

光学机械仪器 設計

М. Я. 克魯盖尔、Б. М. 庫里日諾夫著



机械工业出版社

5702
5/4028

光 学 机 械 仪 器 設 計

M. Я. 克魯盖尔, E. M. 庫里日諾夫著

董大年、陈远繩譯



机械工业出版社

1959

書中概述了光学儀器的結構及其設計原則，討論了用于光学机械儀器制造中的材料，并研究了光学儀器中的主要零件和机构計算与設計方法。

本書讀者对象为光学机械和儀器制造工厂設計室的設計人員，以及儀器制造中等技术学校和高等專門學校的學生們。

苏联 М. Я. Кругер и Б. М. Кулижнов 'Конструирование
оптико-механических приборов' (Машгиз 1948)

* * *

NO. 2583

1959年1月第一版 1959年1月第一版第一次印刷

850×1468 1/32 字数242千字 印張9 1/2 0,001—1,100冊

机械工业出版社(北京阜成門外百万庄)出版

机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店發行

北京市書刊出版业营业許可証出字第008号

定价(11) 1.95元

目 录

前言	6
第一章 光学机械仪器总的概念	7
1 概述	7
2 光学机械仪器的技术要求和使用条件	7
3 装配和校正工艺对结构的影响	10
第二章 仪器设计方法	13
4 总述	13
5 设计程序	14
第三章 仪器的精度, 公差和配合	22
6 误差的来源	22
7 关于机构误差总合方法的选择	23
8 运动链误差的计算方法	24
9 生理误差	28
10 光学机械生产中应用的公差	30
第四章 光学机械仪器中应用的主要材料	33
11 玻璃	33
12 金属和合金	43
13 塑料	51
第五章 铸件和塑料零件的设计	61
14 金属铸件	61
15 塑料制的零件	64
第六章 光学零件、护眼圈和护额罩、光阑	70
16 透镜	70
17 棱镜	74
18 反射镜	92
19 分划板	93
20 保护玻璃	102
21 滤光片	107
22 光学零件表面的镀层	105

23 护眼圈和护额罩	109
24 光闌	112
第七章 光学零件与机械零件的联结	121
25 圆形光学零件的固定	121
26 非圆形光学零件的固定	133
第八章 直线运动和旋转运动导轨	145
27 概述	145
28 直线运动导轨	149
29 旋转运动导轨(支座、轴承)	158
30 材料和润滑油的选择	171
第九章 轴、联轴器和接头	174
31 心轴和轴	174
32 联轴器	174
第十章 螺旋机构	191
33 概述	191
34 螺旋机构的结构和应用	191
第十一章 凸轮和杠杆机构	196
35 凸轮	196
36 杠杆机构	214
第十二章 齿轮传动	221
37 概述	221
38 圆柱齿轮	223
39 圆锥齿轮(直齿)	231
40 螺旋齿轮	233
41 蜗杆传动	237
42 齿轮的材料和形状	240
43 齿轮传动和螺旋传动的结构	241
44 齿轮传动的精度	249
第十三章 挠性联接传动	263
45 挠性钢带传动	263
46 绳索(钢索)传动	267
第十四章 读数轮和标尺	270

47	概述	270
48	金屬讀數輪和度盤	271
第十五章 旋轉限制器		278
49	螺旋旋轉限制器	278
50	凸爪墊圈旋轉限制器	278
51	齒輪旋轉限制器	281
第十六章 电气照明設備零件		284
52	概述	284
53	灯座	285
54	变阻器	289
附录		291

前 言

苏联国民經济恢复与發展計劃中規定，在科学新成就的基础上国民經济所有部門今后的技术进展，要求創造和掌握許多新的仪器，其中也包括光学机械仪器。但是关于光学机械仪器設計和計算問題的現有書籍很少，不能滿足日益增長的要求。本書包括光学仪器零件和机构的設計和計算原理，目的是想在某种程度上弥补这个缺点。

本書的前三章敘述光学仪器結構及其要求，仪器工作精度問題及其提高方法的一般知識，并有許多对設計師的具体建議和指导。其余各章談到用于光学机械仪器制造中的主要材料，以及光学仪器主要零件和机构的設計和計算方法。

作者尽可能地利用了（在篇幅許可的条件下）在本書第一版后所累积的有关光学仪器制造的資料。限于本書篇幅，未能放入关于照相快門和水准器結構的資料。

鑒于在光学系統計算方面已有許多書籍，作者不准备涉及这些計算，而只限于在仪器零件和机构設計时所必需的指导和数据。有关几何光学，机械零件和机械原理的基本知識假定讀者都已熟知。

作者希望本書能有助于工厂設計室的工作者們，光学机械仪器制造工业学院和技术学校的学生們。

本書的第一到第四章（除去“玻璃”一节）和第八到第十六章是由 М. Я. 克魯盖尔所写，第五到第七章和“玻璃”一节由 Б. М. 庫里日諾夫所写。

第一章 光学机械仪器总的概念

1 概 述

光学仪器或称光学机械仪器，其作用基于利用光或其更普遍的形式——某一限定光谱区域的辐射能。

光学机械仪器分为两大类：

1) 观察用仪器，就是用眼睛观察的仪器。这些仪器的光学效应限于光谱上的可见部分。

2) 作用基于辐射能的光化学效应（照相机）和光电效应（萤光仪器，照明仪器，电子显微镜等）的其余所有光学仪器。

第一大类仪器根据光学系统的性质和用途又可分为二类：a) 观察近置微小物体的仪器；属这一类的如放大镜和各种型式的显微镜，各种实验室仪器和计量仪器等；б) 观察远处物体的仪器（望远镜系统仪器）；属这一类的有各种形式的望远镜，双筒望远镜，剪形镜，各种瞄准镜，测距仪，大地测量仪器，潜望镜等等。

属于第二大类的仪器有：1) 照相机；2) 电影机；3) 照明仪器；4) 光学信号器；5) 光电仪器；6) 紫外线显微镜等。

复杂的光学仪器常常是由上列类型中的不同仪器综合而成。

光学机械仪器是以机械联结的光学零件系统。这个光学系统可由各种机构〔在绝大多数情况下是精密的测量（读数）机构〕加以运用或控制。因此可以说，光学机械仪器是光学系统和精密机构的组合。在复杂的仪器中，精密机械零件的数量一般多于光学零件的数量。仪器的质量和精度既决定于光学特性，同时也决定于机构的质量，尤其是读数机构的质量。

2 光学机械仪器的技术要求和使用条件

根据光学机械仪器的基本特征，也可分为观察仪器，量度仪

器和瞄准仪器。对观察仪器主要是光学系统特性和质量上的要求；对量度仪器和瞄准仪器，除此以外，还应满足机构质量和精度上的特殊要求，这些机构也经常是仪器的灵魂。根据使用时的外界条件，光学机械仪器分为两大类：

I) 在露天、海水中，受各种气候以及机械影响（颠簸，冲击等）下使用的仪器。属这一类的如所有军用仪器；其中也包括受大气侵蚀和颠簸（在运送时）的野外大地测量仪器。

II) 在室内恒温和不受机械影响下使用的仪器。所有实验室仪器，车间仪器和教学用仪器都属这一类。

光学仪器的结构应在各种情况下都符合严格理论根据和经过全面思考的技术要求。

技术要求包括：

1) 该仪器的用途和规定要解决的课题；

2) 仪器的使用条件；

3) 对仪器光学特性的要求，

例如观察和瞄准仪器的光学特性是：a) 放大倍数；b) 视场；c) 出射光瞳直径和距离；d) 光学系统的外形尺寸。

除这些要求外，还可以指出：观测角（如果有这种装置时）；目镜屈光装置的范围等。

技术要求通常还包括上述光学特性的公差和光学系统的质量——鉴别率，像质，允许的视差，光轴的不平行度，像的倾斜度等；

4) 整个仪器和其个别部分所必需的精度；

5) 对仪器在坚固性，使用期限和对外界影响稳定性上的机械性能要求；例如密封性，不透水性，耐蚀性，在各种温度时的不失调性；对于冲击、颠簸、振动等的稳定性；

6) 对仪器的外形尺寸和重量上的要求。

第5和第6点要求几乎只对军用仪器才有。军用仪器的使用条件对光学机械仪器提出十分严格的要求。仪器在周围温度激烈

变化的环境中使用；例如航空仪器应在 $-60^{\circ}\sim+50^{\circ}\text{C}$ 的温度变化范围内工作，而不发生可以感觉到的失调和引起工作中的困难。步枪、机枪、大炮和迫击炮瞄准镜应在射击或运输时所经受的最猛烈的冲击、振动和颠簸下连续工作。应当保证仪器有良好的密封性，因为仪器在露天和各种气象条件下使用。即使是微量的灰尘和潮气渗入到光学零件上，也会引起它们的失效。

露天使用仪器中所用的润滑油不应在高温时自联结处软化流出，也不应在最低温度时冻结。

军用仪器的外形尺寸，尤其是重量，应尽可能的小；因此，军用仪器多用轻合金制造。

应该注意，要保证仪器有规定的精度，同时又要完全达到上述要求常常是困难的，因为减小零件的尺寸和重量，就要降低其坚固性，迫使选用小比例的读数机构等。

军用仪器的使用条件要求必须采用耐蚀合金（青铜，海水黄铜，不锈钢）或可靠的表面复盖层。

光学仪器的修饰，尤其是民用仪器，要求设计师有高度的谨慎，丰富的经验和爱好。

对于航空仪器，航海仪器和大地测量仪器的特殊要求，是反磁性，即在仪器中没有铁，钢和铸铁。

对所有光学机械仪器总的要求是：1) 仪器的光学系统符合规定的质量；2) 读数机构具有必要的精度；3) 结构简单和在任何使用条件仪器工作的可靠性；4) 仪器零件和仪器在装配校正过程中的工艺性（仪器的经济性）。

为了简化结构，以及制造和装配过程，在仪器的系统图上允许有某些理论上的偏差（误差）存在有时是有利的；因为在减少机构的制造误差，使结构简单和可靠，以及降低仪器成本方面所得的利益，足以抵消上述损失。

3 装配和校正工艺对结构的影响

光学机械仪器的装配和校正过程，在一定程度上，是决定其结构的重要因素。

在拟定结构时，设计师应该预先拟出并仔细地考虑仪器的装配和校正过程。因为，光学零件和联结它们的机械零件有制造公差^①，所以在计算光学系统时所得出的零件位置间的距离实际上有很大的变动。

根据制造观察用仪器和瞄准仪器的技术条件，物镜焦距公差规定为 $\pm 2\%$ 。物镜后顶点焦距数值的偏差也差不多是这样大小。因此，装配物镜焦平面上有分划板的仪器时，必须移动物镜或分划板来消除视差，也就是说分划板必须位于该物镜主焦面实际所在的平面内。

仪器的结构应该保证有这样移动的可能。例如在野外棱镜式双筒望远镜的结构中（图1），分划板1固定在有槽的框2中，框2可沿光轴方向移动，并且有足够的摩擦力牢固地卡住不致走动。

在步枪瞄准镜的结构中，由于金属细丝做成的瞄准分划板固定在螺旋机构（借以引入瞄准角和侧向修正角）上，而螺旋机构本身很难移动，不得不预定在装配时车修瞄准镜镜管的端面。为使目镜有要求的曲光度，正像透镜框4可沿镜管方向在螺纹上移动。

在水平仪的结构中（图3）要预先考虑到移动辅助透镜A使成像有可能在分划板平面上^②。

双目仪器（双筒望远镜，剪形镜，测距仪）中，应预先考虑到在校正时可以使物镜作径向移动或使棱镜迴转的特殊装置；

① 例如物镜，目镜和正像系统的透镜焦距和焦点位置的误差，是由于透镜的曲率半径，玻璃的折光常数，透镜厚度的允许误差而产生。

② 在这个结构中，值得注意的还有水准器的光学读数装置（零件1, 2, 3, 4）。

这种装置例如偏心的物鏡框，楔形垫圈（校正棱鏡用），配合面为球形的棱鏡框。在周視仪器中，作为补偿器以抵消像轉动的道威棱鏡，采用可以相对其轉軸調整棱鏡斜面位置的棱鏡框（圖89）。由于仪器的光学部分和机构的制造誤差，讀数标尺应有可能調整零位（第15章）。

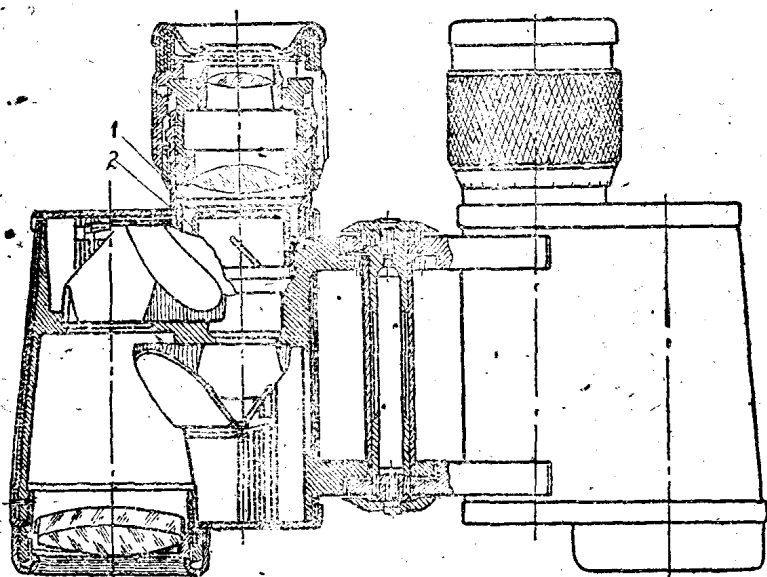


圖1 野外棱鏡式双筒望遠鏡

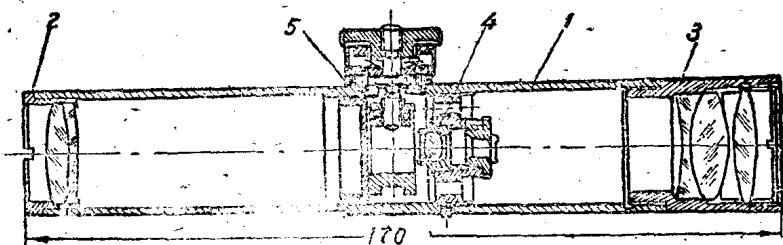


圖2 步槍瞄准鏡

1—望遠鏡管；2—物鏡；3—目鏡；4—正像透鏡；5—照准用的十字綫。

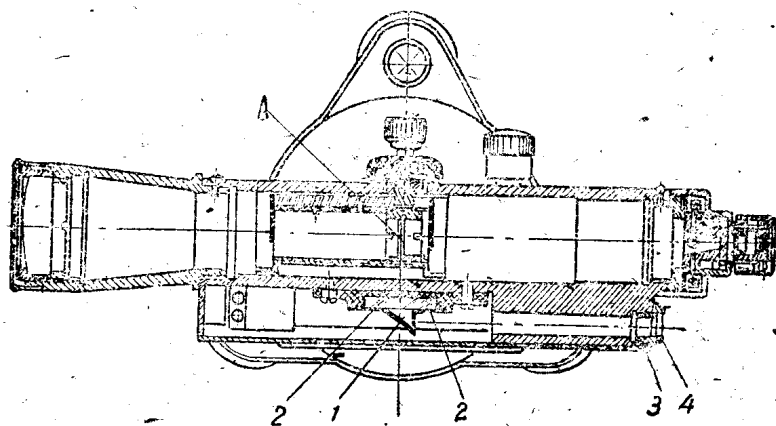


圖 3 水平儀望遠鏡管的剖面

第二章 儀器設計方法

4 總 述

獲得設計新儀器的技術任務後，設計師必須解決下列問題：如果儀器是個完全新的，同時又有相當複雜的光學系統和機械結構，那末，設計師應當擬出在理論上符合技術要求的儀器光學系統圖；與此同時，擬出儀器機構傳動系統的原理圖。

在複雜的儀器結構中，光學部分和機械部分的配合常常會發生很大的困難。這裡應該注意到，當擬定原理方案時，設計師通常在外形尺寸，重量，精度，儀器使用方便等方面的已定要求上受到許多限制。

得出符合使用條件的儀器原理方案的过程往往相當複雜，有時只有通過各種試驗研究和長期的考察，才能找到在一定程度上符合技術任務所有條件的答案。

如果只是改造（改善）現有的儀器，問題就簡單得多。

如果所設計的儀器規定與另一個目的物一起使用，那末，設計師就應該掌握該目的物必要的全部資料和圖紙。最好，設計師能直接仔細地熟悉這個目的物。

設計師在設計時應尽可能廣泛地把其他儀器中確實是完善的個別組件和機構應用到自己的儀器中來。當然，這不是說應該致力於盲目的抄襲。擬訂結構時，設計師應該尽可能地採用標準零件。

所設計儀器的全部零件制造工艺知識，如同儀器的裝配和校正工艺知識一樣，是設計師所絕對必需的。如果沒有這些知識，在圖紙上看來是完全適用的設計，也可能由於制造複雜和昂貴，而在生產過程中證明完全無用或經濟上無利。此外應注意到儀器的精度，對溫度影響的穩定性等等，這些不僅與正確的設計有關，

也与正确的制造和装配工艺过程有关。设计师必须参加仪器样品的试制或第一批仪器的制造，观察零件的制造和指导仪器的装配，校正和试验。

5 设计程序

每一个结构在设计过程中都经过下列阶段：

1. 选择和熟悉资料；拟订必要的试验计划并进行这些试验；决定利用现有结构的可能性（部分或全部）。
2. 拟定仪器的原理方案，计算仪器全部元件，包括其光学系统，预期的精度（误差计算），编制概略设计和技术设计。
3. 绘制零件图。
4. 绘制检验装配图。
5. 编写仪器说明书及其制造时的技术条件。
6. 审查图纸。
7. 在设计师的监视下，进行仪器样品的试制。
8. 试验样品。
9. 修正结构（如果试验结果证明需要修正），改正在样品试制和试验过程中图纸上所发现的全部错误。

概略设计通常是简短的叙述，其中除仪器的计算和结构描述外，还应有仪器的误差计算和附有全部数据的仪器光学系统图。

应当指出，实际上在设计室中，光学计算经过二个阶段：

初步计算或所谓外形尺寸计算，求出光学系统的基本数据：放大倍数，视场，出射光瞳直径和距离，瞄准角，棱镜的外形尺寸和整个光学系统总的外形尺寸。设计师从光学计算室得到这样的外形尺寸计算以后，着手编制概略设计草稿。如果在设计过程中，光学系统的数据完全适合，则可通知光学计算室对这个光学系统进行最后的计算。

光学系统的最后计算包括求出透镜的半径和厚度，其间的距离，选择玻璃的种类等等。在最后计算中同时进行光学系统的修

正。这个計算应当有残余像差圖，注出尺寸的公差，表面精度和質量等。

光学玻璃的公差（光学常数、均匀度、气泡等的等級）也应在計算中指明。也可能在設計过程中發現这个光学系統并不合适，这时不得不再寻求新的解答，重新进行外形尺寸計算等等。

获得最后的計算后，設計師弄清了全部計算数值，着手編制技术設計，經過审查和批准后，再着手繪制零件圖（工作圖）。

每个零件圖上必須注明：表面加工、公差、材料、重量、表面修飾。除此以外，在不同情况下，零件圖上可以有各种說明，例如：热处理、修配、制造方法、坯料尺寸、对精度的补充要求等等。

零件圖上的剖面 and 投影应该具有能充分表示这个零件所必需的数目。标出所有的尺寸綫，尺寸，加工符号等以后，零件的形状应仍能清晰地看到，根据这样的要求来选择圖的比例。总之，在繪制零件圖时，不应由于比例过小而使圖形拥塞。在零件圖上注尺寸时，必須考虑到加工程序。

基本問題是在設計的零件圖上正确确定基准面，据此进行所有尺寸的标注。

基准的选择与零件的制造方法及其今后的装配方法有关；它与所得尺寸的精度有重大联系。

为了說明在精密仪器制造中基准的概念，讓我們詳細地討論一下关于基准問題。

术语“基准”[●]是面、綫或点的組合，相对于它定出与机构中其他零件相联結的面的位置，或在零件加工时，定出該工序中待加工面的位置。

在机构中或在其加工时，定出一个零件相对于其他零件位置的面称为零件的基准面。

● 基准的定义和某些說明引自 A. A. 馬塔林的論文“精密仪器制造中的基准系統”“光学机械工业”№ 3~4, 5~6, 1946。

大家知道，要在空間完全決定一個物體，必須限制其六個自由度：沿座標軸的三個往復運動和繞上述軸的三個轉動。

由此，如果要完全確定零件的位置，必須有六個定位點（支點）。

對棱柱形的零件（例如平行六面體），通常採取具有三個支點的面稱為主基面，具有二個支點的面稱為導向基面和具有一個支點的面稱為支承基面（圖4）。

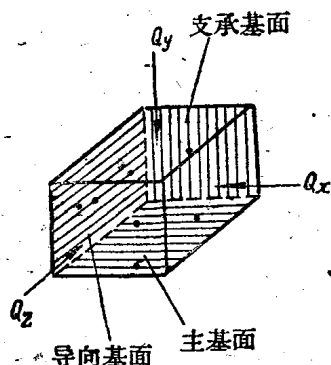


圖4 平行六面體的支點在基面上的分布圖

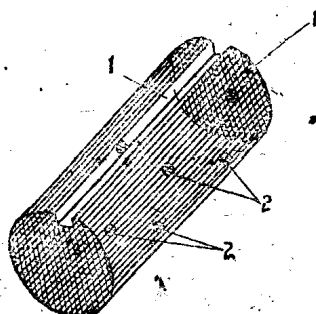


圖5 在圓柱體上支點的分布圖

為確定圓柱形零件的位置，六個支點應如圖5那樣分布。此時圓柱面是“主基面”，同時又是“導向基面”（用以定零件的中心）；而零件的端面和鍵槽的面是支承基面（用以防止零件轉動）。

上面我們沒有考慮用力接合把零件位置固定在基面上的情況。

顯然，為了用力接合，還需要有作用力的三個力點，接合力的方向垂直於基面。因此，要完全固定零件，至少要同時也只需有9個支點；缺少其中一個，零件就在相應的方向上有移動的自由。

零件的設計基準是面、綫或點的組合，相對於它來定出儀器