

动力配煤优化研究现状及展望

屈国强

(河南理工大学 经济管理学院,河南 焦作 454000)

摘要:为建立准确、稳定、高效的动力配煤优化数学模型,阐述了动力配煤与各组成单煤主要指标之间存在线性加权关系、复杂的非线性关系、线性与非线性关系尚不明确3种观点,论述了3种观点基础上建立的数学模型和求解算法研究现状,并根据目前动力配煤优化中存在的问题,提出了发展展望。第一种观点认为建立线性规划模型后可采用多种方法求解,第二种多采用神经网络技术描述非线性映射关系后建立专家系统求解,第三种认为不同的条件应采用不同的数学模型。配煤优化问题的计算性质尚未明确,如何在保持智能优化算法等高效的前提下,提高运算结果的准确性、稳定性,是目前迫切需要解决的问题。建立动力配煤优化数学模型应先从理论上确定混煤与单煤主要指标之间在何种情况下呈现线性与非线性关系,并在此基础上,探讨优化配煤的数学模型。

关键词:动力配煤;优化;数学模型;单煤

中图分类号:TD849;TK16 文献标志码:A 文章编号:1006-6772(2015)06-0006-05

Research status and prospect of steam coal blending optimization

QU Guoqiang

(School of Economics and Management, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

Abstract: In order to establish an accurate, stable and efficient coal blending mathematical model, three kinds of viewpoint on main parameters relationship between coal and its blending were discussed. They were linear additivity relationship, complex non-linear relationship, linear additivity or unclear non-linear relationship. Based on the three kinds of viewpoint, current situation of three kinds of power coal blending optimization mathematical model and corresponding algorithm were discussed. Then the development prospect was put forward according to the open question on the optimization of steam coal blending. Among them, linear programming model was established and various methods was used to solve it based on the first viewpoint. Based on the second one, neural network technology was used to describe the nonlinear mapping relationship and then expert system was established to solve it. The third viewpoint indicated that different mathematical model should be used at different conditions. The calculated properties of steam coal blending remained unclear. Improving the accuracy and stability of results needed to be urgently solved. Further more, it should be clear that at which circumstances the main parameters relationship between coal and its blending appeared to be linear or nonlinear so as to probe the mathematical model of power coal blending.

Key words: steam coal blending; optimization; mathematical model; single coal

0 引 言

我国煤炭产地主要分布在内蒙古、山西、陕西等地,不同地区煤种的煤质差异大,而煤炭用户对煤质要求各不相同,单一煤种无法满足用户需求。这就

需要通过配煤,利用不同煤种组成成分、物理和化学性质的差异,使最终配出的混煤在性能指标上达到最佳状态,满足用户对煤质的要求^[1]。煤炭分选只能降低煤中灰分、无机硫等,提高发热量,而无法改变挥发分、有机硫等指标,而动力配煤可提高和稳定

收稿日期:2014-09-11;责任编辑:白娅娜 DOI:10.13226/j.issn.1006-6772.2015.06.002

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51304066);河南省教育厅科学技术研究重点项目软科学计划项目(14B630009);河南省政府决策研究招标一般课题(2015B117);河南省教育厅人文社会科学研究项目(2013-GH-039);河南理工大学博士基金资助项目(SZB2013-34)

作者简介:屈国强(1970—),男,河南义马人,讲师,博士,硕士生导师,主要研究方向为煤炭物流与供应链、生产计划与调度、智能优化算法等。E-mail:guoqiangqu@163.com

引用格式:屈国强.动力配煤优化研究现状及展望[J].洁净煤技术,2015,21(6):6-10,14.

QU Guoqiang. Research status and prospect of steam coal blending optimization [J]. Clean Coal Technology, 2015, 21(6): 6-10, 14.

动力煤质量,提高锅炉热效率,节约煤炭资源。动力配煤已成为合理利用现有煤炭资源的发展趋势^[2]。因此,深入研究动力配煤优化意义重大。动力配煤优化的主要依据是水分、灰分、挥发分、硫分、发热量、灰熔融性等评价动力煤质量的主要指标^[1]。关于这些指标是否具有线性可加性,有3种不同观点,建立的数学模型和求解方法也有差异。第一种观点认为动力配煤与各组成单煤的主要指标之间存在线性加权关系,建立线性规划模型。第二种观点认为配煤与各组成单煤的主要指标之间具有复杂的非线性关系,可采用神经网络技术和模糊数学等方法建立非线性优化模型。第三种观点则认为配煤与各组成单煤的主要指标之间呈现线性与非线性关系尚不明确。线性规划模型简单明了,易于求解,广泛应用于动力配煤的研究,但不能很好反映主要指标的变化。非线性规划模型比较复杂,精度高,需要大量的配煤实测数据^[3],主要采用遗传算法、模拟退火算法以及模糊神经网络等求解。笔者论述了3类动力配煤优化数学模型及其求解算法研究现状,提出应在明确动力配煤主要指标在何种情况下呈现线性与非线性关系的基础上探讨动力配煤的数学模型,建立准确、稳定、高效的配煤优化算法。

1 动力配煤与单煤指标具有线性可加性

部分学者认为动力配煤的主要指标具有线性可加性。戴财胜^[1]指出灰分、发热量、硫分、挥发分、水分等是评价动力配煤的主要指标。陈鹏^[4]从燃料特性角度出发,将燃煤主要指标根据需求分为3个层次。第一层灰分、发热量、硫分、挥发分等是最基本的煤质指标,基本上可认为具有线性可加性;第二层全水分等是对燃料特性的重要补充,属于非加和性指标;第三层碳氢含量等是对燃用煤质的专门了解。陈文敏等^[5]认为动力配煤主要质量指标如灰分、发热量、硫分、挥发分等具有较好的可加性。刘泽常等^[6]基于大量实测数据,用 t 检验对动力配煤指标的实测值与理论值之差进行检验,结果表明,动力配煤中的灰分、发热量、硫分、挥发分等指标与单煤之间具有良好的线性关系,而水分不具有线性可加性。赵建状^[7]研究表明配煤的硫分、灰分和挥发分具有较好的可加性。路迈西等^[8]认为不同煤炭的灰分、硫分、水分、挥发分、固定碳、发热量具有线性可加性,一般情况下,灰熔融性也有线性可加性。范华挺^[9]认为发热量、挥发分、灰分、硫分、水

分可以通过加权平均计算得到,而煤灰熔融性温度则不呈线性加权关系,需采用回归公式进行计算。阮伟等^[10]指出算数加权平均方法简单方便,在缺乏混煤试验数据的情况下成为理所当然的选择。

也有部分学者对于动力配煤主要指标具有线性可加性的计算基础进行研究。戴财胜^[1]研究表明,动力配煤主要指标的分析基指标具有线性可加性,干燥无灰基挥发分和应用基发热量不具有线性可加性。孙遮^[11]从理论和试验2方面论证了配煤的分析基水分、硫分、灰分、挥发分和发热量之间具有线性可加性。徐君等^[12]从煤质工业分析角度,认为混煤的水分和全硫分具有加权特性,灰分、挥发分和发热量具有近似加权特性,灰熔融性具有明显的非加权特性。周慧等^[13]认为混煤与单煤的发热量、成本和着火温度之间呈线性关系。高洪阁等^[14]研究表明,动力配煤主要指标和结渣性指标采用单煤加权平均得到的理论值与实测值基本一致,具有线性可加性。王雅君等^[15]认为配煤指标可加性争论的主要原因在于评级标准和评价时采用的基不统一,论证了动力配煤主要指标的分析基指标具有线性可加性。

在认为主要指标具有线性可加性的基础上,建立的数学模型主要是线性规划模型。涂华等^[16]讨论了动力配煤的数学模型,指出配煤指标一般由煤的发热量、硫分、挥发分、灰分等指标构成且符合可加性原理,实际计算时一般各种单煤的最小配比要大于10%。王永保^[17]在灰分、硫分、挥发分、发热量具有线性可加性的基础上,从经济和环保方面考虑,以配煤成本和硫分最低为目标函数,以发热量单价作为衡量标准优化动力配煤。王挺^[18]建立了以发热量、挥发分、灰分和灰熔融性为线性约束、全水分实测为约束条件,以配煤成本和硫分最小的多目标规划模型。王挺等^[19]以配煤成本和硫分最小为目标,采用模糊数学,将多目标数学规划转化为单目标线性规划问题。王运民^[20]以收到基灰分、水分、硫分、发热量等约束条件具有线性可加性为前提,建立了线性规划模型。王兆鹏等^[21]指出配煤的核心技术是确定配比,配比的准确性取决于建立的数学模型,认为动力配煤主要指标具有线性可加性,建立了线性规划模型。张志伟等^[22]认为动力配煤主要指标具有线性可加性,实现了山西孝义某配煤公司动力配煤的具体应用。侯静等^[23]认为水分、硫分、挥发分、发热量、焦渣特征和哈氏可磨性指数等都是

线性可加的,在动力配煤模型中考虑了资源短缺单煤的配比,目标函数中考虑了成本最低、优质煤配比最小和低发热量煤配比最大。孙云峰等^[24]考虑了系统生产能力和订单总需求约束,建立了配煤生产的线性规划优化模型。

对于所建立的配煤数学模型,求解算法也有较大差异。周慧等^[13]采用灰色方法优化。王挺^[18]对于配煤成本和硫分最小的多目标规划数学模型,采用模糊数学的方法求解。王挺等^[19]采用穷举法求解。王运民^[20]采用单纯形法求解,其实是穷举法求解。张志伟等^[22]采用加权平均法计算。郭德铭^[25]采用LINGO软件求解,其实是穷举法,得出多个可行方案后,采用TOPSIS算法,即逼近理想解排序法将多种方案的经济效益与社会效益进行综合评价。刘丽敏^[26]结合肥城煤炭配送中心实际情况,建立了以动力配煤主要指标为约束条件,以配煤成本最低为目标的线性规划优化模型,以灰分、硫分、发热量、挥发分和成本为评价指标,利用嫡值系数法对各种可行方案进行定量分析。李智等^[27]对于文献^[18]的问题和数据,采用快速模拟退火算法求解。廖艳芬等^[28]对于动力配煤主要指标采用线性加权的方法,结焦特性则认为是非线性的因而采用模糊神经网络进行预测,采用罚函数法将约束优化问题转化为非约束优化问题,采用变尺度混沌优化算法求解。董平等^[29]以成本最低为优化目标,在10种单煤中选择3种单煤,1%精度进行配煤,采用遗传算法寻优。刘永江等^[30]认为单煤的价格、动力配煤主要指标等6项指标具有线性可加性且作为约束条件,用加权系数法将以上6个目标函数转换为单目标函数后用粒子群算法求解。常爱英等^[31]认为挥发分、发热量、灰分、水分等可以由单煤对应参数加权平均计算,而着火温度指数等不可简单加权平均计算,指出目前电厂主要采用经验公式、回归公式及神经网络等智能方法计算。

陈鹏^[4]指出多数情况下的动力配煤按一定比例将几种不同性质的动力用煤均匀混合,大体上能满足用户燃煤效率及达到允许的环保要求。孙云峰等^[24]在配煤方案优化模型的基础上,考虑了系统生产能力和订单总需求约束,建立了配煤生产的线性规划优化模型,指出已有算法只能对掺配比例而不能对掺配煤种进行优化设计。

2 动力配煤与单煤主要指标呈非线性关系

部分学者认为动力配煤与单煤的主要指标之间

呈非线性关系,而不是简单的线性加权和。殷春根等^[32]认为加权平均或经验回归公式等方法对发热量、挥发分、水分和灰分等约束指标进行预测时效果不太理想,直接影响配煤方案的可靠性。魏海坤等^[33]认为混煤成分及煤质指标往往不等于各单煤成分及煤质指标简单加权平均。阮伟等^[34]指出混煤与组成单煤主要指标之间具有非常强烈的非线性特征,用加权方法可能造成较大误差。汤龙华等^[35]认为混煤与单煤的主要指标之间呈现非线性关系,在此基础上建立了煤场配煤的非线性优化数学模型。杭州配煤场实际应用数据表明用神经网络技术描述混煤综合特性的非线性规划要比线性规划准确,所求配比方案更真实可靠。周俊虎等^[36]指出优化配煤是一个非线性规划问题。阮伟等^[10]指出优化动力配煤的关键是要了解混煤与掺配单煤的煤质成分及主要指标之间的关系,混煤与单煤的煤质分析是一种非常复杂的非线性映射关系。刘泽常等^[37]研究表明配煤的水分、灰分与各组成单煤对应指标之间存在结构关系,比线性加权预测准确可靠。张肖梅^[38]认为配煤与各组成单煤的主要指标之间具有复杂的非线性关系,难以用传统的数学方法建立精确的配煤指标预测数学模型。

在建模方面,研究人员多采用神经网络技术描述混煤与组成单煤发热量、灰分、水分、挥发分、灰熔融性等之间的非线性映射关系。殷春根等^[32]采用神经网络技术建模以实现非线性映射。阮伟等^[39]用神经网络的反向传播算法描述混煤与各组成单煤之间主要指标的非线性关系,说明其具有较高的真实性和可靠性。汤龙华等^[35]采用神经网络技术描述发热量、灰分、水分、挥发分、灰熔融性等,试验发现神经网络预测方法比加权平均和线性回归具有更高的预测精度和效果。魏海坤等^[33]采用进化优选算法结合神经网络用于动力配煤过程的状态预测建模。张肖梅^[38]采用Elman神经网络预测选煤厂配煤的主要指标,在18种单煤中选取3种,以1%精度进行配煤试验,效果较好。此外,阮伟等^[40]认为灰分、硫分、发热量、挥发分和水分等指标是符合正态分布的随机变量,为确切描述这些随机变量的波动性,建立了机会约束的随机规划数学模型,以硫分为约束条件,以混煤硫排放的期望值和均方差加权最小为优化目标。程军等^[41]建立了以发热量、挥发分、硫分、水分、灰分等10个混煤煤质指标为约束条件,发热量单价为评价指标的非线性优化数学模型。

在求解算法方面,大多是建立优化配煤专家系统后得出配煤方案。或引入罚函数,将非线性约束问题转化为非约束问题,采用遗传算法等智能优化算法求解^[42]。周俊虎等^[42]用杭州煤场试验表明遗传算法在优化配煤时具有较好的稳定性和准确性。

3 动力配煤与单煤指标关系尚不明确

也有部分学者对于上述2种观点做出了折中,认为混煤与单煤主要指标之间呈现线性与非线性关系尚不明确。欧阳永明等^[43]研究了动力配煤的线性与非线性数学模型,认为不同的条件应用不同的数学模型。当动力配煤对灰分、硫分、挥发分、发热量等约束条件要求不是很苛刻时,可以近似地认为其具有线性可加性,通过建立线性规划模型求解;反之则需认为具有复杂的非线性特征,就要选择专家系统下的数学模型求解。陈亚飞等^[44]分析了配煤产品煤质理论值的计算方法,指出以收到基为标准计算配煤指标时,灰分、挥发分、发热量、硫分4个指标是可以线性加权计算的,而以干燥基为标准时则不可。张晓萱等^[45]认为混煤与各组成单煤的煤质指标存在线性还是非线性关系尚不明确,在煤质参数随机波动的不确定条件下,采用确定性动力配煤模型很难保证实际配煤的产品质量。因而采用区间规划与机会约束规划相结合,建立一个不确定性机会约束的非线性优化的电厂动力配煤优化模型,然后转化为2个确定性子模型求解。夏季等^[46]回避混煤与组成单煤主要指标之间的关系,构建出安全性、经济性和环保性3个目标函数,以各指标偏差最小化为优化目标,采用带精英策略的非支配排序遗传算法求解。董虎胜等^[47]对于煤场配煤问题,将输送时间最短、精煤消耗量最小、灰分误差最小作为约束条件,运用加权平均将上述约束条件转化为单目标函数,采用协同量子粒子群算法寻优。

与上述动力配煤类似,也有许多学者对于选煤厂配煤、水煤浆配煤等问题进行研究。在选煤厂配煤方面,高莉等^[48]考虑了运输工具到达时间、生产速度以及精煤产率等,提出库存原煤、库存精煤和实际生产的精煤三产品配煤模型,采用自适应遗传算法求解。李学武^[49]研究表明配煤的灰分、硫分和黏结指数符合线性可加性,用石壕精煤和义海煤按不同比例配煤销售,利润显著提高。在水煤浆配煤方面,刘定平等^[50]将水煤浆配煤优化问题转化为水煤浆生产成本和性能的多目标优化问题,采用最小二

乘支持向量机训练后建立优化模型、多目标微分进化算法寻找非劣可行解,对目标函数构造相应的隶属度函数来判断趋近于最优解的程度以选取满意解。刘定平等^[51]采用类似的方法对水煤浆配煤进行研究。孙漾等^[52]认为化肥厂水煤浆配煤的水分、灰分、挥发分、硫分等符合线性可加性,以成本最小化为目标,建立了包括水分、灰分、挥发分、硫分、灰熔融性等约束在内的优化模型,采用嵌入差分进化算法的预交叉差分进化粒子群算法求解,但算法设计和算例中并没有考虑多种单煤的混配问题。

4 存在问题及展望

如何认识动力配煤与各组成单煤主要指标之间的关系,直接决定了所建立的配煤优化数学模型及后续配煤比例的计算。因此,应先从理论上确定混煤与单煤主要指标之间在何种情况下呈现线性与非线性关系,并在此基础上,进一步优化配煤的数学模型。

关于动力配煤优化问题的计算性质,相关文献中尚未提及或证明过。配煤优化求解多采用遗传算法等智能优化算法求解,但没有明确说明为何采用这些智能优化算法求解。若配煤优化属于较容易求解的问题,则没必要采用智能优化算法、专家系统等方法,采用如穷举法、动态规划等精确算法求解即可;若属于较难求解的问题,则需给出这些问题较难求解的证明。在满足多个特性指标的前提下,多种单煤的配煤优化问题,显然是一个在约束条件下求解目标函数极值的组合优化问题。这个问题的求解性质是NP-难的吗(NP指非确定性多项式)?到目前为止,相关文献中还未有对此问题的分析。因此,配煤优化问题的计算性质尚未明确,需要加以研究。

关于动力配煤优化问题求解算法,多采用穷举法、智能优化算法、专家系统等方法。周俊虎等^[42]指出配煤优化最初采用穷举法搜索最优解。穷举法虽然稳定、准确,当解空间增大时,运算的时间和空间开销将呈指数级增长。在单煤数据超过30种以上时,获得最优解需要几小时。张东峰等^[53]指出实际生产要求采用快速、准确的在线检测技术,以便及时对配煤过程作出必要调整,启发式算法或智能优化算法成为必然的选择。同时,如何在保持智能优化算法等高效的前提下,提高运算结果的准确性、稳定性,是目前需要解决的问题。

5 结 语

配煤是性质不同的煤炭高效利用的重要途径。目前,动力配煤与各组成单煤的主要指标之间的关系存在线性关系、复杂的非线性关系以及关系尚不明确3种观点,建立的动力配煤优化数学模型和求解方法也有较大差异。动力配煤优化问题的计算性质尚未明确,急需开发准确、稳定、高效的优化算法。下一步,将对动力配煤优化问题的计算性质、优化算法进行研究。

参考文献:

- [1] 戴财胜. 动力配煤的理论与应用研究[D]. 北京:中国矿业大学(北京),2000.
- [2] 常爱英,吴铁军,包鑫,等. 基于最小二乘支持向量机的动力配煤着火特性预测模型[J]. 煤炭学报,2010,35(8):1380-1383.
- [3] 张晓萱,黄国和,席北斗,等. 电厂优化的不确定性机会约束非线性规划方法[J]. 中国机电工程学报,2009,29(5):11-15.
- [4] 陈鹏. 动力配煤技术基础[J]. 煤炭学报,1997,22(5):449-454.
- [5] 陈文敏,姜宁. 动力配煤主要煤质指标的可加性[J]. 煤质技术与科学管理,1997(4):30-32.
- [6] 刘泽常,高洪阁,陈怀珍,等. 动力配煤主要煤质指标可加性的统计验证[J]. 煤炭加工与综合利用,1999(5):37-38.
- [7] 赵建状. 平顶山选煤厂采取配煤入洗的实践[J]. 煤炭加工与综合利用,1999(4):37-38.
- [8] 路迈西,何京东,刘文礼. 动力煤与炼焦煤配煤软件的研究[J]. 选煤技术,2003(5):39-41.
- [9] 范华挺. 电厂配煤技术原则及煤质特性参数的计算[J]. 煤质技术,2006(9):15-17.
- [10] 阮伟,周俊虎,汤龙华,等. 优化配煤理论的研究以及配煤专家系统多目的开发[J]. 动力工程,1999,19(6):434-437.
- [11] 孙遮. 动力配煤几个主要煤质指标可加性的论证[J]. 煤炭技术,2009,28(5):164-166.
- [12] 徐君,盛昌栋. 混煤煤质特性及其对电厂运行的影响[J]. 煤炭工程,2006,38(10):86-88.
- [13] 周慧,辛天益,周毅. 确定混煤配比方案的灰色优化方法[J]. 西安矿业学院学报,1999,19(4):343-346.
- [14] 高洪阁,李白英. 动力配煤的新模型及其求解[J]. 中国矿业大学学报,2001,30(6):627-629.
- [15] 王雅君,赵寒雪,何京东. 动力配煤主要指标可加性研究[J]. 应用能源技术,2004(5):15-18.
- [16] 涂华,吴宽鸿. 关于动力配煤数学模型的讨论[J]. 煤质技术,2005(3):63-65.
- [17] 王永保. 动力配煤优化方案的设计及其应用[J]. 中国煤炭,2003,29(1):45-48.
- [18] 王挺. 煤炭企业动力配煤优化方案优化方法的研究[J]. 焦作工学院学报(自然科学版),2003,22(1):62-73.
- [19] 王挺,阎磊. 基于多目标规划的动力配煤软件[J]. 河南科技大学学报(自然科学版),2003,24(1):101-104.
- [20] 王运民. 电厂混煤燃烧最有掺配比例的确定[J]. 长沙理工大学学报(自然科学版),2004,1(2):52-55.
- [21] 王兆鹏,王小澄. 一种基于数学模型的配煤自动控制系统[J]. 电力自动化设备,2004,24(11):51-53.
- [22] 张志伟,张文,胡丙升. 配煤的计算和自控及工业应用[J]. 煤矿机械,2010,31(7):205-207.
- [23] 侯静,赵益坤. 动力配煤的数学模型及优化求解[J]. 太原理工大学学报,2006,37(4):486-488.
- [24] 孙云峰,王国华. 一种新型煤炭物流节点:“煤炭超市”的生产计划建模[J]. 物流技术,2007,26(11):94-96.
- [25] 郭德铭. 平顶山煤业集团配煤优化方案研究[D]. 北京:北京交通大学,2009.
- [26] 刘丽敏. 肥城煤炭配送中心配煤模型研究[D]. 青岛:山东科技大学,2011.
- [27] 李智,王东. 基于改进模拟退火算法的电厂配煤优化[J]. 煤炭工程,2004,36(9):76-79.
- [28] 廖艳芬,马晓茜. 基于模糊神经网络的混沌优化算法在动力配煤中的应用[J]. 华南理工大学学报(自然科学版),2006,34(6):117-121.
- [29] 董平,李明菊,王鹏,等. 基于 Matlab/VB 混合编程的动力配煤优化系统设计[J]. 洁净煤技术,2008,14(4):85-88.
- [30] 刘永江,高正平,韩义,等. 基于粒子群算法的火电厂优化配煤研究[J]. 锅炉技术,2012,43(5):18-24.
- [31] 常爱英,吴铁军,包鑫,等. 基于最小支持二乘支持向量机的动力配煤着火特性预测模型[J]. 煤炭学报,2010,35(8):1380-1383.
- [32] 殷春根,周俊虎,骆仲泐,等. 神经网络方法在优化动力配煤中的应用研究[J]. 煤炭学报,1997,22(4):343-348.
- [33] 魏海坤,徐嗣鑫,宋文忠,等. 最小 RBF 网设计的进化优选算法及其在动力配煤过程状态预测建模中的应用[J]. 中国电机工程学报,2001,21(1):63-67.
- [34] 阮伟,周俊虎,曹欣玉,等. 优化配煤专家系统的研究及应用[J]. 浙江大学学报(工学版),2001,35(4):423-426.
- [35] 汤龙华,周俊虎,曹道卿,等. 非线性最优动力配煤方案技术的研究[J]. 煤炭学报,1997,22(5):455-459.
- [36] 周俊虎,沈彬彬,陈寅彪,等. 基于遗传算法的动力配煤的 Boltzmann 优化模型的研究[J]. 动力工程,2003,23(4):547-551.
- [37] 刘泽常,卢宗华,陈怀珍,等. 动力配煤的煤质指标与各单煤配比的结构关系[J]. 煤炭科学技术,2004,32(7):62-64.
- [38] 张肖梅. Elman 神经网络在选煤厂配煤中的应用[J]. 实验室研究与探索,2011,30(9):97-99.
- [39] 阮伟,周俊虎,程军,等. 优化配煤专家系统的构造与应用[J]. 电站系统工程,1997,15(6):3-6.
- [40] 阮伟,张卫宁,周俊虎,等. 电厂优化配煤多目标机会约束数学模型的建立[J]. 动力工程,2001,21(1):1090-1092.
- [41] 程军,曹欣玉,周俊虎,等. 多元优化动力配煤方案的研究[J]. 煤炭学报,2000,25(1):81-85.

(下转第14页)

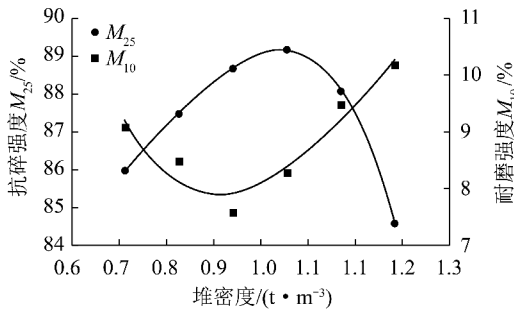


图5 堆密度对焦炭机械强度的影响

与耐磨强度均呈现先增高后降低的趋势。堆密度为 0.9 ~ 1.1 t/m³ 时,机械强度达到最大。这是由于随着堆密度的提高煤粒间隙变小,高温产生的胶质体充分填充煤粒间隙,使结焦过程中焦炭内部压力变大,煤粒受压力结合更加紧密,焦炭结构致密,机械强度随之加强。随着堆密度的继续升高(大于 1.1 t/m³),机械强度下降,这是由于较高的堆密度减小了焦炭收缩应力的松弛作用^[8],焦炭透气性变差,气体析出困难,使得结焦过程中焦炭内部膨胀压力过大,从而产生裂纹。而高温下产生的气体在压力作用下会沿着裂纹等薄弱区域进行释放,使得裂纹进一步扩展,导致强度降低。但由于不同煤种的黏结性和胶质体性质不同,产生的内应力也不同,导致不同煤种的最佳堆密度不相同,具体还应根据煤的性质及配煤确定。

3 结 论

1) 主焦煤与贫瘦煤质量比为 6 : 4 时, M_{25} 与 M_{10} 均达到理想效果,且 M_{25}/M_{10} 达到最大值。主焦煤量不足会引起黏结效果不佳,过多的主焦煤则会导致高温下主焦煤产生的胶质体过多,弱化了贫瘦煤的骨架作用,机械强度反而得不到提高。

2) 最佳结焦温度为 800 °C,此时主焦煤与贫瘦煤之间的黏结过程基本结束,之后进行的是焦炭的热缩聚过程,焦炭体积缩小,致密度增大,机械强度提高^[9]。

3) 控制焦煤粒度 0.212 ~ 0.18 mm 不变,适当降低贫瘦煤粒度,成焦后焦炭致密度更高,贫瘦煤粒度为 0.85 ~ 0.25 mm 时焦炭强度呈明显上升趋势,随着粒度的减小,贫瘦煤粒度 < 0.25 mm 后,焦炭强度趋于平稳。

4) 适当提高堆密度可有效提高焦炭强度,堆密度为 0.9 ~ 1.1 t/m³ 时,焦炭机械强度最大。

参考文献:

- [1] 曾凡,胡永平. 矿物加工颗粒学[M]. 徐州:中国矿业大学出版社,2001.
- [2] 房兆营. 神府煤半焦制备型焦的研究[D]. 青岛:山东科技大学,2011.
- [3] 郑琼香. 焦炭粉制备高强度型焦的工艺及机理研究[D]. 长沙:中南大学,2010.
- [4] 魏涛. 电石生产用无烟煤型焦制备工艺研究[D]. 昆明:昆明理工大学,2010.
- [5] 许晓海. 炼焦化工实用手册[M]. 北京:冶金工业出版社,1999.
- [6] 高晋生. 煤的热解、炼焦和煤焦油加工[M]. 北京:化学工业出版社,2010.
- [7] 谌伦建,阳虹,赵跃民,等. 原料煤级配对型煤强度的影响[J]. 矿业安全与环保,2001,28(1):6-7.
- [8] 史世庄,雷耀辉,曹素梅,等. 堆积密度对捣固炼焦焦炭性能的影响[J]. 武汉科技大学学报(自然科学版),2011,34(4):285-288.
- [9] 刘建平,赵钦强. 煤的热分解及其影响因素[J]. 大众标准化,2005(8):34-37.

(上接第10页)

- [42] 周俊虎,平传娟,刘建忠,等. 基于遗传算法的动力配煤模型[J]. 煤炭学报,2003,28(5):547-551.
- [43] 欧阳永明,匡亚丽,石常省. 动力配煤数学模型的研究[J]. 江苏煤炭,2004(1):56-57.
- [44] 陈亚飞,陈怀珍,崔凤海. 煤炭行业标准《动力配煤导则》[J]. 煤质技术,2006(5):17-19.
- [45] 张晓莹,黄国和,席北斗,等. 电厂优化的不确定性机会约束非线性规划方法[J]. 中国机电工程学报,2009,29(5):11-15.
- [46] 夏季,华志刚,彭鹏,等. 基于非支配排序遗传算法的无约束多目标优化配煤模型[J]. 中国机电工程学报,2011,31(2):85-90.
- [47] 董虎胜,陆萍,钟宝江. 基于协同量子粒子群的自动配煤系统研究[J]. 制造业自动化,2014,36(1):74-77.
- [48] 高莉,于洪珍,王艳芬. 基于多传感器信息融合的选煤厂配煤调度[J]. 中国矿业大学学报,2004,33(1):99-102.
- [49] 李学武. 石壕洗煤厂配煤技术研究[J]. 煤炭工程,2014,46(3):100-102.
- [50] 刘定平,叶向荣,邓华裕. 基于LSSVM-MODE的水煤浆生产优化控制[J]. 华南理工大学学报(自然科学版),2009,37(2):158-162.
- [51] 刘定平,叶向荣,邓华裕. 基于LSSVM-MODE水煤浆优化配煤研究[J]. 选煤技术,2008(3):16-20.
- [52] 孙漾,张凌波,顾幸生. Texaco水煤浆气化装置配煤模型及其优化[J]. 化工学报,2010,61(8):1965-1969.
- [53] 张东峰,阎媛. 浅析生产动力煤矿井的配煤意义与前景[J]. 山西煤炭,1999,19(1):11-13.