

doi:10.3969/j.issn.2095-0411.2022.01.005

## 基于专家系统的浆纱机故障诊断研究

史新民, 颜 鹏

(常州信息职业技术学院 智能装备学院, 江苏 常州 213164)

**摘要:**针对浆纱机设备维修困难、故障原因难以查找的问题,设计一种浆纱机故障诊断系统。利用故障树分析法对浆纱机故障进行系统分析与梳理,建立浆纱机故障快速诊断树,并设计出诊断知识库和推理机,利用 LabVIEW 和 Access 开发出自动故障诊断专家系统。实践证明,应用故障诊断专家系统对浆纱机进行故障诊断,故障点定位准确、维修效率高,进而保证浆纱机设备长期稳定的运行。

**关键词:**故障树分析法;浆纱机;诊断

中图分类号:TS 103

文献标志码:A

文章编号:2095-0411(2022)01-0042-06

## Research on Fault Diagnosis of Sizing Machine Based on Expert System

SHI Xinmin, YAN Peng

(Department of Intelligent Equipment, Changzhou College of Information Technology, Changzhou 213164, China)

**Abstract:** To solve the problem of difficult maintenance of sizing machines and difficulty to find the causes of faults, a fault diagnosis system for sizing machine was designed. The fault tree analysis (FTA) was used to analyze and sort out the faults of sizing machine, and the fault diagnosis tree was established. Then a diagnostic knowledge base and inference engine were designed. An automatic fault diagnosis expert system using LabVIEW and Access was designed. The application of the expert system for fault diagnosis of sizing machine shows that it has the advantages of accurate fault location and high maintenance efficiency, thus ensuring the long-term stable operation of sizing machine.

**Key words:** FTA; sizing machine; diagnosis

浆纱机是纺织行业的重要设备,其功能是对经纱进行上浆处理,以保证经纱的可织性。但设备

收稿日期:2021-07-06。

基金项目:江苏省高职院校教师专业带头人高端研修资助项目(2019GRFX021);江苏省高校自然科学研究面上资助项目(16KJB460025)。

作者简介:史新民(1972—),男,江苏武进人,硕士,副教授。E-mail:119449217@qq.com

引用本文:史新民,颜鹏.基于专家系统的浆纱机故障诊断研究[J].常州大学学报(自然科学版),2022,34(1):42-47.

故障发生率也较高,这给企业生产造成较大损失<sup>[1]</sup>。浆纱机是集机、电、液、气于一体的复杂系统,需要维修人员具备较高的综合素质和专业水平。浆纱机的维修关键在于如何快速准确的定位故障点,而浆纱机设备控制环节多、系统结构复杂、工艺参数相关性强,使其故障诊断难度很大。目前浆纱机的故障诊断或维修主要采用经验法,维修人员需要长时间经验积累,一旦遇到新故障则很难在短时间内解决。对于维修经验不足的技术人员来说,排除浆纱机故障往往是一件非常费时和困难的工作。国外的浆纱机故障诊断系统都嵌入到控制系统中,为维修人员提供一定帮助,但是存在准确度不高、不够详细的难题,国内也缺乏成熟可靠的故障诊断协助工具<sup>[2]</sup>。本文利用 LabVIEW 软件和 Access 数据库设计了一种浆纱机故障自诊断系统,使得浆纱机故障诊断简便、直观、准确,有效提高了设备维护效率。

1 浆纱机的工作原理

经纱通过浆纱机加浆后,才能使其在织机上承受停经片、棕丝、钢筘等的反复摩擦、拉伸、弯曲等作用。未经过浆纱机处理的经纱在织机上会产生起毛甚至断裂现象,使织机无法生产出合格的布匹。浆纱机是目前国内引进较多的纺织设备之一,常见浆纱机机型的传动和控制原理如图 1 所示。

经纱通过浆纱机喂入辊进入浆槽进行上浆,经过烘筒烘干后再卷绕到卷绕轴上。在经纱运行过程中,要求喂入辊的喂入张力、烘筒张力、从烘筒到拖引辊张力、拖引辊到卷绕轴段张力均要能自动控制。在工作过程中,浆槽压辊压力随着车速升高线性调节,浆槽温度与液位、各组烘筒温度均能够自动控制,织轴托纱辊压力能够手动或自动控制,回潮率也能实现自动控制,而且车速根据回潮率的变化自动进行调节。全车所有工艺参数设定均通过触摸屏设定、整机运行状态也通过触摸屏监控。

电机 M1—M5 由变频器控制,每个电机都安装旋转编码器。M3 烘筒电机为主电机,其速度变化由回潮率调节;其余电机转速快慢由工艺参数设定,各辊均有相应的载荷传感器检测实际张力。

2 浆纱机故障树的建立

2.1 故障树分析法的概念

故障树分析法是一种需要整体、综合、定量地考虑系统异常行为的系统方法<sup>[3]</sup>。故障树分析法是根据特定设备常见的系统故障,尽可能收集平时多发的故障现象,梳理系统可能出现的基本故障与故障之间的逻辑关系,通过逐层分析建树状逻辑图,从而有利于快速准确的查找系统的故障节点和薄弱环节,便于设备的故障诊断,也可用于分析和预测系统产生的故障可能以便进行系统改进<sup>[4]</sup>。

2.2 故障树分析原理

故障树诊断流程如图 2 所示。首先熟悉特定设备的系统工作原理,全面系统分析设备可能出现的故障形式,梳理出造成设备严重后果的系

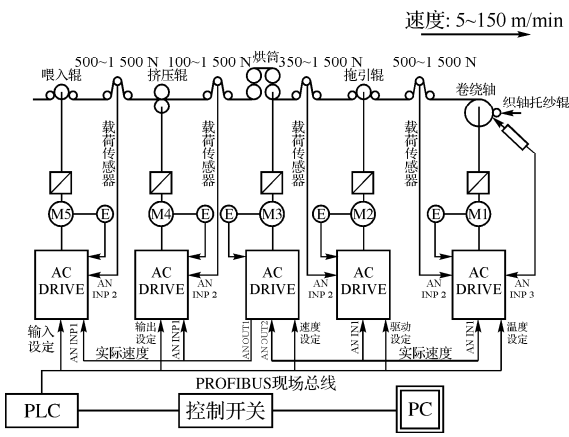


图 1 浆纱机传动和控制原理图

Fig.1 Schematic diagram of sizing machine

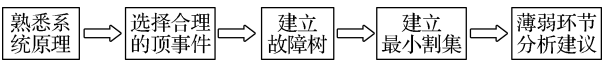


图 2 故障树诊断流程图

Fig.2 Flow chart of fault tree analysis

统故障事件或事故作为故障树的顶事件,随后进行故障树定性分析,根据故障出现路径逐步罗列故障树中间事件和基本事件(即最小割集),建立故障树模型。设备故障树建立后,一方面可以快速准确查找设备出现的故障节点,另一方面还可帮助设备维护人员平时关注设备相应的薄弱环节,从而起到故障预测、诊断和指导设备运行的作用,提高设备运行可靠性。

### 2.3 浆纱机故障树的建立

在建立浆纱机故障树模型之前,首先应结合平时积累的操作和维修管理经验,对照浆纱机系统原理图、电气接线图和控制流程图等技术资料,全面了解浆纱机系统的基本组成和工作原理,综合分析和熟悉整机的控制过程、各个元器件的作用和元器件之间的连接情况,系统梳理故障节点。浆纱机有开机报警不动、开机后上浆质量不稳、生产中报警停机等主要故障事件,由于浆纱机安装有众多诊断检测传感器,无论是开机前还是生产中,这些传感器一旦检测到异常就会报警,少数报警对设备运行影响很轻,经过复位和其他简单处理后可以继续运行。但是相当多报警往往伴随设备停机不动,造成生产中断,形成经济损失。设备开机时和生产中的报警停机是主要故障事件,经济损失大,后果严重,而且发生概率较高,而设备在无报警时生产质量出现偏差的概率很小,因此本文以浆纱机设备报警不动作为顶事件(T),4种常见的故障模式为中间事件(M),循序渐进地找出每层事件所有可能出现的原因,逐步分解到基本事件为止,基本事件一共有25个类型(X),即出现故障的各种因素<sup>[5]</sup>。浆纱机报警停机的故障树图如图3所示,故障树各级事件表见表1。

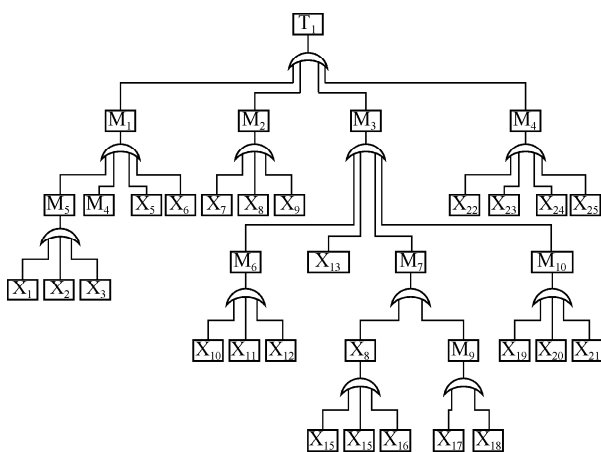


图3 浆纱机设备报警不动故障树图

Fig.3 Working alarm fault tree of sizing machine

表1 故障树各级事件表

Table 1 Event table at different levels of fault tree

标号	事件名称	标号	事件名称
T <sub>1</sub>	浆纱机报警不动	X <sub>8</sub>	气源部分故障
M <sub>1</sub>	机械系统故障	X <sub>9</sub>	气动元件故障
M <sub>2</sub>	气动系统故障	X <sub>10</sub>	连线电缆故障
M <sub>3</sub>	电气系统故障	X <sub>11</sub>	电缆屏蔽线松脱
M <sub>4</sub>	工艺参数设置不当	X <sub>12</sub>	编码器安装松动
M <sub>5</sub>	刹车制动装置故障	X <sub>13</sub>	变频器故障
M <sub>6</sub>	编码器故障	X <sub>14</sub>	风扇电机阻转
M <sub>7</sub>	电机故障	X <sub>15</sub>	风扇三相绕组不平衡
M <sub>8</sub>	液压降温风扇故障	X <sub>16</sub>	三相电源缺相
M <sub>9</sub>	电机轴承故障	X <sub>17</sub>	润滑不良
M <sub>10</sub>	传感器故障	X <sub>18</sub>	支撑变形
X <sub>1</sub>	线圈磁性衰减	X <sub>19</sub>	自动输浆系统故障
X <sub>2</sub>	弹簧断裂	X <sub>20</sub>	纱线伸长率不稳定
X <sub>3</sub>	树脂与线圈脱离	X <sub>21</sub>	执行机构不动作
X <sub>4</sub>	变速箱故障	X <sub>22</sub>	控制温度设置不当
X <sub>5</sub>	循环输浆系统故障	X <sub>23</sub>	加压设置不当
X <sub>6</sub>	烘筒排水系统故障	X <sub>24</sub>	张力调节设置不当
X <sub>7</sub>	气动控制部分故障	X <sub>25</sub>	速度设置不当

对图 3 故障树进行定性分析,求出发生顶事件的所有故障原因,故障树定性分析目标是求出所有故障最小割集,根据现场排故经验和故障手册,本故障树整理出的最小割集中,只要任何一个故障产生,设备就会报警停机,所以,本故障树各层节点逻辑关系是逻辑或的关系,未涉及到逻辑与,利用布尔代数化简方法<sup>[6-8]</sup>,求出故障树的最小割集,详细情况见表 1。

3 浆纱机故障自诊断系统设计与实现

在故障自诊断系统中,专家系统是人工智能领域的一种常见诊断技术,该技术无需建立数学模型,将诊断故障信息整理存入专家系统知识库,通过推理方法,找出故障发生原因,可以实现对复杂故障的快速诊断。在分析浆纱机故障树的基础上,以 LabVIEW 和 Access 数据库为工具<sup>[9-11]</sup>,设计出故障自诊断专家系统。

3.1 浆纱机故障知识库

建立完善的知识库是专家系统实现精准诊断能力的关键,浆纱机系统的故障现象、原因、形式十分复杂,因此设计了故障框架表、故障规则表和故障结论表 3 张数据表格,以故障树表作为三者联系之间入口,故障现象作为查询的关键词,通过规则判断,进一步得到维修建议和处理措施。故障框架表存储故障现象,是诊断程序的入口,设计为 5 个字段组成。①节点地址用  $T_{xx}$  表示,其中左位数字表示父节点地址,右位数字表示子节点地址;②父节点表示上一级产生的故障;③子节点表示本阶层产生的故障现象;④逻辑规则:父节点故障和子节点故障之间的逻辑关系,0 表示无关系;⑤规则号:故障事实的规则入口编号,用  $R_x$  表示。故障框架表详细情况见表 2。

表 2 故障框架表

Table 2 Fault framework table

节点 ID	父节点	子节点	逻辑规则	规则号
$T_{00}$	0	浆纱机报警不动	0	0
$T_{01}$	浆纱机开机报警	机械系统故障	或	0
$T_{11}$	机械系统故障	刹车制动装置故障	或	$R_1 \& R_2 \& R_3$

知识表示采用了产生式规则的表示方式,产生式规则由规则前提和规则结论组成,一般表示为:IF M THEN N CP (M;N),M 表示规则的前提条件;N 表示规则的结论;在应用上为了表达不精确的概念,又引入了可信度因子 CP(M;N),表示产生式的含义中如果条件 M 被满足,则推出结论 N 可信度为 CP,CP 又被称为置信度,确定浆纱机故障事件置信度时引入了设备部件的失效曲线和疲劳寿命,由于浆纱机购买时就有设备主要部件的失效曲线,部分标准件(如电机、轴承)的失效曲线也可以上网获取,通过对浆纱机主要部件构成的失效曲线进行综合分析,就可以判断出该关键部件在某个时间点的健康状态。以卷绕轴电机为例,根据故障树分析,主要故障部件是电机轴承、降温风扇等运动部件,将电机轴承、降温风扇的失效曲线进行综合对比分析,通过查询当前故障发生在电机轴承、降温风扇的失效曲线中的位置。就可以得到卷绕轴电机当前的健康状态和两个易产生故障的零部件对当前健康状态所占的贡献比例,比例越大,此零部件对卷绕轴电机造成故障的概率就越大,对失效曲线进行多阶段疲劳寿命模型等级划分,进行量化处理,可以获得各级事件发生概率,从而进一步计算出基本事件的置信度,为设计故障自诊断系统打下基础。

故障规则表见表 3。① 规则号:故障模式编号;② 条件名:故障产生的条件;③ 结论名:本地故障现象描述;④ 父节点:上一级产生故障描述;⑤ 置信度:可靠程度,取值为 0~1;⑥ 状态:诊断过程中,系统询问用户提示操作步骤,0 代表无操作, $R_x \# Y$  表示下一步操作的步骤与  $R_x$  相关;⑦ 事件名称:表示本级的故障模式。

表 3 故障规则表

Table 3 Fault rules table

规则号	条件名	结论名	父节点	置信度	状态	事件名称
R <sub>1</sub>	机械系统故障	刹车系统故障	浆纱机报警不动	0.030	R <sub>2</sub> # Y	刹车系统故障
R <sub>2</sub>	刹车装置故障	线圈磁性衰减	机械系统故障	0.028	R <sub>3</sub> # Y	刹车线圈磁性减弱
R <sub>3</sub>	线圈磁性衰减	弹簧断裂	机械系统故障	0.026	R <sub>4</sub> # Y	刹车弹簧断裂
R <sub>4</sub>	弹簧断裂	树脂与线圈脱离	机械系统故障	0.026	0	树脂与线圈脱离

故障结论信息显示故障原因和对应的维修策略,见表 4。① 规则号:故障原因编号;② 检测提示:在诊断过程中,系统给用户的检测提示;③故障解决方案:系统给用户的故障维修方案<sup>[12]</sup>。从表 2、表 3 和表 4 中可以看出,规则号是知识库入口,由此可以建立起 3 张表之间的关联。

以故障原因作为查询关键字,以故障树各个事件联系 3 张表,通过置信度的大小确定推理规则的优先级,通过搜索,得到故障原因。利用 Access 和 LabVIEW 建立连接,以 LabVIEW 为人机界面,对数据库内建立的知识库进行管理。相关数据库操作画面如图 4 所示,可以在界面内对知识库进行添加、删除等操作。

表 4 故障结论表

Table 4 Fault conclusion table

规则号	检测提示	故障解决方法
R <sub>3</sub>	检查弹簧是否断裂	更换刹车弹簧

### 3.2 推理机设计

本文采用了故障树分析和正向推理的方法设计推理机,操作时,用户输入浆纱机故障信息,系统搜寻对应的故障树作为顶事件,然后对规则集中的故障节点进行匹配并向下一级查找,通过用户选择的节点和子节点路径进行逐步查找,直到找到符合故障要求的故障树基本事件,并给出维修策略和建议。系统必须解决多个事件进行匹配时的先后优先级,对故障树分析并得到系统最小割集后,进行定量分析计算得到顶事件发生概率和基本事件的置信度。顶事件的发生概率计算如下:设  $x_i$  为非叶节点往“1”分支的时间, $n$  为基本事件的个数, $P_i (i=1, 2, \dots, m)$  为路径, $m$  为路径数,顶事件发生概率<sup>[13]</sup>为

$$P(T) = \sum_{i=1}^m P(i) = \sum_{i=1}^m \prod_{j=1}^{n_i} P(x_{ij}^*) \quad (1)$$

式中: $x_{ij}^* \in \{x_{ij}, x_{ij}^*\}$ ,  $x_{ij} \in \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ ,  $n$  为路径, $i$  为节点数; $P(x_{ij}^*)$  为事件  $x_{ij}^*$  所发生的概率。

通过顶事件的发生概率,可以得到基本事件  $i$  发生概率的变化率,该值与引起顶事件发生概率变化率的比值,称为置信度,则基本事件的置信度为

$$I_o(i) = \frac{\partial \ln P(T)}{\partial \ln P_i} = \frac{\partial P_T / P_T}{\partial P_i / P_i} = \frac{\partial P_T \times P_i}{\partial P_i \times P_T} = I_g(i) \frac{P_i}{P_T} \quad (2)$$

式中: $P(T)$  为顶事件发生的概率; $P_i$  为基本事件  $X_i$  发生概率; $I_g(i)$  为基本事件概率重要度。

$$I_g(i) = \frac{\partial P(T)}{\partial P_i} \quad (3)$$

计算出各个基本事件的置信度后,按照值越高优先级越高的原则排序,填入到知识库的规则表中,故障诊断系统工作相关画面如图 5 所示,用户可以在浆纱机故障树窗口内查询故障,也可以在故障信息栏内输入故障信息,就可得到根据重要度从大到小排列的故障原因和相应的维修措施。

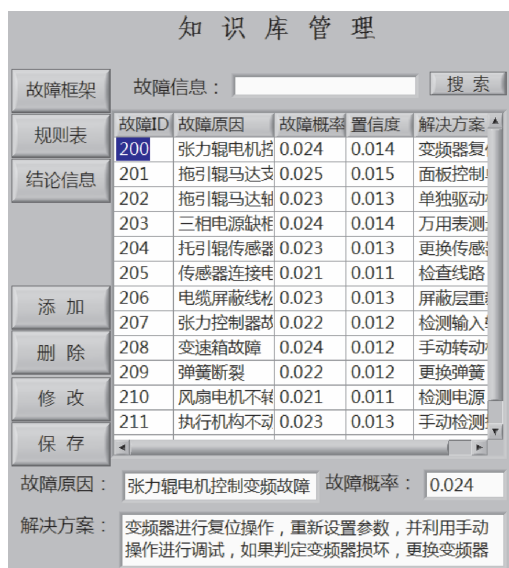


图 4 知识库操作界面图

Fig.4 Interface of knowledge base operation

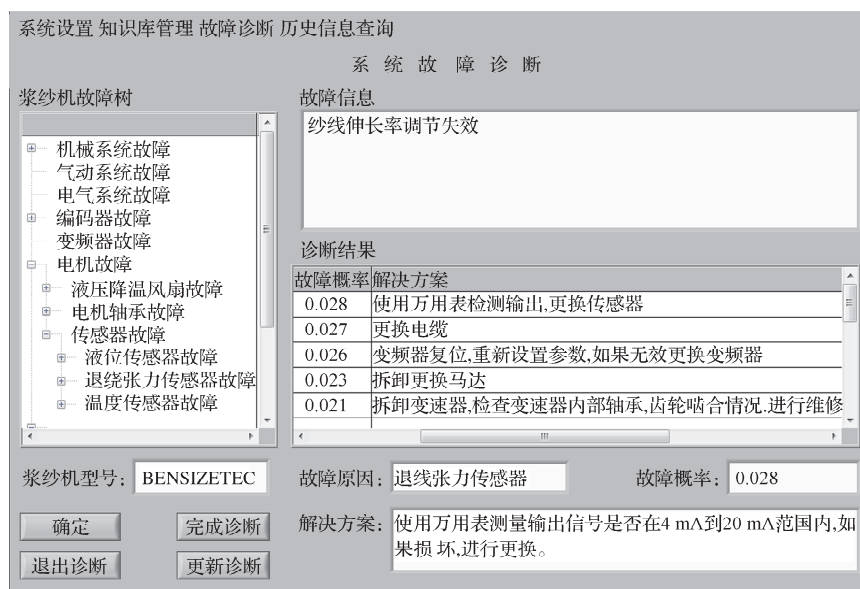


图 5 系统故障诊断图

Fig.5 Diagram of system fault diagnosis

## 4 结 论

做好浆纱机的日常维护和保养,保证其良好的工作状态,可以有效减少运行故障和经济损失,实现生产效益最大化。浆纱机的维修对维修人员的要求极高,必须具备深厚的专业知识和实践经验。本系统采用故障树法分析了故障发生的原因,整理出相应的知识库,采用正向分析法设计了推理机,并利用 LabVIEW 和 Access 数据库开发了故障自诊断系统。实践证明,应用故障自动诊断软件对浆纱机进行故障诊断,故障点定位准确,维修效率高,据使用统计设备维修时间比原来人工维修缩短了 70%,降低了维修人员工作难度,能有效保证浆纱机长期稳定运行。

## 参考文献:

- [1]蒋磊,刘群. 浅谈贝宁格浆纱机电气故障的处理及维护[J]. 棉纺织技术, 2015, 43(11): 65-69.
- [2]LI X R, CHANG W W, WANG S Z, et al. Motion of positive winding of ring spinning frame[J]. Journal of Donghua University(English Edition), 2018(4): 309-314.
- [3]贾雪峰. 故障树分析法在门式起重机维修中的应用[J]. 机电工程技术, 2012, 41(1): 72-74.
- [4]史新民. 故障树分析法在注塑机液压系统维修中的应用[J]. 机床与液压, 2014, 42(13): 186-188.
- [5]王正虎. 新型浆纱设备常见故障与分析[J]. 棉纺织技术, 2009, 37(3): 21-25.
- [6]胡特特,刘银,田胜利,等. 基于 MATLABGUI 煤矿液压支架故障诊断专家系统设计[J]. 煤矿机械, 2015, 36(12): 285-287.
- [7]王征. 基于故障树分析的汽车防盗系统故障诊断研究[J]. 浙江交通职业技术学院学报, 2021, 22(1): 37-42.
- [8]高宏鹏,张福生,于国川. 无轨胶轮车故障诊断专家系统设计[J]. 煤矿机械, 2020, 41(12): 154-156.
- [9]刘福政,高军伟. 基于 LabVIEW 和 cRIO 的滚动轴承故障诊断系统设计[J]. 仪表技术与传感器, 2021(4): 67-70.
- [10]张焕平. Access 数据库在故障诊断软件中的应用分析与研究[J]. 信息与电脑, 2018(17): 77-78.
- [11]秦旭东,李英顺. 基于 LabVIEW 和 Access 的陀螺仪组故障诊断专家系统[J]. 科技视界, 2016(21): 110-111.
- [12]郭沁,赵结昂. 内燃叉车故障诊断专家系统研究[J]. 特种设备安全技术, 2020(2): 49-52.
- [13]李正辉,刘峻峰,余伟,等. 基于置信规则库推理的电机转子故障诊断方法[J]. 科学技术创新, 2021(1): 101-102.

(责任编辑:殷丽莉)