



航空制造工程手册

《航空制造工程手册》总编委会 主编

· 光学元件工艺 ·

航空工业出版社

(京)新登字 161 号

内 容 提 要

本分册共二十五章及一个常用光学冷加工设备附录。第 1~4 章为光学零件加工的必要知识和国家光学标准。第 5~16 章主要介绍了光学零件冷加工工艺过程,包括毛坯加工、粗加工、精磨、抛光以及定中心磨边的基本工艺过程与原理。同时对于典型零件的加工,以及特殊材料光学零件的加工、胶合亦作了较详细的阐述。另外对于基本加工中所用的通用工装和工具以及专用工装的设计计算也作了介绍。第 17~21 章为光学薄膜的设计、镀膜技术和光学薄膜镀制工艺。第 22~24 章为光学零件的刻划工艺。第 25 章介绍了光学零件的三防工艺。

本分册可供光学仪器制造专业的光学技术人员和工人参考。

航空制造工程手册

光学元件工艺

《航空制造工程手册》总编委会 主编

责任编辑 姜育义 孔凡利

© 1993

航空工业出版社

(北京市安外小关东里 14 号)

— 邮政编码: 100029 —

全国各地新华书店经售

煤炭工业出版社印刷厂印刷

1993 年 12 月第 1 版

1993 年 12 月第 1 次印刷

开本: 787×1092 1/16

印张: 36.125

印数: 1—2000

字数: 948 千字

ISBN 7-80046-674-4/TH·024 (平装)

ISBN 7-80046-675-2/TH·025 (精装)

定价: 55.00 元 (平装) 70.00 元 (精装)

序

我国航空工业已走过了四十余年的历程,从飞机的修理、仿制到自行研制,航空制造工程得到很大的发展。在航空高科技产业的大系统中,航空制造工程是重要的组成部分之一。航空工业,就其行业性来讲,属于制造业范畴。航空制造工程的技术状况,是衡量一个国家科学技术发展综合水平的重要标志。航空制造工程的发展水平,对飞机的可靠性和使用寿命的提高、综合技术性能的改善、研制和生产成本的降低、甚至总体设计思想能否得到具体实现等均起着决定性作用。

航空制造工程已成为市场竞争的重要基础,要发展航空工业、并有效地占领市场,不仅要不断地更新设计,开发新产品,更重要的是要具备一个现代化的航空制造工程系统。在发达国家中,均优先发展航空制造工程,很多新工艺、新材料、新设备、新技术都是在航空制造工程中领先使用的,因此必须从战略高度予以重视,并采取实际而有效的措施加速它的发展。编写《航空制造工程手册》,就是为实现航空制造工程现代化的战略目标,在制造工程领域进行的基础性工作。

四十年来,我国航空工业积累了大量经验,取得了丰硕的成果,特别是改革开放以来,开扩了视野并有可能汲取更多的新科技信息。但是如何将这些容量浩繁、层次复杂、学科众多的科学技术和经验汇集起来,使之成为我国航空工业、乃至国家的珍贵财富,是一项具有重大实用价值和长远意义的任务,为此航空航天部决定组织全行业的力量,统一计划、统一部署完成这项极其复杂的规模巨大的系统工程。大家本着继往开来的历史责任感和紧迫感,从1989年开始组织航空工业全行业制造工程方面造诣至深的专家、教授、学者,经过几年的努力陆续编写出版了这套基本覆盖航空制造工程各专业各学科的包括三十二个分册、几千万字的《航空制造

工程手册》。

编好这套手册是一项十分艰巨的工作。大家始终坚持求实、求新、求精、求是的原则,在确保鲜明航空特色的前提下,在总体内容上强调实用性、综合性、成套性;在表达形式上,以技术数据、图形表格、曲线公式为主;阐述扼要,结论严谨,力求使手册成为一部概念准确、数据可靠、文字简洁、编排合理、查阅方便,能为广大从事航空制造工程的科技人员提供有益指导和参考的工具书。

首次组织编纂大型手册,缺乏经验,还由于过去资料积累基础比较薄弱,新技术发展迅速和深度广度不断增加,使这项工作带有相当程度的探索性,因之错误与不足之处实为难免,恳切希望广大读者给予指正。对在这套手册编写过程中给予支持的单位和付出辛勤劳动,提供资料,参与编写,评审,出版的同志们表示衷心感谢。由于我国航空制造工程与世界水平尚存在较大差距,这套手册出版之后,还有不断求新、完善的必要,《航空制造工程手册》总编委会及其办公室是常设机构,将努力收集新的科技信息及这套工具书使用的情况和意见,为今后的修订提供依据,以求进一步完善和提高。

何文治

1992年8月28日

《航空制造工程手册》

各分册名称

- | | |
|-------------|---------------|
| 《通用基础》 | 《非金属结构件工艺》 |
| 《热处理》 | 《飞机结构工艺性指南》 |
| 《特种加工》 | 《发动机机械加工》 |
| 《表面处理》 | 《发动机装配与试车》 |
| 《焊接》 | 《发动机叶片工艺》 |
| 《特种铸造》 | 《燃油泵与调节器装配试验》 |
| 《金属材料切削加工》 | 《弹性元件工艺》 |
| 《齿轮工艺》 | 《电连接器工艺》 |
| 《工艺检测》 | 《机载设备精密加工》 |
| 《计算机辅助制造工程》 | 《光学元件工艺》 |
| 《飞机钣金工艺》 | 《框架壳体工艺》 |
| 《飞机机械加工》 | 《武器系统装配》 |
| 《飞机装配》 | 《电机电器工艺》 |
| 《飞机工艺装备》 | 《救生装备工艺》 |
| 《飞机模线样板》 | 《电子设备装配》 |
| 《金属结构件胶接》 | 《机载设备环境试验》 |

《航空制造工程手册》

总编委会、顾问及办公室组成名单

总编委员会主任 何文治

总编委会副主任(按姓氏笔划排列)

马业广	王云机	王敬堂	方裕成	刘多朴
朱伯贤	任家耕	李成功	李哲浩	李章由
吴复兴	易志斌	郑作棣	杨彭基	张彤
张士元	张钟林	周家骐	周砥中	周晓青
金德琨	姚克佩	顾元杰	徐秉铨	徐培麟
郭景山	程宝渠	屠德彰		

总编委会常务副主任 马业广

总编委会顾问(按姓氏笔划排列)

马世英	于欣	于志耕	于剑辉	王英儒
冯旭	杨墉	杨光中	陆颂善	枉云汉
罗时大	荣科	邴少安	董德馨	程华明
廖宗懋	颜鸣皋	戴世然		

总编委会委员(按姓氏笔划排列)

马业广	王广生	王云机	王国成	王喜力
王敬堂	方学龄	方裕成	刘多朴	刘树桓
刘盛东	刘瑞新	关桥	朱伯贤	孙国壁
任家耕	严世能	何文治	何恽晋	李成功
李秋娥	李哲浩	李章由	李德澄	杜昌年
沈昌治	陈于乐	陈进	陈积懋	陈德厚
余承业	杨彭基	吴志恩	吴复兴	张彤
张夏	张士元	张幼桢	张灵雨	张纯正
张钟林	张增模	周家骐	周砥中	周晓青

易志斌	郑作棣	林更元	林泽宽	林敦仪
金慧根	金德琨	国 岩	赵仲英	胡四新
胡建国	姜淑芳	姚永义	姚克佩	郝命麒
顾元杰	郭景山	晏海瑞	唐荣锡	唐瑞润
徐秉铨	徐培麟	常荣福	戚道纬	崔连信
屠德彰	程宝渠	熊敦礼	戴 鼎	

总编委会常委(按姓氏笔划排列)

马业广	王云机	何恽晋	李成功	李哲浩
吴复兴	郑作棣	周家骐	戚道纬	崔连信
屠德彰	戴 鼎			

总编委会办公室主任

戚道纬

总编委会办公室副主任(按姓氏笔划排列)

刘树桓 姜淑芳 崔连信

总编委会办公室成员(按姓氏笔划排列)

丁立铭	王偲鹏	刘树桓	刘瑞麟	邵 箭
陈 刚	陈振荣	宋占意	张士霖	林 森
段文斌	贺开运	姜淑芳	莫龙生	徐晓风
戚道纬	崔正山	崔连信		

《光学元件工艺》分编委会组成名单

主编 李秋娥

副主编 (按姓氏笔划排列)

张国范 张明贤 赵同森

委员 (按姓氏笔划排列)

李秋娥 李乐云 许运堂 刘风玉 汪国驹 何家元
张国范 张明贤 张晓芳 陈刚 赵同森 徐岩
魏志儒

《光学元件工艺》其他编写和统稿人员名单

编写人员

王建基

统稿人员 (按姓氏笔划排列)

李秋娥 何家元 张国范 张明贤 赵同森
魏志儒

《光学元件工艺》提供资料人员名单

苏大图 韩允 潘乐学 寿祖生 周敏芳

目 录

概论	(1)	2.7.1 定义	(27)
第1章 光学制图		2.7.2 标注方法	(27)
1.1 光学制图	(2)	2.7.3 检验方法	(28)
1.1.1 一般规定	(2)	2.8 表面粗糙度	(29)
1.1.2 光学零件和光学胶合件图	(4)	2.9 光学零件表面疵病	(30)
1.1.3 光学零部件图样	(6)	2.9.1 术语、代号	(30)
1.2 光学图样和技术文件中常用术语和符号	(8)	2.9.2 换算	(30)
1.2.1 几何光学	(8)	2.9.3 标注	(31)
1.2.2 光学零件的技术要求常用术语	(10)	2.9.4 麻点和擦痕的转换	(32)
1.2.3 像质评定常用术语	(10)	2.9.5 密集	(33)
第2章 光学零件的技术要求		2.9.6 试验方法	(33)
2.1 光学零件球面半径数值系列 ..	(11)	第3章 光学材料	
2.1.1 构成	(11)	3.1 无色光学玻璃	(34)
2.1.2 半径数值	(11)	3.1.1 无色光学玻璃的物理、化学和机械性能	(34)
2.2 光学零件的外径及透镜有关公差	(20)	3.1.2 国产无色光学玻璃与国外牌号对照	(40)
2.2.1 光学零件的外径余量	(20)	3.2 有色光学玻璃	(41)
2.2.2 圆形光学零件与镜框配合公差	(21)	3.2.1 有色光学玻璃技术要求和可能达到的最高类别	(41)
2.3 光学零件的中心厚度及边缘最小厚度和厚度公差	(21)	3.2.2 有色光学玻璃的折射率、密度、反射修正值、化学稳定性	(43)
2.3.1 透镜中心及边缘最小厚度	(21)	3.2.3 国产有色光学玻璃与国外牌号对照	(46)
2.3.2 厚度公差	(22)	3.3 非硅酸盐红外光学玻璃	(47)
2.4 光学零件的倒角	(23)	3.3.1 用 GeO_2 、 TeO_2 、 TeO_3 、 Sb_2O_3 、 Al_2O_3 、 Ga_2O_3 、 Bi_2O_3 、 La_2O_3 及 TiO_2 等代替 SiO_2 而制得的玻璃	(47)
2.4.1 圆形光学零件的倒角	(23)	3.3.2 硫、硒、碲等非氧化物玻璃	(48)
2.4.2 非圆形光学零件的倒角	(23)	3.4 光学石英玻璃	(50)
2.5 透镜中心误差	(24)	3.4.1 光学石英玻璃的牌号与名称	(50)
2.5.1 术语及定义	(24)	3.4.2 光学石英玻璃的质量指标	(50)
2.5.2 基准轴的选定及其标注示例	(24)	3.4.3 常用光学石英玻璃应达到的技术指标	(52)
2.5.3 中心误差的标注	(25)	3.4.4 石英玻璃的物理化学性能	(52)
2.5.4 检验	(26)	3.5 普通平板玻璃	(52)
2.5.5 透镜中心误差允许值的给定	(26)	3.5.1 分类	(53)
2.6 角度公差	(27)		
2.6.1 玻璃平板	(27)		
2.6.2 光楔	(27)		
2.7 光学零件气泡度	(27)		

3.5.2 质量指标	(53)	6.1.8 散粒磨料粗磨平面和球面的 磨模	(107)
3.5.3 普通平板玻璃尺寸系列	(54)	6.1.9 粗磨平面和球面常见的问题	(109)
3.5.4 标注示例	(54)	6.2 用金刚石磨轮加工	(109)
3.6 光学塑料	(54)	6.2.1 影响铣磨加工的因素	(109)
3.7 晶体	(58)	6.2.2 金刚石磨轮磨外圆	(111)
3.7.1 光学晶体质量指标分级分类	(58)	6.2.3 磨轮加工平面	(112)
3.7.2 常用离子晶体的主要物理、化学 性能	(59)	6.2.4 铣磨球面	(112)
3.7.3 常用半导体晶体的物理、化学 性能	(63)	6.2.5 铣磨时常见的问题	(114)
3.8 热压多晶红外光学材料	(64)	6.3 钻孔、铣槽、磨圆弧	(115)
3.9 红外透明陶瓷	(65)	6.3.1 钻孔	(115)
3.10 微晶玻璃	(66)	6.3.2 铣槽与磨圆弧	(117)
第4章 常用辅助材料		6.3.3 磨圆弧	(119)
4.1 光学加工常用辅助材料	(67)	6.4 粗磨加工检验	(119)
4.1.1 磨料	(67)	6.4.1 表面粗糙度检验	(119)
4.1.2 抛光粉	(76)	6.4.2 面形误差检验	(120)
4.1.3 抛光模层材料	(77)	6.4.3 角度检验和线值(尺寸)检验	(120)
4.1.4 冷却液	(79)	第7章 精磨	
4.1.5 粘结材料	(79)	7.1 散粒磨料精磨法	(121)
4.2 其他辅助材料	(80)	7.1.1 精磨模的修整	(121)
4.2.1 清洗材料	(80)	7.1.2 精磨工艺	(121)
4.2.2 擦拭材料	(82)	7.1.3 准球心精磨	(125)
4.2.3 保护材料	(83)	7.2 金刚石磨具精磨	(125)
4.2.4 包装材料	(85)	7.2.1 金刚石磨具	(126)
第5章 毛坯制造		7.2.2 冷却液	(128)
5.1 型料毛坯	(92)	7.3 金刚石精磨工艺因素的选择	(128)
5.1.1 热压成形	(92)	7.3.1 平面和球面金刚石磨具精磨工艺 参数的选择	(128)
5.1.2 浇注、槽沉、压延和浮流法 成形	(96)	7.3.2 精磨工艺因素的选择举例	(129)
5.2 块料毛坯	(98)	第8章 抛光	
5.2.1 切料前的注意事项	(98)	8.1 古典法抛光	(130)
5.2.2 切料尺寸与形状	(98)	8.1.1 古典法抛光原理及其特点	(130)
5.2.3 切料方法	(98)	8.1.2 古典法抛光前的准备工作	(131)
第6章 粗磨及铣削加工		8.1.3 抛光工艺	(134)
6.1 用散粒磨料加工	(100)	8.1.4 面形偏差的修改	(136)
6.1.1 影响散粒磨料研磨加工的因素	(100)	8.1.5 表面疵病的产生原因	(139)
6.1.2 划切	(100)	8.1.6 抛光工艺要求及注意事项	(141)
6.1.3 散粒磨料磨外圆	(101)	8.2 高速抛光	(141)
6.1.4 散粒磨料粗磨平面	(102)	8.2.1 准球心法抛光	(141)
6.1.5 散粒磨料粗磨球面	(104)	8.2.2 范成法抛光	(149)
6.1.6 散粒磨料倒角	(106)	8.3 离子抛光	(153)
6.1.7 散粒磨料粗磨平面和球面的余量 及公差	(106)	8.3.1 离子抛光原理	(153)
		8.3.2 离子抛光的工艺因素	(153)

8.3.3 离子抛光的工艺过程	(154)	球面	(197)
8.3.4 离子抛光的优缺点	(154)	11.2.2 凸轮仿形法	(202)
8.4 抛光检验	(154)	11.2.3 非球面的其它加工方法	(205)
8.4.1 线性尺寸检验	(154)	11.3 轴对称非球面透镜检测	(207)
8.4.2 表面疵病检验	(155)	11.3.1 轴对称非球面粗磨检验	(208)
8.4.3 平行差和角度误差检验	(157)	11.3.2 轴对称非球面透镜的精磨 检验	(208)
第9章 透镜定心磨边		11.3.3 轴对称非球面透镜的抛光 检测	(211)
9.1 透镜定心原理及定心方法	(161)	第12章 特殊材料光学零件加工	
9.1.1 表面反射像定中心	(161)	12.1 典型晶体材料光学零件 加工	(217)
9.1.2 自准像定中心	(162)	12.1.1 晶体的基本属性	(217)
9.1.3 光学—电视定心法	(165)	12.1.2 晶体的质量指标	(218)
9.1.4 透射像定中心	(165)	12.1.3 晶体光学零件的制造特点	(218)
9.1.5 机械法定中心	(166)	12.1.4 晶体光学零件的加工方法	(226)
9.1.6 透镜偏心差面倾角“ χ ”与其它表示 方法的换算	(167)	12.1.5 几种典型晶体零件加工举例	(233)
9.2 透镜定心磨边工艺及定心 精度	(169)	12.2 金属材料光学零件加工	(244)
9.2.1 定心磨边工艺	(169)	12.2.1 轴承钢反光镜的精磨与抛光	(244)
9.2.2 定心精度	(171)	12.2.2 铁镍合金反光镜的精磨和抛 光	(245)
9.3 定心磨边中容易产生的缺陷及 克服办法	(174)	第13章 塑料光学零件的加工	
9.4 检验	(175)	13.1 塑料光学零件的注射成形 ...	(247)
第10章 典型光学零件加工		13.1.1 注射机类型	(247)
10.1 透镜类型的零件加工	(176)	13.1.2 喷嘴	(247)
10.1.1 透镜加工一般工艺过程	(176)	13.1.3 注射周期	(248)
10.1.2 各种类型透镜的加工	(179)	13.1.4 注塑模浇注系统	(248)
10.2 楔形镜和平面镜类型的零件 加工	(183)	13.1.5 残余应力与分子取向	(249)
10.2.1 小角度楔形镜加工	(183)	13.1.6 注塑工艺	(249)
10.2.2 薄形平面镜加工	(185)	13.1.7 注射成形光学塑料零件的 精度	(250)
10.2.3 45°尖角玻璃平板的加工	(186)	13.1.8 光学塑料制品常见缺陷及其造成 原因	(250)
10.2.4 高精度平面的加工	(188)	13.2 塑料光学零件的压制成 形	(251)
10.3 棱镜类型的零件加工	(188)	13.2.1 压制成形工艺过程	(251)
10.3.1 直角棱镜的加工	(189)	13.2.2 压制成形模具的加工	(252)
10.3.2 高精度五角棱镜加工	(190)	13.2.3 模具设计应注意的问题	(252)
10.3.3 直角屋脊棱镜加工	(192)	13.3 塑料光学零件的铸造成形 ...	(253)
10.3.4 锥体棱镜加工	(193)	13.3.1 铸造成形工艺过程及注意 事项	(253)
第11章 非球面光学零件加工		13.3.2 铸造成形塑料光学零件举例	(253)
11.1 非球面加工方法	(194)	13.4 其他成形方法	(253)
11.1.1 表面去除法	(196)	13.4.1 流延成形	(253)
11.1.2 表面变形加工法	(197)		
11.1.3 表面镀膜加工法	(197)		
11.2 轴对称非球面加工	(197)		
11.2.1 手工研磨修带法磨制轴对称非			

13.4.2 车削成形	(254)	17.1 光学薄膜的种类及符号标 注	(315)
第14章 光学零件的辅助加工		17.1.1 光学薄膜的种类	(315)
14.1 光学零件的上盘	(255)	17.1.2 光学薄膜在图上的填写	(315)
14.1.1 平面零件的上盘	(255)	17.1.3 光学薄膜在图纸上的标注	(316)
14.1.2 透镜上盘	(257)	17.2 选择光学薄膜的一般原则 ...	(317)
14.1.3 棱镜上盘	(260)	17.3 光学薄膜的基本特性及其质量 保证和应用	(317)
14.1.4 上盘中常见问题及克服 办法	(263)	17.3.1 航空产品中减反射膜的基本特性 及其质量保证和应用	(317)
14.2 光学零件的下盘与清洗	(264)	17.3.2 航空产品中反射膜的基本特性及 其质量保证和应用	(321)
14.2.1 下盘	(264)	17.3.3 航空产品中分光膜的基本特性及其 质量保证和应用	(324)
14.2.2 清洗	(264)	17.3.4 航空产品中截止滤光膜的基本特性 及其质量保证和应用	(327)
第15章 光学零件的胶合		17.3.5 航空产品中带通滤光片的基本特性 及其质量保证和应用	(328)
15.1 概述	(266)	17.3.6 航空产品中中性滤光片的基本特性 及其质量保证和应用	(330)
15.1.1 胶合用胶	(266)	17.3.7 航空产品中常用的几种滤光膜及其 应用特点	(331)
15.1.2 胶合用胶的种类	(266)	17.3.8 航空产品中保护膜和电热膜的基本 特性及其应用	(332)
15.2 胶合工艺及拆胶	(269)	第18章 光学薄膜的设计	
15.2.1 胶合	(269)	18.1 光学薄膜特性的计算	(334)
15.2.2 光胶	(271)	18.1.1 单层介质薄膜反射率的计算	(334)
15.2.3 定中心	(272)	18.1.2 多层介质薄膜系统的计算	(335)
15.2.4 拆胶	(273)	18.1.3 矢量法	(337)
15.3 疵病及克服方法	(274)	18.1.4 周期性对称膜系的计算	(339)
15.4 胶合检测	(275)	18.1.5 光学薄膜设计中的计算机辅助 技术	(339)
第16章 工装和工具		18.2 不同类型光学薄膜的设计 ...	(340)
16.1 通用工装和工具	(277)	18.2.1 减反射膜	(340)
16.1.1 刀具	(277)	18.2.2 反射膜	(351)
16.1.2 夹具与模具	(285)	18.2.3 分光膜	(360)
16.2 专用工装	(296)	18.2.4 截止滤光片	(365)
16.2.1 平模设计	(296)	18.2.5 带通滤光片	(376)
16.2.2 平模结构设计	(298)	第19章 镀膜技术	
16.2.3 球模设计	(298)	19.1 光学镀膜设备	(386)
16.2.4 球模结构设计	(303)	19.1.1 真空的基本知识	(386)
16.2.5 球模设计举例	(306)	19.1.2 真空的获得	(387)
16.3 量具	(308)	19.1.3 真空的测量	(391)
16.3.1 圆弧样板	(308)	19.1.4 真空镀膜设备	(393)
16.3.2 玻璃直尺	(310)		
16.3.3 活动角尺	(310)		
16.3.4 角度样板	(311)		
16.3.5 光学刻尺	(311)		
16.3.6 90°光胶角度样板	(312)		
16.3.7 卡规	(312)		
16.4 辅助工具	(313)		
16.4.1 火漆团座	(313)		
16.4.2 90°金刚石铣刀	(314)		
第17章 光学薄膜的分类和基本特性			

19.2 真空镀膜材料	(394)	$\left(\frac{\lambda}{4}-\frac{\lambda}{4}\right)$	(431)
19.2.1 金属薄膜材料	(394)	20.3.5 $\text{MgF}_2\text{-Ta}_2\text{O}_5\text{-Al}_2\text{O}_3$ 三层减反射膜	
19.2.2 介质和半导体薄膜材料	(396)	$\left(\frac{\lambda}{4}-\frac{\lambda}{2}-\frac{\lambda}{4}\right)$	(433)
19.2.3 几种常用介质薄膜材料的性质	(397)	20.4 反射膜镀制工艺	(433)
19.2.4 红外薄膜材料	(398)	20.4.1 镀铝反射膜	(433)
19.2.5 紫外薄膜材料	(399)	20.4.2 镀银反射膜	(434)
19.3 影响薄膜质量和特性的因素	(405)	20.4.3 镀金反射膜	(435)
19.3.1 工艺因素的影响	(405)	20.4.4 镀多层介质高反射膜	(435)
19.3.2 膜层厚度均匀性的影响	(408)	20.4.5 激光对多层介质薄膜的损伤	(436)
19.3.3 蒸发源的影响	(411)	20.5 分光膜镀制工艺	(438)
19.4 薄膜的厚度监控	(417)	20.5.1 控制波长的计算公式	(438)
19.4.1 目视法	(417)	20.5.2 控制厚度的计算公式	(438)
19.4.2 极值法	(418)	20.5.3 中性分光膜	(439)
19.4.3 任意厚度的监控方法和装置	(422)	20.6 滤光膜镀制工艺	(439)
19.5 镀膜前的准备	(424)	20.6.1 干涉截止滤光片	(439)
19.5.1 真空室的清洁	(424)	20.6.2 带通滤光片	(441)
19.5.2 基底清洗	(424)	第21章 薄膜的质量保证	
第20章 光学薄膜镀制工艺		21.1 目视检验	(444)
20.1 光学镀膜对工艺设施的要求	(428)	21.2 光谱特性检验	(444)
20.1.1 光学镀膜厂房的要求	(428)	21.2.1 透射率测量	(444)
20.1.2 技术走廊——水、电、气的供给	(428)	21.2.2 反射率测量	(445)
20.1.3 排风设施	(428)	21.2.3 薄膜的光学损耗	(447)
20.1.4 吹砂及化学清洗间	(429)	21.3 用光度法测量薄膜折射率	(447)
20.2 真空镀膜基本工艺	(429)	21.4 薄膜的牢固度试验	(448)
20.2.1 准备工序	(429)	21.4.1 剥落试验	(448)
20.2.2 基底清洗	(429)	21.4.2 摩擦试验	(448)
20.2.3 装件	(429)	21.4.3 湿度试验	(449)
20.2.4 烘烤	(429)	21.4.4 盐雾试验	(449)
20.2.5 预熔	(430)	21.4.5 温度冲击试验	(449)
20.2.6 离子轰击	(430)	第22章 光学零件的刻划	
20.2.7 蒸发	(430)	22.1 概述	(450)
20.2.8 验证片及其在镀膜工艺中的作用	(430)	22.2 机械化学法	(451)
20.3 减反射膜镀制工艺	(431)	22.2.1 零件的清洗	(452)
20.3.1 氟化镁单层减反射膜	(431)	22.2.2 涂刻度腊	(452)
20.3.2 一氧化硅(红外)单层减反射膜	(431)	22.2.3 在蜡层上浮刻	(455)
20.3.3 硫化锌(红外)单层减反射膜	(431)	22.2.4 腐蚀刻线	(458)
20.3.4 $\text{MgF}_2\text{-SiO}_2$ 双层减反射膜		22.2.5 除蜡清洗	(460)
		22.2.6 填充着色	(460)
		22.2.7 修正抛光	(461)
		22.2.8 机械化学法中常产生的疵病	(461)
		22.3 机械物理法(真空着色法)	(462)
		22.3.1 零件的清洗	(463)
		22.3.2 涂甲基紫底层	(463)

22.3.3 浮刻甲基紫底层	(463)	23.7.8 化学清洗	(504)
22.3.4 去除保护油和切屑	(464)	23.7.9 等离子去胶	(504)
22.3.5 真空镀膜着色	(464)	23.7.10 镀减反射保护膜	(505)
22.3.6 去除甲基紫底层	(464)	23.7.11 检验	(505)
22.3.7 机械物理法中常产生的疵病	(464)	第24章 光学分划零件的质量检验	
22.4 物理化学法(光刻刻划法)	(465)	24.1 常用的检测设备	(507)
22.4.1 底版的制作	(465)	24.2 检测环境	(507)
22.4.2 零件的清洗	(466)	24.2.1 温度的影响	(507)
22.4.3 真空镀膜层	(466)	24.2.2 湿度的影响	(508)
22.4.4 光刻胶的选择与涂布	(466)	24.2.3 振动的影响	(508)
22.4.5 前烘	(472)	24.2.4 其它因素的影响	(508)
22.4.6 曝光	(473)	24.3 光学分划零件技术条件的检 验	(508)
22.4.7 显影	(475)	24.3.1 光学分划零件通用技术条件及检 验	(508)
22.4.8 后烘	(476)	24.3.2 光学分划零件的检测	(513)
22.4.9 腐蚀	(476)	第25章 光学零件的三防	
22.4.10 除膜	(478)	25.1 光学零件生霉结雾的原因及其 防护	(531)
22.4.11 光刻刻划线条常见的疵病	(478)	25.1.1 环境湿热对光学零件性能的影 响	(531)
第23章 干法刻蚀的应用		25.1.2 光学零件的生霉及其防护	(531)
23.1 干法刻蚀	(480)	25.1.3 光学零件的结雾及其防护	(532)
23.1.1 干法刻蚀技术的优点	(480)	25.2 光学零件防霉防雾材料	(533)
23.1.2 干法刻蚀与湿法刻蚀	(481)	25.2.1 光学零件防霉材料	(533)
23.2 干法刻蚀的分类	(482)	25.2.2 光学零件防雾材料	(534)
23.3 干法刻蚀的一般工艺技术条 件	(483)	25.3 光学零件防霉防雾工艺	(536)
23.3.1 厂房的要求	(483)	25.3.1 气相防霉剂的应用	(536)
23.3.2 技术走廊一水、电、气的供给	(483)	25.3.2 接触防霉剂和防雾剂的应用	(537)
23.3.3 安全要求	(483)	25.3.3 光学零件镀 SF102 防雾膜工 艺	(539)
23.4 干法刻蚀工艺	(484)	25.3.4 光学零件镀 49° 防雾膜工艺	(540)
23.5 等离子刻蚀	(486)	25.3.5 光学零件镀 SF209 防霉防雾膜工 艺	(541)
23.5.1 等离子刻蚀的各种特性	(486)	25.3.6 光学零件镀 SF106-4 防雾膜工 艺	(542)
23.5.2 等离子刻蚀原理	(486)	25.3.7 光学零件除霉雾方法	(542)
23.5.3 等离子刻蚀系统	(487)	25.4 评价防霉、防雾膜层的检验 方法	(543)
23.6 离子束刻蚀和反应离子束刻 蚀	(491)	25.4.1 低温、高温和湿热的环境试验 方法	(544)
23.6.1 离子束刻蚀 (IBE)	(491)	25.4.2 盐雾的环境试验方法	(545)
23.6.2 反应离子束刻蚀 (RIBE)	(496)	25.4.3 霉菌的环境试验方法	(547)
23.7 调制盘的干刻法复制工艺	(498)	25.4.4 憎水角的测量	(551)
23.7.1 零件的清洗	(498)		
23.7.2 在基片上镀膜	(499)		
23.7.3 涂助粘剂、光刻胶与烘干	(499)		
23.7.4 零件曝光	(501)		
23.7.5 显影、水洗及吹干	(502)		
23.7.6 坚膜(后烘)	(502)		
23.7.7 离子束刻蚀	(503)		

附录 常用光学零件冷加工设备及参数

表 1 常用铣磨机型号及参数 (552)

表 2 常用研磨抛光机型号及
参数 (554)表 3 前联邦德国 LOH 公司生产的
光学零件冷加工设备型号及参
数 (556)**参考文献** (558)

概 论

光学元件工艺是航空制造工程的重要组成部分,是使飞行器获得优良性能的关键制造技术之一。

当代飞机机载设备已发展到高精度、高集成度、高可靠性、小型化、微细化阶段,高技术武器已发展到全方位攻击、超视距攻击、发射后不管等战术性能。在美国 90 年代关键技术计划中,以光电和光学技术为支撑技术的高技术武器系统的比例占 91%,在常规武器中占 50% 以上。上述数字表明,用光电和光学实现制导和探测功能的高技术武器系统中,光学系统正起着不可替代的作用,而光学加工工艺是实现这种作用的唯一手段。如在现代飞机上装备的激光制导及测距系统中使用的薄型平面镜和特殊组合棱镜;导弹制导系统中的调制盘和红外光波的接收头罩;航测系统中的各类摄影镜头;激光陀螺的石英玻璃腔体及反射镜;火控系统中的平视显示仪;高精度惯导测试设备中的光栅测角元件以及高精度、大型飞机装配型架、精密测试和校正系统中所用的光学元件等,均是采用光学工艺的方法加工的。

随着现代高科技的发展,特别是离子加工、激光加工以及新型材料如光学晶体材料、激光晶体材料的应用,光学工艺加工技术已从一门古老的工艺方法发展成为包括光学、精密机械、电子技术、计算机技术等互相渗透的综合技术。

光学元件的工艺之所以有别于其它的工艺,是由它具有的工艺特点决定的。

光学元件的加工过程是建立在物理学、化学、电子学、光学机理上的含有多门类科学的精细工艺。如为获得光学镜面,抛光时的去除量一般为 $0.001 \sim 0.002 \text{ mm/h}$;通过光刻可获得 $0.5 \mu\text{m}$ 线宽的超大规模集成电路芯片。

光学工艺的加工精度高是其它工艺无法比拟的,如光学平面的平行性误差、局部平面误差均可很小。火控系统内的五角棱镜角度误差可小于 $1''$,角度分度误差可小于 $1''$ 的圆分度光栅等,均是采用光学工艺制造的。

光学工艺是满足航空产品中对元件重量和空间限制要求的有利手段,具有加工零件尺寸小、精度高、形状及图案复杂、制造难度大等特点。如某型号导弹的零件需要在 $\phi 3.6$ 超半球平凸透镜的平面上,加工出二进制调制盘,即是采用光学工艺制造的。

光学工艺可以实现对金属、非金属(如光学玻璃、半导体材料、塑料等)和晶体材料(如红外晶体、紫外晶体、激光晶体等)的超精密加工。如现代航空机载设备中,为实现红外跟踪及夜视,需在红外光波段工作,利用了不同材料的透红外晶体材料,如锗、氟化镁、氟化钙等,其零件形状复杂、表面光洁度高、尺寸精确,采用其它工艺无法满足上述要求。

光学加工的特点决定了其加工过程均是在专用机床上(如光学镜面抛光机、光学刻划机、真空镀膜机、离子刻蚀机)进行的。这些设备一般研制周期长、投资大、技术含量也大。

40 年来,随着我国航空工业的发展,光学元件工艺技术已发展成为具有独立特色的工艺技术,我们相信,在现代航空技术飞速发展的形势下,光学工艺技术必将起着越来越重要的作用。

第1章 光学制图

任何光学系统在完成像差设计之后,为满足一定条件下使用的要求,并使加工、装配者能按设计意图付诸实施,必须根据《光学制图》(GB1331—77)和某些统一的规定绘制光学系统图、光学胶合部件图及零件图。在图样上根据使用、加工、装配工艺的要求,标注光学零件、部件及光学系统的几何和物理参数,以保证加工和装配出结构合理、工艺性好和经济实用的光学产品。

1.1 光学制图

根据航空产品对光学图纸提出的技术要求和有关的国标中对光学和机械制图的规定,在此整理与摘要如下。

1.1.1 一般规定

1 光学制图是在机械制图的基础上发展起来的,因此凡两种制图都涉及到的标准是通用的。

光学图样的图幅、比例、字体、字母、图线、剖面符号、图样画法、尺寸及尺寸公差의注法、表面粗糙度状况等,除光学制图(GB1331—77)规定外,均按机械制图(GB4457~4460—84)规定执行。

2 光学零件的光轴用点划线表示,见图1.4。

3 在光学图样上,零件的有效孔径若对称于表面形状分布,则应在所列表格的“D₀”栏标明,圆形注“ ϕ 直径”,例如“ $\phi 30$ ”;矩形注“□长×宽”,例如“□30×20”;椭圆注“~长轴×短轴”,例如“~30×20”等字样。

4 需镀涂的光学零件、光学胶合件应在镀涂表面注以标记或字母,并加说明。局部镀涂时,尚需用细实线或涂色画出镀涂范围(图1.1)。

5 光学纤维件的剖面画法见图1.2。

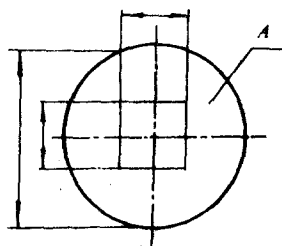


图1.1 光学零件镀涂表示方法
A—范围涂覆

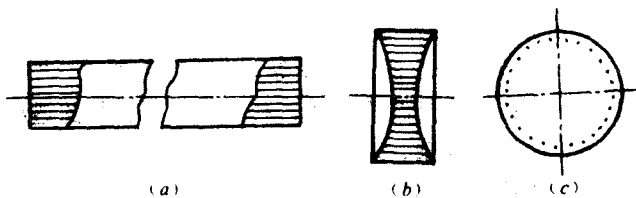


图1.2 光学纤维件的剖面画法

(a)、(b)为沿光学纤维方向 (c)为垂直光学纤维方向

6 晶体的剖面符号与玻璃的相同,见图1.3(a);晶轴方向用箭头表示,见图1.3(b);