



中国科学技术大学

University of Science and Technology of China

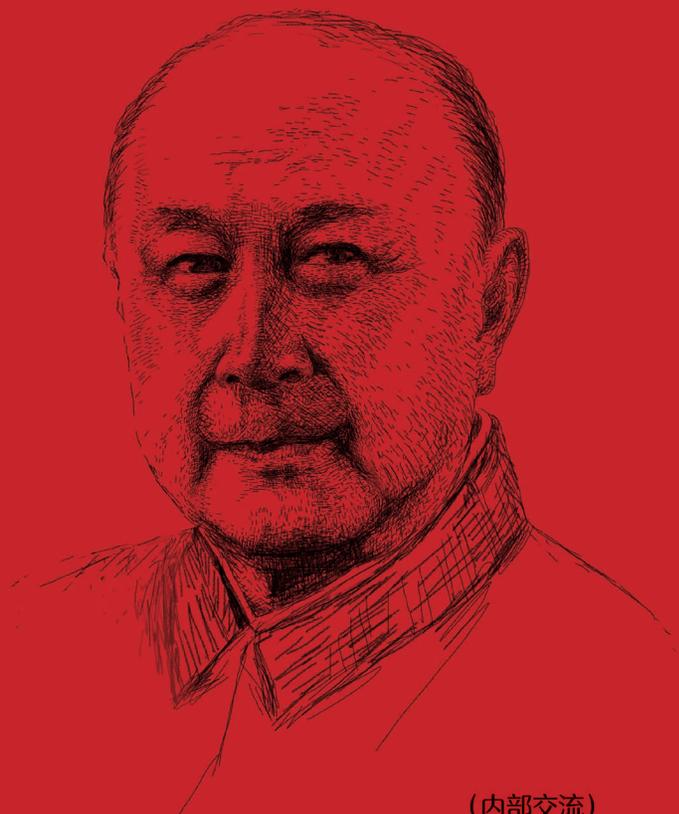
USTC EDUCATION REVIEW

中国科大教学评论

——李政道

钱学森纪念专辑

二〇二二年十一月



(内部交流)

卷 | 首 | 语

培养勇攀高峰的技术科学人才

(校党委书记 舒歌群)

按语：

钱学森先生的一生，是自立自强、锐意进取的一生，也是爱党爱国、奉献科教的一生。钱学森是中国科学技术大学的缔造者之一，他在中国科大提出了一系列具有丰富内涵的教育思想和理念，对中国科大的发展作出了重要贡献。

2021年是钱学森先生诞辰110周年，中国科大举办了传承老一辈科学家精神系列展之“科技自立自强 培养创新人才——钱学森先生诞辰110周年纪念展”，旨在铭感钱学森为创办中国科大所作的重要贡献，缅怀他波澜壮阔的一生，学习他崇高的爱国主义情怀、勤奋严谨的科学态度和锐意进取的科学精神，激励广大党员、师生不忘初心，传承和弘扬老一辈科学家精神，潜心立德树人，执着攻关创新。

钱学森长期重视科技创新人才培养，为我国高等教育事业和学科专业建设倾注了大量心血。2005年，他提出的关于中国创新人才的培养问题，引发了社会各界的广泛关注与思考。中国科大有争当高等教育改革排头兵的优良传统，也一直在探索科技创新人才培养的新模式、新方法、新路径。面对未来，中国科大将继承钱学森等老一辈科学家的优良传统，开拓创新，为培养德智体美劳全面发展的社会主义建设者和接班人，为建设创新型国家、建设世界科技强国作出新的更大的贡献。

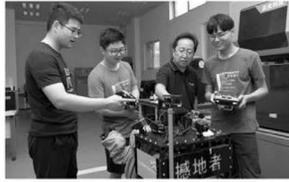
习近平总书记在今年的两院院士大会、中国科协第十次全国代表大会上强调，“现代工程和技术科学是科学原理和产业发展、工程研制之间不可缺少的桥梁，在现代科学技术体系中发挥着关键作用。要大力加强多学科融合的现代工程和技术科学研究，带动基础科学和工程技术发展，形成完整的现代科学技术体系”。

高端观点

摘要:党的十九届五中全会提出,坚持创新在我国现代化建设全局中的核心地位,把科技自立自强作为国家发展的战略支撑。高校作为科技第一生产力、人才第一资源和创新第一动力的结合点,在服务国家创新驱动发展中具有独特且不可替代的作用。本期,我们邀请了对高校科技创新有深入思考的高校党委书记,谈高校如何加快调整与变革,打造战略科技力量。

培养勇攀高峰的技术科学人才

舒歌群



中国科大技术科学专业创新创业导师班开班(右二)在创新创业开放实验室指导学生进行多能应用微机器人测试。 新华社记者 张琳 摄

习近平总书记在今年的两院院士大会、中国科协第十次全国代表大会上强调,“现代工程和技术科学是支撑现代工业和产业发展的工程研制之间不可缺少的桥梁。在现代科学技术体系中发挥着关键作用,要大力加强多学科交叉的现代工程和技术科学建设,引领带动现代科学技术发展,形成完整的现代科学技术体系”。

习近平同志,唯在得人,一流创新人才是建设世界科技强国的根基。高水平研究型大学作为人才培养的第一资源,理应为现代工程和技术科学贡献一流创新人才。中国科技大学自诞生之日起,就致力于“两弹一星”重大工程和技术科学人才培养,从“理实交融”的校训到“理工结合”的专业设置,无不体现出一代代科技工作者对人才培养和教育实践的执着追求。

理实交融,培养“理工结合”创新人才

钱学森先生注重理实交融教育实践,在上世纪50年代“理科上分离”的教育背景下,前瞻性地提出“理科与工程相结合”的技术科学,他认为“对于一个工程学家(理科的)来说,他的任务是解决技术交给他的问题,以及进行工程科学的基础研究”。

红专并进,坚持“立德树人”根本任务

钱学森先生高度重视思想政治教育,坚持马克思主义在高等教育和人才培养中的指导地位。他认为“一个有为的科学家,首先必须有一个科学的人生观、世界观,才能有对人对己的正确的态度,才能有对祖国、对人民的献身精神”。

全方位育人,实现“德智体美劳”全面发展

钱学森先生十分重视全面发展,他指出“学生离开学校进入社会所面临的工作不是单一的,总是综合多方面的,所以其他知识只限于一个学科,是不够的。那得有书呆子,教育就失败了”。

专业精治,瞄准“未来科技”学科前沿

钱学森先生提出立足于“旗杆式”而非“金字塔式”的人才培养之道,所谓“旗杆式”,即在加强通识基础教育的同时,把学生直接带到学科的前沿。钱学森先生在中国科大的教育实践中充分实践了“精、新、活”的专业教育理念。

学校未来技术学院将瞄准量子信息、智能技术、智能材料等前沿和关键技术领域,探索多学科交叉融合性、复合型人才培养新模式,形成量子科技创新领军人才培养新模式。培养一批在前沿交叉和未来技术领域具有重要影响力的未来科技创新领军人才,支撑一支在量子科技前沿交叉领域具有重要影响的量子科技青年队伍,建设若干量子信息相关科技教育平台。

全面落地:两大课程体系覆盖全体本科生

以“唤起好奇、激发潜能”为引领,电子科大八年前后,打造了“理工科项目式课程体系和通识教育课程体系”,实施了覆盖全体课程、惠及全体学生的研究性、挑战性课程模式改革。

跨界融合:构建多学科交叉的专业生态

跨界融合是理工科发展的题中之义。2016年,电子科大面向“互联网+”“智能+”融合发展态势,在国内率先实施了“五基四十”复合型交叉学科项目,建设4个学科交叉专业,学校积极探索“红专并进”人才培养新模式,推动了学校人才培养模式的变革。

教改一线

“手机课堂”“翻转课堂”“慕课”“微课”“微课+”各学院都会举办学生作品展,展出本科生项目式课程作业,展示拓展、自能及科技含量的作品,吸引参观者,学生们既是创作者,又是讲解员,自信满满地作介绍。

新工科建设的“成电方案”落地生根

通讯员 王殿刚

“唤起好奇、激发潜能”为核心理念推进课程建设,实施了以“理工科项目式课程体系和通识教育课程体系”,实施了覆盖全体课程、惠及全体学生的研究性、挑战性课程模式改革。

“多能翼”飞行器设计与实现”是信息与软件工程学院的项目式课程,该课程坚持“项目驱动+问题导向”的理念,引导学生分三个阶段逐步深入学习,顺利完成多能翼飞行器设计。

据了解,电子科大已全校所有工科专业中建成了从“新工科项目式课程”到“通识教育项目式课程”的“成电方案”,实现了“理工科项目式课程”对“二十一世纪”的全面实施。

创新之道,唯在得人,一流创新人才是建设世界科技强国的根基。高水平研究型大学作为培养人才的第一资源,理应为现代工程和技术科学贡献一流创新人才。中国科学技术大学自诞生之日起,就致力于“两弹一星”重大工程和技术科学人才培养,从“理实交融”的校训到“理工结合”的专业设置,无不体现出老一辈战略科学家们超前的办学理念。特别是“技术科学”思想的提出者、学校的创始人之一、力学和力学工程系(现为近代力学系)首任系主任钱学森先生,在实际主持力学系工作的8年里深入开展了技术科学人才培养和教育实践。

红专并进,坚持“立德树人”根本任务

钱学森先生高度重视思想政治教育,坚持马克思主义在高等教育和人才培养中的指导地位。他认为“一个有为的科学家,首先必须有一个科学的人生观、宇宙观,才能真正对人类、对自己的祖国作出有益的贡献”。他曾深刻阐述“红”和“专”的关系,认为“红色专家的捷径绝不是‘先专后红’,而是‘专红并进’”。在科研和教育实践中,他也始

终坚定地践行“必须又红又专，把红落实在专上”的理念。

建校60余年来，中国科大始终秉承“红专并进”的校训精神，坚守“科教报国、追求卓越”的初心使命，传承和发扬以抗大精神、“两弹一星”精神、二次创业精神和老一辈科学家精神等为核心的红色精神谱系，把“培养社会主义建设者和接班人”作为办学根本任务。新时期，学校牢记习近平总书记的殷殷嘱托，全面贯彻党的教育方针，坚持社会主义办学方向，坚持用习近平新时代中国特色社会主义思想铸魂育人，努力办出中国特色、世界一流大学。

学校持续深化与中共安徽省委党校合作，探索高校与地方党校共建马克思主义学院的思政教育改革“中国科大模式”；着力提升思政课程教学效果，设立校党委书记为组长、全体校领导参与的“形势与政策”课程组，打造“开学第一课”“毕业生党课”等特色思政课程；充分挖掘各类专业课程中蕴含的思想政治教育资源，以本科生特色课程“科学与社会”研讨课为抓手，建立“一院一课”的全校课程思政育人体系。

理实交融，培养“理工结合”创新人才

钱学森先生注重并擅长理论联系实际，在上世纪50年代高校“理工分离”的教育背景下，前瞻性地提出要培养“理工结合”的技术科学家，他认为“对于一个工程科学（技术科学）家来说，他的任务是解决提交给他的问题，以及进行工程科学的基础研究”。

中国科大始终坚持“科教结合、理实交融”的优良传统，注重学生理论联系实际和创新实践能力培养，充分发挥“全院办校、所系结合”的特色优势，利用好中国科学院相关研究所的创新实践资源。新时期，学校围绕“强化国家战略科技力量”的重要部署，承担基础研究的主力军和重大科技突破的生力军的职责使命，为基础前沿探索和关键技术突破培养“理工结合、理实交融”的技术科学人才。

学校长期构建多层次梯级提升的实验教学课程体系，实现基础技能训练、高级专业实验和自主创新实践的递进式培养；鼓励本科生进入科研实验室参与科研训练、接触科技前沿，实现本科生百分百进实验室开展科研训练；已与中国科学院12个分院、39个研究院所签署全面合作协议，每年有800多名学生赴中国科学院研究院所和其他知名科研机构实践学习。

基础宽厚实，发挥“强基固本”支撑引领

钱学森先生曾在《人民日报》发表文章，系统论述了基础课程教育对创新人才培养的关键作用，“我们重视基础理论的原因，是因为科技大学的学生将来要从事于新科学、新技术的研究”“我们在摸索问题时要有依据，好像在大森林里走路要有一个指南针，基础科学中的自然规律正是我们进行科学研究的指南针”。

中国科大始终高度重视“宽、厚、实”的基础课教学，长期的办学实践证明，无论是研究型、应用型，还是不同专业的各类人才，扎实的基础素养都是其适应社会发展、持续创新创造的重要源泉。新时期，学校自觉履行“高水平科技自立自强”的使命担当，努力提升原始创新能力，大力加强原创性基础性科技攻关，打牢理论基础和应用基础的人才根基。

学校在本科培养方案中明确要求校定通修课程等基础课程不低于总学分的45%，并要求全体教授为本科生讲授基础课程；持续强化学生数理基础，进一步推行和完善数学、物理的分类教学，实行因材施教、按需培养；开设“计算思维”课程，提升学生计算思维、工程思维、设计思维和交互思维。

专业精新活，瞄准“未来科技”学科前沿

钱学森先生曾提出要立足于“旗杆式”而非“金字塔式”的人才培养之道。所谓“旗杆式”，即在加强理论基础教育的同时，把学生直接带到学科的最前沿。钱学森先生在中国科大的教育实践中也充分体现了他“精、新、活”的专业教育思想，他亲自开设“星际航行概论（火箭技术概论）”课程，并讲授当时世界最前沿的航天专业知识。

中国科大的专业教育始终瞄准世界科技前沿、立足国内重大需求，建校时就开设了一大批国内首创的新兴、前沿、交叉专业，如今又获批国内首个“量子信息科学”本科专业，获批建设全国首批未来技术学院。新时期，学校瞄准“未来科技和产业制高点”，顺应突飞猛进的新一轮科技革命和产业变革，帮助学生洞悉相关专业领域的发展趋势，为适应和引领未来技术变革做好准备。

学校未来技术学院将瞄准量子信息科技、智能技术、智能材料等前沿和关键领域，探索量子信息科学专业实质性学科复合交叉规律，形成量子科技创新领军人才培养新模式，

培养一批在前沿交叉与未来技术领域具有重要影响力的未来科技创新领军人才，锻造一支在量子科技前沿交叉领域具有重要影响的高水平师资队伍，建设若干量子信息相关科教资源平台。

全方位育人，实现“德智体美劳”全面发展

钱学森先生十分重视全面发展，他指出“学生离开学校进入社会所面临的工作都不是单一的，总是综合多方面的，所以如果其知识只限于一个学科，不知其他，那将是书呆子，教育就失败了”，他强调未来“科技帅才”的培养“不仅要有深厚的数理基础和丰富的工程技术知识，而且要懂得社会科学，特别是哲学”，并结合自身经历谈到文艺对科学思维的启示和开拓。

中国科大始终以培养德智体美劳全面发展的社会主义建设者和接班人为根本任务，以培养高素质复合型科技英才为目标，持续优化全方位育人体系。新时期，学校面向“党和国家事业发展对科学知识和优秀人才的迫切需要”，引导学生坚持德智体美劳全面发展，立大志、明大德、成大才、担大任，努力成为堪当民族复兴重任的时代新人。

学校成立本科生院，统筹本科教育教学，对全校本科一二年级学生实行“书院制”管理，通过课外活动、氛围营造、朋辈互助、自我管理 etc 浸润式教育，打造积极向上、和谐友爱的学生思想阵地和社区家园；实施综合素质评价，破除“唯成绩论”，实现一、二课堂的互动互融、互补互促，促进学生思想政治、创新创业、体育健康、文化素养、劳动精神的全面发展；创建科技与人文深度融合的特色人文学科，让人文科学携手自然科学和技术科学，培养兼具科学基础、工程技术和人文关怀的科技领军人才，引导学生以天下为己任，以开创一流的科学和技术、服务人类美好生活为远大目标。

站在“两个一百年”奋斗目标的历史交汇点，作为中国共产党亲手创办的红色大学，中国科大将紧紧围绕“潜心立德树人、执着攻关创新”两大核心任务，积极适应新一轮科技革命和产业变革的新趋势，主动面向科技自立自强和创新驱动发展的重大战略需求，继承和弘扬钱学森教育思想，加快建设发展“基础研究深厚、学科交叉融合”的科大特色新工科，为培养勇攀科技高峰的技术科学人才贡献科大方案。

钱学森在科大活动大事记

1958 年

6 月 8 日 郭沫若院长召开中国科学技术大学筹备委员会成立会议，钱学森作为十名委员之一参加了会议，会议决定学校定名为“中国科学技术大学”，设立 12 个系。

6 - 8 月 为了给上天（航天）、入地（爆破）培养新型人才，钱学森与郭永怀等著名科学家积极创建力学和力学工程系，确定该系设立高速空气动力学专业、高温固体力学专业、化学流体力学专业及土和岩石力学专业。

6 - 8 月 钱学森与郭永怀合作创建化学物理系，该系设立高速化学反应动力学专业和物理力学专业。

7 月 28 日 钱学森参加了学校召开的第一次系主任会议，讨论招生；确定各系系主任等干部的任命，安排教师，讨论科大办学特色及学制等问题。

8 月 14 日 钱学森参加了学校召开的第三次系主任会议，讨论教学计划、基础课教学等问题。

9 月 20 日 钱学森出席了中国科学技术大学成立暨开学典礼。

1959 年

4 月 6 日 学校成立校务委员会，郭沫若任主任，委员 56 人，其中有中国科学院力学研究所的三位主要领导人：钱学森、郭永怀和杨刚毅。

4 月 23 日 学校招生工作委员会编印了各系的专业介绍，其中钱学森为力学和力学工程系招生介绍撰写文章《力学的现状及其发展方向》；郭永怀也为化学物理系撰写文章《化学物理的现状与发展远景》。

5 月 26 日 钱学森在《人民日报》发表文章《中国科学技术大学里的基础课》，强调中国科学技术大学培养的学生将来要从事新科学、新技术研究，培养在未被开辟的领域里去走前人没有走过的道路的人才，一定要把物理、化学、数学以及现代技术的基础打好。

7 月 钱学森主任主持召开中国科学院力学研究所有关同志对修订力学和力学工程系系教学计划进行了四次讨论。

12 月 3 日 《科大校刊》刊登钱学森文章《科学研究工作与外文》。他认为，外文是今天需要，明天也需要，将来还需要的科学技术研究的重要工具。

12月21日钱学森召开教学研究会议，严济慈、吴文俊、许国志等任课教师参加。会议主要研究各门基础课如何适应力学专业的要求，提出要制定教学大纲。会议之前，还向力学和力学工程系全系学生讲解了专业内容。

1960年

1月21日钱学森在《科大校刊》发表文章《苏联征服宇宙空间的新阶段》。

2月28日钱学森、郭永怀参加了学校举办的第一次科学报告会。会上，钱学森作了关于人工降雨火箭和脉冲式发动机试制工作的总结。

6月3日在钱学森、郭永怀的建议下，力学和力学工程系、化学物理系分别与中国科学院力学研究所、化学研究所举行座谈，研究教学事宜。

1961年

5月2日钱学森来校作《关于苏联载人宇宙飞船》的报告。

5月29日由于中国科学院动力研究室划归力学所管辖，与其对口的物理热工系并入力学和力学工程系，该系并入后成为一个新的专业——喷气动力热物理。并系后的系名，钱学森确定为近代力学系。

6月23日钱学森主持有各研究室主任参加的近代力学系教学计划的第二次修订。

9月钱学森亲自为近代力学系58级、59级开始主讲“火箭技术概论”，时间为一个学期。该课程后来改名为“星际航行概论”。

10月28日在华罗庚的邀请下，钱学森来校作《谈谈工作与学习》的报告。

12月钱学森将《工程控制论》一书的稿酬及奖金，共计一万一千五百元，捐献给近代力学系，为学生购买计算尺等学习用品。

1962年

2月钱学森建议近代力学系58级学生补课一学期，加强数、理基础。

5月21日在钱学森建议下，学校第三次校务常委会议任命林同驥任近代力学系高速空气动力学教研室主任，李敏华任高温固体力学教研室主任，王群任喷气发动机热物理教研室主任（兼），钱寿易任爆炸力学教研室主任。

9月钱学森为化学物理系58级、59级开始主讲“物理力学”，时间为两个学期。

10月10日钱学森给武汝扬副校长写信，对近代力学系的专业设置提出意见。

12月24日学校第十次校务常委会议就58级补课做出结论，决定延长半年进行补课。

1963年

3月30日钱学森就如何撰写毕业论文给全校1958级学生作报告。

4月11日 学校在针对《调整专业名称》给中国科学院的报告中指出，教育部建议我校高速空气动力学专业和喷气动力热物理专业改名为空气动力学专业和热物理专业，经钱学森、郭永怀、吴仲华等研究，不同意改变这两个专业的名称：同意将高温固体力学专业改名为飞行器结构力学与强度计算专业。

6月3日 时任党委书记的刘达到力学所，与钱学森、郭永怀等11位科学家就学校教学系与专业设置等重大问题举行座谈。

6月 钱学森在近代力学系毕业论文导师会上，作《如何指导学生论文》的报告。

9月 钱学森在我校招收、指导研究生(马兴孝)。

1964年

1月 钱学森亲自参加了近代力学系学生的毕业论文答辩。

2月28日 学校成立专业调整和课程调整委员会，严济慈任主任，钱学森等12人为委员。

9月29日 钱学森写信给学校党委书记刘达，对学校物理力学专业调整问题提出意见。





錢學森

〔1911—2009〕

一位为国家科技发展做出杰出贡献的科学家

一位中国航天事业的奠基者

一位工程控制论和物理力学的开创者

一位心怀祖国，奉献毕生的爱国者

一位技术科学的倡导者和践行者

一位中国科大建校的开拓者与领导者

一位心系中国科大发展的引路人

中国科大教学评论之 钱学森纪念专辑

2021年第6期（总第6期）

主管：中国科学技术大学

主办：中国科学技术大学教务处

协办：中国科学技术大学教育基金会

本刊编辑委员会

主任：周丛照

副主任：曾长淦

委员：（按姓氏笔画排序）

左达峰 汤俪瑾 孙广中

李斌 张世武 张曼君

张增明 周丛照 胡水明

曾长淦

执行主编：曾长淦

本期客座主编：王安轶

责任编辑：刘婷

编辑：李艳丽 杨阳 范煜

边赫媛 杜筱婧 封丽娜

致作者和读者

亲爱的作者和读者，本刊的发展和进步，离不开你们的大力支持。在此，本刊编辑部向你们表示衷心的感谢。本刊的宗旨是传承、凝练和弘扬中国科大教学文化，促进我校教学研究，更好地服务于教育教学发展。本刊设有“专家视野”“教学探索”“管理智慧”“学生之声”等多个栏目。

欢迎投稿，稿酬从优!

来稿时请注明

投稿栏目、作者单位、联系电话及电子信箱

本刊电子信箱：edureview@ustc.edu.cn

编辑部电话：0551-63603984

编印单位：中国科大教务处

本期目录

◎ 著述育才：钱学森谈科大的人才培养 01

中国科学技术大学里的基础课（钱学森）…………… 01

谈谈工作与学习（钱学森）…………… 05

近代力学的内容和任务（钱学森）…………… 12

◎ 思想传承：钱学森技术科学思想及其实践 20

钱学森对技术科学思想的重要贡献及其影响（姜玉平）… 20

钱学森与中国科大近代力学系的建立与初期发展
（王安轶）…………… 29

工程科学人才是实现科技自立自强的重要力量（范煜）… 41

◎ 箴语箴言：书信中的钱学森与科大 49

书信中的钱学森与中国科大学科建设（方黑虎）…………… 49

◎ 校友回顾：记忆中的钱学森与科大 52

钱学森先生引领的成才之路：——访中国科大首届校友张瑜，
谈钱学森教育思想与教育实践

（张瑜口述，王安轶 林思纯 范煜整理）…………… 52

中国科学技术大学里的基础课

钱学森

朱栋培按：

1959年5月26日，中国科学技术大学力学和力学工程系（1961年改名为近代力学系）系主任钱学森在人民日报撰文《中国科学技术大学里的基础课》，全面介绍了何为大学里的基础课，中国科学技术大学为什么重视基础课教学，如何重视基础课教学以及基础课的课程设置和教师配备情况。通过这篇文章，我们能够清晰地了解中国科学技术大学建校之初教学工作的特点，也可明白中国科学技术大学重视基础课教学的优良传统源于何处。



钱学森发表在《人民日报》上的文章

中国科学技术大学是为我国培养尖端科学研究技术干部的，因此学生必需在学校里打下将来作研究工作的基础。什么是作研究工作的基础呢？那自然是多方面的，政治觉悟、专业知识、体质、阅读外文的能力等，都是基础。我们在这里要谈的不是这些，而是专业以外的基础课；这在科技大学分两类：一类是基础理论，也就是物理、化

学和数学；一类是基础技术，如机械设计。这些基础课在科技大学教学计划中占很重要的位置，基础理论学时在各个专业里略有不同，但占总学时的三分之一左右；而技术基础的学时也占总学时的百分之十几。所以基础理论的比重在科技大学比一般工科学院要高，而基础技术的比重又比在一般理科专业要高。

本文原载于《人民日报》1959年5月26日第六版。

一、重视基础理论的缘故

我们重视基础理论的缘故，是因为科技大学的学生将来要从事于新科学、新技术的研究；既然是新科学、新技术，要研究它就是要在尚未完全开辟的领域里去走前人还没有走过的道路，也就是去摸索，摸索当然不能是盲目的，必须充分利用前人的工作经验。可是在新科学、新技术领域里，前人的工作经验不会太多，因此我们只有更多地依靠一般的知识、也就是人类几千年以来和自然界作斗争的经验，通过总结所得出来的自然界一般规律。对我们来讲，其中尤其重要的是关于物质结构、性质和运动的规律，这就是物理、化学。它们也就是我们在摸索过程中的指南针，在许多条看来可以走的道路中，帮助我们判断那一条、或那几条道路是可以走得通的，而其余是走不通的。也就是说利用自然界的一般规律去分辨出，哪一个想法肯定是对的，哪一个想法可能是对的，而哪一个想法肯定是错的。自然，我们作研究，不必在已肯定是错的路子上去花工夫，而应该集中精力于肯定是或可能是对的路子上。

二、基础理论的重要性

举个例子：运动的一般规律告诉我们说，永动机是不可能的，所以一切包含永动机构的机器是不可能的，不必去想它。再如量子力学的规律告诉我们说，一切共轭量不可能在同一瞬间绝对精确地测定的，质点

的位置和动量就是一对共轭量，因此如果在微观世界里一个理论要求同时知道质点的位置和运动速度，那么那个理论就是错的，不必去考虑它。再举个例：化学键的能量是知道了的，特别是各种碳原子和氢原子之间的键，它们的能量我们知道得清楚，我们也知道二氧化碳分子和水分子的结合能，因此如果有人说他发明了一种比汽油能量大一倍的碳氢化合物燃料，我们也可以断定这位同志搞错了，那样的高能碳氢化合物燃料是不可能的，不必去相信他。

这些例子说明了基础理论的重要性，但我们也可以看出来要作这种原则性的判断，要求的还不是光知道自然界的一般规律，要求的是充分掌握这些规律，把规律的里里外外、前前后后都看得清清楚楚，摸得透。只有这样才能具有锐利的眼光，能在复杂的事物中分析出核心问题，不被形形色色的假象所蒙蔽，从而辨别真伪。所以科技大学里的物理、化学课除了教知识、注意和各个专业相结合，更注重这两门基础理论的系统性，要给学生一个清晰的全面概念和图象，要他们成为这两门学科的主人。为此，在辅导课里，我们也注意到养成学生分析事物现象的观点和方法；在独立思考方面，有所锻炼。自然，与物理和化学讲授课相辅的实验课，是有助于巩固规律的学习的；而且这些实验课，也使学生初步学到将来作研究所必不可少的工具、精密严谨的实验技术。

我们也要提一下，科技大学对化学这门基础理论，即使在各个非化学专业里，也是被重视的。我们知道新科学、新技术的研究和发展是和新材料分不开的，而要对不断出现的新材料，能了解和掌握它们的性质，或是要合理地提出还不存在的新材料要求，那就要比较系统的和全面的化学理论知识。

三、有效的研究方法——数学方法

进行科学研究的时候，我们必需研究各个因素和各个量之间的关系，进行量的关系的计算。当然计算与分析不是什么神秘的东西，在农业合作化初期，有些社的会计不是用黄豆粒的办法来记账吗？所以就是我们一点也不知道高深的数学，用些简陋的方法也并不是不可以；这里的问题不是能不能的问题，而是好不好问题。用简陋的方法，虽然也能进行复杂的计算，但是太花时间，容易出差错；用高效能的方法就能节省时间，少出差错。那么什么是高效能的计算方法呢？那自然是要充分利用了数学的成果才能得到的。所以我们一方面不过高地估计数学方法，它不过是我们计算中的工具，它不能把本来没有道理的理论变成有道理，也不能把本来有道理的变成没有道理；我们另一方面也十分重视数学方法，因为它是一个非常有效的研究工具。

因此在科技大学里，我们的数学课是比较全面的，它的内容不比解放前大学数学专业所学的整个数学课少。但是我们的教法却

与解放前的数学专业所用的教法大不相同，我们的教法，首先是唯物主义的，我们对每一个数学概念都从它来源讲起，说明它不是凭空掉下来的；在这里我们都引用实际科学问题的例子来解说。一个概念引入了之后，我们就进行系统的、严格的论证和发展，使学生有一个巩固的基础，即使他们在将来遇到了以前没有学过的数学工具，也能靠自己来掌握它。自然，我们在注重数学概念的同时，也没有忘了我们不是为数学而数学，我们学数学是为了作具体计算；所以在每讲了一个数学的概念和系统论证之后，我们还通过具体的实际问题来解说使用这个理论的方法。我们认为这样能把数学的理论与实践结合起来，让学生既充分掌握理论，也能灵活地使用理论，进行计算和分析。

四、基础技术的重要性

在科技大学里的另一类基础课是基础技术，这有包括工程画、机械原理、材料力学和机件设计的机械设计课，也有包括电工和电子技术的电工电子学课等。我们重视这些课的缘故是：在新科学、新技术的研究工作中，常常要设计比较复杂的实验装置，例如研究高速空气动力问题就得有超声速的风洞，研究基本粒子物理就得有高能加速器；要设计这些设备就不能用敲敲打打的办法，必需进行比较正规的技术设计。因此基础技术的训练就非常必要了。

我们重视基础课，不但可以从学时所占

的比例上看出来，而且也可以从科技大学基础课的教师名单上看出来：在我们基础课教师中有中国科学院副院长、数理化学部学部委员、物理学家吴有训，有中国科学院数学研究所所长、数理化学部学部委员、数学家华罗庚，有中国科学院技术科学部主任、数理化学部学部委员、物理学家严济慈，有中国科学院化学研究所研究员、数理化学部学部委员、化学家王葆仁。其他基础课教师也都是中国科学院各研究所的高级研究人员。

这些教师们在学术方面都是有成就的，知识面也广，因此他们对学科都有比较成熟和特有的看法；学生能和他们经常接触会得到深刻的启发。当然，这些高级研究人员的任务是很重的，再要抽出时间来讲课并不容易；但是为祖国迅速地培养一批尖端科学的青年干部，这是一项光荣的任务，再多白一些头发又算什么？



谈谈工作与学习

钱学森

前次校务委员会上，华副校长邀我来校做一次学术报告，当时心中亦无底，不知道要讲些什么内容。后来在同学中征求了意见，知道希望谈谈近代力学的现况和展望。关于这方面的问题，在一次科协组织的报告会上，我已经谈过，现在经过了整理，将在报刊上发表，大家都有机会看到。因此，今天我想谈谈别的问题，谈谈作为一个力学工作者，自己在学习和工作中的体会。准备分下面六个问题来讲：

1. 学习和掌握理论；
2. 掌握应用理论的手法和技巧；
3. 数量的概念；
4. 如何选择参考书；
5. 解决问题的关键在于弄清问题的机理；
6. 重视实验技术。

一、学习和掌握理论

中国有句老话，“读书明理”，亦就是明白自然界的规律。掌握自然界的规律是我们今后工作的基础。在学校里，它反映在基础课中，亦就是同学们过去几年所学的内容。这些知识如何才算真正掌握呢？就是要提纲挈领地掌握这些内容，能够用一个纲把它们抓起来，能够用几条线把它们串起来。

这些内容要了解得最透彻，要明白自然界中什么是行的，什么是不行的。例如由物理中的能量守恒定律，得出永动机是不可能的。这一结果很重要，它告诉我们，凡是类似于永动机的机构都是不可能的。像通俗刊物上所介绍的问题，打开电冰箱是否能够降低室内温度。我们一看就能判断这是不可能的，因为有电能的消耗，只能散发出热量，不可能降低室温。从能量守恒的观点出发，并不需要对电冰箱的构造做详细的了解，我们就能做出行与不行的判断了。

过去，我看到老师看别人的论文时，只看看首尾，就能做出评价，判断好坏，自己非常佩服。后来慢慢地，自己亦能这样判断了，这并不奇怪，亦并不神秘。因为在一篇论文的前面，总是介绍了问题的提出，以及说明处理的方法，在末尾，总是介绍所得出的结果和结论。因此根据我们以往对自然界规律的了解，就可以做出判断，行还是不行，合理还是不合理。也许有人说我思想不解放，把自然界规律认为是一成不变的，难道能量永远守恒吗？当然可以这样问。也许将来掌握了更多的事实之后，发现能量是不守恒的，不过亦要依据客观事实来解放思想。如果有人问我太阳从哪边出来，我一定回答

是从东方起来，因为这是几千年来人类经验的总结。我当然亦不认为这是绝对不可改变的，不过没有其他事实出现以前，我是不怀疑的。同时，亦只有在深刻了解过去的基础上，才能发现新的事物，才能认识新发现的意义。因为有时候你并不是真正的有发现，而是把原有的事物了解错了。

所以掌握理论时，重点应该放在定理成立的条件上，在什么样条件下，定理才是正确的。例如能量守恒的条件是封闭系统，不是封闭系统，能量就不守恒了。一本好的教科书中，条件都是交代清楚的，我们不仅要掌握定理的主要结论，还应该掌握这些条件，这是认识事物、判断事物的依据。也许你在第一遍学习时，注意不够，现在应该补起来。例如牛顿三定律成立的条件：一是物体运动的速度不能太大，要远小于光速。当速度接近于光速时，牛顿定律不再成立，这是相对论力学所讨论的范围了。二是运动的物体不能过小，在微观世界中适用的则是量子力学。不明白这些条件，则在应用时，就是盲目的。因此，在学习中，必须明确一个理论或定理什么时候能用，什么时候不能用。对四年级同学来说，可以自己检查一下，好好地复习一下，看看自己到底是否真正的掌握了。

在学习过程中，掌握因果关系亦是很重要的，要知道什么是决定其他问题的，什么问题是可以决定的，什么问题是不可以

决定的。例如，问题中有三个未知数，而只有两个条件，则问题是不确定的，因为确定三个未知数，一般需要三个条件。条件多了亦不行，亦要出问题。如果发现未知数和方程数不符合，首先就要从大前提来判断，检查问题的提法和分析，这就是提纲挈领的方法。否则做下去，亦做不出什么结果来的，只是浪费精力和时间。这些问题虽然说起来很简单，但是都是决定工作能否成功的前提。

我们进一步以力学作为具体例子来分析。流体力学和固体力学总起来称连续介质力学，以别于一般力学。其处理方法有类似之处，不外乎三个方面：（1）连续介质不能有空隙，根据物质不灭定律，不能无中生有，亦不能有中生无，这在流体力学中就是连续性方程，在弹性力学中就是协调方程式。（2）介质由于变形而产生相应的应力关系，在固体力学中就是应力应变关系，在流体力学中就是应变率和压力间的关系。（3）动力学方程式，都是牛顿第二定律。其中第一个是运动学的问题，后一个是动力学问题，中间一个是它们之间的桥梁。如果在连续介质运动中考虑到化学变化或电磁场问题，则从能量观点，再加上一个能量方程式，这些就是连续介质力学建立的基础。抓住这些问题，才算提纲挈领地抓住了要点，才算掌握了前后因果关系。

其次来看看弹性力学和黏性流体力学之间的相似性质。弹性力学中的应力张量和

应变张量关系，黏性流体中的压力张量和应变率之间关系中，两个基本假定是各向同性和线性关系，因此其间只有两个常数，在弹性力学中是杨氏模量和泊松比，在流体力学中是第一黏性系数和第二黏性系数。有第三个是不可能的，要少一个就必须外加一个假设。这是很有力的，知识的力量、人类的智慧就在于此。

再来说说流体力学，不外乎运动学和动力学两部分。在理想不可压缩流体中，运动学和动力学是分开的，在流场的计算中，不需动力学，只需要运动学知识，亦即连续性方程。只有当计算压力时，才考虑到动力性质，即伯努利方程式。但是在理想可压缩流体中，运动学就和动力学交错在一起，而不能孤立开来处理了，问题就复杂得多了。这样就会加深我们对问题的了解，在解决问题时才会头绪明确，应用灵活。要学习，就要学这些东西，细节问题记不住是可以查书的，是不是真正懂得，就在这些地方考验出来。当然学习是有过程的，教师亦不能光讲提纲挈领，还要讲具体问题，以帮助你们逐步地、具体地来认识问题。但是通过学习之后，必需掌握这些提纲挈领的问题，它将来以各种各样的形式出现，来帮助你解决问题。

我没有参加过国内研究生论文答辩。在国外考的就是这些东西。例如应力应变关系，你只要说在各向同性和线性关系假设下，只有两个常数，这就行了。因为解决问

题，就依靠这些知识的核心。掌握知识，就是要服务于人类，所以不要死啃书，不要学究气，而要明理，明白道理。

二、要掌握应用技巧和手法

明理后，还要具体内容充实。为了应用，必须强调熟练和技巧。例如只记住 n 次代数方程有 n 个根，而不知道解法，解决问题时必须查书，又如积分时亦要查表，这在时间上很浪费，有时候会很笨，例如牛顿就为大狗挖大洞，小狗挖小洞，而不知道小狗亦可以从大洞进出。不熟练就没有技巧，抄书还会抄错。所以必须讲究手艺，以前有个应用数学很好的人，三次微分可以同时进行，这样解决问题就是快。

熟能生巧，解决问题中大都是一次微分方程，可是出现的形式却不是一次的，这就需要敏锐的观察能力。不熟练，你就认不出它的真面目来。这要勤学苦练，这就要做题，多练习。

技巧性问题，常常要计算数值。有个人技巧好，用同样的算尺算出来的数就准。例如计算 $A^2 - B^2$ ，当 $A \sim B$ 时，用 $(A+B)(A-B)$ 来就比较准。又如计算 $\sqrt{1.0265}$ ，计算时写成 $\sqrt{1+0.0265}$ ，用二项式展开，就可以算得准一些。所以要讲究计算技巧，要有手法，要有独到之处，既经济，又准确。

实验中亦同样如此，读数据就大有讲

究，有的人读得准，有的人就读不准。又如怎样安排可以使实验中偶然性的错误减少，使得又节省时间，效果又好，这就是技巧和手法。要记住必要的公式、处理方法，才能灵活应用。归结起来，这些就是科学技术中的基本功。

三、定量问题

尖端技术问题不是纯学科性的目的，而是要和设计师、工程师、工人做出东西来，要出货，量的概念就非常重要。有一个人量纲老搞不清，在计算中总是把重力加速度 g 放错地方，力学的技术报告是给工程师应用的，算错了害人匪浅，要闯大祸，流血死人。为了保证量的准确，这里有两个办法，一是要熟悉一些物理量的数量级，例如人造卫星的速度多少，说个每秒 8 什么，这是不行的。如果你知道得很清楚，则在类似问题中可以进行比较，例如算 500 千米的低卫星速度，就知道它和 8 千米 / 秒差得不多，这样可以检查结果。二是量纲分析，检查公式对不对，亦就不会把重力常数放错。因此我在讲课中，就不给分析量纲，而是按照物理量纲写出公式要用的工程单位，然后自己去换算，这亦算作一个思考题吧。在学习过程中自己去分析，这个能力一定要培养。有时书上公式亦会有错的。

我们必须注意量的准确性。当然准确性的要求是依据实际问题的需要来决定的，不是盲目地追求准确，而是应该要求你自己所

计算的数据必须保证准确。比如说一个数据要求准确到四位数，那你就不能在第三位上出错。

四、如何选择参考书

应该选名著，但名著不一定出自名手，而是在实际中经过考验的大家公认是好的著作。还要注意一本书看一遍不懂，不一定是书不好，还应该多看几遍，揣摩一下。如果看几遍还不懂，那就不要再看下去了，可能是书不好，也可能你的预备知识还不够。

五、解决问题的关键，在于弄清问题的机理

首先一个实际问题，只要能用理论解决，就应用理论解决。所谓理论解决，就是根据现有知识用分析计算的办法解决问题，这是最经济、最快，因而也是我们最希望采用的办法，它最能体现多快好省，这应该是我们一个努力方向。科学技术，基础科学的不断发展，理论越来越广泛越有力地解决实际问题，理论和工程技术本来就是因解决实际问题的需要而发展起来的。例如热力学的发展是由于设计热机时来计算其功率，力学的发展是由于航空和宇宙航行提出了许多实际问题。所以理论的发展是很重要的。

解决实际问题并不是很容易的。学习理论是按学科的，学科是前人经验的系统化总结，它有本身的分门别类的方法。而实际问

题是一个未经分析、综合性问题，首先要分析理解这个问题，要根据现场实验的材料反复揣摩，理解各个量之间的关系，知道问题的来龙去脉。有些问题经过不长的分析就能了解什么是主要矛盾，什么是次要矛盾，问题的机理是什么。而复杂问题的理解就不那么容易，一个实际问题的“核心”外面往往包着很多东西，要慢慢打开，有时还要做一些设计、设想以便于分析问题。假设多少包含一些猜的意思，但并不是胡猜，而是根据事实和前人的经验来猜想。科学工作不像形而上学只是一些推理，认识过程是有跳跃性的。“猜”正是一个跳跃，猜了以后再验证，根据假想再推演而后再和事实核对，对了可能是正确的，不对再想办法，按另一套假设、另一套机理再来试。人的认识就是这样一步步接近于真理的过程，不要以为假设就是胡说，最后还要和事实相符合。如果仅仅按部就班地推理就太慢了，因为可能正确的答案有千千万万，要突破要有出路，不能光等，也不能像唯心主义者等灵感，要啃一啃。先按一种可能试一下，即便不行，也能在失败的过程中分析出哪些是不对的，哪些是对的。（这样能）帮助我们了解问题的关键，逐步趋向正确，不去试一下，不去实践，就寸步难行。

复杂的问题要完成这一步是一个很长的过程，我在解决圆柱壳体轴向受压非线性失稳时就是这样。按经典理论计算结果不准确，按另一套办法试一下不行，再看看书，

了解一下别人的经验再试。分析计算的结果，有600多页都报废了，最后试对了的只有六七十页。这就是一个认识过程、来回反复地搞，一步步接近于真理，每一次都要鼓足干劲，要有坚持的恒心、科学的态度。最后的结果是明白了问题的机理，为什么经典理论计算的结果和实验结果不符合？原因是经典理论假设变形是微小的，用线性理论，而实际上是大变形要用非线性理论，没有摸到这个问题以前两眼漆黑，最后就找到了这个问题的模型，而实际问题当然比模型更复杂，影响失稳的因素，还有制造上的偏心和加力的偏心，但这些都是次要因素，主要的因素是非线性失稳。在理论分析时，把问题集中到主要因素上得到实际问题的模型。前几年也有人反对模型，说模型脱离实际，例如反对刚体，这是不对的，因为关键在于模型能不能代表实际问题？是否符合问题的主要矛盾？刚体这个模型用于炮弹的运动和陀螺的运动不是很好吗？否则工作就无从做起了。从实际到模型所做的简化正是为了解决实际问题，刚体的出现是力学史上前进的一大步，不能说是脱离了实际。模型是要经过创造性劳动才能得到的，得到模型就是掌握了机理，到了这个阶段就可以庆祝一番，下面的问题比较具体、比较顺利了。但是在科学论文中上面的这些工作都是一笔带过，轻描淡写的，而具体的计算占了很大的篇幅，因为论文不是经验总结，而是叙述结果。这样往往使读者产生了一些误解，好像论文作者有先见之明，一看就把主要问

题抓住了，实际上他不知道抓住主要问题是花费巨大的劳动，要在没有道路的地方走出道路来。为什么我一开始就讲要抓住基础科学的核心要提纲挈领地掌握之？因为我们在摸索问题时要有依据，好像在大森林里走路要有一个指南针，基础科学中的自然规律正是我们进行科学研究的指南针，它给我们指出方向，告诉我们什么是可能的，什么是不可能的，什么是有道理的，什么是没有道理的。否则就只好胡闯，什么也摸索不出来。知识愈是广，掌握得愈深，经验愈多，在摸索过程中，就可以走“捷径”，就可以更快地掌握机理，建立模型，所谓科学工作者水平的高低，就反映在这些地方。

力学工作不能仅停留在理论研究上，要给出具体结果。结果是用数字或图形、表格表示出来，因此具体计算也是很重要的。人们掌握计算方法的水平，决定了模型可以复杂到一个什么程度，如果模型的计算复杂到一辈子都算不出来，那只是退一步把问题进一步简化，简化时要把主要因素保存下来。在电子计算机没有出现前，力学所给出的结果往往只能是定性的，因为影响结果1%~2%的因素忽略了，所以尽管下面的计算是准确的，而由于出发点已经作了简化，其结果仍然是定性的。虽然这些结果是定性的，也能给工程师解决实际问题一个方向，起指导作用。如20世纪40年代提出了超声速飞行是否可能？力学工作者得到的结果是可能地。飞行器的形状是后掠机翼或三角形机翼，也

给出了发动机的类型和功率的范围，虽然计算的结果只能准确到10%，但还是给出了正确的方案。具体的数字，工程上可以用实验的办法按你确定的方向去解决。

有了电子计算机以后，情况开始变化，有一些过去认为太复杂无法计算的问题也能计算了，许多问题有希望不经实验，而通过计算得到定量的结果。目前火箭技术正经历这一变化，随着计算机技术的发展，电子计算机容量愈大、计算速度愈快、准确度愈提高，有希望愈来愈多的，那些原则上已经清楚的问题得到解决。这是自然科学用以解决工程技术问题的一个革命，特别对力学问题更显得重要，所以力学工作者要懂一点计算数学，以便能和计算技术专家合作。

六、重视实验技术

并不是一切问题都归结于计算技术的发展，各门学科本身还要发展，自然界还有没有问题没有搞清楚？一种是在原理没有搞清，规律还要掌握；一种是问题复杂到目前的计算技术还不能解决这些问题，这时只能依靠老办法做实验；最后在理论研究过程中为了摸清机理也要做一些实验来证实。

实验在尖端技术中特别重要，因为尖端技术紧跟着科学的发展，因此总有一些问题没有搞清楚，而尖端技术又要求高速度发展，不能等待，只有用实验来解决。另一方面尖端技术要求做大量实验，保证绝对可

靠，否则就要出很大的危险。例如加加林和季托夫上天就要求火箭发动机绝对可靠。要做到这一点，只有多做实验，摸清它的脾气和问题，这时一切细节问题，比如一个螺丝钉是否可靠的问题，都变成重要的问题了。有一点不对的就要出毛病，这些细节问题就不可能用分析的方法，而只能用实验来检验。

同时，近代力学和尖端技术对实验技术的要求很高、费用很大，例如高速风洞做一次实验要花费大量物资，而且实验的时间很短。我们希望一次实验取得问题所需要的全部数据，这要求对实验做很好的安排，因此要求我们必须重视实验技术。



近代力学的内容和任务

钱学森

什么是近代力学？有些同志问：理论力学、量子力学、电动力学、热力学等四大力学是否就是近代力学？还有些同志问：近代力学是否就是专门研究地球卫星和星际航行的？

四大力学不是近代力学，近代力学也不能解决星际航行的所有问题。但是，近代力学和基础学科有密切关系。它需要有四大力学作为基础，而且目前在近代力学方面的工作大部分是为尖端技术服务的。所以，我们对上面两种提法的答复是：不完全对，但是都有道理。

究竟近代力学研究什么？要回答这个问题，我们需要先来对力学的发展过程作一简要的回顾，然后再来谈谈它的内容和任务，同时看看它今后还会有些什么样的发展。

一、近代力学的任务

近代科学中的力学，如果从牛顿总结出他那著名的三大定律的时候算起，已经有近三百年的历史了。但是，由于牛顿时代的生产还不很发达，力学基本上只是一门属于理

论性的学科，它和工程技术没有多大关系。力学开始应用到生产实践中来，那是本世纪初期的事情。这时候，有两个大科学家的名字是值得提出来的：一个是俄国和苏联的科学家茹阔夫斯基，他最先在飞机机翼理论方面作出重要的贡献；另一个是德国的数学力学家克拉茵。他们第一次把基本学科和工程技术结合起来而创造了应用力学；这两位科学家开拓了近代力学的发展道路。

近代力学的一个特点是：它以基础学科为基础，又与生产实践有密切联系，而介乎基础学科和工程学科之间。与基础学科（如数学、物理、化学）相比，它显得更接触到具体问题，而与工程学科相比，它又显得更具有概括性。由于它是用基础理论来解决工程和生产实践中所遇到的问题的，所以它也是理论学科。在近代力学里，把理论和实际紧密结合起来的要求，是十分明显的。我们可以说，近代力学离开了理论基础，就解决不了问题，而离开了生产实践，就将失去其生命力。

从茹阔夫斯基—克拉茵时代算起，近代力学的发展不过五六十年的历史。我们可以

看到，在这不长的年代里，近代力学已经有了蓬勃的发展，而归根到底，这正是由于近几十年中生产有了巨大发展的缘故。

近代力学的任务，具体说来有三项。第一，为工程师、设计师服务，作他们的助手。在工程师和设计师的工作中，常常会碰到一些新的具体问题，例如设计师设计试制了一台柴油机，试车的结果，发现存在着一种特殊的振动。机器运转的时候有特殊振动产生，应该说这并不是设计师的过错，而是工作中的新问题。设计师有可能自己来解决这个问题，但是在许多情况下，这些新问题可能超出设计师的知识范围。对这些新问题进行分析和研究是力学工作者的责任，分析和研究的依据便是力学理论。力学工作者的工作结果，一般的说是一份建议书（其形式可能是一篇技术报告）。工程师收到这份建议书后，结合工程实际情况，再制定适当的措施。这里我们可以看到，决定采用什么措施的是工程师，力学工作者只是提出建议。这是力学工作者工作量最大的一项。

第二，从工程技术和生产实践所发生的新问题中提炼出具有一般性的课题，作为新的力学理论来研究。实际工作中所遇到的新问题，有一些可以借助于现有的力学理论而很快给以解决，有一些则不能。这些应用现有力学理论难以解决的问题，就成为发展新理论的对象。

对于力学工作者来说，重要的是能否从

一系列的具体问题中概括出一般性的理论研究对象，而不在于孤立地去解决一个一个的具体问题。举例来说，设计师会把高速飞行中的气动力加热问题提给力学工作者，这个问题对实现高速飞行的确是不容忽视的。他们也会提出火箭发动机喷管或超高速冲压式发动机的冷却问题，要求力学工作者来帮助解决。所有以上这些具体问题，都是属于同一类型的。用目前研究工作中的术语来说，这是属于“高速高温差附面层”的问题。“高速高温差附面层问题”，是从大量具体问题中提炼出来的概括性很强的理论问题。如果对于这样一个带有普遍意义的理论问题进行研究并获得解决，那么这就不只是解决了个别的具体问题，而且是解决了一系列的问题。

我们回顾这个世纪开始以来近代力学的发展，就是经历了这样一个过程。例如三十年前的气动力学教科书，也许只有一百多页，而目前的气动力学方面的教科书，就可以有一千多页。这是因为近二三十年来在航空、汽轮机、燃气轮等方面提出了许多研究课题，并且得到解决，从而使这门学科增添了新的内容。

但是，一个新理论的建立并臻于完备，总要经过不少的时间，而工程实践中的具体问题往往又迫不及待。在这种情况下，我们也常常看到，工程师并不是单纯地等待力学工作者的研究成果，而是使用经验方法先进

行经验设计。例如，土坝的设计，现在是把土坝当作弹性体来处理的。但是，土严格地说并不是弹性体，所以这样的土坝理论是很不完善的；而工程师是靠实践经验和试验数据去修正因理论不完善而产生的误差。

这里说的设计师可以不等待力学工作者的工作结果，照样能解决实际工作中的一些问题，这只是说明实际工程往往赶在理论研究前面，推动理论研究工作，而不是说明理论研究无关重要。就以土坝设计为例，如果土的力学问题真的搞清楚了，工程问题就可以获得更快、更好的解决。

从以上两项任务可知，力学工作者一方面必须深入工程和生产实际，另一方面又必须掌握力学理论，因为他们的主要任务是运用理论协助工程师、设计师解决生产实践中的问题。

第三，力学工作者一方面掌握了生产实践知识，另一方面又掌握了精辟的力学理论，这就具备了创立新的科学见解的条件。所以，从认识自然界的规律，进一步提出新的科学创见，改进工程技术、改造生产，便是第三项任务。

这是一项重大的任务。要满足这个要求，力学工作者需要从研究方法到专门知识，从基本学科到工程学科，进行一番相当严格的锻炼。在这方面我们可以举两个例

子。在二十年代的末期，力学工作者对飞机机翼理论的阐明和对流体在表面摩擦阻力的理解，导致了流线形单翼飞机的设计概念，指出这种新设计比当时流行的双翼飞机设计效率高得多，从而指出了飞机设计的发展方向。这个设计概念推动了当时的航空技术的发展，到三十年代中叶终于因全金属薄壳结构的出现而变成事实，完成了飞机设计中的一次革命。另一个例子是超声速飞行。在三十年代末，四十年代初，人们提出超声速飞行可能性的问题。而当时气动力学的工作者就提出了实现超声速飞行的条件，特别是关于翼形的选择及后掠翼的创造，以及计算出发动机功率的要求。这也推动了航空技术的发展，终于在四十年代末出现了超声速飞机。在今天力学之所以对星际航行有这样密切的关系，也是由于近代力学对于这一门崭新的技术能提出设计的概念。例如发射卫星的轨道该是什么样的？星际飞船要能再回返地球是没有升力的还是有升力的？像这一类新的设计概念、新的理论的建立，都是力学工作者的光荣任务。

二、近代力学的工作方法

这里我们要谈谈近代力学的工作方法。

力学不允许有脱离实际的理论，但这并不是说力学理论里不允许用抽象、概括的方法。例如，实际上刚体是不存在的，但力学里仍然允许使用刚体的概念，这样做了，可

以使问题简化。实际工作是否允许作这种简化？我们知道，炮弹不是刚体，但是如果只讨论它的外弹道，把炮弹当作刚体，对弹道特征没有多大影响，所以简化是允许的。同样，无粘性的“理想气体”在客观世界里是不存在的，但在气体动力学的许多问题里，如研究气动压力问题时，引进“理想气体”的概念，可以使问题的计算分析得到简化而不影响问题的大局。这样的抽象、概括在力学中是常用的。当然，脱离实际的随便抽象、随便概括是不容许的。事实上在上面提到的一些例子中，刚体的概念就不能用于炮弹的膛内运动，而在研究飞行器受到的气动阻力时，也不能不考虑到气体的粘性性质。

有些同志说，研究力学，既然是应用基础理论来解决工程实际问题，大概对于数学计算是很注意的。是的，力学工作者是不怕数学计算的。力学计算中不但要在一般原理原则上论证推演，而且要算出具体结果。所以对于数学的方法和演算技巧，力学工作者是很讲究的。但这并不是说，没有高深的数学知识就不能解决问题。事实上有些人不一定懂得微积分，他可以把曲线画在方格上，然后数数方格，求得问题的解答。问题不在于能不能，而在于好不好。用简陋的方法，虽然也能进行复杂的计算，但是太花时间，容易出差错，用高效能的方法就能节省时间，少出差错。所以我们一方面十分重视数学方法，因为它是一个非常有效的研究工具，另一方面又不过高地估价数学方法，它

不过是我们计算中的工具。我们不能对数学工具寄予过多的幻想，它不能把本来是没有道理的理论变成有道理。如果你对问题的概念本来就是错误的，那么即使数学工具掌握得再好，数学技巧再熟练，也不能给你多少帮助。

力学工作者还必须掌握实验技术。实验，就是在一定控制条件下进行观察。把某些条件加以控制，是为了更好地弄清楚各个因素之间的相互关系和对具体问题的影响，以免这些因素彼此牵连，找不出问题的症结所在。当实验工作到了一定阶段，你认为数据够了，就进行分析和综合，但往往在综合的时候，又发现数据不够，于是又要再去做实验。分析——实验——分析，再实验，再分析，这便是力学的研究方法。最后还是分析，因为力学是一门理论学科。

计算分析在力学中是很重要的，但仅有这些是不够的。近代力学是理论分析和实验结合的科学，必须会做实验。目前在一些最活跃的力学领域里，如与尖端技术有关的一些部门里，实验工作相当庞大。其实验设备不是一些玻璃管、火漆、橡皮管，而是要用大量钢材和其他材料。从这个意义上说，实验技术也应该给予更多的重视。

要求每一个力学工作者都能掌握计算分析和实验技术，是有一定困难的。因此分工合作就显得更为重要。实际上要解决近代

力学的课题，在理论计算方面还需要数学家和计算技术专家参加；在实验方面还需要物理学家、电子仪器和精密仪器专家参加，这就需要有一支相当庞大的研究队伍。

三、近代力学的内容及其今后发展

近代力学一般分作三个领域：一般力学、固体力学和流体力学。

一般力学这个词，往往容易引起一些混淆，好像是力学通论之类的东西，其实不然。它是从刚体力学发展而来的，主要研究刚体的运动。一般力学中一个比较经典的，也是比较成熟的部门便是振动。虽然振动的理论目前已比较完善，但是由于工程中的许多问题都属于这一类型，其重要性丝毫也没有减低。

这个方面比较重要的发展是非线性振动。所谓非线性振动是指振动物体（机件）所承受的力和变形之间的关系是非线性的，即力与变形之间不是正比例关系，而是曲线关系。转速很高的轴，轴承上的摩擦对振动有影响，这时候出现了非线性振动。这类问题的处理远比线性振动复杂得多。

一般力学中与火箭技术及星际航行有关的，首先是陀螺动力学。陀螺是火箭控制部件中的重要部分。我们知道高速转动着的陀螺（回转仪）有保持其转轴方向不变的惯性，因此如果把回转仪的柜架与箭体固结

起来，那么飞行器发生的飞行方向偏斜即可由此得到测量。当然，这不过是一个简单的原理，实际上的陀螺和由陀螺作为主要组成部分的自动驾驶仪是非常复杂的精密仪器，而陀螺的研究及其设计是一个极为重要的问题。其次是飞行动力学。飞行器在推力、空气阻力、重力等一系列力作用下的运动规律如何，当推力改变时对弹道的影响如何等等，这些都是设计飞行器所必须具有的知识。飞行动力学就是解决这个问题的。从这里引伸出来的是星际飞行动力学。在星际航行的情况下，飞行器的活动范围很大。例如图—104 飞机的飞行高度不过 9 至 10 公里。这可以认为是仍在地球附近进行活动，而宇宙飞行器一飞就是几百公里甚至几万公里。我们知道，在地球附近活动时，飞行器所受地心引力随高度的变化是不很大的，但是在星际航行时，情况就不是这样，这就是星际飞行动力学有别于一般飞行动力学的地方。实现星际航行，要采取什么样的推力系统和什么样的轨道，使有效载重在该推力系统下为最大，这是很重要的问题。解决这样的问题，便是星际飞行动力学的一个任务。

固体力学研究变形体的运动规律。最简单的变形体是弹性体。所谓弹性体是指应变与应力成正比关系的变形体。弹性，是固体中最根本、最简化的一个假设，这个假设在大多数情况下是符合观察结果的。橡皮在一定变形范围内是一个很好的弹性体，这是易于理解的。对于金属构件，实际工程中不允

许它们有大的变形，这时候把它们视作弹性体也是许可的。弹性体的固体力学称为弹性力学，它研究弹性体的应力和应变关系。这里有成正比关系的变形，也有突变，后者称为弹性失稳，常见于压杆受力失去稳定而破坏的情形中。

最近我国的许多新建筑里采用了薄壳结构，如北京车站的建筑。薄壳理论是弹性力学的一个分支，采用薄壳结构，有节省材料等许多好处。

固体变形到一定阶段，应力与应变之间不再保持线性关系。而且，即使除去外力，变形也不会完全恢复。研究这个问题的是塑性力学。这种变形是个变化流动的过程，问题远比弹性变形复杂，变形的理论目前也还没有完全弄清楚，虽然在日常生活中我们常常碰到这类变形现象。

塑性力学的一个分支是研究当结构在高温环境下工作时产生的所谓高温蠕变。例如要设计一个汽轮机叶片盘，蠕滑变形是不能不考虑的。假如要求它有五十年的寿命，那就必须了解它在五十年内的变形。这样的问题如果完全依赖实验，那么这个实验得做五十年。工程上要求解决蠕变问题十分迫切，需要从理论上给以解决。

高温结构变形研究的新发展，是在像火箭这样的短寿命的构件方面。火箭的寿命很短，譬如说，只有几分钟。温度很高而寿命

又很短，进行实验就有很大的困难。在这里，缓慢加热是不符合实验要求的，而把大量的热量在极短的时间内加到构件上。这种实验中新近有采用电流加热或弧光灯加热的，而这套加热装置所需的能量，是个很大的数字，是一套很复杂的实验技术。

受到气动力作用的火箭外壳，温度可以高达八千至一万度，可以作为上述短寿命高温结构的例子。在这样高的温度下，可以利用一种所谓“烧蚀”的办法，即在火箭壳体外部加一保护层，当火箭因受气动力加热而产生高温时，保护层即被烧掉，从而保护了火箭结构本身。确切地说，这个问题已经超出了固体力学的范围，因为“烧蚀”也是一个化学问题。因此，研究这类问题的固体力学也可以说是化学固体力学。

流体是液体与气体的总称。流体力学研究液体与气体的运动规律。

这方面比较经典的部分是水动力学或不可压缩流体力学。在水轮机船舶、快艇、水翼船的设计计算方面，水动力学有广泛的应用。

飞机飞行时，若飞行速度较低，例如只有声速的一半时，由运动所产生的压力较小。此时可以认为气体是不可压缩的，水动力学的理论也可应用到这个范围。

三十年代的流体力学最活跃的一个分

支是气动力学。这里必须考虑到气体的可压缩性。根据气体速度的不同量级，气体动力学问题就有亚声速、跨声速、超声速的区别。

气动力学的模拟实验，是利用风洞进行的，这是把模型固定在风洞的天平上，让风洞的气流吹过模型，也就像飞行体在空气中飞行一样，在超声速的情况下，要获得风洞里的超声速气流，需要消耗几千到几万千瓦或更大量的功率。

一般的超声速，与卫星飞行速度相比，仍是很小的。当卫星进入稠密大气层时，它将以二十倍以上的声速飞行，温度将是几千度乃至上万度。这时必须考虑到在高温情况下气体的分离。区别于一般超声速，这类问题就称为高超声速问题。做高超声速实验，问题将更复杂，实际上目前如何去做这种实验，本身还是一个研究课题。

然而这还只是人造卫星的速度。如果将来火箭发动机改进了，星际航行的速度更提高了，所出现的温度将不只是几千度或一万度，而是二、三万度。这时不只是气体分子分离，而且有原子电离。自由电子和离子的出现，气体将导电而成为所谓物质第四态的等离子体，这样就为流体力学开辟了一个全新的部门——电磁流体力学。它把电磁学和流体力学结合起来，研究导电流体的运动。为了迎接将来更高的速度，现在这个部门的工作是十分活跃的。

流体力学的另一个新发展，是由发动机的设计要求而引起的，它的研究对象是伴随燃烧现象的气体流动。这要把流体力学和化学结合起来，于是这个分支也就称为化学流体力学。这个方面的研究工作，还开始不久。

还有一个领域也有必要加以发展，这就是把物理、化学和力学结合起来的物理力学。这是因为我们目前常常要处理在极端条件下的力学问题，例如温度很高的情况下的各种物质的性质等。我们知道，在温度不太高的情况下，气体的粘性、导热性等是可以做实验的，而在极端条件下做实验则十分困难。近代物理和化学的发展告诉我们，这些问题，可以用间接的方法加以解决。借助于物理力学的方法，我们可以从分子结构出发，对某些工程材料和工程所用介质进行计算和预测。

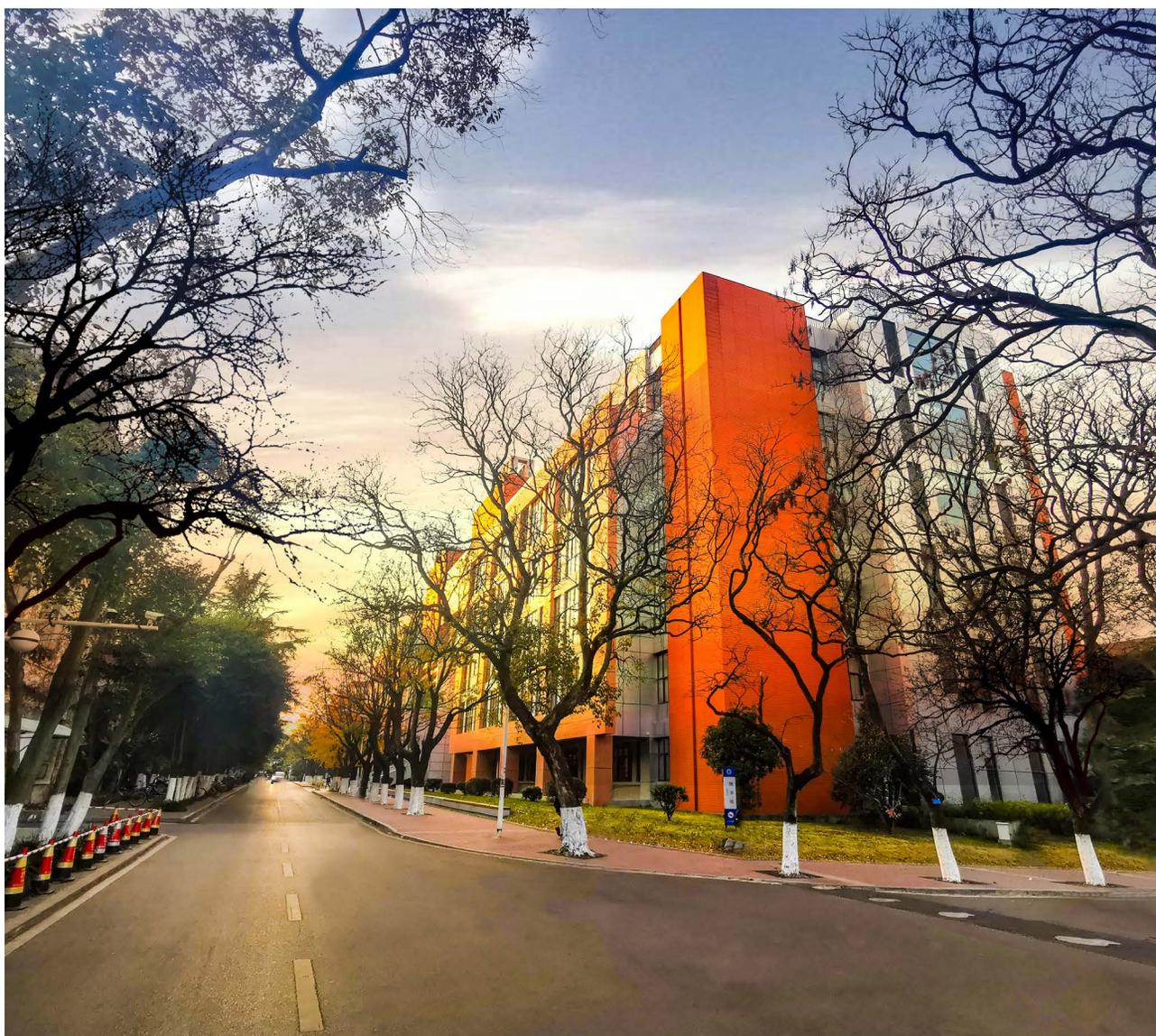
以上，我们谈到了近代力学发展中的一些主要问题。在六十年代以后，这门学科还将有些什么样的发展呢？

我们知道，物质除了众所周知的三态以外，还有上面所说的等离子体，即第四态，以及第五态，即在高压下的物态。对于第五态，可以举出地壳深处的物质为例子，在那里物质的分子结构被压破了，其密度显得特别大。天文上观察到的白矮星可以作为第五物态的另一例子，这种天体每立方厘米有近

一吨重。对于这种现象，现在的解释是：这种物质受到的压力非常大，使原子的电子层压破了，原子核之间的距离更小，更加密集，所以物质更重了。

随着星际航行的实现和进展，物质第五态力学的研究，今后将肯定地会提到力学工作者的研究日程上来。近代力学在这个世纪

的前半叶中的发展是与航空技术分不开的；而近代力学今后的发展也将与星际航行技术的进展唇齿相关。自然，在尖端技术推动下，所发展起来的近代力学反过来又会广泛地促使一切其他工程技术前进，这正是由实践到理论，然后再回到实践这一普遍科学发展道路的又一个实例。



钱学森对技术科学思想的重要贡献及其影响

姜玉平

摘要：1940年代后期，钱学森从理论上对20世纪初兴起的应用力学的发展历程进行总结和提炼，并结合二战期间原子弹、导弹和雷达等新式武器的研制经验，首次提出“技术科学”的新概念与思想。此后，钱学森不断对技术科学思想进行发展和完善，形成了完整而系统的思想体系，对后来技术科学的发展产生了全面而深刻的影响。

关键词：钱学森；技术科学；理工结合；科技思想史；新型工科

1947年，钱学森在总结应用力学及二战期间出现的原子弹、导弹、雷达等新技术发展经验的基础上，正式提出“技术科学”（最初译为“工程科学”，1956年以后改为“技术科学”）的概念与思想。他认为，技术科学是基础科学与工程技术密切结合而产生的一大门类新的知识体系，是沟通基础科学与工程技术的桥梁。此后，他对技术科学的研究对象、与基础科学和工程技术的关系、价值与功能、研究方法等问题进行系统的整理和研究，形成了关于技术科学的思想体系。“技术科学”概念与思想的提出，是钱学森对技术科学思想发展的重要贡献，具有十分重要的意义。郑哲敏、史贵全等从不同角度对钱学森技术科学或力学方法论做过一些探讨^[1-5]。由于关注的

问题和重点各不相同，研究视角也有差别，仍有许多尚未发掘与阐释的薄弱环节。另外，技术科学思想对当前新型工科人才的培养也具有一些启发意义。为此，本文在已有研究的基础上，对钱学森在技术科学思想发展史上作出的贡献及其影响做进一步的综论与探讨。

一 论证技术科学产生的必然性和必要性

近代科学发轫之初，科学与技术并无明显分工。随着科学和技术日益精深，理论研究与实际应用分开发展，逐渐在科学和技术之间形成一道鸿沟。这种理论与应用分离的状况，直到20世纪初期才出现根

作者简介：姜玉平，男，1976年10月生，安徽怀宁人，中国科学技术大学理学（科学技术史专业）博士，上海交通大学博物馆研究馆员，主要研究中国近现代科技史、钱学森科学思想、交通大学史。

本性改观。其时，德国哥廷根大学数学大师F. 克莱因在世界上率先设立应用力学讲座，聘请普朗特担任教授。普朗特深入贯彻克莱因科学与技术结合的理念，建立了应用力学研究范式，开拓出科学与技术结合这一新的研究领域，并形成应用力学学派。随着从哥廷根走出来的应用力学家遍布五洲四海，把科学与技术结合的理念推广到航空、航天等众多领域，给世界科技与工业带来了革命性影响。与此同时，还形成了以应用力学为代表的——技术科学。1947年，钱学森指出：“长头发纯科学家和短头发工程师的差别其实很小”，“他们之间的密切合作，产生了一个新的职业——工程研究家或工程科学家，他们成为纯粹科学和工程之间的桥梁。他们是将基础科学理论应用于工程问题的那些人。”^[6]即在科学家和工程师之间出现技术科学家这个新的群体，他们研究“将基础科学理论应用于工程问题”的“技术科学”这门新的学问。在科学技术史上，这是首次提出“技术科学”这个概念，堪称技术科学脱离基础科学、工程技术的宣言。对此，爆炸力学家郑哲敏院士评价道：“首先敏锐地觉察到这一点，把它准确地、完整地勾画出来，指出这是一个新的科学领域，是钱学森先生的巨大功绩”^[2]。

一个新的学科概念的提出，必须有其明确的研究对象或研究内容，否则只会是哗众取宠。技术科学的研究内容是什么？钱学森说：“在工程学最近发展的大量问题中，在

工程学许多分支领域往往有重复发生的现象。这些现象可以直接从常规问题中提炼出来，工程科学家必须解决这些问题，并把它确切地表达为工程科学研究的各个领域。这些研究的结果不仅使工程的一个领域受益，而且对所有领域都有益。”^[6]其意是工程技术中经常有带有规律性或普遍性的问题，如果把这类问题从具体的工程技术实践中分离出来，从理论上进行深入研究，可以为工程技术发展提供一般性的指导理论。这个领域的研究工作，就是技术科学的研究内容。

为什么这类研究工作不能纳入自然科学范围，而要建立技术科学这个新的科学部门来承担呢？钱学森解释说：“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，“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。”^[7]为了便于研究，构造一个简明有效而又能反映客观规律的数学模型是自然科学的通常做法。但是，这个数学模型不可能全面地、真实地包括整个自然界，不能直接应用到以极端复杂的自然界为工作对象的工程技术中去。所以，他认为“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。”它是科学理论和工程技术的综合，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。”“要作综合自然科学和工程技术，要产生有科学依据的工程理论”，需要一个新的部门——技术科学^[7]。

通过深入分析和严密论证，钱学森将技术科学的诞生建立在牢固的逻辑基础之上，证明技术科学是一门不同于自然科学、工程技术的知识门类，既不是基础科学的单向应用，也不是工程技术某个具体的领域，而是基础科学与工程技术结合的产物，拥有属于自己独有的研究内容，是一个只有技术科学家才能胜任的研究领域。1957年，钱学森将技术科学定义为：“介乎基础科学（像数学、物理、化学）和工程技术之间，它一方面吸收基础科学的成果，另一方面把工程技术里面有一般性的问题抽出来作为研究对象，所以技术科学是基础科学和工程技术综合起来的产物。”^[8]这个定义将技术科学的研究对象与基础科学、工程技术清晰地区别开来，赋予技术科学具体而明确的研究内容，得到了普遍的认可和接受。换言之，作为直接服务工程技术的技术科学，积极吸收和借鉴基础科学、工程技术的知识，但没有变成后面两者的分支学科，而是独立发展成为一门新的知识体系。

二 理清技术科学与基础科学、工程技术的关系

技术科学与基础科学、工程技术的关

系，是钱学森努力阐明的一个重要问题。基础科学是关于自然界的系统化的知识，但它不能直接提供解决工程技术实际问题的具体方法。工程技术则是直接改造世界的应用知识。与它们不同，技术科学是“综合基础理论和工程技术的工作，是具有高度创造性的工作”^[8]，它不是从自然科学推演出来的，也不是工程技术经验的简单总结，而是二者创造性结合而产生的新知识。所以，技术科学与基础科学、工程技术既有区别，又有密不可分的联系，是沟通基础科学与工程技术的桥梁。

基础科学为技术科学发展提供新概念、新原理、新知识，而技术科学以基础科学发现为原料，结合工程技术实践进行研究，向工程技术提供新途径、新方法、新技术等基础技术，推动工程技术发展。所以，技术科学的研究必须突破学科畛域，需要数学、物理、化学等基础学科的通力协作，还要具有实际工程经验的工程师的参与。基础科学是关于自然规律的认识，如果认识活动停止了，技术科学就没有更新的理论工具，将会停滞不前。基础科学是技术科学的源头活水，技术科学绝不能只关注实际应用问题而忽视基础科学，否则将会成为无源之水、无根之学。这要求，技术科学研究者对基础科学要有敏锐的洞察力，在相关领域具有深厚的内功，这样才能迅速捕捉到新的热点，敢于及时跟进，从而做出新的应用理论成果。

工程技术是技术科学发展的驱动力量，

不断向对技术科学提出新的问题，刺激技术科学从理论上进行更为深入的研究，从而带动技术科学的发展。事实上，技术科学正是在解决工程技术重大问题过程中不断发展壮大的，工程技术是技术科学发展和演化的外在因素。钱学森曾以 20 世纪以来应用力学与航空航天技术相互作用、相互影响的史实为例，对技术科学与工程技术的关系做了令人折服的严密论证^[7]。由于这种密切关系，技术科学研究者必须熟悉工程技术发展状况，了解实际需求。技术科学的目标是建立具有科学基础、近似的实用工程理论，当发现已有的科学成果不够使用时，就需要吸收和运用工程技术中的经验性规律和判断。另一方面，技术科学不同于工程设计，它是研究和解决工程技术中带有普遍性的问题，而不是解决某一个具体的技术问题。工程师面临的是多因素、复杂的实际问题，所以技术科学研究者必须善于从纷繁复杂的现象中找出主要矛盾，从理论上进行研究，创立既有充分科学依据又能被工程师用于设计、甚至有预测能力的定量理论，以指导工程技术发展。

还有，钱学森认为：“这三个领域的分野不是很明晰的，它们之间有交错的地方。”三者之间的“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点有所不同。”而且，“在任何一个时代，这三个部门的分工是必需的，我们肯定要有

自然科学家、要有技术科学家，也要有工程师。”意即技术科学的研究内容是动态变化的，它是基础科学、技术科学、工程技术等领域专家通力协作的结果。他在言及应用力学的特点时说：“在近代力学里，把理论和实际紧密结合起来的要求，是十分明显的。我们可以说，近代力学离开了理论基础，就解决不了问题，而离开了生产实践，就将失去其生命力”^[7]。在钱学森看来，技术科学发展水平主要取决于两个方面，一是基础科学研究水准，这是技术科学的理论基础；另一个是工程技术发展水平，它是技术科学的实践基础。为了搭建基础科学与工程技术之间的桥梁，技术科学研究者既要充分掌握基础科学领域的最新成果，又要深入了解工程技术领域的基本问题。

三 阐释技术科学的价值与功能

一门科学的价值与功能取决于其学科性质。技术科学是自然科学与工程技术综合化成的产物，因而其具有应用与理论上的双重价值。

一方面，技术科学“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。”^[7]技术科学是适应工程技术发展而建立起来的，属于“工程师的科学”，所以其主要功能是为工程技术发展服务，特别是指导未来的工程技术实践。技术科学如何为工程技术服务呢？1961年，

钱学森以应用力学为例从三个层次阐释技术科学如何为工程技术服务。第一个层次，为工程师、设计师服务；第二个层次，从工程技术和生产实践所发生的新问题中提炼出具有一般性的课题，进行研究并予以解决，这样就不只是解决个别的具体问题，而是解决一系列的实际问题；第三个层次，在掌握生产实践知识和相关的技术科学理论的基础上，创立新的科学见解，从而改进工程技术，改造生产^[9]。不难看出，第三个层次的工作最具创造性，即“能够灵活地把理论和实际结合起来，创造出有科学根据的工程理论。”“有了工程理论，我们就不必完全依赖工作经验，我们就可以预见，这正如有了天体力学的理论，天文学家就可以预见行星的运动，预告日蚀、月蚀等天文现象。”从这一点看，“工程理论又是新技术的预言工具。因而技术科学也能领导工程技术前进，是推进工程技术的一股力量，是技术更新、创造新技术所不可或缺的一门学问。”^[7]这个层面上的研究工作，在更高层次上彰显出技术科学对工程技术发展的巨大推动作用。简言之，技术科学一方面能帮助解决工程技术实践活动中出现的一般性技术问题；另一方面，还能走在工程技术前面，以新的理论研究成果为工程技术发展指引新方向，催生新工业。

二战后，除航空、航天、信息技术之外，原子能、半导体、激光、生物工程等技术科学的建立，直接促成相关新兴产业的兴起。

这表明，技术科学能够开辟新的技术领域，帮助建立新的工业部门。也表明，现代生产技术的重大突破，几乎没有是从实际经验中摸索出来的，必须依靠技术科学的指导，没有技术科学的基本研究，就不可能在工程技术上的重大独创。

另一方面，技术科学具有认识世界的功能。钱学森以运筹学、控制论等为例，说明技术科学认识世界的功能。他说：“控制论、运筹学在基础科学里是没有祖先的”，是从工程技术、技术科学里面发展出来的。自然科学不是尽善尽美的，不可能把工程技术完全包括进去，“技术科学却把工程技术中的宝贵经验和初步理论精炼成具有比较普遍意义的规律，这些技术科学的规律就可能含有一些自然科学现在还没有的东西。所以技术科学研究的成果再加以分析，再加以提高就有可能成为自然科学的一部分。”如控制论的诞生，把人类知识领域从物质、能量扩大到信息领域。又如“工程控制论的内容就是完全从实际自动控制技术总结出来的，没有设计和运用控制系统的经验，决不会有工程控制论。也可以说工程控制论在自然科学中是没有它的祖先的。”工程控制论的应用，不局限于人为的控制系统，“在自然界里，生物的生长和生存都有它们自己的相应控制系统；而这些自然控制系统的运行规律也是依照工程控制论中的规律的。所以工程控制论中的一些规律，必然是更广泛的控制论的一部分，而这个更广泛的控制论就是一切

控制系统（人为的和自然的）的理论，它也必然是生物科学中不可缺少的，是生物科学的一部分。”由于“从前生物学家因为没有控制论这一工具，所以只看到了生命现象中的能量和物质运动问题，没有注意到更关键的控制问题，因而歪曲了实际，得不到深入的了解。”^[7]可见，作为技术科学的工程控制论对生物科学“是有非常重要的贡献的。”后来，系统科学、信息科学迅猛发展的事实，证明这一见解极富前瞻性。1960年代以后，天文学、地质学、生物学等自然科学借助力学对某些新现象、新问题和新的研究对象进行解释、分析和计算，极大地促进了这些学科自身的发展，充分显现出技术科学对自然科学发展的巨大促进作用。

此前，人们认为只有基础科学是认识世界的源泉，如布什在《科学——没有止境的前沿》中写道：“基础研究将导致出新的知识。”^[10]不过，20世纪中叶以来许多重大原创性发现和认识起源于技术科学领域，最为突出的例子莫过于研究军事后勤工作的运筹学以及研究通讯技术的信息科学。所以，关于自然界的科学知识既有来自基础科学的研究，也有来自技术科学的研究，它们都属于科学实践的范畴，以发现和创新作为追求的目标^[1]。钱学森提出技术科学也是认识自然界的重要方式，无疑是对技术科学的价值与功能在认识论上的一大突破。

此外，技术科学在为工程技术发展服务

过程中创立了许多行之有效的研究方法，它们可以为发展自然科学服务。技术科学的龙头学科应用力学不仅善于使用一切现有的数学工具，还创造出不少数学方法和工具，如无量纲方法、相似律方法、能量法、摄动法等，这为其他领域提供了新的研究工具。其中，中国应用力学家对摄动法的发展做出过开创性贡献。1948年，钱伟长解圆板大挠度问题时，提出称为合成展开法的方法。1953年，郭永怀把由庞加莱和莱特希尔发展起来的方法推广应用于边界层效应的粘性流问题。1956年，钱学森深入阐述这个方法的重要性，并称之为PLK方法。如今，摄动理论已发展成为比较完整和系统的理论与方法，是力学、声学、大气、海洋和工程中解决弱非线性问题的有效工具。

四 总结归纳技术科学研究方法

科学方法本身具有不可替代的工具意义，它是各种科学理论诞生的必由之路，其意义远远超出所解决的问题的本身，并最终决定着一个学科的生存和发展。钱学森早年师从冯·卡门从事应用力学研究，透彻领悟应用力学研究方法的精髓，并将其推广到喷气推进、物理力学和工程控制论等领域，成果迭现。在数十年研究经验的基础上，钱学森凝炼出技术科学的研究方法。

技术科学是自然科学与工程技术的综合，它的研究方法也是自然科学与工程技术

研究方法的综合。在钱学森看来，技术科学研究首先要清楚认识所要研究问题的机理。“包括确定问题的要点在哪里，什么是问题中现象的重要因素，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，因此这些因素就可以略而不计”。然后，“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。这条道路代表了我们对所研究的问题的认识，对现象机理的了解。”“在摸索问题关键点的时候，我们依靠自然科学的规律。这也说明技术科学的工作者必须要能彻底掌握这些客观规律，必须知道什么是原则上可行的，什么是原则上不可行的。”^[7]其次，建立模型。模型是通过“对问题现象的了解，利用外面考究得来的机理，吸收一切主要因素、略去一切不主要因素所制造出来的‘一幅图画’，一个思想上的结构物。这是一个模型，不是现象本身。因为这是根据我们的认识，把线性简单化了的的东西；它只是形象化了的自然现象。”^[7]模型的选择与现象的内容有着十分密切的关系，不同的情况可以有不同的模型。再次，根据模型进行分析和计算。这里“必须运用科学规律和数学方法。但这一步是‘死’的，是推演。这一步的工作是出现在科学论文中的主要部分，但它不是技术科学工作中的主要部分。它的功用在于通过它才能使我们的理解和事实相比较；唯有由模型和演算得出具体数据结果，我们才能把理论结果和事实相对比，才可以把我们的理论加以考察。”^[7]至此，技术科学研

究完成了一个工程实践——科学理论——工程实践的周期。这套流程与方法已成为应用力学普遍采用的“分析——实验——数值实验或分析”方法。

从表面上看，技术科学研究方法与自然科学没有明显不同。对此，钱学森解释说：“这里没有绝对的差别，但是有很重要的相对差别。”相对于自然科学而言，最大的不同就是技术科学的研究对象工程技术里面拥有比较多的没有经过严密推理和分析的原始经验，这必然影响技术科学的研究方法，它在一定程度上与自然科学的研究方法有所不同。“技术科学是从实践的经验出发，通过科学的分析和精炼，创造出工程技术的理论。所以技术科学是从实际中来，也是向实际中去的。它的主要的作用是从工程技术的实践，提取具有一般性的研究对象，它研究的成果就对那些工程技术问题有普遍的应用。”所以，“一个技术科学工作者的知识面必然是很广阔的，从自然科学一直到生产实践，都要懂得。不仅知识广，而且他还必须要能够灵活地把理论和实际结合起来，创造出有科学根据的工程理论。”^[7]实际上，技术科学的研究方法与自然科学没有本质上的差别，只是技术科学的目的在于应用，因而深入而不是肤浅地了解应用对象、应用环境与应用条件显得尤为重要。

关于技术科学的研究方法，钱学森反复强调须要注意两条：一是对实际机理的分

析，认清问题中最重要的因素。二是注重运算手段，要求采用最有效的数学工具。他以物理力学为例，说：“物理力学是要解决具体问题的，要做到工程师们能使用物理力学的成果，不能满足于原则上的解决，一定要有数据。这样就必需把运算做到彻底，因而计算也就烦难了，‘死’算是不行的，不采用高效率的运算方法自然就不能完成这个工作。”^[11]至于技术科学在研究方法上的精髓，钱学森曾用一句话对力学的研究方法做过精辟的概括：“力学的窍门就是两招。第一招就是要形成一个代表事物的模型，再一招就是一套比较灵巧的计算方法，使得最后可以得出工程师有用的结果。当然，这里面为了认识客观规律，还要做实验，实验工作也是受到重视的”^[12]。

值得指出的是，钱学森很早就预见到计算机的应用将对技术科学工作产生重要影响，预言：“下一代的技术科学工作者的工作方法必定与我们这一代有所不同”，为此大力倡导技术科学工作与计算机结合^[7]。进入1960年代以后，计算力学果然异军突起，大放异彩。1978年，钱学森还将力学与计算机结合视为力学工作的一次重要革命，由此力学进入一个新阶段——“现代力学”阶段^[12]。

依据钱学森的总结和提炼，技术科学工作把理论分析、应用数学、实验研究、简化模型、高度近似、充分简化等，巧妙有机地

结合和利用起来，组成一套独特而有效的解决工程技术中重大问题的工作方法，不断推动技术科学在删繁就简中阔步前进。此前，自然科学主要依靠理论推导和实验，工程技术主要依靠实践经验，而技术科学综合它们两者的长处，将理论分析、实验、归纳法与数学演绎方法结合起来，并吸收工程技术的试错法，建立起技术科学的方法论，形成经验主义与理性主义的统一。在科学方法论上，这无疑是一大重要贡献。如今，钱学森当年归纳出的研究方法经过不断深化、发展和创新，仍是技术科学工作的基本范式。

五 结语

综上所述，钱学森对20世纪初以后以应用力学为代表的技术科学发展成就与经验进行了系统的总结和凝练，完成了技术科学思想发展史上一次空前而全面的综合，构建出技术科学的学科理论。一般来说，科学上的贡献可以分为“知识性”和“思想性”这两种，钱学森对技术科学思想的总结和发展的贡献无疑属于后者。就对技术科学思想发展与影响而言，钱学森不愧为技术科学思想集大成者。更值得指出的是，钱学森在思考技术科学的未来时，其视域早已超越技术科学本身。1947年，他说：“技术科学的真正本质是将基础科学原理转化为服务于人类福利事业的技术，这已经大大超出了目前工业的范围。医学是应用化学、物理学和生理学来治病和防病，农业是应用化学、物理学和植物生理学来生产食物。”^[6]从“技术”

这个词语的广泛意义上看，医学和农业都属于工程技术，而且二者都能从技术科学研究中受益。换言之，钱学森将一切把基础科学转换为工程技术的学问统称为技术科学，大大扩充了技术科学的范围。

作为中国近代力学的重要奠基人，钱学森始终主张并大力倡导力学走技术科学道路，其核心精神为力学必须与经济建设和国防建设结合，为实现国家目标服务。这一核心精神在他主持制定的十二年科学规划之中的力学学科规划，以及他所创建和领导的中国科学院力学研究所、清华大学工程力学研究班、中国科技大学近代力学系等机构的教研实践中得到了鲜明的体现，取得的成效亦有目共睹。因此，回顾和发掘钱学森在总结与提炼技术科学思想过程中形成的成果，对当前的科技创新工作特别是新工科建设具有非常现实的借鉴意义。

参考文献

- [1] 郑哲敏. 关于技术科学与技术科学思想的几点思想 [J]. 中国科学院院刊, 2001, (2): 132 - 133.
- [2] 郑哲敏. 学习钱学森先生技术科学思想的体会 [A]. 庄逢甘, 郑哲敏主编. 钱学森技术科学思想与力学 [C]. 国防工业出版社, 2001. 1-7.
- [3] 谈庆明. 钱学森对近代力学的发展所做的贡献 [A]. 庄逢甘, 郑哲敏主编. 钱学森技术科学思想与力学 [C]. 国防工业出版社, 2001. 22-31.
- [4] 史贵全. 钱学森的力学观 [J]. 科学学研究, 2007, 25 (S2): 159-164.
- [5] 刘则渊, 程耿东. 论技术科学的创新功能与强国战略 [A]. 科学·技术·发展: 中国科学学与科学技术管理研究年鉴 (2006-2007 年卷) [C]. 2008. 7-24.
- [6] Hsue-Shen Tsien. Engineering and Engineering Sciences [A]. 王寿云编. 钱学森文集 [C]. 科学出版社, 1991. 550-563.
- [7] 钱学森. 论技术科学 [J]. 科学通报, 1957, (4): 97-104.
- [8] 我们的目标(发刊词) [J]. 力学学报, 1957, 1(1): 1-2.
- [9] 钱学森. 近代力学的内容和任务 [N]. 人民日报, 1961 年 11 月 10 日 5 版.
- [10] (美) V. 布什. 科学——没有止境的前沿 [M]. 商务印书馆, 2004.
- [11] 钱学森. 物理力学介绍 [J]. 物理通报, 1957, (4): 193-200.
- [12] 钱学森. 现代力学——在 1978 年全国力学规划会议上的发言 [J]. 力学与实践, 1979, 1(1): 4-9.

钱学森与中国科大近代力学系的 建立与初期发展

王安轶

摘要：1958年前后，钱学森参与筹备和创办中国科学技术大学，并亲自担任近代力学系主任，推动了尖端科技人才的培养和力学学科的发展和建设。在近代力学系创办之初，特别是在前三届力学系学生的培养过程中，钱学森把“技术科学”思想中关于人才培养的理念运用到实践之中，从办学理念、培养目标、教学计划等方面探索了“技术科学家”的培养路径，使之成为中国科大的一项办学特色。文章记述、展现了钱学森在近代力学系创办的倡议、教学计划的参与和“技术科学”思想中人才培养目标在近代力学系的实践过程，探讨钱学森与科大力学系建立与发展的重要贡献及当代价值。

关键词：中国科学技术大学近代力学系 钱学森 人才培养 力学思想

前言

中国科学技术大学近代力学系（以下简称科大力学系）创建于1958年建校伊始，建系之初称“力学和力学工程系”，1961年改称“近代力学系”，以培养国家急需的尖端科技人才为目标。建系之后，系主任一职由发起和创办科大的主要成员之一——钱学森担任，直至1978年。在建系过程中，钱学森把“技术科学”思想融入到科大力学

系的人才培养目标、教学计划、课程设置当中，形成了“理工结合”的技术科学人才培养体系，在中国“技术科学”理论化过程中起了非常重要的作用。

中国科学院力学所、中国科学技术大学档案馆保存了一些钱学森与科大建校的档案资料，如钱学森参与制订教学计划的会议记录、《火箭技术概论》的备课手稿、讲义以及当年钱学森与科大有关领导的书信等，

本文原刊于《科学文化评论》2018年第15期，此处有所更新。

作者简介：王安轶，1983年生，江苏扬中人，博士，中国科学技术大学科技史与科技考古系副教授。研究方向：中国现代科技史、中国工程师史。

钱学森与科大相关的文稿、讲义、书信绝大部分都已收录于侯建国主编的《钱学森与中国科学技术大学》（合肥：中国科学技术大学出版社，2008年，页6）一书中。

都为研究钱学森与科大力学系的创办提供了良好的史料基础。另外，亲历者特别是力学系师生如童秉纲^[1,2]、尹协远^[2]、黄吉虎^[3]、张瑜^[4]等，回顾了钱学森在创办近代力学系过程中的办学理念、课程设置、人文关怀的点点滴滴等。

应该说，前人在钱学森及其科学思想的研究方面已经成果颇丰，作为钱学森一段重要的工作经历——钱学森与科大这一专题中，亦有不少回忆和纪念性文章。但是，很少有人基于科大力学系存有的材料对钱学森从力学人才培养的角度加以研究。本文在前人研究的基础上，尝试以钱学森与科大力学系为研究对象，通过对现有档案等各种史料的梳理，对钱学森的“技术科学思想”在科大力学系的实践及其效果进行研究，分析并总结钱学森在中国科大近代力学系建立的“技术科学”人才培养模式和办学经验及其当代价值。

一、酝酿创办科大力学系的背景

力学作为工科专业的基础学科，是自然科学与工程技术之间的桥梁，是航空航天、机械工程、土木工程等诸多工程技术的基础，可以说一个国家的力学水平在很大程度上体现了一个国家的工业实力。中华人民共和国成立后，由于中国工业现代化和国防现代化建设的庞大需求，近代力学学科的重要性尤为凸显。但是，1949年之前，中国仅

在如机械、土木、水利等工科专业里开展力学课程，没有专门培养力学人才的专业和研究机构，力学人才和研究基础都非常薄弱^[5]。

特别是在1956年国家制定的《一九五六——一九六七年科学技术发展远景规划》(以下简称“十二年科学规划”)中，原子能和火箭技术被列为尖端技术。为此，围绕基础学科规划的部分，十分强调力学学科的发展，确定了发展空气动力学、建立物理力学等学科以支援航空工业发展的目标。并且，为了保证大量工程建设在理论上的要求，如固体力学、流体力学等学科均成为重点发展的学科^[6]。也就是说，力学的重要性被国家科技战略提到了前所未有的高度。然而，学科基础的薄弱和国家需求之间的巨大差距，随即被钱学森等力学专家们所认识到。此时“力学研究所高初研究员86人，全国能称得上第一流的(具有世界水平)力学专家仅五人，北大办的力学专业每年毕业的仅40余人，过一两年后连同其学校的毕业生亦不过300人左右。这样的人才状况显然不能满足国家工农业生产发展的需要，特别是十二年科学规划提出的科学任务对力学专业人才的巨大需求”^[7]。

1958年，在全国“大跃进”形势的推动下，力学所提出了若干以任务为目标的发展方向，并按“上天、入地、下海、服务工农业生产”这四个方面的要求组织研究工作。同时，我国“两弹”研制任务正处于起步阶段，因此中国科学院更急需大批优

秀的科研人才。这样，在钱学森、郭永怀、严济慈等科学家的建议下，趁着“教育大跃进”蓬勃开展的形势，中国科学院院党组于1958年5月9日向聂荣臻和中宣部呈送了由中国科学院开办大学的请示报告^[8]。后来，钱学森在给朱清时的信中也提到了这一背景：“回想40年前，国家制订了12年科学技术远景规划，要执行此规划需要科学与技术相结合的人才；航空航天技术是工程与力学的结合，所以成立了中国科学技术大学。”^[9]中国科学技术大学力学系的创办就是在这样的背景下酝酿的。

二、科大力学系创办动议与办学理念

事实上，为了落实十二年科学规划中与力学相关的发展计划，从1957年开始，中国科学院与高等教育部已经合作在清华大学创办了工程力学研究班。随后，大连工学院、交通大学、哈尔滨工业大学等工科院校以及复旦大学、中山大学等综合性大学相继创办了力学系或是力学专业^[10]。那么，钱学森等人为何建议要建立一所全新的学校和学系？建立中国科学技术大学力学系的必要性又在何处？这可以从国家需求和高等教育体系两个方面来分析。

1. 理工结合是现代科学技术发展的趋势

从20世纪初期开始，科技的各个领域都有了突破性的进展，特别是第二次世界大

战后，在各国对高科技的迫切需求下，科学基础理论转化为工程和技术应用的周期大大缩短。到了20世纪中期，科学和技术在相互刺激中迅速发展，逐步趋向于统一的科学技术体系。一方面，技术发明越来越依靠科学，在很多领域，基础科学的研究已经到达完整的阶段，其理论基础不断为技术的进步开辟新的方向，并且以更快的速度向应用开发和产业化方向转化。另一方面，现代科学的进步有赖于技术装备的支持。就当时国内的情况来看，随着第一个五年计划任务的提前完成，国家进一步提出了“向科学进军”的号召。从经济发展上看，长远经济目标的实现有赖于科学技术的发展；而受国际政治环境的影响，是否能在短时间内掌握与国防相关的尖端科技关乎国家安全，这对当时还很薄弱的科技工作提出了很高的要求。十二年科学规划的制定把国家对科技发展的要求提上日程，旨在尽可能迅速地补足国家科学界最短缺的国防建设急需的门类，迅速赶上世界先进国家科技水平，并坚持“重点发展，迎头赶上”的方针。其中，国家在高新技术产业和国防事业急需的科技，如原子能技术、航空航天技术、计算机、自动化等的发展都需要理工结合的人才。在继承哥廷根应用力学学派思想和长期从事科学研究与教学工作后，钱学森较早地认识到这一点。在他看来，20世纪科学发展的趋势导致世界工程技术发生了革命性变化，尤其是二战期间导弹、高速飞机、雷达、核武器等重要武器装备的发明和使用，从根本上改变了人类

生产与战争的面貌。这些重大发明与以前的发明创造有着明显的区别，它们不是依靠工程实践积累和经验判断设计出来的，而是需要数学、力学、物理学等理论科学作为设计依据，是科学家和工程师密切合作的产物。在这个认识的基础上，钱学森提出了“技术科学”的观点，他指出技术科学是一个科学研究领域，是自然科学与工程技术结合的产物，他的研究对象是工程技术实际中具有共性和规律性的问题^[11]。他提出：“能够综合自然科学和工程技术、要产生有科学依据的工程理论则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。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，缺一不可。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。”^[11]尤其直接服务于工程技术的应用力学，想要在航空航天等关键领域取得突破性的成就，技术科学家是不可或缺的。而在当时中国的高等教育体系中，技术科学家作为人才培养的缺口，急需一所大学来探索其培养模式。

2. 高等教育人才培养目标中的缺失

1952年院系调整之后，我国按照苏联模式重塑了高校教育体系，其方针是整顿和加强综合型大学，以培养工业建设人才和师资为重点，重点发展工业院校尤其是单科性

的专门学院。其特点是高等技术教育得到了加强，工科学校为引进苏联技术提供人才保障。就当时的人才培养目标来看，主要是为了适应苏联援助项目所需的师资和工程技术人才，对基础研究的重视不足，而理工分家亦是这次院系调整的一大特点。具体从力学学科看，根据苏联大学模式，力学专业是被放在综合性大学的数学力学系内，主要培养具有理科背景的力学人才如北大数学力学系的人才培养目标^[12]。而工学院则把培养目标定位为工程师，按照行业或产品设置专业。力学学科虽是各类工科专业的必修课程，但由于工业发展急需工程技术人才，工科教育的专业被细化、学制被缩短、相应的基础课程如力学科目也根据专业需求被尽可能压缩和简化。这样的培养模式虽然以最快的速度为工业部门培养了工程师和技术人员，推动了工业的快速发展，但也导致了工科学生在基础学科上的薄弱。李佩教授在回忆科大建立时谈到了这个问题：“1958年4月，钱老与郭永怀先生、杨刚毅先生一起在北京西山讨论中国科学院力学研究所应承担的12年科学技术发展远景规划纲要任务时，都感到力学研究需要一批新型的、年轻的科技人员。郭先生是力学所的副所长，杨先生是力学所的党委书记，他们都感到近年来分配到力学所的大学毕业生使用起来不称手，北大的偏理，清华的偏工，而急切需要的是介于两者之间的科学技术工作者，也就是需要一批介于科学家和工程师之间的人才。”^[3]因此，利用中国科学院的

自身优势创办一所培养理工结合的尖端科技人才的新型大学，成为中国科学院许多科学家们的共同期望。

从这两点来看，中国科学技术大学的建立并非是教育革命浪潮中的一个即兴之作，而是在考虑到当时高等学校人才培养目标和国家对人才需求中间的盲区而建立的一所极具特色和时代意义的新型大学，是钱学森的技术科学思想与国家需求不谋而合所产生的火花。

三、钱学森技术科学思想在近代力学系培养模式上的实践

建系之初，钱学森即按照“技术科学”人才培养思想制订力学系的人才培养目标和培养计划。在当时的条件下，钱学森提出，“理”的方面要像北大那样，“工”的方面要像清华那样的目标。为了实现这样的目标，在创系过程中的难题如专业如何设置、课程如何开设、甚至任课教师，都有钱学森的意见和建议。钱学森在近代力学系开设了四个专业，分别是高速空气动力学、高温固体力学、岩石力学及土力学以及化学流体力学这几个反映力学学科发展方向的专业^[13]。钱学森亲自为近代力学系的1958级学生制订了教学计划，钱学森提出的培养目标是：“一个技术科学工作者的知识面必然是很广阔的，从自然科学一直到生产实践，都要懂得。”^[11]为此，钱学森从课程设置的多个重要方面做出了与其他高校不同的尝试。

1. 重视理论基础课与技术基础课

1959年5月26日，钱学森在《人民日报》发表文章《中国科学技术大学的基础课》，详细阐述了学习基础课的意义、内容和学习的方法^[14]。他认为，中国科学技术大学基础课除了公共基础课之外，还可以分为理论基础课和技术基础课两个方面，这样的安排是基于科大力学系的“技术科学”人才培养目标，“科技大学的学生将来要从事于新科学、新技术的研究；既然是新科学、新技术，要研究它就是要在尚未完全开辟的领域里去走前人还没有走过的道路，也就是去摸索，摸索当然不能是盲目的，必须充分利用前人的工作经验”。前人的工作经验即成熟的基础学科体系。“中国科学技术大学是为我国培养尖端科学研究技术干部的，因此学术必须在学校里打下将来作研究工作的基础”，新科学、新技术的研究要求“理工结合”的人才，理论和技术并重是力学系课程的一大特点^[14]。

以高速空气动力学和高温固体力学两个专业为例（表1），两个专业的基础课内容和学时是一致的，主要分为基础理论和基础技术两个部分，基础理论主要包括高等数学、普通物理和普通化学。从数学课的比重就可看出其重要性。强调基础学科，是因为力学作为技术科学中的典型学科，是根植于基础学科之上的，主要是以物理学的基本理论为指南，以数学为研究工具的，物理学为

力学提供了最基础、最根本的原理，而数学是力学研究中不可或缺的工具与手段，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方法^[11]。因此，在科大建校的第三次系主任会议时，就重点讨论了关于基础课学时的分配问题，高等数学分两个类型：第一类型学习两年半，430学时；第二类型为一年半计260学时，力学系即与应用数学和计算技术系等系一起被归为第一类型中^[14]。从高速空气动力学和高温固体力学两门学科来看，复杂的化学变化现象也是要充分考虑的学科。特别是在尖端工程技术的发展的过程中，力学工作者为了解决生产中提出的问题，就需要充分利用目前物理，化学上已有的成果，要掌握这些新的力学分支是与良好的数学、物理、化学知识基础分不开的。考虑到实际工程问题是复杂的，往往涉及到多学科，因此，为了从中提炼和研究工程科学问题，研究者必须具备广博而扎实的基础科学知识。

基础课的另一个方面是基础技术课，包括工程设计技术（机械制图、机械设计）、实验技术（电工电子学、非电量电测）和计算技术（计算方法、电子计算机）。钱学森认为：“在新科学、新技术的研究工作中，常常要设计比较复杂的实验装置，例如研究高速气动力问题就得有超声速的风洞，研究

基本粒子物理就得有高能加速器了，要设计这些设备就不能用敲敲打打的办法，必需进行比较正规的技术设计。因此基础技术的训练就非常必要了。”^[11]机械制图和机械设计、实验技术和计算技术皆是工科学生最基本的训练，是工程实施的工具，如物理、数学之于理科研究一样道理。因此，只有掌握了工程技术的基本工具，才能在应用基础科学知识解决工程科学问题中考虑到实际工程问题，从而使实验数据不仅仅停留在实验室，在实际工程中发挥其作用。尤其是钱学森提到的“在尚未开辟的领域里走前人还没有走过的路”，^[14]在探索的道路上无人领航，那么尖端仪器、设备都需要自己独立设计、研发和制造，这就需要工程技术知识的支撑，这也是创新人才所必备的条件。

这两类都包括在中国科学技术大学的甲型公共基础课之中，在前三年的时间，主要是以基础课为主。从学时上来看，公共基础课占总学时的一半，而基础理论和基础技术两类课程都占较大比重。与综合类大学的力学系如北大数学力学系，和多科性工科大学如清华大学工科专业相比，科大力学系的基础理论课要比以工程设计为主的清华大学相关学科课时量大，而基础技术课又远超过以数理计算为重点的北京大学数学力学系，体现了“技术科学”教育思想中有别于基础学科和工程学科人才培养的“理工结合”的课程安排特色。

表 1. 力学系高速空气动力学专业与高温固体力学专业基础课安排及主讲教师

高速空气动力学 / 高温固体力学				
课程类型	课程名称	总学时	主讲教师	上课学期
公共基础课	外语	315		1-9
	普通物理	495	严济慈 钱临照	1-5
	高等数学	430	吴文俊 曾肯成	1-5
	普通化学	180	蒋丽金	1-5
技术基础课	工程设计技术 (机械制图、机械设计)	60	胡华康	1-2
	工程画	120	郁志昂	1-2
	工程力学	105	沈志荣	3
	理论力学	90	钟万勰	4
	电工电子学	135	孔祥致	5
	计算技术	75	钟津立	6
补基础课	数学		薛兴恒 徐燕侯	8
	力学		童秉纲	8

2. 重视专业课与国防科研重点的需求结合

专业课的学习时段，从三年级下学期开始成为重点。全系必修的有工程力学（含材料力学）、理论力学、火箭技术概论，再加上各个专业的特殊专业课程（总计约 800 学时）；在当时而言，这些新专业在国内其他高校都没有开设过，因此如高速空气动力学等专业的课程设置都是实验性的尝试。从课程设置上，可以看出钱学森在为力学系各专业安排课程时注意从以下几个方面考

虑与国防科研重点需求的结合：一是强调专业课程的前沿性，钱学森亲自设置并讲授了《火箭技术概论》，这门课程在当时来说无疑是非常前沿的。通过这门课的讲授，让学生了解到所学之将来的应用领域，以最为前沿的国家科研重点激发学生们的学习基础知识的热情。二是既有公共专业课，各个专业亦各有侧重，比如高速空气动力学专业，由于十二年科学规划中喷气和火箭技术的建立的规划需求，其中的高超声速问题是火箭技术中的一大难点，近年来高速飞行器的飞

根据“高速空气动力学、高温固体力学教学计划”整理。力学研究所关于对力学系专业设置、人数分配及课程开设的建议，1958年7月4日。

行速度已经突破了声速的限制，在气流接近声速的情况下，气体的压缩性便开始显现出来，这就使问题比低速情况下要复杂得多。到了超声速，气流就要产生激波，当飞行器以超过十倍声速的速度前进时，飞行器周围的气体的温度将高达几千度甚至一万多度，这时候一部分空气分子便会产生分离及电离，在分离及电离的情况下，飞行器的固体壁与周围空气的热交换如何进行是一个具有重要实际意义而至今尚待研究的问题。

因此，在专业设置中，高超声速空气动力学是一门重点课程，为进一步研究高超声速问题做准备。又如高温固体力学专业，当时的火箭技术、原子能工业、动力机械中都会遇到不少固体在高温情况下的强度问题，比如如何解决发动机燃烧温度的问题从而提高喷气速度，如何控制超声速飞行时飞行器的表面温度过高、原子核反应堆中的构件温度过高所产生的问题。由于固体在高温

下的力学问题与一般温度下的问题不同，因此，高温固体力学专业开设了热应力专题、高塑性力学、固体力学等课程。三是倡导交叉学科的发展，钱学森对专业课程的设置也有意识地引导学生在更宽的学科领域内获取知识，比如固体力学专业需要修习空气动力学课程，但又比高速空气动力学专业所修习的空气动力学课程要简单和宽泛一些。四是由科学院的研究员和该领域的专家授课，如郭永怀开设了粘性流体力学、林同骥开设了高超声速空气动力学、李敏华开设了塑性力学、胡海昌开设了杆与杆系，夹层板结构专题两门课程等，这些专家都承担着国家最前沿的科研项目，对学科的知识体系都有比较成熟和特有的看法，对待解决的技术问题有着深刻的认识。他们的授课让学生能够接触到该专业领域最前沿的研究成果和困境，如果结合自身所学和专家的启发，就能以最快的速度进入前沿科学研究领域（表2）。

表 2. 58 级高速空气动力学与高温固体力学课程、学时及主讲教师

高速空气动力学				
课程类型	课程名称	总学时	主讲教师	上课学期
相同专业课	火箭技术概论	45	钱学森	7
	测量技术	60	胡华康	8
	火箭技术概论	45	钱学森	7
	测量技术	60	胡华康	9
专业课	理想气体动力学	150	卞荫贵	6、7
	热力学与分子运动	60		7
	实验空气动力学	90	罗明辉	7、8

根据 58、59 级教学计划整理。

专业课	高超音速空气动力学	75	林同骥	9
	黏性流体力学	75	郭永怀	10
	固体力学	75	何竹修	6
	板壳理论	60	黄茂光	7
	塑性力学	60	李敏华	7
	振动理论	75	沈志荣	9
	实验应力分析	45	沈志荣	7
	杆与杆系	30	胡海昌	9
	薄壳理论	30	程世祜	10
	空气动力学	75	徐燕侯 钱鸣森	10
生产实习				10
专题课		45		10
	热应力专题、夹层板结构专题、高塑性力学的若干问题专题	180		10
毕业论文				11

3. 重视传授理工结合的精髓和方法

钱学森认为，虽然自然科学是工程技术的基础，但它又不能包括工程技术中的规律。而从技术科学的研究方法来看，也是自然科学与工程技术研究方法的综合。但是，要把自然科学的理论应用到工程技术上去，并不是一个简单的推演工作，而是应该做科学理论和工程技术的综合工作。因此，有科学基础的工程理论既不是自然科学也不是工程技术，而是两部分有机组织的总和。结合他自身在麻省理工学院和加州理工学院的经历，他认为，麻省理工

学院的培养模式是把基础理论与专业技术割裂开的，前两年是按照培养科学家的模式，而从第三年开始又变成了培养工程师的模式。因此，在科大力学系的课程设置中，钱学森刻意强调了如何做到真正的“理工结合”。如在参考书的选取上，《理论力学》补课课程采用钱学森建议的冯·卡门 (Von Karman) 和比奥 (Maurice A. Biot) 合著的《工程中的数学方法》 (Mathematical Methods in Engineering) 作为参考书。这本书在方法上采取的是选取实际的、具有代表性的工程问题，并且通过解决这些问题来表明如何学习应用数学^[16]，从而引导学生运用科学规律

和恰当的数学方法计算求解，得出具体的数据结果，然后和事实观测数据对比，以检验建立的工程技术理论是否正确^[1]。换句话说，这本书代表了技术科学的教学理念：从实际问题出发，用数学方法解决实际工程问题，即传授“实际——理论——实际”的研究方法的精髓。

同时，钱学森十分强调技术科学家要对工程技术有足够的认识与理解，要求学生在学习有关的工程技术知识，并与工程师交朋友，要与他们有共同语言，要有工程观点，对工程问题要有数量的概念。这些能力都要从学习领会工程设计原理和实践的过程中逐步获得。因此，在钱学森的支持和指导下，科大力学系在结合产学研结合和大搞群众科学运动的社会风潮成立了以学生为主要参与者的火箭研制小组，并将研制成果运用到了实际生产中，作为降雨催化剂的运载工具，成功实现了人工降雨^[4]。在这一过程中，产学研结合并未流于一场运动，而是实实在在地为生产所服务^[17]。并且，借此培养了学生理论联系实际的能力，从而在毕业以后能够较快地在适应科研岗位的需求。

钱学森对科大力学人才的培养倾注了大量心血，多次就科大力学系人才培养的方方面面撰写介绍，提出指导性意见或建议，如“力学和力学工程系介绍”“力学的现状及其发展方向”“中国科学技术大学里的基

础课”“科学技术的研究工作和外文”“1961年在中国科学技术大学报告的提高”“谈谈工作与学习”“近代力学的内容和任务”“如何做好毕业论文”以及“在近代力学系毕业论文导师会上的发言”等。仅从标题就可以看出，钱学森从第一届力学系招生开始，便悉心照料、伴随着学生们的成长，这也是中国科学技术大学力学系建立过程的见证，足可反映出钱学森对中国科大力学系建设的深刻影响。

四、钱学森技术科学人才培养思想在当代的价值

1964年1月，延期毕业半年的科大近代力学系1958级学生开始分配派遣。从分配方案看，将近三分之一的同学分配在中国科学院力学研究所，三分之一的同学分配到国防科研系统，其余三分之一的一半分配在部队，另一半分配在中央与省市机关或留校任教。第一届近代力学系毕业生留校同学有21人，其中4位在学校机关工作，另有17名在力学系里任教，较好地满足了力学系各教研室、实验室在筹建过程中对专业人才的急需^[3]。在1958—1960级力学系各专业方向的学生中，先后走出了10多名科技将军、7名中国科学院院士和中国工程院院士（表3）以及许多国内外的知名教授、学者，不负钱学森当年“上天揽月、下洋捉鳖”的期望，他们在各个领域独当一面，成绩斐然。

表 3. 前三届学生中两院院士名单

学届	姓名	年份	称号
1958 级	白以龙	1991 年	科学院院士
	徐建中	1995 年	科学院院士
	王自强	2009 年	科学院院士
1959 级	吴有生	1994 年	工程院院士
	杜善义	1999 年	工程院院士
1960 级	杨秀敏	1995 年	工程院院士
	范维澄	2001 年	工程院院士
	刘连元	2011 年	工程院院士

应该说，中国科学技术大学是钱学森一生中倾注精力最多的高校，他从加快我国航天事业后备人才培养的战略高度出发，实践了其“技术科学”人才教育理念，即科学和工程相结合，培养能适应不断变化的工程技术前沿的、具有良好的自然科学基础和领导能力的研究型工程师。回顾这段建系历史，可以发现在当时的高等教育培养目标下，在以专才教育理念为主要的时代里，强调“理工结合和通才教育的培养模式”是极具探索精神的，而事实也证明这样的探索在科研型人才的培养上是成功的。

纵观 21 世纪科技发展，人工智能、清洁能源、无人控制技术、量子信息技术、虚拟现实以及生物技术等新兴技术逐渐成为科技发展主流。现代科学技术本身衍生出来的需求和研究领域的交叉，进一步地推动了科学和技术的深度融合，“技术科学”的思想从科技发展的各个方面得到了验证。从人才需求的角度来看，培养理工结合，宽口径、交叉学科的人才，不仅是对尖端技术领域的前沿性学科，对工科学校的影响也非常

明显。近些年来提出的“卓越工程师”培养计划以及“新工科”，都是在看到传统的理科和工科已不足以应对时代变革之后做出的调整。历史已证明，钱学森技术科学思想是适应科技发展的趋势的，回顾钱学森与科大力学系建立和初步发展的过程，结合现代科技发展的趋势和高等教育改革的方向，可以得到以下启示：一是高等教育仍要从世界科技发展的趋势和国家需求出发。目前来看各个学科的壁垒正在逐渐被打破，只有结合科技发展的趋势和国家的需求，才是人才培养方向的指示牌。二是既要重视基础科学，也要注重理工结合。在探索新科学、新技术的无人区域，基础科学是摸索过程中的指南针。三是要培养学生理论联系实际的能力，也就是从实际问题出发，运用理论建立模型，再将其应用到实际问题之中的能力。

有幸的是，在钱老的“技术科学”人才培养思想的探索下，中国科学技术大学力学系成为了“理工结合”型人才培养教育理念探索的排头兵，中国科学技术大学其他各系科也受其影响，在培养复合型科技人才方面

取得了丰硕的成果。1994年4月20日,钱老在给汤洪高校长的信中说:“我也祝愿中国科学技术大学在时代发展新方向:纳米科学技术,做出重要贡献。”同年6月,他在给近代力学系主任韩肇元、伍小平教授信中写道:“中国科学技术大学真是新高技术的突击手,而力学系也很称职,下决心向顾海澄教授那样预见至21世纪,开创新学科、新专业——材料设计专业!”1996年1月25日,他在给近代力学系主任虞吉林、伍小平、夏源明教授的信中写道:“今天我们能设想一个元部件的细观结构是可以随我们的意愿安排的……上述理论工作能展示我们的前途,你们不应该做吗?”在中国科大建校五十年时,钱学森曾提出希望科大能够“弘扬理工结合的人才培养传统,进一步发展走理工文相结合的人才培养之路,相信科大一定能为我国培养出世界一流科学家和科技领军人才”。十年后,科大又一次强调和深化了理工结合的培养理念,坚持“基础宽厚实,专业精新活”的培养特色,推行大类教育、专业培养的“2+X”培养模式,形成了具有科大特色的一流科技创新人才培养体系。

钱老是理工结合型人才的培养模式的先行者,对科技发展的趋势和学科发展的内在特点有着深入的认识和把握。在前沿科学高度交叉融合的当代,如何培养复合型人才,如何定位科学家、技术科学家和工程师的培养目标或许重读钱老的《论技术科学》等文,重温科大力学系的建立过程亦会有新收获。

参考文献

- [1] 童秉纲,李秀波,赵硕.工程科学研究人才培养之道——童秉纲院士访谈[J].工程研究-跨学科视野中的工程,2016,8(1):5—11.
- [2] 尹协远,童秉纲.建立“技术科学”研究人才培养的新教学模式[C].钱学森先生诞辰100周年纪念文集.北京:科学出版社.425—434.
- [3] 黄吉虎.钱学森与中国科大力学系[C].钱学森先生诞辰100周年纪念文集.北京:科学出版社.460—475.
- [4] 张瑜编著.钱学森与中国科学技术大学力学系火箭小组[M].合肥:中国科学技术大学出版社,2008.
- [5] 周培源.力学是和国家建设有密切联系的科学[N].人民日报,1954-07-22.
- [6] 武际可编著.近代力学在中国的传播与发展[M].北京:高等教育出版社,2005.
- [7] 关于培养力学干部的初步意见[R].1958.北京:中国科学院档案,1958-06-12,1958-01-031-20-073.
- [8] 争取科学工作的大跃进及中国科学院研究所所长会议[J].科学院年报,1958:164—167.
- [9] 1998年9月9日致朱清时[C].侯建国主编.钱学森与中国科学技术大学.合肥:中国科学技术大学出版社,2008:102.
- [10] 姜玉平.清华大学工程力学研究班对我国力学教育的贡献[J].工程研究——跨学科视野中的工程,2017,9(4):408—416.
- [11] 钱学森.论技术科学[J].科学通报,1957,(3).
- [12] 中国力学学科史[M].北京:中国科学技术出版社,2014.
- [13] 中国科学技术大学第一次系主任会议纪要[A].中国科学技术大学档案[R].1958年7月28日.合肥:中国科学技术大学,1958-WS-永久-016-001001.
- [14] 钱学森.中国科学技术大学里的基础课[N].人民日报,1959-05-26.
- [15] 中国科学技术大学第三次系主任会议纪要[A].中国科学技术大学档案[R].1958年8月14日.合肥:中国科学技术大学,1958-WS-永久-016-003001.
- [16] 姜玉平著.钱学森与技术科学[M].上海:上海人民出版社,2015.
- [17] 我校召开科学研究工作报告会[J].科大校刊,第53期.

工程科学人才是实现科技自立自强的 重要力量

范煜

摘要：人才是衡量一个国家综合实力的重要指标，以工程科学人才为代表的战略科技人才更是实现高水平科技自立自强的重要保障。工程科学是指在工程实践中提炼基础理论和科学规律用于解决共性技术问题，并将前沿科技应用到工程实际中引领工程创新发展。新时期对工程科学人才的需求更加迫切，“工业 4.0”对工程科学人才提出全新要求，“四个面向”是工程科学人才天然责任使命，“卡脖子问题”需工程科学人才执着攻关创新，“沿途下蛋”为工程科学人才提供广阔舞台。面向社会发展新期待，结合实际提出加强工程科学人才培养的四点建议：加强理想信念教育，厚植家国情怀；注重综合素质培养，实现德智体美劳全面发展；探索教学方法创新，提升教学实效；发挥第二课堂作用，提升实践能力、促进学科交叉。未来加强工程科学人才培养还将面临学科交叉、因材施教、产教协同、师资建设等方面的挑战。

关键词：科技自立自强；战略科技人才；工程科学；人才培养

党的十九届五中全会提出，坚持创新在我国现代化建设全局中的核心地位，把科技自立自强作为国家发展的战略支撑。创新之道，唯在得人，在去年的中央人才工作会议上，习近平总书记对加快建设国家战略人才力量提出明确要求，强调要“大力培养使用战略科学家”。战略科学家既是科学家，更是战略家，他们不同于一般的科技创新人才，是科技人才中的“帅才”，

是担纲“国之重器”、瞄准“未来前沿”、面向“重大需求”的领军人才。

中国航天事业奠基人、“两弹一星”元勋钱学森就是一位著名的战略科学家，同时也是一位杰出的教育家。他回国后大力倡导“理工结合”的工程科学思想，并作为创办中国科学技术大学的主要成员，担任力学系首任系主任，为我国新兴、尖端

作者简介：范煜，1986年生，工学博士，中国科学技术大学本科生院，现任钱学森力学科技英才班班主任。

科技领域和“两弹一星”重大工程培养了大批急需的战略科技人才。回顾钱学森的教育思想与教育实践，对新时代战略科技人才的培养依旧具有宝贵启示。

一、工程科学思想与工程科学人才

工程科学 (Engineering Sciences, 也作技术科学)^[1-3] 是指对工程技术中的宝贵经验进行科学凝练, 形成有科学基础的工程理论和规律, 从而在工程应用中解决共性技术问题、提出优化改进方案; 同时工程科学还将前沿科学技术转化应用于工程实践中, 引领工程、产业和社会的创新发展。

工程科学思想由钱学森先生在继承应用力学学派思想后, 于 1947 年回国讲学时首次提出^[4]; 1955 年钱学森回国工作后在深入了解国内实际情况后, 又撰文对工程科学思想进行进一步阐述^[5]。钱老强调, 从自然科学到工程技术不是一个简单的推演和应用过程, 而是一项非常困难、具有高度创造性的工作, 需要“工程科学”这座衔接的桥梁, 工程科学不是自然科学也不是工程技术, 它介于两者之间, 不是两者的混合物、而是化合物。

工程科学人才是面向解决工程科学问题培养的, 对于工程科学人才的培养与科学家和工程师既有联系、又有区别: 工程科学

家既要像工程师那样具备解决工程技术问题的能力, 又要像科学家那样开展共性基础理论的研究。由于具备理论和实践深度融合的素养, 工程科学人才在高端复杂工程的关键技术攻关、前沿新兴技术的转化和应用、产业迭代发展的创新引领等方面将起到尤为关键的作用, 因此工程科学人才是战略科技人才的重要组成部分。

中国科学技术大学的创办^[6]与“工程科学”有着密切的联系。1956 年我国制定了新中国第一个科学技术发展规划《1956-1967 年全国科学技术发展远景规划》, 规划中明确指出原子能、无线电电子学、计算技术、喷气和火箭、自动化、半导体等重大工程技术亟需人才支持。为发展这些尖端科技, 填补国内空白、薄弱学科, 中国科大应运而生, 从专业设置中就可以发现工程科学的办学思想: 所有系科全部体现理工结合的特色, 没有纯理科与纯工科。事实证明这种理工结合的人才培养模式是非常成功的, 当时中国科大为国家科技进步和工程发展, 特别是“两弹一星”等关系国家国防安全和国际地位的重大工程输送了大量人才。

二、新时期加强工程科学人才培养的必要性和紧迫性

当前我国已经在全面建成小康社会、实

当时的 13 个系别为原子核物理和原子核工程系、技术物理系、化学物理系、物理热工系、无线电电子学系、自动化系、力学和力学工程系、放射化学和辐射化学系、地球化学和稀有元素系、高分子化学和高分子物理系、应用数学和电子计算机系、生物物理系、应用地球物理系。

现第一个百年奋斗目标之后，步入全面建设社会主义现代化国家、向第二个百年奋斗目标进军的新发展阶段，实现高水平科技自立自强已成为全面建成社会主义现代化强国的必然要求。新时期以“工业 4.0”为代表的产业变革不断涌现，以“四个面向”为目标创新使命持续加强，以“卡脖子”为风险的关键技术亟待突破，以“沿途下蛋”为探索的前沿科技转移转化，纵观当前国内创新驱动发展需求、国际合作竞争格局和产业升级发展趋势，我国比以往任何时刻都更加渴求战略科技人才特别是工程科学人才。

（一）“工业 4.0”对工程科学人才提出全新要求

第四次工业革命（工业 4.0）^[7]让工业从信息化时代步入智能化时代，对工程的内涵、要素和组织方式都带来了重大变革，也对工程科学人才的培养提出全新要求 [8]。一是与工程相关的学科类别更加丰富，大数据、管理、物联网、经济等学科都将在工程体系中发挥和原有的机械、电气、自动化、计算机同等重要的作用，工程科学人才的培养体系也需要纳入这些新增学科；二是颠覆性变革层出不穷，工程科学人才需要积极应对比过去更快的技术迭代、更多的成果转化、更新的业态模式；三是工程知识的来源、传播和演化也与以往有很大不同，知识碎片化，来源多元化、更新实时化对工程科学人才培养提出了新的挑战。

（二）“四个面向”是工程科学人才天然责任使命

2020 年，习近平总书记在科学家座谈会上的讲话中明确指出，广大科学家和科技工作者要坚持面向世界科技前沿、面向经济主战场、面向国家重大需求、面向人民生命健康。“四个面向”是新发展阶段科技工作者创新目标的根本遵循，也是推动社会高质量发展、实现人民高品质生活、坚持创新驱动发展战略的必然要求。工程科学人才的关注点在于解决国家重大工程中的基础问题，同时将更多前沿技术应用到实际中为经济社会发展服务，因此“四个面向”与工程科学人才的创新活动目标高度吻合，是他们的天然责任和使命。加强工程科学人才的培养有利于贯彻落实“四个面向”要求，有利于发挥创新在我国现代化建设全局中的核心驱动作用。

（三）“卡脖子技术”需工程科学人才执着攻关创新

当今世界正经历百年未有之大变局，不断加剧的中美贸易冲突也让我们更加清醒地认识到，事关国计民生的关键技术必须掌握在自己手里，否则就会被别人“卡脖子”。“卡脖子”问题有三个共性特征：一是具有核心技术，都是需要长期攻关才能解决的底层技术问题；二是市场化充分，经过市场充分竞争保持较强的稳定性、可靠性以及成本优势，不容易被替代；三是需要不断迭代优

化，不断将最前沿的技术应用到产品和服务中。“卡脖子”清单中涉及的光刻机、工业软件、航空轮胎、轴承钢等国家重大领域中的关键核心技术、材料和装备等难题一直无法得到有效解决，究其原因一方面是由于过去我国需要快速构建完备的工业制造体系，在一些需要长年深耕的核心细分领域不得不依赖国外的供给；另一方面在产业领域没有充分发挥工程科学人才的作用，工程技术人员的培养和职责几乎没有对基础工程理论的要求，同时对新兴技术的敏锐性和转化能力也不足。因此培养兼备理论与实践的工程科学人才是解决“卡脖子”问题的可行人才方案。

（四）“沿途下蛋”为工程科学人才提供广阔舞台

当前我国在部分科技创新领域具备全球领跑优势，包括量子科技、人工智能、核聚变、超导等，然而这些领跑的前沿科技需要攻关的创新目标都是非常长远的，很难马上对经济社会作出贡献。李克强总理曾提出“沿途下蛋”这一概念，是指科研成果转化不一定要等到研究全部结束才能进行，一些阶段性成果、中间技术，服务研究的材料、仪器和装备等都是具有转化价值的。安徽在前沿技术“沿途下蛋”方面具有若干成功案例，包括中国科大科研团队在量子科技领域的中间成果转化和产业化，中国科学院合肥物质科学研究院利用超导技术优势开展离子医疗装备的成果转化。同时“沿途下蛋”

的成功都是需要创新团队来主导，不是常规的通过企业成果购买培育就可以实现，而这个操刀“沿途下蛋”的团队不仅要和技术本身有深刻的理解，还要对中间阶段的潜在价值和转化路径有敏锐洞悉。这恰恰就是工程科学人才的必要素养，因此要实现我国在全球领跑的前沿科技“沿途下蛋”，工程科学人才是大有可为的。

三、关于加强工程科学人才培养的建议

2016年6月，美国麻省理工学院启动了新工程教育变革计划^[9]，致力于发展和推广实施世界一流的本科工程教育。同年国内“新工科”^[10-12]概念提出，在教育部组织下各高校进行深入探讨，形成了“复旦共识”和“天大行动”，为各校开展工程教育改革提供了新思维和新方式。面向新发展阶段国家和社会对工程科学人才的新期待，通过借鉴已有高校在“新工科”改革中的新措施，结合实际，提出以下几点建议。

（一）加强理想信念教育

“立德树人”是教育的根本任务，而对于工程科学人才的培养，加强理想信念教育更是首要任务。工程科学人才要有为国为民的家国情怀，不能被眼前短期利益局限，要努力投身于关系国计民生的重大工程和推动人类进步的前沿工程；工程科学人才要有潜心研究的奉献精神，需要专注于工程底层理论与规律的研究，做到“板凳甘坐十年冷、

十年磨砺成一剑”；工程科学人才还要有守正美好的人文关怀，要明确技术与伦理的边界，不能简单追求科技进步或经济价值，而不顾工程技术发展带来的生态环境、伦理道德、人机关系等问题。

加强理想信念教育，一是加强课程思政建设，在各专业课程教学中融入国内外著名工程科学家潜心研究、执着攻关的生动素材，深入挖掘老一辈工程科学家为国家 and 人民伟大事业献身的鲜活案例，让学生在收获专业知识的同时坚定理想信念、厚植家国情怀。二是注重实践在“大思政”格局中的作用，为学生进入科研院所、龙头企业开展前沿重大工程创新实践创造见习机会，通过启发性体验式的实践劳动教育，加强学生见习期间的全方位提升，特别是引导学生了解见习单位的历史沿革和光荣使命，学习单位工程人员的工匠精神和创新精神。

中国科大充分挖掘各类专业和课程中蕴含的思想政治教育资源，以本科生特色课程“科学与社会”研讨课为抓手，建立“一院一课”的全校课程思政育人体系；面向大一新生开设《工程科学前沿》课程，邀请两院院士、行业领袖、大国工匠等杰出技术科学家讲授技术科学的内涵及其在相关基础研究和重大工程中的应用，并介绍他们的求学、工作和成长成才经历，引导学生立志投身国家亟需的新兴产业和重大工程的伟大创新实践中；每年组织近千名学生赴中国科

学院各研究院所、高新技术企业和其他知名科研机构实践学习，在实践中了解感受、参与科技创新的“国之重器”。

（二）注重综合素质培养

随着第四次工业革命的逐步推进，工程技术的内涵不断丰富，关联学科不断扩容，对社会发展也将产生更加深远的影响。过去的“光机电一体化”已经远远无法满足如今的工程技术需要，新技术、新产业、新业态、新模式正不断涌现，管理、数据、计算、人文、经济等学科与现代工业正深度融合，工程科学人才比以往任何时候都更加需要全面的综合素质和合理的知识结构，才能更好适应现代工业发展对人才的要求。

注重综合素质培养，一是加强通识教育，通过引进与培育、线上与线下、课内与课外、理论与实践等方式打造全方位全过程的通识教育体系，帮助工程科学人才构建合理的知识结构，使之能适应未来快速更新发展的社会、产业和知识。二是加强艺术美育，通过培养文艺爱好、提升鉴赏水平、了解艺术文化、形成高雅情趣，有助于工程科学人才提升工业美学水平、从事美好工程创新事业。三是加强身心健康，学习体育技能、培养运动爱好、养成锻炼习惯，引导学生自觉加强日常健康管理，强健的体魄和健康的心理是从事重大工程创新工作的基本素质。

中国科大于2020年5月成立本科生院，

统筹本科教育教学，对全校本科一二年级学生实行“书院制”管理，通过课外活动、氛围营造、朋辈互助、自我管理浸润式教育，打造积极向上、和谐友爱的学生思想阵地和社区家园；实施综合素质评价，破除“唯成绩论”，实现一、二课堂的互动互融、互补互促，促进学生思想政治、创新创业、体育健康、文化素养、劳动精神的全面发展；致力培养兼具科学基础、工程技术和人文关怀的科技领军人才，引导学生以天下为己任，以开创一流的科学和技术、服务人类美好生活为远大目标。

（三）探索教学方法创新

随着工程技术的快速迭代和不断发展，传统的学科专业培养和基于知识的教学带来的弊端日益凸显，如单一知识结构无法较好地适应未来技术，所学理论无法有效指导实践等；同时课堂授课也限制了学习在时间和空间上的自由度，灌输式教学也不利于学生的启发、思考和创新。当前物联网、人工智能、虚拟现实等新一代信息技术正逐步在教育教学中得到应用，知识图谱、人机交互等新型教学方法正大大提升教学效果，现代教育技术的发展也必将推动终身制学习、个性化学习、跨学科学习和研究性学习等教学方法创新。

探索教学方法创新，一是优化网络在线课程，移动终端和互联网的不断普及为随时随地学习网络在线课程提供了便利；通过对

课程内容分解为独立的知识单元，便于学生在遇到问题时选取合适的知识点进行学习；整合各类高校的特色课程和优质师资，实现优质课程资源共享，有利于优秀教学方法的复制和推广。二是建立问题导向的课程体系，改变原来基于知识点的教学方法，面向未来人类社会关注的重点问题开设设计和制作课程，引导学生关注国家和社会需求，并开展跨学科学习将学习内容融会贯通。三是探索项目制校企合作课程，与作为技术创新主体的高新技术企业合作开设项目制课程，从企业的技术研发课题中提炼项目，将高校的原始创新和学科交叉与企业的技术创新和软硬件的优势紧密结合，引导学生直接面向经济主战场，培养学生理论密切联系实际的能力。

中国科大持续深化教育教学改革，通过建设智慧教室、搭建教学管联动平台，探索利用信息化网络化技术提升教学实效；积极引进优质的人文社科类网络翻转课程，录制学校精品数理基础课程，平均每门网络精品课程的点击播放量达10万余次。成立创新创业学院，开设“设计创新思维”“设计创新实践”等问题导向课程，设立学生双创基金，支持学生创新创业项目孵化和转化，汇聚校内外创新创业教育资源，搭建全覆盖、立体化创新创业教育实践平台。

（四）发挥第二课堂作用

工程科学对于实践能力有很高要求，包

括如何在复杂工程中提炼基础科学和共性技术问题（从实际中来），如何将最新的理论成果应用于工程实践中（到实际中去），这需要工程科学人才熟悉工程实际情况、洞悉工程发展趋势，因此除了必要的实验见习等第一课堂，还要加强以实践育人为特点的第二课堂活动；同时第二课堂可以打破学科和专业的边界，通过创新实践活动吸引不同学科背景的同学参与，有利于学生跨学科学习，培养多学科交叉能力。

发挥第二课堂作用，一是举办具有明确创新目标的科技竞赛，通过设置若干工程科学问题等“揭榜挂帅”的方式，引导学生跨学科跨专业组队攻关，通过竞赛全面提升学生理论结合实际、跨学科协作的能力；同时允许并鼓励失败，工程科学的创新过程中失败是常态，只有接受失败并学会在失败中吸取经验教训，才能不断成长进步。二是加强学生科技类社团的支持，科技类社团是学生根据自身兴趣主动参加的学生创新活动组织，是不同专业背景学生聚集从事某类创新活动的天然社区，其中社团骨干还负责社团组织建设和活动设计实施，未来能更好地从事工程创新活动的组织协调工作。

中国科大在竞赛和社团育人方面也有诸多成功案例：科大讯飞创始人刘庆峰曾表示在校期间参加的“挑战杯”大学生科技竞赛开启了他创新创业之路“挑战杯让我感受到创新和创业的激情，更为重要的是，让我察觉到了语音技术广阔的市场前景”；已有

20年历史的中国科大RoboGame机器人大赛中涌现了一大批优秀选手、学生机器人俱乐部的历任社团负责人和骨干，他们中绝大部分在毕业后都继续从事和机器人相关的科研、技术和创业活动，并在相关领域逐步成长为领军人物和中坚力量。

四、总结与展望

工程科学人才是战略科技人才的重要组成部分，他们既能解决工程技术中的底层科学问题，形成工程理论和规律，又能将前沿科技应用到工程实践中，实现产业和技术的引领变革。“理工结合、理实交融”的鲜明特色也要求工程科学人才必须同时具备战略素养和科技素养，也是符合“具有深厚科学素养、长期奋战在科研第一线，视野开阔，前瞻性判断力、跨学科理解能力、大兵团作战组织领导能力强”这一战略科技人才的定义。因此加强工程科学人才培养对于增强战略科技人才力量、实现高水平科技自立自强具有重要意义。

由于工程科学人才培养具有周期长、学科多、基础深、技术新、实践广、成本高等特点，未来在复制推广相关培养模式方面还存在不少挑战。一是如何打破学科边界，建立跨学科学习机制，促进多学科交叉；二是如何有效引进外部优势资源，开展校企合作和产教协同，帮助学生理论联系实际；三是如何实现以学生为中心，尊重学生个性化学习和发展需求，通过现代教育技术提升教学

实效；四是如何加强师资队伍建设和引导教师潜心立德树人，建立机制不断提升教师教学能力和教育水平。

参考文献

- [1] 童秉纲, 李秀波, 赵硕. 工程科学研究人才培养之道——童秉纲院士访谈 [J]. 工程研究 - 跨学科视野中的工程, 2016, 8(1): 5-11.
- [2] 杜善义. 工程科学与科技强国 [J]. 科技导报, 2020, 38(10): 41-43.
- [3] 李周密, 付玲, 骆清铭, 等. 新工科工程科学创新人才培养特色及其启示——基于华中科技大学工程科学学院的实践 [J]. 高等工程教育研究, 2021(5): 16-22.
- [4] 钱学森. 工程和工程科学 [J]. 工程研究 - 跨学科视野中的工程, 2010, 2(4): 282-289.
- [5] 钱学森. 论技术科学 [J]. 科学通报, 1957, 4(3): 97-104.
- [6] 丁兆君, 丁毅信. 中国科学技术大学的创办背景与动因 [J]. 科学文化评论, 2018.
- [7] 林健. 第四次工业革命浪潮下的传统工科专业转型升级 [J]. 高等工程教育研究, 2018, 171(4): 1-10, 54.
- [8] 王树国. 第四次工业革命背景下的高等教育变革与发展 [J]. 中国高教研究, 2021, 329(1): 1-4, 9.
- [9] Graham R. The Global State of the Art in Engineering Education[R]: Mit New Engineering Education Transformation, 2018.
- [10] 钟登华. 新工科建设的内涵与行动 [J]. 高等工程教育研究, 2017, 164(3): 1-6.
- [11] 李培根. 工科何以而新 [J]. 高等工程教育研究, 2017, 165(4): 1-4, 15.
- [12] 吴岩. 新工科: 高等工程教育的未来——对高等教育未来的战略思考 [J]. 高等工程教育研究, 2018(6): 1-3.



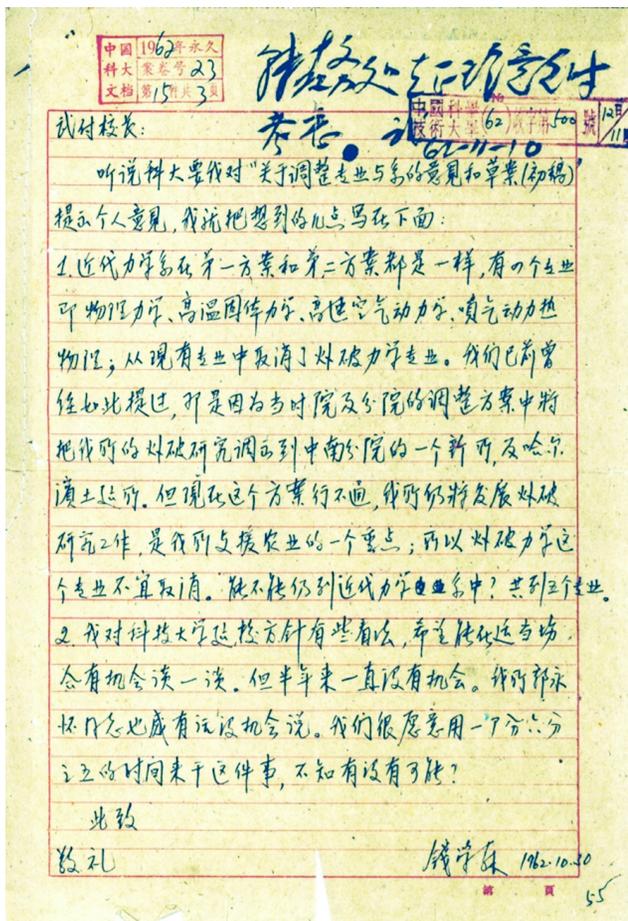
书信中的钱学森与中国科大学科建设

方黑虎

1962年10月，中国科大近代力学系主任钱学森致信武汝扬 副校长，针对学校“关于调整专业与系的意见和草案”中拟取消爆炸力学专业提出看法，表明这样的调整设想是基于：“院及分院的调整方案中将我所（中科院力学所）的爆破研究调出到中南分院的一个新所及哈尔滨土建所”，“但现在这个方案行不通，我所仍将发展爆破研究工作，是我所支援农业的一个重点”，建议学校根据力学所实际情况保留近代力学系的爆炸力学专业，这一建议得到了学校的尊重。

自参与中国科大创办以来，钱学森主持创建近代力学系，设置高速空气动力学、高温固体力学、化学流体力学、土及岩石力学4个专业，对该系的专业调整一直倾注心血，而且在往后半个世纪与中国科大的来往中，也一直关注着中国科大的学科建设。

1963年，教育部要求学校调整系和专业，



建议力学系高速空气动力学专业改名为空气动力学专业，钱学森与郭永怀、吴仲华 商议后认为空气动力学不足以反映学校发展

本文原刊于《永恒的东风：中国科大故事》2018年8月，原文标题为：钱学森：关注中国科学技术大学的学科建设，此处有更新。

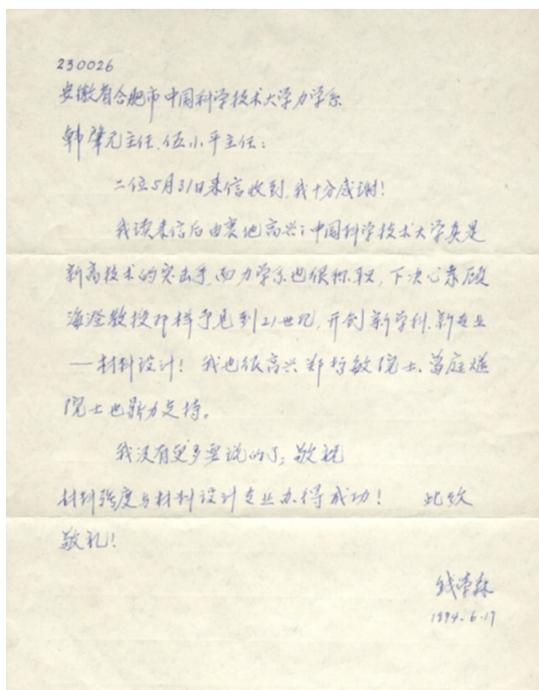
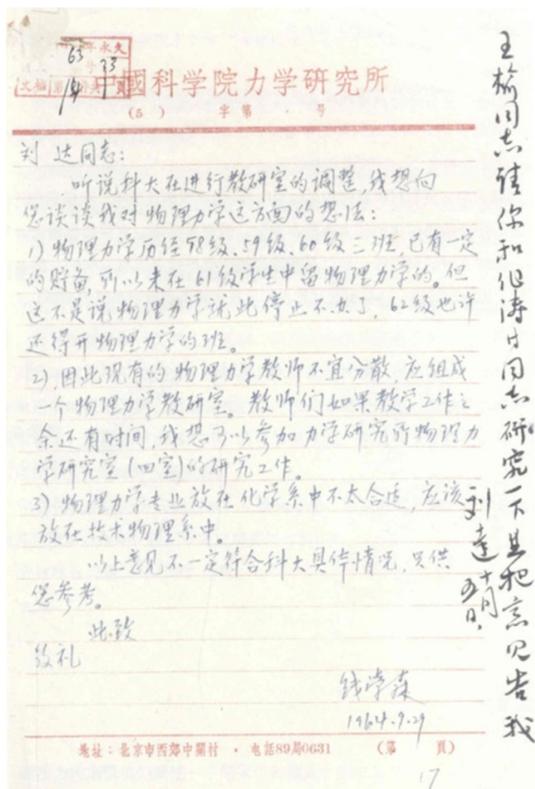
作者简介：方黑虎，1975年生，副研究馆员，中国科大档案文博院副院长。

武汝扬(1912~1997)，山西祁县人，物理学家。中国科大创建者之一，自动化系首任系主任。后任副校长，1977年9月任学校党委书记。

吴仲华(1917~1992)，江苏苏州人。著名工程热物理学家。中国科大创建者之一，物理热工程系首任系主任。

尖端科学技术的特点，要求保留原有名称，以利该专业的发展，最终改名之事作罢。1964年，学校专业调整，有人建议取消化学系的物理力学专业，钱学森知道后，专门给学校党委书记刘达写信，认为应该保留物理力学专业，保留专业教师队伍，将该专业从化学系调整到技术物理系更为合适。学校最后采纳了钱学森的意见，将物理力学专业调整到技术物理系，推动了学校技术物理系和物理力学专业的发展。

中国科大南迁合肥以后，钱学森一直不忘中国科大的学科建设。1992年9月，他致信葛庭燧教授：“现在在中国科技大学有材料设计专业吗，似应设此专业，将来还可以设系”。1994年6月，他再次致信中国科大韩肇元、伍小平教授：“中国科学技术大学真是高新技术的突击手，而力学系也很称职，下决心像顾海澄教授那样预见到21世纪，开创新学科、新专业——材料设计”，鼓励中国科大近代力学系尽快开设材料设计专业。1996年1月，钱学森就材料设计领域的工作再次致信中国科大伍小平、虞吉林教授，希望中国科大在这方面做出好的工作。中国科大的材料设计领域研究由此起步，在钱学森的亲自指导下，经过20年的发展，已经建成中国科学院材料力学行为和材料设计重点实验室，取得了许多重要成果，也在国内材料设计领域具有举足轻重的地位。



刘达 (1911 ~ 1994)，黑龙江肇源人，教育家。1963.5 ~ 1975.11 任中国科大党委书记，后任清华大学党委书记。

葛庭燧 (1913 ~ 2000) 山东蓬莱人，著名金属物理学家，中科院院士。长期任教于中国科大。

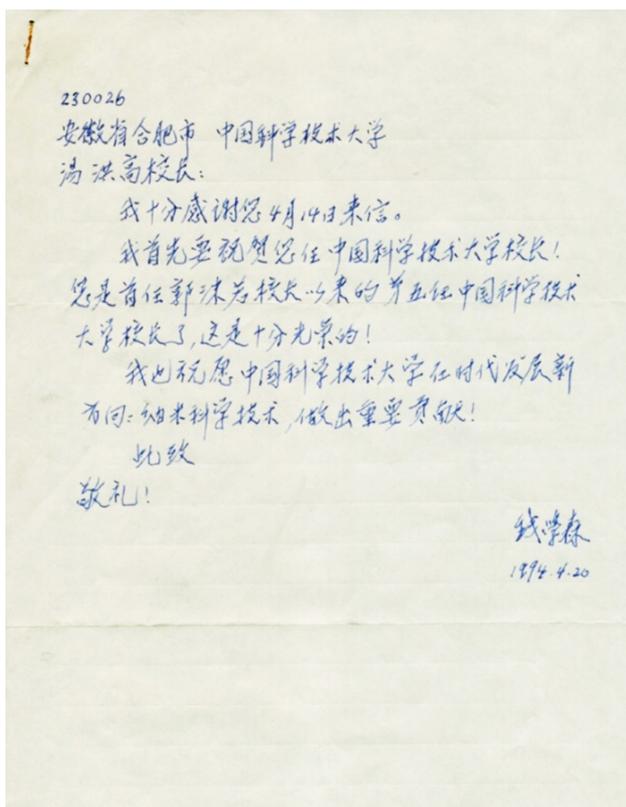
顾海澄 (1911 ~)，浙江鄞县人，材料科学家，西安交通大学教授。

伍小平 (1938 ~)，天津人。实验力学家，中科院院士。长期任教于中国科大。

虞吉林 (1946 ~)，浙江慈溪人，长期任教于中国科大。

钱学森时刻关注着世界前沿科学的发展，并及时向中国科大的管理者们推介，希望中国科大永立前沿科学技术发展的潮头，不忘初心，科教报国。1994年1月，钱学森致信中国科大校长汤洪高教授，对汤洪高教授出任中国科大校长表示祝贺，并建议：“我也祝愿中国科学技术大学在时代发展新方向：纳米科学技术，做出重要贡献！”1997年5月，钱学森再次致信中国科大虞吉林、伍小平教授时又提到纳米科学技术将是“又一次新技术革命，一次产业革命的先声”，鼓励中国科大办好这方面的专业。在钱学森的持续关注下，中国科大的纳米科学技术研究很快发展起来，并在世界上占有一席之地。如今，中国科大筹建的合肥微尺度物质科学国家实验室的7个研究部中就有纳米材料与化学研究部，标志着中国科大的纳米科学研究已经处于国内领先水平。

1998年9月，钱学森致信中国科大新任校长朱清时院士，希望中国科大考虑即将到来的农业产业化革命，“绿色农业（今日的农业）、白色农业（微生物农业）、蓝色农业（海洋农业）并举”，请朱清时校长结合这种未来的发展方向考虑21世纪的中



国科学技术大学。虽然中国科大基于本校多年的办学方向，并没有在新农业领域着力研究，但钱学森先生的殷殷期望之情却令中国科大全体师生十分感念。中国科大，尤其是近代力学系的学科发展浸透着钱学森先生的心血，随着2009年10月斯人长去，钱学森与中国科大半个世纪的科教合奏曲定格为历史的绝唱。

汤洪高（1939～），山东阳谷人，晶体物理学家。1990.5～1993.7，1998.7～1993.7任中国科大党委书记，1993.7～1998.6任中国科大校长。

朱清时（1946～）四川成都人，化学家，中科院院士。1998.6～2008.9任中国科大校长。

钱学森先生引领的成才之路

——访中国科大首届校友张瑜，谈钱学森教育思想与教育实践

张瑜口述，王安轶 林思纯 范煜整理

受访对象：张瑜，1941年生于北京，中国科学院大学教授，是钱学森在中国科学技术大学近代力学系高速空气动力学专业培养的第一届学生之一。1963年毕业后留校在近代力学系任教，从事教学与科研工作，1980 - 1983年任中国科大工程热物理教研室副主任，1983年调入中国科学院大学的前身之一——中国科学院管理干部学院。从2007年起，张瑜在《人民日报》《光明日报》《中国科学报》《中国教育报》《红旗文稿》《科学中国人》《钱学森研究》《留学生》等报刊发表文章，结合亲身经历探讨钱学森的教育思想、教育实践、办学和人才培养方略，以及他的高贵品德和爱国主义情怀。2008年中国科大校庆50周年之际，编著出版了《钱学森与中国科大力学系火箭小组》一书。自2011年9月22日起，以“钱学森教育思想和教育实践”为主题开设讲座。近十年来，他在全国30个省（市）、自治区的228所高校和科研单位等共举办讲座327场。

张瑜教授是中国科大近代力学系1958级学生。他作为首届毕业生，几乎亲历了科大创办初期对近代力学系第一届学生培养教育的全过程，经历了系主任钱学森一系列的教育实践活动。关于钱学森如何主持和参与近代力学系的建设，如何践行他的教育思想，都采取了哪些重要举措，以及钱学森教育思想与教育实践有哪些重要特征？通过对张瑜教授的访谈，透过他对钱学森教育思想与教育实践的理解和分析，或许可以让我们对当下科大办学及人才培养方略有一些新的认识和借鉴。

采访组：王安轶 范煜 林思纯 胡丽云

采访日期：2021年7月16日

采访地点：张瑜北京家中

一、追寻梦想，学在科大

访谈组：张老师您好！1958年中国科大建校，作为一所新学校，从中央决定创办该校到正式开学只用了110天，不足四个月。那么，在这么短的时间内，能够让更多学生了解科大、报考科大，在当时来说是比较困难的事情。但是事实上，第一届报

考科大的学生就有近 5000 人，可见科大建校的影响力。请问，您当时为什么会选择报考科大？

张 瑜：1958 年 4 月，钱学森先生和郭永怀先生率先向中科院提出倡议，充分运用和发挥科学院的人才优势和实验室条件，创办一所新型大学。中科院的领导、众多研究所和科学家们一致赞同。以张劲夫为书记的中科院党组于 5 月 9 日向聂荣臻副总理呈交了创办一所新型大学的报告。报告很快得到周恩来总理的首肯。6 月 2 日，经中共中央书记处批示，决定创办这所大学。6 月 8 日，时任全国人大常委会副委员长和中科院院长的郭沫若召开第一次筹备工作会议，将校名确定为中国科学技术大学。6 月 18 日，《人民日报》《光明日报》《中国青年报》向全国公告，登载了中国科大的招生简章。

当时我就读于北京四中。四中的理科很强，为清华、北大、北航等校输送了很多学生。我也很喜爱理科。在得知中国科大建校的消息前，我们的高考志愿草本都填完了，但是我对自已填的第一志愿并不太满意，为什么呢？因为我最喜欢的是航空航天。当时中苏友好协会总会就在离我们不太远的东华门那边。我经常到那里看科教影片和科幻影片，其中有不少是关于航空航天的，比如探讨人类怎样可以飞入宇宙、齐奥尔科夫斯基公式、第一宇宙速度、第二宇宙速度等，我几乎入迷了。从那时起我就想将来最好能为国家的航空航天事业出一份力。我了解到这需要很好的理科功底，尤其是物理和力学基础。我高中的物理课，力学部分学得也是比较好的。1957 年苏联发射第一颗人造地球卫星这个事件，引发了科学和教育部门对培养航空航天人才的重视，对许多青年学生也产生了很大的吸引力。但当时的高校及专业设置，尚无这方面的院校和专业可供选择。清华虽然好，但还没有设置航空航天方面的专业。清华当时最有名气的尖端专业是工程物理，搞原子能、电子计算机等。北航也曾动员四中的毕业班前往参观，我重点参观了北航的飞机系空气动力学专业。我认为这个专业可能适合我。它处于学科发展前沿，还要承担飞机总体设计的任务。当时我第一志愿报的是清华工程物理，第二志愿报的是北航飞机系空气动力学专业，第三志愿报的是现在的北理工（当年叫北京工业学院）。当我获悉中央决定创办中国科大，钱学森任力学系主任，设置与人造卫星、火箭等相关专业时，犹如久旱逢甘霖，便义无反顾，决定把高考第一志愿改过来。一方面我本来就在搜寻设有航空航天专业的高校，另一方面

钱学森当时就是一位具有传奇色彩、中外闻名的大科学家了，在科技界、教育界和广大青年学生中享有崇高威望。我想，若能得他的教导和引领，将无比荣幸。我意识到专业和导师的选择关系到一生将从事的事业，不能不好意思改志愿啊！当时科大力学系设有4个专业：高速空气动力学，高温固体力学，化学流体力学（后来与工程热物理合并了），还有一个爆炸力学，即所谓三个“上天”专业，一个“入地”专业。我最终填报了科大力学系为第一志愿，后来分专业时又如愿以偿地选择了高速空气动力学。

访谈组：科大的专业是面向新兴科学技术设置的，所以才吸引了一大批立志学习尖端科技的优秀人才报考。科学院当时给科大配备的师资力量也非常强大，钱学森当时在全系大会上说：“我把科学院的‘大炮’都给你们请来了。”您还记得有哪些“大炮”给力学系的同学们授课？

张瑜：给力学系（最初的名称是力学和力学工程系，即07系；后与04系——物理热工或称工程热物理系合并成为近代力学系）一专业（高速空气动力学专业）授过课的“大炮”（顶级科学家）至少有6-8位。吴文俊先生给我们讲授高等数学课，严济慈、钱临照先生分别给我们讲授一年级和二年级的普通物理课，与钱学森一家同船回国的蒋丽金博士（后被选为中科院院士）讲授普通化学课。钱学森先生给我们讲授《星际航行概论》课，郭永怀先生给我们讲授《边界层理论》课，林同骥先生（当年的学部委员，即院士）给我们讲授《高速空气动力学》课，林先生同时兼任我们一专业的专业主任。当年给我们讲授过《理论力学》课，后被选为院士的还有钟万勰老师、童秉纲老师等。给二、三、四专业授课的“大炮”也不少，如二专业的李敏华（兼任二专业的专业主任）、胡海昌、黄茂光；三专业的吴仲华、吴文；四专业的郑哲敏等。总之，可以说是精锐尽出，科学院最优秀的科学家们在党的领导下，践行“全院办校，所系结合”的办校方针，几乎无例外地走上了教学第一线。他们中许多人不仅是中国最顶尖的科学家，而且在世界科技界也素享盛誉。

访谈组：现在看来确实是大师云集！您还记得当时的“大炮”是怎样给力学系的同学上课的吗？他们各自的教学风格是怎样的？

张瑜：他们对承担的每一门课都是从头讲到尾。出考题也亲力亲为，不需助教代劳。所配

的年轻辅导老师负责跟同学们联系和课后答疑，但课都是“大炮”们自己讲授，有不少科学家采用自编的讲义和教材，如钱学森、郭永怀、林同骥等皆如此。这些教材有许多后来成为科学名著，如《星际航行概论》《边界层理论》等。

教学计划的特点是理工结合，科学与技术相结合。课程设置和教学内容的特点是既重视基础，又抓尖端，把基础科学与尖端科学有机地结合起来。基础课中既包含科学理论基础，也包含必要的工程设计基础。而专业课则突出先进性、前瞻性，与世界学科技术发展的最前沿紧密相连。

在授课方面，多数科学家授课的内容科学水平很高，授课方法也很好。比如钱学森、严济慈、钱临照先生等就是这样。严老讲话带些家乡口音，他曾抱歉地向同学们半开玩笑说，他讲话有些“南腔北调”，请大家谅解。但他授课深入浅出，讲解生动，富有启发性，很受同学欢迎。也有的科学家因不太了解学生的学习基础，讲课内容偏深，教学法也缺乏优势，教学效果受些影响。但总体情况很好。

钱学森教育思想与教育实践很重要的一部分，就是培养科技人才，特别是尖端科学技术人才，需要做到理与工相结合，科学与技术相结合。他认为这是科学技术发展的客观规律所要求的。钱先生的这一教育思想与教育实践，包括教学计划的制定、师资的选聘、亲自授课、亲自指导学生科研实践活动研制小火箭、亲临一线教导学生如何做毕业论文，并参加和指导毕业论文答辩等，皆经受住了历史和人才培养实践的检验，向党和人民交出了一份优异的答卷。在他实际主持近代力学系工作的八年（1958-1965）中一共招收了一千多名力学系学生，他们当中后来涌现了8位院士，8位将军（7位少将、1位中将），376位教授、研究员和教授级高级工程师。他们成为活跃在我国经济建设、国防建设、科技战线和教育战线的骨干力量。

他理工结合、科学与技术相结合的教育思想与教育实践，不仅决定和影响了中国科大毕业生的特色，而且带动和影响了全国众多高校向着理工结合、科学与技术相结合的方向整合，从当年全国只有一所科技大学——中国科学技术大学，导致后来出现多所科技大学、科技学院、理工大学和理工学院。

访谈组：您刚刚讲到钱学森培养人才既重视理论教学、又要把必要的工程技术基础课纳入教学计划之中，培养研究型工程师或者说技术科学家。这必然会带来一个很大的

问题，就是学生课业压力太大，形成了科大教学“重、紧、深”的特点。后来社会上有一段顺口溜就是：“富清华、穷北大、不要命的上科大……”。您当时作为力学系的学生，您感觉课业压力大吗？

张 瑜：我最初听到这个“顺口溜”是在1964年初，当时中央要求开展教育改革，减轻学生负担。中国科大是校党委副书记兼教务长张新铭做的教改动员报告，那时候我刚留校任教，亲耳听了这个报告。“富清华”的提法是指清华是工科院校，国家要花较多资金投资实验设备等。北大是文理院校，不需要投入很多资金建设。所以社会上觉得清华办学资金相对充足，而北大就显得“寒酸”一些。“不要命的上科大”，是指科大对学生理工都有较高要求，功课特别重，你要拼命才可能学好。

对“不要命的上科大”我确实有所感受，功课很累。当时我家就在北京城里，但也只能每个月回一次家，以便从家长处取每个月需要交的饭费。但每次回家通常只能在周六晚，吃一顿晚饭，与父母亲简单交谈一会儿，就要返校做功课了。如若久留，学习时间就不够用了，周末也必须用功读书、做作业等，否则学习就会很被动。

科大在办学上总体是成功的，培养了那么多优秀人才。功课“重、紧、深”，坚持办学的高标准也是必要的。但凡事都应该有个度，如果过度了就有副作用，这方面也是有教训的。后来全国搞教改，中央领导人提出学校应当从学生一切活动总量中砍掉1/3，以减轻学生课业和活动负担，保障同学身体健康。后来国家还提高了学生的伙食标准，由先前的每人每月12元5角，提高至每人每月15元5角。当年享受国家助学金的同学很多，每月这3元就由国家补贴了。这3元钱在当时可以使每位学生每天多吃一个鸡蛋或者一两肉。那时候买一个鸡蛋或者一两肉差不多就需要1角钱。对于中央的关怀，同学们感到很温暖。

科学院曾经发现和意识到这个问题。1961年以后的一个时期，全国各项工作处于“调整、巩固、充实、提高”阶段，各行各业总结工作经验和教训。科学院党组派了工作组来科大调查，党组书记张劲夫做总结报告时我在场听了。他自我批评道，对科大学生的培养目标最初定的标准过高了。科学院内定，要用5年时间

（当年科大学制是5年）把学生培养成大学经过7年教学才能达到的程度，即相当于国外（硕士）研究生（那时国内还没有研究生学位制）毕业达到的程度。我们上专业课时，因是尖端科学专业，国内没有可用的现成教材，有不少老师只能拿着国外的教材，甚至期刊文献来上课。课后同学们没有教材复习，只能看看自己记的笔记。辅导老师也很苦，他们自己在课堂上并没有听太懂，课后往往当晚就得给同学们辅导答疑。一些同学累病了，有的不得不退学。有的同学因用脑过度，得了神经衰弱，睡不着觉，掉头发。这方面也是有沉痛教训的。中央提出减轻学生课业负担当然不只是针对科大一所学校，而是发现当时高校普遍存在这个问题，科大相当典型而已。因此提出教育要改革，要扭转这个局面。那时教改的过程也不那么容易。有些老师出于良好的愿望，想保持教学内容的高水准，宁愿辛苦，也不愿意缩减自己的教学量，上级要做不少工作教改才能顺利推进。应该肯定科大师生艰苦奋斗、努力拼搏取得的优良成绩，毕竟出了那么多优秀人才，但也影响了一些同学的健康，损失了一些人才。在总结科大办学经验时，不能认为课程越多、越重就越好。应该从实际出发，突出重点，注重课程设置的科学性、合理性，教学总量的安排要适度，使大多数同学能够承受。课程的讲授也要注意少而精的原则。不能奢望理科要比北大强，工科要比清华强。这种想法既不合理，也不可能达到。科大的特色应该是培养理工结合、科学与技术相结合的创新型科学研究人才和科技人才，同时保证学生德智体等诸方面全面发展。我们要弘扬来之不易的办学成就，同时也要注意总结经验和教训，克服不足。

二、践行理工结合，提升创新能力，研制小火箭

访谈组：看来您是非常认可理工结合这种培养模式的？

张瑜：是的。我们要充分理解，培养科技人才需要理工结合、科学与技术相结合，充分理解“理”与“工”，“科学”与“技术”的辩证关系，理解它们之间的区别与内在联系。面对科学技术的飞速发展、多学科的相互交叉与渗透，看到培养科技人才这样做的合理性与必要性。但也要注意，所谓“理工结合”及“理工结合”的程度，也是有一定针对性和条件的，不可千篇一律地要求。中国科大是一所研究型大学，重点培养科学研究人才。但国家建设也需要培养以具备工程技术才能为主要特征的工程技术人才，也需要培养理论素养很高的理论研究人才，以及大

国工匠等等。所以对“理工结合”的要求不能一刀切，对不同类型人才的培养应该有不同的侧重与模式。科大当年是为培养“两弹一星”和尖端科学技术人才、填补我国科技空白以及赶超世界先进科技水平而创建的，重点培养科学研究能力强的科技创新人才，所以在教学计划和教育实践中需要强调理工结合、科学与技术相结合。这是大胆、明智的创新之举。它的正确性和深远意义已经被中国科大办学和人才培养的不凡成就所证明。

访谈组：确实，钱老技术科学的思想在他 1946 年回国的两次报告中都有体现。有研究表明钱学森的技术科学思想来源于他在加州理工的学习和研究，是以普朗特为代表的哥廷根应用力学学派思想的发展，钱学森也曾多次表示认可加州理工学院的办学模式，当时钱学森在科大的教育实践是否参考了加州理工学院的办学模式？

张 瑜：钱老对加州理工学院的办学模式是赞许的，主要赞赏其创新精神和创新氛围。同时，他也就这一点对麻省理工学院的不足提出过批评。有那么多具备国际学术交流经验的科学家从事科大的教学工作，肯定会吸收发达国家办学的有益经验，博采众长。但我不认为是复制。因为国情不同，办学和人才培养的目标也有很大差别。所以，科大的办学固然与国外办学的经验有联系，但也有区别。当时国内的教育方针要求教育要为国家服务，教育与生产劳动相结合。钱学森是深入领会并严格贯彻落实党和国家教育方针的。他提出的要发展“两弹一星”和航空航天技术，培养技术科学人才，都是紧密结合国家实际需求，而不是直接照搬照抄加州理工学院的办学经验。我们搞小火箭在当年属于“勤工俭学”的范畴，是党的教育方针——“教育与生产劳动相结合”的重要体现。但它又不仅仅是与生产劳动相结合，还跟我们所学的专业相结合，这就是钱学森先生的英明之处。钱学森当年在加州理工学院参加的业余火箭研究小组，曾被戏称为“自杀俱乐部”，主要是培养他们的自由探索和创造精神；而我们搞小火箭和人工降雨火箭的意义及得到的锻炼与提升远远不止这些，要丰富得多。关于我们如何在钱学森指导下从事小火箭和人工降雨火箭研发的事，我在 2008 年编著出版的《钱学森与中国科大力学系火箭小组》一书中，在 2009 年 8 月 22 日发表于《光明日报》的同名文章中，以及多次讲座中已经比较详细地介绍和讨论过了，在此暂不多谈。

关于小火箭和人工降雨火箭的科研实践活动，我想着重说明的几点是：

1. 钱学森先生不仅重视课堂教学对人才培养的重要性，他一方面用心良苦，科学、周密、详尽地制定具有前瞻性的教学计划，而另一方面，也非常重视实践环节对人才培养的重要性。他通过指导学生课外科研实践活动，树立学生理论联系实际的工作作风与学风，使学生具备艰苦奋斗、不怕困难和百折不挠的奋斗精神，尤其是培养学生的创新精神与创新能力。

2. 在方法上，他并不是一开始就提要求，指示研究与研制的路径，而是放手让同学们自己搞。我们几乎是在做“平地起高楼”的事。没有研究方案自己讨论确定；没有参考资料，自己查找；没有资金买很多书，自己刻蜡板油印学习和阅读资料；没有设备，自己到市场上采购，自己组装、自己测试。真是难极了！不知碰了多少钉子，吃了多少苦头，失败了多少次。只是搞到一定程度，取得初步成果后，钱学森主任适时地加以必要的指导。他对同学们的成绩评价很高，半开玩笑地对我们说：“你们的路子走对了，简直是发了科学洋财！”他指导我们科研工作有多次。有时在我们的车间——简易房，有时在系办公室，有一次在全校第一次科学研究工作报告会及其分组讨论会上。有口头的指导，也有对我们所提问题的书面答复和指导。

3. 他注意对我们科研方向的把握。当我们对小火箭的研制相对成熟，单级火箭可以打到5千公尺，双级火箭可以打到约7千公尺的时候，下一步该怎么走的问题摆在我们面前。有些同学出于热情和自信，力主搞射程为75公里的高空探测火箭。钱学森主任对此不赞成。他指出，那要动用国家的力量，而且我们还有繁重的课业学习任务需要完成。他建议我们从实际出发，把现有研究成果应用到国民经济建设上，并很具体地提出，我们可与当年中科院地球物理所的人工控制天气研究室以及中国气象局合作，以小火箭作为运载工具，把降雨催化剂（碘化银）打到具备一定降雨条件的云中炸开散播，用以人工降雨或增雨，或者用来消除冰雹。1960年夏，即将进入三年级的我们驻扎在北京八达岭长城附近的山地和自己搭建的帐篷中，连续开展了两个月的人工降雨试验，取得了相当好的研究成果。同时，与地球物理所的老师合作，还向甘肃兰州附近的马啣山派遣了一支小分队，用小火箭做人工消除冰雹的试验。这项研究也取得了不错的成绩。中国气象局曾向我们成百上千支地下人工降雨火箭的订单，并先后在内蒙古、吉林、江西、云南等地开展相当规模的人工降雨活动。正是在钱学森先生的正确指导和支持下，

我们的科研活动取得了具有科学价值，且对国民经济建设和农业生产发展有所贡献的真正意义上的科研成果。随后，意大利、苏联格鲁吉共和国气象部门以及苏联科学院也与我们进行学术交流，寻求合作。有的向我们索要图纸。苏联科学院通过中国科学院正规渠道，还向我们索要了样机。我们郑重地向他们赠送了一支单级火箭和一组双级火箭的样机。我们的小火箭和人工降雨火箭的研发与研制工作从1958年9月末至1960年9月前后共搞了两年，无论从成果上，还是从育人上，都取得了实实在在的成绩与进展。当下一步工作的重点应该转向它的推广与完善时，我们适时地把研究成果和这项工作全部、完整地转交给了中国气象局。

访谈组：您提到了小火箭的事情，您当时也参与了钱学森在科大组织的火箭小组，并在其中兼任秘书组组长的职务，您可以给我们具体谈谈搞小火箭的情况吗？

张瑜：关于研制小火箭和人工降雨火箭的具体情况，在我编著的那本书、发表的相关文章和讲座中介绍的不少了。前面我又谈到了一些要点。我想着重说明的是：钱学森先生指导学生科研实践活动，研制小火箭和人工降雨火箭的内容相当丰富，它对办学和人才培养的重要意义与作用至今值得我们认真学习、研究和发扬光大。当年参加过火箭小组活动的不少成员，在后来的科研等工作中取得较大成就的人不少。比如火箭小组的积极分子之一，我曾经的同班同学白以龙后来成为中科院院士、中科院力学所副所长。火箭小组的主要成员之一蔡有智后来成为中国科大副校长，宋天顺成为中国科大党委副书记，1959级的学妹王柏懿后来也成为中科院力学所的副所长，等等。当年我们进行小火箭发射试验时，校党委第一书记郁文、校党委副书记兼教务长张新铭等都非常重视，他们亲临现场观看，并指示科研处把我们写的实验报告和工作日志打印成册存档和交流。参加过红军长征的校党委副书记王卓，当年校科研处处长、后任科大副校长的包仲谋，地球物理系党总支书记等亲赴八达岭我们的人工降雨火箭发射阵地，以及我们在山间搭建的住宿帐篷前视察。

钱学森坚定支持和不懈指导的这种科研实践活动，对于育人和人才培养的重要作用，直到今天仍值得我们加以重视、研究和发扬光大。



钱学森先生在中国科大近代力学系高速空气动力学专业培养的第一届毕业生之一——张瑜的毕业照。摄于大学五年级、1963年初夏。（张瑜教授提供）

访谈组：我们都知道，钱学森对科大力学系首届学生的培养倾注了大量的心血，从招生、制定教学计划、师资选聘、亲自授课、亲自指导学生科研实践活动，一直到毕业论文环节，他都非常关注，不断地给学生指明方向。做毕业论文阶段开始前，钱老还专门向毕业班学生作报告，教导学生如何做毕业论文。据悉，他还亲自参与和指导本科毕业生的论文答辩，您还记得当时的情况吗？

张瑜：关于教导我们如何做毕业论文的报告我聆听了。这个报告本来是要给近代力学系1958级同学作的，但其他系学生也想听。报告会在离北京中关村不太远的五道口工人俱乐部剧场举行。因会场容量有限，记得近代力学系的应届毕业生全部参加，其他系同学派代表参加。钱学森的研究生阶段是学空气动力学的，他还以他当年做毕业论文——测量附面层（也称边界层）的经历和体验做例子说明应如何做毕业论文。他说：对附面层测量他就是认真、严格、踏踏实实、一丝不苟地把该测的每一个点的数据都测准。做毕业论文不可好高骛远，要有意识地训练自己严格、严谨的作风和科学精神。

对于如何组织毕业论文答辩，他也亲临一线，认真指导。1963年12月21日下午1点半，钱学森组织试点性的论文答辩：请近代力学系二专业（高温固体力学专业）做不同类型论文的三位学生分别报告自己的毕业论文和相关工作。钱学森做质辩人，答辩地点在力学所417

室。其他一些论文导师，包括黄茂光教授等观摩或旁听。之后把论文答辩的经验和要求推广到各个论文答辩组。

当年参加钱学森先生主持答辩的近代力学系1958级的三位同学分别是：后来在中科院力学所工作的王自强院士，后任中国科大副教务长的教授级高级工程师丁世有，航天部研究员张润卿。

上图是1963年由钱学森主持的5807毕业论文答辩会入场券（张润卿提供）



三、学习管理科学，进行跨学科研究

访谈组：您之前在文章中提到过钱老重视管理科学，他的这一思想对您也产生了很大影

响，您后来也转向了管理科学工作，请问钱老对您的影响具体有哪些？

张瑜：咱们国家从上个世纪80年代起，开始重视现代管理科学的重要意义与作用。中国科学院不仅设有六个科学学部，还特别设立了管理科学学组。钱三强、卢嘉锡等这些科学界的前辈对于在中国建立和发展现代管理科学都是积极的倡导者和组织者。钱学森先生也非常重视管理科学，他是系统论和系统工程的领军科学家。他也是控制论方面的杰出科学家。他在美国被软禁期间完成的，后被译为多国文字出版发行的世界名著《工程控制论》（Engineering Cybernetics）连他在加州理工学院时的老师与合作者，著名的冯·卡门教授都为之骄傲，赞不绝口。当时中科院成立了管理学院（后根据教委指示统一改名为管理干部学院）。建院初期，管理学院缺乏干部，尤其是师资。管理学院的领导经中科院干部局同意，到科大说服部分老师，希望他们关心和支持我国管理学科的建设，调到管理学院从事管理科学方面的教学和研究工作，这期间也找到了我。鉴于我对高速空气动力学的教学和研究工作已经做到相当程度，所以不想改行。管理学院的领导对我说，您可以跨学科，在继续搞高速空气动力学或气体动力学教学与研究的同时，兼搞管理科学的教学与研究。他看我仍未下决心，就举出钱学森的例子说：钱学森先生是高速空气动力学和航空航天方面的杰出科学家，但他同时也注重并致力于管理科学研究，您为什么不可以向您的老师学习呢？这句话确实打动了。我想，以后若搞管理科学，仍然能得到钱先生的指导。

我调到管理学院的前12年（1983-1995），的确做到了跨学科。1984年北京出版社出版了我编著的《膨胀波与激波》一书。1986年科学出版社出版了我和他人合译的《可压缩流体动力学》一书。1988年4月我与美方教授联名，在国际权威学术刊物《美国航空与宇航学报》（AIAA-J）发表技术报告。1993年我指导的中国科大气体动力学专业方向的硕士研究生毕业。直到1995年，我还在国内一级学术刊物《力学学报》和《工程热物理学报》发表高速空气动力学方面的研究论文（激波与边界层干扰）。另一方面，我在管理学院讲授管理学和工业公司概论等管理科学方面的课程，担任管理工程系常务副主任，给中国科大指导过管理科学方面的硕士学位论文，给复旦大学管理学院和研究生院评审过几十篇管理科学方面的博士学位论文。在《管理世界》《科研管理》《中外科技政策与管理》《科技导报》《中国高新技术产业导报》等发表管理科学

方面的论文，如“培养中国高技术产业的MBA”“高技术产业MBA培养计划研究”“美、日、中企业文化比较研究”“彼得·德鲁克和他的名著《卓有成效的管理者》”等。1989、1990、1995年，我分别参加了在德国斯图加特、美国波士顿和北京举行的管理科学方面的国际学术会议，并宣读论文。是中国系统工程学会系统动力学专业委员会常务理事兼秘书长，国际系统动力学（International System Dynamics）学会会员和学术秘书。我还应邀参加中国经济出版社出版的《现代管理技术经济大辞典》的编写工作，撰写人才教育等类辞条74条共三万余字，并任编委会编委，该书于1995年8月出版。2001年后我重点转向管理培训。汉化并补充研发了从美国引进的世界著名管理大师彼得·德鲁克的高端管理培训课程《有效的管理者》（The Effective Executive）。先后给海尔集团、海信集团、国家电网、华北电网、北京电力工程公司、北京电力试验研究院、冀北电力公司、冀北电力科学研究所、新疆特变电工集团、新疆八钢集团、内蒙古鄂尔多斯电力公司、徐州市经贸委，以及中国空间技术研究院，中科院的力学所、高能物理所、高技术产业发展局、合肥分院等企、事业单位的中、高层管理者成功地进行了管理培训。2008年，作为北京奥运志愿者专家组成员，我应奥组委相关负责同志的指派，于奥运开幕前（7月31日-8月3日）给奥运会观众呼叫中心的48名管理骨干进行了《有效的管理者》课程培训。奥运结束之际获“优秀志愿者”奖状，还获得奥运志愿者的原推荐单位——欧美同学会颁发的荣誉证书，由时任会长、全国人大常委会副委员长韩启德颁奖。

总之，在相当长的一个时期内，我做到了高速空气动力学和管理科学这两大不同学科间跨学科的教学和研究工作。在高速空气动力学方面，我受益于钱学森先生的教导，在管理科学方面，也受到钱学森先生的影响、鼓舞和引领。

四、亲身经历，谈钱学森办学与人才培养之道

访谈组：您是钱老在科大力学系实践教育思想的亲历者，请您谈谈钱学森的教育思想与教育实践有哪些特点，对我们现在科大的人才培养有哪些借鉴？

张瑜：这是一个很大的题目，回答这个问题需要做全面、深入、系统的研究，才能得出比较准确和凝练的答案，而这正是我们今后应着力开展的工作。在此，我只就几个与其相关的问题简要谈几点意见和看法，供现在的和后来的研究者、科技工作

者、高校管理者以及师生们参考。

1. 钱老是公认的战略科学家。他的战略思想与实践不仅体现在对“两弹一星”和航天工程远见卓识的规划、领导和研究工作中，也体现在对教育的高度重视和对人才的培养上。钱学森极其重视教育和人才培养工作，他不仅率先倡议创办理工结合、科学与技术相结合的新型大学——中国科大，亲自担任近代力学系系主任，培养出那么多优秀的科技人才和骨干，而且众所周知，直到他的晚年，他最思虑和最牵挂的，仍然是教育和人才培养的问题。这是战略科学家的重要特点。

习近平主席在今年两院院士大会上，在清华大学视察时都强调，科技是第一生产力，而人才则是第一资源。

战略科学家不仅要做好自己肩负的科学研究工作，还要使我们的科技工作后继有人，人才辈出，一代更比一代强。这样我们的科技工作才能做到可持续发展，从赶超世界先进水平，逐步向引领世界科技进步跨越。我们要弘扬的科学家精神，可简要地归纳为：爱国、创新、求实、奉献、协同、育人这六个方面。钱学森诸方面都做得很好，堪称表率。尤其突出、值得许多科学家和科技工作者学习和借鉴的，是在育人或称人才培养方面。钱学森在这方面的远见卓识、身体力行和付出，都值得引为自己的楷模，值得我们好好学习。

2. 一位科学家的创新精神与创新能力，不仅表现在科学研究工作中，同样，也表现在对科技人才的培养和奖掖后学上。创办理工结合、科学与技术相结合的中国科大，培养理工结合、科学与技术相结合的科技人才，在当年就是一种大胆的创新思维与创新实践。上世纪50年代在全国开展的高校院系调整，其主要倾向是理、工分离。以清华大学为例，它原本是一所综合性大学，不仅工科方面的系科强，如机械系、电机系、冶金系、航空系等；理科方面的系科也很强，如数学系（华罗庚曾任清华数学系教授）、物理系（钱三强、周培源、王淦昌皆毕业于清华物理系）、化学系等；清华非但理工科强，它的文科也很强，比如西方语言文学系（钱锺书、曹禺皆毕业于清华西语系）。它的经济系、法律系、社会学系等办得也不错。梁启超作为国学大师之一，在清华讲授过儒家哲学课。后来，清华大学被调整为工科院校。以钱学森为代表的一批科学家，从中国对科技人才的迫切需要和实际出发，评估并汲取国内外高端科技人才培养的经验与教训，制定出理工结合、

科学与技术相结合的教育和教学计划，并坚定地一以贯之，走出了一条成功的，具有科大特色的人才培养之路。

3. 深入教学第一线，下真功夫。要说科研工作忙、任务重，不知哪位科学家能比钱学森科研工作更忙、任务更重？他肩负国家“两弹一星”和航天工程重任，还经常去我国西部做重大试验，但他对教育和教学工作一丝不苟，从不缺课，也极少调课。有时风尘仆仆从西部赶回北京给我们上课。从制定教学计划、编写授课教学大纲、撰写教材、授课，直到指导学生毕业论文与答辩，他不放松任何一个重要环节。他以身作则，率先垂范。

他讲授的《星际航行概论》课，内容包含和体现了极高的科学成就与专业水准，同时，钱学森又具备优良的教学法，可谓杰出科学家与优秀教育家的风范并存。他作为系主任，成为其他许多科学家和教师授课的榜样。他对教育和教学工作的敬业精神和事迹，在我的文稿和讲座中介绍过不少，现仅谈一例：

据近代力学系负责教学和科研工作的主任助理介绍，钱学森在讲授《星际航行概论》课之前好几天，特意约主任助理和他一起去当年设在北京中关村自动化研究所的大阶梯教室。之所以把教室设在那里，是因为它容量大。听课的有近代力学系三个“上天”专业1958和1959两个年级的学生，还有力学所的不少专家、学者旁听。因座位有限，有些专家和教师来听课时还自带了凳子或马扎，把它们加放在教室的过道中或边角位置。还没上课，主讲教师为什么就到那个空荡荡的大教室里去呢？原来是去查看场地。他坐在教室最后一排座位上看黑板，考量他板书的字和图要多大，坐在后排的同学也能够看清楚。一位大科学家授课，对教学效果认真、负责到这个程度，是不多见的！称得上是极端的负责任，极端的热忱了。也让我们领略了，什么是追求完美，什么叫精益求精！

4. 重视人才培养中的实践环节。他亲自指导学生科研实践活动，研制小火箭和人工降雨火箭，目的是要学生树立理论联系实际的作风与学风，锻炼不怕困难、艰苦奋斗和百折不挠的奋斗精神，尤其是培养学生的创新精神与创新能力。这些是单纯的课堂教学难以替代的。我们应认真学习、研究和总结这些经过历史和人才培养实践检验的宝贵经验，将其发扬光大。

5. 立德树人，言传身教。榜样的力量是无穷的，他的高尚品德、民族气节和爱国主义情怀光照后人，成为青年学生和爱国知识分子的好榜样。他热爱祖国，不甘心中华民族永远积贫积弱，不惜放弃美方优越的工作条件和生活待遇，不顾美国当局的迫害、封锁，历尽千辛万苦，矢志不渝返回祖国之举几乎家喻户晓。1961年，他捐赠1万1千5百元给中国科大近代力学系的学生，用于购买教学设备和计算尺的事迹令人感动。这件事已载入中国科大的史册。

即使在上世纪七十年代中期那种比较复杂的情势之下，钱学森先生仍然不忘党的教育事业，不忘为国家科技人才的培养贡献智慧和力量。他当时虽然身在北京，但仍然关心和指导科大近代力学系的教育和教学工作。他对从合肥前来北京向他求教的近代力学系负责教学和科研工作的主任助理就学生赴沈阳应去哪些航空工厂和研究所实习的事，依然非常认真负责地提出细致、中肯的意见和建议。这件事同样表明，钱学森先生全心全意为人民服务，心系祖国教育事业和人才培养工作的精神永不泯灭！

钱学森先生曾坦言：

“我的事业在中国，我的成就在中国，我的归宿在中国。”

“我作为一名中国的科技工作者，活着的目的就是要为人民服务。如果人民最后对我一生所做的工作表示满意的话，那才是对我最高的奖赏。”

钱学森是一位爱国、杰出的战略科学家，可谓高风亮节，国之瑰宝。他的教育思想、教育实践、办学和人才培养方略与他的科学成就一样，同样极具价值。为了国家的未来，为了培养人才这第一资源，我们有责任学习、研究和弘扬他的教育思想与教育实践。



2021年7月16日上午于张瑜教授北京家中



創寰宇學府
育天下英才

中國科學技術大學
建校三十周年誌慶

嚴濟慈

一九八八年五月

