

橡胶混炼过程在线质量预报专家系统

孙 超,王海清,李 平

(浙江大学 工业控制技术研究所,浙江 杭州 310027)

摘要:采用模糊专家系统理论和实时数据库技术,建立橡胶混炼在线质量预报专家系统(RMES)。实现对生产过程中异常工况的实时诊断,预报可能发生的质量波动。RMES可以帮助操作人员找到引起质量波动的原因,给出相应处理信息,有效地保证混炼胶质量的均一性。试验结果表明,RMES大大改善了目前生产过程中无法及时得到质量检测数据的问题,缩短了故障的持续时间。

关键词:模糊专家系统;橡胶混炼过程;在线质量预测;自学习

中图分类号:TQ330.4⁺3;TP315 **文献标识码:**B **文章编号:**1000-890X(2004)07-0428-04

橡胶混炼是橡胶加工的第一道主要工序,混炼胶的质量直接决定了后续产品的质量^[1]。橡胶混炼的主要控制方法有能量控制法、温度控制法以及多变量的组合排胶方法等。这些控制方法简单实用,但实际生产过程中影响混炼胶质量的因素很多,单靠以上控制方法并不能对发生的异常进行有效的处理。目前国内大多数企业还无法做到混炼胶质量的在线测量,通常的做法是一车胶料混炼完毕后送到快检室进行检测,从混炼结束到快检结果出来至少需要几个小时的时间^[2],而一车胶料的混炼往往只需要2~3 min。由于这种滞后,工艺人员很难及时发现混炼过程中出现的质量问题并做出调整。生产过程中主要依靠现场工艺人员的经验处理此类问题,增加了工艺人员的工作强度和难度,且给整个混炼过程带来了很大的不确定性。

虽然橡胶工业已经有了近百年的历史,但由于混炼工序的复杂性,至今尚未建立起完整的混炼理论^[1]。而工艺人员却有着大量丰富的实践经验,专家系统正好适合解决此类没有精确数学模型的问题^[3]。为此我们开发了橡胶混炼在线质量预报专家系统(RMES)。本文就该系统功能、结构设计要点及其应用做简单介绍。

1 系统结构与功能

根据系统功能要求,设计 RMES 结构如图 1 所示。

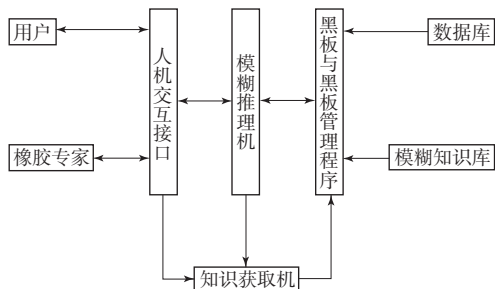


图 1 RMES 结构示意

系统的主要功能有实时数据采集和转换;实时诊断;知识获取;系统维护。

(1)实时数据采集和转换

该系统可以获得橡胶混炼过程中的实时数据和设备状态信息,并将其转化为标准格式供专家系统推理。

(2)实时诊断

在一车胶料的混炼过程中或混炼完毕后对当车胶料的质量进行在线预测,及时发现质量问题并给出可能的故障原因和操作指导。

(3)知识获取

可以修改和充实知识库中的知识,使系统更加完备。

(4)系统维护

系统维护人员可以根据级别的不同对数据库

基金项目:国家自然科学基金资助项目(20206028)

作者简介:孙超(1975-),男,山东威海人,浙江大学工业控制技术研究所攻读硕士研究生,主要从事专家系统和实时数据库的研究工作。

和知识库进行不同级别的操作。

2 知识库设计

知识库是专家系统的核心。专家系统的推理是否正确和全面,主要取决于知识库里的知识是否准确、全面以及结构是否合理。目前建立知识库主要有两种方式:一种是通过专门的专家系统软件实现,另一种就是采用一般的数据库管理软件实现。由于数据库中的表结构简单,创建方便,用户维护也比较容易,数据库和应用程序之间的接口容易实现^[3],因此本系统采用后一种方式。鉴于 RMES 内嵌于混炼控制系统,为保证设计软件的一致性,采用了 SQL Server 构建知识库。

2.1 知识的表示

RMES 采用产生式模糊规则的方式来表示知识,规则的具体表达形式为:

if X then $Y(C_i)$

其中 X 为规则前提,形式为 $x_1 \wedge x_2 \wedge x_3 \cdots$, Y 为规则结论, C_i 为规则置信度,取值在 $[0,1]$ 之间。

规则结论部分为实际生产中可能发生的质量故障,包括混炼不均,门尼粘度过高以及门尼粘度过低等。前提部分为对橡胶混炼质量有直接影响的过程参数和设备状态。其中参数的选取参考了文献^[1]和^[4]以及现场专家的意见。

规则的前提根据发生的强度不同分为 7 个模糊度等级,模糊度的确定如表 1 所示。

表 1 模糊度确定表

模糊量词	模糊区间	取值区间
绝对发生	$[1.00,1.00]$	$[x_1,y_1)$
很强	$[0.85,1.00)$	$[x_2,y_2)$
强	$[0.65,0.85)$	$[x_3,y_3)$
一般	$[0.35,0.65)$	$[x_4,y_4)$
弱	$[0.15,0.35)$	$[x_5,y_5)$
很弱	$(0.00,0.15)$	$[x_6,y_6)$
未发生	$[0.00,0.00]$	$[x_7,y_7)$

注:其中模糊量词是对前提发生强度的一般语言表述;模糊区间为前提模糊度的取值范围;取值区间为某一模糊区间下参数值的变化范围。不同模糊区间下取值区间的确定采用二元对比排序方法。

对于每个前提,根据混炼配方和控制方法不同都要建立一个模糊度确定表,推理时确定前提模糊度的步骤如下。

(1)根据混炼配方、控制方法和前提名称调出相应的模糊度确定表。

(2)根据参数实际值所在取值区间找到对应的模糊区间。

(3)通过下面公式计算出前提模糊度:

$$F = (x - x_i)(b_i - a_i)/(y_i - x_i) \tag{1}$$

式中, F 为参数模糊度, x 为参数值, x_i 和 y_i 为参数值所在取值区间上下限值, a_i 和 b_i 为相应模糊区间上下限值。

2.2 知识库的构造

RMES 知识库由规则库、事实库和解释库三部分组成。规则库存储系统推理所用规则的语言表述形式为“if ...then...”;事实库存储规则中可能用到的前提和结论以及它们的触发阈值和模糊度确定表的位置;解释库存储对规则的解释和操作指导。

橡胶混炼时,不同的配方和控制方法下过程曲线会有很大的区别,因此有必要建立不同的知识库,根据配方和控制方法的不同,我们建立了多个子库。推理时根据当车胶料的配方和控制方法选择不同的子库。

3 推理机制

RMES 启动后自动在后台运行,采集实时数据。实时数据有两种来源,一是生产过程中产生的过程数据,另一种是现场 PLC 传送的设备状态信息。实时数据首先要进行预处理,预处理就是把这些数据转化为专家系统可以识别的前提标准形式。数据经过预处理后与前提阈值进行比较,如果超过阈值,则从模糊度确定表中提取该前提的模糊度值,写入黑板供推理机进行推理。生产过程数据异常时,在当车胶料混炼完毕后即认为异常消除。PLC 送来的设备状态异常直到停止报警(故障排除)才认为异常消除。

推理机由黑板、黑板管理程序和推理控制程序组成。其中黑板用来存放目前存在的异常、正在使用的规则以及规则的匹配状态。推理控制程序用来控制推理的方向。

由于该系统主要用于预测生产过程中可能发生的质量故障,因此采用正向推理方式。搜索策略采用深度优先方式,推理流程如图 2 所示。

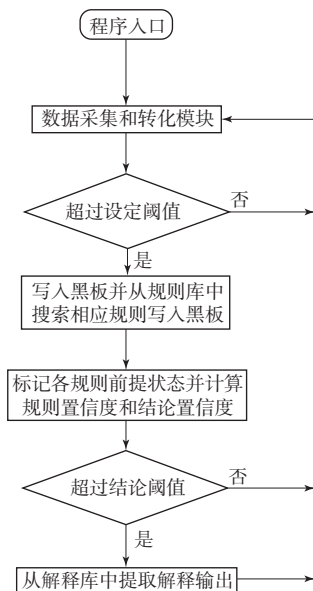


图2 推理流程示意

具体算法为：

(1)实时数据进入系统后通过数据采集和转化模块转化为前提标准形式。

(2)用标准形式值与该前提的设定阈值进行比较,如果超过阈值,则认为数据异常,并从相应的模糊度确定表中提取前提的模糊度,将前提和模糊度写入黑板进行后续推导。

(3)黑板由两个缓冲区组成,缓冲区1存储发生的异常和该异常的模糊度。缓冲区2存储需要匹配的规则和当前规则匹配的状态。如果有异常数据进入,则写入缓冲区1。从规则库中提取相关规则写入缓冲区2,并在缓冲区2中进行规则匹配。

(4)匹配完成后,检查是否有规则的前提被全部满足,如果是,计算规则置信度和结论置信度。结论置信度的计算公式^[5]为:

$$Z = \sum_{i=1}^n f_i C_i \quad (2)$$

式中, Z 表示结论置信度, f_i 表示规则中第*i*个前提的模糊度。

故障的置信度计算公式为:

$$R = 1 - \sum_{j=1}^m (1 - Z_j) \quad (3)$$

式中, R 表示故障置信度, Z_j 为与故障相关的第*j*个规则的结论置信度。

(5)将计算出来的故障置信度与故障阈值进行比较,如果超过阈值,则从解释库中提取相应解释和操作指导与推导结果一起输出,并等待新数据的输入。如果没有超过阈值,则直接返回,等待新数据输入。

4 知识获取

知识获取主要通过自学习和手工学习两种方式完成。手工学习可以增删规则、改变规则的值、改变解释库内容、改变模糊度确定表内容以及触发阈值,由橡胶行业专家通过人机接口界面直接修改相关知识库内容实现。

自学习的实现参考了文献[6]中的方法,其原理是在推理出现错误时,通过对规则的值进行自动调整来提高系统推理的准确性。RMES推导出的质量故障记入推导结果表,由快检室检测出的质量故障则记入故障表。两个表中均记录了混炼的车次、配方、时间以及故障类型。自学习时首先要根据混炼的车次和配方对两个表的内容进行比较。如果某一质量故障在两表中都有记录,表示推导正确,反之则表示推导有误差,需要对规则的值进行调整,调整后必须满足值的取值范围在 $[0,1]$ 之间。

当对推导结果表和故障表进行比较时,考虑到快检室检测结果的时间滞后性,若某个质量故障在推导结果表中有记录而在故障表中没有记录时,需判断此推导结果发生时间是否在24h之内。如果是,则可能快检室检测结果还没有出来,不认为推导结果有问题;如果不是,则认为推导结果并没有发生,该推导属于错误推导,并对比较过的记录做标记,防止重复学习。

在比较两表发现有错误推导后,进入学习流程,学习流程如图3所示。

(1)根据生产配方和车次,从历史数据库中调出历史数据,进行预处理后进入推理机推导,得到故障置信度和被激活规则的编号。

(2)根据故障阈值和计算的故障置信度差值,调节激活规则的值。修改的原则为:若某一故障在推导结果表中有记录而故障表中没有,则适当降低被激活规则的置信度;反之,则适当提高被激活规则的置信度。

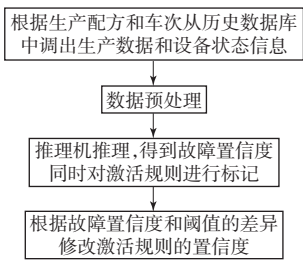


图 3 学习流程

(3)判断是否还有错误推导,如果有,则继续学习,否则退出自学习程序模块。

为防止频繁的自学习给系统推导带来不必要的振荡,自学习模块并不实时运行,而由系统设定运行时间定时完成,或由操作人员手工激活。

5 应用效果

RMES 在国内某大型轮胎厂进行了 3 个多月的中试,结果表明,该系统在及时预报质量波动和决策支持方面取得了满意的效果,对控制混炼胶质量的稳定性起到了积极的作用。

图 4 所示为 RMES 的主界面。图 5 所示为某次发现质量问题后专家系统弹出的报警界面。出现报警后,现场工艺人员根据界面提示对压砣进行检查,发现由于电磁阀漏气造成压砣无法到位。RMES 的应用大大缩短了工艺人员发现问题的时间,为正常生产提供了可靠的保障。

6 结语

橡胶混炼在线质量预报专家系统依靠现场的实时数据,在每车胶料混炼完毕后立刻对可能发生的质量故障进行判断,极大地改善了目前生产过程中无法及时得到质量检测数据的问题,缩短了故障的持续时间。随着橡胶混炼控制技术的发展,可得到的现场数据会越来越多,知识库的内容也会越来越全面,专家系统在橡胶混炼过程中也将会发挥更大的作用。

参考文献:

[1] 陈耀庭. 橡胶加工工艺[M]. 北京:化学工业出版社,1982. 140.
[2] 孙万田,邹齐斌. 密炼机的推断控制系统[J]. 检测与控制装



图 4 RMES 的主界面

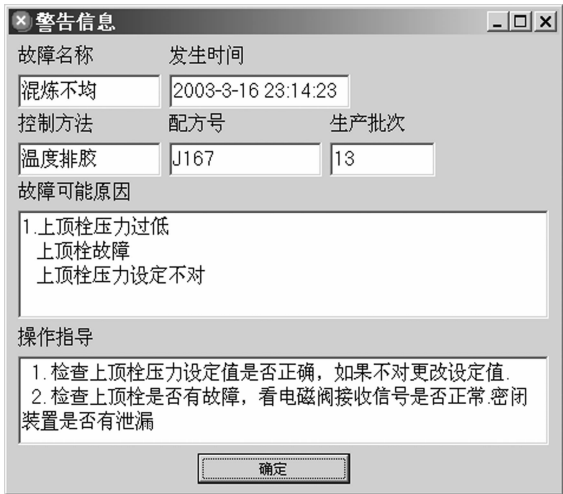


图 5 RMES 的报警界面

置,2001,28(5):44-46.
[3] Giarratano J, Riley G. Expert systems principles and programming[M]. New York:Brook Cole,1998. 12-13.
[4] 张 海,贺德化,陈 薇,等. 橡胶混炼工艺参数自动优化数学模型的研究[J]. 高分子材料科学与工程,1999,15(5):18-21.
[5] 刘 铭,时 昕,姚燕南. 基于数据库的电力设备故障诊断模糊专家系统的设计与实现[J]. 计算机工程,2001,27(3): 75-77.
[6] Manuel V R. Reinforcement learning in the fuzzy classifier system[J]. Expert Systems with Applications,1998,14(2): 237-247.