

显微镜杂光特性普查对比的结果与分析

王雅黎 刘瑞祥 曹 明* 曹根瑞**

(应用光学国家重点实验室)

摘要: 介绍我们用长春光机所ZG—3显微镜杂光测定仪对国内外有代表性的显微镜进行测量比较的结果, 其中包括评估方法。

研究表明, 国外优秀产品有一个突出特点, 它们的VGI和VGI (NA。)很小并且几乎不受目标板光阑尺寸的影响。这意味着在镜筒等的染黑处理和消杂光光学设计方面仍有很多工作要探讨。

一、引言

经常与显微镜打交道的科技工作者普遍感到进口的显微镜优于国产品, 最主要的差别是后者的清晰度差。影响显微镜图像清晰度的主要原因是显微镜的质量, 诸如显微镜像差校正状态, 加工装配质量, 杂光等。随着计算机技术的发展和运用, 显微镜的像差通常可以校正得比较好, 加工装配也可以控制在所需的精度内。这时杂光问题就变得突出起来。由于它与光学设计, 光学材料, 光学加工, 机械加工与工艺, 装配, 清洁处理等许多环节有关, 很难解决得好, 必须深入细致地加以研究。然而, 长期以来由于没有测量显微镜杂光的仪器, 无法对国内外的各种显微镜进行测量比较, 无法在这方面更深入地开展研究。更可惜的是, 由于国家尚无标准对显微镜的杂光进行控制, 许多生产厂家对此没有给予足够的重视。

1988年 ZG—3 杂光测定仪在长春光机所研制成功^[1]。这种仪器可以测量各种显微镜的杂光系数, 为开展这方面的研究工作提供了条件。自1989年, 我们采集了17只进口显微镜, 18只国产显微镜, 测量了240多组数据, 得到它们的杂光系数以及它们在各种不同照明NA.时的杂光特性。尽管我们收集的品种有限, 数量有限, 但是测量结果已告知我们许多有益的结果。在这篇报告中, 我们将叙述关于开展这项工作的基本目的, 采集被测显微镜的原则, 评估内容, 测试结果等方面的问题。

注: *杭州中国计量院学一系, **北京理工大学四系

二、普查对比的目的和采样原则

经验表明, 国产中、低档显微物镜的杂光大, 我们试图用客观可靠的数据来说明, 与先进国家的产品相比这个差距到底有多大, 以便为有关的质量控制部门和厂家提供依据。

另外, 目前我国高档显微物镜的生产仍是空白, 长春光机所正在进行研制, 我们的工作将为这些研制工作提供有关杂光的技术指标。

上述二点是开展这项工作的主要目的。

由于显微物镜的杂光特性同很多因素有关, 牵涉到生产国别、厂家、出厂日期等。从显微物镜本身来说, 又五花八门, 有诸如消色差、复消色差、平场复消色差; 倍率通常有 $10\times$ 、 $20\times$ 、 $40\times$ 、 $50\times$ 、和 $100\times$, 还有油浸与非油浸之分。要想对比作通盘比较, 那是既不可能又没有必要的。根据我们的经费和其它各种条件, 如何用有限的采样, 达到有效地, 比较客观地对国内外的显微物镜杂光特性进行普查对比, 这是必须考虑的现实问题。在研究和实验中我们遵从的采样原则是:

1. 选定西德的LEITZ和日本 OLYMPUS 作为国外生产优秀显微物镜厂家的代表, 尽可能地收集它们的产品;
2. 国内江南光学仪器厂和大连第二光学仪器厂的中、低档显微物镜有一定的竞争能力, 收集它们的产品进行测量比较;
3. 采集样品要尽量满足倍率复盖的要求。

三、评估方法和内容——VGI与VGI(NA_c)

在考虑评估的内容, 即确定进行对比的物理量时, 我们主要基于二点:

1. 选定最能反映显微物镜使用状态杂光特性的量;
2. 选定ZG—3显微物镜杂光测定仪能有效地测得的量。

ZG—3显微物镜杂光测定仪既能测量显微物镜的杂光系数 VGI, 又能测量不同照明 NA_c 时的杂光特性 $VGI(NA_c)$ 。这是该仪器的特色之一。

VGI 通常定义为无限大面光源中的亮度为零的黑体经物镜所成像的照度与其邻近的光源所成像照度之比, 在 ZG—3 杂光测定仪中, 这是靠把积分球面光源光阑开到最大来实现的。对于大多数显微物镜来说, 它们通常工作在部分相干照明条件下。我们把特定 NA_c 的聚光系统照明条件下, 亮度为零的黑体经物镜所成像的照度与其邻近的光源所成像照度之比, 定义为表征杂光系数, 记为 $VGI(NA_c)$ 。在 ZG—3 杂光测定仪中, 这是靠把积分球面光源光阑开到相应尺寸来测得的。

为了使用一个单一指标去描述显微物镜的 $VGI(NA_c)$ 并使它与显微物镜的成像质量有一定的内在联系, 如同许多文献^[2], 我们采用

$$\sigma = \frac{n' \sin U_c}{n \sin U} = \frac{NA_c}{NA} \quad (1)$$

表征显微物镜照明的部分相干度, 它是聚光系统数值孔径 NA_c 与显微物镜数值孔径 NA 之比。有实验表明, 当显微物镜的 σ 值为 0.7 左右时, 它的分辨本领或调制传递函数

(MIF) 最高。故选择

$$\sigma = 0.7 \tag{2}$$

或者

$$NA_c = 0.7NA \tag{3}$$

有比较现实的意义。

通过上述分析，我们确定采用二个指标进行比较：

VGI——它说明通常定义下的杂光特性；

VGI(0.7NA_c)——它说明显微物镜照明的部分相干度为0.7时的杂光特性。

四、主要的测试条件与测试结果

为了便于分析比较，这里仅将主要的测试条件列举如下：

积分球面扩散光源——球径：220mm；照明灯：4×10V 20W 溴钨灯；涂料：
BaSO₄

测光系统——接收小孔直径：0.4mm；测光积分球直径：80mm；PM：EMI
9524B。

黑目标——条状黑体，透射密度>3D；尺寸：2 mm/β，β为显微物镜的倍率

目标板光阑尺寸——4 mm和46mm

在上述条件下，我们对每个 VGI 和 VGI(NA_c) 均测量 5 次，然后取平均值，再根据 VGI(NA_c)——NA_c图求得 VGI(0.7NA_c) 的值，结果如表 1 至表 6 所示。

五、分析讨论

从表 1 和表 2 可以看出，当 $d = 4 \text{ mm}$ 时，同国外相比，国产低倍显微物镜的 VGI 或 VGI(0.7NA_c) 与之相差并不大，日本 OLYMPUS 的显微物镜杂光特性甚至劣于国产品；当 $d = 46 \text{ mm}$ 时，优秀显微物镜的杂光系数仅略微加大，如 LEITZ 厂的 16× 和 25× 显微物镜，仍低于 0.03，而其它的，俱增大很多，杂光特性明显变坏。

对于中倍显微物镜(表 3—4)，国产品和日本产品的 VGI(NA_c)，VGI 明显高于 LEITZ 厂的产品，但是它们随 d 值的变化均不大。

表 5 表 6 告诉我们，这几个国产高倍显微物镜的杂光特性达到了国外产品的水平，同样地，表中显微物镜的 VGI 和 VGI(NA_c) 随 d 值的变化不大。

我们可以从上述测量结果得出若干有益的启发。

1. 与国外显微物镜相比，一般来说，国产显微物镜杂光大于 LEITZ，NIKON 这类厂家的显微物镜的杂光；国产显微物镜中，10× 的杂光特性差距还不是很大，但 40× 的差距很明显；即随倍率增大，随着结构复杂化，二者杂光特性差距变大；

2. 国外优秀产品有一个突出特点，它们的 VGI 和 VGI(NA_c) 很小并且几乎不受目标板光阑尺寸的影响。换句话说，无论在什么工作条件下，即使是亮室，它们的杂光都很小；相反地，随着目标板光阑尺寸加大，国产显微物镜的杂光系数会成倍加大；我们认为这一差距值得引起国内生产厂家和有关方面的注意，因为这意味着在镜筒等的染黑处理和消杂光光学设计方面仍有很多工作要探讨；

3. 从杂光特性方面来说, 国外某些厂家如日本的OLYMPUS的显微物镜不比国内的优越, 在进口或使用时必须谨慎。

表 1 低倍显微物镜杂光测试结果之一 (测量条件: $d = 4 \text{ mm}$)

厂 家	物 镜 参 数	VGI	RMS	VGI ($0.7NA_0$)
大 连 二 光 厂	10倍 0.25	0.0480	0.0017	0.0480
大 连 二 光 厂	10倍 0.25	0.0224	0.0023	
大 连 二 光 厂	10倍 0.25	0.0250	0.0016	
大 连 二 光 厂	10倍 0.25	0.0296	0.0038	
大 连 二 光 厂	10倍 0.25	0.0330	0.0000	0.0288
威 海 光 仪 厂	10倍 0.25	0.0276	0.0011	0.0318
江 南 光 仪 厂	10倍 0.25	0.0140	0.0007	0.0094
国 产	10倍 0.25	0.0468	0.0028	0.0425
国 产	10倍 0.25	0.0492	0.0008	0.0464
LEITZ W.G	10倍 0.25	0.0368	0.0010	
OLYMPUS JAPAN	10倍 0.25	0.0994	0.0025	0.0778
OLYMPUS(MPLAN) JAPAN	10倍 0.25	0.0276	0.0005	0.0266
OLYMPUS(MPLAN) JAPAN	20倍 0.40	0.0910	0.0010	
LEITZ (NPL) W. G.	16倍 0.45	0.0120	0.0007	0.0100
LEITZ (NPL) W. G.	25倍 0.55	0.0170	0.0007	0.0155

表 2 低倍显微物镜杂光测试结果之二 (测量条件: $d = 46 \text{ mm}$)

厂 家	物 镜 参 数	VGI	RMS	VGI ($0.7NA_0$)
大 连 二 光 厂	10倍 0.25	0.1094	0.0010	0.0674
大 连 二 光 厂	10倍 0.25	0.0822	0.0033	
大 连 二 光 厂	10倍 0.25	0.1000	0.0045	
大 连 二 光 厂	10倍 0.25	0.1070	0.0026	
大 连 二 光 厂	10倍 0.25	0.1006	0.0015	0.0600
威 海 光 仪 厂	10倍 0.25	0.0592	0.0004	0.0290
江 南 光 仪 厂	10倍 0.25	0.0700	0.0000	0.0330
国 产	10倍 0.25	0.1500	0.0000	0.0860
国 产	10倍 0.25	0.1110	0.0000	0.0630
LEITZ W.G.	10倍 0.25	0.0968	0.0008	
OLYMPUS JAPAN	10倍 0.25	0.2192	0.0056	0.1350
OLYMPUS(MPLAN) JAPAN	10倍 0.25	0.0454	0.0015	0.0310
OLYMPUS(MPLAN) JAPAN	20倍 0.40	0.0950	0.0012	
LEITZ (NPL) W. G.	16倍 0.45	0.0170	0.0005	0.0100
LEITZ (NPL) W. G.	25倍 0.55	0.0178	0.0007	0.0250

表 3 中倍显微物镜杂光测试结果之一 (测量条件: $d = 4 \text{ mm}$)

厂 家	物 镜 参 数	VGI	RMS	VGI ($0.7NA_0$)
大 连 二 光 厂	40倍 0.65	0.0824	0.0015	0.105 8
大 连 二 光 厂	40倍 0.65	0.1018	0.0031	
大 连 二 光 厂	40倍 0.65	0.1034	0.0018	
大 连 二 光 厂	40倍 0.65	0.1154	0.0013	
威 海 光 仪 厂	40倍 0.65	0.0786	0.0005	0.0792
国 产	40倍 0.95	0.0828	0.0038	0.0920
LEITZ W. G.	40倍 0.65	0.0212	0.0011	0.0180
LEITZ(NPL)W.G.	40倍 0.70	0.0238	0.0005	0.0258
OLYMPUS(MPLAN) JAPAN	40倍 0.63	0.0524	0.0009	0.0504
OLYMPUS JAPAN	40倍 0.65	0.0762	0.0018	0.0934
NIKON JAPAN	40倍 0.95			
国 产	50倍 0.63	0.0918	0.0042	0.1126
NIKON JAPAN	50倍 0.95	0.1010	0.0020	0.1064
NIKON JAPAN	54倍 0.69	0.0990	0.0012	0.1080

表 4 中倍显微物镜杂光测试结果之二 (测量条件: $d = 46 \text{ mm}$)

厂 家	物 镜 参 数	VGI	RMS	VGI ($0.7NA_0$)
大 连 二 光 厂	40倍 0.65	0.1022	0.0020	0.1238
大 连 二 光 厂	40倍 0.65	0.1078	0.0040	
大 连 二 光 厂	40倍 0.65	0.1120	0.0035	
大 连 二 光 厂	40倍 0.65	0.1210	0.0021	
威 海 光 仪 厂	40倍 0.65	0.0992	0.0030	0.1020
国 产	40倍 0.95	0.0938	0.0018	0.1040
LEITZ W. G.	40倍 0.65	0.0252	0.0011	0.0182
LEITZ(NPL) W.G.	40倍 0.70	0.0245	0.0004	
OLYMPUS(MPLAN) JAPAN	40倍 0.63	0.0534	0.0012	0.0494
OLYMPUS JAPAN	40倍 0.65	0.0900	0.0007	0.0988
NIKON JAPAN	40倍 0.95	0.0826	0.0013	
国 产	50倍 0.63	0.0945	0.0040	0.1012
NIKON JAPAN	50倍 0.95	0.1066	0.0021	0.1114
NIKON JAPAN	54倍 0.69	0.1062	0.0029	0.1232

表 5 高倍显微镜杂光测试结果之一 (测量条件: $d = 4 \text{ mm}$)

物 镜	物 镜 参 数	VGI	RMS	VGI ($0.7NA_0$)
江南 光 仪 厂	100倍 1.25	0.0450	0.0035	0.510
威海 光 仪 厂	100倍 1.25	0.0745	0.0045	0.0850
NIKON JAPAN	100倍 1.35	0.0306	0.0020	0.0328
LEITZ W. G.	100倍 1.25	0.0450	0.0043	
OLYMPUS (MPLAN) JAPAN	100倍 0.90	0.1040	0.0042	0.1140
OLYMPUS JAPAN	100倍 1.40	0.1210	0.0032	

表 6 高倍显微镜杂光测试结果之二 (测量条件: $d = 46 \text{ mm}$)

物 镜	物 镜 参 数	VGI	RMS	VGI ($0.7NA_0$)
江南 光 仪 厂	100倍 1.25	0.0466	0.0025	0.0540
威海 光 仪 厂	100倍 1.25	0.0764	0.0036	0.0890
NIKON JAPAN	100倍 1.35	0.0314	0.0011	0.0334
LEITZ W. G.	100倍 1.25	0.0500	0.0034	
OLYMPUS (MPLAN) JAPAN	100倍 0.90	0.1130	0.0042	0.1326
OLYMPUS JAPAN	100倍 1.40	0.1360	0.0021	

通过这次普查比较, 我们对于显微镜杂光的指标, 有如下看法:

优秀或好的显微镜

当 $d = 4 \text{ mm}$ 时, VGI 和 $VGI (0.7NA_0) \leq 0.04$

并且当 $d = 46 \text{ mm}$ 时, VGI 和 $VGI (0.7NA_0) \leq 0.05$;

中等显微镜

当 $d = 4 \text{ mm}$ 时, VGI 和 $VGI (0.7NA_0) \leq 0.06$

并且当 $d = 46 \text{ mm}$ 时, VGI 和 $VGI (0.7NA_0) \leq 0.08$

合格的显微镜

当 $d = 4 \text{ mm}$ 时, VGI 和 $VGI (0.7NA_0) \leq 0.08$

并且当 $d = 46 \text{ mm}$ 时, VGI 和 $VGI (0.7NA_0) \leq 0.11$;

以上是我们在有限的范围内所得到的结果, 还需要做许多工作去进一步验证。不当之处欢迎批评指正。

在这项工作中, 大连第二光学仪器厂于道维厂长给我们提供了很多方便与帮助, 特此致谢。

参 考 文 献

- [1] 刘瑞祥、王雅黎; 应用光学开放研究实验室年报, 1989年 55页
 [2] 刘瑞祥、王海明; 光学机械, 1987年 第2期, 13页

The Results and Analysis of a Survey of the Veiling Glare Characteristics of Microscope Objectives

Wang Yali, Liu Ruixiang and Cao Ming

Abstract

This report describes the results of a number of measurements and comparisons of the Veiling Glare Characteristics (VGC) for a variety of typical microscope objectives home and abroad, and the assessment method using both the Veiling Glare Index VGI and Characterized VGI (NA_0) in this survey. Our investigation shows that, in general, from the point of view of VGC, all the microscope objectives with good performance have both very small VGI and VGI (NA_0) which almost do not vary along with the sizes of the limiting aperture of the black target. The results suggest that in order to improve the VGC of domestic microscope objectives, attentions must be paid to the optical design to reduce the VG, and to use a better process for darkening the barrels etc.