

清华大学对氦氖激光器寿命延长研究的历史考察

——以 1982 年自制氦氖激光器为中心

刘元兴 刘年凯

(清华大学科学史系, 北京 100084)

摘要 1963 年, 我国第一台氦氖激光器问世。此后, 这类激光器逐渐成为科研与生产领域应用最广泛的气体激光器之一。然而, 提高其较短的使用寿命成为该仪器亟待解决的关键问题。在政策支持与生产需求的双重推动下, 清华大学从 20 世纪 70 年代开始介入氦氖激光器寿命研究。基于对亲历者的口述访谈, 并结合手写油印论文、攻关总结报告、鉴定会材料, 以及对清华大学科学博物馆收藏的 1982 年造氦氖激光器的实物分析, 研究系统还原了清华大学自主研发硬封接氦氖激光器的历史背景与制造工艺。

关键词 氦氖激光器 寿命 科学仪器史 科技藏品 清华大学

中图分类号 N092 : O43

文献标识码 A **文章编号** 1673-1441(2025)04-0699-10

激光器是 20 世纪 60 年代出现的一种科学仪器, 一般由工作物质、激励源以及光学谐振腔三部分组成。关于我国激光的发展史研究已有不少成果: 邓锡铭主编《中国激光史概要》^[1]介绍了中国在 20 世纪 90 年代前的激光发展进程; 单振国、干福熹^[2], 雷仕湛、邵兰星等^[3]针对不同激光器的发展, 尽可能全面的介绍各类激光器的原理和应用; 王之江^[4]、陈崇斌和孙洪庆^[5]回忆和详细考证了我国第一台红宝石激光器的研发始末; 等等。

氦氖激光器是一种气体激光器, 其工作物质为氦氖混合气, 可以产生红外与可见光多种频率的激光, 至今已广泛应用于科学研究、生产制造和日常生活。1978—1982 年, 为解决氦氖激光器面临的硬封接难题, 清华大学精密仪器系研制出采用高频感应电阻损耗加热法实现硬封接工艺的氦氖激光器。该激光器气密性极佳, 而且因加入了自研的铅石墨消气剂, 抗杂气能力强, 目前仍能正常发光, 是清华大学科学博物馆的珍贵藏品(封二图 1)。本文以这台自制的氦氖激光器为具体案例开展研究, 介绍我国在 20 世纪 70 年代就

收稿日期: 2024-05-13; 修回日期: 2024-08-23

作者简介: 刘元兴, 1994 年生, 清华大学科学史系助理研究员, 研究方向为物理学史、科学仪器史; 刘年凯, 1987 年生, 清华大学科学史系副教授, 研究方向为科学仪器史、科学博物馆学。

基金项目: 国家资助博士后研究人员计划(项目编号: GZC20231383); 国家社会科学基金一般项目“新中国初期北京和上海科学仪器行业史料整理与研究”(项目编号: 24BZS106)。

延长氦氖激光器寿命上所做的工作,并勾勒清华大学无线电电子学系的相关研究经历,最后详细阐述清华大学精密仪器系自制硬封接氦氖激光器的过程。

1 我国氦氖激光器的发展与国际背景

美国在 1960 年制造出世界上第一台红外氦氖激光器,1962 年制造出第一台可见光氦氖激光器。这两台激光器在研制过程中都遇到了高反射率反射镜制作难题,并分别通过科学家与技术工人间的合作^[6],以及科学家与企业间的合作^[7]等方式来解决。1961 年,我国制造出第一台红宝石激光器,这台以红宝石晶体为工作物质的固体激光器给我国激光技术的发展提供了极大的信心。

但气体激光器如氦氖激光器对制造工艺要求更加严苛,从当时我国光学的整体发展来看,氦氖激光器所需的关键物质技术基础分别为光学玻璃和高反射率镀膜,二者自 20 世纪 50 年代起都具有一定的技术积累。一方面,自 1953 年起,我国已成功制造出光学玻璃,并在 20 世纪 60 年代起开始研制合适激光器的激光玻璃。另一方面,1954 年我国成功研制出国内第一台真空镀膜机,并在 1962 年起开始攻克激光器所需的多层高反射率镀膜。在这样的背景下,我国在 1963 年 7 月成功研制出氦氖激光器。

红宝石激光器、钕玻璃激光器、氦氖激光器等被相继研制出来后,由于激光器在国防军事、医疗、生产等方向均具有良好的应用前景,1963 年 9 月中国科学院向聂荣臻副总理建议建设专门研究激光技术的激光科学研究所。聂荣臻副总理指示:“在上海建所为宜,可以充分利用上海的工业基础,加速发展激光技术。”^[8]1964 年我国第一个专业研究激光技术的研究所——中国科学院上海光学精密机械研究所(时为中国科学院光学精密机械仪器研究所上海分所)正式成立。

氦氖激光器作为一种较易实现,且适用范围极高的可见光激光器,其研究则逐渐转向商品化。1964 年 2 月中国科学院电子学研究所成功研究出一整套激光器的制备工艺,并将科研成果递交给北京科学仪器厂。双方合作于 1964 年底成功生产了我国第一批氦氖激光器产品——GSL-1A 型气体激光器([1],页 21;[9]),是我国首批面向市场的激光器产品。

从整体国际大背景上来看,我国的氦氖激光器研制与除美国外的其余国家几乎是平行发展的,如 1963—1964 年,巴利克(Ed Ballik)在英国的剑桥大学制造出了英国的第一台氦氖激光器^[10],20 世纪 60 年代中期,苏联、加拿大、德国、捷克斯洛伐克等国家也开始对气体激光器进行研究、制造并商品化。其中研究激光器的有代表性的机构包括美国贝尔实验室、加拿大的多伦多大学、德国慕尼黑黑大学等,商品化后具有代表性的企业有美国光学公司(American Optical)、休斯飞机公司(Hughes Aircraft)、德国西门子公司(Siemens)等。从研究上看,氦氖激光器被广泛应用至精密测量、全息拍摄、光谱学研究、医疗等方向后,西方的科学家尝试通过使用冷阴极^[11]、填充额外物质^[12]、改变封接([13],页 79)等方式来延长其使用寿命,日本学者则认为氦氖激光器的寿命主要受到阴极、净化(cleanup)和布儒斯特窗三方面的影响^[14]。从商业上看,在 20 世纪 70 年代初起,美国已完成氦氖激光流线化生产,有成熟的、满足不同需求的各种功率氦氖激光器商品可

供选择,不仅将原来售价万元美金的氦氖激光器降至百元美金([13],页11),还率先将氦氖激光器推广至公众视野,在1974年将其应用至超市扫描仪^[12]。

同一时期,由于氦氖激光器的长寿命工艺属于商业机密,难以借鉴学习,因此我国的氦氖激光器生产流程仍处于独立探索的阶段。通过1973年北京科学仪器厂供内部交流的期刊《光学与计量》第3期^[15],以及1974年中国科学院电子学研究所505组的工艺问题讨论^[16]中可以看到,我国氦氖激光器的制造流程中,清洗、胶合处理、真空处理、阴极处理等步骤的操作手法较为朴素,气密性较差。这导致中国制造的氦氖激光器与西方相比存在的问题也逐渐凸显出来,其中关键的一点在于工作寿命太短。1975年以前我国的国产氦氖管一般工作寿命仅1000小时,存放期只保证半年^[17],无法进一步满足科研、生产等使用需求,而同时期美国商品化的氦氖激光器一般寿命可达10000小时以上,最高可达30000小时([13],页78)。只有提高氦氖激光器的质量,尤其是延长激光器的寿命,才能使激光在应用中发挥作用^[18]。为解决这一迫在眉睫的问题,中华人民共和国第一机械工业部(以下简称一机部)于1975年把氦氖激光器攻关列为一机部一百项基础件攻关项目之一,组织了沈阳仪器仪表研究所、广州机床研究所、浙江大学、清华大学、成都温度表厂等多个单位联合攻关^[19]。正是在这样的政策与社会需求的背景下,清华大学开始全面介入氦氖激光器的寿命研究。

2 清华大学对氦氖激光器寿命的研究

清华大学对激光的教学和研究可追溯到20世纪70年代前后。1969年底,无线电电子学系、精密仪器及机械制造系、自动控制系以及基础课的部分教职工迁往四川绵阳分校([20],页68),至1975年,四川绵阳分校已经设置了激光专业([20],页75)。此外,清华大学本部在1973年成立了固体物理、物质结构、激光、有机催化四个研究班^[21],共招收学员43名([20],页249)。激光研究班开展了激光理论研究和应用。

至1975年接到一机部攻关任务前,清华大学已尝试生产了一批中功率的氦氖激光器提供给其他单位使用,为氦氖激光器的寿命研究提供了一定的研究基础。据现有史料统计,在这批氦氖激光器中,提供给四川大学的三台(75044、75036、75025)、电力科学研究院的两台(75006、75004)和715厂的一台(73001)为寿命最长的六台,其中除73001是旁阴极内腔管外,其它五只管都是旁阴极半内腔管^[22]。根据这批氦氖激光器的使用情况能够得到一部分寿命统计以及与实际生产相关的数据:半腔管和外腔管寿命的平均值要长于内腔管,旁阴极则可以有效防止溅射污染,其寿命也要长于同轴阴极的激光器。同时,使用单位反映调节外腔太麻烦,而半腔调节技术比较容易掌握,一般一、二小时即可学会^[23]。

在接到攻关任务后,位于绵阳的清华大学无线电电子学系气体激光组主要与成都温度表厂合作,研究高可靠中功率氦氖管。结合这批氦氖激光器的寿命研究与实际使用后的反馈,将攻关目标锁定在旁阴极半腔管的氦氖激光器上。

1976—1977年间,清华大学根据之前的制管经验,分别改进了玻璃的制造工艺、阴极的清洗工艺、环氧树脂的贴片方法、排气工艺等。针对毛细管合格率较低这一问题,则是

根据合格品的毛细管长度来设计激光器的整体长度。通过这些新工艺与想法,清华大学共生产了 53 只旁阴极管(不包含 6 只无法使用的废品管)。其中,有 34 只完全符合工艺标准并功率达标的称为标准管;另 19 只管存在一定的工艺缺陷但功率正常(16 只),或工艺合格但功率略低于其他管子(3 只),被称为次品管。

这些标准管被交给至各单位使用,并长期追踪、记录其使用情况与使用时间。在为期约 6 年的时间中,使用单位反映 1976—1977 年制造的这批标准管中,有 5 只已经报废,结合 1972—1975 年生产的部分长寿命管,得到表 1—2^[24]。

表 1 1972—1975 年研制部分氦氛管报废后简况

管号	寿命	报废后简况	使用单位
73001	5 年 11 月	部分放电转白蓝光,直到 9 年变化不大	715 厂
75004	4 年 9 月	部分放电转微白,直到 7 年 9 月变化不大	电力科学研究院
75025	7 年 1 月	用户反映放电不正常,已不能出光	四川大学
75036	6 年 11 月	用户反映放电不正常,已不能出光	四川大学
75044	6 年 10 月	放电正常,不出光	四川大学

表 2 1976—1977 年制造并报废标准管简况

管号	寿命	报废现象或原因	使用单位
76023	85 天	玻璃加工缺陷,环形接口击穿	西安医学院
731	3 年 2 月	功率下降,原因不清楚	绵阳地区人民医院
G7640	5 年	起初放电不出光,5 年 10 月后放电部分微白,部分紫红	四川大学
7620	1 年多	起初不出光,6 年后放电稍变蓝	安光所
G7601	5 年 5 月	放电阴极颈部变微白色,半年无明显变化	本组

通过对 1972—1975 年所制造的氦氛激光管与 1976—1977 年制作并报废的标准管所开展的进一步研究,为氦氛激光器的寿命研究提供了更为精确的研究数据。大部分氦氛激光管在寿命结束时会发生放电变色现象,根据这一事实,可以推测,制造工艺良好的激光管的寿命之所以不及预期,主要是因为管内气体发生了一定程度的泄露。

在对标准管的三年考核期中,有 89% 的标准管仍可以保持正常使用,在与使用单位交流后发现,若在指定的工作电流条件下,这些标准管也没有产生阴极溅射过强的现象。在这些通过考核的标准管中,还对 19 只展开了长期存放的实验研究。其中 6—8 个月的有 8 只,1 年—1 年 5 个月的有 6 只,1 年 8 个月—2 年 4 个月的有 3 只,2 年 8 个月和 3 年的分别有 1 只,存放较长的两只为装配有吸气剂的标准管。这些标准管在经过长期存放并中途完全不点燃的情况下,在复燃测试中无一报废,这一结果让多数使用单位认为清华大学试制的氦氛管(特别是标准管)寿命长,功率较稳定,尤其对于不限制存放期表示满意^[22]。

基于 1972 年起制造氦氛激光管的经验,以及在与各单位交流其使用寿命并分析研究后,清华大学为氦氛激光器的理论研究和制作工艺研究,做出了以下三点主要贡献:

1. 临界分析:基于大量氦氖激光器的实验和理论研究,计算出:①阴极电流密度;②气压和阴极半径乘积;③整个阴极放电时,阴极圆筒轴长和直径的比值,这三项设计气体激光器长寿命阴极时应满足的临界值^[25];

2. 电镜分析:通过使用清华大学分析中心的扫描电子显微镜,为各类不同的氦氖激光器的铝阴极拍摄了近千张照片^[24],分别得出:①阴极表面质量;②阴极被浸蚀程度;③制作和使用过程中阴极表面形态变化和成份分布;④正常溅射与反常溅射时的阴极铝表面的区别,这四项阴极铝表面所呈现的规律性结果,给出了合理的阴极铝制造与清洗的建议^[26];

3. 改进消气剂:在氦氖激光器的制作中引入非蒸散型锆石墨消气剂来代替传统蒸散型消气剂,能够有效排除管中 H_2 , N_2 , CO_2 , O_2 等杂气,并且在保持气体纯度的同时不会对介质膜片或布儒斯特窗片产生污染^[27]。由于锆石墨消气剂安装简单且效果显著,被推广至氦氖激光器的实际生产之中。

值得一提的是,清华大学将诸多科研成果与成都温度表厂共享,成都温度表厂再将这些成果转化至实际生产之中,氦氖激光器的产品质量得到了显著性的提升。1981 年在第一次全国氦氖激光器评比会议中,成都温度表厂获第三名^[28],在 1988 年第三次全国氦氖激光器产品质量评比总结颁奖大会中,成都温度表厂获得了第一名^[29]。

3 精密仪器系自制硬封接氦氖激光器

在一机部组织的氦氖激光器联合攻关项目中,研究团队取得了多项突破,使各类氦氖激光器的使用寿命均获得一定程度的提升。同一时期,国外将氦氖激光器商品化后,采用了一种基于低熔点玻璃粉直接封接的硬封接工艺,通过提升气密性显著延长了使用寿命。由于该硬封接工艺属于高度保密的商业核心技术,仅凭公开信息难以获知其具体工艺流程。并且在一机部这一项目的执行过程中,也始终没能找到合适的方式取代软封接工艺(环氧树脂贴片)^[22]。因此,若想在商业化的氦氖激光器中使用同样的工艺来达到长寿命,第一步则是要实现硬封接技术。

全玻璃硬封接在当时是一项极难的工艺技术,北京市科学技术委员会(以下简称北京市科委)希望能有高校攻克这一难题,他们关注到清华大学精密仪器系的杜继桢^①。杜继桢起初在长春的中国科学院机械研究所工作,后受孟昭英的邀请来到了清华大学无线电电子学系^[30],又调动到精密仪器系工作。在无线电电子学系工作时,杜继桢吹的真空泵相较于实验室原来所采用的机械泵,在真空值上提高了 2—3 个量级,是里程碑式的成果^[31]。1978 年北京市科委将硬封接的任务交给了清华大学精密仪器系,并拨款 3 万元。

在实际需求与政策支持的驱动下,这台 1982 年清华大学制造氦氖激光器应运而生,它采用了全玻璃硬封接技术来代替环氧树脂工艺。这台氦氖激光器使用了旁阴极全内腔

① 杜继桢(1924—1999),男,辽宁旅县人,工程师。当时学界有“南蔡北杜”的说法,南蔡指的是上海复旦大学的蔡祖泉(1924—2009),北杜即是杜继桢。杜继桢的大哥是杜继禄,是吹玻璃专家,参与了我国第一台氦氖激光器的研制;二哥杜继祥在抚顺煤炭研究所(现煤炭科学研究总院抚顺分院)工作,也是吹玻璃专家。

的设计,谐振腔整体管长约 48.3 厘米,直径约 4.3 厘米,内部毛细管长约 36.1 厘米;阴极管长约 19.4 厘米,直径约 4.3 厘米;整体高约 17.0 厘米,宽约 14.3 厘米;全反射镜直径约 2.6 厘米,半反射镜直径约 2.0 厘米。玻壳上刻有 YF8204(意为“硬封”,1982 年第四台),半反射镜一端用铅笔写有 99.7%,阴极、阳极外漏处、底座和可伐由于年代久远略有老化(封二图 2)。

在接到北京市科委的这项任务后,杜继桢在精密仪器系开始组织人手对硬封接难题进行攻关,包括郭宏^①、田芊^②、宗维千、范瑞鹤。硬封接技术意味着要更进一步考虑光学玻璃间的膨胀系数问题,不同于之前无线电电子学系制造氦氖激光器时,窗片和膜片基板选择 K9 光学玻璃,精密仪器系的攻关团队在管口处通过转接环熔接 8 号玻璃,反射镜基片选用 8 号光学玻璃和 K4 光学玻璃^[32]。这些玻璃全部由沈阳玻璃厂生产^③。

毛细管作为气体激光器的关键部件,对其挑选与制作要求极为严苛。为保证毛细管内径足够圆,精密仪器系的攻关团队使用日常生活中常见的钻头排查。钻头通常较圆,且直径与毛细管相似,在 0.8cm 左右,这时将钻头放置在毛细管内,使用磁铁牵引,根据钻头运动是否流畅可判断毛细管内径是否够圆,以及具体的有缺陷的位置在哪里。另外还可以使用激光打入毛细管内,若不出光则说明毛细管不够直,若出光的斑点不够圆,准直性不好,则说明毛细管不够直或内径不够圆。在这种严苛的标准下,通过长毛细管截出的短毛细管在初筛的通过率上通常在 1% 左右。对于挑出来的这些毛细管,通常较直且长度合适,但存在内径依旧不够圆的情况。这一时期精密仪器系虽有与毛细管内径粗细相仿的钻头,但这些钻头还是过粗,并不适合直接用于打磨玻璃。面对这一问题,田芊使用自行车的辐条作为钻头,通过对自行车辐条一端加工并夹住一块大小合适的金刚石的方式,制作适合打磨玻璃的钻头,以此来达到对毛细管内径的进一步打磨。手工打磨的过程费时费力,不仅要注意力道缓慢磨制以防将玻璃打裂,还要注意对玻璃的适当冷却以防温度骤变使玻璃炸裂。经过打磨后的毛细管内径圆度更好,使用铜丝缠上棉花并加入研磨膏的自制抛光工具对内径抛光后,就能得到一根准直性较好的毛细管。

在毛细管制作好后,其固定位置要与玻壳外壁尽量保持平行。这时便需要先用三叉架确定一个点的位置,三叉架需要选用与玻壳膨胀系数一致的玻璃,并在靠近阴极的一侧将三叉架的三条支撑腿与玻璃管壁直接熔接在一起。三叉架中间是固定毛细管的套管,套管与毛细管之间的安装要小心打磨,保证二者之衔接紧密,不发生松动。靠近阳极的

① 2023 年 10 月 12 日和 11 月 2 日,笔者访谈郭宏,清华大学 9003 大楼。郭宏(1960—),男,北京人,高级工程师。主要研究方向为激光测量与光电技术及实验教学。

② 2023 年 11 月 6 日,笔者访谈田芊,清华大学蒙民伟人文楼。田芊(1946—),男,江苏南通人,教授。1964—1970 年入读清华大学精密仪器系,留校从事教学、科研,研究激光、光纤传感技术。先后在电子工程系(清华大学绵阳分校)、精密仪器系、公共管理学院、校长办公室、校史研究室工作。曾任清华大学校长办公室主任,副秘书长,精仪系党委书记、系主任,公管学院筹备小组组长、院党委书记及副院长,校史编委会副主任、校史研究室主任。

③ 根据郭宏回忆(2023 年 10 月 12 日和 11 月 2 日,笔者访谈郭宏,清华大学 9003 大楼),沈阳的光学玻璃制造缘起于第二次世界大战日本战败投降后,杜继桢的日本师傅将几种光学玻璃制造的配方传给了他,杜先生又将这些配方交给了沈阳玻璃厂(其前身为 1937 年成立的伪满昌光硝子株式会社奉天昌光硝子工场,1946 年更名为沈阳玻璃厂)。

一边则是玻璃工将管口处吹成与毛细管粗细相仿的喇叭口,然后与毛细管直接熔接在一起。

毛细管固定后,需要调整整体光路,使得毛细管与反射镜保持垂直才能保证光线在谐振腔中震荡。为解决这一问题,通常需要借助另一台激光器。将激光从毛细管的一端打入,并紧贴窗片位置放一张画有十字的纸板,其十字中心处用大头针扎有小孔。根据观察十字小孔处的出射激光,调整打磨玻璃,直到在毛细管的另一端找这个小光点。当光点最亮时,说明毛细管与反射镜垂直。通常这一调整打磨玻璃,直到毛细管与反射镜垂直的过程需要耗费数月时间。

在调整好整体光路后,如何将反射镜基片直接通过玻璃融化封接到管口处,是硬封接的最大难题。反射镜的介质膜通常耐高温性较差,要保护其在封接后反射率不变、不发生龟裂,同时还要避免封接时反射镜基片受热变形,防止介质膜层受到污染和因过热而损坏^[32]。这些问题意味着,在难以改变玻璃熔点的情况下,一方面,要考虑缩短高温封接所需要的时间,完成快速封接,使反射镜基片和介质膜受热影响程度减小。另一方面,适当采取保护措施,使得即便反射镜基片和介质膜受到高温影响时,也尽可能保护它们减少可能产生的负面影响。为解决这些问题,精密仪器系的攻关团队使用了高频感应电阻损耗加热的方式封接,并以石墨作为加热介质。石墨不仅导热迅速且发热均匀,能够实现短时高温的封接需求。通过高频炉加热石墨圈,然后石墨圈迅速发热熔化反射镜基片与管口之间的玻璃粉,从而在预热后的十几秒之内达到高温封接的效果。除此之外,反射镜基片的镀膜采用了上海海光光学元件厂提供耐高温镀膜,并在镀膜处使用玻璃套保护,防止其受热变形或产生龟裂。这样,便解决了硬封接问题中最难的环节^①。

激光器另一端的半反射镜与腔体间,需要通过可伐连接(封二图2右)。这台1982年自制的氦氖激光器的可伐型号为4J29,它的熔点高于8号玻璃,膨胀系数与之近似,并且在封接中会产生氧化膜与玻璃发生扩散熔融从而达到较好的密封性。该激光器上的可伐原材料采购于北太平庄的北京冶金研究所,并在精密仪器系自己的机床上进行加工生产。这台氦氖激光器上的可伐可通过四颗螺丝调整角度,起到对半反射镜的调节作用,方便生产后调整光路来保证激光器出光。

除此之外,这台氦氖激光器的阴极采用纯铝制造,也由精密仪器系完成。阴极的制造是将铝片在玻璃管上卷为圆筒,之后使用点焊机进行点焊。将铝阴极封接至玻璃壳内,再进一步清洗后,便可以完成阴极的制造。不仅如此,精密仪器系的攻关团队还使用了新改进的锆石墨消气剂,进一步保证管内氦氖气体的纯净。

最终在经历进一步清洗、长时间的排气和充气过程后,这台使用清华大学自研硬封接工艺的氦氖激光器于1982年制作完成,1983年在泰安召开鉴定会,获得北京市科技进步三等奖。但可惜的是,这项硬封接技术结项后,即便其密封性极佳,各项特性测试数据优异,但未被相关制造工厂所采纳,与实际生产发生了脱节。

① 根据精密仪器系郭宏的回忆(2023年10月12日和11月2日,笔者访谈郭宏,清华大学9003大楼),这一想法是精密仪器系的老师在与工物系的老师在马路上聊天时所获得的,工物系老师建议他们尝试使用石墨熔化玻璃,并且实验中用到的石墨也是从工物系获得的。

发生了脱节的原因如下^①:首先,从工艺的角度来看,硬封接技术的关键点在于高频感应电阻损耗加热法。虽然这一方法确实可以实现玻璃与玻璃之间的封接,但实际操作中对仪器操作的时机把握极为关键,时间太长或太短都会导致封接失败。正因如此,采用这一技术制造的氦氖激光器良品率不高,同一时期只制造出了不超过 5 台。这便意味着通过高频感应电阻损耗加热法实现硬封接,除了对设备有一定要求外,对操作人员的技术水平也有一定要求。

其次,从科研人员的角度看,硬封接技术的攻克作为一项科研任务,其首要任务在于实现这项工艺技术。在完成科研任务后,如何去推广应用并非在科学家首要考虑的范围之内。因此杜继桢等人实际上并没有为这项技术进行过推广工作。因此,即便高校中的部分科研项目来自于社会的实际需求,但针对硬封接氦氖激光器这一案例而言,在高校完成科研项目后,缺乏一个能够直接或有效的反馈至工业生产的关键环节。

最后,从科学仪器生产商的角度来看,一方面,通过高频感应电阻损耗加热法实现的硬封接技术所需的设备耗资较高,对工人技术也有一定要求,即便生产出成品,价格也可能远高于现在所生产的氦氖激光器,不一定符合市场的供求关系。另一方面,虽然采用硬封接技术的氦氖激光器的理论寿命更高,但未经过长时间的使用测试,对其使用中可能产生的问题依旧未知,具有一定的投资风险。

4 总结

清华大学科学博物馆馆藏的硬封接氦氖激光器是我国自主生产精密科学仪器的一个缩影。对其研究可以看到,一方面,我国氦氖激光器的早期发展几乎与国外平行,但商品化程度较低,使用寿命较短,在一机部发动的氦氖激光器攻关中,清华大学与成都温度表厂的产研结合有效推动了氦氖激光器的寿命研究,并延长了氦氖激光的使用时长。另一方面,对清华大学 1982 年自制的硬封接氦氖激光器制作工艺的考察,不仅体现出即便科学仪器的制作工艺是一件保密性极高的工作,它的进步仍来自科学家间的交流与合作;并且还反映出我国在制作科学仪器时所需的设备与工具都相对匮乏的年代,科学家是如何巧用日常生活中的用品来攻克技术难题。

中国近现代科技史中有太多如同这台氦氖激光器一样的科技遗产,作为“见证者”与“亲历者”,记录了我国科学家在科学仪器研发、生产这条艰难道路上留下的印记,并有待学界进一步的挖掘与研究。

致谢 感谢北京科学仪器厂苏华钧工程师,以及清华大学田芊老师、郭宏老师对本研究的大力支持!

^① 本文的分析结合了笔者对田芊的访谈,以及 2023 年 11 月 4 日笔者在中粮可益康外大街店访谈苏华钧的内容。苏华钧(1941—),浙江杭州人,1966 年毕业于浙江大学,后在北京科学仪器厂工作至退休,曾任北京科学仪器厂激光研究室主任。

参 考 文 献

- 1 邓锡铭. 中国激光史概要[M]. 北京: 科学出版社, 1991.
- 2 单振国, 干福熹. 当代激光之魅力[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- 3 雷仕湛, 邵兰星等. 中国激光史录[M]. 上海: 复旦大学出版社, 2016.
- 4 王之江. 浅谈中国第一台激光器的诞生(邀请论文)[J]. 中国激光, 2010, **37**(9): 2188—2189.
- 5 陈崇斌, 孙洪庆. 历尽艰辛 锐意创新——中国第一台红宝石激光器的研制[J]. 中国科技史杂志, 2009, **30**(3): 347—357.
- 6 A. Javan, W. R. Bennett, D. R. Herriott. Population Inversion and Continuous Optical Maser Oscillation in a Gas Discharge Containing a He-Ne Mixture[J]. *Phys. Rev. Lett.*, 1961, **6**(3): 106—110.
- 7 A. D. White, J. D. Rigden. Continuous Gas Maser Operation in the Visible[J]. *Proceedings of the IRE.*, 1962, **50**(7): 1697.
- 8 邓锡铭. 我国激光的早期发展(1960—1964)[J]. 激光与光电子学进展, 1990(12): 13—16.
- 9 黄友强. 北京科学仪器厂简介[J]. 力学与实践, 1983(3): 59—60.
- 10 Colin N. Danson, Malcolm White, John R. M. Barr, etc. A History of High-power Laser Research and Development in the United Kingdom[J]. *High Power Laser Science and Engineering.*, 2021, **9**(2): 02000e18.
- 11 U. Hochuli, P. Haldemann. Cold Cathodes for Possible Use in 6328 Å Single Mode He - Ne Gas Lasers[J]. *Rev. Sci. Instrum.*, 1965, **36**: 1493—1494.
- 12 Hecht J. A Short History of Laser Development[J]. *Applied Optics.*, 2010, **49**(25): F99—F122.
- 13 中国科学技术情报研究所. 出国参观考察报告 美国、加拿大激光技术发展情况[M]. 北京: 科学技术文献出版社, 1975.
- 14 小倉磐夫. 気体レーザーの寿命[J]. 応用物理, 1972, **41**(6): 616.
- 15 北京科学仪器厂. 氦氖气体激光管试制工艺小结[J]. 光学与计量, 1973(3): 1—12.
- 16 北京电子所 505 组. 关于内腔 He-Ne 激光器工艺中若干问题的讨论[J]. 激光, 1974(2): 34—40.
- 17 胡志强, 高以智等. 通过长期寿命试验的氦氖激光器[J]. 仪器制造, 1980(5): 34—38.
- 18 纪钟, 群莅. 中国激光 20 年概貌(1)[J]. 激光, 1980(1): 1—12.
- 19 国家仪器仪表工业总局 He-Ne 激光器攻关小组. He-Ne 激光器攻关总结[R]. 国家仪器仪表工业总局, 1981.
- 20 方惠坚, 张思敬. 清华大学志. 上册[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001.
- 21 朱邦芬, 王青. 清华物理 80 年[J]. 物理, 2006(5): 352—358.
- 22 胡志强, 高以智等. 通过长期寿命试验的氦氖激光器[J]. 仪器制造, 1980(5): 34—38.
- 23 胡志强, 田芊等. 关于氦氖激光器寿命的实验研究[R]. 清华大学无线电电子学系激光专业, 1979.
- 24 清华大学无线电电子学系. 《高可靠中功率氦氖激光器》鉴定会技术资料[R]. 激光教研室, 气体激光组, 北京, 1982.
- 25 胡志强. 氦氖激光器长寿命阴极的临界值[J]. 激光与红外, 1980(12): 3—4.
- 26 胡志强. 氦-氖激光器阴极的扫描电镜分析[J]. 中国激光, 1983(5): 317—320.
- 27 甄汉生. 锆石墨消气剂改善氦氖激光管性能的实验研究[J]. 仪器制造, 1982(1): 15—18.
- 28 王福仁. 全国氦氖激光器评比会议结束[J]. 仪器制造, 1981(6): 30+28.
- 29 第三次全国氦氖激光器产品质量评比总结发奖大会在成都召开[J]. 激光杂志, 1989(1): 48.
- 30 庄丽君, 钱锡康. 世纪清华·三[M]. 北京: 清华大学出版社, 2001. 153.
- 31 吴佑寿. 吴佑寿院士文选[M]. 北京: 清华大学出版社, 2011. 200.
- 32 杜继桢, 田芊等. 氦-氖气体激光器的高温玻璃封接技术[J]. 中国激光, 1988(8): 496—497.

**A Historical Investigation of Tsinghua University's
Research on Extending the Lifetime of He-Ne Lasers
——Focusing on the Self-made He-Ne Laser of 1982**

LIU Yuanxing LIU Niankai

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

Abstract Since the successful development of China's first He-Ne laser in 1963, this type of laser has gradually become one of the most widely used gas lasers in scientific research and industrial production. However, the limited lifetime of He-Ne lasers remained a key issue to be solved. Under the influence of the policy and the manufacture demand, Tsinghua University became involved in the study of the lifetime of He-Ne lasers. Through oral history interviews with participants, combined with the study of the handwritten mimeographed papers, research summaries, appraisal reports, and the 1982 Tsinghua's self-made He-Ne laser preserved in the Tsinghua University Science Museum, the historical background and manufacturing process of this Tsinghua's hard-sealed all-glass He-Ne laser are reconstructed systematically.

Keywords He-Ne laser, lifetime, history of scientific instruments, scientific and technological collections, Tsinghua University

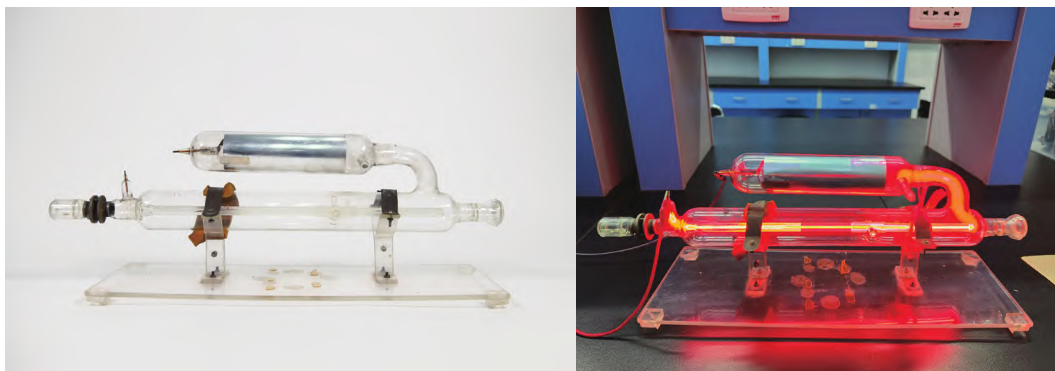


图1 1982年清华大学自制氩氖激光器及其发光状态（清华大学科学博物馆馆藏）



图2 氩氖激光器具体细节（图左为激光器编号，中为半反射镜与手写反射率，右为阳极与可伐）



图3 氩氖激光器与其制作者

图左为2022年1月10日，激光器制作者之一郭宏在清华大学9003大楼展示氩氖激光器正常发光；

图右为2023年11月6日，激光器制作者之一田芊（左一）在清华大学蒙民伟人文楼参观

（参见本期《清华大学对氩氖激光器寿命延长研究的历史考察——以1982年自制氩氖激光器为中心》一文）