

智能温度变送器软件的可靠性分析

朱麟凯

(遵义市产品质量检验检测院 贵州 遵义 563000)

摘要: 软件可靠性分析方法中, 软件失效模式与影响分析 (SFMEA) 是一种常用的分析方法, 目前, 这种方法已受到国内外关注, 并制定了相应的标准。智能温度变送器是工业现场环境温度监测的重要仪表, 其可靠性对工业生产产生的影响不言而喻, 为了对该仪表可靠性进行有效、准确的分析, 本文借助 SFMEA 这种分析方法对智能温度变送器软件的可靠性加以分析, 通过分析得出, 该仪表之中的温度计算软件模块如果出现失效, 则会导致整个仪表系统产生严重影响, 在软件后期设计开发之中, 应该对可靠性活动进行执行, 从而提升整个系统的可靠性。

关键词: 智能温度变送器; 软件; SFMEA; 可靠性分析

0 引言

在当前工业生产中, 智能温度变送器是一种常用的远程监控智能化仪表, 可针对安全重点任务予以执行, 所以对其安全性、可靠性的要求比较严格, 对该智能化仪表的可靠性进行分析事关仪表的质量。为确保该智能化仪表能够安全、可靠的运行, 在软件及硬件开发过程中, 需要采取提升仪表软件可靠性的方法, 例如, 开展可靠性工程活动、采用科学方法进行可靠性分析等, 对于该智能化仪表软件开展有效的可靠性分析是一项关键性任务。

1 智能温度变送器简介

本次研究的智能温度变送器属于一种数据信息传送、保护以及功能执行的智能化装置, 该装置将这些工作完成主要是依靠 HART 通信以及数据处理功能来实现的。该装置内部配备功能单元以及附加传感元件, 这也是对智能变送器功能予以支持的重要条件, 认识智能温度变送器可从其硬件配置和软件设计着手。

1.1 硬件配置

智能温度变送器主要是由传感器、A/D、D/A、转换开关、电源、微处理器以及 HART 通信等一系列模块构成的。该装置是通过回路供电以及两线传送的方式, 将两根导线高档做信号输出以及电源输入的传输线。传感器模块的主要功能是对环境参数进行采集, 然后将采集的参数转换为信号发送至 A/D 模块, 该模块功能在于将接收到的模拟信号进行转换, 使之成为数字信号, 然后传递至 CPU; 微处理器模块的功能在于控制信号和处理数据, 是智能温度变送器的核心模块, 变送器的存储器分为内外两部分, 外部存储器主要是存储仪表组态信息, 而内部存储器则是对装置的过程变量及运行参数进行存储; D/A 模块则是将

数据数字信息转换成环路模拟电流; 而 HART 通信模块则主要是保持仪表和外界之间实现数字化通信。

1.2 软件设计

智能温度变送器的任务是对温度进行测算, 并模拟电流输出, 同时还会通过数字通道完成现信息传递以及输出等多项功能。根据该装置软件需求, 可将其软件系统按照功能划分为三大主要模块, 分别为检测模块、通信模块和设置模块。其中, 检测模块的功能是对温度传感器上出现的模拟信号进行采集, 并通过数据处理得出百分比值、温度值以及电流值, 然后输出数字通信和模拟电流; 通信模块的功能是对系统同外部之间进行信息交流; 设置模块的功能则是对信号信息以及仪表信息实施设置, 并对仪表内部故障进行诊断, 确保仪表运行安全。对于软件的可靠性, IEEE 将其定义为: 在规定条件及时间内, 软件不失效的概率; 在规定时间周期范围内, 程序对要求的功能进行执行的能力。

2 可靠性分析的过程

智能温度变送器软件可靠性早期过程活动一般发生在需求分析阶段, 主要是对其评审准则以及总体可靠性进行确定。而概要设计阶段会将可靠性指标分配至各单元模块之中, 并预估软件可靠性; 依照预计结构、度量指标以及可靠性指标等对软件可靠性分析是否要继续进行作出决定, 然后对软件可靠性存在的风险进行评估, 进而根据分析结果完成软件设计。对智能温度变送器软件进行可靠性分析, 还需要根据以下条件进行。

2.1 可靠性结构模型

可靠性结构模型能够将系统结构逻辑关系全面的反映出来, 是总体可靠性计算的重要依据, 一般来讲, 比较常

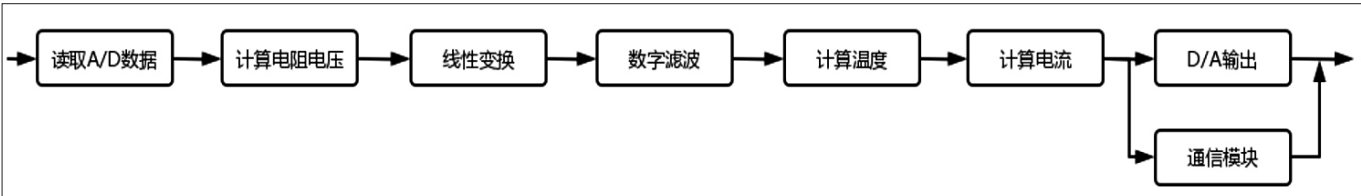


图 软件可靠性并联结构模型

用的可靠性结构模型包括故障树以及可靠性框图。对于智能温度变送器而言，其测量模式所对应的工作过程是一种串联形式的执行过程，所以本文主要采取这种串联形式的执行过程来对测量模式下的可靠性结构模型进行定义。而测量模式输出形式主要包含数字输出以及模拟输出两种形式，将其定义为并联结构模型，该结构模型如图所示。

2.2 严酷度等级

根据该装置的特点和软件失效的情况下可能产生的一系列影响，同时参照国际电工委员会建议的失效划分方法以及现行 GJB/Z1391-2006 标准，可对该装置严酷度等级作出定义。对于智能温度变送器而言，其严酷度等级如表所示。

表 智能温度变送器严酷度等级划分标准

严酷度等级	软件失效可能产生的影响
I 级	可能导致系统瘫痪，使智能温度变送器的工作任务无法完成
II 级	可能导致显示、通信等系统部分功能丧失
III 级	可能不会对系统功能产生影响，但可能会对其性能产生影响
IV 级	可能会对使用性产生影响

2.3 温度计算模块

从上述内容中可以了解到，温度计算模块主要对 A/D 模块采集到的数据实施修正、滤波以及计算等操作处理之后，在依照热电阻以及热电偶的温度计算公式来对温度值进行计算，热电阻温度与电阻公式如下：

$$R(t) = R(0) [1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t_3]$$
 (1)

该式中，R(t) 代表的是当 t℃ 环境下，铂热电阻的电阻值；同理，R(0) 也就是当温度为 0 时，铂热电阻的电阻值；t 表示温度；A、B、C 均为常数的系数，且当 t > 0 时，C=0。

热电偶温度同电势之间的正函数公式可表示为：

$$E = \sum_{i=0}^n a_i t^i$$
 (2)

该式中，a_i 表示常数；t 代表温度值；i 为变量，以温度区间的变化作为依据，可取 0 或 1。

当 k 型热电偶处于 0 ~ 1372℃ 时，公式 (2) 的常数项以及指数项会增加 1 个。因冷端温度在 -50 ~ 100℃ 范围内时，且当温度达到 100℃ 的情况下，指数项最大值可达到 108.82 μV。依照 k 型热电偶温度同电势之间的反函数以及 E 变化量对温度产生的影响，通过计算能够得出 Δt 变化量最大值为 0.025k，而仪表数字精度通常要求必须达到 0.15k，故指数项计算过程中可以将其忽略不计。而电偶温度同电势之间的反函数公式可表示为：

$$t = \sum_{i=0}^n d_i E^i$$
 (3)

该式中，E 代表热电偶电势值；d_i 代表常数；i 为变量，且会以电势区间变化为依据，取 0 或是 1。

2.4 SFMEA 分析

从上述内容中已经对测量模块软件功能进行了探讨，通过分析可得出，可能形成的故障模式包括对传感器类型

判断出现失误、冷端电阻值出现错误、计算过程中舍入误差过大、程序运行的时间达不到相应的要求、无输出值等。针对温度计算模块实施的 SFMEA 分析得出的故障模式类型、对应的故障原因、故障影响以及相应的改进措施如下：

2.4.1 传感器类型判断出现失误

该故障函数的主要原因是因为通信送入的数据存在错误，或者是内部指向错误地址读数据，又或是组态数据以及校准数据遭到破坏。该故障的局部影响为温度计算值出现错误，从而会造成全部测量值出现错误，最终造成系统失效，该故障的严酷度可达到 III 级，为了避免这种故障出现，必须确保通信的准确性，并将个组态数据所对应的地址予以明确，还需要对组态数据以及校准数据进行备份处理。

2.4.2 冷端电阻值出现错误

该故障出现的主要原因在于冷端电阻模块在运行过程中出现错误，一旦该故障出现，也会造成温度计算值出现错误，进而造成全部测量值出现错误，最终也会造成系统失效，该故障的严酷度等级为 III 级，对该故障进行规避，需要确保各模块之间具备的独立性，在判断的过程中还要确保有效性。

2.4.3 计算过程中舍入误差过大

造成该故障的原因在于公式数据的精度比较低，直接造成温度计算值出现一定的误差，继而导致系统整体精度受到影响，最终导致系统性能受到影响，此类故障的严酷度等级为 III 级。对该故障解决的方法是对精度要求进行分析，同时对出现的误差进行分析，并对数据类型进行设计。

2.4.4 程序运行的时间达不到相应的要求

产生该故障的主要原因在于利用牛顿迭代法对精度进行设计时，导致精度被设计的过高，从而会对系统的响应时间产生影响，继而对系统性能产生影响，该故障的严酷度等级为 II 级，对此故障解决还需要对牛顿迭代精度的具体要求进行分析，从而得出迭代次数。

2.4.5 无输出值

该故障产生的原因是由于通信输入传感器类型的数据出现错误，导致传感器类型并无对应类型与数据相对应，又或是无法查出与之匹配和对应的电势 / 电阻范围用于计算，该故障会导致系统测量时失去测量值，从而造成系统失效，该故障的严酷度等级为 I 级，对该故障的解决应该针对其出现的原因来确定处理方法。

2.4.6 计算公式参数出现错误

该故障出现的原因在于参数读取的地址存在错误，又或者是参数数据类型的精度比较低，该故障会直接造成测量值出现错误，进而导致全部的测量值均出现错误，最终造成系统失效，该故障的严酷度等级为 III 级，对该故障的解决方法是需要对参数存放的地址进行明确，并实现精度所需数据类型的有效设置。

3 结语

本研究通过 SFMEA 分析方法对智能温度变送器软件

的可靠性进行分析,通过研究表明,温度计算模块是该装置开展检测工作的重要模块,能够对整体系统产生非常大的影响,所以用户在开展后期设计的过程中,需要针对出现的各类故障进行重点改进,并实现有效设计,从而对该装置软件开发工作提供有效支持。

参考文献:

- [1] 刘晓军. 关于自动化仪表的可靠性分析 [J]. 2021(4):150-150.
[2] 陆英. 智能温度变送器系统中的数据处理 [J]. 微型电脑

应用, 2013(3):65-68.

[3] 周亚, 徐皓冬, 白占元, 等. 功能安全温度变送器设计和可靠性分析 [J]. 自动化仪表, 2013(6):70-73.

[4] 孙小智. 基于单片机控制的智能温度变送器 [J]. 达州职业技术学院学报, 2012(1):61-62.

[5] 张灵聪. 温度变送器现场校准方法研究 [J]. 石油工业技术监督, 2020, 36(4):35-37+42.

作者简介: 朱麟凯 (1992.02-), 男, 汉族, 贵州遵义人, 本科, 工程师, 研究方向: 计量检定。

(上接第23页)

背压调节阀, 最大流量系数 $C_v=128 > C_{vMAX}=95.6$, 入口泄放压力设定范围选为 1.24 ~ 2.41MPa, 其流量和压力设定均可以满足压气机和干燥站的工作要求。配合 6358EB 型指挥器, 主阀塞全行程 38mm, 背压调节阀为线性流量特性。背压调节阀工作时, 打开主阀所需超过设定压力的压力增值为 0.041MPa, 重新复位指挥器所需的低于设定压力的压力下降值为 0.021MPa。

4.2.2 旁路阀选型

FISHER 63EG 型 3 寸 (DN80) 背压调节阀的主阀塞全行程所需最小、最大压力差分别为 0.414MPa、2.76MPa。

压气机站最大排气压力 2.0MPa, 储气罐组最大工作压力 1.8MPa。在储气罐组充气至 1.586MPa 后, 背压调节阀两端压差不再满足主阀塞全行程所需最小压力差 (0.414MPa) 的要求, 且随着背压调节阀两端压差的逐步减小, 其流速也逐渐减小。此时, 背压调节阀行程的变化易引起阀前压力的波动。因此, 在背压调节阀旁路增加一个 DN50 的电动球阀, 当储气罐组内的压力达到 1.586MPa 后, 自动打开旁路电动阀, 可以满足系统的流量要求。

5 调试结果与分析

5.1 调试结果

气源系统调试开始时, 储气罐组从大气压开始充气, 此时, 调节背压调节阀指挥器上的调节螺钉, 设定背压调节阀压力在 1.9MPa 左右, 气源系统稳定在该压力下为储气罐组充气。在储气罐组充气至 1.586MPa 后, 打开旁路电动球阀, 继续为储气罐组充气, 直至储气罐组内压力达到 1.8MPa。

在风洞试验高压快速放气时, 提前关闭旁路电动球阀, 避免了压气机站和干燥站内出现剧烈的压力波动。

5.2 调试分析

调试过程中, 按照理论计算分析结果, 设定背压调节阀压力在 1.9MPa 左右, 在储气罐组充气至 1.586MPa 后, 打开旁路电动球阀, 保证了气源系统的稳定运行。

通过理论计算和系统调试, 证实采用这种自力式背压调节阀, 在调试前将其压力进行设定, 结合旁路电动阀, 可以实现风洞气源系统的稳定运行。

6 结语

高速风洞气源系统的运行较为特殊, 存在着储气罐低压充气、高压快速放气的工况, 对于气源系统设备的稳定运行提出了较高的要求。本文所设计的压力调节器采用了一种自力式调节阀, 无需电源、气源, 利用自身结构优势控制压力, 解决了暂冲式风洞气源系统储气罐低压充气、高压快速放气的压力波动问题, 一定程度上实现了气源系统的自动运行, 增强了设备运行时的稳定性, 提高了风洞试验效率。

参考文献:

- [1] 中国人民解放军总装备部军事训练教材编辑工作委员会. 高低速风洞气动与结构设计 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2004.
[2] 明赐东. 调节阀计算选型使用 [M]. 成都: 成都科技大学, 1999.

作者简介: 孔祥龙 (1982-), 男, 满族, 吉林磐石人, 工程师, 研究方向: 风洞试验研究。