

田湾核电厂 TXS 系统模拟量输入信号交叉比较的设计分析

任春香

(江苏核电有限公司, 江苏 连云港 222042)

摘要:文章阐述了田湾核电厂 TXS 系统模拟量输入冗余通道交叉比较标准偏差的数学模型,分析模拟量输入冗余通道的结构设计。运行实践证明:TXS 系统模拟量信号交叉比较设计能够较好地完成对模拟量通道的测试和对通道故障趋势的监测任务,系统设计满足核安全法规标准要求。

关键词:田湾核电厂;安全重要仪表;冗余通道;交叉比较

中图分类号:TL36 **文献标志码:**A **文章编号:**1000-6931(2008)11-1023-05

Cross Comparison Design Analysis of Analog Input Signals of TXS System in Tianwan Nuclear Power Plant

REN Chun-xiang

(Jiangsu Nuclear Power Corporation, Lianyungang 222042, China)

Abstract: The paper describes and analyzes the mathematical model and structural design of analog signal input redundant channel cross comparison of TXS system in Tianwan Nuclear Power Plant. The operation practice proves that the design of analog signal input redundant channel cross comparison of TXS system can complete well the task of analog signal channel test and channel breakdown tendency monitoring, and it meets the needs of nuclear safety rules and standards.

Key words: Tianwan Nuclear Power Plant; important measuring appliance for safety; redundant channel; cross comparison

田湾核电厂安全仪控系统采用 AREVA 公司生产的 TELEPERM XS(TXS)实现反应堆应急停堆、专设安全设施驱动、反应堆功率限制和反应堆功率自动控制等功能。TXS 系统所采集的安全重要仪表模拟量输入信号的品质在一定程度上决定了 TXS 系统控制的性能。

因此,定期进行系统模拟量输入信号交叉比较十分重要。

本工作分析田湾核电厂 TXS 系统模拟量输入信号交叉比较的功能和设计,为国内核电厂数字化安全仪控系统模拟量输入通道的定期测试提供参考。

1 数学模型

1.1 模式简化和假定

系统模拟量输入信号交叉比较是指对同一物理量 4 个独立通道的冗余信号通过一定的算法进行比较和运算,以验证它们的一致性,从而实现模拟量输入通道的测试和通道故障趋势的检查。模拟量冗余输入通道交叉比较结果受诸多因素影响,有些因素的影响机制复杂,在建立数学模式时需做简化处理。常用的方法是在进行误差值计算中,对不可确定的误差因素取保守值。对于田湾核电厂 TXS 系统模拟量输入信号的交叉比较,假定如下。

1) 在计算物理量单通道标准偏差时,对不同参数安装和标定方式所产生的误差及不同温度、压力下的参数偏差取保守值。例如,对安全重要系统流量、液位测量的取源及安装方式产生的误差取保守值 0.5%;对正常工况下一回路压力 15.7 MPa 对应饱和温度 355 °C 下的温度误差偏保守取 0.7 °C。

2) 在考虑冗余通道之间输入信号横向比较模型时,假定 4 个(或 3 个)冗余通道参数达到单通道最大允许偏差值,即假定 3 个(或 2 个)通道达到单通道标准偏差的正向最大值,1 个通道值达到单通道标准偏差的反向最大值,其中,当前参数通道达到单通道标准偏差的正向最大值。

1.2 数学模型和方程

1) 单通道标准偏差

田湾核电厂 TXS 系统模拟量输入冗余通道的交叉比较包含了 TXS 系统所有的模拟量信号输入通道,信号类型有压力、差压、流量、液位、温度、电量、转速和中子通量信号。按照上述假定 1),可分别写出对压力、差压、电量和转速、液位和流量、温度和 NFME 参数输入通道标准偏差的数学方程。

(1) 对压力、差压、电量和转速参数,有:

$$\delta_P = \sqrt{\delta_{H1}^2 + \delta_{SAA1}^2 + \delta_{SNV1}^2 + \delta_{S466}^2} \quad (1)$$

其中: δ_{H1} 为压力、差压、电量或转速变送器最大允许误差,%; δ_{SAA1} 为 SAA1 模拟量信号采集模块最大允许误差,%; δ_{SNV1} 为 SNV1 模拟量信号倍增模块最大允许误差,%; δ_{S466} 为 S466 模拟量信号输入模块最大允许误差,%; δ_P 为单通道允许的标准偏差值,%。

(2) 对液位和流量参数,有:

$$\delta_P = \sqrt{\delta_{H2}^2 + \delta_{SAA1}^2 + \delta_{SNV1}^2 + \delta_{S466}^2} \quad (2)$$

$$\delta_P = \sqrt{\delta_P^2 + \delta_F^2 + \delta_A^2} \quad (3)$$

其中: δ_{H2} 为差压变送器最大允许误差,%; δ_F 为液位、流量显示值附加误差,%; δ_A 为液位、流量取源及安装方式产生的误差,%; δ_P 为液位、流量测量通道的基本误差,%。

(3) 温度参数

在安全重要温度测量信号中,一回路温度信号的误差值相对于其它温度信号多 1 个饱和温度的误差叠增加值,即在计算一回路温度参数的标准偏差值时,须考虑饱和温度下产生的误差值 δ_B ,有:

$$\delta_B = \frac{T_C}{T_B} \times 100\% \quad (4)$$

$$\delta_P = \sqrt{\delta_B^2 + \delta_s^2 + \delta_{H3}^2 + \delta_{SNV1}^2 + \delta_{S466}^2} \quad (5)$$

其中: T_C 为一回路正常运行工况时饱和温度下的误差,°C; T_B 为一回路正常运行工况下饱和温度,°C; δ_s 为温度传感器(热电阻测温元件)最大允许误差,%; δ_{H3} 为温度变送器最大允许误差,%。

(4) 对 NFME 参数,有:

$$\delta_P = \sqrt{\delta_{NFME}^2 + \delta_N^2 + \delta_{SAA1}^2 + \delta_{SNV1}^2 + \delta_{S466}^2} \quad (6)$$

其中: δ_{NFME} 为 NFME 参数最大允许误差,%; δ_N 为 NFME 系统至 TXS 系统传输误差,%。

2) 冗余通道之间的标准偏差

按照上述假定 2),可写出冗余通道之间相互比较的最大标准偏差计算的数学方程如下。

4 个冗余通道比较:

$$\delta_{\max} = \frac{\delta_P + \delta_P + \delta_P + (-\delta_P)}{4} + \delta_P = \frac{3}{2} \delta_P \quad (7)$$

3 个冗余通道比较:

$$\delta_{\max} = \frac{\delta_P + \delta_P + (-\delta_P)}{3} + \delta_P = \frac{4}{3} \delta_P \quad (8)$$

其中: δ_{\max} 为冗余通道交叉比较允许的最大标准偏差值,%。

3) 交叉比较的计算

先对四通道测量参数值 $V_n (n = 1 \sim 4)$ 进行比较,当其中一路测量值与其他 3 路测量值的偏差均大于单通道允许的标准偏差值 δ_P 的 2 倍时,认为该路信号有问题,将信号值置为“0”,同时将式(9)中的 n 值减 1。交叉比较计算的数

学方程为:

$$\delta_R = \frac{V_D - (V_1 + V_2 + V_3 + V_4)/n}{I_H - I_L} = \frac{V_D - (V_1 + V_2 + V_3 + V_4)/n}{16} \quad (9)$$

其中: V_D 为当前要比较的测量参数值, mA; n 为比较的冗余通道数; I_H 为参数满量程对应的电流值, mA; I_L 为参数最低量程对应的电流值, mA; δ_R 为冗余通道交叉比较的偏差结果, %。

2 TXS 系统模拟量输入通道交叉比较的设计

2.1 模拟量输入通道配置

TXS 系统设计 4 个冗余通道、2 个物理多样性, 共包含 481 个模拟量输入信号通道。每个通道硬件配置如图 1 所示, 包括从检测工艺过程参数的一次取源部件(温度信号中的热电阻测温元件)、变送器、信号采集模块 SAA1、信号分配模块 SNV1 和模拟量信号输入模块 S466 一系列设备, 其中, 核物理和反应堆状态参数信号直接由 NFME 系统(中子通量)设备送至信号采集模块 SAA1, 并进入 TXS 系统中。模拟量输入通道主要用于完成工艺参数的检测、物理量信号向电信号的转换、电流回路解耦、信号倍增、分配和电量信号转换为数字信号等功能。

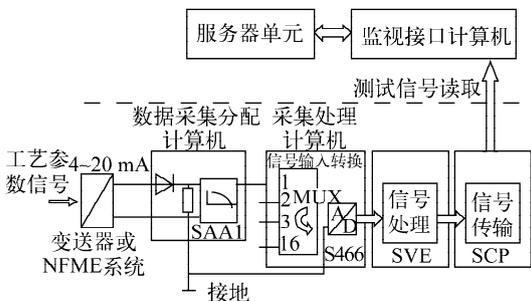


图 1 模拟量信号输入通道示意图

Fig. 1 Scheme of analog signal input channel

2.2 模拟量输入通道交叉比较的结构设计

1) 输入模拟量交叉比较的总体结构

田湾核电厂 TXS 系统模拟量输入冗余通道的交叉比较包含了 TXS 系统所有的模拟量信号输入通道。系统模拟量输入交叉比较结构

如图 2 所示, 包括实时数据采集、参数数据库、交叉比较公式、标准偏差赋值和比较结果超差输出等部分。SPACE 工作站是与 TXS 系统相连接的仪控工程师站, 模拟量交叉比较利用了 SPACE 工程师站操作界面, 当 SPACE 工程师站启动交叉比较程序后, 计算机系统 will 自动读取来自 AP 计算机的实时数据, 并根据数据类型将其分别存入各自实时参数数据库中; 数据采集完成后, 进入交叉比较计算阶段, SPACE 工作站从实时参数数据库中依次逐一调取数据, 运用程序内置的交叉比较公式进行偏差计算, 最后将计算结果与各参数对应的最大标准偏差值进行比较, 并存储和打印不满足验收准则的超差参数及相关信息。

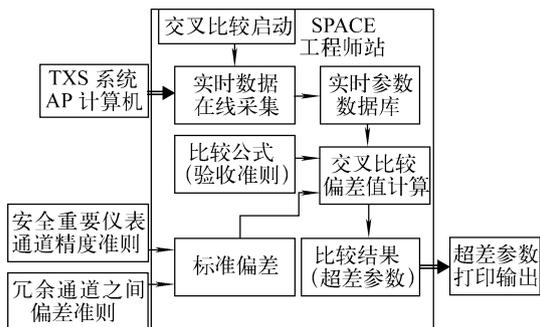


图 2 模拟量输入冗余通道的交叉比较结构图

Fig. 2 Cross comparison structural drawing for analog signal input redundant channel

2) 系统实时数据的在线采集

模拟量输入信号通过信号处理和通讯部分由 MSI 监视和接口计算机传送到 SPACE 工作站。启动交叉比较程序后, 系统直接从 AP 计算机中读取不同冗余通道模拟量信号在线参数, 并将参数值按照温度、压力、差压、液位和流量、电量、转速和 NFME 的不同类别分别存入实时参数数据库中。

在参数采集设计中, 为统一参数量纲, 便于对比较结果进行检查, 选取了模拟量输入通道(模拟量输入模块 S466) 出口端的电流信号作为数据的采集点, 采集的信号统一为 4~20 mA 电流信号(图 3)。

3) 标准偏差值的确定

标准偏差值是冗余通道交叉比较过程中衡量信号是否合格的依据。不同类型、不同安装

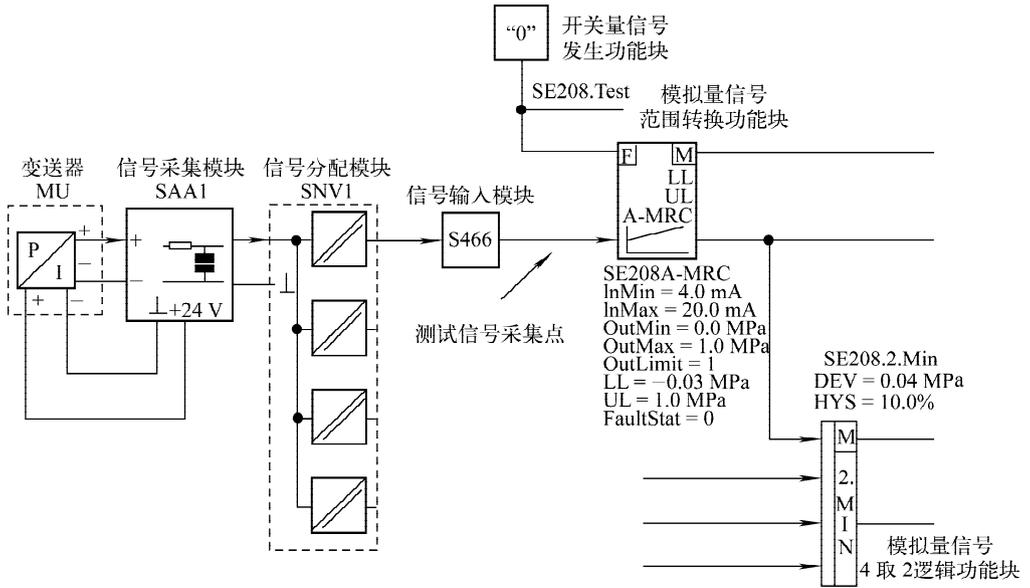


图3 模拟量输入冗余通道的交叉比较时实数据采集图

Fig. 3 Real time data acquisition drawing
for analog signal input redundant channel cross comparison

方式、不同测量介质和不同数量比较信号的物理量所采用的标准偏差值不尽相同。在设计中,标准偏差值的确定分为两个步骤:第一步是根据电厂安全重要仪表的类型和各参数通道的特点制定各物理量单通道的标准偏差值,此标准偏差涵盖了整个模拟量输入通道,即从变送器开始至模拟量输入模块 S466 的输出端口,这一段误差计算采用了模拟量输入通道检查的精度计算模型;第二步是以各物理量单通道的标准偏差值为基础,按照同一物理量的冗余数量确定通道之间交叉比较的标准偏差值,并将其作为模拟量信号冗余通道交叉比较的依据。

4) 验收准则及超差参数的输出

验收准则由模拟量信号单通道误差的标准偏差和冗余通道交叉比较的最大允许偏差值确定,即当实时参数与冗余通道进行交叉比较的结果偏差 δ_R 在允许的最大标准偏差值 δ_{max} 范围内 ($-\delta_{max} < \delta_R < \delta_{max}$), 确定为信号测试成功; 否则, 确定信号为超差参数。

当实时参数交叉比较计算的结果满足验收准则的要求时, 信号测试成功, 系统自动跳到下一个参数进行比较计算, 不在此信号的交叉比较信息和计算结果进行显示和记录。

当实时参数交叉比较计算的结果不符合验收准则时, 信号为超差参数, 系统将显示此信号

的交叉比较信息及其冗余通道的信号值, 并记录在结果文件中, 然后继续进行下一个参数的比较计算。当所有参数信号全部完成比较计算后, 系统将会形成一个包含所有超差参数信息的结果文件, 并自动退出运行状态, 交叉比较的结果文件可根据需要进行打印输出。

2.3 模拟量输入通道交叉比较的程序设计

TXS 系统模拟量输入信号的交叉比较程序采用 Perl 语言在 Linux 系统平台上编制。整个程序由交叉比较主程序、在线数据读取子程序、超差参数输出子程序和实时参数数据库组成。各类型的参数作为相对独立的小单元, 读取的每一个小单元参数值分别存入实时参数数据库的不同文件中, 主程序会根据各类参数的单通道标准偏差值和通道交叉比较原则对每个参数依次进行冗余通道交叉比较计算, 并将结果不符合验收准则的信号及相关信息存储、打印出来。具体程序总结构框图如图 4 所示, 数据读取、存储程序结构框图如图 5 所示。

3 结论

田湾核电厂运行结果表明, 运用冗余通道之间的交叉比较进行安全重要仪表模拟量信号输入通道检查, 满足核电厂 IEC 标准和国家标准

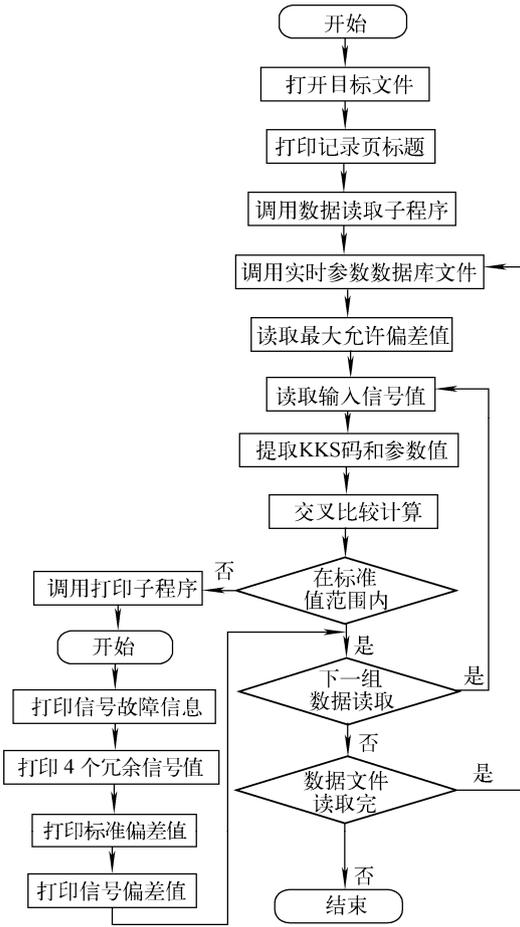


图 4 TXS 系统模拟量信号交叉比较主程序框图

Fig. 4 Flow chart for TXS analog signals cross comparison main procedure

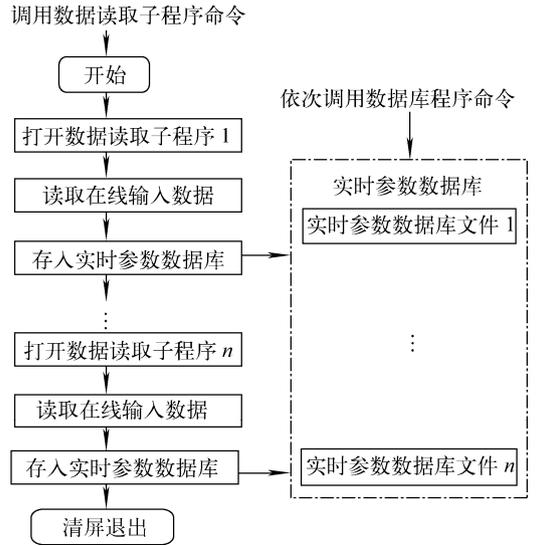


图 5 数据读取、存储程序结构框图

Fig. 5 Structural chart for data reading and saving procedure

准规定的要求,增加了模拟量输入通道检查的多样性,在确保系统安全稳定的前提下,节省了维修时间和人力资源,减少了变送器由于维护过多而产生的密封不严和各类人因失误的可能。