

自动化 导学与实践

胡立坤 韦善革 梁旭斌/主编



科学出版社

自动化导学与实践

胡立坤 韦善革 梁旭斌 / 主编

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书主要内容可以用 12²3³ 概括, 围绕电气自动化一条主线; 学习使用两类工具仪器 (电工工具和常用仪器), 掌握两类电学基础知识 (基本电路知识、电子元器件知识); 掌握三类执行传感元件 (电气执行传感元件、机械执行元件、液压气动元件), 学会三个工程软件 (Altium Designer、AutoCAD、SolidWorks), 构建三个系统 (接触器-继电器电气控制系统、机械液压气动系统、温度闭环控制系统)。为贯彻“学中做、做中学”的教学理念, 配套出版了《自动化基础实训》。

本书可供自动化、电气工程及其自动化、机械电子工程等专业教学使用, 也可作为相关特设专业如机器人工程、轨道交通信号与控制、建筑电气与智能化、电气工程与智能控制等专业教学参考书。

图书在版编目(CIP)数据

自动化导学与实践/胡立坤, 韦善革, 梁旭斌主编. —北京: 科学出版社, 2019.3

ISBN 978-7-03-060625-9

I. ①自… II. ①胡… ②韦… ③梁… III. ①自动化技术—教材
IV. ①TP2

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2019) 第 034994 号

责任编辑: 郭勇斌 肖 雷 邓新平/责任校对: 邹慧卿

责任印制: 张克忠/封面设计: 无极书装

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

天津文林印务有限公司 印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2019 年 3 月第 一 版 开本: 787×1092 1/16

2019 年 3 月第一次印刷 印张: 34

字数: 793 000

定价: 88.00 元

(如有印装质量问题, 我社负责调换)

前 言

涉电涉机类专业的实践性非常强,长期以来,涉电涉机类专业往往在低年级安排基础理论课,而较少考虑安排系统性的低年级动手实践课程,这导致学生在大学时期,相当一部分学生动手实践能力欠缺,这里忽视了一个关键点:学生的动手实践能力应是循序渐进培养起来的。所以,要强化学生的动手实践能力必须从低年级开始抓起,这也是新时代工程教育的内在要求——提高全体工程专业学生动手实践能力。正是应这一要求,同时考虑与高中物理、数学知识的衔接,编写了适用于培养自动化、电气、机械类等相关专业低年级学生动手能力的教材。

本书共 14 章。第 1 章以“无处不在的自动化”为题简明扼要地阐述了自动化方方面面的应用、发展简史、基本概念和原理及三个工程设计软件;第 2 章围绕三个无源元件阐述了电路基本定律及应用;第 3 章阐述了各类电子元器件概念、分类、标识、检测等,对接插件和导线的基本常识进行了介绍;第 4 章介绍了常用的电工工具和常用仪器有;第 5 章介绍了电能产生、传输、变换、分配、使用方面的基础知识,并对安全用电进行了较详细地阐述;第 6 章介绍了使用 Altium Designer 软件绘制电子线图与印制电路板的基本方法;第 7 章对常用的低压电器和高压电器及电气控制元件和电机进行了介绍;第 8 章对常用的机械元件进行了介绍;第 9 章对常用的液压气动元件进行了介绍;第 10 章对电气、机械、液压气动系统进行了介绍,通过一些例子阐述了基本工作原理;第 11 章对 AutoCAD 绘制电气工程图与机械零件图进行了简要介绍;第 12 章介绍了检测相关的基本概念与数据获取、处理基本方法,并对温度传感器进行了重点介绍,为构件温度控制闭环系统奠定基础;第 13 章介绍了闭环控制系统的基本原理,并构建了一个简易温度控制系统;第 14 章介绍了使用 SolidWorks 设计三维造型的基本方法。

本书的内容丰富,教师应在课堂上择取对低年级学生难以理解的重点内容进行详细讲授,而对其他内容只作引导性讲授,并在教学过程中主动引导学生自主学习。本书配有习题册,以配合学生自主学习,可以向编者索取。同时,建议教师布置适量的调研任务(如电子元器件、电器与电机、机械元件、液压气动元件等方面的市场调研),安排与课程内容相关的企业观摩课,或者请企业讲师进课堂。另外,为方便开展与本书相关的实训,配套实践教材《自动化基础实训》已于 2018 年 7 月出版。

本书的写作分工为:广西大学胡立坤撰写了第 1、2、3、6、8、10、11、14 章,广西大学韦善革撰写了第 12、13 章,广西大学梁旭斌撰写了第 9 章,中国船舶重工集团公

司第七十一研究所李波撰写了第 7 章，广西电网有限责任公司吴敏撰写了第 5 章，安阳工学院邢春芳撰写了第 4 章，最后由胡立坤负责统稿。在撰写本书期间，得到了广西大学的莫仕勋、梁冰红、蔡义明、卢泉、杨达亮、黄奂、黄清宝、黄阳、李深旺、卢子广、李国进等的帮助，在此对他们表示衷心的感谢。

由于编著者水平有限，书中难免存在不足和错误，殷切希望广大读者批评指正。

编 者

2019 年 2 月于南宁

目 录

前言

第 1 章 绪论	1
1.1 生活与工作中的自动化	1
1.2 自动化发展历史	3
1.3 常见的三类自动化控制系统	8
1.4 实现工业系统的基本形式与各部分的物化	11
1.5 初识自动化系统设计中常用工程设计软件	20
1.6 关于本课程的学习	23
第 2 章 电路基本定律与计算	24
2.1 引言	24
2.2 电路作用、组成部分	25
2.3 电路的模型	26
2.4 电流和电压的参考方向	26
2.5 电路基本定律与应用	27
2.6 电源及其等效模型	30
2.7 电路参数的计算	33
2.8 基本动态电路——电容的充电过程、电感的储能过程	37
2.9 小结	40
第 3 章 基础电子元器件、接插件和导线	42
3.1 引言	42
3.2 电阻器与电位器	42
3.3 电容器	54
3.4 电感器	62
3.5 变压器	67
3.6 二极管	72
3.7 其他半导体分立器件	76
3.8 集成稳压器	82
3.9 其他常用器件	84

3.10 接插件	86
3.11 导线	92
3.12 小结	94
第4章 常用工具与仪表	96
4.1 常用电工工具与使用	96
4.2 测量工具	106
4.3 小结	119
第5章 电源及用电安全	120
5.1 电能与电力系统	120
5.2 配电系统	121
5.3 单相交流电	122
5.4 三相交流电	125
5.5 线性直流稳压电源	130
5.6 电磁干扰与电磁兼容性	133
5.7 用电安全	135
5.8 小结	150
第6章 Altium Designer 软件绘制电子线路图与印制	151
6.1 Altium Designer 软件概况	151
6.2 工程文件与图纸模板	154
6.3 PCB 工程设计基础	159
6.4 集成库工程设计基础	172
6.5 线路板的制造与焊接	184
6.6 小结	188
第7章 电器与电机	189
7.1 引言	189
7.2 电器的基本知识	189
7.3 电器基本理论	191
7.4 低压开关电器	197
7.5 熔断器	203
7.6 低压接触器	206
7.7 低压继电器	210
7.8 低压主令电器	221
7.9 高压开关电器	225
7.10 高压熔断器	238
7.11 电力电容器	239

7.12 电气控制元件	242
7.13 电机及其分类	246
7.14 交流电机	247
7.15 直流电机	253
7.16 常用控制执行电机	255
7.17 电动调节阀与电磁阀	256
7.18 小结	256
第8章 机械元件——机械执行器	257
8.1 引言	257
8.2 机构的基本概念与分类	257
8.3 轮机构	263
8.4 螺旋机构	271
8.5 导轨	272
8.6 连杆机构	274
8.7 杠杆机构	277
8.8 伸缩机构	278
8.9 取物机构	279
8.10 机构的组合	280
8.11 机架	283
8.12 小结	283
第9章 流体（液压和气动）元件	285
9.1 引言	285
9.2 流体传动的基本原理	286
9.3 流体动力装置	289
9.4 液压执行元件	298
9.5 气动执行元件	302
9.6 液压调节控制元件	305
9.7 气压调节控制元件	323
9.8 液压与气动辅助装置	338
9.9 小结	341
第10章 电气、液压、气动基本控制系统	342
10.1 引言	342
10.2 电气传动控制系统的概念与考虑的问题	342
10.3 电气传动控制系统的选型问题	342
10.4 三相异步电动机常用典型控制电路	344
10.5 电气控制系统图的绘制与识读	358

10.6	液压基本回路	362
10.7	气动基本回路	384
10.8	液压气动传动系统图绘制与识读	405
10.9	机械传动系统图的绘制与识读	407
10.10	典型系统	407
10.11	电气、液压、气动传动系统设计	419
10.12	小结	420
第 11 章	AutoCAD 绘制工程图	421
11.1	AutoCAD 软件概况	421
11.2	AutoCAD 2014 基础知识	422
11.3	电气工程图绘制	434
11.4	机械工程图绘制	436
11.5	小结	441
第 12 章	检测与仪表	442
12.1	引言	442
12.2	检测的基本概念	442
12.3	电工电子测量仪表及其性能	458
12.4	传感器	471
12.5	检测仪表	484
12.6	小结	491
第 13 章	温度控制系统与构建	492
13.1	温度控制系统的构成	492
13.2	通用测量控制系统的组成与品质指标	494
13.3	温度控制器的调节原理	497
13.4	一个简易温度控制系统的构建	508
13.5	小结	510
第 14 章	基于 SolidWorks 的屏箱框体实体造型	511
14.1	SolidWorks 软件概况	511
14.2	零件实例设计讲解	514
14.3	工程图纸设计	523
14.4	装配体设计	526
14.5	PhotoView 360 渲染	530
14.6	SolidWorks 与其他软件的关联	533
14.7	小结	534

第1章 绪 论

1.1 生活与工作自动化

自动化（automation）是指机器设备、系统或过程（生产、管理过程），在没有人或较少人直接参与的情况下，按照人的要求，经过自动检测、信息处理、分析判断、操纵控制，实现预期的目标。

自动化是一门对社会发展有着重要影响的综合性技术，所涉及的范围非常广阔，包括农业（第一产业）自动化（图 1-1）、工业（第二产业）自动化（图 1-2）和服务业（第三产业）自动化（图 1-3）。工业不仅在国民经济中有着举足轻重的地位，还在国家综合实力提升方面起着重要的作用，工业自动化对工业大规模、高品质生产起着支撑作用。



（a）温室大棚

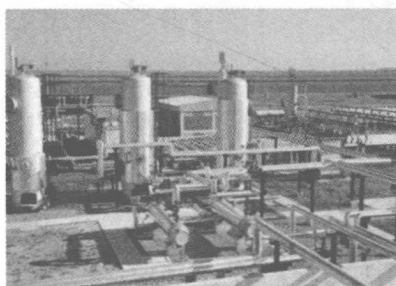


（b）无人驾驶农机



（c）精准灌溉或喷药无人机

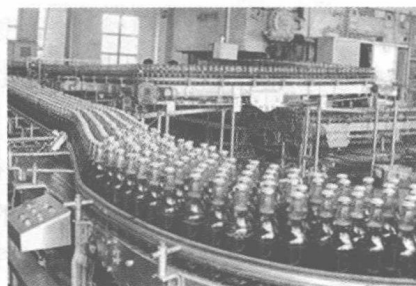
图 1-1 农业自动化



（a）化工产品生产线

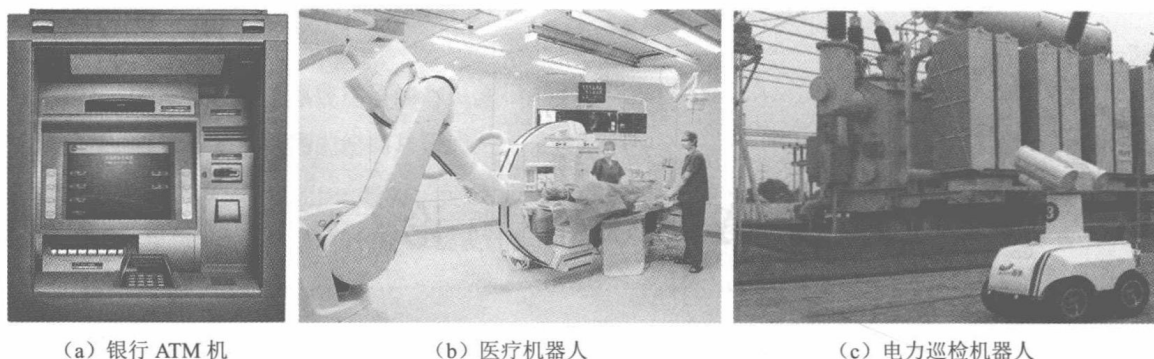


（b）钢铁高速线材生产线



（c）啤酒生产线

图 1-2 工业自动化



(a) 银行 ATM 机

(b) 医疗机器人

(c) 电力巡检机器人

图 1-3 服务业自动化

工业化通常是指工业或第二产业产值在国民生产总值中比重不断上升的过程，以及工业就业人数在总就业人数中比重不断上升的过程，它是人类通向现代文明的必由之路，也是一个与时俱进的、动态的概念。工业化发展经历了三个阶段：机械化时代——大规模使用机械系统；电气化时代——各机械系统加入电机、供电网络；自动化时代——加入自动控制器（自动化是工业化最重要的标志）。

工业化起源于 1760 年第一次技术革命，以动力机械（蒸汽机）的应用为标志，完成了手工业向机器大工业的过渡，工业化开始进入机械化时代。19 世纪下半叶，以电气的发明和普及应用为标志的第二次技术革命，使电机和供电网络逐步成为各生产机械的高效、安全的动力源，并逐步代替了机器系统中的动力机和传动机，使机器大工业发生了革命性的变化，人类社会进入了电气化时代。自 1927 年电子反馈放大器开始出现后，人类开始逐渐应用自动控制的方法来代替人工控制各种机械和电气设备，这使得生产的产品质量明显提高，并由此形成大规模的自动化生产线，社会生产力得到了大幅度提高，工业化进入了自动化时代。

近 20 年来，信息技术与信息产业对整个经济与社会活动产生了巨大影响，使人们在谈到自动化时无法回避信息化这一概念。所谓信息化，是指发展以计算机和通信网络为主要工具的新生产力，并使之造福于社会的历史过程。传统的工业化主要还是物质与能量的交换，在工业化中融入信息化，使工业化的基础自动化发展成更先进的自动化，物质与能量的交换在信息的控制下实现高效转换与利用，信息自然也成为人类活动不可或缺的基本要素。信息化的下一个发展阶段是知识化，所谓知识化是指以智能化信息工具的广泛应用为基础，知识被高度应用，使得人的智能潜力及社会物质资源潜力被充分发挥。先进自动化全面引入智能化就标志着人类社会将进入知识化时代。而在当下，信息化和工业化的深入融合与交织，正在催生着人类工业 4.0 时代的到来，工业 4.0 是以智能制造为主导的新型工业形式，以德国在 2011 年的德国汉诺威工业展览上提出的以实现资源、信息、物品和人相互关联的“虚拟网络-实体物理系统”（cyber-physical system, CPS）为标志，到 2013 年，德国政府将其上升为国家战略。与工业 4.0 不谋而合的是，我国工业和信息化部 2015 年发布了《中国制造 2025》，这是我国实施制造强国战略第一个十年期行动纲领。随着新一代人工智能技术的突破和知识化时代的到来，智能自动化的应用将更加普及，也能够极大地促进人类文明的进步。

工业化、信息化及知识化的关系如图 1-4 所示。

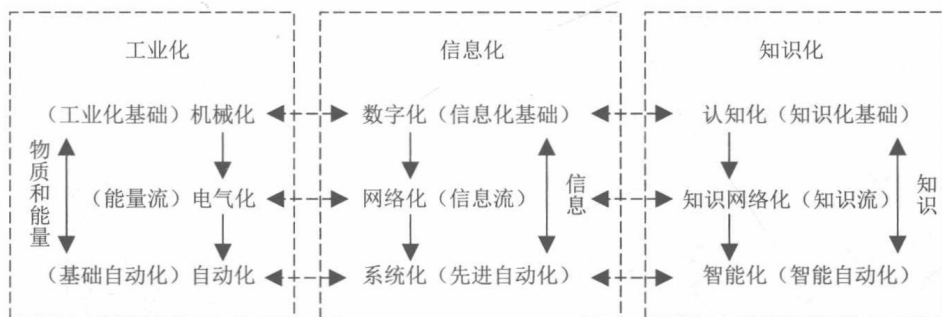


图 1-4 工业化、信息化及知识化的关系

1.2 自动化发展历史

美国福特公司的机械工程师 D.S.哈德最先在 1946 年提出“自动化”一词，最早的自动化物件可追溯到公元前。本节将简单介绍自动化发展历史。

水钟是根据等时性原理制造的。滴水记时有两种方法，一种是利用特殊容器记录把水漏完的时间（泄水型），另一种是底部不开口的容器，记录它用多少时间把水装满（受水型）。中国的水钟，最先是泄水型，自公元 85 年左右，浮子上装有漏箭的受水型漏壶逐渐流行。约在公元 120 年，著名的科学家张衡提出了用补偿壶解决随水头降低计时不准确问题的巧妙方法。公元 1090 年，天文学家苏颂设计并建成的水运仪象台堪称中古时代中国时钟的登峰造极之作（图 1-5）。该装置是一座天文钟楼，高约 12 m。顶部有一架体积庞大的球形天文仪器，即浑仪。浑仪为铜制，靠水力驱动，用于观测星相。但由于战争，这些技术没能最终保留下来，图 1-6 是厦门科技馆里一个类似于水运仪象台的仿制品。

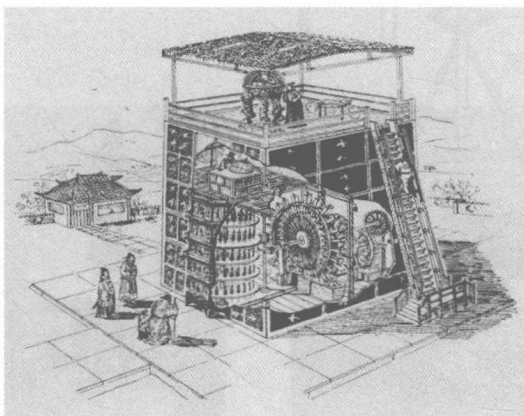


图 1-5 水运仪象台

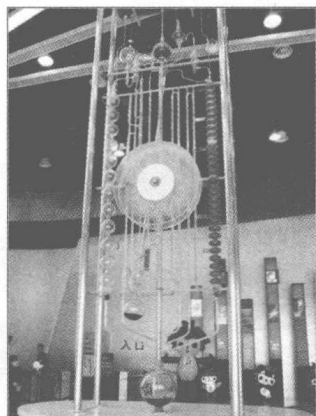


图 1-6 水运仪象台的仿制品

候风地动仪（图 1-7）是世界上第一座测验地震的仪器，张衡（图 1-8）于汉顺帝阳嘉元年（公元 132 年）制成，它是利用物体惯性制成的仪器，通过巧妙的设计，使地震

时仪体与都柱之间产生相对运动,利用这一运动触发仪内机关测验地震。据史料记载,公元 138 年候风地动仪朝向西边的那条龙突然吐丸,但当时洛阳城里并无震感,人们议论纷纷,都说候风地动仪不可靠。过了几日,送信人来到洛阳,报告说甘肃发生了大地震,从而证明了它的准确性和可靠性。

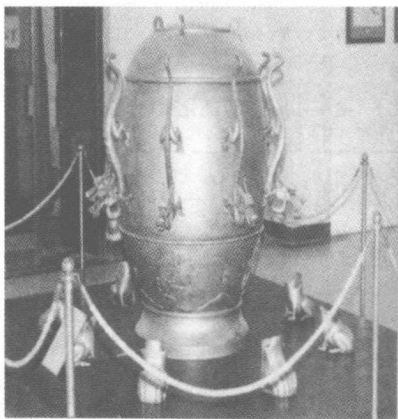


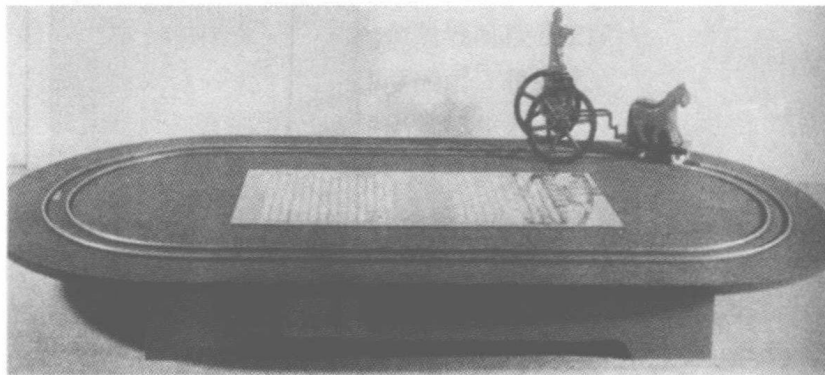
图 1-7 候风地动仪展览模型



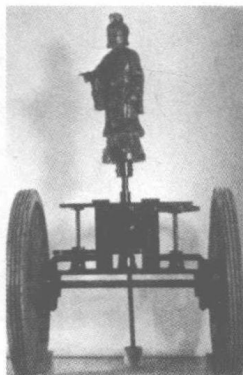
图 1-8 张衡

指南车,又称司南车,是中国古代用来指示方向的一种自动机械装置。它利用差速齿轮原理(与指南针利用地磁效应不同),利用齿轮传动系统,根据车轮的转动,由车上木人指示方向。马钧在公元 235 年研制出能自动指示方向的指南车(图 1-9),他是历史典籍记录的第一个成功制造指南车的人,他所造的指南车除用齿轮传动外,还有自动离合装置,是利用齿轮传动系统和离合装置来指示方向。公元 477 年祖冲之也制造过类似的指南车。

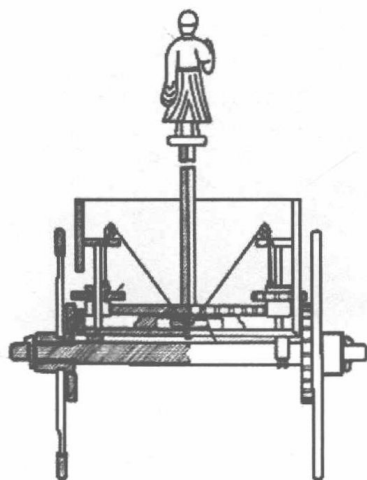
1788 年英国机械师瓦特发明了离心式调速器(又称飞球调速器),如图 1-10 所示,通过把它与蒸汽机的阀门连接起来,构成蒸汽机转速的闭环自动控制系统。当负载或蒸汽供给量发生变化时,离心式调速器能够自动调节阀门的开度大小,从而控制蒸汽机的转速。瓦特的这项发明开创了自动调节装置应用的新纪元,是自动化发展中的第一个里程碑。



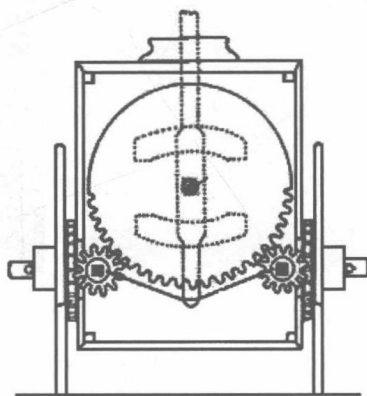
(a) 指南车复制品(一)



(b) 指南车复制品(二)

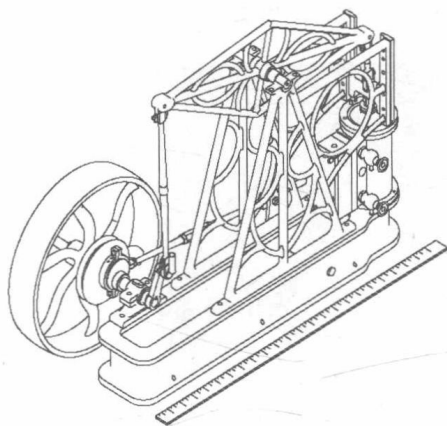


(c) 指南车后视图

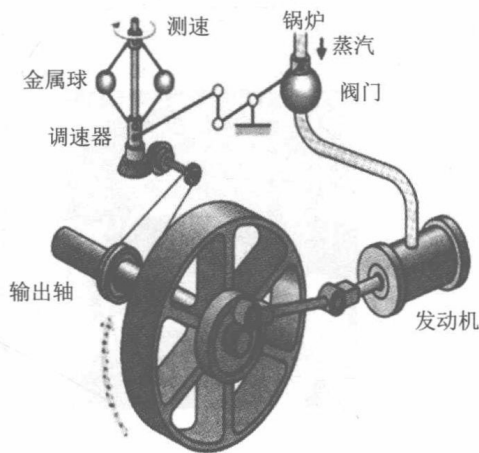


(d) 指南车俯视图

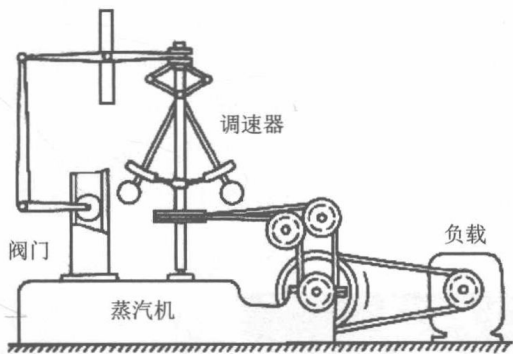
图 1-9 指南车



(a)



(b)



瓦特离心式调速器对蒸汽机转速的控制

(c)

图 1-10 离心式调速器

1858 年,英国布鲁内尔设计制造了第一艘全自动蒸汽轮船“大东方”(Great Eastern)号(图 1-11)。1862 年,中国第一艘蒸汽轮船“黄鹄”号在安庆内军械所下水。1868 年,中国第一艘木质明轮蒸汽舰船“恬吉”号在江南机器制造总局下水。

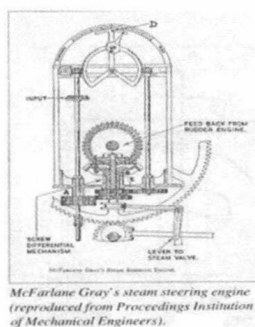


图 1-11 “大东方”号

1904 年，世界上第一只电子管在英国物理学家弗莱明的手下诞生了，随后，美国福特公司建成最早的汽车装配流水线（图 1-12）。20 世纪 40 年代是自动化技术和理论形成的关键时期，一批科学家为了解决军事上提出的火炮控制、鱼雷导航、飞机导航等技术问题，逐步形成了以分析和设计单变量控制系统为主要内容的经典控制理论与方法。在经典控制理论与方法的支持下，各种电子式控制器大量应用于各机械系统，并使得各自动化设备的生产效率明显提高。可以说，电子式控制器的应用是自动化发展中的第二个里程碑。



图 1-12 美国福特公司建成最早的汽车装配流水线

20 世纪 50~60 年代，大量的工程实践，尤其是航天技术的发展，涉及大量的多输入多输出系统的最优控制问题，用经典控制理论已难于解决，于是产生了以极大值原理、动态规划和状态空间法等为核心的现代控制理论，并成功地应用于各个领域。美国 1952 年研制出第一台数控机床（图 1-13），并于 1959 年研制出第一台工业机器人（图 1-14），1957 年苏联成功发射了第一颗人造卫星（图 1-15），1969 年美国的阿波罗 11 号飞船第一次登上月球（图 1-16）。

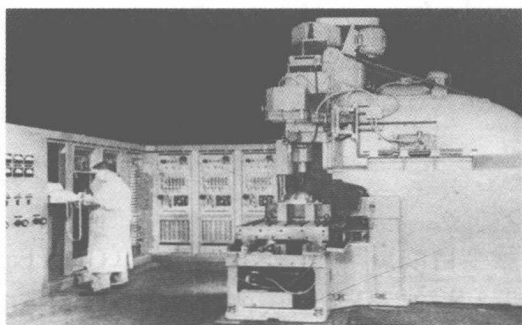


图 1-13 第一台数控机床

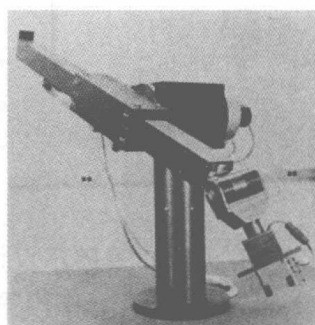


图 1-14 第一台工业机器人

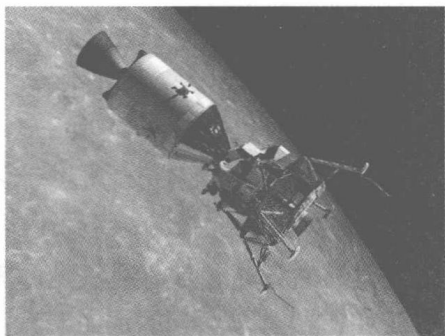


图 1-15 第一颗人造卫星

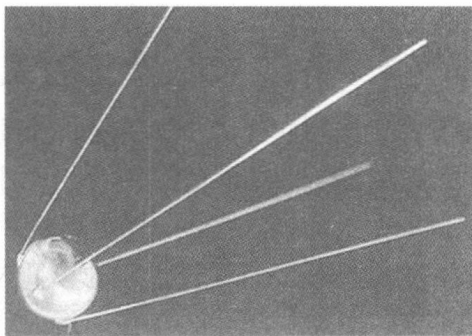


图 1-16 阿波罗 11 号飞船第一次登上月球

从 20 世纪 70 年代开始, 随着计算机网络的迅速发展, 管理自动化取得较大进步, 出现了管理信息系统、办公自动化系统、决策支持系统。与此同时, 人类开始综合利用传感技术、通信技术、计算机、系统控制和人工智能等新技术和新方法来解决所面临的工厂自动化、办公自动化、医疗自动化、农业自动化及各种复杂的社会经济问题, 研制出了柔性制造系统、决策支持系统、智能机器人和专家系统等高级自动化系统。在此期间, 以计算机控制为代表的自动化技术、加工中心和工业机器人(图 1-17)得到广泛应用, 标志着自动化发展的第三个里程碑。

从 20 世纪 70 年代至今, 自动化从工业自动化(主要是制造业自动化)向非制造业自动化快速扩展。用于制造业的自动化装置多是在不变的、已知的环境下作业, 而用于非制造业的自动化装置则不同, 需要在变化的、未知的情况下完成相应动作, 这就加大了控制的难度, 也要求装置更智能。现在出现的仿人机器人(图 1-18)引入仿人类智能的因素, 成为一种高智能的自动化产品。自动化发展的第四个里程碑或许就是智能自动化装置的普及应用。



图 1-17 汽车配件厂中的工业机器人

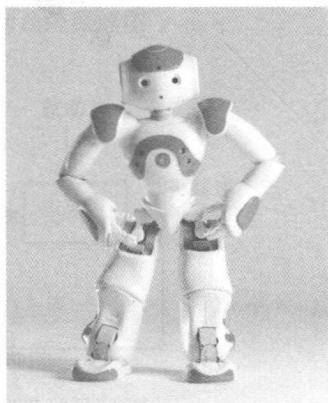


图 1-18 仿人机器人

从自动化发展历史来看, 自动化从机械自动化(1.0)到电气自动化(2.0)再到电子自动化(3.0), 本质都是物理空间的自动化, 主要特点是对实体过程进行精确建模及控制。计算机和互联网的兴起, 开始了信息空间的信息自动化(4.0), 并且逐渐向智能自动化发展。

1.3 常见的三类自动化控制系统

1.3.1 过程控制系统

过程控制系统是以生产过程的参量为被控制量，使之接近给定值或保持在给定范围内的自动控制系统。其中的“生产过程”是指从投料开始，经过一系列的加工，直至成品生产出来的全部过程，在此过程中，生产装置中的物质和能量会发生相互作用和转换。表征过程的主要参量有温度、压力、流量、液位、成分、浓度等。通过对过程参量的控制，可使生产过程中产品的产量增加、质量提高，并且减少能源的消耗。一般的过程控制系统通常采用反馈控制的形式。

最常见的液位控制系统(图 1-19)即为一个过程控制系统，图 1-20 是其系统结构图。当液体的注入量 Q_1 与流出量 Q_2 相等时，水箱液位 (H) 保持在给定的正常标准值，流出量(或注入量)的增加或减少即引起液位的下降或上升，浮子的位置也将相应地发生改变，浮子的改变量称为偏差，控制器再根据偏差值按照指定规律发出相应信号，控制液体输入端调节阀的开度，从而使液体注入量增加或减少，最终使液位恢复到给定的标准位置，从而实现对液位的自动控制。

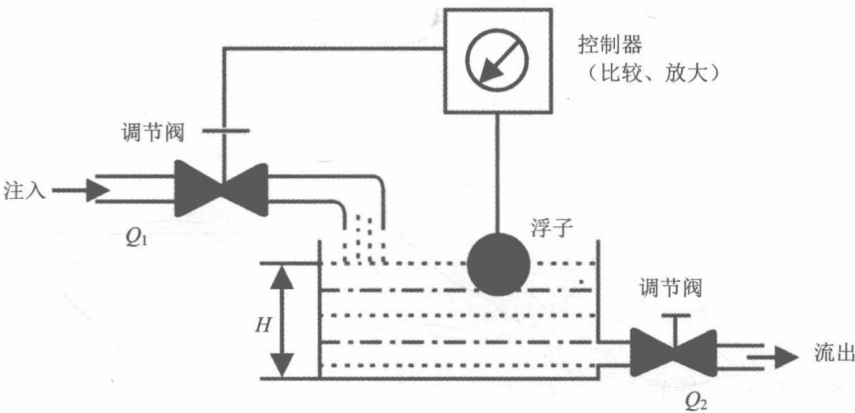


图 1-19 液位控制系统原理图

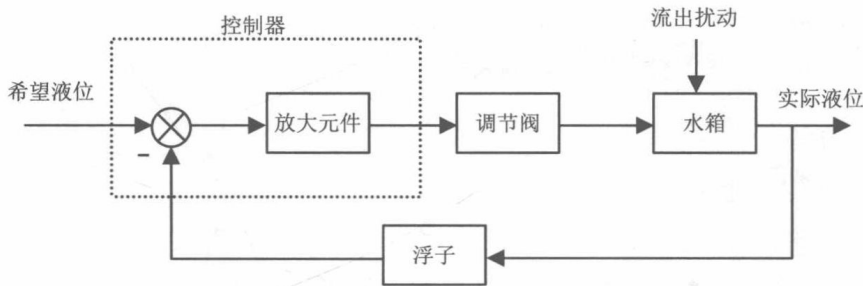


图 1-20 液位控制系统结构图