

温室环境控制系统智能故障诊断*

左志宇 毛罕平

(江苏大学现代农业装备与技术省部共建教育部/江苏省重点实验室, 镇江 212013)

【摘要】 分析了温室环境控制系统中执行机构、传感器、控制柜、控制软件的主要故障;根据故障可能对系统造成的损失将故障分为4个级别,并提出了相应的处理策略,编制了完整的智能故障诊断软件。试验结果表明,故障诊断识别正确,系统运行可靠。

关键词: 温室 控制系统 故障诊断

中图分类号: S625.5⁺1; TP206⁺.3

文献标识码: A

Intelligent Fault Diagnosis on Greenhouse Environment Control System

Zuo Zhiyu Mao Hanping

(Key Laboratory of Modern Agricultural Equipment and Technology, Ministry of Education & Jiangsu Province, Jiangsu University, Zhenjiang 212013, China)

Abstract

A novel technique of fault diagnosis on greenhouse environment control system (GECS) was developed for more reliability. Major faults of actuators, sensors, switch board and control software in GECS were analyzed and listed. All GECS faults were divided into four grades according to their damage levels, and were treated respectively with different strategies and solutions. Two working modes, 'fast fault diagnosis' and 'complete fault diagnosis', were proposed to meet the requirement of both higher accuracy and rapidness. The idea of one-key setting was applied for different users. The intelligent programming was completed to carry out the fault diagnosis on GECS. The test results show that the faults are correctly detected and identified.

Key words Greenhouse, Control system, Fault diagnosis

引言

温室环境控制系统中的执行机构、传感器等的工作环境比较恶劣,容易发生故障。温室的经营和操作人员,由于缺乏控制系统软硬件方面的专业知识,不能及时发现和处理故障,容易造成较大的经济损失。

Beaulah 等^[1]对温室中传感器进行了实时故障诊断研究,但未对控制系统中执行机构、控制柜等进行故障诊断。Linker 等^[2-3]对温室中传感器、执行机构进行了故障检测、识别和隔离研究,但对于控制

系统的控制柜、控制软件故障未进行研究。国内温室环境控制技术发展很快^[4-6],但在控制系统故障的诊断方面,还未见研究报道。针对以上情况,提出在温室的环境控制系统中分别对执行机构、传感器、控制柜、控制软件等进行故障诊断和处理。

1 控制系统中的故障

温室环境控制系统由执行机构、传感器、控制柜、控制软件等组成。温室执行机构主要包括天窗、卷帘、遮阳网、保温幕、风机、喷淋泵、滴灌泵、灌溉分区电磁阀等;传感器主要包括室内温、湿度传感器,

收稿日期: 2009-06-30 修回日期: 2009-07-30

* 江苏省科技支撑计划资助项目(BE2008380)和教育部博士点基金资助项目(200802990009)

作者简介: 左志宇,讲师,博士生,主要从事设施农业系统监测与控制研究,E-mail: zuozzy@ujs.edu.cn

通讯作者: 毛罕平,教授,博士生导师,主要从事设施农业系统监测与控制研究,E-mail: maohp@ujs.edu.cn

室内光照传感器,室内 CO₂ 浓度传感器,室外温、湿度传感器,室外光照传感器,风速传感器,风向传感

器,雨量传感器等。各部分可能发生的主要故障如图 1 所示。

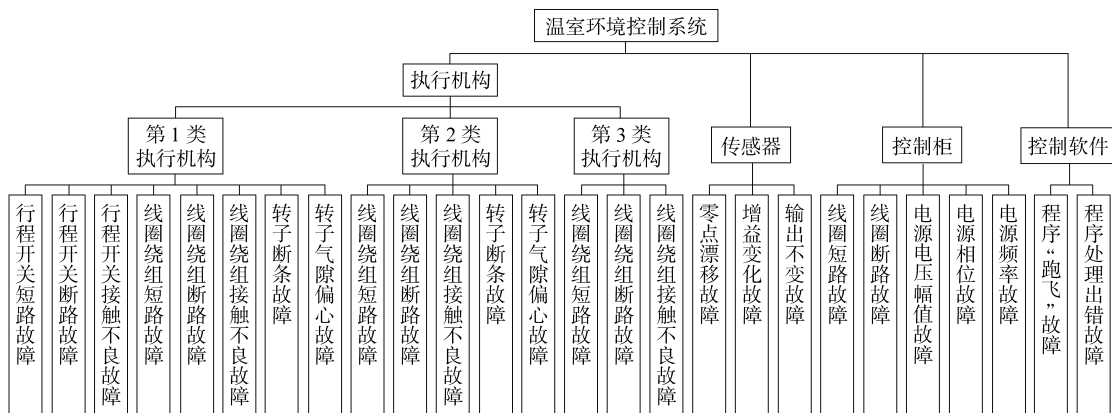


图 1 温室环境控制系统中的主要故障

Fig. 1 Major faults of the greenhouse environment control system

1.1 执行机构故障

温室环境控制系统执行机构一般由动力装置、机械传动和执行装置等组成。本研究主要考虑其动力装置,如天窗开启装置中的电动机、喷淋分区装置中的电磁阀等的故障。

根据温室环境控制系统执行机构的工作特点,将执行机构分成以下 3 类。

第 1 类执行机构:电动机停机时间确定的执行机构。所谓停机时间确定指的是:执行机构从一种状态变化到另一种状态所经历的时间一定,这是执行机构的一种属性。天窗、卷帘、遮阳网、保温幕等归于第 1 类执行机构。第 1 类执行机构的故障主要有:行程开关短路、行程开关断路、行程开关接触不良、线圈绕组短路、线圈绕组断路、线圈绕组接触不良、转子断条^[7]、转子气隙偏心^[7]等。

第 2 类执行机构:电动机停机时间不确定的执行机构。所谓停机时间不确定指的是:执行机构从一种状态变化到另一种状态所经历的时间不确定,动作指令完成后执行机构不会自动停止工作。风机、暖风炉、喷淋泵和滴灌泵等归于第 2 类执行机构。第 2 类执行机构的故障主要有:线圈绕组短路、线圈绕组断路、线圈绕组接触不良、转子断条、转子气隙偏心等。

第 3 类执行机构:不含电动机的其他执行机构,如喷淋和滴灌的分区电磁阀。第 3 类执行机构的故障主要有:线圈绕组短路、线圈绕组断路、线圈绕组接触不良等。

1.2 传感器故障

根据被测参数的特点,温室环境控制系统中的传感器可分为 2 大类。

第 1 类传感器:所传感参数是不可控的传感器。

所谓“不可控”指的是所传感参数不受温室环境控制系统控制,执行机构状态的改变不影响传感器的读数。室外温度、室外湿度、室外光照、室外风速、室外风向、雨量等传感器属于第 1 类传感器,进行故障诊断时不考虑执行机构状态。

第 2 类传感器:所传感参数是可控的传感器。所谓“可控”指的是所传感参数受温室环境控制系统控制,执行机构状态的改变影响传感器的读数。如室内温度、室内湿度、室内光照、室内 CO₂ 浓度等传感器,进行故障诊断时考虑执行机构状态。

这 2 类传感器主要会发生零点漂移、增益变化、输出不变等故障。零点漂移故障指传感器的零点发生了变化;增益变化故障指传感器的灵敏度发生了变化;输出不变故障指传感器的输出值不变化,比如传感器短路、断路、卡死等,均会引起输出值不变。

1.3 控制柜故障

控制柜故障诊断主要考虑线圈短路、断路故障和电源的电压幅值、频率、相位故障。线圈短路故障指控制柜中交流接触器、继电器等线圈短路,线圈断路故障指控制柜中交流接触器、继电器等线圈断路,电源电压幅值故障指电源电压偏高或偏低,电源频率故障指电源频率与系统设计频率不符,电源相位故障指的是电源相线之间的相位关系发生了变化。

1.4 控制软件故障

控制软件故障主要考虑程序“跑飞”故障和程序处理出错故障。程序“跑飞”故障指控制程序超过预定时间没有访问特定程序,控制程序已经失控;程序处理出错故障指控制软件处理后输出的控制信号,与系统设定参数和温室实际环境需求不符,或者出现执行机构作用相互矛盾的情况。

2 故障决策与处理

2.1 故障分类

根据故障的严重性,即按可能对温室软硬件损害的程度来分类,分为以下4级。

1级:一般故障。主要指执行机构、传感器、控制柜或控制软件偶尔出现的小故障,但很快又会恢复正常。这类故障一般对整个系统不会造成影响。如电源电压在系统可接受的极限电压范围内超过预定范围。

2级:较严重故障。这类故障在短时间内不会影响其功能,但如果不及时处理会向更坏的方向发展。如轻微的电动机转子断条、气隙偏心故障。

3级:严重故障。发生这类故障时执行机构或传感器的功能已经完全丧失,必须立即停止进行检修。如电动机相间绕组断路或短路。

4级:很严重故障。即最严重的故障,发生这类故障时整个控制系统必须立即停止运行,待故障排除后系统才能启动。如控制系统电源缺相。

2.2 执行机构故障决策与处理

执行机构线圈绕组接触不良、行程开关接触不良故障归为1级故障;轻微的转子断条、转子气隙偏心归为2级故障;转子断条数增加、转子气隙偏心增大,升级为3级故障;线圈绕组短路、线圈绕组断路、行程开关短路、行程开关断路归为3级故障。

对于同一执行机构,如果同时存在几种故障,则取故障级别中的最高级。

对于1级故障执行机构,故障诊断程序仅给出警告信息,继续使用。

对于2级故障执行机构,故障诊断程序给出警告信息,并密切监视,继续使用。

对于3级故障执行机构,故障诊断程序给出严重警告信息,将该执行机构列为禁用设备,同时,重构执行机构控制规律。比如:风机发生短路等严重故障,则故障诊断程序立即停止风机,同时报警;然后,把风机列为禁用设备;再重构控制规律,即把风机从通风设备、降温设备等功能设备中删除。

对于4级故障执行机构,故障诊断程序给出严重警告信息,同时关闭控制系统。

2.3 传感器故障决策与处理

传感器轻微的零点漂移、增益变化故障归为2级故障;严重的零点漂移、增益变化故障和输出不变故障归为3级故障。

对于2级故障传感器,故障诊断程序给出警告信息,并密切监视,继续使用。

对于3级故障传感器,故障诊断程序给出严重

警告信息,并将该传感器列为禁用传感器,利用预测值代替该传感器作为系统输入,防止控制系统立即瘫痪;同时,继续密切监视该传感器。如果在规定的时间内该传感器还不正常,则故障类别升级为4级,即“很严重故障”。故障类别升级为4级后,出于安全考虑,控制系统会立即被关闭。

2.4 控制柜和控制软件故障决策与处理

控制柜中继电器、接触器的短路、断路故障归为3级故障,如果工作异常,则相应的执行机构也不能正常工作。对这类故障的处理方法同2.2节中的3级故障。

控制柜中电源电压幅值、频率和相位故障归为4级故障,如果这几个参数不正常,可能出现烧毁所有电器设备、执行机构损坏等情况。对这类故障的处理方法同2.2节中的4级故障。

控制软件的程序“跑飞”归为4级故障,处理方法是重新启动控制系统。

控制软件的输出结果错误故障如果只出现1次,归为3级故障,忽略当前执行机构状态更改指令,其他处理同2.2节;如果经常出现,控制软件本身的缺陷后,考虑是否计算机内存或硬盘故障,故障类别升级到3级故障或4级故障,处理方法同2.2节。

3 智能故障诊断软件设计

3.1 软件总体方案

诊断软件采用模块化编程思想,将程序分为人机交互界面模块、信号采集和预处理模块、故障诊断模块、故障决策和处理模块、数据库模块和文档管理模块等,软件采用 Visual Basic 6.0 语言编制^[8]。各功能模块之间的关系如图2所示。

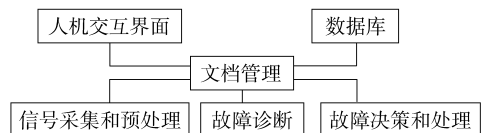


图2 智能故障诊断软件结构图

Fig.2 Structure of the intelligent fault diagnosis on greenhouse environment control system

人机交互界面模块负责所有设置参数的输入和所有信息的显示,以及人机交互操作;信号采集和预处理模块负责传感器、执行机构、控制柜和控制软件信息的采集,并进行数字滤波、异点剔除等预处理;故障诊断模块负责传感器、执行机构、控制柜和控制软件故障的诊断;故障决策和处理模块负责故障的决策,并按故障的严重性进行相应处理;数据库模块负责温室环境参数、室外气象参数和营养液参数的

传感器数据存储和管理,以及所有传感器、执行机构、控制柜和控制软件故障信息的存储和管理;文档管理模块负责前述所有模块的管理和调度,以及文档的输出、打印等工作。

3.2 故障诊断模块设计

为兼顾故障诊断系统的速度和精度,提出快速故障诊断、完全故障诊断 2 种模式。

快速故障诊断模式工作时,监测各相电流、电压和启(起)闭(停)时间。不同执行机构同时运行时,总电流预测值等于各执行机构的电流预测值之和;有执行机构停止时,总电流预测值减去该执行机构的电流预测值。当电流有效值与总电流预测值,或执行机构运行时间与预定的运行时间有一定差异时,可判断正在运行的执行机构出现了故障。

完全故障诊断模式工作时,关闭其他执行机构,采集被诊断对象的电流、电压、动作时间等特征信号,采用频谱分析、时间序列分析和软件冗余分析等手段进行故障诊断,分析被诊断对象的故障。

快速故障诊断模式便于系统迅速发现故障,完全故障诊断模式便于系统进行精确的故障分析和定位。

故障诊断流程如图 3 所示,该模块首先调用快速故障诊断程序。如果没有故障,则直接返回;如果有故障,则判断是否需要完全故障诊断。判断原则为:如果快速故障诊断能直接识别、定位故障,则不需要再进行完全故障诊断;否则,需进行完全故障诊断以正确识别和定位故障。根据判断结果调用完全故障诊断程序或直接置位故障标识,并分析故障趋势。

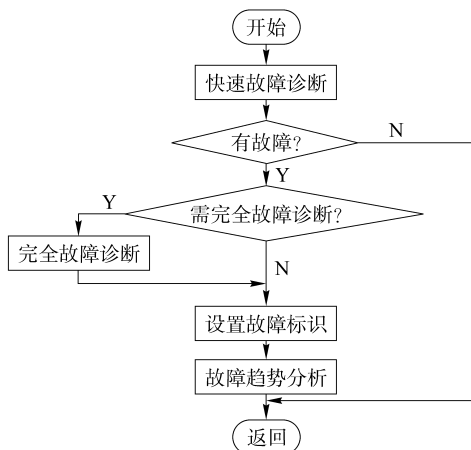


图 3 故障诊断流程图

Fig.3 Flowchart of fault diagnosis

3.3 人机交互界面故障诊断灵敏度模块设计

兼顾了便利性和灵活性,提出“一键式设置”故障诊断灵敏度设计思路,即在人机交互界面的“故障

诊断”菜单中设置了故障诊断模式,其子菜单包括“一键式设置”和“停止”;“一键式设置”又包括“高灵敏度”、“中等灵敏度”、“低灵敏度”和“自定义”子菜单。

当用户选择“高灵敏度”、“中等灵敏度”或“低灵敏度”时,故障诊断模式相应地为高、中或低灵敏度。故障诊断模式设置的灵敏度越高,故障被诊断出的几率越大,但同时误报的可能性也越大。对于新系统或可靠性要求非常高的场合,可设置为高灵敏度;对于旧系统或可靠性要求较低的场合,可设置为低灵敏度;中等可靠性要求可设置为中等灵敏度。

“一键式设置”中的“高灵敏度”、“中等灵敏度”和“低灵敏度”的所有诊断参数都是系统默认,不需要用户干预。当用户选择“自定义”时,执行机构、传感器的特征参数需要由用户输入。

4 试验和结果

在 HD6.5 型连栋温室中通过设置典型故障,对故障诊断系统进行了试验。

(1) 电动机故障

方法:启动温室环境控制程序和故障诊断软件;故障诊断软件使用系统管理员级用户登录,在“一键式设置”中选择“自定义”设置故障诊断灵敏度为自定义,在控制系统启动西卷帘 10 s 后,断开电动机的 A 相。

结果:西卷帘马上被断电,故障诊断软件显示:A、B、C 三相电流“异常”,西卷帘“故障”;“故障信息”窗口给出了故障信息和警告信息。

(2) 行程开关故障

方法:在控制系统启动西卷帘(正行程)10 s 后,短路行程开关。

结果:西卷帘在设置故障 48 s 后被断电,故障诊断软件显示:西卷帘“故障”;“故障信息”窗口给出了故障信息和警告信息。

(3) 传感器故障

方法:上午 6:50 调整室内温度传感器零点漂移 +1℃。

结果:上午 9:00 故障诊断软件显示室内温度传感器有故障,并且正确识别为零点漂移,与预期现象相同。

(4) 控制柜故障

方法:断开控制柜 A 相电源。
结果:故障诊断软件立即发现了故障,系统显示 A 相有故障;计算机喇叭连续发出警告音;同时所有执行机构被断电,以保护设备。

(5) 软件故障

方法:在控制软件中人为设置死循环。

结果:故障诊断软件识别为程序“跑飞”,自动重启了控制系统。

从以上试验结果来看,故障诊断系统能正确识别出典型执行机构故障、传感器故障、控制柜故障和控制软件故障,并进行了相应的处理。

5 结论

(1)对温室环境控制系统中执行机构、传感器、控制柜、控制软件等主要故障进行了分类。

(2)根据故障的危害程度,将温室环境控制系统的故障分为4个等级,并提出了相应的处理策略。

(3)设计了温室环境控制系统智能故障诊断软件。提出了快速故障诊断、完全故障诊断2种工作模式,兼顾了故障诊断系统的速度和精度温度。提出“一键式设置”的设计思路,满足不同层次用户的不同需求。该软件人机交互界面友好,操作简便,运行可靠,便于推广使用。

(4)进行了典型故障验证试验,故障诊断识别正确,故障处理合理,达到了预期的设计要求。

参 考 文 献

- 1 Beulah S A, Chalabi Z S. Intelligent real-time fault diagnosis of greenhouse sensors[J]. Control Engineering Practice, 1997,5(11):1 573~1 580.
- 2 Linker R, Gutman P O, Seginer I. Robust model-based failure detection and identification in greenhouses[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2000,26(3):255~270.
- 3 Linker R, Gutman P O, Seginer I. Observer-based robust failure detection and isolation in greenhouses[J]. Control Engineering Practice, 2002,10(5):519~531.
- 4 伍德林,毛罕平,李萍萍. 基于经济最优目标的温室环境控制策略[J]. 农业机械学报, 2007,38(2): 115~119.
Wu Delin, Mao Hanping, Li Pingping. Environmental regulation techniques based on economic optimization in greenhouse [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2007,38(2):115~119. (in Chinese)
- 5 顾奇南,毛罕平. 温室环境智能化控制数学模型的研究[J]. 农业机械学报, 2001,32(6):63~65.
Gu Ji'nan, Mao Hanping. A mathematical model on intelligent control of greenhouse environment[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2001,32(6):63~65. (in Chinese)
- 6 王纪章,李萍萍,毛罕平. 基于数据库的温室环境调控效果模型[J]. 农业机械学报, 2006,37(11):84~87.
Wang Jizhang, Li Pingping, Mao Hanping. Model of greenhouse environment control based on database[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006,37(11):84~87. (in Chinese)
- 7 沈标正. 电机故障诊断技术[M]. 北京:机械工业出版社, 1996:367~378.
- 8 孟铂,王孟石,樊新华. VB类模块在数据库开发的应用[J]. 仪表技术与传感器, 2003(4):48~50.
Meng Bo, Wang Mengshi, Fan Xinhua. VB class module in using database programming[J]. Instrument Technique and Sensor, 2003(4):48~50. (in Chinese)
- 9 张荣标,白斌,李克伟,等. 基于时空双序列分析的温室 WSN 故障诊断[J]. 农业机械学报, 2009,40(2):155~158, 179.
Zhang Rongbiao, Bai Bin, Li Kewei, et al. Fault diagnosis of the greenhouse WSN based on the time series and space series analysis[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2009,40(2):155~158,179. (in Chinese)