

## 水声换能器自由场校准方法

Free - field calibration method of  
underwater sound transducers

## 1 引言

1.1 本标准规定水声换能器在自由场球面波条件下的校准方法：互易法和比较法。

互易法用于校准标准水听器和标准声源；比较法用于校准测量水听器和水声发射器。

本标准适用的频率范围为100 Hz到1 MHz。

1.2 本标准中所有的测量都是在稳态条件下进行的。

当被校准换能器的性能与环境条件（如温度、静压等）有关时，应在校准结果中说明这些环境条件。

1.3 本标准编制中部分参考了国际标准 IEC 565 (1977)《水听器校准》。本标准中所用的名词术语、量和单位的名称、符号等均参照有关国家标准GB 3102.7—82《声学的量和单位》、GB 3238—82《声学量的级及其基准值》及GB 3240—82《声学测量中的常用频率》等中的规定。

## 2 名词术语

## 2.1 自由场

均匀而各向同性的媒质中，边界影响可以不计时的声场。

## 2.2 远场

自由场中，离声源远处瞬时声压与瞬时质点速度同相的声场。

注：在远场中的声波离声源呈球面发散波，即声源在某点产生的声压与该点至声源中心的距离成反比。

## 2.3 [有效] 声中心

是在发射器上或附近的一个点，在远处观测时，好象声波是从这个点发出的球面发散声波。

注：对于互易换能器，用作水听器时的声中心与用作发射器时的声中心是一致的。

## 2.4 水听器 J

是把水下声信号转换为电信号的换能器。

## 2.5 [水下声] 发射器 F

是把电信号转换为水中传播的声信号的换能器。

## 2.6 可逆换能器

是一个换能损失与传输方向无关的换能器。

注：可逆换能器既能用作发射器又能用作水听器。

## 2.7 互易换能器 H

是线性、无源、可逆并满足互易原理的换能器。

2.8 水听器的开路电压  $U_1$ 

为水听器输出端没有电流流出时，在该端呈现的电压。单位：伏，V。

注：① 在本标准中，若不加说明，则所有的电压、电流、声压等正弦量均指有效值。

② 水听器的输出端，可以是水听器头子、电缆或水听器前置放大器的输出端。

2.9 换能器的电阻抗  $Z$ 

在某一频率下的电阻抗为加于换能器电端的瞬时电压与所引起的瞬时电流的复数比。单位：欧

[姆],  $\Omega$ 。

注：此阻抗与换能器所处的声场及其环境（静压、温度）和电负载（连接的电缆长度）等条件有关，故在给出换能器的阻抗值时，应同时指明换能器的这些条件。

**2.10 换能器对的转移阻抗 [模]  $|Z_{FJ}|$**

由发射器（F）和水听器（J）组成的换能器对，在某一频率下的转移阻抗 [模]  $|Z_{FJ}|$  为水听器的开路电压  $U_J$  与流入发射器的电流  $I_F$  的比值。单位：欧 [姆],  $\Omega$ 。

以数学表示为：

$$|Z_{FJ}| = U_J / I_F \dots\dots\dots (1)$$

注：① 转移阻抗与换能器的方向、所处的声场、环境及其电负载等条件有关，故在给出转移阻抗值时，应同时指明换能器对的这些条件。

② 如换能器对处在本标准规定的自由场远场条件下，则其转移阻抗与发射器和水听器的声中心间的距离  $d$  成反比例，即

$$|Z_{FJ}| \cdot d = \text{常数} \dots\dots\dots (2)$$

**2.11 自由场 [电压] 灵敏度  $M$**

是水听器输出端的开路电压  $U_J$  与在声场中引入水听器前存在于水听器声中心位置处的自由场声压  $p_f$  的比值。单位：伏每帕，V/Pa。

以数学式表示为：

$$M = U_J / p_f \dots\dots\dots (3)$$

注：自由场灵敏度是对一个平面行波而言。水听器相对于平面波传播的方向、输出端和频率应同时指明。

**2.12 自由场 [电压] 灵敏度 [级]  $M$**

是自由场灵敏度  $M$  与其基准值  $M_r$  之比值的以10为底的对数乘以20。单位：分贝，dB。

以数学式表示为：

$$M = 20 \lg (M / M_r) \dots\dots\dots (4)$$

注：自由场灵敏度 [级] 的基准值  $M_r$  为  $1 \text{ V} / \mu\text{Pa}$ 。

**2.13 发送电流响应  $S_I$**

发射器在某频率下的发送电流响应  $S_I$ ，是在指定方向上离其声中心某参考距离  $d$  处远场中的声压  $p_d$ ，和该参考距离的乘积与加到输入电端的电流  $I$  的比值。单位：帕米每安，Pa·m/A。

数学式表示为：

$$S_I = p_d \cdot d / I \dots\dots\dots (5)$$

注：发射器的指定方向、输入端均可任意选定，声中心是按定义由实验确定。在给出发送电流响应时，应同时指出其指定方向、输入端及声中心位置。

**2.14 发送电流响应 [级]  $S_I$**

是发送电流响应  $S_I$  与其基准值  $S_{Ir}$  之比值的以10为底的对数乘以20。单位：分贝，dB。

以数学表示式为：

$$S_I = 20 \lg (S_I / S_{Ir}) \dots\dots\dots (6)$$

注：发送电流响应 [级] 的基准值  $S_{Ir}$  为  $1 \mu\text{Pa} \cdot \text{m} / \text{A}$ 。

**2.15 发送电压响应  $S_V$**

发射器在某频率下的发送电压响应  $S_V$ ，是在指定方向上离其声中心某参考距离  $d$  处的远场中的声压  $p_d$  和该参考距离的乘积与加到输入电端的电压  $U$  的比值。单位：帕米每伏，Pa·m/V。

以数学式表示为：

$$S_V = p_d \cdot d / U \dots\dots\dots (7)$$

注：发射器的指定方向、输入端均可任意选定，声中心是按定义由实验确定。在给出发送电压响应时，应同时指出其指定方向、输入端及声中心位置。

**2.16 发送电压响应 [级]  $S_V$**

是发送电压响应  $S_V$  与其基准值  $S_{Vr}$  之比值的以10为底的对数乘以20。单位：分贝，dB。  
以数学表示式为：

$$S_V = 20 \lg(S_V/S_{Vr}) \dots\dots\dots (8)$$

注：发送电压响应 [级] 的基准值  $S_{Vr}$  为  $1 \mu\text{Pa} \cdot \text{m} / \text{V}$ 。

2.17 电声互易原理

一个线性、无源、可逆的电声换能器用作水听器时的自由场灵敏度  $M$  与用作发射器时的发送电流响应  $S_I$  之比和换能器本身的结构无关的原理。

注：上述比值为互易常数，此常数与声场性质有关。本标准中的互易常数为自由场球面波互易常数  $J_S$ ，其值为：

$$J_S = M/S_I = 2/\rho f \dots\dots\dots (9)$$

式中： $\rho$  —— 媒质的密度， $\text{kg}/\text{m}^3$ ；

$f$  —— 频率， $\text{s}^{-1}$ 。

3 互易法校准

互易法校准是利用电声互易原理在自由场中校准换能器的一种绝对校准方法。此方法用于校准标准水听器和标准声源。

3.1 原理

互易法校准需用三个换能器，其中一个是互易换能器(H)，另两个换能器是发射器(F)和水听器(J)，此两换能器只要求满足线性条件。在自由场远场中，将上述换能器按图1排列，作三次测量，分别测量其转移电阻抗  $|Z|$ 。根据电声互易原理，从这三个转移电阻抗值中，可以计算得到互易换能器和水听器的自由场灵敏度、互易换能器和发射器的发送电流响应。

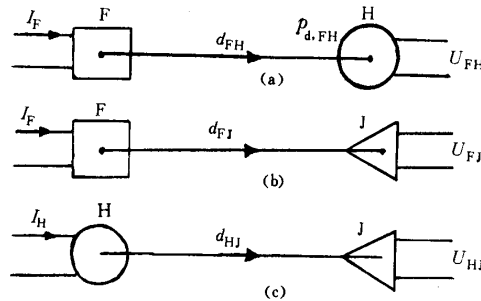


图 1

这三次测量为：

(1) 当发射器(F)发送，互易换能器(H)接收时 [图1(a)]，其转移电阻抗  $|Z_{FH}|$  为：

$$|Z_{FH}| = \frac{U_{FH}}{I_F} = \frac{U_{FH}}{p_{d, FH}} \cdot \frac{p_{d, FH}}{I_F} \cdot \frac{1}{d_{FH}} = \frac{M_H S_{IF}}{d_{FH}} \dots\dots\dots (10)$$

- 式中： $U_{FH}$  —— 互易换能器(H)置于发射器(F)的声场中产生的开路电压，V；
- $I_F$  —— 加到发射器(F)输入端的电流，A；
- $d_{FH}$  —— 发射器(F)和互易换能器(H)的声中心之间的距离，m；
- $p_{d, FH}$  —— 发射器(F)在离其声中心距离  $d_{FH}$  的互易换能器(H)的声中心处产生的声压，Pa；
- $M_H$  —— 互易换能器(H)的自由场灵敏度， $\text{V}/\text{Pa}$ ；
- $S_{IF}$  —— 发射器(F)的发送电流响应， $\text{Pa} \cdot \text{m}/\text{A}$ 。