

# 国内外替代燃料标准体系浅析

冯鸣凤<sup>1</sup>, 张莹<sup>2</sup>, 莫雨晨<sup>3</sup>, 王彦卓<sup>3</sup>, 张彦军<sup>4</sup>, 谢志成<sup>5</sup>

(1. 天津环科环境咨询有限公司, 天津 300450; 2. 天津市滨海新区生态环境局, 天津 300452; 3. 天津经济技术开发区生态环境局, 天津 300457; 4. 天津大唐国际盘山发电有限责任公司, 天津 301900; 5. 天津市生态环境科学研究院, 天津 300191)

**摘要:**【目的】为推动替代燃料在煤电行业的规模化应用, 助力实现双碳目标。【方法】本文梳理欧盟、美国、日本等发达国家的替代燃料标准发展历程, 重点对比其与中国在产品质量标准、制备检测标准、污染物排放控制标准及政策等方面的差异, 并结合政策激励体系展开分析。【结果】1) 在标准体系方面: 中国现行标准为团体标准(如 T/CIC046—2021), 缺乏强制性; 重金属限值(除汞外)缺失, 而欧盟 EN15359—2011、ISO 21640 已建立分级体系; 2) 排放标准错配: 中国燃煤电厂协同处置需交叉引用《生活垃圾焚烧污染物控制标准》《火电厂大气污染物排放标准》等标准, 无专门规范, 而欧盟通过《工业排放指令》统一共烧排放限值; 3) 政策激励缺位: 中国缺乏碳排放相关电价补贴, 而欧盟通过《可再生能源指令》提供 45 欧元/(MW·h) 激励。【结论】中国亟需建立强制性国家标准体系: 1) 完善产品质量分级, 严格氯含量限值、重金属限值及检测方法; 2) 制定协同焚烧专项排放标准; 3) 配套碳核算规则与经济激励政策, 稳定原料供应链, 推动替代燃料减污降碳应用。

**关键词:** 替代燃料; 标准体系; 耦合; 掺烧; 减污降碳

中图分类号: TK01; X3

文章编号: 1674 - 8069(2026)01 - 0063 - 07

文献标志码: A

DOI 编号: 10.19944/j.eptep.1674 - 8069.2026.01.007

[引用本文格式] 冯鸣凤, 张莹, 莫雨晨, 等. 国内外替代燃料标准体系浅析[J]. 电力科技与环保, 2026, 42(1): 63-69.

FENG Mingfeng, ZHANG Ying, MO Yuchen, et al. Analysis of domestic and international alternative fuel standard system [J]. Electric Power Technology and Environmental Protection, 2026, 42(1):63-69.

## Analysis of domestic and international alternative fuel standard system

FENG Mingfeng<sup>1</sup>, ZHANG Ying<sup>2</sup>, MO Yuchen<sup>3</sup>, WANG Yanzhuo<sup>3</sup>, ZHANG Yanjun<sup>4</sup>, XIE Zhicheng<sup>5</sup>

(1. Tianjin Huanke Environmental Consulting Co., Ltd, Tianjin 300450, China; 2. Tianjin Binhai New Area Ecological Environment Bureau, Tianjin 300452, China; 3. Ecological Environment Bureau of Tianjin Economic-Technological Development Area, Tianjin 300457, China; 4. Tianjin Datang International Panshan Power Generation Co., Ltd, Tianjin 301900, China; 5. Tianjin Academy of EcoEnvironmental Sciences, Tianjin 300191, China)

**Abstract:** 【Objective】In order to promote the large-scale application of alternative fuels in the coal power industry and help achieve the dual-carbon goal. 【Methods】This paper combs through the development history of alternative fuel standards in developed countries such as the European Union, the United States and Japan, focuses on comparing the differences between them and China in terms of product quality standards, preparation and testing standards, and pollution emission control standards, and analyses them in conjunction with the policy incentive system. 【Results】(1) In the standard system: China's current standards are group standards (e.g., T/CIC046—2021), lacking in mandatory; heavy metal limits (except mercury) are missing, while the EU's EN15359—2011 and ISO 21640 have already set up a grading system; (2) Mismatch of emissions standards: China's Co-disposal of coal-fired power plants needs to cross-reference the 'domestic waste incineration standards', 'boiler pollutant emission standards' and other standards, there is no specific specification, while the EU through the Industrial Emissions Directive to unify the co-firing emission limits; (3) policy incentives are missing: China's lack of carbon emissions related tariff subsidies, while the EU through the Renewable Energy Directive to provide incentives for the 45 euros / (MW·h). 【Conclusion】China needs to establish a

收稿日期: 2025-03-15 录用日期: 2025-08-30

Received: 2025-03-15 Accepted: 2025-08-30

基金项目: 大唐国际发电股份有限公司技术项目 (DTJJ-2022-20194)

mandatory national standard system: (1) improve product quality grading, strict chlorine content limits, heavy metal limits and testing methods; (2) develop special emission standards for co-incineration; (3) support carbon accounting rules and economic incentives to stabilise the raw material supply chain, and to promote the application of alternative fuels to reduce pollution and carbon emissions.

**Key words:** alternative fuel; standard system; prospect; recommendation

## 0 引言

目前煤电行业是中国最大的碳排放来源,也是未来中国实现“3060”双碳目标的重要阵地。中国煤电主要依赖国内煤炭资源,但中国煤炭热值低、灰分高、硫含量高,带来环境问题的同时,也导致中国目前成为第一大CO<sub>2</sub>排放国<sup>[1-2]</sup>。替代燃料是煤电行业减污降碳的有效方式<sup>[3]</sup>,欧洲、美国和日本等发达国家对于替代燃料的研究较为成熟<sup>[4]</sup>,形成了完善的标准体系,而中国对于固体替代燃料的研究尚处于起步阶段,相关标准体系尚不完善。

替代燃料是指利用原生废弃物中的可燃性固体废物,经过加工制备成的,替代煤炭、石油、天然气等化石燃料的可再生燃料<sup>[1]</sup>。替代燃料根据原生废弃物的来源主要分为垃圾衍生燃料(refuse-derived fuel, RDF)、固体回收燃料(solid recovered fuel, SRF)、生物质等几大类。其中SRF是由RDF发展而来,是满足严格的质量规范及一系列标准认证的替代燃料<sup>[2]</sup>。SRF主要是从城市固体废物、商业和工业废物、建筑和拆除废物中回收的非危险高热值部分加工产生,是一种可持续的化石燃料替代品。

欧洲、美国和日本等发达国家对于替代燃料共烧的研究较为成熟,始于20世纪七十年代,其中欧盟在替代燃料应用方面具有领先地位<sup>[5]</sup>。随着欧洲生产替代燃料工厂数量的增长,20世纪九十年代欧盟出台了一系列有关替代燃料的标准,包括产品分类标准、质量标准、检测标准、排放控制标准等<sup>[3]</sup>,大大促进了替代燃料推广应用。2005年欧洲用于协同处理的替代燃料达到了30万t,2007年约500万t<sup>[6]</sup>,2009年通过排放交易系统显示欧盟63个电厂使用了锅炉协同处理废物,2016年欧盟28国使用了1130万t替代燃料<sup>[7]</sup>,2017年德国和芬兰各分布大约有40台电厂锅炉使用替代燃料,燃料替代率为约25%。美国的工业锅炉大量使用工业固废作为替代燃料,燃料替代率一般达到50%<sup>[8]</sup>。

中国对此的研究开始较晚,同样是从垃圾衍生燃料着手研究。2001年中科院工程热物理与日本IHI公司合作,建立了国内第一条垃圾衍生燃料生产线,开启了对替代燃料的实践探索。近年来,中国燃煤电厂掺烧废弃物项目约有数十项,其中以生活污水处理厂污泥为主,其次为工业污泥(印染污泥、造纸污泥、纺织污泥、制革污泥)、农林生物质<sup>[9]</sup>。2018年的《关于燃煤耦合生物质发电技改试点项目建设的通知》将燃煤电厂协同处置固体废物纳入“十四五”发展规划,标志着中国开始较大规模地对燃煤耦合生物质、污泥发电工程的研究。随后各地市也积极响应,陆续推出了地方政策,如天津于2021年发布的《天津市循环经济发展“十四五”规划》明确将固废作为替代燃料使用。2021年由中国工业合作协会编制的固体替代燃料4项团体标准正式发布并实施;2023年由中国环境保护产业协会编制固体回收燃料2项团体标准发布实施,标志着中国固体替代燃料的发展逐渐迈入科学化和标准化。

本文研究国内外替代燃料及标准政策体系的发展历程;并对比分析中国在替代燃料应用探索阶段与美国、欧盟、日本等在产品质量、产品制备及检测、污染排放控制等标准方面存在的差异、问题及原因;最后提出推动中国替代燃料标准体系及相关政策体系建立完善的建议。

## 1 替代燃料标准体系发展历程

### 1.1 国外标准体系发展历程

国外多年来一直在研究将不同类型的废物再处理为替代燃料,随着欧盟替代燃料生产量的增加,陆续推出并不断完善SRF的标准体系。欧盟制定的《废弃物焚烧指令》(2000/76/EC)对替代燃料和化石燃料的共烧排放提出了相应的规范,要求焚烧过程必须设有控制污染的设施和复杂的测试仪表,严格监控焚烧过程中的污染物排放,包含烟尘、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>、CO、HCl、HF以及重金属等<sup>[10]</sup>。德国、芬兰、意

大利等一些国家制定了 RDF 的质量标准,主要关注其物理化学性质,确保满足环境规范<sup>[11]</sup>。美国的 RDF 质量分类标准与其不同,根据 RDF 的加工工序和物理形态将 RDF 分成 7 类<sup>[12]</sup>,并且制定了 RDF 各种理化性质的检测标准。日本 JIS 工业标准针对替代燃料只建立了理化性质的检测标准,无具体的质量分类标准<sup>[13]</sup>。欧盟 2011 年出版了 SRF 分类标准(EN15359—2011),涵盖了质量分类、取样方法、质量管理体系、水分、灰分、有害元素分析、生物质含量等方面<sup>[14-15]</sup>。

国外对于替代燃料的使用具有完善的激励体系。《可再生能源指令》鼓励使用源自废物的燃料,使用者有资格获得可再生义务证书,除了生物质部分产生的电力价值外,还可获得至少 45 欧元/(MW·h)的报酬<sup>[16]</sup>。《气候变化税》针对工商业和公共部门使用的燃料征收税费,使用热电联产、可再生能源等则可减免税收,政策的实施给促使了替代燃料的使用。

## 1.2 国内标准体系发展历程

中国对于替代燃料的研究开始较晚,相关标准体系尚不完善,目前已有替代燃料标准均为团体标准,权威性和强制力不足。团体标准主要涵盖替代燃料分类、制备以及替代燃料在燃煤电厂和水泥窑应用的生产质量控制标准,具体包括中国工业合作协会发布的《固体替代燃料定义与分类》(T/CIC 046—2021)、《固体替代燃料制备技术规范》(T/CIC 047—2021)、《火力发电用固体替代燃料》(T/CIC 048—2021)、《水泥窑用固体替代燃料》(T/CIC 049—2021),中国环境保护产业协会发布《固体回收燃料术语》(T/CAEPI 63—2023)、《固体回收燃料分类与分级》(T/CAEPI 64—2023)、《水泥窑用固体回收燃料》(T/CAEPI 87—2024)等。

替代燃料应用基本参考现存的固体废物相关标准执行。其中,水泥窑中主要参考《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》(GB 30485—2013)<sup>[17-18]</sup>。燃煤电厂主要参照《生活垃圾焚烧污染控制标准》、《火电厂大气污染物排放标准》和相应的地方行业标准,缺乏针对协同处理固体废物的污染排放专项标准。

中国碳排放交易体系主要涵盖电力和热力生产行业。但针对于使用替代燃料的碳核算标准尚不清晰,不能准确地量化使用替代燃料的减碳程

度,比如使用生物质燃料共烧时,生物质发电的碳排放可以看作“零排放”<sup>[19]</sup>,但是使用不同成分的替代燃料的碳排放如何计算尚不明确;其次目前共烧替代燃料的电价补贴政策、碳税政策尚不完善,导致替代燃料应用发展缓慢。

## 2 替代燃料标准对比分析

### 2.1 产品质量标准

欧盟 EN 15359—2011 基于经济特征(低位热值)、技术特征(氯含量)和环境特征(汞含量)三项指标对 SRF 进行分级,均基于不同限值划分为五个等级,侧重污染物控制与能源效率的平衡。美国针对 RDF 制定了分类标准,根据 RDF 的加工工序、粒径、形态及用途将 RDF 分成 7 类(RDF 1-7),其中 RDF 1-5 为固体燃料,重点区分原料形态(如 RDF-3 为筛分破碎料,RDF-5 为致密成型燃料),强调产品适用场景匹配。日本侧重特定燃料类型的精细化规范,主要着眼于致密的垃圾衍生燃料(即 RDF-5),依据低位发热量、水分、灰分和氯含量等关键参数将其划分为四类,制定了一系列完善的标准体系,支撑了焚烧技术的快速发展。

我国《固体替代燃料定义与分类》(T/CIC 046—2021)团标参考了欧盟分级逻辑,根据低位热值、氯含量、汞含量将 SRF 分为 5 级,如表 1 所示。其中低位热值和汞含量(经过换算)的分级限值略严于欧盟标准,氯含量欧盟标准要求更低,Q1 级产品氯含量要 $\leq 0.2\%$ 。燃料中的氯元素会造成氯化物循环富集<sup>[20]</sup>,虽然 T/CIC 046—2021 团标中氯含量则没有规定上限,包含了全品类固体废物,但在 T/CIC 048—2021、T/CIC 049—2021 中分别规定了氯含量的入炉限值,确保在燃烧过程中不会因氯含量过高而导致设备腐蚀和二噁英排放超标。目前,已发表的国际标准 ISO 21640:2021 在欧盟标准 EN 15359—2011 的基础上进行了修改,各项指标限值要求更为严格。T/CAEPI 64—2023 团标是根据低位热值、硫含量、氯含量、汞含量四项指标进行分级,其中氯含量限值较严格( $\leq 1.0$ ),汞含量限值相对宽松,并且增加了全硫含量指标,各项指标建立了兼顾灵活性与严谨性的质量评价体系,但需进一步强化制备规范、指标测定等配套标准的衔接。

重金属元素在替代燃料中的命运一直备受全球关注,但世界各国尚未对替代燃料中重金属的限

表1 SRF分级对比表  
Table1 SRF Grading Comparison Table

分级特性	地区	统计度量/单位	分级				
			1	2	3	4	5
低位热值	T/CIC 046—2021	平均值/(MJ·kg <sup>-1</sup> )	≥25	≥20	≥15	≥10	≥5
	T/CAEPI 64—2023	平均值/(MJ·kg <sup>-1</sup> )	≥20	≥15, <20	≥10, <15	≥6, <10	/
	欧盟	平均值/(MJ·kg <sup>-1</sup> )	≥25	≥20	≥15	≥10	≥3
	ISO 21640	平均值/(MJ·kg <sup>-1</sup> )	≥25	≥20	≥15	≥10	≥3
氯	T/CIC 046—2021	平均值/(wt.%)	≤0.50	>0.50, ≤1.0	>1.0, ≤1.5	>1.5, ≤2.0	>2.0
	T/CAEPI 64—2023	平均值/(wt.%)	≤0.2	≤0.6, >0.2	≤1.0, >0.6	/	/
	欧盟	平均值/(wt.%)	≤0.2	≤0.6	≤1.0	≤1.5	≤3.0
	ISO 21640	平均值/(wt.%)	≤0.2	≤0.6	≤1.0	≤1.5	≤3.0
汞	T/CIC046—2021	中位数/(μg·g <sup>-1</sup> )	≤0.40	>0.40, ≤0.60	>0.60, ≤0.80	>0.80, ≤1.0	>1.0, ≤2.0
	T/CAEPI 64—2023	第80百分位数/(mg·MJ <sup>-1</sup> )	≤0.16	≤0.3, >0.16	≤1.0, >0.3	/	/
	欧盟	中位数/(mg·MJ <sup>-1</sup> )	≤0.02	≤0.03	≤0.08	≤0.15	≤0.50
	ISO 21640	第80百分位数/(mg·MJ <sup>-1</sup> )	≤0.04	≤0.06	≤0.16	≤0.30	≤1.00
全硫	T/CAEPI 64—2023	中位数/(mg·MJ <sup>-1</sup> )	≤0.02	≤0.03	≤0.05	≤0.10	≤0.15
		第80百分位数/(mg·MJ <sup>-1</sup> )	≤0.04	≤0.06	≤0.10	≤0.20	≤0.30
全硫	T/CAEPI 64—2023	平均值/(wt.%)	≤0.5	≤1, >0.5	≤1.5, >1.0		

制标准达成统一。如表2所示,在欧盟,对于汞含量的限制严格,要求不超过10 mg/kg。此外,受燃料中氯和硫的影响,铅和锌在燃烧过程中会形成硫酸盐和氯化物,因此需要对燃料中氯和硫的含量进行监测。数据显示,德国在废物中重金属含量限制方面居全球领先地位。2013年,发布了《水泥窑协同处置固体废物环境保护技术规范》(HJ 662—2013),对投入水泥窑的重金属最大允许投加量进行了严格限制<sup>[21]</sup>。替代燃料相关团标中尚未对除了汞以外的金属元素提出限值要求,有待进一步完善。

## 2.2 产品制备及检测标准

制备技术会影响燃料的性能,可为用户储存、运输和处理燃料提供宝贵信息。《固体替代燃料制备技术规范》(T/CIC 047—2021)对替代燃料的原料接收、制备工艺、储存与预处理、产品运输以及制备工厂等进行全流程规范。欧盟标准规定了替代燃料常见的燃料制备技术,包含分拣、生物处理、粉碎研磨、分选、筛选、洗涤、干燥、均化压实以及除尘九个类别及其具体方法,但替代燃料制备方法属于自愿提供信息,不具备强制性。

表2 各国对替代燃料中重金属等有害物质的限制对比

Table 2 Comparison of Restrictions on Heavy Metals and Other Hazardous Substances in Alternative Fuels by Country

单位:mg·kg<sup>-1</sup>

国家名称	Hg	Cd	Ti	Sb	Cr	Ni	Pb	Cu	Se	As	PCBs	Sb+As+Co+Ni+Pb+ Sn+V+Cr	S/%
西班牙	10	100	100								30	5 000	3
比利时	5	70	30	200	1 000	1 000	1 000	1 000	50	200	30	2 500	3
法国	10										25	5 000	3
德国	0.6				125	80	190	350					
中国	0.23	40			10	640	1 590	7 920		42 80		1 150	

替代燃料的化学(如常量元素、痕量元素、灰分)和物理性质影响着替代燃料的质量以及燃烧特性。美国、日本以及一些欧盟国家均制定了替代燃料理化指标的测定方法标准。日本遵循针对垃圾废物颁布的《密封垃圾生成的燃料》(JIS Z 7302)系列标准,规范和测试替代燃料的各项性能指标,聚焦制备工艺标准化。美国 ASTM(美国材料与试验学会标准)突出检测方法的完整性,包含元素分析、工业分析等 18 项指标的检测矩阵。欧盟使用针对于固体替代燃料的特定测定方法,构建了替代燃料全链条监测体系。而中国目前替代燃料的测试方法均借鉴煤的测定方法。

比较欧盟和中国使用的 SRF 理化性质检测方法标准,可以发现测定的原理大致相同,欧盟以标准化石燃料为基础,根据 SRF 的特性做出了相应的修正。例如热值的测定均是通过氧弹量热法测定,而欧盟对反应中形成的硫酸水溶液和气态二氧化硫之间的能量差异进行了修正。对氯的测定,中国与欧盟使用的测定方法原理相同,但测定过程中采用的吸收溶液略有差异。欧盟对于 SRF 灰分的测定则修正了煤测定的温度,从  $815 \pm 10$  °C 修正为  $550 \pm 10$  °C 的温度。

### 2.3 污染排放控制标准

欧盟 2010 年 12 月发布了《关于工业排放的指令》(2010/75/EU)<sup>1</sup>,该指令是 2008/1/EC、2000/76/EC 等 7 个之前发布的不同行业指令的合并、统一和改进,以解决各行业指令之间的重复和混淆问题,减少不必要的管理负担<sup>[10]</sup>。该标准从共烧燃料性质(固体燃料、生物质燃料、液体燃料)、焚烧锅炉机组功率(以 50/100/300 MW 为界限划分为四个档次)等方面,对粉尘、SO<sub>2</sub>及 NO<sub>x</sub>限定了排放限制,重金属限定了总量及各种含量。据欧盟标准附录中给出的固体废物共同焚烧产生的废气中各有关污染物的限值,总排放限值按如下公式计算:

$$C = \frac{V_{\text{waste}} \times C_{\text{waste}} + V_{\text{proc}} \times C_{\text{proc}}}{V_{\text{waste}} + V_{\text{proc}}}$$

式中,  $C$  为总排放限值,  $\text{mg}/\text{m}^3$ ;  $V_{\text{waste}}$  为来自固体废物焚烧的烟气排放量,当热值低于 10% 时按 10% 计算,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;  $C_{\text{waste}}$  为固体废物焚烧炉排放限值,  $\text{mg}/\text{m}^3$ ;  $V_{\text{proc}}$  为锅炉常规生产时的烟气排放量,  $\text{m}^3/\text{h}$ ;  $C_{\text{proc}}$  为锅炉常规生产时的排放限值,  $\text{mg}/\text{m}^3$ 。

美国已制定了水泥窑、轻骨料窑、固体燃料锅炉、液态燃料锅炉、盐酸炉协同处理危险废物的大气污染物排放标准,对总烃、CO、HCl、二噁英及重金属提出了排放限值要求,对常规酸性气体只列出了

表 3 污染物排放限值对比

Table 3 Comparison of Pollutant Emission Limits

污染物	《生活垃圾焚烧污染控制标准》(GB 18485—2014)	《火电厂大气污染物排放标准》(GB 13223—2011)	《锅炉大气污染物排放标准》(GB 13271—2014)	《燃煤耦合污泥电厂大气污染物排放标准》(DB 31/1291—2021)	单位: $\text{mg} \cdot \text{m}^{-3}$	
					美国	欧盟
总烃					17	
颗粒物	45	30/20	80		39	
SO <sub>2</sub>	150	100/50	400	30		
NO <sub>x</sub>	450	100/100	400	50		
Pb+Cd					0.21	
As+Be+Cr					0.22	
Cd+Ti	0.15			0.01		0.05
Hg	0.075	0.03	0.05	0.01	0.012	0.05
Sb+As+Pb+Cr+ Co+Cu+Mn+Ni+V	1.5			0.08		0.5
二噁英类	0.1			0.02	0.43	0.1
HCl	90			10	127	
CO	150				134	

注:已统一折算为本标准中基准氧含量为 6% 时的排放浓度,斜线后为特别排放限值。

HCl+Cl<sub>2</sub>的要求,对于SO<sub>x</sub>、NO<sub>x</sub>和HF缺少说明,但增加了有机污染物焚毁去除率和HC的要求,并对重金属进行了更进一步的划分<sup>[22]</sup>。

目前燃煤电厂缺乏针对协同处理固体废物的污染排放标准,现阶段锅炉掺烧固体废物的烟气污染物交叉引用不同标准。对于锅炉协同焚烧,首先执行《锅炉大气污染物排放标准》或《火电大气污染物排放标准》,规定了烟尘、SO<sub>2</sub>、NO<sub>x</sub>以及汞及其化合物,其他的污染物排放限值(HCl、二噁英以及重金属等)参照《生活垃圾污染控制标准》,个别项目要求参照地方标准。各标准污染物排放限值对比见表3,在统一折算基准含氧量为6%后,各类污染物排放限值基本与美国、欧盟相当,地方标准均严于美国、欧盟标准。近年来,上海、深圳、天津、福建等地也陆续推出了地方标准,对生活垃圾焚烧污染物的排放做出了更加严格的要求<sup>[23]</sup>。

对于替代燃料和燃煤共烧,排放标准执行单一焚烧的排放限值并不科学。SRF的氯、汞、铅和镉的含量比化石燃料高<sup>[24]</sup>,部分替代燃料挥发分高,氮和硫含量低,使得燃烧后NO<sub>x</sub>和SO<sub>2</sub>的排放低于煤炭,HCl以及重金属有害物排放增多<sup>[25]</sup>。从欧盟《关于工业排放的指令》可以发现对共烧的粉尘、NO<sub>x</sub>和SO<sub>2</sub>排放限值比单一焚烧的限值要低。《水泥窑协同处置固体废物污染控制标准》(GB 30485—2013)已实施,燃煤电厂协同焚烧也亟待制定相应的排放标准。2024年9月,生态环境部发布了《燃煤锅炉协同处理固体废物污染控制标准》(征求意见稿),替代燃料标准体系逐渐开始完善。

### 3 建议及展望

在欧洲,完善的标准体系已使替代燃料成为标准化的商品。相比之下,中国对替代燃料的研究起步较晚,导致目前国内替代燃料市场供给、制备技术、掺混技术、污染物排放标准以及定价补偿机制尚不完善,替代燃料的规模化应用尚未实现。替代燃料的质量分类、理化性质测定、协同焚烧排放等标准的制定可以促进市场的发展。此外,替代燃料的制备技术对其后续的储存和运输也具有重要影响,规范化的产品有利于商业化推广。替代燃料的应用不仅能够直接减少废弃物对环境的危害,也带来显著的经济效益。替代燃料还有助于缓解能源紧张问题,是实现可持续发展战略、建设资源节约

型和环境友好型社会的重要举措。因此,推进中国替代燃料标准体系的建立至关重要。

替代燃料在市场上的广泛推广与交易需要稳定的原材料供给和价格。目前替代燃料制备原料来源的不稳定导致其成本的不确定性,当需求高质量燃料时,其成本可能与煤炭相差甚微。因此,需要出台相关管理和经济政策,逐步减少可燃废物的填埋处理,鼓励低价值可燃废物的资源化利用,发挥政策机制引领作用,确保原料来源的稳定和价格机制的建立。同时,完善替代燃料温室气体排放核算、减排效果评估等标准规范,提升绿色项目的经济收入,促进替代燃料的应用推广。

### 参考文献:

- [1] AHMAD W, HASSAN M, BIN MASUD S F, et al. Proximate and elemental analysis of solid recovered fuel, its comparison with existing fossil fuels in terms of physical characteristics and economic benefits[J]. *Bioresource Technology Reports*, 2022, 18: 101049.
- [2] KAHAWALAGE A C, MELAAEN M C, TOKHEIM L A. Opportunities and challenges of using SRF as an alternative fuel in the cement industry[J]. *Cleaner Waste Systems*, 2023, 4: 100072.
- [3] FLAMME S, GEIPING J. Quality standards and requirements for solid recovered fuels: A review[J]. *Waste Management & Research*, 2012, 30(4): 335–353.
- [4] 张彦军, 谢志成, 刘海龙, 等. 煤粉炉掺烧固体替代燃料的现状 & 展望[J]. *再生资源与循环经济*, 2023, 16(10): 39–42.  
ZHANG Yanjun, XIE Zhicheng, LIU Hailong, et al. Present situation and prospect of coal powder boiler mixed firing with solid recovered fuels[J]. *Recyclable Resources and Circular Economy*, 2023, 16(10): 39–42.
- [5] DeL ZOTTO L, TALLINI A, DI SIMONE G, et al. Energy enhancement of solid recovered fuel within systems of conventional thermal power generation[J]. *Energy Procedia*, 2015, 81: 319–338.
- [6] HILBER T, MAIER J, SCHEFFKNECHT G, et al. Advantages and possibilities of solid recovered fuel cocombustion in the European energy sector[J]. *Journal of the Air & Waste Management Association*, 2007, 57(10): 1178–1189.
- [7] SARC R, SEIDLER I M, KANDLBAUER L, et al. Design, quality and quality assurance of solid recovered fuels for the substitution of fossil feedstock in the cement industry—Update 2019[J]. *Waste Management & Research*, 2019, 37(9): 885–897.
- [8] ETSAP. *Industrial Combustion Boilers*. Energy Technology Network, 2020.
- [9] 张晴, 莫华, 徐海红, 等. 燃煤电厂掺烧废弃物现状及环境管理建议[J]. *环境工程*, 2020, 38(6): 202–207.

- ZHANG Qing, MO Hua, XU Haihong, et al. Present situation of co-combustion of waste and coal in power plants and suggestions on environmental management[J]. Environmental Engineering, 2020, 38(6): 202-207.
- [10] European Commission. Directive 2010/75/EU of the European Parliament and of the Council of 24 November 2010 on industrial emissions.
- [11] GALLARDO A, CARLOS M, BOVEA M D, et al. Analysis of refuse-derived fuel from the municipal solid waste reject fraction and its compliance with quality standards[J]. Journal of cleaner production, 2014, 83: 118-125.
- [12] 吴浩, 谭玲君, 沈竑. 国内阻碍垃圾衍生燃料推广应用的原因分析[J]. 科技创新导报, 2019, 16(22):123-126.
- WU Hao, TAN Lingjun, SHEN Hong. Analysis of the reasons for hindering the promotion and application of waste derived fuels in China[J]. Science and Technology Innovation Herald, 2019, 16(22):123-126.
- [13] 刘晨, 王昕, 颜碧兰, 等. 水泥窑用可燃固体回收垃圾标准的研究进展[J]. 水泥, 2014(5):1-8.
- [14] 张彦军, 谢志成, 董强, 等. 替代燃料应用于燃煤发电厂的碳排放研究[J]. 能源与环境, 2024(2):70-72+88.
- [15] 任超峰, 方朝军, 夏小栋, 等. 城市生活垃圾固体回收燃料在中国的发展前景[J]. 现代化工, 2019, 39(9):1-4.
- REN Chaofeng, FANG Chaojun, XIA Xiaodong, et al. Development prospect of solid recovery fuels from municipal solid wastes in China[J]. Modern Chemical Industry, 2019, 39(9):1-4.
- [16] IBBETSON C, CHAPPELL J, WENGENROTH D K. European market development—solid recovered fuel from MBT plants[Z]. Presented at international symposium MBT. Hanover, Germany. 2005.
- [17] 刘晨, 颜碧兰, 肖忠明, 等. 我国水泥标准体系的现状及发展[J]. 中国水泥, 2020, (9):36-41.
- [18] 于鉴兰, 李紫龙, 罗丹, 等. 城市固体废弃物制备衍生燃料技术研究进展及应用现状[J]. 能源与环境, 2023, (6):151-153+160.
- [19] 毛健雄. 燃煤电站 CO<sub>2</sub> 减排技术的探讨[J]. 分布式能源, 2017, 2(1): 35-43.
- MAO Jianxiang. CO<sub>2</sub> emission reduction technology for coal-fired power plant[J]. Distributed Energy, 2017, 2(1): 35-43.
- [20] 贾婷, 罗立群. 城市生活垃圾固体替代燃料的制备技术及应用[J]. 环境工程技术学报, 2024, 14(1):231-238.
- JIA Ting, LUO Liqun. Preparation technology and application of solid recovered fuels from municipal solid wastes[J]. Journal of Environment Engineering Technology, 2024, 14(1):231-238.
- [21] 鱼红霞. 北京市生活垃圾焚烧飞灰安全处置技术路线分析[J]. 环境影响评价, 2021, 43(2):74-79.
- YU Hongxia. Analysis of technical route for safe disposal of flying ash from Beijing municipal solid waste incineration[J]. Environmental Impact Assessment, 2021, 43(2):74-79.
- [22] US EPA. National Emission Standards for Hazardous Air Pollutants from Hazardous Waste Combustors. CFR Title40 Part63 Subpart EEE.
- [23] 王文仲, 孟素丽, 王丽平. 我国生活垃圾焚烧及燃煤耦合发电现状与行业发展趋势[J]. 煤质技术, 2022, 37(4): 1-8.
- WANG Wenzhong, MENG Suli, WANG Liping. Development situation and trend of waste incineration and coal-fired coupling power generation industry in China[J]. Coal Quality Technology, 2022, 37(4): 1-8.
- [24] RADA E C, SQUAZARDO L, IONESCU G, et al. Economic viability of srf co-combustion in cement factory[J]. UPB Scientific Bulletin, Series D: Mechanical Engineering, 2014, 76(3): 199-206.
- [25] 蒋旭光, 吴磊, 李晓东, 等. 固体回收燃料焚烧技术的研究现状及发展方向[J]. 环境污染与防治, 2018, 40(10): 1181-1187.
- JIANG Xuguang, WU Lei, LI Xiaodong, et al. State and developing direction on solid recovered fuel incineration technology[J]. Environmental Pollution & Control, 2018, 40(10): 1181-1187.



**第一作者简介:**冯鸣凤(1985—),女,高级工程师,主要从事固废资源化、清洁生产、减污降碳路径技术等方面的研究, fengmingfeng@taes.org;



张莹(1978—),女,工程师,主要从事大气污染防治、生态环境分区管控及规划环境影响评价等方面的研究, 274873127@qq.com;



莫雨晨(1988—),男,助理工程师,主要从事环境监察、环评以及排污许可等方面的研究, moyc@teda.gov.cn;



王彦卓(1988—),女,工程师,主要从事工业园区生态环境行政管理、生态环境行政许可等方面的研究, wangyanzhuo@teda.gov.cn;



张彦军(1987—),男,高级工程师,主要从事替代燃料在燃煤电厂掺烧等方面的研究, zyj3352@126.com;



谢志成(1983—),男,工程师,主要从事固废资源化、减污降碳实践等方面的研究, xiezhicheng@taes.org。

(编辑 沈凡卉)