

王之江的光学设计之路*

陈崇斌[†]

(浙江师范大学生命科学学院 金华 321004)

2023-11-07收到

† email: ccb@zjnu.cn

DOI: 10.7693/wl20240311

王之江，因在中国第一台红宝石激光器研制中的贡献非常突出而广为人知，然而他在中国应用光学学科建立中的卓越贡献却鲜有人知晓。实际上，中国第一本《光学设计理论基础》是由他在实践基础上编写的。关于王之江从事应用光学的经历及所做出的科学贡献，目前在舒美冬主编的《王之江科研生涯》一书中有简要阐述^[1]，学界仍对其缺乏较为全面的了解，有必要参考中国应用光学学科发展的历史背景作进一步总结与分析。有鉴于此，本文拟基于档案、王大珩等亲历者的回顾等原始文献，结合王之江、潘君骅等科学家的访谈，追溯王之江在该领域的科学贡献，以补阙相关研究之不足。

1 承担光学设计重任

1952年，刚从大连工学院应用物理系毕业的王之江被分配到尚在筹建中的中国科学院仪器馆(1957年更名为中国科学院长春光学精密机械研究所)，被时任馆长的王大珩分配去做光学设计工作。

光学设计，是应用光学的灵魂^[2]。“在(20世纪)50、60年代，普遍的理解，应用光学其实就是光学设计”^[3]。应用光学诞生于19世纪中叶，通常以德国数学家赛德尔(L. Seidel)于1856年发表世界上第一篇关于透镜成像的初级像差理论

的论文为标志。在此之前，光学仪器的制造，是将磨制好的透镜进行组合试验，从中找出成像质量较好的光学系统，这种方式主要依靠经验摸索，费时、费力，且很难制造出令人满意的仪器。像差理论诞生后，科学家开始运用光线追迹的方法，即按照光的传播规律、用数学方法计算光线通过光学系统后的成像情况，并依据光线计算的结果来确定光学系统各组成元件的结构参数，从而为制造光学仪器提供理论依据^[4]。通过光线计算来确定光学系统结构的过程，即光学设计。

在计算机实用化之前，光学设计工作主要包含三个环节。其一，光学系统的初步设计，根据仪器的性能要求确定光学系统的组成和结构；其二，光线计算，对初步设计的光学系统，根据光线的折射、反射定律对传播路径进行计算。在没有计算机的时代，计算光线采用传统的几何光学方法，利用对数表、三角函数对数表，将乘除法转化为加减法来进行计算，计算结果的精度通常要求在小数点后保留7位有效数字，计算量十分巨大，计算一根光线通过一个面后的偏折角度通常要花费至少5分钟的时间，因此，研究机构通常会配备多达几十名光线计算员专门进行计算，即便如此，完成一个稍微复杂一点的光学系统的光线计算通常还会花上一个月甚至几个月的时间，工作非常繁

重；其三，像差分析，判断光线计算的结果是否达到初步设计的目标。在实际过程中，光线计算的结果与设计要求通常都存在误差，即存在像差，为此，需要判断像差产生的原因，并据此对初步设计进行修改，然后根据修改后的光学系统重新进行光线计算，再判断是否符合设计的目标，如此反复，直到达到设计目标。像差分析，是光学设计中最为关键的工作，如果设计者对像差的来源缺乏清晰的判断，就无法提出正确的修改方案，只会让光线计算员兜圈子，根本无法完成设计任务。对此，天文仪器专家潘君骅曾说过：“以前没有计算机的时候，像差分析是非常重要的，像差分析不好的话，要走很多冤枉路”^[5]。但是，像差理论建立在繁杂的高等数学分析之上，且很多是近似计算，很少有人能真正掌握其精髓。理论的晦涩，加上光线计算工作的繁重，能够胜任光学设计工作的人员很少。

在王之江承担光学设计工作时，在中国科学院仪器馆内，龚祖同、王大珩是能够承担光学设计工作的。龚祖同、王大珩都是在1930年代被派遣到欧洲专门学习应用光学理论的光学家，龚祖同曾于1937年在德国柏林技术大学以《光学系统的高级像差》作为博士论文选题进行过应用光学的理论探索^[6]。王大珩在英国伦敦大学帝国学院学习期间曾发表过《有球差存在下的最佳焦点》的应用光学学术

* 中国科协老科学家学术成长资料采集工程“王之江学术成长资料采集”(课题编号: CJGC2019-K-Z-SH01)资助项目

论文^[7]。回国后，龚祖同还于1939年为兵工署22厂设计出了中国第一台军用双筒望远镜^[8]。虽然他们都具有扎实的 optics 设计理论基础，但由于此时王大珩要承担仪器馆科研活动的组织及日常管理事务、龚祖同则专心于光学玻璃的熔炼研究，均无精力再承担光学设计的繁重工作，于是王大珩便将光学设计工作分配给了当时刚刚大学毕业的王之江。

对于光学设计这份工作，王之江刚开始是不乐意接受的。他在自传中曾坦言：“到仪器馆以来，开始还是好的，以后曾因不愿做光学设计工作而要到学校中去，情绪波动很大。以后认识到这种工作在中国没有基础，而且又是很需要的，就安定下来”^[9]。实际上，自20世纪以来精密光学仪器在军事和前沿科学探索中发挥着越来越重要的作用，其制造技术一直被西方国家严格保密，王大珩曾称之为“要害技术”^[10]。20世纪50年代初，中国应用光学尚处于起步阶段，基本谈不上光学仪器的设计与制造，是国家迫切需要发展的重要学科之一，中国科学院仪器馆就是为满足国家在军事和科学研究中精密仪器的迫切需要而成立的。了解到当时中国应用光学所处的困境后，王之江坦然接受了光学设计的工作，并下决心做好这项工作，坦言：“既然是国家所需要，总也企图将它做到最好”^[11]。

在接受光学设计工作后，因此前从未接触过应用光学，王之江一边学习英国应用光学专家康拉迪(A. E. Conrady)的“*Applied optics and optical design*”(《应用光学和光学设计》，王大珩留学英国时的教材)^[12]，一边尝试着进行光学设计。

一开始，由于经验不足，他通常是先把一台光学仪器拆开，观察仪器有哪些镜片，镜片的组成方式，测量各个器件的规格大小，然后进行仿制。在仿制过程中，与一般人员不同的是，王之江要分析每个镜片的作用，思考光束的传输路径，弄清楚仪器的设计思想，从而为自行开展光学设计奠定基础。到1953年底，他已为仪器馆的仪器仿制完成了10多种，其中包括望远镜物镜和目镜、生物显微镜消色物镜和目镜、半复消色和复消色显微物镜，16 mm宽银幕电影放映物镜等镜头的设计。

在仿制的基础上，王之江开始尝试自行设计新的光学仪器，到1954年底先后完成了20多种光学仪器的光学设计，其中包括：水平仪(内调焦型)，对称型目镜经纬仪系统(内调焦型，光学度盘)，对称型目镜水平磁力秤(内调焦型)，特殊目镜平板仪(光学度盘)，50°—60°×视场的目镜数种，3×、8×、20×、40×、45×、100×显微镜物镜，惠更斯型显微镜目镜，Petzval型电影放映物镜数种，宽银幕电影放映物镜一种，膀胱镜两种，天文望远镜等^[13]。这些设计，有些是仪器馆内部的研制任务，有些是应国内其他机构之所需，比如天文望远镜的设计，其实是因为青岛观象台的天文望远镜镜头在抗日战争期间被日本人破坏，1954年青岛观象台向仪器馆求助才由王之江设计修复的。

2 创新高级像差理论

到1955年，王之江已掌握了光学设计的基本方法，能够解决仪器馆和国内其他单位的各种光学仪器的设计需求，但仍有一些应用光学领域的疑难问题困扰着他，并因此

引起了王之江对应用光学理论的深入研究。

王之江最初进行光学设计参考的是英国学者康拉迪的“*Applied optics and optical design*”。该书，“开宗明义第一条就是教你怎么算光线，很具体，……，是一门非常好的入门的书，…真读懂了它，确实是能做设计的”^[14]。但是，该书有一明显的缺陷，即缺少对光学设计的发展历史、不同流派光学设计理论的比较等方面的阐述，整个著作没有一条引用文献，理论分析的深度明显不足，因此，“只读这本书做设计是可以的，但是仅能够做一个设计匠，也就是做工匠还是可以的，不会有多大的发展”^[14]，王之江在回忆时这样说道。

在这个过程中，困扰王之江的最大疑难是二级光谱问题。二级光谱，即两种色光在一定位置校正后对第三种色光的剩余色差。他曾经就该问题向遇到过的每一位曾留学欧洲的应用光学专家请教，没有一个人能给出令人满意的回答。没有答案的根本原因，是当时的高级像差理论还存在较大的缺陷，尚无法解决二级光谱这类疑难问题。

为解决实践过程中遇到的二级光谱等疑难问题，王之江自1955年起开始广泛搜集、阅读世界各国的光学设计文献，深入学习各个流派的光学设计理论。在像差理论方面，德国是应用光学理论的发源地，其像差理论的分析方法是将表征像差问题的函数进行级数展开，逐级分析，光学设计人员要通过大量的光线追迹、反复试验来确定光学系统的结构，该分析方法较为透彻，但缺点是过程繁琐、计算结果要求小数点后保留7位有效数字，计算量非常大，三级像差的计算量

已大得令人难以承受。20世纪初被称为“大陆学派”的德国等欧洲大陆国家采用的是这种方法。与“大陆学派”不同,被称为“英国学派”的英国应用光学专家则是通过尽可能少的光线追迹与计算来建立表征像差的代数公式,并以此进行光学系统的设计,这种方法在建构实验模型时同样需要花费大量的精力和时间。由于两种路线都需要耗费大量精力,康拉迪采用了中间路线,即:在第一步采用代数公式进行光学系统的设计,并提供变化系数,第二步转换到低精确度的光线追迹计算,计算结果只需在小数点后保留4位有效数字,最后用小数点后保留5位有效数字的计算进行光线追迹验证。康拉迪在大量光学设计实践的基础上提出了一系列进行像差判断的经验公式,其中最著名的是消色差的d-D公式,大大减轻了光学设计的工作量,十分实用^[15, 16]。在1917年被任命为伦敦大学帝国学院技术光学系的教授后,康拉迪的光学设计方法很快成为了英国应用光学界的主流,并通过其弟子兼女婿的R.金斯莱克(Rudolf

Kingslake)传到了美国,康拉迪因此成为了新的英国学派的代表人物。通过学习,王之江掌握了英国学派光学设计方法的精髓,又通过翻译苏联应用光学专家杜德罗夫斯基的《光学仪器理论》了解了德国等“大陆学派”的光学设计理论体系^[17]。

在对“英国学派”与“大陆学派”的应用光学理论体系进行了深入研究后,王之江理清了两个学派的高级像差理论不够实用的原因,指出:“到现在为止,光学设计中所用的接近理想光学系统的方法主要是像差的分析和逐次校正方法,像差理论已近完善的只有三级像差(seidel像差)理论,由于这尚不足以决定实际光学系统中的实际像差值,因此仍需做大量的光线计算(时常要做大量空间光线计算)来决定实际的像差值以及依此来修改结构;而为避免和减少种种修改和企图的盲目性而有更多的预见性,就使高级像差理论不断发展,但以往的高级像差理论繁杂得没有实际应用的价值,导致对像差校正后所残余的值作判断以及对所成的像作合理的解释,都需要用物理光学以及生理光学方法处理”^[18]。

正如王之江所指出的那样,此前像差分析都是应用几何光学方法,在分析初级像差、二级像差时十分有效,但在分析高级像差时太过复杂,已没有实用价值。为解决高级像差分析的困难,王之江将物理光学的分析方法引入到高级像差的理论探索,以二级像差为研究对象,首先由对称性推导出波像差的表达式,再根据几何像差与波像差之间的近似关系,利用费马原理和同一光线可看作是各不同点发出的观点导出了物体移动时像差变化的规律,对二级像差的几何表现

和光束结构的一般性质进行了深入分析,所得结果略去了初级像差的影响,表示式非常简单。同时,王之江还创造性地将像差分为本征和衍生两类,分析了两类像差产生的原因,并导出了两类高级像差的数学表达式(图1)。王之江总结出的高级像差的变化规律和推导出的近似数学表达,为评断高级像差的产生原因提供了半定量的依据,形式简单,具有很强的实用性,解决了长期困扰国际学界的高级像差分析问题,也为中国特色应用光学理论的建立奠定了基础^[19]。

3 创立中国特色光学设计理论

1956年,王之江领导的光学设计组增加了薛鸣球、谭维翰以及几名专门从事光线计算的高中毕业生。为帮助刚加入光学设计组的人员迅速掌握光学设计方法,王之江专门开办培训班向他们传授光学设计的基础理论与方法,南开大学母国光等少数国内其他单位的科研人员也参加了这次培训。经过培训,薛鸣球、谭维翰、母国光等很快就具备了自行开展光学设计工作的能力。

由于培训效果好,全国各地的高校、光学工厂纷纷要求派人到长春学习光学设计。于是,王之江在1958年、1959年连续两年面向全国各光学机构和部分高校开办光学设计培训班。当时参加光学设计培训班的学员主要来自浙江大学、清华大学、北京工业学院、哈尔滨工业大学等高校,以及上海光学仪器厂、云南298厂、西安248厂、南京电影机械厂、上海照相机厂等一些光学工厂。经过培训,全国各地的光学工厂都具备了自行开展光学设计工作的能力,高校也建立起了从事光学设计教学的师资队伍。光学

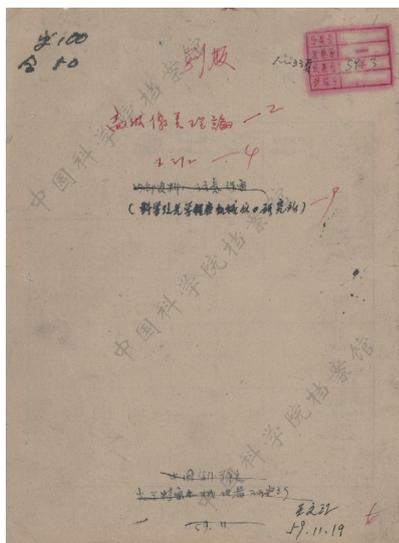


图1 王之江高级像差理论手稿

设计培训班，“为我国初始建立光学工业事业培养了第一代光学设计人才”^[20]，为中国应用光学学科的建立与发展奠定了人才基础。

在开办培训班的过程中，王之江根据自己多年的光学设计实践经验，以自己创立的高级像差理论为基础，编撰了一套有别于英国、德国两个学派应用光学理论体系的光学设计理论讲义。这套讲义(图2)，吸收了欧洲“大陆”、英国两个学派基础理论的长处，并有所创新和发展。

比如：讲义中三级像差理论的内容主要参照苏联学者杜德罗夫斯基《光学仪器理论》中的相应内容，运算符也采用该书的符号体系，但具体内容又有了进一步的改善，如“提出了光线计算结果的处理方法，对S部的校正问题作了较详细的讨论，另外，公式的表示形式也和原书有些差异，我们认为这样的表示有时更为方便些”^[18]。

又如：针对球差分布问题，王之江对 Steable—Lihotzky 条件与像差的关系作了一个新的证明，并针对此条件导出了一个更加简洁的分布公式，在分析相关问题时更加实用。

关于色差问题的处理，王之江沿用了英国学派康拉迪的d-D方法，但抛弃了其传统的几何光学分析方法，运用波面差的方法来分析色差，计算更加方便、准确。

当然，讲义与英国、苏联著作最大的不同是高级像差理论的内容。在讲义中，王之江基于自己提出的高级像差理论，对影响高级像差的各种因素进行了全面讨论，并且求得了像差的严格分布公式，为高级像差分析提供了十分有效、实用的手段。

1965年，王之江以培训班讲义为基础编撰的专著《光学设计理论基础》由科学出版社正式出版发行，标志着中国特色的应用光学基础理论正式形成^[21-23]，成为中国光学设计从业人员的主要理论指导著作。时至今日，虽然光学设计的大量工作已由计算机完成，基础理论仍在其中发挥着非常关键的指导作用，《光学设计理论基础》仍是光学设计从业人员不可或缺的重要参考。

4 中国特色应用光学理论创立之初的经典光学设计

1950年至1960年代，王之江在长春光机所完成了多达数百件的光学设计，其中具有代表性的包括长春光机所1958年研制的闻名全国的“八大件”中的高温金相显微镜、多倍投影仪等仪器的设计，但当时最具影响、最具代表性的要属中国第一台红宝石激光器光学系统和“150工程”光学系统的设计。

4.1 中国第一台红宝石激光器光学系统的设计

1961年，在世界上第一台红宝石激光器诞生仅1年3个月后，王之江、邓锡铭领导研制的中国第一台红宝石激光器成功运转。中国第一台激光器能够成功运转，王之江创新的光学系统设计至关重要^[24, 25]。

王之江设计的中国第一台红宝石激光器的结构与美国的第一台有很大不同。其一，氙灯采用直管状。当时国外流行螺旋状氙灯，梅曼第一台红宝石激光器采用的就是螺旋状氙灯，王之江在设计氙灯时没有去盲目仿制，而是从应用光学的基本原理出发，认为螺旋状结构的效率低下，于是将氙灯设计成直管状。他说：

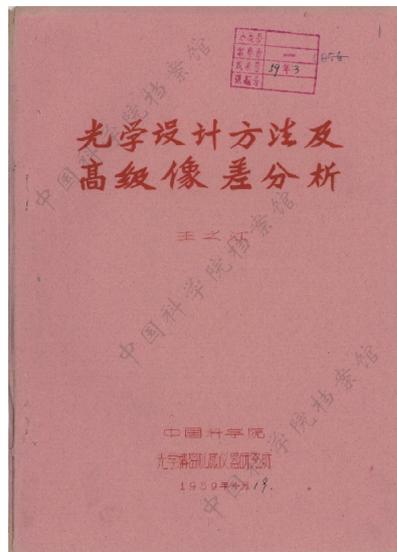


图2 1959年光学设计培训班讲义

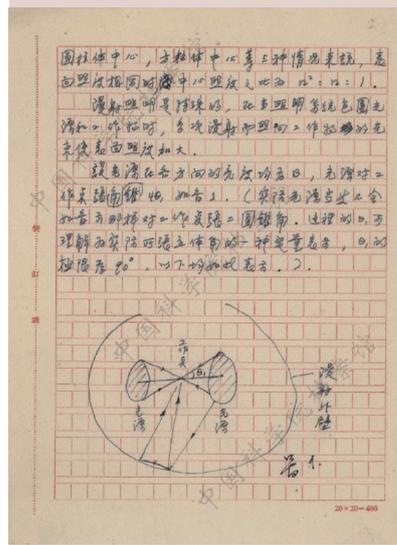


图3 王之江球形照明系统设计手稿

“使用螺旋状氙灯的目的是保证光射到宝石中去。实际上，一个光源发出的光只有很少能照射到宝石中去，灯的有用尺寸不能超过宝石棒，所以，国外使用的螺旋状氙灯实际是个半废品。假如不懂这个基本的光学规律，我们可能会去模仿，但我们懂得灯的尺寸不能超过宝石棒尺寸这个道理，知道螺旋灯是没有用的，所以，我们制作了直管状的脉冲氙灯”^[26]。

其二，照明系统采用球形共轭成像方式(图3)。当时梅曼第一台红

宝石激光器的照明方式采用的是椭圆漫射照明,是国外非常流行的一种照明方式。王之江经光学设计理论分析,认为成像照明系统的效率比漫射照明方式更高^[27]。针对当时国外流行的另外一种多灯多椭圆柱的照明方式,王之江根据照度与亮度的基本关系认为,当激活介质和灯的直径一样大时,采用多次光学成像方法提高光源亮度比采用光源重叠的方法更有效^[28]。因实验所用的红宝石仅30 mm长,王之江认为,对于这种不太长的宝石,球形成像照明系统比椭圆照明系统更有效率。

实践证明,王之江设计出的这个结构效率很高,“只用了一支较小的直管氙灯,其尺寸同红宝石棒的大小差不多,用高反射的球形聚光器聚光,使红宝石棒好像泡在光源(氙灯)的像中,所以效率很高”^[29],只用了很小的能量就实现了装置的激光输出。实际上,中国第一台红宝石激光器的输出能量只有0.003 J,若电容再小一点,或者装置效率稍低,实验都将很难成功,因此,这台红宝石激光器的成功有很大的运气成分。因为这个原因,在回顾这段历史时,王之江仍感到非常庆幸,他说:“实验最后是看到激光了,但是光的能量非常小,只有0.003 J,原因是什么呢?原因是电源做得非常小,当时电源所用的电容器都是电子实验室里退库的,电容量很小,所以放电量很小。当时实验条件是很差的,能做出这个东西,现在来看,其实有很大的运气,再差一点就做不出来了”^[30]。他的这段话更加揭示了光学设计在中国第一台激光器研制中所发挥的重要作用。

4.2 “150工程”光学系统的设计

1960年代初,为满足中国中程导弹试验的需要,长春光机所成功研制出了测定导弹主动段飞行轨迹的大型光学电影经纬仪,王之江是其光学系统设计的主要完成者之一。

实际上,光学仪器在军事上的迫切需求是中国引进和发展应用光学根本原因。20世纪30年代初,政府从德国进口了一批军用望远镜等军用光学仪器,由于当时中国缺乏应用光学人才,这批光学仪器的维护和保养工作不得不送回德国进行,龚祖同、王大珩就是在这样的历史背景下被派往欧洲专门学习应用光学的。到20世纪60年代,随着军事尖端技术的发展,测量导弹飞行轨迹的大型光学经纬仪成为当时中国国防建设最为迫切的需求之一,但由于美、苏等国严格技术禁运,中国只能开展自主研发,其光学系统的设计最终落到了王之江身上。

要研制的这台大型光学电影经纬仪,要求观测距离达到150公里以上,故时称“150工程”。因当时美、苏技术禁运,可供参考的资料只有几张这种仪器的外形照片。为顺利开展这项任务,长春光机所曾开展了预研——仿制瑞士产、观测距离为30公里的“EOTS-C”型电影经纬仪,时称“60号任务”,但预研以失败告终,原因之一就是光学系统的设计存在问题^[31]。“60号任务”失败,加上“150工程”是我国中程导弹试验所急需,且只有几张外形照片可以参考,光学系统的设计工作一下子变成了烫手山芋,没人敢接。此时,得益于光学设计人才队伍的成长,王之江自1959年起已转向激光研究,但面对“150工程”所处的困境,王之江还是义

无反顾地承担起了“150工程”光学系统的设计任务。

“150工程”光学系统设计遇到的最大困难是二级光谱的校正。在现实生活中,利用大口径、长焦距镜头拍摄物体时,因组成白光的7种色光对玻璃的折射率不同,成像的边缘会形成彩色像斑而影响像的清晰度和分辨率,即存在所谓的色差,为此通常会对其中两种色光进行校正以便提高像的清晰度和分辨率,但对其中两种色光校正色差后,对第三种色光必然存在剩余色差,即二级光谱。对于二级光谱,王之江曾进行过长时间的理论探索,并由此创新了高级像差理论。依据自己创立的高级像差理论,王之江设计出了由一个球面反射镜与两个透镜组合起来的光学系统结构,即:“反射镜用球面反射镜,……用一个负透镜把焦距拉长,然后再用一个正透镜把这个像校正,用这样一个方式可以把二级光谱消除”^[32]。这是一个可以申请专利的设计,后来大量的观测实践表明,该设计成功消除了“150工程”光学系统的二级光谱,高级像差、高级色差都被完全消除^[33]。

值得一提的是,王之江的这个设计不仅为“150工程”的成功研制奠定了理论基础,后来我国“远望1号”测量船上观测洲际导弹再入大气层飞行轨迹设备的光学系统也沿用了这一设计思路。1985年,“150工程”、“远望号”等系列观测装备荣获国家科技进步(国防专项)特等奖,王之江凭借光学系统设计的贡献也荣获此奖。

5 结语

能够独立研制以大型光学跟踪电影经纬仪为代表的系列国防尖端

光学仪器，实现了中国引进应用光学的目标，是中国应用光学学科真正建立起来的重要标志。该学科的建立，离不开严济慈、龚祖同、王大珩等老一辈光学家做出的突出贡献，严济慈在抗战时期曾领导研制过一些光学仪器，并培养了一批应用光学的技术人才，长春仪器馆初创时期磨玻璃技术人员多是严济慈培养出来的；龚祖同完成了中国第一个军用双筒望远镜的光学设计，领导完成了中国第一块光学玻璃的熔炼等重要工作；王大珩领导建立了中国光学事业的摇篮——长春光机所，培养了中国光学事业的第一代“科班人才”，领导完成了“150工程”等系列国防尖端光学仪器的研制，因贡献特别突出，王大珩有“中国光学之父”之称。同时，应该看到，王之江的工作——中国特色的光学设计基础理论、培养专业的

光学设计人才队伍、以及完成国家急需光学仪器的光学设计等，也非常基础和关键。

参考文献

[1] 舒美冬. 王之江科研生涯. 上海: 中国科学院上海光学精密机械研究所出版, 2015. pp.16—20

[2] 谢婧, 王晓峰. 激光与光电子进展, 2008, (12): 68

[3] 王之江访谈. 2018年11月7日, 上海. 资料存于中国科协老科学家学术成长资料采集工程数据库

[4] 张欣婷, 向阳, 牟达. 光学设计及Zemax应用. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2019. p.3

[5] 潘君骅, 沈为民访谈录音. 2019年12月

一、我国建国以来最早的光学系统设计的学术带头人。

A) 他一来到仪器馆，就从事光学设计这一应用光学的基本领域方面的工作，在同时来到仪器馆的大学毕业生中，突出地表现了他对所学事物的敏感性、想象能力、创造能力和表达能力。在从事所中需要的以及所外委托的各种光学设计中，迅速地形成以他为主导，完成了多种类型的镜头设计，包括显微镜物镜、内调焦望远镜、照相机放映物镜、宽银幕放映物镜、摄影物镜、折反射系统以及连续变焦物镜等。不出十年，使光机所形成了一个我国的光学设计中心，掌握了光学设计的自由。王之江同志亲自设计的带有创造性的成就方面有如：我国第一台连续变焦物镜的设计；150°工程(大型光学电影跟踪经纬仪)口径为650φ的分五档变焦光学系统；高数值孔径折反射显微物镜；宽银幕柱形物镜设计，发展了柱形物镜设计的理论和方法等等。

B) 建立了一套以英国和苏联设计方法为基础的光学设计方法体系，编写了《光学设计理论基础》一书，是我国从事光学设计工作者的必读书。

C) 开办了光学设计培训班(建国

4日, 苏州. 资料存于中国科协老科学家学术成长资料采集工程数据库

[6] 董烈棣, 龚祖同传. 中国科学技术协会编. 中国科学技术专家传略·工程技术编·自动化仪器仪表系统工程 光学工程卷 1. 北京: 中国机械工业出版社, 1997. pp.13—20

[7] 胡晓菁. 赤子丹心 中华之光——王大珩传. 北京: 中国科学技术出版社, 2016.

[8] 肖越辉. 中国第一架望远镜1939年在昆明诞生. 中国人民政治协商会议云南省昆明市委员会编, 昆明文史资料集萃第

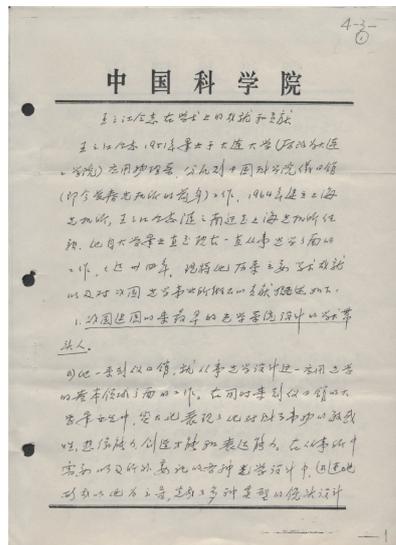


图4 王大珩给王之江的评价手稿(部分)

以来第一次)，为我国初始建立光学工业事业培养第一代光学设计人才。

D) 理论性的创造有如：(i)带有残余像差时的最佳像质平衡原理；(ii)柱形物镜的设计方法；(iii)同心光学系统的成像性质；(iv)用传播函数理论的波面相概念评价大像差时的像质；(v)部分相干光学理论(与谭维翰合作)^[20]。

这些记录和评价，从王之江所做的实际工作看，是十分中肯的，比较客观地反映了王之江在中国应用光学学科发展中做出的卓越贡献。

4卷. 昆明: 云南科技出版社, 2009. p.2931

[9] 王之江自传. 1955年, 王之江人事档案, 存于中国科学院上海光学精密机械研究所

[10] 王大珩. 办公自动化, 2012, (S1): 28

[11] 王之江. 要注意思想方法和工作方法. 见: 中国科学院院士工作局编. 科学的道路(下卷). 上海: 上海教育出版社, 2005. pp.1409—1411

[12] Conrady A E. Applied Optics and Optical Design. Oxford University Press,

1929

- [13] 1954 仪器馆各部分研究试制工作的介绍. 1954年,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所档案,档号:Z382-00073-003
- [14] 王之江访谈,2018年11月8日,上海. 资料存于中国科协老科学家学术成长资料采集工程数据库
- [15] R. 金斯莱克. 透镜设计基础. 北京:机械工业出版社,1985.前言页
- [16] Kingslake R, Kingslake H G. Applied Optics, 1966, 5(1): 176
- [17] 杜德罗夫斯基 著,王之江,王乃弘,袁幼心 译. 光学仪器理论. 北京:中国科学出版社,1958
- [18] 王之江. 光学设计方法及高级像差分析. 1959年,中国科学院长春光学精密机械与物理研究所档案,档号:Z382-00790-006
- [19] 王之江. 物理学报,1960,(04):189

- [20] 王大珩. 王之江在学术上的成就与贡献. 王之江人事档案,1985年1月29日. 存于中国科学院上海光学精密机械研究所档案室
- [21] 王之江. 光学设计理论基础. 北京:科学出版社,1965. pp.233—234
- [22] 林大健. 工程光学系统设计. 北京:机械工业出版社,1987. 前言页
- [23] 朱健强. 序言. 见:王之江. 光学设计(讲义). 上海:中国科学院上海光学精密机械研究所出版,2004. 序言页
- [24] 陈崇斌,孙洪庆. 中国科技史杂志, 2009,(3):347
- [25] Chen C B, He J M, Sun H Q. proceedings of the IEEE, 2021, 109(10): 1753
- [26] 王之江访谈,2008年11月2日,上海. 资料存于中国科协老科学家学术成长资料采集工程数据库
- [27] 王之江. 光泵方式对受激光发射的作用. 见:吕大元. 受激光发射论文汇编.

- 北京:科学出版社,1964. pp.81—83
- [28] 王之江. 光泵方法中的聚焦装置性能. 见:吕大元. 受激光发射论文汇编. 北京:科学出版社,1964. pp.84—88
- [29] 王大珩. 中国激光,2000,27(12):1058
- [30] 王之江访谈,2017年10月9日,上海. 资料存于中国科协老科学家学术成长资料采集工程数据库
- [31] 王大珩. 发扬自主开发的创新精神——回忆150工程的研制. 见:母国光. 现代光学与光子学的进展,庆祝王大珩院士从事科研活动六十五周年专集. 天津:天津科学技术出版社,2003. pp.103—104
- [32] 王之江访谈. 2019年11月7日,上海. 资料存于中国科协老科学家学术成长资料采集工程数据库
- [33] 潘君骅访谈. 2019年10月29日,苏州. 资料存于中国科协老科学家学术成长资料采集工程数据库

读者和编者

订阅《物理》得好礼

——超值回馈《岁月留痕——<物理>四十年集萃》

为答谢广大读者长期以来的关爱和支持,《物理》编辑

户名:中国科学院物理研究所
 帐号:11 250 1010 4000 5699
 (请注明《物理》编辑部)
 咨询电话:010-82649029; 82649277
 Email: physics@iphy.ac.cn

部特推出优惠订阅活动:向编辑部连续订阅2年《物理》杂志,将获赠物理类科普图书或《岁月留痕——<物理>四十年集萃》一本。该书收录了1972年到2012年《物理》发表的40篇文章,476页精美印刷,定价68元,值得收藏。

希望读者们爱上《物理》!

订阅方式(编辑部直接订阅优惠价180元/年)

(1) 邮局汇款

收款人地址:北京市中关村南三街8号中科院物理所,100190

收款人姓名:《物理》编辑部

(2) 银行汇款

开户行:农行北京科院南路支行

