

· 控制理论应用 ·

烧结过程决策支持系统的设计与实现

刘政华, 吴 敏, 王春生

(中南大学 信息科学与工程学院, 湖南 长沙 410083)

摘要:针对某大型钢铁企业烧结生产过程的质量管理问题,提出一种基于控制图分析的烧结过程决策支持系统设计方案。首先,应用主成分分析、灰色关联分析方法,对烧结过程信息进行提取,确定影响质量的主要参数。然后,对烧结矿质量数据进行控制图分析,得到质量异常信息,并分析异常原因,为指导生产提供判断依据。实际运行结果表明该系统能够帮助决策者指导生产调整,提高烧结矿质量。

关键词:烧结过程;决策支持系统;主成分分析;灰色关联分析;控制图

中图分类号: TF325.1 **文献标志码:** A **文章编号:** 1000-7059(2009)04-0019-05

Design and implementation of a decision support system for sintering process

L U Zheng-hua, WU Min, WANG Chun-sheng

(School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China)

Abstract: To deal with quality management problem in sintering process of a large-scale steel enterprise, a design scheme of decision support system for sintering process based on control chart analysis is proposed. First, with the aid of principal component analysis and grey relevant analysis methods, sintering process information was obtained and main parameters which influence sintering quality were determined. Then, through control chart analysis for sintering quality data, quality exception information was got and quality exception causes were analyzed. So, judgement basis was provided for supervising production. Actual operation results show that the system can help decision maker supervise production adjustment and improve sintering quality.

Key words: sintering process; decision support system; principal component analysis; grey relevant analysis; control chart

0 引言

在现代钢铁企业产品质量管理中,建立和发展现代化的产品质量信息分析决策支持系统,可以帮助钢铁企业技术人员有效分析产品质量,准确把握产品质量动态,实现对整个产品质量过程有效的管理和决策,对钢铁企业降低生产成本,提高经济、社会效益,具有重要意义^[1-3]。

烧结矿一直是国内外高炉炼铁的主要原料,占高炉炉料的 90%以上。烧结过程不仅能使矿粉

成块,而且还对高炉炉料起着火法预处理的作用,使高炉冶炼达到高产、优质、低耗的目的。烧结矿质量的优劣将直接影响到炼铁生产的产量、质量及能源消耗,因此钢铁企业烧结过程的质量管理尤为重要,而控制图是最重要的质量管理工具,针对控制图统计分析,很多学者进行了深入研究,并在一些领域取得了成功应用^[4-6]。

目前在钢铁企业烧结过程质量管理中,一些企业质量分析仅凭人工经验,缺乏对生产过程进

收稿日期: 2008-11-28;修改稿收到日期: 2009-03-02

基金项目: 国家 863 计划课题 (2008AA04Z128); 国家杰出青年科学基金项目 (60425310)

作者简介: 刘政华 (1984-), 男, 湖南衡阳人, 硕士研究生, 主要从事工业过程控制技术研究。

行全面的关联分析,无法及时发现生产过程中的异常信息并做出相应的调整。本文针对某大型钢铁企业烧结过程的质量管理问题,建立基于控制图分析的烧结过程决策支持系统,可以帮助决策者准确地掌握生产过程中的有用信息,并有效指导生产调整。

1 系统总体结构及功能

系统采用如图 1 所示的总体框架,以 Oracle 10g 作为基础数据库,数据由两部分组成,一部分是通过人工录入的各种质量数据,包括中和矿、烧结矿的质量指标数据;另一部分是通过实时数据

库从烧结控制系统取得的工艺参数数据,这部分数据可以通过相关工具转存到关系数据库中,主要为烧结过程工艺参数、下料信息等。

系统首先从 Oracle 数据库中读取质量、工艺参数数据,并对这些数据进行主成分分析和灰色关联分析,计算出影响质量各因素的关联度,根据关联度确定影响质量的关键参数。针对确定的主要质量指标和关键参数绘制控制图,对控制图进行分析,根据选定的异常准则进行判断,出现异常情况报警,并通过异常诊断方法进行原因分析,为指导生产调整提供依据。

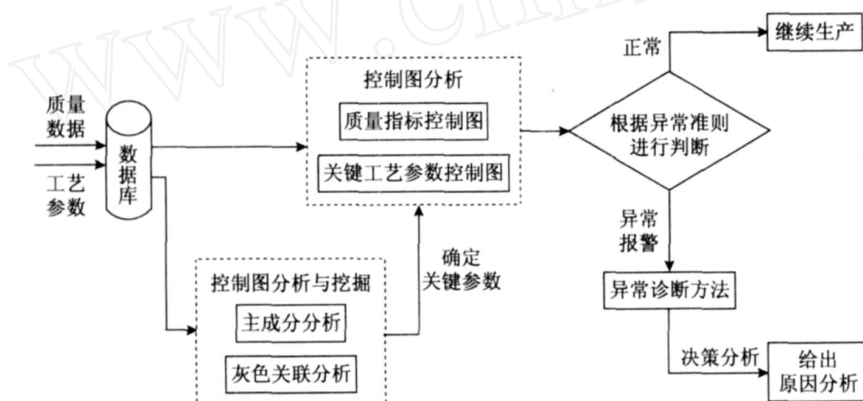


图 1 系统总体框架

Fig 1 Framework of system

2 烧结过程关键参数确定

2.1 主成分分析

烧结生产过程涉及众多质量指标,但是指标太多不仅会增加计算的复杂性,而且也会给合理分析问题和解决问题带来困难。一般说来,每个指标都提供了一定的信息,但其重要性有所不同,而在很多情况下,指标之间有一定的相关性,使得这些指标提供的信息在一定程度上有所重叠。因此人们希望用极少数相关互补的新指标来反映原指标提供的绝大部分信息,通过对新指标的分析达到解决问题的目的^[7]。

烧结矿质量指标主要包括化学成分指标:全铁含量、氧化铁含量、氧化镁含量、硫含量、磷含量、碱度;物理性能指标:转鼓强度、粒度(10~40 mm)。这里分别用 $x_1, x_2, \dots, x_8$ 表示。采集一组现场数据,按照主成分分析步骤计算过程如下:

步骤 1,根据指标体系中的具体指标收集原始数据,取 n 个指标不同时间的 n 个数据;

步骤 2,求出数据的样本协方差矩阵与相关系数矩阵;

步骤 3,计算相关系数矩阵的特征根 $\lambda_i (i=1, 2, \dots, n)$,对应的正交单位化特征向量为 $e_i = (e_{i1}, e_{i2}, \dots, e_{in})^T$;

步骤 4,计算各主成分的贡献率为 $\lambda_i / \sum_{i=1}^n \lambda_i$,前 m 个主成分累计贡献率为 $\sum_{k=1}^m \lambda_k / \sum_{i=1}^n \lambda_i$ 。一般认为累计贡献率达到 85% 以上,则把 m 选为主成分的个数;

步骤 5,获得各主成分表达式 $y_i = e_{i1}x_1 + e_{i2}x_2 + \dots + e_{in}x_n, i=1, 2, \dots, m$,通过计算,当 m 取 3 时,主成分累计贡献率已达 90.59%,因此得到烧结矿质量 3 个主成分 y_1, y_2, y_3 ,如式 (1) 所示。

$$\begin{cases} y_1 = -0.4072x_1 - 0.0194x_2 + 0.1742x_3 - 0.3447x_4 - 0.3878x_5 - 0.4505x_6 - 0.3979x_7 + 0.4159x_8 \\ y_2 = 0.2547x_1 - 0.5885x_2 - 0.6057x_3 - 0.0601x_4 - 0.1045x_5 + 0.2106x_6 - 0.2524x_7 + 0.3151x_8 \\ y_3 = -0.2719x_1 - 0.0835x_2 + 0.0046x_3 + 0.6337x_4 + 0.5366x_5 - 0.1815x_6 - 0.4128x_7 + 0.1621x_8 \end{cases} \quad (1)$$

2.2 灰色关联分析

烧结过程作为一个复杂的工业过程,对烧结矿质量有影响的参数众多,包括原料成分、配比、工艺参数等,而且众多指标之间同样存在一定的关联性。因此在分析质量异常原因时,需要采用关联分析方法,确定烧结矿质量与各影响因素的关联性强弱。

灰色关联分析方法,是根据因素之间发展态势相似或相异程度,来衡量因素间关联程度的方法。它可在不完全的信息中,对所要分析研究的各因素,通过一定的数据处理,在随机的因素序列间找出它们的关联性,找到主要特性和主要影响因素^[8]。在烧结生产过程中,由于数据之间的概率分布难以确定,并且信息存在不完全的情况,所

$$R = \begin{bmatrix} 0.8650 & 0.8437 & 0.8652 & 0.8610 & 0.8154 & 0.6101 & 0.5712 \\ 0.7675 & 0.7579 & 0.8129 & 0.7899 & 0.7668 & 0.7248 & 0.6651 \\ 0.8376 & 0.9182 & 0.7933 & 0.8530 & 0.7810 & 0.6120 & 0.5504 \end{bmatrix} \quad (2)$$

从灰色关联矩阵可知,前 6 列数据都大于 0.6,说明 $x_a \sim x_f$ 对烧结矿质量主成分影响较大,而 x_g 影响较小,因此分析质量异常原因时不考虑 x_g 。

3 控制图分析

3.1 控制图判异准则

控制图是对生产过程中产品质量状态进行控制的统计工具,它对过程质量加以测定、记录、评估,从而监察过程是否处于控制状态^[9],还可用于侦测工序不稳定性,所以需要选定一些准则来侦测不稳定工序,但选定的每一种准则都有其各自的误报警率(工序没有问题,控制图信号有问题的比例),而误报警率是合成的,多个准则合并使用就会产生误报警,增加分析成本。为使总误报警率降到可接受的程度,本系统选取以下 5 条判异准则,符合 5 条准则之一的判定为质量异常。控制图区域见图 2,中心线取样本数据的平均值 μ , A, B, C 区域按照样本数据的标准差 σ 进行划分。

(1) 一个点超出区域 A;

(2) 以中心线为基准,在同一侧面有 9 个连续点;

(3) 相连的 6 个点连续上升或下降;

(4) 连续的 3 个点中 2 个在 A 区域(以中心线为基准在同一侧);

(5) 连续的 5 个点中 4 个在区域 B 或其外边的位置(以中心线为基准在同一侧)。

以在分析过程中采用灰色关联分析方法来进行关联性分析。

基于烧结生产过程的机理分析以及实际经验,初步确定影响烧结矿的质量因素包括:中和矿全铁含量、燃料比、烧结机速度、点火温度、风箱废气温度(17#风箱)、大烟道废气温度、热风温度。

分别以 2.1 节中计算得到的烧结矿质量主成分 y_1, y_2, y_3 作为参考序列,以中和矿全铁含量、燃料比、烧结机速度、点火温度、风箱废气温度(17#风箱)、大烟道废气温度、热风温度为比较序列,用 $x_a, x_b, x_c, x_d, x_e, x_f, x_g$ 表示,按照灰色关联分析步骤确定参考序列,并无量纲化,然后计算灰色关联系数及关联度,得到烧结矿质量影响因素的灰色关联矩阵,如式(2)所示。

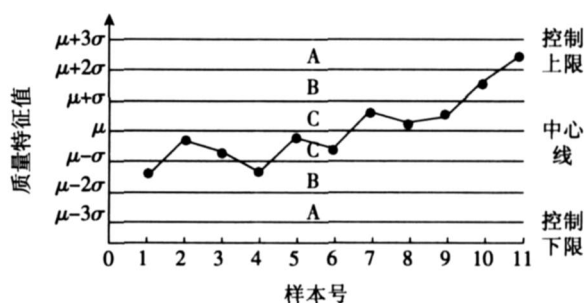


图 2 控制图区域示意图

Fig. 2 Diagram of control chart's region

μ —样本数据平均值; σ —标准差

3.2 控制图绘制

烧结矿质量指标主要为 $x_1, x_2, \dots, x_9$, 系统首先从 Oracle 数据库中读取最新的 90 个数据,以每 5 个为一组,分为 18 个样本,计算样本的均值和极差,然后计算绘制控制图需要确定的各控制线,并将结果显示在绘图控件 TeeChart 上。控制图绘制流程见图 3。

4 控制图异常诊断方法

针对控制图分析得到的异常信息,对影响质量的各因素进行灰色关联排序,在此基础上依次分析对应段数据是否异常,异常则输出原因。

4.1 控制图异常点灰色关联分析

控制图异常点灰色关联分析主要是分析异常点与各个影响因素之间的关联度。通过前文的主成分分析和关联分析,确定了影响烧结矿质量的

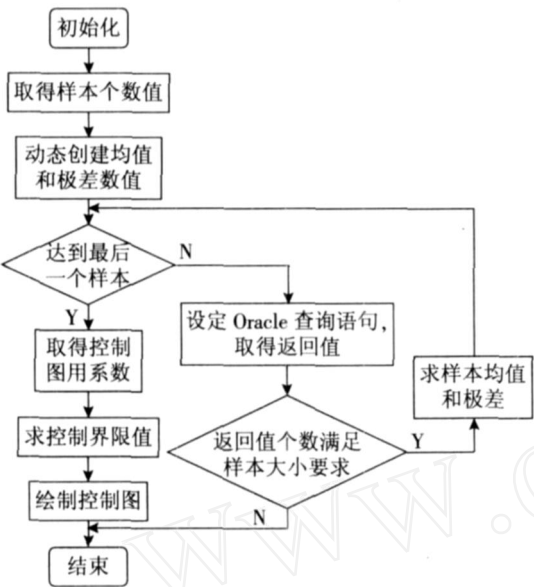


图 3 均值 - 极差控制图流程图

Fig 3 Flow chart of value-range control chart

主要参数为 $x_a \sim x_f$ 。以烧结矿全铁含量作为参考序列,用 x_0 表示, $x_a \sim x_f$ 为比较序列,分析数据见表 1,对烧结矿全铁含量及其影响因素进行灰色关联分析。

表 1 烧结矿全铁含量灰色关联分析数据表
Table 1 Grey relevant analysis data table of sinter TFe content

质量指标	数据编号				
	1	2	3	4	5
$x_0 / \%$	54.37	54.37	54.20	54.07	53.79
$x_a / \%$	61.3	61	61.1	61.1	61.3
$x_b / \%$	4.91	4.96	5.13	4.77	4.75
$x_c / (m/s)$	2.3	2.4	2.4	2.2	2.3
$x_d /$	796	901	806	876	856
$x_e /$	311	300	260	292	291
$x_f /$	160	163	161	159	160

计算得到相应的关联度如下: $r_{01} = 0.947\ 7$; $r_{02} = 0.787\ 5$; $r_{03} = 0.736\ 8$; $r_{04} = 0.591\ 7$; $r_{05} = 0.748\ 9$; $r_{06} = 0.808\ 5$,因此关联度排序为: $r_{01} > r_{06} > r_{02} > r_{05} > r_{03} > r_{04}$ 。

4.2 异常诊断过程

控制图分析得到的异常信息,其实质反映了这段时间的生产出现波动,原因可能是原料指标出现异常,也可能是烧结过程中的一些操作调整引起烧结过程参数发生变化。因此对控制图异常信息原因分析时,根据 4.1 节灰色关联分析结果,依次对各因素进行分析,异常则输出原因。

以烧结矿全铁的诊断过程为例:针对 3.1 节

中选取的判异准则 1,当烧结矿全铁含量超过区域 A,认为该段时间的全铁含量偏高,如果分析对应段中和矿的全铁含量数据同样偏高,则认为是中和矿的全铁含量偏高引起烧结矿全铁含量偏高,需要调整中和矿的成分。

5 系统实现及工业应用

本系统在 Windows XP 上采用 Visual Studio 2008 进行开发,通过 Web 服务器发布,用户可远程登录,实现对整个生产的了解和指导。系统已于 2008 年 4 月在某大型钢铁企业烧结分厂正式投入运行,能够有效地指导生产调整。

如图 4(a)所示是烧结矿粒度组成的控制图,曲线是粒度组成样本点数据均值波动曲线,7 条横线是根据控制图统计分析确定的控制线,与图 2 中的控制线对应。根据 3.1 节中选取的判异准则 4,得到异常信息:样本点 4、5、6 中有 2 点在下区域 A,图 4(b)是对该条异常信息的分析,当分析对应段的烧结机速度数据出现异常时,则认为是烧结机速度引起的质量异常。

6 结论

本文针对烧结生产过程,设计和实现烧结过程决策支持系统,并在某大型钢铁企业烧结过程进行工业应用,取得了比较好的效果。

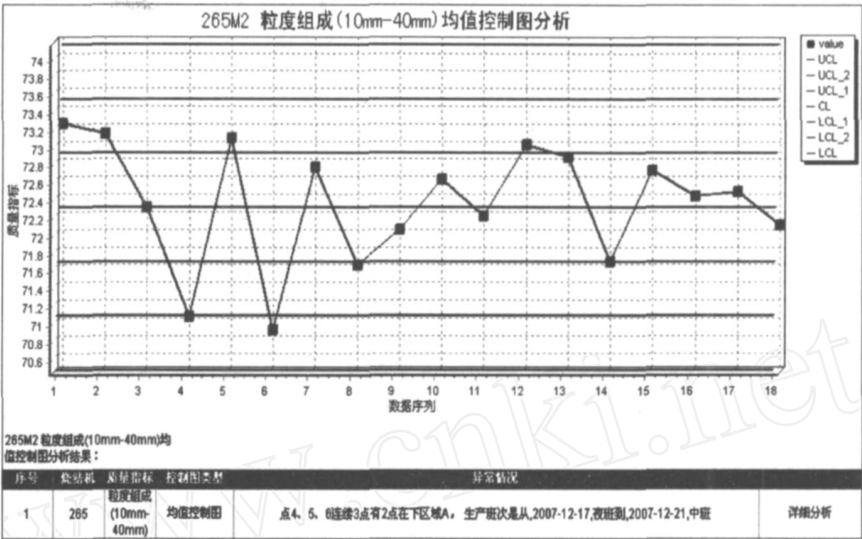
(1) 系统通过主成分分析、关联分析方法对烧结生产过程数据进行分析,确定影响质量的关键参数。

(2) 系统将控制图分析引入到流程工业生产过程中,通过灰色关联分析方法对质量异常信息进行分析,能帮助技术人员全面了解引起质量波动的原因,并进行生产调整。同时保存异常原因分析的结果,对以后的分析具有借鉴意义。

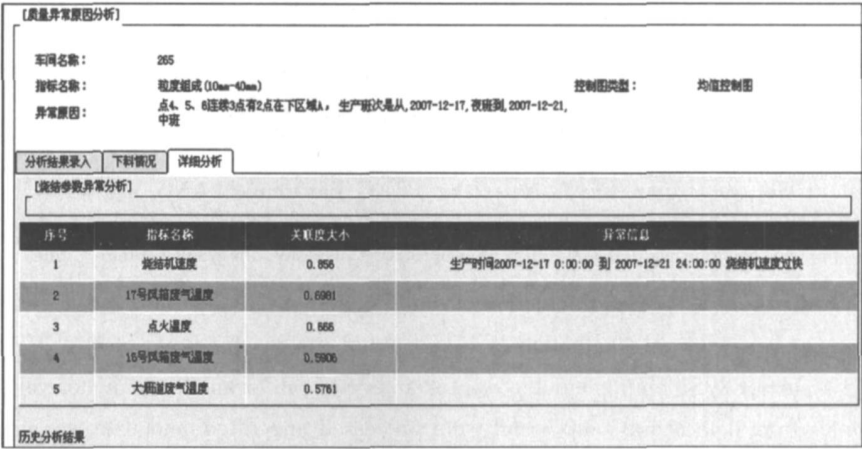
(3) 该系统投运后取得比较好的效果,可以帮助决策者指导生产调整,提高烧结矿质量。

参考文献:

[1] 顾佳晨,刘晓强,孙彦广. 钢铁企业 MES 质量管理的功能与技术架构[J]. 冶金自动化, 2004, 28(1): 19-21.
GU Jia-chen, L U Xiao-qiang, SUN Yan-guang Functional and technical framework of quality management of MES for iron and steel industry[J]. Metallurgical Industry Automation, 2004, 28(1): 19-21.
[2] Mykita Michael. Quality decision support software in the steel industry[J]. A ISE Steel Technology, 2000, 77(3): 49-50.



(a)烧结矿粒度组成控制图



(b)控制图异常原因分析

图 4 系统运行效果

Fig 4 System running result

[3] Kano M. Data-based process monitoring, process control, and quality improvement: recent developments and applications in steel industry[J]. Computers and Chemical Engineering, 2008, 32(1): 12-24

[4] 乐清洪,滕霖,朱名铨,等. 质量控制图在线智能诊断分析系统[J]. 计算机集成制造系统, 2004, 10(12): 1584-1587.

LE Qing-hong, TENG Lin, ZHU Ming-quan, et al On-line intelligent diagnosis and analysis system for quality control charts[J]. Computer Integrated Manufacturing System, 2004, 10(12): 1584-1587.

[5] 李益兵,郭顺生,赵春阳. 统计过程控制 SPC在 ERP质量管理中的应用研究[J]. 武汉理工大学学报(交通科学与工程版), 2007, 31(6): 1094-1097.

LI Yi-bing, GUO Shun-sheng, ZHAO Chun-yang Applica-

tion of statistical process control in quality management of ERP[J]. Journal of Wuhan University of Technology (Transportation Science & Engineering), 2007, 31(6): 1094-1097.

[6] Castagliola P. Economic-statistical design of an EWMA control chart for monitoring process variability[J]. Journal of Quality in Maintenance Engineering, 2007, 13(3): 304-320

[7] 于秀林,任雪松. 多元统计分析[M]. 北京: 中国统计出版社, 1999.

[8] 刘思峰. 灰色系统理论及其应用[M]. 3版. 北京: 科学出版社, 2004.

[9] 孙静. 最新国家标准 GB/T4091-2001《常规控制图》理解与实施[M]. 北京: 中国标准出版社, 2002

编辑:沈黎颖