

主编：刘以林

中华学生百科全书

素质教育
必备的参考



ZHONG

HUA XUE SHENG

BAI KE QUAN SHU

控制论与自动化



92
LK

中华学生百科全书

控制论与自动化

总主编 刘以林

本册主编 李 快

北京燕山出版社

京新登字 209 号

中华学生百科全书

刘以林 主编

北京燕山出版社出版发行

北京市东城区府学胡同 36 号 100007

新华书店经销

北京顺义康华印刷厂印刷

787×1092 毫米 32 开本 250 印张 5408 千字

1996 年 12 月第 1 版 1996 年 12 月北京第 1 次印刷

ISBN7-5402-0491-5

印数:6000 册

定价:320.00 元(全 100 册)

《中华学生百科全书》编委会

主编 刘以林 北京组稿中心总编辑

编委	张 平	解放军总医院医学博士
	冯晓林	北京师范大学教育史学博士
	毕 诚	中央教育科学研究所生物化学博士
	于 浩	北京师范大学物理化学博士
	陶东风	北京师范大学文学博士
	胡世凯	哈佛大学法学院博士后
	杨 易	北京大学教学博士
	袁曙宏	北京大学法学博士
	祁述裕	北京大学文学博士
	章启群	北京大学哲学博士
	张同道	北京师范大学艺术美学博士
	赵 力	中央美术学院美术博士
	周泽旺	中国科学院生物化学博士

目 录

控制论思想

- 控制论击毁磁逐规..... (1)
- 控制论是什么? (2)
- 反馈机制..... (5)
- 陀螺与航行自动控制..... (9)
- 自动控制与电子战争 (11)
- “最优化”思想..... (13)
- 变色蜥蜴的启示 (15)
- “黑箱”问题..... (18)
- “人狮搏斗”中的控制论思想..... (20)

控制论的发展

- 控制论在科学史上的位置 (24)
- 控制论的诞生 (26)
- 钱学森与控制论 (27)
- 现代经济控制论 (30)
- 生物控制论 (33)
- 人口控制论 (35)
- 教育控制论 (37)

环境控制论	(39)
军事控制论	(43)
社会控制论	(44)

计算机时代的控制论

计算机控制	(46)
数值控制	(48)
柔性制造系统	(49)
机电一体化	(50)
全面自动化	(52)

自动控制的应用

工厂自动化	(55)
农业自动化	(58)
办公室自动化	(60)
家庭自动化	(62)
军事指挥自动化	(64)
纷繁多样的自动化	(67)

控制自动化的前景

21 世纪的“无人化工厂”	(69)
模糊控制论的进一步研究	(71)
智能控制	(73)

控制论思想

控制论击毁驱逐舰

1982年4月，英国和阿根廷在南大西洋的马尔维纳斯（福克兰）群岛附近，展开了第二次世界大战以来规模最大的海空战，也是世界上第一场动用核潜艇和空对舰导弹以及复杂电子系统的大战。这次海战，双方共出动了数十艘战舰和几百架飞机，尤其是使用了几十种现代化导弹，在水面、水下、空中和岛岸进行了封锁与反封锁、空袭与反空袭、登陆与反登陆的殊死较量。5月2日，英“征服者”号核潜艇在水下发射两枚配有先进制导系统的“虎鱼”式鱼雷，击沉了阿根廷唯一的一艘3千多吨的巡洋舰。5月4日，阿根廷使用法国制造的“超级军旗式”战斗机，在距英舰48公里左右处，发射一枚“飞鱼AM39”型空对舰导弹，一举击沉了英国现代化程度很高、价值约2亿美元的“谢菲尔德”号导弹驱逐舰。5月25日，阿方再次使用“超级军旗式”飞机发射两枚“飞鱼式”导弹，又击沉了一艘排水量为1.8万吨的英国“大西洋运送者”号运兵船。

阿方空军用一枚价值20万美元的“飞鱼”导弹，击沉了英国一艘价值2亿美元的导弹驱逐舰，使世界各国军事人员目瞪口呆，惊呼导弹在未来的海战中将起到“关键作用”。战斗结果表明，配有精密制导系统的武器彻底改变了传统海战方式，双方用不着面对面地舰炮对射，在几十公里乃至几百

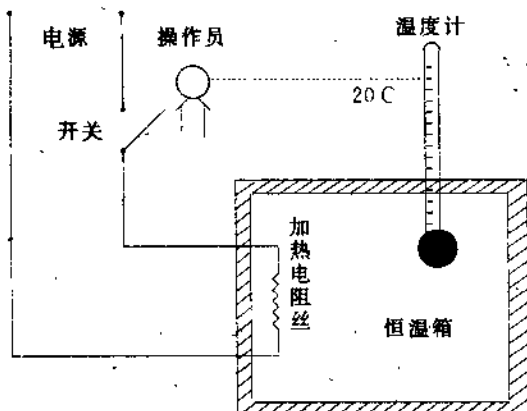
公里外就可用导弹发动攻击了。

我们介绍这一战例的目的在于说明这样一个事实：现代导弹装配的精密制导系统正是自动控制在军事上的一个重要应用。

控制论是什么？

控制论研究的对象是包括人在内的生物系统和各种非生物系统（如工程系统、化工系统、通讯系统、经济系统等）。所谓系统，是由相互制约的各个部件组成的具有一定功能的整体。

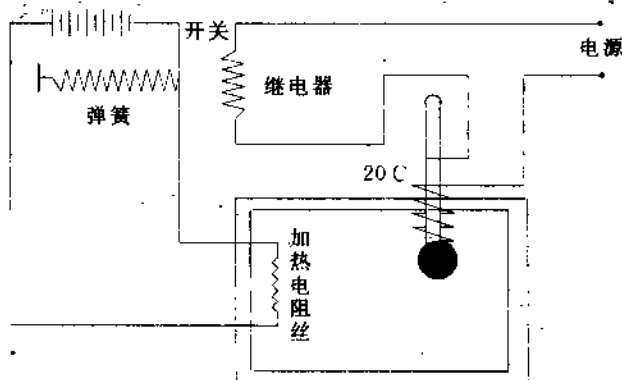
恒温箱就是一个简单的系统。如图所示，构成系统的基本部件是：电源、开关、加热电阻丝、箱体和执行动作的人。因为我们的目标是保持恒温箱内的温度不变，所以这就是



人工恒温系统

一个控制系统，受控对象是箱内温度，控制方式是接通或断开电源开关。

如果我们希望箱内的温度保持在 20°C （假定环境温度低于 20°C ），那么当操作员观察到温度计的数值低于 20°C 时，就合上开关，接通电源加热，使箱内的温度升高。等升到 20°C ，操作员又将开关断开了一段时间后，箱内温度就会因为散热而下降，这时操作员又得合上开关为箱于加热。重复上述过程，操作员眼睛观察温度计，手控制电源开关，就能基本上保证箱内的温度维持在 20°C 。



自动恒温系统

如果我们采用自动控制技术来代替人的劳动，就或为自动恒温系统。它与人工恒温系统不同的是减少了操作员，但增加了一根弹簧、一个继电器和有关线路。温度计底部及 20°C 处，各有一根导线连到电源上，这些增加部件的功能就是代替人工操作。当继电器回路的电源接通时，就会产生吸力，将开关拉开（断开），因此加热电阻不工作（停止加热）。如果继电器

回路中电源断开,继电器不产生吸力,那么开关受弹簧拉力的作用而闭合,接通加热器回路的电源,加热器开始加热。

这个系统是怎样实现自动控制的呢?原理很简单。因为温度计内的水银是可以导电的,所以当箱内温度低于规定值 20°C 时,继电器回路是断开的,不产生吸力,弹簧把开关拉紧(闭合),加热器回路有电,电阻丝发热,箱内温度持续升高。一旦温度升到 20°C 时,水银使继电器回路接通,因为继电器产生的吸力大于弹簧的拉力,所以将开关断开,加热器停止工作。由此可见,在自动恒温系统中,弹簧与继电器接替了操作员双手的工作——合上或断开开关;而温度计上的接线相当于人双眼的观察,它能依据箱内是否达到规定值而使继电器动作,从而实现了自动恒温的目的。

从上面这个简单例子可以归纳出自动控制系统的一个突出特点,即系统自动控制过程就是信息传递和变换的过程。但是一旦系统中信息传递受阻,又会发生什么情况呢?我们再以美国独立战争时期发生的一件事来说明。

当时,英国殖民主义者为了巩固它在美国的殖民统治地位和有效镇压美国人民的起义,曾组织了一次重要的战役。英军指挥者设想一支军队从加拿大出发,同另一支从纽约出发的军队,在一个名叫萨拉托加的地方汇合,对那里的起义队伍形成两而夹击的进攻阵势,企图一举消灭起义军队。但是战役的结果却并不像英军指挥者设想的那样。当其中一支部队到达指定地点时,却始终不见另一支英军前来汇合,结果形成了孤军奋战的被动局面,惨遭失败。事后才查明,原因是由于疏忽,行动命令只发给了一支部队,另一支部队根本就没有接到命令。

显而易见，英军失败的主要原因是信息受阻。其下属根本没有收到上级的任何指示，因为英军的信息传递只有自上而下（命令），而没有自下往上的信息反馈。所谓反馈（Feedback），是指当指挥者控制系统发出的指令信息（也叫系统输入）输入后，通过系统内部变换后又将信息作用的结果（也叫系统输出）返回到系统输出端，并根据系统输出与系统输入（规定值）是否吻合，再对系统施加作用的过程。这也正是控制论创始人维纳所提出的“双向通讯”的概念，既有从系统输入到系统输出的正向信息传递和变换，也有从系统输出端返回输入端的反馈信息。从控制论的观点来看，系统的自动控制过程正是通过“双向通讯”的信息反馈联系而实现的。信息在系统中的这种循环往返过程中，不断变换形式，是终实现控制目标。这就是控制论所揭示的自动控制系统的反馈机制，它是自动控制系统的第二个特点。

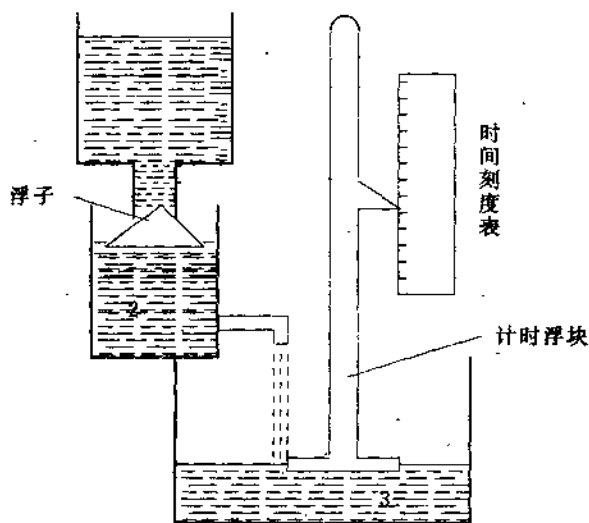
反馈机制

在山村野地，一群小鸡在噉噉喳喳地寻找食物，时而翻动草屑，时而啄食幼虫，怡然自得。一只饿鹰从远处飞来，发现了猎物，急速俯冲下来，吓得小鸡四处逃窜，于是演出了一幕“追踪—逃逸”的活戏剧。在这个“追踪—逃逸”系统中，对老鹰来说，目标是小鸡，控制机构是鹰脑（发出指令），执行动作的机构是鹰翅、鹰爪和嘴。在整个追踪过程中，鹰借助眼睛不断地获得反馈信息（即小鸡的位置、速度和方向变化），据此及时调整自己的动作，直到抓住目标。

从这场“鹰鸡殊死之战”的过程中，我们可以看出信息

反馈和反馈控制的重要性。

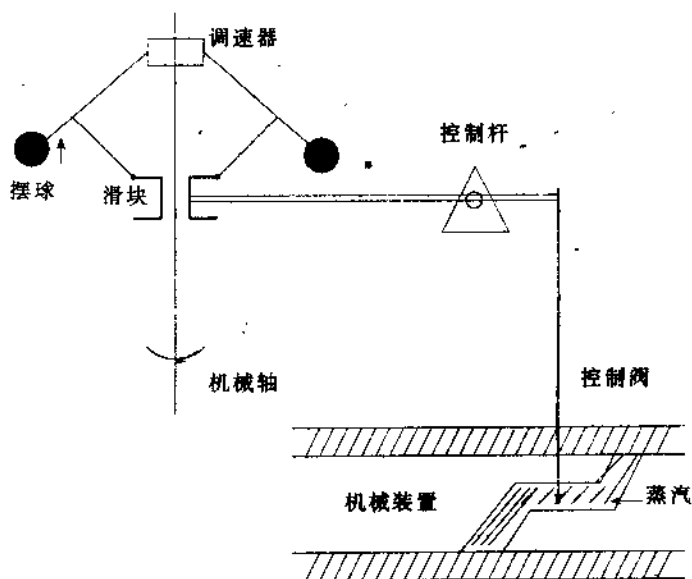
其实反馈作为一种技术手段自动控制目标，早在古代就开始了，只不过那时人们尚未从理论上加以升华。相传早在2千多年前，我国和古希腊都曾发明过水钟（“铜壶滴漏”）。这种简单的装置中就包含了深奥的反馈控制原理。水钟的基本要求是控制水流的速度恒定以达到准确记时的目的。控制方式如图所示。



水钟

反馈控制早期应用的另一个实例是离心式调速器如图所示。大家都知道，1768年，英国工人瓦特（J. Watt, 1736~1819年）发明了蒸汽机，从而导致了西方国家的第1次产业革命。据说瓦特小时候家里很穷，没有上过学，可是他十分爱学习，特别爱动脑子。一天，小瓦特在厨房里看奶奶做饭，

正巧炉子上的一壶水开了，壶盖“啪啪”地直响，还不断的跳动。小瓦特看了半天，感到很奇怪，就问奶奶：“什么东西使壶盖跳动不停呀？”奶奶说：“水开了，壶盖就动呗！”瓦特进一步问道：“为什么水烧开了，壶盖就会动呢？是不是有什么东西在里面推动它呢？”奶奶看瓦特老是问个不停，就说：“我不知道，你自己去看吧！”为了弄清壶盖为什么会跳动，瓦特常常坐在炉旁边仔细观察和思索，后来，他终于搞清楚了，原来，水烧开后，会产生一股“气”（即水蒸汽），是“气”的力量在推动壶盖上下跳动。瓦特长大后，正是利用这个道理发明了蒸汽机。



瓦特离心调速器

为了解决蒸汽机所推动的机械装置的速度控制问题，1788年瓦特在系统中采用了离心式自动调速器。据估计，在19世纪中，仅英国就有7.5万台装有瓦特调速器的蒸汽机装置。我们又一次看到了反馈控制的神奇魅力。

有趣的是，我们人体本身几乎处处都具有高速复杂控制能力的反馈控制系统。不知大家注意过没有，人体在正常状态下，无论春夏秋冬环境如何变化，都能保持体温、血压、血糖浓度、呼吸和心跳率基本恒定。大多数动物也具备这种功能。但是大家是否知道人类和动物如何实现这种自我调节功能的机理呢？说白了，关键还是反馈控制的功劳。人体内显然没有像继电器、温度计和调速器这一类东西，而是依靠更为复杂的生物化学或生物物理过程来“检测”各种生理变化的。例如，血液中葡萄糖浓度若偏离标准值，人体检测到这条信息后就会由大脑中枢神经发出控制胰岛素分泌的命令（信息），由胰岛素分泌量的变化来调整血糖浓度使之恢复到正常值。同样的，人体内各种分泌和神经系统，每时每刻（即使当你睡着的时候）都在参与各种自我调节活动，以保持人体内部状态和心现状态基本稳定。这些自我调节过程和我们前面介绍的自动恒温、离心调速器的原理基本上是一致的。

反馈控制的概念还可以应用到更为广泛的领域，如教师讲课时，在认真讲授书中内容的同时，还密切观察同学们的反应，并随时提问，课后批改作业。这后面的三种方式就是为了获取反馈信息，以检查同学们掌握教学内容的程度，并根据这些信息调整讲授方法和进度，确保教学质量。

反馈机制对于人们的各种社会实践活动也具有十分重要的意义。就拿企业管理来说吧，管理也是一种深奥的控制活

动，必须紧紧抓住信息反馈这个关键环节。管理没有信息反馈，只有上情下达，而无下情上达，就必然会脱离实际而出乱子，企业也会弄得一塌糊涂。同样，对经营决策者来说，市场信息的反馈也是至关重要的；不注意市场需求变化而关起门来盲目生产的决策者，必然会导致企业亏损，甚至倒闭。

从上而的讨论可以看出，信息概念和反馈思想是控制论的两个基本出发点。

陀螺与航行自动控制

大家小时候可能都玩过陀螺，当你掌握了正确方法用鞭子抽打它几下以后，它就会尖顶朝下竖起来，并绕其轴线旋转而不倾倒。

可别小看陀螺这小玩意儿，人们正是根据其自旋不倒的原理而设计制造出了五花八门的精密陀螺仪，为各种飞行器（如飞机、导弹、人造卫星等）的飞行自动控制奠定了基础。尽管陀螺仪的外表看起来与常见的陀螺不大一样，其大小也不尽相同（如用在飞行仪器上的陀螺仪最轻者只有几十克重，而一个稳定核潜艇的陀螺仪却重达 55 吨），但是基本原理却并无二致。

陀螺仪对于现代飞行控制系统来说可谓举足轻重。它不仅对整个系统的工作起着决定性作用，而且它的精度高低、可靠性程度和使用寿命长短等指标，对飞行器的稳定性和精确性都有着至关重要的影响。

陀螺仪的最早应用领域是航海事业。19 世纪人们广泛利用陀螺仪标定航向，在漫长的航海史上写下了新的一页。从

20 世纪 40 年代开始，陀螺仪便在导弹武器及航空航天事业上得到广泛应用，其稳定性和工作精度也随着科学技术的进步和工艺水平的提高而迅速提高。目前陀螺仪已有滚珠轴承、气浮、滚浮、挠性、激光等类型。

陀螺仪在高速旋转时，能够抗拒任何外力和干扰的影响，保持其自转轴相对于惯性空间方向上稳定不变。当飞行器的飞行姿态偏离了预定正确方向，陀螺仪在转轴与飞行方向之间的夹角便发生了变化，飞行器上的检测元件立刻就可测量出来，并同时发出控制信号，通过执行机构的作用使飞行器的状态恢复正常。因此，这种自动控制系统也叫做“姿态稳定系统”。

陀螺自转轴方向不变的原理除应用于导弹的制导和飞机姿态控制以外，在宇航技术中也同样得到广泛运用。例如陀螺仪用在人造卫星上，可以保证人造卫星不受外界干扰而稳定运行在预定轨道上。不论人造卫星绕地球转到哪个位置或受其他什么外界干扰，卫星上的陀螺仪始终是指向空间某一预定方向。

小小的玩具陀螺和精度日益提高的陀螺仪竟具有完全相同的原理，初看起来似乎觉得有点不可思议，其实这正是大千世界中存在的客观规律。许多表面上看来非常简单的东西，却蕴藏着深奥的科学道理，关键在于我们要认清其本质规律，从而推动社会向前发展。

英国科学巨人牛顿从苹果落地而不是飞向空中这样一个司空见惯的现象中，发现了苹果从树上落到地上与其他行星绕太阳运行都遵循着同样的法则——万有引力定律，并且计算出了太阳系中各行星绕太阳旋转的轨道和周期，一下子把

几百年来争论不休的是“日心学说”正确还是“地心学说”正确的问题解释得一清二楚。科技发展史表明，科学上许多原理和理论，常常是经过一段模糊时期后突然为人们所认识。细心的读者是否会从中得到什么启迪呢？

自动控制与电子战争

现代科学技术的发展，使电子技术在军事上的应用日益普及。现代化的武器装备，如大炮、坦克、飞机、军舰、导弹等，都配有相应的雷达、通讯设备及红外线或激光装置。然而历史的发展规律总是“有矛就有盾”。有了电子技术的应用，就会有电子技术上的斗争，这样现代战争中就出现了一个崭新的竞争领域——电子对抗和电子干扰，或叫做电子战。

所谓电子对抗，是指敌对双方利用电子设备和能够反射、吸收电磁波的器材的电子斗争。电子对抗的历史可以追溯到本世纪初。当无线电刚开始在军事通信中应用时，以截获和破译敌方情报为特征的简单的无线电通信对抗就萌芽了，并揭开了电子对抗的序幕。二次大战以来，炮瞄雷达、导弹制导雷达和飞机截击雷达相继问世，大大提高了武器命中率。与此同时，围绕着兵器控制与反控制展开了更激烈的电子对抗。

我们知道，雷达和无线电通信是现代社会的当之无愧的“千里眼”和“顺风耳”。而电子干扰却能把敌人的“眼睛”和“耳朵”封住，使它们或为“瞎子”和“聋子”，或者巧施妙计，使敌人上当受骗。比如，利用雷达干扰发射机作为干扰源，可以发射或转发某种电磁波来压制敌方的电子设备，使它们无法正常工作。我们平时收看电视都有体会，如果附近