

变频电源行业高质量发展浅析

周宁

(中国石化工程建设有限公司,北京 100101)

摘要:聚焦于变频电源在国民经济发展中的核心地位,强调其对工业生产安全与效率的关键影响。鉴于电力电子技术的飞速发展,变频电源领域虽取得显著进步,但也面临诸多挑战,如产品质量参差不齐,亟需通过优化行业秩序以提升整体质量水平。通过对比分析国内外电源系统的发展现状,揭示了国际社会对产品可靠性的高标准要求,并深入剖析了我国变频电源产品在可靠性、标准化及监管等方面存在的问题。为促进行业高质量发展,提出了一系列策略:强化产品可靠性技术研发、构建标准化的评价体系、确保标准有效落地执行、推广电源产品认证制度以及加强运维监管机制。这些综合措施旨在优化行业生态,提升产品质量与安全性,从而推动变频电源行业高质量、可持续发展。

关键词:变频电源;可靠性;标准;高质量发展

中图分类号:TM28 **文献标识码:**A **DOI:**10.19457/j.1001-2095.dqcd26107

A Preliminary Analysis of High Quality Development in the AC Power Frequency Converter Industry

ZHOU Ning

(Sinopec Engineering Construction Co., Ltd., Beijing 100101, China)

Abstract: Focusing on the central position of AC power frequency converter in the development of the national economy, emphasizing their critical impact on the safety and efficiency of industrial production. In view of the rapid development of power electronics technology, the field of AC power frequency converter has made remarkable progress, but also faces many challenges, such as uneven product quality, and there is an urgent need to optimize the industry order to improve the overall quality level. By comparing and analyzing the development status quo of power supply systems at home and abroad, the high standard of product reliability required by the international community was revealed, and provided an in-depth analysis of the problems that exist in China's AC power frequency converter products in terms of reliability, standardization and regulation. In order to promote the high-quality development of the industry, a series of strategies were put forward: strengthening product reliability technology research and development, building a standardized evaluation system, ensuring the effective implementation of standards, promoting the power supply product certification system, and strengthening the operation and maintenance regulatory mechanism. These comprehensive measures are aimed at optimizing the industry ecosystem, improving product quality and safety, and thus promoting the high-quality, sustainable development of the AC power frequency converter industry.

Key words: AC power frequency converter; reliability; standards; high quality development

变频电源作为电气传动系统中的核心设备,其重要性日益凸显,在工业制造、智能制造、交通运输及新能源发电等国民经济领域应用愈加广泛。然而,变频电源行业仍然面临着诸多挑战,包括产品质量参差不齐、恶性低价竞争等问题。这不仅制约了变频电源行业的高质量发展,也对终端用户的利益和行业生态造成了不良影响。

本文聚焦于我国变频电源行业的发展现状与挑战,通过对比分析国内外电源系统的发展现状,深入剖析了我国变频电源在可靠性、标准化、技术创新及监管等方面存在的问题,并提出了一系列促进变频电源行业高质量发展的策略,旨在通过优化行业生态、提升产品质量与安全性,推动变频电源行业向绿色化、高可靠性与智能化方向转型。

1 变频电源在国民经济中的重要作用

1.1 变频电源和电气传动的关系

变频电源在电气传动系统中扮演着至关重要的角色,它是连接电网(或发电机/电池)与负载之间的桥梁,不仅负责电能的转换与传输^[1],还通过其独特的变频技术实现了对电机等负载设备的精确控制,从而极大地提升了电气传动系统的效率和灵活性^[2]。

电气传动系统包括变压器、变频电源和电机等一系列电气装备,其中变频电源是向负载提供所需电能的供电设备。按用途可分为:

1)动力电源,主要用于驱动负载或者提供能量给负载使用,例如各类电机的变频调速系统、加热设备供电系统、各类能源的转换系统等。通过电力电子变化调节电压和电流的工作方式,实现对负载的控制;

2)供电电源,主要为各类负载提供稳定的电压电流,一般不需要调节输出电压和电流,主要用于保障负载的运转,包括 PLC 系统及变频器、触摸屏等控制系统所采用的供电装置。

1.2 应用领域

变频电源技术作为电气传动领域的核心驱动力,其应用范围之广、影响之深,在国民经济多个核心领域起着关键作用,成为推动国家重大工程及高端装备发展的基石。

在工业领域,变频电源为各种设备提供稳定的电力供应,确保生产过程的高效运行。主要为大型轧机传动、风机/泵驱动、大型加热炉、风洞试验机场景提供能源动力。

在智能制造领域,变频驱动的伺服传动系统改变电源频率来调节转速和输出功率等参数,是机器人、数控机床的重要控制部件,为传动系统提供精准稳定的控制。

在交通领域,电气传动的一个重大应用领域是以电驱动取代燃油驱动,逐步实现现代交通的电气化,在轨道交通、电动汽车、电力推进舰船、多电/全电飞机等领域的应用越来越多。

在家用领域,变频空调、变频冰箱、变频洗衣机等家电产品的广泛应用,极大地提升了家居生活的舒适度与便捷性。

随着全球对可再生能源需求的增加,在新能源领域变频电源更是重要的能量转化装备,实现

将不同形式的新能源并网发电。截至 2023 年 12 月底全国累计发电装机容量约为 29.3 亿 kW,其中,太阳能发电装机容量 6.1 亿 kW,同比增长 55.2%,风力发电同比增长 20.7%。另外,水电、生物质发电的装机容量均居世界首位^[3],变频电源能量转换效率可高达 70% 以上。

近年来,国家制定了 2030 年前碳达峰、2060 年前碳中和的“双碳”目标,“双碳”目标要求国民经济全面电气化,目前电气化率是 27%,到 2030 年要求达到 35%,到 2050 年要求达到 60% 左右^[4]。因此,变频电源系统的节能性和可靠性尤为重要,对我国重大工程装备、高端/智能制造、电气化交通和国防建设的发展具有重要的战略意义。

2 我国变频电源行业发展存在的问题

2.1 低价竞争带来的“劣币驱逐良币”

在我国,变频电源行业普遍存在低价竞争现象,带来“劣币驱逐良币”的问题。企业竞争是正常现象,但在产品设计、生产制造过程中,为了降低成本,有的企业不惜采用降低产品性能、选用廉价物料、降低生产工艺要求等手段,直接影响了产品可靠性,最终影响终端用户的利益,这也给行业发展带来了不良影响。

在可靠性设计方面,选用不同类型的电容器、IGBT 等元件的价格差异较大,对产品寿命和可靠性没有相应的评估和评价,给终端用户选型带来困惑。在电磁兼容性方面,企业对于产品电磁兼容设计关注度不够,致使电源类设备大规模应用后对周边仪器造成干扰,给系统集成方面带来问题^[5]。同时,电源类设备是谐波产生的重要来源,单台设备的谐波虽然能够满足标准要求,但在多台设备同时运行的时候,往往会给整个局部电网的电能质量带来影响^[6-8]。

2.2 行业技术创新能力偏弱

目前,国内变频电源行业正面临严峻的挑战,主要体现在自主创新能力薄弱上。企业产品普遍集中于中低端市场,高端市场则被进口产品牢牢占据,产品同质化问题突出。在技术层面,行业内的迭代多停留于结构优化、散热改进及功率器件升级等表面层次,缺乏对关键技术的深度挖掘与原始创新。当头部企业推出新品时,行业内往往进行模仿,而非真正的技术创新。

经过深入分析,“卡脖子”问题的根源并非是

单纯的技术难题,而是市场规模有限与研发投入高昂的双重限制,这两大因素共同削弱了企业的创新动力。在变频电源领域,这一现象尤为明显,企业更倾向于对现有产品进行保守改进以保证安全,而不是高风险、高投入地进行高水平创新,这些因素限制了整个行业的技术飞跃与产业升级。

反观国外,其技术创新与产业体系已相对成熟,形成了通用型与专用型并驾齐驱的格局。通用型市场依托技术成熟度高、市场体量大、规模化生产的优势,由龙头企业引领,构建了完善的供应链体系。而专用型市场则以技术门槛高、市场体量小、定制化生产为特点,由专精特新小企业主导,这些企业凭借高附加值的产品确保了自身的稳健发展。相比之下,我国在技术创新体系的建设上尚显不足,难以支撑高水平技术研究的深入发展,进而影响了变频电源行业的整体竞争力与升级步伐。

2.3 行业监管力度偏弱

变频电源行业当前面临质量监管体系空白与行业管理缺失的双重挑战,具体体现在以下几个方面:

1)标准体系构建滞后。国家标准层面缺乏针对国内行业特色的顶层设计与定制化优化,大多直接套用国际标准,难以精准解决国内实际问题。团体标准制定门槛低,权威性不足,易受利益驱动影响,难以全面反映下游企业需求,降低了标准化工作的整体效能与质量。

2)标准质量存疑。变频电源相关标准在基础理论、仿真验证及实验数据方面支撑不足,科学性与验证能力受质疑。基础研究的缺失导致标准指标设定不够严谨准确,影响了其在行业指导与产品质量保障上的有效性。

3)标准执行不力。标准执行缺乏动力与有效监督机制,企业往往仅满足于形式上的合规,而忽视元件一致性、生产工艺等关键环节,降低了产品质量与下游用户信任度。认证与质量分级体系的缺失,使市场难以形成优胜劣汰的健康机制。

4)实验报告可信度问题。实验室技术水平与管理能力参差不齐,报告质量难以保障。部分实验室存在不诚信行为,进一步削弱了行业公信力。大型企业被迫采取内部标准与额外检测措施,增加了运营成本。

2.4 产品能效水平不高

变频电源的能效水平受设计和制造质量的影响。高质量的变频电源通常采用先进的功率半导体器件和优化的电路设计,以减少能量损耗。然而,市场上存在一些低成本、低质量的变频电源,这些产品在运行过程中会产生较高的能量损耗,从而降低了整体的能效水平。

变频电源的能效水平还受工作负载和运行条件的影响。在部分负载或轻负载条件下,变频电源的效率可能会显著下降,这是因为产品在设计时通常针对满负载条件进行优化,而在其他负载条件下,其内部的功率损耗可能会增加^[9]。再者,如果控制策略不够优化,或者软件算法存在缺陷,都可能导致能效水平下降^[10]。

我国对于变频电源产品的能效要求还处于起步阶段,行业关注度不高,甚至认为会增加企业负担。但从行业整体角度来看,能效水平在一定程度上是质量水平的体现,主要源于高效能产品需要高性能的元器件和控制策略支撑,提高能效水平必然要求企业提高产品设计和生产制造水平,有助于行业高质量发展。同时,提高产品能效,也为用户企业降低了大量电能浪费,电力电子设备在国民经济中应用数量巨大,对我国的节能降碳工作作用尤为明显^[11]。

2.5 对电能质量产生潜在影响

2024年4月,国家发改委正式颁布了《电能质量管理办法(暂行)》,该办法旨在系统性地提升我国电能质量,以应对日益增长的电力需求与复杂多变的电网环境。欧盟等发达国家对于电源类设备接入电网已建立了详尽的规范性要求,特别是在逆变型产品的应用上,明确规定了电网侧需加装有源整流装置,以有效控制谐波污染并维持良好的功率因数,从而减轻对电网电能质量的潜在影响。

学术研究表明,未经有效治理的变频电源接入电网后,其非线性特性将显著影响电网的电能质量参数。变频电源产生的谐波电流会导致电网总谐波畸变率显著上升,范围可达10%~30%,同时伴随功率因数的下降,降幅约为5%~10%。这些变化不仅加剧了电网的能量损耗,还可能对电网中的其他设备造成不利影响,如引发设备过热、绝缘老化乃至故障,进而增加维护成本与运营风险。

我国电源类设备接入电网的规范性管理方

面仍存在一定的滞后性。长期以来,我国在这一领域多采取“问题导向”的应对策略,即待问题出现后再行解决,缺乏从源头上预防与控制电能质量问题的顶层规划与系统性考虑。这种现状不仅限制了我国电能质量的进一步提升,也制约了电力工业的高质量发展。

以上诸多现象,都制约着我国标准化工作和行业的高质量发展,迫切需要解决。

3 我国变频电源行业高质量发展建议

3.1 完善行业工业体系建设

变频电源因其独特的技术特点,广泛应用于国民经济的主要领域,是控制和节能技术领域中的重要装备。自建国初期以来,国家高度重视变频电源行业的发展,构建了相对完善的工业体系,为有效推动行业技术进步和产业发展,政府设立行业技术归口所,作为政府的行业抓手,推动该行业的技术进步和产业发展。

随着我国迈入高质量发展阶段,重振科研院所的公益属性与核心职能显得尤为重要,从体系层面深化行业规范管理。传统的行业院所,通常为行业学会、协会和标委会的秘书处单位,天然承载着行业管理与引领的职责。从国家层面要发挥科研院所的职能,从技术创新的角度开展共性技术和“卡脖子”技术的研究,整合优势资源,强化科研攻关,规划我国变频电源行业的产业发展路径和技术图谱。建立完善的标准体系,从国际标准转化向产业需求导向进行转变,开展标准体系建设,真正意义上推动我国变频电源行业的高质量发展。

3.2 完善行业技术创新体系

变频电源行业,作为高技术密集型产业,在全球竞争格局中,德国的西门子、法国的施耐德及瑞典的ABB等企业占据领先地位。尽管我国变频电源产业在整体产能上实现了快速增长,但在技术前沿与创新能力上仍面临一定挑战,与国际巨头相比存在技术差距。

产业发展的根本动力源自应用领域的实际需求,变频电源行业应紧密结合产业需求,明确发展路径,并据此构建技术发展蓝图,实施精准的技术创新与突破战略。例如,石化工业对高效加热技术的迫切需求,促使变频电源技术向电气控制领域深入探索,以克服传统电阻加热技术的

局限性,实现烃类产品的快速均匀升温^[12];同样,压缩机行业的能效提升需求则驱动变频电源行业探索磁悬浮驱动等前沿技术,以技术革新助力行业能效升级^[13]。转制科研院所可以从以下两个层面重点发力开展变频电源的技术攻关研究:

1)基础共性技术研究。聚焦于提升技术产品的可靠性和能效水平,深入研究高频脉宽调制技术、直接数字频率合成器波形产生技术、嵌入式智能化监控系统、高效能电力电子器件、先进控制算法及模块化与标准化设计等关键领域。这些基础共性技术的突破,将为整个变频电源行业的产业升级提供坚实的技术支撑和引领作用。

2)应用试验发展技术研究。针对工业生产效率提升、电子设备稳定性增强、新能源并网优化、交通动力智能化及试验平台创新等实际需求,开展变频电源的应用试验发展研究^[14]。通过实践验证与技术创新,推动变频电源技术在多个领域的深度融合与广泛应用,促进技术成果转化,为行业高质量发展注入新动力。

基础共性技术与应用试验发展技术成果的积累,不仅是行业标准化研究的重要基石,也为标准的科学制定与合理修订提供了坚实的理论基础、先进的技术指导和详实的数据支撑。同时,积极推动科研成果向现实生产力的转化,不仅能够有效提升行业的整体竞争力,还为实现可持续发展奠定了坚实基础,为变频电源行业的长远繁荣贡献力量。

3.3 完善行业质量体系

质量体系的建设,是一项复杂且系统的工程,需要行业院所联合行业上下游企业,共同响应国家发展战略的需求,分层次、有步骤地推进构建工作。

建立科学完善的标准体系,针对行业标准的现状,从产业发展的角度思考和布局标准化体系。从变频电源产品和不同领域应用两个维度,做好标准体系构建。一是充分考虑各应用领域对变频电源产品的特定需求,确保标准制定的精准对接;二是贯穿变频电源产品的全生命周期,从研发设计到生产应用再到后续维护,全面覆盖,确保标准体系的系统性与连贯性。在产品自身层面,从产品通用技术要求、能效、可靠性、安全等综合维度去建立完善的标准体系。从应用领域层面,针对国民经济主要的产业领域,结合

各自工艺的不同要求,形成不同行业的应用技术标准。

加强基础理论研究和数据验证工作,从经验数据到理论研究和仿真计算的转变提升,标准依托的数据要逐步从国际标准转化和历史经验,转变为科学研究的成果。同时,加强标准验证实验数据的覆盖范围,确保数据的全面性与代表性,让标准更有说服力。

加强标准的落地实施,一方面逐步建立变频电源系统的认证体系,设立严谨的认证流程与标准,另一方面也要积极结合不同应用领域的实际需求,推动行业标准的实施,建立基于行业领域的行业认证体系和工厂检查体系。让更多的企业重视标准化工作,有效地保护下游应用企业的合法权益。

适时地开展能效和质量分级工作,企业可以根据自身需求选择不同等级的变频电源产品,避免高性能产品被“劣币”侵蚀,有效保障行业的质量水平。对于价格敏感型行业,平衡产品成本与质量,确保低等级产品也能拥有合理的生存空间,是关乎行业可持续发展的关键议题,应从用户的角度去思考,解决行业高质量发展与价格战之间的矛盾。

开展基于应用场景的中试验证平台建设,打造场景化的标准体系,同时推出基于现场工况的检测验证服务,解决行业现场应用中的诸多技术难题,以及用户对系统集成后产品技术标准不明确等矛盾,确保产品的技术性能和系统集成后的整体质量符合预期。

4 结论

我国变频电源行业面临低价竞争、技术创新能力不足及监管力度薄弱等严峻挑战,这些问题严重制约了行业的高质量发展。为应对这些挑战,本文提出了一系列建设性建议,包括完善工业体系建设、技术创新体系及质量体系,旨在通过强化科研支持、推动技术创新及确保标准有效落实,全面提升行业水平。此外,还强调政策引导与行业合作的重要性,以共同推动变频电源行业向绿色化、高可靠性与智能化方向转型,为我国国民经济的可持续发展贡献力量。这些措施的实施将有效提升变频电源行业的竞争力和市场份额。

参考文献

- [1] 潘晓华,张效庆,赵长莉. 电气传动中的变频器技术分析[J]. 电子技术(上海),2023,52(8):304-306.
PAN Xiaohua, ZHANG Xiaoqing, ZHAO Changli. Analysis of frequency converter technology in electrical transmission[J]. Electronic Technology, 2023, 52(8): 304-306.
- [2] 高永杰. 新型功率整流模组封装结构设计与工艺实现[D]. 桂林:桂林电子科技大学,2023.
GAO Yongjie. Packaging structure design and process implementation of novel power rectifier module[D]. Guilin: Guilin University of Electronic Technology, 2023.
- [3] 孙瑜歌,丁涛,黄雨涵,等. 高比例新能源电力市场不同发展阶段划分及形态结构演进[J]. 高电压技术, 2023, 49(7): 2725-2743.
SUN Yuge, DING Tao, HUANG Yuhuan, et al. Development stage division and morphological evolution of power market with high proportion of renewable energy[J]. High Voltage Engineering, 2023, 49(7): 2725-2743.
- [4] 中华人民共和国中央人民政府. 习近平在第七十五届联合国大会一般性辩论上发表重要讲话[EB/OL]. (2020-09-22) [2024-08-08]. http://www.gov.cn/xinwen/2020-09/22/content_5546168.htm.
Central People's Government of the People's Republic of China. Xi Jinping delivers an important speech at the general debate of the 75th session of the United Nations General Assembly[EB/OL]. (2020-09-22) [2024-08-08]. http://www.gov.cn/xinwen/2020-09/22/content_5546168.htm.
- [5] WEI Z, JUN W Y, BO X Q, et al. Electromagnetic compatibility analysis and optimization design of switching power supply printed circuit board[J]. Journal of Nanoelectronics and Optoelectronics, 2021, 16(4): 552-558.
- [6] 张定华,桂卫华,王卫安,等. 大型电弧炉无功补偿与谐波抑制的综合补偿系统[J]. 电网技术, 2008, 32(12): 23-29.
ZHANG Dinghua, GUI Weihua, WANG Weian, et al. Comprehensive compensation system combining reactive power compensation and harmonic suppression for large-scale electric arc-furnace[J]. Power System Technology, 2008, 32(12): 23-29.
- [7] 杨春雨,孟凡仪,许一鸣,等. 大惯量负载多电机驱动系统协调控制方法综述[J]. 电机与控制应用, 2019, 46(3): 1-7.
YANG Chunyu, MENG Fanyi, XU Yiming, et al. Coordinated control methods for multi-motor drive systems of large inertia load: a survey[J]. Electric Machines & Control Applications, 2019, 46(3): 1-7.
- [8] 时建锋,罗隆福,邓淑娟,等. 新型推进变压器在船舶电网谐波抑制中的应用[J]. 电网技术, 2008, 32(21): 91-96.
SHI Jianfeng, LUO Longfu, DENG Shujuan, et al. Application of new type of propulsion transformer in harmonic suppression for ship power system[J]. Power System Technology, 2008, 32(21): 91-96.

- [9] 孙树根,张志波,任浩. 矿用异步电机变频调速系统的振荡抑制策略[J]. 机电工程技术,2024,53(7):221-224.
SUN Shugen, ZHANG Zhibo, REN Hao. Oscillation suppression method for mine induction motor drive system[J]. Mechanical & Electrical Engineering Technology, 2024, 53(7): 221-224.
- [10] 奉启珠. 海外工业电源品牌围困下中国品牌 A 如何破局[D]. 厦门:厦门大学,2022.
FENG Qizhu. A research on competitive strategy of China industry power supply brand A with oversea brands[D]. Xiamen: Xiamen University, 2022.
- [11] 胡丽珍. 高效智能电机助力“双碳”的途径及应用研究[J]. 科技创新与生产力,2024,45(5):56-58,62.
HU Lizhen. Research on the way and application of efficient intelligent motors to assist "dual carbon"[J]. Sci-tech Innovation and Productivity, 2024, 45(5): 56-58, 62.
- [12] 徐宝林. 基于辐射加热的油泥热解特性研究[D]. 济南:山东大学,2023.
XU Baolin. Pyrolysis characteristics of oily sludge based on radiation heating[D]. Jinan: Shandong University, 2023.
- [13] 吴华春,龙志强,周瑾,等. 磁力轴承——过去、现在和未来[J]. 轴承,2024(7):1-13.
WU Huachun, LONG Zhiqiang, ZHOU Jin, et al. Magnetic bearings——past, present and future[J]. Bearing, 2024(7): 1-13.
- [14] MAHESH M, VINOTH K K, ABEBE M, et al. A review on enabling technologies for high power density power electronic applications[J]. Materials Today: Proceedings, 2021, 46(9): 3888-3892.

收稿日期:2024-08-08

修改稿日期:2024-08-27