

中国科学院技术科学部组织编写

技术科学发展与展望

——院士论技术科学

(2002年卷)

王大中 杨叔子 主编

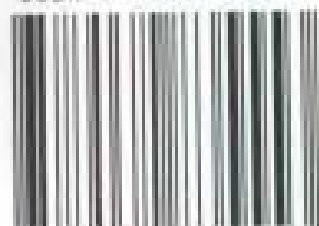
山东教育出版社



责任编辑：刘进军

封面设计：吕祥琪

ISBN 7-5328-3555-3



9 787532 835553 >

ISBN 7-5328-3555-3

G·3192 定价：50.00元

V11
v31

中国科学院技术科学部组织编写

技术科学发展与展望

——院士论技术科学



(2002 年卷)

王大中 杨叔子 主编



A1059606

山东教育出版社

图书在版编目(CIP)数据

技术科学发展与展望——院士论技术科学(2002年卷)/王大中,杨叔子主编.—济南:山东教育出版社,2002

ISBN 7—5328—3555—3

I.技... II.①王...②杨... III.①科学技术—技术发展—概况—中国②科学技术—远景—中国 IV.N12

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2002)第 023549 号

技术科学发展与展望

——院士论技术科学(2002年卷)

王大中 杨叔子 主编

中国科学院技术科学部组织编写

出 版 者: 山东教育出版社
(济南市纬一路 321 号 邮编: 250001)
电 话: (0531)2023919 传真: (0531)2050104
网 址: <http://www.sjs.com.cn>
发 行 者: 山东教育出版社
印 刷: 山东新华印刷厂(潍坊厂)
版 次: 2002 年 6 月第 1 版
2002 年 6 月第 1 次印刷
印 数: 1—2000
规 格: 787mm×1092mm 16 开本
印 张: 29 印张
插 页: 7 插页
字 数: 431 千字
书 号: ISBN 7—5328—3555—3/G·3192
定 价: 50.00 元

(如印装质量有问题,请与印刷厂联系调换)

目 录

综合论述

- 论技术科学 钱学森 (3)
- 现代科学技术的特点和体系结构 钱学森 (23)
- 技术科学工作者的使命 王大珩 (36)
- 技术科学在社会经济发展中的作用与地位
..... 师昌绪 (46)
- 我国技术科学必须大力发展 张光斗 (57)
- 从科学技术体系的形成探讨我国科学技术
体制改革 罗沛霖 (60)
- 论技术科学和技术科学发展战略 郑哲敏 (73)

专题论述

- 迎接战略转折, 投入发展高技术产业新战役
..... 宋 健 (91)
- 信息科学与技术 李衍达 (103)
- 从现代科学技术体系看今后智能系统的工作
..... 戴汝为 (111)
- 知识科学及其研究前沿 陆汝铃 (123)
- 自动推理与教育技术的结合 张景中 (133)
- 传值并发系统的模型检测 林惠民 (142)
- 医学工程技术创新 郑耀宗 (150)
- 试论“电子”的构成及其发展环境 罗沛霖 (159)
- 21 世纪的硅微电子学 王阳元 (174)
- MOS 型功率器件与功率集成电路 陈星弼 (184)
- 白光光学信息处理及其彩色摄影术 母国光 (193)

20 世纪的 X 射线光学	陈星旦 (213)
现行通信网向未来新一代通信网的进化	张 煦 (224)
光纤网的发展与机遇	简水生 (232)
机载多光谱成像与激光三维定位集成技术系统	薛永祺 (244)
数字光通信的色散补偿技术	刘颂豪 (258)
通信信号识别技术及其发展	朱中梁 (268)
合成孔径声呐 (SAS) 发展战略研究	李启虎 (279)
磁化等离子体波导中电子注一波相互作用不稳定性机制的 严格理论	刘盛纲 (288)
金属材料的回顾与展望	李依依 (305)
半导体材料研究的新进展	王占国 (317)
材料计算设计	顾秉林 (333)
飞行器智能材料结构的若干关键问题的研究与展望	陶宝祺 (341)
中国卫星控制系统的发展	杨嘉墀 (349)
我国航天运载弹道学的发展和展望	余梦伦 (359)
我国大型发电机制造技术展望	汪 耕 (368)
电力系统故障诊断	韩祯祥 (376)
当前我国船舶工程的一些发展情势	杨 樵 (381)
网络经济时代的制造企业策略	杨叔子 (391)
中国需要高速磁悬浮列车	严陆光 (399)
摩擦学研究展望	温诗铸 (408)
精化的线性和非线性非协调板单元	张佑启 (415)
城市及其区域——一个典型的开放的复杂巨系统	周千峙 (428)
三峡工程高边坡岩体长期变形与稳定研究	孙 钧 (434)
流体力学和气动热弹性耦合理论新一代反命题的研究	刘高联 (443)

Table of Contents

General Reviews

On Technological Sciences	Qian Xuesen (22)
Characteristics and Architecture of Modern Science and Technology	Qian Xuesen (34)
The Functional Activities of Technological Scientists	Wang Daheng (44)
Role and Function of Technological Science to the Development of Social Economy	Shi Changxu (55)
Technological Science Must be Promoted in China	Zhang Guangdou (59)
Probing the Course of the Structural Reformation of Science and Technology Development of China	Luo Peilin (72)
On Technological Sciences and the Strategy for Their Development	Zheng Zhemin (87)

Special Reviews

Meeting Strategic Shift and Waging the Campaign for Developing High-Tech Industries	Song Jian (102)
Information Science and Technology	Li Yanda (110)
From Modern Science and Technology Architecture Look at Research on Intelligent Systems in Future	Dai Ruwei (122)
Knowledge Science and Its Research Frontiers	Lu Ruqian (132)
Automated Reasoning and Educational Technology	Zhang Jingzhong (141)
Model Checking for Value-Passing Concurrent Systems	Lin Huimin (149)
Technology Innovation in Medical Engineering	Zheng Yaozong (157)

On the Constitution of Electronics and the Environment Demanded for Its Development	Luo Peilin (173)
Silicon-Based Microelectronics in the 21 st Century	Wang Yangyuan (183)
Mos-Type Power Devices and Power Integrated Circuits	Chen Xingbi (191)
Write-Light Optical Information Processing and Its Color Photography	Mu Guoguang (211)
X-ray Optics in 20 th Century	Chen Xinglan (222)
Evolution to the Next Generation Communication Network	Zhang Xu (231)
Development and Opportunity on Optical Fiber Network	Jian Shuisheng (243)
Airborne Multispectral Imaging and Laser 3-D Positioning Integrated System	Xue Yongqi (257)
Dispersion Compensation Technology for the Optical Data Communication	Liu Songhao (266)
Identification Technology for Communication Signals and Its Developments	Zhu Zhongliang (278)
The Study of Development Strategy of Synthetic Aperture Sonar (SAS)	Li Qihu (287)
Rigorous Theory of the Instability Mechanism of Electron Beam-Wave Interactions in a Magnetized Plasma Wave-Guide	Liu Shenggang (304)
The Development of Metal Materials in the Future	Li Yiyi (316)
New Progress of Studies on Semiconductor Materials	Wang Zhianguo (332)
Materials Design	Gu Binglin (339)
Key Problems and Prospects on Aircraft Smart Materials and Structures	Tao Baoqi (348)
The Development of the Chinese Spacecraft Control Systems	Yang Jiachi (358)
Developments and Prospect of Space Launch Vehicle Ballistics in China	Yu Menglun (367)
Prospect for Manufacturing Technology of Grand Generator in China	

.....	Wang Geng (374)
Fault Diagnosis of Power System	Han Zhenxiang (380)
<i>Developments of Shipbuilding Engineering in China</i>	Yang You (390)
The Strategies for Manufacturing Enterprises in the Era of Network Economy	Yang Shuzi (398)
China Needs High-Speed Magnetically Levitated Train	Yan Luguang (406)
Prospect of Tribology Research	Wen Shizhu (414)
Linear and Nonlinear Refined Nonconforming Plate Elements	Zhang Youqi (427)
The Urban and Urban Region — A Typical Open Complicated Giant System	Zhou Ganshi (433)
Study on Long Term Deformation and Stability of High Rock Slope of the Three Gorges Project	Sun Jun (442)
A New Generation of Inverse Shape Design Problem in Aerodynamics and Coupled Aerothermoelasticity: Concepts, Theory and Methods	Liu Gaolian (450)



综合论述

论技术科学^①

钱学森

(中国科学院力学研究所 北京 100080)

钱学森 (1911.12.11 -)

应用力学、航天技术和系统工程专家。原籍浙江杭州，生于上海。1934年毕业于交通大学。1936年获美国麻省理工学院航空硕士学位，1939年获加州理工学院航空、数学博士学位。中国人民解放军总装备部科技委高级顾问、研究员。中国科学院院士、中国工程院院士。



编者按 我们在这里重新发表钱学森院士 1957 年的这篇题为“论技术科学”的文章。这是他全面论述技术科学的第二篇著作，前一篇题为“工程和工程科学”，用英文发表于 1948 年，是他 1947 年回国访问时，在浙江大学、交通大学和清华大学所做报告的内容。这两篇文章对技术科学的特点和性质、任务、内容和方法论做了全面的论述，对技术科学起到了界定的历史作用，是技术科学论著方面的权威性论述。文章中的许多观点，今天仍然十分重要，对新形势下进一步发展技术科学有重要参考价值。

关键词 技术科学 工程科学 技术科学史

一、科学的历史发展与技术科学概念的形成

在人们从事生产的过程中，他们必然地累积了许多对自然界事物的经验。这些经验可以直接应用到生产上去，也可以先通过分析、整理和总结，

^① 原文刊登在《科学通报》，1957 年第 2 期。

然后再应用到生产上去。直接应用这一个方式是工艺的改进，是所谓工程技术，把经验来分析、整理和总结就是自然科学^①的起源。所以工程技术和科学研究只不过是人们处理生产经验和对自然界观察结果的两方面，基本上是同—来源，而且两方面工作的最终目的也是一样的，都是为了改进现有的和创造更新的生产方法，来丰富人们的生活。

因此在科学发展的早期，我们不能把科学家和工程师分开来。一位物理学家也同时是一位工程师，牛顿就是一个著名的例子。牛顿不但发现了力学上的三大定律，因而奠定了理论力学的基础，而且他也是一位结构工程师，他设计了一条在英国剑桥大学校址中的木结构桥，这桥据说至今还存在。再像欧拉，他是一个大数学家，同时他对工程结构的稳定问题上也做出了伟大贡献。但是在十九世纪中，科学在资本主义社会中得到了迅速的发展，科学家的确和工程师分手了。科学家们忙于建立起一个自然科学的完整体系，而工程师们则忙于用在实际工作中所累积了的经验来改进生产方法。在欧洲的一些学者和科学家，对工程师是看不起的，认为他们是一些有技术，但没有学问的人。而工程师们又认为科学家是一些不结合实际的幻想者。一般讲来，两方面的人缺乏相互之间的了解和合作。

当然，科学家和工程师分手的这种现象，也是事实上的需要。每一方面的工作因发展而变得更复杂了，工作量也大了，要一一兼顾，自然是不可能的。分工就成为必需的。但是这也不能完全解释为什么分工之后不能保持紧密的联系，其中必定有更深入的原因。我觉得这原因是：当时科学的发展还没有达到一个完整体系的阶段，自然科学的各部门中虽然有些部分是建立起来了，但另一些部分又确是模糊的，不明确的。这也就是说：当时的自然科学因为它自身还有不少漏洞，还不是一个结实的结构，所以当时的自然科学还不能作为工程技术的可靠基础，把工程技术完全建筑在它的上面。例如：虽然热力学早已搞得很明白了，可是热力学的基本，也就是用分子的运动来解释热能现象的统计物理，就存在着许多困难。这些统计物理中的困难要等到量子力学的出现才能得到解决。就因为这些在自然科学中的缺陷，有一些

^① 在这里，自然科学这一名词是用来包括物理学、化学，以及生物学、地质学等科学。但是自然科学不包括工程技术。

纯由理论所推论出来的结果显然与事实不相符合，这也动摇了工程师们对当时自然科学的信心。所以我们可以完全了解在十九世纪中和二十世纪初年工程师们与科学家中间的隔膜。

但是在本世纪中自然科学的发展是非常快的，个别自然科学的部门在较早的年代也已经达到完整的阶段，电磁学和力学便是两个例子。而正好在这个时候电机工程和航空工程两个崭新的工程技术先后出现了。因为它们当时的新技术，没有什么旧例和旧经验可作准则。工程师们为了迅速地建立起这两门技术就求助于电磁学和力学，用电磁学和力学作为电机工程和航空工程的理论基础。这样才又一次证明了自然科学与工程技术问题的密切关系，才指明了以前工程师们不重视自然科学的错误。而也就是在这个时代，物理学、化学等自然科学学科很快地发展成现代的科学，补足了它们以前的缺陷。所以在今天来看，我们对物质世界的认识，只要是在原子核以外，只要除开个别几点，是基本上没问题了。在原子和分子世界中，有量子力学；在日常生活的世界里，有牛顿力学；在大宇宙的世界里，有一般相对论的力学，只有原子核内部的世界现在还没有一定的看法。因此我们也可以说，对工程师说来，自然科学现在已经很完整了，它已经是一切物质世界（包括工程技术在内）的可靠基础。

由这个事实出发，有许多科学家认为：一切工程技术可以看作是自然科学的应用，而一个工程师的培养只要在他的专门业务课程之外，再加上自然科学就行了，就可以保证他在以后工作中有解决新问题和克服困难的能力。在四十几年前的美国，他们的确是这样看法。有名的麻州理工学院就是建立在这个原则上的。把工程师的培养和技术员的培养分开来，把工程师作为一个科学的应用者，这在当时是一个带有革命性的改革。这个改革在一定程度上是成功的，而这种培养工程师的方法也就被其他学校和其他国家中的工程技术学校所采用，逐渐成为一种典型的工程技术教育。由这种课程所培养出来的工程师比起老一辈的工程师来，的确有科学分析的能力，在许多困难的问题上不再完全靠经验了，能用自然科学理论来帮助解决问题。但这不过在一定程度上如此，至于课程改革原来的目的：把工程技术完全建立在自然科学的基础上的这个目的，是没有完全实现的。我们先看一看课程的组成。这种课程是四年制，前两年着重在自然科学，后两年着重专门业务。但是这两

部分之间没有能结合起来。有人说以这个办法受教育的学生，前两年他是一个学者，追求着自然界的真理，运用理论的分析而且做严密的实验，确是在高度学术空气中生活着的。但是一过了两年，进入了后一阶段的教育，他又忽然从学术空气中被赶出来，进入了工程师们所习惯的园地，放弃了分析方法，去研究经验公式了。我们知道这样培养出来的工程师一进入到实际工作中，不久就把他们学过的自然科学各个学科的大部分都忘了，数学也不大会用了，只不过还会运用自然科学的一般原理来帮助他们的思考罢了。要真正以科学的理论来推演出他们在工作中所需要的准则，他们还是不能做到的。

其实这一种困难是可以理解的。因为美国麻州理工学院对工程技术的看法是有错误的地方的。错误在什么地方呢？我们可以这样看：自然科学的研究对象并不是大自然的整体，而是大自然中各个现象的抽象化了的、从它的环境中分离出来的东西。所以自然科学的实质是形式化了的、简单化了的自然界。因此，虽然关于原子核以外的世界，现在已发现了许许多多的自然规律，但究竟自然科学还是要不断的发展的。在任何一个时代，今天也好，明天也好，一千年以后也好，科学理论决不能把自然界完全包括进去。总有一些东西漏下了，是不属于当时的科学理论体系里的；总有些东西是不能从科学理论推演出来的。所以，虽然自然科学是工程技术的基础，但它又不能够完全包括工程技术。如果我们要把自然科学的理论应用到工程技术上去，这不是一个简单的推演工作，而是一个非常困难、需要有高度创造性的工作。我们说科学理论应用到工程技术上去是不合适的，应该更确切地说科学理论和工程技术的综合。因此，有科学基础的工程理论就不是自然科学的本身，也不是工程技术本身；它是介乎自然科学与工程技术之间的，它也是两个不同部门的人们生活经验的总和，有组织的总和，是化合物，不是混合物。

显然，我们不可能要求一个高等学校的学生仅仅用四年的功夫把这个非常困难的工作做好。他们最多只不过能把科学和工程混在一起，决不能让两者之间起化合作用，所以美国麻州理工学院式的教育决不能完全达到它预期的目的，要做综合自然科学和工程技术，要产生有科学依据的工程理论需要另一种专业的人，而这个工作内容本身也成为人们知识的一个新部门：技术科学。它是从自然科学和工程技术的互相结合所产生出来的，是为工程技术服务的一门学问。

由此看来，为了不断地改进生产方法，我们需要自然科学、技术科学和工程技术三个部门同时并进，相互影响，相互提携，决不能有一面偏废。我们也必须承认这三个领域的分野不是很明晰的，它们之间有交错的地方。如果从工作的人来说，一人兼在两个部门，或者甚至三个部门是可以的；所以一个技术科学家也可以同时是一个工程师；一个物理学家也可以同时是一个技术科学家。不但如此，这三个领域的界限不是固定不移的，现在我们认为技术科学的东西，在一百年前是自然科学的研究问题，只不过工作的方法和着重是有所不同罢了。我们要明确的是：在任何一个时代，这三个部门的分工是必需的，我们肯定地要有自然科学家，要有技术科学家，也要有工程师。

二、技术科学的研究方法

既然技术科学是自然科学和工程技术的综合，它自然有不同于自然科学，也有不同于工程技术的地方。因此，研究技术科学的方法也有些地方不同于研究其他学科的方法。

因为技术科学是工程技术的理论，有它的严密组织，研究它就离不了作为人们理论工具的数学。这个工具在技术科学的研究中是非常重要的，每一个技术科学的工作者首先必须掌握数学分析和计算的方法。也正因为如此，某一些技术科学的发展，必定要等待有了所需的数学方法以后才能进行，例如近几十年来统计数学的成就就使得好几门技术科学（例如控制论和运用学）能够建立起来，所以作为一个技术科学工作者，除了掌握现有的数学方法以外，还必须经常注意数学方面的发展，要能灵敏地认出对技术科学有用的新数学，快速地加以利用。他也要不时对数学家们提出在技术科学中发现的数学问题，求得他们的协助，来解决它。自然我们也可以说，关于这一点，技术科学与自然科学各部门的研究没有什么大的差别。但是实际上技术科学中的数学演算一般要比自然科学多，数学对技术科学的重要性也就更明显些。也因为技术科学中数学计算多，有时多得成了工作量中的主要部分，这使得许多技术科学的青年工作者误认为数学是技术科学的关键。他们忘了数学只不过是一个工具，到底不过是一个“宾”，不是“主”。因此我们可以说：一件好的技术科学的理论研究，它所用的数学方法必定是最有效的；但

我们决不能反过来说，所有用高深数学方法的技术科学研究就都是好的工作。

也是因为技术科学研究工作中，用数学分析和计算的地方很多，所以许多具体分析与计算的方法，像摄动法、能量法等，都是技术科学研究中所创造出来的。这方面贡献特别多的是技术科学中的一个部门——力学。唯其如此，最近电子计算机的发展，就对技术科学的研究有深切的影响。因为电子计算机能以从前不可想像的速度进行非常准确的计算，有许多在以前因为计算太复杂而用实验方法来解决的问题，现在都可以用计算方法来解决，而且在时间方面以及所需的人力物力方面都可以比用实验方法更经济。这一点说明了电子计算机在技术科学研究中的重要性。在将来，我们不能想像一个不懂得用电子计算机的技术科学工作者。但更要紧的是：由于电子计算机的创造，数字计算方法将更加多用，技术科学的研究方法将起大的变化。我们才在这改革的萌芽时期，而且电子计算机本身也在迅速地发展，将来到底能做到什么地步，现在还不能肯定，能肯定的是：下一代的技术科学工作者的工作方法必定比我们这一代有所不同。

我们在前面已经说过：数学方法只是技术科学研究中的工具，不是真正关键的部分。那么，关键的是什么呢？技术科学工作中最主要的一点是对所研究问题的认识。只有对一个问题认识了以后才能开始分析，才能开始计算。但是什么是对问题的认识呢？这里包含确定问题的要点在哪里，什么是问题中现象的主要因素，什么是次要因素；哪些因素虽然也存在，可是它们对问题本身不起多大作用，因而这些因素就可以略而不计。要能做到这一步，我们必须首先做一些预备工作，收集有关研究题目的资料，特别是实验数据和现场观察的数据，把这些资料印入脑中，记住它，为做下一阶段工作的准备，下一个阶段就是真正创造的工作了。创造的过程是：运用自然科学的规律为摸索道路的指南针，在资料的森林里，找出一条道路来。这条道路代表我们对所研究的问题的认识，对现象机理的了解。也正如在密林中找道路一样，道路决难顺利地一找就找到，中间很可能要被不对头的踪迹所误，引人迷途，常常要走回头路。因为这个工作是最紧张的，需要集中全部思考力，所以最好不要为了查资料而打断了思考过程，最好能把全部有关资料记在脑中。当然，也可能在艰苦工作之后，发现资料不够完全，缺少某一