安全级控制显示装置触摸屏校准功能的设计和应用

Design and Application of Touch Screen Calibration Function of the Safety Level Control Display Device

★北京广利核系统工程有限公司 孙星星，马光强，王静伟

摘要：安全级控制显示装置是核电厂操作员与数字化核安全级DCS系统进行交互的人机接口。其能够以图形和文字的方式向用户显示核反应堆运行状况和DCS系统本身设备的运行状况，用户可通过安全显示设备对现场设备进行操作。安全控制显示设备采用触摸屏实现控制功能、监视功能，触摸屏坐标的正确性会成为关键指标。电阻触摸屏长期运行可能出现坐标偏移，本文对触摸屏校准功能进行了需求分析，提出了一种“四点校准、四点确认”的触摸屏校准方案，对方案进行了安全分析与设计，对校准步骤进行了阐述，对实现了此功能的产品进行了验证与系统测试。实现触摸屏校准功能的SCID已经在首台套阳江56号机组进行了成功应用。

关键词：和睦系统；SCID；触摸屏校准；应用

Abstract: The safety level control and display device is a man-machine interface for nuclear power plant operator to interact with digital nuclear safety level DCS system. It can display the operation status of nuclear reactor and the operation status of the DCS system's own equipment to the user in the form of graphics and text. Users can operate the field equipment through the safety display equipment. Safety control and display equipment uses touch screen to realize control function and monitoring function. The accuracy of the touch screen coordinates will become a key indicator. Long-term operation of the resistive touch screen may cause coordinate shifts. In this paper, the needs of the touch screen calibration function are analyzed, and a "four-point calibration, four-point confirmation" touch screen calibration scheme is proposed. The scheme is safely analyzed and designed. The calibration steps it elaborated and implemented verification and system testing on the products that realized this function. SCID, which realizes the touch screen calibration function, has been successfully applied in the first set of Yangjiang 56 Unit.

Key words: Firmsys, SCID; Touch screen calibration; Application

1 引言

核电站全数字化仪控系统被称为核电站的“神经中枢”，对于保证核电站安全、可靠、稳定运行发挥着重要的作用[1]。其中，核安全级DCS的主要作用是完成事故工况下反应堆安全停堆和专设安全设施的控制。由于技术复杂，要求苛刻，安全级别较高，之前我国在运核电机组的核级DCS均由国外供应商提供。而这一情况，随着我国自主知识产权核级DCS——和睦系统（FirmSys）的工程应用而成为了历史[2]。

和睦系统是我国首个研发并获得应用的核安全级数字化控制保护系统平台，而安全控制显示单元SCID是FirmSys重要的人机接口设备[3]，能够以图形和文字的方式向用户显示核反应堆运行状况和FirmSys本身设备的运行状况，另外，用户还可以通过安全显示设备对现场设备进行操作，操作的内容包括控制设备启动，停止和修改运行参数。

安全级控制显示设备（Safety Control and Information Device，SCID）完成安全级设备的控制和安全级信息的监视功能。

安全级设备的控制功能主要有：

（1）进入保护通道的控制功能。包括：允许、闭锁、复位、手动调节功能；

（2）进入控制柜的功能。包括：手动调节、手动控制；

（3）进入专设安全设施的控制功能。包括：复位、手动控制（设备控制、定期实验等）等。

安全级的监视功能，主要有：

（1）安全级执行机构状态反馈；

（2）安全级参数显示，包括：保护系统参数、PAMS（事故后监视系统参数）等；

（3）能够实现实时数据显示、历史记录和趋势显示功能；

（4）来自保护系统内部采集和产生的故障、偏差

显示等。

SCID采用触摸屏方式完成上述控制功能，其满足核安全级设备软硬件开发和验证要求。SCID控制命令在发出生效之前，会进行二次确认，以防止误操作。

安全控制显示设备采用触摸屏实现控制功能、监视功能，显而易见，触摸屏坐标的正确性也是构成整个仪控系统的关键因素。目前，公开文献未对电阻式触摸屏“四点校准”功能这一关键设计技术进行讨论与研究。

本文将对和睦系统中SCID的触摸屏校准功能的需求、设计与应用进行讨论。

2 触摸屏校准需求分析

SCID是FirmSys平台的主要人机接口设备，具有10.4英寸、分辨率为800×600的LCD显示屏，支持触摸输入。SCID触摸屏敲击寿命在100万次以上，工作温度为-10℃~+60℃，满足工业环境应用要求。电阻触摸屏是一种把压力转换为平面坐标的传感器件，其主要特点是分辨率高、稳定性高、环境适应性好，不易受灰尘、水汽、电磁等因素的影响，可以使用任何物体来触摸，是工业界应用最广泛的一种触摸屏。

SCID的触摸屏和LCD显示屏是两个独立的模组，触摸屏覆盖在LCD显示屏上配合实现显示内容与用户触摸操作的交互，如图1所示。

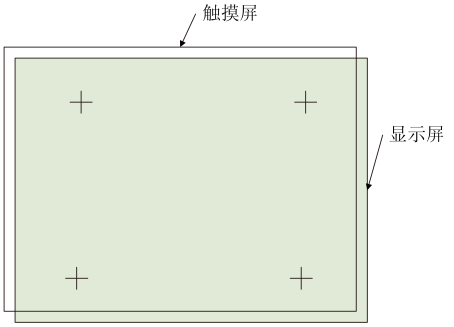

图1 触摸屏与显示屏配合方式示意图

实际应用中有几种因素可能导致触摸屏坐标偏移问题：

（1）外部环境因素改变了触摸屏的属性

电阻式触摸屏可能会因为外部环境因素（强烈的日光、高湿的环境以及腐蚀性的空气等）影响了塑料平板的属性，导致测量的电阻阻值发生变化，从而造成测量的触摸点物理坐标（X, Y）的变化。

（2）触摸屏线性度不一致

理想的电阻式触摸屏在整个屏幕范围内的线性度是完全一致的，但实际由于材料、生产工艺的原因，触摸屏的线性度都存在一定误差。

在确定的坐标计算参数下，触摸屏线性度的变化表现出来就是某些点或区域的坐标存在偏移。

（3）触摸屏坐标计算参数不合理

由于每块触摸屏的属性存在差异，所以实际应用中会针对每块具体的触摸屏使用与其最匹配的坐标计算参数，如果坐标计算参数不合理，其表现出的行为就是坐标存在偏移。

（4）运行过程中触摸屏和LCD显示屏之间发生空间位移

如果确定坐标计算参数后，显示屏和LCD显示屏之间发生了空间位移，则也会表现为坐标偏移。

根据NUREG0700和相关标准，结合SCID触摸屏硬件特性可以梳理出触摸屏校准的关键需求：

2.1 功能需求

为应对触摸屏长期运行可能出现的坐标偏移，SCID须在正常运行模式下提供触摸屏在线校准功能。

2.2 性能要求

触摸屏校准精度首先要符合SCID页面安全操作要求，不能因为精度要求过低导致按钮误按；其次考虑触摸屏线性度指标要求，不能由于精度要求过高导致大量触摸屏不可用。

2.3 安全设计

（1）遵循核级仪控标准及法规相关要求，包括总体要求[4]；

（2）在SCID维护页面中新增触摸屏在线校准功能，校准过程中随时可以退出，且校准结果不影响现有的坐标计算参数，避免产生误操作影响安全功能；

（3）在线校准过程中不影响调屏指令，避免画面突然切换产生误操作；

（4）在线校准过程中，应考虑设备故障因素叠加，进行相应设计。

2.4 人因设计

（1）在SCID显示屏上直观地显示在线校准的操作指示和校准结果提示信息；

（2）在校准确认阶段，提供5次容错机会，提高

校准成功率；

（3）校准操作使用专用的电阻屏触控笔；

（4）校准过程中涉及人员操作，方案设计应对人因风险进行分析，进行相应设计；

3 触摸屏校准方案设计

本章节从校准原理、校准设计、校准步骤等方面阐述安全级控制显示器的触摸屏在线校准功能的方案。

3.1 触摸屏校准原理

触摸屏和LCD显示屏的坐标系是不一致的，要使两者结合起来之后能够工作必须进行坐标转换。如图2所示。电阻式触摸屏的电压呈线性均匀分布，那么A/D转换后的坐标也呈线性。校准原理也基于此原理。

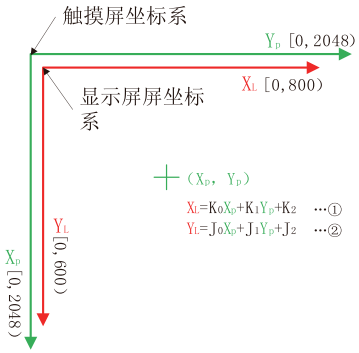

图2 触摸屏坐标和显示屏坐标之间的关系

触摸屏某个点被按下后，对应点在LCD显示屏上的逻辑坐标和触摸屏直接送出的物理坐标之间的转换关系如式（1）、（2）所示。

$$X_L=K_0X_p+K_1Y_p+K_2 \quad (1)$$

$$Y_L=J_0X_p+J_1Y_p+J_2 \quad (2)$$

式（1）、（2）中的(X_p，Y_p)是从触摸屏获取的物理坐标，（X_L，Y_L）是对应的LCD显示屏中的逻辑坐标。

K_0、K_1、K_2和J_0、J_1、J_2为触摸屏坐标计算参数。

由式（1）（2）可知，如果已知(X_L，Y_L)和(X_p，Y_p)，构建方程组采用拟合法求得K_0、K_1、K_2和J_0、J_1、J_2。

这一构建方程组和解方程组的过程就是触摸屏校准的原理。

3.2 “四点校准、四点确认”总体设计方案

触摸屏的校准算法大致有：两点校准、三点校准、四点校准等。其中校准的点数越多，触摸屏的数据越精确，其校准算法各有不同[5]。本文使用的为“四点校准、四点确认”方案。

3.2.1 在线校准

SCID提供触摸屏在线校准功能，即在正常运行模式下的“清屏”页面中新增“校准”按钮，操作人员按下该按钮后进入触摸屏在线校准页面执行校准操作。

“清屏”页面是专门为清理触摸屏而设置的，该页面中没有任何与安全功能相关的显示元素，只有一个退出清屏的反“清屏”按钮和故障日志按钮，因此基于安全设计考虑，把触摸屏校准入口设置在“清屏”页面。触摸屏校准页面中间位置显示一个“退出”按钮，在校准过程中随时可以按下“退出”按钮返回到清屏页面，中途退出校准操作时，已经进行的操作不影响SCID目前的坐标计算参数。

3.2.2 校准步骤

SCID触摸屏在线校准可以分为两个阶段：校准阶段和确认阶段，共4个步骤。

（1）校准阶段

· 依次在触摸屏的左上（200,150）、右上（600,150）、右下（600,450）和左下（200,450）角显示四个逻辑坐标已知的十字，操作人员根据屏幕中上方的提示信息精确点击十字中心，软件采集记录四个点的物理坐标，如图3所示。

图3 SCID触摸屏校准阶段操作示意图

因为理论上操作人员可以在整个触摸屏范围内输入校准点，而随意输入校准点物理坐标会使计算出的触摸屏校准参数存在极大的偏差，导致触摸屏无法使用，所以在校准阶段设置有效触摸屏区域以约束操作人员的点击行

为。有效触摸区域根据触摸屏的物理坐标进行设置。

· 软件根据四个点的逻辑坐标和物理坐标构建一组六元一次方程组，解方程组后即可获得一组触摸屏坐标计算参数：K_0、K_1、K_2和J_0、J_1、J_2。

（2）确认阶段

· 依次在触摸屏的左上（80,60）、右上（720,60）、右下（720,540）和左下（80,540）角显示四个逻辑坐标已知的十字，操作人员点击十字中心，如图4所示。软件获得该点的物理坐标后根据第2步解得的坐标计算参数转换为相应的逻辑坐标。

图4 SCID触摸屏校准确认阶段操作示意图

· 把计算得到的逻辑坐标和校验点已知的逻辑坐标进行对比，如果坐标差值小于等于12像素，则认为该点校验通过。四个校验点全部满足通过，则判定本次触摸屏校准成功，在显示屏的中上方显示提示信息，并把第2步解得的触摸屏坐标计算参数存储到SCID的SPI-Flash中。

3.2.3 校准精度

SCID显示画面中相邻可操作元素（按钮、开关）之间垂直间距与触摸屏产品本身的线性度误差，基于上述原因，综合考虑SCID操作安全和触摸屏的可用率，触摸屏校准精度须确定为某一固定值。

4 方案实现和应用

根据提出的触摸屏在线校准功能的方案，SCID按安全级产品研制过程进行了设计实现、软件验证与确认、变更鉴定等过程。目前支持触摸屏在线校准功能的和睦系统已经在阳江56号机组、田湾56号机组等大型核电机组开展了大规模应用，其功能与人因设计符合预期。应用过程中的一个重要经验反馈是，人机接口涉及人员操作，人因是核安全文化的重要因素之一，必须注重产品手册的书写，手册中的描述必须完整、细致、唯一、确定，进行充分的风险提示便于用户正确使用。

5 总结

本文系统地分析了核安全级数字化控制保护系统平台（FirmSys）中安全级控制显示装置的在线校准功能的背景和预期要解决的问题，并进一步阐述了触摸屏校准功能的详细需求分析。在此基础上提出了“四点校准、四点确认”的触摸屏在线校准方案，方案包含两个阶段，每个阶段两个步骤，方案满足核安全标准提出的相关要求。此方案已经在我国首套数字化控制保护系统“和睦系统”平台上实现，并在多个核电工程上使用，使用经验表明，方案功能、性能、安全性和可靠性均满足了核安全法规和核电厂应用的要求。

目前安全级控制装置触摸屏校准功能已在多个核电项目中得到了大规模应用，尤其是阳江核电站5号机组已正式商运并网发电，并且在大修期间完整验证了触摸屏校准的功能，极大增强了和睦系统的国际核心竞争力，为我国核电数字化技术实现“走出去”战略奠定坚实技术基础。AP

作者简介：

孙星星（1990-），女，山西人，本科，现就职于北京广利核系统工程有限公司，主要从事数字化仪控系统的软件研究与设计工作。

参考文献：

[1] 赵勇. 基于FirmSys的三代压水堆核电站核安全级数字化保护系统设计概述[J]. 自动化博览, 2018, 35, (05) : 56 - 60.

[2] 杜乔瑞. 核安全级仪控系统(FirmSys)平台软件设计技术研究与实现[J]. 自动化博览, 2018, 35, (08) : 66 – 71.

[3] 李萌. 核电厂安全级控制显示装置的软件设计[J]. 自动化博览, 2017, 34, (08) : 68 - 73.

[4] IEEE 7-4.3.2. IEEE Standard Criteria for Digital Computers in Safety Systems of Nuclear Power Generating Stations[S]. USA: ANSI, 2010.

[5] 谭翀. 电阻式触摸屏校准算法的研究与设计[J]. 微计算机信息, 2010, (06) : 35 – 37.