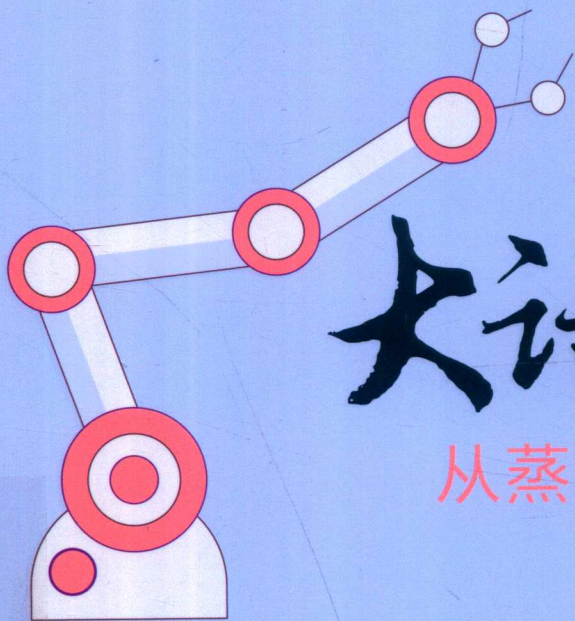


颠覆以往自动化技术的刻板印象
破解学习和工作中的常见迷思

AUTOMATION

FROM STEAM AGE TO
ARTIFICIAL INTELLIGENCE




大话自动化

从蒸汽机到人工智能

[加] 晨枫◎编著

海外借

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

AUTOMATION

FROM STEAM AGE TO
ARTIFICIAL INTELLIGENCE



大话自动化

从蒸汽机到人工智能

[加] 晨枫◎编著

 机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

从电饭煲到核电站，从汽车到航天飞机，从蒸汽机到人工智能，自动化贯穿于科技与生活的各个层面。更重要的是，人工智能和机器人是自动化的延伸，正在根本性地改变经济、社会和就业前景。因此，关注自动化不仅是“有关人员”的事，也是千家万户的事。自控理论虽建立在数学基础之上，但自控概念实际上贯穿于生活的各个层面。真正的科学是可以大白话说明白的。本书避开了抽象的数学公式，用深入浅出的语言引入各种自控理念，内容从基本的反馈、动态和回路控制开始，延伸到先进控制、最优化、控制系统 IT，并涉及人工智能和自动化与社会、就业的话题。本书力求只需要高中文化程度就能阅读和理解，同时确保相关专业的本科生、研究生乃至从业人员依然会发现有足够的营养。此外，本书还结合大量工业实际经验，破解一些常见的迷思。

北京市版权局著作权合同登记 图字：01-2018-3638 号。

图书在版编目（CIP）数据

大话自动化：从蒸汽机到人工智能 /（加）晨枫编著. —北京：机械工业出版社，2019.3

ISBN 978-7-111-62040-2

I. ①大… II. ①晨… III. ①自动化—普及读物 IV. ①TP1-49

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2019）第 029981 号

机械工业出版社（北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）

策划编辑：李馨馨 责任编辑：李馨馨 陈文龙

责任校对：张艳霞 责任印制：张博

北京铭成印刷有限公司印刷

2019 年 3 月第 1 版·第 1 次印刷

169mm×239mm·18.5 印张·356 千字

0001—3000 册

标准书号：ISBN 978-7-111-62040-2

定价：69.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换

电话服务

网络服务

服务咨询热线：（010）88361066

机工官网：www.cmpbook.com

读者购书热线：（010）68326294

机工官博：weibo.com/cmp1952

金书网：www.golden-book.com

封面无防伪标均为盗版

教育服务网：www.cmpedu.com



前言

preface

自动化是很有意思的事情，而且正在成为越来越有意思的事情；自动化也不再是高高在上的东西，而是深入寻常百姓家的东西。上下楼坐个电梯，上下班坐个地铁，甚至电热壶烧水泡茶、电冰箱冰镇西瓜，都离不开自动化。但自动化不是自己就能动，其实也是人在指挥着动，只是人“关照”好了，就不用再手把手地指挥了，接下去就“自己会动”了。不过人怎么“关照”，这有点讲究，否则“自己会动”有可能变成“自己乱动”。

前些年，笔者写了一篇文章——《自动控制的故事》，得到一些好评。本来也就到此为止了，但受到友人鼓励，希望把《自动控制的故事》扩充、完善，包含进更广义的自动化，并增加如何学好自动化和如何干好自动化的内容，于是著成此书，希望对有志于自动化行业的莘莘学子或者有兴趣的自动化从业工作者有点用处。在写作中，特意避开数学理论，力图做到只要具有高中文化水平就能读下去，但对于从事专业的人士也不乏味。差一点做到一个数学公式也没有，但功亏一篑，还是有两三个示意性的公式，只好请读者原谅了。

本书分为三篇：上篇“自动控制的故事”从反馈、动态和稳定性开始，介绍传统自动控制(包括简单与复杂控制回路)，并延伸到现代控制理论(线性控制、最优控制、模型与辨识、自适应控制、模型预估控制等)；中篇“计算机与控制”着重介绍计算机时代自动控制的特点，以及计算机为自动化世界带来的新的可能性和新的挑战，小到自控网络特点和人机界面设计，大到互联化、信息化和实时最优化，这是当前和可预见的将来非常活跃的领域；下篇“自动化与我们”走出传统的自动化范畴，探讨自动化、人工智能和机器人的时代里人与社会的问题，尤其是为什么自动化程度越高，对人的要求越高，以及如何在自动化、人工智能和机器人的大潮到来时，做弄潮儿，而不是被潮水淹没，当然，人的问题还包括如何学好自动化、

干好自动化。

这是根据本人十年纸上谈兵加二十五年的工业实战经验写就的，不乏一己之见，肯定有疏漏和谬误，并不打算作为严谨的学术著作，只是作为科普加经验之谈。如能供茶余饭后一笑，就不枉笔墨了。如能对读者有所启迪，则幸莫大焉。如有错误之处，更是欢迎多加指正。

作者

目录

Contents

前言

- 1 引子
- 4 上篇 自动控制的故事
- 5 走路要看路
- 6 反馈与动态
- 12 稳定性
- 17 开关控制
- 19 可爱的微积分
- 20 热水淋浴的学问
- 23 PID 整定
- 30 关于稳定性
- 33 非常规 PID
- 38 复杂结构 PID
- 53 理论是彩色的
- 54 线性控制
- 59 最优控制
- 65 离散控制
- 68 模型与辨识
- 75 自适应控制
- 80 模型预估控制



89	中篇 计算机与控制
90	0 和 1 的故事
93	从石器时代到机器时代
98	冯·诺依曼来了
113	DCS 还是 PLC
118	现场总线还是无线
122	控制软件
126	人机界面
149	控制室设计
167	走出自动化
168	仿真
175	RTO
177	人工智能
198	复杂规程的自动化
204	警报与异常管理
209	故障诊断和容错系统
215	数据融合
217	工业 4.0
224	自动化与 IT
232	下篇 自动化与我们
233	拥抱自动化
234	为什么要自动化
238	人的素质问题

- 247 要弄潮，不要被淹没
- 254 **学好自动化**
- 255 巨人的肩膀
- 257 理与工，分与合
- 259 皮之不存，毛将焉附
- 263 钢铁是怎样炼成的
- 269 **干好自动化**
- 270 自控的组织与管理
- 274 自控工程师的英雄本色
- 279 查故障，纠差错
- 282 自己动手还是外包
- 288 **常用缩写**

引子

Introduction

自动化是一个好东西，不用去管它，自己就动上了。更加高级一点，还会揣摩人的心思，还没使唤，就知道应该去干什么了。在迪士尼卡通电影《机器人总动员》里，人们衣来伸手，饭来张口，什么都是自动的，省心省事，这确实符合一些人对自动化的期望。

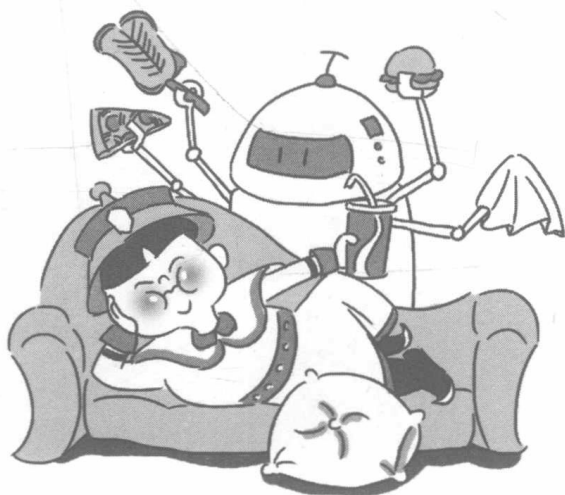


图 0-1: 自动化是什么? 就是衣来伸手、饭来张口吗

从电饭煲到核电站，从汽车到航天飞机，自蒸汽机到人工智能，自动化贯穿于科技与生活的各个层面。自动化并非自己就能动，且自动化并不神秘。自动化的世界充满了故事，在造福人类的同时还富有趣味，这是数学、计算机、电子、机械、化工和其他领域的融汇。自动化应用的成功还取决于设计与使用的互动，自动化的很多概念更是可以推广到其他领域，其他领域的概念也可以延伸到自动化领域中来。

有人考证，古代就有自动化的实例，但现代意义上的自动控制开始于瓦特的蒸汽机。蒸汽机的原理并不复杂，用煤炭的火力把锅炉里的水烧开，产生高压蒸汽，进入汽缸后，推动活塞往复运动，然后就可以通过曲轴转化为转轴的旋转运动，这就可以带动各种机械了。问题是，受到煤质和鼓风风力的影响，锅炉的火力忽大忽小，产生的蒸汽压力也随之变动；另一

方面，机械负载也时大时小，对于蒸汽供应量的需求也随之变化，导致蒸汽压力变动。除非有人时时刻刻盯着压力，随时调整汽阀，否则转速可能忽高忽低，甚至失控，造成机械损坏甚至人身伤亡。托马斯·纽考门比詹姆斯·瓦特先发明蒸汽机，但瓦特临门一脚，不仅改进了蒸汽机的热力学循环，大大提高了蒸汽机的热效率，还首先研制成实用的离心调速器，使得蒸汽机实现持续可靠的运作，把英国真正推入工业革命的时代。



图 0-2: 严格来说，蒸汽机在瓦特之前已经发明了，但缺乏有效控制的蒸汽机容易过热过压引起爆炸

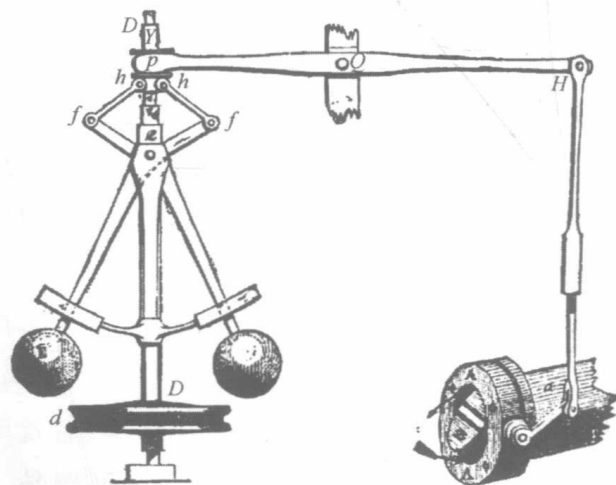


图 0-3: 瓦特蒸汽机在热力学上有改进，但成功的核心在于离心调速器



瓦特在蒸汽机的转轴上安装了一根小棍，小棍的一端与转轴相连，另一端是一个小重锤。转轴转动时，重锤在离心力的作用下扬起升高，带动小棍挥起。小棍通过连杆、提环和杠杆系统控制汽阀开度，自动调节进入汽缸的蒸汽流量。这样，在正常情况下，重锤、小棍、汽阀都处在平衡位置，转速保持在要求的数值。如果转速意外升高，重锤挥舞得更高，小棍就通过支点和连杆把汽阀关小，使得蒸汽流量降低，转速下降；如果转速太低，重锤垂下来，汽阀就被开大，蒸汽流量增加，转速回升。这样，蒸汽机不需要人的照看，就可以自动保持稳定的转速，既保证安全，又方便使用。也就是因为这个小小的离心调速器（转速调节器），瓦特的名字和工业革命连在一起，而纽考门的名字就要到历史书里去找了。

类似的巧妙设计在机械控制系统里有很多，家居必备的抽水马桶是另一个例子。放水冲刷后，水箱里水位降低，浮子随水位下降，通过杠杆将进水阀打开。随着水位的升高，浮子通过杠杆将进水阀逐渐关闭。水位达到规定高度时，进水阀正好完全关闭，水箱水位不再升高，储水正好准备下一次使用。这是一个非常简单但非常巧妙的水位控制系统，是一个经典的设计，但不容易用经典的控制理论来分析，不过这是题外话了。

这些机械系统构思巧妙、工作可靠，实在是巧夺天工。但是在实用中，如果每次都需要这样的创造性思维，那就太累了，最好有一个系统的方法，可以解决“所有”的自动控制问题，这就是控制理论的由来。

上篇

自动控制的故事

自动控制还有故事？当然有，还有好多。这个故事很长、很大，而且越来越精彩。故事是从能工巧匠的奇思妙想开始的，然后在数学家手里，自动控制从灵机一动和不断试错中走出来，规范化了、科学化了。从此，控制理论与数学紧密相连。但数学只是工具，自动控制的基本理念来自生活和常识，而不是从深奥的数学里推导出来的，更不是从抽象的思辨里臆想出来的。也就是说，貌似深奥的自动控制理念基本上都可以用大白话说明白。另一方面，数学是盲目的，数学是放之四海而皆准的，但数学作为工具，就好像画风、画笔一样，也是要看题材和场合的。工笔画用来画黛玉葬花或许很好，但画孙二娘卖包子就不一定合适了；另一方面，泼墨用来画荷塘映月或者武松打虎都没问题，但用来冒充毕加索就有点别扭了。这就是这里要讲的故事。

走路要看路

从小大人就教导我们，走路要看路。为什么呢？要是走路不看路，走歪了也不知道，结果就是东撞西撞的。要是走路看着路呢，走歪了，马上就可以看到，赶紧调整脚步，走向正道上，就不会东撞西撞了。这里有自动控制里的第一个重要概念：反馈（feedback）。



图 1-1-1: 看路走路是一个反馈过程

反馈与动态

反馈是一个过程：

- 1) 设定目标：以小朋友走路的例子来说，就是规定好前进的路线。
- 2) 测量状态：小朋友的眼睛看着路，就是在测量自己的前进方向。
- 3) 将测量到的状态和设定的目标比较：把眼睛看到的前进方向和心里想的前进方向做比较，判断前进方向是否正确；如果不正确，确定相差有多少。
- 4) 调整行动：在心里根据实际前进方向和设定目标的偏差，决定调整的量。

5) 实际执行：也就是实际挪动脚步，重回正确的前进方向。

在整个走路的过程中，这个反馈过程周而复始、不断进行，这样，小朋友就不会走得东倒西歪了。但是，这里有一个问题：如果所有的事情都是在瞬时同时发生的，那这个反馈过程就无法工作了。要使反馈工作，一定要有一个过渡、渐变的过程，要有一定的反应时间。还好，世上之事都有这样一个过程，这就为反馈赢得了所需要的时间。这就是动态的概念。

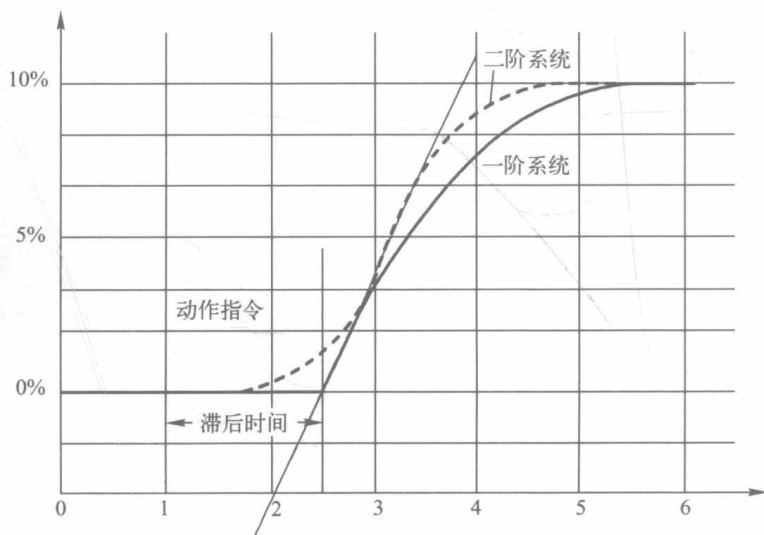


图 1-1-2: 动态过程的变化有一个过程，一开始有一个滞后，然后开始上升（或者下降），升到一定程度后，上升速度慢下来，最终稳定在新的状态。一阶过程（粗实线）在滞后之后直接上升，二阶过程（粗虚线）有一个加速过程，然后转入迅速上升，最终上升速度放慢，稳定在新的状态。二阶过程除了这样单调上升（正式称呼为过阻尼），还可以振荡（也就是欠阻尼）



俗话说，心急吃不了热豆腐。这是说，滚热的豆腐不等凉下来就急着吃，那是要烫嘴的。但要是耐心等一会儿，豆腐就凉下来了。到底需要等多久，取决于豆腐的块儿有多大，豆腐有多热，还有就是房间里有多通风、多凉快。豆腐凉下来是一个逐渐降温的过程，这就是动态过程（Dynamic Process）。这里面有两个东西很关键：一个是降温的过程有多快；另一个是最终的温度可以降到多少。这就是时间常数和增益。要是知道了这两个参数，知道一开始豆腐有多烫，同时又知道自己舌头的耐受温度，理论上就可以计算出热豆腐需要凉多久才能吃了不烫嘴。

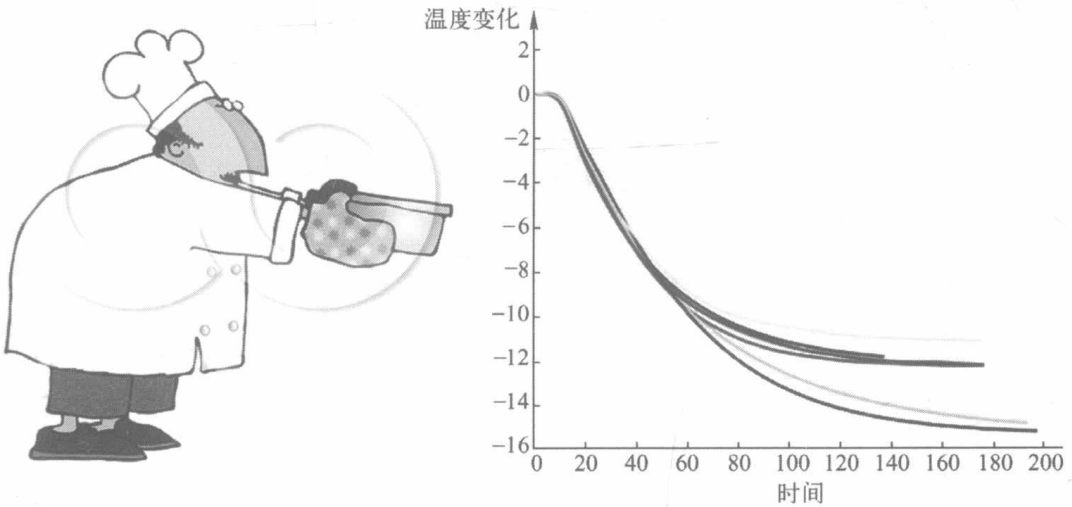


图 1-1-3: 豆腐的降温过程（豆腐大小、房间温度及通风情况、锅子保温能力，都影响豆腐的降温速度）

时间常数有长有短。电网波动是分分秒秒的事情，要是有个三长两短，瞬息之间停电就可以波及很大一片地区；但全球暖化却是一两百年甚至更长远的事情。船小好掉头也是一样的道理。“泰坦尼克”号看到冰山已经来不及避让了，但要是小快艇，可能一扭身就让过去了。

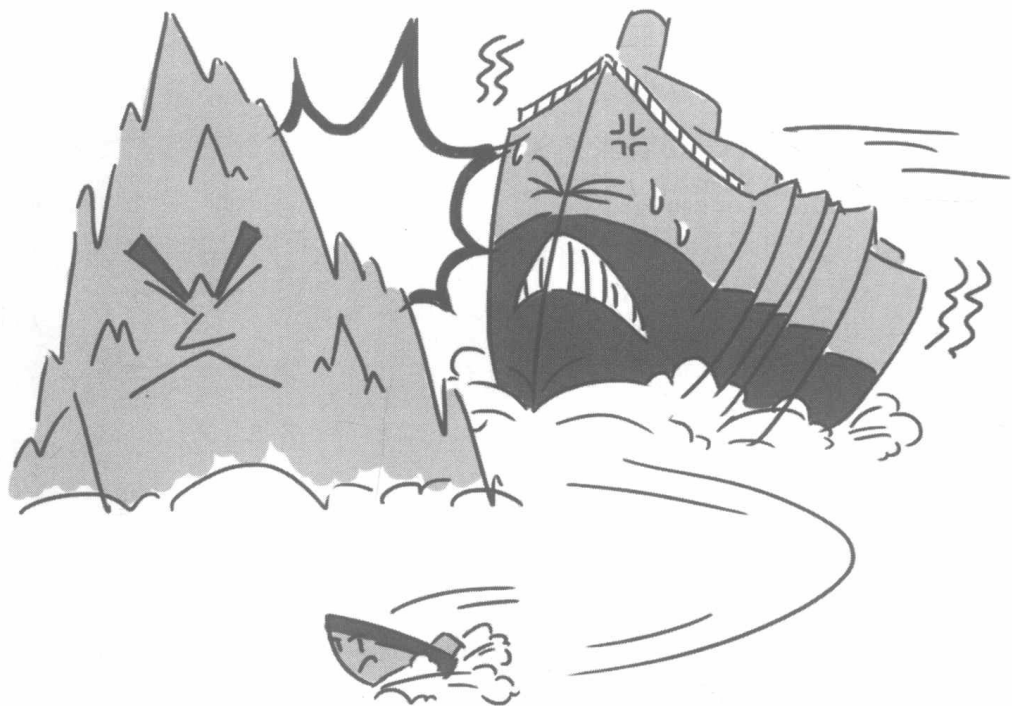


图 1-1-4: 船小好掉头, 是因为转向的时间常数较短

增益有大有小: 点一堆篝火在理论上增加了全球暖化, 但实际上对全球暖化的作用微乎其微, 这就是微小增益的情况; 但是, 一堆篝火对烧开一壶水的作用却很大, 这时的增益很大。增益也可正可负: 一把火加上去, 温度是上升的, 这就是正增益; 一桶冷水浇下去, 温度是下降的, 这就是负增益。

通常, 动态系统的响应是一路上升或者一路下降的, 但复杂系统可以在上升或者下降的过程中还晃动几下。比如说, 给一个弹簧秤吊上一只鸡, 最后肯定是把弹簧拉下去。但弹簧不是老老实实在地被拉下去, 而是上下来回弹几下, 最后才稳定在较低的位置。这里, 上下反弹的幅度和频率与弹簧的“松”或者“紧”有关, 或者说与弹簧的阻尼因子有关, 阻尼因子其实是时间常数的特殊表现。

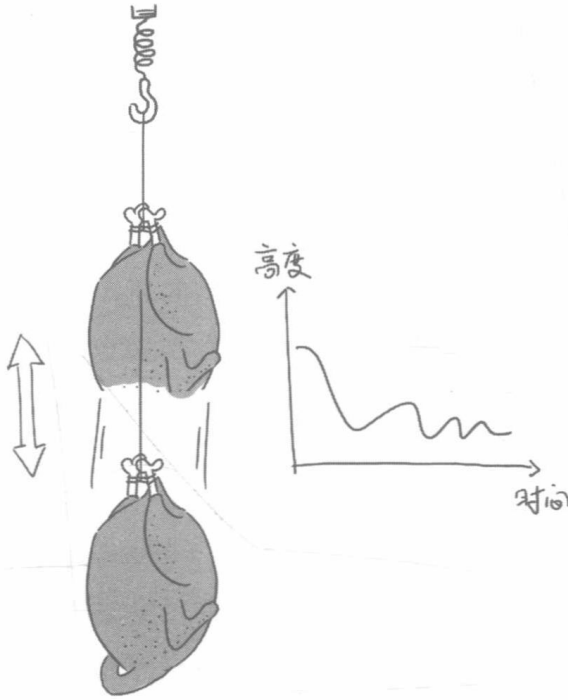


图 1-1-5: 动态响应不仅可以单调上升下降, 还可以振荡几下

更加复杂一点的动态过程还可以曲里拐弯绕两下, 才最后上升到顶点或者下降到底点。比如说, 烧水时水开了往水壶里加水后, 水壶里的水位在开始的时候可能出现暂时的反向响应。一般说来, 往水壶里加水, 水位应该是上升的。但水壶里的水是热的, 还可能因为沸腾泡沫造成水位虚高而漫出来。另一方面, 新加的水是冷的, 刚加入时, 反而“压”住热水, 尤其是压掉了泡沫, 造成水位下降的表象。但水壶里的水毕竟是比较先前多了, 继续加水的话, 最终是会缓过来的, 水位会重新开始上升。这就是典型的暂态反向响应的例子, 最初的响应方向与最终的响应方向是反的。煮饺子时也一样, 煮开了, 加点冷水把沸水“压”下去, 在短时间里, 锅里的水位不是上升, 而是下降了。加水不是使水更容易漫出来吗? 加太多了当然还是会漫出来, 但加得刚好把沸水“压”住, 还是可以不至于使其漫出来的。这就是巧妙利用沸水水位反向响应的例子。

还有一种逆天的响应是非对称响应。比如说, 烧一壶水, 猛开煤气, 水温很快上升; 但关掉煤气, 水温要靠自然散热才能降下来, 水温变化就要慢得多。另一种特别逆天的响应会随过程条件而改变响应的方向, 也就