

降低高速摄影机齿轮传动噪音和振动的方法

薛培中 王慧娥

一、概 述

旋转反射镜光学补偿式高速摄影机（原理见图1）胶片是在连续输片的过程中感光成象的。胶片在15米/秒的速度下必须与转镜反射的象保持严格的同步，否则就会产生象移出现虚象。实现这种同步运动，是靠一组齿轮来传动的。齿轮传动的误差，以及高速运转中产生的振动和不平稳，将直接影响到成象的质量。

摄影机中除输片与转镜的同步用齿轮传动之外，送片、收片等机构也是采用齿轮传

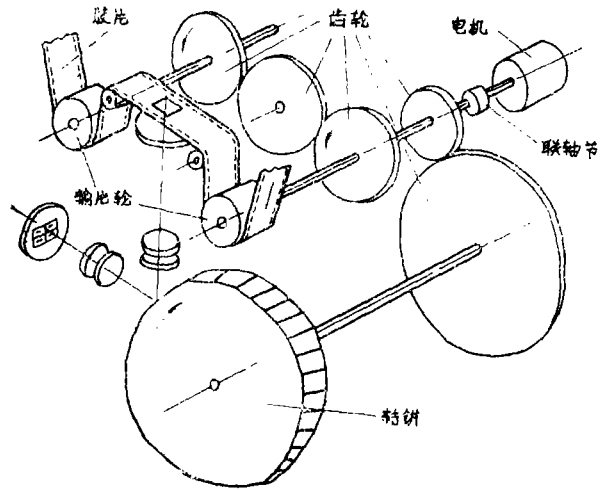


图 1

其中 X —柔轮的横座标值
 Y —刚柔轮的纵座标值
 S —刚轮的齿宽度

图4和图5中可以看出，这两条曲线
1) 其基本形状相同；2) 最大间隙基本相同，只是干涉情况有所不同。

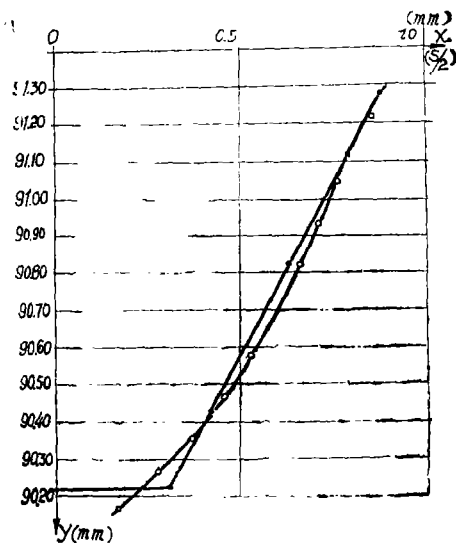


图 5

上述两个曲线（图4与图5）相异的主要原因在于零件的加工误差，实验误差以及采用的自动程序算法计算时，有一些假设条件，如不考虑负载，柔轮没有切向变形等。但总的看来，自动程序算法所得的结果与实际啮合情况基本相似，因此这种计算方法是可行的。同时它有实验方法所达不到的一些优点，如它可以算出一个齿的很多截面的啮合情况（因为在运动中柔轮齿有扭转变形），能够自动选择最佳参数以及产品加工之前预先知道其啮合规律等。

六、结 论

连续摄影法不仅具有简单、易行、直观、连续等特点，而且能够比较准确地反映出柔轮和刚轮在任意瞬间的相对位置。因此对研究任何一种新传动的啮合过程，找出其啮合规律，进行正确的设计是一种可靠而有效的方法。

动。齿轮的圆周线速度在 30M/S 以上。齿轮的运动精度，工作平稳性精度，接触精度以及齿轮传动的噪音和振动等因素，都会影响摄影机的工作质量。因此研究与分析高速齿轮传动的性能，并提出降低噪音和振动的方法是我们要解决的问题。

二、齿轮传动的设计

齿轮传动的结构图见图 2。

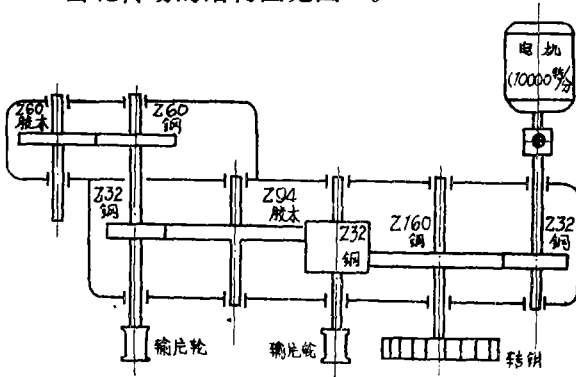


图 2

齿轮箱由七个齿轮组成，有五对齿轮相啮合，是直齿圆柱齿轮。模数 = 1 mm 输入轴与转镜之间的速比为 1 : 5，两输入轴之间的速比为 1 : 1，齿轮的制造精度为 JB305—67 的 Dc—5 级。为了降低噪音，齿轮材料采用了钢—酚醛棉布层压板（或称夹布胶木）和钢—铜搭配，钢齿轮都是磨齿的，齿面光洁度为 ∇_6 ，铜齿轮和夹布胶木齿轮在精滚后进行剃齿，铜齿轮的齿面光洁度为 ∇_7 ，胶木齿轮的齿面光洁度为 ∇_6 。齿轮箱中的轴承都是 C 级精度单列向心的滚珠轴承，箱体的轴承孔距公差为 ± 0.007 毫米，轴心线的平行性要求 0.005/50mm。

三、影响噪音和振动的因素

齿轮箱在高速运转时，由于齿轮的制造误差，回转件的质量不平衡，以及轴承电机的不平稳等各种因素都会引起噪音和振动。

1. 齿轮精度与噪音的关系：

通常来说，齿轮的精度高、噪音要小。

但在实际中也出现过用单项精度不合格的齿轮装在齿轮箱上其噪音比合格齿轮噪音还要小的情况。仅仅用单项检查控制齿轮精度是不够的。采用双面啮合综合检验或单面啮合综合检验方法，能够更充分地反映齿轮在连续运转中的误差情况。

将配对齿轮进行双啮综合检查、单啮综合检查，得出一齿中心距变动或单啮一齿误差不超过 6μ 时，齿轮箱的噪音都比较小。

图 3 是双啮对滚曲线，图 4 单啮对滚曲线。

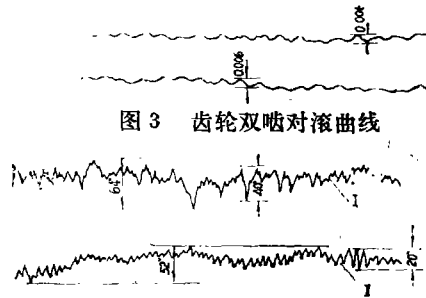


图 3 齿轮双啮对滚曲线

图 4 齿轮单啮对滚曲线

图 4 为两台齿轮箱的输入轴与转镜轴齿轮的单啮对滚曲线，曲线 I 的单啮一齿误差 $f'_i = 40''$ 这台齿轮箱的实测噪音为 72db（分贝）曲线 II 的 $f'_i = 20''$ 齿轮箱噪音为 67db。

通过实测在各种转速下的噪音频谱，也可看出噪音主要是由齿轮每转一齿的频率而产生的（见表 1）

表 1

齿轮箱转速 (转/分)	齿轮转一齿 频率 (赫)	噪音频谱 (赫)	齿轮噪音 (分贝)
840	448	382	76
	840	670	
1800	960	1050	83
	1800	1800	
2280	1216	1180	84
	2280	2200	
4200	2240	2220	88
	4200	4200	
4800	2560	2700	91
	4800	5100	
6360	3392	3430	101
	6360	—	

齿轮的单齿误差对噪音的能级影响是较大的。提高齿轮的工作平稳性精度，尤其

是齿轮的对滚精度就可以降低噪音。

此外齿轮的接触精度以及齿面的光洁度对齿轮箱的噪音也有较大的影响。如有一台齿轮箱齿面光洁度和接触精度都不好，实测的噪音为102db，当采取在齿面上涂少许氧化铬抛光膏进行轻载跑合抛光后，再实测噪音就降至92db。

2. 齿轮的速度与噪音和振动的关系：

齿轮箱在不同的转速下运转时，产生噪音的声级以及振动的振幅值都不相同；随着转速的增加，噪音声级和振幅都相应地增大。

图5是实测噪音与转速的关系，图6是齿轮箱的转速与振动的关系。

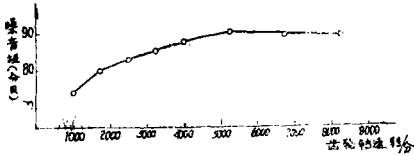


图5 速度和噪音曲线

从曲线上可以看出，噪音声级和振幅值是随着转速成正比地增加，但并不是线性的关系，当噪音和振动频率结构的自然频率相重合时，出现共振现象，噪声级与振动振幅值会突然增大。但噪音和振动的共振频率并不是一致的。所以摄影机使用速度应避免噪音与振动的共振点。

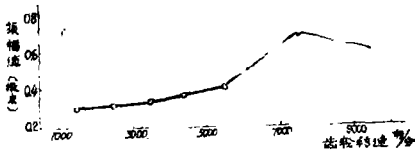


图6 速度和振幅曲线

齿轮箱的振动，主要来源于回转件的不平衡质量，其振动的频率与齿轮（也包括电机）的转速相对应。也就是说各种转速下的振动频率与齿轮转速的频率相关。如表2所示。

图7是用示波器记录下来的齿轮箱振动的曲线；可以明显的看出齿轮速比1：5的两种频率的振幅。小振幅a代表小齿轮的振幅，b代表大齿轮的振幅。

对电机转子和大齿轮进行精细的动平衡检查可以有效的减少齿轮箱的振动。振动的振幅可从未动平衡前的 1.9μ 降至 1μ 。

3. 齿轮的材料与结构对噪音的影响：

高速摄影机齿轮，一般都采用金属齿轮与非金属材料（高阻尼性能的材料）齿轮相搭配的方法。我们采用了两种齿轮材料，一种是酚醛夹布层压板的齿轮，这种材料尺寸稳定性差，对于5级精度的齿轮很难保持精度。图8是对 $\Phi 70$ 夹布层压板齿轮毛坯在 70°C 的油中煮15天之后，测量其尺寸变化的结果。可以看出经过三个月的时间，尺寸的变化才稳定下来。

表2

齿轮箱转速 (转/分)	齿轮一转频率 (赫)	振动频率 (赫)	齿轮箱振动 (μ)
1100	18.5	19	0.48
	3.5	3.8	
1980	33	40	0.46
	6.5	8	
2820	47	55	0.38
	9.4	11	
3600	60	70	0.65
	12	14	
4500	75	80	0.50
	15	16	
6600	110	125	0.50
	22	25	
8400	140	155	0.50
	28	31	
9600	160	175	0.50
	32	35	

这种材料还受布纹经纬线的影响，直径的变化具有方向性，顺着经线和纬线的尺寸变化量大。因此要得到各个方向均匀变化的齿轮，只有专门压制经纬线方向等角交错的层压板。



图7 齿轮箱振幅曲线

另一种材料采用铜粉 烧结浸塑材料来代替青铜材料，这种材料在降低齿轮噪音和减少振动方面都得到好的效果。它的强度与

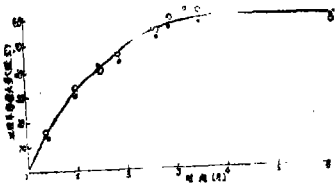


图8 酚醛夹布层压板齿轮毛坯油煮后尺寸变化曲线

普通铝相近，用它做大齿轮时，噪音由原来的92db降至82db。由于它是以金属为基体，尺寸稳定性比非金属材料要好。

齿轮的结构对提高刚性也很有影响，这两种材料做成的齿圈毛坯先紧固在钢制的齿轮体上，然后再进行齿的精加工，以此保证齿轮的制造精度。

4. 齿轮箱的传动精度与噪音的关系。

齿轮箱装配时，不仅配对齿轮要予先进行单啮或双啮对滚检验，还要选择合适的齿侧间隙，齿侧间隙量以0.01毫米左右为宜。

齿轮箱的传动精度，采用光栅式传动测试仪进行测量，这套测试装置的精度为5秒。图9是测试装置照片。

其中 0_1 ， 0_2 是光栅头，3是高速齿轮传

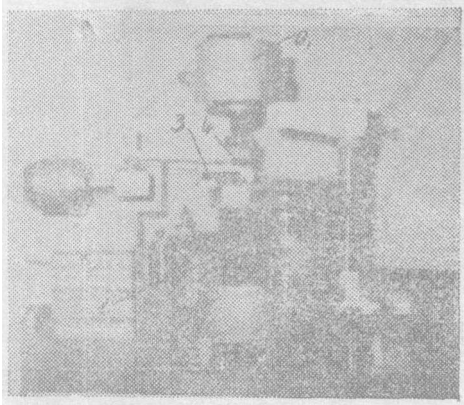


图 9

动箱，4、5是联轴节。这种测试方法能够连续的测出齿轮箱的传动精度（其中包括齿轮、轴承）图10是速比1：1的传动误差曲线包括齿轮每转的误差，也包括每齿的误差。

对于脏物和齿面缺陷能明显的看出，这种测试方法能真实的反应出齿轮箱的传动精度。根据实测表明，齿轮箱传动精度为 $3'20''$ 时，齿轮箱的噪音为92db，而提高齿轮箱的传动精度至 $1'2''$ 时，噪音下降至82db。



图10 齿轮传动误差曲线

四、结 语

通过对高速摄影机齿轮传动的实验研究，降低齿轮传动噪音和振动问题的初步结果：

1. 齿轮传动噪音频谱中，每转一齿的频率占声级的主要成分。必须严格控制齿轮工作平稳性精度和齿的接触精度。对于单项精度检验合格的齿轮，进行双面啮合或单面啮合对滚检查，误差数值不超过 6μ 时齿轮箱的噪音能得到满意的结果。

2. 齿轮箱的振动主要来自回转件的不平衡质量，对组装后的齿轮、电机的转子要进行精细的动平衡检查。

3. 选用高阻尼性能和尺寸稳定性好的齿轮材料，如酚醛夹布层压板经过油煮后稳定时效，或采用铜粉烧结浸塑材料，都可得到高精度低噪音的良好结果。

4. 增加齿轮结构上的刚性，提高装配质量和进行齿轮跑合等项措施对减小噪音也是有效的。