

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

刘年凯

(清华大学科学史系 北京 100084)

摘要 科学仪器史正成为一种新的书写科学史的编史学视角。本文以清华大学科学博物馆(筹)收藏的中国第一台自制激光多普勒测速仪为研究对象,重构由这件科学仪器连接的历史。1964年 Yeh 和 Cummins 首次将激光多普勒频移应用于流速测量,其论文被中国流体力学界从1970年代开始引用至今,但两位作者却长久不为国内学界所知,故本文首先还原 Yeh 和 Cummins 在1964年前后的科研背景。1970年清华大学沈熊等人确立了激光测速研究方向,之后与宁夏银河仪表厂合作,在1975年研制出中国首台自制的激光多普勒测速仪。本文认为,历史性科学仪器或科技藏品背后有丰富的“地矿”可待发掘,科学仪器史足以作为科学史其他编史学视角的补充和借鉴。

关键词 激光多普勒测速仪 流体力学 科学仪器史 科学博物馆 科技藏品

中图分类号 N092:TH73

文献标识码 A 文章编号 1673-1441(2021)01-0001-11

20世纪80年代以来,“物质性”研究吸引了越来越多的历史学家参与,科学史家也开始关注与仪器有关的科学实践问题^[1-2]。在英国科学史学会2002年“收藏对仪器研究重要吗”的会议上,科学仪器史家詹姆斯·贝内特(James A. Bennett)甚至称科学史的仪器研究已经是“当前的时尚”^[3]。

17世纪末,牛津大学阿希莫尔博物馆开启了大学的博物馆收藏;20世纪初,一些名校开始收集本校的历史性科学仪器,如罗伯特·冈瑟(Robert T. Gunther, 1869—1940)从1915年起在牛津大学实验室搜寻、拍摄科学仪器^[4],大卫·惠特兰(David Wheatland, 1898—1993)在1920年代也开始了哈佛大学历史科学仪器的收藏事业^[5]。美国科学史家伯纳德·科恩(I. Bernard Cohen, 1914—2003)1950年著《美国科学的一些早期工具:哈佛大学早期科学仪器、矿物和生物学收藏记录》专门介绍了大卫·惠特兰收集、展出过的仪器和标本^[6]。近年来,对大学博物馆科学仪器背后的科学史研究也逐渐开展。以利兹大学为例,该校科学技术与医学博物馆馆长克莱尔·琼斯(Claire L. Jones)介绍了四件典

收稿日期:2020-06-24; 修回日期:2020-09-03

作者简介:刘年凯,1987年生,山东泰安人,清华大学科学史系博士后,研究方向为科学仪器史。

型科学仪器^①的历史,并认为研究这些藏品,丰富甚至刷新了人们对利兹大学在精密工程、经济学、医学以及分子生物学所做贡献的认识,由此强调大学科学仪器遗产的重要性^[7]。

科学仪器史视角的引入无疑可以丰富历史的书写方式,但目前国内学界的此类研究尚付阙如。本文以清华大学科学博物馆(筹)保存的中国第一台自制的激光多普勒测速仪(封二图1)为例作一尝试。这件珍贵的藏品是1960年激光器问世^[8]、1964年激光多普勒频移效应用于流速测量以来,中国流体力学界对激光流速测量开展研究的早期实物证明。其主要研制者,清华大学工程力学系沈熊教授^②使用、保存多年,认为它代表了一门新技术发生发展的过程,于2019年3月捐赠给清华大学科学博物馆(筹)永久收藏。本文即从这台激光多普勒测速仪出发,首先追溯1964年前后Yeh和Cummins将激光多普勒频移应用于流体流速测量的背景,其次叙述1970年清华大学沈熊等人确立研究方向、1973年张捷迁教授回国访问,以及1973—1975年清华大学与宁夏银河仪表厂联合研制的诸多细节,最终构建一幅由这台科学仪器为中心连接的图景。

1 Yeh 和 Cummins 在 1964 年前后的研究

观测者与波源之间发生相对运动时,观测者接收波频率与波源发射波频率不同,该现象因奥地利物理学家多普勒在1842年首先提出,而被称为多普勒效应。顾名思义,激光多普勒测速仪是利用激光的多普勒效应测量流体或固体运动速度的仪器。

1964年,美国哥伦比亚大学辐射实验室的Yin Yeh和Herman Z. Cummins在*Applied Physics Letters*(《应用物理快报》)上发表了论文“Localized Fluid Flow Measurement with an He-Ne Laser Spectrometer”(《利用氦氖激光光谱仪测量局部流体流动》),该论文依凭激光多普勒效应测量了层流管流的速度分布,在流体力学界引起了轰动,被公认为激光多普勒测速研究的奠基文章^[9]。目前,激光多普勒测速已广泛应用于军事、航空、航天、水利、能源、医学等多个领域^[10—13]。

然而,国内几代研究流体力学——尤其是实验流体力学的学者,对Y. Yeh和H. Z. Cummins两人却知之甚少^③,中文论文引用这篇1964年的APL文章时多写作“Yeh和Cummins”,也有人把Yeh译为“叶”或“杨”。单从Y. Yeh名字的拼写来看,此人似乎具有中国血统。确实如此,Y. Yeh的中文名字是叶寅,而且他和清华大学还有颇深的渊源:叶寅的父亲叶楷(1911—1997)在1936年获哈佛大学博士学位,1937年至1946年任

① 这四件仪器为:巴尔和斯特劳德测距仪(the Barr & Stroud rangefinder)、纽林·菲利普斯机器(The Newlyn-Philips machine)、阿特金森听诊器(Edward Atkinson's stethoscope)和阿斯特伯里相机(William Astbury's camera)。

② 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。

③ 沈熊教授已在激光测速领域工作研究五十余年,但2018年底我咨询沈教授时,他认为Yeh是中文“叶”的英译,推断此人应该有中国血统,但他并不认识Yeh和Cummins。推测Yeh和Cummins后来均没有在流体力学领域发展,所以不为国内同行所了解,带着这个假设,我联系到了Y. Yeh,详细了解了他和Cummins的科研经历。本文所述的Yeh和Cummins在1964年前后的科研背景史料多为Yeh教授提供。

清华大学无线电研究所教授^[14],1946—1948年任清华大学电机系主任^[15]。叶寅1938年在重庆北碚出生,在西南联大附属的小学读完小学二年级,在杭州读到小学四年级,1949年随家人赴美,1960年获得麻省理工学院的物理学学士学位,1965年在哥伦比亚大学获得博士学位,之后在哥伦比亚辐射实验室和劳伦斯利弗莫尔国家实验室做博士后研究。另一位作者赫曼·康明斯(H. Z. Cummins)1933年生于纽约,获俄亥俄州立大学学士和硕士学位,1963年获得哥伦比亚大学物理学博士学位,其导师是1964年诺贝尔物理学奖得主查尔斯·汤斯(Charles Townes, 1915—2015)——激光前身受激辐射微波放大器(Maser: Microwave Amplification by Stimulation Emission of Radiation)的发明者之一。

1962至1965年,康明斯担任叶寅在哥伦比亚辐射实验室的实验室导师,他们计划对液体进行激光光外差实验,将德拜-西尔斯效应(Debye-Sears effect)实现布里渊散射,但受激布里渊散射(Stimulated Brillouin Scattering)的工作被别人领先完成。所以,叶寅和康明斯稍微改变了研究方向,搭建了光学外差系统研究瑞利散射的扩散加宽,实验结果^[16]发表在1964年的*Physical Review Letters*。两人随后想到,应该用搭建的光学外差系统做些其他工作,于是他们考虑开展流速测量。叶寅读了一些流体力学方面的文献,在试验箱中加入聚苯乙烯球——这些聚苯乙烯球自身的动力学特性不会干扰试验箱中的颗粒流体测量——然后和康明斯利用激光多普勒效应研究简单的层流流动,实验结果除了发表在上文所述的*Applied Physics Letters*,也成为叶寅博士学位项目三分之一的内容。

1968年,叶寅访问在国家卫生研究院做博士后的弟弟叶辰(Jen Yeh)时,读到他推荐的詹姆斯·沃森(James Watson)所著的*Molecular Biology of the Gene*,开始对生物学感兴趣。叶寅于1972年赴加州大学戴维斯分校开始生物物理学研究,后任该校应用科学系教授。而康明斯博士毕业后听从导师汤斯的建议,没有继续激光器的研究,而是进入了激光光谱学领域,后在纽约城市大学任物理学教授,直至2010年去世。

也就是说,叶寅和康明斯1964年的激光多普勒测速研究只是他们科研生涯开始时的一段序曲(当时叶寅26岁,康明斯31岁),两人后来均没有在这个领域继续发展,这也是国内流体力学研究者引用“Yeh和Cummins”1964年APL论文已近半个世纪,但对两位作者所知甚少的原因。实际上,在叶寅和康明斯刚完成激光多普勒流速测量的工作时,也并未意识到这项工作的重要。据叶寅回忆,当时哥伦比亚大学专利工作人员咨询他们要不要为实验过程申请专利,他们认为只要学一些流体力学的知识就可以做这个小实验,所以没有申请^①。

1965年,美国布朗机械公司的福尔曼(J. W. Foreman)和他的同事在美国国家航空航天局(NASA)的资助下,首次测量了气体中的局部流速^[17],随后多位研究者提出使用一个入射透镜的双散射或差分多普勒系统。在英国,帝国理工学院的詹姆斯·亨特·怀特洛

① 叶寅教授的原文为“An interesting point during the writing of this paper was that the Columbia University patent people asked if we want to patent the process first. We just laughed, saying that anyone can learn a little hydrodynamics from a book and run such a little experiment”。

(James Hunter Whitelaw)^①在1968年开始与弗朗兹·杜斯特(Franz Durst)^②合作,开发了紧凑的集成光学系统,该系统成为丹麦迪沙电子仪器公司(DISA Electronics Division)商用系统的基础。1971年,DISA在国际上首次推出了可量产的激光多普勒测速仪(Laser Doppler Anemometer)^③,国际上其他公司也开始研发产品。

2 清华大学的激光多普勒测速仪研制:1970—1980

2.1 清华大学相关研究方向的确立

20世纪70年代初,清华大学关于流体测量的主要研究单位是工程力学系^④。工程力学系在1960年代曾承担超音速风洞的科研任务,因“文革”开始而中断,直到1970年才重新开展科研工作。沈熊当时作为一名年轻教师,读到Yeh和Cummins在1964年发表的论文,认为利用激光多普勒效应测量流体的瞬时速度和方向对于流体实验是重大突破,于是与潘文全和朱之墀组成了激光测速研究小组,并与清华大学水利系合作开展研究。1973年,《清华大学学报(自然科学版)》刊登了《应用激光量测溢流坝下游水平护坦上急流水流的流速分布》一文,这是国内第一篇应用激光测量流速的论文。该文署名为工程力学系与水利工程系组成的激光测速研究组,作者有工程力学系的沈熊、周作元和水利工程系的黄继汤。沈熊和周作元写了仪器装置部分,黄继汤完成实验数据整理部分。该论文反映了清华大学激光测速研究组两年来的成果:测量了急流水流边界层中的流速分布,确定了边界层厚度,证明实验室内用激光测明槽急流水流的点流速是可行的。该实验中,频差用WFG-1B型高频微伏表直接读出,测量的只是平均速度^[18]。如果要测量脉动速度,需要引进国外设备或自制更先进的仪器。

1972年3月7日至17日,丹麦政府海外展览委员会在北京展览馆举办了丹麦工业展览会,“展出了造船工业、食品加工工业、电子仪器、机器制造工业等方面的实物、图片和模型,展品面积共三千多平方米”^[19]。其中,上文提到的迪沙电子仪器公司展出了多项供应给科学和工业研究使用的电子仪器,包括测量气体和液体速度的仪器。沈熊和流体力学教研组的老师参观这次丹麦工业展览会时,看到迪沙电子仪器公司的一维激光多普勒测速仪,大为兴奋:当时他们已经在开展激光多普勒测速实验研究工作,现场看到国外的仪器实物,坚定了自主研发激光测速仪的信心。

2.2 张捷迁回国交流的影响

1972年2月,尼克松访华。在此背景下,同年6月,美籍中国学者参观团来访,并在7

① 詹姆斯·亨特·怀特洛(James Hunter Whitelaw, 1936—2006), 苏格兰人, 1961年博士毕业于格拉斯哥大学, 1963年进入帝国理工学院, 后任该院流体力学系主任。

② 弗朗兹·杜斯特(Franz Durst), 德国人, 1972年博士毕业于帝国理工大学, 1982年任埃尔兰根-纽伦堡大学流体力学研究所所长, 2006年退休后创办FMP Technology GmbH公司。

③ <https://www.dantecdynamics.com/about/history/>。

④ 清华大学工程力学系成立于1958年7月3日, 当时称为工程力学数学系, 1970年改名为工程力学系, 简称力学系。

月 14 日受到周恩来等人会见^①,美籍中国学者参观团团团长是著名物理学家任之恭教授,副团长为林家翘教授,成员有戴振铎、张明觉、王浩、易家训、叶楷^②、王宪钟、张捷迁、刘子健、沈元壤、李祖安及家眷共 27 人^[20]。其中,叶楷即为上文所提到的叶寅的父亲,而参观团中的张捷迁(1908—2004),对国内激光多普勒测速研究工作有较大推动。

张捷迁 1934 年就开始在清华大学任教,曾参与建造中国第一座风洞^[21]。他 1940 年赴加州理工学院读博,师从冯·卡门教授,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。在结束参观团在北京的活动后,1972 年 7 月 20 日,张捷迁回到家乡辽源,29 日去广州,30 日在广州给竺可桢写信,提到“辽源小山沟能有这样大变化……天气预报要预报台风,国内应造 10cm Radar,应发展 Geostationary 人造卫星”等^[22](页 161)。1973 年 2 月 10 日,张捷迁再次致信竺可桢,推荐美国气象学会的 Reed 教授和 Kellogg^③ 教授来中国访问,自己也希望再次回祖国交流。1973 年 3 月,竺可桢回复张捷迁,写道“中国科学院已决定请你在今年夏回祖国工作若干时间,届时你将和国内同行共同探讨彼此所感兴趣的课题。这对于促进科学的发展和加强彼此联系是有益的”^[22](页 743)。张捷迁 1973 年夏来到北京,在中国科学院大气物理研究所和力学研究所开展研究。

张捷迁在中科院力学所的科研方向是减阻问题,提出需要用激光测速仪测量非牛顿流体的减阻效应。当时清华大学请张捷迁讲授“粘性流体力学”这门课^④,他得知清华大学研发的仪器已有测量结果(即上节提到的 1973 年《清华大学学报》刊登的论文),就邀请清华大学工程力学系与中科院力学所合作。当时力学所九室也在研发激光测速仪,但还不能实测流速。沈熊、周作元和白洪生把实验仪器搬到力学所开展实验,该研究组的杨大铮^⑤、杨家寿和李广达三位研究人员前来观看,并改进其设备,实验合作在 1973 年底前结束。“进行的试验在很短期间内……逐步赶上国外工作”^⑥。

① 据 1972 年 7 月 15 日《人民日报》报道“国务院总理周恩来,外交部副部长乔冠华,国务院科教组组长刘西尧,中国科学院副院长竺可桢、吴有训,中华全国科学技术协会副主席周培源,今天晚上会见了正在中国参观、探亲的美籍中国学者参观团和美籍中国学者访问团全体人员,同他们进行了亲切友好的谈话。”

② 中科院外事组曾在 1972 年 4 月 6 日向竺可桢咨询代表团主要人员的历史、政治态度及国内亲属和相识。竺可桢 4 月 18 日回函中写道“这十人中我只认识林家翘、任之恭、戴振铎、叶楷和郭晓岚,而且二十年来都没有通过信……叶楷是浙江大学 1931 年电机系毕业生,他是中山大学数学系教授姜立夫的(侄)女婿(其爱人学数学,也在美国,原为立夫侄女),叶有一个同班浙大毕业同学陈荫谷,是北京某某电工研究所所长(原地下党员),与叶最为要好。”

③ Richard J. Reed (1922—2008), William W. Kellogg (1917—2007), 两人在 20 世纪 70 年代均担任过美国气象学会主席。

④ 地点在清华大学旧电机馆 211 教室,听课人员主要为工程力学系和水利系的教师。

⑤ 杨大铮,1939 年出生,北京市人,1962 年毕业于天津大学机械制造专业,后任中科院力学研究所工程师。

⑥ 关于这段经历,张捷迁曾这样回忆“我们在力学所的研究工作,跟大气物理所稍有不同。在力学所对综合物减阻问题,原准备在一九七四年上马,因为我加入那里,把计划提前了。我们做了三种试验:……第二种试验是用激光来测流场。这种试验近五、六年在中国发展得很快,我们进行的试验在很短期间内,跟清华大学工作者合作,逐步赶上国外工作。……”此处引自 1974 年 1 月 6 日香港《新晚报》。

3 清华大学与宁夏银河仪表厂的合作

清华大学与宁夏银河仪表厂的合作始于1973年^[23]。当时,宁夏回族自治区银川市银河仪表厂领导来清华大学参观,决定与清华大学力学系合作研发激光多普勒测速仪。为何宁夏银河仪表厂主动与清华大学合作?据《银河仪表厂厂志》记载,“1973年,根据国家激光技术发展的重点项目和宁夏区重工业局1974—1975年重大科学研究项目(743302)的安排,1973年12月银河仪表厂和清华大学力学系签订联合研制激光流速计的协议”([24],页70)。这些可看作银河仪表厂与清华大学合作的时代背景,如要找到厂校合作的直接原因,可能还需要对银河仪表厂的历史做一番考察。

在1964年中国周边环境恶化的形势下,毛泽东在1964年5—6月提出把全国分为一、二、三线的战略布局^[25 26]。西南、西北内陆地区属于三线,也称为“大三线”,沿海和沿边地区为一线,一线和三线之间的地区为二线。宁夏工业基础薄弱,三线建设的项目大部分源于沿海地区,如沈阳、大连、青岛等地的企业^[27]。

大连仪表厂即是计划迁建至宁夏的一线工厂。据一机部1965年(65)机密计字4号,“将大连仪表厂部分设备和人员迁往宁夏银川,建立银河流域仪表厂生产差压流量计”([24],页39—40)。1965年1月,大连仪表厂副厂长孙保堂等十余人组成首批筹建队伍赴银川,在银川拖拉机修理站的厂址建设银河流域仪表厂(1966年4月改名为银河仪表厂),1965年10月该厂开始人员和设备的搬迁,1966年11月全厂人员的搬迁工作结束([24],页39—40)。

然而“文革”的爆发使得工厂的各项工作不再正常,1967年8月驻宁8119部队进驻银河仪表厂,全权掌管了工厂的生产、技术和经营管理,1968年银河仪表厂革命委员会成立,由军代表和群众代表组成,此后经历了多次人事变动。原副厂长孙保堂受到冲击,没有任职,直至1970年7月调任青山材料试验机厂任革委会副主任,后于1972年11月调回银河仪表厂任革委会副主任,并从当年12月任党委书记至1983年([24],页14—16)。银河仪表厂1973年与清华大学接洽,应可看作孙保堂1972年底开始主持工厂各项业务的最初举措之一,但究竟为何选择清华大学力学系,还需要进一步考证^①。

总之,1973年12月,宁夏银河仪表厂与清华大学力学系签署协议后,双方即成立了联合研发小组,1974年初正式开始研制。小组成员有清华大学的沈熊、周作元、白洪生和银河仪表厂的张业连、苗华义、陈加兴以及一位八级钳工师傅,其中张业连是清华大学无线电系1966届毕业生。沈熊担任研发小组组长^[23]。

沈熊的夫人夏雪湔的姐姐夏似萍^②1970年代在宁夏计划委员会就职,夏似萍的丈夫

① 沈熊对银河仪表厂为何主动与清华大学力学系合作也感到疑惑,他认为可能是因为该厂有人读到了他们发表在《清华大学学报》上的论文,或许是因为他们在1973年和力学系合作的消息被该厂得知。

② 夏似萍(1917—1992),江苏无锡人,1938年携其三妹夏雪芬和四弟夏鉴渊赴延安,中华人民共和国成立后,任国家计委综合计划局副局长,1958年调入宁夏回族自治区,曾任计划委员会副主任、主任,宁夏回族自治区人民政府副主席、顾问,第三届全国人大代表。

李春和^①其时在宁夏重工业局任副局长。在代表银河仪表厂签署了协议后,孙保堂听说沈熊有亲戚在银川,且任职于与工厂业务关系密切的重工业局和计委,就主动联系了夏似萍与李春和。沈熊并没有先联系夏似萍夫妇,他有自己的顾虑:夏似萍在“文革”前期曾被当做走资派打倒,批斗期间还来北京躲在沈熊家避难两月。虽然她在“文革”后期的1974年已复职,但沈熊认为,若他贸然联系夏似萍或仍使对方为难。

不过,在孙保堂的联络与沟通后,夏似萍所在的宁夏计委专拨外汇,引进了一台丹麦迪沙电子仪器公司生产的55L型一维激光测速仪,供联合研发小组参考。1970年代初,国际上激光多普勒测速仪的第一代市场产品,光路系统为离散的光学元件,处理器为模拟输出的跟踪型信号处理器^[28],具体说来,由激光器、入射光学单元、接收光学单元、多普勒信号处理器以及数据处理系统5部分组成。激光器提供单色相干光的光源;入射光学单元将激光束分成多束互相平行的光束;接收光学单元收集运动微粒发出的散射光,经过光学外差和光电转换得到多普勒频移的信号;多普勒信号处理器对频率进行分析;数据处理系统采集和处理数据^[10]。沈熊等人在光学系统的研制上已有成功经验,因此研发小组前期主要任务是在清华大学研制信号处理器,即采用模拟技术的频率跟踪器。

在研制频率跟踪器原型机的过程中,为了加深对国外电子线路的理解,研发小组邀请清华大学自动化系常迥^②教授前来指导。常迥透彻分析了频率跟踪器的电子线路,对研究小组帮助很大。理解了电路之后,研究人员分工制造5块电路主板、底板和电源板,沈熊负责两块主板及底板,周作元、张业连和陈加兴各负责一块主板,白洪生负责电源板。初样机没有底板(正式样机才设计底板),而是用软线连接各主板,然后手工绘制电路板线路图,用药水溶掉多余的铜皮,所以制得的电路板不甚美观,但足堪使用。当时西方国家对我国实行禁运,而中国的半导体工业也刚刚起步,集成电路方面的研究更是几乎空白,所以研发小组不得不用国产元器件替代国外元器件,采用晶体管电路替代集成电路——因此制造的仪器比国外的大许多^[23]。原型机的外壳机械部分由八级钳工师傅手工制作^③。

联合研发小组在清华大学的工作结束时,第三机械工业部304所的两位研究人员程元中^④和诸国林也加入了研制工作。程元中1972年底从湖北襄樊的“五七干校”返回304所,参与了该所激光脉冲流量仪的课题,负责信号处理系统^[29],该课题需要借助激光多普勒测速仪开展流速测量。听说了清华大学与银河仪表厂正在合作的消息后,程元中向304所上级汇报,希望也参与到该项目中。在获批后,程元中、诸国林与研发小组成员一

① 李春和(1919—1991),山东枣庄人,回族,1939年赴延安,1953年任第一机械工业部二局生产处副处长,1958年调入宁夏回族自治区,历任宁夏机械局副局长,重工业局副局长,工业厅副厅长,宁夏国防科工办党组书记、主任等。

② 常迥(1917—1991),1935年考入北京大学物理系,1936年转入清华大学电机系,1940年毕业于西南联大电机系,1947年获哈佛大学博士学位,是清华大学无线电工程系1952年建系时的两位教授之一,另一位是孟昭英教授(1906—1995)。常迥1980年当选为中国科学院院士(学部委员)。

③ 遗憾的是,这台原型机现已不可寻。

④ 程元中,1940年2月生于安徽绩溪,1957年考入清华大学动力机械系,1963年1月从热工量测及自动控制专业毕业,分配到三机部和国防科委双重领导的六院六所,在报到前不久六院六所按照国防科委规定从军队编制分离,改为304所。

起从北京坐火车到银川^①。后期研发工作在宁夏银河仪表厂进行,主要任务是研制正式样机。

在经历了约4个月的研发后,1975年6月,正式样机研制成功。该初样机使用小功率氦氖激光器作为激光光源,功率为5毫瓦,光学系统采用一维双光束光路和光电倍增管收集光系统。频率跟踪器型号为LJP-01,正面板上有电平调节、手动调节、中频电平调节、门限调节、频率范围、中频带宽的旋钮,还有输入、监视以及模拟输出的接口,右上方有多普勒频率表盘,背面板刻写“银河仪表厂制造”字样,仪器的测速范围可从3毫米/秒至220米/秒^[30]。清华大学力学系无偿得到这台样机——即清华大学科学博物馆(筹)在2019年得到的这件藏品,至今仍可运行。304所则以5万元的价格提前预定了一台。

研发结束后,沈熊、周作元、白洪生、程元中和诸国林回到北京。清华大学力学系使用该样机开展应用实验,并对激光流速计继续研发改进,封二图2即展示了沈熊、周作元和白洪生在上世纪70年代后期利用这台激光多普勒测速仪开展研发的实验场景。到1976年4月,银河仪表厂又试制出3台激光测速仪,型号为SXJ-01^②,304所将测速仪应用到了激光脉冲流量仪课题中,进行信号处理与数字显示系统的研制与调试。

在三方合作的情况下,经费如何分配?银河仪表厂和清华大学力学系签订合同时,即明确规定甲方即银河仪表厂承担一切费用,银河仪表厂为该项目拨款3万元,研制过程中的元器件按需购买,若清华大学有该材料,则不再购买而直接使用。差旅与生活费则实报实销。1974年初,厂方所派的4位研究人员到清华大学,其差旅费及生活费均从3万元中支付,清华大学3名研究人员去银川的花费也从中报销,项目结束后的余款及剩余元器件返回厂方。304所的2位研究人员则由本单位承担差旅费及生活费。

在1976年之后,“1977年至1979年厂除整顿图纸、编写技术文件外,重点解决样机存在的技术问题,以提高基本误差限和稳定性”([24],页70)。沈熊1976年被派到清华大学团河农村分校担任农机61班班主任,1978年回到清华大学申报奖项,并准备技术鉴定^[23]。“激光流速计”在1978年获国家科学大会奖状^③。1980年6月30日至7月2日,在清华大学召开激光流速计科技成果鉴定会,代表们认为“SXJ-01型激光流速计设计合理,性能良好,具有国内先进水平”^④。同年7月22日,《宁夏日报》在头版以“银河仪表厂和清华大学经过长期密切合作研制成功我国第一台激光流速计”为题做了报道。

然而,在这之后,银河仪表厂并没有持续生产该产品。据记载,1981年只小批量生产

① 此处史料来自对程元中先生的访谈,在此致谢。

② 此处数据引自《银河仪表厂志》第70页。但据该厂志第五章“历年产品品种、产量、产值表”记载,1976年生产了1台产品,1979年生产了2台。两处数据有矛盾,但可以肯定,1976年至少生产出1台产品,且被304所购买。

③ 1978年全国科学大会上,清华大学工程力学系为受奖者之一,编号0009058,完成的成果有激光全息测振,合作完成的成果有:管板式热交换器管板强度分析、固定式换热器强度设计、激光流速计、200吨船台门式吊车以及冲击波动压测量系统。

④ 宁夏科委副主任田丕基担任鉴定委员会主任,副主任有宁夏机械局副局长张国祯、清华大学科研处副处长高正翔、工程力学系副主任杜庆华等6人,委员有重庆自动化所工程师毛新业等64人。此处史料来自激光流速计科技成果鉴定会文件。

9 台^①,产值 31.5 万元,平均每台产值 3.5 万元([24],页 70),而银河仪表厂当年的工业总产值 503.8 万,即激光多普勒测速仪的总产值仅占 1981 年该厂工业总产值的 6.25%。由于“销售量少、产品复杂、生产组织困难,故 1982 年以后再未投产”([24],页 70)。这自然体现了厂方领导对于工厂整体经济效益的考量:1981 年,银河仪表厂有职工 902 人,当年生产补偿式微压计产量 100 台,双波纹管差压计产量 2269 台,节流装置 1137 套,硅两瓦电台 200 部^②,这些产品贡献了当年产值的绝大部分。作为职工数目接近千人的厂子,必须依靠这些优势产品保持效益^③,如果集中工厂最好的技术力量研发难度很高的激光流速计,那么在 1980 年之后国有企业由“生产型”转变成“生产经营型”的时代背景下,显然不利于工厂的发展。

4 总结

作为清华大学科学博物馆(筹)的珍贵藏品,中国首台自制的激光多普勒测速仪与清华大学的渊源颇深。它可被看作这所大学厚重的科学底蕴的一个具体而微的落脚点,对其研究可以在某种程度上描绘出一幅即使亲历者也不能窥全貌的历史图景。这也与近几十年科学史界兴起的“物质转向”相呼应:典型的科学仪器背后往往潜藏着互相关联的复杂历史,对科学仪器(物质)的研究,可以更深刻、全面地理解科学实践。

从收藏史的角度看,中国第一台自制的激光多普勒测速仪存世至今,并非无缘无故,而是其来有自:它诞生于近半个世纪之前的银川,运至北京,随着科技的革新而迅速过时,但在时代氛围的巨变中,它的研制者兼保存者始终在其基础上不断改进,希冀与国际同类产品竞技——它也因此避免了因过时而被丢弃的命运。

更进一步,以激光多普勒测速仪为代表,这些“过时”的科学仪器其实不仅仅是科学研究、科学史与科学博物馆的遗产,在更大的层面上,它们还是文化史、外交史、工业史与经济史的实物证据。激光多普勒测速仪的研制得以顺利完成,工业展览会的展出、中美科学家的交流以及清华大学与银河仪表厂的校企合作,甚至个人的人际关系,它们的贡献和影响不容忽视——在这台激光多普勒测速仪的背后,有一片宏大无比的科学遗产之“地矿”尚待发掘,这对于科学史研究和科学博物馆建设是深有启发的:当观众行经博物馆陈列的科技藏品时,我们的使命绝不仅于告知相关展品的科学用途与原理,更要让观众在一瞥之间,窥得科技、政治、经济和社会交织的历史复杂性。某种程度上,这种复杂性也触及科学问题的本质。

致谢 感谢清华大学沈熊教授和加州大学戴维斯分校叶寅教授对本项研究的大力支持。感谢中山大学肖鹏副教授给予的启发。本刊匿名评审人提出了细致而中肯的修改

① 此处数据引自《银河仪表厂志》第 70 页,而据该厂志第五章“历年产品品种、产量、产值表”记载,1980 年生产产品 5 台,1981 年生产 4 台,总数为 9 台。

② 此处数据来自《银河仪表厂志》第五章“历年产品品种、产量、产值表”。

③ 事实上,到了 1990 年代这些产品仍然是该厂的“吃饭产品”:1994 年,张业连写给沈熊的信中,提到“现在厂里的吃饭产品除了涡街流量计,还是老产品双波纹管差压计、节流装置、电容式物位计”。

意见,在此谨致谢忱。本文曾于2020年12月在清华大学科学史系吴国盛教授的组会上宣读,吴国盛教授、马玺博士、司宏伟博士和王泽宇、杨啸、徐军等同学提出了修改建议,在此一并致谢。

参 考 文 献

- 1 Taub B L. Introduction: reengaging with instruments[J]. *Isis*, 2011, **102**(4): 689—696.
- 2 Alberti S J M. Shaping scientific instrument collections[J]. *Journal of the History of Collections*, 2019, **3**(3): 445—452.
- 3 Bennett J. Presidential Address: Knowing and Doing in the Sixteenth Century: What Were Instruments For? [J]. *British Journal for the History of Science*, 2003, **36**: 129—150.
- 4 Warner D J. What is a scientific instrument, when did it become one, and why? [J]. *British Journal for the History of Science*, 1990, **23**: 83—93.
- 5 Andrewes W J H. The Legacy of David Wheatland [J]. *Journal of the History of Collections*, 1995, **7**: 261—68.
- 6 Cohen I B. *Some Early Tools of American Science. An Account of the Early Scientific Instruments and Mineralogical and Biological Collections in Harvard University* [M]. Cambridge: Harvard University Press, 1950.
- 7 Claire L J. How to make a university history of science museum: lessons from Leeds [J]. *Studies in History & Philosophy of Science*, 2013, **44**: 716—724.
- 8 Maiman T H. Stimulated optical radiation in ruby [J]. *Nature*, 1960, **187**: 493—494.
- 9 Yeh Y, Cummins H Z. Localized fluid flow measurements with an He-Ne laser spectrometer [J]. *Applied Physics Letters*, 1964, **4**(10): 176.
- 10 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.
- 11 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. 7.
- 12 张艳艳, 巩轲, 何淑芳, 霍玉晶. 激光多普勒测速技术进展 [J]. *激光与红外*, 2010, **40**(11): 1157—1162.
- 13 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.
- 14 陈家新, 丁兆君, 胡化凯. 抗战时期的清华无线电研究所 [J]. *哈尔滨工业大学学报(社会科学版)*, 2008, **4**(6): 7—12.
- 15 王孙禹, 曾嵘, 康重庆, 李珍, 赵伟. 清华时间简史·电机工程系 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2015. 56.
- 16 Cummins H Z, Knable N, Yeh Y. Observation of diffusion broadening of rayleigh scattered light [J]. *Physical Review Letters*, 1964, **12**(6): 150—153.
- 17 Foreman J W Jr, George E W, Lewis R D. Measurement of localized flow velocities in gases with a laser Doppler flowmeter [J]. *Applied Physics Letters*, 1965, **7**(4): 77—78.
- 18 清华大学工程力学系水利工程系激光测速研究组. 应用激光量测溢流坝下游水平护坦上急流水流的流速分布 [J]. *清华大学学报(自然科学版)*, 1973, **4**(4): 104—116.
- 19 丹麦工业展览会在北京举行开幕式 [N]. *人民日报*, 1972-3-7: 5.
- 20 任之恭. 一位华裔物理学家的回忆 [M]. 太原: 山西高校联合出版社, 1992. 166—172.
- 21 张捷迁. 回忆清华开创的航空研究 [J]. *中国科技史料*, 1983, **4**(2): 10—19.
- 22 竺可桢. 竺可桢全集(第21卷) [M]. 上海: 上海科技教育出版社, 2011.
- 23 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.
- 24 银河仪表厂志编纂小组. 银河仪表厂志(1965—1989) [Z]. 1990.
- 25 孙东升. 我国经济建设战略布局的大转变——三线建设决策形成述略 [J]. *党的文献*, 1995, **4**(3): 42—48.
- 26 董宝训. 影响三线建设决策相关因素的历史透析 [J]. *山东大学学报(哲学社会科学版)*, 2001, **4**(1): 89—93.
- 27 袁世超, 马万利. 迁移、发展与融合: 宁夏三线建设历史考察 [J]. *宁夏社会科学*, 2019, **4**(5): 186—193.
- 28 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, **4**(5): 1—14.
- 29 程元中. 如痴如迷 人生如戏 程元中回忆录 [M]. 北京: 团结出版社, 2015. 112—116.
- 30 清华大学工程力学系激光测速组. 激光多普勒测速仪的研制 [A]. 全国第一届气动实验非接触测量会议文集(第二分册) [C]. 1978. 6—17.

Discovering History from Scientific Instruments: A Case Study of China's First Laser Doppler Velocimeter

LIU Niankai

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

Abstract The history of scientific instruments is becoming a new historiographical perspective to the writing of the history of science. This paper reconstructs the history of the first laser Doppler velocimeter made in China now housed in the Science Museum of Tsinghua University. In 1964, Yeh and Cummins applied laser Doppler frequency shift to velocity measurement for the first time. Their papers have been cited by Chinese researchers on hydrodynamics since the 1970s. However, the two authors have not been widely known to domestic academic circles for a long time. Therefore, this paper first restores the scientific research background of Yeh and Cummins before and after 1964. In 1970, Shen Xiong and his colleagues at Tsinghua University established the research direction of laser Doppler velocimetry. Later, through cooperation with the Ningxia Yinhe Instrument Factory, the first laser Doppler velocimeter was developed in China in 1975. This paper argues that there are abundant “deposits” to be explored behind historical scientific instruments or scientific and technological collections. The introduction of the history of scientific instruments can be used as a supplement to and a reference for other historiography perspectives of the history of science.

Keywords Laser Doppler Velocimeter, hydrodynamics, history of scientific instruments, Science Museum, scientific and technological collection