

才华卓异 垂范后学

——忆中国巨型计算机之父慈云桂院士

朱亚宗

(国防科技大学 军政基础教育学院, 湖南 长沙 410073)

摘要: 人才强国已成为国家三大发展战略之一, 杰出人才的研究亟待加强与深化。本文尝试对一流科技领军人才、中国巨型计算机之父慈云桂院士的科技领导素质与才能进行深入分析。慈云桂作为中国多代电子计算机研发团队的领军人物, 具有敏锐的科技方向意识、高超的科技攻关运筹才华、智慧的科技平台选择与打造能力。慈云桂的科技领军才能, 不仅是中国巨型计算机战略大工程成功研发的重要保证, 也为中国一流科技领军人才的遴选、培养与使用提供了启发与借鉴。

关键词: 科技领军人才; 慈云桂; 巨型计算机; 科技攻关管理能力

中图分类号: G640 **文献标志码:** A **文章编号:** 1672-8874 (2023) 01-0053-10

A Role Model with Outstanding Talent: In Memory of Academician Ci Yungui, Father of Chinese Supercomputers

ZHU Ya-zong

(Undergraduate School, National University of Defense Technology, Changsha 410000, China)

Abstract: As strengthening the country with talents has become one of the three major national development strategies, research into outstanding talents needs to be strengthened and deepened. This paper attempts to make an in-depth analysis of the leadership qualities and talents of Academician Ci Yungui, a leading talent in science and technology and the father of China's giant computer. As the leader of China's computer research and development team, he had a keen sense of the scientific and technological trend, an excellent executive talent in achieving breakthroughs, and an unusual wisdom in selecting and making research platform. His talents in leading scientific and technological research not only was an important guarantee for the successful development of China's giant computers but also has provided inspiration and reference for the selection, cultivation and use of China's top scientific and technological leaders.

Key words: leading talents in science and technology; Ci Yungui; giant computer; executive talent in achieving scientific and technological breakthroughs

一、引言

二十大报告将“人才强国战略”与“科教兴

国战略”“创新驱动发展战略”并列为三大发展战略; 将稀有且个体特征鲜明的“大师”“战略科学家”和“一流科技领军人才”置于七类人才前面, 并向全党全国发出号召, “深化人才发展体制机制

收稿日期: 2022-12-20

作者简介: 朱亚宗 (1944-), 男, 江苏无锡人。国防科技大学军政基础教育学院教授, 博士研究生导师, 主要从事科技史和科技哲学研究。

改革,真心爱才、悉心育才、倾心引才、精心用才,求贤若渴,不拘一格,把各方面优秀人才集聚到党和人民事业中来”^[1]。随着新一轮尊重知识、尊重人才、尊重创造的浪潮到来,人才学研究当有新的作为。对于不确定性极大而又举足轻重的杰出人才,其素养的内涵、结构、成长、培育、管理等问题,应有更全面深入的研究,并在人才体制机制改革的基础上,走出兼得中西人才生长、培育、遴选与使用之长的中国式人才发展路径,形成既有利于科技团队精神凝聚,又有利于人才个体自由而全面发展的局面。

1978年3月4日,邓小平主持召开国家专委会会议,专题研究巨型计算机研发问题。在听取各方汇报后,邓小平当场决定由国防科技大学的前身——长沙工学院,负责巨型计算机研发任务。邓小平对国防科委主任张爱萍说:“亿次机就由长沙工学院搞算了……论证时,要多一些人来参加,什么时候完成,长沙工学院要签字。”^{[2]260}时任长沙工学院计算机研究所所长慈云桂,因此成为中国巨型计算机研发的领军人物。

当时的国防科技大学计算机研究所,“正如有些人说的,是个仅有一百多人的小研究所,科研试验条件比较差,连个像样的实验室都没有,设备严重老化,经过南迁消耗,条件就更差了,与那些上千人的大研究所相比,只能算是‘小兄弟’”^{[2]267}。周兴铭院士在回忆亿次巨型机立项时说:“国内想做的也有好几家,包括电子工业部、中国科学院等。当时我们的力量实际上比不上他们,但是最后我们拿到了任务。”^[3]国防科技大学之所以能在众多强手的竞争中折桂,固然与学校体制隶属有关,但根本的原因是有国内计算机领域出类拔萃的领军人才慈云桂,其所率团队的人数及整体水平也许不及有些部门,但科技领军人才的本事、名气及主动性是能堪担此重任的。这一立项遴选,因一流科技领军人才个人本事而转移,是发人深省的人才学事件,加深了人们关于团队集体力量与科技领军人才辩证关系的认识。可以毫不夸张地说,在一定条件下,一流科技领军人才对一个单位、一个地区乃至一个国家的科技发展速度及水平高度有决定性的影响。

二战以前,欧洲是世界科技中心,美国在技术、工程领域或可与欧洲抗衡,但在基础科学领域有很大差距。二战前后一个时期,欧洲一批世界一流科学家,如爱因斯坦、玻尔、冯·卡门、

布劳恩、费米、冯·诺伊曼等移居或避难美国,使美国二战中及二战后的基础研究及整体科技水平急剧提升,成为超越欧洲的新一轮世界科技中心。又如,1955年,世界一流空气动力学大师、火箭专家与战略科学家钱学森回归中国,使中国薄弱的航天研发团队一下子获得巨大力量,在中央决策层的认可和扶持下,异军突起,迄今已成为世界航天领域最有发展潜力和竞争力的研发团队之一。钱学森还直接辨识、支持、遴选了王永志院士等中国航天领域的杰出人才。1964年6月下旬,中国第一枚自行设计的导弹“东风-2A号”准备发射时,酒泉基地突遇高温,因火箭推进剂膨胀及气化严重,灌注的推进剂减少,达不到设计要求。指挥部召开紧急会议研究对策时,当时年仅32岁的中尉技术军官王永志,突破众人“加”的思路,逆向提出“减”的方案,大胆提出独到见解:“我主张应该泄出一些燃料,减少导弹的重量,才能提高推力,加大射程。我经过计算,要是从火箭体内泄出600千克燃料,这枚火箭就会命中目标。”王永志在自己的见解遭到众人反对后,找到正坐镇酒泉基地的钱学森。在仔细倾听王永志的陈述后,钱学森指着王永志对总设计师说:“这个年轻人的意见对,就按他的办!”东风-2A号导弹在卸下600公斤燃料之后发射,果真提高了射程,命中了目标^[4]。后来,王永志在钱学森的推荐下,担任了中国载人航天工程的总设计师,并取得了重大成就。

邓小平鉴于领导决策国家重大建设项目的丰富经验,在《落实重大建设项目,合理使用科技人员》一文中,提出了杰出人才与团队群体组建的具体方式。“所有重大建设项目的规划、设计和审查,都要有人负责。每个项目要有几个真正有本事的人作骨干,其他的人由他们去找,他们熟悉,很快可以把人组织起来。要是都由计委去组织,那就慢了……人才不断涌出,我们的事业才有希望。”^{[5]185}

众所周知,在单枪匹马的一些基础研究与技术发明工作中,杰出人才直接决定了科技突破的过程与结果。但在集体攻关的研发性重大项目中,关于杰出人才的具体作用并不是每个科技管理者都很清楚。事实上,重大的研发性科技项目,不管其规模多大、人员多少,必须由一个或几个真正有本事的杰出人才组成业务决策与指挥机构,由他们把握项目研发的科学原理、技术途径,并

决定尚须突破的关键技术攻关方案。科技大工程过程的顺逆与结果的优劣，不仅取决于团队群体的素质，也决定于杰出人才个体的素质。这类重大工程虽然一般不存在基本科学原理与技术原理的突破问题，但有许多关键技术难关需要攻克。而这些难关的攻克，只能依靠杰出人才独特的敏感性、深广的科技知识与丰富的实践经验。因此，集体攻关的科研工作不仅要重视团队群体的协同力量，而且必须充分发挥杰出人才的个体作用。

深谙中外文化的鲁迅，当年怀着振兴中华的真切愿望指出，中国与欧美差距的深层根源在于人，而赶超之道，首在立人。“欧美之强，莫不以是炫天下者，则根柢在人……生存两间，角逐列国是务，其首在立人，人立而后凡事举；若其道术，乃必尊个性而张精神。”^[6]在鲁迅之前，马克思主义经典作家，则从理论上全面论述了人的社会性与个体性之间的辩证关系。马克思指出，“人的本质并不是单个人所固有的抽象物，实际上，它是一切社会关系的总和”^[7]。马克思又指出，社会联系的方式又决定于个人的状况，“人们——不是抽象的概念，而是作为现实的、活生生的、特殊的个人——就是这种存在物。这些个人是怎样的，这种社会联系本身就是怎样的”^{[8]4}。马克思还指出，“人们的社会历史始终只是他们的个体发展的历史，而不管他们是否意识到这一点”^{[8]14}。在科学技术领域，人才即是品格、才能与个性都比较完善发展的个体。周恩来就曾指出，“人心不同，各如其面。人们的智慧、才能、性格各有不同，相互之间有时是有矛盾的……统一矛盾并不妨碍个性的发展”^{[5]114}。在科学技术领域，必须对团队与个体、集体攻关与杰出人才的辩证关系有真切的见解，方有高明的管理。

慈云桂院士（1917—1990年）是中国巨型计算机总设计师，一代杰出的科技领军人才。他主持了包括巨型机在内的国内领先水平的四代二十多种计算机的研发，使中国成为继美、日之后第三个能够自主研发巨型机的国家。2015年，天河二号第6次位列世界超级计算机500强榜首，成为世界超算史上第一台实现“六连冠”的超级计算机，使我国高性能计算机研发从追随者转变为领跑者。本文尝试从计算机专业以外的综合性科学素养视角，对慈云桂院士独具特色的卓异才华作出分析。

二、敏锐的方向意识

王国维借诗性的语言，指出了大事业、大学问家必有的三种境界，而“独上高楼，望尽天涯路”，位列“第一境”。这表明，找到正确的方向和路径是事业成功的第一步。被杨振宁称为做出过“诺贝尔奖水平的工作”的顶尖物理学家F·戴森^[9]，也是一位科学思想家，以生动的比喻形象地道出了与王国维相似的见解，“有些数学家像飞鸟……飞鸟翱翔于高空之中，游弋于数学的广袤大地之上，目极八方”^{[10]187}。任何重大的科技创新，都是主客观因素成功结合的产物。而主观因素中，科学家对科学方向的认识和选择，对全局有决定性的影响。

在人类科学史上，因认清科学方向而引领科学创新，或因迷失科学方向而错失良机的案例比比皆是。1900年，普朗克在研究黑体辐射问题时，因数学上技术处理的需要而作出了能量量子假设，首创了量子概念。然而，已经摸到了通向量子力学新天地方向大门的普朗克，却掉转方向，回到经典物理学大厦之中，将已经量子化的黑体辐射方式，视为与经典物理体系不协调的“特例”，并千方百计想消除这一怪异。面对风雨欲来的量子力学伟大革命，普朗克最早摸到入口处，并拥有深厚的物理学素养与一流的数理技能，所缺的是对物理学发展新方向的敏感性，以致未能成为开辟量子力学新天地的大师。与普朗克形成鲜明对照的是年轻的爱因斯坦，远离学术中心，没有名师指导，数理技能也属一般，但受普朗克提出的量子化概念的启示，敏锐地沿着这个新方向前进，大胆地将量子化概念移用于光，成功地破解经典物理学难以解释的光电效应，并因此荣获诺贝尔物理学奖。普朗克认为量子化需要化解掉，而爱因斯坦则认为量子化应视为光的本性之一，二人对物理学发展方向的认识是如此不同。诺贝尔物理学奖得主E. 赛格雷深刻地评述了二人关于量子化认识的根本性分歧，“普朗克开始甚至后来的工作，其全部基调给人以这样的印象，量子化对他来说只不过是一种计算工具。爱因斯坦则不然，他认为量子化是一种基本现象，特别是光，即电磁场本身，被量子化了……他清楚地认识到了它们的基本特性”^[11]。此后的玻尔、海森伯、狄拉克等人沿着量子化的方向，迈出了比爱因斯坦更大

的步伐,成为量子力学新物理的主要创立者。

科学史上还有大跨度交叉转向而创造奇迹的精彩案例。德尔布吕克师从物理学大师玻恩,24岁即获哥廷根大学博士学位后欲拜另一位大师玻尔继续深造,不料玻尔给出了转向生物科学的建议,“你生得太晚了,量子力学的问题已经被我们解决得差不多了!你要想有所作为,恐怕得到生命世界去寻找新的规律”^[12]。德布尔吕克听从了玻尔的建议,转向了生命科学领域,“因为发现病毒的复制机制和遗传结构”而荣获1969年诺贝尔生理学或医学奖^[13]。获奖后的德布尔吕克又一次转向,从事感光生理学与意识问题研究,成绩斐然。1987年,诺贝尔生理学或医学奖授予了利根川进,成果是“揭示抗体多样性发生的遗传机理”。获奖后,利根川进认为免疫遗传学中最重要问题已经解决,宣布以后不再从事该领域的研究,而转向神经生理学方向。利根川进在新方向上又取得了世界一流的重大成果。

敏锐的方向意识是科技创新的先导,但敏锐的科学方向源自何处?目前尚缺乏深入的探讨。以笔者之见,科学家宽广、独特而与潜在科学发展趋势相契合的知识结构,是形成正确科学方向意识的基础,而与资金、设备、地位、名气、平台等因素的关系不是非常密切。中国当代的冯康、王选、慈云桂等了不起的科学家,基于独到的眼光作出了重大科技创新,即是明证。

1965年,在与世界学术交流基本隔绝、而计算机又远比西方落后的条件下,冯康在用计算机求解偏微分方程边值问题的算法研究中,作出了领先于西方的重大原创——基于变分原理的差分格式算法,与西方正在发展的有限元方法相等价。“冯康用高深的数学理论,在极其广泛的条件下证明了有限元方法的收敛性和稳定性,建立起有限元方法严格的理论框架。”^[10]¹⁵²这一切,起步于冯康透过刘家峡水电站大坝实际应力计算,“一如诗人灵感到来,看见了一整套求解偏微分方程边值问题的计算方法,一个用‘变分原理进行差分计算’的方法”^[10]¹⁴⁷。据冯端院士分析,冯康上述独到的灵感和眼光,与“冯康的数学造诣、还和他精通经典物理学和通晓工程技术学密切相关。科学上的突破常具有跨学科的特征”^[14]。

发明汉字激光照排系统并获得我国第一个欧洲专利的王选,在1974年起步研发时曾遇到上海印刷技术研究所、清华大学计算机系、中国科学

院自动化研究所、中华印刷厂、北京新华印刷厂等5家实力强劲单位的竞争,而王选和陈堃铍只是夫妻二人小组。当时面临的印刷技术发展局面是:1946年,美国发明了第一代手动照排技术;1951年,美国发明了第二代光机照排技术;1965年,德国发明了阴极射线管照排技术;1976年,英国发明了激光照排技术。鉴于当时中国的印刷技术还停留在第一代,国家设立了开发汉字信息处理新技术的“748工程”。在申请立项时,5家实力强劲的单位有2家瞄准了第二代机,有3家瞄准了第三代机,而在汉字信息存储技术上,5家无不采用模拟存贮方式。王选深知第二、三、四代印刷技术的特点,又分析了自己独特的知识结构:计算机软件与硬件,数学、英语。综合主客两方面的特点,王选和陈堃铍认为,越过第二、三代而直接瞄准第四代激光照排技术,不仅是最先进的科学方向,而且是最易成功突破的技术路径。王选的研究方案获得了北京大学的支持。遗憾的是,在1975年11月的一次照排系统方案论证会上,那些缺乏远见的人,认为北大的方案是一种离奇的幻想,王选是在“玩数学游戏”,方案最终被淘汰。而“748工程”的正式上报方案却花落选择了二代机的单位^[15]。但是,有远见地选择了正确科学方向的王选与陈堃铍却攻克一系列原创性难题,在世界上首先研发出汉字激光照排系统,王选也被誉为“当代毕昇”。令人惊叹的是,一位小小助教确立了远远超越行业权威们认定的科学方向,并沿着这一方向到达远大的目标,创造了科技与产业的奇迹。

慈云桂生逢计算机蓬勃发展的时代,又欣遇中国从引进消化吸收向自主创新的计算机需求急迫的时期。但是慈云桂学习成长为计算机专家的道路漫长而曲折。1939年7月,在抗战流亡中读完中学的慈云桂虽以优异成绩考入西南联大航空系,但因身处湖南湘西,又贫病交加,无法启程到昆明入学,征得西南联大同意后,就近借读于湖南大学工学院机械系。一个学期后,又转入湖南大学电机工程学系无线电专业学习。慈云桂很快喜欢上无线电专业,全身心地投入学习。在湖南大学借读的八个学期,“成绩始终保持全班第一,每年都能得到学校的奖学金。除本专业外,他还选修了数学、物理方面的课程,参加学校的英文、中文和数学竞赛,连获第一名,受到全校同学和许多教授的垂青”^[2]¹⁵⁷。1943年7月,26岁

的慈云桂本科毕业，获湖南大学电机工程学士学位，并被保送到清华大学无线电通讯研究所读研究生。在昆明西南联大求学时，他师从物理学家孟昭英，并参加过著名物理学家任之恭等主持的无线电波传播项目的理论与实践研究。在中国大学里第一个无线电专业研究机构中，慈云桂还受到许多名师的熏陶和指导。1945年12月，28岁的慈云桂研究生毕业后，留清华大学物理系任教。1946年9月，慈云桂任清华大学无线电实验室主任，先后开出13个实验课程，同时继续在理论上深造，选修了相对论与量子力学等课程。1950年4月，慈云桂调到大连海军学校，任海军指挥系副教授。1954年11月，慈云桂又调入哈尔滨军事工程学院海军工程系，任雷达教授会主任。

此时的慈云桂，经清华大学七年的学习、教学与研究，又经历两所军校业务与思想的提升，已具备在中国《物理学报》发表关于电子管测量仪方面论文的专业实力^{[2]83}，同时又“很想找到一个愿意终生奋斗的工作岗位”^{[2]88}。不久以后，发生的两件事情终于点燃慈云桂内心的科学敏感性之火，并照亮慈云桂终生奋斗的科学新方向。

第一件事是中国鱼雷快艇对高速计算工具的紧迫需求。“1956年夏，慈云桂带领海军工程系学员到海军舰艇部队实习。一天，波浪汹涌中，他随海军官兵驾驶的苏制鱼雷快艇在海上高速航行。突然，前方发现预置目标，只听指挥员下达‘发现目标，瞄准！’的口令，一名战士紧急操作机械式三角杆计算器进行鱼雷攻击计算，可是等目标接近时还未计算出来参数，错过了最佳发射时机……由于鱼雷快艇航速快，颠簸厉害，用肉眼观察瞄准目标并计算参数是很不准确的，在实战、夜战、近战的情况下效果非常不好，尤其是在雾天和夜间几乎无能为力……同时，近距离攻击目标危险性很大，这是发展鱼雷快艇亟需解决的紧迫问题。慈云桂了解这一情况后被强烈震撼了，心里很不是滋味。回到宿舍后，他一直琢磨如何才能改变这种落后状况，思考解决这一问题的途径和方法。”^{[2]114}

第二件事是慈云桂随团访问苏联时第一次见到了电子计算机。“1957年5月30日，军事工程学院刘居英副院长受总参谋部委派，率中国人民解放军院校参观团访问苏联、波兰和捷克斯洛伐克……海军工程系副主任慈云桂是参观团成员之一……国外科学技术的发展进步……使他们开阔

了视野，增长了知识……当慈云桂第一次看到电子计算机时，不禁眼前一亮！计算机神机妙算，奥妙无穷……他的心久久无法平静……心里想着如何把计算机技术学到手，应用到军队建设上，直接为提高我军战斗力服务。”^{[2]114-116}

慈云桂和青年教员柳克俊都在国外见到了电子计算机，出国访问归来，不约而同地决心采用数字电子计算技术改进鱼雷快艇指挥仪，并向上级递交了研制报告。1957年底，海军司令部正式批准研制电子数字计算机鱼雷快艇指挥仪。1958年4月，哈军工海军工程系正式成立电子数字计算机研制组，是一个平均年龄仅25岁的年轻科研团队，由系副主任慈云桂全权负责，由此开启了中国研制专用电子数字计算机的序幕。

慈云桂从已经耕耘多年且成绩斐然的雷达专业果断转向新兴的电子计算机专业，其敏锐的科学方向意识是军事需求向任务导向、与学科相通的内在逻辑导向共同作用的结果。在慈云桂心中，两个导向都强而有力，但任务导向的份量似乎更重。1961年9月，慈云桂作为中国电子学会计算机代表团副团长访问美国。在参观过程中，他发现英国计算机已全面晶体管化，慈云桂立即敏锐地意识到，国内的电子管计算机研发已脱离世界计算机技术发展的主流方向，必须尽快扭转这一局面。心急如焚的慈云桂立即采取行动，在参观学习的同时，设法搜集有关晶体管计算机的资料，“通宵达旦地开始了晶体管计算机设计，终于赶在回国前完成了晶体管计算机体系结构方案设计和逻辑电路初步设想”^{[2]142}。回到北京后，慈云桂立即向国防科委有关部门汇报，“建议国内立即停止电子管计算机的研制与生产，迅速上马晶体管计算机项目，并主动要求承担这一艰巨任务”。最终，国防科委主任聂荣臻作出指示，“尽快用国产晶体管研制出通用计算机”^{[2]143}。此时，慈云桂敏锐觉察到的计算机发展新方向，远远超越了哈军工正在研发电子管计算机的相关人员的认识。慈云桂回校后，力排众议，重新招兵买马，转向晶体管计算机的研发。奋战三年，终于研制出441B晶体管通用计算机系列机。此后，在1969年11月召开的远洋航天测量船中心处理计算机方案论证会上，慈云桂又高瞻远瞩，语惊四座，力荐“用国产集成电路研制百万次级、双机系统方案”^{[2]217}。领回任务后，经十年奋战，研制出200万次集成电路大型通用计算机——151中心处理计算机，成功

保障了中国第一次发射洲际导弹。在研发百万次级计算机时,慈云桂又了解到美国在1972年前后已研制出亿次级的巨型计算机,就向国防科委有关部门建议尽快将巨型机列入国家科技发展规划。1975年底,他又将调研报告上报国防科委。1977年,在进一步调研的基础上,慈云桂代国防科委向中央起草了关于开展亿次巨型机研制的请示报告。同年11月26日,报告得到党中央批准。1978年3月4日,邓小平在国家专委会议上,亲自指定由国防科技大学前身——长沙工学院,承担巨型机研制任务。慈云桂团队所以能在强手如云的竞争中脱颖而出,慈云桂先人一步的敏锐方向意识,无疑是决定性的因素之一。

慈云桂、王选与冯康都是有敏锐方向意识的中国杰出科学家,皆在1980年遴选为中国科学院学部委员。三人敏锐方向意识的来源,与爱因斯坦、海森伯纯粹源于科学体系内部大不相同,而是外在实际需求与科学内在发展动力相结合的复合型来源。只是复合成分的比例因人而异。慈云桂的重头在实际需求,冯康的重头在科学内在动力,王选则介于二者之间。与此相应的是,慈云桂重于应用,胜在主动与国家、军队重大战略需求对接;冯康长于理论,胜在原创;王选则兼顾应用与理论。在发展中大国赶超世界先进科技水平的时代条件下,敏于实际需求,直接为国家重大战略需求服务的慈云桂式科学家,是中国杰出科学家最典型的代表。但是,中国若要成为引领世界科技潮流的科技强国,则必须使战略科学家、科技领军人才与原创型科学大师全面涌现,各展其长而相互协同。

三、高超的攻关运筹

理想的科学大工程的科技领军人才,不仅要掌握客观性、普遍性品格的科学技术,而且要擅长与主体性、独特性品格的各种人打交道。现代管理学重镇圣塔菲研究所现任所长D.科莱考尔认为,“同时热爱科学和艺术提示着一个人对普遍性和个性的双重探索。有些人可能天生就会这样,有些人可能是后天习得的”^[16]。钱学森更具体地指出,人类教育理念与目标经历了一个周期性的循环,“我们从文艺复兴时期的全才伟人,走到19世纪中叶的理、工、文、艺分家的专家教育;再走到20世纪40年代的理工结合加文、艺的教育体

制;再走到今天的理工文(理、工、社科)结合的萌芽”^[17]。慈云桂本来天生就有科学与文艺双重敏感性,再加上三、四十年代最好的中学与大学(安庆高中、湖南大学、清华大学等名校)教育,文、理两科全面发展。慈云桂的秉赋和早期训练,使他有向文、理两条路径发展的可能性。在文科方面,慈云桂喜爱文艺,与同学相比,文笔过人。在20世纪50年代,写了近3万字的《自传》,思想清晰,文笔简练,十分善于表达自己的思想。在中学与大学时代,学习成绩始终保持全班第一,还积极参加学校组织的多项活动。慈云桂回忆说:“学校组织的这些活动,对培养我的综合素质和领导能力有很大帮助。”“非常希望自己能成为天才,将来能成为一个伟大的文学家或者科学家。有时觉得自己旧学基础很深,新学出人头地,将来一定会有成就。”^{[2]46-52}

慈云桂早期训练的科学一面,最终使他成长为卓越的计算机专家;而早期训练的文艺一面,虽然没有机会成长为专业的人文学者,但对于后来计算机研发工程的管理工作却大有裨益。周兴铭院士曾回忆说,慈先生在科研中善于集思广益,大家畅所欲言后,他总能作出全面清晰的总结,使大家的认识得到整理和提升。

在计算机研发工程中,科技方面的关键环节是“攻关”,即关键技术难题的突破。科技攻关是一个复杂的科学问题。从20世纪60年代开始,麻省理工学院的数学家和气象学家E.洛伦兹尝试建立较简单的天气预测数学模型——12个数学公式组成的模型,但当时的计算机根本不可能计算这样复杂的问题,但是E.洛伦兹发现了今天家喻户晓的复杂系统的“蝴蝶效应”。即使到了今天,定量预测复杂科学问题仍然有很大的不确定性。原因是对科技攻关这样的复杂科学问题的内在规律尚不了解,致使机器学习和统计学方法获得的结果有很大的不确定性。因此,科技攻关的管理直至今天依然主要靠文理结合的半经验半理性的方式。今天尚且如此,更何况慈云桂作为科技领军人才率领科技攻关时还是数十年以前。可以说,科学与艺术相结合的方式,今后相当长时期甚至永远都是科技攻关管理的基本方式。纵然有超级乃至超超级计算机,依然难以摆脱以小机器算大问题的格局。在笔者看来,当年慈云桂成功的科技攻关管理经验有永恒的启示意义。

（一）国外引进与自主创新结合

对于引进与自创的辩证关系，慈云桂有务实的真切见解，“买国外和境外能买到的东西，做外国人不会卖给我们的东西”^{[2]285}。1985年，领导专用电子管计算机（901 电子数字计算机）的科技攻关时，慈云桂很快发现，缺乏磁性存储器，是研制的最大难关。而磁性存储器中最先进的磁芯存储器由美籍华裔计算机专家王安于 1951 年发明，解决了存储器断电时磁芯体丢失信息的问题，是 50 年代中期至 60 年代中期最先进的计算机存储器。慈云桂曾设想自主研制较简单的磁鼓存储器，并带领一支队伍到北京中国科学院相关部门学习。到北京后，了解到中国科学院已成功研制出更先进的磁芯存储器，慈云桂当机立断将研发目标提升为磁芯存储器。在中国科学院领导与中国科学院计算技术研究所领导的支持帮助下，胡守仁等赴京人员很快开展了磁芯存储器模型机设计与实验研究。但是合格的磁芯当时非常紧俏，最终在留京人员的努力下，得到了全部所需的磁芯。1958 年 8 月 13 日，磁芯存储器模型试验基本过关。回到哈尔滨以后，在整机调试中，磁芯存储器一度不太稳定，慈云桂又组织人员经三天三夜连续奋战，终于解决了磁芯存储的稳定问题，终于成功研制出了 901 数字电子计算机。慈云桂多次敏锐地抓住关键问题，在引进、消化、吸收的基础上，经自主创新而攻关成功。

在中国首台巨型计算机银河-I 的攻关中，当事人周兴铭院士回忆了由慈云桂直接领导的总体设计组将国外引进与自主创新相结合的具体内容。“我们在系统设计中，吸收了 CRAY-I 机总体及软件功能方面的许多思想，采用了 CRAY-I 机底板走线最短、有利于信号高速传输的圆柱形结构的外形，但银河-I 机在体系结构、逻辑设计、元器件、工艺组装、冷却技术、软件等方面均不同于 CRAY-I 机，都是我们自主设计的创新产品。1978 年，总体方案设计组在研究银河-I 机体系结构时，提出了突破 CRAY-I 总体结构的两大方案，以解决在元器件水平受限条件下做成亿次机的难题。一个方案是双向量（及浮点）陈列部件；另一个方案是共享主存的双 CPU 中央处理系统。考虑到当时开发 CPU 并行软件的技术难度过大，最后决定采用双向量陈列的方案。有趣的是，日本三大公司于 80 年代推出的 3 种巨型机都采用了双向量陈列结构，而美国 CRAY 公司于 1983 年推出

的在 CRAY-I 基础上开发的新系统 CRAYX-MP 正是双 CPU 系统。这种不谋而合的事实说明，科学是不分国界的，中国人是能够有所作为的。”^[18]

（二）应用研究与基础研究并重

在巨型机模型机研制过程中，碰到了主频设计频率与克雷机存在较大差距，致使浮点运算速度无法达到每秒 1 亿次的设计要求，这是一个提高浮点运算速度的应用研究课题。硬件总体组张德芳冥思苦想，夜以继日。有一天深夜，受《红楼梦》书中王熙凤管家办法的启示，突然灵感爆发，想出一种新颖设计方案。“半夜 3 点立即起床写下了方案。第二天一试，效果出奇的好。张德芳运用‘登记与插队’技术，采用双向量陈列流水结构，变‘一路纵队’为‘多路纵队’，使运算速度提高了一倍，解决了指令链接问题，圆满解决了这一问题。这一新颖设计后来获得国家发明二等奖。”^{[2]287}

在硬件设计实现双向量陈列流水结构创新后，产生了双向量数据流量连续性保障的新难题。“慈云桂受 BSP 计算机启发，创造性地提出了素数模存储体交叉访问的构想。精通数学的杨晓东，与慈云桂、陈福接、王兵山、吴泉源等多人深入探讨，将实际应用问题提升为相关数学的基本理论问题，‘导出了素数模等效模数公式，找到了素数模地址变换的快速简易算法，设计了地址变换硬件实现逻辑，实现了模引和模 17 的无冲突访问存储系统，圆满解决了这一难题。”^{[2]287}慈云桂等署名的高水平科学论文《一种新型无冲突访问存储系统的分析》，发表于《中国科学》（1982 年，第 7 期）；慈云桂、杨晓东、王兵山三位合作撰写的另一篇高水平科学论文《一个除数为 $2m(2n \pm 1)$ 的快速除法》，发表于《中国科学》（1984 年，第 7 期）。无论是国内或国外的高技术研发工程，最终能同时获得一流基础研究创新成果的，殊为罕见。这也从一个侧面反映出国防科技大学计算机研发团队高超的技术与科学创新能力。

（三）科学民主与择优决策兼得

现代精密自然科学发展出了包括理论研究、实验试验与数值计算的完整科学方法体系，但是一位科技领军人才，不管其能够如何娴熟地驾驭三种方法，他还必须掌握适合于人类一切文化领域的一种方法——民主讨论。现代最享有盛名的科学研究所之一的哥本哈根物理研究所，创造了

一句自然科学界广为流传的名言,“科学扎根于讨论”。其学术领袖玻尔的具体解释是:“在新的经验一次又一次地要求重新考虑我们的观点的那种领域中,坦率地交换意见对于该领域中的进步是如何地不可缺少。”^[19]科技领军人才慈云桂不仅理工、人文素养俱佳,而且有丰富的科技管理经验,在计算机研制的历次攻关中,无不充分发扬民主、集思广益,并在此基础上择优决策。笔者接触过的参与计算机研制的当事人,无不交口称赞慈云桂这方面的努力和成效。在发扬科学民主时,难能可贵的是,慈云桂对于科研人员批评自己的意见,不仅能虚心地听取,而且能大度地采用新的建议并大胆起用年轻人。

康鹏回忆说:“首台晶体管计算机441B攻关时,我们几乎每天晚上都到他家去,汇报科研进展,共同讨论研究中遇到的问题。一开始,慈教授让大家先学习半导体理论。看了几天的书,我就对他说,不应该花太多时间去钻研半导体理论,我们主要是用晶体管,知道它的特性,会用就行了。慈教授在科研上作风很民主,听得进不同意见,我说这话他也不生气。他对我说,‘小康,你带个人到其他几个所调研一下,看他们是怎么搞的。’”^{[2]153}慈云桂的民主作风和对年轻人的信任鼓励,极大地激发了年轻康鹏的积极性和创新性。1962年5月的一天,康鹏在反复思考如何降低晶体管功耗的基础上,灵感突然涌现,独辟蹊径地发明了“隔离-阻塞式间歇振荡器”,但是要有效使用,还需要解决“触发器”的问题。此时,慈云桂再次坚定地鼓励和支持康鹏继续研究,对康鹏说:“如果你把触发器的问题解决了,人家就真正承认你是电子专家了,你就是这个!”慈云桂边说边竖起了大拇指^{[2]154}。年轻的康鹏在慈云桂的鼓励下,再接再厉,3个月后,又发明了“推拉式触发器”,解决了国内首创的晶体管计算机运算稳定性难题。1963年秋,26岁的康鹏登上第三届全国计算机大会学术论坛,宣读论文《隔离阻塞-推拉触发器电路系统》,受到会议代表高度评价。1965年10月10日,康鹏荣获国家科学技术委员会颁发的发明证书和金质奖章。1967年,国防科委主任聂荣臻批准命名发明为“康鹏电路”^{[2]155}。

参与银河-I巨型机研发的骨干周兴铭院士也对慈云桂的民主作风与择优决策有切身感受。“在学术上,慈教授非常注意听取各种不同意见。无论是搞方案,还是遇到技术难关要想办法解决,

他总是发扬民主,让大家充分发表意见,最后他做总结。他的才能就表现在他最后的总结做得非常准确,做得大家都服气,而且事后证明他的决策是对的。在我的记忆中,好像没有瞎指挥、决策做错的。比如搞‘银河-I’时,1977年下半年,我们综合美国的三四台机器形成了一整套方案,到年底几乎要定下来了。1978年初,我们得到了一张美国新出来的CRAY-I向量机广告材料,拿来一看,这个设计思路跟原来完全不一样,精简型的指令系统,工艺组装变成了一个圆筒,跟传统概念都不一样。当时我们总体组看了以后就带头讨论,认为这个机器比我们设计的机器先进,就提出我们这个方案是不是要改?原来的方案已经搞了几个月了,各种资料都准备好了,还征求了意见,已经修改好了。‘老慈头’就敢于拍板,决定把原来的方案推翻掉,学CRAY-I的思想再搞方案。从1978年1月到5月,在不到四个月时间内,整个方案全部推翻重新设计,所以到了5月份在北京召开方案论证会时,我们一介绍,用户和与会专家一看,全部都跟以前不一样了,他们都很惊讶,很佩服,都说好。”^{[2]263-264}

1983年,在慈云桂主持下,中国首台亿次巨型机研制成功,并顺利通过国家鉴定。“主机平均无故障时间长达441小时,远远超过鉴定大纲的要求,达到了国际先进水平。银河亿次机的研制成功,打破了西方大国在超高性能计算机上对我国的封锁,使我国跻身于世界巨型机的研制行列。1984年,银河亿次机荣获中央军委科技成果特等奖。国防科技大学计算机研究所因而荣立集体一等功。”^[20]

四、智慧的平台选造

在慈云桂超越专业层次的综合性科学素质中,有一个较为隐秘而易于忽略的方面是,慈云桂对科学平台的自觉选择与打造。一般说来,初出茅庐的年轻科技人才欲得到最佳的训练提升,应去高水平的科学平台,尤其是拥有一流科学家兼一流导师的科学平台。

科学史上深孚盛名的剑桥卡文迪许实验室,在第四任主任卢瑟福掌管时,人才辈出,大师频现。卢瑟福本人是实验与理论兼通的物理学大师,1911年,通过 α 粒子轰击原子的实验,推翻旧的原子结构模型而提出了有核的原子结构新理论,

被誉为自德漠克里特原子论假说以来人类物质观念的重大进展。1918年，卢瑟福接任卡文迪许实验主任后，在实验与人才培养两方面都有举世瞩目的成就。苏联著名物理学家、1978年诺贝尔奖获得者卡皮查，曾在卡文迪许实验室学习、研究14年（1921—1935年），从青年时代的研究助理，升任一个实验部门的负责人与研究教授，他写道：“卢瑟福不仅是一个伟大的科学家，而且是一个伟大的教师。我能记起除去卢瑟福之外，没有一个当代科学家在他的实验室中培养出这样多的卓越物理学家。”^{[21]303}卢瑟福的研究生和助理查德威克在卡文迪许实验室于实验技术与原子理论两方面都受到一流的训练，对卢瑟福在第二次贝克里安演讲时提到的中子假设有很大兴趣，留下了深刻的印象。1931年，法国的约里奥·居里公布了一张核反应照片，但将其中的中子径迹解释为质子。查德威克一见照片意识到约里奥·居里解释的错误，立即重做实验，于1932年2月宣布发现中子。1935年，查德威克因发现中子而荣获诺贝尔物理学奖^{[21]305}。

据统计，卢瑟福直接培养或指导过而荣获诺贝尔奖的杰出人才达11人之多。其中，在卡文迪许实验室成长发展起来的获奖者有查德威克（1935年）、阿普顿（1947年）、布莱克特（1948年）、鲍威尔（1950年）、考克饶夫和瓦尔顿（1951年）、卡皮查（1978年）等7人^{[21]304}。

中国著名的实验物理学家张文裕院士，于20世纪30年代在卡文迪许实验当研究生，曾受到卢瑟福的教导和熏陶。张文裕回忆说：“卢瑟福问：‘你带什么问题来的？’……‘我有兴趣，但没带什么问题。’卢瑟福说：‘那就派你到这一组，慢慢总会有你的题目。’卢瑟福就是这样，在你未定研究方向时，先创造条件培养学生的兴趣，慢慢去找自己的研究问题，待条件成熟时再决定课题。”^{[21]300}

中国也不乏培养出3代以上院士的一流科学平台。例如，华罗庚开创的数论与多复变函数研究平台；苏步青开创的微分几何研究平台；钱学森开创的航天工程技术平台；胡先骕、吴征镒等开创的中国植物学研究平台；竺可桢、赵九章等开创的大气科学研究平台；冯康开创的计算数学研究平台等。跻身这类科学平台的优秀青年人才，加上勤奋坚毅的品格，无不在攀登科学高峰的道路上突飞猛进，成果斐然。

慈云桂的研究生学习和早期工作都在清华大学物理系，这是一个中国物理学的顶尖平台，慈云桂从中受到优良的训练和实践锻炼，并在研究工作上取得了一定成绩。但是，有远大科学抱负的慈云桂清楚地知道，当时更高水平的物理学平台在国外，于是欲申请出国深造，并于1946年11月，申请到了美国马里兰州州立大学奖学金^{[2]73}。当时的清华大学物理系，有许多从国外名牌大学学成归来的名家。20世纪40年代末，物理系教师中有叶企孙、周培源、霍秉权、王竹溪、余瑞璜、孟昭英、钱三强、葛庭燧、彭桓武等人，大多是有国际一流水平的著名物理学家。清华大学不成文的规定，“必须获得国外名牌大学博士学位才能当教授”。以慈云桂当时的资历，在清华大学并不受重视，其《自传》无奈地记下了他当时的感受。“那时我在清华的工作自觉不太重要，无线电和电子学方面的主课轮不到我教，而那时的研究工作又没有条件，方向也不明确，也不受重视。”^{[2]81}按当时的主客观条件，慈云桂想要在清华大学物理系这个精深而狭窄的平台上施展才华非常困难。

然而科学的道路与人生的道路相似，一条路径难以行通时，必然会有另一条更适合的路径在等待你，问题在于是否看得清，并勇于踏上新的征途。慈云桂在科学道路的叉路口，毅然离开了曾有8年求学、工作经历的清华大学，选择新生而充满朝气的大连海军学校。促成这一人生转折的原因，除了选择更适合的科学平台外，还因受到新中国成立前后热烈革命氛围的鼓舞和百废待兴需求的感召。正如其《自传》所述，“我想在这革命潮流高涨、处处迫切要人的时代，不应该再坐等而无意义地消耗青春，应该到新的工作中去锻炼成长”^{[2]81}。慈云桂于1950年1月调到大连海军学校，4月即任海军指挥系副教授。这次主动睿智的平台选择，使慈云桂的科学生涯发生两大转变：一是从侧重基础研究的象牙之塔转向侧重应用研究的军队院校；二是从几乎没有主动权的助教跃升为能自主研究的副教授。

在大连海军学校，慈云桂在海军指挥仪研究工作中富有成绩，相应的研究论文发表于《物理学报》。他又独立成功研制充气管电码练习机，研究报告发表于《技术参考资料》，成果获海军学校二等科学技术奖。1951年，慈云桂先后被任命为大连海军学校第一分校通讯系副主任与电讯系副主任；1953年，又任分校通信组组长，负责全校

通信学科专业建设。但是有远大科学抱负的慈云桂敏锐地意识到了新的问题,向往一个更高的科学平台。“慈云桂有时内心仍然感到痛苦和迷惘。他总自信地认为自己有创造性,有一定的理论基础……到海校后的现实与他当初想象的差距较大……这是一所海军初级指挥院校,科研工作只是辅助性的,自己的特长无法得到充分发挥……‘很想找到一个愿意终生奋斗的工作岗位’。”^{[2]87-88}

机会总会垂青有准备的人。1954年11月,哈尔滨军事工程学院派员到大连海军学校指名选调慈云桂,与慈云桂个人意愿不谋而合,调入海军工程系任雷达教授会主任。1957年,慈云桂开始申报研制电子管专用数字电子计算机,从此在哈军工更高的科学平台上大展宏图,领导科研团队始终活跃在中国计算机研发的前沿阵地,从电子管专用计算机到晶体管通用计算机,再到巨型计算机系统,共主持研制“国内领先水平的计算机多达四代二十多种”^[22]。

与科研成果同样辉煌的是,慈云桂在各级领导支持下,创立了一个国内顶级、世界著名的计算机研究平台,“从一个9人计算机研制小组起步,主持建立起全军第一个计算专业(1958年)、第一个计算机系(1966年4月)、第一个计算机系兼研究所(1971年),现已发展壮大成拥有1,000人的计算机学院,成为中国计算机技术科研、教学、生产、服务的重要基地”^[23]。这个白手起家创立的计算机研究平台获得了首批国家科技进步奖创新团队奖、国防科技特等奖1项;国家科技进步特等奖1项、一等奖6项、二等奖12项;国家技术发明奖二等奖2项;军队和省部级科技进步一等奖110余项、二等奖170余项。在学科建设方面,“计算机系统结构”“计算机软件与理论”“计算机应用技术”“计算机科学与技术(一级学科)”“微电子学与固体电子学”先后成为国家重点学科。在国家的7次教学成果评奖中,获得特等奖1次、一等奖2次、二等奖4次。自1980年慈云桂遴选为中国最早的计算机学部委员开始,已先后产生了四代8位两院院士,并先后为国家和军队培养13,000多名计算机专业高级人才。除科研教学成果、人才培养外,还创造了“胸怀祖国、团结协作、志在高峰、奋勇拼搏”的银河精神,以及“以我为主、自主创新、勇攀高峰”的天河文化^[24]。

五、结语

在中国高科技起步追赶世界先进水平的年代,慈云桂大大缩短了中国计算机与世界先进水平的差距,不仅为中国跻身超算强国作出了无可替代的独特贡献,而且创造出管理科学大工程的宝贵经验。在向全面自主创新的科技强国前进的道路上,慈云桂仍将是引领广大科技人员,尤其是科技领军人才奋发有为的一面旗帜。

参考文献:

- [1] 习近平. 高举中国特色社会主义伟大旗帜,为全面建设社会主义现代化国家而团结奋斗[M]. 北京:人民出版社,2022:36.
- [2] 雷勇. 慈云桂传[M]. 长沙:国防科技大学出版社,2017.
- [3] 周兴铭,赵阳辉. 慈云桂与中国银河机研究群体的发展历程[J]. 中国科技史杂志,2005(1):43.
- [4] 叶永烈. 钱学森[M]. 上海:上海交通大学出版社,2010:373-374.
- [5] 国家科委政策法规司. 马克思、恩格斯、列宁、毛泽东、周恩来、邓小平论科学技术[M]. 北京:科学技术文献出版社,1990:185.
- [6] 鲁迅. 鲁迅全集:第一卷[M]. 北京:人民文学出版社,1980:56-57.
- [7] 中共中央马恩列斯著作编译局. 马克思恩格斯文集(1)[M]. 北京:人民出版社,2009:505.
- [8] 马克思、恩格斯、列宁的社会学思想[M]. 北京:人民出版社,1989.
- [9] 季理真,王丽萍. 杨振宁访谈录[M]. 上海:华东师范大学出版社,2022:79.
- [10] 宁肯,汤涛. 冯康传[M]. 杭州:浙江教育出版社,2019.
- [11] 赛格雷. 从X射线到夸克[M]. 夏孝勇,杨庆华,庄重九,等,译. 上海:上海科学技术出版社,1984:96-97.
- [12] 贺福初. 心怀目标,笃行致远[N]. 中国科学报,2018-11-23(5).
- [13] 杨建邺,朱新民. 诺贝尔奖获奖者辞典[M]. 长沙:湖南科学技术出版社,1994:371.
- [14] 冯端. 零篇集存[M]. 南京:南京大学出版社,2003:506.
- [15] 丛中笑. 王选的世界[M]. 上海:上海科学技术出版社,2002:92-101.
- [16] 张宇琦. 复杂科学,站在人的角度理解世界[J]. 生活周刊,2022(17):48.

“管理学原理”思政课要达到立德树人之目的，必须使学员经历一个又一个“理解—认同—外化”三阶段和八个步骤的螺旋式上升的过程。在此过程中，只有紧密结合“管理学原理”的课程思政要素，才能保证把思政要素内化为学员的思想政治素质，进而外化为优秀的品德和修养，成为高素质的军校学员。

四、结语

军队管理是影响军队战斗力的重要因素。管理学是教育部管理科学与工程专业必修核心课程。开展课程思政对于提高军事人才政治素质具有重要作用。以“管理学原理”课程为例，基于接受理论，分析了“管理学原理”课程思政的影响因素。在此基础上，基于信息加工理论给出了“管理学原理”课程思政教学的提升路径。

参考文献：

[1] 中华人民共和国教育部. 教育部关于印发《高等学校课程思政建设指导纲要》的通知[EB/OL]. (2020-06-05)[2022-03-18]. http://www.moe.gov.cn/srcsite/A08/S7056/202006/t20200603_462437.html.

[2] 李丹,李康. 三维视角下“管理学”课程思政建设的探

索与实践[J]. 黑龙江教育(理论与实践),2021(1): 19-21.

[3] 唐芳.“管理学”课程思政实践路径探索[J]. 高教学刊,2021(12):193-196.

[4] 严芳田. 军队管理学[M]. 北京:解放军社出版,2005: 2-5.

[5] HOLUBR C. Reception theory-a critical introduction[M]. London and New York:METHUEN,INC,1984:20-25.

[6] 刘先义. 接受理论:教育研究的新领域[J]. 教育理论与实践,1998,18(2):1-6.

[7] 刘建军. 接受理论对思想政治教育的启示[J]. 教学与研究,2000(2):70-74.

[8] 王彦英. 接受理论对大学思想政治教育的启示[J]. 教育导刊,2007(9):27-28.

[9] 徐碧波. 信息加工理论与加涅的学习观[J]. 比较教育研究,1988(1):19-22.

[10] ZHANG F F, PARKER S K. Reorienting job crafting research:a hierarchical structure of job crafting concepts and integrative review [J]. Journal of Organizational Behavior,2019,40(2):126-146.

[11] 杜鹏程,范明君,刘升阳. 信息加工理论视角下工作重塑对员工适应性绩效的影响[J]. 首都经济贸易大学学报,2022,24(2):101-111.

(责任编辑：毛鸽枝)

(上接第 62 页)

[17] 叶永烈. 钱学森[M]. 上海:上海交通大学出版社, 2010:401.

[18] 周兴铭,赵阳辉. 慈云桂与中国银河机研究群体的发展历程[J]. 中国科技史杂志,2005(1):43-44.

[19] 玻尔. 玻尔讲演录[M]. 戈革,译. 北京:北京大学出版社,2017:229.

[20] 刘瑞挺,王志英. 中国巨型机之父:慈云桂院士[J]. 计算机教育,2005(3):8.

[21] 阎康年. 卢瑟福与现代科学的发展[M]. 北京:科学

技术文献出版社,1987.

[22] 杨学军. 在纪念慈云桂教授诞辰 100 周年座谈会上的讲话[Z]. 长沙:国防科技大学,2017-04-14.

[23] 国防科技大学校史编审委员会. 国防科技大学计算机系兼研究所史(1956—1993)[Z]. 长沙:国防科技大学,189-194.

[24] 廖湘科. 在纪念慈云桂教授诞辰 100 周年座谈会上的讲话[Z]. 长沙:国防科技大学,2017-04-14.

(责任编辑：邢云燕)