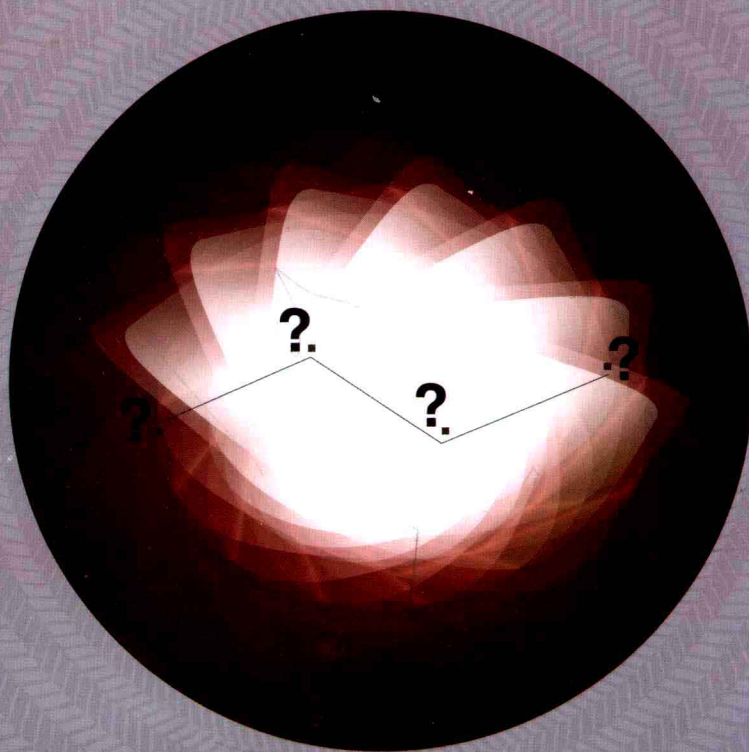




过程控制系统 基础与实践

宋极群 编著

/ 深入浅出解析技术·多年经验助你成功 /



CHENG KONGZHI XITONG
U YU SHIJIAN



化学工业出版社

从新手到高手

过程控制系统 基础与实践

宋极群 编著

GUOCHENG KONGZHI XITONG
JICHU YU SHIJIAN



化学工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

过程控制系统基础与实践/宋极群编著. —北京:
化学工业出版社, 2011.8
从新手到高手
ISBN 978-7-122-11734-2

I. 过… II. 宋… III. 过程控制自动控制系统
IV. TP273

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 129952 号

责任编辑: 宋 辉
责任校对: 徐贞珍

文字编辑: 闫 敏
装帧设计: 王晓宇

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 刷: 北京永鑫印刷有限责任公司
装 订: 三河市万龙印装有限公司
710mm×1000mm 1/16 印张 15 字数 259 千字
2011 年 11 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899
网 址: <http://www.cip.com.cn>
凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

前言

FOREWORD



——我为何要写这本书

某一天，有个做教授的朋友给我发来 E-mail，委托我帮忙写他的一部新作的一些章节，希望把我工作的项目实例整理一两个，放在他的著作里面，使他的著作能够增加些实用性。我很感谢这位朋友，尽管我写的片章断节未必能为他的读者增加多少应用价值，但是，这的确让我们看到，现在的学者也正在努力将理论推向实际应用。没错，理论联系实际是我国教育制度的多年诉求，然而，绝大部分教育工作者都是多年学校教育毕业后，直接走向讲堂，中间缺少了面向实际的环节，技术应用正是他们所欠缺的。正因为这样，我们在多年的教育下学习的都是理论基础，毕业后即将走向社会，茫然中走向图书馆、书店，那里面的书籍也大多都是出自专家教授之手，有先进的技术、高深的理论，却很少有我们在工作中必须掌握的、赖以生存的技术应用。

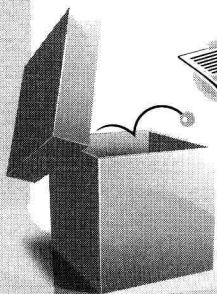
我工作十余载，做过电厂副值长、系统工程公司项目经理等职，希望能写一点东西，给即将步入工程控制领域工作岗位的技术人员。如果能帮助他们多少减少刚步入这个领域的困惑，那么将是我极大的欣慰。

我写这本书的目的是把深奥的理论通俗化，把理论与实际工作紧密联系起来，帮助刚出校门的学生跨过学校与社会之间的真空地带，帮助他们少走弯路，帮助他们明白自己将要做什么、应该做什么、应该怎样做，以及自己的职业方向。



——我的书主要写什么

本书不求理论的系统和完善，只求必需、够用，编写时从工程实施角度出发，介绍了项目实施的大体内容及现场调试的



经验。主要包括以下 9 个章节。

- 第 1 章 自动控制系统概述
- 第 2 章 过程控制理论
- 第 3 章 数据的采集和控制设备
- 第 4 章 现场总线技术
- 第 5 章 重要的计算机理念
- 第 6 章 典型的控制系统
- 第 7 章 控制系统在电厂的应用
- 第 8 章 项目管理基础及实施
- 第 9 章 理论与实践的结合



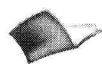
——致谢

当真正开始着手编写的时候，才发现这项工作对于每天在工作岗位的我来说，真是件不容易的事情，只能利用周末及晚上休息的时间仓促赶笔，再加上本人水平有限，书中不当之处在所难免，恳请广大读者批评指正。

在这本书编写的过程中，感谢我的朋友吉静华，她帮助我完成第 2 章、第 6 章部分的内容，在此表示感谢。

尤其感谢我的爱人，在我写这本书的整个过程中，她给予我莫大的支持与鼓励，并作为这本书的第一个读者，给我提出了很多宝贵意见。

编著者



过程控制系统基础与实践



1	第 1 章	Page
	自动控制系统概述	001
1.1	自动控制与自动控制系统	003
1.2	自动控制工作原理	005
1.3	自动控制发展历程	006
1.4	自动控制的未来	010
2	第 2 章	Page
	过程控制理论	012
2.1	基本概念	013
2.2	PID 控制	017
2.3	顺序控制	023
2.3.1	火电厂顺序控制技术的发展过程	023
2.3.2	顺序控制技术中的常用术语	027
2.3.3	顺序控制的实现方式	029
2.3.4	形式、组成及其分类	031
3	第 3 章	Page
	数据的采集和控制设备	038
3.1	模拟量	039
3.1.1	温度的测量	039
3.1.2	流量的测量	045
3.1.3	压力的测量	056
3.1.4	液位的测量	061
3.1.5	智能变送器	063
3.2	开关量	066
3.3	执行机构	070
3.4	电气控制回路	078
3.5	电源	081
3.6	接地	084
3.6.1	常见的干扰	084
3.6.2	抑制干扰的方法	085
3.6.3	接地规则	087





4 第 4 章 Page 094

现场总线技术

4.1 数据的编码与传输	096
4.2 OSI 模型	101
4.3 FF 总线	106
4.4 Profibus 总线	108
4.5 HART 协议	111
4.6 CAN 总线	113

5 第 5 章 Page 116

重要的计算机理念

5.1 软件平台——操作系统	117
5.2 硬件平台——工控机	119
5.3 监控平台的搭建——组态技术	122
5.3.1 组态技术简介	122
5.3.2 国外公司组态软件介绍	125
5.3.3 国内公司组态软件情况及发展	133

6 第 6 章 Page 135

典型的控制系统

6.1 PLC——高效精准的工作小组	136
6.1.1 PLC 的基本结构	137
6.1.2 PLC 的工作原理	138
6.2 DCS——部门齐全的集团公司	140
6.3 FCS——管理到每个成员的跨国联合集团	141
6.4 MES——我们的上级领导	144
6.5 物联网 (IOT)——人类的第七感	145

7 第 7 章 Page 146

控制系统在电厂的应用

7.1 计算机控制在电厂的发展	147
7.2 发电厂工艺介绍	150
7.3 给水系统	151
7.3.1 相关参数的测量	151
7.3.2 给水自动控制的任务	154
7.3.3 影响汽包水位的因素	155
7.3.4 调节给水流量的两种方式	156



7.3.5 全程给水控制	159
7.4 FSSS 系统	160
7.4.1 炉膛爆炸的原因	161
7.4.2 防止炉膛爆炸的措施	162
7.5 汽包水位保护	165
7.6 汽轮机保护系统	167
7.7 DEH 系统	169
7.8 机炉协调系统	172
7.9 火电厂热工自动化发展前景	177

第 8 章

8 项目管理基础及实施

Page 180

8.1 项目管理基础	181
8.1.1 项目管理概述	181
8.1.2 三个约束条件	181
8.1.3 五个主要过程	182
8.1.4 九大知识体系	184
8.1.5 几个关键概念	190
8.2 项目实施的开始阶段	192
8.2.1 项目整体了解	192
8.2.2 制订计划的重要意义	194
8.2.3 计划的内容	194
8.2.4 控制方案制订	199
8.2.5 沟通与联络	203
8.3 项目实施的中期	205
8.3.1 内部调试及发货	206
8.3.2 现场调试	208
8.3.3 试运行	211
8.4 项目实施的后期	214

第 9 章

9 理论与实践的结合

Page 218

9.1 项目简介	219
9.2 数据库整理	219



9.3 硬件配置

219

9.4 制订控制方案

223



Page

参考文献

229

Chapter 1

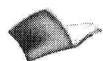
第



1

章

自动控制系统概述



过程控制系统 基础与实践

我国古代早已对自动控制设备进行了深入的研究，从汉代的“指南车”到鲁班的“飞鸟”，从诸葛亮的“木牛流马”到“连弩”等，这些都是利用机械原理实现自动控制的典范之作。现在还有一些自动设备由类似的装置完成，比如在一根轴上的不同位置镶嵌不同周长和曲面的轮子，在轴转动的时候，不同的轮子拥有相同的角速度，但是因为有不同的周长，因此，与轮子咬合的齿轮转动一周所花费的时间就会不同，这样就可以用来计量不同的时间，这就是使用机械原理实现了计时和顺序的功能，有了时间轴，我们就可以完成顺序控制，这对于使用计算机控制的今天来说确实是很奇妙的事情。

由于蒸汽时代的到来，人们可以利用蒸汽机产生出更大的机械力，从而帮助人完成繁重的劳动，这样，就需要对蒸汽机进行控制，让它按照人的意志来工作。于是，瓦特发明了蒸汽机调速器，他通过巧妙的机械设计，把蒸汽机的运转速度稳定在一个固定的范围内，这样就减少了事故的发生，使得蒸汽机很容易被人利用，这个发明被称为真正意义上的“现代自动控制的开端”。自动控制设备的应用无疑提高了劳动生产率，推进社会前进了一大步。

后来，人们发现了电的奥秘，并掌握了电力的应用和控制，由此进入电气时代，于是有了关于控制的理论，“电”在自动控制中起到了不可替代的作用，它可以驱动机械设备产生更高速的运动，也可以控制这些驱动设备本身，利用电的特点还可以连续控制更多设备，使这些设备互相配合，完成某个生产过程，这就形成了控制方案。

计算机的发明更加推进了自动控制技术的发展，它可以实现复杂的算法，完成智能控制。科技是在进步的，到了今天，网络技术已经普遍应用了，其实，早在20世纪80年代，网络技术已经应用在工业过程控制中了，它使得各种自动控制设备可以方便的集合在一起，不同的设备可以信息共享，完成某个复杂的过程控制，进而实现生产的最终要求。随便提及一下物联网，所谓物联网，其实就是工业控制在民用和其他行业的应用，因为它的技术手段和路径基本上与工业控制是一致的，甚至于没有工业的严格和快速。物联网能带给我们信息的沟通与共享，这在技术层面上已经没有什么障碍了，但是，它需要解决的是规则问题，甚至是法律层面的制度。说远了，还是从我们熟知的自动控制开始吧。

从发展过程来看，自动控制领域经历了由“控制”——“自动控制”——“过程控制”到“智能控制”几个阶段，目前这些方式是同时存在的，他们有各自的特点，应用在各自不同的环境中。

那么到底是谁、如何感知世界呢？数据经过怎样的传输？怎样让设备执

行人的思想呢？什么是自动控制？其工作原理是什么，其发展历程又如何呢，自动控制系统又是包含哪些内容？过程控制又是怎么回事呢？

想知道上面问题的答案吗？下面，我就带大家进入精彩的过程控制世界……



1.1 自动控制与自动控制系统

在讲过程控制之前，首先要知道什么是自动控制。所谓自动控制，是指在没有人直接参与的情况下，利用外加的设备或装置（称控制装置或控制器），使机器、设备或生产过程（统称控制对象）的某个工作状态或参数（即被控量）自动地按照预定的规律运行。

其实自动控制离我们很近，比如，家居必备的抽水马桶就是一个很好的例子。放水冲刷后，水箱里水位降低，浮子随水面下降，进水阀打开。随着水位的升高，进水阀逐渐关闭，直到水位达到规定高度，进水阀完全关闭，水箱里面的水正好准备下一次使用。

能够完成自动控制任务的系统称为自动控制系统，它是由若干控制器和被控对象构成的一个整体。自动控制系统的核心是控制算法和解决方案，它包括设备及网络的配置、控制范围及功能、控制策略的实施与规划等。可以毫不夸张地讲，自动控制系统完全可以以人的意志为基础，来操作各种设备，既然自动控制系统能实现替代人的功能，那么它也应该具有类似人体的结构，如图 1-1 所示。

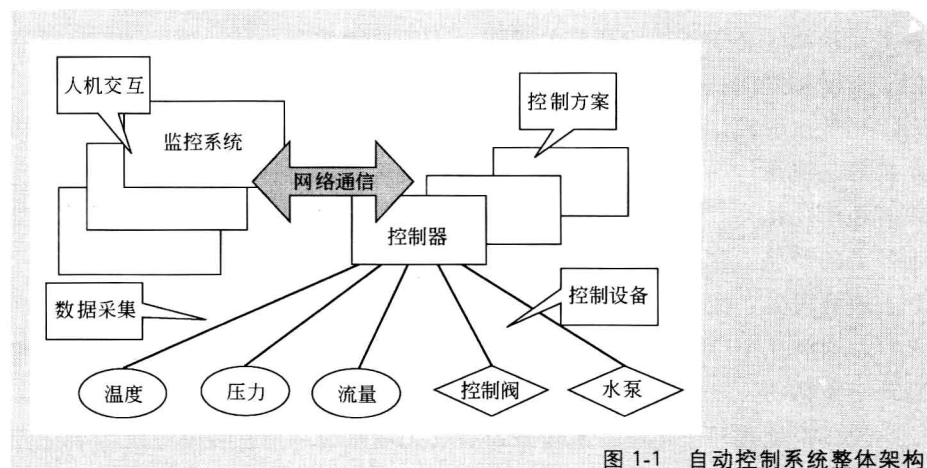


图 1-1 自动控制系统整体架构

① 数据采集及控制设备：数据的采集和设备的控制是两种相反的操作，但是在系统中处于同一地位，控制系统用它们来感知世界，完成指令，相当于人的五官、手、脚等，该部分完成各种温度、压力、流量等参数的采集，或者把控制中心的控制指令传达给现场执行设备，如电动门、电机、水泵、控制阀等。

对于不同的物理参量，我们会使用不同测量原理的传感器，经过某种转换后提供给下一级设备处理，对于千差万别的设备，大家都追寻同一标准，这样方便接入不同的系统，形成通用的设备。比如应用不同检测原理对温度的采集、对压力的采集、对流量的采集等，数据经过数字滤波、信号放大等处理以后，转换成 $4\sim 20\text{mA}$ 或者 $0\sim 5\text{V}$ 标准信号、脉冲、甚至数字信息等电信号，这样就为数据的传输打下了基础。

② 网络通信：网络通信及设备是循环系统，是输送各种养料的通道，它把身体的各部分机能联系起来，是数据传输的通道，类似人类的血液循环系统、神经系统。

③ 监控系统：监控设备相当于人的大脑，实现控制方案的计算、故障判断及处理，完成与人的交互操作。它包括控制器、操作员站、服务器等。

④ 控制方案：控制方案是现场工艺的实现方法，是人的思维的体现，是精神，是灵魂，甚至可以实现智能管理、故障判断、智能调节等功能。

综上所述：基于生产过程控制工业的自动控制系统被称为过程控制系统。过程控制系统的实现大概是这样的：我们根据不同行业的工艺要求，制订出控制方案，把该方案用直观的编程语言或流程框图描述正确，然后下装到计算机里面，计算机通过强大的运算和记忆功能，根据当前现场的各种条件，比如温度、压力、流量的变化等（称为工况），产生出运算结果（称为控制输出），这些结果通过硬件设备转换及网络设备传送到控制阀或开关设备上，控制现场设备做出相应的动作，最后实现控制工艺的要求，这样就达到了自动控制的目的。

一般过程控制系统主要应用在发电厂、化工、水泥、供热系统、水处理系统等注重流程的行业。这样的工业过程使用原始的材料，经过各种物理的或者化学变化，经过粉碎、高温、高压、催化、混合等工艺手段，生产出满足需要的产品，这些产品最终为人类所应用、消费。

由此可见，我们把原始资料经过若干处理产生出产品的过程称之为生产过程，面向这个过程而总结的控制理论叫过程控制理论，因此过程控制理论应该是概括的、复杂的、具有不确定性的一种科学体系。

现在来梳理一下自动控制设备、自动控制系统和过程控制系统三者之间的关系，如图 1-2 所示。

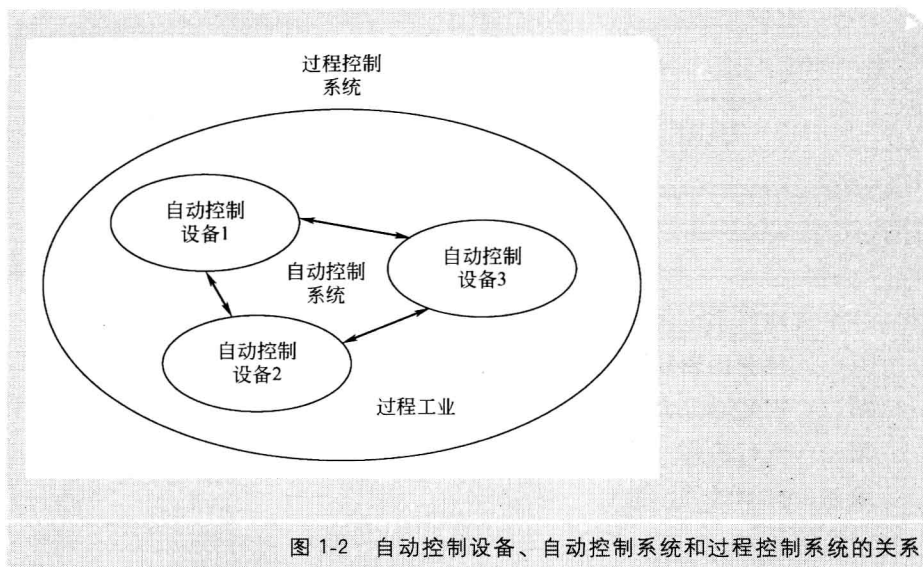


图 1-2 自动控制设备、自动控制系统和过程控制系统的关系

自动完成某项工作的设备是自动控制设备，若干自动控制设备互相协助，完成某项任务，被称为自动控制系统，应用于过程工业的自动控制系统就叫做过程控制系统，因此，过程控制系统是自动控制系统在应用方向上的一个分类，当然，也有其他类型的自动控制系统，比如运动控制系统、飞行控制系统等。

1.2 自动控制工作原理

根据自动控制的目的和要求不同，在实现算法上，就会采用不同的理论和应用不同的原理，由于高级控制理论需要很多数学方面的知识，因此这里仅仅介绍一下自动控制的一般原理，下面我们以一个简单的例子来说明。

这个例子说的是人端起杯子的过程。简单描述一下整个过程。首先人通过眼睛来确定杯子当前的位置，之后大脑指挥手去抓住杯子。在这个动作里，我们要不断判断杯子的位置，然后调整手的位置和力度，让手准确无误地抓到杯子，拿起来。看似简单的行为其实包括了很复杂的过程，只是因为大脑的处理速度很快，才让我们不容易觉察。整个过程的控制原理可以用图 1-3 表示出来。

由此可见，自动控制的关键就在于反馈的存在，正是有了它的存在，才使自动控制成为可能。反馈就是自动化的奥妙所在，所以自动控制原理也叫反馈控制原理。

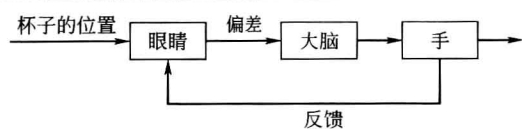


图 1-3 人端起杯子的控制原理

一个自动化系统无论结构多么复杂，基本上都是由下面几部分组成：

第一，检测比较装置（眼睛）。

第二，控制器（大脑）。

第三，执行机构（手）。

第四，控制量（位置）。

看似简单的过程，其实包含复杂的原理。



1.3 自动控制发展历程

再让我们回顾一下自动控制的发展历程。有人说懒人促进了社会的进步，这话虽然有些片面，但是还是有一定道理的，从刀耕火种的年代起，人们就梦想着省时省力地生产出更多的东西，来满足生活的需要，工具的发明使人类摆脱了大自然的束缚，与其他低等动物产生巨大差别，进入到更高的生物体系。

自动控制的发展经历了四个主要阶段：原始萌芽阶段，经典控制理论阶段，现代控制理论阶段以及智能控制理论阶段。

(1) 原始萌芽阶段

中国古代能工巧匠发明许多原始自动装置，以满足生产、生活和作战的需要。指南车、铜壶滴漏、记里鼓车、漏水转浑天仪、候风地动仪、水运仪象台等就是其中比较著名的发明。

① 指南车（见图 1-4） 远在公元前 26 世纪的中国黄帝时代就发明了指南车，指南车是一种马拉的双轮独辕车，车箱上立一伸臂的木人。车箱内装有能自动离合的齿轮系。当车子转弯偏离正南方向时，车辕前端就顺此方向

移动，而后端则向相反方向移动，并将传动齿轮放落，使车轮的转动带动木人下的大齿轮向相反方向转动，恰好抵消车子转弯产生的影响。车向正南方向行驶时，车轮和木人下的大齿轮是分离的，木人指向不变。因此，无论车转向何方，都能使木人的手臂始终指向南方。指南车的齿轮系虽然非常简单，

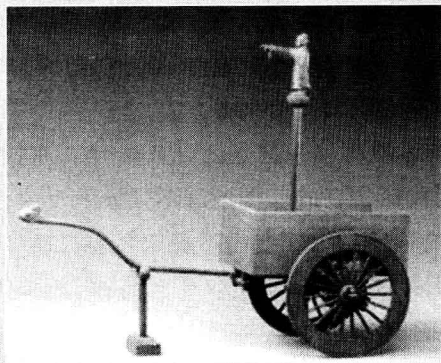


图 1-4 指南车

但它能够自动离合，在技巧上优于记里鼓车的齿轮系。从自动控制原理来看，指南车是利用扰动补偿原理的开环定向自动调节系统。被控制量是木人的指向。车子转弯时，车轮带动齿轮系使木人沿着与车子转动方向相反的方向转动，恰好补偿了车的转角。

② 铜壶滴漏 自动计时漏壶是中国古代的自动计时装置，又称刻漏或漏刻。漏壶的最早记载见于《周礼》。这种计时装置最初只有两个壶，由上壶滴水到下面的受水壶，液面使浮箭升起以示刻度（即时间），这里的浮箭可看作是一种自动检测装置。保持上壶的水位恒定，则是自动调节的问题，这种计时装置是一种开环自动调节系统。

③ 记里鼓车（见图 1-5）这是中国古代能自报行家里程的装置。据王振铎考证，记里鼓车是东汉以后出现的，由汉代鼓车改装而成，车中装设具

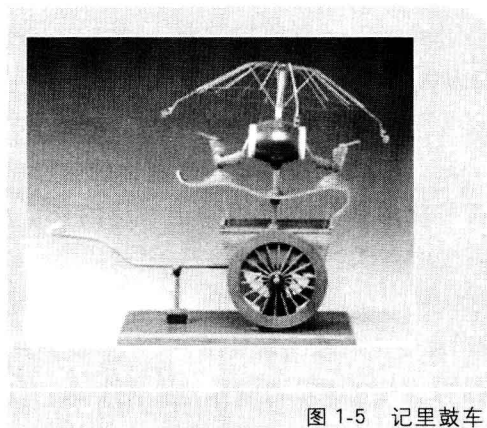


图 1-5 记里鼓车

有减速作用的传动齿轮和凸轮杠杆等机构。车行一里，车上木人受凸轮牵动，由绳索拉起木人右臂击鼓一次，以表示行车的里程。

④ 漏水转浑天仪 公元二世纪，东汉的天文学家张衡创制了一种天文表演仪器。它是一种水运浑象，和现代的天球仪相似，可以用来实现天体运行的自动仿真。浑象是在一

个直径4尺多(约1.5m)的铜球上刻有二十八宿、中外星官、黄赤道、南北极、二十四节气、恒显圈、恒隐圈等。漏水转浑天仪就是把浑象与漏壶结合起来,以漏壶滴水控制浑象,使它与天球同步转动,用来表演星空的运动,如恒星的出没和中天等。

⑤ 候风地动仪 这是公元132年,东汉的张衡发明的一种观察地震的自动检测仪器。它的工作原理不仅涉及反映信号的方向问题,而且还包含着“小偏差内稳定,大偏差内不稳定”等自动控制原理。

⑥ 水运仪象台 水运仪象台高约12m,宽约7m,它既能演示或观测天象,又能计时或报时。水运仪象台利用铜壶滴漏的恒定水流作动力来推动枢轮,使它每天转400周,枢轮又带动浑象和浑仪两个齿轮系,由顶部的杠杆装置(即天衡)控制枢轮作恒速转动,天衡使受水壶达到恒定水位后,便自动脱离受水位置而下降,起自动调节器的作用。枢轮转动时,受水壶中的水陆续泄入退水壶,使合成的驱动转矩减小(相当于一个负反馈作用),枢轮被天关挡住,下一个空受水壶就接受水流。因此,天衡还起着类似钟表中擒纵器的作用。而整个枢轮转速恒定系统则是一个采用内部负反馈并进行自振荡的系统。水运仪象台装有自动机构,在每个时辰初、正和每刻相应地有木人摇铃、打钟和击鼓。

中国古代对自动控制技术的研究还是很深入的。



(2) 经典控制理论阶段

公元18世纪,詹姆斯·瓦特(James Watt)为控制蒸汽机速度而设计了离心调节器(见图1-6),这是自动控制领域的第一项重大成果。在控制理论发展初期,在众多学者中做出过重大贡献的有迈纳斯基(Minorsky)、黑曾(Hezen)和奈奎斯特(Nyquist)。1922年迈纳斯基研制出船舶操纵自动控制器,并且证明了如何从描述系统的微分方程中确定系统的稳定性。1932年奈奎斯特提出了一种相当简便的方法,根据对稳态正弦输入的开环响应,确定闭环系统的稳定性。1934年,黑曾提出了用于位置控制系统的伺服机构的概念,讨论了可以精确跟踪变化的输入信号的继电器式伺服机构。

20世纪40年代,频率响应法为工程技术人员设计满足性能要求的线性闭环控制系统提供了一种可行的方法。20世纪40年代末到50年代初,伊