



基于大数据分析的锅炉过量空气系数评估模型

苏晓文¹, 刘超飞², 王智微², 张浩²

(1. 华能陕西发电有限公司, 陕西 西安 710075;

2. 西安热工研究院有限公司, 陕西 西安 710032)

摘要: 锅炉过量空气系数的大小直接影响着锅炉效率。采用大数据分析中的多元线性回归方法, 在对历史运行数据进行预处理后, 利用 SPSS 软件对样本数据进行回归分析, 对影响过量空气系数的影响因子进行了研究, 得到了几个选定的影响因子的相关系数, 使用残差分析方法对模型的准确性进行了验证, 最后基于设计值对实际运行的过量空气系数进行了分析。

关键词: 过量空气系数; 大数据; 多元线性回归; SPSS 软件

中图分类号: TK323

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2019045

Boiler excess air coefficient model based on the large data analysis

SU Xiaowen¹, LIU Chaofei², WANG Zhiwei², ZHANG Hao²

1. Huaneng Shaanxi Power Generation Co., Ltd., Xi'an 710075, China

2. Xi'an Thermal Power Research Institute, Xi'an 710032, China

Abstract: Excess air coefficient value of boiler directly affects boiler efficiency. The multivariate linear regression method in the large data analysis method was used, after the preprocessing of the historical running data, the SPSS software was used to regress the sample data, and the evaluation model of the influence factors for the excess air coefficient was established. The correlation coefficient of the selected influence factors was obtained, and the accuracy of the model was carried out by the residual analysis method. Finally, the excess air coefficient of the actual operation was analyzed based on the design value.

Key words: excess air coefficient, big data, multiple linear regression, SPSS

1 引言

过量空气系数是锅炉运行的重要控制指标, 直接影响锅炉效率。过量空气系数太大会增加排烟热损失和厂用电率, 太小则不能保证

燃料完全燃烧, 增加化学未完全燃烧损失, 在实际运行中, 过量空气系数存在一个最佳的控制值。在锅炉运行中, 主要根据尾部烟道的氧量变化通过风机开度的调整控制送风量, 从而达到最佳过量空气系数。锅炉氧量的最佳值与



燃料种类、燃烧方式及燃烧设备的实际状况都有很大的关系。火电厂为实现节能减排的目标,应该对过量空气系数的控制因素有一个准确的评估。

在火电机组锅炉设备状态良好、燃料相对稳定的情况下,随着负荷的变化,一、二次风量的控制直接影响着锅炉出口氧量,而控制一、二次风量的直接方法就是调整风机挡板开度,以往的方法通过试验^[1]或经验来调整一、二次风量挡板开度系数,往往会造成控制过程的稳定性不够。

目前,大多数火电厂都建设有厂级监控信息系统(SIS),可将多年生产运行产生的海量数据存入 SIS 中的实时/历史数据库,可以利用这些实时数据进行有关的性能计算^[2-3]和数据分析^[4-6]。随着大数据技术的推广应用,可以通过 SIS 提供的数据抽取接口,利用秒级存储的海量实时数据分析一、二次风量与氧量的关系。

本文介绍了对某火电厂 350 MW 机组的数据分析方法。首先对历史数据进行必要的预处理,采用多元线性回归分析方法,使用 SPSS 软件^[7]对样本数据进行分析,找出相关系数,总结运行规律,得出了锅炉负荷、送风机挡板开度、一次风机挡板开度 3 个影响因子与过量空气系数的关联关系,使用残差分析方法对模型进行了评价。

2 模型建立的原理

机组正常运行时,影响因子与过量空气系数总在一个最优值上下浮动。在找到这一关联关系的基础上,可计算出一组给定影响因子对应的最佳过量空气系数,最佳过量空气系数是煤粉高效燃烧、提高锅炉效率的前提。

多元线性回归^[8]能有效地挖掘出多个自变量与因变量之间的关联系数,可以对海量的历史数据进行快速分析。常用的曲线拟合方法是最小二乘法,常见软件为 SPSS。

3 模型的建立过程

3.1 数据预处理

利用标准数据接口,从电厂实时/历史数据库中获取历史数据,需要一次导出省煤器入口给水流量、一次风机挡板开度、送风机挡板开度、省煤器出口氧量 4 个测点数据。机组运行过程中,存在停机及工况不稳的情况,这些数据无法正确地反映出这些自变量和因变量的影响关系,对于分析结果影响很大,因此需要对原始数据进行预处理,对获取数据的时间进行剔除和筛选。预处理工作包括删除停机时间段、选出机组负荷稳定的时间段和利用精确差值方法以特定时间间隔抽取数据。

首先,对机组停机时段的数据进行删除。机组停机的判断条件为机组负荷小于额定负荷的 30%且汽轮机转速低于 1 500,对符合这两个条件的时段进行剔除。

其次,选择机组负荷基本稳定的时间段。挑选出机组负荷的变化绝对值在±3 以内、稳定时间在 15 min 以上的时间段。

最后,在选定分析时段内,对机组停机时段进行剔除并筛选出工况稳定的时间段,得到多个离散的时间段,用精确差值方法对每个时间段进行数据抽取,间隔为 300 s,得到数据样本。

3.2 建立模型

实际影响锅炉过量空气系数的因素较多,作为研究探讨,本文选用的影响因子为锅炉负荷、一次风机开度、送风机开度;被评估的指标为锅炉的过量空气系数。

过量空气系数由氧量测点值计算得到,氧量 O_2 为省煤器出口氧量,计算式如下:

$$\alpha = \frac{21}{21 - O_2} \quad (1)$$

以某火电厂 350 MW 机组的生产运行数据为采样数据源,从 SIS 睿腾(Rython)数据库中获

取样本数据。该厂锅炉型号为 HG-1163/25.4-PM1, 是超临界变压直流炉。烟风系统设计采用一台动叶可调轴流送风机、一台动叶可调轴流一次风机和一台双级动叶可调轴流式引风机, 配备 1 台三分仓回转式空气预热器。

在对 2018 年 1-6 月半年间机组运行数据进行第 3.1 节中的数据预处理, 根据锅炉氧量计算过量空气系数后, 得到数据样本, 数据条目数为 17 442。使用 SPSS 软件进行多元线性回归, 得出的线性回归方程为:

$$y = 1.452 + 0.00428x_1 + 0.00127x_2 - 0.000579x_3 \quad (2)$$

其中, y 表示锅炉过量空气系数; x_1 表示送风机开度; x_2 表示一次风机开度; x_3 表示省煤器入口给水流量。

3.3 结果的应用

由第 3.2 节中的模型的线性回归方程可以看出, 自变量送风机挡板开度、一次风机挡板开度都对因变量过量空气系数起正相关作用, 这两个因变量的增大会引起过量空气系数的增大, 但送风机开度对过量空气系数的影响系数明显更大一些, 是一次风机开度的 3.4 倍。增加锅炉负荷, 则过量空气系数会降低。

在锅炉负荷、一次风机的挡板开度确定后, 可以得到送风机挡板开度对锅炉过量空气系数的影响程度。如锅炉负荷为 523 t/h、一次风机挡板开度为 14.5%, 送风机的挡板开度变化为 20%~25%, 过量空气系数的变化为 1.231~1.251, 与实测氧量算出的过量空气系数基本一致。

4 模型评价

4.1 模型自身评价

用 SPSS 软件进行多元线性回归分析后, 能够得到模型汇总、模型相关系数及残差分析结果。

根据模型分析结果对模型预测值和实际偏差值进行计算, 计算结果见表 1。

表 1 模型汇总

R	R^2	调整 R^2	标准估计的误差
0.84	0.706	0.706	0.026 963 27

其中, R 为复相关系数, R 越大, 线性相关性就越密切。 $R=0.837$, 可明确锅炉负荷、一次风机开度、送风机开度这 3 个量与锅炉的实际过量空气系数与设计值偏差关系非常密切。

表 2 展示了模型的系数及显著性校验结果, 可以得到各个系数(常数、送风机挡板开度系数、一次风机挡板开度系数、给水流量系数)的显著性全都是 0。因此模型系数与样本之间的差异为纯机会变异, 假设情况与真实情况一致。

表 2 模型系数

模型	B	标准误差	β	T	显著性
常量	1.452	0.002		757.160	0
送风机挡板开度	0.004	0	0.783	36.201	0
一次风机挡板开度	0.001	0	0.133	12.847	0
给水流量	-0.001	0	-1.676	-69.708	0

表 3 展示了模型的残差估计结果: 在 10 363 个正误差之中最大值为 0.349, 中位数是 0.027 4, 说明大部分正误差维持在一个比较小的水平。正误差方差为 0.026 8, 比绝对误差的方差还要小。结合平均值、中位数以及方差可以确定正误差较小, 模型精度较高, 对负误差的分析可以得到同样的结论。考虑绝对误差, 发现与正负误差比较, 中位数无较大变化。模型的标准差较小, 说明了模型正负离散程度较小, 模型得出的数据较为稳定。这一结果证明了整个模型的残差整体集中在较小的区间内, 多元线性拟合结果比较符合实际情况。

4.2 和预处理前数据分析结果比较

使用 SPSS 对预处理前的数据进行分析, 得到表 4 所示的模型汇总。表 4 和表 1 进行对比, 不经过处理, R 值很小, 过量空气系数影响因子之间的线性回归几乎没有相关性。估计的标准偏差



表 3 残差估计结果

	数量	百分比	标准差	最大值	最小值	中位数	平均值
绝对误差	17 442		0.049 7	0.349	-0.154 5	0.008 2	-5.1×10^{-16}
正误差	10 363	59.42%	0.026 8	0.349	0.000 01	0.027 4	0.032 0
负误差	7 079	40.58%	0.036 5	-2.3×10^{-6}	-0.154 5	-0.041 4	-0.046 9

错误达到了 847.80, 这说明未经预处理, 线性回归模型的误差太大, 结果与实际情况完全不符, 这样的数据模型几乎没有价值。因此对机组停机的过滤及数据稳定性的预处理是非常有必要的。

表 4 预处理前模型汇总

R	R ²	调整 R ²	标准估计的误差
0.063	0.004	0.004	847.802 8

4.3 过量空气系数的控制效果

对于锅炉过量空气系数控制的优劣判断, 需要将实际值与最佳值 (为方便分析, 取设计值) 进行比较, 计算锅炉空气系数偏差百分比。电厂锅炉设计说明书中关于过量空气系数的技术参数见表 5。

表 5 锅炉过量空气系数设计值

编号	BMCR	70% BMCR	50% BMCR	最低稳燃负荷
省煤器出口氧量	1.19	1.26	1.38	1.41
给水流量	1 081	691.19	453.5	394.81

对于锅炉不同负荷下的过量空气系数设计值计算, 如果超出最大负荷或者低于最小负荷, 取最大负荷或者低于最小负荷对应的的设计值。如锅炉负荷落在某一区间范围 $[x_1, x_2] = \{x \in R: x_1 \leq x \leq x_2\}$, 对应的过量空气系数区间 $[y_1, y_2] = \{y \in R: y_1 \leq y \leq y_2\}$, 过量空气系数设计值 α_i 计算如下:

$$\alpha_i = y_1 + \frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \times (x - x_1) \quad (3)$$

锅炉的过量空气系数偏差比 β 的计算式如下:

$$\beta = \frac{100 \times (\alpha - \alpha_i)}{\alpha_i} \quad (4)$$

依据上述计算方法对第 3.2 节中的样本数据计算过量空气系数偏差百分比, 对所处区间进行划分, 各区间散点的分布范围见表 6。

表 6 预处理前模型汇总

区域	样本个数/个
-10~-5	12 467
-5~0	4 833
0~10	142

由表 6 可知, 在运行过程中, 99%的偏差为 -10%~0, 可知电厂在运行过程中, 为减少过量空气带走多余热量, 绝大多数情况下氧量偏低。72%空气系数分布在 -10%~-5%, 大多数情况下锅炉氧量明显偏低, 会造成燃烧的不充分, 造成化学未完全燃烧, 损失增加。

不同锅炉负荷下的过量空气系数偏差百分比关系如图 1 所示, 实际过量空气系数与设计值的对比如图 2 所示。

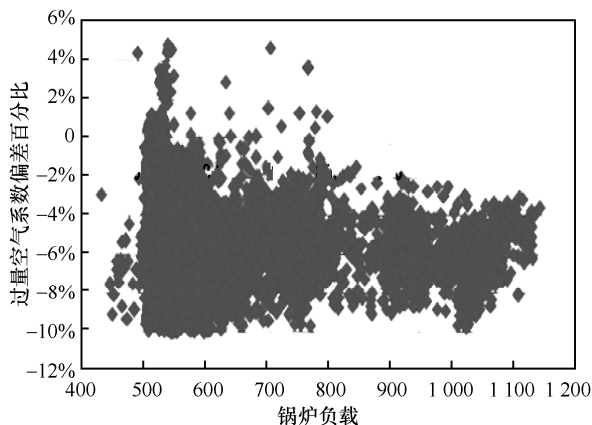


图 1 不同锅炉负荷下的过量空气系数偏差百分比关系

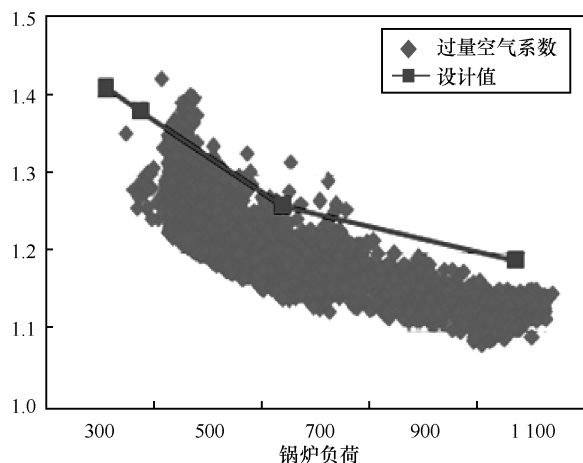


图2 不同锅炉负荷下的过量空气系数与设计值对比

可以看出,实际的过量空气系数在高负荷段全都低于设计值,在低负荷段少量高于设计值。实际的锅炉过量空气系数(氧量)最佳值往往偏离设计值,该最佳值可以通过传统的研究方法确定^[9],也可以利用大数据的方法得到^[10]。

5 结束语

基于大数据分析的评估模型全面地考虑了送风机开度、一次风机开度、给水流量等影响锅炉过量空气系数的多个影响因子,对影响过量空气系数的因变量的相关系数给出了精确的数值。引入参数过量空气系数偏差百分比,给出了判断运行控制效果的判断方法,结合实际运行数据对电厂的运行结果进行了分析,有助于火电厂更好地了解控制过量空气系数方面的不足。可在多元线性回归分析中再加入因变量送风机、一次风机电流之和,进一步分析风机电流对过量空气系数的影响系数,在保证过量空气系数最佳的前提下,寻找最低电流之和对降低风机耗电量也有着较高的分析价值。

参考文献:

- [1] 陈广伟, 马海鹏. 600 MW 超超临界锅炉最佳运行氧量试验研究[J]. 节能, 2017, 36(9): 43-47.
CHEN G W, MA H P. Experimental study on optimal operation oxygen content of 600 MW ultra supercritical boiler[J]. Energy Conservation, 2017, 36(9): 43-47.
- [2] 王智微, 范奇, 张浩, 等. 垃圾焚烧发电厂实时性能计算方法的研究与应用[J]. 热力发电, 2012, 41(9): 24-28.
WANG Z W, FAN Q, ZHANG H, et al. Research and applications of real-time performance calculation for garbage power plant[J]. Thermal Power Generation, 2012, 41(9): 24-28.
- [3] 范奇, 王文庆, 刘超飞, 等. 火电机组在线性能计算与性能试验对比分析[J]. 热力发电, 2013, 42(8): 86-89.
FAN Q, WANG W Q, LIU C F, et al. Relative analysis of online calculation and performance test for a thermal power unit[J]. Thermal Power Generation, 2013, 42(8): 86-89.
- [4] 王智微, 李虹锐, 郑建虎, 等. 利用历史稳态数据仿真计算母管制运行机组各台汽轮机进汽流量的方法研究[C]//中国电机工程学会 2015 年学术年会, 2015 年 11 月 17—20 日, 中国, 武汉. [S.l.:s.n.], 2015.
WANG Z W, LI H R, ZHENG J H, et al. Research on the calculation of the steam rate of turbines based on the historical data in the units with common steam header system[C]//Academic Annual Meeting of China Electrical Engineering Society in 2015, November 17-20, 2015, Wuhan, China. [S.l.:s.n.], 2015.
- [5] 王智微, 李虹锐, 张浩, 等. 利用数据挖掘技术进行大型燃煤机组运行优化分析的研究[C]//中国电机工程学会 2016 年学术年会, 2016 年 11 月 15—18 日, 中国, 南京. [S.l.:s.n.], 2016.
WANG Z W, LI H R, ZHANG H, et al. Research on operation optimization analysis of large coal-fired units using data mining technology[C]//Academic Annual Meeting of China Electrical Engineering Society in 2016, November 15-18, 2016, Nanjing, China. [S.l.:s.n.], 2016.
- [6] 徐创学, 刘鲁清, 谢云明, 等. 基于实时数据的风力发电机组性能在线评价[J]. 热力发电, 2015, 44(4): 88-91.
XU C X, LIU L Q, XIE Y M, et al. Real-time data based online evaluation of output performance for wind turbine units [J]. Thermal Power Generation, 2015, 44(4): 88-91.
- [7] 解辰, 李云鹏, 王彬. 基于 SPSS 软件的循环流化床锅炉启动特性分析[J]. 热力发电, 2008(11): 68-70.
XIE C, LI Y P, WANG B. Starting characteristic analysis of circulating fluidized bed boiler based on SPSS software [J]. Thermal Power Generation, 2008(11): 68-70.
- [8] 杨瀚钦. 面向辅助决策的火电厂大数据分析系统的设计与实现[D]. 北京: 华北电力大学, 2012.
YANG H Q. Design and implementation of large data analysis system in thermal power plant for assistant decision making [D]. Beijing: North China Electric Power University, 2012.
- [9] 黄志彬, 易勇智, 刘宝富, 等. 超超临界 600 MW 机组锅炉运行氧量控制[J]. 热力发电, 2012(12): 106-108.



HUANG Z B, YI Y Z, LIU B F, et al. Oxygen content control for a boiler in ultra supercritical 600 MW unit[J]. Thermal Power Generation, 2012(12): 106-108.

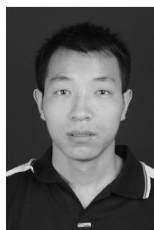
[10] 西安热工研究院. 华能集团火电机组远程辅助诊断系统节能诊断技术开发报告[R]. 2014.

Xi'an Thermal Power Research Institute. Development report on energy-saving diagnosis technology of remote aided diagnosis system for thermal power units of Huaneng Group [R]. 2014.

[作者简介]



苏晓文（1974- ），女，华能陕西发电有限公司工程师，主要从事信息化应用、网络与信息安全研究工作。



刘超（1981- ），男，西安热工研究院有限公司高级工程师，主要从事电站信息化技术的研究工作。



王智微（1970- ），男，西安热工研究院有限公司研究员，主要从事电站清洁燃烧和电站信息化技术的研究工作。

张浩（1990- ），男，西安热工研究院有限公司工程师，主要从事电厂 SIS、发电公司实时监管系统的研究工作。



国之重器出版工程

网络强国建设



多接入边缘计算 (MEC) 及关键技术

Multi-access Edge
Computing (MEC) and
Key Technologies

张建敏 杨峰义 武洲云 张郑锴 王煜炜 编著

人民邮电出版社

书号: ISBN 987-7-115-50235-3

定价: 128.00元

出版时间: 2019年1月

内 容 简 介

本书结合未来5G网络演进趋势全面讨论了5G多接入边缘计算(MEC)及关键技术,内容涵盖5G网络需求及架构、MEC概念应用场景及需求分析、MEC系统架构及部署组网策略以及MEC系列关键技术,包括本地分流技术、缓存加速、网络能力开放、移动性管理、固移融合、计算卸载等不同层面。

本书可供具有一定移动通信技术基础的专业技术人员或管理人员阅读,也可作为高等院校相关专业师生的参考读物。

邮发代号: 2-397 国外代号: M841 定价: 68.00元

ISSN 1000-0801

