

# 科学仪器研发氛围之变

## ——基于20世纪70年代至今国内激光多普勒测速仪研制的考察

刘年凯

(清华大学 科学史系, 北京 100084)

**摘要:** 目前中国科学仪器研发水平落后于世界先进国家, 科学仪器史的视角有助于更清楚地看到形成这种局面的原因。本文以一种重要的科学仪器——激光多普勒测速仪为研究对象, 基于多种史料, 发现从20世纪70年代至今, 国内研发该仪器的氛围产生了由浓厚到沉寂的巨大变化, 缺乏资金支持等多种因素共同导致了这种变化。

**关键词:** 科学仪器史; 激光多普勒测速仪; 科学仪器研发; “卡脖子”

**中图分类号:** T-09; C931.2 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-4969(2021)05-0502-09

### 引言

目前, 学界对于工业产品的国产化和自主创新已有较多研究, 相关案例包括桑塔纳轿车<sup>[1,2]</sup>、激光视盘播放机<sup>[3]</sup>、万燕 VCD<sup>[4]</sup>、长虹电视<sup>[5]</sup>、万门机、混凝土泵<sup>[6]</sup>、芯片<sup>[7]</sup>熔喷模头和喷丝板组件<sup>[8]</sup>等, 这些研究从不同角度讨论了中国工业产品的技术创新和发展等重要问题。而对于同为工业化产品, 但产量小、技术高的科学仪器, 这方面的研究尚付阙如。作为现代科研活动的重要保障, 科学仪器的重要性自不待言, 其本身的研制开发也是科技创新的一部分, 自主研发科学仪器的能力体现了一个国家的创新水平。目前中国绝大多数中高档科学仪器严重依赖进口, 安捷伦科技公司、赛默飞世尔科技公司等跨国企业垄断了中国相关科学仪器的销售市场<sup>[9,10]</sup>。王大洲等<sup>[11]</sup>基于一手调研数据, 评估了中国科学仪器研制的水平, 举例来说, 截至2010年年底, 在中国科研院所及高校的原值50万元以上的大型科学仪器设备里, 研制仪器数量仅占总量的2.5%。他们据

此探讨了仪器创新面临的制约因素。

目前中国科学仪器的研发能力远落后于世界先进国家, 研发能力的落后也是“卡脖子”问题的一个具体体现, 如透射式电镜、扫描电镜等科学仪器被认为是“卡脖子”技术<sup>[12]</sup>。陈芳等<sup>[13]</sup>通过对美国商业管制清单 (commercial control list, CCL) 的计量分析, 发现42.08%的清单条款涉及对科学仪器的管制, 揭示了中国科学仪器领域相关技术受美国管制的严峻形势<sup>[13]</sup>。中国在相关方面的科学研究和应用可能会因国际贸易、地缘政治等因素发生“被卡”的风险。

从科技史的角度, 研究某种科学仪器研发的历史变化, 即“解剖一只麻雀”能让我们更清晰地发现制约中国科学仪器自主研发水平的因素。激光多普勒测速仪是20世纪60年代国际上发展起来的测量流速的仪器, 至今仍广泛应用于军事、航天、航空、水利、能源、医学等领域<sup>[14,15]</sup>。刘年凯<sup>[16]</sup>在口述史访谈的基础上, 综合其他史料, 发掘了清华大学与银河仪表厂在20世纪70年代

收稿日期: 2021-07-02; 修回日期: 2021-08-01

基金项目: 清华大学自主科研计划文科专项经费课题“综合类收藏型高校科学博物馆的科学仪器馆藏建设研究”(2021THZWY04)

作者简介: 刘年凯(1987—), 男, 助理研究员, 研究方向为近现代科学仪器史。E-mail: nkl@tsinghua.edu.cn

合作研制激光多普勒测速仪的历史<sup>[17]</sup>。本文将视角由一校一厂扩大至整个激光测速研究群体，将时间段从十年延展到半个世纪，揭示激光多普勒测速仪自主研发氛围从浓厚到沉寂的转变，并分析造成这种变化的原因，为解决中国科学仪器自主研发面临的困境提供经验参考。

## 1 国际背景

叶寅 (Ye Yin) 与赫曼·康明斯 (Herman Cummins) 在 1964 年首次利用激光多普勒频移量获得流体的运动速度<sup>[18]</sup>，该方法具有无接触测量、高精度、不扰动流动状态等诸多优点，所以引起国际上极大关注，科研机构和工业界开始研制激光多普勒测速仪。1968 年，英国帝国理工学院的詹姆斯·亨特·怀特洛 (James Hunter Whitelaw) 与弗朗兹·杜斯特 (Franz Durst) 开发了紧凑的集成光学系统，随后，1971 年，丹麦的 DISA 公司 (DISA Electronics Division) 在此基础上率先推出了可量产的激光多普勒测速仪 (laser Doppler anemometer)，该公司至今仍是世界上生产激光多普勒测速仪的主要厂家。1964—1972 年可认为是激光多普勒测速仪发展的第一阶段，实验室证明激光多普勒频移可以用于流速测量，可量产的激光多普勒测速仪产品出现。

1973—1980 年可看作激光多普勒测速仪发展的第二阶段。相关研究人员深入到湍流动态流动，提出了多普勒频率的不确定性问题，这关系到微尺度湍流的测量精度。国际流体力学界开展了大量理论和实验研究，基本理清了影响多普勒频率加宽的因素，提出了一些修正方法，使得激光多

普勒测速仪适用于多数应用场景<sup>[15]</sup>。学术交流频繁开展。在美国，1972 年、1974 年和 1978 年连续在普渡大学召开了三届“激光测速和粒子测量国际专题讨论会”，该会议由美国空军研究办公室、美军气动研究和发展实验室、美国能源部和美国海军研究办公室联合资助。在欧洲，1972 年第 36 届欧洲力学讨论会、1975 年哥本哈根激光流速计专题讨论会都系统讨论了激光多普勒测速<sup>[19]</sup>。

1980 年之后，进入 LDV 发展的第三阶段，二维、三维测速系统以及同时可以测量速度和粒径的相位多普勒粒子分析仪 (phase Doppler particle analyzer, PDPA) 产品相继问世，光机电及计算机软件一体化成为常规配置<sup>[15]</sup>。国际上形成每逢单双年份轮流召开两大国际学术会议的模式：1982 年在葡萄牙里斯本召开了首届“激光多普勒测速在流体力学中应用国际讨论会”。以后这个会议每两年固定在里斯本召开，随着技术进步，1988 年会议名称更改为“激光技术在流体力学中的应用国际讨论会”，2016 年更改为“激光和成像技术在流体力学中的应用国际讨论会”。另外一个会议是 1985 年在英国曼彻斯特召开的“国际激光测速会议-进展和应用”，每两年在欧洲和美国轮流举行，此会议举办了 7 届。

## 2 国内激光多普勒测速仪的研发：20 世纪 70 年代

清华大学工程力学系和水利工程系在 20 世纪 70 年代初合作开展流速测量实验，1973 年底，工程力学系沈熊等人开始与宁夏银川银河仪表厂的张业连等研究人员合作，在 1975 年研制出中国第一台激

International Workshop on Laser Velocimetry and Particle Sizing。

The International Conference on Laser Anemometry In Fluid Mechanics，该会议是由詹姆斯·亨特·怀特洛在 1981 年倡议发起的。

The International Symposium on Applications of Laser Techniques to Fluid Mechanics。

International Symposia on Applications of Laser and Imaging Techniques to Fluid Mechanics。

International Conference on Laser Anemometry – Advances and Applications。

沈熊，1935 年生，上海市人，1958 年毕业于清华大学电机工程系工业企业电气化专业，1959—1999 年在清华大学工程力学系任教，长期从事激光多普勒测速的研究与应用工作。

光多普勒测速仪——SXJ-01 型激光流速计<sup>[17]</sup>。

清华大学的研制,并非国内流体力学界的孤例。当时正值“文革”后期,科技教育界广大教师和科研人员迸发出强烈的进取精神,想夺回前期失去的时间。在中科院和各地高校研究机构的积极推动下,众多单位各自开展了激光测速研究。中国科学院力学所 1973 年前后开始研发激光测速仪,其九室的杨大铮、杨家寿和李广达在著名华裔空气动力学家张捷迁的建议下,与清华大学工程力学系合作改进其设备<sup>[17]</sup>。同一时期,浙江大学流体力学组王智迅等人从 1972 年开始,根据“射流机理”课题的需要,开展了激光测速研究,并在 1976 年发表了实验结果,证明根据其搭建设备已能测量管道中低速流体的时均速度<sup>[20]</sup>。1975 年,天津大学电力及自动化系激光流速计科研组的舒玮、王仕康等开始研制激光流速计,经过两年多大量实验工作,和天津自动化仪表十厂在 1977 年研制出 JCY-1 型双光束激光多普勒流速仪,并与上海 711 所合作,在该所的单缸柴油机扫气试验台上测量了脉动空气流速<sup>[19]</sup>。此外,上海机械学院、上海激光技术研究所等单位也开展了激光测速研究。

鉴于尚未对外开放,国内学术交流也未走上正轨,国防科工委中国空气动力研究与发展中心(29 基地)于 1978 年 10 月,在四川安县组织召开了“气动实验非接触式测量会议”。会议分为四个组交流,分别是:流场显示组(第一组),温

度测量组(第二组),测速、测振、测电子密度组(第三组),高速摄影组(第四组),涉及激光测速的报告安排在第三组,沈熊、舒玮、杨大铮、孙渝生等人做了报告。1978 年 10 月 20 日,庄逢甘做大会总结发言,提到:“大家一致认为,把激光测速技术引用到气动实验中是很有意义的……目前国内有几十个单位研究这方面的工作,但彼此都不够通气,因此发展也不快。因此代表们一致呼吁要组织对引进的激光测速仪资料的复印工作,要求组织激光测速技术学习班……并希望能把引进的激光测速仪解剖一台进行研究,真正把技术学到手”。<sup>[21]</sup>可见国内在 20 世纪 70 年代后期特殊背景下已形成激光测速研究的学术共同体,并有“几十个单位”的规模,处于对外封闭条件下的研究人员各辟蹊径,自主开展激光测速科研,先后出现了多种各具特色的激光多普勒测速实验装置,但与国外产品相比有一定差距,主要在于实用性差、不能测量动态流速和不能判别流速方向。

1974 年,清华大学工程力学系与宁夏银河仪表厂合作研发激光流速计时,宁夏回族自治区计委和重工业局支持进口了一台一维激光流速计<sup>[17]</sup>,它采用模拟电子电路的频率跟踪器,可以跟踪脉动流速,但是没有流向判别功能。当时一维激光流速计进口价格需 3 万美元,清华大学与银河仪表厂 1975 年研制的 SXJ-01 型激光流速计价格仅为进口的二分之一<sup>[22]</sup>。

张捷迁(1908—2004),辽宁开原人,1927 年考入东北大学预科,1934 年起在清华大学任教,1940 年赴美,师从冯·卡门教授读博,后任美国天主教大学教授,长期从事空气动力学、流体力学、气象学等方面的研究。1972 年,美籍中国学者参观团访华,张捷迁为参观团一员。

舒玮(1932—2007),云南鹤庆人,1953 年从云南大学土木系毕业后到天津大学任教,1957—1959 年在清华大学第一届工程力学研究班学习。1983 年任天津大学力学系教授,曾任天津大学力学系系主任,是著名的实验流体力学家。

王仕康,1938 年生,上海市人,1960 年毕业于北京航空学院飞机系,在天津大学数理系基础课部任教,1979 年留学丹麦,1981 年获丹麦技术大学博士学位,回国后任教于天津大学热物理系,1984 年任教授。

这次会议为期 10 天,全国 56 个单位的 200 余名代表参会。会议从 1978 年 3 月开始筹备,时任国防科工委副主任钱学森对这次会议做了特别批示。

孙渝生,1943 年生,江苏扬州人,1965 年毕业于中国科学技术大学自动控制系,后在上海市激光技术研究所工作,从事激光应用研究。

庄逢甘(1925—2010),江苏常州人,1946 年毕业于上海交通大学航空工程系。1950 年获美国加州理工学院博士学位,1980 年当选为中国科学院学部委员(院士),是中国著名的空气动力学家。

### 3 国内 20 世纪 80 年代至今

在 20 世纪 80 年代初，国际上出现第二代激光多普勒测速仪，光路系统采用模块式结构和光学-电子混合式的频移系统，实现了多维测量和流向判别，信号处理开始与计算机结合，采用硬件式数字电路的计算装置，较之前的模拟式频率跟踪器又进一步<sup>[23, 24]</sup>。国内这时也形成了自主研发热潮，中科院力学所杨大铮、杨家寿、袁茂竹、刘玉民、谭长虹和国家仪器仪表工业总局下属的开封仪表厂共同研制了 YLL80-03 一维激光测速仪。同时，开封仪表厂研制了 SXJ-02 型激光多普勒测速仪。这里需要说明的是，1979 年 3 月，中国仪器仪表学会成立，同年 10 月，国务院采纳了学会代表的建议，批准成立了国家仪器仪表工业总局，开封仪表厂和银河仪表厂同归属总局管理，所以 1981 年开封仪表厂生产的激光多普勒测速仪延续了银河仪表厂的仪器型号 SXJ。1982 年，国家仪器仪表工业总局同第一机械部、农业机械部、国家机械设备成套总局合并成机械工业部，但该部在 1998 年撤销。

中原激光技术开发公司下属的开封激光电子仪器厂与中科院工程热物理所、力学所、304 所等单位联合研发了多款激光测速仪，据 1984 年 8 月印行的《激光测速仪系列产品报价单》，该厂在 1985 年计划销售 13 种激光测速仪，型号从 LDV-0X(A) 至 LDV-08(B) 其中便携式的 LDV-05 型激光测速仪售价最低，为 26000 元，LDV-04(A) 型二维激光测速仪售价 79000 元，在 13 种激光测速仪中最为昂贵。

而在 SXJ-01 型一维激光流速计的基础上，沈熊与同事于和生、王宗森研制出了双差动声-光频移二维激光多普勒测速仪，清华大学在 1985 年 4

月 1 日，即《中华人民共和国专利法》正式施行日，为该发明申请专利，该发明在 1992 年获国家发明奖四等奖<sup>[25]</sup>。

而伴随自主研发热潮同时而来的，还有改革开放后的国外产品可以自由进入中国，有代表性的是通过世界银行贷款进口仪器，这极大促进了高校和研究机构的发展。中国自 1981 年恢复在世界银行的合法席位，执行的第一笔贷款项目就是大学发展项目（1982 年 2 月—1986 年 8 月），总成本 2.95 亿美元，其中世界银行贷款 2 亿美元，配套资金 1.45 亿人民币<sup>[26, 27]</sup>。

1983 年，国内高校用世界银行贷款引进了美国 TSI 公司生产的一批激光多普勒测速仪和热线风速仪。为方便进口仪器的销售，一些知名高校和研究所成为外商的合作首选。北京大学盛森芝等研究人员在 1983 年由丁石孙校长批准成立的北大测试分析研究室的基础上，与美国 TSI 公司合作成立特赛流动测量研究中心，“承担了全国 80 多家兄弟单位共计 600 多万美元的流速测量仪器的咨询、安装、培训和维修工作”<sup>[28]</sup>。1991 年，天津大学流体力学实验室第二次获得世界银行贷款，舒玮为实验室引进了当时世界上最先进的五光束三分量激光多普勒测速仪。随后，在 1985 年，中国仪器进出口总公司、中科院力学所和丹麦 DANTEC 公司（即上文提到的 DISA 公司）共同筹备成立了丹迪（DANTEC）技术开发咨询中心，力学所杨大铮等研究人员承办具体事务，从事 DANTEC 仪器的技术咨询、技术服务及维修工作<sup>[29]</sup>，杨大铮后任北京丹迪自动化系统工程公司董事长兼总经理<sup>[30]</sup>。

1987 年 12 月 5 日—8 日，在山东泰安召开了第二届全国流速测量技术及其应用学术研讨会。

<http://dspace.imech.ac.cn/handle/311007/21950>。

开封仪器厂 1981 年产品目录中，对该款测速仪的组成、用途、性能等做了详细介绍。

盛森芝（1933—2020），浙江金华人，1957 年毕业于北京大学数力系，同年留校工作至退休，曾担任周培源的助手，北京大学教授高级工程师，在 1980 年代主持中国第一笔世行贷款教育部科学仪器项目，是中国著名的流动测量技术专家。

此处资料引自天津大学姜楠教授在科学网上发表的博客文章：<http://blog.sciencenet.cn/blog-873069-666853.html>。

本次会议由中国流速测量仪器用户协会及中国空气动力学研究会测控专业委员会联合发起，由航空工业部 304 所主办。会议有 52 个单位的 112 名代表参加，共发表论文共 71 篇。

会议总结了当时国内流速测量学界的现状,肯定了世界银行贷款等途径引进的仪器所起的作用,“由世界银行贷款或通过其他途径引进的激光多普勒、激光双焦点和热线热膜流速测量系统正在各科研和教学领域迅速发挥作用……形成了中国流速测试技术领域朝气蓬勃的大好形势”,但同时也提到“在流速测量仪器的国产化和新型流速测量仪的研制方面,一些单位做了不少努力,但与过去相比,规模有所缩小,与国际水平相比尚有较大差距,这种情况的存在,与我们的大国地位很不相称,与会代表认为应迅速改变这种不景气状况,呼吁有关部门应大力支持,组织有效技术力量,加速国产化和开发研制的步伐。”

显然,国内的激光测速学术共同体在20世纪80年代后期已经看到,世界银行贷款引入的国外科学仪器,一方面促进了相关的科研和教学,但同时也对仪器的国产化及新型流速测量仪的研制造成了不小的冲击。而与会代表们的建议也并非没有依据:1983—1985年,根据国民经济和学科发展的需要,由国家科委牵头,设立了基础研究“六五”重点项目“力学实验方法及测试技术”,共有三个二级课题和九个三级课题,涵盖的学科范围很广,包括实验固体力学和实验流体力学的各个新领域,“激光测速技术的研究”即为三级课题之一。该重点项目为国内激光测速学术共同体提供了重要的资金资助和交流平台,不失为以国家力量支持新测量技术和仪器研发的一次重要尝试。

至20世纪90年代及之后,国际上出现了第

三代激光多普勒测速仪,光学系统进一步集成,体积减小,形成了现代化的数据处理系统,功能大为增强<sup>[31]</sup>,在这期间,国家财政好转,教学科研经费增加,大部分高校和研究机构花费大量经费进口国外仪器,以满足科研需要。另外,随着时间的推移,老一代教师和研究人员退出教学和科研岗位,而新一代的流体力学专业人员缺乏从事仪器研发的积极性和迫切性,因而,1987年泰安会议上提到的国内研制的“不景气状况”没有得到扭转,曾经在二十世纪七八十年代自主研发激光多普勒测速仪的高校和研究单位大部分没有继续下去,国内实验流体力学界自主研发新测试技术产品的氛围逐渐消失。当然,原因是多方面的,除了老一代教师和研发人员相继退出工作岗位外,仪器的多学科复杂性和产量有限性也是重要因素:在中国很难找到投资这种年产值不高(约几百万到千万)但技术要求高的科学仪器产品的资助人或资助单位。

在时代巨变之中,沈熊及其团队仍在坚持自主开发新型的激光多普勒测速仪<sup>[32]</sup>,及时将激光测速研究成果转化成产品。其生产的一维或二维激光多普勒测速仪价格为国外同类产品的五分之一至十分之一,至今共研制、销售40余台,购置单位有清华大学、北京理工大学、中科院工程热物理所、北京曙光电机厂、中国科学技术大学、浙江大学、哈尔滨工业大学、四川大学、重庆大学、西北工业大学、山东大学、集美大学、郑州烟草研究院等多家单位。这在丹麦 DANTEC 公司和美国 TSI 公司的产品至今仍在国内市场处于垄断地位的情形下,显得弥足珍贵。

此处引用来自第二届全国流速测量技术及其应用学术讨论会会议纪要。

三个二级课题为“动态测试技术”、“力学实验中的激光及声技术”和“力学实验数据采集与图像处理”。每个三级课题还分若干四级课题,共有27个四级课题,共有187人参加此项目,此处史料来自力学实验方法及测试技术协调组1986年6月编的《力学实验方法及测试技术论文选编》。

值得一提的是,同实验流体力学一样,在1980年代,实验固体力学的研发队伍也很壮大,自主研发的积极性很高,但之后这种氛围也逐渐消失。

沈熊教授退休后,于2000年参与了由丁启明任法人代表是北京飞驱佳科技服务有限公司,2019年,沈熊因为在激光测速领域做出的贡献获得了“庆祝中华人民共和国成立70周年”纪念章。

## 4 氛围之变的背后

兴起于 20 世纪 70—80 年代的国内自主研发激光多普勒测速仪的热潮到 20 世纪 90 年代逐渐沉寂，以至于目前国内仅有一家单位坚持研发，大部分高校和科研院所依靠进口仪器进行研究。这种氛围之变是特定历史时期（从封闭到开放）的一种特有现象，还是有其他的原因？

通过对当事人的访谈以及史料定性分析，可以认为缺乏相应的科学仪器研发资金是发生这种现象的重要初始原因。这在上一节已有所体现：“六五”重点项目为激光流速测量研发提供了资金支持，短时间内促进了仪器的自主研发，但终究无法抗衡世界银行贷款等带来的购买国外仪器的热潮。

与开篇提到的桑塔纳轿车<sup>[1,2]</sup>、激光视盘播放机<sup>[3]</sup>等工业产品不同，激光多普勒测速仪这类科学仪器的研发更容易受到国家科技政策，特别是科技规划的影响。蔺洁和王婷<sup>[33]</sup>从政策间断-平衡框架的视角分析了新中国成立以来的历次科技规划，认为 1966—1976 年和 1996—2000 年分别是中国科技规划演化过程中的第一个和第二个间断期，而政策图景、政策场域对科技规划平衡期有重要影响。将政策间断-平衡框架应用到科学仪器研发这个具体问题上，或可一窥其近半个世纪的氛围之变。1981 年，国务院根据 80 多位中国科学

院学部委员的建议，批准设立面向全国的科学基金，建立了中国科学院基金委员会。1986 年 2 月，国家自然科学基金委员会正式建立<sup>[34]</sup>。但是，基金委起初并没有设立资助研制新型科研仪器的专项基金。1995 年，卢嘉锡、王淦昌、王大珩等 20 位院士参加中国仪器仪表学会的“振兴中国仪器仪表工业座谈会”，会上提出了“关于振兴中国仪器仪表工业的建议”得到国家中央领导重视<sup>[35,36]</sup>。在此背景下，基金委 1998 年起设立“科学仪器基础研究专款”<sup>[37]</sup>。国务院在 2006 年发布的《国家中长期科学和技术发展规划纲要(2006—2020 年)》也强调要加强科学仪器设备的自主研发<sup>[38]</sup>。在此规划影响下，2011 年，科技部和财政部共同设立了“国家重大科学仪器设备开发专项”，用于支持重大科学仪器设备的开发。2014 年，基金委的科学仪器基础研究专款并入国家重大科研仪器设备研制专项，更名为国家重大科研仪器研制项目。但 1998 年之后，政府对科学仪器自主研发的支持还较有限，更不要提 20 世纪 80 年代之后，外资进入已冲击了国内本有的科学仪器研发氛围和基础<sup>[39]</sup>。可以认为，1980 年代中期之前的十几年，处于宏观科技规划政策间断期（及这一时期惯性影响阶段）的高校、研究所与工厂反而形成一种灵活的合作关系，自主开展了科学仪器研发。从 1980 年代中期直至 1998 年（或更

---

如何祚麻在 1992 年纪念自然科学基金会成立 10 周年时提到“我国科学基金制度却存在一大疏漏，亦即这一基金仅用于支持发挥现有仪器和设备的潜力，以进行创造性的研究……我国科学工作要在自力更生的基础上生根发芽，就尤其需要有独立的科学仪器和装备的研制……特此建议在自然科学基金会里设立为资助研制新型科研仪器或装备的专项基金，其数额至少是现有自然科学基金的三分之一”。

此外还有：唐敖庆、汪德昭、师昌绪、杨嘉墀、林兰英、马大猷、张存浩、叶笃正、汪家鼎、应崇福、高小霞、徐光宪、谢义炳、金国藩、李衍达、李志坚和李振声。

关于印发《国家重大科学仪器设备开发专项资金管理办法(试行)》的通知[EB/OL](2011-09-29). [http://www.most.gov.cn/tztg/201109/t20110929\\_90085.html](http://www.most.gov.cn/tztg/201109/t20110929_90085.html).

此处对科学仪器基础研究专款和国家重大科研仪器研制项目的资助强度做简要例举：科学仪器基础研究专款从 1998 年—2002 年，共资助 38 个项目，投入经费 3038 万元，平均资助强度 79.94 万元（数据引自白坤朝 2004 年硕士论文《国家自然科学基金委员会科学仪器资助政策研究》第 62 页）；2011 年度科学仪器基础研究专款项目共资助 55 项，资助经费 15 000 万元，平均资助强度为 272.73 万元/项（<https://www.nsf.gov.cn/nsfc/cen/xmzn/2012xmzn/13/02.html>）。而国家重大科研仪器研制项目 2019 年资助部门推荐项目 3 个，直接费用平均资助强度 6663.36 万元，资助自由申请项目 82 个，直接费用平均资助强度 711.59 万元（<https://www.nsf.gov.cn/publish/portal0/xmzn/2020/15/>）。

晚), 科学仪器研发处于其政策间断期, 这也是科学仪器研发氛围发生转变的时期。2006年(或更晚)开始, 科学仪器研发政策进入平衡期, 政策图景可表述为: 科学仪器设备要加强自主研发, 政策场域出现且加强, 基金委、科技部成为科学仪器研发的支持与管理部门。

当然, 研究资金的不足也存在于企业内部。金国藩<sup>[40]</sup>2002年分析制约中国仪器仪表产业科技创新及产业化发展滞缓的原因, 认为第一个因素就是科技投入严重不足, 主要指仪器仪表企业用于科技创新的开发资金比例过低: 国内一般不超过年销售额的3%, 而国外著名仪器仪表企业的这一比例通常都高于10%。赵阳华<sup>[41]</sup>在论及中国仪器仪表产业发展现状时, 也谈到企业因受多种因素限制而研发投入严重不足。

国内企业自身也存在其他问题, 以上文提到的银河仪表厂为例, 张业连在1994年6月曾致信沈熊, 提及工厂的情况越来越困难, 他所在的技术部门“情况也很不好, 企业发展靠科技进步, 要不断推出适销对路的新产品才有活力, 但技术队伍的状况却与之不相适应, 地理位置差, 工业基础薄弱, 给产品开发带来很多困难, 加上企业效益差, 缺乏激励性政策, 积极性得不到发挥, 人才严重流失, 又得不到补充, 更增加了困难性, 使新产品开发速度很慢”。对于激光多普勒测速仪这种技术难度大、产量小、更新换代快速的“小众”科技产品, 国内现有体制下的企业所遇到的困境是可以想象的。

跨学科、跨专业的人才可能是科学仪器研发最为关键的一环。王大珩等<sup>[42]</sup>多次强调不能把现代仪器单纯看作精密仪器, 在今天的信息时代, 仪器具有多学科高度综合的特点<sup>[43]</sup>。沈熊认为他能够坚持激光多普勒测速仪研发的重要原因是他本科学习自动化专业, 工作后又改

行做流体力学, 具备跨学科知识<sup>[16]</sup>。其实这不仅仅限于科学仪器, 工业软件的自主开发也需要各种跨专业人才<sup>[44,45]</sup>。更进一步, 有学者指出, “卡脖子”问题的解决就有赖于调整和优化现有的学科布局<sup>[46]</sup>。另外, 现行的科研评价体系要求科研人员快速发表论文, 而科学仪器的研发往往并不能速成, 可能也无法转化成高影响因子的论文, 这些都使科研人员无法潜心深入科学仪器的研发<sup>[11,47]</sup>。

## 5 结论

本文概述了20世纪60年代至今国际上激光多普勒测速仪的研究背景, 重点介绍了国内研究单位、工厂企业在20世纪70年代和20世纪80年代至今的激光多普勒测速仪研发情况, 揭示了其研发氛围从浓厚到沉寂的变化, 并从科技政策、科技管理等方面讨论了氛围之变的原因, 这为其他科学仪器研究, 乃至工业软件及所谓“卡脖子”产品(如光刻机)的研究提供了一个生动的案例。20世纪80年代中后期以来, 对外开放后的外资引入冲击了国内原有的研发氛围, 而国内资金支持又未能及时跟进, 后期已难以扭转高校等研究单位主要依赖进口仪器、自主研发科学仪器能力减弱的局面。同时, 跨专业人才的匮乏和现行科研评价体系存在的问题, 也阻碍了科学仪器的自主研发和创新。

## 致谢

感谢清华大学沈熊教授对本项研究的大力支持。本刊两名匿名评审人提出了中肯、细致的修改意见, 在此谨致谢忱。笔者曾于2021年11月3日在清华大学科学史系第100期学术例会上汇报过本文部分内容, 多位老师、同学参与讨论并提出建议, 在此一并致谢。

值得注意的一点是, 科技部和基金委对待科学仪器研发的态度有所不同, 科技部更注重成果转化, 基金委更关注项目前景。此处承蒙金国藩院士在2021年11月4日向作者指出, 在此致谢。

## 参考文献

- [1] 谢伟, 吴贵生. 国产化作为技术学习过程: 上海桑塔纳案例分析[J]. 科研管理, 1997, 18(1): 34-40.
- [2] 龚国华, 王国才, 张佶. 中小企业的技术创新策略: 桑塔纳轿车国产化的启示[J]. 研究与发展管理, 2001, 13(1): 15-19.
- [3] 路风, 慕玲. 本土创新、能力发展和竞争优势: 中国激光视盘播放机工业的发展及其对政府作用的政策含义[J]. 管理世界, 2003(12): 57-82, 155.
- [4] 王晓松. 产品工程化中的壁垒与陷阱: 以“万燕 VCD”现象为例[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2007, 3(0): 155-163.
- [5] 蒲欣, 李纪珍. 中国彩电企业跨技术范式的技术发展过程: 以长虹为例[J]. 管理案例研究与评论, 2008, 1(3): 1-11.
- [6] 孙喜, 路风. 从技术自立到创新: 一个关于技术学习的概念框架[J]. 科学学研究, 2015, 33(7): 975-984, 1016.
- [7] 郭年顺, 李君然. 本土半导体企业打破“后进者困境”的路径和机制: 以华为海思为例[J]. 企业经济, 2019, 38(6): 97-106.
- [8] 郭年顺. 贸易断裂背景下的供应链重组与中国创新机遇[J]. 文化纵横, 2021(4): 71-80, 158.
- [9] 赵捷, 张杰军. 振兴我国科学仪器设备产业刻不容缓[J]. 中国科技论坛, 2012(7): 69-73.
- [10] 李侠, 缪秋民, 吕慧云. 重大科研仪器研发的现状与困境[J]. 创新, 2018, 12(1): 61-72.
- [11] 王大洲, 何江波, 毕勤磊. 我国大型科学仪器设备研制状况及政策建议[J]. 工程研究——跨学科视野中的工程, 2016, 8(4): 401-410.
- [12] 夏清华, 乐毅. “卡脖子”技术究竟属于基础研究还是应用研究? [J]. 科技中国, 2020(10): 15-19.
- [13] 陈芳, 王学昭, 刘细文, 等. 美国出口管制科学仪器技术分类研究[J/OL]. 世界科技研究与发展: 1-11 [2021-11-13]. <https://doi.org/10.16507/j.issn.1006-6055.2021.07.002>.
- [14] 盛森芝, 沈熊, 舒玮. 流速测量技术[M]. 北京: 北京大学出版社, 1987, 141-143.
- [15] 沈熊. 激光测速技术(LDV)诞生 50 周年启示[J]. 实验流体力学, 2014, 28(6): 51-55.
- [16] 刘年凯. 我经历的激光测速研究: 清华大学沈熊教授访谈录[J]. 中国科技史杂志, 2020, 41(2): 241-250.
- [17] 刘年凯. 从科学仪器发现历史: 以中国首台自制激光多普勒测速仪为中心[J]. 中国科技史杂志, 2021, 42(1): 1-11.
- [18] Yeh Y, Cummins H Z. Localized fluid flow measurements with an He-Ne laser spectrometer[J]. Applied Physics Letters, 1964, 4(10): 176-178.
- [19] 天津大学电力及自动化系, 天津大学激光流速计科研组. 双光束激光多普勒流速计研究[J]. 天津大学学报, 1978, 11(1): 28-42.
- [20] 浙江大学流体力学组. 应用激光测量管道水的流动速度[J]. 炼油化工自动化, 1976, 12(2): 68-71.
- [21] 庄逢甘. 在气动实验非接触式测量会议上的总结发言[C]// 气动实验非接触式测量会议文选编辑组. 全国第一届气动实验非接触式测量会议文集 第一分册. [出版者不详], 1978, 1-14.
- [22] 清华大学科研处. 清华大学科学技术成果选编: 1978—1980[M]. [出版者不详], 1981.
- [23] 沈熊. 激光多普勒测速技术及应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [24] 盛森芝, 徐月亭, 袁辉靖. 近十年来流动测量技术的新发展[J]. 力学与实践, 2002, 24(5): 1-14.
- [25] 方惠坚, 张思敬清华大学志[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001: 348.
- [26] 唐之享, 喻志松. 教育系统利用外资的回顾与展望[J]. 当代教育论坛(宏观教育研究), 2007(7): 55-59.
- [27] 林声明. 世界银行在华教育贷款项目述评[J]. 世界教育信息, 2009, 22(10): 29-32, 42.
- [28] 崔玉屏. 小公司取得大成就[J]. 科技潮, 1997(10): 98-99.
- [29] 杨大铮. 丹迪(DANTEC)技术开发咨询中心成立[J]. 力学进展, 1985, 15(4): 549.
- [30] 中国科学技术咨询服务中心编. 科学技术回顾与展望[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 2004: 717.
- [31] 孙渝生, 赵建新, 范丽娟. 激光多普勒测速技术的最新发展[J]. 传感器世界, 1998, 4(8): 20-26.
- [32] 牛洪涛, 王连泽, 沈熊. 激光多普勒测速仪产品研发与应用[J]. 实验技术与管理, 2015, 32(3): 101-105.
- [33] 蔺洁, 王婷. 中国科技规划的演化规律——基于政策间断-平衡框架的分析视角[J/OL]. 科研管理: 1-16[2021-12-19]. <http://kns.cnki.net/kcms/detail/11.1567.G3.2021130.1716.004.html>.
- [34] 唐敖庆. 国家自然科学基金委员会一年多来的工作情况[J]. 大自然探索, 1987(4): 9-13, 2.
- [35] 关于振兴中国仪器仪表工业的建议[J]. 中国仪器仪表, 1995(1): 4-6.
- [36] 中央领导高度重视仪器仪表工业[J]. 电子仪器仪表用户, 1996, 3(4): 40.
- [37] 李志兰, 郑知敏, 谢焕瑛, 等. 国家重大科研仪器研制项目绩效评价探索: 产出、成效与影响[J]. 中国科学基金, 2019, 33(2): 162-167.
- [38] 吴波尔. 大力发展科学仪器设备 切实增强自主创新能力[J]. 现代科学仪器, 2007(4): 9-12.
- [39] 田保中. 如何发展完全自主的先进科学仪器产业[J]. 中国科技论坛, 2010(5): 31-35.

- [40] 金国藩. 中国仪器仪表产业发展之路[J]. 自动化信息, 2002(1): 4-7.
- [41] 赵阳华. 我国仪器仪表产业发展现状、问题及政策研究[J]. 中国仪器仪表, 2009(3): 29-33.
- [42] 王大珩. 关于发展我国仪器仪表事业的建议[J]. 中国科学院院刊, 1997, 12(5): 348-349.
- [43] 王大珩, 胡柏顺. 迎接 21 世纪挑战, 加速发展我国现代仪器事业[J]. 科技导报, 2000, 18(9): 3-6.
- [44] 董豪, 邓昌义. 以多元化投入促进自主工业软件发展[J]. 中国科技论坛, 2020(9): 13-15.
- [45] 蒋昕昊, 张冠男. 我国工业软件产业现状、发展趋势与基础分析[J]. 世界电信, 2016, 29(2): 13-18.
- [46] 王孜丹, 孙粒, 杜鹃. 学科布局的思路与出路: 基于“卡脖子”问题的若干思考[J]. 科学与社会, 2020, 10(4): 25-34.
- [47] 宋力昕. 关于“卡脖子”技术问题的思考[J]. 科学与社会, 2020, 10(4): 12-14.

## Changes in the Environment of Scientific Instruments Development: Investigation of the Development of Domestic Laser Doppler Velocimeter Since 1970s

Liu Niankai

*(Department of the History of Science, Tsinghua University, Beijing 100084, China)*

**Abstract:** Currently, the R & D level of scientific instruments in China lags behind advanced countries. The perspective of the history of scientific instrument enables us to investigate the reasons for this situation. This paper presents a study on laser Doppler velocimeter. Based on various historical records, we obtain that the environment of domestic research and development of the instrument has been decreasing since the 1970s; the lack of financial support and other reasons jointly contributed to this change.

**Key Words:** scientific instrument; history of scientific instrument; laser Doppler velocimeter; instrument research and development; “neck sticking”