



清华大学学报(自然
科学版)
JOURNAL OF TSINGHU
UNIVERSITY
(Science and Techno
1999年 第3期 No.3 1999

科技期刊

用容错技术提高锅炉控制系统的可靠性*

李 明, 徐向东

文 摘 锅炉系统应有很高的可靠性。目前, 部分锅炉所配备的控制系统由于可靠性不高, 投入控制系统反而降低了锅炉的可用率。高可靠性的控制系统必须在设计阶段就开始应用容错技术。在通用容错技术的基础上提出了控制系统容错技术的基本原则, 并针对控制系统中控制器的特点提出了一套模型预测和专家系统相结合的控制器检测方案。该文所提出的控制系统容错技术已经应用于某130t/h煤粉炉计算机监控系统的设计。

关键词 控制系统; 锅炉; 容错; 可靠性

分类号 TK 323

Enhancing reliability of boiler
control system by using
error-tolerance
technology

LI Ming, XU Xiangdong
Department of Thermal Engineering,
Tsinghua University, Beijing 100084, China

Abstract A boiler system needs high security. The security of some boiler control systems is not very high, and the useableness of boiler system has been depressed after using these control systems. Only using reliability technology in design stage, can get a high security control system. On the base of common reliability technology, this paper applies the basic principle of control system reliability technology. According to the characteristic of controller, an examine scheme of forecast and expert system has been developed for controller of control system. The control system reliability technology that has been applied has been used in the computer control system of a 130t/h coal-powder boiler.

Key words control system; boiler; error-tolerance; reliability

控制系统在整个锅炉系统中占据中枢的地位, 它直接控制锅炉系统的运行, 一旦控制系统出现故障, 将直接影响锅炉的正常运行, 如果处理不当, 甚至会引起恶性事故。为了得到可靠的设备和系统, 必须注意每一个环节, 特别是设计阶段。如果这一步错了, 要想通过后来的修改达到所期望的可靠性几乎是不可能的^[1]。因此, 在控制系统的设计阶段就必须考虑到可靠性问题, 主要的方法就是

利用容错技术指导控制系统的设计。实际系统的硬件和软件出现故障都是难以避免的。因此在设计控制系统时,必须全面考虑如何应用容错技术,保证系统在局部出现故障时仍能正常运行,从而提高控制系统的可靠性。

本文在分析通用容错技术的基础上,针对控制系统的特点,提出了控制系统容错技术的基本原则,并针对控制系统中控制器的特点提出了一套模型预测与专家系统相结合的控制器检测方案。此控制系统容错技术已成功应用于某130t/h煤粉炉的计算机监控系统设计中。

1 容错技术概述

容错的基本思想是由冯·诺伊曼在1962年提出的。系统若具有自动修复和容忍故障的能力,就可以达到高可靠性系统的目标。这就是容错的思想。容错技术能够达到对故障的“容忍”,并非是“无视”故障的存在,而是要能够自动、适时地监测并诊断出系统的故障,然后采取相应的故障控制或处理的策略,而要达到这些要求,还要有相应的硬件作为基础。故障容错技术包括硬件冗余,故障检测与诊断和故障决策等内容^[2]。容错技术所包含的内容可以归纳如图1所示。

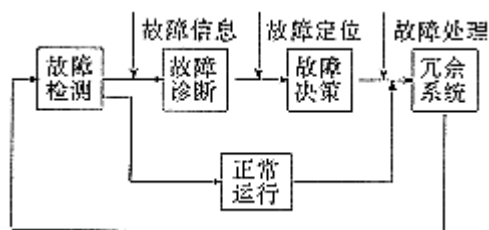


图1 故障容错技术所包含的内容

1.1 硬件冗余

为提高系统的可靠性,在系统设计中可采用两种方法:

其一是尽可能地选用高可靠性的单元组成系统。这种方法一方面受到技术水平的限制,有时为了达到高可靠性要求,单元配置的成本较高;另一方面,对于由同样可靠性程度的单元组成的系统,系统越复杂,系统的可靠性越低。因此对于复杂系统,单纯依靠提高单元的可靠性达到系统的高可靠性是非常困难的。

其二是增加一定数量的相同单元组成系统或采用多套相同的系统,即所谓冗余的方法。这种方法可以提高系统的可靠性,同时冗余也是容错技术的基础。

在设计冗余时,必须考虑几个方面的问题:

1) 单元可靠性是系统可靠性的基础,因此必须努力提高单元的可靠性;
2) 对于简单并联冗余系统,当冗余超过一定数量时,可靠性提高的速度大为减缓,同时采用冗余也就意味着成本的增加,因此在设计时必须考虑费效比问题;

3) 采用何种冗余方法要根据实际情况决定,一般在低级别部位采用冗余的效果比在高级别部位采用冗余的效果好;

4) 并不是所有单元都可以冗余,比如当失效单元无法有效地隔离时,就无法采用冗余。

1.2 故障检测与诊断

容错技术的主要内容是故障检测与诊断。公认系统故障有三种类型:早期故障,耗损性故障和偶然性故障^[3]。这三种故障分别对应系统生命周期的三个阶段。早期故障可以通过修正设计等措施及时剔除。耗损性故障可以通过定时检修

和更换老化部件避免。当系统工作在早期和耗损期之间的工作期时,在此期间所发生的故障全是随机发生的偶然故障,称为偶然性故障。因为这一时期正是系统的工作期,所以偶然性故障的故障检测与诊断很重要。

故障检测与诊断的目的在于当系统内发生故障时能自动发现故障,并确定出故障的部位和类型,同时自动采取保护措施。故障检测与诊断的成功与否将直接影响系统的容错能力。故障检测与诊断装置的基本要求:

- 1) 在系统所处的各种工作方式和状态下,都应能自动、可靠地进行检测;
- 2) 能检测90%以上的系统故障;
- 3) 故障检测与诊断装置的失效率不应大于系统总失效率的50%;
- 4) 误报率小于1%。

目前,故障检测和诊断中常用的方法有:

1) 直接余度:其基本原理是对系统的关键部件引入多重相同的部件,利用表决法检测并诊断系统故障,并利用冗余的部件实现容错的目的。

2) 解析余度:其基本原理是利用系统之间或系统的各部件之间的功能关系构成功能上的冗余,利用系统状态、输出等变化来检测与诊断系统的故障,利用最少的硬件冗余实现容错的目的。

3) 利用参数估计、信息序列处理等现代控制论与统计理论相结合的方法进行故障检测,并估计出偏差量,利用补偿、校正等方式实现系统容错控制。这种检测方法所涉及的计算工作繁杂,难以在实时系统中实现。

实际应用中,一般综合使用直接余度和解析余度来进行表决,即所谓表决法。表决法是一种常用的故障检测与诊断的方法,该方法实现起来比较简单、可靠,但需要有一定的硬件冗余。

1.3 故障决策

故障决策的目的在于针对故障的部位和类型,采取相应的容错措施。一般有两种方法:其一是将故障单元隔离,利用冗余配置替换故障单元,保持系统正常运行;其二是在故障存在的前提下,降低系统的性能,保证系统在可靠性所允许的一定范围之内运行。

2 控制系统的容错技术

控制系统是一种以控制器为核心的人工系统,它通过输入设备(传感器组)和输出设备(执行机构)将受控系统和控制器连接到一起,如图2所示。

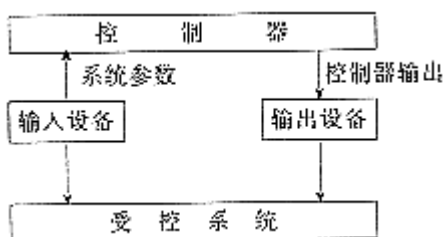


图2 控制系统结构图

控制系统可以被划分为三个相对独立的串联子系统,各子系统间通过信号联接。因此,可以分别设计符合各个子系统实际特点的子容错方案。

2.1 输入、输出子系统的容错

输入、输出设备都是以硬件为主构成的。当其元件出现故障时,会有明显异于正常的特征信号出现,因此可以使用常规的硬件冗余比较的容错方案。

2.2 控制器子系统的容错

控制器是控制系统的核心,它的突出特点就是以软件为核心,因此控制器的容错与一般意义下的硬件容错技术有所不同,必须考虑软件的独特特点。

控制器可能出现的故障主要有:控制器硬件故障,控制软件故障,控制算法缺陷和操作失误。

2.2.1 控制器硬件的容错

控制器以通用或专用计算机作为硬件的基础。为了提高控制系统的可靠性,一般采用集散控制系统,即由几台计算机分别控制不同的控制回路,计算机间由通讯联系。由于计算机程序运行的独立性,控制计算机无法热切换,因此必须选用高可靠性的计算机。

2.2.2 控制软件的容错

控制软件由操作平台和应用软件组成。理想的操作平台,不但要功能强大,而且要稳定。应用软件就是控制算法的实现,应当能够如实再现控制算法。

软件故障与硬件故障的特点不同^[4]:软件故障主要是软件设计和编码的错误,而与拷贝、使用、维护的关系甚小;可靠度与时间无关,软件的可靠度随软件错误的排除而提高;相同软件的冗余不会提高可靠性。

由于软件故障的以上特点,因此软件的容错工作主要是如何发现和避免软件中的错误,这需要应用软件系统工程的方法。

2.2.3 控制算法的容错

控制算法是控制系统工作的保证,如果算法出了问题,控制系统就会出现误操作。为了取得满意的控制效果,控制算法一般都比较复杂,有些甚至采用了自适应、自学习算法,因此难以通过仿真对控制算法进行全面的检验;并且受控对象的特性也有可能发生改变,偏离控制算法的设计区域。所有这些因素都会导致控制系统在某些意想不到的情况下做出误操作。

控制器的输出是否正常,是针对它对受控对象的影响结果而言,其本身并不具备明显的特征。由于一般受控对象都有一定的滞后和惯性,因此控制器的输出对受控对象的影响具有迟滞性和积累性,因此并不能根据受控对象当时的状态来判定控制器输出是否正常,而需要一套预测的方法提供信息。

本文运用模型预测的方法预测控制器输出对受控对象的影响,如图3所示。受控对象动态模型的输入量是控制器的输出,通过计算可以得到未来一段时间里受控系统的运行轨迹。计算时假设控制器正常,考虑控制器动作的影响。由于模型所预测的时间段不长,因此动态模型可以比较准确地预测实际系统的运行趋势。

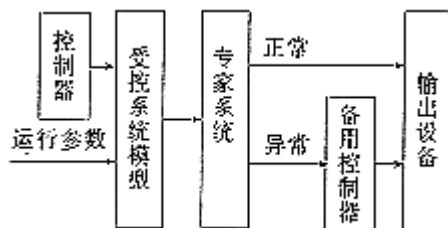


图3 控制器容错方案

模型预测的一些重要信息,如最大偏移量、最大偏移速率等,送到一个专家系统^[5],由专家系统结合系统当前运行状态,综合判断控制器输出是否正常。专家系统内存有一套检测标准,由推理机根据模型预测的信息和当前系统运行状态判断控制器输出是否正常,并判断可能的故障类型。

如果专家系统认为控制器输出正常,则该输出被送到输出设备;如果专家系统认为控制器输出异常,则该输出被抑制,转由一个比较稳定但控制效果不是最佳的备用控制器产生控制器输出。

3 应用举例

上述控制系统容错技术已被成功运用于某130t/h煤粉炉的计算机监控系统的设计。

该控制系统的结构见图4。控制器由工控机和PLC组成。PLC负责各回路的基本控制,即所谓下位机;工控机在负责优化的同时,还要负责人机界面等工作,即所谓上位机。故障监控的主要计算工作也由上位机完成。

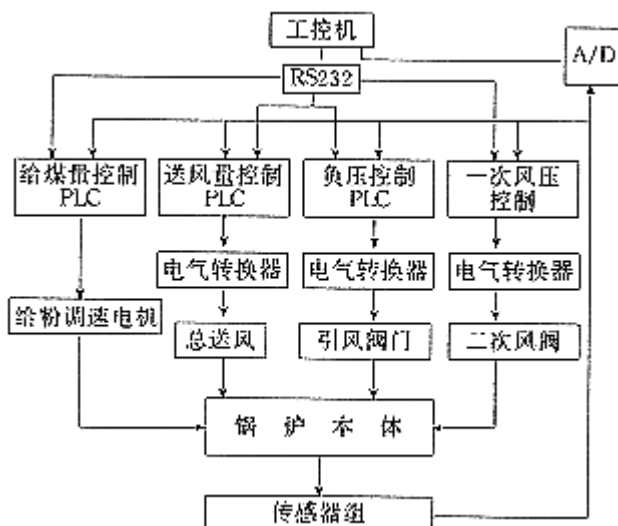


图4 130t/h煤粉控制系统简图

控制系统的输入设备由传感器组、配电器和A/D模块组成。由于控制系统所需要采集的信号都是表征受控系统状态的重要参数,因此本设计采用的都是三重冗余布置,应用比较法,可以检测传感器通道故障,并自动隔离、报警。

控制系统的输出设备由一系列执行机构组成。由于大部分执行机构,如风门等,无法有效隔离,因此对于每一个执行机构单元未进行冗余布置。

执行机构的检测主要依靠测量执行机构的位置反馈信号和控制器输出信号,然后进行比较,同时辅以执行机构动作影响的参数变化信号。以给粉机速度控制为例,调整机构的故障主信号是给粉机转速的反馈信号,辅助信号是炉内燃烧温度。

由于工控机和PLC的可靠性都已达到控制系统的要求(连续无故障工作时间长达10⁵h),另一方面由于程序执行的独立性,因此没有设计双机热备份系统,而采用了冷备份系统。

上位机和下位机各有相对独立的两套控制器。上位机控制器的控制算法比较复杂,具有自适应和优化等功能,而下位机控制器的控制算法则比较简单。故障监控系统在上位机运行。一般情况由上位机控制器输出,当上位机控制器异常时,转由下位机控制器输出。

4 结束语

应用控制系统容错技术可以提高锅炉控制系统的可靠性,从而提高整个锅炉系统的可靠性。锅炉系统可靠性的提高,就意味着经济效益的提高。

控制系统只是锅炉系统的一个子系统,要进一步提高锅炉的可靠性,还需要提高锅炉其它子系统的可靠性。

第一作者:男,1974年生,博士研究生

3 *基金项目:国家攀登计划B(85-35)

作者单位:清华大学 热能工程系,北京 100084

参考文献

- [1] 埃·施尔弗 著. 测量设备及自动化系统可靠性理论. 裘华徕,丁永健译. 上海:上海翻译公司,1989
- [2] 姚一平,李沛琼. 可靠性及余度技术. 北京:航空工业出版社,1991
- [3] 王珍熙. 可靠性·冗余容错技术. 北京:航空工业出版社,1991
- [4] 傅佩琛,赵霖,张军英. 计算机系统硬件软件可靠性理论及其应用. 西安:国防工业出版社,1990 5李士勇. 模糊控制和智能控制理论与应用. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社,1990

收稿日期:1998-06-15

&