

引用格式: 叶俊文,陈淑曲.低温装备产业标准体系的研究与构建[J]. 标准科学,2025(3):99-105.

YE Jun-wen, CHEN Shu-qu. Research and Construction of the Standards System of Cryogenic Equipment Industry [J]. Standard Science, 2025(3):99-105.

低温装备产业标准体系的研究与构建

叶俊文 陈淑曲

(中山市深中标准质量研究中心)

摘要: 【目的】低温装备产业发展迅猛,近年取得了突破性进展,在液氦温度千瓦级和超流氦温度百瓦级领域打破了国外长期垄断,形成了具有自主知识产权的技术和装备,相关技术标准缺失、产业总体框架不清晰等问题制约了产业进一步发展。【方法】基于低温装备产业发展现状及标准需求,以产品生产序列为主维度,遵循全面性、科学性、前沿性、适用性原则,建立了低温装备产业标准体系,形成了体系框架和明细表。【结果】通过分析现有标准薄弱之处,提出了低温装备产业关键标准修订建议及标准体系建设和实施建议,建议制定标准多集中在超低温装备、制造工艺、运输贮存方面。【结论】相关研究结果为提升低温装备产业相关企业标准化水平、加快核心技术标准化进程提供借鉴参考。

关键词: 低温装备; 标准体系; 标准

DOI编码: 10.3969/j.issn.1674-5698.2025.03.015

Research and Construction of the Standards System of Cryogenic Equipment Industry

YE Jun-wen CHEN Shu-qu

(Zhongshan S&Z Institute of Standards and Quality)

Abstract: [Objective] The cryogenic equipment industry has developed rapidly and made breakthrough in recent years. It has broken the long-term monopoly of foreign countries in the fields of kilowatt level liquid helium temperature and hundred watt level superfluid helium temperature, and formed technology and equipment with independent intellectual property rights. However, the lack of relevant technical standards and unclear overall industrial framework have constrained the further development of the industry. [Methods] Therefore, based on the current development status and standard requirements of the cryogenic equipment industry, takes product production sequence as the main dimension, follows the principles of comprehensiveness, scientificity, cutting-edge, and applicability, establishes a standards system of the cryogenic equipment industry, forms a system framework and detailed table. [Results] It also analyzes the weaknesses of existing standards, proposes suggestions for the development of key standards and the construction and implementation of the standards system for the cryogenic equipment industry, and suggests that the development of such standards should focus more on ultra-cryogenic equipment, manufacturing processes, transportation and storage. [Conclusions] The relevant research results

基金项目: 本文受国家市场监督管理总局科技项目“基于可视化的精密真空镀膜装备竞争技术甄选与产业标准化研究”(项目编号: 2020MK082)资助。

作者简介: 叶俊文, 高级工程师, 研究方向为标准化、数据科学、项目管理。

provide reference for improving the standardization level of enterprises in the cryogenic equipment industry and accelerating the standardization process of core technologies.

Keywords: cryogenic equipment, standards system, standard

0 引言

大科学装置、航空航天及其他高技术领域的飞速发展催生了对于大型低温制冷装备的巨大需求^[1-2]。低温是指温度在120K至绝对零度之间的温度^[3]，低温装备产业是指涵盖研发、生产、配套服务等一系列实现和维持低温环境的设备与系统的产业。在国际上开展的各种大科学工程装置中，有半数以上的装置必须使用大型低温制冷系统，而我国开展的大科学工程研究项目中需要大型氮低温系统的比例已经达到60%^[4]。随着国家对科技创新和高端装备制造业的重视，低温装备产业在我国取得了快速发展。当前，我国低温装备产业已形成了以液化天然气、液化空气分离、低温蓄能、超导技术等为核心的技术体系，并实现了自主创新和产业化。这些技术在多个领域得到广泛应用，包括航天航空、医药生物、电子信息等。低温装备产业在发展过程中，对于标准化的需求明显^[5-6]，本文通过构建低温装备产业标准体系，整理国内外低温装备相关现行标准，编制低温装备产业标准体系框架，提出低温装备产业关键标准制修订建议，为区域高科技产业集群形成和发展提供标准化支撑。

1 构建低温装备产业标准体系的背景和意义

习近平总书记指出：“把制造业高质量发展作为主攻方向，把创新摆在发展全局的突出位置”。《广东省制造业高质量发展“十四五”规划》提出：“瞄准国际先进标准打造先进制造业基地，构建大中小企业融通发展的企业群，培育打造十大战略性新兴产业集群和十大战略性新兴产业集群，

加快推动先进制造业和现代服务业深度融合发展。”低温装备在液化天然气、液氮及液氦的生产、储存和运输中发挥着重要作用，低温装备产业在技术创新和应用拓展方面具有巨大潜力。以中山市为例，中山市低温装备产业核心装备制造基地位于翠亨新区，同时在三角镇高平工业园区正在建设粤港澳大湾区首个涵盖氦气、电子特气以及空分装置的综合气体岛，建成后将成为粤港澳大湾区首个国产氦气供应基地。低温装备产业的进一步发展将有力推进本地高端装备制造产业的快速发展，满足国家大科学装置、战略氮资源综合开发利用的需求。低温装备产业标准化发展是助力产业优化升级的有力手段^[7]，由于缺乏统一的技术规范和标准，导致产品质量参差不齐、技术水平整体发展受限。同时，低温装备的设计和使用规范化，可确保设备稳定运行，降低安全风险。通过供给产业链上、中、下游企业在技术研发、装备制造、检测、运输和售后服务等各方面的标准化支撑，提升产业整体标准化水平^[8]，推动低温装备产业高质量发展。

2 低温装备产业标准化现状

低温装备产业相关标准化技术委员会主要有全国锅炉压力容器标准化技术委员会(SAC/TC 262)，下设固定式压力容器(SAC/TC 262/SC 2)、压力管道(SAC/TC 262/SC 3)、移动式压力容器(SAC/TC 262/SC 4)、热交换器(SAC/TC 262/SC 5)、在役承压设备(SAC/TC 262/SC 6)、低温容器(SAC/TC 262/SC 8)等6个分技术委员会，以及全国气瓶标准化技术委员会低温绝热气瓶分技术委员会(SAC/TC 31/SC 9)、全国气体分离与液化设备标准化技术委员会(SAC/TC

504)。目前,这些技术委员会已发布相关国家标准299项,主要集中在热交换器、压力容器、压力管道、固定式真空绝热深冷压力容器、空气分离设备、承压设备系统检验实施导则等,为低温装备产业的发展提供了强有力的技术支撑。

随着低温超导技术、低温电子学等领域对大制冷量和低温环境需求的提高,以及我国于2021年成功研发液氮温度千瓦级和超流氮温度百瓦级大型低温制冷装备,打破了国外在该领域的长期垄断,取得了一系列核心技术突破并实现产业化^[9-14],大型低温制冷系统整机设计、气体轴承氮透平膨胀机、大型超流氮负压换热器、氮气喷油螺杆压缩机、高稳定性离心式冷压缩机、大型复杂低温制冷系统集成与调试技术规范等超低温装备相关的标准正处于逐步建立阶段。然而,相关关键标准的缺失制约了产业的进一步发展。因此,亟须建立低温装备产业标准体系,分析现有标准的薄弱环节,明确今后的主攻方向,为低温装备产业标准制修订规划提供建议。

3 低温装备产业标准体系构建基础

3.1 编制依据

(1) 政策依据。以《中华人民共和国标准化法》《中华人民共和国安全生产法》《中华人民共和国特种设备安全法》《中华人民共和国产品质量法》《国家标准化发展纲要》《国家标准化体系建设发展规划》《广东省制造业高质量发展“十四五”规划》和《中山市推动高端装备制造产业发展行动方案(2024—2026年)》等法律法规和政策性文件为本标准体系的编制依据,满足国家、广东省和中山市政治经济社会发展需要。

(2) 标准依据。以GB/T 12366—2009《综合标准化工作指南》、GB/T 13016—2018《标准体系构建原则和要求》、GB/T 13017—2018《企业标准体系表编制指南》、GB/T 15496—2017《企业标准体系 要求》、GB/T 15497—2017《企业标准体系 产品实现》、GB/T 15498—2017《企业标

准体系 基础保障》等标准体系工作方法为依据,开展低温装备产业标准体系构建工作。

(3) 低温装备产业总体技术构成。根据低温装备产业属于装备制造业这一性质,可将其进一步细分为重大成套技术装备。低温装备产业包含了服务于产品的上游、中游、下游产业链,从产品生产序列来看,其产业构成,包括零部件、研发、装备、制造工艺、测试、标识包装运输贮存、售后等各领域,如图1所示。

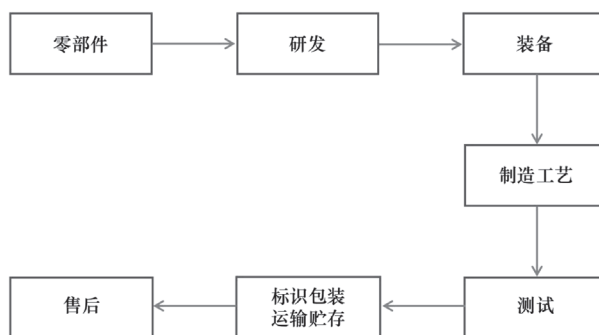


图1 低温装备产业总体技术构成

3.2 编制原则

(1) 目标明确。标准体系要满足低温装备产业实现长远发展目标的需要,能够促进高端装备制造产业的高质量发展,达到科学有序、提高产品质量和经济效益的目的。

(2) 全面成套。应力求全面成套,充分贯彻国家标准、行业标准和地方标准,将低温装备产业技术研发、装备制造、检测、运输和配套服务的标准纳入体系。

(3) 适度超前。充分借鉴装备制造领域产业标准体系和标准化实践先进经验^[15-18],结合低温装备产业特点,在提高标准化对产业支撑的有效性和准确性的前提下,适度前瞻,为低温装备新技术预留标准空间,保障标准研制的科学性和前沿性。

(4) 动态调整。着眼于低温装备产业现状和未来趋势,兼顾近期需求和长期目标,既强调低温装备产业标准体系框架的稳定性,分阶段分批次制定和推广关键领域标准,又保持低温装备产业标

准体系的可扩充性和动态调整性,根据政策导向、市场变化等情况,及时进行调整和更新。

4 低温装备产业标准体系框架结构

4.1 标准体系结构

低温装备产业标准体系以基础与管理标准为基础,支撑低温装备制造的零部件、研发、装备、制造工艺、测试、标识包装运输贮存、售后全产业链关键技术标准。基础与管理标准包括:名词术语、图形符号、安全、管理等四大类。基础与管理标准位于低温装备产业标准体系结构图顶层,是装备制造与产品供应的基础支撑。零部件标准、研发标准、装备标准、制造工艺标准、测试标准构成了装备制造标准,是产品供应标准的基础保障。产品供应标准位于低温装备产业标准体系结构的最底层,面向各行业应用需求。低温装备产业标准体系结构图如图2所示。

4.2 标准体系框架

基于低温装备制造业标准化现状和低温装备制造产业标准需求、技术发展情况,将低温装备产业标准体系划分为8个子体系:基础与管理、零

部件、研发、装备、制造工艺、测试、标识包装运输贮存、售后。这8个子体系覆盖了低温装备产业链的上、中、下游,保证了体系结构合理、层次分明、科学适用。低温装备产业标准体系框架如图3所示。

5 低温装备产业标准体系明细表

将低温装备产业标准体系结构关系模型转化成表格形式,编制低温装备产业标准体系明细表。该标准体系包含320项标准(包括建议制定标准31项),其中基础与管理标准56项,零部件标准42项,研发标准31项,装备标准75项,制造工艺标准37项,测试标准52项,标识包装运输贮存标准22项,售后标准5项。标准统计见表1所示,建议制定标准明细见表2。就目前标准体系情况而言,通用基础、零部件方面的标准相对较完善,超低温装备、制造工艺、运输贮存方面的标准相对缺失。因此,待制定标准中需求程度较大的多集中在超低温装备、制造工艺、运输贮存方面。

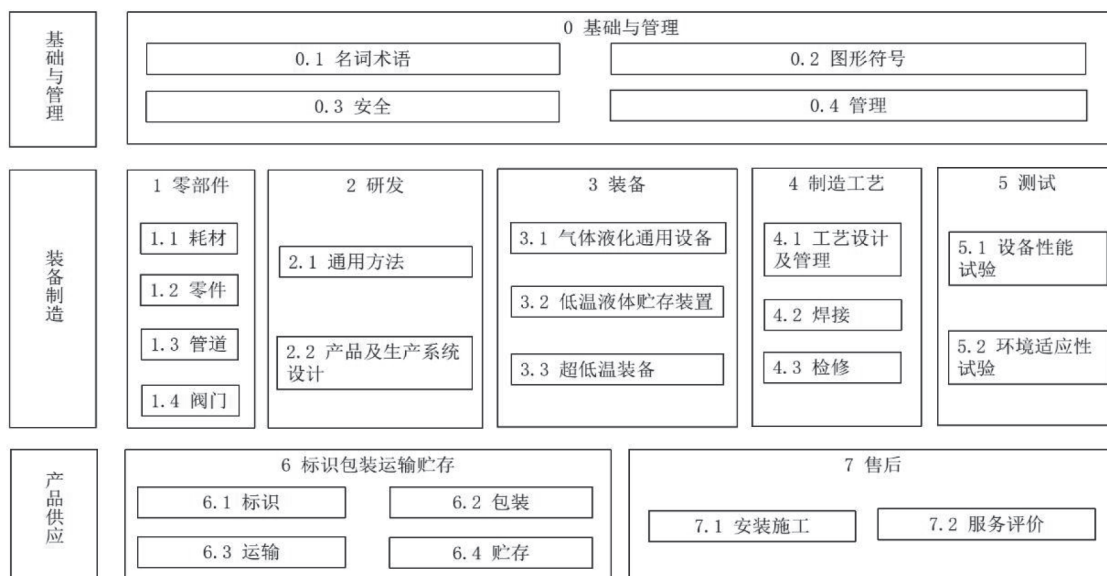


图2 低温装备产业标准体系结构图

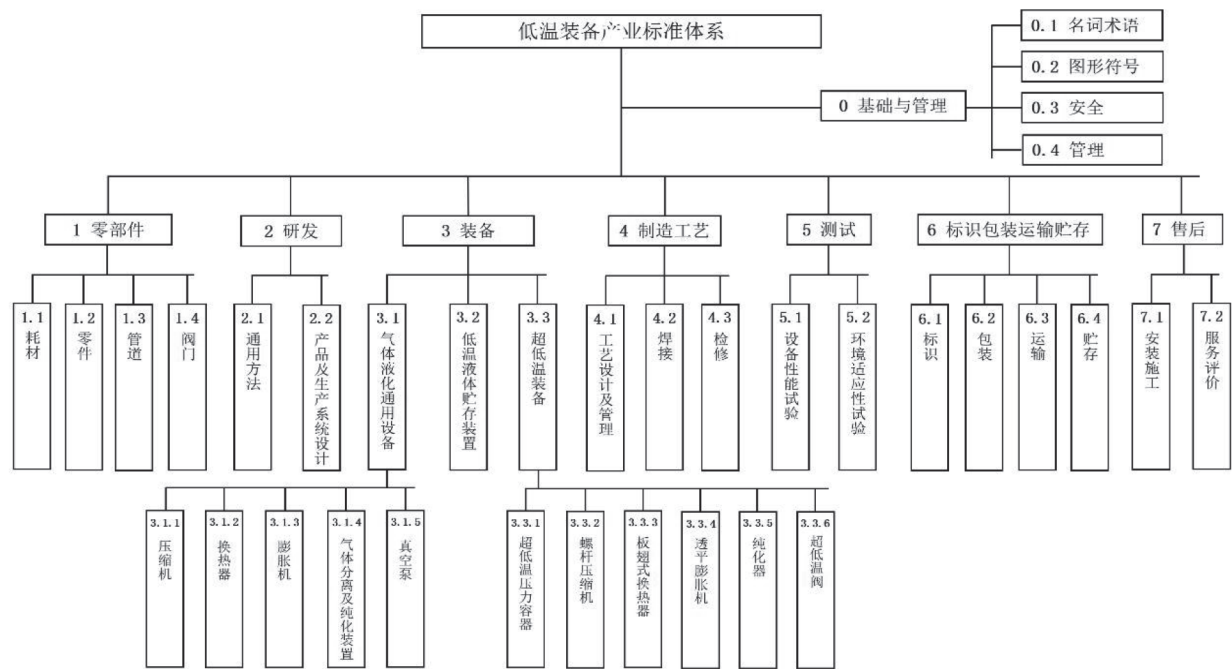


图3 低温装备产业标准体系框架

表1 标准统计表

序号	分体系	标准数量								合计
		国家标准	行业标准	地方标准	团体标准	国际标准	国外标准	标准计划	建议制定标准	
1	基础与管理	48	4	0	0	1	0	0	3	56
2	零部件	28	11	0	0	0	0	0	3	42
3	研发	18	11	0	0	0	0	0	2	31
4	装备	30	27	0	1	2	8	0	7	75
5	制造工艺	21	7	0	0	0	0	0	9	37
6	测试	40	4	0	0	2	0	2	4	52
7	标识包装运输贮存	9	11	0	0	0	0	0	2	22
8	售后	3	1	0	0	0	0	0	1	5
合计		197	76	0	1	5	8	2	31	320

6 低温装备产业标准体系建设和实施的建议

一直以来，我国在低温装备的技术研发方面投入大量人力和物力，经过几十年的积累，我国低温装备事业取得了质的飞跃。在新的历史时期，在

推进大型低温氨制冷系统技术研发的同时，其相关的标准制定应同步推进。例如：关键材料标准，包括液氨压力容器用不锈钢、液氨储罐绝热材料、液氨压力容器用焊接材料等；产品设计标准，包括大型低温制冷系统整机设计规范、大型低温制冷系统集成与调试技术规范、奥氏体不锈钢制超低温压

表2 建议制定标准明细表

序号	分体系	一级子体系	二级子体系	建议制定标准名称
1	基础与管理	安全		低温液化气体生产、储运设备检修安全规范
2		管理		低温车间管理规范
3				低温液化气体设备运行管理规范
4	零部件	耗材		液氮压力容器用不锈钢
5				液氮储罐绝热材料
6				液氮压力容器用焊接材料
7	研发	产品及生产系统设计		大型低温制冷系统整机设计
8				大型低温制冷系统集成与调试技术规范
9	装备	超低温装备	超低温压力容器	奥氏体不锈钢制超低温压力容器专项技术要求
10				液氮压力容器
11			螺杆压缩机	喷油式双螺杆压缩机
12			板翅式换热器	低温板翅式换热器
13			透平膨胀机	低温透平膨胀机
14			纯化器	氮液化器用纯化器
15			超低温阀	低温气动调节阀技术要求
16		工艺设计及管理		液氮生产系统技术规范
17				氮气液化器技术规范
18		焊接		液氮压力容器焊接技术规程
19	制造工艺	检修		液氮压力容器维护检修规程
20				喷油式双螺杆压缩机维护检修规程
21				低温板翅式换热器维护检修规程
22				低温透平膨胀机维护检修规程
23				氮液化器用纯化器维护检修规程
24				低温气动调节阀维护检修规程
25	测试	设备性能试验		液氮生产系统检验规程
26				透平膨胀机质量检验规范
27				液氮压力容器检验规程
28		环境适应性试验		金属材料与液氮环境相容性试验方法
29	标识包装	运输		液氮槽车
30	运输贮存	贮存		液氮设备贮存规范
31	售后	安装施工		超低温装备安装施工及验收规范

力容器专项技术要求、液氮压力容器、喷油式双螺杆压缩机、低温板翅式换热器、低温透平膨胀机、氮液化器用纯化器、低温气动调节阀技术要求等；氮低温系统运行和维护标准^[15]，包括维护检修规程、液氮生产系统检验规程、透平膨胀机质量检验规范、液氮压力容器检验规程等。政府部门应制定重点产业标准化发展计划，搭建政府、企业、技术机构交流平台，通过加强

与高水平标准化技术机构合作交流，推动技术标准化进程。标准体系需在有效范围内实施，以发挥其对产业的促进作用。为提高执行效率和实施效果，可以龙头企业实施标准体系为抓手，依托龙头企业在产业链中的链主地位，带动其供应链伙伴积极执行相关标准。这不仅有利于提高产品质量，形成良性循环，还能带动产业整体标准化水平提升。

参考文献

- [1] 雷灵龙,彭楠,刘立强,等.大型氮低温系统多变量控制[J].低温工程,2017(1):26-30+58.
- [2] 郭文勇,蔡富裕,赵闯,等.超导储能技术在可再生能源中的应用与展望[J].电力系统自动化,2019,43(8):2-19.
- [3] 吴业正,朱瑞琪,李新中,等.制冷与低温技术原理[M].北京:高等教育出版社,2004.
- [4] 张朋.大型氮低温系统关键技术及工作特性研究[D].武汉:华中科技大学,2019.
- [5] 周伟明,陈朝晖,魏蔚.深冷真空绝热容器标准技术发展与展望[J].压力容器,2013,30(2):1-14.
- [6] 宣喻龙,陆磊.螺杆膨胀机领域技术标准化工作现状与实践[J].江西科学,2015,33(4):589-592+601.
- [7] 朱斌,陈惠玲,郑华婷,等.信息时代背景下装备制造企业现状及标准体系的创新探究[J].中国标准化,2023(4):39-42.
- [8] 张月月,万书玥,王国好,等.标准参与、产业链协同与企业高质量发展:基于中国高端装备制造企业的实证分析[J].工业技术经济,2024,43(10):150-160.
- [9] 石顺宝,陈叔平,朱鸣,等.高真空多层绝热低温容器绝热夹层真空度对内容器压升率的影响[J].压力容器,2021,38(10):16-22.
- [10] 吴全龙,胡熙玉.真空绝热低温容器安全泄放装置应用探讨[J].压力容器,2020,37(10):70-78.
- [11] 何远新,黄政贤,李泞,等.新型宽量程真空测量装置研究及运用[J].低温工程,2021(2):12-17.
- [12] 李超龙,许世峰,文键,等.负压低温板翅式换热器锯齿翅片性能的数值模拟研究[J].真空与低温,2021,27(2):141-145.
- [13] 邹中宇,张启勇,朱志刚,等.锯齿型翅片内不同温区氦气流动与传热性能对比及节距对翅片性能影响的研究[J].真空与低温,2024,30(3):274-281.
- [14] 张泽,周楷森,邓坤瑜,等.氮低温透平膨胀机热力性能数值模拟与实验测试[J].西安交通大学学报,2024,58(2):109-115.
- [15] 艾鑫,陈旭恒,匡大志,等.氮低温系统运行和维护研究[J].中国设备工程,2023(23):92-94.
- [16] 刘贵富.产业链基本理论[D].长春:吉林大学,2006.
- [17] 李敏娇,王琳,乔羽,等.基于产业链的标准体系构建[J].标准科学,2023(S1):22-26.
- [18] 范澍田,宋国建.标准体系结构适用性分析[J].标准科学,2020(1):31-34.