

# 基于控制器的选煤生产工程故障诊断技术研究\*

闫炳胜<sup>1</sup>, 王海<sup>2</sup>

(1. 吉林省珲春矿业(集团)八连城煤矿, 吉林 珲春 133300;

2. 沈阳理工大学 机械工程学院, 辽宁 沈阳 110168)

**摘要:** 针对在智能诊断中最底层现场控制器的诊断功能和处理方法加以阐述, 提出一种基于现场控制器的模糊智能诊断方法, 并指出处理及设计中的基本原则。在实际应用中证明其可行性及有效性。

**关键词:** 工艺过程故障诊断; 现场控制器; 多任务系统; 模糊智能诊断; PLC; 选煤生产

中图分类号: TP206.3

文献标识码: A

## Researching on fault diagnosis technique to project of the coal preparation on the basis of the controller

YAN Bing Sheng<sup>1</sup>, WANG Hai<sup>2</sup>

(1. Baliancheng Coal Mine in Jilin province Hunchun Coal Mining Group Co.LTD, Hunchun 133300, China;

2. Institute of Mechanical Engineering, Shenyang Ligong University, Shenyang 110168, China)

**Abstract:** This paper directed at both diagnosis functions and processing methods of the field controller on the lowest bottom in intelligent diagnosis and did a presentation, proposed the vague intelligent diagnostics method based on field controller and pointed out the basic principle in handling and design. Its feasibility and effective has been proved in practical application.

**Key words:** fault diagnosis to technical process; field controller; multitask system; vague intelligent diagnostics; PLC; coal preparation production

以 PLC 为代表的现场控制器功能日趋完善,除了完成对设备、工艺过程的监控任务,还可以对现场的各种故障快速发现、及时解决<sup>[1]</sup>。统计表明实际中 80% 以上的故障为一般性故障,在解决常见、多发故障的处理上,现场诊断功能可发挥如下作用:(1)精确定位故障,避免诊断的盲目性;(2)立即采取措施,避免造成严重后果;(3)使系统有一定的容错能力,在出现某些故障的情况下,改变控制策略,避免停车等事故,确保系统继续安全可靠运行。

### 1 控制器的诊断功能扩展

根据故障危害程度等特征,将故障分为安全性故障、工艺过程性故障、耐用性故障等不同等级<sup>[2-3]</sup>。在组织故障处理功能时,故障的等级应予以考虑。(1)安全性故障:可能产生严重后果的故障,主要包括设备损坏、危

及人身安全要求控制系统立即处理并报警。(2)工艺过程性故障:能够对控制过程、产品质量产生严重影响,但不易立即发现处理的故障,一段时间后如故障仍不排除则后果扩大。(3)耐用性轻度故障:除上述 2 种故障外,不直接影响生产和质量的轻度故障。

现场控制器如高端 PLC、DCS 系统,其操作系统均采用抢先式多任务处理机制,控制器故障诊断处理可依照故障的等级,采用不同的任务等级。图 1 以 Quantum PLC 为例,给出故障诊断及处理功能在 PLC 中的合理结构安排。操作系统为用户程序提供不同优先级的处理功能,在每个级别上都按照采样输入、处理程序、执行输出的过程进行,高优先级的任务中断低优先级任务。

安全性故障:在正常的扫描任务中判断处理,由于 PLC 的 CPU 速度很高,PLC 程序扫描周期一般只有几毫

\* 基金项目:教育部高等学校博士学科点专项科研基金资助(0145015)

## 技术与方法 Technique and Method

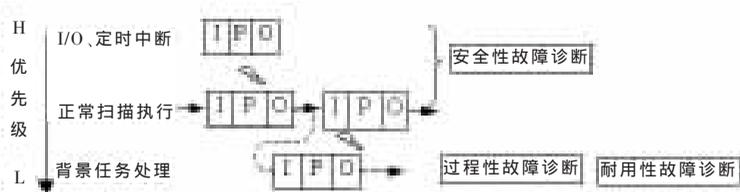


图1 故障诊断及处理功能在 PLC 用户软件中的结构安排

秒, 所以对于绝大部分故障的处理速度是满足要求的, 并可使程序简化。对于后果严重、响应速度要求极高的故障, 必须安排在 I/O 或定时中断中处理。

**工艺过程性故障:**在不影响 CPU 扫描工作正常进行的情况下, 在正常的扫描任务中判断处理, 对于算法复杂度较高或时间响应要求偏低的诊断过程, 应安排在背景任务中。对于需要复杂的修正及自学习过程, 该过程不宜安排在控制器中。

**耐用性故障:**应安排在背景任务中或上位机中进行。

**安全性故障**易于发现处理, 通常通过简单判断进行停机处理。而工艺过程性故障, 一方面十分隐蔽, 难于发现, 另一方面却对生产过程、产品质量影响严重。以往, 控制器无法为操作人员提供可靠的诊断, 操作人员只有密切注视系统运行情况、工艺参数的变化才能避免事故, 这对于要求自动化程度较高的场合更是一种挑战。在现场控制系统设计时充分考虑可能的故障, 并在控制器中做好诊断处理工作是解决这一问题根本途径。

## 2 基于控制器的模糊智能诊断

模糊逻辑系统应用于现场诊断具有许多优点, 现场信号(如信号的幅值、变化率、频率特征等)均为实型变量, 可以通过测量或提取处理为模糊逻辑系统的输入。由于生产实际中, 故障诊断领域存在的大量经验性专家知识具有模糊性和不完全性, 无法建立准确的数学模型, 因此模糊逻辑系统能够充分有效地利用自然语言和知识信息, 模糊规则基本格式“*If...then...*”型, 非常适合于描述专家经验知识<sup>[3]</sup>。

基于控制器的模糊诊断过程如图 2 所示, 故障征兆和故障原因之间的数学模型为:  $B=RA^T$ 。其中, 故障原因向量  $B=[b_1 \ b_2 \ \dots \ b_n]$ ; 故障征兆向量  $A=[a_1 \ a_2 \ \dots \ a_m]$ ;  $R$  为模糊关系矩阵  $[r_{ij}]_{n \times m}$ ,  $0 \leq r_{ij} \leq 1, i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$ 。

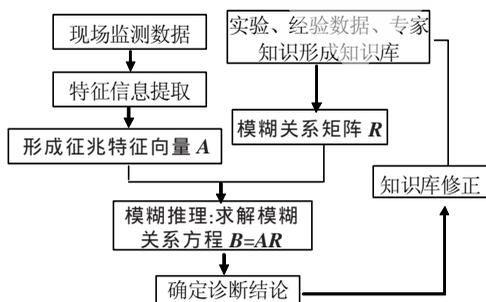


图2 模糊诊断流程图

诊断系统通过设置的多源传感器采集特征信号并分析处理, 模糊化变换成故障征兆模糊向量  $A$ ; 推理机根据当前的设备征兆信息  $A$ , 运用知识库中的模糊知识, 按照一定的模糊推理策略进行推理, 若匹配成功则将该结论作为中间结果继续进行, 直到问题解决。若推理过程中有多条模糊规则匹配可用, 则按照冲突消解策略从中选出 1 条最优规则执行, 从而实现基于知识的推理求解过程。

模糊关系矩阵表达故障原因和各种征兆之间的因果关系, 矩阵中的每个元素  $r_{ij}$  的大小表明了它们之间的互相关联的密切程度。模糊诊断矩阵的确定是模糊诊断中十分重要的环节, 需要参考大量故障诊断经验的总结和实验测试及统计分析的结果。

建立模糊诊断系统的其他阶段, 包括输入信息的模糊化、模糊推理机制和解模糊单元的设计都有较强的自由度, 某个环节的设计不当都将影响故障诊断的精确性。对于特定的问题, 可以通过经验积累并不断修正来确定最佳的模糊逻辑系统。修正过程可以是人工的, 也可采用自学习过程进行。

## 3 模糊智能诊断在控制器中的实现<sup>[4]</sup>

现以选煤的流程生产实际为例, 对基于现场控制器的故障诊断进行研究。整个生产过程中, 两段的密度控制是保证产品质量的关键, 该部分工艺流程如图 3 所示。以往现场控制系统的设计过程中没有考虑针对工艺过程性故障的诊断、处理, 出现故障后很长时间才能发现。

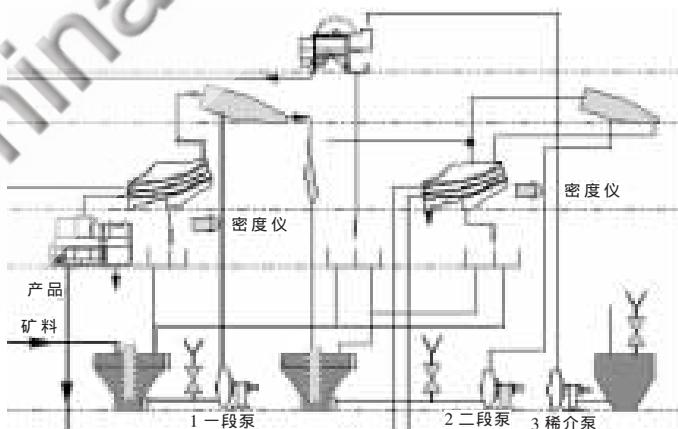


图3 生产工艺过程简图

现取生产中常见的 5 项故障:  $b_1$  系统缺介质、 $b_2$  介质系统煤泥多、 $b_3$  一段泵堵塞、 $b_4$  二段泵堵塞、 $b_5$  系统介质质量多(液位设定不当)。相关的故障征兆:  $a_1$  一段液位高、 $a_2$  一段液位低、 $a_3$  一段密度高、 $a_4$  一段密度低、 $a_5$  一段泵电流低、 $a_6$  二段液位高、 $a_7$  二段密度低、 $a_8$  二段泵电流低、 $a_9$  一段/稀介分流大。根据以往故障诊断经验, 建立诊断矩阵, 并可在应用中进行修正, 如表 1 所示。

采用梯形图或功能块难于实现, 矩阵及多维数组的计算, 诊断功能在 Quantum PLC 的开发环境 Concept 软

## 技术与方法 Technique and Method

表 1 模糊诊断矩阵

原因	征兆								Div 大
	L1 高	L1 低	D1 高	D1 低	C1 低	L2 高	D2 低	C2 低	
缺介质	0.05	0.95	0	0.75	0.3	0.05	0.6	0.2	0.05
煤泥多	0.5	0.1	0	0.85	0.65	0.5	0.75	0.65	0.95
一段堵塞	0.95	0	0	0.95	0.95	0.2	0.4	0.4	0.98
二段堵塞	0.5	0.1	0.2	0.4	0.1	0.95	0.98	0.95	0.85
介质过量	0.75	0	0.7	0	0.1	0.6	0	0	0.9

件中采用高级语言环境 STL(Statement Language)开发,首先将诊断矩阵、征兆向量及故障向量做如下定义:

TYPE

FuzzyR\_Matrix: ARRAY [1..5, 1..9] OF REAL;

Sympton\_Array: ARRAY [1..9] OF REAL;

Conclude\_Array: ARRAY [1..5] OF REAL;

END\_TYPE

在隶属度函数的选取中,高斯型等超越函数运算量较大,占用控制器时间多。而简单代数型隶属度函数,如三角函数和梯形函数,在满足要求的前提下,更利于计算处理,本文采用后者对各现场的输入量进行模糊化。图 4 为一段桶位的隶属度函数, Csetv\_L1 为一段液位设定值。

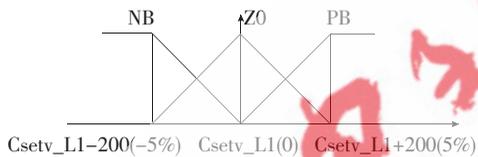


图 4 一段桶位的隶属度函数

在诊断矩阵的确定过程中,主要考虑各征兆因素对某一故障的密切度,而在不同的故障间的重要程度需要进一步归一化处理。即将  $R$  转换成  $R'$  为  $[r'_{ij}]_{n \times m}$ ,  $0 \leq r'_{ij} \leq 1$  ( $i=1, 2, \dots, n; j=1, 2, \dots, m$ )。其中,  $r'_{ij} = r_{ij} / \sum_{j=1}^m r_{ij}$ 。

模糊推理过程中的模糊逻辑算子选择加权平均型模型,该模型每个征兆因素对结果的影响都能予以考虑,并对个别突出因数有抑制,使系统诊断结果稳定可靠。而在计算的复杂度上,较主因素型  $\max$ - $\min$  算子

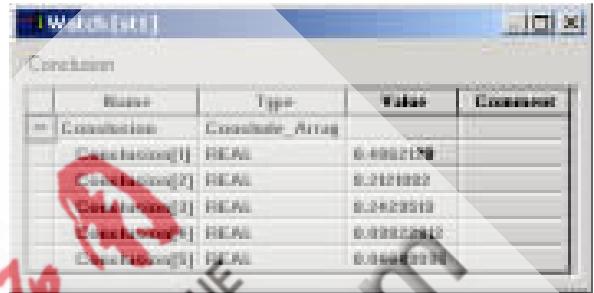
( $b_i = \bigvee r'_{ij} \wedge a_j$ ) 相当,即  $b_i = \sum_{j=1}^m r'_{ij} a_j / \sum_{j=1}^m \sum_{i=1}^n r'_{ij} a_i$

图 5 所示窗口(1)给出在系统运行过程中,通过采样实时数据,采用加权平均算子进行诊断,对诊断结果变量进行在线监测的相关数据。窗口(2)给出相同的征兆时,采用主因素型算子的诊断结果。此时, Sympton[ ] = [0, 0.74, 0, 0.24, 0.04, 0.01, 0.075, 0, 0], 实时过程量值略。

该系统现场 Quantum 控制器的逻辑结算时间大



窗口(1)加权平均算子诊断结果



窗口(2)主因素型算子诊断结果

图 5 控制器的诊断结果

于 0.1 ms,完成车间 90 个设备控制及 15 个闭环调节等工作。在加入诊断功能前,控制系统扫描任务周期为 8.9 ms,诊断功能直接安排在主程序中,触发诊断功能后,控制系统扫描周期为 10.4 ms, Watchdog 为 30 ms,完全满足安全性要求。通过诊断结论可将原模糊诊断矩阵中的参数加以人工或自动修正,如将征兆“一段液位低”对“缺介质”的值从原 0.95 进一步向 1 靠近,具体的修正在上位机中完成。

本文将模糊智能故障诊断方法应用于控制器中,提高了生产系统的可靠性。设计控制系统时充分考虑故障诊断及处理功能,是减少故障避免事故的重要措施;同时降低了故障诊断系统的开发费用,易于推广应用,有利于故障诊断系统、控制系统与信息系统的集成。但应用中应注意控制功能与故障监控诊断的兼顾和平衡。基于控制器的诊断能够准确定位故障,为上级或远程诊断中心提供可靠的依据,避免人工描述不准确性。

#### 参考文献

- [1] 胡友民. 基于 PLC 高可靠性工业过程远程监控系统[J]. 华中科技大学学报, 2002, 30(4): 13-15.
- [2] BOUDAUD A N. On-line diagnosis of a technological system: a fuzzy pattern recognition approach[C]. Proc. of I-FAC World Congress, San Francisco, USA, 1996, 103-107.
- [3] BALAKRSHNAN, KARTHIK. Intelligent diagnosis system[J]. Journal of Intelligent System 1998, 8(3-4): 239-290.
- [4] 张曾科. 模糊数学在自动化技术中的应用[M]. 北京: 清华大学出版社, 1997.

(收稿日期: 2009-06-07)