

DOI: 10.16210/j.cnki.1007-7561.2025.02.020

卢浩鹏, 成岭, 卜凡鹏. 电烘干标准体系研究与设计[J]. 粮油食品科技, 2025, 33(2): 147-154.

LU H P, CHENG L, BU F P. Research and design of standard system for electric drying[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2025, 33(2): 147-154.

# 电烘干标准体系研究与设计

卢浩鹏, 成岭✉, 卜凡鹏

(中国电力科学研究院有限公司, 北京 100192)

**摘要:** 面对“碳达峰、碳中和”新目标, 提高能源消费电气化水平, 对于抓好粮食安全、推动农业绿色转型和节能减排意义重大。烘干是保障粮食安全的重要环节, 电烘干能够更好地提升产业能效和保障粮食安全。因此, 为规范电烘干技术标准化工作, 需开展其标准体系研究。在广泛搜集并深入分析国内外相关标准的基础上, 分别从基本标准与专用标准两个标准子域, 对电烘干技术的标准体系进行了全面而深入的归纳与研究。结合电能替代技术的标准构建原则, 深入剖析了电烘干技术在不同应用场景下的标准需求, 构建了一个逻辑清晰、结构严谨的电烘干标准体系概念模型。依托概念模型, 提炼出电烘干标准体系的整体架构, 为电烘干技术的标准化发展奠定了坚实基础。并以前瞻性的视角, 对电烘干标准体系的未来发展提出了规划建议。

**关键词:** 电烘干; 电能替代; 标准体系; 构建原则; 粮食安全

中图分类号: S24 文献标识码: A 文章编号: 1007-7561(2025)02-0147-08

网络首发时间: 2025-02-19 08:54:50

网络首发地址: <https://link.cnki.net/urlid/11.3863.TS.20250218.1708.006>

## Research and Design of Standard System for Electric Drying

LU Hao-peng, CHENG Ling✉, BU Fan-peng

(China Electrical Power Research Institute, Beijing 100192, China)

**Abstract:** Facing the new goals of “carbon peaking” and “carbon neutrality”, increasing the electrification level of energy consumption is of great significance for ensuring food security, promoting green transformation in agriculture, and achieving energy conservation and emission reduction. Drying is a crucial link in safeguarding food security, and electric drying can better improve industrial energy efficiency and safeguard food security. Therefore, to standardize the work of electric drying technology, it is necessary to conduct research on its standard system. Based on extensive collection and in-depth analysis of relevant domestic and international standards, a comprehensive and in-depth induction and research on the standard system of electric drying technology has been carried out from the two sub-domains of basic standards and specialized standards. Combining the principles of standard construction for power substitution technologies, the standard requirements of electric drying technology in different application scenarios have been deeply analyzed, and a conceptual model of the electric drying standard system with clear logic and rigorous

收稿日期: 2024-06-28; 修回日期: 2024-07-29; 录用日期: 2024-07-31

第一作者: 卢浩鹏, 男, 1997 年出生, 硕士, 助理工程师, 研究方向为电能替代, E-mail: 1630414637@163.com

通信作者: 成岭, 男, 1988 年出生, 硕士, 高级工程师, 研究方向为电能替代及能效, E-mail: 0707126416@163.com

structure has been constructed. Based on the conceptual model, the overall framework of the electric drying standard system has been extracted, laying a solid foundation for the standardized development of electric drying technology. Moreover, from a forward-looking perspective, planning suggestions for the future development of the electric drying standard system have been put forward.

**Key words:** electric drying; electric energy substitution; standard system; construction principle; food security

我国为保证能源绿色低碳转型, 2021 年 10 月, 中共中央、国务院印发《关于完整准确全面贯彻新发展理念做好碳达峰碳中和工作的意见》, 文件中表明我国需要大力推进能源改造工作<sup>[1]</sup>。2024 年 2 月, 为深入贯彻《中共中央、国务院关于学习运用“千村示范、万村整治”工程经验有力有效推进乡村全面振兴工作部署的实施意见》, 意见中提出今年重点要抓好粮食和重要农产品生产、推动农业发展绿色转型等八大重点工作, 为后续农业产业全链条的绿色高效转型提供方向<sup>[2]</sup>。

农业产业全链条的绿色高效转型的关键在于农副产品生产、存储、运输等环节的节能降碳。据统计, 全球农业碳排放量占总量的 20%, 若考虑直接碳排放、间接碳排放、产品加工存储等用能环节, 农业碳排放将占比达到 1/3<sup>[3]</sup>。其中, 农业加工工艺中烘干的能耗占到农业领域能耗的 40%~70%。因此, 农业系统温室气体排放的研究以及农业减排策略的制定对我国实现双碳目标、推动绿色低碳农业的发展起重要作用<sup>[4]</sup>。烘干技术不仅在农业生产中应用, 在工业加工、医学药品制作等方面均有参与, 烘干工艺、设备多样化, 且未全面设立相关的技术标准, 容易造成市场监管问题<sup>[5]</sup>。

传统烘干领域仍以传统燃煤机为主, 燃煤机具有调速慢、碳排放量高等特点, 在“双碳”的目标下逐步淘汰<sup>[6]</sup>。我国为保证粮食安全, 加速烘干设施建设, 提升烘干能力, 六部门联合印发了《关于加快粮食产地烘干能力建设的意见》。因此, 加速传统燃煤机向电力转型是大势所趋, 构建一套完整的电烘干标准体系是加快推进“双碳”目标达成的重要举措之一<sup>[7]</sup>。

本文旨在通过梳理国内外烘干标准和电能替代标准体系研究现状, 分析电烘干应用的可行性

与标准需求, 根据《标准体系构建原则和方法》, 提出电烘干的标准体系框架, 为后续电烘干标准的制定提供参考依据<sup>[8]</sup>。

## 1 电烘干相关国内外标准现状

### 1.1 国外电烘干标准现状

目前, 国际上涉及烘干标准的组织有国际电工委员会 (International Electro technical Commission, IEC)、欧洲电工标准化委员会 (the European Committee for Electro technical Standardization, CENELEC)、国际标准化组织 (the International Organization for Standardization, ISO) 等组织。IEC 成立于 1906 年, 它是世界上成立最早的国际性电工标准化机构, 负责有关电气工程 and 电子工程领域中的国际标准化工作; CENELEC 于 1976 年成立, 制定统一的 IEC 范围外的欧洲电工标准, 实行电工产品的合格认证制度。ISO 成立于 1947 年, 是标准化领域中的一个国际组织, 负责当今世界上多数领域 (包括军工、石油、船舶等垄断行业) 的标准化活动<sup>[9]</sup>。本文已梳理国外电烘干相关标准, 如表 1 所示。

从表 1 中可以看出, 现有国外标准体系对同一设备或技术要求存在差异性要求, 且不全面。

### 1.2 国内电烘干标准现状

目前, 国内电烘干领域相关标准情况与国外类似, 整体没有确立电烘干统一术语与基本要求。电烘干相关标准以烘干设备标准居多, 但根据烘干的产品不同, 设备存在多样化, 为保证设备使用安全性、规范性, 应尽早确立通用标准。目前, 本文统计了电烘干领域相关国家标准, 如表 2 所示。

从表 2 中可以看出, 我国现行标准基本可以分为如下几大类: 设备、工艺、节能等。构建电烘干相关标准时, 也应遵循现有标准模式, 并在

表1 电烘干领域国外相关标准

Table 1 Related foreign standards in the field of electric drying

序号	英文名称	标准号	发布机构	发布时间	主要内容
1	Agricultural grain driers — Determination of drying performance — Part 1: General 农业谷物干燥机干燥性能的测定第1部分: 总则	ISO 11520-1:1997	ISO	1997/6/26	规定了评价谷物干燥性能的方法、测试的性能(数据)向其他输入条件和标准环境条件下的折算方法
2	Compressed-air dryers — Specifications and testing 压缩空气干燥器.规范和试验	ISO 7183:2007	ISO	2007/11/29	规定了不同类型压缩空气干燥器的适用试验方法所需的性能数据
3	Textiles-Domestic washing and drying procedures for textile testing 纺织品.纺织品试验的家用.洗涤和干燥程序	EN ISO 6330:2021	CEN ISO	2022/6/30	规定了纺织品测试的家用洗涤和干燥程序
4	Electric clothes washer-dryers for household use - Methods for measuring the performance 家用电动洗衣烘干机性能测量方法	EN IEC 62512:2020	CENELEC	2021/5/4	对家用洗干一体机主要性能参数进行表述和定义,并描述这些性能参数的标准测试方法
5	Starch - Determination of moisture content - Oven-drying methods 淀粉.水分含量的测定.烘箱干燥法	EN ISO 1666:1997	CENELEC	1998/5/31	提供一种方法,用于在大气压力下,在130℃烘箱干燥,测定天然或改性淀粉的含水量
6	Tumble dryers for household use - Methods for measuring the performance 家用滚筒式烘干机.性能测量方法	IEC 61121:2012	IEC	2012/2/16	规定和定义了家用和类似用途滚筒式干衣机的主要性能特性及实验方法
7	Tumble dryers for commercial use - Methods for measuring the performance 商用滚筒式干燥机.性能测量方法	IEC PAS 63124:2017	IEC	2017/6/27	陈述和定义商用滚筒干燥机的主要性能特征,并描述测量这些特征的标准方法

表2 电烘干领域国内相关标准

Table 2 Domestic relevant standards in the field of electric drying

序号	标准名称	标准号/计划号	进度	主要内容
1	电热干燥箱及电热鼓风干燥箱	GB/T 30435—2013	现行	规定了电热干燥箱及电热鼓风干燥箱的使用条件、要求、试验方法、检验规则以及标志、包装、运输和贮存
2	连续式粮食干燥机	GB/T 16714—2007	现行	规定了连续式粮食干燥机术语和定义、型式和型号及主参数、技术要求、安全技术要求、试验方法和检验规则、标志和包装及运输等
3	粮食干燥机自动控制系统评定规则	GB/T 21399—2008	现行	规定了粮食干燥机自动控制系统的技术性能要求、试验方法及评定方法
4	粮食干燥系统安全操作规范	GB/T 30466—2013	现行	规定了粮食干燥系统的流程作业、粮食干燥机作业、热风炉、仓储设备、输送设备、清理设备、除尘系统和电气控制系统的安全操作要求
5	粮食干燥机 试验方法	GB/T 6970—2007	现行	规定了粮食干燥机性能试验和生产试验方法
6	木材干燥术语	GB/T 15035—2023	即将实施	界定了有关木材干燥方法、设施、工艺、缺陷、质量、理论等方面的术语
7	锯材干燥质量	GB/T 6491—2012	现行	规定了干燥锯材的含水率、干燥锯材的质量等级、烦躁锯材质量指标及其检测规则
8	真空干燥箱	GB/T 29251—2012	现行	规定了真空干燥箱的使用条件、要求、试验方法、检验规则以及标志、包装、运输和贮存
9	远红外线干燥箱	GB/T 29250—2012	现行	规定了远红外线干燥箱的使用条件、要求、试验方法、检验规则以及标志、包装、运输和贮存
10	金银花空气源热泵干燥通用技术要求	GB/T 39363—2020	现行	规定了金银花空气源热泵干燥一般要求、干燥工艺
11	干燥窑与烘烤炉节能监测	GB/T 24561—2009	现行	规定了干燥窑与烘烤炉的节能监测项目、监测方法和考核指标

此基础上确立通用性标准术语。同时在信息通讯、运维安全等领域丰富现有标准框架。

综合国内外电烘干标准现状不难发现，国内外现存标准均不构成体系，没有建立成熟的标准架构，导致这种情况发生的原因主要是烘干对象的多样化。因此，为指导新老产业发展，保证产品可靠性及成品率等产业发展需求，应加快梳理不同烘干产品下，设备选用、工艺水平、评价指标等相关标准，总结形成完整的电烘干标准体系架构。

## 2 电烘干标准体系架构设计

### 2.1 构建方法

本文研究电烘干标准体系构建方法，主要坚持“自上而下”的基本原则。一方面，贯彻落实国家部委对绿色能源转型机制相关举措，结合电能替代前景规划，从战略高度审视电烘干对实现“双碳”目标的重要性，提出电烘干技术标准体系架构与模型。另一方面，基于现有电烘干领域相关标准，针对现有标准体系，梳理现存标准，重新遴选与增补标准，健全标准体系架构。最终综合两方面分析结果，构建全面的电烘干标准体系，具体的构建方法如图 1 所示。

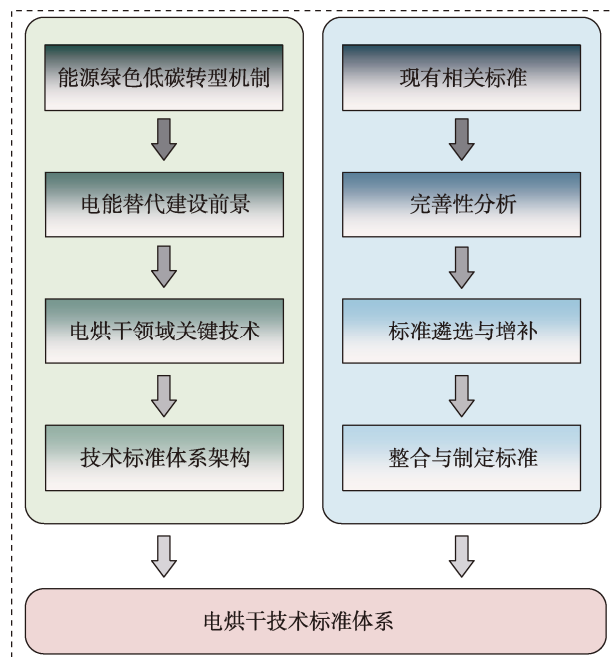


图 1 电烘干标准体系构建方法  
Fig.1 Construction method of electric drying standard system

### 2.2 构建原则

电烘干标准体系，是以电能替代研究框架为基础，全方位继承和吸收电能替代相关标准体系。电烘干以基础通用、信息支撑、节能运维、技术提升之间相互支撑。标准体系构建原则，借鉴电能替代标准体系架构<sup>[10-11]</sup>，总结了如下 4 点原则：

#### 2.2.1 系统性原则

电烘干所处烘干和电能替代两大领域范围内，因此，标准体系构建需要结合传统烘干领域与电能替代领域相关技术要求，整合形成电烘干基本通用理论，针对不同的烘干对象设立专用标准。

#### 2.2.2 协调性原则

电烘干标准体系应遵循现有的烘干标准体系，遴选现存烘干标准，在现有基础上完善电烘干体系标准，保证电烘干体系标准与传统烘干标准的协调发展。同时，电烘干标准在保障基本标准和专用标准两个子领域之间不存在交叉的基础上，合理设置相关的技术标准，保证结构上的平衡。

#### 2.2.3 开放性原则

标准体系应遵循开放性原则，不应歧视他国相应标准体系，应接纳世界范围内标准开发组织、企业等相关组织适用的标准。标准制定过程中应当遵守流程、公开透明合作。用户可以根据自身需求，自主决定使用。

#### 2.2.4 扩展性原则

标准体系设计过程中，应当考虑该领域未来发展方向，尽可能设计简洁明了，各个模块应当保证耦合度小，便于后期扩展，电烘干体系应是一个开放的、可扩展的体系，能够随着技术迭代更新和产品种类的与日俱增，满足发展需要以及体系的相对稳定。

### 2.3 分层架构与概念模型

本研究提出的电烘干技术标准体系概念模型如图 2 所示。

现阶段我国为保障粮食安全，所需烘干的农副产品种类日益增多，在电烘干标准体系建设过程中，应充分考虑不同种类产品之间的差异。清洁低碳、节能高效是建设电烘干的核心要求，是

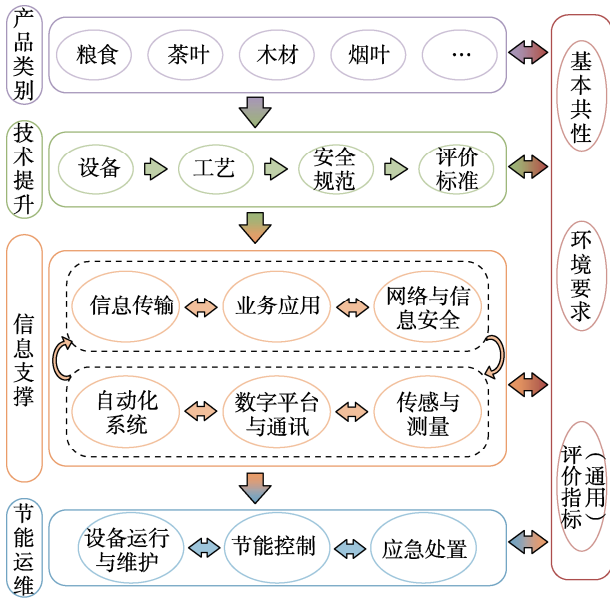


图 2 电烘干标准体系概念模型图  
Fig.2 Concept model diagram of electric drying standard system

组成电烘干技术标准体系的核心，也是电烘干与传统烘干技术的首要区别。同时，电烘干与数字化技术深度融合，提升工艺水平、运检维护、质量把控等相关能力，形成整体、高效、科学的新型智能化系统。在运维节能方面，随着电气智能化平台介入，可实时监测产品烘干全过程，烘干设备功率可随着产品状态随时改变，极大地降低

烘干所需能耗，从而实现电烘干运行效率、全局优化资源配置等<sup>[12]</sup>。

对电烘干标准体系概念模型进行分析，应充分考虑电烘干标准现存问题及困难，明确电烘干领域内的共性与差异性结合，合理制订标准框架。应先按照共性与差异性之间的区别，将电烘干标准分为基本标准和专用标准两类，细分专业方向划分为 5 个方向，包括基础通用、信息支撑、节能运维、基础专用、技术提升。每个专业包含相应的领域及主体，如表 3 所示。

表 3 电烘干体系概念模型中的领域及主体  
Table 3 Domain and subject in conceptual model of electric drying system

标准分类	专业方向	领域及主体
基本标准	基础通用	基础共性、环境要求、评价标准（通用）
	信息支撑	信息传输、自动化系统、数字平台与通信、网络与信息安全、传感与测量
	节能运维	设备与运行维护、节能控制、应急处置
专用标准	基础专用	基础共性、环境要求、评价标准（专用）
	技术提升	技术规范、配备标准、工艺要求、评价标准（专用）

### 2.4 标准体系框架

本文结合电烘干标准体系概念模型，构建了电烘干标准体系，具体框架图如图 3 所示。其中，

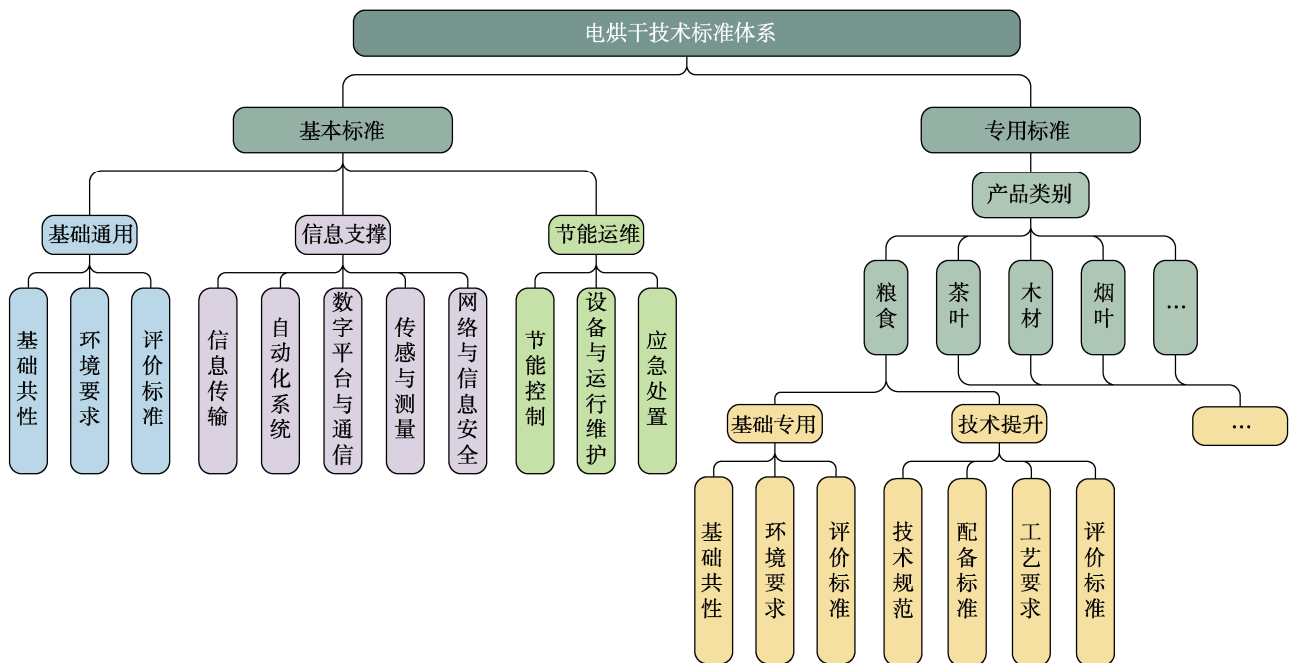


图 3 电烘干标准体系框架  
Fig.3 Standard system framework for electric drying

基本标准是电烘干标准体系的基础部分，应具有广泛性、可量化性等；由于电烘干技术中，所涉及的产品类别众多且不断在更新，因此需要建立电烘干专业标准体系。专用标准则作为电烘干标准体系的专用部分，应具有特殊性、针对性等，能够更好的描述和定义不同应用场景下的电烘干特性。

本文基础标准内应包含基础通用、信息支撑和节能运维；专用标准则根据不同的产品类别，有目标地构建非全局性标准，且都应遵循基础标准内的相关内容，同时包含基础专用和技术提升两部分，作为不同产品类型上的技术区分。

电烘干标准应具备实时性、可扩展性，在保证子领域之间不存在交叉的基础上，不断完善电烘干标准体系<sup>[13]</sup>。

### 3 电烘干标准体系需求分析

为更好指导电烘干标准体系建设，需要在基础标准和专用标准子域中梳理各专业标准需求，从而完善电烘干标准体系<sup>[14-16]</sup>。

#### 3.1 电烘干基础标准

基础通用领域是电烘干各个专业方向的基础部分，随着电烘干领域的不断发展，对基础通用领域支撑能力的需求也会日益增强。基础共性是电烘干相关产业发展的关键，梳理相关共性要求，能给电烘干标准提供技术和管理依据。为保障电烘干领域健康可持续发展，应完善基础共性总体要求、术语、评估等方面的相关标准<sup>[17]</sup>。

信息支撑是电烘干的神经中枢，是实现能耗降低、良品率提升的关键<sup>[18]</sup>。传统烘干受限于无法实时调控设备的输出功率，导致良品率和能耗不可把控。因此，需要提升电烘干深度感知能力、灵活调控能力和智能决策能力。本专业分为信息传输、自动化系统、数字平台与通信、传感与测量、网络与信息安全 5 个技术领域。结合电烘干现状，遴选与电烘干相关的标准，从而健全电烘干的信息化标准体系<sup>[19]</sup>。

为响应国家节能减排目标，应针对设备、工艺等相关领域做出明确要求，提升设备能效与工艺水平，减少在产品生产过程中造成的资源浪

费<sup>[20]</sup>。节能运维分为节能控制、设备与运行维护、应急处置 3 个专业。当前有关电烘干的节能运维相关标准较少，一是加快节能控制领域的标准制定。二是完善设备运维、应急处置相关标准，确保在产品生产过程中的人身安全。

#### 3.2 电烘干专用标准

随着烘干产品种类的日益增多，为避免相同种类的产品有两类电烘干标准，应通过产品特性、烘干方法来确定分类标准。将通用性、适用性的标准放置在基础标准类中，其余具备差异性、特殊性的标准集合成为专用标准<sup>[21]</sup>。因此，专用标准是建立在基础标准之上，针对烘干对象、工艺技术、设备类别的差异性，单独规范相关标准。

技术提升是专用标准子领域的核心要素，其中包含技术规范、配备标准、工艺要求、评价标准 4 个专业方向。为规范各类产品的烘干效果，提升良品率，应单独制订相关的技术标准，如稻谷和玉米，两者均为粮食大类，但因为产品自身的差异性，需要单独制订技术标准<sup>[22]</sup>。

### 4 电烘干标准体系发展建议

#### (1) 电烘干标准遴选与完善

基础标准部分现阶段没有完成梳理工作，应当加快梳理并完善相关通用性标准。随着我国信息化的快速发展，相关标准日益完善，应该遴选与电烘干领域相关的标准，并加以完善。传统烘干领域定存在相关生产设备运维、应急处置相关的标准，但电烘干设备相较于传统烘干设备，设备更加复杂多样，且未按电烘干产品类别进行分类整合，应整理并修订从而适配电烘干场景。

#### (2) 分类方法的确立

相关部门应针对不同产品类别或同一产品类别不同产品进行标准梳理，做好产品划分，避免标准重复制订。

#### (3) 信息化支撑

尽快完善信息支撑、节能运维等相关标准，烘干能效提升是确保我国粮食安全的重要举措，同时也是实现我国“双碳”目标的切实路径<sup>[23]</sup>。

#### (4) 标准制定

在标准化工作方面,需提升国际发展敏感度,加强国际标准信息收集,推动相关标准的制定和完善,以保证电烘干技术在全球范围内的应用和实施的可靠性。

## 5 结论

在“双碳”目标的大背景下,农业降碳是我国发展的重点方向。电烘干技术已然成为农业领域的主流,本文结合电能替代标准体系的战略定位与发展策略,以《标准体系构建原则和方法》为基础,结合电能替代标准体系构架,系统地总结了电烘干标准化研究现状,提出电烘干标准体系分层架构和概念模型,从而构建了电烘干标准体系框架。

在确保食品供给与粮食安全的前提下,实现高效、低耗能和低碳排放的农业发展新模式,为电烘干设备技术、工艺标准、运维安全等方面提供技术支撑。同时,通过对电烘干标准化的拟定,也可以指导其他电能替代子领域标准化的制定,为其他相关产业发展奠定了发展方向。

### 参考文献:

- [1] 国家电网有限公司. “碳达峰、碳中和”行动方案[EB/OL]. [2022-03-1]. <http://www.sasac.gov.cn/n2588025/n2588124/c17342704/con-tent.html>.  
State Grid Corporation of China. “Carbon Peak and CarbonNeutral” action plan[EB/OL]. [2022-03-1]. <http://www.sasac.gov.cn/n258802-5/n2588124/c17342704/content.html>.
- [2] 中共中央 国务院. 关于学习运用“千村示范、万村整治”工程经验有力有效推进乡村全面振兴工作部署的实施意见. 农发〔2024〕1号[EB/OL]. [2024-01-01]. [https://www.gov.cn/gongbao/2024/issue\\_11186/202402/content\\_6934551.html](https://www.gov.cn/gongbao/2024/issue_11186/202402/content_6934551.html).  
The Central Committee of the Communist Party of China and the State Council. The implementation opinions on effectively promoting the comprehensive revitalization of rural areas by learning from and applying the experience of the “Thousand Villages Demonstration, Ten Thousand Villages Renovation” Project. No. 1 [2024] of Agricultural Development[EB/OL]. [2022-03-1]. <http://www.sasac.gov.cn/n258802-5/n2588124/c17342704/content.html>.
- [3] YIN Y L, HE K, CHEN Z, et al. Agricultural green development to achieve food security and carbon reduction in the context of china's dual carbon goals[J]. *Frontiers of Agricultural Science and Engineering*, 2023, 10(02): 262-267.
- [4] 范紫月, 齐晓波, 曾麟岚, 等. 中国农业系统近 40 年温室气体排放核算[J]. *生态学报*, 2022, 42(23): 9470-9482.  
FAN Z Y, QI X B, ZENG L L, et al. Accounting of greenhouse gas emissions in the Chinese agricultural system from 1980 to 2020[J]. *Acta Ecologica Sinica*, 2022, 42(23): 9470-9482.
- [5] 张家春, 林绍霞, 罗文敏, 等. 中药材干燥技术现状及发展趋势[J]. *贵州科学*, 2013, 31(2): 89-93+96.  
ZHANG J C, LING S X, LUO W M, et al. The present situation and development trend of drying technology for Chinese medicinal herbs[J]. *Guizhou Science*, 2013, 31(2): 89-93+96.
- [6] 林家辉, 章学来, 张振涛. 水产品热泵干燥技术综述[J]. *制冷与空调*, 2019, 19(9): 1-4, 11.  
LIN J H, ZHANG X L, ZHANG Z T. Summary of heat pump drying technology for aquatic products[J]. *Refrigeration and Air-Conditioning*, 2019, 19(9): 1-4, 11.
- [7] 屈博, 刘畅, 卜凡鹏, 等. 能源结构转型背景下的电能替代发展路径探索[J]. *电力需求侧管理*, 2022, 24(6): 1-5.  
QU B, LIU C, BU F P, et al. Exploration of development path of electric energy substitution under energy structure transformation[J]. *Power Demand Side Management*, 2022, 24(6): 1-5.
- [8] 朱文嘉, 郭莹莹, 李娜, 等. 我国水产品加工标准体系的构建[J]. *食品安全质量检测学报*, 2025, 16(1): 67-73.  
ZHU W J, GUO Y Y, LI N, et al. Construction of standard system for aquatic product processing in China[J]. *Journal of Food Safety & Quality*, 2025, 16(1): 67-73.
- [9] 李明, 黄荣, 刘星恒, 等. 我国智慧能源产业标准化工作现状[J]. *中国质量与标准导报*, 2017(6): 62-65.  
LI M, HUANG R, LIU X H, et al. The current situation of the standardization work of China's smart energy industry[J]. *China Quality and Standards Review*, 2017(6): 62-65.
- [10] 成岭, 金璐, 钟鸣, 等. 电能替代标准体系研究与设计[J]. *智能电网*, 2016, 4(9): 875-880.  
CHENG L, JIN L, ZHONG M, et al. Research and design of standard system for electrical energy alternative[J]. *Smart Grid*, 2016, 4(9): 875-880.
- [11] 宋禹飞, 刘润鹏, 王宏, 等. 新型电力系统标准体系架构设计及需求分析[J]. *南方电网技术, 网络首发*. (2023-09-26). <https://link.cnki.net/urlid/44.1643.TK.20230922.1108.004>.  
SONG Y F, LIU R P, WANG H, et al. Design and requirement analysis of new power system standard architecture[J]. *Southern Power System Technology, Network First Release*. (2023-09-26). <https://link.cnki.net/urlid/44.1643.TK.20230922.1108.004>.
- [12] 洪涛. 2023 年我国粮食供应链体系建设分析[J]. *粮油食品科技*, 2024, 32(6): 8-18.  
HONG T. Analysis of the construction of China's grain supply chain system in 2023[J]. *Science and Technology of Cereals, Oils and Foods*, 2024, 32(6): 8-18.
- [13] 王延坤, 陈鹏泉, 朱文学, 等. 大中型粮食烘干设备研究进展

- [J]. 粮油食品科技, 2024, 32(2): 171-177.  
WANG Y K, CHEN P X, ZHU W X, et al. Research progress on large and medium-sized grain drying equipment[J]. Science and Technology of Cereals, Oils and Foods, 2024, 32(2): 171-177.
- [14] 张倩倩, 裘俊凯, 段蒙蒙. 粮食烘干热源的对比分析与探讨[J]. 粮食与食品工业, 2024, 31(2): 52-54.  
ZAHNG Q Q, QIU J K, DUAN M M. Comparative analysis and exploration of heat sources for grain drying[J]. Cereal and Food Industry, 2024, 31(2): 52-54.
- [15] 丁有新, 田凤青, 焦宪敏. 粮食机械烘干的困境与政策建议[J]. 山东农机化, 2024, (2): 34-35.  
DING Y X, TIAN F Q, JIAO X M. Predicament of grain mechanical drying and policy suggestions[J]. Shandong Mechanization of Agriculture, 2024, (2): 34-35.
- [16] 何豪杰, 张银平, 龚魁杰, 等. 我国粮食烘干仓储技术装备研究应用现状与趋势[J]. 农机化研究, 2024, 46(4): 1-6, 77.  
HE H J, ZHANG Y P, GONG K J, et al. Research and application status and trend of drying storage machinery in China[J]. Journal of Agricultural Mechanization Research, 2024, 46(4): 1-6, 77.
- [17] 张晶, 胡纯瑾, 高志远, 等. 能源互联网技术标准体系架构设计及需求分析[J]. 电网技术, 2022, 46(8): 3038-3048.  
ZHANG J, HU C J, GAO Z Y, et al. Architecture design and requirement analysis of technical standard system for energy internet[J]. Power System Technology, 2022, 46(8): 3038-3048.
- [18] 党霞. 电气控制技术在谷物烘干设备的应用与逻辑优化[J]. 农机使用与维修, 2023(10): 73-75.  
DANG X. Application and logic optimization of electrical control technology in grain drying equipment[J]. Farm Machinery Using & Maintenance, 2023(10): 73-75.
- [19] 何强龙, 张雨渲, 程丽娟, 等. 谷物均匀受热烘干箱控制系统的设计[J]. 工业控制计算机, 2024, 37(3): 169-171.  
HE Q L, ZHANG Y X, CHEGN L J, et al. Design of control system for evenly heated drying ovens for grains[J]. Industrial Control Computer, 2024, 37(3): 169-171.
- [20] 王涛. 基于设备节能在能效提升中的应用研究及优化策略探讨[J]. 山东化工, 2024, 53(23): 115-117.  
WANG T. Application research and optimization strategy based on energy-saving equipment in energy efficiency improvement[J]. Shandong Chemical Industry, 2024, 53(23): 115-117.
- [21] 肖忆梅, 李军. 医疗器械专用标准体系研究[J]. 中国医疗器械杂志, 2016, 40(3): 198-201.  
XIAO Y M, LI J. Research on special standard system of medical device[J]. Chinese Journal of Medical Instrumentation, 2016, 40(3): 198-201.
- [22] 和丽香. 稻谷、小麦、玉米不完善粒种类以及判定标准[J]. 食品安全导刊, 2020, (27): 13.  
HE L X. Types and judgment criteria of imperfect grains for rice, wheat, and corn[J]. China Food Safety Magazine, 2020, (27): 13.
- [23] 李玉. 粮食信息化技术发展现状与趋势分析[J]. 粮食加工, 2016, 41(5): 1-3.  
LI Y. The current status and trend analysis of grain informatization technology[J]. Grain Processing, 2016, 41(5): 1-3. ㉞
- 备注: 本文的彩色图表可从本刊官网 (<http://lyspkj.ijournal.cn>)、中国知网、万方、维普、超星等数据库下载获取。