



国防科技图书出版基金

反射棱镜与平面镜系统

— 光学仪器的调整与稳像

Mirror and Prism Systems

Adjustment and Image Stabilization of Optical Instruments

■ 连铜淑 著



国防工业出版社

National Defense Industry Press



国防科技图书出版基金

反射棱镜与平面镜系统

——光学仪器的调整与稳像

Mirror and Prism Systems

Adjustment and Image Stabilization of Optical Instruments

连铜淑 著

国防工业出版社

· 北京 ·

图书在版编目(CIP)数据

反射棱镜与平面镜系统:光学仪器的调整与稳像/连铜
淑著. —北京:国防工业出版社,2014.9
ISBN 978-7-118-08810-6

I. ①反… II. ①连… III. ①光学仪器—反射镜—
研究 IV. ①TH74

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 019352 号

※

国防工业出版社 出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号 邮政编码 100048)

北京嘉恒彩色印刷有限责任公司

新华书店经售

*

开本 710 × 1000 1/16 印张 36¼ 字数 680 千字

2014 年 9 月第 1 版第 1 次印刷 印数 1—2500 册 定价 188.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

国防书店:(010)88540777

发行邮购:(010)88540776

发行传真:(010)88540755

发行业务:(010)88540717

献 给

亲爱的母亲
郑桃英女士
(1902—1974)

敬爱的中医世家
徐绣柏大夫
(1906—1999)

敬爱的老师
钱伟长院士
(1912—2010)

尊敬的领导
魏思文院长
(1910—1967)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。
2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。
3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。
4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需

要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

国防科技图书出版基金
评审委员会

国防科技图书出版基金 第六届评审委员会组成人员

主任委员 王 峰

副主任委员 宋家树 蔡 镭 杨崇新

秘 书 长 杨崇新

副 秘 书 长 邢海鹰 贺 明

委 员 (按姓氏笔画排序)

于景元 才鸿年 马伟明 王小谟

甘茂治 甘晓华 卢秉恒 邬江兴

刘世参 芮筱亭 李言荣 李德仁

李德毅 杨 伟 肖志力 吴有生

吴宏鑫 何新贵 张信威 陈良惠

陈冀胜 周一宇 赵万生 赵凤起

崔尔杰 韩祖南 傅惠民 魏炳波



作者简介

连铜淑,男,1930年6月生于上海,广东潮阳人。教授、博士生导师。1952年毕业于清华大学机械系。1952—1996年在北京理工大学光电工程系任教,曾任光电工程系副主任。长期致力于光学仪器和应用光学的教学与研究。在“反射棱镜共轭理论”的研究中,他创建了崭新的“刚体运动学”的学派体系,提出了一系列有关棱镜成像与转动的新概念、定理、法则、基本方程、作用矩阵、特性参量以及新型棱镜和棱镜组并编制了反射棱镜工程图表,使我国的反射棱镜共轭理论成为一个相当系统和完整的体系。这一成果在国际光学工程界享有盛誉。1980—1981年在美国光学科学中心访问研究。多次应邀在欧美等地举行的国际学术会议上宣读论文,讲授短课,并担任会议主席。1994—1997年多次应邀赴中国台湾与中央大学光电科学中心主任、国际光学委员会副会长张明文教授进行合作研究,指导研究生与撰书。

先后讲授过“炮兵光学仪器”、“航空军用光学仪器”、“光学系统三级像差理论”、“反射棱镜共轭理论”、“光学仪器调整与稳像”、“自动车床凸轮设计”、“机构精确度分析与计算”以及“傅里叶光学”等课程。

先后主持并参与了“强击机瞄准具”、“大型天象仪主要配套设备太阳系”、“棱镜调整与实践”等课题的研究工作,并作为主要完成人参与了“远程反坦克导弹控制技术和稳像技术”研究。

培养了硕士4名、博士4名。

著有《三级像差理论与查表法望远物镜设计》、《棱镜调整(光轴和像倾斜计算)》(北京工业学院,1973)、《棱镜调整》(国防工业出版社,1978)、《棱镜调整(原理和图表)》(国防工业出版社,1979)、《反射棱镜共轭理论》(北京理工大学出版社,1988)以及“Theory of Conjugation for Reflecting Prisms”(由英国 Pergamon Press 资助,中英合资企业 International Academic Publishers 1991 出版)。

发表论文40余篇。

获奖成果有:《棱镜调整》被评为“1977—1981年度全国优秀科技图书”一等奖;《反射棱镜共轭理论》获1992年度部级优秀教材一等奖;《反射棱镜共轭理论(英文改进版)》获1995年度部级优秀教材一等奖;《棱镜调整与实践》获国防工办1980年重大技术改进成果二等奖;《远程反坦克导弹控制技术和稳像技术研究》获兵器工业总公司1995年度部级科技进步奖三等奖。拥有“分离式圆束偏器”及

“方截面等腰屋脊棱镜”两项实用新型专利。

1992 年起享受国家政府特殊津贴。

曾兼任兵器工业部科学技术委员会委员、兵器工业部学位委员会委员、兵器工业部高等工业学校工程光学专业教材编审委员会委员、中国光学学会理事、北京市人民政府第三届专业顾问团顾问。

序

《反射棱镜与平面镜系统》是一本专著。主要讨论反射棱镜(含平面镜系统)的成像和转动原理。棱镜成像的特点,加上它的运动性,赋予光学仪器以诸多的性能,如周视、瞄准、扫描、跟踪、测量、调整、稳像以及体视、潜望、正像,等等。上列功能不仅同一些民用光学仪器相关,而且更为各类军用光学仪器所需。因此,本书的出版对促进国防科技发展和武器装备建设也有相当重要的意义。

本书稿是作者在他 1988 年出版的《反射棱镜共轭理论》以及 1991 年出版的同名英文修订版“ Theory of Conjugation for Reflecting Prisms ”的基础上,做了重大的补充、修改、提升或发展而写成的。新书稿在内容的安排上和原著具有同样的结构。它们的正文都包括数理基础、反射棱镜共轭理论和反射棱镜共轭理论的应用等三篇,并均以反射棱镜共轭理论一篇为该书的核心。新版书增添的内容有:绪论、新型的棱镜和棱镜组、新型双目体视显微镜的设计、大角度干扰观测线稳定的研究、反射棱镜光学平行差分析与计算、有限量和微量同时在棱镜系统中传递的相对独立性的推论、扫描棱镜调整结构的模型以及反射棱镜成像、位移和调整等 3 条定理。此外,用更典型的经纬仪和潜望测角仪取代了原测角一章的内容。

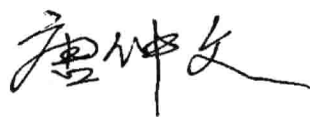
作者从事光学仪器与应用光学教学与研究已 60 余年。他在反射棱镜的成像和转动原理的研究中,创立了崭新的刚体运动学学派的理论体系——反射棱镜共轭理论。该学派以刚体运动表达反射棱镜成像中的物体和像体之间的关系,与此类同,又用刚体运动反映同一物体在棱镜微量转动前后所对应的两个像体之间的关系,因而允许采取刚体运动学的观点与原理来处理反射棱镜的成像和调整等光学问题。如所知,刚体运动是一种比较简单的运动,非转动,即移动。正是靠着这种模拟的关系,我国以作者为首的几位知名光学仪器专家已先后创立了 8 条法则、3 条定理,构建了 22 个参量(棱镜成像特性参量和棱镜调整特性参量)。连同已推导出的 30 多个(组)公式,它们一起反映了棱镜成像和调整的规律性,并成为我国独树一帜的反射棱镜共轭理论的核心部分。

1973—1991 年期间,作者共撰写并出版了关于反射棱镜的专著 5 部。其中,

《棱镜调整》于1982年被评为“1977—1981年度全国优秀科技图书”一等奖；《反射棱镜共轭理论》的中文版与英文改进版先后获1992年度和1995年度部级优秀教材一等奖。

1991年,“Theory of Conjugation for Reflecting Prisms”出版,并在牛津、纽约、北京、法兰克福、圣保罗、悉尼、东京、多伦多发行后,受到了国际著名科学家的好评。国际光学工程界权威 R Kingslake 教授认为该书“在相当一段时间内将是这个复杂课题方面的权威性的和看来是详尽的著作”;我国两院院士王大珩教授在给这本英文专著的题字中写道:“提出了有关各种反射棱镜性能的统一理论,……这是作者的一项新成就,就其实际价值,应可看做是为几何光学增添了新篇章。”某些美国公司和国际光学工程学会随接邀请他去工作和主持国际会议,并赞誉连铜淑为“反射棱镜共轭理论方面的世界一流权威”和“棱镜设计与组合方面的最佳者”。

作者在反射棱镜这个学科分支和技术领域的研究中,形成了学派,创建了理论。研究成果的学术理论水平及工程实用性,在国际同行中均居前列。因此,《反射棱镜与平面镜系统》的出版,将为光学工程界的读者提供一本学术水准上乘和内容全面、系统、翔实的实用参考书。



2014年2月19日

前 言

《反射棱镜与平面镜系统》一书包括数理基础、反射棱镜共轭理论和反射棱镜共轭理论的应用三篇。其中,反射棱镜共轭理论一篇为本书的核心。

数理基础篇回顾了刚体运动学的基本知识,给出了关于反射、转动、坐标转换及梯度的几个矢量公式和转换矩阵。这些都是学习和解决反射棱镜共轭理论问题所必需的。在本篇里也有一些新内容,如微转动轴矢量和刚体微量转动模式等概念、刚体微量转动的合成、刚体螺旋运动螺旋轴的求解以及用转动求坐标转换矩阵的方法等。

反射棱镜共轭理论篇主要研究反射棱镜物、像空间的共轭关系以及存在于此种关系之中的规律性。

与透镜不同,反射棱镜在许多情况下表现为一个运动的光学元件。正是由于它的这种运动的特性,光学系统才具有千变万化的形式和功能。也有不少棱镜于所在的光学系统中是固定不动的,然而在仪器生产的装配阶段,有些固定棱镜被赋予调整的功能,以其微小的位移来补偿系统成像的误差,于是它们成了变相的运动元件,只是位移很小而已。另一些固定棱镜虽然没有调整的作用,然而当需要分析和计算棱镜加工误差对其成像方位和质量的影响时,可将棱镜的每一个反射面或屋脊(即夹角为 90° 的两个反射面所组成的角镜)看成是一个单元棱镜,则具有加工误差的棱镜变成了诸单元棱镜所组成的一个棱镜系统,而此系统中的各个单元棱镜也都呈现为变相的运动元件,只是运动元件的微量偏转等效于它所代表的反射面或屋脊的加工误差而已。兼有调整作用的扫描棱镜是一种比较复杂的典型,因为这个问题同时与棱镜成像、棱镜微量运动以及棱镜大转动等三者相关。

上述表明,反射棱镜在大多数情况下都离不开与运动的关系,因此,本理论自然应该包括反射棱镜处在运动状态下的物、像关系。

本篇包含反射棱镜的成像、有限转动、微量位移、调整与调整规律、微量转动的传递与多棱镜系的调整、扫描棱镜调整结构的模型与棱镜稳像等内容。前三部分属于反射棱镜的基础理论,后三部分属于反射棱镜的应用理论,综合起来,组成了反射棱镜共轭理论的一个比较系统和完整的体系。它为学习最后一篇的内容奠定了一个坚实的基础。

反射棱镜共轭理论的应用篇是上一篇理论的实际运用。其中,针对几个典型的光学仪器的某些有代表性的问题进行了系统而深入的分析。在本篇中,对于一些具体的调整原理和稳像原理也作了某些补充。此外,还有一些创新性的研究和

设计,如新型棱镜和棱镜组的研究以及新型双目显微镜的设计等篇章。

书中除正文外,还有习题、部分题解、程序、实用调整图表以及参考文献等。

本书内容与光学仪器的原理、设计和生产密切相关,对解决光学仪器的成像、扫描、测量、瞄准、调整、稳像、误差分析、结构设计等一系列技术问题,以至新型棱镜、棱镜组和新型光学仪器的设计与研究,都具有重要的指导意义。

本书可作为高等院校光学仪器、应用光学、光学工程以及光电信息工程与技术等相关专业研究生和本科生的教材或参考书,对从事光学仪器研究、设计、制造与修理的科技人员均有参考价值。本专著的创新思路和科学方法也许可供学术界相关人士参考。

我国广大的光学工作者,经过数十年的辛勤劳动和共同努力,在反射棱镜与平面镜系统的成像理论方面已经取得了一些可喜的成果。这些成果表现为一系列新的概念、法则、定理、方程、参量、模式、算法、程序,以及于此基础上编制的棱镜工程图表和国家标准。这些创造性的研究成果既说明了我国的反射棱镜共轭理论的学术水平,同时又显示了其工程实用化的程度。

自作者所著《棱镜调整》、《反射棱镜共轭理论》以及“*Theory of Conjugation for Reflecting Prisms*”等书相继出版以来,国内外光学界对此高度评价,认为,我国在平面镜棱镜系统成像与转动原理的研究方法上取得了突破,创建了“刚体运动学”的学派。“刚体运动”这一虚构的物理模型被用来模拟反射棱镜的物像关系以及像运动等真实的物理现象。刚体运动学的原理和观点好像一条主线贯穿于反射棱镜共轭理论的研究与形成的全过程。这里,刚体运动学的处理方法,其价值已不再停留在仅仅作为一种解题途径的意义上,而是已经完全融化到了理论之中,并成为具有独创性的反射棱镜共轭理论中的一个不可分割的组成部分。学派的风采为我国的反射棱镜共轭理论增添了鲜明的特色。

由于作者水平所限,书中疏漏与不足甚至是差错在所难免,敬请读者批评指正。

连铜淑

2012年4月

目 录

绪论

第 1 篇 数理基础

第 1 章 数理基础	16
1.1 反射矢量公式	16
1.2 转动矢量公式	17
1.3 转动与坐标转换的关系	19
1.4 刚体运动一般规律	20
1.4.1 刚体任意运动的等效	20
1.4.2 刚体的等效螺旋运动	22
1.4.3 刚体的瞬间转动的合成	25
1.4.4 刚体的微量转动的合成	27
1.5 梯度	27
1.6 平面矢量方程	28
1.7 直线矢量方程	29
习题	30

第 2 篇 反射棱镜共轭理论

第 2 章 反射棱镜成像	32
2.1 专用术语	32
2.2 反射棱镜结构分析成像观	34
2.2.1 反射棱镜的展开和归化	34
2.2.2 反射棱镜的一对共轭基点——棱镜物、像位置共轭法则	41
2.2.3 一对完全共轭的坐标系——作图法求像	43
2.3 反射棱镜成像分析运动观	45
2.3.1 棱镜成像和刚体运动的相似性	45
2.3.2 棱镜物、像空间共轭关系的刚体运动学解题途径	47

2.3.3	棱镜的位置共轭	47
2.3.4	棱镜的方向共轭——棱镜物、像方向共轭法则	48
2.3.5	棱镜成像特性参量	51
2.4	棱镜作用矩阵(反射作用矩阵) R 的确定方法	51
2.4.1	各个反射面的反射作用矩阵的连乘	51
2.4.2	屋脊的等效	52
2.4.3	作图法求棱镜作用矩阵——直接利用棱镜的一对共轭的物、 像坐标	52
2.4.4	利用转动与坐标转换的关系	54
2.4.5	利用棱镜的成像特性参量 T 、 2φ 以及 t 确定棱镜的作用 矩阵 R	55
2.5	棱镜特征方向 T 和特征角 2φ 的求解	56
2.5.1	平面棱镜特征方向的作图法求解	56
2.5.2	空间棱镜特征方向的矢量法求解——作图解析法	56
2.5.3	棱镜特征方向的解析法求解	58
2.6	棱镜的光路计算	61
2.7	平行光路中的光路计算	61
2.8	会聚光路中的光路计算	63
2.9	反射棱镜的成像螺旋轴	70
2.9.1	偶次反射棱镜的成像螺旋轴	70
2.9.2	奇次反射棱镜的成像螺旋轴	72
2.10	反射棱镜成像定理	76
2.10.1	反射棱镜成像定理	76
2.10.2	反射棱镜成像刚体运动学模型	77
2.10.3	反射棱镜成像公式	77
	习题	80
第3章	平面镜系统转动	83
3.1	平行光路	83
3.2	会聚光路	89
3.3	平面镜系统转动法则	93
3.4	平面镜系统转动法则在平面镜系统转动中的应用	96
3.4.1	平行光路	96
3.4.2	会聚光路	97
	习题	100

第4章 反射棱镜微量位移	102
4.1 反射棱镜微量转动法则	103
4.2 反射棱镜微量移动法则	103
4.3 像体微量运动的基本方程	103
4.4 反射棱镜微量转动法则的论证	109
4.4.1 微量转动的算法	109
4.4.2 微量转动的传递	111
4.4.3 棱镜微量转动所造成的像偏转	112
4.4.4 小结	118
4.5 多棱镜的微量转动	120
4.6 扫描棱镜的微量转动	120
4.6.1 概述	120
4.6.2 扫描棱镜调整结构的模型	120
4.7 反射棱镜大转动公式的转型(移植)	122
4.8 反射棱镜位移定理	126
4.8.1 反射棱镜位移定理	126
4.8.2 反射棱镜位移定理的逻辑	127
4.8.3 反射棱镜转动公式	128
习题	134
第5章 反射棱镜调整	136
5.1 像运动与光学调整的关系	137
5.1.1 平行光路	138
5.1.2 会聚光路	140
5.2 平行光路中的调整计算	140
5.2.1 概述	140
5.2.2 计算公式	141
5.3 会聚光路中的调整计算	144
5.3.1 概述	144
5.3.2 计算公式	144
5.3.3 在会聚光路中存在两块棱镜的情况	148
习题	149

第6章 反射棱镜调整规律	150
6.1 像偏转分量及其极值特性向量——余弦律与差向量法则	150
6.2 像移动分量及其极值特性向量——余弦律与差、和向量法则	157
6.3 有关像点位移分量和像点位移的特性参量	161
6.4 像点位移分量的极值轴(或梯度轴)和零值轴	163
6.5 像点位移的各维数的零值轴	167
6.6 光轴交截平面棱镜的各维数零值轴、零值轴平面和零值极点	175
6.7 反射棱镜平面三维零值极点的存在条件及其求解的一般方法	186
6.8 反射棱镜分类	202
6.9 反射棱镜图表	203
6.10 反射棱镜顺、逆光路调整的转换公式——反射棱镜逆光路 调整法则	207
6.11 反射棱镜调整定理	211
6.11.1 引言	211
6.11.2 关于像倾斜的“余弦律与差向量法则” ——定理的雏形	212
6.11.3 “余弦律与差向量法则”的前4次提升	218
6.11.4 反射棱镜调整定理	222
6.11.5 结论	223
习题	223
第7章 反射棱镜稳像	224
7.1 反射棱镜稳像的实质和意义	224
7.2 平行光路稳像	225
7.2.1 关于反射棱镜稳像的自由度问题	225
7.2.2 微量转动稳像公式	227
7.2.3 有限转动稳像公式	229
7.3 会聚光路稳像	230
7.3.1 稳像棱镜的选型问题	230
7.3.2 会聚光路稳像公式	234
习题	236