

RSDA-1 型 24 位水库地震数据 采集器的标定系统

王翠芳 宋 澄 邵玉平

(中国成都 610041 四川省地震局水库地震研究所)

摘要 RSDA-1 型 24 位水库地震数据采集器中标定系统是测定地震计和参数的关键工具,是评判台站每天工作状态是否正常的评判手段,是标定系统特性的必须环节。根据地震计和台站不同需要,需在采集器中设计 4 种标定信号,即脉冲标定、正弦标定、伪随机信号和高阶脉冲信号。本文主要介绍标定系统及 4 种标定信号在 24 位地震数据采集器中的设计和实现。

关键词 24 水库位地震数据采集器;标定系统;4 种标定信号;电路设计和实现

中图分类号:P315.69 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-3246(2007)06-0079-07

引言

RSDA-1 型 24 位水库地震数据采集器中标定系统有两个主要作用:对地震计的参数测定。地震计出厂前要进行参数测定和参数标定,地震计出厂后,随着时间的推移和环境条件的缓慢变化,组成地震计的性能参数可能会有所变化,若不及时了解这种变化并加以控制和调整,将降低地震计输出结果的可信度,有时甚至产生错误。所以,一台地震计无论在交付使用前还是在台站使用过程中,都需要标定,以确定其工作参数是否正常,频率特性是否符合使用要求;对台站安装和安装后的台站系统进行标定。例如:评判台站每天工作状态是否正常,标定系统特性是否符合使用要求,以保证观测系统质量,为地震学和地震预报研究的高可信度记录提供有力保证。

RSDA-1 型 24 位水库地震数据采集器中的标定系统,其标定信号的类别分为 4 种:正弦稳态标定、脉冲标定、伪随机标定和高阶脉冲标定。正弦稳态标定即输入信号为一组不同频率的正弦波,由于每个频点能量集中,在稳态下测量其响应效果很好;脉冲标定法,即输入阶跃信号(实际是一个较宽的脉冲信号),用以检查系统灵敏度等参数变化;伪随机标定,即输入一组伪随机信号来求系统的传递函数;高阶脉冲标定更精确地反演系统的幅频特性。每种标定波形见图 1 所示。

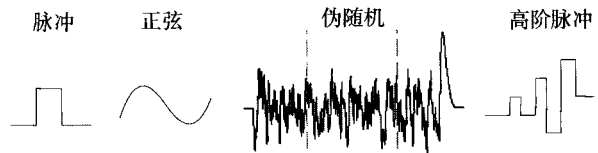


图 1 4 种标定波形

1 4种标定信号

数据采集器中每种标定的实现过程相同。首先,将参数预存在 SRAM 中,当有标定中断

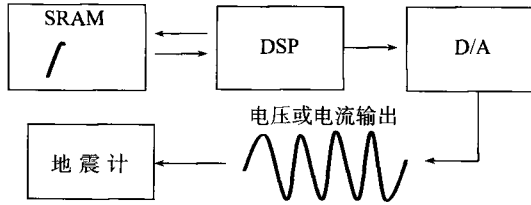


图2 4种标定信号流程

通知 DSP 时,DSP 立即从 SRAM 中读出相应的参数送给 12 位模数转换器(简称 D/A),D/A 将转换后的模拟信号(脉冲信号、正弦信号、伪随机信号和高阶脉冲信号)送给地震计,见图 2 所示(以正弦为例,其余几种类似)。

1.1 正弦波标定

正弦波标定一般为年度标定,即一年标定一次,主要标定系统的频率特性、反演地震计传递函数的零极点。正弦波的泰勒级数公式如下

$$\sin x = x - \frac{x^3}{3!} + \frac{x^5}{5!} - \dots + (-1)^{n-1} \frac{x^{2n-1}}{(2n-1)!} + \dots \quad (0 \leq x \leq 90^\circ) \quad (1)$$

按照公式取 1/4 象限(即 $0 \leq x \leq 90^\circ$)的参数存在 SRAM 中,格式如下(十六进制)。

```

0x0000,0x0324,0x0647,0x096a,0x0c8b,0x0fab,0x12c8,0x15e2,0x18f8,0x1c0b,0x1f19,
0x2223,0x2528,0x2826,0x2b1f,0x2e11,0x30fb,0x33de,0x36ba,0x398c,0x3c56,0x3f17,
0x41ce,0x447a,0x471c,0x49b4,0x4c3f,0x4ebf,0x5133,0x539b,0x55f5,0x5842,0x5a82,
0x5cb4,0x5ed7,0x60ec,0x62f2,0x64e8,0x66cf,0x68a6,0x6a6d,0x6c24,0x6dca,0x6f5f,
0x70e2,0x7255,0x73b5,0x7504,0x7641,0x776c,0x7884,0x798a,0x7a7d,0x7b5d,0x7c29,
0x7ce3,0x7d8a,0x7e1d,0x7e9d,0x7f09,0x7f62,0x7fa7,0x7fd8,0x7ff6
  
```

1/4 象限参数的编号为 0,1,...,63,则第 2/4 象限的取数顺序为 63,62,...,1,0,第 3/4 象限的取数顺序与 1/4 象限相同,只是将每个数前加个负号,第 4/4 象限的取数顺序与 2/4 象限相同,只是将每个数前加个负号。取数时间步距为 $1/(256 \times \text{频率})$ 。编程实现语句如下。

```

Data = ((p->Coeff) * sinTable[Dot]) // 第 1/4 象限
Data = ((p->Coeff) * sinTable[63-Dot]) // 第 2/4 象限
Data = (0 - ((p->Coeff) * sinTable[Dot])) // 第 3/4 象限
Data = (0 - ((p->Coeff) * sinTable[63-Dot])) // 第 4/4 象限
  
```

上述语句中,“p->Coeff”为取数指针,“sinTable[Dot]”为 1/4 象限中的数组及编号。Data 为取得的数。这样就得到了一个完整的正弦波。再将完整的正弦波按表 1 中的周期个数 N 循环(N-1)次就得到每个频点的一组正弦波。以 FSS 短周期地震计的正弦标定为例,其频点个数、周期数和频率见表 1。

表 1 FSS 短周期地震计标定参数

序列号	周期数 N	-周期,+频率	单位	序列号	周期数 N	-周期,+频率	单位
01	5	-10	s	09	540	18	Hz
02	8	-5	s	10	600	20	Hz
03	15	-2	s	11	660	22	Hz
04	30	1	Hz	12	690	23	Hz
05	60	2	Hz	13	990	33	Hz
06	150	5	Hz	14	1260	42	Hz
07	300	10	Hz	15	1320	44	Hz
08	450	15	Hz				

注:正弦波频点个数 12,采样率 50;正弦波频点个数 15,采样率 100。

正弦波标定有电流输出和电压输出,对微震标定一般都用电流,其大小恒为 5 mA,强震标定用电压输出。标定的数据格式如下。

BF 13 97 74	帧头同步码	4 字节
SITE_ID	A 通道为偶数,B 通道为奇数(ID_B=ID_A+1)	2 字节
CMD	1007H	2 字节
FL	14+6 * FRQ_N	2 字节
CAL_ID	7	2 字节
TM_EN	定时控制,0 表示禁止定时发出标定信号	2 字节
TM_START	定时启动时间	4 字节
TM_ITV	定时间隔(单位为天)	2 字节
FRQ_N	一组信号中包含的正弦波频率数	2 字节
S_LIST	参数列表(周期单位为 0.1 s 频率单位为 0.1 Hz)	6 * FRQ_N 字节

	1	...	FRQ_N
	P_N	T/F	K
	震荡	<0,周期	衰减
	周期数	>0,频率	因子
	2 字节	2 字节	2 字节

	P_N	T/F	K
	震荡	<0,周期	衰减
	周期数	>0,频率	因子
	2 字节	2 字节	2 字节

检查和

返回信息帧除 CMD 为 2007H 外,其余相同。

1.2 伪随机序列标定

伪随机序列标定按相关规范有 3 个序列,即 1047 序列、2046 序列和 2047 序列,每种序列值见表 2。

表 2 3 种伪随机序列参数(十六进制)

代码	序列值
1047	0x004934d7,0xcc7c8efc,0x380ffc71,0x3b2bbd47,0xa5417faa,0xbd0e9196,0xb3d633f2,0xa9994fa7,0x08d914de,0xeae67773,0xa9d07b70,0xc4a59a22,0xd2e98b02,0x92fbc637,0x61e4e588,0x6fe71a94,0x212df5c5,0xc87daa2f,0x673e0e4a,0xc9cb82b6,0x61add15f,0xa39b9468,0x192209b4,0xf3561768,0xc27f71e0,0x76c51320,0xd27be2ad,0xa0a2dbcf,0x11fb2d6a,0x19b0601b,0x6baf0a90,0xb2608902,0x6baf0a90,0xb2608902,0x19b0601b,0x004934d7,0xcc7c8efc,0x380ffc71,0x3b2bbd47,0xa5417faa,0xbd0e9196,0xb3d633f2,0xa9994fa7,0x08d914de,0xeae67773,0xa9d07b70,0xc4a59a22,0xd2e98b02,0x92fbc637,0x61e4e588,0x6fe71a94,0x212df5c5,0xc87daa2f,0x673e0e4a,0xc9cb82b6,0x61add15f,0xa39b9468,0x192209b4,0xf3561768,0xc27f71e0,0x76c51320,0xd27be2ad,0xa0a2dbcf,0x11fb2d6a
2046	0xaae39e7d,0x66d62456,0x92a556db,0x918117ed,0x0febd500,0x17a43b3c,0x197c9958,0x0333e50d,0xa273be74,0x404cdd9,0x037ad1da,0x6e0f3088,0x784321a8,0x38516c9d,0xcb4e4f22,0xc54db03e,0x8b875f6f,0x62d70085,0xcd94a4e0,0x6161281c,0xcb077bf5,0x09313ec2,0xb388a31e,0x59fcbdc2,0x68d5db4a,0xcd6fb98a,0x78d14807,0xa0a87165,0xbb51b7c0,0xb31acab1,0xc105a03a,0x18ca23a8,0xaa38c305,0x3253b752,0xdab55248,0xdcfdd025,0xe02855ff,0xd0b78987,0xcd06cd4f,0xf99835ed,0xbb188317,0x7f66444d,0xf90a5c4b,0x23e19eef,0xf79bcdf,0xf5d26c4,0x696361ba,0x75649f82,0xe8f14121,0x3a51fef4,0x64d6b63f,0x3d3dafc6,0x69f10815,0xed9d827a,0x98eeb9c3,0x4c06847b,0x2e54496a,0x47208ceb,0xe5d6ff0,0xbeaf1d34,0x895c907e,0x99ca6a9c,0x7df4bf8b,0xce6bb8ae
2047	0x002aaeee,0x04e5e5cf,0x18fc19fc,0x3352dd1c,0x83407558,0x89417572,0x27af3b2c,0x7b5923d0,0x62a51082,0xbfb993c2,0xcae11a83,0xbf933d2c,0x84bf4675,0xa76f24d0,0xb7ed9b69,0x242f5188,0x3eacee1b,0x03806aa4,0x45f5cdcb,0x61257a26,0xfa4c5e09,0xabc460a5,0x45df6325,0x2f7b26d0,0xe2b047f5,0x9886bdb9,0xc69f167d,0xa63a53a2,0xc51f7cd9,0xe3cf9e69,0xa43a06ff,0x1983c060,0x0ffe665a,0x5c5ca345,0x2085408a,0xbecce4b0,0xb813fd33,0x7883f2cd,0x1e29ae91,0xbd6c8e14,0xfde630f8,0x195688eb,0xe465f098,0x16a8eb1,0xb83953dd,0x362dae3b,0x06d5b76d,0x8e3e5308,0x7ea645a0,0x9017fd99,0xc3cacbb4,0x6df1cd61,0xda9c435f,0x89943df9,0xcc34adee,0x31ad6e24,0xfa1903d5,0x3778d949,0x742750dd,0x49de9ce9,0xe430ad44,0x8a14575d,0x89c16025,0x50881402

表 2 的序列代码、脉冲宽度、脉冲幅度和重复次数由计算机对数据采集器设置,设置后的值保存在 SRAM 中。脉冲满幅度是 32767,相当于标定最大电流 5 mA,一般设置为满幅度的 40%~60%。脉冲宽度一般设置为地震计固有周期的 3~5 倍,单位是 ms,对周期为 1 s 的地震计脉冲宽度设置为 5 s 即可。伪随机序列标定的数据帧格式如下。

BF 13 97 74	帧头同步码	4 字节
SITE_ID	A 通道为偶数,B 通道为奇数($ID_B = ID_A + 1$)	2 字节
CMD	1007H	2 字节
FL	18	2 字节
CAL_ID	6	2 字节
TM_EN	定时启动控制,0 表示禁止定时发出标定信号	2 字节
TM_START	定时启动时间	4 字节
TM_ITV	定时间隔(单位为天)	2 字节
AMP	脉冲幅度(32767 为正的满度值相当于 5 mA)	2 字节
P_W	脉冲宽度(单位为 ms)	2 字节
S_ID	序列代码	1 字节
S_N	重复次数	1 字节
检查和		2 字节

返回帧信息除 CMD 为 2007H 外,其余相同。

1.3 脉冲标定

脉冲标定是观察地震台站每天工作是否正常的标志,它的脉冲宽度和脉冲幅度由计算机对数据采集器设置,设置后的值保存在 SRAM 中。脉冲宽度一般为地震计固有周期的 3~5 倍,单位为 s,对于固有周期为 1 s 的摆,脉冲宽度经验值一般为 5 s;脉冲满幅度 32767 相当于 5 mA,一般设为满幅度的 60%~70%。脉冲标定的数据格式如下。

BF 13 97 74	帧头同步码	4 字节
SITE_ID	A 通道为偶数,B 通道为奇数($ID_B = ID_A + 1$)	2 字节
CMD	1007H	2 字节
FL	16	2 字节
CAL_ID	5	2 字节
TM_EN	定时启动控制,0 表示禁止定时发出脉冲标定信号	2 字节
TM_START	定时启动时间	4 字节
TM_ITV	定时间隔(单位为小时)	2 字节
AMP	脉冲幅度(32767 为正的满度值,相当于 5 mA)	2 字节
P_W	脉冲宽度(单位为 0.1 s)	2 字节
检查和		2 字节

返回信息帧除 CMD 为 2007H 外,其余相同。

1.4 高阶脉冲标定

高阶脉冲标定现在还没得到广泛推广,但理论研究已取得重大突破(杨晓源,1996),高阶脉冲相比阶跃脉冲,其优点是:①高频分量丰富,在感兴趣的频带内频谱高频分量随频率的增加而平滑地增长;②具有一定的直流分量和低频分量;③时隙数也不致太多,实现起来较容易。这 3 大优点克服了用跃脉冲反演得到的系统幅频特性的高频段精度极差,而无实用价值的问题,以确保感兴趣的整个频带内和频带边缘均有足够的幅频特性反演精度(黄敏,1999)。为

此,在 24 位水库地震数据采集器中专门设计了新颖的高阶脉冲标定。

高阶脉冲标定的脉冲阶数、脉冲宽度和脉冲幅度由计算机对数据采集器设置,设置后的值保存在 SRAM 中。其标定的数据格式如下。

BF 13 97 74	帧头同步码	4 字节
SITE_ID	A 通道为偶数,B 通道为奇数($ID_B = ID_A + 1$)	2 字节
CMD	1007H	2 字节
FL	$12 + 2 * N$	2 字节
CAL_ID	9	2 字节
TM_EN	定时控制,0 表示禁止定时发出脉冲标定信号	2 字节
TM_START	定时启动时间	4 字节
TM_ITV	定时间隔(单位为小时)	2 字节
PULS-N	脉冲阶数	2 字节
P-W	脉冲宽度(单位为 0.01 s)	2 字节
NPULS-LIST	高阶脉冲参数表	$2 * N$ 字节
	1 脉冲幅度(AMP)	
	2 AMP1	
	
	N AMPN	
检查和		2 字节

返回信息帧除 CMD 为 2007H 外,其余相同。

2 标定系统电路的实现

24 位数据采集器中设计了对两个地震计的标定,这两个地震计可单独标定,也可同时标定。标定的电路原理图见图 3。从图中可以看出,当有标定请求时,DSP 将请求类型的标定参数从 SRAM 中读出,并送给 12 位数模转换器(D/A),D/A 将数字信号转换成模拟电压 V_{out} 输入给运放放大,放大后的信号经模拟开关和恒流源电路输出电压 V_{-out} 和恒定的 5 mA 电流 I_{-out} ,在 CPLD 控制下根据情况对地震计个数、 V_{-out} 和 I_{-out} 等情况进行 6 种选择。

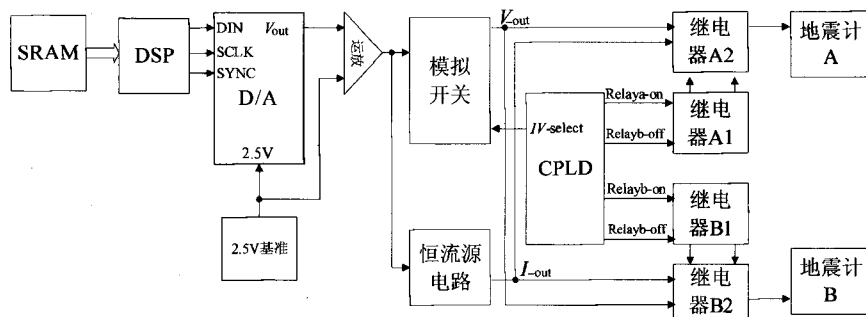


图 3 标定电路原理框

(1)若对地震计 A 进行电流标定,则:CPLD 的 $IV-select = 0$,模拟开关不输出 V_{-out} 电压,恒流源电路输出 I_{-out} 电流,Relaya-on=1,Relaya-off=0,Relayb-on=0,Relayb-off=1,继电器 A1 闭合,控制继电器 A2 输出 I_{-out} 电流。继电器 B1、B2 断开。

(2)若对地震计 A 进行电压标定,则:CPLD 的 $IV\text{-select}=1$,模拟开关输出 $V_{\text{-out}}$ 电压,恒流源电路不输出 $I_{\text{-out}}$ 电流,Relaya-on=1,Relaya-off=0,Relayb-on=0,Relayb-off=1,继电器 A1 闭合,控制继电器 A2 输出 $V_{\text{-out}}$ 电压。继电器 B1、B2 断开。

(3)若对地震计 B 进行电流标定,则:CPLD 的 $IV\text{-select}=0$,模拟开关不输出 $V_{\text{-out}}$ 电压,恒流源电路输出 $I_{\text{-out}}$ 电流,Relayb-on=1,继电器 B1 闭合,控制继电器 B2 输出 $I_{\text{-out}}$ 电流。继电器 A1、A2 断开。

(4)若对地震计 B 进行电压标定,则:CPLD 的 $IV\text{-select}=1$,模拟开关输出 $V_{\text{-out}}$ 电压,恒流源电路不输出 $I_{\text{-out}}$ 电流,Relayb-on=1,继电器 B1 闭合,控制继电器 B2 输出 $V_{\text{-out}}$ 电压。

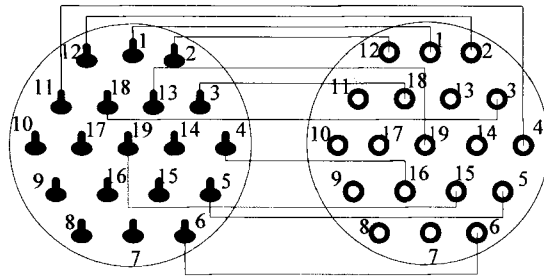
(5)若对地震计 A、B 同时进行电流标定,则:CPLD 的 $IV\text{-select}=0$,模拟开关不输出 $V_{\text{-out}}$ 电压,恒流源电路输出 $I_{\text{-out}}$ 电流,Relaya-on=1,Relaya-off=0,Relayb-on=1,Relayb-off=0,继电器 A1、B1 闭合,分别控制继电器 A2、B2 输出 $I_{\text{-out}}$ 电流。

(6)若对地震计 A、B 同时进行电压标定,则:CPLD 的 $IV\text{-select}=1$,模拟开关输出 $V_{\text{-out}}$ 电压,恒流源电路不输出 $I_{\text{-out}}$ 电流,Relaya-on=1,Relaya-off=0,Relayb-on=1,Relayb-off=0,继电器 A1、B1 闭合,分别控制继电器 A2、B2 输出 $I_{\text{-out}}$ 电流。

上述继电器在接通和断开的瞬间,标定波形会有一个微弱突跳,但基本不影响系统的总体性能和参数标定。

3 数据采集器标定系统与地震计的接口关系

24 位数据采集器标定系统与地震计相连的接口都采用 19 芯航空插座,采集器的接口为针头,地震计的接口为孔头,见图 4。该航空插座具有良好的防水、防潮和防振功能,为标定信号的正常传输提供了有利保障。



采集器 19 芯针头插座

地震计 19 芯针孔插座

图 4 采集器与地震计标定接口

图 4 中数据采集器和地震计 19 芯信号定义见表 3 所示。

表 3 中,左边的 CH1 对应着右边的 UD 向,CH2 对应着右边的 EW 向,CH3 对应着右边的 NS 向。地震计经上述连接后,就能测定和标定一系列参数。

表 3 采集器与地震计标定信号接口定义

数据采集器的 19 芯插座(针头)			地震计的 19 芯插座(针孔)		
引脚号	引脚代码	引脚功能	引脚号	符号标识	引脚功能
1	SGND1	第 1 路信号地	1		信号地
2	CH1+ V_{in}	第 1 路信号正输入	2	(-)	UD 分向输出负端
3	CH2+ V_{in}	第 1 路信号正输入	3	(-)	EW 分向标定线圈负端
4	CH3+ V_{in}	第 1 路信号正输入	4		电源地
5	CAL-RET(I)	标定电流返回	5	(-)	NS 分向标定线圈负端
6	CAL-OUT(I)	标定电流输出	6	(+)	UD 分向标定线圈正端
7	CAL-OUT(V)	标定电压输出	7		保留地
8		保留	8	(-)	UD 分向标定线圈负端
9	+ V_s	电源输出	9	(+)	NS 分向标定线圈正端

续表3

数据采集器的19芯插座(针头)			地震计的19芯插座(针孔)		
引脚号	引脚代码	引脚功能	引脚号	符号标识	引脚功能
10		保留	10	(+)	电源正端
11	PGND	电源地	11	(+)	EW分向标定线圈正端
12	CH1-V _{in}	第1路信号负输入	12	(+)	UD分向输出正端
13	SGND2	第2路信号地	13	(-)	EW分向输出负端
14	SGND3	第3路信号地	14		保留
15	CAL-RET(V)	标定电压返回	15	(-)	NS分向输出负端
16		保留	16	(+)	NS分向输出正端
17	PGND	电源地	17		保留
18	CH2-V _{in}	第2路信号负输入	18	(+)	EW分向输出正端
19	CH3-V _{in}	第3路信号负输入	19		信号地

4 结束语

RSDA-1型24位地震数据采集器中的标定系统是测定地震计参数的关键工具,能提供地震计所需的4种标定信号,能同时对一个台站的两台地震计进行标定,标定的数据格式、标定参数和标定接口符合地震行业相关规定。随着24位地震数据采集器的广泛应用,它的标定系统将在参数测定和系统特性标定方面发挥独特的作用。

参考文献

- 国家地震局. 1991. 遥测地震台网观测技术规范[M]. 北京:地震出版社
 黄敏等. 1999. 高阶脉冲标定器及观测系统幅频特性[J]. 地震地磁观测与研究, 20(2): 60~67
 杨晓源等. 1996. 频谱特性优良的高阶标定脉冲[J]. 地震地磁观测与研究, 17(5): 29~33
 中国地震局监测预报司. 2003. 数字地震观测技术[M]. 北京:地震出版社

The calibration system of RSDA-1 type 24-bits Reservoir Earthquake Data Acquisition Device

Wang Cuifang, Song Cheng and Shao Yuping

(Institute of Reservoir Earthquake, Earthquake Administration of Sichuan Province, Chengdu 610041, China)

Abstract

The calibration system of RSDA-1 type 24-bits Earthquake Data Acquisition Device is key tool of measuring seismometer and its parameters. It is also a judging means for daily work status of seismic station, and the essential procession of system performance calibration. According to the requirement of different type of seismometers and stations, four calibration signals, pulse signal, sine signal, pseudo random signal and higher order pulse signal are designed in the acquisition device. In this paper, the emphasis is to introducing the four calibration signals and the design and implementation in 24-bits Earthquake Data Acquisition Device.

Key words: the 24-bits Reservoir Earthquake Data Acquisition Device, the calibration system, four calibration signals, plan and process in circuit board