般紧固件本身的成本还不到总成本的 5%，但是厂家却因组装工作特别“费时”和“占用较多劳动力”而不得不把其价格提高 10 ~ 15 倍。

(2) 设计——成功之母。特别要指出，为了有效地简化生产流程，首先要从设计着手。西方工业发达国家的许多企业都把它作为改善生产管理的突破口和关键，并为此努力不懈。国际商用机器公司 (IBM) 早在 20 世纪 80 年代即开始使用一种叫作“DFA”的“计算机辅助装配设计系统”，从而使其“点板型印刷机”的零件减少了 65%。新机型没有使用一个紧固件，而且机器人只需用 3min 就可把它组装起来。又使组装时间节约了 90%。IBM 还利用这一设计系统使其新型电子打字机的零件数量比以前的型号减少了 75%。产品的再设计使 IBM 的生产成本大大降低，市场竞争力明显提高。该公司副董事长库勒说，这种再设计“是制造业取得成功的关键”。

美国福特公司、摩托罗拉公司、施乐公司等许多世界知名大企业也都热衷于“DFA”设计系统的应用。著名的通用电气公司把这一系统应用到电位洗涤机的盘式洗涤器上，结果，新型号盘式洗涤器的零部件比以前的减少了 50% 以上，劳动力费用降低了 27%，可靠性却增加了 50%，市场占有率提高了 33%。通用电气公司还把这一设计系统用到包括喷气式发动机变速箱等 100 多种产品和部件上。该公司技术资源工程部负责人摩根说：所有这一切都证明这种设计系统有利于节约成本，增加市场占有率，它为公司创造了 2 亿美元的盈利。

(3) 降成本——利润升。必须看到，在当今科技飞速进步和信息广泛传播的时代，各企业的许多同类产品，其品质和功能等方面已不相上下，因此，产品的价格优势日益成为企业竞争制胜的着力点之一。无数事例都证明，价格战，无论在海外市场还是国内市场，都愈演愈烈，价格厮杀已达到白热化的程度。海外已出现这样的警告：“竞争焦点——价格，价格，价格”，而要争得价格优势，企业必须首先在降低生产成本上找到突破口。海外经济界和企业界提醒人们注意：20 世纪 90 年代的生产率和利润的增加，主要是靠公司降低生产成本来实现的。当代

海外越来越多的制造商都把“简化生产流程”作为降低生产成本的重要措施，并把它作为改善企业经营管理的重要观念。摩托罗拉公司管理部负责人警告说：“我怀疑一个不相信这种观念的企业在若干年之后还能不能继续经营下去。”

消耗尽可能少的材料和能源，努力减少产品的零部件，使用尽可能少的人力，尽可能地缩短工时，以求大大简化生产流程，降低生产成本，从而提高市场竞争力——这是我国许多企业为改善经营管理，走向集约化生产模式和提高企业经济效益应善加利用的一个秘诀。

（摘自《中国质量万里行》）

3. 什么是“流程再造”

技术的创新，生产力水平质的飞跃，推动了对与之相适应的管理方法的思考，引发了管理创新。以计算机的大规模应用为标志的第三次产业革命，引发了以企业流程再造等现代管理理论为主要内容的第三次管理革命。流程再造由曾任美国麻省理工学院计算机教授的哈默博士首次提出。1993年，哈默博士与人合著《再造企业》一书，掀起了一场世界性的再造运动。20世纪90年代以来，以美国为代表的西方国家纷纷将流程再造理论引入政府管理，实施“政府再造”，引发公共管理革命浪潮。

流程再造理论的基本内涵包括：充分利用信息技术，注重信息技术和人的有机结合，重新设计业务流程。利用信息技术协调分散与集中的矛盾，将串行工作流程改造为并行工作流程，尽可能实现信息的一次处理与共享使用机制。建立面向流程的扁平化组织结构，压缩管理层级，缩短高层管理者与员工、顾客的距离，更好地获取意见和需求，及时调整经营决策，改变“职能导向”下层次过多、效率较低的弊端。运营机制以流程为主，以顾客为导向，突出全局最优，而不是局部最优。

企业流程再造的经典案例有：“蓝色巨人”IBM公司通过流程再造，每年节约开支80亿美元，柯达公司新产品开发周期从38周降至19周，波音公司飞机生产周期从13个月减至6个月。中国海尔集团等企业也成功实施了流程再造。

据《无缝隙政府》一书介绍，美国旧金山地区税务局进行流程再造后，每位职员工作效率平均提高了22%，相当于每位职员每年多征收了600多万美元拖欠税款。美国康涅狄格州哈特福德县税务局通过再造决策过程，处理事件周期从14.7天减少到1.4天。

（摘自南通市国家税务局网站）

4. 流程再造的特点

企业流程再造学说是由美国著名管理学家迈克尔·哈默和詹姆斯·钱皮于1993年提出的。他们认为：自工业革命200多年以来，亚当·斯密的劳动分工理论始终主宰着社会中的一切组织，以分工论为基础发展起来的传统管理理论大都强调规模经济，以提高效率为中心，重视层次结构和组织等级。福特的自动流水线及斯隆的事业部组织结构正是这种管理理论的最好体现。应该说这些管理原则适应了20世纪大量生产、大量消费的经济要求，取得了巨大成功。但是，20世纪80年代以后，西方企业的经营条件发生了深刻变化，影响企业的3C——顾客(customer)、竞争(competition)和环境(condition)都不同于往日，进入了小批量消费时代，大批量生产方式出现困境已是在所难免。另外，过度的分工导致企业等级制度扩大化，中间管理部门和岗位越来越多，信息的沟通和协调十分困难，使企业对外部变化反应迟钝，效率低下。因此，必须有面向信息时代的新型管理理论，实施一场改善工作的运动。通过对业务流程的再造来消除不合理的、不能为顾客创造价值的活动，以更科学、更合理的新过程取代传统过程，从而实现工作和管理方法的创新，提高企业的效率和应变能力。

流程再造中的“流程”是指一组为顾客创造价值而又互相关联的活动。流程实质上是工作的结构，或者说是事物发展的逻辑结构，包含了事物进行的始末，可以是事物发展的时间顺序，也可以是事物变化的空间顺序，其归宿是为了达到企业的某一经营目标。“再造”的原意是重组某些要素，创造出具有价值的成果，就是对业务流程要从根本上再分析和重新设计，其目的在于使流程高效率化，提高顾客满意度，缩短工作周期和降低成本。

在西方企业的实践中可以看出流程再造的特点：

(1) 着眼于业务流程的创新。如制造、采购、质量、服务等创新，力求企业每一个流程的高效率化和整个系统的最优化，这是流程再造的本质特点，与以往的过程管理有着显著区别。流程再造突破传统思想，强调从零开始达到每个流程的高效率化，力求以流程的差异化获取竞争力。再造学说认为：在当今社会，通过技术创新不断开发出领先的产品固然重要，但是再好的产品不久也会被其他企业生产出来，产品差异化带来的领先时间越来越短。因此，开发出不易被模仿的差异化非常重要。正是流程再造使业务流程的差异化和时间管理的差异化成为竞争的利器。

(2) 以提高顾客满意度为出发点。流程再造理论坚持市场导向的原则，对工作过程、管理过程的重新认识、再设计都以更有效地满足顾客的需求为出发点，通过顾客满意度的提升来扩大营业额，强调过程对市场的适应能力。日本效率协会对实施流程创新的企业进行了调查，这些企业认为流程再造最重要的工作有三项，依次为以顾客满意度为起点修正流程、建立新的组织分工和开发培育新型人才。可见，重视顾客是流程再造的核心。

(3) 重视信息技术的应用。再造工程的实施离不开信息技术的支持，它通过企业信息系统 MIS、企业资源计划系统 ERP、计算机集成制造系统 CIMS 等的应用，变革企业的生产流程和组织结构。首先，由于实现信息资源共享，而且操作技术更加先进，使得一个流程业务员在系统技术的支持下，可以轻而易举地使用多个部门的资料 and 工具，从事多个部门的工作，大大减少了工作时间，节约了工作场地，作业效率大幅度提高。其次，计算机网络使企业能及时、准确地掌握顾客的需求并做出及时反应。最后，计算机在辅助设计、生产控制、库存管理上的应用不仅提高了过程的质量和效率，而且使得对各个过程的监控、协调更加迅速有效。此外，企业再造注重借助外部智力，从企业外部吸收管理顾问参与再造小组的创新工作。

(4) 强调按过程流向进行组织设计。迄今为止，大多数西方企业组织结构主要以横向设计为主，例如产品事业部和地区事业部制就是这样，当企业发展到相当规模时，横向组织导致部门林立，机构臃肿，工作协调和信息沟通越来越困难。再造学说认为最有效的组织应按业务流程进行组织设置，围绕着完成工作集中各方面的职能人员，化“分工”为“合工”。这样，原先分开的各个工序被组合成一个业务流程小组，由于减少了衔接、协调和冲突，从而大大缩短了流程周期。

(摘自《厦门大学学报》)

5. 业务流程管理中如何界定核心流程

流程或过程是产生某一个结果的一系列活动或操作，特别是指连续的操作或处理。国际标准化组织给出的侧重于质量管理方面的正式定义是：“一组将输入转化为输出的相互关联或相互作用的活动”。在企业中，流程可以理解为“为达到企业目标在逻辑上相关并不断发展变化的一系列活动”。

之所以强调流程，原因在于挑战长期以来以职能为导向的管理模式。第二次世界大战后，人们对物质的需求增加非常迅速，企业规模不断扩大，要求有更严密、更复杂的控制体系，这

样就产生了按职能部门划分的金字塔形的层级组织机构。在这样的机构里，层级明确、责权清楚，便于企业扩大规模，便于控制和计划，员工只需短期培训，便可迅速在该部门工作。但是，在劳动分工原则下，各个流程被分解为一连串的阶段，在讲究时间效率的今天，其对企业发展造成的障碍日益明显。

(1) 从新的角度认识流程。企业实施以职能为导向的管理模式，往往关注部门内工作结果，各部门各自为政，势必造成各种内部矛盾，不利于企业组织目标的实现；而以流程为导向的管理模式，强调的是为了完成目标任务，这个部门或机构是如何进行的。在流程中，所有部门均是为了完成目标任务中的一个节点，关注的是目标的实现，使企业在盈利水平、生产效率、产品开发能力和速度以及顾客满意程度等关键指标上产生巨大进步，最终提高企业整体竞争力。从根本上讲，流程思想旨在说明如何以最好的方式工作，即采用适当的技术做适当的事，准确地定位可以形成竞争优势的市场。

我们以销售合同完成流程为例说明流程的特点：

① 每个流程都有输入和输出。合同要求是输入，输出则是交货给顾客和收款。

② 每个流程都有顾客——外部顾客或内部顾客。

③ 每个流程都有一个核心的处理对象，一个大的流程往往是实现一个对象的生命周期。

例如，销售合同完成过程的核心处理对象是销售合同，整个过程是：从获取合同（诞生），到执行用户验收、付款，实现公司销售收入为止的全生命周期。

④ 流程往往是跨职能部门的。销售合同完成流程可能经过销售部门、采购部门、生产部门、财务部门。

⑤ 一个流程的输入通常是其他流程的输出。在销售合同完成流程中，合同签订子流程的输出成为生产子流程的输入。

(2) 界定核心流程。流程的分类可以根据不同的原则进行，例如，按活动性质可分为运营过程（重复性的循环运行以完成企业的经营目标的过程。如合同完成过程、仓库管理过程等）、管理过程（包括计划、决策、目标制定、监控等过程）；按组织范围分为组织间的过程、职能间的过程和个人间的过程；按结构可分为串行过程、并行过程和反馈过程。企业在实际划分流程时应当更注重有效性，例如增值流程（核心流程）和非增值流程（辅助流程）等，以期更能反映流程的绩效特点，为流程再造或优化奠定基础。

何谓核心流程？核心流程是对组织价值创造有着关键作用的流程——显然，核心流程为顾客传递价值，离开了顾客，任何流程都难以被认为是核心流程。向顾客提供产品和服务的流程被称为核心流程，其他流程则被称为辅助流程。

核心流程的定义是相对的，在一定程度上带有主观性。因为，首先，各个组织从事的行业和运作方式不同，在一个组织被定义为核心流程可能在另一个组织则被定义为辅助流程；其次，对核心流程的解释没有统一的术语和普遍的规则，甚至于同样的名称下可能代表着不同的含义；最后，在组织中的位置不同可能导致对核心流程识别的准则有差异。从概念和重要程度上看，识别核心流程不是一件轻而易举的事，但只要把握住核心流程的“核心”——为顾客创造价值，对核心流程的认识可以是准确和合理的。

核心流程的数量因公司不同而不同，但并非公司规模越大核心流程就一定越多，因为所有公司在一些核心问题上都是一样的，都是通过产品或服务创新、顾客满意来实现公司的目标。弄清了我们通过哪些流程向顾客提供价值并界定了其范围后，一个核心流程事实上已经出现了雏形。这里的识别标准就是价值，不能认为某个流程重要就界定为核心流程，像遵守国家法律

当然会被认为是重要的，但它并不能给顾客创造价值，所以没有理由将其作为核心流程。从成功进行了核心流程改进和管理工作的公司的案例来看，一个组织位于第一层次的核心流程数量一般都为 4 ~ 8 个。这里的第一层次是相对于流程的级别而言的，因为我们可以对流程从大到小逐级分解，但随着分解层次的增加，核心流程的结构也会复杂化，管理流程的绩效可能也会降低。经验证明，将核心流程划分为两个层级——子流程（高级流程）和详细作业流程是一个比较合适的选择。

（摘自《诺恒刊物》）

第三章 系统及其设计

本章共分三节，由第一节“系统的概念”引入。系统、元素、子系统都是基本的概念。在日常的生活与工作中，人们很早就使用系统这个名词，然而只是在最近几十年里，系统才成为科学研究上的关键性概念。系统的基本特性是每一个系统都必然存在的共性，了解这些特性对于理解系统的含义具有重要作用。系统在内部联系和外部联系中表现出来的特性和能力，称为系统的性能。系统行为所引起的环境中某些事物的有益变化，称为系统的功能，人造系统是由于具有人所需要的功能而存在。系统的“性能”决定“功能”，“整体突现性”实质上是系统的一项重要性能，由于它和系统的“整体质”有直接的关系，故单列了一个条目。只有弄清了这些概念及它们之间的关系，才能够进行“系统分析”。建立了系统意识，掌握了系统分析的实质和内容，也就为“系统设计”打下了坚实的基础。

任何系统都有一定的结构，给定元素和结构两方面，才算给定一个系统。虽然系统的主要元素对系统的性能有不可忽略的影响，但一般情况下，“系统的性能主要取决于系统的结构”。所以本章第二节内容全部用来讨论“系统的结构与层序”，严格地说，“结构”的含义包括了“层序”。了解系统的结构性特征，对于深化认识和进行实践活动具有重要意义。在系统结构的设计中，除了合理划分元素（子系统）外，最重要的就是合理安排系统的层次与秩序。讨论系统的结构，主要就是讨论系统的层序。通过本节内容的学习，旨在使学生对层次与秩序有正确的了解和认识。

第三节是应用前两节学习过的内容进行“系统设计”。由于已经有了前两节学习过的内容作基础，这里仅需介绍“系统设计的原则与步骤”。在系统设计的原则中，最主要的原则是“效益的最大化”；在系统设计的步骤中，最重要的工作是“确定系统的设计方案”。本节的内容，主要是围绕着这两项内容进行讨论。在确定系统的设计方案标题下，作者介绍了具体进行方案设计时的两种思路，即“内推法”和“外推法”。本节最后一个条目“系统的优化”实际上讲的就是“效益的最大化”问题。

第一节 系统的概念

一、教学目标

(1) 理解系统的含义和系统的功能，了解元素、子系统的概念，明确元素、子系统、系统之间的关系。

(2) 了解系统的基本特性与系统的分类, 在了解系统的基本特性的基础上能够举例说明系统的整体突现性。

(3) 建立系统意识, 初步掌握系统分析的基本方法, 逐步学会在学习和生活中用系统分析的思路处理问题。

二、结构分析

第一节有两个基本内容。第一个基本内容是概念, 即学习一些关于系统的基本知识, 了解、明确有关系统的基本概念; 第二个基本内容是建立系统意识, 学着用系统分析的思路处理问题。

第一个基本内容围绕系统的概念展开。系统是由相互制约和相互关联的各部分组成的具有一定功能的整体。为了更好地理解“系统”这一整体概念, 教材列举了一个动物、一台机器等例子, 说明一切事物都是系统。还是从“系统”这一整体概念出发, 教材介绍了系统的结构和目的性, 但没有展开, 为后面的“系统的特性”“系统的结构”打下伏笔。

将系统分解, 就成为“子系统”或“元素”。“子系统”和“元素”的概念虽然不同, 但共性居多, 可以说任何一个下层系统都是上层系统的子系统或者元素。因此, 在表述一个系统时, “子系统”和“元素”常常不加以严格区分。

系统的基本特性和系统的分类属于系统的基本知识, 也是由系统理论(概念)向系统应用(系统分析)的过渡。系统的基本特性包含了相关性、目的性、环境适应性、整体性四项内容。“系统的功能”和“整体突现性”这两个大标题的内容本来已经包括在“目的性”和“整体性”这两个特性之中, 但由于其特性、作用突出, 为便于学生更方便、深刻地理解, 故单列标题叙述。讲解系统的分类是为了使学生从总体的高度了解系统, 其中“开放系统与封闭系统”的概念尤为重要, 是控制论的重要基础。

第二个基本内容是建立系统意识和应用系统分析。建立系统意识是应用系统分析的前提。建立系统意识首先要使同学们认识到, 用系统的观点看问题, 可以使我们观察、分析事物更全面, 从而增加成功而减少失败。每当我们遇到问题时, 应自觉地、有意识地把它看成一个系统。

既然一切问题(事物)皆是系统, 就要学习用系统分析的方法分析处理问题。要用系统分析的方法分析处理问题, 就要了解系统分析的实质和内容。

系统分析的实质介绍了5项, 其核心内容是从系统的观点出发, 采用科学的分析方法, 实现分析对象(系统)的整体优化。

系统分析的内容也介绍了5项, 这5项内容互相关联, 最后归纳为系统分析的5个基本要素, 即目的、资源条件、费用和效益、模型、评价基准。

三、教学建议与说明

“系统”对于同学们来说, 可能还是一个比较陌生的概念, 在讲解系统的概念时可以从人类古代朴素的系统思想谈起。人类面对着的社会和自然, 五光十色, 气象万千。那么, 这个包容万事万物的大千世界, 是现象的偶然堆积, 还是一个有机联系的整体?“世界是一个整体”, 这是人类祖先在实践过程中最初得出的一个答案。教材中列举了中华民族的祖先在了解和改造自然的实践和社会活动中, 朴素的系统概念和应用——“齐王与田忌赛马”“李冰父子主持修建都江堰工程”。在讲解系统的概念时也可以从同学们的日常学习和生活谈起, 使同学们了解到每个人都是学习、生活在系统之中。

“系统是由相互制约和相互关联的各部分组成的具有一定功能的整体。”这是本节最重要的概念, 必须展开分析。可以通过多个例子, 帮助同学理解。这里强调三点, 第一, 系统由互

相联系的部分（要素）结合而成，这些组成部分可以是元件、零件、个体，也可能是子系统。在整体中每一个要素的性质或行为都将影响到整体的性质或行为。例如在人体这个系统整体内，每一个器官的性质或行为将会影响人体这个整体的性质或行为。第二，系统是由各个组成部分按一定方式结合而成的。一堆砖和由砖砌成的房子完全不同。房子的每块砖对于整座房子不具有独立的影响，所以房子不能分解成独立的砖。也就是说，整体不能分解为独立的要素，而要素对于整体都不具有独立的影响。人体内有子系统，像神经系统、呼吸系统、消化系统，它们是互相影响的，并且每个子系统都不是独立地影响整体的性能。因此，人体中任何一个子系统都不可能脱离人体而成为一个独立的子系统。第三，任何系统都有特定的功能，特别是人造或改造的系统总有一定的目的性。系统的组织方式要适应这种功能和目的的要求。一个形成系统的各要素的集合永远具有一定特性或者表现为一定的行为。而这些特性和行为不是它的任何一个部分所能具有的。例如，一个人能写字、走路，但是他的任何一个部分都不能做到这一点。

为了更好地说明系统及其功能，教材提供了“一般系统示意图”。“输入”“输出”中间的“转换处理”方框表示一个系统，这个系统有其特定的功能；系统周围的区域（图中的边框虚线以内）表示系统的“环境”，图中的“干扰”及箭头表示环境对系统的作用；图中的“反馈”及虚线箭头表示该系统是一个“闭环系统”，具有反馈作用的系统称为闭环系统。从结构上看，反馈作用形成了一个反馈回路，使系统成为一个封闭环。如果图中没有“反馈”及虚线箭头，则表示该系统是没有反馈作用的系统，称为开环系统。在开环系统中，输出不能影响输入，所以系统过去的行为不能控制未来的行为。

我们常见的锅炉取暖系统，除了锅炉之外，还有温度调节器，检测实际的室温并与恒温要求值相比较，根据偏差值来调节锅炉的进气量，使室温达到恒温要求值，这就是反馈系统。如果取暖系统的自动化程度低，没有温度调节器，那么就应该有管理人员来代替温度调节的反馈作用。如果既无自动的温度调节器，又无管理人员的人工调节，则取暖系统就变成了开环系统。这样的开环系统就不能保证室温的恒定。

在给讲解“开环系统”（不可控系统）、“闭环系统”（可控系统）的概念时，请注意与下文中讲到的“开放系统”“封闭系统”的区别。

系统的环境适应性是系统的基本特性之一，也是学生不易理解的问题。一方面，系统不是孤立存在的，每个系统要受到更大系统的制约，因此系统与要素的区分也是相对的。每个系统对于更大的系统来说，又成为要素，称为子系统。那个更大的系统被称为母系统。对于每个系统来说，由于处在其他系统的包围之中，受到更大系统的制约，就形成了系统的环境。系统总是在与环境的相互作用中存在的。系统受到环境的影响和制约，要适应环境。另一方面，系统又保持相对独立性，它要能动地作用于环境，改造环境。例如，人类受到自然环境的制约，必须服从自然法则；同时又不完全受自然支配，人类要征服自然，改造环境，协调环境。因此，人类的环境已不是单纯的自然，而是社会化的环境。山林大地、江河湖海都打上了人类活动的印记，使之适合人类生存发展的需要。

系统分析产生于 20 世纪 40 年代末，是从运筹学派生出来的一门实用学科。对系统有关的重大问题正确的决策，关键的步骤就是系统分析。所以，系统分析在整个系统设计过程中起着极其重要的作用。关于系统分析的概念至今还没有一个比较完整和严密的科学定义。一般认为，系统分析就是对一个系统内的基本问题，用系统观点进行思维推理，在确定和不确定条件下，探索可能采取的方案，通过分析对比，为达到预期目标选出最优方案的一种决策方法。

换句话说，系统分析就是为决策者选择一个行动的方向，通过对情况的全面分析对可能采取的方案进行选择，为决策者提供可靠的依据。系统分析不同于一般的技术经济分析，它必须从系统的总体最优出发，采用各种分析工具和方法，对系统进行定性和定量的分析。它不仅分析技术经济方面的有关问题，而且还分析包括政策、组织体制、信息、物流等各个方面的问题。

四、参考资料

1. 一切事物都是一个系统

从物质结构来看，分子和原子都是系统。原子是分子的组成元素，分子是物体的组成元素，它们是规模很小的微观小系统。再大一点，各种物理机械也都是系统，例如机械式的钟表是由齿轮、发条、指针等零件组成的具有表示时间功能的综合体；各种自动控制机械，是由检测器、调整器、执行器等部件组成的具有自动控制功能的有机整体。从生命组织来看，细胞是微观的小系统。再大一点，各种植物和动物都是具有各种特定功能的有机整体。人是最高级的动物，人当然也是一个系统，是由神经系统、血液循环系统、呼吸系统、消化系统以及四肢等各个部分组成的。人们进行生产劳动就形成了企业和各种部门，企业是由人、财、物和管理机构等组成的生产系统。人们的日常生活是以家庭为单位，而家庭就是由父母、兄弟、姐妹等组成的系统。千万个家庭和千万个企业就形成了社会，人类社会是一个复杂的大系统。更大的从宇宙太空来看，天体是一个浩瀚的大系统。地球只是太阳系中的一颗小行星，而太阳系只是银河系的很小一部分，银河系又只是茫茫宇宙太空中的一小片。

不仅具体的物质能构成系统，而且非物质的抽象的东西也能构成系统，如语言和文字是一种系统，现代科学技术也是一个系统。钱学森曾讲过，现代科学技术这个系统是由自然科学、社会科学、数学科学、系统科学、思维科学和人体科学这六大部门组成的；文学艺术也是一个由小说、诗歌、杂文、艺术等组成的系统；马克思主义哲学是一个建筑在八块基石上的大厦，这八块基石就是自然辩证法、历史唯物主义、数学、系统论、认识论、人天论、美的哲学和军事哲学。所以马克思主义哲学也是一个系统。

综上所述，系统是普遍存在的，宇宙间的一切事物都处于一定的系统中。我们每个人随时随地也都处于一定的系统中，我们可以把每个要研究的问题当作一个系统来研究。

（摘自《思维与方法新科学》）

2. 系统的边界

在研究一个系统时，必须划定系统的边界。系统的边界由定义和描述一个系统的特征来形成。边界之内是系统，边界之外是环境。举例见表 3.1。

表 3.1 系统的边界

系统	边界
人	由皮肤、头发、指（趾）甲以及内部所包含的所有部分形成系统，在此之外的均属环境
汽车	由车体加轮胎以及内部所包含的所有部件形成的系统，其余都是环境
生产	生产用的机器、生产过程中的产品库存。生产工人、生产步骤等所形成的系统，公司的其余部分是环境

3. 系统论的诞生

60 多年前,以美籍奥地利生物理论学家贝塔朗非为首,还有经济学家、生物学家、生理学家等成立了“一般系统论学会”,从而宣告系统论诞生了。

系统论产生的实践基础是系统工程的兴起。系统工程是现代管理技术,它把系统思想和方法应用于各种复杂工程的设计和管理方面。20 世纪 40 年代,贝尔电话公司在发展微波通信网络时,按工程时间和顺序把工作划分为规划、研究、发展、发展中的研究和通用工程五个阶段,形成了一套系统工程的方法,系统工程由此诞生。以后,其他企业纷纷效法,成效显著,并推广到其他生产和科研等领域。由于系统工程综合运用运筹学、控制论、信息论、管理科学,并采用电子计算技术,这样就上升为理论,形成系统工程学。系统工程学是系统实践(系统工程)与系统理论(系统论)的中介。系统工程学是系统论的应用学科,也是它的实践基础。在这个基础上,才可能产生系统论。

贝塔朗非提出了系统论的三个基本原则:第一,系统观点,也就是有机整体性原则。第二,动态观点,认为生命是自组织开放系统,也就是自组织性原则。第三,组织等级观点,认为事物存在着不同的组织等级和层次,各自的组织能力不同。这些基本观点和原则至今仍然是系统论的核心。

贝塔朗非认为系统论包括三个方面:第一,系统科学理论,这是原理部分。第二,系统技术(包括系统工程),这是应用技术方面。第三,系统哲学,这是系统论的哲学基础与哲学意义。我国科学家钱学森将系统论分作四个层次:第一,工程技术方面。第二,技术科学方面。第三,基础科学方面。第四,哲学方面。贝塔朗非与钱学森的划分是基本一致的,区别在于钱学森在贝塔朗非的第一层次(系统科学理论)与第二层次(系统技术)之间加入一个中间层次,也就是技术科学层次。

(摘自《系统论 信息论 控制论浅说》)

4. 系统分析

它是采用系统科学的理论和方法,对系统进行描述、设计、优化的技术,是20世纪40年代由美国兰德公司提出的应用于系统工程的一种软科学研究方法。它的发展与运筹学密切相关,运筹学的进一步发展,特别是与经济分析的结合,形成了当代系统分析方法。它的应用范围已从早期的武器系统研制扩大到社会、经济、文教、科技、管理等各个领域。系统分析的基本方法和程序是:分析和建立与系统有关的基本要素,即在信息资料收集、整理的基础上,确定系统目标,通过对系统的目的、功能、环境、结果、效果等方面的分析,建立系统模型;确定可行方案,并对各种方案进行综合评价,从而为决策方案的选择和实施提供可靠的依据。它以系统整体为研究对象,以整体分析、层次分析、相关分析、结构分析和环境分析为主要内容,以内、外部条件相结合和定性、定量分析相结合为主要特征。系统分析技术主要有成本—效能分析、成本—效益分析、风险分析和多重属性分析等。系统分析方法撇开了现有约束条件对系统目标进行建议,以未来的约束条件对系统进行分析,因而它适合研究面向未来目的的技术问题。

(摘自御虎——国防科普知识网)

5. 几个电路系统

- (1) 两只双联开关在两地控制一盏灯的电路系统(图 3.1)。
- (2) 普通日光灯的电路系统(图 3.2)。
- (3) 双日光灯的电路系统(图 3.3)。

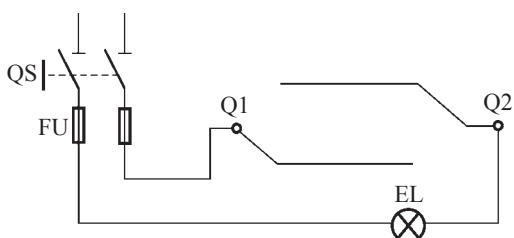


图 3.1 两只双联开关在两地控制一盏灯的电路系统

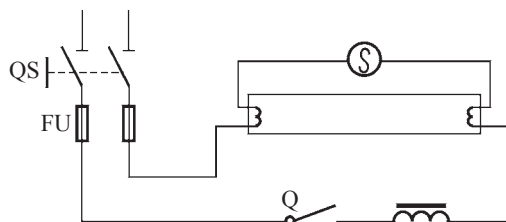


图 3.2 普通日光灯的电路系统

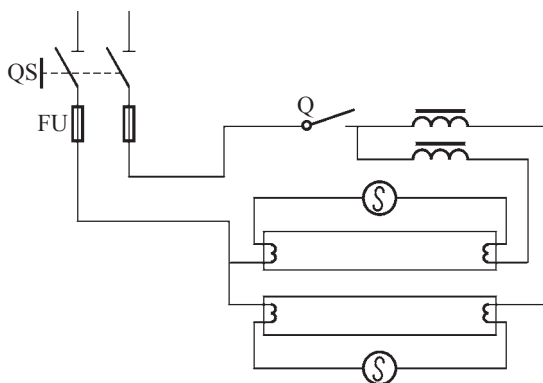


图 3.3 双日光灯的电路系统

可以首先请同学们分析一下图 3.2 与图 3.3 两个电路系统的区别，然后请同学们自己设计一个能够控制三个日光灯的电路系统。

6. 音乐集成电路系统

音乐集成电路是一种大规模 CMOS 集成电路，它通过内部的振荡电路，再外接少量分立元件即能产生不同的音响脉冲和各种音乐信号。目前已广泛用于电子门铃、电子钟表、电子计算器、电子玩具等各种电子产品。

KD— $\times \times \times$ 系列音乐集成电路内部主要由振荡器、节拍控制器、节奏发生器、曲调存储器、调制器和前置放大器等几部分组成。内部电路系统方框图如图 3.4 所示。

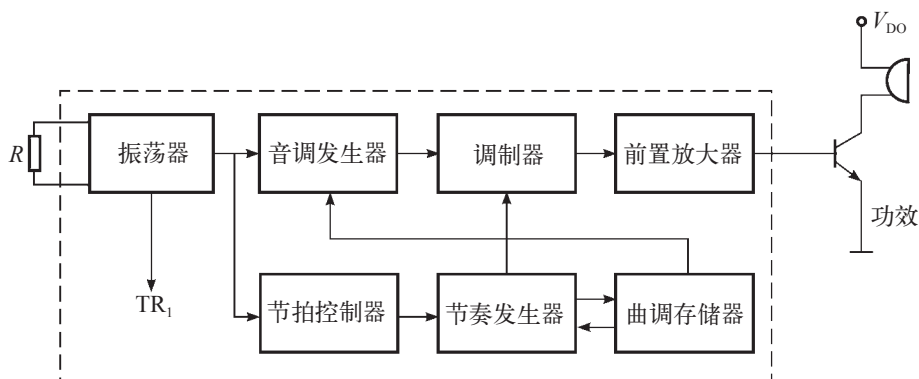


图 3.4 音乐集成电路内部系统方框图

7. 用系统原理看维纳斯

古希腊的著名雕像“维纳斯”，久已为世人所知。维纳斯是神话中爱和美的女神，她的形象栩栩如生，外形美和精神美达到了高度的和谐、统一，因此不知倾倒了多少人。美中不足的是，这个雕像的双臂折断了。多少年来，许多艺术家都极力设法弥补这个缺憾，他们千方百计想给维纳斯安上一双手臂。可是尽管费尽心机，也想象不出维纳斯的双臂应该是什么姿势，许多重雕的双臂补上去后总是与整个身体的姿态不协调。最后，他们只好放弃了这个美好的打算。至今，维纳斯仍然双臂残缺。

运用系统论的原理可以深刻地解释维纳斯断臂不能复原的现象。这个原理就是，系统的整体不等于组成它的各要素的简单相加，系统是由要素有机地组织起来的。“有机地”这个词是指整体各部分间的不可分割的、内在的、必然的联系。古希腊艺术家创造的是完整的形象，维纳斯的各个部分按照艺术家当时的整体造型的构想和谐地配合在一起，而不是机械地拼合起来。机器由各个零件组装而成，缺少一个零件可以补上，艺术品的一部分一旦缺失，就难以弥补，不仅维纳斯雕像如此，就是《红楼梦》的后半部，因为是高鹗所续，与曹雪芹原著也不相合。维纳斯原臂的姿态只存在于古希腊艺术家的完整的艺术设想中，后人的构想总是外在的，它与原设想不可能完全一致。整体设想不一致，手臂的造型也不会相符。从系统论角度说，古希腊艺术家与后来的艺术家创造的不是一个艺术系统，那么作为要素的手臂也不会相同。

(摘自《系统论 信息论 控制论浅说》)

第二节 系统的结构与层序

一、教学目标

(1) 了解系统结构的含义，理解元素和结构是构成系统的两个缺一不可的方面；认识系统的结构对系统整体性能的影响，系统的结构在系统优化中的作用。

(2) 了解系统的层次的概念，认识系统的层次是物质存在和发展的必要条件；了解系统的秩序的概念，能够分辨有序和无序。

二、结构分析

本节内容设计的整体思路是，由同学熟悉的“太阳系”入手，先介绍系统结构的含义，然后再介绍系统结构的作用，最后介绍内容相对复杂的“系统的层次与秩序”。

学完本节“一、系统的结构”，学生对“结构”的含义是可以理解的，也可以方便地举出许多有关结构的例子。由于“结构”是一个高度抽象的概念，教材中给出的定义是“系统内部各元素之间相对稳定的、有一定规则的联系方式”。也可以用更简单的定义：结构是系统内各要素的组织形式。

“一般地说，系统的性能主要取决于系统的结构”这句话十分重要。它有两层含义：一是明确指出了“结构决定性能”这一普遍规律，二是说明了主要元素也会对系统的性能产生影响，在系统分析、系统设计时不可忽略。

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，对于微观结构肉眼不可见（如教材图 3.10 晶体的点阵结构，可参考有关金属材料的书籍）。

“结构决定性能”也可以理解为：层次与秩序决定系统的功能。

三、教学建议与说明

建议在本节重点讲清并使同学们理解以下问题：

1. 结构的含义

在我们生存的世界上，各种系统中都存在着结构。比如，原子有原子结构，分子有分子结构（如水分子的结构是 H_2O ，即由两个氢原子和一个氧原子结合而成）；社会结构就是社会制度、社会关系，它将人与人组织起来。分子结构是原子间的组织规则、形式；社会结构是人与人之间的组织规则、形式。结构就是要素间的组织规则、形式。与要素相比，结构有时可以看到，有时却看不到，只能通过概念、图示等把它描述出来。比如房屋结构，我们看到的只是砖瓦木料，但可以通过设计图来描述房屋结构。

2. 结构的作用

结构直接决定着系统的性质，也就是说，事物的性质直接取决于其结构。金刚石坚硬得可以割开玻璃，石墨软得不堪一碰，但它们都是由相同的元素碳构成的。为什么它们有着相同的元素却又有着天壤之别的性质呢？差别就在于它们的分子结构不同。金刚石的分子结构紧密，所以坚硬；石墨的分子结构疏松，所以松软。由于原子排列方式不同，所以物理性质也不同。

结构是系统内各要素的组织形式，是要素间的关系。前面曾谈到，系统不是要素的简单相加，而是按一定规则组织起来的要素，这个规则、组织形式就是结构。结构是系统与要素的中介，系统通过结构将要素连接起来。在系统的发展中，要素是活动的，而结构则相对稳定，结构通过对要素的制约，要素的变动就被限制在一定范围内，从而使系统保持稳态。也就是说，结构使事物保持质的稳定性和连续性。

结构与要素相比，在系统中占有更重要的地位。过去人们重视构成事物的质料，也就是重视要素，这是因为那时人们面对的事物比较简单。而随着社会的发展，系统变得日益复杂，结构的重要性日益突出。比如一把斧子，结构上不容易有多大变化，质料的作用就相对突出。由原始人的石斧，到奴隶社会的铜斧，再到以后的铁斧、钢斧，其性能的改进主要是质料的更替起作用。但是，对于一件复杂的仪器设备，比如一块手表、一台电视机，零件相同，由于装配技术的差别，性能就有很大不同。结构起了主要作用。在现代社会，物质产品的进步主要不是通过质料的改进，而是通过产品结构的更新实现的。因此，人们的观念已由重视要素转向重视结构。

3. 层次

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。如人的精神性是高层次，支配着较低层次的生物性和更低层次的物质性，所以人的行动是受理智支配的，不同于无理性的动物，也不同于无生命的物质。一般说来，系统层次越高，组织性越强；系统层次越低，组织性越差。比如人体系统，心理层次就比生理层次要高，心理活动也比生理活动要复杂，组织性要强，所以人比动物高级。

在系统结构中，低层次也不仅仅是被动的、被决定的，它保持着自己的独立性，对系统的高层次和整个系统起着重要作用。系统的高层次往往是主导力量，而系统的低层次往往是基础结构。在不发达国家里，农业成为国民经济的基础，但又是较低的层次，需要先进的工业技术来改造。

4. 功能与结构的关系

功能与结构是系统的两个方面；结构是系统的内在构成，是横向的、相对静态的方面；功能是系统的外在行为，是纵向的、动态的方面。结构连接着系统与要素，功能连接着系统与环境。好比一个人的结构是四肢骨骼、心肺肝脏、大脑神经，而其功能则是其衣食住行、喜怒哀乐等外在活动。机床的结构是电动机、齿轮、刀架等，将原材料加工成零件才是机床的功能，结构作为内在根据决定着系统的行为。也就是说，结构决定功能。一台机器、一座房屋的性能好坏，不仅取决于材料，更取决于结构是否合理。一个社会是否进步，看其是否促进生产力的发展，也就是改造自然的功能发挥得如何，而这取决于社会制度是否合理。合理的社会结构才能解放生产力，充分发挥人类改进自然的功能。

四、参考资料

1. 系统的结构性原则

系统为什么能保持整体性？必须进一步研究系统的结构问题。

任何系统都是有结构的。我们面对的自然界是有系统的，而系统是有层次的。划分不同的系统和层次的自然界，形成了具有特定功能的各种结构。

什么是结构呢？结构是物质系统各种要素内在的联系与组织方式。也就是说，结构指的是系统各元素的相互作用中比较稳定的方式、顺序和强弱。结构与组织性密切相关。系统的“组合元素及其间的连接表示的特定结构”是组织性。世界上没有无结构的物质，也没有无物质的结构。天然的结构，还没有打上人工的印记，叫自然结构。人利用自然物，按照人的目的和需要制造的结构是“人工结构”，如飞机、打火机等。按存在方式结构可以分为空间结构（如晶体、建筑结构等）、时间结构（如生物钟等）、时空结构（如树木的年轮）等。一定的系统具有一定的结构。

系统的结构有以下特性：

结构的稳定性。许多情况下，构成系统的元素可以不断更新，但只要结构不发生变化这个系统就会保持自身。人体内的蛋白质不到 100 天就可更换一次，消化道细胞只有几天寿命，而生命却在这种新陈代谢中延续下去。自然界大量存在的动态平衡系统都是这样。它们不是靠元素一成不变维持自身，而是靠元素之间的稳定联系不断延续。系统的稳定性主要来自它的结构。

结构的层次性。系统的基本结构形式有机械的、物理的、化学的、生物的和社会的。这是人对复杂客体系统中元素的组织形式的认识。

结构的相对性。系统中结构与要素是相对于系统的等级和层次而言。一个国家的省、市、县，相对于高一级系统是要素，而本身又是一个结构系统。

结构的开放性 & 动态性。结构一定是开放和动态的。因为系统总是在一定环境中，总要和环境进行物质、能量、信息的交换。

结构的秘密在于相互作用。首先相互作用表现在限制。有限制就意味着减少自由度，而这是形成结构的条件。其次是筛选。不是限制一切。而是既有丧失又有保留。最后是协同。相互作用不仅表现在限制和筛选，而且会使作用各方出现协调同步作用，从而形成新的质。

谈到结构必然会联想到功能。功能是指系统在和环境发生相互作用时表现出来的特性。相对结构这种内部规定的特性来说，功能是系统的外部特性。但是，内部的结构决定外部的表现，而外部表现体现内部结构。结构与功能实质上是统一的。功能是以结构为基础的。但是，功能和结构之间，并不是一一对应的。电子表和机械表，功能是一样的，但结构却不同。这使人不

能从功能判断结构，却又给人发挥能动性提供了广阔的天地。为实现某种功能可以找到多种结构，这就是结构不确定性原理。

任何一个系统都是既有内部结构又有外部功能。我们可以进一步说，系统是由多个元素间相对稳定联系所构成的具有一定功能的整体。

(摘自《系统论 信息论 控制论浅说》)

2. 要素的序与要素的组合

序可以具体地理解为组成系统的诸要素在时间、空间、人际之间以及其他广义空间中的相对位置。例如，它可以反映为时间的先后、空间的分布、比例的大小、速度的快慢、素质的优劣、权重的主次等。

在工业生产中，常常需要决定哪道工序先做，哪道工序后做，各工序之间如何衔接。在人事工作中，常常需要决定选拔哪个人到哪个岗位上去，以形成合理的梯队。在某种经济结构的调整中，常常需要决定优先发展的项目与部门。这些都是序的问题。

所谓组合，就是对系统的各要素进行相关分析，然后进行搭配，包括好坏搭配、大小搭配、先后搭配、不同性能的搭配等。一个符合客观规律的组合才是最佳组合，系统才能发挥最大的功能和效益。

组合不仅仅是排序问题，还要对系统的各要素进行综合平衡。如钢铁工业的发展，就要受到能源、交通、环境污染等方面的牵制。单一强调发展钢铁工业，就会造成地区经济系统趋于不稳定。所以，在给一个系统排序时，一定要对系统内相关的要素进行分析平衡，充分考虑行业之间的相关性。

3. 教育系统

根据所要研究的教育问题，可以提出有关教育的各种不同的系统。例如，研究有关教育结构层次的问题时，可以讨论由学前教育系统、普通教育系统、职业教育系统、高等教育系统和成人教育系统等组成的整个国民教育系统。换一个角度，教育工作还存在有关组织机构的系统、有关经费开支的系统、有关学科专业的系统、有关教师或学生的系统等。

教育系统是一个典型的自然和人工的复合系统。说它是人工的，是因为教育系统的要素很多是人造的，是人类为达到传递文明、培养人才的特定目的而建造的。但它又是自然的，因为教育系统的产生和发展在许多方面并不以人的意志为转移，它必须服从社会、政治、经济和教育自身的客观规律。

在层次结构上，国民教育系统是整个社会巨系统的一个子系统，高等教育系统又是国民教育系统的一个子系统。从教育的层次结构上看，高等教育居于国民教育结构的最高层次，高等教育的基本任务是培养为社会的政治、经济、文化直接服务的专门人才，因此它也就直接影响社会的发展。从高等教育的社会价值来看，高等教育培养专门人才直接服务于社会，满足社会在政治、经济和文化等方面发展的需要。满足社会这些方面发展需要的现实性和可能性，就构成了高等教育的政治价值、经济价值和文化价值。

4. 人类的社会结构层次

人具有物质属性，是由各种有机物和无机物构成的；人又具有生物属性，与动物有着共同的机能，如同样要求食欲的满足等；更重要的是人具有精神性，具有自我意识，因此人又完全不同于动物。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。如人的精神性是高层次，支配着较低层次的生物性和更低层次的物质性，所以人的行动是受理智支配的，不同于无理性的动物，也不同于无生命的物质。在阶级社会中，存在着不同的阶级，统治阶级是

高层次，被统治阶级是低层次，所以社会性质由统治阶级的性质决定。

在系统结构中，低层次也不仅仅是被动的、被决定的，它保持着自己的独立性，对系统的高层次和整个系统起着重要作用。在阶级社会中，统治阶级虽然支配着被统治阶级，被统治阶级又不是消极的服从，他们的要求、斗争抵制着统治阶级的压迫，也影响着系统的面貌。系统的高层次往往是主导力量，而系统的低层次往往是基础结构。在不发达国家里，农业成为国民经济的基础，但又是较低的层次，需要先进的工业技术来改造，所以工业是主导，属于国民经济的高层次，这个高层次必须建立在农业基础上，工业的发展受到农业发展的制约。前面举过人体结构的例子，生理需要是低层次，但又是基础，不满足基本的生理需要就不能生存；精神需要是高层次，它使人的生理需要带有社会意义，比如人吃饭不同于动物觅食，人吃饭是为了更好地工作、创造；人类的两性交往也不同于动物，它不仅具有繁殖后代的意义，而且本身也是一种高尚的爱情，是一种精神享受。

系统层次是由于组织等级的差别而形成的。一般说来，系统层次越高，组织性越强；系统层次越低，组织性越差。比如，国家的组织性比家庭的组织性强，所以国家组织是高层次，家庭组织是低层次。就因为高层次组织性强，所以才能支配低层次，决定系统的性质。

系统的高层次是由低层次生成的，这就涉及系统的进化。系统在由低级向高级发展的过程中，由低级结构生成高级结构，但是低级结构并没有消失。仍然在新的系统中保存下来，成为受高层次结构支配下的低层次结构。例如，原始社会的组织是简单的氏族，以血缘关系为纽带把人们组织起来。进入阶级社会后，氏族演变为国家组织，出现了各级行政组织，社会关系日益复杂，社会组织日趋严密，但是，阶级社会中仍然保留着家庭、亲族等以血缘关系为核心的组织，这是原始社会组织的遗留，成为社会组织的低层次。当然，在社会组织高层次的制约下，家庭关系也渗透着社会关系，因而不同于原始氏族。同样，人的心理结构也有表层结构（有意识）与深层结构（无意识）之分，而无意识也是原始意识的遗留，是意识的低层次。

（摘自《系统论 信息论 控制论浅说》）

第三节 系统的设计

一、教学目标

（1）了解系统设计的基本原则和步骤，通过对系统设计实例的学习和思考，初步理解简单系统设计的基本方法。

（2）了解并应用系统设计的两种基本思路，通过综合与分析，能够根据要求完成简单对象的系统方案设计。

（3）建立系统优化的意识，了解决定系统功能的要素和系统优化的步骤，理解系统优化的意义。

二、结构分析

本节内容以“系统设计”为核心，介绍了与之有关的各项内容。“系统优化”是系统设计的组成部分和重要内容，直接影响到设计质量的优劣，故占用了相当的篇幅讲解及举例。为授课方便，可以将本节内容分成两部分讲解，即系统设计和系统优化。

系统设计主要介绍的是系统设计的基本原则和步骤。原则、步骤就是系统设计的思维方法和实施方法。教材列举的联系生活和学习的两个实例,是为了方便学生对系统设计的理解。

系统优化主要介绍的是决定功能的要素和系统优化的步骤。系统优化的目的是改善、提高系统的功能,决定功能的要素也就是需要考虑优化的要素。当然,并不是每次优化都需要变动所有的功能要素。系统优化的步骤,学生只要结合实例了解即可。

在实际设计中,系统优化不是独立存在的,要有初步设计完成的系统,才能有系统的优化。限于学生目前所学过的知识(主要是数学知识),还不能够用系统优化的方法解决比较复杂的问题,但可以应用系统优化的思想,解决一些比较简单的生活、学习中的常见问题。通过系统优化知识的学习,重在使学生建立优化意识。

三、教学建议与说明

教材中提出了四条系统设计的基本原则,第一条(基本功能的实现)是最基本、最重要的。从重要性看,第三条(效益的最大化)位居第二。其余两条,是为了基本功能的实现和达到系统追求的目标所采取的手段。

教材中“系统设计的步骤”只是系统的方案设计,是学生应该达到的基本要求。对于教师,应该了解更多的有关系统设计的知识。

任何一个人工系统,都有其发生、发展和消亡的过程,人们称之为系统的“生命周期”。系统的生命周期一般可划分为系统分析、系统设计、系统发展和系统运行四个阶段。从整个生命周期来看,系统设计只是其中一个阶段。但人们习惯于以“系统设计”一词来代表系统生命周期前三个阶段的工作内容。

1. 系统分析阶段

其基本任务是彻底掌握现行系统并在此基础上提出新系统的初步模型。

(1) 初步调查和初步可行性分析。即确定用户的真实要求、问题的范围,首先开展系统环境调查和系统现状调查,找出系统的主要问题;系统的对象确定之后,就必须开展功能分析,即为了达到既定的目标而分析本系统应该具备的功能;初步研究现行系统的一些替代方案,并提出下一步行动的建议。

(2) 详细调查。对现行系统进行更为深入的调查分析。要使用各种调研方法收集数据、原始凭证,了解业务方法、存在问题、改进意见,彻底掌握现行系统的业务流程、处理特点、资源情况、环境条件以及信息的构成、流量和存储要求等。最后应提出调查报告,报告中要采用图形、报表等表现工具来描述现行系统,并列出改进现行系统的各种替代方案和目标。

(3) 经济可行性分析。这是系统分析的最后一步。它对系统的各个替代方案进行深入的经济分析,包括估算各项费用、衡量其投资回报率等,进行系统优化,选定最优方案,作为新系统的初步模型。

2. 系统设计阶段

其基本任务是根据前一阶段所确定的系统目标和选定的系统初步模型进行详细设计,确定新系统的模型、技术要求和程序说明等,为下一阶段工作做好充分的技术准备。

(1) 基本设计。基本设计主要是完成基本模型(一般以图形表示)。

(2) 概要设计。概要设计是在基本模型的基础上,进行比较粗略的流程设计和文件设计。

(3) 详细设计。详细设计是在概要设计的基础上,进一步将系统设计工作展开及具体化。主要是画出详细流程图和编写详细说明书(构造说明),最后应提出系统的综合流程图和系

统说明书等技术资料。

3. 系统发展阶段

其任务是根据设计要求进行子系统调试和系统联调。开展系统试运行，检验系统运行质量。进行系统评价，包括系统性能（可靠性、精确度等）和经济效果，如果符合设计目标，系统设计工作也就结束了。

四、参考资料

1. 优化设计法

以优化理论为基础，以电子计算机为主要手段，在满足给定的约束条件的前提下，对系统总体和系统结构等进行优化的方法。优化设计的一般步骤是：

(1) 对设计对象进行系统分析，建立反映设计变量与系统性能关系的数学模型。数学模型由设计变量、约束条件和目标函数构成。

(2) 制定系统目标要求和建立评价指标体系，用于衡量和评价设计方案。

(3) 根据数学模型选择优化计算方法，编制计算机程序或直接利用优化技术软件。

(4) 对设计方案进行评估，通过人机反复交互，最后优选出设计方案。虽然优化技术的作用，在理论上是为了获得最优解，但在实际上，由于数学模型的建立本身是一种近似，复杂系统的某些变量或不确定因素难以准确地定量描述，目前尚缺乏一些求解复杂数学模型的有效算法。因此，优化过程更多的是从若干可行方案中选择一个“足够满意的方案”。目前优化设计法在航空、航天、船舶、机械、建筑等领域已得到广泛应用。

（摘自御虎——国防科普知识网）

2. 优化例子——精明的女工

1964 年秋，我国著名数学家华罗庚教授在讲规划论时，举了一个极富启发性的例子。一个精明的女工精打细算，统筹安排宝贵的时间。她每天 6:30 起床，5min 后先把早点热上，然后再洗漱 5min，梳妆 5min，做准备 5min。这时早点热好了，她用 5min 吃完早点，6:55 就准时出发了。途中要用 30min 时，她每天准时于 7:25 赶到工厂，这时离上班还有 5min(图 3.5)。这位精明的女工赢得了主动，成为全厂守时遵纪的模范之一。

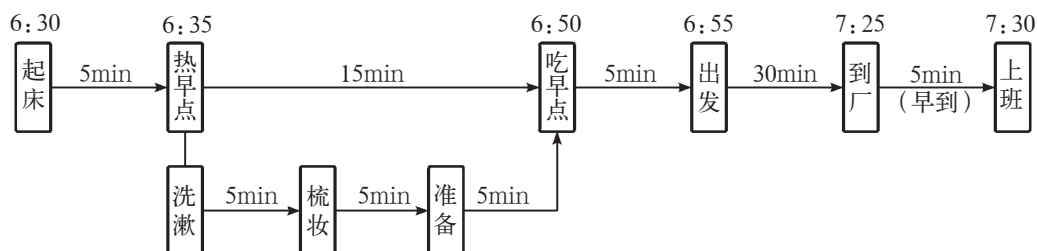


图 3.5 女工时间系统优化示意图

试设想，如果这位女工起床后不是先把早点热上，而是洗漱与梳妆完毕后才热早点，吃完早点再准备出发，那已是 7:10 了。30min 后到达工厂时，迟到 10min，她必将受到批评(图 3.6)。

此例充分说明了系统的结构与秩序在系统优化中的重要作用。

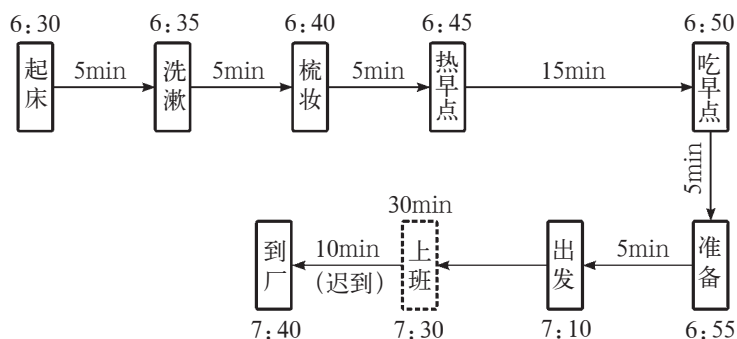


图 3.6 女工时间系统常规示意图

这个精明的女工对时间系统优化（图 3.5），实质上是采用的“并行工程”的原理。“并行工程”虽然主要应用于工业工程，但其原理却可以应用于许多方面。依此道理，女工时间系统常规示意图（图 3.6）的原理可称之为“串行工程”。

3. 系统论、控制论和信息论

20 世纪 40 年代，由于自然科学、工程技术、社会科学和思维科学的相互渗透与融合，产生了具有高度抽象性和广泛综合性的系统论、控制论和信息论。

系统论是研究系统的模式、性能、行为和规律的一门科学。它为人们认识各种系统的组成、结构、性能、行为和发展规律提供了一般方法论的指导。系统论的创始人是美籍奥地利理论生物学家和哲学家贝塔朗菲。系统是由若干相互联系的基本要素构成的，它是具有确定的特性和功能的有机整体。如太阳系是由太阳及其围绕它运转的行星（金星、地球、火星、木星等）和卫星构成的。同时太阳系这个“整体”又是它所属的“更大整体”——银河系的一个组成部分。世界上的具体系统是纷繁复杂的，必须按照一定的标准，将千差万别的系统分门别类，以便分析、研究和管理，如教育系统、医疗卫生系统、宇航系统、通信系统等。如果系统与外界或它所处的外部环境有物质、能量和信息的交流，那么这个系统就是一个开放系统，否则就是一个封闭系统。开放系统具有很强的生命力，它可能促进经济实力的迅速增长，使落后地区尽早走上现代化。如改革开放以来已大大增强了我们的综合国力。而我国的许多边远山区农村，由于交通不便，相对封闭，还处于比较落后的状态。

人们研究和认识系统的目的之一，就在于有效地控制和管理系统。控制论则为人们对系统的管理和控制提供了一般方法论的指导，它是数学、自动控制、电子技术、数理逻辑、生物科学等学科和技术相互渗透而形成的综合性科学。控制论的思想渊源可以追溯到遥远的古代。但是，控制论作为一个相对独立的科学学科的形成却起始于 20 世纪 20 ~ 30 年代，而 1948 年美国数学家维纳出版了《控制论》一书，标志着控制论的正式诞生。几十年来，控制论在纵深方向得到了很大发展，已应用到人类社会各个领域，如经济控制论、社会控制论和人口控制论等。

为了正确地认识并有效地控制系统，必须了解和掌握系统的各种信息的流动与交换，信息论为此提供了一般方法论的指导。语言是人与人之间进行信息交流的工具，文字扩大了信息交流的范围，19 世纪电话和电报的发明和应用使信息交流进入了电气化时代。信息论最早产生于通信领域，现在已同材料和能源一起构成了现代文明的三大支柱。信息的概念已渗透到人类社会的各个领域，因此，人们说现在是信息社会、信息时代。

（摘自《电化教育研究》）

4. 爱迪生简介

教材在“系统的优化”标题下，介绍了美国著名发明家爱迪生试验了6 000（又一说1 600）多种纤维材料做灯丝的事迹。提起20世纪的科学家和发明家，人们必然要谈到爱因斯坦（1879—1955）和爱迪生（1847—1931）这两个伟大的人物。现将爱迪生的生平简介如下。

托马斯·阿尔瓦·爱迪生（Thomas Alva Edison）是位举世闻名的美国电学家和发明家，他除了在留声机、电灯、电话、电报、电影等方面的发明和贡献以外，在矿业、建筑业、化工等领域也有不少著名的创造和真知灼见。爱迪生一生共有约2 000项创造发明，1 093种发明专利（又说1 320种发明专利），为人类的文明和进步做出了巨大的贡献。爱迪生于1847年2月11日诞生于美国中西部的俄亥俄州的米兰小市镇。父亲是荷兰人的后裔，母亲曾当过小学教师，是苏格兰人的后裔。爱迪生7岁时，父亲经营屋瓦生意亏本，将全家搬到密歇根州休伦北郊的格拉蒂奥特堡定居下来。搬到这里不久，爱迪生就患了猩红热，病了很长时间，人们认为这种疾病是造成他耳聋的原因。爱迪生8岁上学，但仅仅读了三个月的书，就被老师斥为“低能儿”而撵出校门。从此以后，他的母亲成为他的“家庭教师”。由于母亲的良好教育方法，使得他对读书发生了浓厚的兴趣。“他不仅博览群书，而且一目十行，过目成诵”。8岁时，他读了英国伟大的剧作家莎士比亚和作家狄更斯的著作以及许多重要的历史书籍，到9岁时，他能迅速读懂难度较大的书，如帕克的《自然与实验哲学》。

10岁时他酷爱化学。11岁那年，他实验了他的第一份电报。为了赚钱购买化学药品和设备，他开始了工作。12岁的时候，他获得在列车上售报的工作。他一边卖报，一边兼做水果、蔬菜生意，只要有空他就到图书馆看书。他买了一架旧印刷机，开始出版自己的周刊——《先驱报》，第一期周刊就是在列车上印刷的。他用所挣得的钱在行李车上建立了一个化学实验室。不幸的是有一次化学药品着火，他连同他的设备全被扔出车外。另外有一次，当爱迪生正力图登上一列货运列车时，一个列车员抓住他的两只耳朵助他上车。这一行动导致了爱迪生成为终身聋子。1862年8月，爱迪生以大无畏的英雄气概救出了一个在火车轨道上即将遇难的男孩。孩子的父亲对此感恩戴德，但由于无钱可以酬报，愿意教他学习电报技术。从此，爱迪生便和这个神秘的电的新世界发生了关系，踏上了科学的旅途。1863年，爱迪生担任大干线铁路斯特拉福特枢纽站电信报务员，16岁时发明了自动定时发报机。

1868年，爱迪生以报务员的身份来到了波士顿。同年，他获得了第一项发明专利权。这是一台自动记录投票数的装置。爱迪生认为这台装置会加快国会的工作，它会受到欢迎的。然而，一位国会议员告诉他说，他们无意加快议程，有的时候慢慢地投票是出于政治上的需要。从此以后，爱迪生决定，再也不搞人们不需要的任何发明。

1869年6月初，他来到纽约寻找工作。当他在一家经纪人办公室等候召见时，一台电报机坏了。爱迪生是那里唯一的一个能修好电报机的人，于是他谋得了一个比他预期的更好的工作。1869年10月，他与波普一起成立一个“波普—爱迪生公司”，专门经营电气工程的科学仪器。在这里，他发明了“爱迪生通用印刷机”。他把这台印刷机献给华尔街一家大公司的经理，本想索价5 000美元，但又缺乏勇气说出口来。于是他让经理给个价钱，而经理给了4万美元。爱迪生用这笔钱在新泽西州纽瓦克市的沃德街建了一座工厂，专门制造各种电气机械。他通宵达旦地工作。他培养出许多能干的助手，同时，也巧遇了勤快的玛丽，他未来的第一个新娘。在纽瓦克，他做出了诸如蜡纸、油印机等发明，从1872年至1875年，爱迪生先后发明了二重、四重电报机，还协助别人搞成了世界上第一架英文打字机。1876年春天，爱迪生又一次迁居，这次他迁到

了新泽西州的“门罗公园”。他在这里建造了第一所“发明工厂”，它“标志着集体研究的开端”。

1877年，爱迪生改进了早期由贝尔发明的电话，并使之投入了实际使用。他还发明了他心爱的一个项目——留声机。电话和电报“是扩展人类感官功能的一次革命”；留声机是改变人们生活的三大发明之一，“从发明的想象力来看，这是他极为重大的发明成就”。到这个时候，人们都称他为“门罗公园的魔术师”。1879年10月22日，爱迪生点燃了第一盏真正有广泛实用价值的电灯。为了延长灯丝的寿命，他又重新试验，试用了6000（又一说1600）多种纤维材料，才找到了新的发光体——日本竹丝，可持续1000多小时，达到了耐用的目的。从某一方面来说，这一发明是爱迪生一生中达到的登峰造极的成就。接着，他又创造一种供电系统，使远处的灯具能从中心发电站配电，这是一项重大的工艺成就。他在纯科学上的第一个发现出现于1883年。试验电时，他观察到他称之为爱迪生效应的现象：在点亮的灯泡内有电荷从热灯丝经过空间到达冷板。爱迪生在1884年申请了这项发现的专利，但并未进一步研究。而其他科学家利用爱迪生效应发展了电子工业，尤其是无线电和电视。爱迪生使用一条乔治伊斯曼新发明的赛璐珞胶片，拍下一系列照片，将它们迅速地、连续地放映到幕布上，产生出运动的幻觉。他第一次在实验室里试验电影是在1889年，1891年申请了专利。1903年，他的公司摄制了第一部故事片《列车抢劫》。爱迪生为电影业的组建和标准化做了大量工作。

1887年爱迪生把他的实验室迁往西奥兰治以后，他创办了许多商业性公司；这些公司后来合并为通用电气公司。此后，他的兴趣又转到荧光学、矿石捣碎机、铁的磁离法、蓄电池和铁路信号装置上。第一次世界大战期间，他任海军顾问委员会主席，指导鱼雷和反潜设备研究。他研制出鱼雷机械装置、喷火器和水底潜望镜。1928年被授予美国国会金质特别奖章。1929年10月21日，在电灯发明50周年的时候，人们为爱迪生举行了盛大的庆祝会，德国的爱因斯坦和法国的居里夫人等著名科学家纷纷向他祝贺。不幸的是，就在这次庆祝大会上，当爱迪生致答辞的时候，由于过分激动，他突然昏厥过去。从此，他的身体每况愈下。1931年10月18日，这位为人类做过伟大贡献的科学家因病逝世，终年84岁。

1931年10月21日在为他举行葬礼时，人们采用了一种独特而又恰当的方式——停电1min，以悼念这位伟大的发明家。

5. 优选法

在生产中，多快好省地完成任务，是我们预期的目标。例如在现有设备和原材料条件下，如何合理安排生产工艺，使产量最高、质量最好；或者在保证产品的产量和质量的前提下，使消耗最少。在工程设计中，如何选取合适的设计参数，使质量最好或者用料最省；在科学实验中如何安排实验，使费用最省或者效果最好等，这样一类广泛的实验问题，大致可概括为“为了使某些目标（如产量、质量或经济指标等）达到最好的结果（如高产、优质、低消耗等），就要找出使此目标达到最优的有关因素（或变量）的某些值（通常称为最优点、最优解或者近似最优解）。这类问题在数学上称为“最优化问题”。

优选法和其他科学一样，是在实践的基础上产生和发展的。像爬山法、均分法、来回调试法和平分法等这些安排科学实验的基本原则，早已应用，只是没有系统整理、提高为理论而已。自从1953年美国的基弗（Kiefer）提出分数法和0.618法（也称为斐波纳法和黄金分割法）后，人们针对各种情况又提出不少的方法。

优选法的应用在我国是从1970年开始的，首先由华罗庚等推广并大量应用。华罗庚等推

广的主要方法是 0.618 法，下面就介绍这种方法。

0.618 法的做法是：第一个试验点 x_1 设在试验范围 (a, b) 的 0.618 位置上，第二个试验点 x_2 取成 x_1 的对称点，即

$$x_1 = a + 0.618 \times (b - a), \quad (3.1)$$

$$x_2 = a + b - x_1. \quad (3.2)$$

如果称 a 为试验范围的小头， b 为试验范围的大头，公式 (3.1)、(3.2) 可以通俗地写成

$$\text{第一点} = \text{小} + 0.618 \times (\text{大} - \text{小}), \quad (3.1)'$$

$$\text{第二点} = \text{大} + \text{小} - \text{第一点}. \quad (3.2)'$$

公式 (3.2)、(3.2)' 叫作对称公式。

用 $f(x_1)$ 和 $f(x_2)$ 分别表示在 x_1 和 x_2 上的试验结果。如果 $f(x_1)$ 比 $f(x_2)$ 好， x_1 是好点，



于是把试验范围 (a, x_2) 划去，剩下 (x_2, b) 。如果 $f(x_1)$ 比 $f(x_2)$ 差， x_2 是好点，这就应当划去 (x_1, b) 而保留 (a, x_1) 。下一步是在余下的范围中找好点。在前一种情形， x_1 的对称点为 x_3 ，在 x_3 安排第三次试验，用对称公式计算有

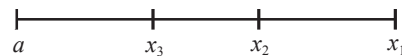
$$x_3 = x_2 + b - x_1;$$

在后一种情形，第三个试验点 x_3 应是好点 x_2 的对称点，也就是



$$x_3 = a + x_1 - x_1.$$

如果 $f(x_1)$ 和 $f(x_2)$ 一样，则应具体分析，看最优点可能在哪一边，再决定取舍。在一



般情况下，可以同时划掉 (a, x_2) 和 (x_1, b) ，仅留中间的 (x_2, x_1) 。然后把 x_2 看成新的 a ，把 x_1 看成新的 b ，在范围 (x_2, x_1) 中再用公式 (3.1)、(3.2) 重新安排两次试验。

无论出现上述三种情况的哪一种，在新的试验范围内，又有两次试验可以比较。根据试验结果，再去掉一段或两段试验范围，在留下的试验范围中再找好点的对称点，安排新的试验。

这个过程重复进行，直到找出满意的试验点，得出比较好的结果；或者留下的试验范围已很小，再做下去，试验结果差别不大，亦可就此中止。

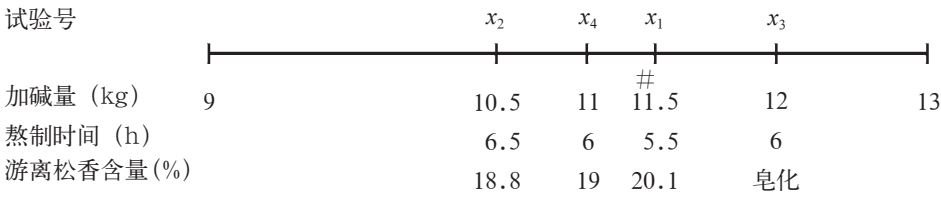
顺便提一下，公式 (3.2)、(3.2)' 还可以用折纸的办法求得。即按试验范围的大小截取一段纸条，第一个试验点 x_1 的位置也按比例标上去，然后把纸条对折，和 x_1 重合的点就是 x_2 。根据原来标好的读数， x_2 的数值一望便知。在留下的试验范围内，再用对折法找出与上次试验的好点重合点，就是新的试验点。

例 松香胶料加碱量的优选

松香胶料可以增加纸张的抗水性。某造纸厂由于原料松香成分变化，熬制时加碱量掌握不好，游离松香含量一度仅在 6.2% 左右。他们用优选法进行试验，固定松香投料量 100kg，熬制温度 102 ~ 106℃，加水 100kg，加碱范围定为 9 ~ 13kg。试验加碱量 x 与效果如下：

$$x_1 = 9 + 0.618 \times (13 - 9) \approx 11.5\text{kg}, \text{熬制时间 } 5.5\text{h}, \text{游离松香含量 } 20.1\%;$$

$x_2=9+13-11.5=10.5\text{kg}$ ，熬制时间 6.5h，游离松香含量 18.8%。
 比较 x_1 、 x_2 的效果， x_1 好，划去 10.5kg 以下的试验范围，继续试验：
 $x_3=10.5+13-11.5=12\text{kg}$ ，熬制时间 6h，且有皂化，划去 12kg 以上的试验范围；
 $x_4=10.5+12-11.5=11\text{kg}$ ，熬制时间 6h，游离松香含量 19%。
 试验到此为止， $x_1=11.5\text{kg}$ 为最优点。
 几个试验结果写在直线段上就是



第四章 控制及其设计

第一节 控制的概念

一、教学目标

- (1) 了解控制的基本概念。
- (2) 了解生产、生活中的控制问题和控制原理。
- (3) 会对生活中的控制问题进行初步分析。

二、结构分析

本节是学生系统学习控制概念的开始。在此之前学生对控制的基本概念和基本原理没有系统的了解，对发生在身边的控制现象也缺乏关注和思考。把许多控制现象看作是理所当然、自然而然的事情。因此，首先应当引导学生用控制的眼光对发生在身边的与控制有关的现象进行重新观察、分析，进而逐步建立控制的基本概念，并掌握分析控制现象的初步方法。

本节的开头首先用“闭眼拿硬币”活动（或“贴鼻子”游戏）引导学生对生活中的控制现象进行分析思考，了解在生活中有许多现象与控制有关。现代生活水平的提高和科学技术的进步在很大程度上依赖于控制技术的范围扩大和控制水平的不断提高。因此需要了解、掌握和提高控制技术。

在对生活中的控制现象进行罗列、分析后，对其中的控制概念（要素）进行归纳、提炼，明确了控制系统的基本组成，并对所列控制现象及其控制原理进行了分析。

三、教学建议与说明

1. 活动建议

在第一节课，可以首先组织一次游戏活动——“闭眼拿硬币”，也可以用其他的活动如“贴鼻子”等代替，时间约 5min。引起学生对控制的兴趣，然后进行分析，引入“控制”的概念。启发学生观察、发现生活中的控制现象。

以都江堰为例，讲解我国古代劳动人民如何控制江水、趋利避害。

通过飞球调节器，讲解机械控制装置的控制原理。

通过烤箱、恒温箱等讲解电器的控制原理。

通过学生参与的实例分析和适度讲解使学生建立起控制的概念，了解常用的控制方法和基本原理。

布置作业，让学生在课后观察分析生活中的控制现象和控制装置，并进行初步分析，留待下节课讨论。

2. 烤箱和恒温箱

烤箱主要是用于烤制食品的，对温度的要求不是非常严格。烤箱的控制装置比较简单，一般是靠温度开关控制烤箱的温度，靠定时器控制加热时间。温度开关控制的温度是固定的，不能改变。最新生产的计算机控制电烤箱，采用温度传感器、重量传感器、湿度传感器和微处理机，可以根据预先输入的烤制程序，自动选取最佳烤制模式，使烤制过程更加优化。

恒温箱用于对温度准确性要求较高，并且可以在一定范围内根据需要调节恒温箱温度的场合，比如生物实验、医疗实验、科学研究等。恒温箱的控制装置比较复杂，它可以控制加热装置的通断电从而控制恒温箱内的温度。首先设定恒温箱内要达到的温度，控制器接收从传感器传来的温度信号，并与所设定的温度进行比较。如果温度信号表明恒温箱内的温度没有达到设定的温度，控制器控制加热器继续加热；如果温度信号表明恒温箱内的温度已经达到设定的温度，控制器控制加热器停止加热。

四、参考资料

1. 都江堰

都江堰水利工程包括三个部分：鱼嘴分水堤、飞沙堰和宝瓶口。如教材图 4.2 所示。

“鱼嘴分水堤”是都江堰的分水工程，因其形如鱼嘴而得名，它把岷江分成内、外二江。外江，主要用于排洪；内江是人工引水渠道，主要用于灌溉；鱼嘴分水堤的设置极为巧妙，它利用地形、地势，巧妙地完成分流引水的任务，而且在洪、枯水季节不同水位条件下，起着自动调节水量的作用。鱼嘴分水堤所分的水量有一定的比例。春天，岷江水流量小，灌区正值春耕，需要灌溉，这时岷江主流直入内江，水量约占六成，外江约占四成，以保证灌溉用水；洪水季节，二者比例又自动颠倒过来，内江四成，外江六成，使灌区不受水灾。

在鱼嘴分水堤后面有一道分隔内、外二江的长堤叫金刚堤。堤下段有一低平的地段，叫作“飞沙堰”。

宝瓶口，是人工凿成控制内江进水的咽喉，因它形似瓶口而功能奇特，故名宝瓶口。留在宝瓶口右边的山丘，因与其山体相离，故名离堆。宝瓶口宽度和底高都有极严格的控制，古人在岩壁上刻了几十条分划，取名“水则”，那是我国最早的水位标尺。

内江水流进宝瓶口后，进入成都平原，灌溉近 $10\,000\text{km}^2$ ，67 万多公顷农田。鱼嘴分水堤、飞沙堰、宝瓶口这个都江堰渠的三大主体工程，在一般人看来可能会觉得平平常常、简简单单，殊不知其中蕴藏着极其巨大的科学价值。它内含的系统工程学、流体力学等，在今天仍然是处在当代科技的前沿，普遍受到推崇和运用。然而这些科学原理，早在 2000 多年前的都江堰水利工程中就被运用于实践了。这是中华古代文明的象征，这是我们炎黄子孙的骄傲。

飞沙堰的作用主要是当内江的水量超过宝瓶口流量上限时，多余的水便从飞沙堰自行溢出；如遇特大洪水的非常情况，它还会自行溃堤，让大量江水回归岷江正流。

飞沙堰的另一作用是“飞沙”，溢洪道前修有弯道，江水形成环流，江水超过堰顶时靠离心力的作用，将洪水中夹带的泥石排到外江，防止泥沙进入内江淤积，确保内江通畅（图 4.1）。



图 4.1 飞沙堰的溢水与飞沙

2. 瓦特发明蒸汽机的故事

瓦特 (James Watt, 1736—1819) 是英国发明家、工程师。1736 年 1 月 19 日生于苏格兰的一个小镇格里诺克。他从小体弱多病, 由父母进行了启蒙教育。父亲是个具有多种手艺的工匠, 受其影响瓦特从小就有实验的兴趣和才能。传说他小的时候, 曾用布把壶嘴堵死, 看到蒸汽的力量把壶盖冲开。这一现象激发了他的探索精神。后来他进入格里诺克文法学校学习, 因身体不好, 退学在家自学, 并经常随父亲到工厂学习制作机械模型、仪器的技术, 进行化学和电学实验。靠着虚心求学、刻苦钻研的精神, 15 岁学完了《物理学原理》, 并获得了丰富的木工、金属冶炼和加工等工艺技术。1753 年他在一家钟表店学手艺。同年又跟有名的机械师摩尔根当学徒。经过刻苦学习, 努力实践, 他已能制造难度较高的象限仪、罗盘、经纬仪等。1756 年在格拉斯哥大学当了仪器修理员, 这是他一生的转折点。一方面该校具有较完善的仪器设备和先进技术, 为他的工作创造了良好的技术条件。更重要的是他在这里结识了英国化学家、物理学家 J. 布莱克等著名学者, 他可以经常跟他们讨论改进蒸汽机的理论和技术问题, 从他们那里学到许多科学理论知识。这对他后来的发明工作影响很大。

1764 年瓦特在修理纽科门蒸汽机时, 精心研究了这种热机的工作原理, 找到了纽科门蒸汽机耗煤量大、效率低的原因。经过潜心研究, 1768 年他制成了一台新式蒸汽机, 大大降低了蒸汽消耗量, 耗煤量只有纽科门机的 $1/4$, 动作也更迅速。1776 年这种机器开始在厂矿使用。经过他的一系列重大的发明和改进, 使蒸汽机的效率提高到原来纽科门机的 3 倍多, 而且配套齐全、性能优良、切合实用。瓦特由此博得了第一部现代蒸汽机——高效率瓦特蒸汽机的发明者称号。很快, 瓦特蒸汽机在纺织、采矿、冶炼和交通运输等方面得到了广泛应用, 极大地推动了英国和欧洲的第一次工业革命, 使世界进入了所谓的“蒸汽机时代”。

3. 机械定时器

机械定时器像机械钟表一样用发条作为动力, 驱动一系列齿轮进行时间控制。需要定时时间长, 发条上得紧一些, 齿轮转动时间久。到达设定时间后, 机械装置触动开关接通或断开电

路（图 4.2）。

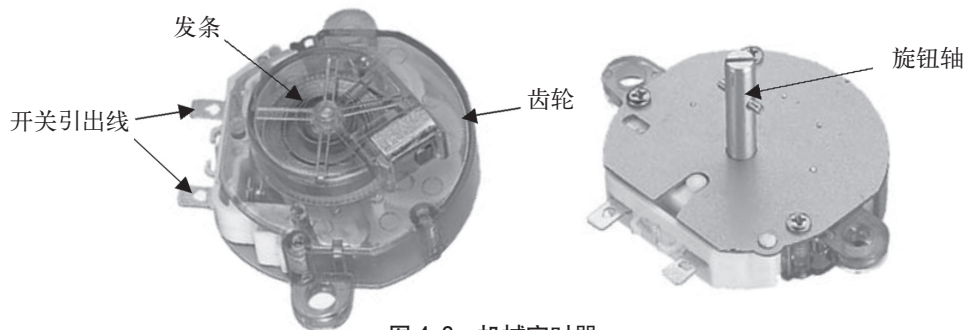


图 4.2 机械定时器

4. 恒温箱控制装置

恒温箱控制装置（图 4.3）包括温度检测器、控制装置和加热装置。温度检测器一般用根据热电偶或热电阻原理制成的温度开关（图 4.4）。控制装置为电子控制装置，可以设定不同的控制温度。加热通常是用电热丝、电热管或陶瓷加热片。

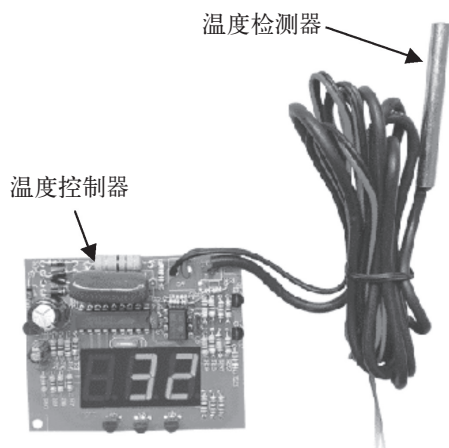


图 4.3 恒温箱控制装置

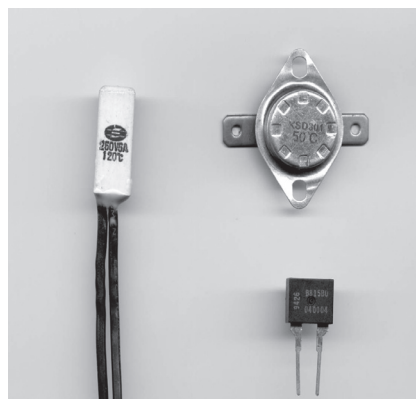


图 4.4 双金属温度开关

5. 温度开关

一些家用电器的控制温度是固定的，如电饭锅、开水器等。这些家用电器采用温度开关进行控制。其内部主要结构是双金属片（图 4.5）。这些温度开关都是利用双金属片作为控制元件的。图 4.5 是双金属片温度开关的结构示意图。1、2 为温度开关接线，通过双金属片 5 接触点 3、4，接线 1、2 形成通路，使开关接通。当温度上升到温度开关设定温度时，双金属片 5 向上弹起，触点 3、4 与引出线 1、2 分离，开关断开。当温度下降到控制温度以下 10 ~ 20℃时双金属片恢复，开关再次接通。这样就达到了控制温度的目的。

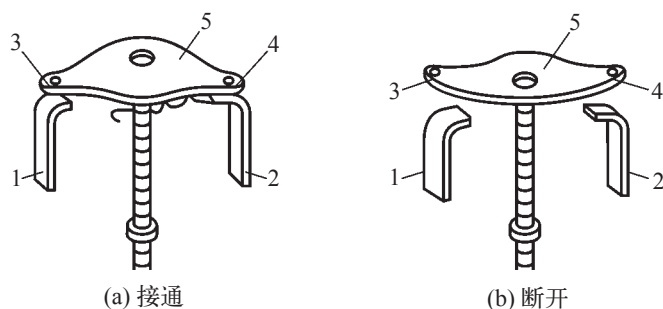


图 4.5 双金属片温度开关的结构示意图

可以在制造时对温度开关设置不同的控制温度。在使用时，可以根据不同的需要选择温度开关。

电熨斗也是利用双金属片控制温度的。它通过调整双金属片的变形，可以在一定范围内调整控制温度。

6. PTC 陶瓷

现在有一种特殊陶瓷，它既可以作为加热元件，又可以检测和控制温度。这种陶瓷可以导电，通电后发热；当加热到一定温度时，其电阻急剧增加，加热也就停止了，从而起到了控制温度的作用。

陶瓷的控制温度（电阻急剧增加时的温度）可以人工改变，以适应不同的需求。这种陶瓷叫正温度系数热敏陶瓷，简称 PTC 陶瓷。用 PTC 陶瓷制作的加热器加热、检测和控制温度成为一体，结构简单，性能可靠。

第二节 控制技术的分类

一、教学目标

- (1) 了解控制技术的分类和常用控制方法。
- (2) 能够对实际控制问题进行分类。

二、结构分析

控制技术的分类方法有很多种。本节只列出了几种基本的、常用的分类方法。目的是让学生了解各种控制技术（现象）的本质和内在联系，学会从宏观上了解和分析控制技术（现象），而不仅仅局限于具体的现象和细节。

手动和自动控制是非常直观和容易理解的，也是最基本的、常用的分类方法。这种分类方法很容易掌握。

开环控制和闭环控制是控制技术的重要分类方法。传统的控制多采用开环控制，控制系统结构简单，但控制效果差。闭环控制精度高，可靠性好，尽管闭环控制系统比开环控制复杂，但随着技术进步这个问题对人们的影响越来越小。随着控制技术的不断进步和人们对控制的要求不断提高，闭环控制的应用会越来越广。

以被控制量来对控制进行分类的方法也很常用，特别是在对同一个被控制量用不同的方法进行控制的效果比较时经常采用。常用的对控制进行分类的被控量有温度、压力、时间、水位、距离、速度、加速度等。

遥控和数控是近些年发展迅速的控制方式，在生产和生活中应用非常广泛。但这两种控制不属于同一种分类方法。与遥控相对应的是直接控制。数控是数字控制的简称，与其相对应的是模拟控制。直接控制和模拟控制的概念不一定要求学生掌握。

三、教学建议与说明

先把学生通过观察发现的各种控制现象列举出来，写在黑板上。注意把不属于控制的现象剔除，把复杂的控制过程简化为简单的控制。以这些控制现象为素材进行分类。

在分类过程中采用讨论的方式。这样可以活跃课堂气氛，并能及时发现和纠正学生的错误概念。但要注意避免在细节上纠缠而浪费时间。在列举控制现象时，注意把不常见的、复杂的或容易引起异议的现象剔除。

1. 手动控制与自动控制

首先要让学生理解和掌握手动控制的概念和控制过程，然后在常见控制现象中找出哪些属于手动控制。在分析和讨论中理解和掌握手动控制的概念。

在其余的控制现象中找出其中的控制装置，并对其控制原理进行分析，看看它是如何替代人的观察、判断、操作的。重点分析控制过程所包含的环节。

手动控制是通过人进行观察、判断，然后进行操作，达到人所要求目的的控制方式。如果用某种装置代替人进行观察、判断、操作，就成为自动控制。比如，人工向水池中注水就是手动控制。在注水过程中，需要人工观察水位的变化，判断是否已经达到所要求的水位，当达到所要求的水位时关闭水龙头，停止注水。

采用自动控制时的基本过程与人工控制是一样的。首先也要观察（检测）水位。在厕所水箱中是用浮子检测水位的，也可以用电子水位计或其他装置检测水位。对水位是否达到要求的判断是由人事先设定的某种标志作为依据的。如电子水位计用电极位置设定，厕所水箱的水位用浮子在杠杆上的位置设定。关闭水龙头的操作在厕所水箱控制中是在水箱水位达到所要求的水位时，靠浮子带动杠杆而实现的；电子水位控制中，当液面接触到控制电极时发出控制信号，关闭电磁阀，停止注水。

几乎所有的手动控制都可以用自动控制来实现。最初的自动控制主要是代替人工控制比较困难的场合，比如恶劣的环境、高精度、高速度等；或者比较容易实现的控制，比如水箱水位控制。随着控制技术的发展和控制成本的降低，自动控制的应用越来越广泛。

可以引导学生对某一个人工控制过程进行分析，然后对各个控制环节提出用自动控制装置代替人工控制的方案，实现自动控制。启发学生创新的欲望。

2. 开环控制系统与闭环控制系统

开环控制系统对控制的结果或效果不进行检测和修正。

闭环控制系统在输出端对控制结果或效果进行检测，并把检测结果反馈到输入端与控制要求进行比较，对产生的偏差进行修正。

先在各种控制系统中找出控制的结果是什么，然后再分析控制系统是否对这些控制的结果进行了检测和修正，从而判别是开环控制系统，还是闭环控制系统。

需要注意的是，有时控制系统对最终结果进行检测和修正，这种系统叫作全闭环控制系

统；有时控制系统对系统中间的某个环节进行检测和修正，这种系统叫作半闭环控制系统。比如，数控机床要对刀具的移动距离进行控制。闭环控制系统是对刀具的移动距离直接进行检测和控制。半闭环控制系统是对移动刀具的电动机所转圈数进行检测和控制，从而间接控制刀具的移动距离。

3. 控制对象与被控量

控制对象是指控制系统所控制的具体物体，比如电烤箱、冰箱、电灯等。而被控量是指控制对象的被控物理量，如温度、压力、位移、速度、加速度等。

另外要注意的是被控量是指控制系统最终要控制的量。比如，有些加热器是通过控制加热时间的长短来控制温度的。需要温度高就延长加热时间，需要温度低就缩短加热时间。但这时最终所要控制的是温度，因此温度是被控量。

有时被控量可能是多个。比如，电烤箱的被控量是烤箱的温度和加热的时间。既可以控制加热温度的高低，也可以控制加热时间的长短。

四、参考资料

还有一些控制方式教材中没有介绍，但在实际中也经常采用。在此做简要介绍。

1. 逻辑控制

逻辑控制是对接受的控制信号进行判断，然后根据信号的逻辑关系实施的控制。比如一个建筑物中有很多个火灾报警按钮。当发生火灾时，按下任何一个按钮，建筑物的报警系统都会报警。这些火灾报警按钮之间的逻辑关系叫作“或”。再如某核国家的核武器发射按钮有3个，总统、国防部长和核基地总指挥手中各有一个。要发射核武器时，必须3个按钮全部按下，其中任何一个核按钮没有按下核武器都不能发射。这些核按钮之间的逻辑关系叫作“与”。

在逻辑控制中还有其他的逻辑关系。

逻辑控制的应用很多，电梯中就采用了一些逻辑控制。比如电梯上升时，必须有上升到某个楼层的信号，同时还要有电梯门已经关好的信号，电梯才会上升。这就是“与”关系。电梯在底层时，楼上任何一层发出信号电梯都会上升。这就是“或”关系。公路和铁路的交通信号灯也采用了逻辑控制。工业生产流水线和许多机床上都采用了逻辑控制。

逻辑控制通常用电路实现，可编程控制器也可实现逻辑控制。

2. 程序控制

程序控制是通过控制实现预先设定的工作流程、路线或步骤的控制方法。

第三节 控制系统

一、教学目标

- (1) 了解控制系统的组成及各部分的作用。
- (2) 会画简单控制系统的框图。

二、结构分析

为了便于学生理解和掌握，首先介绍最基本的控制系统的组成，让学生对控制系统建立一

个初步的概念。

在掌握基本控制系统组成的基础上讲解具体控制元器件。让学生了解组成控制系统的传感器、控制器、执行器等元器件的功能、原理。传感器、控制器、执行器的种类繁多，原理、功能各异。本节所介绍的只是其中较常用的一部分。

反馈控制是本章的难点。带反馈的控制系统组成比基本控制系统复杂。由于不同的系统其组成各不相同，为了便于分析，利用了控制系统框图。控制系统框图是一种抽象的表达方式，初次接触的学生不太容易理解和掌握。因此教材中列举了多个例子，以便学生学习。

三、教学建议与说明

(1) 可以结合自动驾驶汽车对控制系统组成的分析，让学生知道控制系统由哪些部分组成。

(2) 结合人体的控制对传感器、控制器、执行器进行讲解：控制器（大脑）、传感器（五官）、执行器（四肢）。通过分析人的各种动作，讲解人体控制的过程。让学生了解传感器、控制器、执行器的作用以及认识常用的传感器、控制器、执行器。讲解时可以结合一些演示实验。

①传感器：热电偶、双金属片、光敏电阻、声控开关等。

②控制器：定时开关、机械开关（行程开关）、继电器、电子定时开关、单片机。

③执行器：电磁铁、电机。

(3) 控制系统框图：首先讲解框图所代表的意义。用框图表达简单的控制系统和较复杂的控制系统。

(4) 干扰：干扰因素很多，比如电冰箱控制系统，其被控量是电冰箱内的温度。环境温度变化、电冰箱内存物品多少和这些物品的温度、开电冰箱门的频繁程度都会影响电冰箱内的温度，这些都是电冰箱温度的干扰因素。控制系统应当具有一定的抗干扰能力，即当干扰使被控量发生偏离时控制系统能够自动纠正。比如，电冰箱内的温度由于环境温度升高而升高，则电冰箱延长工作时间使温度下降。

四、参考资料

1. 行程开关

行程开关是在受控元件的运动到达设定位置时触动触头使开关切换，从而实现电路换接的控制开关。这种开关的结构如图 4.6 所示，当操作钮 1 受到外界机械作用而向下运动时，通过拉钩 2 将弹簧 3 拉伸，弹簧被拉伸到一定长度后，就使动触头 4 瞬时动作，脱离动断静触头 5 而与动合静触头 6 接触。当外界机械作用力消除后，在弹簧恢复力的作用下，触头又瞬间进行切换，恢复原状。许多控制运动位置的控制都用到行程开关。

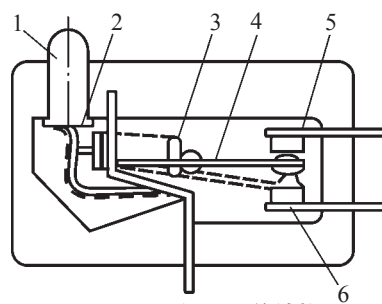


图 4.6 行程开关结构

2. 热电偶

两种不同材料的导体连接到一起时，若两接点温度不同，则在该电路中会产生电动势。这种现象称为热电效应，热电偶就是利用热电效应来测量温度的（图 4.7）。图中两个接点，一个称测量端，或称热端；另一个称参考端，或称冷端。测量端放到被测物体或环境处，参考端处在室温或放入冰水中（0℃）。用测量表测出热电偶的电动势就可以知道被测物体或环境的

温度。

理论上说，任何两种不同的导体都可以制成热电偶。但由于热电效应的特性不同，实际上常用的热电偶只有镍铬－镍硅、镍铬－镍铝、镍铬－考铜（康铜）、铂－铑等几种。

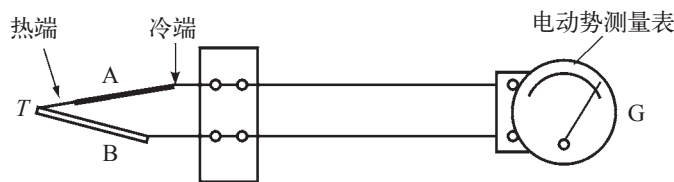


图 4.7 热电偶原理图

3. 光敏电阻

光敏电阻是用光敏半导体材料制成的。这种材料在没有光照时的电阻（暗电阻）很大，在光照作用下其电阻急剧下降形成导通（图 4.8）。

为了提高光敏电阻的灵敏度，经常把电极做成梳状以增加导电面积。

利用光敏电阻的光电特性可以把光敏电阻当作光传感器。声控楼道灯的控制中就采用了光敏电阻。在白天，光敏电阻接受光照使控制电路截止，即使有声响灯也不亮；而在晚上，光敏电阻不接受光照，控制电路处于待机状态。一旦“听”到声音，电灯就自动点亮。路灯的控制也采用了光敏电阻。

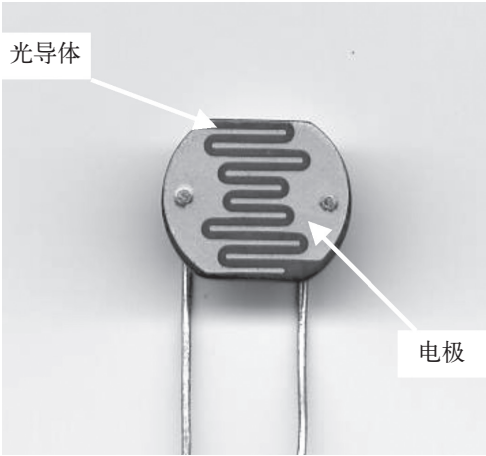


图 4.8 光敏电阻原理图

4. 光检测器

光检测器也叫光电开关，是利用光线对被测物体的反应进行检测的传感器。常用的光检测器有反射式和遮光式两种。图 4.9 为反射式光检测器原理图。当有物体将发光二极管发出的光反射到光电晶体管上时，光电晶体管导通，光检测器有信号输出；当物体离开后，光线消失，光电晶体管不导通，光检测器没有信号输出。

光检测器可以用来检测物体的有或无，例如装置在生产流水线上检测产品数量和位置，安装在电梯门上检测是否有人或物体妨碍关门，安装在大门口处计算通过的人数等。地铁的自动门上也安装了光检测器，在门的一侧装有光发射器，另一侧装有光接收器。把车票插入检票口时门挡打开，当有人通过门挡时遮挡了光发射器发出的光线，被光检测器检测到，门挡随后关闭。

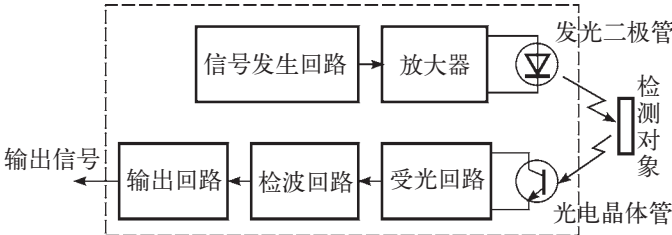


图 4.9 反射式光检测器原理图

光检测器可以采用红外线进行检测。如保安系统就经常采用红外线遮光式检测器。当有人进入安全防护区时遮挡了检测器的红外光束，检测器就会立即发出警报。而入侵者根本看不见红外光束，还不知道已经被发现了。

将发光器件与光敏元件集成在一起的光检测器叫光电耦合器件，图 4.10 和图 4.11 分别为其原理图和结构图。由发光二极管发出的光照射到光敏二极管上，使光敏二极管导通。当被测物体进入检测缝隙时遮住了光线，光敏二极管不导通。光电耦合器以发光二极管作为发射器件，以光敏二极管或光敏三极管作为接收器件。

光电耦合器可以隔绝电磁干扰，在很多需要抗干扰的开关、继电器及控制系统和控制器件中使用，上面讲的光检测器也是光电耦合器。

5. 固态继电器

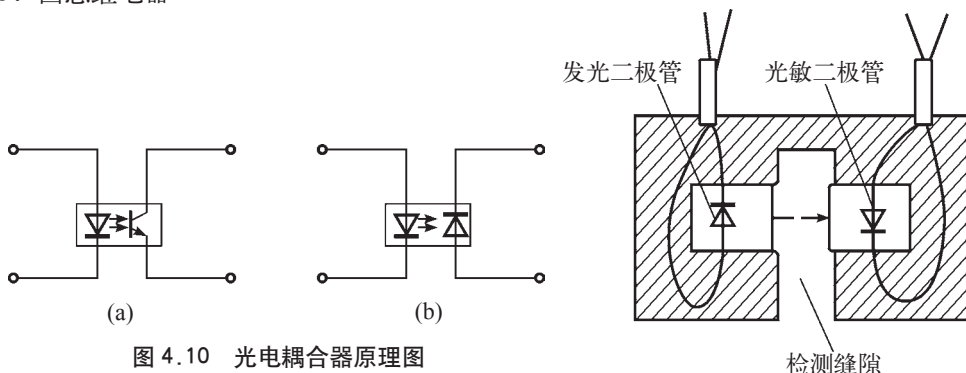


图 4.10 光电耦合器原理图

图 4.11 光电耦合器结构图

固态继电器简称 SSR，它是一种采用固体元件组装而成的隔离式无触点开关器件，是近年来从国外引进、发展较迅速、应用日益广泛的一种新技术产品。固态继电器工作可靠，功耗小，无触点，无火花，无噪声，开关速度快，使用寿命长，尤其是它能直接与数字电路相接，非常适合在计算机系统、自动控制系统、办公自动化系统、矿井防爆场合或演播装置无声响控制处使用。

固态继电器由输入电路、隔离器件和输出电路三部分组成（图 4.12）。输入电路一般都使用输入电阻来限制输入电流，电流的大小随输入电压的变化呈线性变化。固态继电器的隔离器件是光电耦合器，它们把输入电路和输出电路在电气上隔离成两个互不相关的电路，但又为信号的传递提供了耦合通道。输出一般是由晶闸管（可控硅）作为无触点开关。

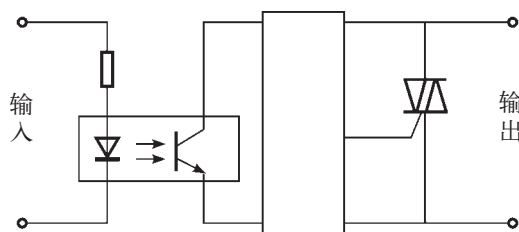


图 4.12 固态继电器的组成

6. 单片机

一台计算机由这样几部分构成：CPU（进行运算、控制）、RAM（数据存储）、ROM（程序存储）、输入 / 输出设备（例如：串行口、并行输出口等）。在个人计算机上这些部分由若

干块芯片安装在计算机主板上。而在单片机中，这些部分全部被做到一块集成电路芯片中了，所以就称为单片机。

单片机具有计算机的基本功能，可以进行运算、数据存储、程序存储和输入输出。可以作为各种电器的控制器，如洗衣机、空调、照相机、电饭锅等家用电器的控制，汽车电器控制，智能电表、智能水表以及各种工业控制等。我们常听到“微电脑洗衣机”“微电脑电饭锅”等，其中说的“微电脑”就是单片机。当然单片机的存储容量、计算速度、功能比计算机要差得多，但是对于常用的控制系统来说已经够用了。而且随着技术的发展，单片机芯片集成度越来越高，其功能越来越强大，与计算机的差距已经很小了。

7. 可编程控制器

可编程控制器（programmable logic controller，简称 PLC），是在传统的顺序控制器的基础上引入微电子技术和计算机技术而形成的一代新型工业控制装置，目的是用来取代继电器，执行逻辑、计时、计数等顺序控制功能，建立柔性的程控系统。

世界上自 1836 年发明电磁继电器以来，人们就开始用导线把各种继电器、定时器、计数器及其接点连接起来，并按一定的逻辑关系组成顺序控制器，控制各种生产机械。这种以硬接线方式构成的控制系统，至今仍在使用。但是，对于复杂的控制系统，就要用几十个甚至上百个继电器，使得控制系统庞大复杂，设计制造困难，成本高。使用时如果某一继电器损坏，甚至一个继电器的某一对触点接触不良，都会影响整个控制系统的正常运行。查找和排除故障往往是非常困难的，有时可能要花费很长的时间。如果生产工艺发生变化，控制柜的元件及其接线也要随着更换和改变，十分麻烦。

随着计算机技术的发展和微处理器的出现，人们发明了可编程控制器替代由各种继电器、定时器构成的控制系统。可编程控制器实际上可以看作是由计算机（单片机）控制的若干个固态继电器构成的控制系统。它包括了若干信号输入接口和输出接口、定时器、计数器、存储器和各种继电器。可编程控制器接收各种外来信号，采用可编程序的存储器，对在其内部进行逻辑运算、顺序控制、定时、计数和算术运算等操作发出指令，并通过输出接口控制各种类型的机械运动或生产过程。

可编程控制器的可靠性大大高于继电器控制系统，设计、使用、修改十分方便。在工业和其他控制场合得到了广泛应用。数控机床、装配线、生产流水线、电梯都采用了可编程控制器。

8. 火箭控制技术

运载火箭没有驾驶员和领航员，它将物体准确地送到目的地的任务，由火箭的控制系统来完成。火箭控制系统主要包括测试发射控制系统、导航系统、姿态控制系统和电源配电系统。火箭控制系统是一个非常复杂的综合系统。

测试发射控制系统是火箭发射前人机对话的主要接口，通过箭地通信，可掌握箭上设备的工作情况和各种参数，最后控制火箭发射。

导航系统控制火箭的质心按预定的轨迹运动，即控制火箭的飞行精度，保证所运载的航天器准确入轨。

姿态控制系统控制火箭飞行绕质心的运动（俯仰、偏航和滚动），保证火箭按规定的姿态飞行。

测量仪表是火箭的耳目。导航方式不同，其种类有所不同，最主要的测量仪表有陀螺和加速度表。高速旋转的陀螺，能始终保持自身的方向不变，并能觉察到火箭姿态的任何变化。利

用陀螺原理制造的加速度表，则能感受火箭速度的变化。火箭上还有大量的其他检测仪表，用于检测火箭的各种参数，如火箭各处的温度、压力、振动、燃料的数量、发动机的工作状况等。

电子计算机是火箭的大脑，一旦接到测量仪表发来的火箭飞行路线和姿态变化的信号，就立即进行计算，并进行综合处理，将信号放大，传给执行机构，并控制执行机构进行工作。

执行机构是控制系统的手脚。有电磁阀门及电爆器件、舵机、姿态喷管、摇摆发动机及控制摇摆发动机运动的伺服机构等，它们严格按照中间装置传来的信号命令，使发动机点火、关机，纠正飞行路线和姿态的偏差，使火箭级间分离和有效载荷分离等。

第四节 控制系统的设计与制作

一、教学目标

- (1) 了解控制系统设计的内容和流程。
- (2) 能够根据要求设计简单的控制装置。
- (3) 能够在老师指导下制作和调试简单的控制装置；培养动手解决实际问题的能力。

二、结构分析

在解决一个实际的控制问题时首先是进行设计，针对控制要求设计出合理可行的控制系统；然后根据设计方案进行制作。本节内容也是根据上述工作流程先讲述控制系统的设计，然后介绍具体的制作。

设计控制系统时首先应该明确控制的目的和要求，知道控制对象和被控量是什么，被控量的控制范围和控制精度。有时控制对象和被控量很明确、直观，有时则需要经过分析才能找出。

明确了控制对象和被控量后需要分析如何对被控量进行控制，确定控制总体方案。总体方案要考虑的问题是如何对被控量进行控制，如何保证被控量能控制在要求范围之内，如何保证控制精度等。总体方案是控制系统设计的核心，被控量的确定是设计的关键。

三、教学建议与说明

本节教学内容分成两个部分，控制系统设计和控制装置制作。但在教学安排上可以把设计和制作联系在一起，便于学生理解和掌握。

可以先由教师带学生一起对一个简单的控制系统（如光敏电阻控制灯泡）进行设计制作。了解设计控制系统要考虑的内容、设计流程和制作工序。然后可以让学生在此基础上进行演绎。比如改变控制对象（把灯泡换成蜂鸣器）、改变传感器（光敏电阻换成热敏电阻）。可以只进行讨论，开拓思路即可。如果有条件制作最好，但要注意电路的匹配问题。需要事先做好试验和准备。

1. 温度控制系统

对温度控制系统的方案设计可以开展讨论，教师对讨论的内容进行引导，让学生对方案设计中所涉及的问题提出各种解决方法。如加热方式可以采用电热式、火焰加热式（当然，电热式容易实现控制）。控制器可以用温度开关（双金属片开关）、热电偶控温器等。最后的结论（即温度控制系统的方案）应合理可行。

温度控制系统的方案设计中涉及一些计算。对于加热器功率的计算,由于涉及的因素很多,许多因素不确定,计算复杂。可以通过事先的试验确定后直接告诉学生。其他,如指示灯电压、功率的计算,开关电压、电流的计算等比较简单,可以让学生自己做。

另外,让学生考虑温度控制系统还可以应用到哪里(如房间、温室等),系统还要做哪些修改(加热方式、测温方法、控制方法等)。

温度控制系统的制作和调试可以采用实验课的方式,以学生为主进行,老师给予辅导。可以几个学生一组进行设计制作,分工合作完成,以培养团结协作的意识。在制作时要注意安全。

2. 定时升国旗时间控制装置

定时升国旗时间控制装置包括了定时控制和位置控制。

方案设计时可首先明确控制装置的作用,根据其工作流程决定进行哪些控制。具体的控制方式和控制元器件的选择也可同时讨论决定。如当国旗升到旗杆顶部时需要断开电动机电源,如何实现?选择哪种控制方式和控制元器件?可以用行程开关,也可以用磁敏开关、光耦合器件等进行位置控制。

定时升国旗时间控制装置是一个包括机械装置和控制系统的较为复杂的装置,全部由学生设计制作难度较大。教师应事先做好准备工作。有些零件应事先加工好,或完成较难加工的部分。可以先完成定时升国旗、手动降旗的装置。然后让学生讨论能否改进,并设计制作。

此外,可以结合具体情况设计制作其他控制装置,如水位控制装置、火灾报警装置、防盗报警装置、自动路灯控制装置等。

四、参考资料

1. 温度控制装置的制作和调试

(1) 控制要求。电热箱温度可以自动控制,有一个显示电热箱温度的温度计、一个显示电热箱通电加热状态的小灯泡和一个电源指示灯。接通电源后,当温度低于设定值时自动增加电功率,高于设定值时自动减小电功率,使温度控制在设定值左右。设计要求该恒温箱温度波动较小。图 4.13 为电热箱温度控制原理图。

(2) 元器件选择(电源为交流 12V, 最大电流 2A)。

① K_1 : 电源开关(24V, 2A)。

② K_2 : 控制温度为设定值的双金属片制作的温度开关(用现成产品)。

③ L_1 、 L_2 : 电源指示灯、加热指示灯(2.5V, 0.3A)。

④ R_1 、 R_2 : 指示灯 L_1 、 L_2 的分流电阻(2Ω , 2W)。

⑤ R_3 : 线绕陶瓷大功率半可调电阻(20Ω , 15W)。

⑥ R_4 : 线绕陶瓷大功率固定电阻(10Ω , 15W)。

⑦ 其他材料: R_1 、 R_2 的固定螺丝、导线。

(3) 方案设计及工作过程。电路如图 4.14 所示,接通电源开关 K_1 时,因为温度低于设定值,温度开关 K_2 接通,两个指示灯都亮,热功率为 R_3 、 R_4 两个电阻的功率之和,箱内温度升高。当温度高于设定值时,温度开关 K_2 断开,热功率减为 R_3 一个电阻的功率,加热指示灯熄灭。

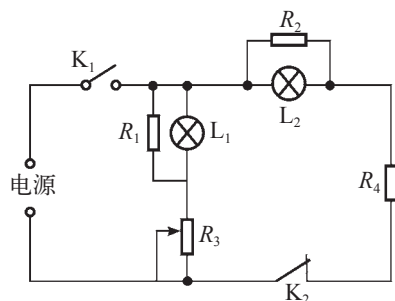


图 4.13 电热箱温度控制原理图

R_3 电阻为可调电阻, 电阻应调在只有 R_3 发热时, 平衡温度稍低于设定值, 这样使温度开关 K_2 断开后温度下降较慢, 温度波动小, K_2 通断频率低。

(4) 制作及调试。

①制作前的准备工作:

a. 准备工具: 手电钻和钻头一套; 锯子、尖嘴钳、螺丝刀、克丝钳、电烙铁、镊子各一把, 万用表一块。

b. 用绝缘材料做一个 $40\text{cm} \times 20\text{cm} \times 20\text{cm}$ 的恒温箱。底板上打两个固定 R_3 、 R_4 的圆孔, 前板打一个电源开关固定圆孔、两个指示灯圆孔、温度计长孔, 后板打一个电源线圆孔。

c. 检查元器件: 用万用表欧姆挡检查各开关、导线和小灯的通断情况, 测量各电阻的阻值是否正确。

②制作安装:

a. 按电路将各元器件接好, 通电后用万用表测量各电阻和指示灯的电压, 计算其功率是否在额定功率以内。尤其是指示灯的功率, 不符合要求需要换分流电阻。

b. 断开电源, 将连接 K_2 的导线断开, 密封恒温箱后通电, 10min 后看温度计读数, 温度应比设定值低十几度, 此温度由调整 R_3 电阻值达到要求。温度偏低减小电阻, 温度偏高增大电阻, 需要调整数次, 合格后固定 R_3 电阻。

c. 断开电源, 连接好 K_2 , 再次通电, 10min 后观察温度计, 看温度是否控制在设定值的附近, 观察温度变化幅度, 从指示灯 L_2 的亮灭判断 K_2 的通断频率。

2. 定时升降国旗时间控制装置的设计与制作

(1) 控制要求。每天早上 7:00 准时正向启动, 将国旗升上旗杆, 同时唱国歌, 国旗上到旗杆顶部自动停止, 同时国歌停止。每天晚上 6:00 准时反向启动, 将国旗降下旗杆, 国旗下降到旗杆底部自动停止。

(2) 元器件选择。说明一点, 我们这里所说的控制装置只是一个小模型。

①电源开关 (K_1): 普通电源开关 (25V, 1A)。

②控制器 (K_3 、 K_4): 电子定时开关, 或将 2 个改装后的电子闹钟作为定时器开关。

③执行器 (M): 直流减速电动机 1 个 (3V, 1W, 30r/min)。

④行程开关 (K_2): 双刀双掷灵敏开关 (12V, 1A)。

⑤整流二极管 (D_1 、 D_2 、 D_3): 型号 1N4001。

⑥录音机或其他播放设备 1 台。

⑦旗杆 1 根 (50cm); 底板 1 块 ($24\text{cm} \times 12\text{cm} \times 1\text{cm}$)。

⑧单槽滑轮 2 个: 1 个直径 30mm, 1 个直径 60mm; 双槽滑轮 1 个, 直径 60mm。

⑨皮带 2 条, 触发行程开关用触发块 2 个。

(3) 方案设计及工作过程。电路如图 4.15 所示, 用定时器 K_3 、 K_4 作为控制器, 电动机作为执行器, 用行程开关控制电动机停止并换向。

(4) 工作原理。初始状态国旗在底部, 行程开关处在 1 位置, 定时器 K_3 调在早上 7:00, 定时器 K_4 调在晚上 6:00, 将电源开关 K_1 闭合进入工作状态, 若晚上 6:00 先到时, K_4 闭合, D_2

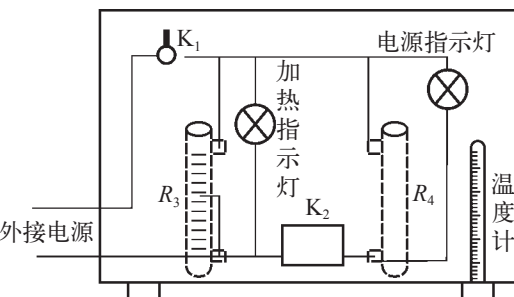


图 4.14 电热箱电路图

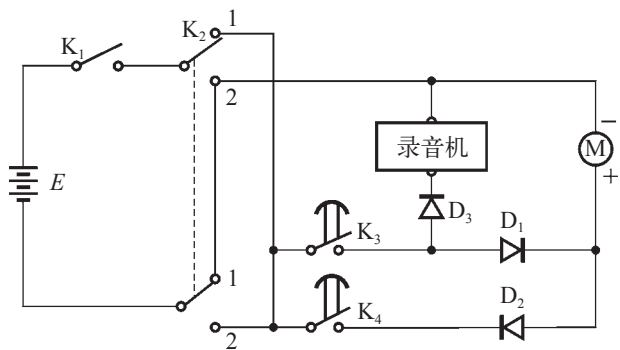
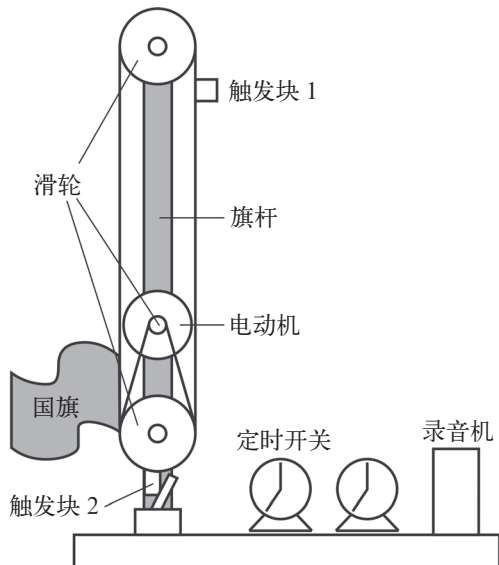
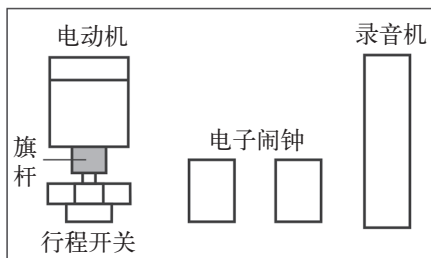


图 4.15 定时升旗控制电路原理图

反向，电动机无电流，几分钟后 K_3 断开。若早上7:00先到时，定时器 K_3 闭合， D_1 、 D_3 正向导通，电动机有正向电流，正向转动，升国旗。通过 D_3 录音机放国歌，当国旗升到顶端时，触发块1触动行程开关 K_2 接到2位置，此时 D_1 、 D_3 反向截止，电动机停止转动，录音机停止放国歌，几分钟后 K_3 断开。当时间到晚上6:00时，定时器 K_4 闭合， D_2 正向导通，电动机有反向电流，反向转动，降国旗。当国旗降到底部时，触发块2触动行程开关 K_2 接到1位置，此时 D_2 反向截止，电动机停止转动，几分钟后 K_4 断开，恢复初始状态（图4.16）。



正视图



俯视图

图 4.16 定时升降国旗时间控制装置

(5) 制作及调试。

①制作前的准备：

a. 准备工具：万用表一块，手电钻和钻头一套，尖嘴钳、螺丝刀、克丝钳、电烙铁、镊子各一把。

b. 改装2只电子闹钟：打开闹钟后盖，卸掉蜂鸣器，将控制蜂鸣器的闹时开关与闹钟的电路切断。 K_3 一端焊接 D_1 、 D_3 正极，并引出3根线； K_4 一端焊接 D_2 负极，并引出2根线。二极管装在闹钟内，引线用不同颜色区分其作用。也可以用如图4.17所示的定时器。

c. 检查元器件：用万用表欧姆挡检查各开关、二极管和导线通断情况；检查电子闹钟闹时开关是否能正常工作。电源与电动机正反向连接，检查是否能正反向正常转动，用绕线方法检查电动机的转速是否符合要求。

②制作安装:

a. 在旗杆和绝缘板上用尺子和铅笔画出各元器件的安装位置和空线孔等的钻孔位置, 按照画出的孔位和所需要的大小钻出各个孔、钻滑轮安装孔、电动机固定螺钉孔。上滑轮和电动机的安装孔为上下长孔, 便于调整皮带的张紧力。

b. 安装各个构件及元器件, 安装位置如图 4.16 所示, 装上皮带。

c. 把各元器件、零件安装到各自的位置上, 用螺丝钉固定, 把旗子和触发块固定到皮带上。

d. 用电线把各元器件连接起来。检查接线无误后准备通电调试。

③调试:

a. 调整上滑轮和电动机的位置, 使皮带的张紧力符合要求: 滑轮转动时, 既不打滑又不影响电动机的转速。皮带的松紧可以微调升旗时间长短, 紧些时间长, 松些时间短, 升旗时间调整在 10s 左右。

b. 调整触发块的位置, 使得国旗升到顶端时触发块 1 正好触动行程开关 K_2 至位置 2, 国旗降到底部时触发块 2 正好触动行程开关 K_2 至位置 1。

c. 用手动开关代替两个电子钟的通和断, 检查升旗和降旗是否能正常工作。一切正常后设定两个电子钟时间, 试一下定时升旗和降旗装置的工作全过程 (时间可设定得短些)。



图 4.17 定时器