

# 光 学 相 关 仪\*

清华大学物理教研组 光学相关仪小组  
燃料化学工业部 646 厂

## 一、光学相关原理

光学相关仪如图1所示。

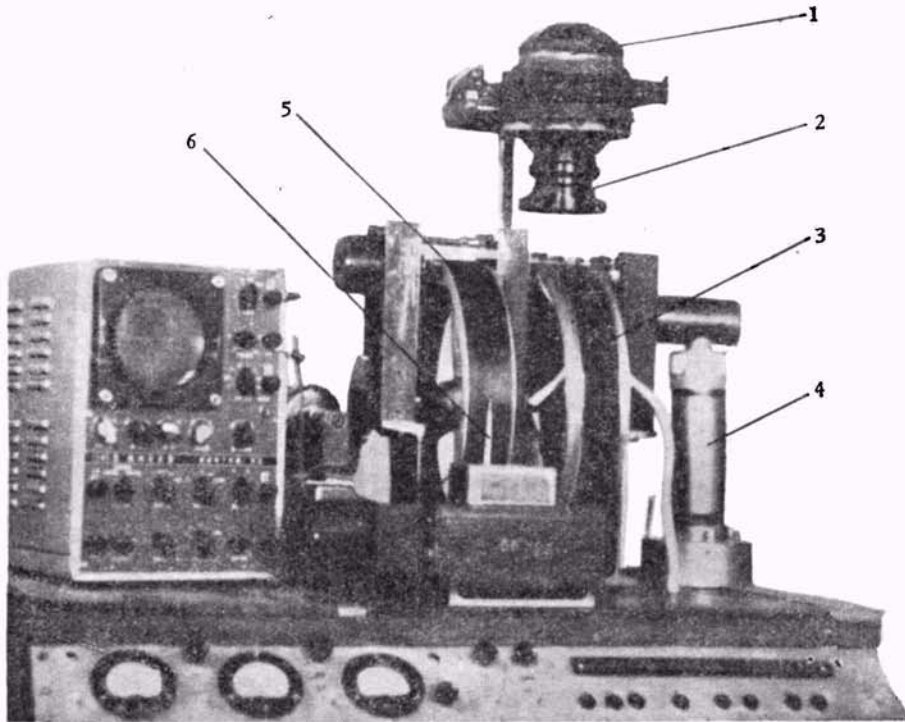


图1 光学相关仪

- |          |        |        |
|----------|--------|--------|
| 1—光源;    | 2—透镜;  | 3—分析鼓; |
| 4—光电倍加管; | 5—记录鼓; | 6—记录笔  |

相关分析是一种能从强噪音中拾取弱信号的十分有效的方法。如有两个随机的函数  $X(t)$  和  $Y(t)$ ，它们的相关函数表示为

\* 1972年7月13日收到。

$$R(\tau) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(t)Y(t + \tau) dt. \quad (1)$$

如果对  $R(\tau)$  进行付里叶变换:

$$R(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} R(\tau) e^{-j\omega\tau} d\tau = \int_{-\infty}^{+\infty} e^{-j\omega\tau} d\tau \int_{-\infty}^{+\infty} X(t)Y(t + \tau) dt,$$

令  $t + \tau = s$ , 则得

$$R(\omega) = \int_{-\infty}^{+\infty} X(t)e^{j\omega t} dt \int_{-\infty}^{+\infty} Y(s)e^{-j\omega s} ds = X(-\omega) Y(\omega). \quad (2)$$

从(2)式可知: 相关分析相当于  $Y(t)$  信号通过一个滤波器, 这个滤波器的频率特性为  $X(-\omega) = X^*(\omega)$ , 即为标准信号的付里叶谱的共轭复数谱。

从图 2 中可以看出这种滤波效果是十分明显的。图 2 中, (a) 是未经相关处理的记录, 即  $Y(t)$ ; (b) 是经过光学相关仪处理后的互相关函数。这里取  $X(t) = \cos 2\pi ft$ ,  $f = 30$  周/秒。

人们利用这个特点, 在实际工作中采用相关方法对随机信号进行期望分析。

从式(1)可知, 相关分析在数学上必须完成三种运算, 即相乘、坐标移动和积分。用光学方法实现相关的最大特点是一次就可完成这三种运算, 速度快, 效率高。设备简单、成本低则更是其它方法不能比拟的。

光路如图 3 所示。光线从点光源  $O$  发出, 经过透镜  $L_1$  变为均匀的平行光束, 它垂直地透过两个相互平行的变密度底片, 透镜  $L_2$  将透过两个底片的所有光线集中到光电倍加管上。假定  $P_1$ 、 $P_2$  底片上对应点  $A$ 、 $B$  的透过率为  $T_1$ 、 $T_2$ 。众所周知, 用光强为  $I_0$  的光线透过  $A$ 、 $B$  后, 光电倍加管接收到的光强为

$$I = I_0 T_1 T_2.$$

为了正确地实现对应点的两两相乘, 光路中几何尺寸要满足

$$l \ll \frac{Fd^{(1)}}{\Delta S}. \quad (3)$$

其中  $l$ ——两底片间的距离;  $F$ —— $L_1$  透镜焦距;  $\Delta S$ ——光源尺寸;  $d$ ——被分析函数的最小周期。

如果在  $P_1$  底片处放置一狭缝, 改变狭缝的大小就可获得不同的积分区间。

因为输入信号是采用变密度的方式记录在胶片上的, 所以要充分注意这种方式的特点和胶片的性能。

## 二、实验装置

实验装置如图 3 所示。

装置上有两个圆鼓, 一是分析鼓, 一是输出记录鼓。分析鼓相当于图 3 中的  $P_2$ , 用以

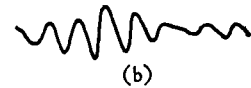
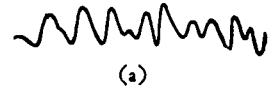


图 2

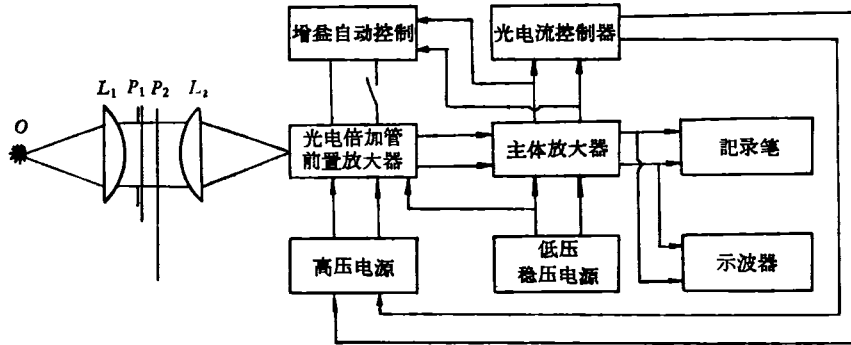


图 3 实验装置方框图

O——点光源；  $L_1, L_2$ ——透镜；  $P_1, P_2$ ——变密度底片。

固定输入信号的底片。在  $P_1$  位置处放置一狭缝，标准信号放在狭缝上，改变狭缝的大小即可获得恰当积分区间。本装置的最大积分区间可达 160 毫秒，转动圆鼓即可实现时间移动。相关函数输出用热描笔记录在热敏纸上，也可以从示波器上监视输出信号。

### 三、实验结果与分析

利用这台光学相关仪进行了相关原理试验和地震勘探资料的分析，其结果如图 4、6、8 和 10 所示。

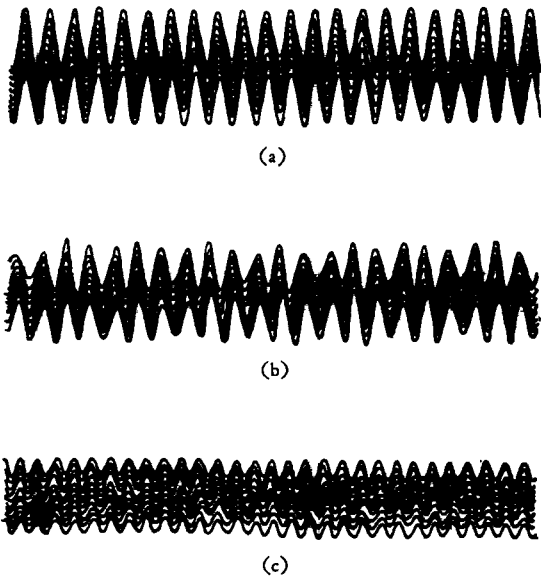


图 4

- (a) 45 周/秒的正弦波与 45 周/秒的正弦波相关的结果；
- (b) 45 周/秒的正弦波与 45 周/秒和 60 周/秒相迭加的正弦波相关的结果；
- (c) 45 周/秒的正弦波与 60 周/秒的正弦波相关的结果

众所周知，互相关是两个函数相似程度的分析。它们间的频率愈接近其相关函数值就愈大。如图 4 就是用 45 周/秒的正弦波作为标准信号，与几种不同频率的正弦波相关的结果。

这个结果说明，如果所分析的函数是由几种不同频率的波迭加时，利用相关分析可以突出所期望的频率（或波形）。在地震勘探资料分析中，如果选好某个测区的标准子波，并与被干扰或被干涉的地震勘探记录进行相关运算时，就可突出所期望的有效波。

图 5 是理论的相关计算结果，它和图 4 的实验结果是非常接近的。

图 6 是用 33 周/秒的正弦波作为标准信号分别与 20、25、30、32、33、35 周/秒的正弦波相关的结果。

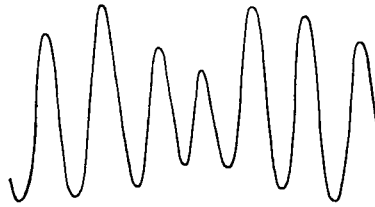


图 5 理论的相关计算结果

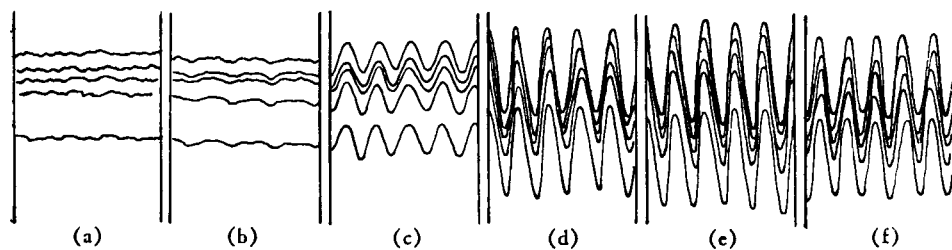


图 6

- (a) 33 周/秒的正弦波与 20 周/秒的正弦波相关的结果;
- (b) 33 周/秒的正弦波与 25 周/秒的正弦波相关的结果;
- (c) 33 周/秒的正弦波与 30 周/秒的正弦波相关的结果;
- (d) 33 周/秒的正弦波与 32 周/秒的正弦波相关的结果;
- (e) 33 周/秒的正弦波与 33 周/秒的正弦波相关的结果;
- (f) 33 周/秒的正弦波与 35 周/秒的正弦波相关的结果

从图 6 中可以看出,互相关分析对频率是十分灵敏的,如频率相差 2 周,互相关函数值就会有明显的差别。

在地震勘探资料中,互相关分析是压制干扰突出有效波的一种有效方法。特别是在地震记录中为“白色噪音”迭加时,互相关分析可以作为一个最佳滤波器,以最大的信噪比突出有效波。不过,在处理地震勘探记录时,必须充分注意标准子波的选择和恰当的积分区间。标准子波可以选用同一测区的较好层次的反射波。但是,在地震地质条件比较复杂的地区,没有获得较好层次的反射波时,标准子波亦可采用相当测区主频的正弦波,适当改变区间的大小,使其频谱接近于该测区有效波的频谱曲线,也能取得较好的结果。这对光学相关仪来讲是非常容易实现的,既不改变仪器本身结构,也不需要增加任何元件。图 8 就是采用 30 周/秒的正弦波和  $1\frac{1}{2}$  波长的积分区间所得的结果。

图 7 是与图 8 完全相同的五张连续对比的地震勘探记录,但未经光学相关仪处理。比较这两张图,可以明显地看出图 7 的  $T_2$  层由于干扰波迭加的结果,使连续对比造成了一定的困难。特别是其中第三张的后几道(每张地震勘探记录共有 24 道最上面的为第一道,最下面的第 24 道)与第四张的前几道更为明显。而图 8 是经过光学相关仪处理后的记录,不仅记录面貌非常清晰,最主要的是可以完全保证  $T_2$  层正确的进行连续对比。

图 9 是未经光学相关仪处理的地震勘探记录。图 10 是完全与图 9 相同的记录,但采用了邻近较好的  $T_2$  层反射波作为标准子波,并经过光学相关仪处理。比较这两张图,可以更明显地看出,图 9 中  $T_2$  层的下面一些道,由于干扰波迭加其上,所以无论从动力学特

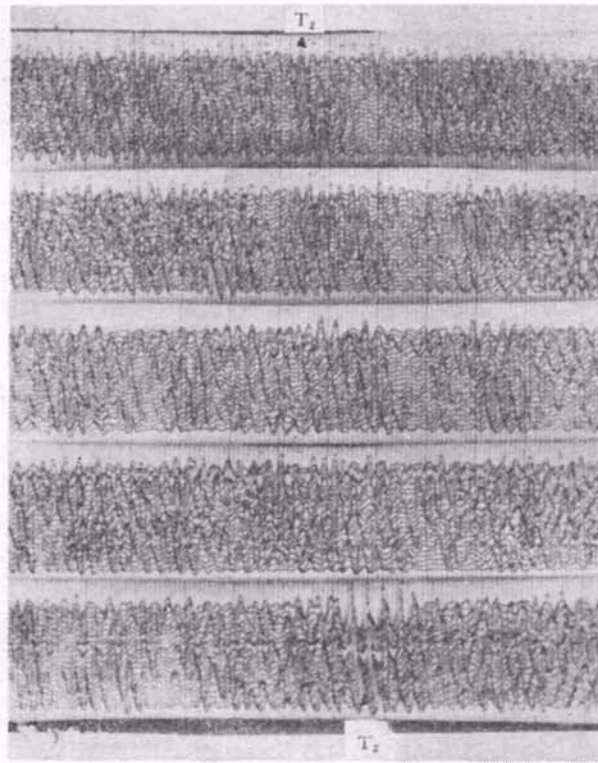


图 7 未经光学相关仪处理的地震勘探记录

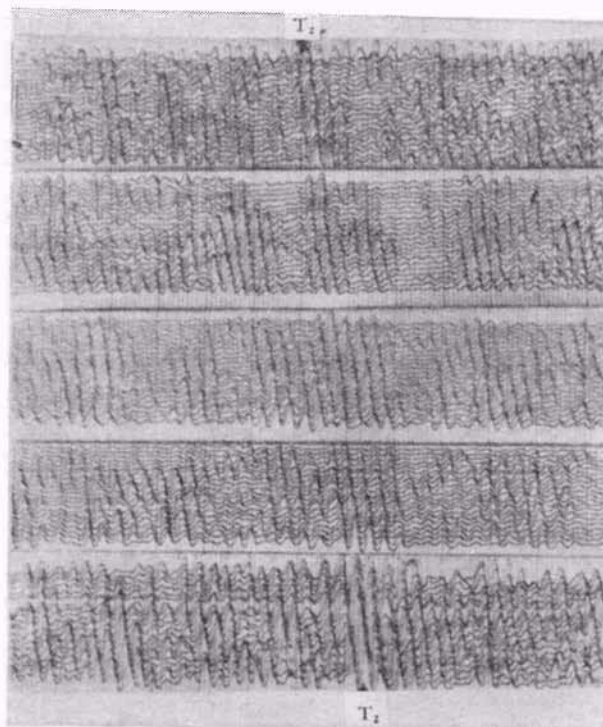


图 8 经光学相关仪处理后的地震勘探记录

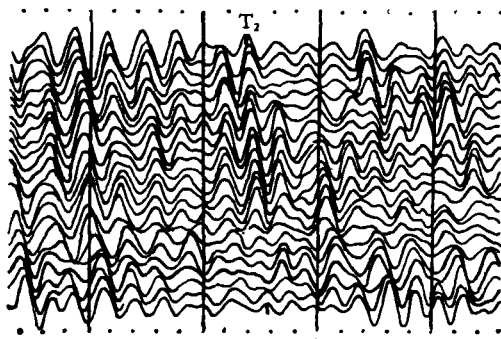


图 9 未经光学相关仪处理的地震勘探记录

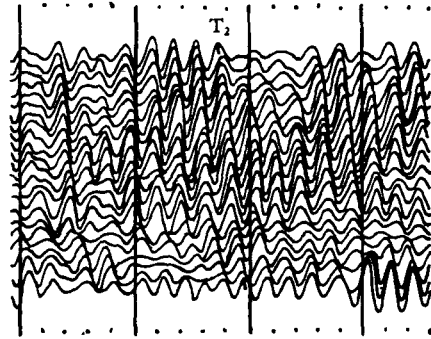


图 10 经光学相关仪处理后的地震勘探记录

征或运动学特征来分析都是无法进行对比的。而经光学相关仪处理后，可以正确地进行连续对比。显著地提高了同相轴品质 1—2 级。

#### 参 考 文 献

- [1] В. А. Зверев, Е. Ф. Орлов, Оптические анализаторы, 1971.