

· 采集技术 ·

基于三元伪随机编码的可控震源 信号设计方法

王忠仁*^{①②} 樊丹丹^① 高健^① 刘向南^②

(^①吉林大学仪器科学与电气工程学院地球信息探测仪器教育部重点实验室,
吉林长春 130026; ^②大庆石油学院地球科学学院,黑龙江大庆 163318)

王忠仁,樊丹丹,高健,刘向南. 基于三元伪随机编码的可控震源信号设计方法. 石油地球物理勘探, 2009, 44(5): 534~536

摘要 常规的可控震源线性扫描信号的地震响应存在着相关信号旁瓣大、分辨率低的缺点,用二元伪随机编码信号作为可控震源的扫描信号,在地震响应剖面中存在严重的相干噪声,降低了地震记录的信噪比。本文利用具有理想相关特性的三元伪随机序列进行可控震源信号编码设计,并经三元伪随机编码扫描地震响应的数值模拟表明,利用具有理想相关特性的三元伪随机序列进行可控震源信号编码设计,使地震响应剖面中的相干噪声较二元编码结果显著地减弱,从而使得地震响应剖面的信噪比得到明显提高。

关键词 可控震源 三元伪随机序列 编码 相干噪声 地震数值模拟

1 引言

鉴于可控震源与炸药震源相比具有绿色环保、可重复使用等诸多优点,因此在西方等发达国家使用可控震源进行陆地地震勘探的比例已超过了使用炸药震源。可控震源扫描信号的自相关特性直接影响地震剖面的质量,因此寻求与设计性能优良的可控震源扫描信号就成为提高激发品质的一个关键问题。在可控震源发明之初,Crawford^[1]等采用Chirp信号(即线性扫描信号)作为可控震源的扫描信号,通过对发射信号与接收信号做互相关运算,可以将接收信号压缩成类似于炸药等脉冲震源产生的脉冲信号。这种Chirp扫描信号直到目前仍然是可控震源所采用的主要扫描方式^[2]。然而,这种线性调频扫描信号经互相关运算所得到的地震响应存在着较强的旁瓣,降低了纵向分辨率。Goupillaud^[3]研究了几种非线性扫描信号的自相关特性,扩展了可控震源扫描信号的选择范围。但是地震数值模拟的结果表明,非线性扫描信号的地震响应同样存在较强的旁瓣效应^[4]。Cunningham^[5]于1979年将数字通讯领域中基于二元 m -序列的伪随机编码技术

引入到可控震源的信号设计中,避免了线性扫描信号所产生的旁瓣干扰问题,此项技术目前已成为可控震源扫描的备选方案之一。但是该方法有一个明显的不足,就是相关地震剖面中存在严重的相干噪声,降低了地震记录的信噪比。本文提出了一种利用具有理想相关特性的三元伪随机序列进行可控震源信号编码设计的方法,并通过地震数值模拟技术对该方法的效果进行了检验。

2 三元伪随机序列的构造

设 q 是一个素数, F_q 是由所有小于 q 的非负整数构成的集合,则多项式

$$g(x) = \sum_{i=0}^n c_i x^i \quad (c_i \in F_q, c_0 \neq 0, c_n \neq 0) \quad (1)$$

是 F_q 上的一个 n 次本原多项式^[6]。

给定 F_q 中的非零初始向量 $(a_0, a_1, \dots, a_{n-1})$,在模 q 运算意义下,按照公式

$$a_k = -c_0^{-1}(c_1 a_{k-1} + c_2 a_{k-2} + \dots + c_n a_{k-n}) \bmod q \quad (2)$$

可以生成周期为 $m=q^n-1$ 的 q 元 m -序列 $\{a_k\}$ 。

* 吉林省长春市西民主大街938号地质宫340室,130026

本文于2008年5月13日收到,修改稿于同年10月28日收到。

本研究受国家自然科学基金项目(40774097)资助。

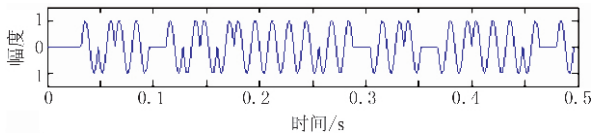


图1 三元伪随机编码信号

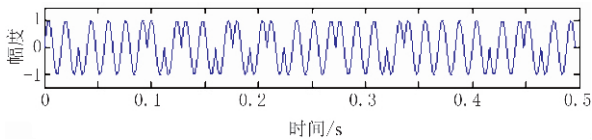


图2 二元伪随机编码信号

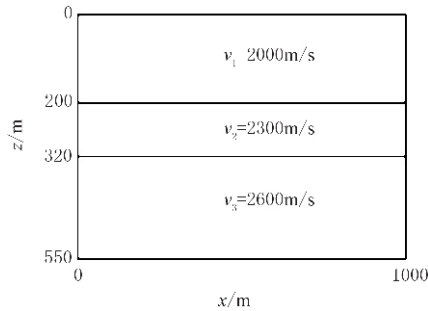


图3 水平层状介质地层模型

最深目的层位为 $z=320\text{m}$ 处的界面。在矩形区域的四个边界上,除了地表($z=0$)为自由边界之外,左边界($x=0$)、右边界($x=1000\text{m}$)、底边界($z=550\text{m}$)都是人工截断边界(吸收边界),区域内部的岩性分界面(记为 Γ_s)采用衔接条件

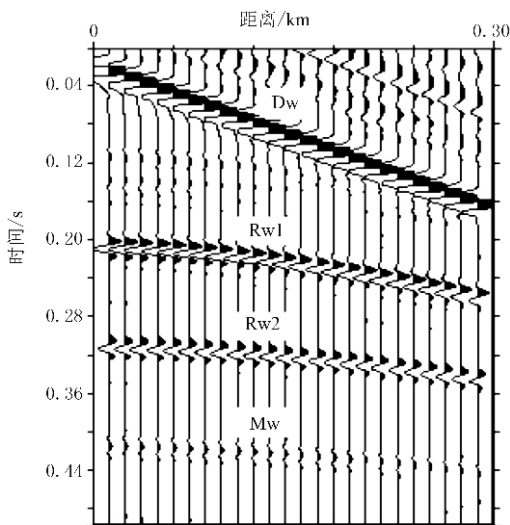


图4 三元伪随机编码信号的地震响应剖面

模拟中取 $f_c=62.5\text{Hz}$,炮检距为 40m ,地震道数为 24 ,道间距为 12m ,时间采样间隔为 0.0004s ,可控震源扫描信号采用前文讨论的伪随机编码信号。Dw 表示直达波,Rw1、Rw2 分别表示来自第一个界面($z=200\text{m}$)、第二个界面($z=320\text{m}$)的反射波,Mw 表示与自由表面有关的多次波(图5同)

弱(图4);②三元编码地震响应剖面(图4)中的多次波(Mw)清晰可见,而二元编码地震响应剖面(图5)中的多次波已经被能量很强的相干噪声所淹没。此外,由图4还可看出,三元编码对应的地震响应剖面

中仍存在一定的相干噪声,尤其是在直达波上部的相干噪声能量还比较强。但是这种直达波上部的相干噪声采用地震数据处理中的切除处理技术可以很容易地去掉,并不会对反射信息造成损害。

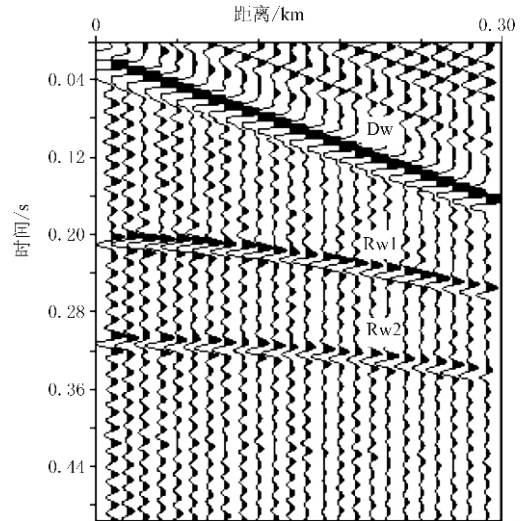


图5 二元伪随机编码信号的地震响应剖面

5 结束语

文中提出了一种利用具有理想相关特性的三元伪随机序列进行可控震源信号编码设计的方法。可控震源三元伪随机编码扫描地震响应的数值模拟表明,利用具有理想相关特性的三元伪随机序列进行可控震源信号编码设计,地震响应剖面中的相干噪声与二元编码结果相比显著地减弱,从而使得地震响应剖面的信噪比有了明显的提高。

参考文献

- [1] Crawford J M, Doty W E N, Lee M R. Continuous signal seismograph. *Geophysics*, 1960, 25(1): 95~105
- [2] 姜福豪,王德江. 可控震源高分辨率地震勘探采集技术. *石油地球物理勘探*, 2007, 42(2): 127~131
- [3] Goupillaud P L. Signal design in the "vibroseis" technique. *Geophysics*, 1976, 41(6): 1291~1304
- [4] 王忠仁,陈祖斌,张林行等. 可控震源非线性扫描地震响应的数值模拟. *地球物理学进展*, 2006, 21(3): 756~761
- [5] Cunningham A B. Some alternate vibrator signals. *Geophysics*, 1979, 44(12): 1901~1921
- [6] 万哲先. 代数和编码. 北京: 科学出版社, 1980
- [7] Ipatov V P. Ternary sequences with ideal periodic autocorrelation properties. *Radio Eng Electron Phys*, 1979, 24: 75~79

(本文编辑:刘勇)