

钱学森青年成才的关键因素

朱亚宗

(国防科技大学 文理学院, 湖南 长沙 410073)

摘要: 本文对钱学森28岁即成为顶尖人才的关键因素进行了分析, 认为天赋的早期开发、敏锐的方向意识、大师的专业引领和科艺的交叉融合是钱学森成长为杰出人才的重要因素。本文的研究期望对中国教育模式的多元化和年轻顶尖人才的培养有所启示。

关键词: 钱学森; 顶尖人才; 关键因素

中图分类号: G640 **文献标识码:** A **文章编号:** 1672-8874(2019)04-0005-08

The Key Factors of Qian Xuesen's Success as a Young Talent

ZHU Ya-zong

(College of Liberal Arts and Sciences, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: This paper analyses the key factors of Qian Xuesen's success as a top talent at the age of 28. Early development of talent, keen sense of direction, master's guidance and integration of science and art are important factors for him to grow into an outstanding talent. This paper hopes to shed light on the diversification of education mode and the cultivation of young top talents in China.

Key words: Qian Xuesen; top talents; key factors

年青的顶尖人才是任何领域的稀缺资源, 他们创造的奇迹是人类文明进步的强大动力。科学技术发展史上, 年青的顶尖人才更是大显身手, 有些人甚至成为各学科专业的巨星。爱因斯坦26岁创立狭义相对论和光电效应理论; 玻尔28岁提出新的原子结构理论; 马可尼24岁使无线电波越过英吉利海峡, 实现首次国际通信; 海森伯24岁创立量子力学理论; 费米25岁提出费米统计理论, 33岁发现原子能工程技术基础的慢中子效应; 格拉塞26岁发明检测微观粒子的实验新装置——气泡室; 库珀27岁、施里弗26岁提出微观超导理论(BCS理论); 格拉肖29岁提出弱电统一理论; 沃森25岁发现DNA双螺旋结构; 华罗庚28岁完成了数论中三角和的积分平均估计; 吴文俊32岁创立了拓扑学的“吴方法”; 钱伟长29岁创立弹性力学的“钱伟长公式”; 杨振宁32岁创立规范场

理论; 李政道30岁、杨振宁34岁提出宇称不守恒定律; 钱三强33岁发现铀核的三分裂和四分裂现象。本文事主钱学森则在28岁与导师合作提出“冯·卡门-钱学森近似”, 登上了空气动力学的世界最高峰。

对这些年青的顶尖人才, 人们予以极大的关注, 并表示惊叹和崇敬。但是从教育学和人才学的视角看, 目前中国仅有的严厉的升学淘汰而平常考试容易过关的教育机制, 似乎更适合于培养按部就班逐渐成长的人才, 这种成才途径成才过程较长, 适合于大多数人, 诚如曾国藩所言, “古来如颜子立德, 周郎立功, 贾生立言, 均在少壮。然千古曾有几许? 其余贤哲代兴, 树立宏达, 大抵皆在四十岁以后耳。以仲尼之圣而不惑亦待四十”^[1]。问题是, 年青的顶尖人才科技贡献影响力巨大而持久, 虽然稀缺, 仍然层出不穷, 代不乏

人。而且这类人才可以超越常规、快速成长、直达峰顶。识别、选拔和培养这类顶尖人才,是中国建设科技强国的需要。深谙中西高等教育特点的钱学森经深入思考后指出,“问题在于,中国还没有一所大学能够按照培养科学技术发明创造人才的模式去办学……没有自己独特的创新东西,受封建思想影响,一直是这个样子。我看,这是中国当前的一个很大问题”^[2]。钱学森在谈话中回顾了自已攻读博士学位并工作过的美国加州理工学院,指出它在培养杰出人才方面的非凡成功:“光是为中国就培养出许多著名科学家。钱伟长、谈家桢、郭永怀等等,都是加州理工学院出来的……我们中国学生到加州理工学习的,回国以后都发挥了很好的作用”^[3]。加州理工学院为中国培养的著名科学家,多在年青时快速成为顶尖人才,至于如何快速造就年青的顶尖人才,钱学森结合自身的经历和体会,指出了两个重要方面:一是“创造精神的熏陶”,二是“提高艺术素养”^[4]。这对于现行的人才培养模式是一种观念革新,对于总结快速造就年青顶尖人才的规律有重要的启示作用。但是快速造就年青顶尖人才的因素并不止这些,当代世界和中国教育界虽有一些试验和探索,然而迄今未有成熟公认的相应教育模式。规律的探索途径似有两条:一是继续少年班、钱学森班、华罗庚班等试验总结工作;二是深入分析少成大器的杰出科学家的成才经历,通过一批个案研究而得到某些规律性认识。本文下面以快速成为年青顶尖人才的典型钱学森为案例,尝试深入分析促进其快速成才的关键因素。

钱学森以第一名毕业于国立交通大学(以下简称交通大学),又以提出“冯·卡门-钱学森近似”获加州理工学院博士学位,28岁即成为空气动力学领域世界顶尖科学家。究其快速成长的原因,大致而言,钱学森天赋卓异,得中外最优秀的教育资源,又有主观能动性的充分发挥。笔者初步研究认为更深入的具体分析表明,有四个方面的关键因素使钱学森快速成为顶尖人才。

一、天赋的早期开发

1924年1月17日,钱学森就读的北京师范大学附中邀请到鲁迅先生来校作了《未有天才之前》的著名演讲。鲁迅阐述了天才与后天培养之间的辩证关系:“不但产生天才难,单是有培养天才的

泥土也难。我想,天才大半是天赋的;独有这培养天才的泥土,似乎大家都可以做。做土的功效,比要求天才还切近;否则,纵有成千成百的天才,也因为没有泥土,不能发达,要像一碟子绿豆芽。做土要扩大了精神,就是收纳新潮,脱离旧套,能够容纳,了解那将来产生的天才;又要不怕做小事业……泥土和天才相比,当然是不足齿数的,然而不是艰苦卓绝者,也怕不容易做”^[5]。读初一的钱学森听后有什么感想不得而知,少年钱学森是不是天才的苗子也难以说清。但是,自家庭教育到北师大附小,再到北师大附中,钱学森有幸遇到了当时社会条件下最优异的早期教育,并在这样的培育条件下茁壮成长,于人生起步阶段就成为全面发展的优生。

钱学森出生于杭州一个富裕而有文化品位的家庭,父亲钱钧夫毕业于日本高等师范学校史地科,回国后任浙江两级师范学堂史地科教员,兼任浙江高等法政学校心理及伦理教员,后又任浙江省立第一中学校长,1914年赴北京出任北洋政府教育部视学,是鲁迅的同事与友好。钱钧夫是一位思想开明的教育家,并不遗余力地培养钱学森。钱学森后来称父亲是“我的第一位老师”,并高度评价父亲兼顾文理的教育理念及做法:“我的父亲钱钧夫很懂得现代教育,他一方面让我学理工,走技术强国的路;另一方面又送我去学音乐、绘画这些艺术课。我从小不仅对科学感兴趣,也对艺术有兴趣”^[6]。钱学森的母亲章兰娟是大家闺秀,仁厚纯朴,不仅在品性方面引导孩子行善,而且“章兰娟颇有几分数学天赋,心算很快,在钱学森小时候,她常跟钱学森做心算游戏,从小培养了钱学森的数学爱好”^{[7]⁶⁰}。

1917年9月,尚不足6岁的钱学森进入国立北京女子高等师范学校附属小学读书,3年后又转入国立北京高等师范学校附属小学,这是当时北京最好的高小,也是最有气派、最漂亮的小学,校长由北京高等师范学校校长陈宝泉兼任,这位高校校长为这所小学拟定了非常先进的办学宗旨:“吸纳世界最新学理加以试验,为全国小学改进之先导。既为实验,须敢为前人所不为之事,创前人所未创之先”^{[7]⁶⁵}。

钱学森在北师大附小接受的是当时中国最好的小学教育。一方面是优中选优的精英模式;另一方面,又是开明的现代性教育,“钱学森幸运地躲过了当时刻板、严酷的中国传统教育。在这里

很少体罚，教师们即使生气时也不会对学生大声呵斥。这里的教育哲学是身教胜于言传”^{[8]11}。在具体知识学习方面，文理兼顾，平衡发展，老师的素质也很高。钱学森后来回忆说：“记得我在师大附小读书时，级主任于士俭老师教我们书法课，小学生可以按照自己的爱好，选择颜真卿、柳公权、欧阳询、赵孟頫等人的字帖临写，老师如果看学生写得不好，就坐下来，照着字帖临写一个字，一笔一画地教，他写什么体的字，就极像什么体的字，书法非常好，使你不得不喜爱书法艺术”^{[7]166}。幼年的钱学森在师大附小和父亲钱钧夫的教育下，形成了探索自然的兴趣和热爱艺术的情性。小学毕业后，钱学森顺利进入中国第一流的中学——国立北京师范大学附属中学。上世纪20年代的中国，大学尚不普遍，高水平中学常常是藏龙卧虎之地，北师大附中更是名师辈出，在深刻影响过钱学森的12位老师中，北师大附中的老师最多，占7位，这些老师当时资历不深，但身手不凡，潜力巨大。其中伦理学老师林砺儒后来成为国学大师，解放后出任教育部副部长；几何老师傅钟孙后来成为著名数学家，曾任北京师范大学副校长；美术老师高希舜后来成为国画大师；国文老师董鲁安后赴解放区，解放后当选为政协第一届全国委员会委员。钱学森回忆说，“那个时期高中分一部、二部，一部是文科，二部是理科，我在理科。高中毕业时，理科课程已经学到我们现在大学的二年级了……讲附中那时的情形，有点像神话……我们的美术老师高希舜（后来成为著名的国画大师），暑假里开办暑期绘画训练班，教画西洋画，父亲很支持我去，我买不起油彩就用水彩学画，也学画中国画。后来我画得还不错。国文老师是董鲁安，他思想进步，常在课堂上议论时弊，厌恶北洋军阀，欢迎国民革命军北伐，教我们读鲁迅的著作和中国古文学作品，到了高中一年级时，我对用文言写文章小品特别感兴趣。我们的音乐老师也非常好，上课时，他用一部手摇的机械唱机（当时没有电唱机）放些唱片，教我们学唱中外名曲，欣赏各种乐曲，如贝多芬的第九交响曲等，后来，贝多芬憧憬世界大同的声响，一直在我心中激荡”^{[7]71-72}。自然科学方面，傅钟孙老师的几何课非常吸引学生，有一段关于数理哲学的论述对钱学森有极大的震撼：“我讲的道理是纯推理，得出的道理，不但在教室里是如此，在全中国也是如此，不但在全中国如此，在

全世界也是如此；就是到了火星上，也还得如此”^{[9]14}！这无疑为少年钱学森开启了科技哲学思想的大门。

一个人天生的秉赋无法纯粹显现，天才也需要一定教育条件的滋养，而有幸受到优异中小学教育和家庭教育的钱学森，天才潜质在少年时代即已明显展现。虽未显示出控制论创立者维纳或杨振宁早年那样的科学才华，更没有像16岁的爱因斯坦，已经深入物理学前沿，并提出启示相对论的“追光理想实验”。但是，钱学森还是创造了旧中国人才成长的奇迹：一个集合了中国优秀传统教育与西方现代教育优长，而在思想、人格、科学、人文等领域全面发展并远远超越一般中小学生的优异生。在初小升高小时，北京市大约有1600名学生报考北师大第一附小，录取名额只有160名。“然而，钱学森却是例外。他的学习成绩十分突出，以至于老师将他作为保送生之一……老师为他下了‘学业上、身体上和精神上都出类拔萃’的评语”^{[8]13}。钱学森的中学与小学同学，后来的两院院士张维回忆说，钱学森是个极为聪颖的小男孩，叠的纸飞机比谁飞得都快都高，“他叠得非常精细，非常小心，让机身严格对称，折痕又光又平。这样，当飞机掷出时，就可以很稳定地飞很远。从这个小游戏就能看出，尽管年纪还小，要做什么事的时候，他就已经习惯于周密思索，用科学的办法达成目的”^{[8]12}。不仅科学素质优异，少年时代的钱学森已确立远大的志向，心中把科学大师爱因斯坦作为自己的偶像。钱学森还从图书馆“借了《相对论》，带回家天天翻看，晚上躺在床上想象宇宙中的星球……翻来覆去睡不着，他觉得这玩意儿真是太有意思了。钱学森就这样迷上了相对论”^{[9]15-16}。在艺术上，钱学森也有非凡的兴趣和才华。多年以后，“他告诉自己的儿子钱永刚，如果没能成为一名科学家的话，他很可能会当一个画家”^{[8]12}。此时的钱学森虽是少年，但已是文理兼修，才气毕露，犹如升火待发的巨轮，可以驶向任何一片自己向往的知识海洋。1929年，18岁的钱学森以第三名的成绩考入交通大学。

二、敏锐的方向意识

外在教育是成才的重要条件，在人生的早期可能起决定性作用。但是到一定的学习阶段，个

人的主观能动性可能成为成才的关键因素。其中预测能力极为重要,这涉及价值观与智商等多种因素,它将决定年轻人的方向选择。当然,实际情形异常复杂,不仅因人而异,而且因学科专业而异,因时因势而异。钱学森快速成长为顶尖人才的过程,同时也是钱学森在人生与学科专业上,形成敏锐的方向意识和很强的预测能力与选择能力的过程,并由此开启了钱学森一生8次专业成功转向的先河。具体来说,早期钱学森有三次重大的方向性选择:

第一次是高考时选择了交通大学的铁道机械工程专业。

进入高中三年级后,“钱学森开始考虑上大学的问题。在一次班级组织的远足旅行中,他参观了两所北京城里最好的学校——清华大学和北京大学。他的同学回忆道,钱学森非常细心地考察了两所学校的实验室,并给出了敏锐精确的评价”^{[8]19}。以钱学森的学习成绩,可以考入全国任何一所名牌大学,但是钱学森没有选择清华和北大,钱学森有自己的人生大目标,没有为名而名的虚荣心。“他充满着‘实业救国’的理想,即‘习西夷之长,救中国之短’。那时候,他关注的目光是在铺轨上飞驰的火车……中国的国土如此辽阔,大批铁路亟待兴建。钱学森决心献身于‘铁道救国’”^{[7]76-77}。最终报考了交通大学的铁道机械工程专业,这是全国排名第一的学科专业,并以总分第三名的成绩考入交通大学。钱学森的这一选择是综合考虑个人兴趣、已所擅长与社会需要的选择,是志存高远、奉献社会而脚踏实地的选择。令人惊赞的是,尚未读过马克思著作的钱学森,18岁时选择志愿的原则竟与青年马克思关于职业选择的考虑如出一辙。1835年,17岁的马克思撰写了《青年在选择职业时的考虑》一文,提出青年人选择职业时,不要用“辉煌的光彩……激起虚荣心”,不要“为名利的恶魔所诱惑”,也不能“为激动所欺骗,为轻率所引诱”,也不宜选“力不胜任的职业”^{[10]68-69}。马克思指出:“我们在选择职业时所应遵循的主要指针,是人类的幸福和我们的自我完善。不能认为这两种利益会彼此敌对,互相斗争,一方必然要消灭另一方;人类的天性生成是这样:人们只有为了同时代人的完善、为了他们的幸福而工作,他自己才能达到完善。如果人只是为了自己而劳动,他绝不可能成为真正的完人和伟人”^{[10]70}。在第一次

面临职业选择时,钱学森虽无马克思那样的理论深度,但是超越自我与自我完善相统一的基本思想不谋而合,这一人生起步的高尚境界,是钱学森天才秉赋的重要内涵,预示着钱学森不可限量的前程。

第二次是赴美留学转向航空工程。

难能可贵的是,青年钱学森的这次转向也是超越纯粹专业层次的综合性人生选择。钱学森不仅以第三名的优良成绩进入交通大学,而且大学期间全面发展,成绩名列前茅。当时,推行严厉的精英教育,考试分数在70~80分之间已属不错,“有的班级到二年级时尚有2/3的学生,到毕业时只剩下1/3的学生了。各科成绩平均达80分以上的学生很少”。而钱学森平均成绩大都超过90分^{[7]86}。大学时期,钱学森因品学兼优而获得免缴学费等多种奖励。1934年,又以89.10分的总平均成绩,以第一名毕业于机械工程学院。

取得这样骄人的成绩,铁道工程又是国内吃香的专业,从事铁路方面的工作,时称“铁饭碗”。“钱学森几乎可以万无一失地在交通部谋得一份起薪60元大洋的铁路设计师的美差,这足以让他过上相当舒适的生活”^{[8]33}。然而,钱学森的价值观是如此不同,他不想止步于此。大学就读期间爆发的上海“一·二八”事件深深地触动了志存高远的青年钱学森。1932年1月28日午夜,爆发了震惊中外的“淞沪抗战”,日本军国主义肆无忌惮地侵略中国,凭借空中优势,在上海狂轰滥炸,军民惨遭杀戮。十九路军抵抗失败,国民政府与日本签订了丧权辱国的《淞沪停战协定》。淞沪抗战的失败极大地影响了当时的舆论,钱学森父亲钱钧夫的好友鲁迅在上海《申报》发表《航空救国三愿》,文章指出:“只有航空救国较为别致,是应该刮目相看的”^[11]。上海还修建了一幢“飞机楼”,从空中俯瞰,状如飞机。一时,孙中山早年提出的“航空救国”理念变成社会热潮。“在‘航空救国’的热潮中,钱学森决意为‘航空救国’做出自己的贡献。他得知交通大学由外籍教师H·E·Wessman开设了航空工程课程,就于1933年下半年开始选修这门课程,两学期平均成绩为90分,是选修这门课程的14名学生中成绩最好的一个”。钱学森回忆说,还到图书馆借读了“飞艇、飞机和航空理论的书……美国火箭创始人戈达德的书也借来看……还借过一本英国格洛尔写的专讲飞机机翼气动力学理论的书来读;当时

虽没完全读懂，但总算入了空气动力学理论的门，这是我后来从事的一个主要专业”^{[7]91}。有这样博大的家国情怀和超强的学习能力，钱学森于1934年参加了清华大学留美公费生考试，并成为唯一的航空门留美研究生。

第三次是从美国麻省理工学院转学加州理工学院，师从空气动力学大师冯·卡门。

关于钱学森离开麻省理工投奔加州理工冯·卡门的原因，一般认为是环境所迫被动而为：“美国飞机制造厂只准许美国学生去实习，不接纳外国学生”^{[7]112}。其实，外在环境限制和压力只是部分原因，不能去飞机工厂，还可以从事飞机设计，钱学森进入航空的引路人——清华大学教授王助，在麻省理工学院获硕士学位后，曾被聘为美国波音公司总设计师。钱学森离开麻省理工还有自我完善和扬长避短的高层次主动追求。据研究，钱学森在麻省理工攻读硕士期间探讨的是湍流边界层问题。当时的麻省理工特别重视实验，与钱学森擅长理论而弱于动手的特点不合，再加上在当时科技水平下，湍流边界层问题不可能通过实验获得重要结果。据钱学森的一位朋友A·费耶尔回忆，“钱学森曾经对他说，当他跟项目主任杰罗姆·亨塞克表达他对航空项目过于重视实验的不满时，亨塞克回答道：‘听着，如果你不喜欢这里，你最好回中国去’”^{[8]46}。在旧中国的教育环境和家庭条件下，国内培养的优秀理工类学生，绝少能如王淦昌那样兼具理论与实验两方面优长，而多似杨振宁、钱学森一般擅长理论而弱于动手。麻省理工时代的钱学森尽可在理论方面傲视同侪，但在重实验轻理论的氛围下较少成就感也是自然的，这与他后来只是高评师大附中与加州理工学院两所学校是一致的。钱学森有家国情怀与自我完善高度结合的马克思式的精神追求，天赋、兴趣与训练使他更适合在高水平的理论平台上发展，而不适于在偏重动手实验的氛围中成长。钱学森毅然离开麻省理工到加州理工冯·卡门麾下发展，表明钱学森不仅在宏大的价值取向上有崇高的选择，而且在具体专业选择上也有切实而准确的方向意识。

经过上述三次兼顾社会需求和自我完善的非凡选择，年青的钱学森已似渴望攀登珠穆朗玛峰的登山队员来到了珠峰大本营，只差登顶的最后准备和冲刺。

三、大师的专业引领

钱学森一生的一大幸运是在专业发展的关键时刻，遇见了“超音速飞行之父”冯·卡门。冯·卡门是现代流体力学第一代大师普朗特的传人，德国哥廷根大学教授，以发现流体尾流的“卡门涡街”而享誉学术界，这一科学发现已成为飞机、轮船、赛车设计的理论基础之一。后来其领导的团队又在超音速飞行、火箭研究方面引领世界。1934年冯·卡门从欧洲移居美国，而钱学森恰在1934年考取航空工程专业的留美研究生，1935年赴美学习一年后，在麻省理工学院获得硕士学位，为求更好的专业发展，钱学森投师冯·卡门，而冯·卡门也十分欣赏钱学森的敏锐思维和过人智慧。天才的导师遇到天才的学生，又十分投缘、互相欣赏，并有攀登科学新高峰的共同目标和愿望，必可待“会当凌绝顶，一览众山小”的境界。杨振宁留美未有这样的好运，与名师泰勒的学术风格殊异，一喜爱理论一擅长实验；李政道留美师从学术泰斗费米，但费米肩负原子弹研发的秘密任务，不可能与李政道共进退；王淦昌留德时的导师迈特纳也是大家，但学术敏感性不能共鸣，以致否定王淦昌提议的有可能发现中子的实验设想。钱学森遇见相契的名师大家是何等幸运。

转入加州理工学院的钱学森尽管非常优秀，并有巨大的发展潜力，但是转学的空气动力学专业，与交通大学的铁道机械工程专业不属同一门类，与麻省理工学院的航空工程专业，也有科学与工程的重大区别。在冯·卡门的指导下，研究生期间临时转专业的钱学森，竟从补专业基础课开始，仅用短短3年时间就攀登空气动力学的科学峰顶，提出著名的“冯·卡门-钱学森近似”，未满28岁即跻身世界顶尖科学家之列，创造了人才学和教育学的一个奇迹。在通向顶尖人才的道路上，由于冯·卡门的具体指导和示范效应，钱学森在以下几方面飞速成长：

（一）空气动力学专业基础与专业知识的补课

鲁迅先生曾感叹中国文学青年的不幸是缺少文艺家教。学自然科学的青年也一样，钱学森天赋优异，自小数理能力出众，但是缺乏数理方面的家教，钱学森的父亲钱钧夫是文科知识分子，不像杨振宁的父亲杨武之是留美数学博士、大学数学教授。钱学森大学本科就读的是铁道机械专

业,“那时候,上海交大课程是以美国工科高等学校为楷模设置的,基础内容比较贫乏,数学只学到高等微积分、常微分初步;物理课没有原子物理、量子力学;化学课程没有分子结构等……自从1935年夏来到美国学习,他逐渐感到需要充实基础知识。特别是来到加州理工学院搞高速飞行问题研究时,矛盾就更加突出了。钱学森下定决心,一定要补上欠缺的知识,他如饥似渴地去研究现代数学、偏微分方程、积分方程、原子物理、量子力学、统计力学、相对论、分子结构、量子化学等现代科学技术的基础理论。开始研究空气动力学的时候,钱学森遍阅各国有关空气动力学的文献,力求掌握这门科学的全貌。他每天工作十几小时,白天一半时间看书,一半时间讨论,晚上接着再搞。这样苦战三年以后,他不仅掌握了这门科学的根本,而且已经站到了这门学科的最前沿,为攀登新的科学高峰做好了准备”^{[12]8-9}。

钱学森下苦功厚实基础,符合高水平科技创新人才的训练要求。钱学森求学期间三学高等数学(北师大附中、交通大学、麻省理工与加州理工),“三年出货”(钱学森语,指1935~1938年的基础学习),等于掌握了一柄斧背厚重的斧子,再加上锋利的刀口(创新思维与方法),就能所向披靡。事实上,钱学森立足深厚的基础知识进行航空器结构研究时,仅用一年时间(1939年)就取得重大突破。钱学森以切身的经验告诫后学:“有些年轻人觉得三年出货太慢,很着急,可是做研究工作性急是不行的。基础打得不牢,总是要吃亏的,一定要先积下足够的看家老本”^{[12]9}。

(二) 高效的学习与研究方法

理论学习与研究的效率,一方面决定于思维能力与基础知识,另一方面也与经验诀窍有关。这些诀窍以专业的知识与理论为基础,但又是隐性的个体性知识或经验,一般难以在正规的专业书籍上见到,而靠师徒间的传授与后学者的悟性。钱学森从冯·卡门示范中悟到的一个方法是如何高效阅读与评价一篇论文。“有时候,钱学森请卡门审阅论文,而论文的内容卡门事先并未研究过。但卡门把一篇论文拿到手后,先把第一页看一看,然后顺手很快一页一页随便翻过去,最后再把结论看一下,便立刻发表自己的意见。开始,钱学森感到有点‘神秘’。后来,他才知道这无非是因为彻底熟练地掌握了这门学科的结果,而且他也慢慢能这样做了。原来,冯·卡门看第一页主要

是了解论文提出了什么问题,作者对这个问题看法如何,以及作者用什么方法解决这个问题等等。由于卡门对这门学科彻底掌握了,因此虽然自己没有研究过这个具体问题,但是一看到论文的作者用了什么方法,就能大致估计这个方法对不对头,这种方法大致应导致什么样的结果。最后,再看看论文的结果,和自己的估计相差远不远。如果相差很远,甚至结果相反,那么论文本身就很可能有问题”^{[12]9-10}。

(三) 攀登空气动力学高峰的方向和路径指导

钱学森在攻读博士学位期间,冯·卡门不仅在学术方向上引领钱学森进入空气动力学研究的国际前沿——高速空气动力学领域,而且指明了正确的突破路径。从低速飞行转变为高速飞行时,一个重要问题是空气阻力与热效应将会发生怎样的变化?当时的科技文献普遍认为,在高速的超声速飞行中空气阻力主要是击波阻力,表面摩擦阻力并不重要。冯·卡门建议钱学森深入探讨这一理论问题,面对高速飞行时空气密度显著变化,导致数学方程不再是线性,而产生求解方程困难的问题,冯·卡门预先给钱学森以深入具体的指导,《钱学森手稿》一书影印了冯·卡门提出的3页书面指导意见,在这一资料中,导师冯·卡门建议钱学森试试冯·米塞斯的方法和逐次迭代近似方法。钱学森遵照导师的指导,运用所建议的数学方法,成功地将低速不可压缩流动的解推广到可压缩流动情形,并得出两个创新的结论:一是高速飞行器的摩擦阻力超过击波阻力,二是当飞行马赫数增大到一定数值,飞行器表面的热效应会十分显著,高速飞行会面临新的障碍——“热障”^{[13]1-2}。这一创新研究成果写成博士论文时,冯·卡门还亲笔作了多处重要修改,完稿后成为钱学森博士论文的一部分。

冯·卡门接着指导钱学森攻克另一个空气动力学难题——飞行器高马赫数飞行时的表面压力。当时风洞实验技术有限,不能通过风洞试验直接获得高马赫数飞行器的表面压力,而必须借助数学方法,将低马赫风洞试验数据修正为高马赫数条件下的数据。这一数学方向的研究,1902年俄国查普雷金在博士论文中创造了一种“速度图法”,把非线性方程化为线性方程,又建议将等熵关系曲线用它的切线来代替,进一步简化了方程,后经丹姆千科与布兹曼改进后,可以对低马赫数(小于0.5倍声速)飞行作近似计算。冯·卡门谙

熟这一路径的发展历史和前沿问题，“凭着对物理问题的洞察力，建议作者（钱学森——引者）在求解由速度图变换得到的线性方程时，用来流状态处的切线作近似，结果可能更好。钱学森证明，虽然同样是切线近似，采用 Karman - 钱所用的来流状态处的切线近似，可以计算高亚声速的流动，而且得到很精确的计算结果……在第二次世界大战及战后一个相当长的时期，在现代计算手段——电子计算机出现以前，这一近似计算方法被广泛应用于飞机翼型的设计，且被人们称为‘Karman - 钱近似’方法”^{[13]39-40}。训练有素而聪慧刻苦的钱学森由于导师冯·卡门的指引，在攀登科学高峰时势如破竹，仅用一年时间，未满 28 岁的青年钱学森就站立空气动力学峰巅，获得航空与数学双博士学位，成为享誉世界的杰出科学家。

此外，钱学森还从导师冯·卡门的示范中学到高水平的集体研究方式——学术讨论班，以及科学技术的组织管理才能，并创造出面向开放复杂巨系统的从定性到定量的综合集成研讨方式，成为一代学术大师和科技帅才。

四、科艺的交叉融合

从古到今的科学文化与人文文化一直存在不同程度的分裂，在近代科学异军突起并高度专业化后，这种分裂现象还有所加剧。但与此同时，不争的事实是，人类文化史上科学与人文兼修乃至双创，或者说科艺双馨的复合型人才培养层出不穷。在中国古代，张衡是一流的天文学家和一流的汉赋作家；沈括的《梦溪笔谈》，是中国历史上首屈一指的科学与人文创作兼得之作；徐霞客的游记则是地质地理科考与旅游写作合璧的千古奇书；近现代丁文江也是一流的地质矿产专家兼文化学者，竺可桢、苏步青、华罗庚、杨振宁、李政道等科学大师均有高度的人文修养。在西方，达·芬奇是文艺复兴时代的科学大师和伟大的艺术家；康德是德国古典哲学的重镇，也是人类第一个天体演化科学假说的提出者；电磁场理论的创立者麦克斯韦，在爱丁堡上中学时，不仅数学比赛获第一名，诗歌比赛也获最高奖；量子力学的先驱普朗克有很高的钢琴演奏水平；相对论创立者爱因斯坦则是小提琴高手。

钱学森也是一位跨越科学与人文两种文化而

全面发展的杰出人才。“钱学森从幼年开始就喜欢背诵诗词、学绘画（师从国画大师高希舜），后来有人在香港看到钱学森早年的绘画习作售价不菲；少年时代又喜欢写作韵文，爱好摄像和音乐，以至于中学毕业时老师认为他如果报考中文，也许会成为一代文学大师；在上海交通大学上学时，钱学森是学校出色的圆号手……1935 年他发表在《浙江青年》（1935 年第 1 卷第 4 期）上的《音乐与音乐的内容》一文……表明他在音乐方面已经具备独特而深刻的见解”^{[14]244}。看《钱学森手稿》中的书写，无论是英文、数字、图表、公式都非常整洁、娟秀而流畅。课堂板书之整齐、流畅也如艺术品，随手画出的一条火箭洲际飞行曲线，无工具绘制之刻板，有书法线条之灵动，曲线之优美流畅，令人惊赞。后来钱学森还深入研究建筑艺术与园林艺术并有独到见解，而且从艺术的爱好发展到对美学、哲学的理论研究，读过普列汉诺夫的《艺术论》、布哈林的《辩证唯物论》等名著，直到最后学习钻研马克思主义。

文化史和人才学的现象表明，科、艺兼得的人才往往有非凡的创新精神和创新能力，而且快速成名的青少年英才中有不少人科艺双馨、全面发展。那么，科艺双馨的全面素质究竟如何影响一个人的成长发展和创造能力呢？可以说，这是一个至今尚未破解的人才学、教育学与认识论的重大课题，科艺双馨而成就卓越的大师虽然也无法明确说出从科学与艺术相结合通向成功的具体机制，但是他们的某些回忆、思考和总结，可以为进一步研究提供重要的启示。

爱因斯坦是有高度艺术修养的科学大师和哲学家，他曾回忆广义相对论创立时的原始思维过程：“有一天，我正在伯尔尼专利局的一张椅子上坐着，一种想法突然袭上心来：如果一个人自由落下，他将不会感到自己的重量。我不禁大吃一惊，这个极简单的思想，给我以深刻难忘的印象，并把我引向引力理论。沿着这条思路我继续想：下跌者在加速，他的感觉和判断都发生在加速参照系中，于是我决定把相对论扩展到加速参照系中。我觉得这样一定可以解决引力问题”^{[15]131-132}。启迪广义相对论的“人自由落下”的想象，与启迪狭义相对论的“追光”想象，有异曲同工之妙。爱因斯坦最伟大的两项科学而创造——狭义相对论和广义相对论，它们创新过程的思维结构与思维程序惊人地相似，均由形象思维产生的非凡想

象力引发,然后再运用严密的抽象思维进行定量论证。这样的科学创新经验,使爱因斯坦大胆地将想象力在科学研究中的地位和作用,提到前所未有的程度:

“想象力比知识更重要,因为知识是有限的,而想象力概括着世界上的一切,推动着进步,并且是知识进化的源泉。严格地说,想象力是科学研究中的实在因素”^[16]。奇妙的大自然深处的科技规律常常蕴藏在美的形式之中,科学研究的成果也常常呈现“真即是美”“美即是真”的科学之美。甚至有的科学家开辟了以美启真的科学探索路径,最典型的是麦克斯韦和狄拉克的科学创新。麦克斯韦比较前人发现的电磁规律时发现,安培定律与法拉第电磁感应定律不相对称,也即法拉第定律反映了变化的磁场可以感生电场,而安培定律却没有反映变化的电场可以感生磁场,麦克斯韦便径直从对称性的美学考虑出发,在安培定律中添加一项E,意即变化的电场可以产生磁场,与法拉第发现的变化的磁场可以产生电场的规律相对称,对于麦克斯韦从美学判断出发的大胆科学猜测,杨振宁予以高度评价:“加了这一项,就变成相容的了。而且又不违反原来法拉第的定律和安培的定律。这是物理学史上一个非常重要的发展。这样,他的方程组就有了完美的对称形式,有了这四个方程,再利用数学方法,麦克斯韦竟然推出电磁场的波动方程,而且发现光也是一种电磁波”^{[15]102-103}。狄拉克也主要从美学性判断出发,构造出狄拉克方程,最终以美启真,不仅从理论上创立量子场论,而且预言的正电子被观测证实,成功开辟出人类探索反物质的科学新方向。

钱学森关于高速空气动力学的创新性研究,在冯·卡门的指导下,也是先有流线模型的形象思维,并有形象化的流线切线想象,然后再运用流体力学方程和相关数学方法进行定量计算。高速空气动力学的创新性研究,必须形象思维与抽象思维交叉运用,互补融合,而钱学森既具备高度的艺术修养,又拥有坚实的科学理性基础,是完成这一重大科学使命的极佳人选,当历史机缘降临的时候,钱学森就成为揭示大自然奥秘的杰出人才。富于哲学探索兴趣的钱学森后来结合自己的科技创新实践经验,对科艺交叉融合的方式与机制进行了有价值的探讨:“从思维科学的角度

看,科学工作总是从一个猜想开始的,然后才是科学论证。换言之,科学工作是源于形象思维,终于逻辑思维。形象思维是源于艺术,所以科学工作是先艺术,后才是科学……在过去,人们总是只看到后半,所以把科学与艺术分了家,而其实是分不了家的。科学需要艺术,艺术也需要科学”^{[14]249}。

科学与艺术之间迷人的关系,人类虽然知之甚少,但是科艺的交叉融合可能催生重大科技创新已是不争的事实,而科艺双馨无疑是钱学森快速成长为杰出人才的重要因素之一。

参考文献:

- [1] 唐浩明. 曾国藩书信[M]. 长沙:岳麓书社,2016:235.
- [2] 涂元季,顾吉环,李明. 钱学森的最后一次系统谈话[N]. 人民日报,2009-11-05.
- [3] 涂元季,顾吉环,李明. 钱学森的最后一次系统谈话[N]. 人民日报,2009-11-05.
- [4] 涂元季,顾吉环,李明. 钱学森的最后一次系统谈话[N]. 人民日报,2009-11-05.
- [5] 鲁迅全集:第一卷[M]. 北京:人民文学出版社,1981:169.
- [6] 涂元季,顾吉环,李明. 钱学森的最后一次系统谈话[N]. 人民日报,2009-11-05.
- [7] 叶永烈. 钱学森[M]. 上海:上海交通大学出版社,2010.
- [8] 张纯如. 钱学森传[M]. 北京:中信出版社,2011.
- [9] 涂元季,莹莹. 钱学森故事[M]. 北京:解放军出版社,2011.
- [10] 中国共产主义青年团中央团校. 马克思、恩格斯、列宁、斯大林论青年[M]. 北京:中国青年出版社,1980.
- [11] 鲁迅全集:第五卷[M]. 北京:人民文学出版社,1991:16.
- [12] 文洋. 钱学森在美国:1935-1955[M]. 北京:人民出版社,1984.
- [13] 郑哲敏. 钱学森手稿[M]. 太原:山西教育出版社,2000.
- [14] 王文华. 钱学森学术思想[M]. 成都:四川科学技术出版社,2007.
- [15] 杨建邺. 物理学之美[M]. 北京:北京大学出版社,2019.
- [16] 爱因斯坦文集:第一卷[M]. 许良英,李宝恒,赵中立,等,译. 北京:商务印书馆,1977:284.

(责任编辑:王新峰)