

维纳

蔡天新 浙江大学数学学院

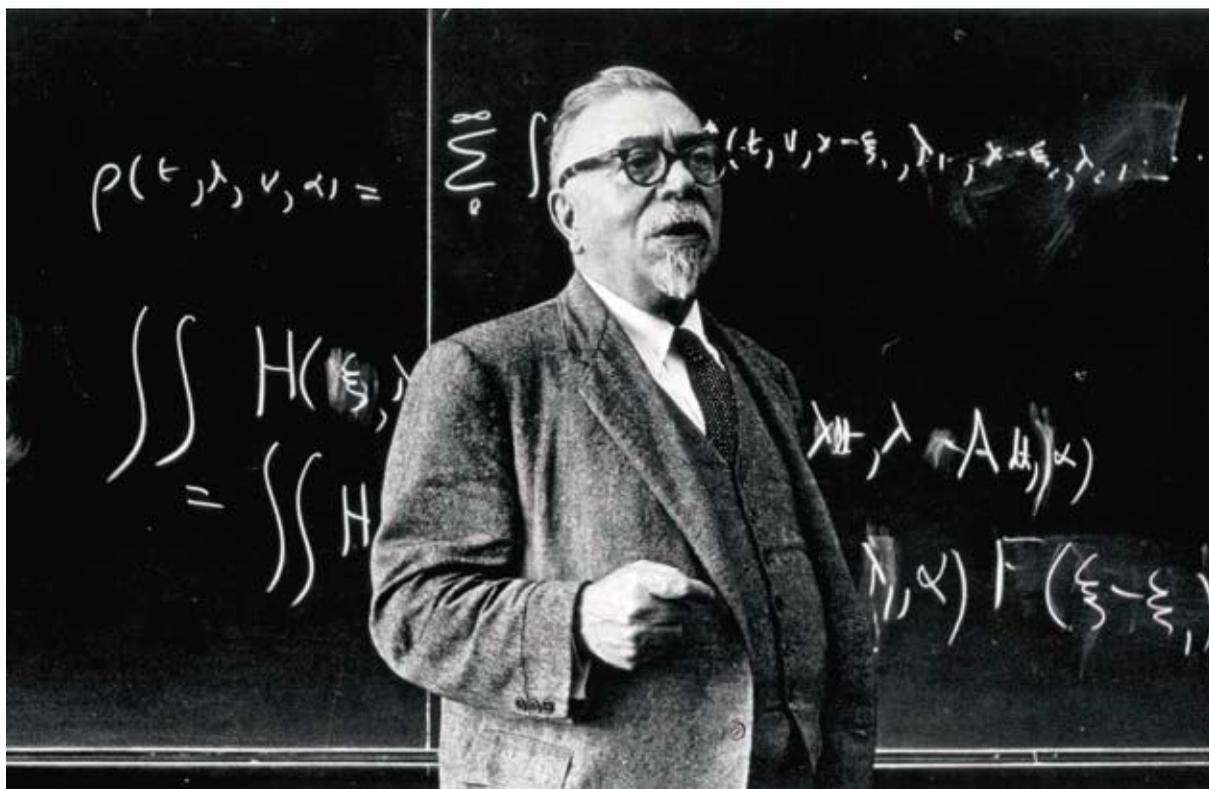


图1 维纳：他的演说之蹩脚是出了名的，他是会说多种语言，但没有一种容易听懂，他的文体也很混乱。 —— 佚名

我在山大读本科时的专业是自动控制，后来因为兴趣转移，考研时改为数论方向。这一改变虽然是在数学系内部，但还是挺大的，相当于从应用数学转到纯粹数学，与某些同学的选择刚好相反。没想到还挺顺利，以高等代数满分，数学分析和总分全系第一，英语全校第一考取了本校研究生。在此我想介绍一下自动控制这门学科及其代表人物，借机重温一下当年，也算不枉此生就读过的唯一一个本科专业。

自动控制是一个跨学科的领域，起源于工程学和数学，后来也逐渐应用于各种社会科学，包括经济学、社会学、心理学、犯罪学及金融系统。山大的自动控制因为偏重理论，也叫控制理论。通常可用方框表示的控制系统主要由测量、比较、计算和修正组成，这与我们每个人的成长历程颇为相似。

控制理论的核心原理是反馈。反馈最初是生物学概念，是指一个系统（分子、细胞或种群）中能影响该系统的连续活动的反应，后来成为现代科学技术的基本概念。而控制理论中的反馈，是指将系统的输出返回到输入端并以某种方式改变输入，进而影响输出的过程。

完成反馈功能的装置叫控制器，它可以是电路、机器，也可以是人脑，后者接受来自眼睛的信息，比如关于伸出的手和要抓获的对象之间距离的信号。以斯诺克为例，当一方做成后，对手无法用白球直接击打目标球，需要实现一库或多库的反弹，再击中目标球，这也叫解球。如果斯诺克做得高明，往往不是一两次能够解开，而击中其他球是要罚分的。为此，就需要依据上一杆的经验加以调整。

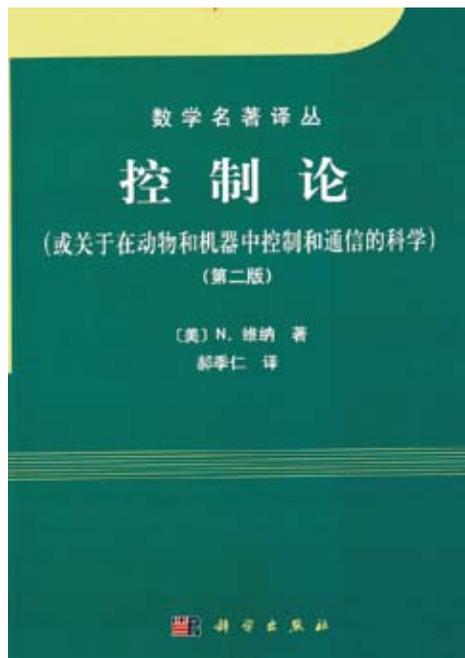


图2 《控制论》中译本

上述例子可谓最简单的控制了，在日常生活方面，常见的例子有冰箱、空调和飞机的自动驾驶仪，等等。在我看来，即便纯粹数学、尤其是求解方程，也有许多反馈例子。比如，古代巴比伦人是这样求一个数的平方根的。他们先取 a 接近 x 的平方根，求得 $b=x/a$ ，令 $c=(a+b)/2$ ；再求 $d=x/c$ ，令 $e=(c+d)/2$ ；如此反复，将会越来越接近于 x 的平方根，并在其精确值附近来回振荡。

控制理论最基本的特点和要求是稳定性。随着工业革命的到来，锅炉的压力问题和水温调节器应运而生，瓦特在蒸汽机上使用了离心调速器，解决了蒸汽机的速度控制。另一方面，为了改善调速器的准确率所作的努力，常常会导致系统瘫痪，这就产生了稳定性问题。记得大学时学

1 李雅普诺夫（1857-1918），俄国数学家、物理学家，圣彼得堡大学博士，圣彼得堡科学院院士。1917年陪同患肺结核的妻子去敖德萨，在她去世当天举枪自杀，三日后不治身亡。

过几个稳定性判别准则，而对于无显性解的微分方程，则需用到李雅普诺夫¹判据。

经典控制理论适用于单输入、单输出的线性系统。在这种理论指导下，飞机上自动驾驶仪的性能得到提高，它也为研制前两代导弹提供了基础，不过命中率并不高。因而非线性理论受到重视，这一理论帮助改进了50年代的战术导弹系统。可是，随着导弹和航天技术的发展，对飞行器控制的精度要求不断提高，加上飞行器的飞行环境和任务更趋复杂，对控制系统提出了更高的要求。为满足这些要求，需要寻求新的理论来指导控制系统的设计。

1948年，美国数学家诺伯特·维纳（见图1）同时出版了《控制论——关于在动物和机器中控制与通信的科学》一书的英文版和法文版。把原先单一的对机器的控制全面拓广，论述了控制理论的一般方法，进一步明确了反馈的概念和控制器的数学定义，赋予控制理论这门学科新的涵义。同时指出了四项基本原则，即普遍性、智能性、非决定性和黑箱方法。

维纳给这一复杂系统的理论起了全新的名字 cybernetics，这是因为，“所有现有的术语不是过分偏重于这一方面就是过分偏重于另一方面，不



图3 1935年，维纳（前排左五）在中国

能适应这个领域未来的发展”。这个词的希腊语词根意为“操舵术”，在柏拉图的著作中，常用它来表示管理的艺术。如此说来，中译名“控制论”并非维纳的本意²。

1894年11月26日，维纳出生于密苏里河畔的小县城哥伦比亚。他的双亲均为犹太人，父亲列奥出生在俄国，十八岁独自漂洋过海来到美国，通过自学，成为哈佛大学斯拉夫语教授。维纳认为父亲是天生的学者，集德国人的思想、犹太人的智慧和美国人的精神于一身。

至于维纳本人，他是个神童，四五岁便开始阅读法国博物学家布封的《自然史》和天文学科普读物，七八岁时他已无所不读了。在其他男孩想当警察的时候，维纳就立志献身科学了。无论

2 《控制论》中文版由科学出版社于1961年首版，译者是龚育之、罗劲柏、侯德彭、陈步。由于后两位出版前被划为“右派”，而前两位不同意只有他们署名，于是用了笔名“郝季仁”（好几人）。2007年，北大社重版此书时，为尊重历史，仍在世的译者建议署名不变。



图4 维纳和李郁荣（右，Yuk-Wing Lee）

拉丁语、希腊语、德语还是英语，都存在他的记忆库里，随时随地可以使用。有一天，小维纳被 A 乘 B 等于 B 乘 A 是否成立的问题给迷住了，以至于怀疑它的真实性，而这一乘法的交换律问题正是现代数学的起点之一。

父母试着送维纳去上学，但他在学校里找不到乐趣，直到九岁才进入一所中学，结果不到十二岁就毕业了。明智的列奥送儿子进了一所小学院，而没有让他报考哈佛大学，以免媒体过分关注神童。入学时维纳的数学已超出大学一年级水平，他直接攻读伽罗华理论，同时对物理学和化学产生了浓厚的兴趣。第二年，维纳又被哲学、伦理学和心理学所吸引。

斯宾诺莎和莱布尼茨是维纳最欣赏的哲学家，前者崇高的伦理道德和後者的多才多艺都让他倾倒。他还喜欢阅读威廉·詹姆斯的巨著，并通过父亲认识了这位在哈佛任教的实用主义大师。与此同时，饲养室里的管理员也成为维纳的亲密朋友，他热衷于采集生物标本。

维纳用三年时间念完了大学课程，开始攻读哈佛大学的生物学博士，他从童年开始便渴望成为生物学家。可是，维纳的实验工作却接连失败了。他动手能力差，缺乏从事细致工作所必需的技巧和耐心，深度近视更增添了麻烦。在父亲的安排下，转到康奈尔学哲学，一年后又回到哈佛攻读数理逻辑，十八岁获哈佛大学哲学博士学位。



图5 维纳的老师罗素、哈达、希尔伯特和兰道

维纳自小到大接受的是通才教育，这促使他的才能横向发展，为将来在众多领域之间自由驰骋奠定了基础。从数学到生物学再到哲学，实际上就是维纳整个科学生涯所经历的道路。在哈佛的最后一年，维纳申请到了学校的旅行奖学金，先后留学英国剑桥大学和德国哥廷根大学，师从罗素、哈代、希尔伯特和兰道（见图5），从大师身上认识到科学的力量和知识的深度。

之后，维纳的兴趣仍在逻辑和哲学方面，直到1918年，通过研读早逝的妹夫遗留下来的藏书，他对现代数学才有了进一步理解，作为数学家的生涯姗姗来迟。翌年维纳受聘麻省理工学院数学系助教，慢慢开始发力，他在顶尖数学杂志上发表了数篇百余页的大论文，开创了多个领域。1933年，维纳当选美国国家科学院院士。八年以后，他却因为对官僚体制不满而辞去院士头衔。那时他的兴趣已转向控制论和计算机，并曾在1935年来清华访问一年（见图3），期间他与李郁荣合作（见图4）研制出电子滤波器并获得专利。

在维纳半个世纪的学术生涯中，先后涉足哲学、数学、物理学、工程学和生物学，每个领域都取得了丰硕成果，称得上是文艺复兴式的巨

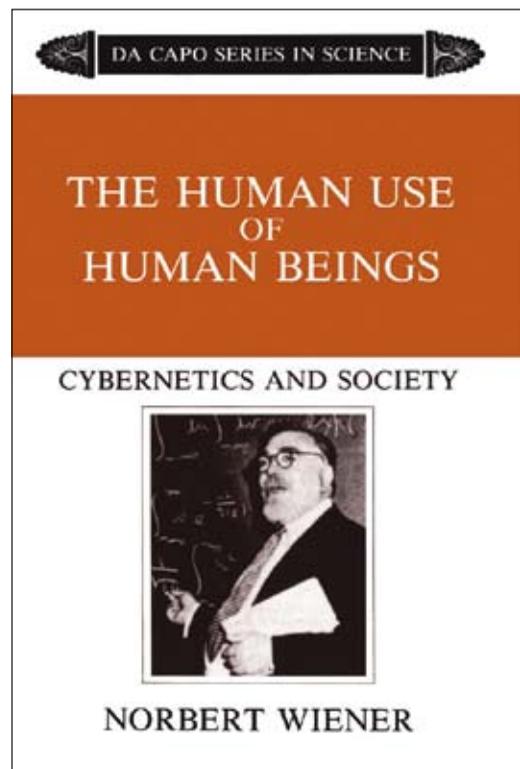


图6 维纳的另一本知名著作《人的用处，控制论与社会》

人。他共发表两百多篇论文，出版十四本著作，包括自传《昔日神童》和《我是一个数学家》（另一本见图6）。作为分析学家，他建立了诸如维纳测度、巴拿赫-维纳空间、维纳-霍普夫方程等。作为系统科学家，他提出了维纳滤波理论，开创了维纳信息论。

当然，维纳最大的贡献是创立了“控制论”这一包罗万象的新学科，这使他迅速成为知名人士，甚至获得“信息时代之父”的赞誉。与此同时，“他的演说之蹩脚是出了名的，他是会说多种语言，但没有一种容易听懂，他的文体也很混乱”。1963年，维纳成为第一个获得美国国家科学奖的数学家，翌年初春，他在斯德哥尔摩访学时因心脏病突发去世。

就像其他科学分支一样，控制理论的发展也经历了从经典到现代两个阶段。现代控制理论是利用现代数学方法和计算机来分析复杂控制系统的新理论，适用于多输入、多输出的非线性系统。飞行器控制正是这样的系统，从20世纪60年代“阿波罗”登月，20世纪70年代“阿波罗”与“联盟”太空对接，到20世纪80年代航天飞机成功飞行，都离不开现代控制理论。在控制精度方面，应用现代控制理论、计算机和新型元部件，洲际导弹的命中精度可由几十千米减小到一百米。

现代控制理论的核心是最优控制理论，它改变了经典控制理论以稳定性为中心的设计方法，而以系统在工作期间的性能作为整体来考虑，为此庞特里亚金建立了极大值原理（1958）。这一原理以及卡尔曼滤波（1960）和贝尔曼的动态规划（1953）被称为最优控制理论的三大里程碑。

有趣的是，贝尔曼（Bellman，与钢琴大师贝尔曼Berman不同姓但译名相同）和卡尔曼分别是波兰裔和匈牙利裔，而庞特里亚金来自前苏联，

这三个国度当年因为意识形态的原因都曾对控制论予以批判和抵制。虽然我早已把学过的东西还给老师，但在我的山大同学和老师中间，却有两位在现代控制理论领域取得世人瞩目的成就。

在荒凉的1961年，我的同班同学郭雷出生在淄博农村，祖辈务农，父亲只念过小学，初师肄业的母亲是全家学历最高的。母亲是他的启蒙老师，从他四岁开始，小学老师的母亲上课时总要把他带上，让他坐最后一排。等到郭雷上学了，每次考试几乎都是满分。初中时他做过文学梦，作文常被语文老师课上朗读。数学作业他也第一个完成，然后在同学们之间传抄。

郭雷高中毕业时，和我一样遇到高考恢复。不同的是，填报山大志愿时他想象自己坐在家里一按电钮，农田里的水泵就能自动浇水，也能自动监视农田的灌溉状态。因为郭雷太过优秀，大



郭雷院士



彭实戈获2016“求是杰出科学家奖”，孙家栋（左）、查懋声（右）为其颁奖

学毕业时同专业的几位教授都不好意思留他做研究生，而是经过集体讨论，一致建议他报考中科院。

那时候的中关村是个跳板，从各地来的大学生考入某某研究所，不久以后便漂洋过海留学去了。像郭雷那样扎根不动，直到拿到博士学位并在国际顶级刊物发表多篇论文的属于少数。他首次获得国家自然科学奖（与导师合作）时，年仅二十五岁。郭雷在澳大利亚做博士后期间，同样硕果累累，回国后住招待所那段日子里，他趴在床头柜上解决了有关稳定性的一个国际控制界悬而未决的难题。

荣誉接踵而至，不到四十岁郭雷便当选中科院院士，随后就任数学与系统科学研究院院长，

该院源自华老先生首任所长的数学研究所。瑞典皇家工程院推选郭雷为外籍院士，国际自动控制联合会授予他荣誉会士称号，他还曾应邀两次在三年一度的国际自动控制联合会世界大会上作一小时报告。

回忆山大的本科岁月，必须提到的是我和郭雷共同的老师彭实戈，当年他还是个助教，在小教室里教我们线性系统理论。彭老师出身红色家庭，祖籍广东海丰，母亲是中共早期农民运动领袖彭湃的侄女。1947年，身怀六甲的彭妈妈搭乘一艘军舰从广东来到山东，不久儿子在滨州呱呱坠地。参加过济南战役的父亲为他取名“实戈”，希望他长大后做一名合格的战士。

然而，还没来得及见上儿子一面，父亲就阵

亡了。因为父亲的鲜血洒在济南，母亲也就永远留在泉城相伴了。可能因为出身比较好，彭老师后来成了工农兵大学生，入读山东大学物理系，期间他从图书馆借阅了许多物理学和数学的经典著作，打下良好的基础，才有可能写出后来把他从无线电厂调入山大的那篇数学论文。

1983年冬天，三十六岁的彭实戈留学巴黎第九大学。三年以后，他获得九大的数学与自动控制和普鲁旺斯大学的应用数学双博士学位。彭老师悄悄地走、悄悄地回，我一点都不知情。直到1992年他获得国家自然科学奖，我才了解到他的“蜕变”和大器晚成，随后他获得许多荣誉，包括华罗庚奖和陈嘉庚奖，并当选中科院院士。

彭老师在随机最优控制系统的最大值原理、倒向随机微分方程和非线性数学期望这三个分属控制理论、金融数学和概率论领域的研究均取得国际领先的原创性成果，得到国内外同行的高度评价和广泛应用，并推动了相关学科的发展。其中倒向随机方程被誉为巴赫杜-彭方程，他也因此受邀在2010年印度海德拉巴国际数学家大会上做一小时报告，成为第一个获此殊荣的中国大陆数学家。

多年以后，彭老师和郭雷先后接受我的邀请，来浙大作客我主持的理学大讲堂，为本科生做公众讲座。我们趁机重叙了早年的师生和同学友情，对数学的热爱成为我们共同的话题。郭雷便是那位几年前悄然出席猝亡的地质大学闫同学追悼会的同班同学，原先只有系里同事和亲属参加，闻讯后校长和书记迅即赶到。而2016年秋天，我也在网上亲睹彭老师获得100万元的求是杰出科学家奖的直播。

该文转载自《数学文化》2017年第8卷第1期。



【作者简介】蔡天新，曾是少年大学生，山东大学理学博士，浙江大学数学学院教授、博士生导师。同时也是一位诗人、随笔和游记作家，有中文著作20多种，外版著作10多种。本文是他新近完成的《我的大学》中的一篇。