



中华人民共和国国家标准

GB/T 4130.1—2025/IEC 60565-1:2020

代替 GB/T 3223—1994

声学 水听器校准 第 1 部分：自由场校准方法

Acoustics—Calibration of hydrophones—
Part 1: Procedures for free-field calibration

(IEC 60565-1:2020, Underwater acoustics—Hydrophones—Calibration of hydrophones—Part 1: Procedures for free-field calibration of hydrophones, IDT)

2025-08-01 发布

2026-02-01 实施

国家市场监督管理总局 发布
国家标准化管理委员会

目 次

前言 V

引言 VI

1 范围 1

2 规范性引用文件 1

3 术语和定义 2

4 符号 5

5 通用校准步骤 7

 5.1 通用校准要求 7

 5.2 自由场要求 7

 5.3 声远场要求 8

 5.4 稳态条件要求 8

 5.5 设备要求 8

 5.6 定位与对准 10

 5.7 频率响应的表示 11

 5.8 频率限制 12

 5.9 声干扰检查 12

6 电测量 12

 6.1 信号类型 12

 6.2 电气接地 13

 6.3 水听器输出电压的测量 13

 6.4 发射器驱动电流的测量 14

 6.5 发射器驱动电压的测量 15

7 换能器的准备与调节 15

 7.1 浸泡 15

 7.2 润湿 15

 7.3 水听器电缆的延长 15

 7.4 环境条件(温度和深度) 15

8 自由场三换能器球面波互易校准 16

 8.1 一般原理 16

 8.2 确定灵敏度模值(不包含相位)的校准 17

 8.3 水听器灵敏度的相位校准 20

9 与参考换能器比较的自由场比较法校准 22

 9.1 原理 22

9.2 比较法校准的类型 22

9.3 使用参考水听器进行水听器校准 22

9.4 使用参考发射器进行水听器校准 24

9.5 使用参考水听器进行发射器校准 25

10 校准结果的报告 27

10.1 灵敏度 27

10.2 灵敏度级 27

10.3 校准不确定度 27

10.4 辅助性资料 27

11 复校周期 27

附录 A (资料性) 水听器或发射器的指向性响应 29

A.1 一般原理 29

A.2 测量实施的类型 29

A.3 坐标系 29

A.4 声场要求 29

A.5 定位和对准 29

A.6 信号类型 30

A.7 换能器指向性响应的测量 30

A.8 指向性响应级的计算(角偏向损失) 30

A.9 不确定度 30

A.10 图形表示 30

A.11 指向性因数 31

A.12 指向性指数 31

附录 B (资料性) 水听器和发射器电阻抗的测量 32

B.1 一般原理 32

B.2 电阻抗的测量 32

B.3 其他电阻抗参数的导出 33

B.4 图形表示 33

附录 C (资料性) 电负载修正的计算 35

C.1 电负载修正 35

C.2 利用复电阻抗修正放大器负载 35

C.3 利用复阻抗修正延长电缆负载 35

C.4 纯电容负载的修正 36

附录 D (资料性) 水声校准中的声远场判据 37

D.1 概述 37

D.2 活塞换能器的声场 37

D.3 远场条件判据 38

D.4 指向性响应测量中的远场判据·····	38
附录 E (资料性) 自由场校准中的脉冲技术·····	39
E.1 概述·····	39
E.2 无回波时间·····	39
E.3 最小间距·····	40
E.4 启动瞬态·····	41
E.5 带宽的考虑·····	42
E.6 电串扰·····	42
E.7 脉冲持续时间·····	43
E.8 混响和脉冲重复率·····	43
E.9 典型水池尺寸·····	43
E.10 球面波条件·····	43
E.11 安装杆和夹具的反射·····	43
E.12 猝发声信号的分析方法·····	43
E.13 上限频率·····	44
E.14 下限频率·····	45
E.15 扩展下限频率的先进技术·····	46
附录 F (资料性) 水听器和发射器校准的不确定度评定·····	47
F.1 概述·····	47
F.2 A 类不确定度评定·····	47
F.3 B 类不确定度评定·····	47
F.4 不确定度报告·····	47
F.5 不确定度的常见来源·····	47
附录 G (资料性) 三换能器球面波互易校准公式的推导·····	50
G.1 概述·····	50
G.2 通过校准确定灵敏度的模·····	50
G.3 通过校准确定复灵敏度·····	51
附录 H (资料性) 行波管校准法·····	53
H.1 概述·····	53
H.2 校准步骤·····	53
H.3 方法的局限性·····	53
H.4 方法的扩展·····	53
附录 I (资料性) 光学干涉法校准水听器·····	54
I.1 概述·····	54
I.2 一般原理·····	54
I.3 步骤·····	54
I.4 方法讨论·····	55

附录 J (资料性) 在混响水池中用连续波信号校准 56

 J.1 一般原理 56

 J.2 使用噪声信号 56

 J.3 使用 LFM 信号 57

 J.4 不确定度 57

参考文献 58

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件是 GB/T 4130《声学 水听器校准》的第1部分。GB/T 4130 已经发布了以下部分：

- 第1部分：自由场校准方法；
- 第2部分：低频声压场校准方法。

本文件代替 GB/T 3223—1994《声学 水声换能器自由场校准方法》，与 GB/T 3223—1994 相比，除结构调整和编辑性改动外，主要技术变化如下：

- 增加了符号(见第4章)；
- 增加了通用校准步骤(见第5章)；
- 增加了电测量(见第6章)；
- 增加了换能器的准备(见第7章)；
- 增加了校准结果的报告(见第10章)；
- 增加了复校周期(见第11章)；
- 删除了水听器电压耦合损失的测定(见1994年版的附录B)。

本文件等同采用 IEC 60565-1:2020《水声 水听器 水听器校准 第1部分：水听器自由场校准方法》。

本文件做了下列最小限度的编辑性改动：

- 为与现有标准协调，将标准名称改为《声学 水听器校准 第1部分：自由场校准方法》。
- 请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国科学院提出。

本文件由全国声学标准化技术委员会(SAC/TC 17)归口。

本文件起草单位：中国科学院声学研究所、中国船舶集团有限公司第七一五研究所、海鹰企业集团有限责任公司、哈尔滨工程大学、中国计量科学研究院。

本文件主要起草人：李鹏、莫喜平、陈毅、李平、唐锐、林金虎、牛凤岐、杨平、王敏、胡博、孟丽。

本文件及其所代替文件的历次版本发布情况为：

- 1982年首次发布为 GB 3223—1982；
- 1994年第一次修订；
- 本次为第二次修订，将标准编号改为 GB/T 4130.1—2025。

引 言

水听器用于将水下声信号转换成电信号,是声呐、水下噪声测量系统、海洋声学仪器等装备的核心器件。为保证其测量结果的准确性和可靠性,需要在使用前对它们进行校准。

GB/T 4130《声学 水听器校准》描述了水听器的校准方法,旨在规范和指导水听器的校准,拟由两个部分构成。

- 第1部分:自由场校准方法。目的是在200 Hz~1 MHz频率范围内建立水听器和换能器的自由场校准方法。
- 第2部分:低频声压场校准方法。目的是在0.01 Hz至几千赫兹频率范围内建立水听器在低频声压场中的校准方法。

本文件的目的是,为海洋中的应用确立自由场条件下的水听器校准方法,包括用作水听器和/或发射换能器的单只水下电声换能器的校准方法。本文件提供了测量的原理、步骤和不确定度来源。

声学 水听器校准

第1部分：自由场校准方法

1 范围

本文件规定了水听器以及能用作水听器(接收器)和/或发射器(发射换能器)的单只电声换能器的自由场校准方法和步骤。包括两种通用校准：使用三换能器球面波互易法的绝对校准；使用与已经过绝对校准的参考设备比较的相对校准。

本文件所规定方法的最大频率范围为 200 Hz~1 MHz。最低适用频率取决于多种因素。典型的 200 Hz~5 kHz 频率范围，主要取决于所用测试设施的尺寸。对于本文件中所述的几种方法，最高适用的频率为 1 MHz。

低频声压场水听器校准方法见 IEC 60565-2^[6]。高于 1 MHz 频率的水听器校准方法见 IEC 62127-2^[7]。

本文件不包括：低频声压场水听器校准；数字水听器及系统的校准；海洋自容式声记录仪的校准；声矢量传感器的校准，例如质点速度传感器、声压梯度水听器；多个水听器组成的被动声呐阵的校准；发射器和水听器组成的主动声呐阵的校准。

本文件描述了自由场校准方法对测试设施、仪器设备、信号处理和频率限制等方面的要求，提供了可达到的不确定度和校准数据的报告规则。资料性附录提供如下指导性资料：

- 水听器或发射器指向性响应的测量；
- 水听器和发射器电阻抗的测量；
- 电负载修正；
- 水声校准中的声远场判据；
- 自由场校准中的脉冲技术；
- 水听器和发射器自由场校准的不确定度评估；
- 三换能器球面波互易校准公式的导出；
- 使用行波管的校准；
- 使用光学干涉法的水听器校准；
- 在混响水池中使用连续波信号的校准。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；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。

IEC 60050-801 国际电工词汇 第 801 章：声学 and 电声学(International Electrotechnical Vocabulary—Chapter 801: Acoustics and electroacoustics)

注：GB/T 2900.86—2009 电工术语 声学 and 电声学(IEC 60050-801:1994, IDT)

IEC 60500:2017 水声 水听器 1 Hz~500 kHz 频率范围的水听器特性(Underwater acoustics—Hydrophones—Properties of hydrophone in the frequency range 1 Hz to 500 kHz)。