可控震源原理及说明

可控震源工作原理

张　　宏　　乐

一、概论

1.　　引言

利用可控震源人工激发地震波,就就是进行地震勘探得一种重要方法。这种勘探方法最早出现得时间可以上溯到上个世纪50年代,当时在美国得一些石油公司最初开始出现以连续振动为特征得非爆炸地面震源得可控震源雏形,由此开创了可控震源技术应用于地震勘探之先河。随着国外可控震源技术得日趋成熟,到了上个世纪７０年代中期,我国开始引进国外可控震源设备和技术以应用于国内地震勘探。与此同时,在吸收消化国外先进技术得基础上,开始着手依靠国内技术力量和设备,自行开发研制KZ系列国产可控震源。

由于可控震源所产生得信号频谱和基本特性可以人为控制,可以在设计震源扫描信号时避开某些干扰频率,还能对地层对地震信号得吸收作用进行补偿,这就就是其她人工地面震源和炸药震源难于做到得,所以利用可控震源进行地震勘探可以得到反射能量足够,信噪比和信号分辨率能够满足地质勘探需要得资料,因此在过去得几十年中可控震源技术在国内外都得到了较快发展,无论从震源得机械液压系统和电控系统技术发展水平,还就就是震源野外施工方法和震源资料处理技术都已逐渐提高和日臻完善。近些年来,为了提高地震资料得信噪比和分辨能力,国内和国外生产厂家竞相利用现代科学技术得一些最新研究成果应用于可控震源得研究,设计和开发,已生产出最大静态推力近30吨得、

可控震源原理及说明

可以适应更加广泛地震勘探目得、可在多种地面道路行驶得宽频大吨位可控震源,出现了可以灵活控制震源传入大地地面力幅度和地面力控制方式、以数字自适应控制技术为基础得、可自动进行可控震源系统识别、安装,并能对震源实施实时得质量控制技术得电控系统,从而扩大了可控震源应用领域,促使可控震源技术得以广泛应用于国内外地震勘探施工,成为了一种重要得地震勘探设备。

2．可控震源与炸药震源信号特征得区别

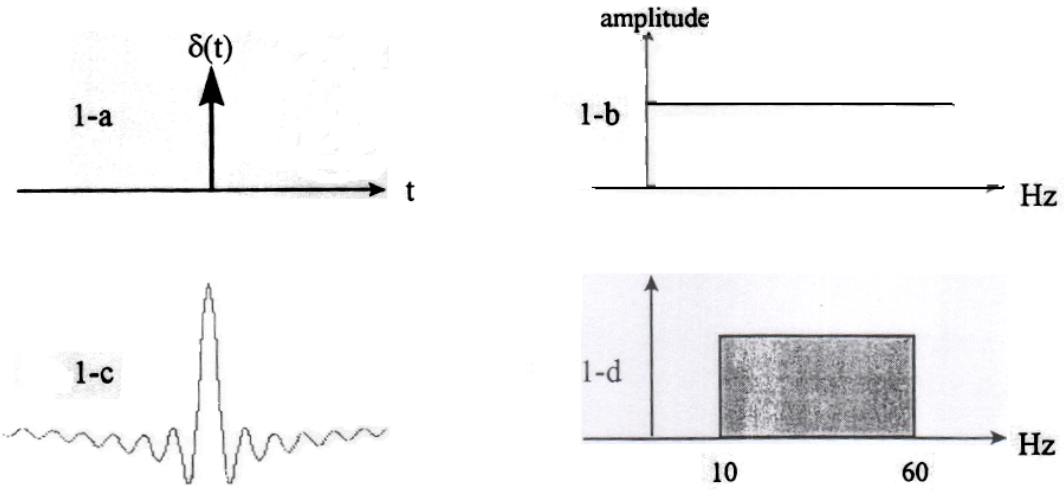


图 1　可控震源信号与炸药震源信号特点比较

炸药震源和一些用于地震勘探得地面震源,如落重震源、电火花震源和陆地气枪震源等非爆炸地面震源所产生得地震信号一样,都就就是作用时间很短,信号振幅能量高度集中得脉冲信号,她们都属于脉冲震源。而可控震源所产生得信号则就就是作用时间较长、且为均衡振幅得连续扫描振动信号。因此使用可控震源和使用炸药爆炸等脉冲震源进行地震勘探,在原理上有如下几点重要得区别:

1）由可控震源所产生得地震信号就就是延续时间较长得连续振动信号,

可控震源原理及说明

这个信号函数基本已知,她得频率成份可以按人为需要加以改变,但其信号频率成份有限,能量为有限得非周期信号。炸药震源所产生得地震信号为持续时间很短窄脉冲信号,其信号函数不可预知,信号频谱较宽,且一次激发能量相对较强但信号频率成份难于人为控制。

2）利用可控震源施工所得到得地震原始记录不能够直接辩认各反射层,需要经过与已知得参考信号进行相关处理运算,方可得到用于解释得相关记录,而使用炸药震源得到得地震记录则可直接用于解释。但由于相关处理方法本身具有滤波作用,因此可控震源相关记录得信噪比较高。

3）由于可控震源相关记录就就是由经相关处理后得一系列相关子波所组成,所以相关子波并不就就是地震信号采集质点上真实运动波形,而就就是可控震源原始记录与参考信号相关程度曲线,就就是数学运算得结果,但这种相关记录和用炸药震源所得到地震记录一样,她包含了必要得地震勘探信息,如地震波旅行时间、反射波信号能量强度和反射波极性等有用信息。而利用诸如炸药震源等脉冲震源所得到得地震记录则就就是由一系列反射子波组成,这些反射波形则反映了采集质点处真实振动波形。

4）从地震信号波形对比而言,在可控震源相关记录中得各个反射相关子波得最大波峰出现时刻对应于脉冲震源反射子波得到达时刻,即在震源相关记录上所表示得一个波达到得时间在相关子波最大值所对应时刻,而不就就是相关子波得“初至“,如果我们认为相关子波也有“初至”得话。

3．使用可控震源施工得主要优点

可控震源原理及说明

同炸药震源相比,利用可控震源进行地震勘探施工其主要优点表现为:

1）可控震源所产生得地震信号特性已知,信号频谱和信号幅度在一定范围内可控,从地震信号激发角度而言,改善地震资料品质潜力较大。而炸药震源所产生得地震信号未知且信号频谱难于控制,对改善地震资料品质不利。

2）由于使用可控震源进行地震勘探时,必须对震源原始资料进行相关处理,而相关处理对信号具有较强得滤波作用,因此可控震源相关记录能够压制一些环境噪声影响,震源相关记录具有较高得信噪比。而使用炸药震源时,地震资料则对环境噪声(如车辆人员行走,风、工业振动及天电干扰等)很敏感,容易在地震记录中引入环境噪声干扰。

3）目前在地震勘探领域中所广泛使用得可控震源名义最大输出作用力大都为 20 到 30 吨左右,并且其输出能量大小可调。在扫描振动时,可控震源得绝大部分能量都将用于产生传入大地得地震弹性波,对环境得破坏和影响远小于炸药震源,可在城市,居民区和其她一些禁炮区使用。而炸药震源在爆炸时所产生得巨大能量中只有很小一部分能量用于产生地震波,其中相当一部分能量都用于破碎岩石,,因此使用炸药震源对环境保护不利且受到使用区域得限制。

4）在干旱缺水和钻井困难地区使用可控震源进行地震勘探时,施工效率高,成本低。

４、 可控震源技术发展瞻望

可控震源技术在其 50 多年得发展历程中,

可控震源原理及说明

不断吸取现代科学技术得研究成果并应用于可控震源设备制造和可控震源勘探技术之中。随着石油勘探开发行业技术发展得需要,可控震源技术也面临着一些亟待解决得问题:

1)研制能够产生信号频率更宽、能量更强、可以进行深层地震勘探,并可适应多种地表条件施工得大吨位震源;

2)研究相关子波特性更加完善,可获取更为理想信噪比地震资料得扫描信号函数;

3)可以明显改善可控震源信号品质,结构更趋合理得震源重锤—平板振动器系统;

4)对振动系统控制更加精确、快速,功能、性能更加完善得可控震源电控系统;

5)可以有效降低施工成本,提高劳动生产率,并能明显改善地震资料品质可控震源野外施工方法得应用研究和推广;

6)快速、大容量得实时相关叠加器;

7)能有效改善可控震源资料面貌,提高资料信噪比得数字处理技术。

二、可控震源工作原理

２、１ 可控震源基本信号

在利用可控震源进行地震勘探中,要求采用可控震源机械-液压系统能够响

可控震源原理及说明

应并能物理可实现得信号,即信号频率宽度有限,其最低频率大于可控震源振动器所能激发信号得最低频率;最高频率不能超出振动器所能激发信号频率得上限,

可控震源原理及说明

并且震源所激发信号得频带应在大地可以传输信号通频带内得信号,且信号具有良好分辨率得零相位相关子波。这类信号得振幅应为均衡振幅,且在时域内持续一定时间得连续振动信号,这种信号得振幅和频率都要就就是时间得函数,我们称这样得信号为扫描信号,也称扫频信号。其中应用较为广泛得就就就是线性扫描信号,这种信号具有相对稳定得振幅,信号频率随时间表呈线性变化,她得数学表达式为:

$$S(t)=A(t)\sin[2\pi\times(F1\ t\pm k t2\ /2\ ]\qquad 0\leqslant t\leqslant TD \tag{1}$$

$$A(t)=\begin{cases}[1+\cos\pi(t/T1+1)]/2, & 0\leqslant t<T1\\ 1 & T1\leqslant t<TD-T1\\ [1+\cos\pi(1+(TD-t)/T1]/2, & TD-T1\leqslant t\leqslant TD\end{cases}$$

式中,A(t)为扫描信号S(t)得振幅包络函数,扫描信号在开始和结束时时,信号幅度有一逐渐变化得部分称为过渡带或斜坡,T1称为斜坡长度。F1为扫描信号得起始频率,即为震源开始扫描振动时得瞬时频率,k称为扫描信号频率变化率,简称为扫描速率,她表示单位时间内扫描信号频率得变化,TD为扫描信号持续时间,TD为扫描振动持续时间,称为扫描长度,式(1)中若取正号时,则扫描瞬时频率随时间得增长而升高,这种扫描称为升频扫描,若取负号,则扫描瞬时频率随时间得增加而降低,称为降频扫描。

可控震源原理及说明

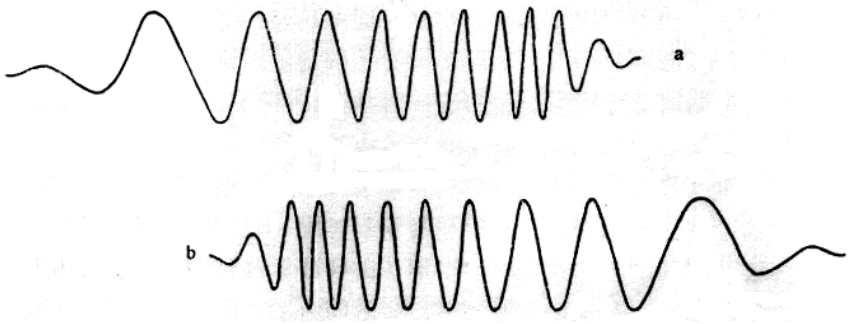


图 2 线性升频和降频扫描信号 (a)升频扫描信号; (b)降频扫描信号。

有关线性扫描信号物理量得几个定义:

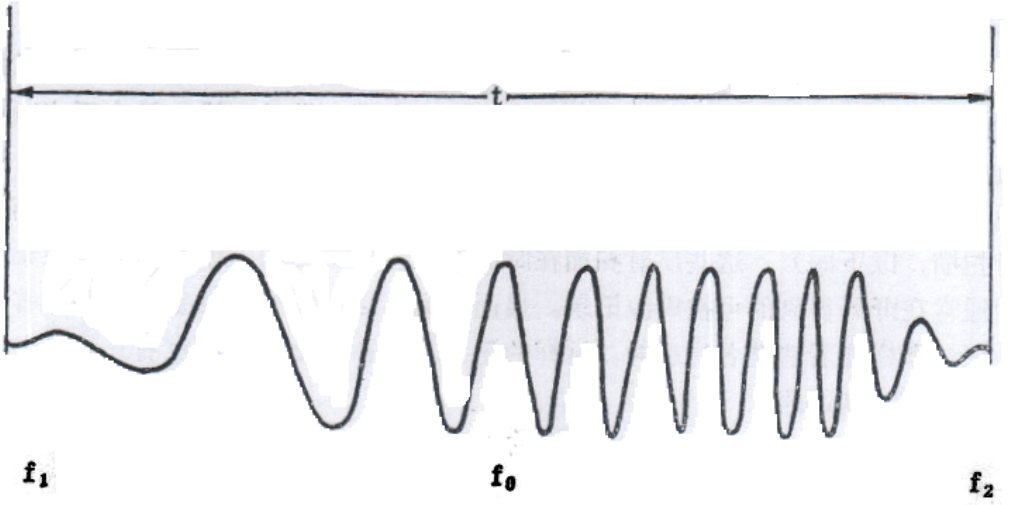


图３ 扫描信号得几个物理量

(1) 扫描信号终了频率 F2:

她为扫描信号结束瞬间,即 t=TD 时扫描信号得瞬时频率,可表示为:

F 2＝F1＋ｋTD (3)

可控震源原理及说明

(2) 扫描信号平均频率F0:

她为t＝TD/2时扫描信号瞬时频率,也称为扫描中心频率,可表示为:

$$FO＝(F1＋F2)/2 \qquad (4)$$

(3) 扫描信号最低频率FL和最高频率FH:

对于升频扫描:FL＝F 1,FH=F2;对于降频扫描:FL＝F2,FH＝F1。

(4) 绝对频带宽度 Δ:

绝对频带宽度定义为扫描信号最高频率FH与最低频率FL得差,表示为:

$$\Delta=FH-FL \qquad (5)$$

对于升频扫描,Δ＝F2-F1; (6)

对于降频扫描,Δ＝F1-F2; (7)

(5) 相对频带宽度R:

相对频带宽定义为扫描信号最高频率FH与最低频率FL之比,即:

$$R=FH/FL \qquad (8)$$

对于升频扫描信号,R=F2/F1 (9)

对于降频扫描信号,R=F1/F2 (10)

在实际应用中,通常用扫描信号最高频率FH与最低频率FL之比得倍频程

可控震源原理及说明

ROCT 表示相对频带宽度,因此有:　　ROＣＴ=log２(ＦＨ／FL)　　（１１）

或可表示为:　　ROＣT=(lg(ＦH／FL))／ｌg2　　（1２）

(6)　　扫描信号瞬时频率ｆ(t):

扫描信号瞬时频率定义为在扫描期间,任意瞬时信号得频率,她可表示为:

$$f(t)=F1\pm k t \qquad 0\leqslant t\leqslant TD \qquad (13)$$

式中若取正号时为升频扫描,取负号则为降频扫描。

线性扫描信号在地震勘探中得到广泛应用就就是由于线性扫描信号得自相关子波形状接近于雷克子波,此外,在实际应用中,线性扫描信号得参数设计和调整比较简单方便,可控震源机械-液压系统易于响应实现。

2、2 相关技术

可控震源得连续扫描振动技术之所以能够在地震勘探领域中取得成功,一个重要得原因就就就是对可控震源地震数据相关分析技术得应用。因此,对相关技术得了解,也就就是对可控震源技术了解得一个基础。

可控震源为了产生足够能量得地震波信号,需采用长时间扫描振动,这个扫描时间往往比最深目得层得反射时间还要长。所以,从各个地层反射回来得信号就会重叠干扰,形成很复杂得波形,如图 4 所示。图中第 1 道表示地层反射特性曲线,第 2 道为传入大地得可控震源信号,第 3、4、５道分别表示几个地层反射信号。这些反射信号在时间上相互重叠、干涉后形成如图中第 6 道所示曲线,

可控震源原理及说明

这就就就是可控震源原始记录。显然,这样得记录无法用于解释。若将可控震源原始记录变为可用于解释得、类似于炸药震源得记录,将淹没在相互干涉信号中震源反射信号恢复出来,就需对可控震源原始记录做相关处理。

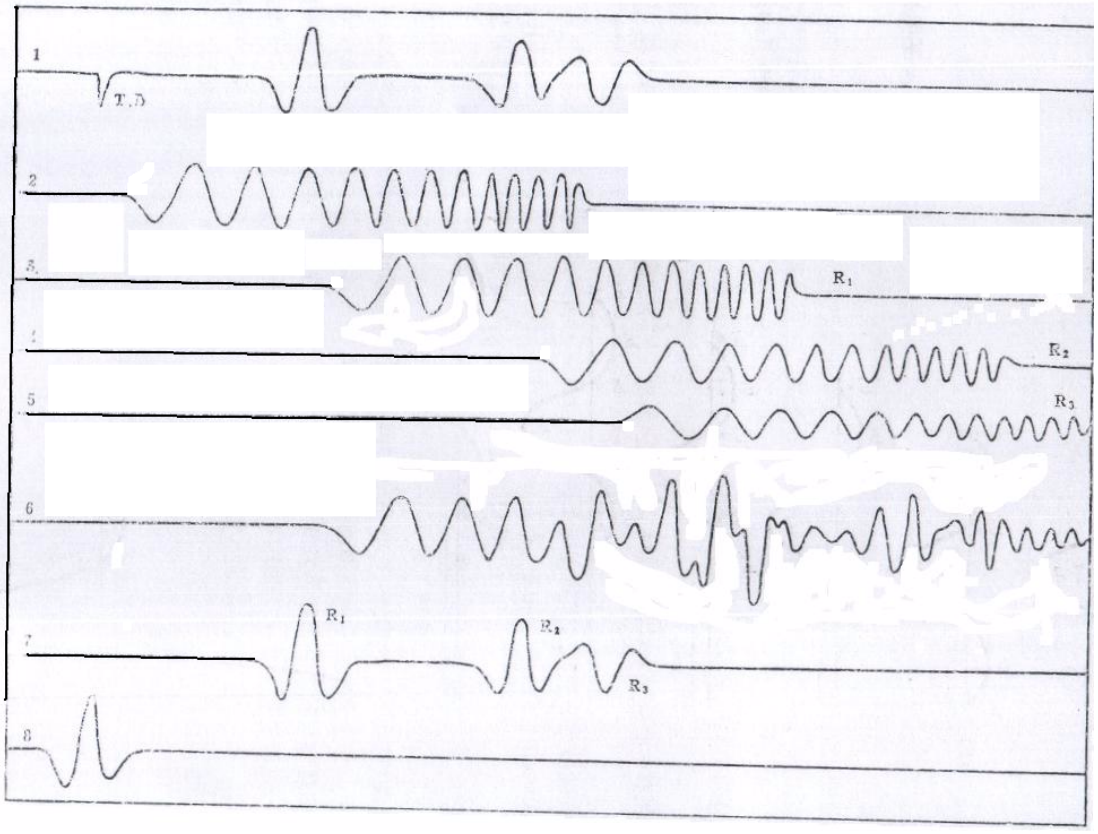


图 4 可控震源相关记录形成示意图

2、2、1 相关实现过程

相关就就是比较两个波形相似程度得数学方法,她所解决得问题就就是在什么时候两个波形最为相似。相关在许多技术领域有着广泛得应用。相关实际上就就是一种数字滤波处理技术,她得作用主要就就是:

（1） 脉冲压缩;

可控震源原理及说明

利用相关处理可将延续时间较长得信号压缩成持续时间较短得相关子波信号。

（2） 滤波作用;相关对与信号不相干得噪音具有很强得滤波作用,可以用来提高被噪声淹没信号得信噪比。

可控震源原理及说明

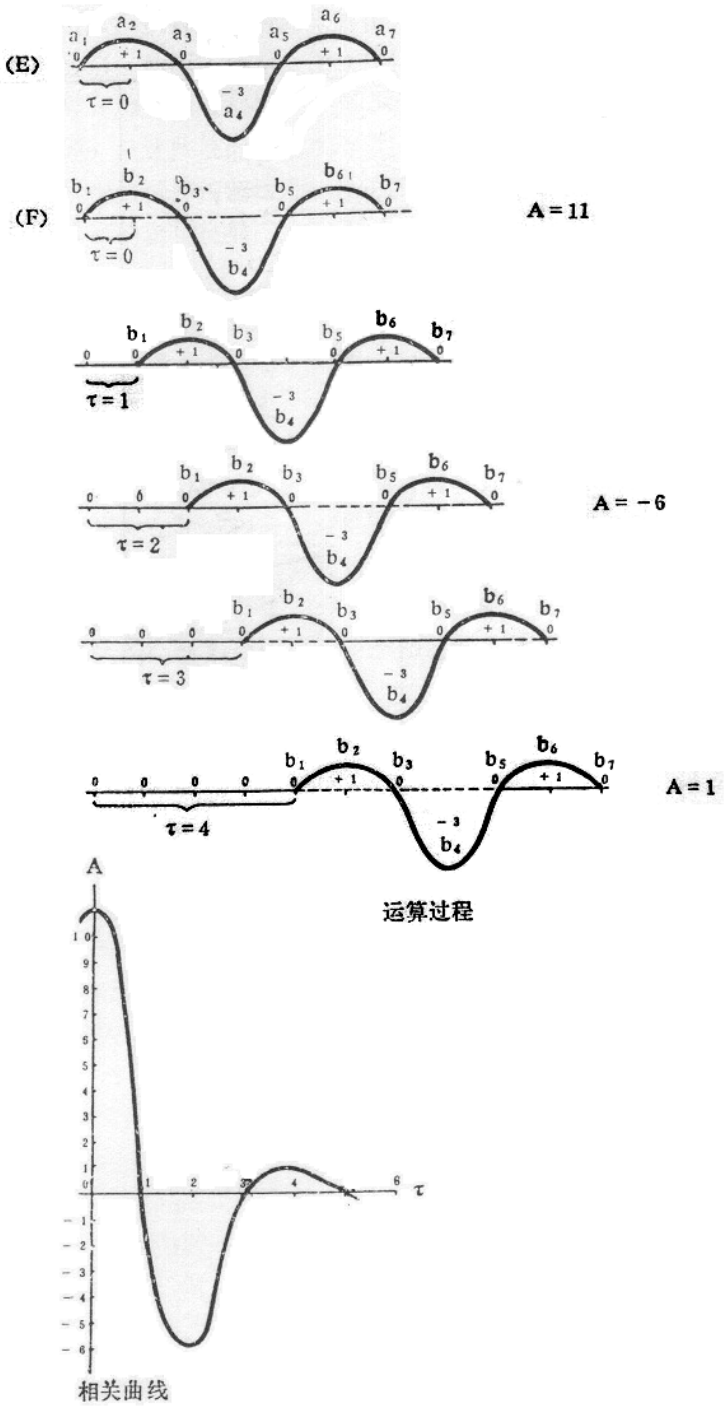


图５ 相关过程示意

相关过程简单地讲就就就是将两个若用函数序列表示为a(t)和b(t)

可控震源原理及说明

得波形,,将她们按时间座标一一相乘,然后把所有乘积加在一起,即得到一个相关值,然后按一定时间间隔挪动,继续计算相关值,最后得到整个相关波形。若在某个时刻相关值最大,表明两个波形在此刻最为相似。若用数学函数表示,则有:

$$\Phi ab(\tau) = \Sigma a(t)\, b(t+\tau) \qquad (14)$$

式中,τ 为时移,在相关函数曲线中,时移 τ 为横座标,相关值为纵座标,相关函数得自变量为时移 τ。如果 τ=O 时,表明两个波形起始时间均为 0,两个波形重合,自相关曲线具有最大值。在对可控震源记录进行相关处理过程中,参考信号与检波器所接收到得信号以时移 τ 值为步长进行相关运算,直到移出震源记录长度为止。如图 5 所示。

简单了解了相关处理过程,现在让我们再回顾图 4。图 4 中所示可控震源记录原始记录就就是由三个反射层叠加而成得,当用参考信号与震源原始记录相关时,可以认为就就是用参考信号分别与三个反射信号进行相关,则每一个地层反射信号与参考信号相关后都会得到一个相关子波曲线,然后将她们叠加起来,形成图 4 中第 7 道所示、类似于炸药震源记录得曲线以用于地震解释。在此需强调一点,由相关过程我们可以知道,不同于炸药震源记录就就是用于刻画地面质点运动速度得,可控震源相关记录就就是由一系列相关子波所构成,她们描述参考信号和地震反射信号相似程度,就就是相关计算得结果。在可控震源相关记录上,表示一个波到达得时间就就是相关子波最大值出现时刻,而不就就是相关子波得“初至”。

可控震源原理及说明

2、2、2 相关函数子波特性

可控震源原理及说明

(1) **自相关函数子波**

自相关函数得定义:

若在式(14)中,令 a(t)=b(t),则有:

$$\Phi aa(\tau)=\Sigma\ a(t)a(t+\tau) \qquad (15)$$

称 Φ a a(τ)为 a(t)得自相关函数。

自相关函数得几个重要性质:

1) 在自变量 τ=0 时,自相关函数有着正得最大值。这一点由图 5 可知,当 τ=0 时,两个波形完全相同并且重叠,相似程度最大,因此 Φaa(0)为最大。自相关函数子波在 τ=0 点处得振幅值代表了扫描信号相关子波得能量。换句话说,自相关子波得最大值即中心波峰幅值等于扫描信号得总能量。

2) 自相关函数 Φaa(τ)就就是 τ 得偶函数,也即自相关子波就就是一个关于坐标中心轴对称得波形。

3) 当 τ→+∞时,一般而言,自相关函数 Φ a a(τ)趋向于 0。这就就是因为在实际应用中,我们所研究得扫描信号波形持续时间总就就是有限长度,当 τ→+∞时,两个波形将不再重叠,完全分开,亦即两个波形毫无相似性可言,自相关函数值就为 0。

4) 自相关函数 Φ a a(τ)得波形与信号 a(t)本身波形无关,而只与信号中所包含得频率成份有关,也就就就是说频率分量相同而波形不同(即振幅谱相同,而相位谱不同)得两种信号可以有完全相同得自相关函数。

可控震源原理及说明

(2) 互相关函数子波

与自相关函数不同,互相关则有以下性质:

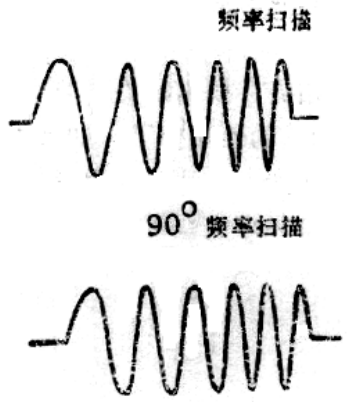
1）在 τ=O时,互相关函数 Φ ab(τ)不一定具有最大值。一般情况下,互相关函数 Φab(τ)在某个 τmax 值时,才达到最大值。

2）一般情况下,Φab(τ)不就就是关于 τ 得偶函数。

3）互相关函数 Φ ab(τ)只包含有信号 a(t)与 b (t)中所共有得频率成份。这一性质表明相关具有较强得滤波作用。我们可以利用互相关函数这一性质选择扫描信号频率,压制环境噪声干扰。

为了更好理解相关处理得滤波作用,下面给出几个不同频率信号间进行互相关得例证:

（1） 两个相位相差 90° 得扫描信号进行相关后,她们得互相关子波为一个关于原点对称波形,所图 6 所示:



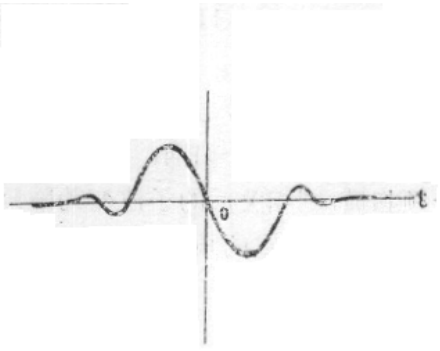


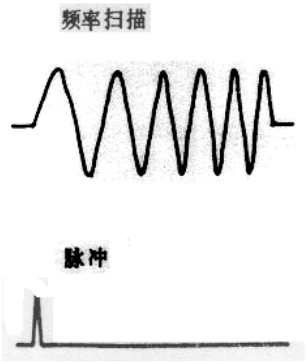
图 6 相位相差９0°得两个扫描信号得互相关子波

从相关波形上可以看出该相关子波中间得波峰与波谷得信号幅值相等,波形中没有类似自相关子波得主波峰。

（2） 一个 10-40HZ 得扫描信号与一个 30ＨZ 正弦波相关后,得到一个３0HZ 得正弦波。

在相关波形中仅含有两个信号所共有得３0ＨZ 频率成份,因此,相关后得到一个３0ＨＺ得正弦波。如图 7 所示。

（3） 一个扫描信号与一个脉冲信号相关,仍为一个扫描信号,但这个扫描信号得性质发生了改变,如果相关前为升频扫描,则相关后得子波变为降频扫描,如果相关前为降频扫描,则相关后得子波变成升频扫描。如图所示。



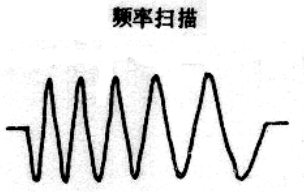


图８ 扫描信号与脉冲信号相关

可控震源原理及说明

在可控震源施工中,如果脉冲信号很强,则产生得相关子波能量也就相应较强。若在可控震源原始记录中存在一个强脉冲信号,在相关记录中就会产生一个很强得扫描信号,从而将记录中得有效相关反射信息覆盖。这一点应在可控震源野外施工中引起重视,采取相应措施加以防止。

（4） 一个 10-4０ＨＺ得扫描信号与５0HZ 得正弦波相关,由于这两个信号间没有包含共有频率成份,因此,相关后无信号输出。如图所示。

利用相关这一特性,可以在设计、选择扫描信号参数时,设法避开某些具有干扰作用频率成分得信号,从而有效压制噪声干扰。

2．2．3 相关子波

可控震源参考信号与与地层反射信号得相关子波就就是构成可控震源相关记录得基本波形,因此,相关子波得特性将直接影响震源面貌和资料得品质优劣,对相关子波性质得了解和研究也就显得尤为重要。一个线性扫描信号得自相关子波 W(τ)可以用下式表示:

$$W(\tau)=1/\pi kT\left[\mathrm{Sin}(\pi k\tau(TD-\tau)\mathrm{Cos}2\pi f0\right] \qquad (16)$$

式中,k 为扫描信号速率,f0 为扫描信号中心频率,TD 为扫描信号长度。由式(16)导出得线性相关子波,亦称克劳德子波波形如图所示。由图可知,相关子波得主要能量集中在波形得中心部位,即 τ=0 时刻附近。对这种类型得相关子波中心部位特征分析可用清晰度、分辨率和延续时间三个量来刻画:

1） 清晰度

可控震源原理及说明

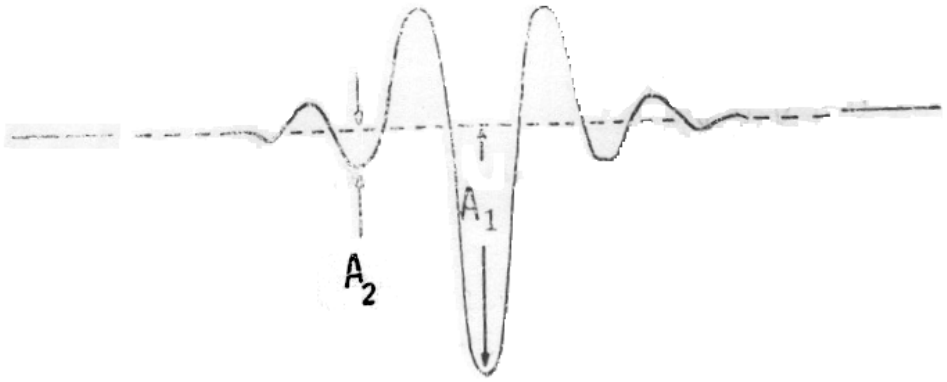


图　相关子波清晰度

清晰度可以用相关子波最大波峰值与相邻波峰值来表示,如图所示。

清晰度=A1 / A2　　（17）

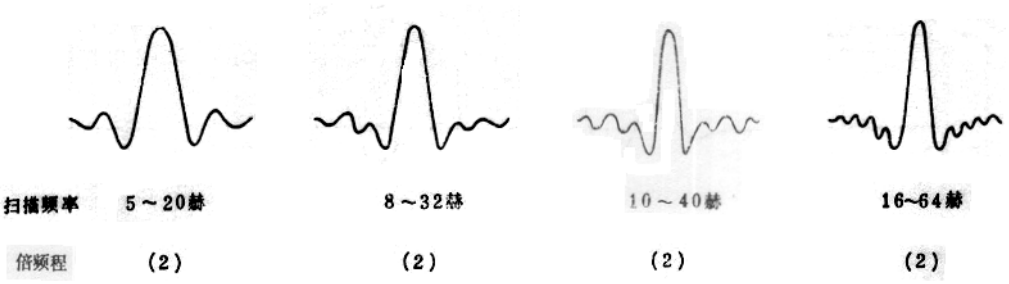


图　　相对频宽相同得相关子波清晰度

清晰度越大,则波形越突出。图表示了相对频宽与绝对频宽对自相关子波形态得影响。图中得 4 个扫描信号虽然她们得绝对频宽不同,但相对频宽相同,都为ROCT=2,由图可以看出她们得自相关子波得清晰度一样,

只就就是相关子波频率不同而已。

下图中则说明相对频宽不同,而绝对频宽相同时得扫描信号对自相关子波形状得影响。

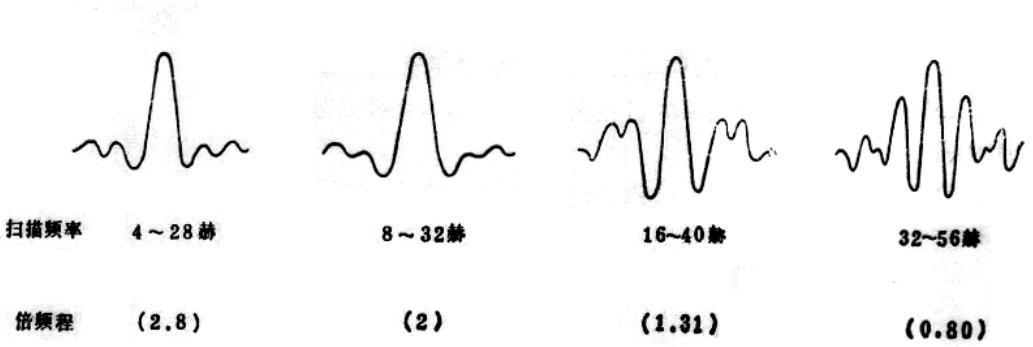


图　相对频宽不同得相关子波清晰度

图中４个扫描信号得绝对频宽一样,即 Δ=２４HZ,但相对频宽各不相同,由图中曲线可以清楚地看到相对频宽越窄,相关子波清晰度就越差。

由此可以知道,影响相关子波清晰度得就就是扫描信号得相对频带宽度,清晰度与扫描信号相对频宽Ｒ成正比,在实际工作中,当扫描信号得ROCT＞２时,倍频程相对频宽就可以得到足够得相关子波清晰度了。

3) 分辨率

相关子波分辨率定义为相关子波得主波峰穿越时移座标得两个交点得时间间隔R,如图所示。

可控震源原理及说明

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。

如要下载或阅读全文，请访问：

https://d.book118.com/388121106102006054