

# 国际电工委员会超声波技术委员会及国内技术对口单位的工作进展

陈 毅<sup>1</sup>, 庞海鸥<sup>1</sup>, 王志俭<sup>2</sup>

(1. 杭州应用声学研究所, 杭州 310012; 2. 国家医用超声波仪器质量监督检验中心, 武汉 430077)

**摘要:** 介绍了国际电工委员会第 87 技术委员会(超声波)及其国内技术对口单位的工作进展情况。对国际电工委员会超声波技术委员会的发展概况作了简要介绍; 说明了国际标准的种类和它们的区别, 介绍了超水声国际标准制定情况, 并给出了现行有效的超水声国际标准的有关信息; 对目前开展的国内技术对口工作及其进展情况作了较为具体的介绍。

**关键词:** 国际电工委员会超声波技术委员会; 国内技术对口单位; 国际标准

中图分类号: TB55

文献标识码: A

文章编号: 1000-3630(2013)-04-0299-06

DOI 编码: 10.3969/j.issn1000-3630.2013.04.009

## Progress in the work of IEC/TC87 and its mirror committee in China

CHEN Yi<sup>1</sup>, PANG Hai-ou<sup>1</sup>, WANG Zhi-jian<sup>2</sup>

(1. Hangzhou Applied Acoustics Research Institute, Hangzhou 310012, China;

2. National Wuhan Quality Supervision and Inspection Center for Medico Ultrasonic Equipment, Wuhan 430077, China)

**Abstract:** Progress in the work conducted by the technical committee 87: Ultrasonics of International Electrotechnical Commission (IEC/TC87) and its mirror committee in China is summarized in this paper. An overview on the development of IEC/TC87 is introduced here. The catalogues of International Standards and their differences are described, and the compilation of International Standards for ultrasonics and underwater acoustics formulated by IEC is introduced. The information of the current valid International Standards of IEC/TC87 is also provided. The main work and its progress made by the domestic mirror committee are introduced in detail.

**Key words:** IEC/TC87; domestic mirror committee; international standard

## 0 引言

国际电工委员会(IEC)、国际标准化组织(ISO)和国际电信联盟(ITU)是世界三大知名的国际标准化组织, 他们制定的标准以及 ISO 确认并公布的其他国际组织制定的标准被称为国际标准<sup>[1]</sup>。其中, IEC 主要负责起草和发布所有电工、电子和相关技术领域的国际标准。目前 IEC 共有几十个技术委员会, 其中超声波技术委员会是 IEC 第 87 技术委员会(IEC/TC87)。

IEC/TC87 现有 34 个成员国, 其中, 积极成员(P 成员)国 19 个, 观察员(O 成员)国 15 个。我国是 IEC/TC87 的 P 成员, 与其对应的国内技术对口单

位是杭州应用声学研究所和武汉国家医用超声波仪器质量监督检测中心, 对应的标技委是全国声学标准化技术委员会超水声分技术委员会。2010 年我国成立了 IEC/TC87 国内技术对口工作组, 杭州应用声学研究所为组长和秘书处单位。

## 1 IEC/TC87 发展概况

IEC/TC87 最早是以国际电工委员会电声学技术委员会(IEC/TC29)下设的工作组形式存在。1966 年, 在 IEC/TC29 的第 10 次工作会议上决定成立超声波分技术委员会 IEC/SC29D, 其工作范围是制定有关超水声器件和整机的特性、技术规范及校准和测量方法。成立初期, 其工作内容主要以水声与功率超声为主, 医疗超声的内容相对较少。联邦德国的 Grutzmacher 与荷兰的 H.A.J.Rijnja 先后担任第一任与第二任主席。

随着超声技术的发展, 医疗超声领域需要制定

收稿日期: 2012-05-22; 修回日期: 2012-07-17

作者简介: 陈毅(1973—), 男, 浙江嵊州人, 高级工程师, 研究方向为水声计量测试技术。

通讯作者: 陈毅, E-mail: y.chen@163.com

的国际标准不断增加。1983年,在法国巴黎会议上,来自德国杜伊斯堡大学的超声技术和声学教授 Joachim Herbertz 博士被任命为 SC29D 的主席。为了解决该领域快速扩张带来的工作量,在 Herbertz 教授提议下,1986年 SC29D 从 TC29 中独立出来成为 IEC/TC87, Herbertz 教授为 TC87 首任主席。次年,TC87 及其 7 个工作组在德国法兰克福召开首次工作会议。此后,Herbertz 教授一直担任 TC87 主席直到 2002 年。期间召开了多次工作会议,为全球医疗超声技术和产品的发展及其国际标准制定作出了重要贡献<sup>[2]</sup>。

Herbertz 教授退休后,欧洲与美国就 TC87 主席一职展开争夺。由于美国在超水声领域的各个方面都有深入研究,技术水平先进、国家实力雄厚,因此,TC87 主席一职最终由美国人担任。来自 Philips 医疗系统的 John Abbott 成为 TC87 的新任主席。同时,来自英国国家标准化研究院的 Nick Bradfield 替代退休的 Roy Preston(来自英国 NPL)成为 TC87 的新任秘书。随后,在中国杭州举办了 2004 年度 IEC/TC87 工作会议,这也是我国首次承办 TC87 的年度工作会议。由于国际超、水声标准制修订工作的加强,此后,IEC/TC87 分别在美国新奥尔良、日本湘南、韩国首尔和美国西雅图召开年度工作会议。在新任主席和秘书的领导和影响下,TC87 的工作风格逐渐发生变化,由注重学术性向注重商业化方向发展,更加突出产品的实际需求。

目前,IEC/TC87 共有 8 个工作组,包括:WG3(大功率换能器)、WG6(高强度治疗超声和聚焦换能器)、WG7(超声手术设备)、WG8(超声场测量)、WG9(脉冲回声诊断设备)、WG13(名词术语)、WG14(超声暴露参数及其确定)、WG15(水声),主要开展除医疗超声设备和系统电气安全标准以外的有关超声领域的与特征、测量方法、安全和场、设备和系统的特性相关的国际标准的制修订工作。

## 2 超水声国际标准制定情况

IEC 国际标准的文件类型包括国际标准(IS)、技术规范(TS)、可公开提供的技术规范(PAS)和技术报告(TR)<sup>[3]</sup>。它们的区别在于:(1) IS 是经过 IEC 国际标准制定程序的七个阶段,即预备阶段(提供的文件为预工作项目, PWI)、提案阶段(提供的文件为新工作项目提案, NP)、准备阶段(提供的文件为工

作草案, WD)、委员会阶段(提供的文件为委员会草案, CD)、征询意见阶段(提供的文件为询问草案, CDV)、批准阶段(提供的文件为最终国际标准草案, FDIS)和出版阶段(提供的文件为国际标准, IEC)后,出版的正式国际标准;(2) TS 是在急需对某个领域进行指导,而临时采用的先期标准,它不是正式国际标准,只是被临时采用,以便在实际使用中收集信息和积累经验;(3) PAS 是在制定正式国际标准之前出版的中间性技术规范,或是一种与外部组织合作出版的带有双标识的出版物,它不完全符合标准的要求;(4) TR 是在该文件还不适合作为国际标准出版时,通过 P 成员投票的简单多数,决定出版的技术报告,该文件完全是信息性的,不具有标准的内容。

到目前为止,TC87 共制、修订了数十项国际标准,现行有效的国际标准有 29 项(见表 1)。其中部分国际标准已经过重新修订,如:(1) 对 IEC 60565 第 1 版(1977)和 IEC 60565A 第 1 版(1980)进行修订,形成 IEC 60565 国际标准第 2 版(2006);(2) 对 IEC 61157 第 1 版(1992)进行修订,形成 IEC 61157 国际标准第 2 版(2007);(3) 对 IEC 61161 第 1 版(1992)、IEC 61161 补充件第 1 版(1998)、IEC 61161 第 1.1 版(1998)进行修订,形成 IEC 61161 国际标准第 2 版(2006);(4) 对 IEC 61689 第 1 版(1996)进行修订,形成 IEC 61689 国际标准第 2 版(2007);(5) 对 IEC 62359 第 1 版(2005)进行修订,形成 IEC 62359 国际标准第 2 版(2011);(6) 对 IEC 60866 第 1 版(1987)、IEC 61101 第 1 版(1991)、IEC 61102 第 1 版(1991)、IEC 61102 补充件第 1 版(1993)、IEC 61220 第 1 版(1993)、IEC 62092 第 1 版(2001)进行修订,形成 IEC 62127-1、IEC 62127-2、IEC 62127-3 系列国际标准。

## 3 国内技术对口工作进展

IEC 的各个 TC 或 SC 准备的文件都通过 IEC 中央办公室批准后,分发给各国的 IEC 委员会征求意见或表决。为了正确及时地处理各种 IEC 文件,我国 IEC 国家委员会专门指定了相应的专业技术单位归口管理,研究与处理各类 IEC 文件。

1976 年杭州应用声学研究所(HAARI)接受了对 IEC/SC29D 的归口工作任务,成立了以专业技术人员为主体的归口工作小组。1985 年,国家 IEC 办公室对归口单位进行了核查整顿,重新确认杭州应用声学研究所为 IEC/SC29D(现为 IEC/TC87)国内技

表1 IEC/TC87 现行有效的国际标准名录  
Table.1 The list of the current valid International Standards of IEC/TC87

序号	标准号	版本	出版时间	国际标准名称
1	IEC 60050-802	1.0	2010	Electrotechnical terminology—Ultrasonics
2	IEC 60500	1.0	1974	IEC standard hydrophone
3	IEC 60565	2.0	2006	Underwater acoustics—Hydrophones—Calibration in the frequency range 0,01 Hz to 1 MHz
4	IEC/TR 60782	1.0	1984	Measurements of ultrasonic magnetostrictive transducers
5	IEC/TR 60854	1.0	1986	Methods of measuring the performance of ultrasonic pulse—echo diagnostic equipment
6	IEC/TR 60886	1.0	1987	Investigations on test procedures for ultrasonic cleaners
7	IEC/TR 61088	1.0	1991	Characteristics and measurements of ultrasonic piezoceramic transducers
8	IEC 61157	2.0	2007	Requirements for the declaration of the acoustic output of medical diagnostic ultrasonic equipment
9	IEC 61161	2.0	2006	Ultrasonics—Power measurement—Radiation force balances and performance requirements
10	IEC 61205	1.0	1993	Ultrasonics—Dental descaler systems—Measurement and declaration of the output characteristics
11	IEC/TS 61206	1.0	1993	Ultrasonics—Continuous-wave Doppler systems—Test procedures
12	IEC 61266	1.0	1994	Ultrasonics—Hand-held probe Doppler foetal heartbeat detectors—Performance requirements and methods of measurement and reporting
13	IEC/TS 61390	1.0	1996	Ultrasonics—Real-time pulse-echo systems—Test procedures to determine performance specifications
14	IEC 61391-1	1.0	2006	Ultrasonics—Pulse-echo scanners—Part 1: Techniques for calibrating spatial measurement systems and measurement of system point-spread function response
15	IEC 61391-2	1.0	2010	Ultrasonics—Pulse-echo scanners—Part 2: Measurement of maximum depth of penetration and local dynamic range
16	IEC 61685	1.0	2001	Ultrasonics—Flow measurement systems—Flow test object
17	IEC 61689	2.0	2007	Ultrasonics—Physiotherapy systems—Performance requirements and methods of measurement in the frequency range 0,5 MHz to 5 MHz
18	IEC 61828	1.0	2001	Ultrasonics—Focusing transducers—Definitions and measurement methods for the transmitted fields
19	IEC 61846	1.0	1998	Ultrasonics—Pressure pulse lithotripters—Characteristics of fields
20	IEC 61847	1.0	1998	Ultrasonics—Surgical systems—Measurement and declaration of the basic output characteristics
21	IEC/TS 61895	1.0	1999	Ultrasonics—Pulsed Doppler diagnostic systems—Test procedures to determine performance
22	IEC/TS 61949	1.0	2007	Ultrasonics—Field characterization—In situ exposure estimation in finite-amplitude ultrasonic beams
23	IEC 62127-1	1.0	2007	Ultrasonics—Hydrophone—Part 1: Measurement and characterization of medical ultrasonic fields up to 40 MHz
24	IEC 62127-2	1.0	2007	Ultrasonics—Hydrophone—Part 2: Calibration for ultrasonic fields up to 40 MHz
25	IEC 62127-3	1.0	2007	Ultrasonics—Hydrophones—Part 3: Properties of hydrophones for ultrasonic fields up to 40 MHz
26	IEC/TS 62306	1.0	2006	Ultrasonics—Field characterisation—Test objects for determining temperature elevation in diagnostic ultrasound fields
27	IEC 62359	2.0	2010	Ultrasonics—Field characterization—Test methods for the determination of thermal and mechanical indices related to medical diagnostic ultrasonic fields
28	IEC/TS 62462	1.0	2007	Ultrasonics—Output test—Guide for the maintenance of ultrasound physiotherapy systems
29	IEC/TR 62649	1.0	2010	Requirements for measurement standards for high intensity therapeutic ultrasound (HITU) devices

术归口单位。后来,又增设武汉国家医用超声波仪器质量监督检验中心(WHMIT)为TC87的第二归口单位。

目前,杭州应用声学研究所主要从事水声和超声的计量测试技术研究和校准、检测服务。通过多

年的努力,该所在超、水声计量测试技术的诸多方面均达到国内领先水平<sup>[4-10]</sup>,如水声声压校准频率范围达到0.01 Hz~15 MHz,并与英国NPL、俄罗斯VNIIFTRI等国际著名实验室建立了良好的合作关系,先后组织并参与多次超水声国际比对活动<sup>[11-14]</sup>。

WHMIT 为国家食品药品监督管理局下属的国家级医疗器械检验中心,负责医用超声设备类(含诊断、监护、理疗、治疗、手术等)医疗器械的质量监督检查工作。

作为国内技术对口单位,杭州应用声学研究所开展的国内技术对口工作主要有:

(1) 负责 IEC/TC87 发布的有关文件和资料的下载、管理和分发工作,并组织国内有关专家对相关投票文件进行分析和研究,形成代表我国的意见和建议,在国际标准投票截止日期前提交给 IEC 中国国家委员会进行投票和表决。

(2) 组织、推荐中国专家加入 IEC/TC87 的各个工作组和项目组,参与 IEC 国际标准的制、修订工作,同时根据我国超水声技术的发展状况,提出制定或修订 IEC 国际标准的提案。如:对振动液柱法进行验证试验,提出多条修改意见并被采纳;参与 IEC60565 的制修订工作,承担静水压激励法<sup>[15]</sup>的编制,将校准频率由 1Hz 扩展到 0.01Hz;先后推荐武汉国家医用超声波仪器质量监督检验中心的忙安石高级工程师和王志俭高级工程师参与 WG9 新工作项目 IEC/TS 62558 和 IEC/TS 62736 的编制;提出并负责 IEC 60500 的修订等。

(3) 组织国内超水声专家参加 IEC/SC29D 和 IEC/TC87 工作会议,以跟踪和掌握超水声国际标准的制修订情况,及时有效地在国际标准制修订过程中反映我国的技术要求。如 1982 年首次派人参加 IEC/SC29D 第 10 次会议,1999 年以来先后多次组团参加了在美国西雅图、英国伦敦、德国柏林、美国新奥尔良、日本湘南、韩国首尔等地举行的 IEC/TC87 年度工作会议,对我国代表参与国际标准制定,及时了解超水声技术发展动态起到了很好的推动作用。同时,在条件允许的情况下,积极承办 IEC/TC87 工作会议,为我国更多专家和有关单位参加国际标准化活动创造条件。如 2004 年在杭州承办了 IEC/TC87 工作会议,来自杭州应用声学研究所、中国科学院声学研究所、上海交通大学、陕西师范大学、重庆医科大学的 9 名中国代表参加了此次会议,使我国 HIFU 技术发展和标准制定得到 IEC/TC87 的重视,提升了我国在国际超水声界的地位。

(4) 承担 IEC/TC87 国内技术对口工作组的组织和管理工作。2010 年,为进一步提高我国参与超水声国际标准化活动的质量和水平,维护我国技术经济利益,在国标委支持下成立了 IEC/TC87 国内技术对口工作组,工作组成员由杭州应用声学研究

所、陕西师范大学、重庆融海超声医学工程研究中心有限公司、中国计量科学研究院、国家医用超声波仪器质量监督检测中心、中国科学院声学研究所等单位的 8 名专家组成,整合国内相关专业的技术力量,以专家团队的形式全面跟踪和参与 TC87 国际标准的制修订过程,防止该领域国际标准对我国超水声产品发展产生技术壁垒。

(5) 推动国内采标工作开展。超水声国家标准的制修订工作由全国声标委超水声分标委归口管理。通过国内技术对口工作组与该分标委的交流与合作,积极促进 IEC 国际标准被我国国家标准采用。同时,武汉国家医用超声波仪器质量监督检验中心作为全国医用电器标技委医用超声设备分标委,积极开展并推动 IEC 国际标准的行业采标工作。表 2 给出了超水声国际标准的国内采标情况。国内标准与国际标准的一致性程度分为 3 种:等同、修改和非等效<sup>[1]</sup>。与国际标准的一致性程度为“等同”和“修改”的中国标准,被视为采用了国际标准,而与国际标准的一致性程度为“非等效”的中国标准,不被视为采用了国际标准,仅表明该标准与国际标准的对应关系。

另外,杭州应用声学研究所还积极配合国内其它技术对口单位开展相关国际标准的采标工作,如与中国科学院声学研究所一起,积极配合全国电术语标委会开展《国际电工词汇—超声学》国际标准采标及汉语语种国际标准编制工作<sup>[16]</sup>,确保超声学名词术语翻译的正确性,以及与其他语种的协调一致性。此外,还积极促成国内标准被国际标准引用。如 2010 年出版的 IEC/TR 62649 准备在附录中引用我国国家标准 GB/T 19890-2005。由于牵涉到知识产权问题,正式出版前需要得到我们国家的授权,否则将予以撤销。工作组通过与国标委的多次联系和协商,妥善解决了此事,对我国国家标准(英译)全文在超声领域首次被 IEC 技术报告正式引用起到了一定的作用。

## 4 结束语

超声波与人们的生活、健康有着密切的关系。因此,国际上非常重视超声波技术的发展及其国际标准的制修订工作,以确保本国的技术经济利益不被损害。近些年,超声技术在国内得到了快速的发展<sup>[17,18]</sup>,尤其是无创治疗肿瘤技术(HIFU 技术)的迅猛发展及其商业化的趋势,对 IEC 国际标准的制定提出了明确的要求。而且新技术的发展和应用,

表2 IEC/TC87 国际标准国内采标情况  
Fig.2 The transformation of International Standards of IEC/TC87

序号	国际标准名称	国内标准名称	一致性程度
1	IEC 60050-802 Ed.1:2010	GB/T 2900.88—2011《电工术语 超声学》	等同
2	IEC 60500 Ed.1:1974	GB/T 4128—1995《声学 标准水听器》	非等效
3	IEC 60565 Ed.2:2006	JJG 1017—2007《1 kHz~1 MHz 标准水听器检定规程》、JJG 1018—2007《1 Hz~2 kHz 标准水听器检定规程》	非等效
4	IEC/TR 60854 Ed.1:1986	YY/T 0643—2008《超声脉冲回波诊断设备性能的测试方法》	等同
5	IEC/TR 60866 Ed.1:1987	GB/T 15611—1995《声学 高频水听器校准》	非等效
6	IEC 61088/TR Ed.1:1991	GB/T 17252—1998《声学 100kHz 以下超声压电换能器的特性和测量》	等同
7	IEC 61102 Ed.1:1991、IEC 61102A Ed.1:1993	GB/T 16540—1996《声学 在 0.5~15MHz 频率范围内的超声场特性及其测量 水听器法》	等同
8	IEC 61157 Ed.1:1992	GB/T 16846—2008《医用超声诊断设备 声输出公布要求》	等同
9	IEC 61205 Ed.1:1993	YY/T 0751—2009《超声洁牙设备 输出特性的测量和公布》	修改
10	IEC/TS 61206 Ed.1:1993	YY/T 0705—2008《超声连续波多普勒系统试验方法》	等同
11	IEC 61220 Ed.1:1993	YY/T 1088—2007《在 0.5 MHz~15 MHz 频率范围内采用水听器测量与表征医用超声设备声场特性的导则》	等同
12	IEC 61266 Ed.1:1994	YY/T 0749—2009《超声 手持探头式多普勒胎儿心率检测仪 性能要求及测量和报告方法》	修改
13	IEC/TS 61390 Ed.1:1996	YY/T 0703—2008《超声实时脉冲回波系统性能试验方法》	等同
14	IEC 61391-1 Ed.1:2006	YY/T 0748.1—2009《超声脉冲回波扫描仪 第1部分: 校准空间测量系统和系统点扩展函数响应测量的技术方法》	等同
15	IEC 61685 Ed.1:2001	YY/T 0458—2003《超声多普勒仿血流体模的技术要求》	等同
16	IEC 61689 Ed.2:2007	YY/T 0750—2009《超声 理疗设备 0.5 MHz~5 MHz 频率范围内声场要求和测量方法》	修改
17	IEC 61828 Ed.1:2001	GB/T 20249—2006《声学 聚焦超声换能器发射场特性的定义与测量方法》	等同
18	IEC 61846 Ed.1:1998	GB/T 16407—2006《声学 医用体外压力脉冲碎石机的声场特性和测量》	等同
19	IEC 61847 Ed.1:1998	YY/T 0644—2008《超声外科手术系统基本输出特性的测量和公布》	等同
20	IEC/TS 61895 Ed.1:1999	YY/T 0704—2008《超声脉冲多普勒诊断系统性能试验方法》	等同
21	IEC 62127-1 Ed.1:2007	YY/T 0865.1—2011《超声 水听器 第1部分: 40 MHz 以下医用超声场的测量和特征描绘》	等同
22	IEC 62127-3 Ed.1:2007	YY 行业标准《超声 水听器 第3部分: 40 MHz 以下超声场用水听器的特性》(已报批)	等同
23	IEC 62359 Ed.1:2005	YY/T 0642—2008《超声 声场特性 确定医用诊断超声场热和机械指数的试验方法》	等同
	IEC 62359 Ed.2:2010	YY 行业标准《超声 声场特性 确定医用诊断超声场热和机械指数的试验方法》(已报批)	等同
24	IEC/TS 62462 Ed.1:2007	YY/T 0797—2010《超声 输出试验 超声理疗设备维护指南》	等同

也对原有国际标准提出了修订的要求。

我国一直以来十分重视超、水声国际标准的制修订工作,几十年来做了大量的跟踪和采标工作,尤其自本世纪初以来的工作进展更加明显,但也有一些不尽如人意的地方,如某些采标的质量还有待提高和完善、缺乏必要的采标质量评价体系等等。因此,需要在以后的工作中,通过逐步提高国内标准化工作的质量及相关人员的水平来予以改进;同时,我国还需要建立国际标准采标监督和评价制度,对国际标准采标工作进行监督和后评价,促进采标质量的提高。

由于我国的超、水声技术总体上还落后于国际先进水平,因此,在国际标准的制修订上,成绩还十分有限。但近十年来国内超、水声技术的快速发展给我们带来了机会,有望在超水声国际标准化方面提升我国的地位和实力。而 IEC/TC87 国内技术对口工作组的成立,有助于团结国内的相关技术力量,以专家团队的形式实质性参与 IEC 超水声国际标准的制修订工作。

工作组成立后,已筹划和开展了不少工作,对 IEC 国际标准的制定以及我国超水声标准的发展起到了很好的推动作用。但工作组也存在着一些不足

之处,如人员构成还有待优化,参与国际标准化活动的力度有待加强,提出的实质性意见和建议还很缺乏等等。这些都有待于通过我们的努力,在未来发展中加以改进和提高。

### 参 考 文 献

- [1] 国家标准化管理委员会. 国际标准化教程[M]. 北京: 中国标准出版社, 2009.
- [2] IEC/TC87. 87/408/INF: Obituary professor Joachim Herbertz-Chariman IEC/TC87-1987-2002[R]. 2009
- [3] ISO/IEC. ISO/IEC 导则[M]. 北京: 中国标准出版社, 2008.
- [4] 赵涵, 袁文俊, 葛辉良. 线列阵管中校准方法研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2000, **14**(1): 31-36.  
ZHAO Han, YUAN Wenjun, GE Huiliang. A study of calibrating line array in a chamber[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrument, 2000, **14**(1): 31-36.
- [5] 王月兵, 黄勇军. 使用激光测振技术校准水听器灵敏度[J]. 声学学报, 2001, **26**(1): 29-33.  
WANG Yuebing, HUANG Yongjun. Calibration of hydrophones using optical techniques[J]. Acta Acustica, 2001, **26**(1): 29-33.
- [6] 袁文俊, 陈毅, 张晓岚, 等. 0.01~1Hz 水声声压标准装置的研究[J]. 计量学报, 2004, **25**(3): 270-274.  
YUAN Wenjun, CHEN Yi, ZHANG Xiaolan, et al. The research of underwater acoustics pressure standar in the frequency band of 0.01 to 1 Hz[J]. Acta Metrologia Sinica, 2004, **25**(3): 270-274.
- [7] WANG Yuebing, John Tyrer, PING Zhihong, et al. Measurement of focused ultrasonic fields using a scanning laser vibrometer[J]. J. Acoust. Soc. Am., 2007, **121**(5): 2621-2627.
- [8] 陈毅, 陈卫华, 袁文俊, 等. 高静水压下自由场水声声压标准装置的研究[J]. 计量学报, 2008, **29**(3): 257-261.  
CHEN Yi, CHEN Weihua, YUAN Wenjun, et al. The development of free-field underwater acoustic pressure standard at high hydrostatic pressure[J]. Acta Metrologia Sinica, 2008, **29**(3): 257-261.
- [9] 陈毅, 张军, 张敏, 等. 20Hz~10kHz 光纤水听器相移灵敏度校准[J]. 光子学报, 2011, **40**(11): 1686-1691.  
CHEN Yi, ZHANG Jun, ZHANG Min, et al. Calibration of phase-shifted sensitivity of optical fiber hydrophone in the frequency range 20Hz to 10kHz[J]. Acta Photonica Sinica, 2011, **40**(11): 1686-1691.
- [10] 王月兵, 王世全. 激光反射全息技术在超声换能器近场测量中的应用[J]. 声学学报, 2012, **37**(1): 68-73.  
WANG Yuebing, WANG Shiquan. The application of Laser Reflective Tomography in near-field measurement of ultrasonic transducers[J]. Acta Acoustica, 2012, **37**(1): 68-73.
- [11] Enyakov A M, Likhatchev S M, Platonov V A, et al. A Russian-Chinese international comparison of hydrophone calibration methods[J]. Metrologia, 1999, **36**: 297-303.
- [12] 袁文俊, 陈毅, Enyakov A M, 等. 中俄标准水听器在 0.01~1 Hz 频段的双边比校准[J]. 计量学报, 2005, **26**(3): 259-262.  
YUAN Wenjun, CHEN Yi, Enyakov A M, et al. A bilateral calibration comparison of standard hydrophones between China and Russia in the frequency range of 0.01 to 1 Hz[J]. Acta Metrologia Sinica, 2005, **26**(3): 259-262.
- [13] Robinson S P, Harris P M, Ablitt J, et al. An international key comparison of free-field hydrophone calibrations in the frequency range 1 to 500 kHz[J]. J. Acoust. Soc. Am., 2006, **120**(3): 1366-1373.
- [14] CHEN Yi, Isaev A E, WANG Yuebing, et al. COOMET Pilot Comparison 473/RU-a/09: Comparison of hydrophone calibrations in the frequency range 250 Hz to 200 kHz[J]. Metrologia, 2011, **48** Tech. Suppl. 09004.
- [15] International Electrotechnical Commission. IEC 60565: Underwater acoustics-Hydrophones-Calibration in the frequency range 0.01 Hz to 1 MHz[S]. 2006.
- [16] 全国电工术语标准化技术委员会. GB/T 2900.88-2011. 电工术语 超声学[S]. 中国标准出版社, 2011.
- [17] 冯若. 我国聚焦超声治疗技术的迅速崛起与展望[J]. 声学技术, 2011, **30**(1): 17-20.  
FENG Ruo. Rapid rise of focused ultrasound therapeutic technique and prospect in China[J]. Technical Acoustics, 2011, **30**(1): 17-20.
- [18] 寿文德. 我国超声测量技术和标准化发展的三十年[J]. 声学技术, 2011, **30**(1): 21-26.  
SHOU Wende. Thirty years of ultrasonic measurement and standardization in China[J]. Technical Acoustics, 2011, **30**(1): 21-26.