

24 位地震数据采集系统 进行高精度石油地震勘探的局限性

廖声刚

(江汉石油管理局地球物理勘探处)

摘 要 新型 24 位地震数据采集系统具有高稳定性、高保真度、大瞬时动态范围等特点,但是它们对于高精度石油地震勘探仍具有很大的局限性,通过分析,提出了对 24 位地震数据采集系统进一步改进、完善的思路。即设法扩大 24 位 AD 转换器的实用动态范围和减小混叠在一起的高低频反射信号的幅度差。

主题词 高分辨率勘探 地震勘探设备 数据采集 数字化转换器 油气勘探

1992 年美国 I/O 公司首次推出 24 位 AD 转换器的地震数据采集系统,引领了地震勘探设备的一场革命,很快,无论是无线地震数据采集系统还是无线地震数据采集系统纷纷摒弃 IFP (瞬时浮点放大器) + 15 位 AD 转换器的设计模式,无一例外都采用了 24 位 AD 转换器,法国 SERCEL 公司推出的 SN388 以其简洁的设计、优良的性能,迅速在世界物探市场扩张。

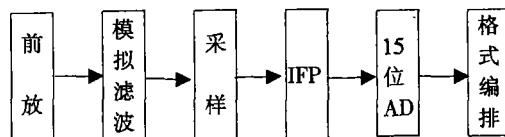
人们为 24 位地震数据采集系统的诞生和应用叫好不是没有道理的。地震数据采集系统作为地震勘探工具,要满足地震勘探技术发展的需要。现在地震勘探领域正在向过渡带延伸,复杂的地表环境对地震数据采集系统的灵活性、适应性、稳定性提出了更高的要求,而高精度地震勘探技术的发展对地震数据采集系统的许多重要指标也提出了更高的要求,如保真度要高、瞬时动态范围要大等等。24 位地震数据采集系统正是适应了这些要求诞生和应用的,特别是高稳定性、高保真度、大瞬时动态范围。

与 IFP + 15 位 AD 的地震数据采集系统比较,24 位地震数据采集系统的确占有非常明显的优势。但是,值得一提的是,新型 24 位地震数据采集系统对于高精度石油地震勘探来说,仍具有很大的局限性。

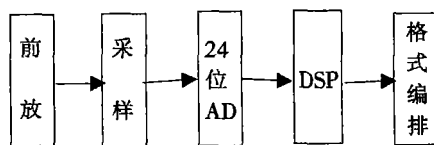
1 24 位地震数据采集系统的优势

图 1 为 24 位与 IFP + 15 位地震数据采集系统的电路结构图。

从图 1 可知:24 位地震数据采集系统比 IFP + 15 位地震数据采集系统多了一个 DSP,但是少了模拟滤波器和 IFP;另外 AD 由 15 位变为 24 位。正是这些变化导致了高稳定性、高保真度、大瞬时动态范围的实现。



IFP + 15 位地震数据采集系统



24 位地震数据采集系统

图 1 地震数据采集系统结构框图

当初 IFP 电路是因为 15 位 AD 的动态范围不能满足地震反射波由浅至深强度相差 120 dB 的要求而设计的,而 24 位地震数据采集系统中的

AD 转换器的动态范围已经达到了 120 dB,因此去掉了 IFP 电路。另外由于地震数据采集系统是多道

作者简介 廖声刚,男,1967 年毕业于北京地质学院构造物探专业,高级工程师,长期从事地震勘探仪器操作、维修和科研工作,曾发表论文多篇。

采集,现在已发展到成千上万道,而且设备使用的环境是全野外,条件十分恶劣,IFP+15位地震数据采集系统中的模拟滤波器和IFP处理的都是模拟信号,精度要求很高。在条件十分恶劣的情形下,要保证成千上万个模拟通道的一致性是非常困难的事情。尽管制造厂家精心设计电路,严格老化、测试、筛选元器件,但是整个系统对恶劣条件的适应性、稳定性仍不能令人满意,而且模拟滤波器在现有条件下,失真度很难达到要求,谐波失真的影响,将对系统的动态范围进行限制。24位地震数据采集系统去掉了全部模拟滤波器,用DSP数字滤波去假频,这样,简化了电路设计、器件选择、测试调试,降低了生产成本,又提高了稳定性和许多重要的指标(瞬时动态范围提高了约一倍,失真度降低了上百倍)。

2 24位地震数据采集系统的局限性

高精度石油地震勘探的基础是要把中深层反射的高频小信号记录下来。对于地震数据采集系统而言,就是这些高频小信号能被AD转换器量化成数字,这是高精度石油地震勘探的核心问题。要达到这个目的必须解决两个主要矛盾:降低采集时外界的高频噪声;减小混叠在一起的高低频反射信号的幅度差。解决前一个矛盾主要是地震勘探严格设计、严格施工的问题;后一个问题与地震数据采集系统有关。24位地震数据采集系统尽管有上述诸多优点,但是对减小混叠在一起的高低频反射信号的幅度差,把它们都纳入AD转换器的转换范围却仍力不从心。

高精度石油地震勘探的主要目标是中深层的高频反射信号。埋深相近的地层反射的高频信号与低频信号是混叠在一起的,地层对弹性波的吸收与波在地层中传播的时间和波的频率有关,一般用表达式 $A = -27.3f_0/Q$ 描述。式中 A 为以dB为单位的衰减量, f_0 为信号主频, t_0 为反射波双程旅行时间, Q 是与速度有关的品质因素。很显然,波的频率愈高,地层对波的吸收愈厉害。

李庆忠院士对典型新生界沉积盆地不同 t_0 时反射波的大地吸收衰减量进行系统研究表明,对于2s反射波,大地对高频120Hz信号的吸收比低频10Hz信号强约85dB,比低频30Hz信号强约70dB^[2]。也就是说对于2s旅行时反射波,地震数据采集系统的动态范围要能满足上述要求,才能把高、低频信号都

采集下来。

这里所涉及的动态范围的概念与前面所说的概念是不同的,这种能把某一时间的大信号和小信号都记录下来的动态范围叫瞬时动态范围。瞬时动态范围只与地震数据采集系统的AD转换器有关,AD转换器的位数越多,瞬时动态范围越大。厂家给出的24位AD转换器的瞬时动态范围值是120dB,表面上看,完全能够满足上述要求。其实不然。因为地震数据采集系统都有一个允许的最大输入信号值,这项指标是根据最强地震反射信号的能量确定的。最强地震反射信号无疑是初至波或浅层反射波,也就是说,只有初至波或浅层反射波才能使24位AD转换器的高位产生有效数,这时候24位AD转换器的实用动态范围是实实在在的120dB。但是由于地层对波的吸收,中深层的反射信号比浅层反射信号的强度要弱近60dB,此时24位AD转换器的高10位全部是0,实际可用的动态范围只有 $120\text{dB} - 60\text{dB} = 60\text{dB}$ 了,并不能满足高精度石油地震勘探对采集中深层高低频反射信号的要求。

3 解决问题的思路

从上面的分析可以看出,解决问题的思路有两条:一是设法扩大24位AD转换器的实用动态范围,二是设法减小混叠在一起的高低频反射信号的幅度差。

24位地震数据采集系统在采集中深层反射信号时,瞬时动态范围减小的主要原因是只采用了固定放大增益,浅层反射波能量强,可以使AD转换器的最高位产生有效数,此时的瞬时动态范围达到了120dB的标称值,但是随着反射层位加深,反射波能量衰减,而系统放大增益不变,AD转换器输入端信号幅度降低,高位不能产生有效数,反射层位愈深,反射波能量愈小,不能产生有效数的高位愈多,实用瞬时动态范围愈小(图2)。

如果在24位地震数据采集系统的AD转换器的前面增加一种增益可变的放大器,用大增益放大中深层反射信号,使其经过AD转换后产生有效数的位向AD转换器的高位端移动,就扩大了AD转换器的实用动态范围。增益每提高2倍,动态范围扩大6dB。在这种地震数据采集系统设计生产出来以前,对现有的24位地震数据采集系统,可以考虑采用合适的大前放增益(保证中深目的层反射信

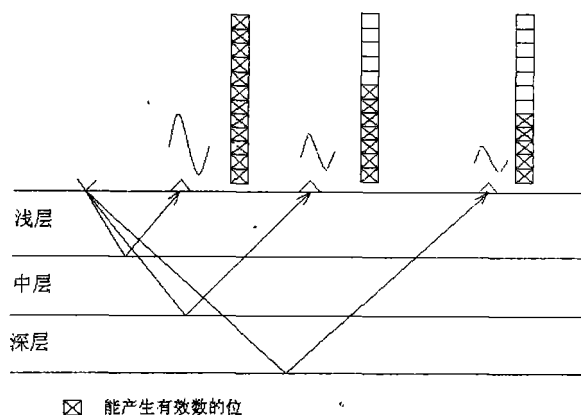


图2 实用瞬时动态范围随反射波能量变化示意图

号放大后不溢出为合适程度),使中深层低高频反射信号同比例放大,往AD转换器的高位端移动,一方面加大了AD可利用的动态范围,同时又提高了高频小信号进入AD的幅值,虽然提高前放增益会减小瞬时动态范围,但是瞬时动态范围降低的量级是小于前放增益提高量级的。当然采用这种办法浅层反射信号可能会溢出,需要时可以采用其它方法弥补。

在探索解决问题的办法时,应该对舍弃模拟滤波器的作法进行反思,24位地震数据采集系统以前的系统都设计有高切低切模拟滤波器,高切滤波器防止产生假频,低切滤波器用来滤除频率低的面波干扰,后来在高精度地震勘探技术的探索中发现低切滤波器对压制中深层低频大信号,减小中深层低高频反射信号幅度差有显著作用,若把截止频率选在120Hz,滤波器陡度选18dB/oct,那么120Hz信号相对30Hz信号,通过滤波后幅度提升了36dB。当然任何模拟滤波器都存在谐波失真,中深层低频反

射信号经过滤波后振幅会衰减,但同时其高次谐波会像中深层高频小信号一样,混叠在低频大信号上。若模拟滤波器的失真度大,低频信号的高次谐波幅度大,高频反射小信号可能会被其淹没,失去被AD量化的可能,实际上也就是减小了系统的瞬时动态范围。有关资料表明,24位地震数据采集系统增加模拟滤波器可能会使瞬时动态范围降低14dB,但是相对而言,模拟低切滤波器压低抬高的好处还是大于减小瞬时动态范围的害处。若能设计生产出失真度更小的模拟低切滤波器,那么在24位地震数据采集系统中增加模拟低切滤波器,减小混叠在一起的中深层高低频反射信号的幅度差,仍是可考虑的方法之一。

总结上述讨论,可以得到这样的认识:新型的24位地震数据采集系统对于工程、煤田等浅层高精度地震勘探,其大瞬时动态范围的优势得到充分的发挥,但是对于目标反射层较深的高精度石油地震勘探并不比IFP+15位地震数据采集系统有实质进步,不能寄予过高的希望。要促进生产厂家进一步改进完善,满足高精度石油地震勘探的需要。

参 考 文 献

- 1 陈祖传. 新一代地震仪器发展的探讨. 石油物探装备, 1996, (1)
- 2 李庆忠. 地震高分辨率勘探中的误区与对策. 石油地球物理勘探, 1997, (6)
- 3 刘益成等. 高分辨率地震勘探采集站参数选择. 石油物探, 1997, (2)
- 4 柴书常. SN388风光启示录. 石油仪器, 2000, (1)

(编辑 康新荣)

(上接第12页)

参 考 文 献

- 1 Ryu, J. V. Seeing through seismically difficult rocks unconventionally[J]. geophysics, 1997, 62(4): 1177~1182
- 2 Li X et al Using converted shear-wave for imaging beneath basalt in deep water plays[A]. 68th Ann Internat Mtg, Soc Expl Geophys. Expanded bstracts, 1998 1369~1372
- 3 Mirko van der Baan, Tom Kerrane, J - Michael, et al Imaging sub-basalt structures using locally converted waves[J]. First break, 2003, 21. 29~36
- 4 Dhananjay Kumar, Ravi Bastia, Debajyoti Guha prospect hunting below Deccan basalt: imaging challenges and solutions[J]. First break, 2004, 22 35~39.
- 5 查树贵. 江陵凹陷玄武岩覆盖区多次波压制方法研究[J]. 石油物探, 2000, 39(增刊): 1~10
- 6 裴正林, 牟永光. 火成岩区地震波传播规律研究[J]. 石油物探, 2004, 43(5): 433~437.
- 7 胡中平, 管路平, 顾连兴等. 高速屏蔽层下广角地震波场分析及成像方法[J]. 地球物理学报, 2004, 47(1): 87~94

(编辑 康新荣)