

光学学报

清华大学金国藩院士:追光七十载,九旬未言休

张志刚¹, 张新蕾²

¹北京大学电子学院, 北京 100871;

²《中国激光》杂志社有限公司, 上海 201800

编者按:

那是一个温暖的冬日下午,访问在金国藩院士(图 1)家里进行。金院士的家在蓝旗营清华大学的宿舍楼。金院士接过张志刚教授手里的康乃馨,又递到夫人手里。夫人高兴地拿到阳台上,插到花瓶里。金院士的夫人喜爱花,从阳台到屋里摆满了花花草草,散发着清香。明媚的阳光透过阳台的窗户洒到屋里,把满满当当的客厅烘得暖洋洋的。

金院士出生于书香门第,父亲曾在美国康奈尔大学留学。他和兄弟姐妹自小受到良好的家庭教育,上学时常常是学校放了暑假,紧接着“家教”开学,学古文、学英文、学算术……更重要的是,父亲那严格认真、一丝不苟的学风,在潜移默化中影响了他一生^[1]。

金院士出生于沈阳,他 2 岁时就随父亲来到北京。从北京的育英中学转到河北省立北平高级中学(现河北北京中学),完成高中学业。金院士 1950 年毕业于北京大学工学院,1952 年全国院系调整转入清华大学,工作迄今。他曾任国家教育部科技委常务副主任、国家自然科学基金委员会副主任、中国仪器仪表学会副理事长、亚太地区仪器与控制学会主席、清华大学机械工程学院院长等。2002 年、2005 年连续两次当选为国际光学委员会(ICO)副主席。

金国藩院士是我国光学信息处理的奠基人之一,在国内较早地开展了计算全息、光计算、二元光学(衍射光学)及体全息存储等课题研究,曾主持研制出我国第一台三坐标光栅测量机,获 1978 年全国科技大会奖。金院士曾获得中国工程院中国工程奖、国家科技进步三等奖、国家教委科技进步一等奖、教育部技术发明一等奖等,著有《计算机制全息图》《二元光学》等。

金国藩院士接受了《中国激光》杂志社特邀编辑北京大学张志刚教授的采访,侃侃而谈他“转行”的研究经历,以及对国产光学仪器、光存储、光计算等技术未来发展的看法。

我认识金院士是二十多年前的事情,之后经常在各种会议上见到。最近一次相见是在 2021 年年初的一次评审会上。金院士虽然九十多岁了,精神矍铄,头脑清晰,十分健谈,话匣子一打开就关不上。我先好奇地



图 1 金国藩院士

问了他怎么进的光学这一行。

张志刚:您在大学时,本来读的是其他专业,为什么后来又改去做光学?

金国藩:我这辈子改行多次,从机械制图到机械制造,从陀螺与导航仪器,最后到光学仪器。每回改行,几乎都是从头开始。

我原先入学北洋大学北平部,大二的时候(1947 年 8 月),奉当时教育部的命令,北洋的北平部并入北京大学,我就进了北京大学工学院机械系^[2]。我上学的时候很多教师都是清华大学的,当时教授们比较清贫,大家都愿意有个“兼职”。那时候没有“专业”一说,学生随便选课,我当时什么课都选,内燃机、甚至化工系的几门课都选,就为了毕业之后好找工作。

毕业后,我在北大当了两年助教。1952 年全国院系调整后,把北大和燕京大学的工科全部调整到了清华。当时清华的教师很少,他们看我在北京大学的时候已经帮着讲课,所以到清华大学之后仍然让我讲课,让我教画法几何和工程制图。之后,学校派我到哈尔滨工业大学学习了切削原理,回来以后我教了差不多有三四年。这期间,我开设了金属切削原理的实验,以及切削力、切削热、刀具磨损等实验,并制出我国第一台三向切削力测力仪。1960 年左右,学校新成立了计算机系、自动化系、精仪系,还有核工业系等,将我调到了陀螺仪导航教研组,教航空仪表与钢外切。我当时不懂,就跑去北京航空航天大学听课,再回来教学生。现在的一些著名学者如张孝文、周炳琨、王大中都是

我的学生。

我还在清华大学机械系工厂供销科工作过一段时间,也做过一阵子工具车间主任。我把这段经历称为:“我是一块砖,哪儿需要往哪儿搬”。

因为我工作一直很努力,1965年的时候有一个出国的机会。当时出国只能去苏联或者东欧国家。但是因为我的社会关系比较复杂,有一个堂兄成分不太好,最终没能去成。再后来,领导安排我到上海外语学院学习,准备出国。但由于种种历史情况,我在那边待了三个月就回来了,回来之后就把我调到光学仪器教研组当主任,任国防工办下达的“劈锥测量机”研制任务的课题负责人。这么着,我才跟“光学”沾上了边。

张志刚:您到清华大学初期,精仪系主要做哪些研究课题?

金国藩:60年代初,国防建设急需一种叫“劈锥”的零件,这是控制多门火炮装置所用的关键零件之一。火炮要打一个空中目标,必须每门火炮都转到一定角度,劈锥实际上是一个立体的凸轮,给定一个信号,炮和劈锥应该转多大角度都是设计好的,这样打出的炮弹才能攻击到一个地方。

当时,苏联也不卖劈锥给我们,更谈不上教我国如何制作这种零件和测量所制零件的精度。国家打算通过港商从英国购买测量机,然而当英国政府知道是中国购买,断然拒绝。这种情况下,国防工办决定自力更生,自行研制,并且把任务下到清华大学。学校组织精仪系和计算机系联合攻关制作程控劈锥加工机与测量机,要求我们光学仪器教研组研制一台三坐标光栅测量机。

那时我刚刚由精密仪器教研组转到光学仪器教研组,对光学一窍不通。特别是我们做光栅测量头部分时,什么是光栅,我都不知道。碰上如此艰巨的任务,被迫担起项目负责人的重担。我组有邬敏贤教授和严瑛白教授,我们就在一起学习,并到上海光学仪器厂制作光栅,搭成测量系统。

我带着一班人去调研、学习,反复阅读参考资料、弄清原理,不管外面怎样,也不能干扰我们的研究。1969年国庆节前夕,随着打印机“嗒嗒嗒”的声音,一张张测试数据自动输出: X 、 Y 两个坐标的分辨率为 0.025 mm ,角分辨率为 $0.25'$ 。精度和自动化程度全都达到了当时的国际先进水平。就这样,我国第一台三坐标光栅测量机研制成功了!

这一技术现在已经很陈旧,现在光栅测量完全用电路控制,但在当时是尖端技术,精度和自动化程度都达到了当时的国际先进水平,研制成本也远远低于从国外购买1台测量机的价格。

我搞光学是逼着上,憋着气干,干中学。

张志刚:1970年代您被选派出国,在国外您主要学习哪方面的内容?

金国藩:1978年的时候,已经没有家庭出身的观

念了。德国科学交换中心愿意跟中国建立联系,教育部就把这个机会给了清华大学的6个教授、副教授。我去了埃尔朗根大学(FAU),一个比较有历史的学校。埃尔朗根教研组有个教授叫罗曼(Adolf W. Lohmann),他是计算全息的发明人,因为此前我已开始接触计算全息工作,我就是冲着他去的,学习他发明的计算机制全息图。实际上我们已经在国内开展了相关工作,但是做得不好。我在埃尔朗根期间,学习了“光学信息处理”与“计算全息”,掌握了计算全息的基本原理和编制程序,近半年的时间我收获很大。

中间一段时间又到了英国的赫瑞-瓦特大学学习。当时美国提出星球大战计划,要做光学计算方面的研究,他们请罗曼过去,但是德国很多学生反对,所以他最终没去。于是赫瑞-瓦特大学的系主任就邀请我,去给他们的教师、研究生讲课。

我回国后第二年,邀请罗曼教授来华讲学,这是国内首次讲授“光学信息处理”这门课程,听课人数超过300。因为当时的学生都是学俄语,不学英语,教师也没有机会学英语,所以是罗曼教授讲一句,然后由我和威廉男两人再翻译一遍。从此开辟了我国“光学信息处理”的教学和相关的研究工作。

张志刚:您还记得当时哪些东西给您印象最深吗?

金国藩:去德国进修(图2)是我人生中第一次到外国,看到每家都有电灯、电话、小洋房、绿草地,真是眼界大开,看到了我国与先进国家的差距。

德国人无论做什么事情都非常认真,而英国人每到下午三点多钟就进入下午茶时间。参加下午茶时间的外国人很少,大家主要谈自己的研究。每个星期都有一个研讨会,不管你的研究领域是什么,大家都谈自己的研究,谈实验室,兴许还会相约去实验室看看所做的东西,能互相启发。还有一点,他们都有自己的机加工车间,有什么急活,马上就能做出来,不耽误科研。其实这个我们以前也有,后来就改没了。



图2 1978—1979金国藩在德国进修期间(图片来源于《追光者:金国藩九十自述》)

张志刚:您回国后大力推动衍射光学、计算全息和二元光学等学科发展,具体做了哪些相关的工作?

金国藩:回国后顾不得休整,要抓紧时间和工厂联系,寻找结合点。得知218厂(现中国兵器集团工业有限公司)有一项非球面检测任务,正好可以运用计算全

息技术解决。我带着硕士研究生虞祖良多次下厂落实,指导他的工作。这是另一种全息干涉图,与以前的全然不同,从数学建模到程序设计,从建实验装置到实际检测。经过一年努力,圆满完成了任务,虞祖良为 218 厂做了一台利用计算全息检测光学透镜的仪器。

另外,上海光学仪器厂生产光谱仪,制造凹面光栅一直沿用国外的传统方法,但精度不理想。凹面光栅是光谱仪中的核心元件,要提高光栅精度,只有对有关加工设备提出苛刻要求,国内无法满足这些要求。经过我们的认真分析,凹面光栅加工的难点正是计算全息能发挥独到之处,可以利用计算全息消除像散等像差,这是一个独创性研究。所以,我们与上海光学仪器厂一起研制了“利用计算全息制作凹面光栅的方法”,这个项目与计算全息用于综合孔径雷达研究等其他成果一起,获得了 1992 年国家教委科技进步二等奖。并且,虞祖良和我一起写了《计算机制全息图》,这是国内第一本此类专业书籍。

我们具有设计与制作计算全息元件的丰富经验,开展二元光学的研究已是顺理成章的事了。设计多相位菲涅耳透镜阵列时,按常规,在焦点处会得到与透镜数目相同的光斑。但是我们注意到,透镜阵列可以看成是周期性物体,除了本身的聚焦特性之外,还具有 Talbot 及分数 Talbot 效应,这可能是产生光斑倍增现象的基础。我们从物面到像面,倒过来从像面到物面,反复进行理论研究,最后发现,可以利用较少的透镜阵列得到更多的光斑数。这一下子闯出了一条新的设计路。

二元光学完全建立在衍射光学的基础上,并可以通过微电子加工工艺制作光学元件。我请了麻省理工学院威尔德坎普(Veldkamp)教授来讲学。我们还研制出非接触式、分辨率达 $\lambda/120$ 、重复精度为 2 nm 的二元光学器件刻蚀深度精密检测仪,组里严瑛白教授率先做出光束分束器——达曼光栅,做出 5×5 、 25×25 寸(1 寸约等于 3.33 cm)分束器、微光学透镜阵列、光束整形器、滤波器等元件,获得国家科技进步三等奖,还写了全国第一本《二元光学》。二元光学的应用范围到现在仍然广泛,比如自动驾驶,使用一束多点光打到某个地方反射回来,就能知道前方有什么物体。

邬敏贤教授那时是我们党支部书记,对自己严格要求,在业务上认真钻研,工作细致,在她带领下我们开展了“计算全息检测非球面光学元件”“文字图像的编码与解码”“电子束计算全息”“医学图像处理”“光栅法光谱成像”等研究。也是她建议并率先领导我们开展“二元光学”研究。

张志刚:目前光计算或者光模拟正成为研究热点,您对这方面的研究有什么评论?

金国藩:也有人认为,我国电子计算机还是跟在别人后面,搞光计算机谈何容易。我认识到光计算是光学信息处理的最高水平综合体现,具有很强的带动性,应该尽早开展研究。

对于“光计算”,我认为光的特点是并行性高、光速快、不受外界电磁场的影响。但目前空间光调制器转换速度还不够快,再加上计算后的精度不够高,因此仍不能和数字计算机在灵活性、精度上相比拟。但是我总感到将光学处理与数字计算相结合是一个很有前景的方向。为此我们做了景象匹配器,就是想先由光学相关器进行粗匹配,后用计算机去进行精匹配,因此得到很好的结果。

在做光计算项目中,很需要发挥光的并行性,可以将光计算的天然的多通道并行处理优势用于计算机图像处理中,构建硬件系统。我们课题组相继开展了光学并行处理器件,光学神经网络,光学子波变换、联合变换相关器,以及光学形态学数字图像处理等方面的研究,提出了改进型二值图像代数 MBIA 的基本理论,构建了硬件系统——双通道光学形态学实时处理器;提出了采用空间互补编码方法和相干光相关器来一步实现二值形态变换等。这些成果得到了国内外一些单位的重视和关注。

国家 863 计划启动时,其中设置光计算项目,我第一个获得了该项目。因为我是第一个到国外学习过此内容的,但是这方面我们没有做出太突出的成绩,因为器件性能跟不上。光计算最需要的是器件,但器件老是跟不上。一般来说,用超材料去做计算,我觉得不太好做。我觉得量子计算是有前景的。

张志刚:您也做过光存储相关研究,日本原来在这个领域投入很大,包括磁光存储,本来都已经商品化了,可现在都放弃了。您觉得这个方向还有前途吗?

金国藩:光存储一度非常热,以前计算机都配有光盘驱动,现在都没有了。原来光盘有存储容量大的特点,可是遇上图像就需要压缩和解码,传输速度不理想。现在看,一张光盘的容量还不到 1 GB,而 1 TB 的 U 盘都有了。

体全息存储技术基于“页面”方式对图像进行并行处理,访问速度极快,存储量巨大。一个 10 mm^3 的钕酸锂晶体可存储 1 万幅以上图像,对几个 GB 容量的存储器的访问时间仅为几毫秒,图像可即时查看。还有,不必经过计算机就能直接与图像传输系统对接、存储,如卫星侦察图像系统。

计算机数字图像处理灵活性大,但逐行扫描速度慢;体全息存储容量大,寻址方便,信息存储极快,可利用它作内积相乘,解决图像识别问题。因此,我们研制了光电结合的体全息相关器,预处理由计算机完成,识别由光计算来实现,这样可兼具两种处理的优越性,做到既快速,又保证高精度。

现在数字技术比光学技术发展得快,所以人们都用 U 盘。可是磁盘要想长时间保存的话,过几年就得刷新一下。从这个角度说,我觉得光盘还是有希望的,因为它存储时间比较长。

最近有人在研究 30 层的三维光存储技术。我觉得如果真能做 30 层的话,一层一层地叠加,里面很可

能有杂质或者气泡掺杂进去,不太容易做好。如果从存储的时间考虑,还是有意义的。不过它不太可能成为个人计算机的一部分。

张志刚:您如何看中国制造的光学仪器呢?现在光学精密仪器进口的还是很多,您觉得是什么原因?

金国藩:我曾经向科技部提过,我觉得最重要的问题在于:国产器件的稳定性、可靠性比较差。国内做出了某个仪器,但是大家还是都愿意买国外的,为什么呢?因为国外的仪器稳定性好,使用很多年都没有问题,国内的仪器可能刚开始获取的数据还可以,但后期的稳定性就不太好。

另外,我觉得科技部可能太重视产业化。课题设置没有充分考虑到科技的发展前景,缺乏研究工作,到头来 90% 的项目牵头人都是企业,我觉得这是不合适的。想法虽然是好的,但是企业一天到晚考虑的是生存,是赚钱,很少考虑科技前景。企业牵头,心态上只当项目做,花完钱完事,这样就不能持续创新。与此相反,国家基金委又太重视前沿。只注重研究成果,较少关心成果转化,所以,成果落不了地。我觉得这两个方面各有各的问题。

张志刚:您能介绍一下清华大学主导成功制造了哪些光学仪器吗?

金国藩:对于清华大学主导制造的光学仪器,可以说是成功的例子,也可以说是不成功的例子,就是刚才说的中国第一台三坐标光栅测量机。现在这个技术已经陈旧了。

我们研究过光刻机技术。我们可能是国内做得最早、也是最多的,大概做了有 100 多台光刻机吧,当然与国外相比差距很大。可惜后来也不做了。

张志刚:听说您在中国加入 ICO 这件事上起了很大作用,能说说具体过程吗?

金国藩:ICO 是联络各国光学学会的一个组织,1947 年成立。我在德国进修时认识的罗曼教授,他恰好是当年的 ICO 主席。有一天他跟我说:“中国是一个大国,从事光学科学与工程的人很多,中国光学学会应该参加 ICO”。中国还不是 ICO 的会员?我回国后赶紧向中国光学学会理事长王大珩先生汇报了这件事。王先生召集中国光学学会常务理事开会,会上大家都同意参加 ICO,我就给罗曼教授写信说中国要参加 ICO。

哪知道台湾方面的“光学学会”已经在 ICO 里了。当时我负责中国光学学会的外事工作,不知给下一届 ICO 主席石内顺平写了多少封信,也不知石内顺平做了多少工作。最后台湾方面同意采用奥运模式,改叫“光学学会(台湾)”。1987 年中国光学学会成为了 ICO 的正式会员。母国光院士被选为 1993—1999 年 ICO 副主席,我被选为 2002—2008 年 ICO 副主席。

张志刚:后来您还做了哪些促进中国和世界光学方面的工作?

金国藩:我当 ICO 副主席期间,向王大珩院士建议争取 ICO 的大会在我国召开一次,王先生非常同意,就让长春光机所申请。因为前一次中国光学学会在长春召开,组织得不好。许多院士专家都反对。但王大珩先生说:“开得好不好,主要看如何做”,并对我说:“有你在,我相信我们能办好”。为了组织好此次会议,我四次去长春协调。

在 ICO-20 会议上我任程序委员会主席。从外宾的邀请与接待,到大会报告人的确定,从会场选址、来宾住宿条件,到会后旅游路线的勘查,我都亲自安排。这次大会 1000 多人参加,外宾来了 150 多。美国加州大学教授、诺贝尔物理学奖获得者查尔斯·汤斯(Charles H. Townes)也来了。王大珩先生不顾身体衰弱多病也为大会作了主旨发言。ICO 主席团曾写信来说:“这是 ICO 历史上最大和最成功的一次大会”。

张志刚:您觉得您在上大学的时候,和现在有什么不同吗?

金国藩:从实践的角度来看,我认为现在大学的实践教育比较缺失。以前大学还是五年制的时候,要求学生必须有三次实习:一年级结束之后要认知实习一个月;三年级时有生产实习;四年级又有一个月毕业实习。现在只有一个叫做“社会实践”,大概就是学生们去农村走一圈,走马观花,写个实践报告就完成了。关于设计,以前我们有机设计、仪器设计、光学设计,现在只有简单的光学设计。以前还有一门光学工艺的课,讲光学元件的加工,包括镀膜、光学装调等,现在学生几乎都不知道光学镜片是怎么磨出来的,更没动手磨过一个镜片。

以前学苏的时候,苏联也有比较多的实习,德国更是如此,如果学生要想拿到毕业证,必须有一年的时间在工厂里工作。我们系原来有一个四五十人的工厂,哪里出了问题就帮忙处理。现在倒好了,不管浙江大学、北京理工大学,还是清华大学,所有实验室都没有工厂。要想加工东西还要去外面的工厂,也不知道会排到什么时候,而且不一定能满足你的需求,这样不好。

我在国外的时候,连物理系都有机加工车间。需要加工什么东西马上就能让人做好,不用拿到外边加工,很快就能拿到加工好的成品。现在清华大学有一门金属工学课程,只有这个课有金属加工实习,别的专业都没有。

张志刚:您对青年科学家有什么建议或意见吗?

金国藩:我一直对学生说,做什么论文题目并不重要,重要的是通过做博士生这一段时间培养能力,你现在做的题目,将来不一定继续做,更重要的是能力。我不愿意培养书呆子,我希望我的学生能力比较强,只有具备了这项能力,以后就可以不断地发展。我知道美

宾夕法尼亚州立大学就有一门课教学生怎么做 PPT, 我觉得这些都是为了培养学生的能力。还有学生作报告的时候, 我们要求用英文来报告。

另一个就是要有创新思想。不管做什么, 要考虑下一步该做些什么。

钱伟长有一句话: “学好数理化, 走遍天下都不怕”。我觉得这句话是很有道理的。我们这些后来转到光学的人, 之前也没有学过激光, 所学的电子学是关于电子管的电子学, 后面开展工作都是靠我们的数理

化基础。所以我觉得, 学好数理化, 转做什么都有底气。

参 考 文 献

- [1] 中国工程科技专家库. 金国藩院士自述[EB/OL]. [2022-05-06]. <https://ysg.ckcest.cn/html/details/393/index.html>.
- [2] 北京大学. 复员后的北京大学[EB/OL]. [2022-05-06]. <https://www.pku.edu.cn/detail/909.html>.