

普通高等教育
兵工类规划教材

精密刻划工艺

马宏编

兵器工业出版社

精密刻划工艺

马宏编

兵器工业出版社

(京)新登字 049 号

内容简介

本书共分八章,其主要内容有光学精密分划元件的设计方法;刻划设备与工装;刻划刀具;加工分划元件的机械工艺、照相工艺和光刻工艺,金属分划元件的加工工艺;精密分划元件的质量和精度检验。书中着重介绍了国内外70年代以来在精密刻划领域出现的新工艺、新技术。

本书是高校光学工艺与测试专业本科生的必修教材;同时也是光学仪器和检测技术专业师生的教学参考书。此外对于从事精密仪器和微细加工技术方面的科研与生产人员也有重要的参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

精密刻划工艺/马宏编.-北京:兵器工业出版社,1994.8

ISBN 7-80038-795-X

I. 精… II. 马… III. 光栅刻划-工艺 IV. TG665

中国版本图书馆 CIP 数据核字(94)第 06691 号

兵器工业出版社出版

(北京市海淀区车道沟10号)

新华书店总店科技发行所发行 各地新华书店经销

北京理工大学出版社轻印刷厂印装

※

787×1092毫米 1/16 印张:16 字数401.8千字

1994年8月第1版 1994年8月第1次印刷

印数:750册 定价:9.50元

出版说明

遵照国务院国发[1978]23号文件精神,中国兵器工业总公司承担全国高等学校兵工类专业教材的规划、编审、出版的组织工作。自1983年兵总教材编审室成立以来,在广大教师的积极支持和努力下,在国防工业出版社、兵器工业出版社和北京理工大学出版社的积极配合下,已完成两轮兵工类专业教材的规划、编审、出版任务,共出版教材211种。这批教材出版对解决兵工专业教材有无问题、稳定教学秩序、促进教学改革及提高教学质量都起到了积极作用。

为了使兵工类专业教材更好地适应社会主义现代化建设需要,特别是国防现代化培养人才的需要,反映国防科技的先进水平,达到打好基础、精选内容、逐步更新及利于提高教学质量的要求,我们以提高教材质量为主线,完善编审制度、建立质量标准及明确岗位职责,建立了由主审人审查、责任编委复审和教编室审定等5个文件。并根据兵工类专业的特点,成立了10个专业教学指导委员会,以更好地编制兵工类专业教材建设规划,加强对教材的评审和研究工作。

为贯彻国家教委提出的“抓好重点教材,全面提高质量,适当发展品种,力争系统配套,完善管理制度,加强组织领导”的“八五”教材建设方针,兵总教材编审室在总结前两轮教材编审出版工作的基础上,于1991年制订了1991~1995年兵工类专业教材编写出版规划,共列入教材220种。这些教材都是从学校使用两遍以上、实践证明是比较好的讲义中遴选的,专业教学指导委员会从兵工专业教材建设的整体考虑对编写大纲进行了审查,认为符合兵工专业培养人才要求,符合国家出版方针。这批教材的出版必将为兵工专业教材的系列配套,为教学质量的提高和培养国防现代化人才,为促进兵工类专业科学技术的发展,都将起到积极的作用。

本教材由朱应时研究员主审,经中国兵器工业总公司光学技术专业教学指导委员会复查,兵总教材编审室审定。

限于水平和经验,这批教材的编审出版难免有缺点和不足之处,希望使用本教材的单位和广大读者批评指正。

中国兵器工业总公司教材编审室

1993年8月

前 言

本教材是根据1990年高等工业学校光学技术专业指导委员会审查通过的《精密刻划工艺》编写大纲,以长春光机学院宋希明同志编写的《精密刻划工艺》内部讲义为基础,重新编写而成的。

在编写过程中,作者根据教学大纲的要求,本着教育要面向现代化、面向世界、面向未来的指导方针,对原讲义的内容作了较大的修改和删补。本教材广泛地收集了国内外70年代以来在精密刻划工艺方面的新技术、新工艺以及有关的理论研究文献,同时也编入一些国内外最新的科研成果。

本教材作为“光学工艺与测试”专业的专业课教材,要求学生通过本课程的学习,获得精密分划元件制作工艺和检测方法的基本知识,了解国内外刻划工艺的发展状况。

本教材内容涉及知识面较广,除光学与精密机械的有关专业知识外,还用到照相化学和电子计算机方面的有关知识,故应先修机械制造基础、互换性与技术测量、应用光学、物理光学、微机原理及应用等技术基础课和光学零件加工技术、光学测量、干涉测试技术等专业课,然后再讲授此教材。

本教材讲授51学时,共八章,由长春光机学院马宏同志主编,顾秀明同志参加编写了第五章;宋希明同志和马宏同志编绘了教材图稿。

本教材敬请中国科学院长春光机所诛应时研究员主审。高等工业学校光学技术专业教学指导委员会蔡立同志和兵器工业部教材编审室宋筱平同志对全书进行了复审和编辑。三位同志在百忙中为本教材提出不少宝贵的意见和建议,作者在此表示衷心的感谢。

由于编写时间短,编者水平有限,教材中错误或不当之处在所难免,敬请读者批评指正。

编者

1993年2月

目 录

第一章 概述	1
§ 1.1 分划零件的类型与用途	1
1.1.1 分划元件	1
1.1.2 分划元件的类型	2
§ 1.2 分划元件的设计	3
1.2.1 分划设计中的长度单位和角度单位	3
1.2.2 分划板的设计	4
1.2.3 分划元件毛坯材料的选择与加工分划技术条件的确定	6
§ 1.3 分划的制作方法	8
1.3.1 以机械法为主结合化学或物理的方法制取分划	9
1.3.2 以照相法为主结合化学或物理的方法制取分划	9
1.3.3 机械照相法(光刻法)制取分划.....	10
§ 1.4 刻度环境.....	12
1.4.1 刻划工作室的清洁条件.....	12
1.4.2 温度的影响及恒温措施.....	12
1.4.3 湿度的影响及恒湿措施.....	15
1.4.4 振动的影响及防振措施.....	16
第二章 刻度工装	18
§ 2.1 刻划刀具.....	18
2.1.1 刻刀的种类与用途.....	18
2.1.2 刻刀材料的选择.....	20
§ 2.2 刻刀靠模.....	24
2.2.1 可调靠模及其应用.....	25
2.2.2 常用的几种刻刀靠模.....	25
§ 2.3 刻度夹具.....	27
2.3.1 仿型铣床上用的刻度夹具.....	27
2.3.2 度盘刻度夹具.....	27
2.3.3 度盘刻度辅助夹具.....	28
§ 2.4 刻度模板.....	29
2.4.1 对刻度模板的要求.....	29
2.4.2 刻度模板设计.....	29
§ 2.5 字模.....	36
2.5.1 字模的类型.....	36

2.5.2	字模的制作方法	36
第三章	刻划设备	38
§ 3.1	缩仿刻划机	38
3.1.1	缩仿刻划机的工作原理	38
3.1.2	缩仿刻线机	39
3.1.3	Q4901 型缩仿机	40
§ 3.2	长刻机	42
3.2.1	长刻机的性能与规格	42
3.2.2	QG4110 型长刻机	43
§ 3.3	圆刻机	50
3.3.1	圆刻机的性能与规格	50
3.3.2	高精度圆刻机	50
§ 3.4	光电圆刻机	58
3.4.1	光电圆刻机的原理与结构	58
3.4.2	细分刻划原理	60
3.4.3	光电圆刻机具有高精度的原因	62
3.4.4	光电圆刻机的应用	62
§ 3.5	激光定位栅刻划机	62
3.5.1	激光定位栅刻划机简介	62
3.5.2	光栅刻划机的特点及其工作原理	63
第四章	机械刻划工艺	68
§ 4.1	机械化学法	68
4.1.1	清洗毛坯	68
4.1.2	涂刻度蜡	68
4.1.3	在蜡层上浮刻线条	76
4.1.4	涂保护蜡	77
4.1.5	腐蚀刻线	77
4.1.6	除蜡清洗	82
4.1.7	填充着色	82
4.1.8	分划零件的修整抛光	84
4.1.9	机械化学法常见的疵病	84
§ 4.2	机械物理法	85
4.2.1	清洗零件毛坯	86
4.2.2	涂刻划底层	86
4.2.3	在底层上净刻线条	86
4.2.4	真空着色(镀铬)	87
§ 4.3	镀金属层刻划	88
4.3.1	对金属层的要求	89
4.3.2	常用的金属膜	89

4.3.3	用刻划腐蚀法制造透明分划	89
4.3.4	镀金属层刻划常见的疵病	90
§ 4.4	光学零件刻划操作守则举例	90
4.4.1	用机械化学法制造光学零件分划板操作守则	90
4.4.2	用机械物理法制造光学度盘的操作守则	92
4.4.3	刻制镀金属层零件操作守则	94
§ 4.5	各类分划零件的机械刻划	96
4.5.1	各种类型分划板的刻划	96
4.5.2	光学度盘的刻划	105
4.5.3	光学刻尺的刻划	110
4.5.4	螺旋线分划板的刻划	111
4.5.5	球面分划板的刻制	115
4.5.6	刻制圆光栅	118
第五章	照相工艺	121
§ 5.1	照相法制取分划的基本知识	121
5.1.1	照相法制取分划的原理	121
5.1.2	制作分划常用的照相法	122
5.1.3	感光材料(感光膜)	124
5.1.4	显影液	126
5.1.5	定影液	129
5.1.6	物理显影和化学显影	129
§ 5.2	底版的制作	130
5.2.1	绘制放大底图	130
5.2.2	初缩	131
5.2.3	工作底版的尺寸	132
5.2.4	精缩	132
5.2.5	底版制作的其它方法	132
§ 5.3	火棉胶湿版的制作工艺	133
5.3.1	玻璃的选择与清洗	134
5.3.2	涂结合液(打底层)	134
5.3.3	涂红罗甸(碘化火棉胶)	134
5.3.4	浸银敏化	135
5.3.5	曝光与显影	136
5.3.6	定影	137
5.3.7	加厚	137
5.3.8	减薄	138
5.3.9	黑化	139
5.3.10	测量与修版	139
5.3.11	涂保护漆	139

§ 5.4	火棉胶干版的制作工艺	139
5.4.1	胶辅助玻璃	140
5.4.2	清洗零件	140
5.4.3	涂结合液	140
5.4.4	涂碘化火棉胶与浸硝酸银液	140
5.4.5	浸丹宁溶液及烘干	141
5.4.6	曝光	142
5.4.7	显影	142
5.4.8	定影	143
5.4.9	减薄	143
5.4.10	加厚	143
5.4.11	减薄	143
5.4.12	自检及修版	144
5.4.13	涂保护漆或送胶合工序	144
§ 5.5	火棉胶干版陶瓷照相工艺	144
5.5.1	胶辅助玻璃及清洗零件	144
5.5.2	涂结合液	144
5.5.3	各液配方	144
5.5.4	溶剂处理	146
5.5.5	修版及拆辅助玻璃	146
5.5.6	煅烧	146
5.5.7	自检与修光	146
§ 5.6	超微粒干版工艺	146
5.6.1	胶辅助玻璃及清洗零件	147
5.6.2	制备乳剂	147
5.6.3	涂布乳剂	148
5.6.4	曝光	148
5.6.5	显影	148
5.6.6	定影	148
5.6.7	加厚与减薄	149
5.6.8	修版与烘干	149
§ 5.7	虫胶镀铬工艺	149
5.7.1	清洗零件	149
5.7.2	涂布感光胶及烘干	149
5.7.3	曝光	150
5.7.4	显影及染色(或着色)	150
5.7.5	检查与修版	150
5.7.6	真空镀铬	150
5.7.7	除膜及修版	150

§ 5.8	聚乙烯醇镀铬工艺	150
5.8.1	聚乙烯醇溶液的制作	151
5.8.2	重铬酸盐的配制	151
5.8.3	聚乙烯醇感光胶的配制	151
§ 5.9	码盘和圆光栅复制镀铬工艺	151
5.9.1	码盘和圆光栅复制镀铬工艺基本原理	152
5.9.2	码盘和圆光栅虫胶复制镀铬工艺	152
第六章	光刻工艺	155
§ 6.1	概述	155
6.1.1	光刻工艺	157
6.1.2	光刻胶	162
6.1.3	光刻技术所用曝光光源及其存在的问题	168
§ 6.2	制作圆光栅的光刻工艺	168
6.2.1	静态接触复印光刻法制作圆光栅	171
6.2.2	动态小间距复印光刻法制作圆光栅	176
§ 6.3	制作码盘的光刻工艺	176
6.3.1	码盘简介	176
6.3.2	码盘的光刻工艺	183
§ 6.4	制作度盘的光刻工艺	189
6.4.1	甲基紫镀铬工艺制作扇形模板	189
6.4.2	接触复印光刻度盘的工艺流程	189
第七章	金属分划零件的制作工艺	191
§ 7.1	金属零件的一般刻划方法	191
7.1.1	直接刻划法	191
7.1.2	刻划腐蚀法	192
7.1.3	字模的刻制	193
7.1.4	金属零件刻划常用的材料和辅料	193
§ 7.2	精密金属刻划的电解加工工艺	194
7.2.1	电解加工原理	194
7.2.2	电解腐蚀参数的选择	195
7.2.3	电解腐蚀工艺	198
7.2.4	影响分划腐蚀质量的因素	198
§ 7.3	铜箔光栅的复制工艺	199
7.3.1	在玻璃上粘附铜箔	200
7.3.2	复制光栅线纹	200
7.3.3	剥离铜箔	201
§ 7.4	金属红外光栅的制作工艺	201
7.4.1	原理	201
7.4.2	制作工艺	202

第八章 分划零件的检验	204
§ 8.1 分划的技术要求	204
8.1.1 普通分划板的技术要求	204
8.1.2 分辨率分划板的技术要求	207
8.1.3 可见光方块栅栏形分辨率分划板有关技术要求	208
§ 8.2 长分划零件的检验	210
8.2.1 一般精度长分划零件的检验	210
8.2.2 高精度长分划零件的检验	214
§ 8.3 圆分划零件的检验	217
8.3.1 评价圆分划零件精度的参数	217
8.3.2 圆分划零件精度检验的方法	219
8.3.3 多面体比较法检定度盘直径误差	220
8.3.4 单常角法检定度盘直径误差	224
8.3.5 光电常角比相法检测圆光栅	233
8.3.6 六十进制光电圆分度检验仪	240
§ 8.4 特殊分划零件的检验	241
参考文献	245

第一章 概述

§ 1.1 分划零件的类型与用途

在光学仪器中为了满足瞄准、测量以及其它要求,都装置了分划元件。伴随近代科学技术的发展,各种光学仪器也得到迅速发展,于是推动了分划元件制作工艺(简称刻划工艺)逐步地由简单到复杂,从低精度向高精度发展。早期的分划元件制作工艺很简单,十字线是用蜘蛛丝粘成的;度盘和刻尺的精度也很低,毛坯都是用金属做的。现今的分划元件绝大多数是用玻璃或塑料做毛坯,图案也复杂多了。以分划元件的刻划精度来讲,国内在圆分划方面已达到中误差 $\pm 0.2''$ 的世界先进水平;在长分划方面,200 mm 范围内,最高精度可达零点几微米。

1.1.1 分划元件

在平面或曲面光学零件表面上刻制出由直线、曲线、数字、指标或其它图案所构成的图形组就形成了分划元件,常见的分划元件有精密刻尺、度盘和分划板等,见图 1-1。分划元件

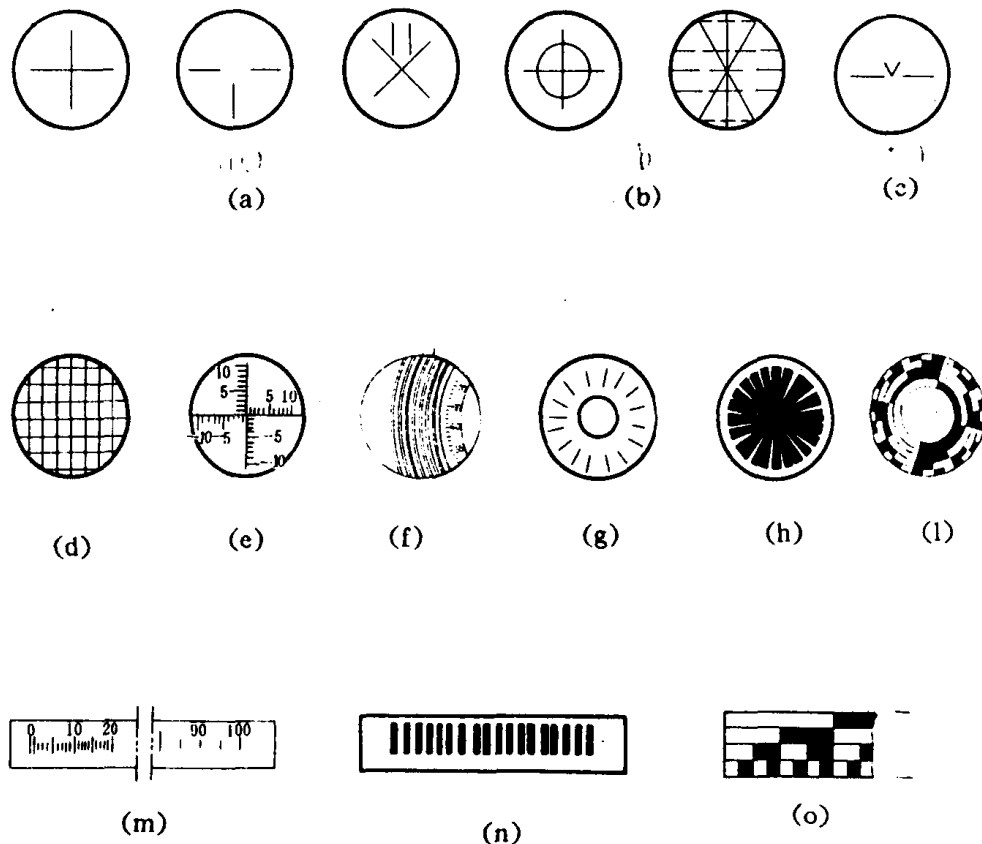


图 1-1 常见的分划元件

上的这些图形组称之为分划。又把分划元件上刻有图形组的表面称为分划面。分划元件的外形最常见的是圆形平板状的,少数作成平凸或平凹透镜状。有些用于线值测量仪器上的分划元件则作成条形平板状。分划面一般是平面,特殊需要时也可将分划图形组刻制在曲面上。各种分划元件上分划图案的具体形状取决于分划元件的用途。供仪器瞄准物体用的分划元件,其图案均比较简单,而供测量仪器使用的分划元件,其分划图案要复杂些,往往是由许多线条按某种规律排列而成,为了便于读数,在刻线顶端还标有各种数字,例如图 1-1 中的度盘(g)和标尺(e)、(m)。而图 1-1 中(a)、(b)、(c)三种分划板则是供仪器瞄准用的分划元件,其分划分别为十字线、箭头和圆圈等。

1.1.2 分划元件的类型

根据各种分划元件在光学仪器中的作用可以把分划元件分为下述四种类型:

一、瞄准用分划元件

这类分划元件主要用在光学仪器的瞄准系统中。图 1-1(a)中的十字线分划板就是一种经常作为瞄准用的分划元件。将这种分划板装置在普通望远镜物镜的后焦平面上,且使分划十字中心与物镜后焦点重合(图 1-2),则由分划元件的十字线中心和望远镜光学系统的光轴所确立的直线构成仪器的瞄准轴,利用这个瞄准轴,望远镜可以随意瞄准某一被观测的目标。此时这个望远镜不但可以观察物体,而且可以瞄准物体的某一部分。所以各种枪用瞄准具(单筒望远镜)、水准仪和经纬仪的望远镜里都装有瞄准用分划板,组成了仪器的瞄准系统(又称作瞄准镜),以便于枪支和仪器随时瞄准所需要的目标。

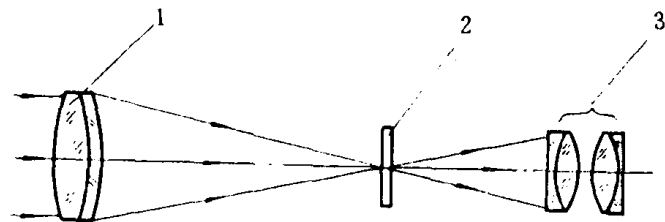


图 1-2 望远镜的光学系统
1—物镜;2—分划板;3—目镜

二、测量用分划元件

这类分划元件一般是作为传递线值或角值的标准器件,装置在各种光学测量(或计量)仪器里,构成仪器的测量系统。如果是用于线值测量的光学仪器,则所装置的分划元件通常是具有线位移类分划图案,除了图 1-1(m)所示的精密标尺外,还有十字刻度尺、光栅尺、码尺、网格板、米字形板、齿形板等。如果是用作角值测量的光学仪器,则所配置的分划元件一般是带有圆分度分划图案,例如图 1-1(g)、(h)、(l)所示的度盘、圆光栅和编码盘。

在图 1-2 所示的望远镜的光学系统中,如果用图 1-1(e)所示的十字刻度标尺取代十字线分划板,则这个望远镜不但具有观察和瞄准目标的功能,而且还可以用它来测量目标到观察者之间的距离,其原理将在 § 1.2 中叙述。

三、光栏和取像用分划元件

1. 光栏

在某些光学仪器或光刻工艺中,为了限制光束的作用范围,需要用图 1-3 所示的单线狭缝把光源来的粗光束变成狭窄的成像光带,投射在像面上(或感光胶面上),这种带有单线狭缝的分划元件称为光栏。

2. 取像用分划元件

在经纬仪的读数系统里,需要把水平度盘(或竖直度盘)的粗读数(度)和测微器分划盘的细微读数(分或秒)同时成像在一个视场里(图 1-4)来读取,把视场中这个同时显示度盘局部像和测微器分划盘局部像的两个框子式分划元件叫作取像用分划元件或读数窗。显然,这类取像用分划元件在光学仪器的读数系统中起到了限制像面大小的作用。在许多光学测量仪器里都有这种读数窗。

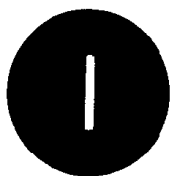


图 1-3 光栏

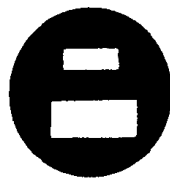


图 1-4 读数窗

四、附有照明的分划元件

在某些仪器特别是军用光学仪器里,为了便于观察分划,在分划元件上附加有照明光源,成为附有照明的分划元件,如图 1-5 所示。这种分划元件上的分划多用白色填料或荧光粉,可用于夜间观察。

§ 1.2 分划元件的设计

分划元件的设计内容有三项:第一项是确定分划元件的外形尺寸;第二项是确定分划图案、分划线宽与分划间隔等;第三项是选择分划元件的毛坯材料及加工分划的技术条件。由于分划板是应用得最广泛的一种典型分划元件,其设计内容基本上可以反映其他各种分划元件的设计构思,所以这里以分划板的设计来说明分划元件设计的第一项、第二项内容;然后再单独介绍分划元件毛坯材料的选择与加工分划技术条件的确定原则。在讨论分划板的设计内容之前,首先介绍分划设计中应用的部分长度单位和角度单位以及相应的换算关系式。

1.2.1 分划设计中的长度单位和角度单位

分划设计中所应用到的长度单位制有公制和英制两种;角度单位制则有弧度制、六十进制、百进制和密位制四种。为了便于分划设计,现将设计中所涉及到的各种长度和角度单位制的换算关系分述如下:

一、有关长度单位及换算

公制长度单位

$$1 \text{ m} = 10^2 \text{ cm} = 10^3 \text{ mm} = 10^6 \mu\text{m}$$

英制长度单位

$$1 \text{ ft} = 12 \text{ in}$$

公制与英制长度单位换算

$$1 \text{ in} = 25.4 \text{ mm}$$

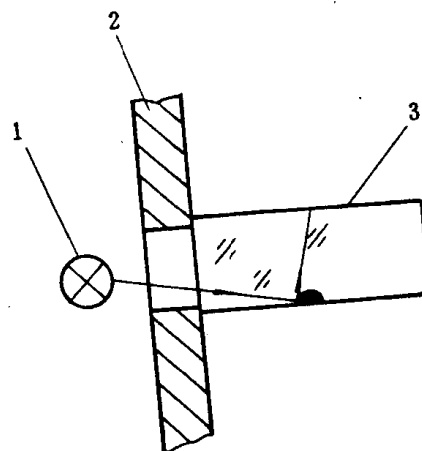


图 1-5 附有照明的分划元件
1—照明灯;2—光栏;3—分划元件

二、有关角度单位及换算

弧度制

$$\text{圆周} = 2\pi \text{ rad}$$

六十进制

$$\begin{aligned}\text{圆周} &= 360^\circ = 21600' = 1296000'' \\ &(1^\circ = 60', 1' = 60'')\end{aligned}$$

百进制

$$\begin{aligned}\text{圆周} &= 400 \text{ g} = 40000 \text{ c} = 4 \times 10^6 \text{ cc} \\ &(1 \text{ g} = 100 \text{ c}, 1 \text{ c} = 100 \text{ cc})\end{aligned}$$

密位制

$$\text{圆周} = 6000 \text{ 密位} (\text{或圆周} = 6400 \text{ 密位})$$

密位的表示法和读法有特殊的规定,如表 1-1 所示。

表 1-1 密位的表示法和读法

密位数	表示法	读法
2478	24—78	二十四、七十八
130	1—30	一、三十
5	0—05	零、零五

各种角度单位的换算关系

$$2\pi \text{ rad} = 360^\circ = 400 \text{ g} = 6000 \text{ 密位} (\text{或} 6400 \text{ 密位})$$

1.2.2 分划线的设计

一、确定分划线的外形尺寸

分划线作为光学测量仪器内光学系统的重要组成元件之一,并和其它元件一起构成仪器的瞄准系统与测量系统。以望远镜为例,其分划线应装置在物镜的后焦平面内,使其分划面与物像重合。因此分划线直径 D 应根据光学系统中物镜的视场 2ω 和焦距 f' 来确定,参见图 1-6。

$$D = 2f'_w \text{tg}\omega \quad (\text{mm}) \quad (1-1)$$

式中: f'_w ——物镜的后焦距,mm;

ω ——物镜的半视场角。

分划线厚度 B 一般取为

$$B = \left(\frac{1}{8} \sim \frac{1}{10}\right)D \quad (\text{mm})$$

二、确定分划线图案、分划线宽 b 和分划间隔 t

1. 分划线图案

分划线图案当然是根据需要来决定,但不要有多余的线条,整个图案应简明、实用和易制作。因为物镜视场中心的像质比边缘好,所以图案应尽量布置在分划板的中部;整个图案应安排得匀称、大方,使人看起来顺眼。

2. 分划线宽 b

分划线宽 b 不能太细,否则虽经目镜放大但仍不能被人眼看清,影响使用。因为人眼在明

视距离(250 mm)能看清的最细线条为 $250 \times \text{tg}1' = 0.075 \text{ mm}$, 所以刻线宽 b 经目镜放大后应大于 0.075 mm 即

$$b \times \frac{250}{f'_m} > 0.075$$

$$b > \frac{0.075}{250} f'_m \quad (1-2)$$

式中: f'_m ——目镜的焦距, mm。

分划线宽 b 也不能太粗, 否则会过多地遮挡目标, 从而降低望远镜的瞄准精度和测量精度。实践证明, 刻线对物镜中心所形成的角度应小于 $30''$, 即

$$b < f'_w \text{tg}30'' = 0.00014 f'_w \quad (1-3)$$

分划线宽 b 的理想数值应该是在同时满足(1-2)和(1-3)两式情况下的凑整值。但对于某些军用光学瞄准仪器, 为了快速捕捉目标, 往往使分划线宽 b 适当地超出式(1-3)的限制。总之在具体设计时须根据实际情况灵活掌握。

3. 分划间隔 t 的确定

对于望远系统的分划板来说, 其设计的关键在于如何将角度量表示成分划板上的长度量。由图 1-7 可知, 分划间隔 t 对物镜中心 o 的张角 θ 与焦距 f'_w 有如下关系

$$t = f'_w \text{tg}\theta \quad (1-4)$$

式中 θ 为角度。在军用光学仪器里 θ 多采用密位制。不同的张角 θ 对应不同的分划间隔 t 。如果事先按式(1-4)计算出分划板上每两条刻线(其中一条是中心刻线或零位刻线)所对应的角度值, 那么在实际观测时, 当目标像落在某一条刻线与中心刻线中间时, 就可以立即读出目标像与望远系统光轴的夹角 θ 是多少密位, 然后再根据下式计算出观察者与目标间的距离 S 。

$$S = \frac{H}{\theta} \times \left(\frac{6000}{2\pi}\right) \approx 954 \frac{H}{\theta} \text{ (m)}$$

作近似估算时, 则取

$$S = 1000 \frac{H}{\theta} \text{ (m)} \quad (1-5)$$

式中: H ——被观测目标的高度, m;

θ ——目标像与望远镜光轴的夹角, 密位。

例如, 在某望远镜目镜视场里读得敌人的像在分划板上的角度 $\theta = 10$ 密位(见图 1-8), 敌人高度以平均值 1.7 m 计算, 即 $H = 1.7 \text{ m}$, 应用式(1-5)即可算得敌人至观察者的距离 S 约为

$$S = 1000 \frac{H}{\theta} = 1000 \frac{1.7}{10} = 170 \text{ m}$$

了解了分划板的使用情况, 再来设计分划板上的分划间隔 t 就很容易了。例如, 某望远镜

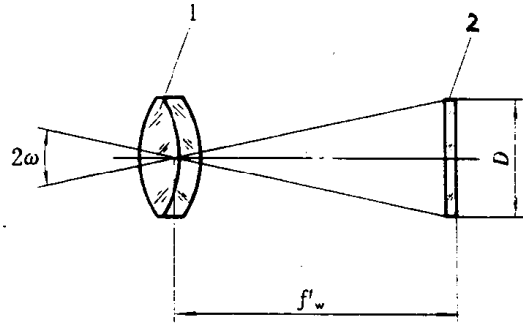


图 1-6 分划板直径的确定

1—物镜; 2—分划板

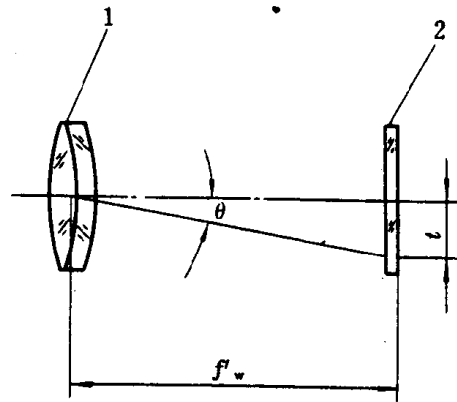


图 1-7 确定分划间隔

1—物镜; 2—分划板

的焦距 $f'_w = 120 \text{ mm}$, 要计算 $\theta_1 = 5$ 密位, $\theta_2 = 10$ 密位, $\theta_3 = 15$ 密位所对应的分划间隔 t_1, t_2, t_3 值, 可以利用式(1-5), 最后得到

$$t_1 = f'_w \operatorname{tg} \theta_1 = 120 \times \operatorname{tg} 5 \times \frac{2\pi}{6000} = 0.628 \text{ mm};$$

$$t_2 = 1.256 \text{ mm};$$

$$t_3 = 1.884 \text{ mm}.$$

4. 刻线垂直度公差

分划元件中相互垂直的刻线间的垂直度公差按实际需要确定, 需要多大就定多大。

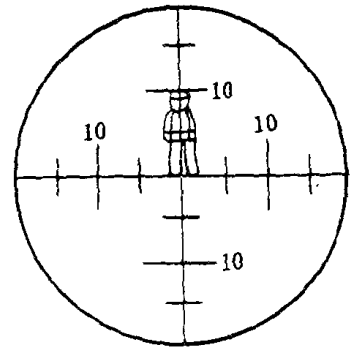


图 1-8 望远镜分划板的应用

1.2.3 分划元件毛坯材料的选择与加工分划技术条件的确定

一、分划元件毛坯材料的选择

制作分划零件毛坯的材料与制作分划的工艺密切相关, 它直接影响分划元件的质量, 故选择合适的分划元件的毛坯材料十分重要。分划元件的毛坯是经过抛光后的光学玻璃零件, 所以又称作光坯, 光坯常用的玻璃牌号见表 1-2。

除表 1-2 所列玻璃牌号外, BaK8、BaF3、F3、K8 也可用作分划元件的材料, 但用得很少。

玻璃牌号的鉴别, 常用紫外线灯观察, BaK7 呈天兰色, K9 无色。

选择分划元件光坯材料的原则主要是根据分划元件的用途, 使用环境和制作方法。现分述如下:

1. 用作刻尺的光坯要选用与钢有相近膨胀系数 ($\alpha_{44} = 0.0000105$) 的材料, 如 F7 ($\alpha_{F7} = 0.00001019$), 以减少因为玻璃与钢的膨胀系数不同而引起的误差。

表 1-2 光坯常用的玻璃牌号

牌 号		BaK7	BaK2	BaF1	F6	K9	窗玻璃
成分与性能							
研磨相对硬度		0.7	0.9	0.8	0.7	1	
膨胀系数 $\alpha \times 10^7$	-60~+20°C	65	74	71	95	72	
	+20~120°C	74	84	84	101	76	
化学稳定性	对潮湿大气	A	A	A	C	A	
	对弱酸溶液	2~3	1	1	2	1	
可供应的 气泡度	级 别	B	A	A	A	A	
	0~1 类的最大 毛坯重量	100 g	50 g	100 g	200 g	200 g	
主要化学成分	SiO ₂	49.8	59.4	58.1	42.8	69.1	
	K ₂ O	7.1	9.9	11.1	10.4	6.3	
	Na ₂ O	1.3	3.0		1.5	10.4	
	BaO	21.9	19.3	11.7		3.1	
	PbO	2.2	10.9	10.9			
	B ₂ O ₃	5.0	3.1	3.7		10.8	
	ZnO	12.5	4.9	4.3			