

# 基于混料设计的优化配煤方案的研究

关海盈<sup>1</sup> 张海英<sup>1</sup> 刘玉铭<sup>2</sup>

(1. 西安理工大学 复杂系统控制与智能信息处理重点实验室 陕西 西安 710048;

2. 大唐陕西发电有限公司灞桥热电厂 陕西 西安 710048)

**摘要:** 在保证燃煤锅炉机组正常运行,满足所需机组负荷的情况下,为提高配煤的成本、热值、硫分、灰分和挥发分等综合指标,采用混料试验设计方法以高热低硫煤、中热中硫煤以及低热高硫煤为三因素进行极端顶点法配煤设计。通过对试验数据进行分析处理,建立了多指标响应优化模型并结合企业配煤现状和环保要求,求得三因素最佳比例。研究表明,当高热低硫煤、中热中硫煤和低热高硫煤的加入比例为4:3:3时,综合指标达到最优。

**关键词:** 混料设计; 配煤综合指标; 多指标响应优化模型

中图分类号: TQ520.62 文献标识码: A

DOI: 10.16146/j.cnki.mdjgc.2016.03.010

## 引言

我国各地区煤矿数量相对较多,不同煤矿煤质包含热值 $Q_{\text{net,ar}}$ 、硫分 $S_{\text{t,ar}}$ 、灰分 $A_{\text{ar}}$ 、挥发分 $V_{\text{ar}}$ 和水分 $M_{\text{ar}}$ 等情况不同,大部分煤炭硫分含量较高,变化范围大,同时灰分、水分和挥发分含量也较高,煤炭价格迥异。因此,结合各地区煤质特点,采用不同的煤种混配以达到资源最大程度的有效利用,通过调整煤炭中的硫、灰、水、挥发分等含量来满足电力生产的要求。

为了满足发电企业的需求,一般的燃煤锅炉生产目标是在满足机组负荷、环保的条件下,优化配煤,使整个生产过程中生产成本最低,即在机组安全有效运行、满足国家排放标准的前提下,将优质煤和劣质煤进行掺配,在掺配的过程中优化配煤比例使得掺配之后的混煤煤质得到改善,这样既节约了资源,又降低了配煤成本,以达到企业的要求。因此,对于企业节约成本,优化配煤就成了关键。本研究

针对配煤过程中的煤质信息、负荷等多目标进行优化配煤,以满足企业的多项要求。

动力配煤技术是洁净煤技术的一项重要技术,一方面使资源得到了合理的利用,另一方面改善了配煤之后的煤质因素。影响配煤后混煤煤质的因素很复杂,传统的配煤方法是使用试验的方法,这样不仅耗费大量的人力、物力,还影响生产进度。而常规使用的方法是经验配煤,很难准确找到最优化解(区间),因此,需要寻找一种科学有效的方法优化试验方案,减少试验次数并且提高试验效率<sup>[1]</sup>。众多试验中的混料设计试验比较适合应用于各成分之和等于1的约束配煤中,本研究使用混料设计展开配煤研究。

## 1 试验方案

### 1.1 试验方法

混料即由多种成分按相应比率制作而成的。组成混料的各种成分称为混料成分或分量,也就是混料试验中的因子。重要的是各种分量的比例而不是其绝对数值,而且所有分量之和总是为1的<sup>[2]</sup>。混料设计即这种分量之和总是为1的试验设计。比如,混料设计的成分有3种,其约束如图1所示。

混料设计的试验计划有3种:单纯形质心法:混料设计中有 $P$ 个因子,试验点由 $2^P - 1$ 个点组成;单纯形格点法:将全部格子点集内每个点依次选中。格子点是由维数和格度 $2$ 个参数给定的,将格子点集记为 $\{p, d\}$ ;极端顶点设计法(通常用来解决混料设计中各分量受到上下界的限制,各分量间还有些

收稿日期: 2014-12-02; 修订日期: 2015-01-27

基金项目: 动力配煤决策支持系统的研究基金资助项目(2014K05-32)

作者简介: 关海盈(1989-),女,陕西商洛人,西安理工大学硕士研究生。

通讯作者: 张海英(1964-),女,西安理工大学副教授。

约束条件要满足的问题<sup>[3]</sup>。配煤优化中各因素有上下限约束条件,因此本研究将采用的方法是极端顶点设计法。

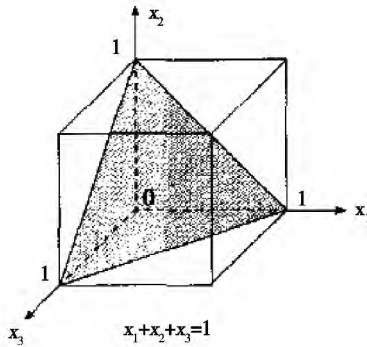


图 1 混料设计的约束图

Fig. 1 Mixture design constraints map

利用极端顶点集所构成的混料试验方案称为极端顶点设计法。各限制平面的交点处称为极端顶点<sup>[4]</sup>。在优化配煤的过程中并不是每个因子成分都可在[0, 1]之间任意取值,也就是说,每个因子的成分都有上下限的约束,即:

$$\begin{cases} 0 \leq a_i \leq x_i \leq b_i \leq 1 (i = 1, 2, 3, \dots, q) \\ \sum_{i=1}^n x_i = 1 \end{cases} \quad (1)$$

对于单纯形坐标系,满足上式约束条件的点的总体,就是 $(q - 1)$ 维正单纯形上的一个 $(q - 1)$ 维凸面体,该多面体的 $(q - 2)$ 维边界面分别与相应坐标面 $(x_i = 0)$ 的面 $(i = 1, 2, \dots, q)$ 平行。极端顶点设计就是把试验点取在该凸多面体的顶点及各个 $(q - 2)$ 维边界面的中心上,或者再加上各顶点的中心,构成兼有上、下界约束的混料问题的极端顶点设计<sup>[5]</sup>。极端顶点设计法如图 2 所示。

混料试验设计中设试验考察的指标为  $y$ ,那么  $y$  与  $p$  个因子  $X_1, X_2, \dots, X_p$  的关系可以表示为:

$$y = f(x_1, x_2, \dots, x_p) + \varepsilon \quad (2)$$

式中:  $\varepsilon$ —随机误差,通常假定它服从  $N(0, \delta^2)$ 。称  $\hat{y} = f(x_1, x_2, \dots, x_p)$  为响应函数,其图形也称为响应曲面,当响应函数中的未知参数用估计值代替后便得到回归方程,也称响应曲面方程。

由于  $f(x_1, x_2, \dots, x_p)$  形式往往是未知的,通常用  $x_1, x_2, \dots, x_p$  的一个  $d$  次多项式表示,此时一个混料试验由因子数  $p$  与响应多项式的次数  $d$  来确定,

以后用  $M\{p, d\}$  表示一个混料试验。

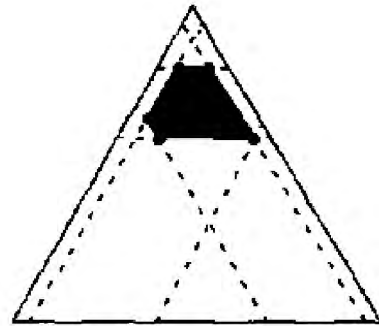


图 2 极端顶点设计法示意图

Fig. 2 Schematic of extreme vertices design

利用混料试验的特点,多项式中的参数可以得到简化,此时给出的多项式模型称为 Scheffe 正则多项式模型。对  $p$  因子一次混料试验  $M\{p, 1\}$ , Scheffe 利用  $\beta_0 = \beta_0 \sum_{i=1}^p x_i$  把  $p$  元一次多项式模型化为 Scheffe 一次正则多项式模型:

$$\hat{y} = \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_p x_p \quad (3)$$

同理  $p$  因子二次混料试验  $M\{p, 2\}$  的 Scheffe 二次正则多项式模型为:

$$\hat{y} = \sum_{i=1}^p \beta_i x_i + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j \quad (4)$$

同理  $p$  因子三次混料试验  $M\{p, 3\}$  的 Scheffe 三次正则多项式模型为:

$$\hat{y} = \sum_{i=1}^p \beta_i x_i + \sum_{i < j} \beta_{ij} x_i x_j + \sum_{i < j < k} \beta_{ijk} x_i x_j x_k \quad (5)$$

一般的混料试验多用一次、二次多项式模型,对于混料二次多项式模型而言,其待估参数的个数要比一般  $p$  元二次多项式模型少  $p + 1$  个<sup>[6-7]</sup>。本研究采用的就是二次模型设计试验。

### 1.2 试验计划

通过对某电厂详细调研,本研究以 3 种混煤进行优化配煤试验,主要有 GRDLM(高热低硫煤),热值大于 20 MJ/Kg,含硫量小于 0.8%;ZRZLM(中热中硫煤),热值介于 18 ~ 20 MJ/Kg,含硫量介于 0.8% ~ 1.2%;DRGLM(低热高硫煤),热值小于 18 MJ/Kg,含硫量大于 1.2%。

在配煤的过程中要考虑多项综合热值、价格、硫分、灰分、挥发分以及负荷指标,提高企业效益。3 种混煤中高热低硫煤价格最高,中热中硫煤价格次

之 低热高硫煤价格最便宜。因此 试验以优化配煤比例为目的 主要是优化低热高硫煤的比例 将配煤价格(Cost 影响配煤成本主要因素) 作为主要控制指标 同时将混煤的热值(即发热量)、硫分、灰分和挥发分作为次要控制指标 将 UL(机组负荷) 作为

参考指标。利用 MINITAB 软件进行试验设计。表 1 为某电厂不同负荷对应的发热量和硫分的锅炉设计值 此表在本研究中仅作为参考依据不作为限制因素 考虑到电厂各项因素的综合应用 本试验中将机组负荷设置在 80% 到 100% 之间。

表 1 不同负荷对应的发热量和硫分的锅炉设计值

Tab.1 Different loads corresponding heat and sulfur boiler design values

		锅炉负荷率/%									
		100	95	90	85	80	75	70	65	60	
125 MW 机组	收到基低位发热量	适耗值/MJ·kg <sup>-1</sup>	21.46	20.96	20.46	19.96	19.46	18.96	18.46	18.46	18.46
		安全值/MJ·kg <sup>-1</sup>	21.05	19.55	18.05	18.55	18.05	17.55	17	17	17
	收到基硫分	适耗值/%	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17	1.17
		安全值/%	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3
30 MW 机组	收到基低位发热量	适耗值/MJ·kg <sup>-1</sup>	20.2	19.7	19.2	18.7	18.2	17.7	17.2	17	17
		安全值/MJ·kg <sup>-1</sup>	19.8	19.3	18.8	18.3	17.8	17.3	17	17	17
	收到基硫分	适耗值/%	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71	1.71
		安全值/%	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3	1.3

在实际生产过程中,一般电厂运行所需热值维持在不小于 18 MJ/Kg,硫分维持在不大于 1.6%, 2013 年陕西地区煤价分别为高热低硫煤的单价加权均值为 554 元/吨,中热中硫煤单价加权均值为 417.5 元/吨,低热高硫煤单价加权均值为 247.5 元/吨。根据电厂传统配煤经验,以及配煤的历史试验数据确定各类混煤的初始比例范围,通过混料设计进行优化,各类煤的比例分别为高热低硫煤在 0%~100%,中热中硫煤比在 0%~60%,低热高硫煤比例在 0%~50%。根据配煤的特点,通过混料设计优化将低热高硫煤、配煤价格作为主要控制指标,混煤的热值、硫分、灰分和挥发分同时作为次要控制指标,将机组负荷作为限制指标<sup>[8-9]</sup>。

利用 MINITAB 软件进行混料设计,选择三因素、二次试验设计,得到设计空间中的 16 组配方方案,极端顶点法配煤设计结果如图 3 所示。

## 2 结果与分析

### 2.1 试验结果

以极端顶点法设计配煤试验进行试验,以某电厂 2013 年全年和 2014 年上半年历史数据为依据,分析煤质信息设计试验,具体试验结果如表 2 所示。

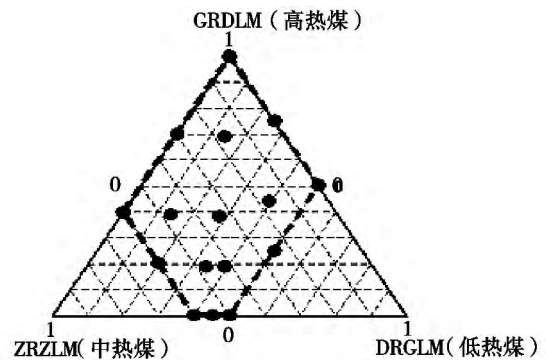


图 3 极端顶点法配煤示意图

Fig. 3 Schematic of extreme vertex blending

### 2.2 响应分析

分别通过 Cox 响应跟踪图、混合等值线图以及混合曲面图来对试验结果进行分析,将多指标 Cost、 $Q_{net,ar}$ 、 $S_{t,ar}$ 、 $A_{ar}$ 、 $V_{ar}$ 和 UL 运用此方法进行分析,这里仅讨论指标 Cost、 $S_{t,ar}$ 和  $Q_{net,ar}$ 。

配煤 Cost、 $S_{tar}$ 和  $Q_{net,ar}$ 的响应跟踪如图 4 所示,经分析低热高硫煤与配煤价格 Cost、混煤硫分  $S_{tar}$ 、混煤热值  $Q_{net,ar}$ 负相关,高热低硫煤和中热中硫煤与 Cost、 $S_{tar}$ 成正相关。

配煤 Cost、 $S_{tar}$ 和  $Q_{net,ar}$ 的等值线图如图 5 所示,经分析要使 Cost 减小,应朝着增加 DRGLM 比例,减少

GRDLM 和 ZRZLM 比例的方向进行配比。要使  $S_{tar}$  朝着 GRDLM 比例,减少 DRGLM 和 ZRZLM 比例的减小,应朝着增加 GRDLM 比例,减少 DRGLM 和 ZRZLM 比例的方向进行配比。要使  $Q_{net,ar}$  增大,应

表 2 极端顶点法配煤试验结果

Tab. 2 Test results of Exterme-Vertex-Based Blending

GRDLM	ZRZLM	DRGLM	$Q_{net,ar}$	Cost	$S_{tar}$	$A_{ar}$	$V_{ar}$	UL
0.50	0.00	0.50	18.811 3	400.584	1.004 305	30.182 1	32.577 6	0.85
0.19	0.42	0.39	18.828 9	377.033	1.092 25	29.744 2	32.891 8	0.85
0.00	0.50	0.50	18.329 3	332.514	1.343 75	30.125 2	32.813 4	0.80
0.00	0.60	0.40	18.660 3	349.514	1.262 32	30.238 9	33.009 5	0.80
1.00	0.00	0.00	21.296 8	554.000	0.683 77	25.155 9	33.670 9	1.00
0.19	0.47	0.34	18.993 3	385.531	1.050 43	29.299 9	32.988 8	0.90
0.39	0.47	0.14	19.848 7	446.759	0.767 90	27.150 6	33.287 3	0.95
0.20	0.60	0.20	19.460 7	410.686	0.924 74	28.034 5	33.252 9	0.95
0.38	0.34	0.28	19.381 1	421.603	0.893 3	28.415 8	33.022 9	0.95
0.69	0.17	0.14	20.267 4	487.730	0.717 05	26.714 3	33.275 4	0.95
0.25	0.25	0.50	18.521 2	366.500	1.144 34	30.604 6	32.646 4	0.80
0.75	0.00	0.25	20.012 6	477.251	0.821 97	27.627 6	33.082 8	0.95
0.40	0.60	0.00	20.314 1	471.912	0.640 21	25.883 2	33.549 4	0.95
0.00	0.55	0.45	18.495 0	341.014	1.303 18	30.682 2	32.911 6	0.80
0.44	0.17	0.39	19.093 6	411.091	0.965 62	29.296 4	32.797 7	0.90
0.70	0.30	0.00	20.734 8	512.885	0.591 34	25.448 9	32.539 5	0.95

配煤 Cost、 $S_{tar}$  和  $Q_{net,ar}$  的曲面如图 6 所示,混合曲面图出现曲面,说明 GRDLM、ZRZLM 和 DRGLM 之间存在交互作用, Cost 和  $Q_{net,ar}$  的最高点在 GRDLM 最多时,最低点在 DRGLM 最多时,  $S_{tar}$  的最低点在 GRDLM 最多时,最高点在 DRGLM 最多时,混合曲面图体现了配煤比例对配煤成本及混煤后含硫量、热值的影响趋势。

2.3 优化分析

利用优化模型工具,将配煤价格 Cost、热值  $Q_{net,ar}$ 、硫分  $S_{tar}$ 、灰分  $A_{ar}$ 、挥发分  $V_{ar}$  和机组负荷 UL 作为优化指标进行优化,优化过程中以望目为期望优化的结果,其中配煤价格 Cost (影响成本关键因素) 作为主要控制指标,重要性为 2,其余为 1,实验中的起始点分量取 2013 年 11 月配煤比例的一个经验值,得到结果多指标响应优化数据如表 3 所示。

表 3 多指标响应优化数据表

Tab. 3 Multiple Indicator Response Optimization Data Sheet

参数	目标	下限	望目	上限	权重	重要性
Cost	望小	247.500	247.500	554.000	1	2
$Q_{net,ar}$	望大	16.657	21.297	21.297	1	1
$S_{tar}$	望小	0.684	0.684	1.734	1	1
$A_{ar}$	望小	25.156	25.156	35.540	1	1
$V_{ar}$	望目	31.816	32.799	33.782	1	1
UL	望大	0.600	1.000	1.000	1	1
起始点分量	GRDLM = 0.2		ZRZLM = 0.6		DRGLM = 0.2	
全局解分量	GRDLM = 0.352 831		ZRZLM = 0.327 277 3		DRGLM = 0.319 896	
预测的响应	Cost = 411.120	合意性 = 0.466 168				
	$Q_{net,ar}$ = 19.220	合意性 = 0.552 334				
	$S_{tar}$ = 0.939	合意性 = 0.756 976				
	$A_{ar}$ = 28.818	合意性 = 0.647 376				
	$V_{ar}$ = 32.954	合意性 = 0.841 845				
	UL = 0.913	合意性 = 0.781 725				
复合合意性 = 0.628 433						

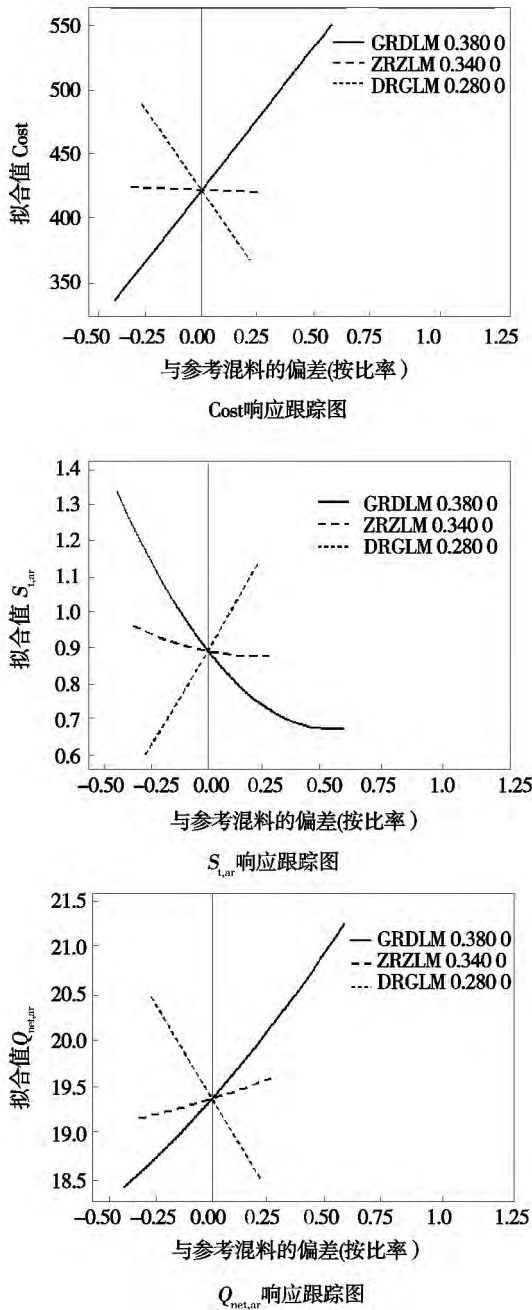


图 4 配煤 Cost、 $S_{t,ar}$ 、 $Q_{net,ar}$  的响应跟踪图

Fig. 4 Blending Cost  $S_{t,ar}$   $Q_{net,ar}$  response tracking map

由表 3 可以看出,全局解分量中各因子即 GRDLM、ZRZLM 和 DRGLM 的最优化取值分别是 GRDLM = 0.352 831、ZRZLM = 0.327 277 3、DRGLM = 0.319 896 结合企业配煤现状,取 GRDLM = 0.4、ZRZLM = 0.3、DRGLM = 0.3,即在此配比情况下,得到的配煤综合指标为最优状态。

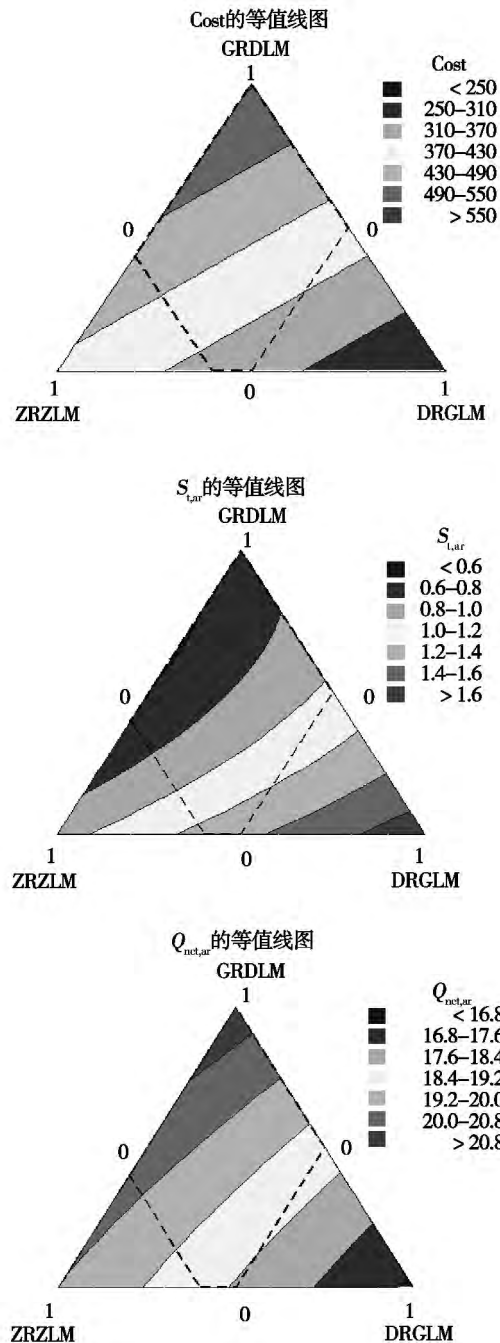


图 5 配煤 Cost、 $S_{t,ar}$ 、 $Q_{net,ar}$  的等值线图

Fig. 5 Contour blending Cost  $S_{t,ar}$ 's  $Q_{net,ar}$

### 2.4 试验验证

按得到的最优化配煤条件即取 GRDLM = 0.4、ZRZLM = 0.3、DRGLM = 0.3 进行 10 次试验,将得到的数据进行单样本  $t$  检验分析,结果如表 4 所示。

从上面的  $t$  检验分析可知,配煤热值、硫分等多指标都满足机组正常运行,达到负荷和排放要求,即配煤的多指标综合满足要求,此方案满足需求。

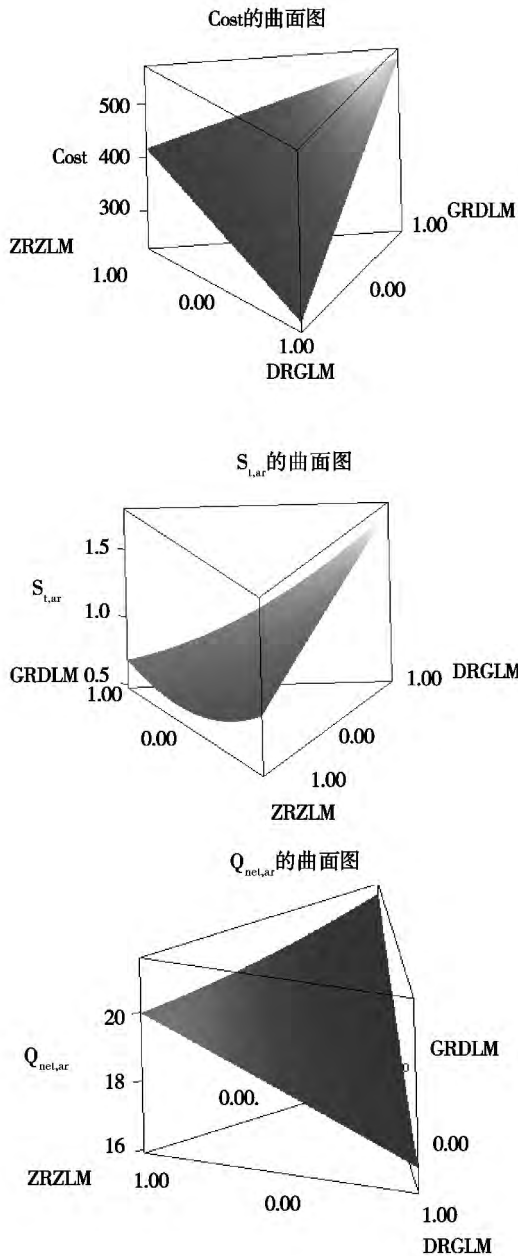


图6 配煤 Cost、 $S_{t,ar}$ 、 $Q_{net,ar}$ 的曲面图

Fig. 6 Blending Cost  $S_{t,ar}$ 's  $Q_{net,ar}$  a surface chart

表4 单样本 t 检验数据表

Tab. 4 Single-sample t - test data sheet

变量	N	平均值	标准差	标准误差	95% 置信区间
$Q_{net,ar}$	10	19.235 2	0.077 4	0.015 4	( 19.179 9 ,19.290 6)
Cost	10	411.00	0.00	0.00	( 411.00 ,411.00)
$S_{t,ar}$	10	0.936 5	0.058 9	0.028 1	( 0.872 9 ,1.000 1)
$A_{ar}$	10	28.829 7	0.035 6	0.007 1	( 28.768 5 ,28.890 9)
$V_{ar}$	10	32.942 9	0.051 1	0.009 1	( 32.785 1 ,32.826 1)
UL	10	0.913 81	0.021 12	0.006 68	( 0.898 70 ,0.928 92)

### 3 结论

以高热低硫煤、中热中硫煤以及低热高硫煤为三因素,通过混料设计试验方法研究了成本、热值、硫分、灰分、挥发分配煤综合指标的影响,在分析企业配煤现状和建立多指标响应优化模型的基础上,得出当高热低硫煤、中热中硫煤和低热高硫煤的加入比例为4:3:3时达到最优综合指标。最后通过实验并对试验结果进行了单样本 t 检验分析,验证了方案的合理性。

### 参考文献:

[1] 韩风光,邱金龙.基于混料设计的烧结配矿试验研究[J].梅山科技 2011(4):30-33.  
HAN Feng-guang, QIU Jing-long. Experimental Study on Sinter Ore Blending Based on Mixture Design [J]. Meishan Science and Technology 2011(4):30-33.

[2] Yulian Fei, Manman Jiang, D. Frank Hsu. Product Design Parameter Optimization Using Constraint Mixture Design and Combinatorial Fusion Analysis. 2012 12th International Symposium on Pervasive Systems, Algorithms and Networks. 2012. 23: 114-121.

[3] 马逢时,周 晔.六西格玛管理统计指南——MINITAB 使用指导(第二版) [M]. 2010.  
MA Feng-shi, ZHOU Wei. Statistical guide for Six Sigma Management: MINITAB Guide (Second Edition) [M]. 2010.

[4] Wang Chunping. The Influencing Factors of Volume Index on Mix Design of Asphalt Mixture. 2011 Fourth International Conference on Intelligent Computation Technology and Automation. 2011, P: 1225-1228.

[5] 徐可忠,李瑞丽,徐春明,等.基于极端顶点设计条件下的混料设计在柴油调合中的应用[J].炼油技术与工程. 2007, 37(2):44-48.  
XU Ke-zhong, Ruili LI, Chunming Xu, et al. Extreme-Vertex-Based Blending Formulation Design In Diesel Blending [J]. Petroleum Refinery Engineering. 2007, 37(2):44-48.

[6] 张文成,王春花.混料设计在降低配煤成本中的应用[A].中国科学技术协会、福建省人民政府.经济发展方式转变与自主创新——第十二届中国科学技术协会年会(第一卷) [C].中国科学技术协会、福建省人民政府 2010:6.  
ZHANG Wen-cheng, Wang Chun-hua. The Application of Mixture Design to Reduce the Cost of Coal Blending [A]. China Association for Science and Technology, The People's Government of Fujian Province. Transformation of Economic Development and Inno-

vation - China Association for Science and Technology Annual Meeting ( Vol. 1) [C]. China Association for Science and Technology ,The People's Government of Fujian Province. 2010: 6.

[7] 全 浩. 混料设计在煤气结构优化中的应用[J]. 四川化工 , 2011 ,14( 01) : 24 - 26.

TONG Hao. Formulation Optimization of Gas Structural Adjustment by Mixture Design [J]. Sichuan Chemical Industry. 2011 ,14( 01) : 24 - 26.

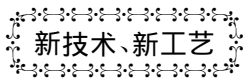
[8] 张 龙,李远才,陈 琦. 水溶性型芯配方的混料设计优化 [J]. 华中科技大学学报( 自然科学版) 2011 ,39( 3) : 6 - 9.

ZHANG Long ,LI Yuan-cai ,CHEN Qi. Optimization of the mixture design of the formula for water-soluble cores [J]. Huazhong Univ. of Sci. & Tech. ( Natural Science Edition) . 2011 ,39( 3) : 6 - 9.

[9] 赵 巍,李远才,李章博,等. 基于混料设计的泥炭腐植酸型煤粘结剂研究[J]. 武汉理工大学学报 2012 ,34( 2) : 27 - 31.

ZHAOWei ,LI Yuan-cai ,LI Zhang-bo ,et al. Study on Peat Humic Acid as Briquette Binder on Mixture Design [J]. Journal of Wuhan University of Technology. 2012 ,34( 2) : 27 - 31.

( 刘 瑶 编辑)



## 从 H 到 HA 并超过

据《Gas Turbine World》2014 年 9 ~ 10 月刊报道 ,回溯到上世纪 90 年代 ,GE 认为要得到 60% 的联合循环效率的唯一途径是借助于蒸汽冷却。此后 ,GE 的 6 台 H 级燃气轮机陆续在世界各地投入运行 ,共累计运行了约 200 000 h。结果表明 ,技术工作是很复杂的并且是花费很大的。

GE 的 7HA 和 9HA 机组 “A”代表被空气冷却的) 现在是美国制造者的旗舰涡轮。9HA 联合循环装置是与在 2011 年 6 月推出的与 Flex Efficiency50 同样类型的机组。

E 级的燃烧温度为 1 093 ~ 1 204 ℃ 和 F 级的燃烧温度为 1 260 ~ 1 427 ℃ ,GE 规定 H 级的燃烧温度超过 1 427 ℃ 并高达 1 593 ℃。

50 Hz 9HA. 01 和 9HA. 02 的简单循环和 1 × 1 联合循环的设计性能:

设计参数	9HA. 01	9HA. 02
简单循环额定功率 /MW	397	470
简单循环效率 /%	41. 5	41. 5
1 × 1 联合循环额定功率 /MW	592	701
1 × 1 联合循环效率 /%	61. 4	61. 4

60 Hz 7HA. 01 和 7HA. 02 的简单循环和 1 × 1 联合循环的设计性能:

设计参数	7HA. 01	7HA. 02
简单循环额定功率 /MW	275	330
简单循环效率 /%	41. 4	41. 4
1 × 1 联合循环额定功率 /MW	405	486
1 × 1 联合循环效率 /%	61. 1	61. 1

( 吉桂明 摘译 )

radiation ,compressor fouling ,time series model

跨音速正弯均匀加载叶片的数值与试验研究 = **Numerical and Experimental Study on Positive-curving & Evenly-loading Blade in Transonic Condition** [刊 汉] KANG Lei ,XU Wei ,ZHANG Yan ( No. 703 Research Institute of CSIC ,Harbin ,China ,Post Code: 150078) ,ZHOU Rui-jun ( Grand New Power Co. Ltd. Harbin ,China ,Post Code: 150078) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 ,31( 3) . -56 -62

The numerical analysis on four kinds of stator blade including evenly-loading blade ,positive-curving & evenly-loading blade ,aft-loading blade and positive-curving aft-loading blade was made under the same boundary conditions , and the air test of the annular cascade test pieces of the positive-curving & evenly-loading blade was carried out on the wind tunnel test bench with outlet Mach number of 0.97. The study results showed that positive-curving blade can control effectively the secondary flow of tip section ,realize the homogenization of the loss at the radial direction and make the Mach number contour orthogonal to the central line of the flow channel. Under the same boundary conditions ,for both the evenly-loading blade and aft-loading blade ,effective positive-curving can make the total pressure recovery coefficient increased by more than 1%. **Key words:** positive-curving blade ,aft-loading ,evenly-loading ,wind tunnel test

基于混料设计的优化配煤方案的研究 = **Research on Optimization of Coal Distribution Based on Mixture Design** [刊 汉] GUAN Hai-ying ,ZHANG Hai-ying ( Key Laboratory on Complex System Control and Intelligent Information Processing ,Xi'an University of Technology ,Xi'an ,Shanxi Province ,China ,Post Code: 710048) ,LIU Yu-ming ( Baqiao Thermal Power plant of Datang Shanxi Power Generation Co. Ltd. Xi'an ,Shanxi Province ,China ,Post Code: 710048) //Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 ,31( 3) . -63 -69

Under the preconditions of ensuring the normal operation of coal-fired boiler unit and meeting the needs of the unit load ,in order to improve the composite indicators such as coal distribution cost ,calorific value ,sulfur content ,ash content ,volatiles and so on ,on the principle of mixture test design ,with consideration of three factors including high-calorie & low-sulfur coal ,medium-calorie & medium-sulfur coal and low-calorie & high-sulfur coal ,the extreme vertex method was adopted for coal distribution design. In combination with the enterprise coal distribution status and environmental protection requirements ,the optimal proportion of three factors was obtained by using the multi-index response optimization model which established by analyzing and processing the test data. The results in-



dicates that the optimal composite indicators can be achieved when the proportion of high-calorie & low-sulfur coal , medium-calorie & medium-sulfur coal and low-calorie & high-sulfur coal is 4:3:3. **Key words:** mixture design , coal distribution composite indicators , multi-index response optimization model

暖风器对锅炉热效率影响特性分析 = **Analysis on the Influence of Air Heater on Boiler Thermal Efficiency**

[刊 ,汉] FAN Qing-wei , DONG Huai-tuo ( Guangdong Yudean Environmental Protection Co. Ltd. , Guangzhou , Guangdong Province , China , Post code: 510630) , MOU Chun-hua , XIE Tian ( Xi'an Thermal Power Research Institute Co. Ltd. , Xi'an , Shanxi Province , China , Post Code: 710032) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 , 31(3) . -70 -74

The paper firstly makes the analysis on the influences of air heater on boiler thermal efficiency based on the principle of boiler heat balance , and then on the basis of the definitions of the boiler net efficiency and fuel efficiency the paper proposes a calculation formula for boiler thermal efficiency before and after air heater put into operation. The analysis on the test data indicates that for a 200 MW unit , as air heater put into operation , with the definition of boiler net efficiency the boiler thermal efficiency decreases from 92.37% to 91.61% , and with the definition of fuel efficiency the boiler thermal efficiency decreases from 92.37% to 92.62% . The difference between two kinds of boiler thermal efficiency is 1.01% , which shows with the definition of fuel efficiency the boiler thermal efficiency will increase after air heater put into operation. With same heat output quantity , the heat input of fuel will decrease , so the calculation result can better reflect the changes of quantity of fuel entering the boiler. **Key words:** fuel efficiency , net efficiency , air heater , boiler energy balance

高密度循环流化床中 L 阀返料特性的试验研究 = **Experimental Study on Returning Characteristics of L-valve in HDCFB**

[刊 ,汉] ZHANG Run-yuan , FAN Bao-guo , LI Xiao-dong , QIAO Xiao-lei ( College of Electrical and Power Engineering , Taiyuan University of Technology , Taiyuan , Shanxi province , China , Post Code: 030024) // Journal of Engineering for Thermal Energy & Power. -2016 , 31(3) . -75 -82

A test on the influences of the air distribution mode , air-charging port location and air-charging port size on the L-valve returning flow rate  $M$  , system stability and L-valve resistance is made in the high density circulating fluidized bed ( HDCFB) . The pipe diameter of L-valve is 0.159m and the Class-I air-charging port and Class-II air-charging port are opened separately in vertical section and in horizontal section. The test results show when air charged joint-