ICS 75.180.10
E 92

中华人民共和国国家标准

GB/T 24261.2—2017
代替 GB/T 24261.2—2010

石油海上数字地震采集拖缆系统 第2部分:水听器拖缆技术条件

Marine seismic digital streamer system—Part 2:Standards for specifying hydrophone streamer-cable characteristic

2017-09-07 发布　　2018-04-01 实施

中华人民共和国国家质量监督检验检疫总局
中国国家标准化管理委员会　发布

目　　次

前言 …… Ⅰ
1　范围 …… 1
2　规范性引用文件 …… 1
3　术语和定义 …… 1
4　要求 …… 2
5　检验和试验 …… 7
附录 A（规范性附录）　固体缆水听器组合技术指标 …… 13

前　言

GB/T 24261《石油海上数字地震采集拖缆系统》分为三个部分：

——第1部分：水听器技术条件；

——第2部分：水听器拖缆技术条件；

——第3部分：中央记录系统。

本部分为GB/T 24261的第2部分。

本部分按照GB/T 1.1—2009给出的规则起草。

本部分代替GB/T 24261.2—2010《石油海上数字地震采集拖缆系统　第2部分：水听器拖缆技术条件》，与GB/T 24261.2—2010相比，除编辑性修改外主要技术变化如下：

——增加了术语和定义(见第3章)；

——增加了固体缆及水听器组合特征和相应的技术指标(见4.1.3)；

——将充填物指标细化并补充要求(见4.7.1，4.7.2，4.7.3，2010版的3.7)；

——删除了辅助设备的设备输出信号(见4.3，2010版的3.3.2)；

——增加了固体缆水听器组合特征测试(见5.3)；

——增加了附录A。

本部分由全国石油天然气标准化技术委员会(SAC/TC 355)提出并归口。

本部分起草单位：中海油田服务股份有限公司物探事业部、中国石油天然气集团东方物理地球勘探有限责任公司西安物探装备分公司、石油工业仪器仪表质量监督检验中心、国土资源部广州海洋地质调查局。

本部分主要起草人：曹占全、赵伟、于湛海、何国信、褚荣英、陈洁、韩晓泉、连艳红、尹振国、张在陆、李佩昌、汉泽西。

本标准所代替标准的历次版本发布情况为：

——GB/T 24261.2—2010。

石油海上数字地震采集拖缆系统 第2部分:水听器拖缆技术条件

1 范围

GB/T 24261的本部分规定了海上石油勘探所用拖缆式地震数据采集系统配套水听器的组合、工作段、前导段、弹性段、甲板电缆以及可选择的辅助设备、充填物的技术要求和测试要求。

本部分适用于水听器拖缆的制造、检验和质量评价。

2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件,仅注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件,其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

GB/T 5096 石油产品铜片腐蚀试验法

GB/T 24261.1 石油海上数字地震采集拖缆系统 第1部分:水听器技术条件

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

水听器组合 Hydrophone arrays

两个或两个以上水听器按一定规则排列。

3.2

工作段 Streamer cable section

具有地震数据采集功能的电缆。

3.3

前导段 Lead-in cable

抗磨损部件,用于数据传输,具有拖曳、防抖动作用,其长度视偏移距大小而定,它连接于电缆绞车与弹性段之间。

3.4

弹性段 Stretch section

抗张力部件,用于数据传输,以降低船和尾标振动产生的噪音,它连接于前导段与工作段和工作段与尾标之间。

3.5

甲板电缆 Deck cable

连接船上的地震数据记录系统与前导段之间的电缆。

3.6

充填物 Ballast material

填充塑料管内剩余空间的物质,如电缆油、树脂、胶体等物质。

4 要求

4.1 水听器组合

4.1.1 物理特性

水听器组合应给出如下物理特性参数：

a) 每个组合的水听器类型和数量；
b) 每个工作段的组合数量；
c) 组合尺寸(道长度)；
d) 道间距(相邻组合中心点间的距离)；
e) 水听器间距(组合内相邻水听器的间距)；
f) 组合水听器间距分布图(当组合内相邻水听器间距不等时)；
g) 推荐工作深度；
h) 最大允许水深(指水听器组合无损坏且灵敏度永久性变化未超过 1 dB 时的最大水深)；
i) 可编程时的可选组态说明；
j) 符合 GB/T 24261.1 应规定的水听器指标列表。

4.1.2 电气特性

水听器组合应给出如下电气特性参数：

a) 包括水听器连接和耦合电路在内的工作段电路示意图；
b) 每个水听器组合的总电容,(允许误差用%表示)；
c) 输出阻抗；
d) 灵敏度；
e) 灵敏度随深度变化系数(用 dB/m 表示)；
f) 电权值；
g) 以图形方式表示的振幅频率关系曲线(频率单位为赫兹,振幅单位为分贝,以 1 V/μPa 为 0 dB),如图 1 下半部分；
h) 以图形方式表示相位频率关系曲线(相位单位为弧度,频率单位为赫兹),如图 1 上半部分所示；
i) 以图形方式表示空间响应曲线(空间响应是组合长度与波长比的函数),如图 2 所示。

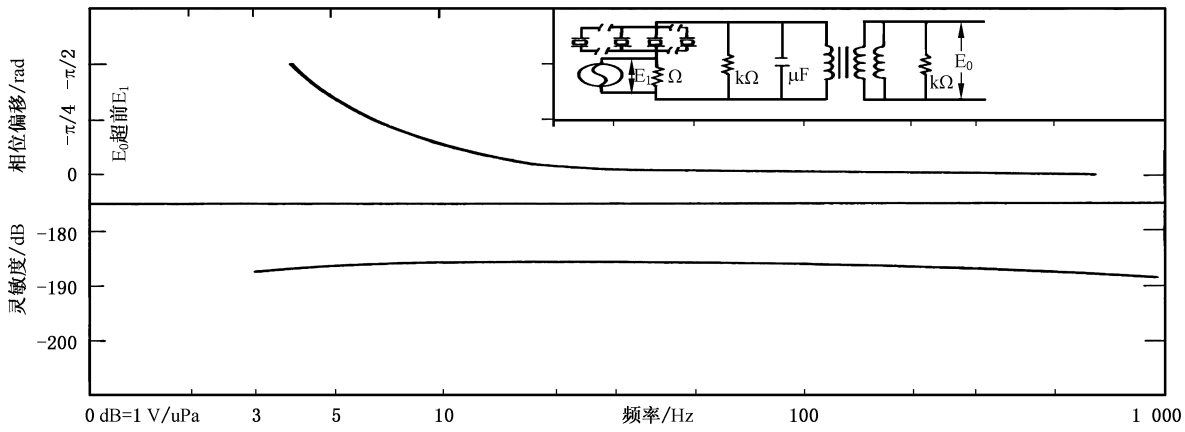


图 1 组合频率响应曲线

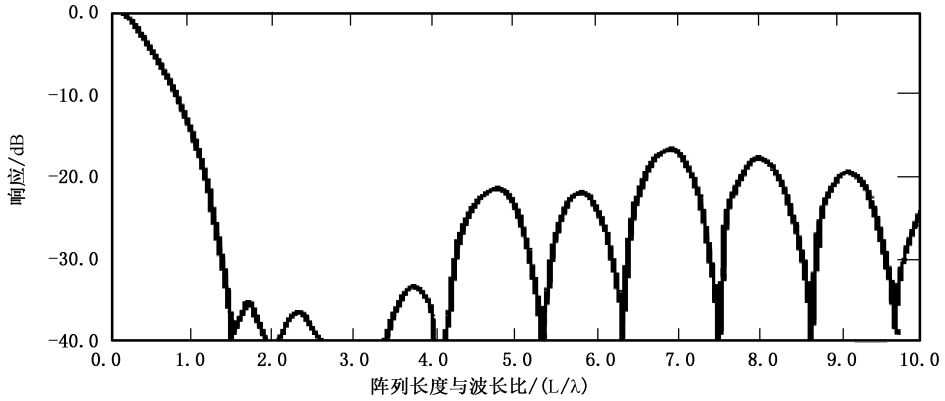


图 2　组合空间响应曲线

4.1.3　固体缆特征及水听器组合技术指标

4.1.3.1　固体缆特征

固体缆主要应具备以下特性：

a)　环保；

b)　密度一致，可用于改良平衡；

c)　结构牢固，使用寿命长；

d)　不良天气下不会产生干扰信号；

e)　分布式电子元件；

f)　电源线和传输线采用冗余设计；

g)　可现场维修。

4.1.3.2　固体缆水听器组合技术指标

固体缆水听器组合的技术特性应满足如下项目和相应指标：

a)　电容值：见附录 A 中 A.1；

b)　低截止频率：见附录 A 中 A.2；

c)　灵敏度：见附录 A 中 A.3；

d)　噪声 N：不高于 320 μV；

e)　共模抑制比(CMRR)：在 70 dB 和 110 dB 范围之间；

f)　漏电电阻 R：不小于 5 MΩ。

4.2　工作段

4.2.1　一般技术参数

工作段应给出如下一般技术参数：

a)　长度；

b)　外径；

c)　护套类型和厚度；

d)　加强构件的材质、类型、尺寸、数目；

e)　最小拖断力；

f) 在干燥空气中的质量；
g) 填充定量液体后在干燥空气中的质量；
h) 在 20 ℃和一个标准大气压下，在净水中的排水量；
i) 压载物体积；
j) 工作温度范围；
k) 存储温度范围；
l) 电缆段连接器类型；
m) 水听器的材质，说明与其接触的压载物之间的化学兼容性；
n) 连接器外径、净水中的质量、长度；
o) 不导致工作段损坏且物理电气性能不显著变化的最大水深度；
p) 电缆和连接器可经受的最小弯曲半径；
q) 在特定环境下，导体的环路直流电阻和电容；
r) 工作道数目和备份数量；
s) 辅助道数目和备份数量；
t) 电子模块质量控制测试线对的数目；
u) 实际使用的导体类型，如双绞线、同轴线、光纤等；
v) 道间应达到的最小漏电电阻。

4.2.2 主要技术参数

工作段应给出如下主要技术参数：
a) 每模块地震道数(一般为 2、4、12、16、24 可选)和辅助道数；
b) 与采样间隔对应的高截止频率(一般为 1 600 Hz、800 Hz、400 Hz、200 Hz、100 Hz)；
c) 低截止频率(一般为 0 Hz～5 Hz)；
d) A/D 转换器：(一般为 24 位 Δ-Σ 类型)；
e) 在 2 ms 采样时的动态范围＞114 dB；
f) 在 2 ms 采样时的总谐波畸变＞－105 dB；
g) 差分输入电阻(一般为 20 kΩ)；
h) 数据传输链类型和带宽；
i) 相邻模块间或中继器间最大数传距离；
j) 功率；
k) 能满足功率和数传需求的最大电缆长度；
l) 非地震数传导线的类型，指标，数量和实用功能；
m) 漏电的电阻应大于 100 MΩ。

4.3 辅助设备

辅助设备包括：
a) 水断水听器；
b) 电缆深度传感器；
c) 罗盘；
d) 电缆回收装置；
e) 电缆深度控制器；
f) 尾节；
g) 尾标；

h） 电缆定位设备。

4.4 前导段

前导段应给出如下物理特性参数：

a） 长度；
b） 外径；
c） 护套的类型和厚度；
d） 导体的数量，类型，AWG 导线规格；
e） 铠装的类型和加强构件指标；
f） 最小拖断力；
g） 干重；
h） 潜重；
i） 工作温度；
j） 存储温度；
k） 减震装置类型；
l） 环路直流电阻、电容和漏电；
m） 连接器类型；
n） 浮力；
o） 最小弯曲半径。

4.5 甲板电缆

甲板电缆应给出以下物理特性应参数：

a） 长度；
b） 外径；
c） 护套类型；
d） 导体的数量，类型，AWG 导线规格；
e） 铠装类型；
f） 最小拖断力；
g） 干重；
h） 工作温度；
i） 存储温度；
j） 连接器类型；
k） 最小弯曲半径；
l） 环路直流电阻、电容、标称漏电电阻。

4.6 弹性段

弹性段应给出以下物理特性参数：

a） 长度；
b） 外径；
c） 护套类型和厚度；
d） 导体的数量、类型、AWG 导线规格；
e） 弹性加强构件类型和数量；
f） 最小拖断力；

g） 可拉伸性；
h） 干重；
i） 湿重；
j） 潜重；
k） 工作温度；
l） 存储温度；
m） 每单位长度的往返直流电阻、电容、漏电标称值；
n） 连接器类型；
o） 充填物体积；
p） 工作传感器数量和类型以及技术特性。

4.7 填充物指标

4.7.1 电缆油物理特性

电缆油的物理特性应符合以下项目中内容：
a） 密度：(0.750±0.040)g/cm^3；
b） 闪点：应大于 58 ℃；
c） 芳香族化合物含量：应小于 10 cm^3/L；
d） 防臭性：专业测试方法是特别参考硫磺和硫醇对溶剂的除臭的程度加以衡量。
e） 腐蚀性：腐蚀性指标应为 1a 级；
f） 硫磺含量：1 mg/kg；
g） 石蜡：石蜡含量应不小于 99%；
h） 烯烃：烯烃含量 10 cm^3/L 。

4.7.2 胶体物理特性

胶体的物理特性应符合以下项目中内容：
a） 声学性能：声波在固体介质声波传播衰减≤0.3 dB/cm。
b） 机械性能：
1） 耐屈挠和拉伸性能；
2） 密度要求 0.96 g/cm^3 以下；
3） 黏度为 0.3 Pa·s～0.9 Pa·s(25 ℃)，固体含量 99%；
4） 拉伸强度控制在 0.7 MPa～1.5 MPa、抗撕裂强度大于 25 kN/m、延伸率达到 400%以上，高的回弹恢复性；
5） 硬度要求小于 30 邵氏硬度 A 。
c） 常温下预凝时间 6 h～8 h。

4.7.3 固体物理特性

固体的物理特性应符合以下项目中内容：
a） 聚乙烯的物理性能：
1） 密度：0.9 g/cm^3～0.96 g/cm^3；
2） 热熔指数：0.3 g/10 min～0.25 g/10 min。
b） 聚乙烯的机械性能：
1） 弯曲模量：≤750 MPa；

2） 冲击强度≥23 kJ/m²；
3） 拉伸强度 15.3 MPa～23 MPa；
4） 硬度：55 HRC。

c） 聚乙烯的热性能：
1） 熔点：123 ℃～125 ℃；
2） 结晶度：110 ℃～115 ℃；
3） 热变形温度：80 ℃
4） 脆化温度：≤－60 ℃；
5） 维卡软化温度：110 ℃～125 ℃。

5 检验和试验

5.1 油缆工作段

对电缆工作段的各项技术指标的试验，应按照 SEG Geophysics，53，no.03，415-416（Badger，A.S.，1988）的相关的方法进行，结果应符合 4.2 的要求。

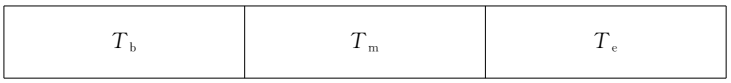
5.2 电缆压载物腐蚀性

对电缆压载物腐蚀性的检验，应按照 GB/T 5096 的规定执行，结果应符合 4.7.1 的要求。

5.3 固体缆水听器组合特征测试

5.3.1 水听器组合噪声测试的设置

水听器组合噪声测试的设置包括：
——模数转换器的输入：从水听器连接到输入电路；
——前置放大器增益：400 mV（12 dB）；
——数模转换器：关闭；
——滤波器类型：0.8 LIN；
——采样间隔：任意；
——测试序列：按图 3 和表 1 生成测试序列。



说明：
T_b ——瞬态电路起始时间，单位为毫秒（ms）；
T_m ——测量时间的长度，单位为毫秒（ms）；
T_e ——瞬态电路结束时间，单位为毫秒（ms）。

图 3 水听器组合噪声测试序列示意图

表 1　水听器组合噪声测试的 T_m 序列

滤波类型	采样间隔/ms	T_m/ms
0.8 LIN	0.25	512
	0.5	1 024
	1	2 048
	2	2 048
	4	2 048
0.8 MIN	0.25	512
	0.5	1 024
	1	2 048
	2	2 048
	4	2 048

5.3.2　水听器组合噪声的计算

水听器组合噪声的计算如下：

a)　总功率在 N 输出信号采样按式(1)计算：

$$P=\frac{1}{N}\sum_{0}^{N-1}X_i^2 \qquad \cdots\cdots(1)$$

式中：

P ——总功率，单位为瓦(W)；

N ——取决于采样长度和采样间隔；

X ——24 位编码的样点振幅。

b)　低于 3 Hz 的功率按式(2)计算：

$$P_1=\sum_{0}^{M}|\hat{X}_j|^2 \qquad \cdots\cdots(2)$$

式中：

P_1——低于 3 Hz 的功率，单位为瓦(W)；

M ——低于 3 Hz 谐波线数($\Delta f=1/N.SR$)；

$\hat{X}_j$——DFT(离散傅里叶变换)的 DSP(数字信号处理器)输出信号 $x(t)$。

c)　环境噪声的 RMS(均方根)值按式(3)计算：

$$N_F=\sqrt{P-P_1} \qquad \cdots\cdots(3)$$

式中：

N_F——环境噪声。

测试结果应符合 4.1.3.2d)的要求。

5.3.3　水听器组合电容值测试的设置和计算

水听器组合电容值测试的设置包括：

——模数转换器的输入：从水听器连接到输入电路；

——前置放大器增益：任意；

——数模转换器:连接到水听器;
——过滤器类型:任意;
——采样间隔:0.25 ms;
——测试序列:按图 4 生成测试序列。

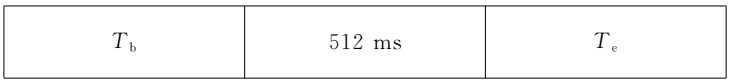


图 4　水听器组合电容值测试序列示意图

T_b=528 ms;T_e=8 ms。
水听器组合电容值的计算如下:
a)　水听器组合的等效阻抗按式(4)计算:

$$Z_e = \frac{f_{DFT}}{I_{DAC}} \quad \cdots\cdots(4)$$

式中:
Z_e ——水听器组合等效阻抗;
f_{DFT} ——DFT(离散傅里叶变换)输出的测试频率是从 ADC(模数转换器)计算出的。
I_{DAC} ——由测试系统中的信号发生器发提供的电流。
b)　水听器组合的电容量是根据复数阻抗虚部按式(5)计算:

$$C_F = \mathrm{Im}(1/Z_r)/2 \times \pi \times f_T \quad \cdots\cdots(5)$$

式中:
C_F ——水听器组合电容量;
Z_r ——在测试过程中,被计算出来的水听器的复数阻抗;
f_T ——测试频率。
注:Im 代表复数里的虚部。
测试结果应符合 4.1.3.2a)的要求。

5.3.4　水听器组合低截止频率测试的设置和计算

水听器组合低截止频率测试的设置包括:
——模数转换器的输入:从水听器连接到输入电路;
——前置放大器增益:任意;
——数模转换器:连接到水听器;
——滤波器类型:任意;
——采样间隔:0.25 ms;
——测试序列:按图 5 生成测试序列。

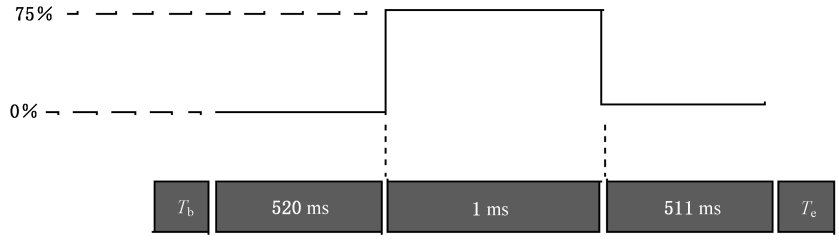


图 5　水听器组合低截止频率测试序列示意图

T_b=528 ms;T_e=8 ms。

水听器组合低截止频率测试的计算如下：

a) 由数模转换器的提供脉冲(已知幅度和宽度)输入到地震道。

b) 通过模数转换器测出电压值，地震道的低截止频率可以用最小二乘法计算。

测试结果应符合 4.1.3.2b)的要求。

5.3.5 水听器组合漏电阻值测试的设置和计算

水听器组合漏电阻值测试的设置包括：

——模数转换器的输入：由水听器和内部测试网络两个部分连接到输入电路；

——前置放大器增益：任意；

——数模转换器：连接到内部测试的网络；

——滤波器类型：任意；

——采样间隔：0.25 ms；

——测试序列：按图 6 生成测试序列。

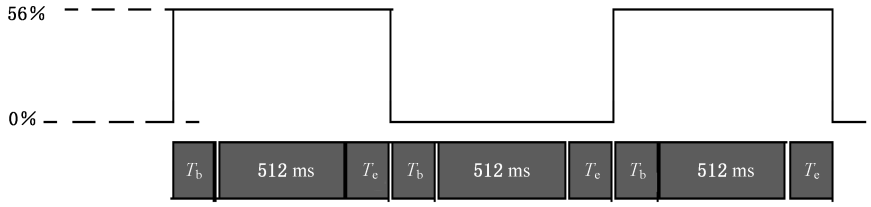


图 6 水听器组合漏电阻值测试序列示意图

水听器组合漏电阻值测试的计算如下：

a) 在正、负输入的地震道的通路上，确定复数阻抗的实部按式(6)计算：

$$L_{ResN}=Re(Z_{LeakN})$$
$$L_{ResP}=Re(Z_{LeakP}) \quad \cdots\cdots(6)$$

式中：

Z_{LeakN}——负输入路径的漏电阻抗；

Z_{LeakP}——正输入路径的漏电阻抗。

b) 整道水听器组漏电阻值按式(7)表示为：

$$L_{Res}=(L_{ResP}\times L_{ResN})/(L_{ResP}+L_{ResN}) \quad \cdots\cdots(7)$$

式中：

L_{Res}——水听器组合漏电阻值；

L_{ResP}——正的复数阻抗实部；

L_{ResN}——负的复数阻抗实部。

测试结果应符合 4.1.3.2f)的要求。

5.3.6 水听器组合共模抑制比测试的设置和计算

水听器组合共模抑制比测试的设置包括：

——模数转换器的输入：从水听器连接到输入电路；

——前置放大器增益：任意；

——滤波类型式和采样间隔：任意；

——数模转换器：连接到水听器；

——测试序列：按图 7 和表 2 生成测试序列。

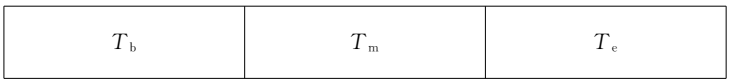


图 7　水听器组合共模抑制比测试序列示意图

表 2　水听器组合共模抑制比测试 T_m 序列

滤波类型	采样间隔/ms	T_m/ms
0.8 LIN	0.25	512
	0.5	1 024
	1	2 048
	2	2 048
	4	2 048
0.8 MIN	0.25	512
	0.5	1 024
	1	2 048
	2	2 048
	4	2 048

水听器组合共模抑制比测试的计算如式(8)：

$$CMMR = 20\lg \frac{V_{CM}}{V_{rms}} \qquad \cdots\cdots(8)$$

式中：

CMRR ——共模抑制比，单位为 dB；

V_{CM} ——输入到水听器的共模电压 RMS(均方根)值；

V_{rms} ——DSP(数字信号处理器)输出的测量电压值。

按式(8)计算水听器组合的共模抑制比，测试结果应符合 4.1.3.2e)的要求。

5.3.7　水听器组合脉冲测试的设置

水听器组合脉冲测试的设置包括：

——模数转换器的输入：从水听器连接到输入电路；

——前置放大器增益：任意；

——数模转换器：连接到通道输入；

——滤波类型和采样间隔：任意；

——测试序列：按图 8 和表 3 生成测试序列。

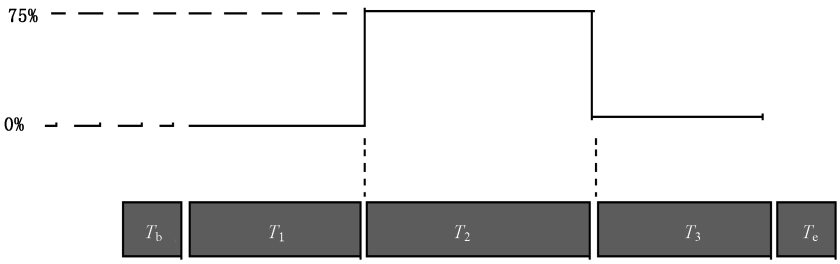


图 8　水听器组合脉冲测试序列示意图

表 3　水听器组合脉冲测试序列

滤波类型	采样间隔/ms	T_1/ms	T_2/ms	T_3/ms
0.8 LIN	0.25	512	0.25	511.75
	0.5	512	0.5	511.5
	1	512	1	511
	2	512	2	510
	4	512	4	508
0.8 MIN	0.25	512	0.25	511.75
	0.5	512	0.5	511.5
	1	512	1	511
	2	512	2	510
	4	512	4	508

数模转换器向地震道输入上述描述的脉冲，以及由此在模数转换器产生的输出信号记录到 SEGD（地震数据采集文件记录格式）。

测试结果应符合 4.1.3.2c)的要求。

附 录 A
（规范性附录）
固体缆水听器组合技术指标

A.1 电容值

A.1.1 标准电容量值与道间距、温度系数和压力系数的关系，见表 A.1。

表 A.1 水听器组合电容标准值技术指标

名称	技术指标		
固体缆道间距/m	12.5	6.25	3.125
典型的温度系数(σ_{ct})	0.7	0.5	0.3
典型的压力系数(σ_{cp})	−0.2	−0.1	−0.1
标准电容量值(C_s)	260	130	65

A.1.2 实际电容量值与温度、压力的计算公式按式(A.1)计算如下：

$$C_a = C_s \times \{1 + [\sigma_{ct} \times (T - 20)] + [\sigma_{cp} \times (p - 1)]\} \quad \cdots\cdots (A.1)$$

式中：

C_a ——实际电容量值，单位为纳法(nF)；

C_s ——在温度20 ℃、压力为 1 巴(bar)情况下，标准电容量值，单位为纳法(nF)；

σ_{ct} ——典型的温度系数，单位为百分比每摄氏度(%/℃)；

σ_{cp} ——在压力为(0 bar～3 bar)情况下，典型的压力系数，单位为百分比每巴(%/bar)；

T ——实际水温值，单位为摄氏度(℃)；

p ——实际压力值，单位为巴(bar)。

注：1 bar=100 kPa。

A.1.3 电容量允许误差：在所有地震道上，与实测电容量平均值之间偏差，按式(A.2)计算如下。

$$M_{ce} = \frac{C_a - C_v}{C_v} \quad \cdots\cdots (A.2)$$

式中：

C_a ——实际电容量值，单位为纳法(nF)；

C_v ——实测电容量平均值，单位为纳法(nF)；

M_{ce} ——电容量允许误差，%。

A.1.4 最大电容量值与最小电容量值按式(A.3)计算如下：

$$\begin{aligned} C_{max} &= C_a \times (1 + M_{ce}) \\ C_{min} &= C_a \times (1 - M_{ce}) \end{aligned} \quad \cdots\cdots (A.3)$$

式中：

C_{max}——最大电容量值，单位为纳法(nF)；

C_{min}——最小电容量值，单位为纳法(nF)。

A.2 低截止频率

A.2.1 标准低截止频率值与道间距、温度系数和压力系数的关系，见表 A.2。

表 A.2　水听器组合标准低截止频率值技术指标

名称	技术指标		
固体缆道间距/m	12.5	6.25	3.125
典型的温度系数(σ_{ft})	−0.6	−0.4	−0.2
典型的压力系数(σ_{fp})	0.2	0.1	0.1
标准低截止频率值(f_s)	3.14	3	3

A.2.2　实际低截止频率值与温度、压力的计算公式按式(A.4)计算如下：

$$f_a = f_s \times \{1 + [\sigma_{ft} \times (T - 20)] + [\sigma_{fp} \times (p - 1)]\} \quad \cdots\cdots (A.4)$$

式中：

f_a ——实际低截止频率值，单位为赫兹(Hz)；

f_s ——在温度 20 ℃、压力为 1 巴(bar)情况下，标准低截止频率值，单位为赫兹(Hz)；

σ_{ft} ——典型的温度系数，单位为百分比每摄氏度(%/℃)；

σ_{fp} ——在压力为(0 bar～3 bar)情况下，典型的压力系数，单位为百分比每巴(%/bar)；

T ——实际水温值，单位为摄氏度(℃)；

p ——实际压力值，单位为巴(bar)。

A.2.3　电容量允许误差：在所有地震道上，与实测低截止频率平均值之间偏差按式(A.5)计算如下。

$$M_{fe} = \frac{f_a - f_v}{f_v} \quad \cdots\cdots (A.5)$$

式中：

f_a ——实际低截止频率值，单位为赫兹(Hz)；

f_v ——实测低截止频率平均值，单位为赫兹(Hz)；

M_{fe} ——低截止频率允许误差，%。

A.2.4　最大低截止频率值与最小低截止频率值按式(A.6)计算：

$$\begin{aligned} f_{max} &= f_a \times (1 + M_{fe}) \\ f_{min} &= f_a \times (1 - M_{fe}) \end{aligned} \quad \cdots\cdots (A.6)$$

式中：

f_{max}——最大低截止频率值，单位为赫兹(Hz)；

f_{min}——最小低截止频率值，单位为赫兹(Hz)。

A.3　灵敏度

A.3.1　标准灵敏度值与道间距、温度系数和压力系数的关系，见表 A.3。

表 A.3　水听器组合标准灵敏度值技术指标

名称	技术指标		
固体缆道间距/m	12.5	6.25	3.125
典型的温度系数(σ_{st})	−0.1	0.1	0.3
典型的压力系数(σ_{sp})	−0.4	−0.4	−0.5
灵敏度标准值(S_s)	19.7	13.9	7.6

A.3.2　实际灵敏度值与温度、压力按式(A.7)计算如下：

$$S_a = S_s \times \{1 + [\sigma_{st} \times (T - 20)] + [\sigma_{sp} \times (p - 1)\} \quad \cdots\cdots (A.7)$$

式中：

S_a ——实际灵敏度值，单位为赫兹(Hz)；

S_s ——在温度 20 ℃、压力为 1 巴(bar)情况下，标准灵敏度标准值，单位为赫兹(Hz)；

σ_{st} ——典型的温度系数，单位为百分比每摄氏度(%/℃)；

σ_{sp} ——在压力为(0 bar～3 bar)情况下，典型的压力系数，单位为百分比每巴(%/bar)；

T ——水温实测值，单位为摄氏度(℃)；

p ——压力实测值，单位为巴(bar)。

A.3.3　最大灵敏度值与最小灵敏度值按式(A.8)计算如下：

$$\begin{aligned} S_{max} &= S_a \times (1 + M_{se}) \\ S_{min} &= S_a \times (1 - M_{se}) \end{aligned} \quad \cdots\cdots (A.8)$$

式中：

S_a ——实际灵敏度值，单位为分贝(dB)；

S_{max} ——最大灵敏度值，单位为分贝(dB)；

S_{min} ——最小灵敏度值，单位为分贝(dB)；

M_{se} ——灵敏度允许误差，%，一般为 10%。