

运用光学检验手段 为镜头的毛病作“诊断”

蒋筑英

评定摄影物镜光学性能好坏，要回答镜头能否满足使用要求的问题。现在一般认为，只要在实验室作以下几个项目的检查测试，将测试结果和规定的指标相比较，就可以得出答案。

1. 几何参数，如焦距，后截距，相对孔径等等；
2. 调制传递函数 (MTF)或分辨率；
3. 杂光系数；
4. 透过率；
5. 象面照度分布；
6. 畸变。

但是，一个新装出来的镜头，光学质量没有达到使用要求，要解答为什么不能用，毛病在哪里，原因是什么的问题，就不那么容易。这是一个比较复杂的问题，常常涉及从光学设计，结构设计，加工，装调到光学材料，金属材料等等一系列环节。它不仅需要根据镜头的具体情况，灵活地使用各种光学检验手段，而且常常需要和搞设计、装调的同志密切配合才能求出答案。打个比喻，前一个问题（镜头能不能用）好比作体格检查，看看身体是否正常，有没有病；后一个问题（镜头为什么不能用，毛病、原因是什么）则相当于要诊断出身体为什么异常，生了什么病，原因是什么。前者，一般只要对一些规定的项目作检查就可以得出结论，后者，就要根据病人的具体情况和异常表现，使用各种诊察手段，往往还要各科大夫会诊，才能找出答案。以下根据我们的工作经验，谈谈怎样运用光学检验手段，为镜头的毛病作“诊断”。

摄影物镜的使用效果，一般是从按规定

的条件拍的片子来比较和评定的。假若一个镜头拍出的片子，①清晰度高；②层次丰富；③彩色还原正确；④成象不变形；⑤画面亮度均匀，就认为是好镜头，而假若上述几方面效果有一个不理想，这个镜头就不好用。上述几方面的使用效果和设计，制造方面的许多因素有关系。一个不好用的镜头，究竟设计、制造上存在什么毛病，就要根据它们在上述几方面的不同表现作具体的细致的检查和分析才能确定。不好用的镜头，多数表现是成象不清晰，画面层次少。有的则主要表现为彩色还原不好，还有一些则表现为成象变形或画面亮度不均匀（包括缺角），下面就分别情况加以“诊断”。

一、镜头成象不清晰， 层次少

一个新装出来的镜头不好用，多数都是因为成象不清晰，拍出的片子层次少。出现这种情况的原因比较复杂，总起来说有两方面：①象差大；②杂光大。因此首先要判别镜头存在的问题主要是象差大还是杂光大，或者两方面问题都严重。为此，测定镜头的 MTF 或是用平行光管加透射式低对比分辨率板测定目视分辨率。因为作这种测定时，除了检验目标发光以外，没有亮背景，杂光的影响基本上被排除。因此，假若测得的 MTF 值或分辨率数值符合要求（与好用的镜头的测定结果相似）就可以怀疑镜头的毛病是杂光太大。再测定镜头的杂光系数，它会有两种结果：一是确实杂光系数大。比如用黑斑法测定杂光系数超过 5% 的镜头，外

景拍摄，尤其是逆光或侧逆光，拍出的片子会蒙上一层雾似的不透亮，有时甚至出现密度有明显差异的区域。另一种结果是测出的杂光系数并不大。这时就可以怀疑是镜头拍摄时焦点不实，这经常发生在变焦距物镜的使用上。本来镜头并没有毛病，但是因为底片所处位置并不是镜头的稳定象面，就会使拍出的片子成象模糊，缺乏层次。变焦距镜头的正确安装方法是在光具座上准确测定最短焦距位置的机械后截距（又称法兰截距），然后和摄影机相配，保证误差在 $0\sim 0.03mm$ 内（因为镜头座和摄影机卡口总不免会有间隙，因此让机械后截距稍长于摄影机的配合尺寸比短了好）。假若不是这样的话，由于使用时总是用长焦位置对焦，而假若镜头的稳定象面（即短焦位置的最佳象面）不落在底片平面上，虽然长焦位置焦点总可以对实，但是一变倍，焦点就开始发虚（因为底片不在稳定象面位置），越到短焦越利害。当然这里说的是镜头本身的象面位移并不大的情况，也就是说对稳定象面测定的各焦距位置的 MTF 值或分辨力是符合指标要求的。假若拍出的片子，长短焦位置都是清晰的，中间有的焦距位置不清晰，这就可能是因为象面位移大，或是某个焦距位置象差大造成的。对于这种情况，下面还将作进一步分析。

现在假设经过测定，镜头的杂光系数并不大，主要是 MTF 或分辨力没有达到指标要求。我们希望进一步弄清原因。为此我们又进一步分成三种情况：

1. MTF 值或分辨力稍微偏低的情况

测定镜头的 MTF 或分辨力，结果比指标要求稍稍偏低，这说明镜头的象差偏大（包括变焦距镜头象面位移偏大），希望找出使象差偏大的主要原因。

假若镜头轴上轴外都稍差，我们就首先检查轴上（即视场中心）的象差情况。从理论上来说，球面同轴光学系统，轴上点只有剩余球差和位置色差。星点象应当是旋转对

称的圆斑，不应当有彗差和象散。对轴上点作星点检验，很容易发现加工和装调质量是否理想。星点象出现彗差（称中心彗差），说明镜头有的组元偏心，出现象散（称中心象散），则说明有的组元面形变形或是有严重的偏心。镜头的 MTF 值或分辨力稍偏低，常常就是因为有中心彗差或中心象散造成的。它们不仅影响轴上象质，也影响到轴外的成象质量。由于存在中心彗差，视场两边对应点的 MTF 值或分辨力会不相等（相当于象面对于光轴倾斜的效果）。因此在加工装配中要尽量设法避免造成中心彗差和中心象散，结构设计和工艺上也要适当考虑保证措施和调整环节。

造成组元偏心的主要原因是：镜片外元有椭圆度；胶合偏心，镜框偏心和镜筒变形等等。有的镜头，中间要开槽插滤色片（例如制版镜头），就很容易由于镜筒变形而使前后两组镜片发生偏心。对于这样的镜头，最好先开好槽再对镜筒进行精加工。变焦距物镜，由于变倍和补偿组是活动的，必定有间隙。机械加工精度不高的话（或使用磨损），就很容易使变倍和补偿组镜框在运动中发生偏摆或中心起伏，造成偏心差。要判断变焦距镜头偏心差主要由那一部分镜组造成，可以用以下方法：①假若长焦位置中心彗差明显，短焦位置不明显，说明主要是前固定组有偏心（中心象散也一样）；②从镜头前方观察“光串”（即位于光轴上的点光源在各球面上的反射象）。变倍时，变倍组和补偿组的光串跟着移动。注意它们和前后固定组的光串（不随变倍移动）是否成一直线就可以知道它们是否偏心。对于变焦距镜头来说，假若从“光串”上看不出偏心（注意要从互相垂直的两个方向去看“光串”都在一直线上），那么剩余的一点偏心差所造成的中心彗差也就不会大，可以允许了。在安装变倍和补偿组镜片之前，先在镜框上贴两块平板，用1分自准测角仪检查一下它们运动时镜框的摆动情况，看是否允许，做到心中有数，是很

有必要的。对于固定镜头，从光串上也可以看出主要是那一组镜片有偏心，然后转动镜片或镜框，看看彗差是否改变大小和方向，就可以断定，并且常常可以用这种方法（转镜片）使中心彗差减轻，象质获得改善。

造成中心象散的原因主要有两个：一是组元严重偏心，一是有有的组元面形变形。假若看到的星点象主要表现为象散，彗差不十分严重（这正是经常遇到的情况），这种中心象散就肯定是面形变形造成的。因为根据对偏心系统象差的分析（例如王之江：《光学设计理论基础》第十章§4）可知，偏心差小时，只出现中心彗差，偏心差大了才又出现中心象散。因此中心彗差并不严重的情况下出现的中心象散不是由于偏心差造成的而是由于组元面形变形。

组元面形变形的原因通常是：①胶合后发生变形。负透镜中心太薄或者玻璃应力均匀性不好，胶合后常常会发生变形。假若用样板检查负透镜的非胶合面，会看到椭圆光圈或近于三角形的光圈，镜头的星点象则是中心亮点呈十字花或三角形，外面的亮环裂成四瓣或三瓣，如图1那种样子。变焦距镜头

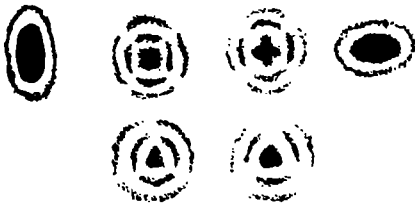


图1 有中心象散的星点象

变焦距组或补偿组胶合变形常常是出现中心象散的主要原因。因此胶合前后最好都要用样板检查光圈。②包边变形。由于包边时，镜片所受压力分布不均匀，使镜片变形。这时看到的星点象常常是不对称，不规则，带刺，带角的如图2那样的情况。因为有了包边口，一般无法再用样板检查包边后的面形，但是可以在球面干涉仪上作非接触检查，看看包边后的变形情况。镜片包边需要熟练的

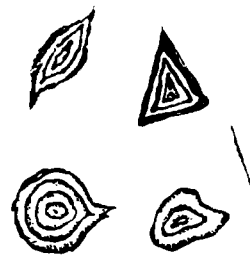


图2 由于包边受力不均匀造成的星点象变形例子

技巧，尤其是中心比较薄的镜片。因此包好边后最好能重新检查面形。③玻璃应力均匀性不好造成变形。有的透镜，刚加工好的时候，面形是好的，但是放了一段时间以后会发生变形，尤其是口径比较大，中心又比较薄的组元更要注意，比如变焦距镜头前固定组中的镜片。因此在装调前，最好重新检查一下光圈，做到心中有数。再有一种情况是玻璃有条纹，也会使星点变形。离焦观察星点象，本应是形状与镜头光阑孔相似的亮斑，由于玻璃通光面有条纹，就会使这亮斑出现缺角或暗带。用刀口仪切割象点就看得更加清楚。

以上讲的是象质稍差的情况，它们一般是因为中心彗差或中心象散稍大造成的，讲了检查的方法，产生的原因和加工装调应注意的地方。

2. 象质很差的情况

有时也会遇到新装出来的镜头，象质很差，成象很模糊的情况，这就不会是因为有点中心彗差或中心象散的原故而是因为存在其他种种比较严重的问题，需要进一步检查分析了。①首先测定镜头的焦距和后截距。测定时应加中心波长与校正单色象差所用波长一致的单色滤光片（摄影物镜一般对C-G消色差，对D线校正单色象差，因此加中心波长589nm的窄带滤光片就可以），因为焦距和后截距都是按这个波长计算的。并且因为排除了色差的影响，这些参数也可以测得更准确。正常情况，由于间隔，厚度和玻璃折射率误差，曲率半径误差，装出来的镜

头，焦距和后截距与设计值可能相差1%~2%甚至3%，比如理论焦距58mm的镜头，实测焦距可能是56.8mm~59.2mm，这时一般说来，象差与计算结果变化不大，成象质量不会有明显的变化（比如MTF值变化不超过0.10）。假若实测焦距或后截距与设计值相差超过3%，就可以怀疑镜头的参数 r 、 d 、 n 、等中可能有差错（不是一般小的超差）。这时最好是把镜头拆开，按图样逐个重新测定除折射率以外所有参数。假若测定结果，所有 r 、 d （包括空气间隔）都符合图样要求或只有小的超差，装配时面序也符合图样要求（没有将镜片装反的情况），那么就可以肯定是有的组元玻璃用错了。测定各组元的焦距和计算值相比较，就可以知道是哪块玻璃用错了。因为使焦距误差超过3%，象质明显变坏，就不是折射率误差在小数第四位，而是第三位甚至第二位就与设计要求值不一致了，是用错了玻璃，所以测定组元焦距就可以发现是那块玻璃错了。为了证实确是玻璃的问题，可以把镜头照样装好，测定轴上色差（用刀口仪或星点法），结果必定和设计不符，剩余色差很明显。总之这种象质很差，实测焦距结果与设计有较大出入的情况，必定是设计参数或玻璃材料错了（不是小的超差），只要仔细检查。一定可以找到原因。材料用错也有折射率符合设计要求，而色散不符合的情况，此时检查色差易于发现此问题。

3. 象质不好，但实测焦距或后截距误差又不大的情况

这种情况主要是因为参数 r 、 d 、 n 等有小的超差（尤其是对象差比较灵敏的参数）使象差变坏造成的。要经过仔细的检查和才能确定毛病出在哪里。根据象差理论，高级象差是高级小量，它随参数 r 、 d 、 n 改变而缓慢改变，不象初级象差那样对 r 、 d 、 n 的变化十分灵敏（大象差互相补偿的情况除外），因此，当这些参数与设计值有小的偏离时，引起的象差变化主要是初级量的变化。用刀

口仪测定轴上球差和色差并与设计结果比较，就可以知道它们初级量的变化情况，再根据象差分布计算结果，就可以判断问题发生在那里。比如测定结果主要是球差有变化，色差变化不大的情况，看对初级球差贡献较大的面前后的空气间隔或玻璃厚度怎样变化，初级量的变化即与实测结果一致，就知道问题在哪里和怎样调整了。只是初级球差变化大，色差变化不大的情况，还可以怀疑是不是有镜片装反了。由于有的透镜两面的曲率半径相差不多。很容易装反，这时相当于改变了透镜的“弯曲”状态，使球差发生变化而并不影响色差校正。假若主要是色差变化大，球差变化不算大，则可以怀疑是对轴向色差贡献大的面前后玻璃的折射率和色散（ v 值）与设计值偏离较大。要检查组元玻璃的折射率和色散又不允许破坏这个组元，这是很难办的事情。比如用球面干涉仪测定透镜中心光学厚度（即实际玻璃厚度 d 与激光波长折射率 n 的乘积）和玻璃厚度，精度都达到微米级，由此求得的折射率也只精确到小数第二位，小数第三位已有误差，因此是无法确定玻璃折射率小的超差的，测定色散就更难了。因此在生产或试制镜头时，最好能对所用玻璃复测一下 Nd 值和 v 值。一般，同一炉号玻璃， Nd 值出入不大，只第四位小数有几个单位变化，但是同一牌号不同炉号玻璃， Nd 值和玻璃表上的名义值可以相差 $\pm 0.001\sim\pm 0.0015$ 之多， v 值可以有 $\pm 0.3\sim\pm 0.5$ 的变化。假若所用玻璃与设计值相差较多，就应当复算一下，看看象差变化是否允许，否则应当调整间隔或厚度加以补偿（一般不希望改动曲率半径，以免重新加工样板）在加工前做好这些工作就主动得多，即使装出来镜头出了问题，因为所用玻璃数据心中有数，毛病和原因也就比较容易分析。

这里还要指出的是在复查空气间隔的数值时，要用深度千分卡尺之类的量具直接测定实际值，而不要用测定间隔圈然后算出来

的办法，这样算出来的空气间隔值常常并不等于实际空气间隔。

4. 视场中心象质基本可以，轴外象质不好的情况

以上讲的主要是视场中心和边缘都不好的情况，首先抓住轴上点去进行检查和分析。有时遇到的情况主要是轴外象质不好。这时要检查一下轴外星点象，看看象散（测定时可收小光圈）和弥散元大小与设计结果是否相符，色差情况怎样。从而判断出主要是那种象差不好，偏离设计值太多造成的。场曲对设计参数的改变是比较敏感的。但假若仅仅是场曲有变化，弥散元大小应和设计结果相似，对轴外点成象，经过调焦，可以成清晰的象。不论确定出是哪种象差变化造成的，都可以和轴上情况类似地，根据象差分布数据进行分析，找出产生这一变化的主要参数。假若没有象差分布数据，那就要根据镜头的结构类型，象差的特点来分析判断。例如双高斯型物镜（许多摄影和照相物镜都是这种结构），两半部之间的空气间隔对轴外球差和象散很灵敏；两块厚透镜的厚度对彗差和球差灵敏；一块厚度增加另一块厚度减小，基本上只改变彗差，而假若两块厚透镜厚度同时增大或减小，则只改变球差（参考电影镜头设计组：《电影摄影物镜光学设计》125~126页）厚度增大，球差变正，厚度减小，球差变负。假若镜头主要是象散稍大或者轴外球差稍大，不符合设计要求，调整两半部之间的空气间隔大小，一般就可以得到校正。

5. 变焦距物镜变倍时，象质时好时坏的情况

一个新装出来的变焦距物镜，常常会出现这种情况。它一般是由于象面位移大造成的，也有的时候是因为某些焦距位置象差大的原故。因此，最好测定一下象面位移大小。简单可行的测定方法是用装有佛科型分辨力板的平行光管对镜头焦距刻标标明的各个焦距位置，测定轴上点黄绿光目视最佳

象面位置。测量时要注意消除读数显微镜测微螺杆空回影响，或者用千分表读数。测定前最好先把最长焦和最短焦的最佳象面调重合（移动调焦组）。焦距从短→长，然后从长→短算是一个测回，测三个来回求平均，画出焦距与象面位置关系曲线，比如得出图3a所示的结果。这时 Δl 并不代表最大象面位移，还要对测得的结果作些处理，即让长焦和短焦象面重合（使 $\delta = 0$ ），这时各焦距位置象面的相应移动量 $\delta' = \left(\frac{f'}{f_{\text{长}}}\right)^2 \delta$ ，于是得出图3b的曲线，这时的 Δl 才是实际的最大象面位移量。假若全孔径（比如1:3.2）象面位移超过比如0.06mm，35mm电影物镜变倍过程中就可以察觉出清晰度的变化、象面位移达到0.10mm的话，清晰度的变化就很明显了（对于电视摄影镜头来说，这样大的象面位移还可以允许）。假若从长焦→短焦和从短焦→长焦两条曲线之间间距较大，就说明变倍或补偿组在运动中有“空回”，要首先设法消除，使同一焦距的最佳象面在这两种情况相差不超过0.02mm，否则很难使整个变倍范围内各焦距象面位置相差最多不超过0.06mm。假若变倍和补偿组运动已消除“空回”，但象面位移量仍超过比如0.08mm，就要设法减小（指35mm电影摄影镜头）。假设测得的象面位移曲线是图3a那样的弓形曲线，问题就好办。只要调整变倍与补偿组之间的间隔，或稍稍修改变倍组本身的间隔（即改变其组合焦距）就可以使曲线中间某一点和纵轴相交，变成S形，使最大象面位移量减少。这个交点位置应当选得合适，使短焦部分象面位移较小一些，整个焦距范围象面位移也不大，比如象图4的样子。假若测得的象面位移曲线已经是象图4那样的S形，但是最大位移量却超过了允许值，这就比较麻烦了，但也还可以同时改变变倍组焦距和改变变倍组与补偿组间距使曲线再增加一个“零点”（即与纵轴的交点），使象面位移减小。用上述办法虽然可以减小镜头的象面位移，但终究不是比较理想的做

散使象质降低，就容易显得短焦清晰度差。因此，变焦距物镜，短焦部分的设计质量首先要好，加工装配质量也要好，否则不易获得满意的效果。

总之根据我们的经验，装出来的镜头象差与设计结果不符，问题一般出在：①组元面形变形；②偏心差超差；③空气间隔不合适；④玻璃折射率超差。曲率半径和透镜厚度发生问题的情况较少。曲率半径，除了加工错误（比如用错了样板），一般是超差2~3个光圈影响也不大。透镜厚度，除了个别情况，误差0.05mm甚至达到0.10mm，只要空气间隔控制比较严格，影响也不大。组元变形常常发生在胶合之后或装配过程中（包边或压圈太紧，压圈变形），常常被忽略；有的空气间隔对象差非常灵敏，（例如双分离长焦距摄影物镜），并且常常需要作小量调整以补偿透镜厚度的变化和玻璃折射率变化产生的影响。玻璃折射率超差是因为厂家给出的数据不准（或是在自然时效中折射率变化），使用前又未复测造成的。

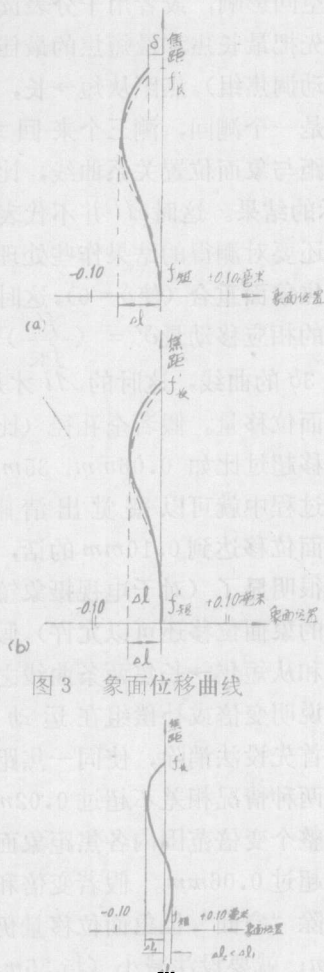


图3 象面位移曲线

图4 经过调整后的象面位移曲线

法。最好是在加工变焦距镜头时，严格控制变倍和补偿组的公差，同时将凸轮曲线按最佳象面对高斯象面的偏离加以修正，使装出来的镜头象面位移在允许值以内。

假若测得的象面位移（包括“空回”）并不大，那么就是某些焦距位置象差较大造成变倍时清晰度略显变化。这时最好测定某一频率（比如20对线/mm~30对线/mm）的MTF值，看看是哪一段焦距的MTF值偏低，然后看看是光学设计本身的问题，还是加工装配的问题。存在中心彗差和中心象散对短焦部分清晰度影响较明显。因为对同一景物拍摄，短焦和长焦一对比，本来分辨细节就感到不如长焦距清晰，再加上点中心彗差或象

二、杂光大

杂光大的镜头，拍出的片子也是清晰度差，层次少，色饱和度低，和象差大造成的结果有许多类似的表现。但是在实验室分别测定MTF（或分辨率）和杂光系数以后就可以诊断镜头的主要毛病是象差大还是杂光大。前面讲了象差大的情况，这里讲杂光大的情况。杂光来源于：①空气玻璃面的偶次反射，使景物中的明亮部分或镜头的孔径光阑在底片前后成象，造成杂光分布；②透镜边，镜框、镜筒内壁，光阑片以及透镜表面和内部的散射光。一般情况下，这多方面来源的杂光在底片上造成近于均匀的分布，无法区分。拍出的片子象蒙上一层雾，不透亮。但是假若画面中有很亮的小面积光源，（比如太阳，高压水银灯等等），拍出的片子上会有一串亮斑，它们就是光源经空气→玻璃面偶次

反射在底片前后造成的反射象产生的。而当亮背景分布在画面各处并且有较大面积时，这种反射象在底片上造成的光分布就不再集中形成亮斑，而是近于均匀地分布在整个画面上了。这部分杂光可以用改进增透膜的办法减小，但是无法完全消除。有的镜头拍摄室外明亮景物时，底片中间出现一块形状与孔径光阑相似的密度稍高的区域。这是镜头里有一个空气—玻璃面把光阑孔成象在很靠近底片平面的地方造成的。这种镜头，除了修改设计，没有什么办法。这种情况虽不常遇到，但却是致命的。因此一个新设计的镜头，最好事先用计算检查一下会不会发生这种情况，以免造成大返工。第二方面来源的杂光也是要设法消除的。我们看到有的工厂生产的镜头，透镜边缘不涂黑漆，只镜框染黑了就算了，这是不对的。因为假若透镜边缘不涂黑漆，或是涂的黑漆折射率低于玻璃，许多斜入射到这里的光线就会发生全反射而成为很强的杂光来源。空气间隔大，镜筒长的镜头，镜筒内壁一定要采取有效的消杂光措施，比如静电植绒等。杂光大小与镜头拍摄效果好坏关系是很大的。用黑斑法测定杂光系数，按我们的经验，电影摄影物镜的杂光系数最好不超过3%。电视镜头，因为可以从电路上部分消除杂光的影响，杂光系数可以允许稍大一点，但是也不要超过5%~7%。因为由于存在杂光，景物对比越低，成象的对比损失也越大，使画面层次减少，这种影响是无法消除或补偿的。

三、采色还尻不好

彩色还原不好主要有两种表现：①色饱和度和度差；②有偏色现象。造成色饱和度和度差的原因主要是杂光大和象差大。但假若象差大到明显影响色饱和度的程度，则首先表现出来的症状应是清晰度差，解决了清晰度的问题，色饱和度问题也就解决了。清晰度还可以而色饱和度和度差的镜头，大多是因为杂光稍

大的原故。

偏色现象主要和镜头的分光透过率特性有关。它又决定于镜头所用光学材料的光谱透过率和增透膜的光谱特性。镜头的彩色还原性能，现在大多用“彩色贡献”(所谓C-C值)来表示，它是用标准照明条件和标准光谱灵敏特性的彩色底片获得的镜头对兰、绿、红三个感色层的“有效密度” D_B 、 D_G 、 D_R 来表示的。假设镜头轴上入射光强是 $I_0(\lambda)$ ，透射光强是 $I(\lambda)$ ，则镜头的透过率 $T(\lambda) = I(\lambda)/I_0(\lambda)$ ，镜头的“有效密度”则定义为：

$$D = -\log_{10} \frac{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q(\lambda) S(\lambda) T(\lambda) d\lambda}{\int_{\lambda_1}^{\lambda_2} Q(\lambda) \cdot S(\lambda) d\lambda}$$

其中 $Q(\lambda)$ 是照明的光谱能量分布(经过规化的)， $S(\lambda)$ 是底片的相对光谱灵敏度。假设彩色底片兰、绿、红三个感色层的相对光谱灵敏度分别是 $S_B(\lambda)$ 、 $S_G(\lambda)$ 和 $S_R(\lambda)$ ，分别代入上式，就可以求得镜头的“有效密度” D_B 、 D_G 和 D_R 。将它们分别减去0.05(相当于整个波段透过率恒等于95%的镜头，有效密度 $D=0$)，然后乘以100，将得出的三个整数用短横线串联起来，比如10—0—2，用以表示镜头的“彩色贡献”。按照美国和西德的标准，彩色贡献为 $8(\pm\frac{1}{2}) - 0(\pm\frac{1}{2}) - 0(\pm\frac{1}{2})$ ，(括号中的数字是允许范围)的镜头，彩色还原就认为是好的。

镜头偏色主要有两种：偏兰色(冷色)和偏黄色(暖色)。由于镜头焦距不同，采用的结构型式也不同，所用的玻璃品种就往往不同。而不同的玻璃，透射率在绿光和红光部分，差别不大，变化也缓慢，可是在紫到兰光部分，变化和差别都很大。再加上增透膜的影响，就使镜头从紫外到兰光部分的透过率变化很大，反映到彩色贡献就是第一个数，不同结构的镜头往往有不同的数值，而且差别比较大。这是造成偏色的主要原因。对于标准照明和标准底片来说，彩色贡献的第一个数小于5的镜头，偏兰色，大于12则

偏黄色。对于实际使用的非标准照明和底片，也可以由实测的镜头分光透率和照明及底片的光谱特性，求出彩色贡献，根据使用证明彩色还原正常的镜头的彩色贡献定出标准和允许范围。一般是C-C值中三个数无论那个，相差不超过3，彩色还原性能就基本一致。根据镜头的C-C值就可以挑选彩色还原性能一致的镜头配套使用。现在有用高质量变焦距镜头代替一套固定焦距镜头使用的趋向，其好处之一是彩色还原一致。因为从紫外到兰光部分镜头的透过率的差别是造成偏色的主要原因，所以测定这一波段镜头的透过率和了解所用玻璃及增透膜这一波段的光谱透过特性是很重要的（所以要知道紫外部分的情况是因为胶片对紫外波段有响应）。为了使镜头彩色还原正常，或偏色一致，要根据所用玻璃的光谱透射特性选择合理的增透膜光谱特性，使不同的镜头透射率随波长的变化相似，尤其是从紫外到兰光这一段。偏兰的镜头，加黄镜头可以纠正，因为它使紫外光截止，使C-C值的第一个数增大，因而镜头向暖调改变。

四、四角发暗或缺角

有的广角镜头和有的变焦距镜头，用于拍摄近景时，会出现画面亮度不均匀，四角发暗甚至缺角的现象。对这样的镜头要测量一下象面照度分布情况。假若四角照度为中心的30%以下，拍出的片子，四角就会明显发暗。造成这种情况的原因是轴外光束孔径遮栏得过于严重。广角镜头，比如 $f = 18mm$ 的35mm电影摄影物镜，全视场达 74° ，即使没有轴外遮栏和没有象差渐晕，边缘照度也只有中心的41%。因此，为了使画面亮度均匀，需要在设计中利用光栏慧差增大轴外通光孔径。为了观察轴外渐晕情况，把镜头放在一个可以绕垂直轴转动的镜头架上，用平行光照明入瞳。在象方用眼睛接收出射光束，就可以看到均匀发亮的光斑，它就

是镜头的出瞳。将镜头由轴上转到轴外，光斑形状的变化就是渐晕的情况，它们应当和光学设计计算结果一致。假若不一致，就可能是机械结构造成了额外的栏光。要作定量测定，可以用相机拍摄各视场出瞳的象，求出渐晕系数。

为了检查会不会出现缺角现象，在最近摄影距放一个点光源，让它成象在镜头的视场边缘，用肉眼观察镜头的出瞳。这时逐渐收小光圈，假若收到某档光圈时，光瞳完全变暗，就表明镜头在这样小光圈以下对近景拍出的画面会缺角。变焦距镜头要对短焦部分多检查几个焦距位置。因为一般是某个短焦距位置的主光线入射高度最高，因此最容易被遮栏。要对近距离目标进行检查，是因为近距离边缘视场主光线入射高度最高。容易发生缺角现象。新设计的镜头应当追迹计算近距离主光线，它若能通过镜头，就不会发生缺角现象，否则，收小光圈拍近景会发生四角发暗甚至缺角现象。对于变焦距镜头，一定要找到主光线入射高度最高的次短焦距位置，并让主光线通过。

五、变形大

有的广角镜头和变焦距镜头，拍出的片子，清晰度还可以，就是变形大，因而限制了使用。这主要是因为镜头的畸变大造成的。镜头光轴和底片平面不垂直也会造成变形。但是变形情况不一样，并且这种情况画面中定有一角不清晰，而且这种情况也极少遇到（镜头光轴和镜头座定位端面不垂直，误差很大才会发生）。

镜头畸变大，有两种原因：①设计结果本身畸变就比较大；② r, d, n 等参数及偏心差超差太多或有错误而造成。一般认为镜头畸变小于2%，造成的弯曲变形，人眼是无法察觉的，3%的畸变造成的弯度（ $\approx 6\%$ ），仔细看才能看出来。因此一般希望摄影物镜畸变不超过3%。畸变大了，景物的变形就

可以看出来,尤其是拍摄格子板的话,看得就最明显。将格子板放在50倍焦距的位置,对拍出的底片测出直线的弯度,就可以知道镜头的畸变大小,可以和按物距无限远计算出来的畸变值进行比较。当镜头光栏球差大时,(广角物镜和变焦距物镜的短焦部分往往如此),畸变随物距改变而改变。拍出的片子清晰,但变形大,这多半是设计本身畸变大的原故,和加工装调无关,也无法可想。畸变达到6~8%,只要拍摄的画面不是单调的水平或垂直线条(比如廊柱),造成的变形也是不致引起观众注意的。广角镜头畸变很难校正,常常达到6%左右。使用时加点注意也还是可以的。假若是 r 、 d 、 n 等参数的改变使畸变增大,那么其他象差也当然不好, (S_V 的面分布与 S_I, S_{IV} 有关),拍出的片子

清晰度也不会好。这时清晰度是主要问题,往往不会去注意畸变大小。按照前面讲过的方法,找出象差大的原因并加校正,清晰度好了,畸变也就和设计结果一致了。镜头由于存在偏心组元,也会使畸变改变。甚至几个组元都有不同程度的偏心,它们可能互相补偿了中心彗差(许多镜头就是用调整某个镜片的偏心来补偿其余组元造成的中心彗差以保证视场中心的象质),但是这时仍会产生不对称畸变。不过这种畸变的改变是高级小量,对于畸变要求很严的镜头,比如航测镜头,是应当注意的,但是对于一般摄影物镜就没有多大影响。

以上分析讨论不一定完全正确,提出的诊断方法也不一定最好,仅供大家参考。

(上接第12页)

13 问:对于红外成象系统,如何检查它们的成象质量?

答:锗材料是不透可见光的,现在直径可以做到150mm。由于红外系统不透过可见光,就给成象质量的检查造成了困难。在英国,一般是用一个泰曼干涉仪,产生干涉条纹,这种条纹是比较粗的。例如对 10μ 的波长,用一个变象管把红外辐射转换成紫外光,再把紫外光投射到萤光屏上进行观察,来检查系统的成象情况。

14 问:上午讲到的检查热成象系统的面列阵探测器,一共有多少个单元?几何尺寸怎样?目前面列阵探测器的水平如何?

答:上午讲到的面列阵探测器,是什么元件,记不得了,它有100个单元,每个单元 40μ 大概是硅光二极管吧!

我有一个加里福尼亚的美国朋友,前不久写信告诉我,在他们准备制作的天文,摄谱仪,将采用一个 1200×1200 个单元的面列阵探测器,大约由150万个元件组成,每个元件大小为 $15\mu \times 15\mu$ 。两面贴有玻璃,敏感波长为 $4500 \sim 8000 \text{ \AA}$ 。该探测器要用致冷装置。大概在我回去以后,这台仪器就有消息了。

15 问:对于波长几十 μ 到几百 μ 的情况,你们正在进行那些工作?

答:对于几十 μ 到几百 μ 的波长,须用热探测器探测。帝国理工学院物理系天文光学实验室,在RING教授的领导下,在进行这方面的工作,该实验室有的年轻人工作十分努力,他们很热情,乐于助人,你们有问题可以写信同他们联系。