

维纳与控制论

阮晓钢 北京工业大学

1948年，诺伯特·维纳（Norbert Wiener）创立了控制论（Cybernetics）。

Cybernetics一词来自希腊语，原意为掌舵术，包含了调节、操纵、管理、指挥、监督等多方面的涵义。控制论的思想渊源可以追述到古代和近代自动机器以及社会管理方面的影响。有人问维纳：“控制论创立时，是否出现过某些哲学思想的影响？”维纳回答说：

“哲学家中有一个人，如果活到今天，毫无疑问，他将研究控制论，这个人就是莱布尼茨。”



控制论之父维纳

控制论最直接的思想基础来自自动机器，特别是具有类似人脑逻辑推理功能的自动机器。要让机器思维，就需要研究思维的规律，并使之形式化。这就产生了形式逻辑。大约两千年前，古希腊学者亚里士多德就为形式逻辑打下了坚实的

基础，其中，三段论就是形式逻辑的典型代表。三段论法是自然语言形式的逻辑形式。对自动机器而言，更好的逻辑形式应该是以数学语言表现的形式，这就是数理逻辑。数理逻辑是数学和哲学交叉的科学。

数理逻辑恰好是维纳博士学位论文的主题。

从某种意义上说，最早研究数理逻辑的就是德国著名数学家和哲学家莱布尼茨。早在17世纪，莱布尼茨就试图用数学形式建立逻辑推理体系，并于1673年发明了二元算术自动计算装置。1697年，莱布尼茨从耶稣会理士白晋那里得到了中国的《易经》。白晋曾为中国康熙年间宫内的法国传教士。白晋回欧洲后，系统地向莱布尼茨介绍了中国的古代哲学。莱布尼茨研究了《易经》中的“圆圆方位图和六十四卦次序图”，并写出了《论中国人的自然哲学》长论文。在《莱布尼茨全集》第四卷第一期上有莱布尼茨写给友人的长信，其中，就有对《易经》的论述。有人认为：“控制论的直系祖先是欧洲的莱布尼茨，其哲学基础，来自《易经》。”

然而，产生控制论的最直接原因是20世纪20、30年代以来现代科学技术的发展和进步。其中，数学、生物学、神经生理学、心理学、语言学等学科的进步，为控制论的产生奠定了理论基础；而自动装置、无线电通讯，特别是雷达的发展为控制论的产生奠定了技术基础。

近代大工业更是控制论产生的原动力。

18世纪末、19世纪初，瓦特发明了蒸汽机。

在蒸汽机的速度调节和控制问题中，负反馈扮演了重要角色，由此产生出了控制论的思想火花。瓦特把蒸汽机速度调节装置称为Governor，与维纳的Cybernetics有相似的含义，负反馈是其基本特征。Governor是一个机械装置，但它同时又是一个自动检测装置和自动计算装置。

控制论的诞生有其深刻的历史背景和社会背景。然而，在学术界，人们始终把维纳视为控制论之父。是维纳的《控制论》一书才在真正意义上开辟了Cybernetics这一新的学科，就连学科名Cybernetics也是创造性的。

要了解控制论的诞生过程，就必需了解维纳的科学工作经历。

维纳可以说是20世纪少数几个探索型科学家之一，具有敏锐的哲学头脑，总是不满足于已有成就，不断把探索的目光投向新的领域。

维纳从20世纪20年代开始自己的科学生涯起，就迈向“函数空间积分”的崭新领域。由于不满足于一般积分理论，维纳要寻求其物理验证，这就把他引导到布朗运动，并首先在这里运用了勒贝格积分。

布朗运动是分子的偶然的随机运动，维纳由此而开始了对随机过程的统计问题的研究。维纳对布朗运动和随机过程的研究，是他毕生事业中具有决定意义的环节。正如历史的发展所阐明的那样，20世纪的物理革命并不只是相对论和量子力学，还有统计物理。统计物理所表现的偶然性世界取代了牛顿的机械必然性世界。维纳对于统计物理学的远见卓识，直到他去世后由于科学技术革命的开展而为更多人所理解。相对于牛顿的机械论自然图景而言，维纳的科学思想带来了人们思考自然方式的深刻变革。牛顿力学的世界是符合严格决定论要求的，过去、现在和未来都可以由一组数学方程式所揭示的规律严格精确地

加以规定和测算。这种思维方式对人们的影响如此之深，以至于大多数人，包括大物理学家爱因斯坦，都认为偶然性、概率、统计这些东西与规律性从根本上讲是不相容的。爱因斯坦1944年写信给玻恩说：“你相信掷骰子的上帝，我却信仰完备的定律和秩序。”然而，如果世界从根本上讲是符合严格决定论要求的，那就意味着世界上所有的人的活动都必须符合严格决定论要求，这就走向了宿命论。宿命论意味着，没有随心所欲，没有主观能动性，没有选择和创造。这是不可想象的。只要有人的具有主观能动性的活动，就会有各种各样的偶然性，就会改变生活和社会发展的进程，就会使概率、统计、不可逆演化成揭示事物发展规律的不可忽视的因素。这种随机演化的思想，从波尔兹曼、吉布斯那里就已经萌发，然而，经过维纳等人的研究工作，才使之趋于成熟。维纳将这种随机演化思想同控制、信息、系统、反馈这些今天人们耳熟能详的概念联系在一起，从而展示了当代系统科学的深刻思想渊源。这种随机演化思想是维纳控制论思想的基础之一。

20世纪30年代，维纳从统计问题出发，又将注意力转向与此有密切联系的通讯理论的研究。维纳是第一个把通讯作为统计过程来处理的人，从而使通讯工程成为一门统计科学。

1935 - 1936年，维纳接受清华大学邀请，来中国清华大学讲学和工作，一干就是两年。这期间，维纳同中国科学家李郁荣合作建立了“维纳滤波”，以最优方式把噪声同信号分离开来。这是控制论的理论准备之一。

哈佛大学有一个定期举行的科学方法讨论会。参加讨论会的人形形色色，有物理学家、计算机科学家、神经生理学家、心理学家、社会学家；有著名的教授，也有初出茅庐的青年科学工

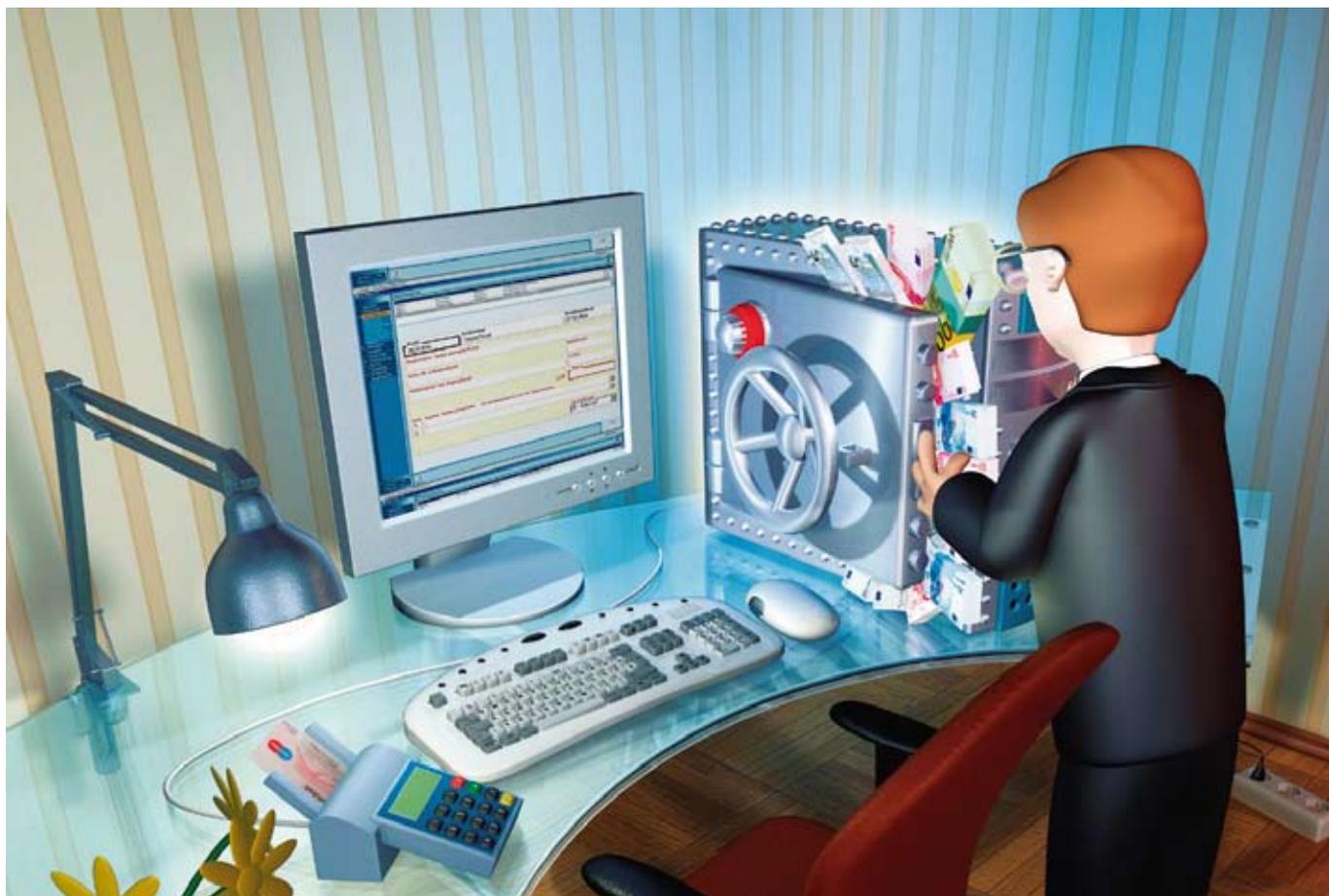
作者。20世纪30年代末，维纳和冯·诺依曼（Von Neumann）等人是这一科学方法讨论会的常客。

自动机器是社会的需要。自动机器需要控制论，控制论也需要自动机器。自动机器的研究与控制论的产生密切相关。控制论的思想就是在研究自动机器（包括自动控制系统和计算机）的过程中逐步产生的。维纳关于控制论的思想，部分来自于他对自动机器，包括自动控制系统和计算机的思考和研究。

第一次世界大战期间，维纳曾在马里兰（Maryland）的阿伯丁实验场（Aberdeen Proving Ground）进行弹道学研究，其主要工作是编制数学用表，主要用于确定火炮瞄准飞机的方位。第二次世界大战爆发，要求防空火力对飞机进行更为精确的跟踪，美国军方又一次邀请维纳参与其研究工作。

社会的需求是控制论产生的动力。

1940年，美军军方请维纳去阿伯丁实验场重新制订火力表。军方说，希特勒的战斗机速度很快，飞行员们又大耍曲线、翻筋斗的伎俩，英法美盟军的高射火炮根本打不着它们。地面指挥官和炮手们为此很苦恼。因此，需要制订新的火力表。尽管维纳是一个激进的和平主义者，但他还是作为一个数学家，参与了军方的研究工作。维纳说用手工和计算尺计算肯定不行了，只有研制高速的计算机。维纳特意写信给时任美国总统罗斯福科学顾问的范内瓦·布什，提议制造电子计算机，并提出了制造电子计算机的五点要求，即计算机五原则：(1)不是模拟的，而是数字的；(2)由电子元件构成，尽量减少机械部件；(3)采用二进制，而不是十进制；(4)自动程序运算；(5)在计算机内部存储数据。布什表示同意，并立即立项，于是，号称世界上第一台电子计算机的ENIAC就这样诞生了。为了打击空中目标，防空火炮在开



火的一刹那必须瞄准目标前方某一点，要想提高火炮的命中率，这个提前量必须迅速而准确地计算出来。尽管德国飞行员善于飞行机动，但飞机的飞行是有规律可寻的，特别是当飞行员的机动结束时。凭借对预测问题的研究基础，以及在麻省理工学院使用模拟计算方法的经验，维纳提出了将防空火炮与雷达结合使用的方案：雷达获得的目标数据经过数学运算生成瞄准数据并送往炮塔马达，由炮塔马达自动完成瞄准。

维纳提出的方案获得了成功。然而，对于这种新的防空火炮自动控制装置，产生了一个分类的问题。人们认为这种自动控制系统属于动力技术领域，而不是通信技术领域。维纳不同意众人的观点。维纳认为，自动控制系统是通讯设备。依维纳的观点，在防空火炮自动控制系统中，电动机的作用是向炮塔传送设计参数，因此，可以把马达和控制马达动作的计算机看作是通信设备。维纳将计算机看作“另一种形式的通信设备”，认为“它与信息而不是动力存在着紧密联系”。特别令维纳兴奋的是，他发现，防空火炮自动控制系统的运动与生物体运动有着惊人的相似之处：

“二者均对输入信息进行处理并产生反应。”

维纳由此开始将计算机与大脑和神经系统联系在一起。

通过研究防空火炮自动控制系统，维纳形成了反馈(Feedback)的思想和概念，控制论的概貌开始在维纳的头脑中建立起来。

1943年，维纳和墨西哥生理学家罗森布鲁特以及阿伯丁实验场工程师别格罗合作撰写了《行为、目的和目的论》的论文。《行为、目的和目的论》的中心思想是：一切控制行为，

都是一个从原因到目的之间的随机试探、反复调节的曲折过程。

《行为、目的和目的论》几乎是一篇纯粹哲学的论文，却提出了控制论的基本概念。

《行为、目的和目的论》从反馈角度研究了目的性行为，找出了神经系统和自动机器之间的一致性，并明确提出了后来成为控制论基本概念的词汇“反馈”。

从某种意义上说，《行为、目的和目的论》是《控制论》的序篇。

也是在1943年，神经生理学家麦克卡洛(McCulloch)和数学家匹茨(Pitts)合作，应用反馈机制，建立世界上第一个神经网络模型，即人工神经网络。第一代电子计算机的设计者艾肯和冯·诺依曼认为，这些思想对电子计算机设计十分重要，就建议维纳召开一次关于信息、反馈问题的讨论会。1943年底，由维纳和冯·诺依曼发起，在普林斯顿大学召开了关于信息与反馈的讨论会，参加者中有生物学家、数学家、社会学家、工程专家，从各自角度对信息反馈问题发表意见，研讨学科交叉问题。

维纳与世界各国各学科的科学家有广泛的接触，因而吸收了许多有益的思想。

1947年，维纳去法国参加一次数学会议，途经英国，拜访了图灵，并与图灵讨论了控制论的基本思想，还参观了剑桥大学心理研究所。这次英国之行，使维纳强烈意识到控制论的建立已成为一种国际性的声势。

1948年，维纳的《控制论：动物与机器中的控制与通讯》(Cybernetics: Control and communication in the animal and the machine)出版了。

一门新的学科由此诞生。

维纳兴趣广泛且学识渊博，这是创立控制论

所需要的。维纳在理论物理学、生物学、神经生理学和心理学、哲学、文学等领域都有涉猎和建树。控制论的诞生是社会发展的必然。然而，控制论由维纳创立，却是维纳成长过程及其科学研究工作的必然。

维纳一直将控制论的产生归结于众多科学家的集体智慧。关于控制论与自己的研究工作的联系，维纳是这样解释的：

“对布朗运动的研究将我引向了概率论……并且，它非常直接地将我引到了周期图和调和分析的研究中。”

“这一研究比经典的傅立叶序列和傅立叶积分更具有一般性。”

“麻省理工学院的一位教授引导我将理论与实际联系在一起，对通讯理论进行研究。我采用了概率和统计的方法。”

“所有的概念都与迫切需要解决的工程实际问题联系在一起。”

“最终，控制论形成了。”

“控制论本质上是统计理论在通讯理论中的应用。”

“似乎是随着我科学兴趣的变化，一条无形的线，将我所有的研究串起来了。”

对动物和机器进行类比，是维纳阐述其控制论思想的显著特征。“人是一个控制和通讯的系统，自动机器也是一个控制和通讯的系统。”是维纳《控制论》的基本思想。

维纳的控制论是关于动物和机器共性的科学，是关于动物和机器统一性或同一性的科学。然而，维纳的控制论不仅仅在于动物和机器的统一。实际上，控制论是一门哲学，是世界观和方法论，是科学融合的艺术，把不同的学科统一在控制论的旗帜下。

1954年，在维纳控制论的旗帜下，钱学森创

立工程控制论。1957年，在《工程控制论》的推动下，国际自动控制联合会（IFAC）筹委会在巴黎成立。1960年9月，IFAC 第一届世界代表大会在莫斯科举行。维纳参加了此次会议，受到了英雄般的接待。

关于控制论，正如维纳在《控制论》导言中所说：

“也许我可以澄清一下目前局势的历史背景。如果我说，第一次工业革命是革阴暗的魔鬼的磨坊的命，是人手由于和机器竞争而贬值，那么，现在的工业革命便在于人脑的贬值。”

“当然，正如第一次工业革命留下了熟练的工匠一样，第二次工业革命也会留下熟练的科学家和熟练的行政人员。”

“这门新学科具有伪善和作恶的巨大可能性。”

“一旦第二次工业革命完成，具有中等学术能力或水平更差的一些人，可能将没有任何值得别人花钱来买的可以出卖的东西。”

“我们这些对于控制论这个新的学科有所贡献的人，因此都处在一个道义的位置上。”

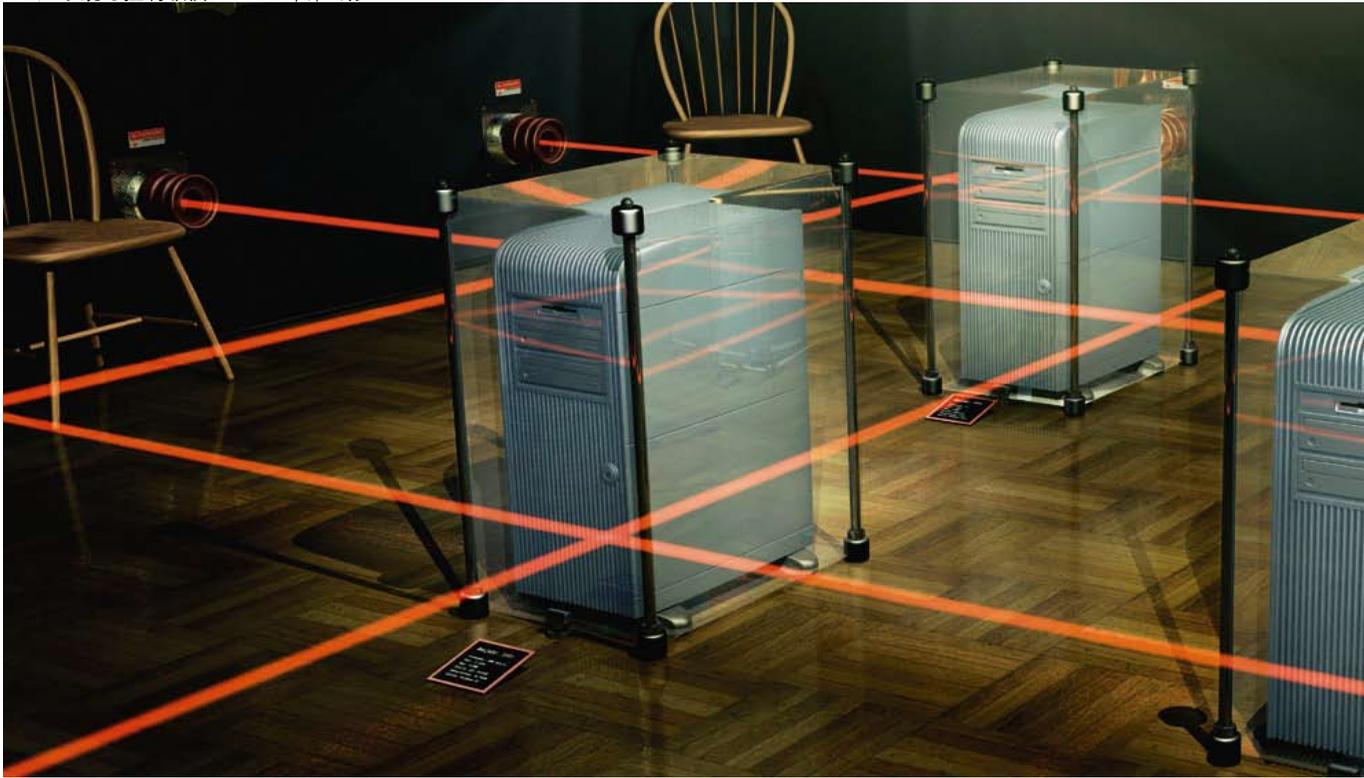
“我们只能把控制论交给我们在其中生存的这个世界，而这就是德国贝尔森集中营和广岛的世界。”

“我们甚至无法制止这些新技术的发展，它们属于这个时代。”

“答案自然是要求建立一个以人的价值为基础，而不是以买卖为基础的社会。要达到这样的社会，我们还需要大量的筹谋和奋斗。”

1940年，维纳开始考虑计算机如何能像大脑一样工作。

维纳对计算机的兴趣主要在电脑与人脑某些功能如判断、推理、记忆的相似上，也即电脑可以模拟、代替人脑的某些功能。维纳发现自动机



机器与生物神经系统具有某种相似性。维纳认为计算机是一个进行信息处理和信息转换的系统，只要这个系统能得到数据，机器本身就应该能做几乎任何事情。维纳进一步认为，计算机本身并不一定要用齿轮，导线，轴，电机等部件构成。麻省理工学院的一位教授为了证实维纳的这个观点，甚至用石块和卫生纸卷制造过一台简单的能运行的计算机。

正如维纳在《控制论》导言中所说：

“中枢神经系统不再是从感觉接受输入又把它发射给肌肉的一个独立自主的器官。相反地，它的某些最具有特征性的活动，只有把它当作一个从神经系统出发，进入肌肉，然后通过感官再进入神经系统的循环过程，才能理解。”

“很久以来我就明白，现代超速计算机在原理上是自动控制装置的理想的中枢神经系统。”

在维纳的控制论中，计算机本身是一种自动机器，也即一种控制和通讯的机器，或自动控制系统。

维纳本着其一贯的思想，即将动物与机器进

行类比的思想，对计算机与神经系统，特别是人脑，进行了类比。

维纳在前文提出的关于计算机设计的五点原则，部分来自于对生物神经系统的模拟，部分来自于工程实现的需要。他在《控制论》中，对这些原则进行了详细地论述：

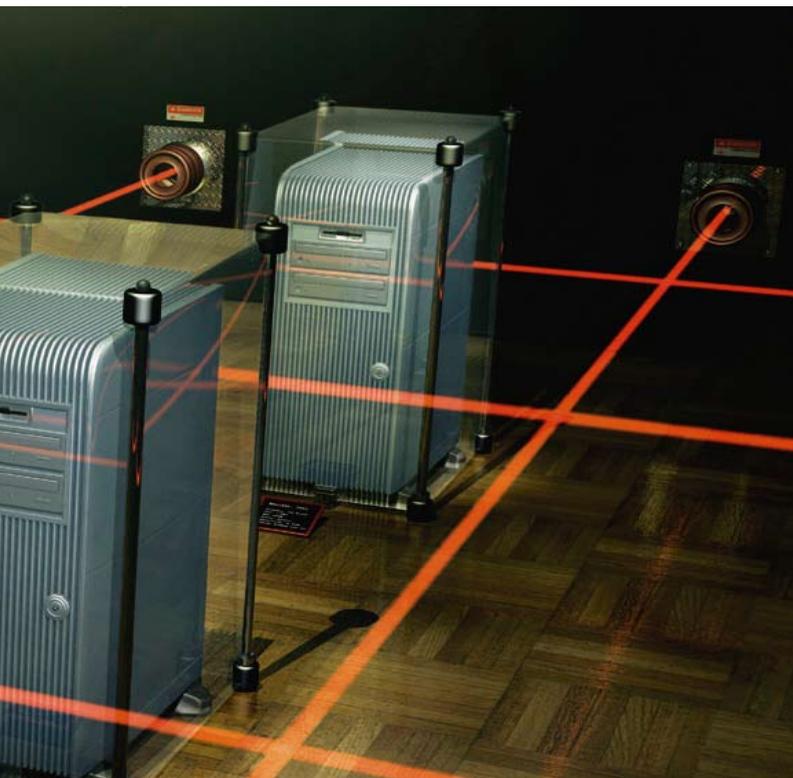
(1) 在计算机中心部分，加法和乘法装置应当是数字式的，如同通常的加法机一样，而不是基于量度的，如同布什微分分析机那样。

(2) 这些实质上是开关装置的机件应当由电子管来做，而不要由齿轮或机械开关来做，以便保证更快速的动作。

(3) 根据贝尔电话研究所的现有装置所采用的方针，加法和乘法采用二进位制比十进位制来，在装置上大概会更为经济些。

(4) 全部运算序列要在机器上自动进行，从把数据放进机器的时候起到最后把结果拿出来为止，中间应该没有人的干预。为此所需的一切逻辑判断都必需由机器自身作出。

(5) 机器中要包含一种用来储存数据的装



置，这个装置要迅速地把数据记录下来，并且把数据牢固地保存住，直到清除掉为止；读出数据要迅速，清除数据也要迅速，而且又要能够立刻用来存储新的材料。

维纳是摩尔学院的常客，与埃克特、莫齐利、哥尔斯廷，以及冯·诺依曼非常熟悉，只是由于后来“控制论之父”的名声益隆，人们反而把他与计算机的关系和对计算机的贡献给淡忘了。

今天的计算机被称为冯·诺依曼型计算机。然而，冯·诺依曼关于计算机的部分思想，来自于维纳。

对于电子数字计算机的诞生，维纳有不可磨灭的功绩，并且从某种意义上说，维纳应有计算机之父的地位，只是由于其《控制论》之父的声誉太望，反而使人们淡忘了其对于计算机的功绩。