

用光学方法显示旋转物体的扭变

——光学扭力测功机光学设计的研究

“7.22”光学教改试点小组

(中国科学技术大学)

为了使我们的教育革命更好地为巩固无产阶级专政服务,为巩固和发展社会主义经济基础服务,为发展社会主义农业服务,我们工农兵学员和革命教师一起,在毛主席的无产阶级革命路线的指引下,实行开门办学,到三大革命实践中去,结合化肥工业发展的需要,进行了教育革命的试验。我国工人阶级为了打破资本主义的垄断,发扬自力更生的精神,自行设计制造年产三十万吨合成氨的先进设备。我们同山东博山水泵厂的工人和一机部通用机械研究所的科技人员一道,组成了工厂、学校、科研单位三结合的试制小组,承担了上述设备中的一项测试仪器——光学扭力测功机的试制任务。

这种“测功机”是作为测量水泵的机械功率的。它是利用旋转物体产生的扭矩可以反映其功率这一原理设计的。其方法是把一根用弹簧钢做的扭力棒接到水泵轴上,当水泵转动时产生的扭矩传到扭力棒上,棒会发生扭变,用光学方法把这扭变(即扭角)的大小测量出来,然后计算出扭矩来。因为功率等于扭矩乘以角速度,所以若再知道转速就可以通过计算得出水泵的机械功率。因扭矩和机械功率是线性关系,扭矩大则扭角亦大,表示机械功率大。这种测功机和目前国内普遍采用的旧式的天平马达测功法比起来,不但体积重量大大减少,精度和效率也都提高了,而且与光电式、磁电式测功机相比,还具有结构简单、使用方便、稳定性好、不必经常维修等优点,便于普及推广。这种方法对其它旋转物体的扭力测量都适用,对机械工业上高(转)速化的测试工作也提供方便。

一、仪器装置

我们的具体任务是结合光学教学,承担测功机上的光学显示部分的设计,它的结构如图1所示。图中马达轴上接一根扭力棒(直径10—15毫米,长约300毫米),棒的一端装一圆盘A,另一端装有两个固定在一起的圆盘B、C,A与B、C靠得很近(不大于0.1—0.2毫米)。B、C两盘之间有轴套相连,它们是用同

一块钢材加工而成的整体。A盘与另一个轴套相连。扭力棒的两端分别卡在与A盘和B、C盘相连的轴套上。这些细节如图1所示。三个盘上均开了小孔,A盘上镶有刻度微小的透明标尺。标尺上每毫米约有10条径向刻线,B盘孔上是一根刻线,C盘孔上镶一透镜,测功率时三个盘与马达轴同样高速旋转着,由于扭变,A与B、C两盘的相对位置有所变化。

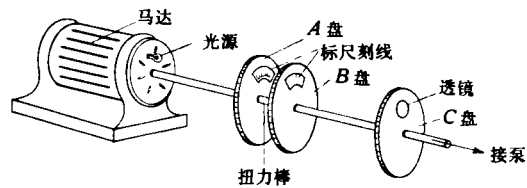


图 1

二、标尺的投影

我们小组在整个光学扭力测功机中承担的任务是把旋转着的盘上的标尺刻线清晰地显示出来。这些刻线象头发丝那样细,并以每秒几十至几百米的线速度运动着,如何解决这样一个快速旋转物体的显微投影问题呢?这里首先遇到的困难是“动”与“静”的矛盾:标尺在高速运动,但要求投影在屏幕上的象是静止的,我们采取了如下的措施:①用静止光源照射标尺,用聚光镜把光线会聚在标尺平面上一个很小的光斑上,使标尺刻线每旋转一周时只有在掠过这小光斑的短暂刹那被照亮并投影于屏幕,②加大透镜成像的放大倍率,可增加象的清晰度。现在将我们的考虑分述如下:

1. 为什么加大透镜的放大倍率,可增加象的清晰度?

由于标尺刻线沿圆盘径向,而旋转的线速度沿切线方向,二者互相垂直,运动的效果是使它的象因沿垂

* 1975年6月14日收到。

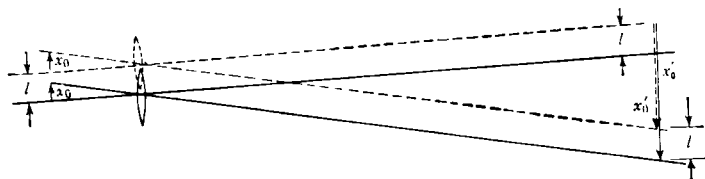


图 2

直方向展宽而变得模糊起来。如图 2 所示, 设标尺上相邻刻线的间隔为 x_0 , 透镜的横向放大率为 β , 则在象平面上相邻刻线间隔放大到 $x_0' = \beta x_0$ 。此外, 若物点(刻线)与透镜同时平移了一段不太大的距离 l (见图 2 中的虚线所示位置), 从透镜成象的规律知道: 物点与象点的连线必通过透镜的光心。由图 2 可以看出, 象点平移的距离也是 l 。这时在象平面发生的情况如图 3 所示, 其中 y 轴平行于刻线走向(即圆盘径向), x 轴平行于透镜与标尺运动方向(即圆盘切向), 实线是标尺刻线原来的象, 虚线是运动了一段距离 l 以后的象。

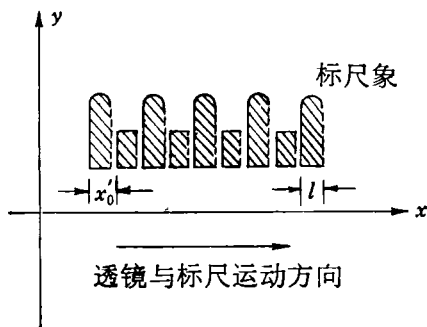


图 3

因此, 每条刻线的象展成宽度为 l 的宽带(虽然刻线实际上沿弧线运动, 但是当移动的弧度不大时, 可以认为它沿直线平移)。若 l 和 x_0' 差不多, 甚至更大, 则标尺的象就变得模糊不清, 甚至不可分辨; 反之, 若 $l \ll x_0'$, 则标尺刻线的象仍可认为是清晰的。按照前面的分析, x_0' 是随放大率 β 成正比地增加, 而 l 与 β 无关, 所以 β 越大, 标尺的象就越清晰。例如, 如果在物平面上间隔为 $x_0 = 1$ 毫米的刻线运动了 $l = 1$ 毫米距离, 每条刻线看起来就有 1 毫米粗, 标尺看起来完全模糊了。然而, 若经一起运动的透镜放大, 当放大率 $\beta = 10$ 时, 在象平面上刻线的间隔变为 $x_0' = 10$ 毫米, 同时每条线仍变为 1 毫米粗, 所以看起来还是比较清晰的; 当放大率 $\beta = 100$ 时, 在象平面上刻线间隔为 100 毫米, 每条线的宽度仍为 1 毫米, 看起来就更加清晰了。所以当放大率大到一定程度, 就可以使象变得足够清晰可辨, 从而保证

读数的一定精确度。

总之, 我们让 C 盘上的透镜和 A 、 B 盘的标尺刻线一起转动, 可使它只放大标尺刻线间隔, 而不放大运动距离, 以此来实现运动的标尺变为相对静止的象这一转化, 从而解决了“动”和“静”的矛盾。

为了增加放大倍率, 透镜应选取较短的焦距, 并把标尺放在它的前焦面附近。

2. 对光源的要求

因为标尺本身是不发光的, 只有当它掠过光斑时才有投影, 所以决定标尺刻线移动距离 l 的是照射在标尺平面上光斑的宽度 b (参阅图 4)。显然, 减小光斑的宽度对增加象的清晰度也是有好处的。

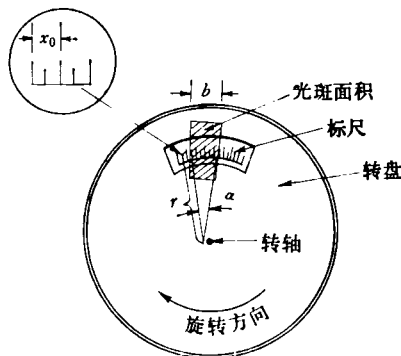


图 4

设标尺到转轴中心的半径为 r , 光斑宽度 b 所张的圆心角为 α , 则 $b = \alpha r$ 。 b 越小, 则 α 越小; α 越小, 则标尺在运动一周的过程中被照亮的时间越短(通常只有一周的百分之一左右), 这会使得投影的象变暗。此外, 随着放大率 β 的增大, 象也会变暗。于是在解决了“动”和“静”这对矛盾之后, 又产生了新的矛盾, 即象的“清晰度”与“亮度”的矛盾。这个困难我们是采取如下的办法解决的。

3. 静止透镜的作用

考虑到操作的安全和测试的方便, 要求将标尺的象投影到二、三米以外的屏幕上观察, 一般说来有六、七十倍的放大率就足够了, 但要求象有一定的清晰度

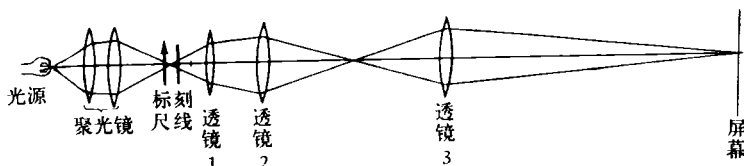


图 5

和亮度。从清晰度的要求来看,放大率越大越好,但这对亮度不利。我们采取了图5所示的光路。其中光源和聚光镜是静止的,标尺刻线和透镜1分别装在图1的A、B、C三个圆盘上,与轴一起高速转动。在透镜1之后,再加两个静止的透镜2和3,它们的作用是将透镜1所成的象加以缩小或放大。由于这两个透镜静止不动,它们对刻线间隔 x_0' 和宽度 l 的放大率是一样的,换句话说,它们不再改变透镜1的象平面上 x_0' 和 l 的比例关系,即不再改变象的清晰度,只是进一步改变它的大小和亮度。我们采用了这种三级放大的办法,先使转动的透镜1将标尺放大到数百倍,这可使命的清晰度很高,但很暗。由于实际上并不需要这么大的放大倍数,利用静止的透镜2将前级象缩小,然后经静止透镜3重新放大到较小的倍数,使三级总的放大率达到所需的六、七十倍左右。这样既无损于清晰度,又保证了一定的亮度。我们用毛玻璃作为观察屏幕,在屏幕周围加遮光罩筒,挡住旁边来的杂散光,同时提高光源强度,就可以在白天进行观察。

三、各元件的作用和要求

1. 为提高标尺照度,光源最好用大功率、灯丝面积小的灯泡。在我们装置上用的是12伏50瓦的8.75毫米电影放映灯泡。

2. 为了减少光能损失,聚光镜应采用短焦距透镜组,这两个透镜的焦距比最好不大于1,否则在标尺处得到的光斑就不够小,这对消除象的转动因素不利。装置用的是8.75毫米电影机的放映镜头,倒过来使用(原靠近影片的一端对着标尺)。

3. 标尺应置于透镜1的前焦点稍内一点,这样成的是高度放大的正立虚象。装置用的是每毫米10格的径向分度标尺。

4. 透镜1的孔径、焦距必须与标尺的大小、装置

的几何位置相适应。此外还应适当注意消除色差和球差。我们用的是孔径12毫米、焦距22毫米的双凸透镜。

5. 透镜2的作用是把经透镜1的象缩小为实象,并成象于透镜2后焦点稍外一点,便于透镜3再放大。我们用的是孔径33毫米、焦距120毫米的望远镜物镜。

6. 透镜3是根据最后的放大倍数,以及屏幕的距离而定,把经透镜2缩小的实象再次放大到设计要求的倍数,并投影于屏上。以放映镜头为宜。我们用的是孔径37毫米、焦距149毫米的组合镜头。

必须说明,上述透镜1,2,3的规格只是为了暂时的方便,借用了从别的仪器上卸下的光学部件。为了增进成象的质量,我们必须对光路中的所有光学部件作光学设计的计算,成批生产这种仪器时必须这样做。

从以上的初步分析可以看出,在高速旋转物体的显微投影中所出现的“动”与“静”,“清晰度”与“亮度”这两对矛盾,是相互制约、相互影响的,主要矛盾是“动”与“静”的矛盾,在解决过程中,往往需要对一些现象进行分析,去伪存真,由表及里,抓住实质,才能迎刃而解。譬如,我们起先看到一些假象,搞不清楚象的运动规律,开始也没注意到光斑大小对成象清晰度的影响,等等,从而提出某些解释和设想,再经实践去检验它是否正确。经过一次又一次的实践、认识、再实践、再认识,使认识逐渐接近于客观真理。通过这次开门办学实践,不仅促进了我们对透镜成象规律等几何光学知识的学习、理解和掌握,而且对辩证唯物论的认识论有了进一步的认识和体会。

我们试制的光学扭力测功机经使用单位试用后,对一般转速(每分钟6000转以下)的水泵完全适用,精度可达0.5—1级,反映较好。在每分钟20000转以下也已测试成功。现在准备继续试用一段时间后作些改进,再普及推广。

(上接第35页)

偏转 45° ,将 AB 50等分,则在弦 AB 上可相应得到50个点,各点间的距离表示 $1\mu A$ 。

另外,为了扩大量程,加了一个量程转换开关。如图6所示,并联电阻 R_2 等于电表内阻,串联电阻 R_1 等于电表内阻的一半。当开关 K 置于“1”所示的位置时,为正常记录;当开关置于“2”所示的位置时,量程扩大一倍。

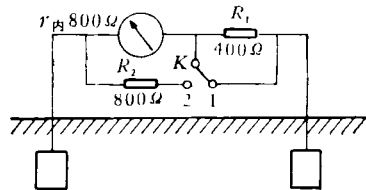


图6 扩大量程线路

三、注意事项

1. 每天定时上发条一次;
2. 换纸时,先将落弓抬起放在表头后面,然后将记录架沿导轨拉出,取出贮纸轮,卷上95毫米宽的记录纸,安上贮纸轮,让记录纸平整地穿过复写纸与支承钢丝之间,两摩擦轮之间,然后将记录架推回原处,将落弓放下。

仪器制成后,还可以进一步改进,比如在动力轴上多加一套电极变换装置,就可以同时记录几道土地电的数据。另外,要能自制一个小电动机作动力的话,就不必再用闹钟。不少同志已经这样作了,你不妨也动手试一试。