

刘益成,易碧金,巩庆钢.地震数据采集系统计时精度测试方法研究.地球物理学进展,2009,24(2):759~762. DOI:10.3969/j.issn.1004-2903.2009.02.054.

Liu Y C, Yi B J, Gong Q G. The research of testing method for timing precision of seismic data acquisition systems. *Progress in Geophys.* (in Chinese), 2009, 24(2):759~762. DOI:10.3969/j.issn.1004-2903.2009.02.054.

地震数据采集系统计时精度测试方法研究

刘益成¹, 易碧金², 巩庆钢²

(1. 长江大学电信学院, 荆州 434023; 2. 东方地球物理公司装备事业部, 涿州 072750)

摘要 计时精度是地震数据采集系统的重要性能指标,直接影响到地震勘探对地层分辨的准确度.地震数据采集系统中计时精度主要由采集站的采样率精度决定.本文首先给出了计时精度的定义,基于模拟信号数字处理技术,分别研究了采用单方波脉冲法和双单位脉冲法测量计时精度的两种方法并比较了它们的测试精度,给出了采用本文所述方法的测试结果.最后对测试误差进行了讨论.

关键词 计时精度, 遥测地震仪, 采集站, 单位脉冲响应

DOI:10.3969/j.issn.1004-2903.2009.02.054

中图分类号 P631

文献标识码 A

The research of testing method for timing precision of seismic data acquisition systems

LIU Yi-Cheng¹, YI Bi-Jin², GONG Qi-Gang²

(1. *Electronics & information College of Yangtze University, Jingzhou 434023, China;*

2. Department of Equipment BGP Inc., CNPC, Zhuozhou 072751, China)

Abstract The timing precision of telemetry seismic data acquisition systems is a very important performance index, which passes effects on stratum resolution of seismic prospecting directly. The timing precision of telemetry seismic data acquisition systems depends on the precision of sampling rates of data acquisition units. This paper gives the basic definition of timing precision first, based on analog-digital signal processing technique. It studies the single square wave and double unit impulse methods of testing timing precision and compares their testing precisions, and presents test results using the method mentioned. At last it discusses test errors.

Keywords timing precision, telemetry seismic instrument, acquisition unit, unit impulse response

0 引 言

地震勘探最重要的任务是根据地震反射波来探测地层的结构,各地层的厚度是由地震波的旅行时间与地震波的速度来确定的,因此地震波旅行时间的准确度直接影响到地震勘探对地层的分辨.现代地震数据采集系统是以计算机为中心的大型分布式野外数据采集系统,其数据采集工作由排列在各个采集点上的数据采集站完成,采集站的技术水平直

接关系到地震勘探资料的质量^[1,2].采集站负责收集地震波信息并将它按一定的采样率进行采样变成离散数字化地震资料,在地震资料的后期处理中,地震波的旅行时间由采样率与数字序列的序号确定.也就是说,旅行时间的准确度完全由采样率的精度决定.因此数据采集站采用率(或采样间隔)的精度是地震数据采集系统的重要指标之一,该指标被称为计时精度.由于计时精度的重要性,它被规定为地震数据采集系统需要校正的关键指标之一,在

收稿日期 2008-08-15; 修回日期 2008-10-15.

基金项目 中国石油天然气集团公司重大科技专项(06G10302)资助.

作者简介 刘益成,男,1947年生,1970年毕业于华中工学院无线电技术专业,硕士,教授,长期从事信号与信息处理、地球物理仪器的教学与科研工作. (E-mail:ycliu@yangtzeu.edu.cn)

仪器的年检月检和使用前都要进行相应的测试校正^[3~8]。但是由于地震仪器的复杂性和专业性,各生产厂家设计制造的地震仪器没有统一的设计标准和统一的测试方法,对仪器自身给出的指标各有差异,特别是对计时精度这一指标各仪器都没有严格的定义,对仪器计时精度的准确性判断带来了难度。国外有专门的第三方测试单位对地震仪器的性能指标测试作专门的研究并且对仪器提供测试服务,但是测试的方法都不透明或采取保密的方式。我国对地震仪器的计量刚刚起步^[9],还没有专门的机构对测试方法进行专门的研究,由于测试方法的不完善,对地震仪器的部分性能指标测试结果与厂家提供的数据有时存在误差,并且有些指标往往只能被动地接受,这对仪器质量的评价带来了很大困难并对地震勘探的精度造成影响。随着高分辨率地震勘探的深入发展,研究准确测量地震数据采集系统计时精度的方法对地震勘探仪器的研制、使用和评价以及地震资料的后期处理都具有重要的意义。

1 计时精度的定义

地震数据采集站实际上是一个模拟信号数字处理系统,其框图如图 1 所示。整个系统中包括:

(1)前置放大器,用于将由地震检波器送来的微弱地震波信号按需要的增益进行放大,所谓增益指放大器的放大倍数,用 dB 表示,通常有 0dB,6dB,12dB,24dB 等;

(2)高精度 A/D 转换器,负责将由地震波信号转换成数字信号;

(3)数字信号处理模块,简称 DSP,用于将转换后的数字信号进行数字滤波处理。

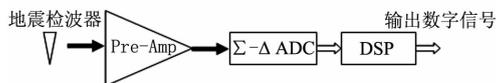


图 1 地震数据采集站框图

Fig. 1 Scheme of seismic data acquisition station

如前所述,计时精度的测量实际上就是测量 A/D 转换器的采样率。计时精度用相对误差表示,其定义如下:

设 A/D 转换器理论采样率为 T_{ideal} ,实际测量的采样率为 T_{real} ,则计时精度 T_p 为:

$$T_p = 100 \times \frac{T_{ideal} - T_{real}}{T_{ideal}} \% \quad (1)$$

按(1)式的定义,显然,为了测量 A/D 转换器的采样率,最直接的方法就是预先设置好 A/D 转换器的理论采样率,在其输入端输入严格计时的一段模拟信号,然后计算 A/D 输出端的样点数,从而计算实际的采样率。设输入信号的计时间隔为 T ,在此时间间隔中获得的输出信号的采样点数为 N ,则实际采样率 T_{real} 为:

$$T_{real} = T/N \quad (2)$$

因此,如何准确地求取 N 值是计时精度测量的核心。

2 计时精度的两种测量方法

从系统的角度来说,这实际上是一个输入-输出系统,它输入模拟地震信号,输出经过处理后的数字化地震数据,为了讨论的方便,将图 1 所示采集站框图等效为图 2 所示的系统框图。

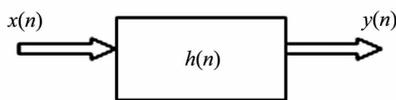


图 2 地震数据采集站等效系统框图

Fig. 2 Scheme of equivalent seismic data acquisition station system

图中 $h(n)$ 是系统的单位脉冲响应, $x(n)$, $y(n)$ 分别为输入和输出信号。 $y(n)$ 等于 $x(n)$ 与 $h(n)$ 的卷积:

$$y(n) = \sum_m x(m)h(n-m) \quad (3)$$

系统对任何输入,输出都将按(3)式发生改变。在实际的测量过程中关键问题是如何在输入信号规定的时间内,从输出信号的波形中准确地判定指定时间间隔的采样点数。以下讨论 2 种测量方法。

2.1 单矩形脉冲法

单脉冲法采用如图 3 所示的方波脉冲信号作为测试信号,从时刻 0 开始计时, T_1 为矩形脉冲起跳时刻, T_2 为脉冲宽度, T_1 , T_2 , T_3 长度可根据采样频率适当选取,但作为测试用的标准信号,对 T_1 , T_2 的值要准确计时。同时,从测量的精度出发, T_2 应足够长。将该信号作为输入信号 $x(n)$,在输出信号 $y(n)$ 中测量对应于 T_2 这段时间的样点数 N ,然后按(2)式求得实际的采样率,计时单位采用秒或毫秒。

在实际的测量过程中,由于(3)式系统卷积的结

果,输出 $y(n)$ 的波形发生了变化,如图 4 所示.对比图 3 和图 4, T_2 的上升沿和下降沿都发生了变化.造成这种改变的原因是由于系统的单位脉冲响应 $h(n) \neq \delta(n)$, 因此在 T_2 的上升沿和下降沿处出现了过渡带,即出现了上冲和下跳,如图中标签处.这是典型的 Gibbs 效应^[10],这使得在计算 T_2 时间内的采样点数 N 时由于起跳点和结束点不明确而产生了误差,从而将导致计时精度的测量误差.这可采用下述的双脉冲法予以改进.

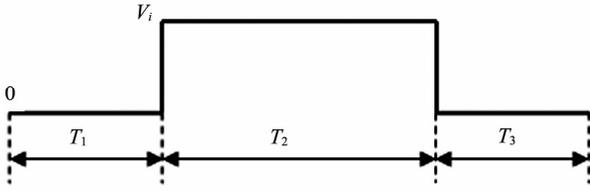


图 3 测试用单方波信号

Fig. 3 Testing single square wave signal

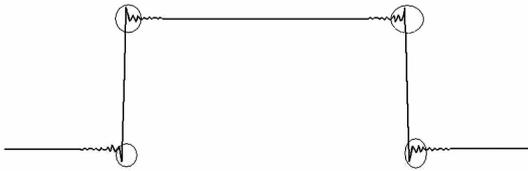


图 4 系统对单方波信号的响应

Fig. 4 The response of system to single square wave signal

2.2 双单位脉冲法

在这种方法中,测试信号采用两个相距有较大间隔的单位脉冲,如图 5 所示.

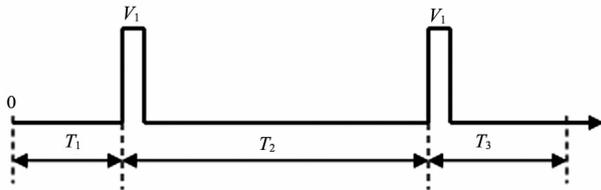


图 5 双单位脉冲测试信号

Fig. 5 The testing signal of double unit impulse

其中高电平脉冲宽度取半个采样间隔,构成单位脉冲. T_1 为矩形脉冲起跳时刻, T_2 为 2 个脉冲的间隔,也是要测量的时间间隔, T_1, T_2, T_3 长度可根据采样频率适当选取,但对 T_2 的值要准确计时.将该信号作为输入信号 $x(n)$,可得到如图 6 所示的系统输出信号 $y(n)$.

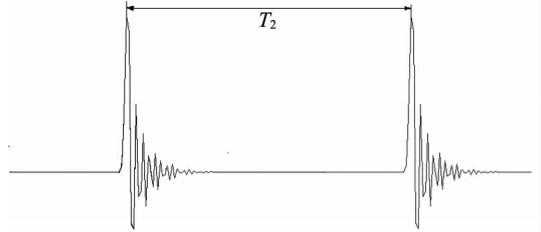


图 6 系统对双单位脉冲测试信号响应

Fig. 6 The response of system to double unit impulse signal

$y(n)$ 实际上是 2 个单位脉冲响应 $h(n)$ 的叠加值.测量 $y(n)$ 的这 2 个最大值之间的采样点数,这就是对应于时间 T_2 的采样点数 N .除去 T_1 的时间, $y(n)$ 的第 1 个最大值处的时刻代表系统的延时^[3].这样测试的主要优点是,虽然在每个脉冲处其响应都会出现波动,对单脉冲而言,信号经过系统时产生的延时将会造成起始时刻计时不准,但采用双脉冲,计算它们之间的相对时间,就排除了延时以及初始波动的影响.

在测量了对应于时间 T_2 的样点数 N 后,按(2)式和(1)式就可求得计时精度.

3 测试结果与测量精度分析

本方法已实际应用于 DZYJ-1 型数字地震仪校准装置.应用本文介绍的双脉冲方法对多种地震勘探仪器进行了计时精度的测试,结果表明与仪器的指标非常吻合.表 1 给出了对 Sercel 408UL^[11] 仪器不同采样率的测试结果.

表 1 Sercel 408UL 地震勘探仪器的几种不同采样率计时精度测试结果

Table 1 Timing precision testing results of several sampling rate for Sercel 408UL seismic instruments

仪器型号	理论采样率(ms)	计时长度 T_2 (ms)	采样点数(N)	实际采样率(ms)	计时精度 T_p (%)
Sercel 408UL	0.25	2000	7999	0.25003125	0.0125
Sercel 408UL	0.5	2000	4001	0.4998750	0.025
Sercel408UL	1	2000	1998	1.0010010	0.100
Sercel408UL	2	2000	1001	1.9980020	0.0999
Sercel408UL	4	2002	500	4.004	0.100

由于在实际测量中 $y(n)$ 最大点采集偏差可能有 1 个样点, 因此由 (2) 式可知, 测试所得的采样率误差约为: $\frac{T_{\text{real}}}{N}$, 显然, N 越大, 误差越小, 因此为了减少测试误差, 应增加 T_2 的长度从而增加样点数 N . 例如, 若采样率为 1 毫秒, $N=8000$, 则采样率的测试误差为 0.125 微秒. 同时影响测试误差的因数还与对模拟信号 T_1, T_2 的计时精度有关, 在大多数情况下, 由于目前地震数据的采样率在 250 ms 以上采用精度在 10^{-6} s (1 μ s) 以上的计时系统是可以接受的, 例如微机的时钟^[9].

4 结 论

计时精度是遥测地震数据采集系统重要指标. 本文介绍了计时精度的定义与意义, 比较了 2 种测量计时精度的方法, 采用双单位脉冲法可准确测定系统的实际采样率. 计时精度的测量对遥测地震数据采集系统来说是很重要的, 在地震仪器检定系统中应用本测试方法、设计推导出的计算公式对 IO、SERCEL、ARM-ARIES 公司的几十台仪器进行了测试, 验证了测试的结果与厂家提供的参数基本吻合(或误差在规定的范围以内)^[11~21]. 本文所述的方法已实际应用于地震仪器检测系统中, 取得了较好的效果.

致 谢 感谢中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司装备事业部罗福龙总工程师和装备研究中心对本研究的大力支持. 该中心的计量人员按照本文所述的原理和方法对国内外的多种大型地震数据采集记录系统的计时精度作了大量的测试与对比, 提供了大量的测试数据. 验证了本文所述方法的有效性. 在此对他们的辛勤劳动和认真负责的工作表示真诚的感谢.

参 考 文 献(References):

[1] 易碧金, 穆群英, 罗富龙. 当代地震仪器应用技术分析[J]. 地球物理学进展, 2004, 19(4): 837~846.
Yi B J, Mu Q Y, Luo F L. Application techniques of current seismic exploration instruments[J]. Progress in Geophysics, 2004, 19(4): 837~846.

[2] 刘益成, 等. 高分辨率地震勘探采集站参数选择[J]. 石油物探, 1997, 36(2): 116~123.
Liu Yicheng et al. Parameter selection in high resolution seismic acquisition station[J]. Geophysical Prospecting for Petroleum, 1997, 36(2): 116~123.

[3] 陶知非, 等. 中华人民共和国石油天然气行业标准 SY/T 6627—2005, 数字地震仪校准方法[M]. 北京: 石油工业出版社, 2005.

Tao Zhifei, et al. The calibration method of the seismic data recording system [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2005, 1~4.

[4] 何国信, 等. 中华人民共和国石油天然气行业标准 SY/T 5391—2007 石油地震数据采集系统[M]. 北京: 石油工业出版社 2004.
He Guoxin, et al. Petroleum seismic data acquisition system [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007.

[5] 中华人民共和国石油天然气行业标准 SY/T 5935-2007 SYSTEM II /SYSTEM2000/IMAGE 地震数据采集系统检验项目及技术指标[M]. 北京: 石油工业出版社, 2007.
The checking items and technical specifications for SYSTEM II /SYSTEM2000/IMAGE seismic data acquisition system [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2007.

[6] Q/CNPC 84-2003 Sercel408 遥测地震数据采集系统检验项目及技术指标[M]. 北京: 石油工业出版社, 2003.
The checking items and technical specifications for Sercel408 seismic data acquisition system [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2003.

[7] SY/T 5774-2004 SN388 地震数据采集系统检验项目及技术指标[M]. 北京: 石油工业出版社, 2004.
The checking items and technical specifications for SN388 seismic data acquisition system [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2004.

[8] 赵汀, 等. SY/T 6735-2008, ARAM-ARIES 地震数据采集系统检验项目和技术指标[M]. 北京: 石油工业出版社, 2008.
Zhao T, et al. The checking items and technical specifications for ARAM-ARIES seismic data acquisition system [M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 2008.

[9] 胡朝炜, 刘益成, 易碧金. 用软件实现地震仪测试系统中的高精度定时[J]. 物探装备, 2002, 12(3): 165~167.
Hu C W, Liu Y, Yi B J. Using software to realize the high precision timing for seismic instrument test system[J]. Equipment for GeoPhysical Prospecting, 2002, 12(3): 165~167.

[10] 刘益成, 孙祥娥. 数字信号处理[M]. 北京: 电子工业出版社, 2004.
Liu Y C, Sun X E. Digital signal processing [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2004.

[11] Sercel Inc. 408UL User's Guide Vol. 3, Ref. No. 0311401 [R]? 2004 Sercel. All Rights Reserved. Printed in the France. 42~326

[12] Sercel Inc. 408UL Technology Manual[R]. Carquefou Cedex France; Sercel Inc, 2002.

[13] Input/Output Inc. I/O image theory of operators (Revised 01/02) [R]. Stafford, TEXAS USA: Input/Output Inc, 2003.

[14] Geo-X System, Ltd. Aram-aries[R]. Alberta Canada; Geo-X System, Inc., 2003.

[15] Geo-X Systems, Ltd. Aram-aries operators manual (Version 1.00) [R]. Alberta Canada; Geo-X Systems, Ltd., 2001

[16] Syntron, Inc. Polyseis ATM™ User's Manual. Revision 0, April, 1999

[17] VibtechTechnology Ltd. IT System User's manual Ver. 1. 3, Vol. 1. [R]. Glasgow G4 OLT, UK; VibtechTechnology Ltd., 2004.

[18] Fairfield Industries Inc. Box Seismic Data Net[R]. Fairfield, Iowa, USA; Fairfield Industries Inc., 2001.

[19] Sercel Inc. 408UL preference training guide (Seismic Areal Network)[R]. Carquefou Cedex France; Sercel Inc., 2002

[20] JGI, Inc. MS-2000 [R]. Tokyo 112-0012 JAPAN; JGI, Inc., 2003.

[21] Seismic Instrument Inc. SI2000, Seismic Instrument [R]. Austin, Texas USA; Seismic Instrument Inc., 2002.