

振动、噪声、冲击的测量 仪器与系统手册

(下 册)

〔苏〕 B. B. 柯留耶夫 主编

郭营川 郭振芹 张荣祥 译

尤德斐 校

国防工业出版社

内 容 简 介

在本书下册中介绍了各种非接触式振动参数测量仪；对各种机器的振动状态进行检测的仪器；进行动平衡的仪器；振动试验方法和系统；振动、噪声、冲击的测量分析系统；各种振动台和冲击台的分类、特性、结构特点以及振动、噪声、冲击的计量学保证等有关问题。

本手册可供从事振动测量的人员；仪器研究、设计和使用的工程师、技术员和工作人员，以及高等学校和中等专业学校学生使用。

Приборы и системы для измерения
вибрации, шума и удара (справочник)

В. В. Ключев

Машиностроение, 1978

*

振动、噪声、冲击的测量仪器与系统手册 (下 册)

〔苏〕 В. В. 柯留耶夫 主编

郭营川 郭振芹 张荣祥 译

尤德斐 校

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印刷

*

850×1168¹/₃₂印张14³/₄ 390千字

1988年10月第一版

1988年10月第一次印刷

印数： 0, 001— 2, 780 册

ISBN 7-118-00197-X/TH13

定价： 8.50元

译者序

本手册的下册介绍了各种非接触式振动参数测量仪,对各种机械特别是旋转机械的振动状态进行检测的仪器、进行动平衡的仪器;振动试验和试验设备的要求,振动试验方法和试验系统,振动、机械阻抗、噪声和机械冲击的测量分析系统,各种振动台的分类、特性、结构及其配套使用的仪器,冲击试验的任务和方法,冲击台的分类和结构特点;振动、噪声、冲击测量仪器与测量系统的计量学保证手段;目前应用的各种校准设备、校准方法和全苏计量检定系统。对其中不少内容,在此之前其它书中未见过这样详尽的介绍,它对我国科学技术界将提供极有价值的参考资料。下册的第九、十二、十四、十五、十六章由郭营川翻译,第十章由郭振芹翻译,第十一、十三章由张荣祥翻译,全书由尤德斐校对。由于知识面有限、时间仓促,译文中肯定会有不少错误与不当之处,恳切希望广大读者批评指正。

译者

目 录

第九章 振动参数的非接触式测量仪	1
§ 1 干涉测量仪	1
§ 2 应用多普勒效应的测量仪	24
§ 3 调制型振动计	36
§ 4 应用光的空间调制的测量仪	38
§ 5 全息测量仪	41
§ 6 应用纤维光学原理的测量仪	45
§ 7 无线电波测量仪	46
§ 8 应用穆斯鲍尔效应的测量仪	50
§ 9 电容式和驻极体式测量仪	51
§ 10 涡流式测量仪	54
§ 11 声学式测量仪	58
参考文献	64
第十章 检测并发出信号的振动测量装置	65
§ 1 一般特性和结构	65
§ 2 周期地检测机器振动的携带式装置	68
§ 3 对机器在运行中进行检测的固定式装置	77
§ 4 关于选择检测及发出信号装置的特性的建议	113
参考文献	118
第十一章 平衡装置	119
§ 1 均衡过程的基本特性和平衡装置	119
§ 2 具有电滤波器的装置	125
§ 3 具有乘法选择设备的装置	134
§ 4 具有综合选择设备的装置	144
§ 5 平衡系统	145
参考文献	148
第十二章 振动试验系统	149

§ 1 对振动试验和试验设备的要求	149
§ 2 振动试验方法	150
§ 3 振动试验系统	156
参考文献	216
第十三章 振动、冲击与噪声的测量及分析系统	217
§ 1 振动的测量和分析系统	217
§ 2 机械阻抗测量系统	246
§ 3 声学噪声的测量系统	258
§ 4 测量机械冲击的系统	266
§ 5 测量振动、冲击和噪声的可校正工作状态的自动化系统	269
参考文献	284
第十四章 振动台	286
§ 1 各种振动台的共同特性与分类	286
§ 2 用于振动台的激振源	289
§ 3 用于振动台的低频功率放大器	352
参考文献	364
第十五章 冲击台	365
§ 1 冲击试验的任务和方法	365
§ 2 冲击台的分类和结构特点	370
§ 3 制动件的分类和结构特点	378
§ 4 各种冲击台	383
§ 5 在冲击台上复现冲击载荷的特点	399
参考文献	414
第十六章 振动、噪声、冲击测量仪器与测量系统的计量 保证	415
§ 1 振动、噪声、冲击测量误差的估算	415
§ 2 振动、冲击测量仪器的校准设备和试验设备	428
§ 3 地方检定系统	449
§ 4 噪声测量仪器的校准设备和试验设备	451
参考文献	464

第九章 振动参数的非接触式测量仪

一般说来非接触式的振动测量仪器与系统是一种相对振动测量仪，它是根据运动学测量原理进行测量的。

某些非接触式测量仪测量振动参数时可不必对被测试件表面进行任何附加处理，例如不用涂覆反射层，不用刻线和光栅等。但人们也应用主要以非接触方式取得信息的另一种仪器与系统，这时就要在试件上设放辅助装置，用它把机械振动转换为电信号。与一般非接触式测量仪不同的是这种系统具有一系列缺点，即它要给试件局部加载，测量过程难度大，功能也有限等。而它的特点是在保证测量精度足够高的情况下数据处理设备可以相当简单。

在研制新型的测量振动的非接触式仪器与系统及使用自制的或批量生产的非接触式振动测量仪时，必须考虑试件表面的质量（镜面、漫反射面等）、决定测量灵敏度和精度的试件与测量仪之间的间隙、以及周围介质对非接触式测振仪的工作和精度的影响。根据测量原理，测相对振动的非接触式测量仪可以分为电磁式的、光学式的、辐射式的、电的、声的和磁的几种。

无线电波式的和涡流式的装置属于电磁式测量仪，而电容式的和驻极体式的传感器则属于电测装置。

干涉测量仪和基于由被测物体反射回来的光源频率的变化进行测量的仪器（多普勒效应），应用光辐射的空间调制的调制式仪器，以及应用纤维光学进行测量的仪器都属于光学式仪器。

§ 1 干涉测量仪

激光干涉仪应用了光的干涉现象。

激光干涉仪分为量子式的和带有激光光源的两种（图 9-1）。

量子干涉仪是一种将被测物体放在激光谐振器之内，或者被测物体就是激光谐振器的一部分的一种光学测量装置。

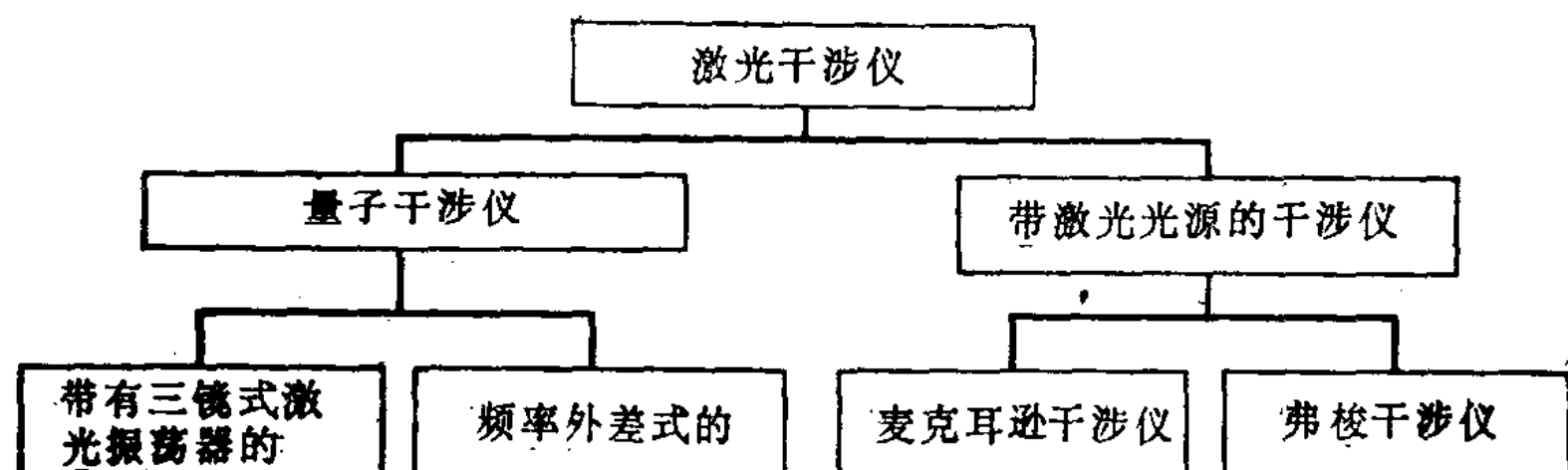


图9-1 激光干涉仪的分类

量子干涉仪又可分为带有三镜式激光振荡器的和频率外差式的。为了得到激光的单模振荡，在谐振器中放置了孔径可调节的光阑。经过半透明镜和透镜系统之后辐射光进入光接收器，其输出信号再经放大器，最后进入频率计，测量频率差 f 。

在量子干涉仪中实现了两束激光的外差作用，这种量子干涉仪可用作振动传感器，测量小于 1 微米的振幅。该装置中有两个短的带放电管的气体激光器，分别放在由反射镜组成的谐振器中。第一个激光器的全反射镜与会聚声辐射的传声器连在一起，传声器的膜片激励全反射镜产生振动。第二个半反射镜固定在压电晶体片上，用压电晶体片进行微调，使第一个激光器相对于第二个激光器产生频率差 Δf 。激光测量光束与本机振荡光束在反射镜处混频，然后进入检光器、限幅器和在频差 Δf 上调谐的鉴频器。反馈回路中的窄带滤波器用来抑制具有膜片振动频率的信号。

测量激光束被声波频率所调制，因而在鉴频器的输出端产生频率与幅值等于膜片振动频率与幅值的信号。上述的量子干涉仪可以记录 200 千赫的频率偏移量，这相当于 10^{-8} 微米的膜片振幅值。

带有三镜式激光振荡器的量子干涉仪的工作原理是：在将一小部分能量转换为激光时，由于外界反射物的移动使光程长度发

生变化，从而使光强发生调制来进行测量。

此时记录装置将记下辐射光强最大值和最小值的数目，最大值与最小值之间的距离相当于半波长，测量出物体移动的时间和距离，就可以得到它的运动速度。

带有三镜式激光振荡器的量子干涉仪的缺点是：在确定光程长度的变化方向时不是单值的，这就难以判读测量结果。此外，谐振器中的光强与激励电压的脉动、谐振器中各镜子的调整情况、以及其它增加测量误差的许多因素有关。

有好几种方法可用于记录干涉条纹图和测量位移振幅。图9-2给出了带有激光干涉仪的振动装置的结构原理图，在这里是用记每个振动周期的干涉条纹数的方法测量位移振幅的。

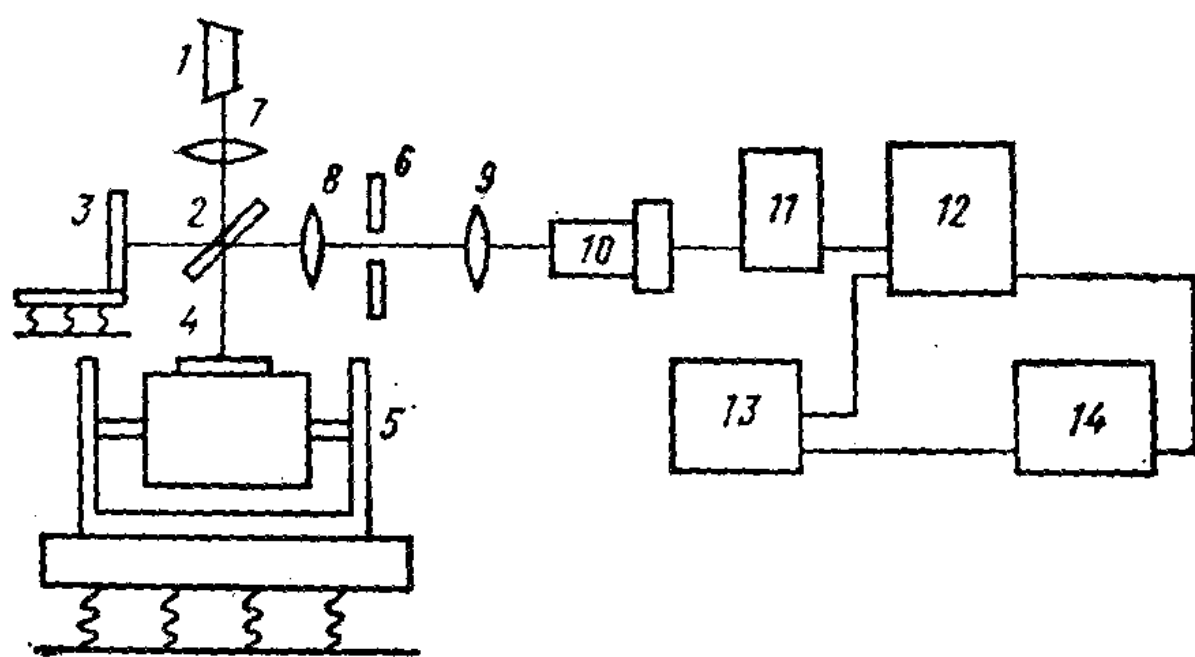


图9-2 带有激光干涉仪的振动装置的结构原理图

- 1—光源；2—半透明镜；3、4—反射镜；5—振动台；6—狭缝光阑；
7、8、9—透镜；10—光接收器；11—阴极输出器；12—脉冲计数器；
13—振动周期计数器；14—同步装置。

该装置是用下述方法计干涉条纹数的：光接收器10输出的信号经过阴极输出器11后进入电子脉冲计数器12的输入端，该计数器受外部脉冲控制进行起动和停止计数。开始计数和停止计数的信号由用矩形脉冲起动的同步装置14提供，矩形脉冲的周期等于振动台5的振动周期。最后信号进入振动周期计数器13。

由于干涉条纹数可以确定位移幅值：

$$A = \frac{\lambda}{2} \frac{N}{4n}$$

式中 n —— 振动周期数;

N —— 在全部振动周期内计得的干涉条纹数 ($N > 10$)。

对于氦氖激光 $\lambda = 0.6328$ 微米。如以微米为单位计算干涉条纹, 我们选择振动周期数为常数 ($n = 791$), 因此测量振幅的公式成为:

$$A = 10^{-4} N$$

在振动台 5 活动系统正向和反向行程的一个周期内计得的条纹数正比于 4 倍的振幅, 所以在干涉仪的光程差存在零点飘移时, 不会带来振幅测量误差, 因为当振动台在某一方向运动时若零飘增加振幅测量的误差, 则在相反方向运动时就会减小误差。这种方法是在大量的振动周期内进行振幅测量的。多振动周期计数法的测量极限是 5 ~ 100 微米, 误差是 0.1 ~ 0.3 微米。可以用计 1 秒钟内频率数的办法代替控制线路中由外部起动和停止频率计的办法。此时测量位移幅值的公式成为:

$$A = \frac{\lambda}{8} \frac{N}{tf}$$

式中 f —— 振动台的振动频率 (赫);

t —— 测量时间。

在频率比 $\frac{N}{f} > 10$ 时, 位移幅值的测量归结为确定由检光器得到的干涉信号与由信号发生器得到的振动台振动信号的频率比, 该频率比可以由 Q3-35 型频率计进行测量。

对干涉带变化的周期进行计数来测量振动速度的方法如下: 用反射镜 4 的振动频率来确定计数时间间隔, 因此在此时间间隔内由振动周期计数器 13 对光接收器 10 的输出信号进行计数的结果将与平均振动速度成正比。振动台的平均速度 (以微米/秒为单位), 也即反射镜 4 的平均振动速度为:

$$v_{\text{平均}} = \frac{4A}{T} = \frac{\lambda}{2} \frac{N}{nT}$$

式中 T —— 振动周期。

1. 用干涉条纹消失法测量位移幅值 这种方法是利用下列

现象进行测量的：在振幅值是第一类零级贝塞尔函数根的整倍数时，干涉条纹图消失。实际上，干涉图形中两束光线的强度为：

$$I_2 = K_2 \left[1 + J_0 \left(\frac{4\pi A_i}{\lambda} \right) \cos \frac{2\pi x}{b} \right]$$

式中 K_2 ——常数；

$J_0 \left(\frac{4\pi A_i}{\lambda} \right)$ ——第一类零级贝塞尔函数；

x ——与干涉带垂直的直线坐标；

b ——干涉带的宽度。

在 $x_1 = 2.405$ 时，第一类零级贝塞尔函数 $J_0 \left(\frac{4\pi A_i}{\lambda} \right)$ 出现第一个零点。这时 $A_1 = \frac{x_1 \lambda}{4\pi} = \frac{2.405 \times 0.6328}{4 \times 3.1416} = 0.121$ 微米。

在表 9-1 中给出了通过计算得到的与前 10 阶干涉图消失点对应的振幅值。

表9-1 第一类零级贝塞尔函数的零点

消失点	根	位移幅值 (微米) ($\lambda = 0.6328$ 微米)	消失点	根	位移幅值 (微米) ($\lambda = 0.6328$ 微米)
1	2.405	0.121	6	18.071	0.909
2	5.520	0.262	7	21.212	1.064
3	8.654	0.435	8	24.353	1.225
4	11.792	0.593	9	27.494	1.383
5	14.931	0.751	10	30.635	1.541

在 50~10000 赫的频率范围内，用干涉条纹消失法测量振幅的极限是 0.1~0.5 微米，其误差为 3~5 %。

2. 使用窄带滤波器，通过光电法测量位移幅值 使用调谐在振动频率上的窄带滤波器，可以通过光电法测量位移幅值，其方法如下：由光接收器的输出信号中分离出一次谐波，用普通的电流测量仪对其进行测量。

光接收器（例如光电倍增管）的输出电流为：

$$I = C + B \sin \frac{2\pi}{\lambda} (\delta_0 + A \sin \omega t)$$

式中 $B、C$ ——常数；
 δ_0 ——干涉仪的初始光程差；
 A ——位移幅值。

通过调谐在振动频率 ω 的窄带滤波器的信号可以用下式表示：

$$i = 2B_1 \sin \left(4\pi \frac{\delta_0}{\lambda} \right) J_1 \left(4\pi \frac{A}{\lambda} \right)$$

式中 $J_1 \left(4\pi \frac{A}{\lambda} \right)$ ——第一类贝塞尔函数；
 $2B_1 \sin \left(4\pi \frac{\delta_0}{\lambda} \right)$ ——在光程差 δ_0 不变时测量装置的常数。

在参数 $x = 1.840$ 时第一类贝塞尔函数 $J_1(x)$ 出现第一个最大值，其值为 0.5819，相应的位移幅值是：

$$A = \frac{x\lambda}{4\pi} = \frac{1.840 \times 0.6328}{12.566} = 0.0926 \text{ 微米}$$

在 $x = 3.8317$ 时第一类贝塞尔函数 $J_1(x)$ 出现第一个零值；其位移幅值为：

$$A = \frac{x\lambda}{4\pi} = \frac{3.8317 \times 0.6328}{12.566} = 0.1997 \text{ 微米}$$

表9-2 第一类贝塞尔函数的最大值和零值，以及
 $\lambda = 0.6328$ 微米时的位移幅值

n	最大值		函数零值	
	x	位移幅值(微米)	x	位移幅值(微米)
1	1.840	0.093	3.8317	0.200
2	5.330	0.268	7.0156	0.353
3	8.535	0.430	10.1735	0.512
4	11.705	0.589	13.3237	0.671
5	14.860	0.748	16.4706	0.829
6	18.00	0.91	19.1659	0.988
7	21.14	1.07	22.7601	1.146
8	24.28	1.22	25.9037	1.304
9	27.42	1.38	29.0468	1.463
10	30.56	1.54	32.1897	1.621

在表 9-2 中给出了第一类贝塞尔函数的最大值和零值, 以及应用波长为 0.6328 微米的激光作光源时的位移幅值。

使用窄带滤波器的光电测量法可用来测量 20000 赫以下、振幅为 0.1~1.0 微米的振动, 其测量误差为 2~5 %。

3. 测定正弦振动振幅的示波器法 这种方法是依靠测量示波管屏幕上光电流曲线的参数来进行的。如果运动反射镜的位移幅值小于激光谐振器辐射波长的四分之一, 则在示波管屏幕上观察到的光接收器(例如光电倍增管)的输出信号是正弦波, 其频率为振动频率的两倍。当运动反射镜的位移幅值大于波长的四分之一时, 正弦曲线就出现附加的极值(图9-3)。在位移幅值等于波长的一半时, 干涉条纹的频率加倍。观测示波管上的信号可以得知, 时刻 1 和 2 是干涉带或运动镜处于极限位置的时刻^①。此时反射镜和干涉带反向运动, 也即在时刻 1 与 2 之间的时间间隔等于干涉带和反射镜振动运动的半个周期。

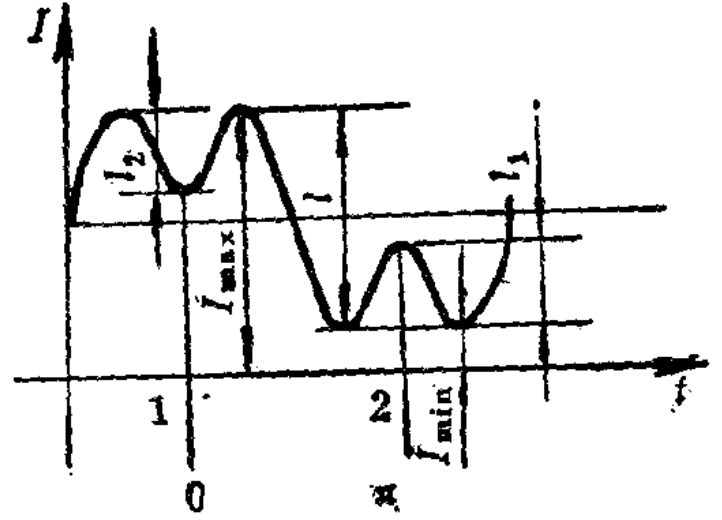


图9-3 测量振幅的示波器法

干涉带或运动镜的位移幅值由下式决定:

$$A = \frac{\sigma\pi + (-1)^{\sigma_1} \arcsin \frac{l_1 - l/2}{l/2} + (-1)^{\sigma_2} \arcsin \frac{l_2 - l/2}{l/2}}{8\pi} \lambda$$

式中 $\sigma = \sigma_1 - \sigma_2$ ——在时刻 1 与时刻 2 之间的半个振动周期内所观测到的极值数。

为了提高位移幅值 A 的测量精度, l_1 和 l_2 的大小应当同时进行测定。为此对示波管屏幕上的图象进行照相, 然后测定 l_1 和 l_2 的大小。借助于微调螺旋补偿初始光程差 δ_0 的变化也可在示波管

① 原书图 9-3 中所标的时刻 1、时刻 2 对应于速度最大的时刻, 不对应于运动的极限位置。——译者

屏幕上直接对 l_1 和 l_2 进行测量。补偿初始光程差 δ_0 的变化之所以必要,是因为 δ_0 决定了 l_1 与 l_2 之间的比值。但是用手动法调节干涉图形是相当困难的。

读取 l_1 和 l_2 的误差、电路的频率特性与理想情况相比存在的偏差、光接收器-倍乘器存在的噪声、示波器扫描的非线性等都会给测量振幅的示波器法带来误差。在1~30千赫的频率范围内测量误差不超过 0.002λ 。示波器法的测量极限是0.3~3微米。

4. 多光束干涉仪 下面讨论多光束干涉仪的基本特点。

多光束干涉图形的光强分布可用下式表述:

$$I = K_1 \left[1 + \sum_{n=1}^{\infty} A_n J_0 \left(\frac{4\pi A_n}{\lambda} \right) \cos \frac{2\pi n \chi}{b} \right]$$

若将多光束干涉和双光束干涉的光强进行比较,便可得出结论:在位移值大于0.5微米时看不到亮度最大值与最小值的明显的交替变化。这说明上式中的第二项仅在 $n=1$,也即双光束干涉的情况下取零值。在多光束干涉的情况下干涉图的对比度可变至最小(但不为零)。所以可以用多光束干涉仪测量小振幅或小位移。这正说明在用多光束干涉仪测量振幅时不能用干涉条纹消失法。

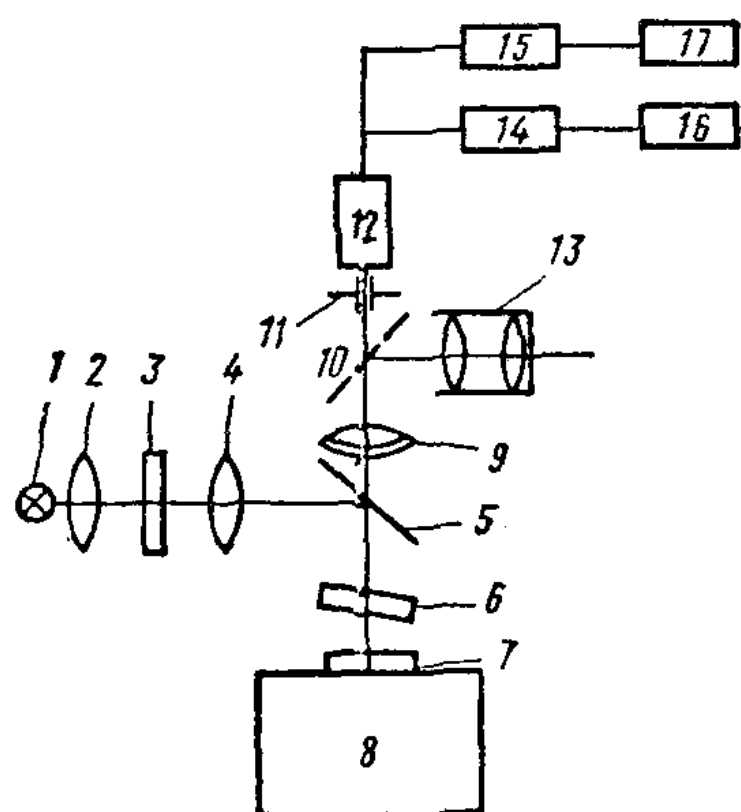


图9-4 应用多光束干涉的小振幅测量仪

1—光源; 2—聚光镜; 3—滤光片; 4—准直光管; 5—分光镜; 6—不动镜; 7—运动镜; 8—振动台; 9—物镜; 10—可拆卸的反光镜; 11—狭缝光阑; 12—光接收器-检光器; 13—目镜; 14—频率为 f_1 的放大器; 15—频率为 $2f_1$ 的放大器; 16—基波相位指示器; 17—二次谐波相位指示器。

图9-4上给出了测量小振幅的测量仪的结构原理图。这种测

量仪基本上是一种多光束弗梭干涉仪。应用检光器作为光接收器12，其输出信号接到相应于振动频率为 f_1 和 $2f_1$ 时的放大器14和15以及相应于基频和二次谐波的相位指示器中。

由光源1产生的光由分光镜5投射到平面镜6和7上，这两个镜子互相倾斜形成一空气楔。由于光线在两个镜子6和7之间的多次反射而产生干涉带，干涉带经狭缝光阑11后落到光接收器12上。如果狭缝光阑平行于干涉平面，而运动镜7又沿光轴振动，则干涉带的像垂直于狭缝光阑而移动。

经过狭缝光阑的光通量 F 是时间的函数：

$$F(t) = 2b \left\{ 1 - A_0(B-1) - (B-1) \sum_{n=1}^{\infty} A_n \frac{\sin nr\pi}{nr\pi} \right. \\ \left. \times \left[J_0(2\pi nn_0) + 2 \sum_{p=1}^{\infty} J_{2p}(2\pi nn_0) \cos 2p2\pi ft \right] \right\}$$

式中 b —— 光阑狭缝宽度的一半；

$$A_0 = \frac{2R}{1-R^2};$$

$$A_n = \frac{4R^{n+1}}{1-R^2};$$

$$B = \frac{1+R^2}{2R};$$

(其中 R —— 平面镜的反射系数；

n_0 —— 在干涉带长度内干涉带位移幅值的峰值；

J_{2p} —— 第一类的第 $2p$ 阶贝塞尔函数；

$$r = \frac{2b}{\lambda/k} \text{ —— 狭缝的相对宽度；}$$

k —— 决定于系统几何形状和参数的常数)。

为了用多光束干涉仪测定振幅，可用光接收器12分离出频率为 $2f_1$ 的二次谐波信号。这时在二次谐波相位指示器上可以观察到像“8”字的图形。在不同的振幅下二次谐波的变化具有一系列的摺点，这些点与振幅每变化一个 $\lambda/2$ 相对应。上述二次谐

波变化曲线的拐点使我们可以精确地测定位移振幅的离散值。在表 9-3 中给出了光强分布的二次谐波与位移幅值的关系。

表9-3 在干涉带长度内的位移幅值

n_0	$\lambda = 0.5461$ 微米	$\lambda = 0.6328$ 微米	n_0	$\lambda = 0.5461$ 微米	$\lambda = 0.6328$ 微米
0.119	0.0322	0.0374	5.037	1.375	1.5932
0.523	0.1428	0.1655	5.537	1.512	1.7520
1.032	0.2818	0.3265	6.038	1.649	1.9107
1.534	0.4188	0.4853	6.538	1.785	2.0683
2.035	0.5556	0.6438	7.038	1.922	2.2270
2.536	0.6924	0.8023	9.538	2.604	3.0173
3.036	0.8290	0.9606	10.038	2.741	3.1760
3.537	0.9657	1.1190	10.538	2.877	3.3336
4.037	1.102	1.2769	25.038	6.836	7.9209
4.537	1.239	1.4356	25.538	6.973	8.0796

在小于 1000 赫的频率范围内用多光束干涉法可以测量幅值为 $0.25 \sim 12.5 \lambda$ 的振动。对于振幅下限来说测量误差不超过 1%，对于上限不超过 0.05%。

用光干涉仪器测量振幅的缺点是其灵敏度与光源不稳定性变化的频率和幅值有关；与干涉光线的初始光程差有关；与干涉图形的对比度有关；与光接收器的狭缝所切除的干涉图形的相位分布有关。此外，反射面的粗糙度、光接收器的散弹噪声和热噪声也影响光干涉测量仪的灵敏度。

应用干涉现象制成了一系列振动参数测量仪。下面就对其中的某几种进行讨论。

5. ДИП-2型仪器 这种仪器是应用双频激光测量线位移的。该仪器由干涉仪部分和电子测量仪器部分组成(图9-5)。干涉仪部分包括激光稳频系统(СОЧ)和典型的迈克尔逊干涉仪，在干涉仪中用直角棱镜代替平面镜，用滤光片使激光分频。

激光光源被置于轴向磁场中，使光线分解成频率为 f_1 和 f_2 的右旋和左旋圆偏振激光，而四分之一波片又使之成为互相垂直的

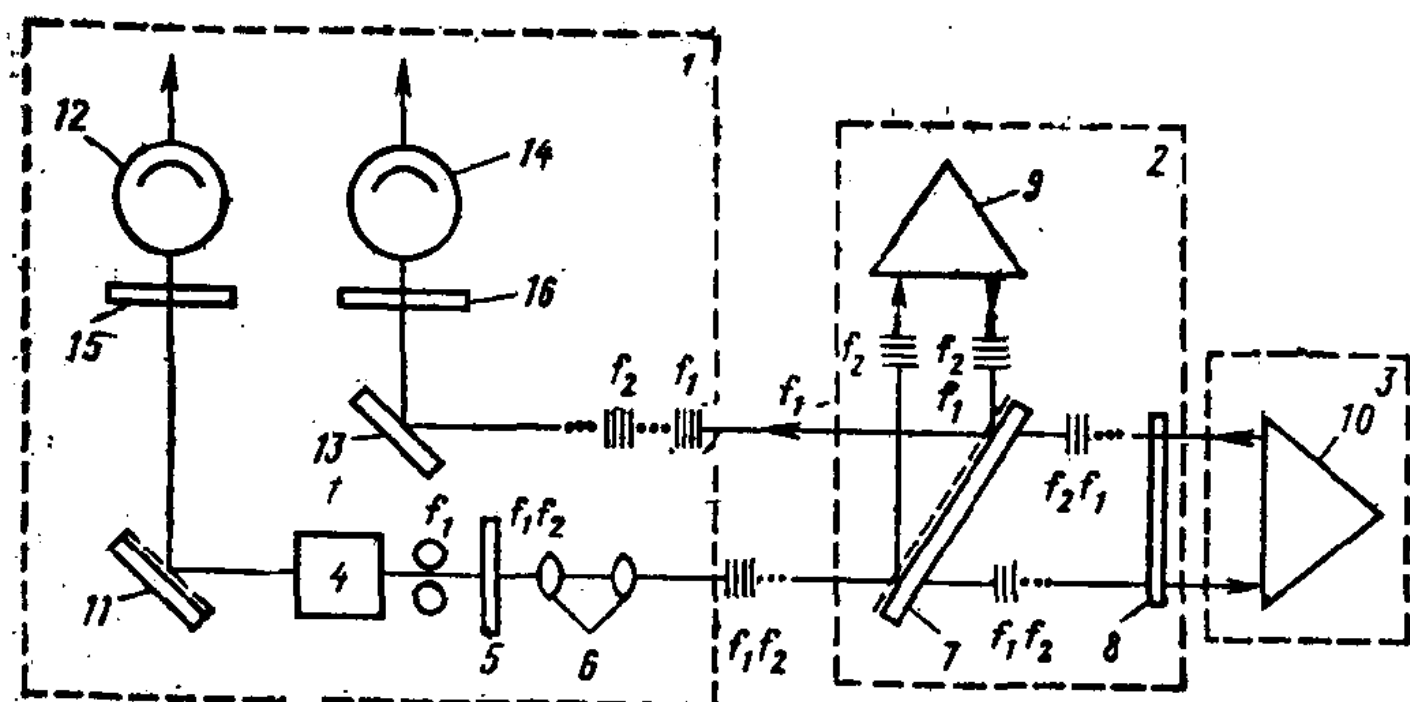


图9-5 ДИП-2 型仪器的结构原理图

1、2、3—迈克尔逊干涉仪部分；4—激光光源；5、8—四分之一波片；6—光束扩展透镜；7—分光镜；9—本机反射镜；10—运动反射镜；11、13—平面反射镜；12、14—光接收器；15、16—检偏振片。

偏振光，且落到半透明镜 7 上。放大倍数为 12.5 的扩展透镜 6 减小了光束的发散度。固定在被测物体上的运动反射镜 10 所反射的光线再次通过四分之一波片 8，因此光线的偏振平面又旋转 90° 。由于光线在分光镜 7 上重新汇合，这两对光线产生干涉，借助于平面反射镜 13 将它反射到检偏振片 16 上。检偏振片 16 将频率不同但具有相同偏振方向的成对的光分量分离出来，并把它们传送到光接收器 14 上。在反射镜 10 不动时，不同频率光束在光接收器 14 表面上的干涉提供了频差信号。当反射镜 10 运动时，激光束得到多普勒频移，根据运动的方向，光接收器 14 所得信号的频率为：

$$f_{\pi} = f_0 \pm f_{\pi}$$

借助于平面反射镜 11，激光束在通过检偏振片 15 之后落到本机光接收器 12 上。由检偏振片分离出的场分量发生干涉，产生本机频差信号 f_0 。

所得测量信号和本机信号的相位差为：

$$\psi_{\pi} - \psi_0 = \frac{2\pi(l_2 - l_1)}{\lambda} = \frac{2\pi L}{\lambda}$$

式中 l_1 和 l_2 ——分别代表由激光光源发出的光线经过直角反射棱镜 9 和 10 之后到达光接收器 14 的光程长度。

直角反射棱镜 10 的位移通过测量光接收器和本机光接收器的总相位差反映出来：

$$\Delta L(t) = \frac{\lambda}{2\pi} [\Delta \psi_n(t) - \Delta \psi_o(t)]$$

本机光接收器和测量光接收器的正弦信号被放大并转换为矩形脉冲后，送到累积相位计的输入端，相位计测量以本机振荡信号的整数和分数周期表示的相位差，并能将该相位差乘以激光的半波长。激光稳频系统可保证频率稳定度不低于 10^{-7} 。该系统是依靠比较不同方向圆偏振激光的光强，并用压电陶瓷元件调整激光谐振腔的长度使各方向激光强度相同来进行工作的。稳定频率差的系统（CPЧ）是按相位自动微调线路做成的。CPЧ 系统将频差信号 f_o 的相位与石英振荡器输出的频率为 f_r 的信号的相位“联系”了起来，应用 $R-S$ 触发器作为鉴相器，触发器所产生的脉冲间隔的变化与相位误差成正比。这个频差信号控制螺线管，在螺线管内放置了控制激光的主动元件。

ДИП-2 型仪器的技术指标

测量极限：

位移（毫米） 0 ~ 60

速度（米/秒） 0 ~ 33

位移测量误差（米）：

不进行平均 $10^{-7} L + 10^{-8}$

进行平均 $10^{-7} L + 2 \times 10^{-9}$

分辨率（米） 2×10^{-9}

测量时给出结果的最短时间：

对位移不进行平均（微秒） 64

对位移进行平均（毫秒） 16

速度（毫秒） 16

零点稳定性（毫微米/小时，不小于） 30