

Exploration of a New Model for Coupling Waste Heat to Cow Dung-based Coal Fuel in Thermal Power Plants

Kaiming Liu

Datang Nanjing Environmental Protection Technology Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 211111, China

Abstract

In the context of the country's vigorous promotion of low-carbon transformation in coal-fired power, this article responds to the requirements of the "Coal Power Low Carbon Transformation Action Plan 2024-2027" by proposing an innovative model for preparing coal-like fuel using the waste heat from thermal power plants to dry and bake cow dung. This model establishes a seasonal collection and storage mechanism for cow dung, utilizing low-temperature waste heat from the power plant as a heat source to dry, bake, and pelletize the cow dung, ultimately transforming it into a new type of coal-like fuel that can partially replace coal. Research indicates that this technological pathway effectively utilizes the waste heat resources of power plants, enhances the overall energy utilization efficiency, and promotes the resource-based use of livestock manure. This process not only reduces carbon emissions from coal-fired power generation and mitigates environmental pollution caused by livestock waste but also creates new profit growth points for power plants through fuel substitution and waste management, providing a feasible solution for the low-carbon transformation of the coal power industry through "waste treatment" strategies, which has significant potential for promotion.

Keywords

Thermal power plants; Utilization of waste steam; Resource recovery of cow dung; Coal-like fuels; Low-carbon transformation

火电厂废热耦合牛粪制类煤燃料的新模式探索

刘凯鸣

大唐南京环保科技有限公司, 中国·江苏南京 211111

摘要

在国家大力推进煤电低碳化改造的背景下, 本文响应《煤电低碳化改造2024-2027行动方案》要求, 提出利用火电厂乏汽烘焙牛粪制类煤燃料的创新模式。该模式通过建立季节性牛粪收储机制, 将电厂低温乏汽作为热源, 对牛粪进行干燥、烘焙和压块处理, 最终转化为可替代部分燃煤的新型类煤燃料。研究表明, 这一技术路径既能有效利用电厂废热资源, 提高能源综合利用率, 又能实现禽畜粪污的资源化利用。该工艺在降低火电碳排放和畜禽废弃物污染产生环境效益的同时, 通过燃料替代和废弃物处理收益为电厂创造新的利润增长点, 为煤电行业低碳转型提供了一种"以废治废"的可行方案, 具有推广价值。

关键词

火电厂; 乏汽利用; 牛粪资源化; 类煤燃料; 低碳化改造

1 引言

近年来, 全球能源结构转型和应对气候变化已成为世界各国关注的焦点议题, 能源领域仍然是全球温室气体排放的主要来源, 燃煤电厂因其单一燃料种类和巨大的装机容量, 成为温室气体排放的核心来源^[1]。

2024年6月, 国家发展改革与国家能源局联合发布了《煤电低碳化改造建设行动方案(2024—2027年)》, 要求通过技术革新与燃料结构优化并行的方式, 在确保电力供应稳定可靠的基础上, 显著降低煤电单位发电量的碳排放强度^[2]。

方案强调了生物质掺烧技术、工业余热回收利用以及碳捕集与封存技术(CCS)等多个重要低碳技术^[3]。与此同时, 伴随规模化畜牧业的迅速扩张, 畜禽粪污的资源化利用问题也逐渐凸显。统计数据显示, 我国每年牛粪的产生量已超12亿吨, 其中相当比例尚未得到有效资源化利用, 造成了严重的资源浪费和环境风险^[4]。

另一方面, 火电厂产生的低品位热能, 年损失热能折合标煤数量高达数十万吨。若能够将这一大量低品位热能用于生物质尤其是高含水率的牛粪处理, 不仅提高了火电厂整体的能源利用效率, 还可大幅降低生物质燃料制备过程中的能源消耗, 形成资源高效循环利用的闭环模式。

基于以上背景, 本文提出一种创新性模式, 即将火电厂乏汽余热与牛粪干燥烘焙工艺相耦合, 制备新型类煤燃

【作者简介】刘凯鸣(1981-), 男, 中国江苏南京人, 本科, 工程师, 从事类煤颗粒开发与脱硝催化剂研究。

料。该模式旨在实现低品位热能的高效梯级利用和畜禽粪污的资源化处置双重目标，为煤电行业的低碳化转型提供有价值的理论依据与实践参考。

2 火电厂乏汽与牛粪特性分析

2.1 火电厂乏汽特性

火电厂汽轮机在做功后排出的乏汽蕴含着丰富的低品位热能，但由于其热量等级较低，传统处理方式多为通过冷却塔进行冷却处理，将其中大量热量直接排放到环境中，能源利用效率极低，造成严重的热能浪费^[5]。据估计，一座典型规模的300MW燃煤电厂，每年因乏汽直接排放所损失的热量折合成标准煤可达到数百万吨。这不仅意味着能源资源的巨大浪费，也增加了环境热污染风险。

表1 列出了不同规模燃煤机组乏汽余热的理论潜力估算值：

机组容量 (MW)	乏汽流量 (t/h)	乏汽温度 (°C)	年可回收热量 (TJ)	折合标准煤 (万吨/年)
300	350~400	50~60	1200~1400	2~3
600	700~800	55~65	2400~2800	4.5~5.5
1000	1100~1200	60~70	3600~4200	6.5~7.5

2.2 牛粪特性

规模化畜牧业生产过程中产生的牛粪含水率高，其含水率通常处于70%~85%的范围，若长期堆放，极易发生腐败发酵过程，释放恶臭气体和甲烷等强效温室气体，对周边环境和气候均造成不利影响^[6]。

在成分方面，牛粪中富含有机质，干基有机质含量一般可达60%，主要包括纤维素、半纤维素、木质素以及一定比例的蛋白质和脂类^[7]，这些成分在燃烧过程中可释放出较高热量。其干基低位热值通常为16 MJ/kg，与部分低阶褐煤的热值接近^[8]。通过科学的脱水与干燥工艺，特别是将含水率降低至15%以下后，牛粪热值可进一步提升并稳定在18 MJ/kg，燃烧性能显著改善。

3 制备新型类煤燃料的技术方案

3.1 牛粪收购策略

鉴于牛粪产量具有显著的季节性波动和周期性变化，制定科学、合理且具有前瞻性的收购策略对于保障原料供应连续性和降低原料成本具有关键意义。在养殖旺季，尤其是春季和秋季，牛粪产量会显著增加，应适当扩大收购规模以充分利用充足的原料资源。为确保储存安全性与处理效率，应建设专用的牛粪暂存与预处理设施，如封闭式发酵池或密闭储粪棚。

3.2 基于乏汽的牛粪烘焙工艺

3.2.1 预处理阶段

牛粪原料需经机械破碎机处理，以提升干燥效率与成型均匀性。随后，通过磁选装置去除可能混入的金属杂质。之后，可按工艺要求添加固化剂、助燃剂或无机矿物填料，

以改善燃料的成型性能、机械强度和燃烧特性，为生产高品质类煤燃料奠定基础。

3.2.2 预干燥阶段

预处理后的牛粪进入预干燥环节，利用火电厂乏汽余热作为主要热源。在这一阶段，牛粪含水率可从70%~85%降至约50%，显著减少后续深度烘焙所需的热能投入，提高整体热利用效率。

3.2.3 深度烘焙阶段

经过预干燥的牛粪进入深度烘焙阶段。此时，利用锅炉尾部烟气余热（可通过热管换热器将空气加热至150~180°C）对牛粪进行进一步干燥和烘焙。在滚筒烘干机中，牛粪与高温热风同向流动，经过1~1.5小时的烘焙，含水率可降低至15%~20%。在此含水率下，牛粪的热值可稳定在16~18 MJ/kg，基本达到类煤燃料的热值要求。

3.3 压块成型与储存

烘焙后的牛粪粉料经冷却至常温后，进入压块成型工序。在100~150 MPa的压力下，将粉料压制尺寸为30×30×50 mm的块状燃料，密度可达1.2~1.5 g/cm³。压块后的类煤燃料便于储存和运输，可存入封闭料仓，储存时间可达6~12个月。在火电厂需要时，可直接取用进行掺烧；若市场需求合适，也可外售给工业窑炉等其他用户。

4 效益分析

4.1 环境效益

4.1.1 减少温室气体排放

以一台额定容量为660兆瓦的燃煤机组为例，若按照10%的质量比例掺烧牛粪类煤燃料进行年度运行测算，全年可消纳牛粪约20万吨。这部分生物质燃料的替代作用相当于节约标煤约8.5万吨，从而在燃料采购环节直接减少了对化石能源的依赖。

4.1.2 解决牛粪污染问题

将牛粪通过干燥、烘焙和成型等工艺转化为高品质类煤燃料，不仅能够显著减少长期堆存的粪污体积，降低土地资源占用率，还能从源头上抑制因自然堆放而产生的甲烷、氧化亚氮等强效温室气体排放。据研究，甲烷的温室效应潜能(GWP)约为二氧化碳的28倍，氧化亚氮则高达265倍，因此减少此类气体的释放对于缓解全球气候变暖具有重要意义^[10]。

4.2 经济效益

4.2.1 降低发电成本

对于燃煤火电厂而言，将经过干燥和压块处理的牛粪类煤燃料按比例掺烧，不仅能够部分替代价格波动较大、采购成本较高的动力煤，还能有效降低燃料结构对化石能源的依赖度。以华能上都电厂为例，其60万千瓦机组在试验阶段实现了17.1%的高比例掺烧运行。按照该比例推算，单台机组每年可消纳牛粪约20万吨，等效替代标煤约8.5万吨。

4.2.2 创造新的经济增长点

火电厂除可将制备的类煤燃料用于自有机组掺烧外,还可根据市场需求将部分燃料对外销售,拓展新的经济增长点。类煤燃料因其燃烧性能优良、低硫低灰、可直接替代部分动力煤,在工业锅炉、水泥窑、区域供热等领域均具有较高的市场应用价值。

5 挑战与应对策略

5.1 技术挑战

5.1.1 原料质量波动

牛粪原料的质量受季节变化、气候条件、饲养方式及饲料组成等多重因素的显著影响,波动性较大。尤其在雨季或高湿度天气条件下,牛粪含水率往往会显著上升,不仅增加了原料运输重量和体积,还会提高干燥与烘焙环节的热能消耗,直接增加了燃料制备的总体成本。

为应对这一问题,应优先建设封闭式干化与储存车间,隔绝外部雨水与湿气的侵入,并利用火电厂乏汽余热对高含水率牛粪进行预干化处理,以在源头阶段降低水分含量。

5.1.2 设备腐蚀与维护

牛粪原料中通常含有一定量的酸性物质和腐蚀性成分,如有机酸、氯化物及部分含硫化合物。在高温烘焙和干燥过程中,这些成分可能以气相或凝结液形式与设备表面接触,腐蚀不仅会影响生产连续性,还可能增加非计划检修频率与运行成本^[1]。

为降低腐蚀风险,应在设备选型与设计阶段优先采用耐腐蚀性能优异的金属材料。例如,在换热器、热风管道、干燥机内壁等关键部位,可选用耐硫酸露点腐蚀钢、不锈钢316L或其他耐氯耐酸钢种,以提高设备在高湿、高腐蚀环境下的运行稳定性。

5.2 市场挑战

5.2.1 类煤燃料市场竞争

尽管类煤燃料在燃烧性能、碳排放以及一定的成本控制方面具备优势,但现有能源市场格局中,传统煤炭因其价格体系成熟、供应渠道稳定且用户接受度高,依然占据绝对主导地位,新型燃料的市场渗透往往受到限制。

针对这一情况,火电厂应采取多元化的市场开拓策略。首先,主动与工业窑炉、小型热电厂、区域供热企业等潜在用户建立战略合作关系,开展燃料性能测试与掺烧示范运行。其次,结合各行业的用能特点制定差异化的供货方案与价格策略,以增强用户黏性和市场竞争力。

5.2.2 牛粪供应稳定性

在类煤燃料的规模化生产过程中,原料供应的持续性与稳定性是保障生产能力和经济效益的核心前提。牛粪收集目前主要依赖于周边规模化养殖场,然而受地理位置和交通条件制约,运输半径普遍不宜超过50公里。为应对上述问题,应在主要牧区和养殖集中区科学规划和建设牛粪收集与

周转站,形成“多点分布、集中转运”的原料供应网络。此外,应与多家养殖场建立长期稳定的合作关系,并在合作协议中明确供货数量、质量标准及价格机制,以分散单一来源带来的供应风险。

6 结论

火电厂利用乏汽余热烘焙牛粪制备新型类煤燃料,不仅契合《煤电低碳化改造2024—2027行动方案》提出的技术路径,也是推动煤电行业绿色低碳转型的切实可行举措。环境效益方面,该技术能够有效替代部分化石燃料,显著减少温室气体排放,同时解决了牛粪堆存带来的各类污染问题。经济效益方面,通过降低煤炭采购量、提高余热利用效率及拓展燃料外售市场,不仅显著降低发电综合成本,还可创造新的利润增长点,增强火电企业在低碳能源市场的竞争力。

尽管在推广过程中仍面临技术与市场方面的挑战,但通过建设完善的原料收集体系、优化干燥与烘焙工艺、采用耐腐蚀材料,结合多元化市场开拓与碳排放权交易机制,有望在煤电行业实现规模化的商业应用。综上,该技术路径不仅为我国煤电行业的低碳化改造提供了有力支撑,也为实现“双碳”战略目标、推动能源与农业废弃物协同发展提供了广阔的应用前景。

参考文献

- [1] 严家辉,何松,王珺瑶,等.基于?生命周期分析的直接空气碳捕集技术可持续性研究[J/OL].中国环境科学,1-12.
- [2] 温华,田梦媛.德国的新电力战略:押注氢能[J].世界环境,2024,(04):74-76.
- [3] 谢东泽.“双碳”目标下浙江省电力行业低碳转型:结构优化、技术创新与制度协同[J].中国集体经济,2025,(22):49-52.
- [4] 陈冠益,唐彤彤,孙昱楠,等.农村有机废弃物处理现状及商业模式探索[J/OL].环境工程,1-25.
- [5] 丛海亮,李宜鹏,焦阳.垃圾焚烧发电厂烟气余热回收利用技术的研究[J].电站系统工程,2025,41(04):38-40.
- [6] 盛斌.牛粪的处理与资源化利用[J].安徽农学通报,2019,25(11):132-134.
- [7] 张文成.燃煤机组中新型生物质牛粪直燃技术的效益与关键技术研究[J].能源科技,2025,23(03):36-39.
- [8] 高豪杰,樊永胜,熊新,等.高水分褐煤气化技术研究进展[J].石油化工,2019,48(01):88-93.
- [9] 周敏.《生物能源系统的温室气体平衡》(节选)英译汉翻译实践报告[D].山东科技大学,2019.
- [10] 蔡炜,秦缘,陈浩田,等.干湿交替灌溉和生物质炭施用对稻田碳汇与甲烷排放的影响及其机理研究进展[J].中国稻米,2024,30(06):7-14.
- [11] 王加刚,任艳群.清洗对节能减排的意义[J].清洗世界,2010,26(09):17-20.