

微波干燥褐煤技术发展前景及政策分析

Development Prospect and Policy Analysis of Microwave Drying Lignite Technology

孙喆¹ 李天豪^{1*} 刘子铭²

Zhe Sun¹ Tianhao Li^{1*} Ziming Liu²

1. 山东科技大学 中国·山东 青岛 266590

2. 西南财经大学 中国·四川 成都 610074

1. Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong, 266590, China

2. Southwestern University of Finance and Economics, Chengdu, Sichuan, 610074, China

摘要: 论文梳理了微波干燥褐煤技术的现状, 论述了中国褐煤微波干燥技术的研究进展, 并分析了微波干燥技术的未来发展趋势及其经济性。结合中国干燥技术应用市场现状及国家战略、政策的制定, 讨论了微波干燥技术的商业及技术优势。

Abstract: This paper combs the current situation of microwave drying lignite technology, discusses the research progress of lignite microwave drying technology in China, and analyzes the future development trend and economy of microwave drying technology. Combined with the current situation of China's drying technology application market and the formulation of national strategy and policy, the commercial and technical advantages of microwave drying technology are discussed.

关键词: 经济性; 煤炭; 微波; 干燥

Keywords: economy; coal; microwave; drying

DOI: 10.12346/etr.v3i12.5101

1 引言

煤炭在中国能源产业结构中占据极为重要的一环。但自2021年起, 煤炭价格涨幅以及中国限电等一系列的政策引发了社会广泛的关注。伴随着国际煤炭价格的持续上涨, 中国也出台了一系列政策来确保煤炭的供应。在中国, 煤炭资源的高效利用一直是一个亟待解决的问题。由于中国工业化体系对优质煤炭的需求增加, 也使得对低阶煤的开发利用愈发重要。据数据显示, 在中国1145亿吨煤炭资源探明储量中, 低阶煤的储量约占一半。并且低阶煤具有灰分低、挥发分高、活性高等优点; 但其热稳定性差、含水量高也大大降低了其可利用性和经济性。而脱水提质后的低阶煤既能够代替优质煤资源, 也能减少资源浪费和环境污染。

当前中国的研究主要致力于针对性解决含水率、风化自燃等问题, 开发低能耗、低环境负荷的技术方法。目前, 较为成熟的脱水提质技术主要包括蒸发干燥和非蒸发脱水提

质两种。微波干燥技术常常被应用于原料干燥的工业生产中。有研究指出, 微波处理能够改变低阶煤炭的理化特性, 使其更加适应于工业生产。论文将会针对微波干燥低阶煤的技术、市场及经济性等方面进行讨论。

2 中国煤炭行业供需政策分析

2.1 供给侧改革以来煤炭产业政策分析

早在2018年4月, 发改委等六部委联合下发了《关于做好2018年重点领域化解过剩产能工作的通知》, 提出要不断提高煤炭供给体系质量, 由总量性去产能为主转向系统性去产能、结构性优产能为主。近日, 国家发改委印发了《完善能源消费强度和总量双控制度方案》, 明确了新时期做好能耗双控工作的总体要求和目标, 对碳达峰、碳中和目标实现发挥重要支撑作用。综上可得, 在此背景下, 褐煤微波干燥技术的市场应用将会在长期有效缓解中国动力煤的供给不足的问题, 同时建立以绿色环保生产的产能结构。

【作者简介】孙喆(1999-), 中国甘肃兰州人, 本科, 从事清洁能源技术研究。

【通讯作者】李天豪(1998-), 中国江西南昌人, 本科, 从事清洁能源技术研究。

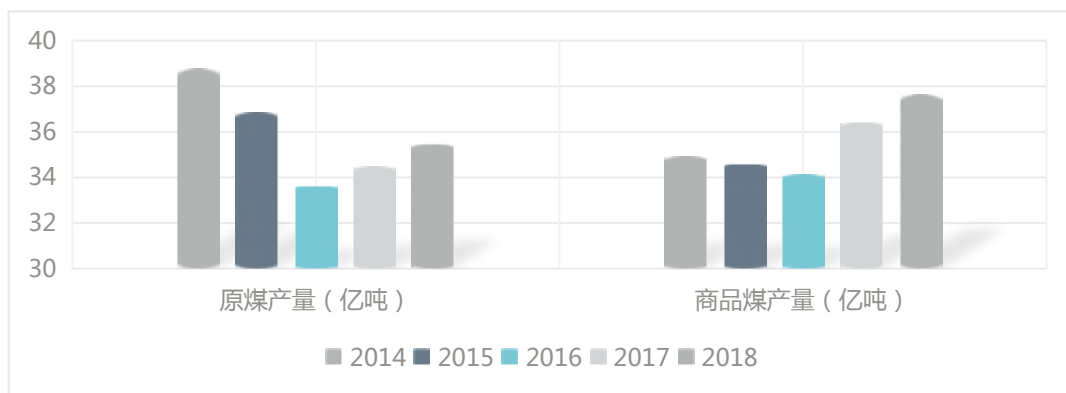


图1 中国煤炭产能结构分析柱状图

2.2 中国煤炭产能结构分析

中国煤炭产能结构分析，见图1。

从2014—2018年全国原煤产量可看出，在煤炭行业供给侧需求调整之后，中国合法原煤产量逐渐下降至35亿吨，而煤炭需求则缓慢上升至37亿吨。国家能源局于2019年发布第2号公告，截至2018年12月底，中国的煤炭生产点为3373处，年产量为35.3亿吨，而根据中煤协2019年3月份发布的《2018煤炭行业发展年度报告》，截至2018年底煤矿总数量5800处，平均产能约92万吨/年，行业总产能仍有约53亿吨，这也就意味着行业仍存在1400多处、合计7亿多吨的违法违规产能。

由此可见，在供给侧需求调整后，面临中国日益增加的煤炭消费需求，从短期从煤炭消费平衡角度和长期产业集聚高效环保的角度，微波干燥技术的应用均具有重要作用。

2.3 进口煤炭情况分析

进口煤炭情况分析，见图2。

中国煤炭进口主要来自澳大利亚、印尼、俄罗斯和蒙古。四国的煤炭进口量占国内主要进口国进口总量的96%。2019年以来由于主产国煤炭供应稳定、全球经济增速回落、中国清关等因素，海外煤价跌幅较深，内外煤价差明显扩大。但是在今年，由于国际形势及各种因素的影响，CCI进口5500动力煤价格已涨至548元/吨。

目前，进口干预成为政府调控煤价重要手段之一。自2017年以来，政府为了稳定中国煤炭价格体系，保护中国供给侧供应，会在必要的时候出台限制性措施。在煤炭消费旺季等时期，或又放开煤炭进口，促进煤炭行业保供应稳价格。在中国褐煤主要由印尼进口的现有国情下，宋立信等分析了锅炉运行的经济性得出了随着掺烧褐煤比例增加，锅炉热效率下降，厂用电率上升，供电煤耗增加的结论。

3 褐煤的水分赋存形态

褐煤中通常会有不同赋存形式的水，同时导致移除其所需要的能量不同。Junjie Liao等，将褐煤中的含水形式分为游离水和可冻结结合水，并通过微波干燥和固定床干燥两种过程的比较，确定了600W功率微波处理配合固定床能够达到干高效和节能处理的平衡。肖宝清等通过对多种煤孔隙特性的研究得到，不同孔径的孔具有不同的吸水作用。并且由于褐煤煤化程度降低，内部具有较大的内表面积和复杂的孔隙结构，这些都使褐煤能够保有较高的含水量。同时，褐煤中多种形式的水与其表面的结合程度不同，这也直接导致了需要不同程度的能量才能够将其去除。

注意到，煤中的含水量会很大程度上影响气体储存和流动行为。有研究指出，煤基质中的水份会阻碍气体扩散效率，进一步阻碍气体的产生效率，也降低了效率和经济性。

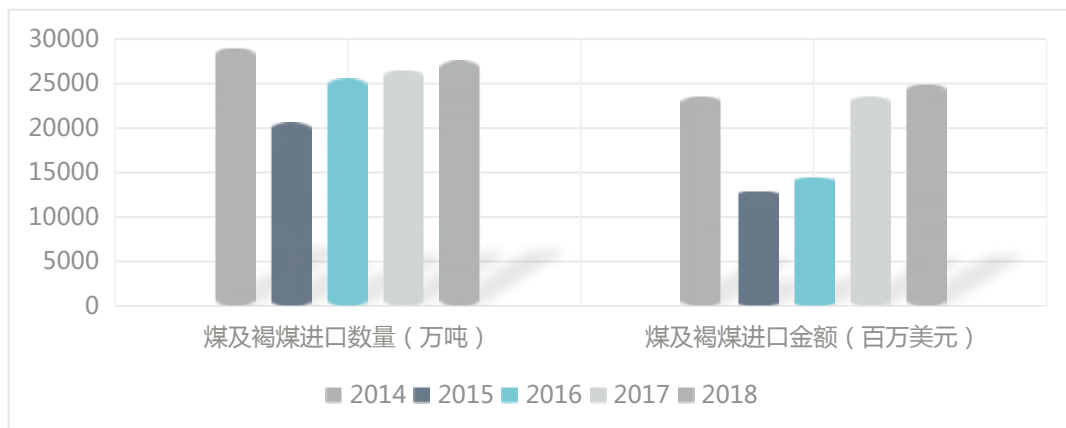


图2 进口煤炭分析柱状图

Zhejun Pan 等通过对相同煤样上的煤基质膨胀量和杨氏模量进行的实验测量表明, 基质含水量对于气体吸附速率、机械性能等性质具有重大影响, 且从干煤到饱和煤, CH₄ 的大孔扩散率和微孔扩散率均降低了 82% 以上。

高含水量对于煤的储存和运输造成了极大的困难。其直接液化会产生较多的氢, 会导致环境污染, 而炉膛中蒸发时会吸收一定的热量, 进而影响整体的热经济性。因而, 大量的研究人员将目光着眼到了高效干燥技术上。

4 微波干燥技术应用现状及经济效益分析

微波加热是一种常见的电加热方式。其原理是部分物质会在微波场中吸收能量而快速加热。与传统的热量交换方式的长时间、高耗能、低效率不同, 微波能够穿透物质内部直接作用。并具有较强的瞬时性、整体性、高效性、易操作性。早在 20 世纪 40 年代就有了去除物料水分的应用, 当前在煤炭工业中被广泛地应用于除湿干燥、预处理、脱硫、热解等工艺中。

4.1 微波干燥技术国内外的研究应用现状

由于选择性加热与容积式加热的原因, 微波加热在除水方面效果极佳。Jinxin Huang 等通过多物理场仿真, 获知微波加热对激发频率高度敏感。在相同的能量输入下, 不同的功率不会影响整体加热效果, 但较高的功率会导致较大的热异质性, 且在 2.45GHz 和 1.0kW 下, 含水量为 5% 的煤样品具有最佳的微波加热效果。Whittles 通过电、热和力学耦合模型, 研究了方解石主体中具有随机散布的黄铁矿颗粒的微波压裂, 通过计算了热传导及应力, 证明了微波干燥技术在传热传质方面的优势。

虽然, 诸多优势表现了微波干燥技术具有极大的应用前景, 但是伴随着微波干燥技术的环境安全问题、产业化规模化仍然有着诸多问题。Jinxin Huang 等指出, 当前主流的数值模拟方法难以确保数据和结果的精确度, 但通过实验研究指出微波的穿透深度并不能完全普适与现场操作的要求。目前, 鲜有能模拟煤层的大型模拟软件, 如何在保持精度的情况下, 优化对于模型体积的需求, 将决定是否能够推进技术进一步工业化应用。并且, 有实验研究指出, 低阶煤通常表现出较大的微波传播衰减的性质, 并且这一性质由于褐煤具有较高的含水量, 所以表现得更为明显。

为推进微波干燥技术的实用性, 有诸多学者关注了提质改性方面的研究。Zhou 等通过实验获知一定量的盐类化合物, 如 NaCl 可以使煤粉混合物的介电损耗因子提高。并且进一步发现钠盐、氯盐对于介电性质的影响更为显著。另外, Meikep 等针对灰分含量的影响进行了研究, 并发现高灰分含量的煤种具有更好地提质改性效果。低阶煤具有易于自燃的特性且微波对于人体的影响也是制约技术产业化的重要问题。姜晓威在生物炭辅助褐煤微波干燥特性研究的实验中报告了多次在微波干燥过程中出现自燃的情况。S.M.Melody

等发现, 煤矿火灾会导致周边社区暴露于高浓度的不完全燃烧产物及有毒成分环境中。短期内可能会造成呼吸困难等情况, 同时根据暴露程度和受影响区域的大小, 甚至可能造成心血管疾病以致区域死亡率提高。并且大型微波设备产生的电磁场的作用可能会影响周围的生态环境、生物的遗传变化以及操作人员生命健康。针对以上问题, Zhou 等通过实验对内蒙古褐煤进行微波处理, 发现可以减少褐煤高亲水性的氧官能团, 提高褐煤的煤价。Li 等对褐煤以及生物质等固体废物进行微波预处理, 发现与未处理煤样相比, 微波预处理的煤样的活化能升高, 从而降低自燃的可能性。Yuan 等也发现微波处理降低了煤的孔隙结构并破坏了煤表面的活性基团, 使褐煤的自燃倾向性降低。但受制于自燃机理的研究尚且有限, 难以直接对于技术产生直接的提升。另外, 在煤炭干燥的工艺技术方面, 多联合干燥脱水技术被视为主要的发展方向之一。由于微波干燥具有较高耗能以及当水分含量较低时易于出现热解的特点, Junjie Liao 等结合固定床干燥速度较慢的情况, 通过两者的结合, 在提高效率降低能耗的同时, 也能够避免干燥过程中释放出挥发物和燃烧的可能。结合当前研究现状, 目前现有技术匹配工业产业化还较为困难, 主要亟待解决的问题包括整体脱水及提质改性的深入研究, 针对不同煤种、煤质的干燥脱水优化方案及其热经济性的提高, 以及生产安全包括但不限于自燃抑制及监控等方面。

4.2 微波干燥褐煤的经济效益分析

随着中国电力体制改革的不断深入, 电煤价格会给燃煤发电企业经济效益带来很大的影响, 目前电煤成本占火电企业总成本的 75% 左右。对褐煤干燥后的经济效益分析针对节约运力和提高热值两方面。在 2019 年 9 月浩吉铁路全线贯通前, 中国的主要铁路运煤通道主要集中在“三西”煤外运通道、出关运煤通道和向华东地区调运煤炭的铁路运输通道。其中, 中国“三西”地区煤炭铁路外运通道主要由北通路、中通路和南通路三大横向通道组成。褐煤干燥节省了运力成本。建立计算模型分析褐煤干燥后的运输经济性, 可按下式计算:

$$M = TC \cdot H(r) \cdot D \cdot L \cdot P \quad (\text{式 } 1)$$

式中, M 为节省的年运输成本, 单位亿元; TC 为褐煤总消费量, 单位 t; H(r) 为水分干燥率, 单位 %; L 为运输路程, 单位 km; P 为每公里铁路运输价格, 单位元 / km。

根据国家发展改革委下发的《关于调整铁路货运价格进一步完善价格形成机制的通知》, 铁路货物基准统一运价为 15.51 分。首先, 预设中国煤炭消费量为 35.5 亿吨, 褐煤消费量为煤炭消费总量的 17%, 运输方式为铁路。以西煤东输为例进行计算, 从中国山西省大同市运送到山东省济南市, 总里程为 640km。则 2018 年将所有褐煤的水分干燥 18% 后可节约成本为:

$$Cost = 35.5 \times 0.17 \times 0.18 \times 640 \times 0.1551 = 80.02 \text{ (亿元)}$$

再未考虑设备的折旧和人员薪酬的情况下已然可节省下巨额成本。

建立计算模型分析褐煤干燥后的能耗经济性,可按式计算:

$$V = TC \cdot H(r) \cdot E \quad (\text{式 2})$$

式中, V 为减少的能耗,单位亿元; TC 为褐煤总消费量,单位 t; H(r) 为水分干燥率,单位%; 每吨煤的水分每干燥 1% 所能获取的热值,单位 kJ。

如果煤炭水分每增加 1%, 它的低位热值就要下降 313.62kJ/kg, 按 1kJ 为 2.16 分计算, 每吨煤的水分每干燥 1% 所能获取的热值为: $313.62 \times 0.0216 = 6.77$ 元。中国 2018 年煤炭总消费量为 35.5 亿吨, 褐煤约占 17%。则褐煤干燥 18% 的水分可创造的价值为:

$$\text{Value} = 35.5 \times 0.17 \times 0.18 \times 6.77 = 735.425 (\text{亿元})$$

5 结语

论文指出,在当前煤炭资源供应紧张,优质煤炭用量大、来源少、依赖进口的大背景下,微波干燥为中国低阶煤炭的使用提供了一种可行的工艺。就流程而言,具有工艺简单、可以改善煤炭发热量等优势,但也面临许多关键技术问题。亟待解决的技术问题包括提质改性效果及自燃属性机理的深入研究,针对不同煤种、煤质的干燥脱水优化方案以及其热经济性的提高等。在经济性方面,论文指出,通过低阶煤炭脱水提质能够显著降低成本,提高整体工艺的经济性。

参考文献

[1] 赵剑.褐煤提质技术研究及其生命周期评价[D].济南:山东大学能源与动力工程学院,2017.

[2] 宋文革.低阶煤干燥技术的发展[D].鄂尔多斯:神华神东煤炭集团洗选中心,2019.

[3] 宋立信.掺烧印尼褐煤对机组经济性的影响分析[J].现代工业经济和信化,2019,9(12):3.

[4] Junjie Liao, Qiong Mo, Chao Li. Classification of water forms in lignite and analysis of energy consumption on the drying processes by microwave and fixed bed[J]. Fuel,2019(253):580-587.

[5] 肖宝清,周小玲.煤的孔隙特性与煤中水分关系的研究[J].矿冶,1995(1):90-93.

[6] Tahmasebi A, Yu J, Su H, et al. A differential scanning calorimetric (DSC) study on the characteristics and behavior of water in low-rank coals[J]. Fuel,2014,135(11):243-252.

[7] Bustin AMM, Bustin RM, Chikatamarla L, et al. Learnings from a failed nitrogen enhanced coalbed methane pilot: Piceance Basin,

Colorado[J]. Int J Coal Geol, 2016(165):64-75.

[8] Pan Z, Connell LD, Camilleri M, et al. Effects of matrix moisture on gas diffusion and flow in coal[J]. Fuel,2010(89):3207-3217.

[9] 马志勇.褐煤微波催化热解制气特性研究[D].武汉:武汉科技大学化学工程与技术,2019.

[10] Jinxin Huang, Guang Xua, Guozhong Hub, et al. A coupled electromagnetic irradiation, heat and mass transfer model for microwave heating and its numerical simulation on coal[J]. Fuel Processing Technology,2018(8):237-245.

[11] Whittles D, Kingman S, Reddish D. Application of numerical modeling for pre-diction of the influence of power density on microwave-assisted breakage[J]. Int J Miner Process,2003(68):71-91.

[12] Energy; Studies in the Area of Energy Reported from M.Q. Chen and Co-Researchers (Effect of microwave pretreatment on the combustion behavior of lignite/solid waste briquettes)[J]. Energy Weekly News,2018(9):5.

[13] Fan Zhou, Jun Cheng, Aiyang Wang, et al. Upgrading Chinese Shengli lignite by microwave irradiation for slurriability improvement[J]. Fuel,2015(3):159.

[14] Meikap B C, Purohit N K, Mahadevan V. Effect of microwave pretreatment of coal for improvement of rheological characteristics of coal-water slurries[J]. Journal of Colloid Interface Science,2005,281(1):225-235.

[15] 姜晓威.生物质炭辅助褐煤微波干燥特性研究[D].青岛:山东科技大学,2018.

[16] Wang H, Rezaee R, Saeedi A. Preliminary study of improving reservoir quality of tight gas sands in the near wellbore region by microwave heating[J]. Nat Gas Sci Eng,2016(32):395-406.

[17] Li G, Meng Y, Tang H. Clean up water blocking in gas reservoirs by microwave heating: laboratory studies[A]. International oil & gas conference and exhibition in China[C]. Society of Petroleum Engineers,2006.

[18] Shao Yuan, Jian-Zhong Liu, Jie-Feng Zhu, et al. Effect of microwave irradiation on the propensity for spontaneous combustion of Inner Mongolia lignite[J]. Journal of Loss Prevention in the Process Industries,2016(44):78-80.

[19] Cheng J Zhou, Wang X. Physicochemical properties of wastewater produced from the microwave upgrading process of Indonesian lignite[J]. Fuel, 2015,158(15):435-442.

[20] Maskan M. Microwave/air and microwave finish drying of banana[J]. Journal of Food Engineering,2000, 44(2):71-78.