



中国科学技术大学
University of Science and Technology of China

理论力学课件

理论力学发展简史



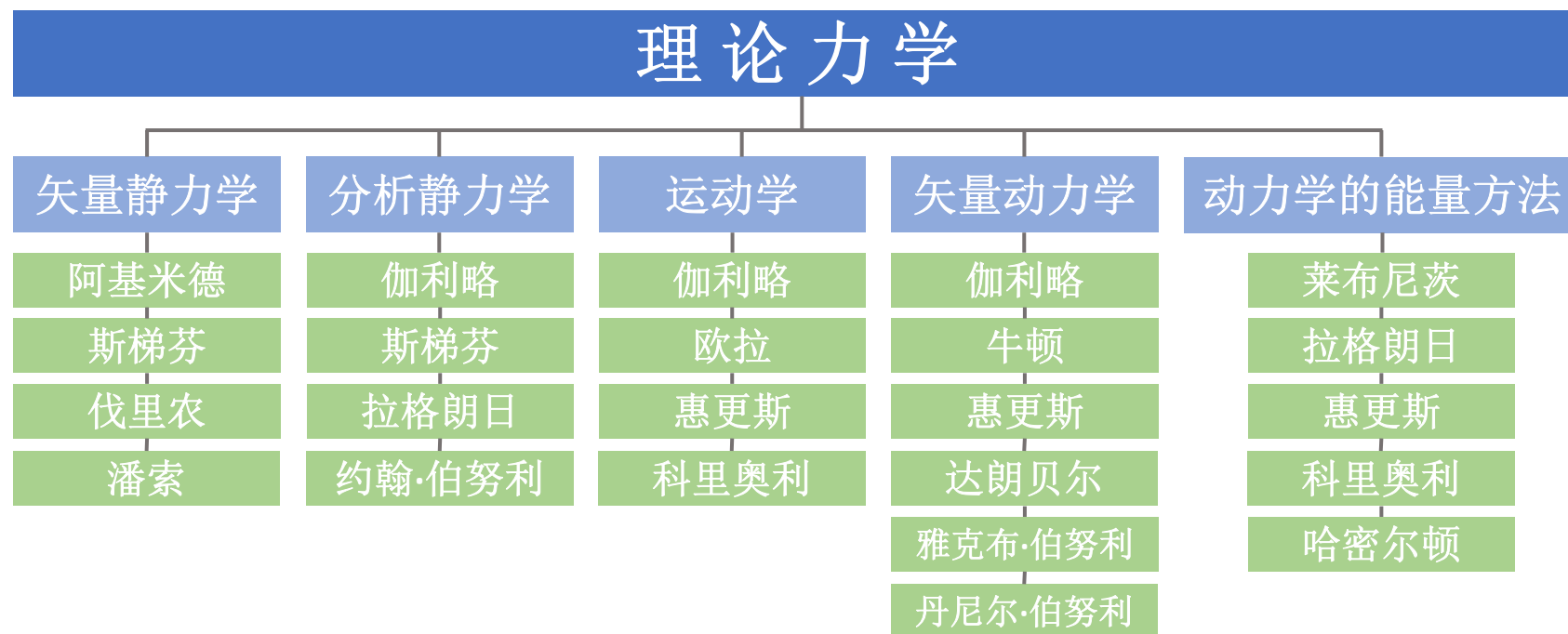
中国科学技术大学
自动化系 理论力学课程组

力学的四个阶段

- **古代力学：** 有个别正确的力学结论并解决当时的工程问题，但还没有现代意义上的力学理论。主要有历史方面的意义，是构成文明史、思想史、哲学史、科学史和技术史的重要部分。
(-1600)
- **经典力学：** 其中又可以分为奠基阶段（大学物理）、**发展阶段**和**成熟阶段**，各自历时大约**100**年。
(1600-1900)
- **近代力学：** 力学从物理学中分离出来，成为的独立的学科，侧重解决工程问题。
(1900-1960)
- **现代力学：** 以计算机在力学中的广泛应用为标志，诞生。相对论，量子理论。
(1960-)

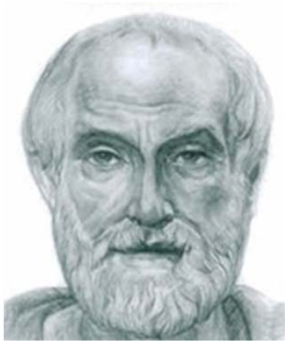
力学是物理概念、数学方法、计算工具和实验技术以及工程目标的有机结合。
理论力学课是力学学科的基础，其内容主要是在经典力学发展阶段，也涉及少量成熟阶段的成果。

理论力学发展

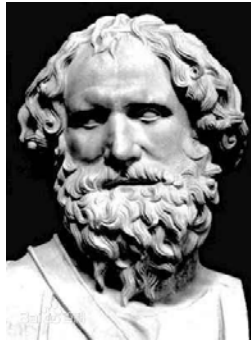


这些对力学做出重要贡献的学者通常并不认为是力学家。这是因为直到上世纪初近代力学形成，力学才从物理学中分离出来成为独立的学科。

古代力学阶段的科学家



亚里士多德
Aristotle
384-322 B.C.



阿基米德
Archimedes
287-211 B.C.



达·芬奇
Leonardo da Vinci
1452-1519



西蒙·斯梯芬
Simon Stevin
1548-1620

古代力学阶段的科学家

→ 亚里士多德(Aristotle, 384-322 B.C.)——对物理概念的深刻思辨

力学理论的思考和研究可以追溯到亚里士多德(力学的名称来自于一本作者托名为亚里士多德的匿名著作《力学问题》，该书是关于简单机械的教材，把所有机械的运动原理都归结为杠杆和圆的性质)。他用纯粹思辨的方法考察运动。涉及力学的著作有《物理学(Fusikh, 350, B.C.)》和《论天(350, B.C.)》。这两部书是密切联系着的：第二部书的论证就是从第一部书所留下来的论点开始的。两部书都极其有影响，并且一直统治着科学直到伽利略的时代为止。亚里士多德不仅论述了空间、运动、时间等基本概念，而且讨论了**力和运动**。

运动学方面：考察了合成运动，认为两者运动的平均速度成比例时合成运动是以这种比例线段为邻边的平行四边形对角线，而不成比例时合成运动是曲线运动。

动力学方面：“落体运动法则”断言了物体下落(平均)速度与该物体重量成比例。

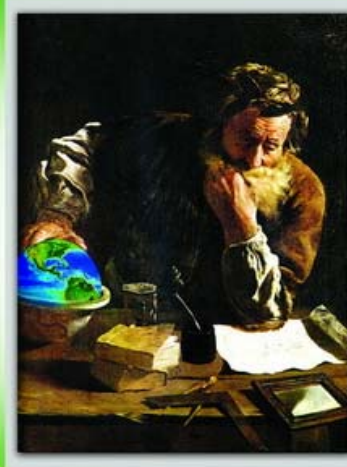
关于力与在力作用下运动路程的关系的讨论，被认为是虚位移原理的雏形。

古代力学阶段的科学家

→ 阿基米德(Archimedes of Syracuse, 287-211 B.C.)——静力学的创始人

(由于静力学是整个力学的基础, 因此也可以认为阿基米德为力学学科的创始人)

阿基米德开创了力学与数学密切结合的传统, 并对计算给予充分重视。阿基米德关于刚体静力学的著作是两卷本《论平面图形的平衡》(有严谨的几何论证和巧妙的数学计算) 开篇提出与杠杆和重心有关的七个公设(公理), 然后证明了杠杆的性质已经大量关于图形重心的结果。此外, 他的《论螺线》中有涉及匀速运动的内容, 本质上是用几何方法研究曲线运动。



阿基米德(公元前287年—公元前212年), 古希腊哲学家、数学家、物理学家。出生于西西里岛的叙拉古。阿基米德到过亚历山大里亚, 据说他住在亚历山大里亚时期发明了阿基米德式螺旋抽水机。后来阿基米德成为兼数学家与力学家的伟大学者, 并且享有“力学之父”的美称。

给我一个支点, 我就能移动地球。

——阿基米德

古代力学阶段的科学家

→ 达·芬奇(Leonardo da Vinci, 1452–1519)

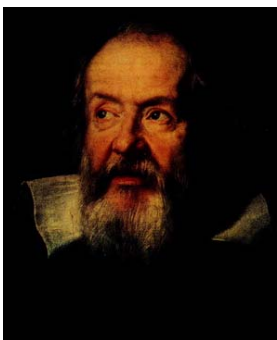
达·芬奇在力学研究中开展实验工作，也应用数学进行分析。他研究的力学问题包括**重心**、**自由落体**和**斜面上的平衡与运动**。他有清晰的力矩概念，并由此给出确定几何体重心的方法。实验发现**重物下落速度与时间成正比**。用力的合成法则研究斜面上物体的运动，并发现摩擦力的存在。（无理数的命名者）

→ 西蒙·斯梯芬(Simon Stevin, 1548–1620)——**静力学的奠基人**

工作模式最接近现在的力学家，既有理论研究，也有实验研究，并解决工程问题，且在大学中任教。

斯梯芬关于静力学的著作是《静力学原理(Staticae Elementis, 1586)》。斯梯芬从“永久运动不可能”出发解决了斜面上重物平衡问题并**发现了力合成的平行四边形法则**；通过对滑轮和滑块系统的分析发现两侧重量与位移的乘积相等，“得之于力者，失之于速”，为虚位移原理的雏形。**1586年斯梯芬用实验否定了亚里士多德的“落体运动法则”**，在1586年《论力学》写到：我们拿两个球，其中一个比另一个重十倍。我们把他们从30英尺的高度同时丢下来，落在一块木板或者是什么会发出清晰响声的物体上，我们发现，轻的球所花的时间并不是重球的十倍，而是当他们落地时，他们发出的声音听起来就像是同一个声音一样。**但该结果没有引起足够重视。**

经典力学奠基阶段的科学家



伽利略
Galileo Galilei
1564–1642



惠更斯
Christiaan
Huygens
1629-1695



莱布尼兹
Gottfried Wilhelm
Leibniz
1646-1716



牛顿
Isaac Newton
1642-1727

经典力学奠基阶段的科学家

→ 伽利略(Galileo Galilei, 1564–1642)——经典力学的先驱

(他开创了以实验事实为根据并具有严密逻辑体系的近代科学，被誉为“近代科学之父”。他的杰出成就而且还奠定了牛顿经典力学的基础。)

伽利略的主要著作有《关于托勒密和哥白尼两大世界体系的对话(1632)》和《关于力学和局部运动的两门新科学的对话及数学证明(1638)》。

在静力学方面，他在1594年研究斜面上物体平衡时发现“力的节省，损失了相当的距离”，有虚位移思想的思想。

在运动学方面，详细研究了速度的数学表达式，特别是首次提出了加速度的概念；用运动合成的方法研究了抛射体的运动。在动力学方面，他否定了在亚里士多德的“落体运动法则”，引入了动量概念，提出了惯性定律，建立了力学的相对性原理。

比萨斜塔实验？

第二本著作中用反证法指出了亚里士多德理论的错误。

在经典力学奠基阶段，也形成了力学的基本工作方法，将基本的物理原理表达为定量的数学关系而不像以往那样只关注因果性解释，再利用数学论证预测新的物理现象。这一方法由伽利略开创并为牛顿所继承和发扬。

经典力学奠基阶段的科学家

→ 惠更斯(Christiaan Huygens, 1629-1695)

主要贡献包括对**碰撞**和**摆**。

通过对弹性碰撞的细致研究，发现质量与速度平方乘积不变，认识到动量在碰撞过程中的作用，以及物体间作用的相互性；这些结果为**动量定理**、**动能定理**和**牛顿第三运动定律**的形成提供了基础和依据；这方面的工作总结于1656年完成但身后出版的《碰撞作用下物体的运动 (1703)》。

在摆的研究方面，研究了自由落体运动和受约束下滑的运动；研究了圆周运动，提出了离心力公式；提出了摆动中心的概念，可以把复摆的研究归结于单摆；这方面的主要论著是《摆钟或关于应用于时钟的摆的运动的几何证明 (1673)》和《论离心力(D1703)》。

经典力学奠基阶段的科学家

→ 莱布尼兹(Gottfried Wilhelm Leibniz 1646-1716)——开创了从能量观点研究动力学的思路

对力学的贡献是提出了**动能的概念**，以及动能定理的雏形。1686年，他发表论文主张采用重量与速度平方的乘积来度量运动，并称这种度量为“活力”；在1695年发表的论文中，他更明确提出力与路程的乘积等于活力的增加。

→ 牛顿(Isaac Newton, 1642-1727)——奠定了经典力学的基础

牛顿的主要力学著作是《自然哲学的数学原理(1687)》。

在**物理概念**方面：

牛顿明确了质量的概念并与重量做了区分，他还采用了动量的概念。

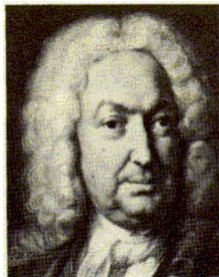
在**原理**方面：

牛顿提出了**惯性定律**、**运动定律**、**作用和反作用定律**是经典力学的基础，他发现的**万有引力定律**是天体力学的基础。牛顿还研究过一些重要的力学问题，例如离心力、天体的运动、摆在阻尼介质中的运动和弹性及非弹性碰撞。

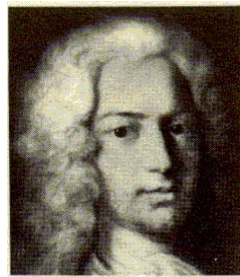
经典力学发展阶段的科学家



雅科布·伯努利
Jacob Bernoulli
1654-1705



约翰·伯努利
Johann
Bernoulli
1667-1748



丹尼尔·伯努利
Daniel Bernoulli
1700-1782



伐里农
Pierre Varignon
1654-1722



欧拉
Leonhard Euler
1707-1783



达朗贝尔
Jean le Rond
d'Alembert
1717-1783



库伦
Charles Augustin
Coulomb
1736-1806



拉格朗日
Joseph Louis
Lagrange
1736-1813

经典力学发展阶段的科学家

→ 雅科布·伯努利(Jacob Bernoulli, 1654-1705)

他是用微积分方法求解常微分方程的先驱者之一，他写的《关于无穷级数及其有限和的算术应用》是级数理论方面的第一部教科书，**积分**这个术语就是由他引进的。名著《推测术》是概率论发展史上一件大事，把概率论建立在稳固的理论基础之上的首次尝试，给出了著名的**大数定律**的基本原理。在1703年发表的论文中，他尝试把静力学中的杠杠原理推广到动力学，提出了**动量矩定理**的思路。

→ 约翰·伯努利(Johann Bernoulli, 1667-1748)

约翰·伯努利是**变分法的奠基人**。他是 雅科布·伯努利的弟弟。在1717年给伐里农的信中，他定义了**约束允许的虚速度**，定义力在虚速度方向投影与虚速度的乘积为能量，给出平衡条件为正能量与负能量的和为零。这已经**非常接近虚位移原理**的现代表述。

经典力学发展阶段的科学家

→ 丹尼尔·伯努利(Daniel Bernoulli, 1700-1782)

约翰·伯努利(Johann Bernoulli)的第二个儿子，在1726年发表的论文中，他试图从更显然更直观的假设出发证明力合成的平行四边形法则。在1745年发表的论文中，他意识到内力和力矩为零，完成建立动量矩定理的关键一步。1738年他出版了一生中最重要的著作《流体力学》(Hydrodynamica)，开创了“流体力学”这门学科。他最出色的工作是将微积分、微分方程应用到物理学，研究流体问题、物体振动和摆动问题，他被推崇为数学物理方法的奠基人。

→ 伐里农(Pierre Varignon, 1654-1722)——**初创了静力学的理论体系**

他的静力学研究成果总结于身后出版的《新力学或静力学(1725)》。在该书中，他从上溯到亚里士多德的复合运动研究中受到启示，他对力矩的概念和计算方法做出科学的说明，并系统地应用该方法而不是以往所用的杠杆原理解决各种机械问题。他还进行实验研究，**证明汇交力合成的平行四边形法则**。

经典力学发展阶段的科学家

→ 欧拉(Leonhard Euler, 1707–1783)——创立矢量动力学体系

在《力学或分析表述的运动科学(1736)》中，欧拉运用微积分把牛顿的动力学理论系统化和精确化，发展了质点和质点系的动量分析方法，提出了力的冲量概念。《刚体运动理论(1765)》总结了作者的研究成果奠定了刚体动力学的基础；

在运动学方面，提出了刚体运动分解的思路，事实上也应用了运动参考系，给出了刚体转动的描述方法(欧拉角)；

在动力学方面，有了动量矩定理的思想，引入惯性矩的概念并给出计算实例，提出了刚体运动动力学方程(欧拉方程)，并求出一种特殊条件下的积分解。在1775年发表的论文中，欧拉将动量定理和动量矩定理并列为动力学基本原理。因此，基于动量和动量矩进行动力学系统建模的矢量力学方法现在称为牛顿-欧拉法。

经典力学发展阶段的科学家

→ 达朗贝尔(Jean le Rond d'Alembert, 1717-1783)——率先研究受约束系统，为分析力学创立奠定基础

在《论动力学(1743)》中，达朗贝尔研究了受约束物体的运动。他论证的基础是他所称的惯性力原理(即牛顿第一定律)、平衡原理和复合运动原理。关于复合运动，他认为运动是由初始运动和获得运动所合成，而初始运动又是由设定的运动和消失的运动所合成。有约束时，遇到约束前的运动包括不变的运动和消去的运动。他以单摆和复摆为例说明他的原理应用过程，还讨论了碰撞问题。达朗贝尔指出他的原理可以导出运动能量守恒，但没有系统的论证。**拉格朗日认为达朗贝尔提出的原理(达朗贝尔原理)可以把动力学问题转化为静力学问题求解。**因此在动力学教材达朗贝尔原理往往以动静法的形式出现，虽然该原理其实有更广泛的内涵。

→ 库伦(Charles Augustin Coulomb, 1736-1806)——提出了摩擦力的基本模型

他给出摩擦机制的一种解释，并把实验结果概括为摩擦力与正压力成比例，并将这个结论应用于斜面上的平衡问题。著名的库伦定理：电荷的作用力与距离的二次平方成反比，国际标准制中电荷单位即以库伦命名。

经典力学发展阶段的科学家

→ 拉格朗日(Joseph Louis Lagrange, 1736-1813)——分析力学的奠基人

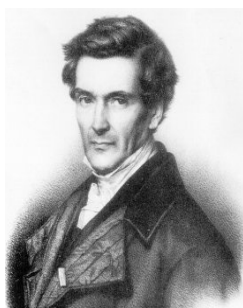
拉格朗日的主要力学成功总结于《分析力学(1788)》中。在该书中，拉格朗日**完全用分析方法研究力学**，“全书没有一张图”；引入了描述系统状态的独立参数即广义坐标；从变分原理出发建立受约束系统平衡和运动方程，得到两类一般形式的运动方程，现在分别称为**第一类**和**第二类拉格朗日方程**；并且证明了动量原理、动量矩原理和动能原理都是所得普遍形式方程的特例。该书还借助滑轮系统**论证了虚位移原理**，**提出约束解除原理**，并给出多自由度系统线性振动的基本理论。

在经典力学发展阶段做出主要贡献的主要是数学家。在解决力学问题的同时，发展需要的数学方法。当时的主流观点有两种，达朗贝尔认为力学应该是数学家的主要兴趣，拉格朗日则说爱好分析的人会高兴地看到力学变成它的一个分支。两种观点异曲同工，都使得数学和力学密切结合，物理原理比较清晰的力学分支有了基本完善的数学结构。

经典力学成熟阶段的科学家



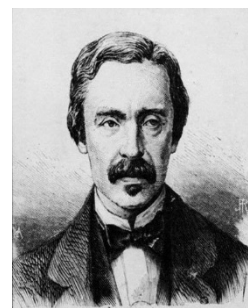
潘索
Louis Poinsot
1777-1859



科里奥利
Gustave
Gaspard
Coriolis
(1792-1843)



哈密尔顿
William Rowan
Hamilton
1805-1865



傅科
Jean-Bertrand-Léon
Foucault
1819-1868

经典力学成熟阶段的科学家

→ 潘索(Louis Poinsot, 1777-1859)——完成了刚体静力学的理论体系

在《静力学原理(1803)》中，潘索首次提出**力偶**的概念并讨论力偶的合成与分解，提出力系简化和平衡的系统理论，明确定义了约束并提出解除约束原理。潘索用纯几何方法研究刚体运动。在《物体转动的新理论 (1834)》中，用惯性椭球表示惯性矩，说明绕质心自由转动的刚体等价于惯性椭球在一固定平面上的无滑动滚动，还引入本体极迹和空间极迹的概念。

→ 科里奥利(Gustave Gaspard Coriolis, 1792-1843)——对相对运动有原创性贡献

1835年他发现物体在转动参考系中运动时会受到一种不同于离心力的惯性力作用，这种惯性力现在称为**科里奥利惯性力**或**科里奥利效应**，相应的加速度称为科里**奥利加速度**。在他的著作《机械效率计算(1844)》和《论固体力学(1844)》中，他澄清了功的概念，给出动能定理和虚位移原理的现代表述。

经典力学成熟阶段的科学家

→ 哈密尔顿(William Rowan Hamilton, 1805-1865)——对分析力学发展做出杰出贡献

哈密尔顿对分析力学的贡献主要体现在1834年和1835年发表的两篇论文中。哈密尔顿以广义坐标和广义动量作为独立变量处理动力学方程，导出具有某种对称性的一阶方程组，这类方程现在称为**哈密尔顿正则方程**。他还引入系统动能与势能差的积分为作用量，真实运动使该作用量取驻值。这一结果现在被称为**哈密尔顿变分原理**。1843年，哈密尔顿发表了历史性论文“一种动力学的普遍方法”(On a general method in dynamics)，成为动力学发展过程中的新里程碑。文中的观点主要是从光学研究中抽象出来的。《四元数的原理》。

→ 傅科(Jean-Bertrand-Léon Foucault, 1819-1868)——基于相对运动理论用实验证实地球的转动

1851年，他用67米长钢丝悬挂28千克铁球构成的单摆实验证明摆平面存在转动，从而说明地球自转。演示地球自转的单摆后来称为**傅科摆**。1852年他又设计了陀螺仪，能更直观地演示地球自转，该陀螺仪被称为**傅科陀螺仪**。

控制论与自动控制理论

1948年，美国科学家罗伯特·维纳（Norbert Wiener）发表了著名的《控制论(关于在动物和机器中控制和通讯的科学)》（Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine）标志着控制论的诞生。

控制论是一门能应用于任何系统中的一般控制理论。控制论不是一般地研究对象系统，而是运用控制论的方法研究对象系统中的控制过程。他的基本任务是要在理论上找到技术系统与生物系统之间在某些功能上的相似性、统一性，以便在技术上研制出模拟人的智能的技术装置，即自动机或控制论机器的可能性。“一切有目的行为都可以看做需要负反馈的行为” -- “**机器人和生物一般都是通过负反馈来达到控制目的的。**”这就是控制论的基本理论观点。

1954年，钱学森出版了《工程控制论》(Engineering Cybernetics) 是真正的控制理论(Control Theory)，其目的是将工程实践中所经常遇到的设计原则和试验方法加以整理和总结，取其共性凝炼成科学理论。

控制论与自动控制理论

2004年国际著名自动控制专家 Karl Astorm在其报告中介绍了自动控制发展过程中的四本专著：

- 一、詹姆斯、尼克斯和菲利普斯合著的《伺服机构理论》
- 二、维纳的《控制论》（香农《通信的数学理论》）
- 三、钱学森的《工程控制论》
- 四、贝尔曼的《应用动态规划》

1960年在莫斯科第一届IFAC会议，维纳回答记者提问“创立控制论时，是否受某些哲学思想的影响？”维纳回答：“哲学家中有一个人，如果他活到今天，毫无疑问，他将研究控制论，这个人就是莱布尼兹。”最早视同用数学形式建立逻辑推理体系，发明过二元算术计算方法（1678），他与1697年通过传教士百晋（Joachim bouvet）得到过中国的《易经》，他研究过“圆圆方位图和六十四卦次序图”收到启发并系统地向莱布尼兹介绍了中国古代哲学。在《莱布尼兹全集》第四卷第一期上，有他给友人的一封信其中有对《易经》的评价，并发表了著名的论文《关于仅用0与1两个符号的二进制算术的说明,并附其应用以及据此解释古代中国伏羲图的探讨》，这篇文章中将伏羲视为“科学始祖”。

因此“控制理论的奠基者是钱学森，控制论创立者是维纳，其直系祖先是欧洲的莱布尼兹，其哲学基础来自《易经》”