可控震源谐振干扰的压制

刘世文　陈振声

（新疆石油管理局地质调查处）

刘世文，陈振声．可控震源谐振干扰的压制．石油地球物理勘探，1998，33(增刊 1)：25～30

主题词　可控震源　谐振　干扰　压制　变相位扫描

问题的提出

用可控震源进行地震勘探有很多优点，但在特定的条件下，利用可控震源激发也会产生谐波干扰，即在原始单炮记录上产生与初至平行的、频率在 20～40Hz 的谐波。谐波较弱时可延续几百毫秒，强时遍及整张记录。人们习惯上把这种干扰叫做谐振。谐振出现的部位和时间没有一定的规律性。同一个炮点，不同时间放炮，它的强弱程度可能不一样；相邻的两个炮点，这炮有，那炮可能就没有，或者这炮强，那炮弱，然而在大的范围上是成片的。比如准噶尔盆地西北缘地区，谐振干扰普遍严重。如果用可控震源进行精细勘探，必须首先消除这种谐振干扰。多年来，针对这种谐振进行了一系列专门试验，但效果不佳。

1995 年底至 1996 年初，在采油二厂矿区进行精细三维地震勘探时，就碰上了严重的谐振干扰(图 1a)。

我们经过前后四次的专门试验，应用可控震源先进 Ⅱ 型电子箱体的变频变相位扫描技术，谐振干扰终于得到了较好的压制(图 1b)。

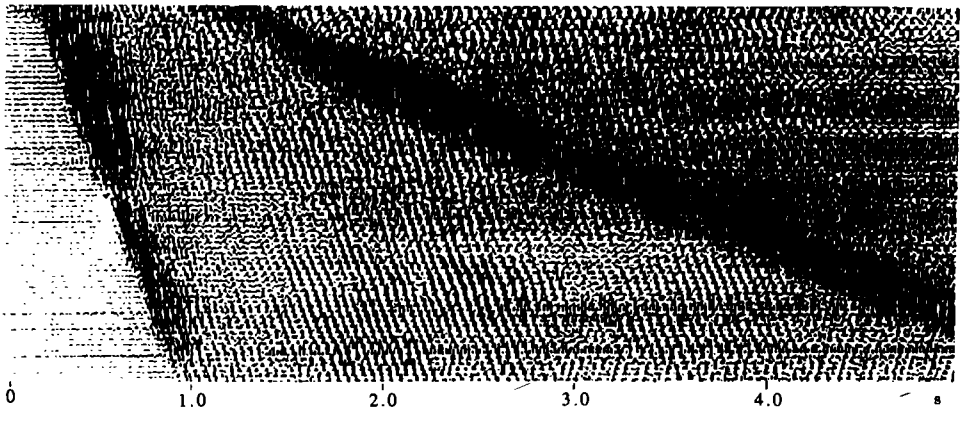

图 1a　可控震源记录上的谐振干扰

4 台 4 次，扫描频率 f=8～80Hz，相位 0°，非线性，+6dB/oct，震点 515143

本文于 1997 年 9 月 23 日收到，修改稿于同年 10 月 13 日收到。

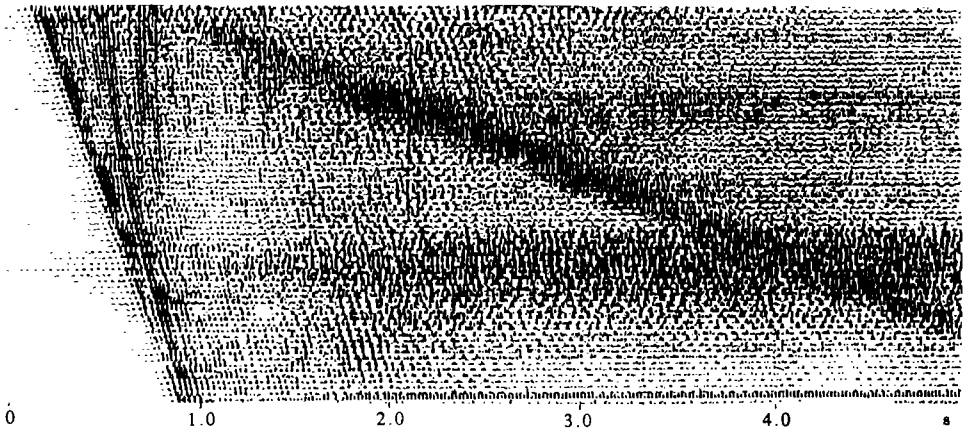

图 1b 采用变频变相位扫描的可控震源记录

4台4次，S_w1、S_w2 的扫描频率 $f=30\sim80$Hz，相位 0°，线性，震点 550123；
S_w3 的扫描频率 $f=8\sim80$Hz，相位 180°，非线性，+6dB/oct；
S_w4 的扫描频率 $f=8\sim80$Hz，相位 270°，+6dB/oct

变相位扫描压制谐振

图 2a～图 2d 为震源 4 台，扫描频率 $f=8\sim80$Hz，非线性，+6dB/oct，震点为 539151，相位分别为 0°、90°、180°和 270°的一次扫描记录。强谐振干扰出现时间在 1.3～1.7s。在这四炮中，我们均选 41 道、45 道，读取初至、有效波和谐波的波峰和波谷的时间列于表 1、表 2。从表中可以看出，四炮初至和有效波的波峰、波谷时间一致，而谐波的波峰、波谷时间并不一致。若将四炮叠加，其有效波得到加强，谐振由于正、负抵消而得到明显压制，这就是变相位压制谐振干扰的原理。由于生产中可控震源子波不完全是零相位，故相反相位扫描的谐振时间（比如 0°和 180°）不完全一致，且每次扫描谐波的幅度值又不同，导致谐振最终不能完全消除。

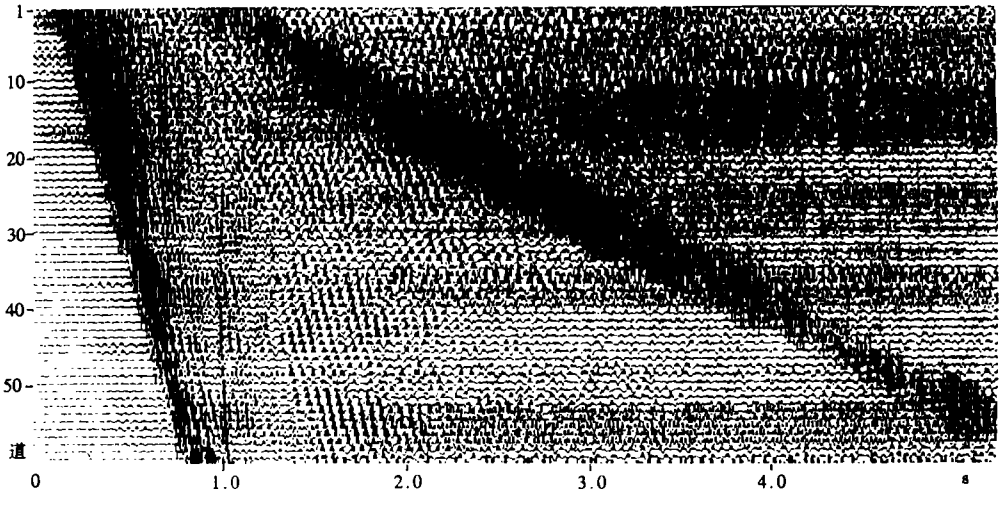

图 2a 相位为 0°的扫描记录

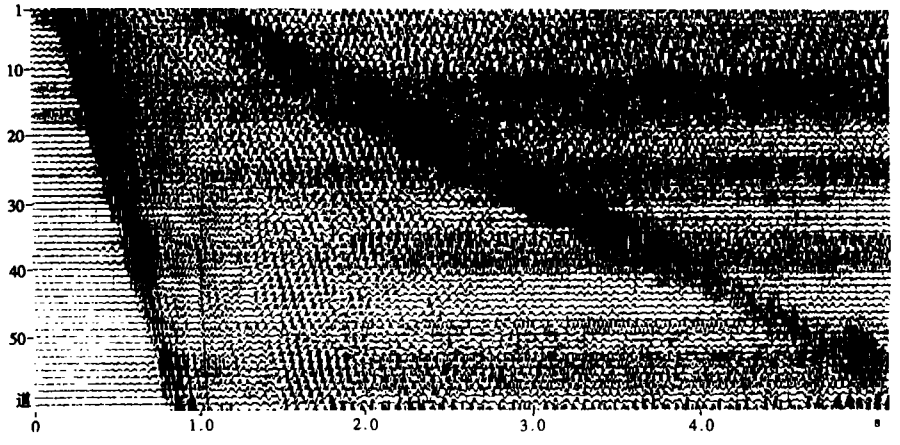

图 2b 相位为 90°的扫描记录

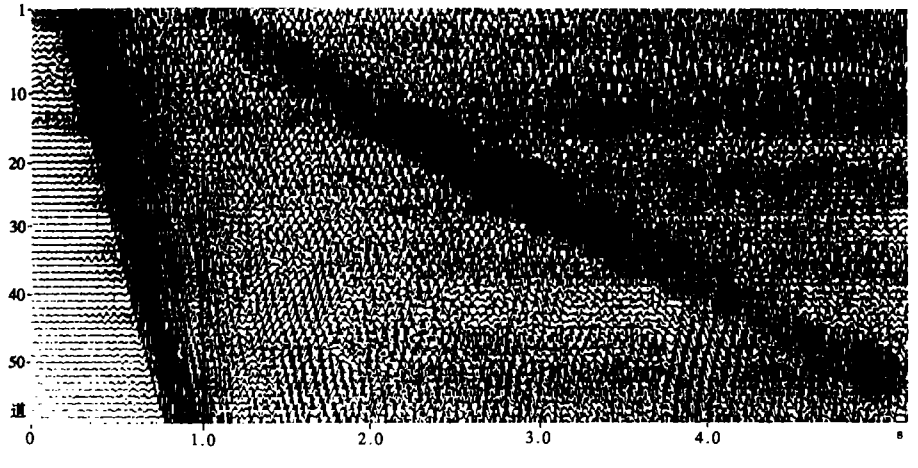

图 2c 相位为 180°的扫描记录

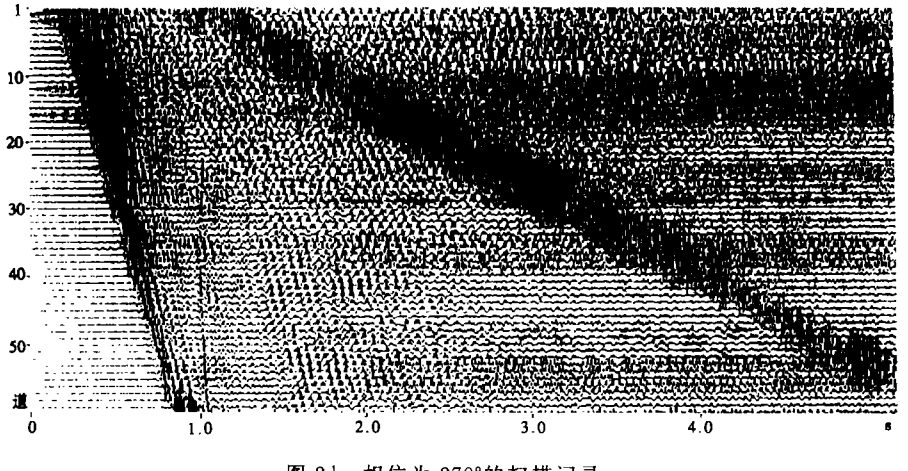

图 2d 相位为 270°的扫描记录

表1 四炮(0°、90°、180°、270°)同一道(41道)时间对照表 ms

文件号	初至		有效波(1000～1100ms)		谐波(1300～1700ms)	
	波谷	波峰	波谷	波峰	波谷	波峰
403 (相位 0°)	654.253	655.339	1004 1026 1048 1070	1014 1036 1060 1080	1320 1380 1424 1488 1538 1598 1654	1348 1398 1458 1504 1564 1616 1672
401 (相位 180°)	654.132	665.332	1004 1024 1048 1070	1014 1038 1060 1082	1336 1384 1444 1492 1552 1610 1660	1308 1368 1412 1460 1526 1570 1642 1690
405 (相位 90°)	653.715	664.635	1004 1026 1048 1070	1014 1038 1060 1082	1332 1382 1440 1490 1548 1602 1658	1306 1364 1414 1474 1524 1570 1628 1688
402 (相位 270°)	654.070	665.314	1004 1026 1048 1070	1014 1038 1060 1082	1318 1364 1422 1470 1532 1578 1630 1680	1344 1396 1454 1500 1552 1610 1650

表2 四炮(0°、90°、180°、270°)同一道(45道)时间对照表 ms

文件号	初至		有效波(1000～1100ms)		谐波(1300～1700ms)	
	波谷	波峰	波谷	波峰	波谷	波峰
403 (相位 0°)	691.537	670.268	1006 1026 1050 1088	1016 1042 1064	1306 1358 1416 1466 1528 1584 1634 1690	1326 1340 1392 1444 1498 1548 1602 1654

续表 2

文件号	初至		有效波(1000～1100ms)		谐波(1300～1700ms)	
	波谷	波峰	波谷	波峰	波谷	波峰
401 (相位 180°)	691.394	670.128	1006 1026 1050 1088	1016 1042 1064	1328 1358 1420 1474 1538 1592 1660 1700	1300 1344 1402 1454 1502 1518 1570 1622 1682
405 (相位 90°)	691.319	699.997	1006 1026 1050 1088	1016 1042 1064	1328 1360 1410 1482 1532 1586 1636 1700	1300 1342 1396 1454 1502 1508 1564 1618 1678
402 (相位 270°)	691.398	670.117	1006 1026 1050 1088	1016 1042 1064	1332 1356 1412 1466 1514 1568 1612 1662	1316 1340 1384 1432 1486 1540 1598 1644 1692

谐振产生的机理初探

从上述试验可知,谐振干扰的产生与可控震源连续振动和特殊的地表条件有关,只要两个因素耦合就可能产生谐振。

可控震源与地表组成的耦合系统及地表受力情况如图 3a 所示。可控震源振动时向大地施加外力为

$$R = R_0 \sin 2\pi(f_1 + at/2)t \tag{1}$$

可控震源振动与大地的耦合响应关系为

$$B = \frac{R_1}{\sqrt{4b^2\omega_1^2 + (k^2 + \omega_1^2)^2}} \tag{2}$$

式中

$$R_1 = \frac{R_0}{\rho_0 \mathrm{d}s\mathrm{d}l}, \quad b = \frac{\rho_0 v_0 + \rho_1 v_1}{2\rho_0}, \quad k = \sqrt{\frac{E}{\rho_0}}, \quad \omega_1 = 2\pi(f_1 + at/2)$$

其中:ρ 为密度;v 为速度;E 为杨氏模量。

通过对式(2)分析，只有当 $v_0\rho_0 > v_1\rho_1$ 时，B 值有极大值。此时，大地与可控震源系统为谐振耦合响应系统。当振动频率与大地固有频率一致时，即产生谐振。

下面来看看采油二厂三维工区的地表结构。经微测井调查结果：$v_0=600\sim700$m/s，$h_0=5\sim10$m；$v_1=450\sim500$m/s，$h_1=5\sim10$m。密度资料是用经验公式 $\rho=0.31v^{1/4}$ 间接求得的。这样该三维工区地表结构如图 3b 所示。据钻井岩心资料知，图中 h_0 层是土层带胶泥，h_1 是干裂的胶泥层，漏水严重，速度偏低。

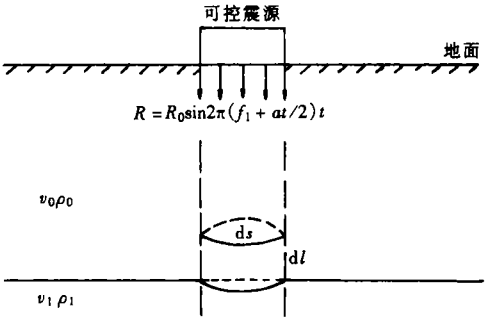

图 3a 可控震源与地表组成的耦合系统及大地受力图

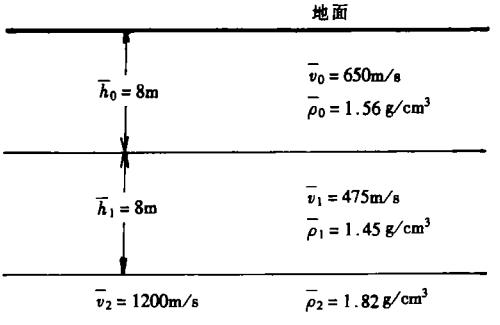

图 3b 采油二厂三维工区地表结构图

这一地表结构正好符合式(2)产生耦合响应条件。

由震源一致性试验记录可以看出，当振动频率在 25～38Hz 时，一致性变差，估计大地固有频率就在这个范围。当可控震源扫描频率扫过这一频段时，正好与大地固有频率吻合，大地产生共振，在原始单炮记录上便出现谐振干扰。

经济、社会效益初步分析

谐振干扰一直是困扰可控震源施工的难题，它不仅影响施工质量，而且还影响施工的进度。像图 1 这样的记录，按部颁标准评价，只能被评为废品记录。以采油二厂的三维工区为例，图 1 这样的记录约占 70%以上，施工无法进行。通过使用变频变相位扫描技术，消除了谐振干扰引起的废炮，确保了正常生产和工期要求。按该区三维地震的总费用 600 万元计算，该项技术一次性节省资金至少 300 万元，并取得了良好社会效益。

参 考 文 献

1 梁秀文. 可控震源与大地的耦合响应. 石油地球物理勘探，1986，21(4)：391～396
2 陆基孟等. 地震勘探原理，石油工业出版社，1982

作 者 介 绍

肖建华　高级工程师，1962 年生，1982 年毕业于中国矿业大学物探专业。曾从事过微机现场资料处理、大地岩性探测、导波地震勘探等研究，1994～1995 年在英国爱丁堡大学从事各向异性理论研究。现在中国煤田地质总局第一勘探局科教中心从事精细地震勘探的理论和应用研究工作。

李套山　高级工程师，1939 年生，1965 年毕业于北京地质学院石油物探专业。曾从事物探技术的管理工作。现在中原石油勘探局地质调查处从事中国石油天然气总公司的攻关项目“高分辨率地震勘探技术”的基础理论研究工作。

钱绍瑚　副教授，1940 年生，1965 年毕业于北京地质学院物探系。曾参加过长庆油田、华北油田的地震勘探工作，自 1979 年调入中国地质大学（武汉）物探系以来，一直从事教学和科研工作。在专业杂志上发表过多篇论文，编有《地震勘探》教材（中国地质大学出版社，1993），参与了《应用地球物理教程——地震勘探》等教材的编写。

刘世文　高级工程师，1964 年生，1984 年毕业于西南石油学院物探专业。长期从事野外资料采集工作。现在新疆石油管理局地质调查处从事物探采集方法的研究工作。

傅朝奎　工程师，1964 年生，1986 年毕业于大庆石油学院物探专业，1995 年毕业于长春地质学院，获硕士学位。先后有 4 项科研成果获大庆石油管理局技术革新成果一等奖，发表学术论文数篇。现在大庆石油管理局物探公司从事地震采集工作。

康立乾　工程师，1961 年生，1982 年毕业于长春地质学院物探系。曾从事地震资料处理及应用软件的开发工作。现在地质矿产部第四物探大队计算研究所从事地震资料处理的方法研究及软件开发工作。

马劲风　讲师，1965 年生，1985 年毕业于长春地质学院应用地球物理专业，1991 年与 1997 年分别获西北大学石油地质与勘探专业的硕士和博士学位。曾参加中原石油勘探局 SGIS 人机联作解释系统的研制与开发工作，从事过人机联作解释、油藏描述、岩性反演、地震资料的非线性反演等工作。现在西北大学地质系从事储层横向预测、岩性参数反演、复杂地质条件下多井约束的非线性反演等方面的研究工作。

李桂元　高级工程师，1938 年生，1964 年毕业于北京地质学院物探专业。先后从事过地震资料处理、解释方法研究工作，发表过学术论文多篇。现在石油地球物理勘探局研究院从事地震资料处理的方法研究工作。

顾培城　高级工程师，1942 年生，1966 年毕业于复旦大学物理系，1989 年在莫斯科石油学院进修物探专业。曾从事室内资料处理方法研究，主要是 VSP 资料采集、处理技术的研究。现在大港油田集团物探公司从事野外采集方法研究工作。

温森来　高级工程师，1936 年生，1960 年毕业于长春地质学院物探系。曾获国家级、部级、局级、处级科技成果奖各一次。在本刊发表过多篇论文。现已退休，仍然致力于综合解释的研究工作。

雷克辉　工程师，1972 年生，1997 年毕业于江汉石油学院应用地球物理专业，获硕士学位。曾参加过国家自然科学基金课题“井中多波地震参数与地面地震参数的相关研究”和“大港油田油藏描述”项目的研究工作。现在江汉石油学院物探系从事地震资料储层预测方法研究及软件编制工作。

卢刚臣　助理工程师，1972 年生，1995 年毕业于石油大学（北京）综合勘探专业。现在大港油田集团物探公司从事地震资料的综合解释工作。

刘秋生　高级工程师，1943 年生，1963 年毕业于北京地质学院水文地质及工程地质学专业。一直从事石油物探、地质的研究工作，对复杂断层的研究具有较深的造诣，曾在专业杂志上发表多篇论文。现在中原石油勘探局勘探开发科学研究院从事研究和技术管理工作。

于学滋　高级工程师，1952 年生，1986 年毕业于长春地质学院物探专业。曾获全国矿产资源委员会矿产储量报告二等奖。现在吉林石油集团公司勘探部从事储量管理及圈闭评价管理工作。

李　玲　高级工程师，1946 年生，1970 年毕业于北京地质学院物探系。现在石油地球物理勘探局物探