

周兰,李兆军. 微细气泡技术标准体系探究[J]. 净水技术,2021,40(2):75-87.

ZHOU L, LI Z J. Exploration of standard system for fine bubble technology[J]. Water Purification Technology, 2021, 40(2):75-87.



扫我试试?

## 微细气泡技术标准体系探究

周 兰,李兆军

(中国科学院过程工程研究所,北京 100190)

**摘 要** 微细气泡技术是面向未来、绿色可持续的技术。气泡尺寸小到微纳米级的微细气泡技术快速发展,其应用也越来越广泛,在矿物浮选分离、超声造影剂、污水处理、工业清洗和精细剥离、日用清洗和护肤、农业种植以及水产养殖、盐碱地改良和土壤修复等诸多领域,微细气泡技术均颇有建树。但是,就像其他新兴技术发展初期一样,伴随着微细气泡的研究和应用,在学术界和市场上尚存在诸多争议和未解难题;微细气泡功能、效果等背后的机理还没有充分和完善的科学解释;应用走在机理理论研究的前面,市场的发展需要标准化,且亟需加快标准化的相关工作。文中介绍了微细气泡技术的发展背景、研究对象和应用领域,从相关组织、技术动向和标准化对象3个方面介绍了目前国际标准化发展情况。结合目前产业的发展、标准化工作的需求,调研现有的标准化基础,包括已制定的标准和已开展的相关标准化工作项目、微细气泡检测表征技术发展和应用情况,从标准的类型、专业领域、功能等角度进行分析,提出了基础、生成技术及设备、测量方法和应用4个板块的微细气泡标准体系,详细说明了该体系的分类原则、标准体系结构图、各构成部分的内容、各部分的标准化发展方向和需求。为便于指导标准项目的具体开发,还从标准化文件的表现形式、使用者、标准化对象、目的和功能等方面对各板块对应内容做了分析和引导,梳理了各板块已开发和开发中的标准化成果。最后,展望了未来的标准化方向。

**关键词** 微细气泡 微细气泡技术 标准化 微细气泡技术标准体系

**中图分类号:** T19 **文献标识码:** A **文章编号:** 1009-0177(2021)02-0075-09

**DOI:** 10.15890/j.cnki.jsjs.2021.02.008

## Exploration of Standard System for Fine Bubble Technology

ZHOU Lan, LI Zhaojun

(Institute of Process Engineering, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China)

**Abstract** Fine bubble technology is a future oriented, green and sustainable technology. Fine bubbles are defined as artificially manufactured bubbles of smaller than 100 micron meters in size in a liquid medium. With the rapid development of fine bubble technology, applications in the fields of mineral flotation, ultrasonic contrast agent, water treatment, industrial cleaning and fine stripping, daily cleaning and skin care, agricultural and aquaculture, saline alkali land improvement and soil remediation etc., have evolved over the past few decades. However, like other emerging technologies, along with the research and application of fine bubbles, there have been many disputes and unsolved problems in academic and the market as well. Although many applications have been in practices, mechanism behind the functions and effects of fine bubbles has not been fully and perfectly explained scientifically. Anyway, market development needs to speed up the standardization. This paper introduces development background, research object and application field of fine bubble technology, relevant organizations, technical trends corresponding with the current international standardization development situation. And, after investigating the development of the industry, progress of measurement methods and generators, demand of standardization work, standard projects finished and under development etc., this paper proposes a standard system for fine bubble technology with four aspects: basic standards, generating and equipment, measurement methods and individual applications. Classification principle, contents, standardization development direction and demand of each part are described in detail. In order to guide specific development work of standard projects, this paper also analyzes the detail forms, users, standardization objects, purposes and

[收稿日期] 2020-09-08

[作者简介] 周兰(1976—),女,研究方向为颗粒及微细气泡技术标准, E-mail: lzhou19@ipe.ac.

functions of the standardizing documents of each part. The standards finished and under development are also sorted out for each part. Although the pace of each kind of industry application is different, standardization development for fine bubble technology is just under the initial stage both home and abroad. China has quite a lot of opportunities to participate. It is expected that more enterprises and researchers in China will participate in the development of international standards, share technical ideas and resources of various markets, and develop the international standards more conducive to China's industrial development over the global market.

**Keywords** fine bubble fine bubble technology standardization standard system for fine bubble technology

气泡在生活中无处不在,有流体的地方就有气泡。有时候,人们并不希望气泡产生,材料中混入气泡会影响材料的外观、降低材料的强度,油液中含有过多气泡会影响系统的多种性能,高速流体机械运转时的空化气蚀现象令技术人员头疼,输液时混入过多气泡或从高压环境骤然进入低气压环境时危险的气栓现象等。但是,人类很早就开始利用气泡丰富的特性,并发挥积极作用。近几十年,气泡尺寸小到微纳米级的微细气泡技术快速发展,其应用越来越广泛,在矿物浮选分离、超声造影剂、污水处理、工业清洗和精细剥离、日用清洗和护肤、健康养生、农业种植以及水产养殖、盐碱地改良和土壤修复等诸多领域,微细气泡技术均颇有建树。而且,微细气泡技术是面向未来、绿色可持续的技术——在联合国 17 项全球可持续发展目标中,微细气泡技术应用可以切实支持到消除饥饿、健康福祉、清洁饮水与卫生设施、廉价和清洁能源、工业/创新/基础设施、负责任的消费和生产、气候行动、海洋环境、陆地生态、促进目标实现的伙伴关系这 10 项目标。

不过,因为过去气泡本身很少被作为最终的产物或产品,大多数领域的研究和应用多是气泡参与和贡献的结果,而很少关注气泡本身,20 世纪 70 年代才开始逐渐形成从“气泡”这个视角来跨领域开展研究,对气泡进行分类和评价,进而指导应用的专业领域。参考寺坂宏一的分类<sup>[1]</sup>,广义上的“气泡”是指“由气体以外的材料包围气体形成的封闭空间”;按与气泡表面接触的相来分,有完全被液体包裹的“浮游性气泡”;部分和固体接触、其余部分和液体接触的“附着性气泡”;完全被固体包裹的“中空粒子”;被连续固相包裹的“空隙”等。进一步细分,气泡又按粒径、内包气体种类、气泡膜成分、生成方法等分为多种类型。微细气泡技术应用主要是针对浮游性气泡中的微气泡和超细气泡。

气泡应用上,气泡其他特性往往比气泡本身粒

径的影响更显著,而且早期也没有改变或者缩小气泡尺寸的实用设备,导致气泡尺寸对效果的影响及背后机理特性方面的研究和关注比较少。20 世纪 90 年代初,超声造影剂的研究工作取得了很大的进展。研究人员发现,与早期的超声造影剂相比,直径为几个  $\mu\text{m}$  的、可通过肺循环的包膜超声造影剂的应用效果最佳、应用范围更广、稳定性更好;一些公司和研究机构研制了不同的微气泡超声造影剂,用于动物试验和临床研究的超声造影剂也投放市场;现在,微纳气泡超声造影剂的研究逐渐形成了一个完整的体系,同时越来越多的应用价值被发掘和应用,其在制备技术、诊断和治疗应用等方面均取得了进展和突破<sup>[2]</sup>。20 世纪 90 年代末期,日本的科学家研制出微米气泡发生设备,并应用在牡蛎和扇贝养殖方面,取得了良好的效果,引起了广泛的关注。以水产养殖领域为开端,掀起了微气泡技术研究和应用的高潮。随后,在微气泡的基础上,科研机构和企业技术人员又开发出超细气泡发生装置,研究超细气泡的独特效果及其在多领域的应用<sup>[1]</sup>。

但是,就像其他新兴技术发展初期一样,伴随着微细气泡的研究和应用,在学术界和市场上一存在着诸多争议和未解难题;微细气泡功能、效果等背后的机理还没有充分和完善的科学解释;应用走在机理理论研究的前面,市场也尚在发展和形成的初期。不过,随着跨国跨领域的合作交流、细分领域内的深耕细作、微细气泡技术和数据的共享和沉淀、测量技术的进步,对微细气泡体系的机理把握也在不断深入,技术应用规模和产业效益也在逐步提升。微细气泡技术的标准化正是在这个背景下应运而生。本文提出了微细气泡技术的标准体系、标准化结构图,并对标准化现状进行了梳理。

## 1 标准化发展情况

### 1.1 相关组织

日本在微细气泡技术领域的应用和推广方面做了很多开创性工作,政府很早就开始布局相关的系

统支持架构,搭建了官、产、学、研相结合的技术研发,应用推广到国际引领的综合体系。2012年,成立了微细气泡产业协会(Fine Bubble Industry Association, FBIA)<sup>[3]</sup>,初衷是受日本经济产业省委托,推进微细气泡技术的国际标准化组织的设立。2013年,在日本的推动下,国际标准化组织(International Organization for Standardization, ISO)成立了微细气泡技术委员会 TC281(以下简称 ISO/TC281),秘书处由日本承担。ISO/TC281 成立后,FBIA 继续作为综合实施微细气泡技术国际化、认证、技术开发应用、共同基础信息收集等的平台,联合业界/学会/政府以形成健全市场、产业整体加速发展为目标开展活动。日本技术与评价研究所(National Institute of Technology and Evaluation, NITE)<sup>[4]</sup>设有微细气泡测量和标准化办公室,专门负责微细气泡产品试验·评价方法开发和检测相关国际标准开发,并作为第三方的认证机关,建立评价和证明的认证体系(不针对企业和个人开放)。由 FBIA 实施微细气泡产品认证和登记,以期加强微细气泡产品厂商和消费者之间的信赖。FBIA 通过指定民间试验机构,进行认证相关检测和提供检测报告,并在此基础上进行认证。除了企业为主体的协会,日本还组建有微细气泡学会联盟,包含 FBIA、混相流学会、化学工学会反应场工学分科会(环境和谐型反应为核心)、声化学学会和化学工学会气泡·液滴·微粒子分散工学分科会 5 个团体,担负着相关科研活动信息交换的职责,事务所设在 FBIA<sup>[5]</sup>。

我国于 2018 年 10 月由中国颗粒学会发起成立了微纳气泡专业委员会,旨在加强微纳气泡基础研究和应用之间的交流合作,推动该领域在环境、农业、生物和健康等方面的发展。截至目前,有大专院校、科研院所和企业代表 182 名,成立了 8 个工作组,分别是:基础研究、国际合作、科普和培训、水质提升、农牧渔业、健康、清洗以及工业、测量和标准化。中国颗粒学会也设有标准工作委员会,专门负责团体标准的推进和制定工作。2019 年 11 月,国家标准化委员会批准成立了 ISO 微细气泡技术委员会的镜像组织——全国微细气泡技术标准化技术委员会(SAC/TC584),主要负责微细气泡技术(涵盖术语与通则、包括但不限于液体介质中微细气泡的表征与应用,特别关注 $<100\ \mu\text{m}$ 人工制造微细气泡)领域国家标准制修订工作。

## 1.2 技术动向

类似于颗粒/粉体技术、纳米材料、真空技术等分类,微细气泡技术无法归类到一个传统行业里,属于跨行业跨领域的新型交叉学科,其基础和机理涉及物理化学、声学、化学工程和生物学等基础学科,还和流体力学、多相流、界面科学、纳米科学联系紧密。与具体应用结合,涉及水环境工程、工程医学、农业水产养殖工程学、食品科学与工程、机械加工工程等广泛的细分专业领域。

在 2016 年度专利申请技术动向调查报告书<sup>[6]</sup>中,日本对微细气泡技术 1986 年—2015 年各国发表的非专利英文论文 6 332 件和 1986 年—2014 年欧美日韩各国申请的专利 9 555 件做了详细调查,从件数最多的开始排序,论文近年来越来越集中在运用微细气泡特有性质和间接性质的效果、生命科学/医疗应用领域、微细气泡内包气体种类、中空微胶囊、微细气泡性状和调制、工业领域、微细气泡发生设备和方法、环境领域等方面;专利申请近年来越来越集中在运用微细气泡特有性质和间接性质的效果、微细气泡内包气体种类、环境领域、工业领域、微细气泡发生设备和方法、微细气泡性状和调制、微细气泡发生器性能、生命科学/医疗应用领域等方面;专利申请和论文基本均在 2000 年—2005 年激增后稳步增加(生命科学/医疗应用领域不同,20 世纪 90 年代初开始稳步增长)。微细气泡技术的基本专利日本居多,而专利中被引用频率最高的是生命科学/医疗应用领域的超声造影剂和诊断相关专利,以欧美专利居多。

微细气泡技术在生命科学和健康领域的研究和应用,特别是在医学超声影像增强与药物载运方面的发展是很多国家加大投入和争抢未来竞争力的领域。用于组织显像的声学造影剂发展迅速,具有诊断和治疗双重作用的靶向声学造影剂也在研究中。对于这方面的研究和应用,微气泡膜壳性质的改变和设计非常关键<sup>[2]</sup>。

## 1.3 标准化对象

ISO/TC281 的标准化工作聚焦于液体介质中人工制造微细气泡的术语、表征和应用通则。其中的微细气泡(fine bubble)限定在体积等效直径 $<100\ \mu\text{m}$ ,包含体积等效直径在 $1\sim 100\ \mu\text{m}$ 的微气泡(microbubble)和等效直径 $<1\ \mu\text{m}$ 的超细气泡(ultrafine



bubble)<sup>[7]</sup>。

虽然研究领域和市场上使用“纳米气泡”的表述还较为常见,但 ISO/TC281 倡导规避,不使用“纳米气泡”一词,而是相应采用“微细气泡”、“超细气泡”的表述,主要考虑以下因素。首先,2005 年设立的 ISO 纳米技术委员会 ISO/TC229 定义纳米尺度为 1~100 nm<sup>[8]</sup>; ISO/TC281 的超细气泡粒径 < 1 μm,常压下观测到水中生成的微细气泡粒径多为 100~200 nm,没有直接科学依据表明超细气泡尺寸到 100 nm 这条分界线会表现出量变到质变的显著不同的理化现象和功能特性改变,且表现出卓越性能的超细气泡粒径往往 > 100 nm。其次,因为有些纳米材料对生物体和环境的危害,欧盟委员会对纳米材料高度敏感和管控,“纳米气泡”会带来诸多市场推广的不利因素。最后,虽然已经有纳米气泡之类的商标注册,并在市场上被使用,但如前所述,存在宣传效果中的纳米气泡无法直接证明,且微细气泡粒径 < 50 nm 后区分出灰尘或者噪音的高精度测量成本昂贵难以在实际应用中实施的问题,这种宣传有引起市场混乱的可能性。

## 2 标准体系和进展

### 2.1 概述

标准体系模型用于表达、描述标准体系的目标、边界、范围、环境、结构关系,并反映标准化发展规划,是策划、实施、检查和改进标准体系的方法工具。微细气泡技术标准体系是针对微细气泡技术这一标准化对象本身的分类和体系化,应包含现有、应有和预计制定标准化文件的蓝图<sup>[9]</sup>。

每个标准化文件除了可以在微细气泡技术标准体系结构里对号入座以外,还应按照标准化领域通用的分类方法界定属性和确定内容,便于指导标准项目的开发工作。结合微细气泡技术,对其中重要的 5 个维度和分类方法<sup>[10-11]</sup>进行说明。

#### (1) 标准化文件的表现形式

鉴于微细气泡技术这一新兴领域,标准化工作尚在起步阶段,内容的最终表现形式不囿于标准,具体来说,主要包括以下层次的标准化文件:①ISO 体系的国际标准(international standards)、技术规范(technical specifications, TS)和技术报告(technical reports, TR);②国家标准体系的推荐性国家标准(GB/T)、标准化指导性技术文件(GB/Z);③行业

标准、地方标准、团体标准和企业标准。

相对于标准来说,TS 协商一致性程度降低、程序简化,未来有可能形成一致意见上升为国际标准,但当前存在以下问题:①不能获得批准为国际标准所需要的支持;②对是否已形成协商一致尚未确定;③其主题内容尚处于技术发展阶段;④另有原因使其不可能作为国际标准立即出版。

需要注意的是,TS 的内容可以包括要求;允许在同一主题下几个技术规范竞争;技术规范不同于我国标准化文件中的规范标准这一功能类型。

TR 完全是信息性文件,不应包括规范性内容,一般包括从通常作为国际标准或技术规范出版的资料中收集的各种数据。例如,从国家成员团体的评述中得到的数据、其他国际组织中工作方面的数据、与国家成员体某一具体方面的标准有关的技术发展动态数据。

TS 和 TR 和我国标准化文件中的 GB/Z 功能较接近。在我国,GB/Z 是为仍处于技术发展过程中(如变化快的技术领域)的标准化工作提供指南或信息,供科研、设计、生产、使用和管理等有关人员参考使用而制定的标准化文件。实际应用过程中,市场亟需的 TS 也可以考虑转化为推荐性国家标准中的“指南”,以适当的背景知识,提供某主题的普遍性、原则性、方向性的指导,或同时给出相关建议或信息的标准,为将来做规范、规程做准备(发展成熟后),不含要求,例如《...的常见实施问题》。对于成熟的技术要求,以标准形式呈现无疑更能发挥标准化的效能,但在制定标准的条件尚不具备时,TS、TR 和 GB/Z 这类标准化文件能够快速响应市场和创新的需求,为新技术的推广和应用发挥重要作用。对于微细气泡技术和应用来说,特性背后的机理未知或尚有争议,且市场应用走在前面的新技术新领域,意义尤为突出。

对于我国从国家标准、行业标准、地方标准、团体标准到企业标准来说,应用范围一级比一级窄,针对同一内容的标准化要求则一级比一级更高。2017 年颁布的《标准化法》,对这方面也有详细规定:对满足基础通用、对行业起引领作用等需要的技术要求,制定推荐性国家标准;对没有推荐性国家标准,需要在全国某个行业范围内统一的技术要求,可以制定行业标准;国家鼓励学会、协会、商会、联合会、产业技术联盟等社会团体协调相关市场主体共同制

定满足市场和创新需要的团体标准,由本团体成员约定采用或者按照本团体的规定供社会自愿采用;国家鼓励社会团体、企业制定高于推荐性标准相关技术要求的团体标准、企业标准。

目前,在微细气泡技术方面,已发布的标准文件多为 ISO 文件。作为新兴领域,各国在技术尤其是应用上的差距尚未拉开,标准化的工作在全球及各国均属于起步阶段。为中国技术应用和产品推广的国际化做准备,作为微细气泡技术标准化的国家队,SAC/TC584 也在着手尽快转化适合的 ISO 文件为国家推荐性标准或指导性技术文件,组织国内相关专家主导制定和参与国际标准,鼓励和挖掘国内优秀团队制定国家标准。中国颗粒学会标准工作委员会也在着手制定微细气泡技术相关的团体标准。

#### (2) 标准化文件的使用者

标准化文件首先是以人为本,为使用者服务的。微细气泡技术领域的各方使用者包括生产方、供应方、采购方、最终使用方、检测仪器公司、检测机构、科研机构、认证机构、管理机构等。明确使用者和使用者关注的内容,才能保证标准化文件是特定使用者所需要的。从微细气泡技术领域来说,生产供应方包括设备制造商、零部件制造商、测量仪器制造商和工程设计施工及配套公司等。需求使用方则包括水处理、食品医疗健康、农林水产等诸多不同领域。

#### (3) 标准化文件的标准化对象

考虑标准化对象或领域、“做成什么”,可以将标准化文件划分为以下对象类别:①产品标准,按具体标准化对象,可进一步分为原材料标准、零部件/元器件标准、制成品标准和系统标准;②过程标准;③服务标准。

#### (4) 标准化文件的目的

按照标准化文件制定的目的导向原则,要解决“为什么”的问题,标准化文件有保证可用性,便于接口、互换、兼容或相互配合,利于品种控制,保障健康、安全,保护环境或促进资源合理利用,促进相互理解 and 交流,提高生产效率,以及产品防护等不同目的。

#### (5) 标准化文件的功能

按照标准化文件内容的功能,可以将标准划分为术语标准、符号标准、分类标准、试验标准、规范标

准、规程标准和指南标准等功能类型<sup>[12]</sup>。

## 2.2 标准体系

### 2.2.1 标准体系层次

ISO/TC281 将微细气泡技术的国际标准分为三层构造,原则上对应 3 个工作组标准开发工作的分工,如图 1 所示。顶层基础标准为微细气泡技术的一般原则,包括定义、术语、特性等共通基础要素;中间层为测量微细气泡和微细气泡分散体系的各种测量方法标准;底层为微细气泡起到的效果,以及各种具体领域的特定应用标准。从顶层到底层,层层递进的标准体系,旨在推进形成微细气泡技术应用健全的市场<sup>[13]</sup>。



图 1 国际标准的三层结构体系

Fig. 1 Three-Layer International Standardization of ISO/TC281

虽然 ISO 已有以上关于微细气泡技术标准体系的划分,结合我国微细气泡技术的发展和应用情况,有必要在此基础上进行更新和细化,建立和发展我国的微细气泡技术标准体系。首先,三层体系过于笼统,有些亟需开发的重要标准无法归类。例如,微细气泡发生技术相关,包括不同种类的制备方法、产品和辅助设备要求等,没有层次结构和明确的工作组来对应。其次,三层体系每个层次内部涵盖多个方面,需要进一步分层分类,从而便于指导每个层次下面系列标准的设计和开发。最后,需要对每个层次中的标准提出具体的引导和建议,包括期待开发标准的方向、用途、类别等。

结合目前产业的发展、标准化工作的需求,按照《标准体系构建原则和要求》(GB/T 13016—2018)目标明确、全面成套、层次适当和划分清楚的构建标准体系的 4 大基本原则,SAC/TC584 秘书处调研现有的标准化基础(包括已制定的标准和已开展的相关标准化工作项目、微细气泡检测表征技术发展和应用情况),从标准的类型、专业领域、功能等角度进行分析,在国际标准 3 个板块的基础上,增加生成

技术及设备,提出了4个板块的微细气泡标准体系,如图2所示。



图2 标准体系新提案

Fig. 2 New Proposal for Standard System

### 2.2.2 标准体系说明

微细气泡标准体系下细分的标准体系结构如图3所示。体系和内容力求完整,板块之间、板块的细分领域之间力求相互独立。结构图、结构图说明、各板块说明和细分领域说明缺一不可,共同构成标准体系。应用板块子项目在结构图中展开不便,以下分板块介绍时详细展开。

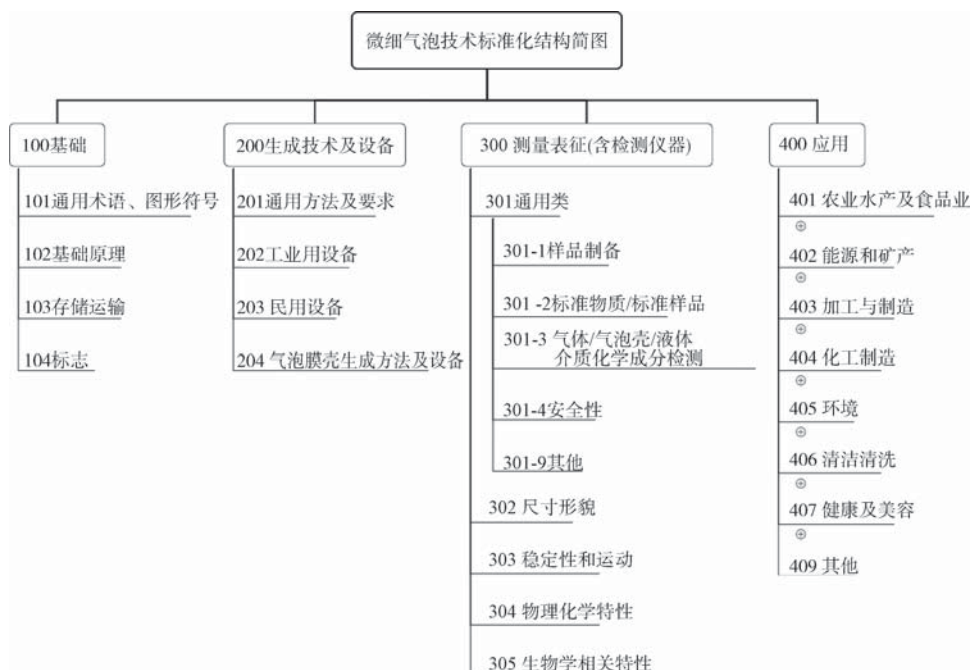
(1)标准体系的主旨:针对产业发展技术现状、未来发展趋势及市场应用需求,指导标准开发方向,以有利于微细气泡技术应用和产业高效发展为目标,以解决实际问题为切入点,以技术落地应用为着力点。

(2)各板块纵向细分领域的基础标准和横向跨领域的通用标准并重,便于各类标准灵活组合以实现更广范围、更多领域的推广和适用。

(3)按照《中华人民共和国标准化法》,环境保护和人身安全属于强制标准,没有单独列项,但产品标准和技术标准涉及相关内容时,需注意制定相应的规范条款。微细气泡技术本身具有绿色环保的特性,在具体应用上需更加重视环保,才能发挥这一天然优势。

(4)技术标准和方法标准可以基于产品标准,但必须和产品脱钩,提取一般、普适性的方法、步骤、技术指标,才会促进行业发展。

(5)产品、相互配套技术、接口、性能基准和评价方法标准化是标准化的主要模式。各板块涉及产品标准时,其中的技术性能要求向量化描述产品特性的方向发展,并规定满足性能要求的量化范围,以促使标准更广泛、更直接的发挥作用。



注:400应用板块的401~407部分因篇幅限制未展开

图3 标准体系结构简图

Fig. 3 Simplified Structure of Standard System



(6)根据未来技术和应用的多样性及发展需求,实施动态更新完善机制。通过持续强化和相关科研机构大专院校、检测机构和检测仪器公司、设备生产企业、工程公司、使用方协作协调,不定期更新与完善标准体系。

### 2.2.3 微细气泡标准体系“100 基础”板块及相关标准化进展

微细气泡技术在很多领域进展迅速,但微细气泡的定义和术语发展相对滞后,一般原则没有统一,导致其缺乏共通语言,亟待标准化。基础类标准包含微细气泡的共通基本要素标准,为其他各部分标准的制定提供支撑。基础部分的内容单独成集,属于基础标准化文件。但是,在测量方法、应用、生成技术及设备板块的标准中,往往也会出现相应的术语或图形符号定义、基础原理与计算、包装储运要求等,并作为其不可分割的要素,服务于整个标准化

文件。

微细气泡标准体系“100 基础”分为 4 部分。

101 通用术语、图形符号

102 基础原理

103 存储储运

104 标志

基础标准化文件是微细气泡技术标准体系结构的根基,建议以国际标准或推荐性国家标准形式发布;重要但尚未成熟的技术可以尝试 ISO 的技术规范形式。基础类标准化文件的使用者为使用微细气泡技术领域的各方;主要目的是促进相关各方的相互理解;按照内容的功能看,多为术语标准、符号标准、分类标准、规范标准、规程标准和指南标准。

目前,基础板块标准化项目概况如表 1 所示(标准被转化时只列出原始标准)。

表 1 基础类标准化项目概况  
Tab. 1 Overview of Basic Standards

编号	文件代号	文件名	起草方	范围和用途
1	ISO 20480-1 : 2017	General principles for usage and measurement of fine bubbles—Part 1: Terminology (微细气泡使用和测量通则 第 1 部分:术语)	IDEC Corporation (和泉电气)	21 个基本术语和定义
2	ISO 20480-2 : 2018	General principles for usage and measurement of fine bubbles—Part 2: Categorization of the attributes of fine bubbles(微细气泡使用和测量通则 第 2 部分:微细气泡属性分类)	AIST, Japan (日本产业技术综合研究所)	液体介质质量、微细气泡的尺寸和浓度,用上升速度对微细气泡进行分类
3	ISO/DIS 20480-4 *	General principles for usage and measurement of fine bubbles—Part 4: Terminology related to microbubble beds(微细气泡使用和测量通则 第 4 部分:微气泡床相关术语)	KATS	18 个气浮用气泡床术语和特性定义
4	ISO 21255 : 2018	Storage and transportation of ultrafine bubble dispersion in water(水中超细气泡分散体系的存储和运输)	AIST, Japan (日本产业技术综合研究所)	水中超细气泡分散体系的存储和运输步骤及设备
5	ISO 26824 : 2013	Particle characterization of particulate systems —Vocabulary(颗粒表征 术语)	ISO/TC24 responsible	颗粒系统的颗粒表征术语和定义集
6	ISO/WD TS 24217-2 *	Guideline for systematic standardization of fine bubble technologies—Part 2: Assignment of sustainable development goals (SDGs) to fine bubble applications (微细气泡技术系统标准化指南 第 2 部分:微细气泡应用的可持续发展目标配置)	AIST, Japan (日本产业技术综合研究所)	微细气泡技术为可持续性发展目标作贡献的路径,并指导标准开发者如何进行评估

注: \* 为标准化文件开发中

### 2.2.4 微细气泡标准体系“200 生成技术及设备”板块及相关标准化进展

生成技术及设备板块包括微细气泡生成、气泡膜壳生成的方法和设备、设备性能评价、设备标志要

求等相关标准。

微细气泡标准体系“200 生成技术及设备”分为 4 大类。

201 通用方法及要求

- 202 工业用设备
- 203 民用设备:日用领域专用的淋浴头、水龙头起泡器、洗菜宝、洗衣机等
- 204 气泡膜壳生成方法及设备

目前,这个板块有一个相关的术语和分类标准——微细气泡使用和测量通则 第3部分:微细气泡发生相关术语和方法,如表2所示。

表2 生成技术及设备类标准化项目概况  
Tab.2 Overview of Standards for Equipments and Technology Generation

编号	文件代号	文件名	起草方	范围和用途
1	ISO/CD 20480-3*	General principles for usage and measurement of fine bubbles—Part 3: Terminology and methods for the generation of fine bubbles (微细气泡使用和测量通则 第3部分:微细气泡发生相关术语和方法)	FBIA	常用微细气泡发生方法的定义、术语

注:\* 为标准化文件开发中

### 2.2.5 微细气泡标准体系“300 测量与表征(含检测仪器)”板块及相关标准化进展

测量与表征类标准化文件占有极其重要的位置,是微细气泡技术领域各方关注的焦点。表征与测试技术是科学鉴别产品材料、认识其结构、评价其特性的根本途径。测量与表征也是联系设计与制造工艺直到获得具有满意使用性能的产品之间的桥梁。为了更有效地使用微细气泡技术,必须了解影响微细气泡分散体系结构和性能的各种因素,才可能更充分地发挥其潜能和作用,调整和优化相关技术和产品。没有试验方法标准,就无从检验产品是否符合标准要求;没有统一的试验方法,也无法对同类产品性能优劣进行比较,对产品试验得出的结论也无法得到公认。对微细气泡技术相关的各种测试技术、对微细气泡分散体系从宏观到微观不同层次的表征技术,是微细气泡技术应用推广不可或缺的重要组成部分。

迄今为止,市场上已开发出很多微细气泡技术相关的测量方法,同一特性往往也有多种表征和测量方法。为了便于供应商和用户对使用的材料性能进行沟通比较,以及需求和实际指标达成一致,保证最终产品性能,对包含微细气泡的体系的各种特性的测量和表征方法、检测仪器,均需有明确的规范。在此基础上,实现微细气泡技术扎实可靠地在多个产业领域应用和推广。

考虑各种测量方法和方法使用者最终关注的是微细气泡体系的各种特性,且往往需要多种测量方法相互补充,“300 测量与表征”板块的细分类并未按照测量方法这一依据,而是按各种特性分门别类。此外,第三板块只表征微细气泡系统的自身特性,不包含结合各种具体应用领域的效果效能及评估方

法,效果效能及评估方法归入第四板块。

随着微细气泡技术应用和研究的深入,包裹气体从空气、氧气、氢气、氮气、二氧化碳到惰性气体等;液体介质从水发展到石油、亚熔盐、血液、组织液等各种性能迥异的液体介质;从无气泡壳发展到各种材料甚至是特殊结构的气泡壳。气体、气泡壳和液体介质不同化学成分的固有特性对微细气泡技术应用的影响深远,但其作为化学成分,本身固有的特性及对应的通用测量方法和设备并不是本标准体系的范围和对象。此处的标准化范围集中在微细气泡个体、微细气泡群、微细气泡分散体系的固有特性,以及微细气泡分散体系和环境相互作用产生的效果上。例如,微细气泡包裹气体为臭氧时,必然会带有臭氧本身的强氧化性,但臭氧本身强氧化性的原理、表征和测量等并不在技术和标准范畴内,而是包裹臭氧的微细气泡和微细气泡分散体系的特性,包含臭氧在气泡和气泡分散体系中存在时氧化性能的表现及应用。当然,已有的臭氧氧化性的表征测量技术是臭氧气泡和气泡分散体系表征的重要基础。

微细气泡标准体系“300 测量表征(含检测仪器)”分为5个大类<sup>[14]</sup>。

- 301 通用类:测量与表征各种特性的前提条件
  - 301-1 样品制备
  - 301-2 标准物质/标准样品
  - 301-3 气体/气泡壳/液体介质化学成分检测
  - 301-4 安全性:微细气泡材料对身体的安全性检测和评估
  - 301-9 其他:气泡消减技术等
- 302 尺寸形貌:粒径、粒径分布、数量/体积浓



度、气液比(气含率等)、比表面积、体积、膜壳厚度等

303 稳定性和运动相关: 气泡寿命、存在时间、收缩/破裂时的冲击作用、溶解速度、运动轨迹、上升速度等

304 物理化学特性: 表面电荷、Zeta 电位、热传导率、摩擦系数、质量传递速度、分散性、团聚程度、使用臭氧/空气/氧气的微细气泡分散体系的活性氧指标等

305 生物学相关特性

相对于固体颗粒来说, 微细气泡的大小、形貌更不稳定, 直接影响测量与表征技术的发展, 缺乏成熟和被广泛认可的测量方法。因此, 目前的标准化文件缺口很大。首推以推荐性国家标准或 ISO 国际标准形式发布, 重要但尚未成熟的技术可以尝试团体标准或 ISO 的技术规范形式发布。

表征涉及不同背景和领域的人员之间的交流。对微细气泡、液体介质和微细气泡分散体系表征感兴趣的人员可能, 主要是拥有试验背景或理论背景

的科研检测机构、仪器研制厂家的材料学家、生物学家、化学家或物理学家。使用表征数据的人员, 则扩展到生产方、供应方和采购方的品质控制和质检人员、相关认证机构和管理机构。这方面的标准化文件按照内容的功能看, 主要为试验标准/规程标准, 也会有分类标准、规范标准和指南标准运用的场合。按照标准化对象分, 主要是规范测量方法的过程标准和检测仪器的产品标准。

微细气泡也属于颗粒的大范畴, 一些既有的颗粒表征与测试方法和标准也适用。有的方法适用于微细气泡分散体系和超细气泡分散体系; 有的方法仅适用于微细气泡分散体系; 但大部分方法均需要一些特殊的样品处理、制备或是仪器调整才能够得到可靠、量化的结果。在具体实施过程中, 有很多微细气泡体系的特殊性, 例如, 微气泡的不稳定性、超细气泡和杂质颗粒难以区分导致的检测问题和困难需要克服。

目前, 测量与表征板块标准化项目概况如表 3 所示(标准被转化时只列出原始标准)。

表 3 测量与表征类标准化项目概况<sup>[15]</sup>

Tab. 3 Overview of Standards for Measurement Methods<sup>[15]</sup>

编号	文件代号	文件名	起草方	范围和用途
1	ISO 20298-1 : 2018	Sampling and sample preparation for measurement—Part 1: Ultrafine bubble dispersion in water(测量用取样及样品制备 第 1 部分: 水中超细气泡分散体系)	AIST, Japan (日本产业技术综合研究所)	水中超细气泡分散体系取样及样品制备步骤和要求
2	ISO 21910-1 : 2020	Characterization of microbubbles— Part 1: Off-line evaluation of size index(微气泡表征 第 1 部分: 离线评估尺寸指标)		水中微气泡粒径测量, 从生成到检测的取样方法(限于动态图像法、激光衍射法或消光液载粒子计数器)
3	ISO/DIS 24261-1 *	Elimination method for sample characterization—Part 1: Evaluation procedure(样品表征用消除方法 第 1 部分: 评估步骤)		为区分微细气泡和其他颗粒, 进行的微细气泡消除效率的评估步骤(不适用于带壳气泡)
4	ISO/WD 24261-2 *	Elimination method for sample characterization—Part 2: Elimination techniques(样品表征用消除方法 第 2 部分: 消除技术)		消除技术, 包含超声波法、超速离心法、冻融法、煮沸冷却法(不适用于带壳气泡)
5	ISO/PWI 24218-1 *	Characterization of fine bubbles—Part 1: Evaluation of size and concentration indices by laser diffraction method(微细气泡表征 第 1 部分: 激光衍射法测量粒径和浓度)		用激光衍射法, 结合基于数量或体积的粒径分析, 对宽粒径范围内双峰或多峰分布的样品, 进行粒径和浓度测量
6	ISO/PRF TR 23015 *	Measurement technique matrix for the characterization of fine bubbles(微细气泡表征的测量技术矩阵)	TSK Solutions Ltd., UK	一系列测量技术的列表, 并描述了各自的适用性和局限性
7	ISO 22412 : 2017	Particle size analysis—Dynamic light scattering (DLS) (动态光散射法)	ISO/TC24 responsible	平均流体动力粒径测量; 亚微米级颗粒、乳液或分散在液体中的微细气泡粒径分布的测量

(续表3)

编号	文件代号	文件名	起草方	范围和用途
8	ISO 13099-2:2012	Colloidal systems—Methods for zeta-potential determination—Part 2: Optical methods(胶体系统 $\zeta$ 电位测定法第2部分:光学法)	ISO/TC24 responsible	悬浮在液体中粒子电泳迁移率的2种测量方法:视频显微镜和电泳光散射
9	ISO 19430:2016	Particle tracking analysis method(粒径分析 粒径跟踪分析法)	ISO/TC24 responsible	用粒度跟踪分析法,测量扩散速度,从而测量液体分散体系(包括气泡)中基于数量的粒径分布
10	ASTM/E2834-12 (2018)	Standard guide for measurement of particle size distribution of nanomaterials in suspension by nanoparticle tracking analysis(NTA)(纳米颗粒跟踪分析法测量悬浮纳米材料粒径分布指南)	ASTM Committee E56 responsible	悬浮颗粒粒径分布测量,粒径从~10 nm到开始沉降,基于样品
11	ISO 13320:2020	Particle size analysis—Laser diffraction methods(粒径表征 激光衍射法)	ISO/TC24 responsible	很多两相系统(如液体中的气泡)中颗粒粒径分布测量指南
12	ISO 13319:2007	Determination of particle size distributions—Electrical sensing zone method(粒径分布测定 电感应区法)	ISO/TC24 responsible	电感应区法测定粒径分布
13	ISO 20998-1:2006	Measurement and characterization of particles by acoustic methods—Part 1: Concepts and procedures in ultrasonic attenuation spectroscopy(利用声学法测量和表征粒子特性.第1部分:超声波衰减光谱图的概念和方法)	ISO/TC24 responsible	测定分散在液体中的一种或多种物质相粒径分布的超声波方法
14	ISO21501-2 2019	Determination of particle size distribution—Single particle light interaction methods Part 2: Light scattering liquid-borne particle counter(粒径分布的测定 单颗粒的光学测量方法 第2部分 液体中颗粒计数器光散射法)	ISO/TC24 responsible	液体中颗粒计数器光散射法测量粒径分布
15	ISO21501-3 2019	Determination of particle size distribution—Single particle light interaction methods—Part 3: Light extinction liquid-borne particle counter(粒径分布的测定单颗粒的光学测量方法第3部分:液体中颗粒计数光阻法)	ISO/TC24 responsible	液体中颗粒计数光阻法测量粒径分布
16	ISO 13322-1:2014	Particle size analysis—Image analysis methods—Part 1: Static image analysis methods(粒径分析 图像分析法 第1部分:静态图像分析法)	ISO/TC24 responsible	粒子相对于成像器件光学系统轴的速度为零时,用图像法测量粒度分布
17	ISO 13322-2:2006	Particle size analysis—Image analysis methods—Part 2: Dynamic image analysis methods(粒径分析 图像分析法 第2部分:动态图像分析法)	ISO/TC24 responsible	控制液体、气体或传输机上运动颗粒的位置,进行颗粒图像采集和分析
18	T/CSP X-XXXX*	Microbubble size analysis—Submerged dynamic image analysis methods(微气泡粒径分析 浸入式动态图像法)	Chinese Society of Particuology responsible	浸入式动态图像法测量微气泡粒径的原理、设备和操作步骤
19	ISO/CD TS 21357*	Nanotechnologies—Evaluation of the mean size of nano-objects in liquid dispersions by static multiple light scattering (SMLS)(纳米技术 静态多重光散射法评估液态分散体系中纳米物体平均粒径)	ISO/TC229 responsible	控制液体、气体或传输机上运动颗粒的位置,进行颗粒图像采集和分析
20	/	Measurement of ultrafine bubble size and number concentration(超细气泡粒径和数量浓度测量方法)	FBIA, Japan responsible	不对外公开
21	/	Measurement of microbubble size and number concentration(微气泡粒径和数量浓度测量方法)	FBIA, Japan responsible	不对外公开
22	/	Fine bubble shower head test method(微细气泡淋浴头试验方法)	FBIA, Japan responsible	不对外公开
23	/	Fine bubble nozzle test method(微细气泡水龙头起泡器试验方法)	FBIA, Japan responsible	不对外公开

注: \* 为标准化文件开发中

## 2.2.6 微细气泡标准体系“400 应用”板块及相关标准化进展

应用板块标准包括微细气泡技术应用领域的技术原理、操作规范、性能评价、工业设计规范、过程控制规范等内容。即使背后的机理不明确或把握得不完备,仍期待把微细气泡技术应用中可以验证或已经实施产业化的优异效果尽快标准化,指导市场应用和推广,引导产业健康发展。例如,在一定的控制条件下,实现比传统工艺更优异的投入产出比和效果的工艺、评价方法和数据证明等。

微细气泡技术表现出多方面的优异性能,在诸多领域有广泛的应用前景,可将其应用按微细气泡分散体系的有效功能和应用领域分类。采用按照应用领域进行细分的原因有如下两点。首先,和特定应用领域紧密结合,在该领域市场形成期,标准的开发、对市场的引导以及技术在市场的推广应用会更高效。其次,如前所述,微细气泡的功能、效果等背后的机理仍未得到充分和完善的科学解释,技术本身也尚处于发展阶段;微细气泡技术发挥功效时往往是多重机理和功效的协同作用;微细气泡分散体系本身的种类和具体应用领域的环境、介质、对象均存在复杂的相互作用,导致很难脱离或高于特定应用领域去做标准。

行业的具体划分,在 GB/T 4754—2017 国民经济行业分类的推荐性国家标准(参考联合国统计委员会制定的《所有经济活动的国际标准行业分类》ISIC Rev. 4 编制)的分类基础上,把涉及的行业进行了适度合并。

微细气泡标准体系“400 应用”分为 8 个大类<sup>[16-22]</sup>。

### 401 农林水产及食品业

401-1 农业林业种植:种子发芽/植物生长促进、灌溉/水培、微细气泡封入胶囊的杀虫剂或营养液等

401-2 水产养殖:水产类动物生长促进、品质提升、养殖环境改善等

401-3 食品:食品、酒、饮料等添加微细气泡、微细气泡封入胶囊的食品材料等

401-4 保鲜:鲜花、水产、食品等保鲜

### 402 能源和矿产

402-1 矿物浮选

402-2 湿法冶金应用

402-3 石油应用:微泡沫钻井液等

402-4 燃料及燃烧器应用:燃油雾化提高燃烧效率、气泡雾化燃油烧嘴等

### 403 加工与制造

403-1 机加工:电解液、切削液等的性能改良,如积屑瘤剥离、研磨效率提升、硅晶圆超镜面研磨

403-2 精密剥离:硅晶圆剥离等

### 404 化工制造

404-1 化学反应器:气体吸收塔等的反应加速

404-2 胶囊技术:凝胶胶囊内封微细气泡及微细气泡分散体系等

404-3 油包水乳化制造

404-4 结晶制造

404-5 新型功能材料制造

404-6 绿色化工还原过程

### 405 环境

405-1 水质净化和改善:藻类抑制、底泥减容、废液净化、增氧、脱色、杀菌等

405-2 土壤治理:盐碱地治理、污染土壤原位治理等

405-3 废气治理

405-4 废弃资源回收再利用:废液中有用成分提取等

405-5 环境消毒杀菌:运输车辆、公共设施消杀等

### 406 清洁清洗(跨行业,但不包含人体直接接触用)

406-1 工业清洗:金属零部件、硅晶片清洗;棉织物碱退浆、牛仔裤水洗;冷却液箱清扫及冷却液净化等

406-2 公共设施清洗:桥梁清洗、公共厕所清洗、道路融雪剂清洗等

406-3 农副产品及食品业清洗

406-4 日用清洗:衣服类清洗等

406-5 水下设备抑藻

### 407 健康及护肤

407-1 超声显影增强

407-2 药物装载

407-3 日用及化妆品:化妆品、气泡浴、皮肤头皮护理、口腔清洗等



407-4 消毒杀菌:医疗器械消杀等  
409 其他:船舶减阻等

目前,应用板块标准化项目进展概况如表 4 所示(标准被转化时只列出原始标准)。

表 4 应用类标准化项目概况  
Tab.4 Overview of Standards for Individual Applications

编号	文件编号	文件名称	起草方	范围和用途
1	ISO/DIS 20304-1*	Water treatment applications—Part 1: Test method for evaluating ozone fine bubble water generating systems by the decolorization of methylene blue(水处理应用 第 1 部分:亚甲基蓝脱色法评价臭氧微细气泡水发生系统的试验方法)	韩国公司	用于废水、工业用水等的水溶性颜料脱色的臭氧微细气泡水发生系统的脱色性能试验方法
2	ISO/TS 21256-1:2020	Cleaning applications—Part 1: Test method for cleaning salt (NaCl)-stained surfaces(清洁应用 第 1 部分:清洁盐渍(NaCl)表面的试验方法)	NEXCO, Japan	测量水力空化法生成的微细气泡水的消毒性能
3	ISO 21256-2:2020	Cleaning applications—Part 2: Test method for cleaning machine-oil stained surfaces of machined metal parts(清洁应用 第 2 部分:清洁机加工金属零件表面油污的试验方法)	Mitsubishi Electric, Japan(三菱电机)	用超细气泡水的高压射流清洗盐渍钢表面来评估清洁性能
4	ISO/DIS 21256-3*	Cleaning applications—Part 3: Test method for cleaning hard flooring surfaces(清洁应用 第 3 部分:清洁硬质地面的试验方法)	US	清洁硬质地面的试验方法
5	ISO/TS 23016-1:2019	Agricultural applications—Part 1: Test method for evaluating the growth promotion of hydroponically grown lettuce(农业应用 第 1 部分:促水培莴苣生长的评估试验方法)	AIST, Japan(日本产业技术综合研究所)	测量生菜重量
6	ISO 23016-2:2019	Agricultural applications—Part 2: Test method for evaluating the promotion of the germination of barley seeds(农业应用 第 2 部分:促大麦种子发芽的评估试验方法)	日本东京大学	用大麦种子发芽率评估
7	ISO/PWI TR 23016-3*	Agricultural applications—Part 3: Guideline for promoting the germination of barley seeds in the region of lower number concentration of ultrafine bubble (UFB)(农业应用 第 3 部分:促进大麦种子萌发的超细气泡最小浓度指南)	日本东京大学	促进大麦种子萌发的超细气泡最小浓度
8	ISO/PWI TS 21256-4*	Cleaning applications—Part 4: Test method for cleaning edible oil on towel(清洁应用 微细气泡技术应用于日用清洁时的效果相关的测量方法)	美的集团	微细气泡技术应用于日用清洁时的效果相关的测量方法
9	ISO/PWI 4240-1*	Environmental application—Part 1: Evaluation of bubble volume concentration by indirect method in dissolved air flotation (DAF) plant(环境应用 第 1 部分:用间接法对气浮装置中气泡体积浓度和气泡床深度的测量)	韩国公司	用在线颗粒计数法
10	ISO/PWI 4025*	Environmental applications—Test method for evaluating aeration performances(环境应用 曝气性能评估用测量方法)	同济大学	测量氧气从空气到水中的传质系数,以评估水处理用微细气泡发生器的曝气性能

注: \* 为标准化文件开发中

### 3 结语与展望

微细气泡技术发展时间较短,应用前景广泛,发展势头迅猛,但无论是国际还是国内的标准化发展均刚刚起步,与成熟的标准化领域相比,我国的参与机会和话语权更多。期待我国更多的企业界和研究人员参与国际标准的制定,同步各国市场的技术思想和技术资源,在我国先进的技术应用领域创造阵地,开发更多对我国产业发展更有利的国际标准,为技术和产品服务于全球市场打基础。

当然,采用国际标准时也要注意,发达国家常利

用技术优势,以标准化手段为技术壁垒,如合格评定的程序复杂、操作环节繁琐、检测费用昂贵等,控制和开发对其更有利的国际标准。日本在微细气泡标准化方面就明确引导企业根据“open·close 战略”。“close 战略”方面,对本公司拥有的核心技术领域进行筛选,对于应该封闭化的技术,进一步判断其是作为技术诀窍(know-how)隐藏或是申请为专利。例如,特殊关键的制造技术难以申请专利或即使申请专利也难以维权的部分选择保密隐藏,对于难以保密的产品则申请专利。“open 战略”方面,通过将公

司竞争力源泉之外的技术标准化(性能基准、评价方法等)、与其他公司产品接口部分规格标准化等来扩大自己公司产品的市场;测量仪器厂家一般也是尽量将测量方法和产品渗透到标准中,以期迅速普及和应用。

微细气泡技术大多跨领域跨行业,且目前以中小企业为主,尚未形成地域性集中产业链、整体或细分领域的龙头企业;专门研究和实施成果转化的相关科研机构和大专院校也为数不多。在市场规模大、应用效果突出的领域需要优先成立工作组,构建相关产业协同的技术应用和标准协调机制,共同推动标准项目的开发。另外,很多不同应用领域背后的机理是共同或交叉的,在微细气泡技术标准开发时跨行业的技术支持是非常必要和有效的。

气泡技术领域涉及已有技术面非常广泛,作为新兴的技术,与已经制定的其他国际国内标准的协调也非常重要。

### 参考文献

- [ 1 ] TERASAKA K, HIMURO S, ANDO K, et al. Introduction to fine bubble science and technology[M]. 1st edition. Tokyo: Nikkan Kogyo Shimbun, 2016: 17-33.
- [ 2 ] 阮晓博, 杨芳, 顾宁. 微纳气泡制备及其应用于医学超声影像增强与药物载运的发展[J]. 东南大学学报(医学版), 2011, 30(1): 208-214.
- [ 3 ] Fine Bubble Industries Association. Home [EB/OL]. [2020-07-10]. <https://www.fbia.or.jp/>.
- [ 4 ] National Institute of Technology and Evaluation, Japan. Testing and standardization of fine bubbles[EB/OL]. [2020-07-10]. <https://www.nite.go.jp/gcet/fb/index.html>.
- [ 5 ] The Union of Fine Bubble Scientists and Engineers[EB/OL]. [2020-07-10]. <http://www.fb-union.org/org.html>.
- [ 6 ] 特許庁総務部企画調査課. 平成 28 年度特許出願技術動向調査報告書(概要): ファインバブル技術[R]. 2017.
- [ 7 ] ISO. Technical Committees ISO/TC 281 fine bubble technology [EB/OL]. [2020-07-10]. <https://www.iso.org/committee/4856666.html>.
- [ 8 ] 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. 纳米科技 术语 第 1 部分 核心术语: GB/T 30544.1—2014/ISO/TS 8004-1:2010 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2014:1.
- [ 9 ] 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. 标准体系构建原则和要求: GB/T 13016—2018[S]. 北京: 中国标准出版社, 2018:1-6.
- [ 10 ] ISO/IEC. ISO/IEC Directives Part 2: Principles and rules for the structure and drafting of ISO and IEC documents (8th edition) [R]. 2018:1-3.
- [ 11 ] 国家标准化管理委员会编著. 国际标准化教程[M]. 2 版. 北京: 中国标准出版社, 2009: 42-79.
- [ 12 ] 国家市场监督管理总局, 国家标准化管理委员会. 标准化工作导则 第 1 部分 标准化文件的结构和起草规则: GB/T 1.1—2020 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2020:1-5.
- [ 13 ] ISO. Fine bubble technology—General principles for usage and measurement of fine bubbles—Part 2: Categorization of the attributes of fine bubbles; ISO 20480-2:2018(E) [S]. Switzerland, 2018:1-3.
- [ 14 ] 王永磊, 刘威, 田立平, 等. 气浮工艺中微纳米气泡应用特性与检测技术研究[J]. 工业水处理, 2020, 40(4): 18-22.
- [ 15 ] XU R L, WANG Y R, LI Z J. Exploration of particle technology in fine bubble characterization[J]. Particuology, 2019, 46(5): 110-113.
- [ 16 ] 産業構造審議会産業技術環境分科会 研究開発・イノベーション小委員会評価ワーキンググループ. ファインバブル基盤技術研究開発事業事後評価報告書 [R]. 2016: 5-53.
- [ 17 ] FBM - ファインバブルマガジン. ファインバブルの活用事例[EB/OL]. [2020-07-10]. <https://finebubble.net/example>.
- [ 18 ] 李兆军, 杜浩. 我国微泡技术发展综述[J]. 过程工程学报, 2017, 17(4): 655-663.
- [ 19 ] MASAYOSHI T. Fundamental properties of microbubble in semiconductor cleaning technology[J]. Surface Cleaning Technology Special, Surface and Vacuum, 2018, 61(2): 64-69.
- [ 20 ] 王开苗, 梁颜玲, 张旭芳, 等. 微纳米气泡在棉织物碱退浆工艺中的适用性[J]. 印染助剂, 2020, 37(1): 42-45.
- [ 21 ] 松永大. 工作機械でのファインバブル応用事例と効果例[EB/OL]. [2020-07-10]. <https://www.ipros.jp/technote/column-micro-bubble/>.
- [ 22 ] OZAWA U, ITOH N, SAITOH T, et al. ELID grinding using electrolyzed reduced water contained micro bubble[C]. Japan: Speech Collection of Yamanashi Lecture Meeting, Japan Society of Mechanical Engineers, 2013: 80-81.