

一种用于核反应堆场所的火灾自动报警系统设计与实现

胡晓若¹, 樊知轩², 王三元¹, 魏彪^{3*}

¹重庆川仪自动化股份有限公司, 重庆

²重庆大学自动化学院, 重庆

³重庆大学光电工程学院, 重庆

Email: *weibiao@cqu.edu

收稿日期: 2020年11月2日; 录用日期: 2021年1月7日; 发布日期: 2021年1月15日

摘要

核反应堆是一种实现核能利用的装置, 其场所火警安全监控攸关核装置的可靠运行。本文针对特定客户单位火灾自动报警系统的特殊需要, 设计的系统最大限度的免受各种计算机病毒的侵害和防止分散型控制系统内各个存储器的数据丢失, 依据DELL9020计算机硬件平台, 基于Windows操作系统, 专门定向设计了“自动报警”订制软件, 借以显示联动和PLC工艺流程等系列画面, 实现核堆装置消防系统火灾自动报警功能。实践结果表明, 系统的报警、监视和自诊断功能等具有高可靠性, 人机操作界面友好, 维护方便, 且还易于组态和扩展等, 满足了用户的设计要求。

关键词

核反应堆场所, 火灾, 自动报警, 联动, PLC工艺流程, 软件设计

Design and Implementation of an Automatic Fire Alarm System for Nuclear Reactor Sites

Xiaoruo Hu¹, Zhixuan Fan², Sanyuan Wang¹, Biao Wei^{3*}

¹Chongqing Chuanyi Automation Co., Ltd., Chongqing

²College of Automation, Chongqing University, Chongqing

³College of Optoelectronic Engineering, Chongqing University, Chongqing

Email: *weibiao@cqu.edu

Received: Nov. 2nd, 2020; accepted: Jan. 7th, 2021; published: Jan. 15th, 2021

*通讯作者。

文章引用: 胡晓若, 樊知轩, 王三元, 魏彪. 一种用于核反应堆场所的火灾自动报警系统设计与实现[J]. 传感器技术与应用, 2021, 9(1): 7-16. DOI: 10.12677/jsta.2021.91002

Abstract

Nuclear reactor is a device for nuclear energy utilization. The fire safety monitoring of the site is critical to the reliable operation of the nuclear device. Aiming to the special needs of the fire alarm system for specific customers, the system is designed to protect against various computer viruses and prevent data loss in the distributed control system, to the utmost. Based on the hardware platform of Dell 9020 computer and windows operating system, the “automatic alarm” customized software is specially designed to display series of pictures such as linkage and PLC process flow. It can realize automatic fire alarm function of nuclear reactor fire protection system. The practice results show that the alarm, monitoring and self diagnosis functions of the system have high reliability. Its man-machine interface is friendly. And it is easy to maintain, configure, expand and so on, meeting the user’s design requirements.

Keywords

Nuclear Reactor Site, Fire, Automatic Alarm, Linkage, PLC Process Flow, Software Design

Copyright © 2021 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

核反应堆，又称为原子能反应堆或反应堆，它是能维持可控自持链式核裂变反应，以实现核能利用的装置。可见，其场所火警安全监控不仅攸关核装置的可靠运行，而且一旦发生火灾将造成核辐射泄漏等二次严重性灾难后果[1]。前苏联的切尔诺贝利反应堆发生爆炸引发了大火造成了核泄漏，日本福岛因地震引发福岛核电站核泄漏事故等[2]，至今还尚未消除其灾难性影响。

有鉴于此，本文针对特定客户单位火灾自动报警系统的特殊需要，立足于 SIEMENS 的 SIGMASYS 硬件平台，基于 Windows 操作系统，专门定向设计了“自动报警”订制软件，借以显示联动和 PLC 工艺流程等系列画面，实现核堆装置消防系统火灾自动报警功能。系统不仅可以最大限度的免受各种计算机病毒的侵害和防止分散型控制系统内各个存储器的数据丢失，而且还易于组态和扩展等，满足了用户的设计要求。

2. 总体结构设计

2.1. 设计原则

根据用户需求，设计时，遵循的原则主要包括：1) 自动检测并可显示火警和设备故障信息；2) 火警或设备故障信息产生时自动声光报警；3) 系统运行效率高，翻页速度快(≤ 0.1 s)；4) 自动记录报警等信息；5) 系统采用冗余配置，各个功能部件相对独立；6) 当“火灾自动报警系统”软件出现故障时，不影响整个系统功能执行，保证安全；7) 具有在线自检功能，实时显示系统状态，系统本身出现故障时，自动给出报警；8) 具有云功能，能远程数据传送浏览。

2.2. 总体结构

设计的火灾自动报警系统，系是通过以太网与 PLC 系统构成的消防联动系统。以太网交换机为 PLC

系统工业级交换机，“火灾自动报警系统”的IP地址与“PLC系统IP”为同一冗余网段，其整体系统结构图，如图1所示。

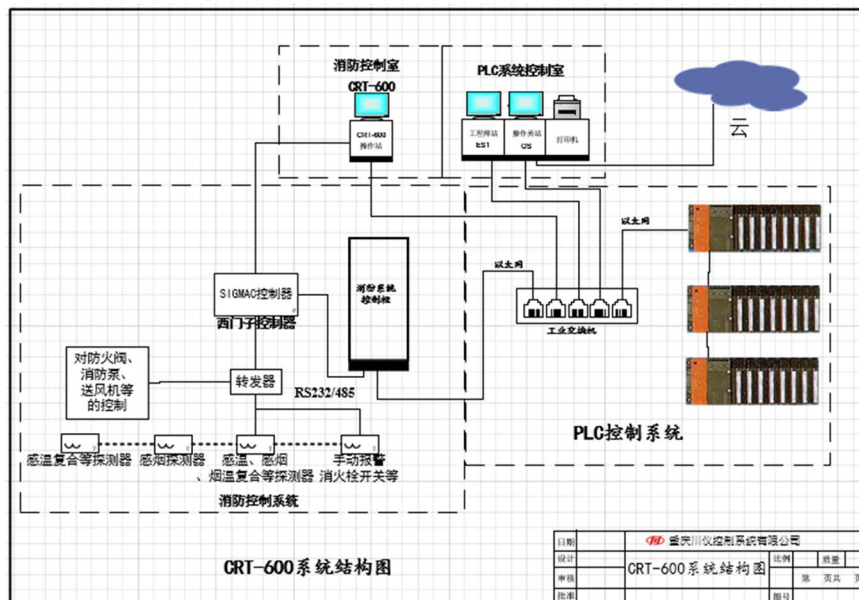


Figure 1. Schematic diagram of CRT-600 system structure

图 1. CRT-600 系统结构原理图

由此可见，消防信号数据传输执行的途径为一个链路，部分消防连锁在 PLC 系统中实现，链路中任何一个环节失效，均会造成消防连锁控制失效，所以只有提高链路各个环节的可靠性才能提高消防系统整体的可靠性。针对造成诸多异常缺陷的现象和原因分析，在系统里制定了一系列解决方案，大大提高了系统的可靠性[3]。

3. 设计与实现

设计的系统为工业通用组态软件，它是一个基于事件和脚本驱动的可二次开发的平台软件。尽管工业通用组态软件在电力、石化输油管道等行业得到广范应用，但是针对本文特定客户单位的专门定向设计需要[4]，本设计与国内外的同类软件相比尚有着自身独有的特点，例如动态模板，子图同步更新等等。

3.1. 自动报警处理功能设计

当火警信号产生时，系统产生声光报警，同时弹出相应楼层房间平面图和信息窗口。

画(界)面中，每个设备按照实际楼层和房间分布，系为设备实际位置，方便查询。产生火警信息的设备，在平面图的安装位置上闪烁报警，火警为红色闪烁报警，故障为黄色闪烁报警。

弹出的信息窗口，显示内容主要包括：报警“时间”、火警“来源”位置和房间号以及所在楼层画面和火警“类型”等信息，如图2红圈内所示。将图2红圈内所示内容局部放大，如图3所示。可见，报警弹出的信息栏包含三个工具按钮：① 消音，鼠标左键点击“消音”后，报警声音消失，栏目信息仍然存在；② 清空，鼠标左键点击“清空”后，栏目信息和报警声音均消失，报警信息可以到查询画面页面查询；③ 处理：鼠标左键点击“处理”后，可以输入相应处理信息，以备今后查询。

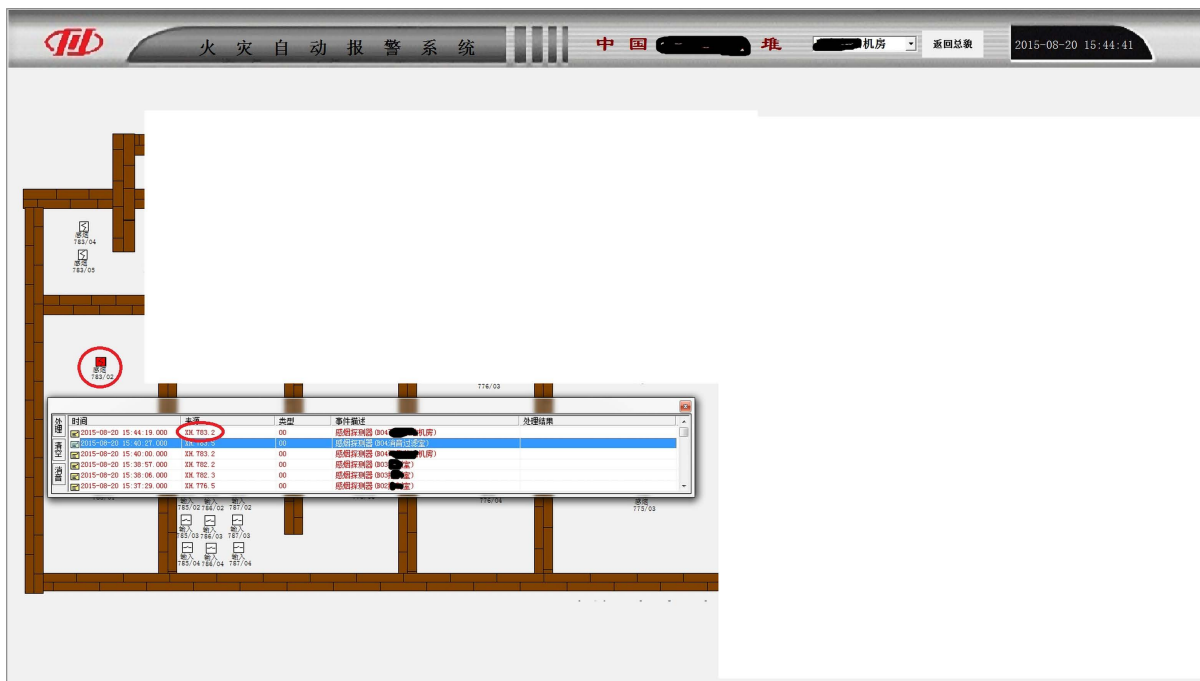


Figure 2. Fire protection plan
图 2. 消防平面图示意图

处理	时间	来源	类型	事件描述
处理	2015-09-25 10:00:46.000	XH. 6. 1 {F34. 8_3}	00	转发器监视 (901)
清空	2015-09-25 10:00:29.000	XH. 6. 1 {F34. 8_3}	00	转发器监视 (901)
清空	2015-09-25 09:55:04.000	XH. 6. 1 {F34. 8_3}	00	转发器监视 (901)
消音	2015-09-25 09:54:04.000	XH. 6. 1 {F34. 8_3}	00	转发器监视 (901)
消音	2015-09-25 06:56:15.000	XH. 533. 1 {F12. 6_1}	00	转发器监视 (432/1)

Figure 3. Schematic diagram of alarm information
图 3. 报警信息示意图

3.2. 系统操作功能设计

系统操作功能需体现直观方便、实用性等要求，如图 4 所示。可见，设计的火灾自动报警系统，软件运行平台基于 WIN7 64，其操作直观方便、实用性强，主要体现在：① 火警、故障等报警信息产生时，系统自动跳转到相应界面，指示相关设备的相关信息，自动弹出相关信息窗口并声光报警，无需人工干预，让操作员最快时间看到报警信息，可降低损失；② 画面中每个设备按照实际楼层和房间分布，系为设备实际位置，方便查询；③ 提供了先进、功能全面的全汉化的组态和操作软件，非常适合操作，技术或操作人员通过简单的培训即能对应用系统进行组态生成等对系统进行各种操作；④ 全面汉化的组态软件，清晰的组态思想，基于窗口技术的操作界面，用户可以自己生成应用系统，不仅降低了系统的工程费用，而且用户通过自己生成系统充分地掌握系统的全部功能，因而维护和控制方案的升级修改极为方便；⑤ 全面汉化的在线操作软件，可使操作员按提示菜单就可进行各种控制操作，键盘、轨迹球为操作员提供了更为方便的操作手段；⑥ 各种汉字报表和分析报告，可为决策提供方便和可靠的依据。

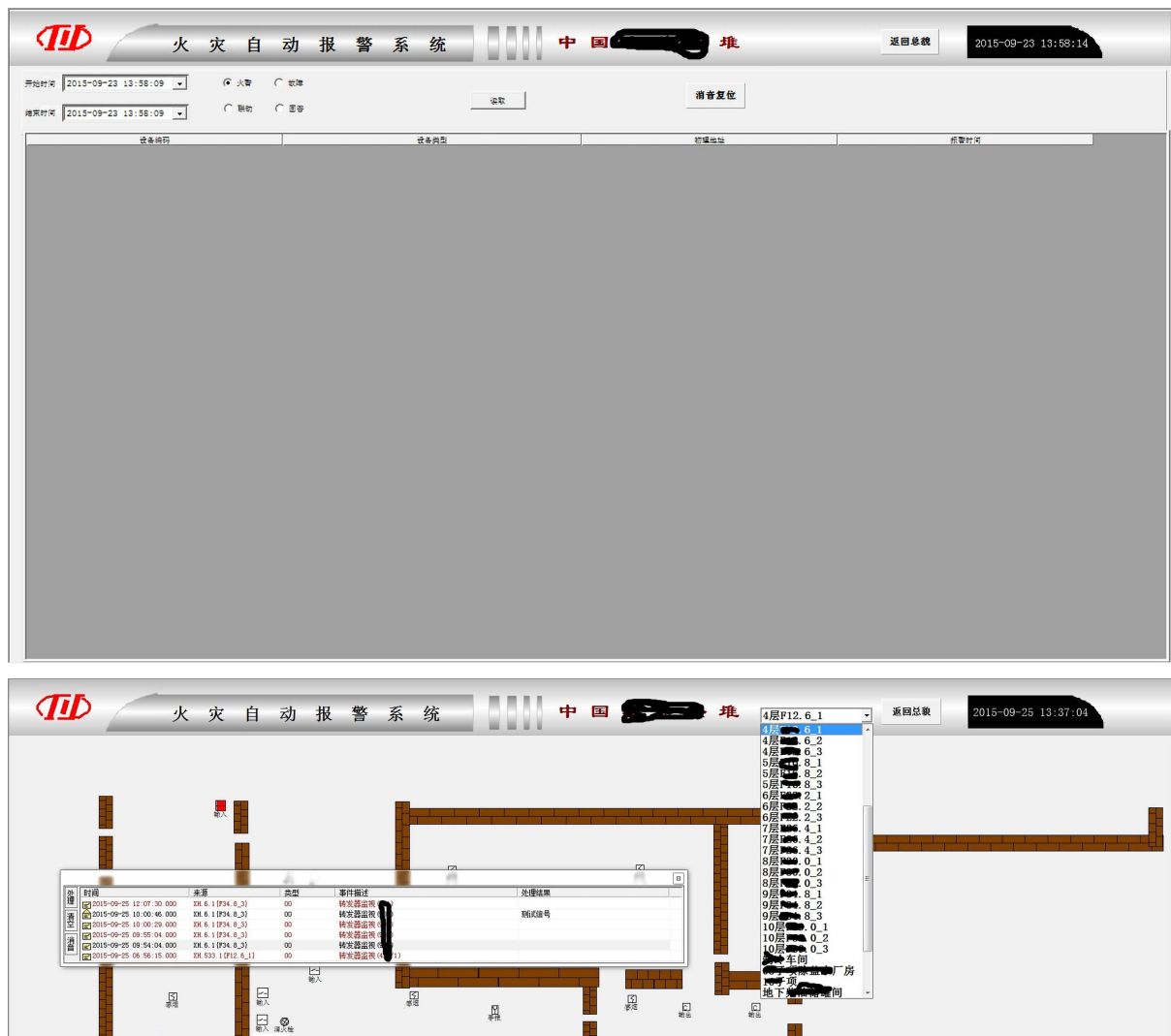


Figure 4. Schematic diagram of system function design

图 4. 系统功能设计示意图

3.3. 系统开放性功能设计

火灾自动报警系统的开放性功能，如图 5 所示。可见，其系统开放性功能主要有：① 系统网络采用符合 IEEE802.4 标准的工业实时总线网，可靠性高、实时性好，拥有众多软硬件厂家的技术和产品支持；② 系统 HMI 层采用遵循 IEEE802.3 标准的 100Mbps Ethernet 以及 TCP/IP 协议，具有很强的网络互联能力，HMI 层运行在 Win7 操作系统上；③ 系统选择 DELL 高可靠工作站，市场货源丰富，备品、备件充足，升级容易；④ 系统向下可挂接各种流行 PLC (例如 OMRON、AB、Siemens 等)；⑤ 提供软件接口(例如 VB 及 C++ 语言等)，方便用户进行开发的需要[5]。

3.4. 系统先进性功能设计

火灾自动报警系统的先进功能，如图 6 所示。可见，主要体现在：① 采用了分层分布式结构，100Mbps Ethernet，TCP/IP 协议，系统配置灵活，扩展性和开放性好；② 系统采用了先进且安全性好的 Win7 平台；③ 类似于国外先进系统(如 GEI fix/TYVIEWY 等)的工作界面；④ 可通过鼠标滚轮或键盘的

“↑”“↓”键以及键盘的翻页键飞快查询火警显示页面，每秒可翻数十页，适合紧急情况下的火警位置精确查询；⑤ 无论查询翻页速度多快，系统都可靠运行，未出现死机现象；⑥ 系统网络采用双以太网冗余；⑦ 采用 WINDOWS7 操作系统，该操作系统达到美国 C2/3D 级安全标准；⑧ 操作权限锁功能，可进行不同级别的操作；⑨ 软件加有多级口令和密码；⑩ 提供与上层和其它系统的通讯能力。

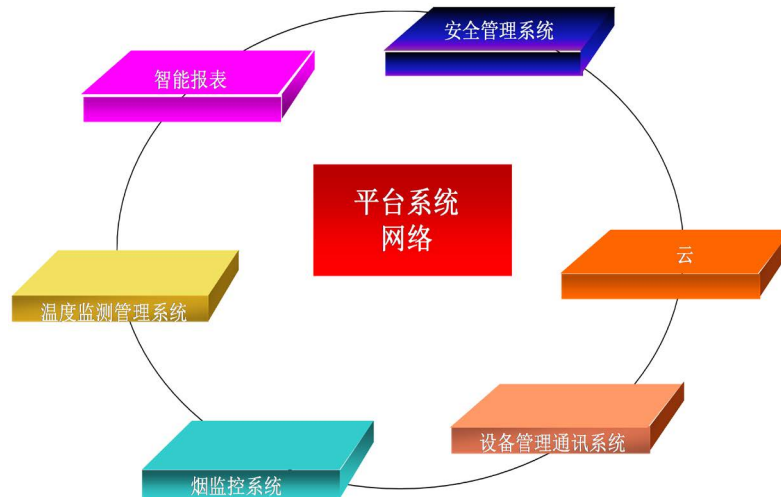


Figure 5. Schematic diagram of system open function design
图 5. 系统开放性功能设计示意图

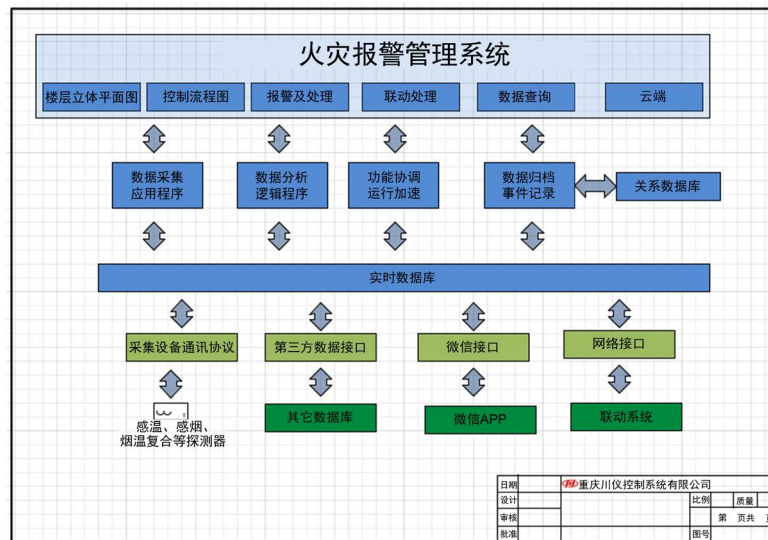


Figure 6. Schematic diagram of system advanced function design
图 6. 系统先进性功能设计示意图

3.5. 系统安全性功能设计

火灾自动报警系统的安全性功能，主要包括：① 系统网络采用双网冗余；② 采用 WINDOWS7 操作系统，该操作系统达到美国 C2/3D 级安全标准；③ 操作权限锁功能，可进行不同级别的操作；④ 本系统软件加有多级口令和密码。可根据用户授权自动允许和禁止其对系统的某些操作；⑤ 管理人员在岗交接班时用口令替换形式完成。口令级可分为操作员级、系统软件级等；⑥ 对各等级的运行管理人员进

行口令级别设置，以确定管理人员的管理范围；⑦ 操作员级：启动操作工作站时，需键入操作员口令后系统才能自动进入操作工作站运行程序，远动操作前也需键入操作员口令。进入遥控操作状态后，可进行调度管理工作；⑧ 系统员级：在进行系统软件维护前，必须键入系统级维护口令后，方可对系统程序进行编程和修改，如图 7 所示。

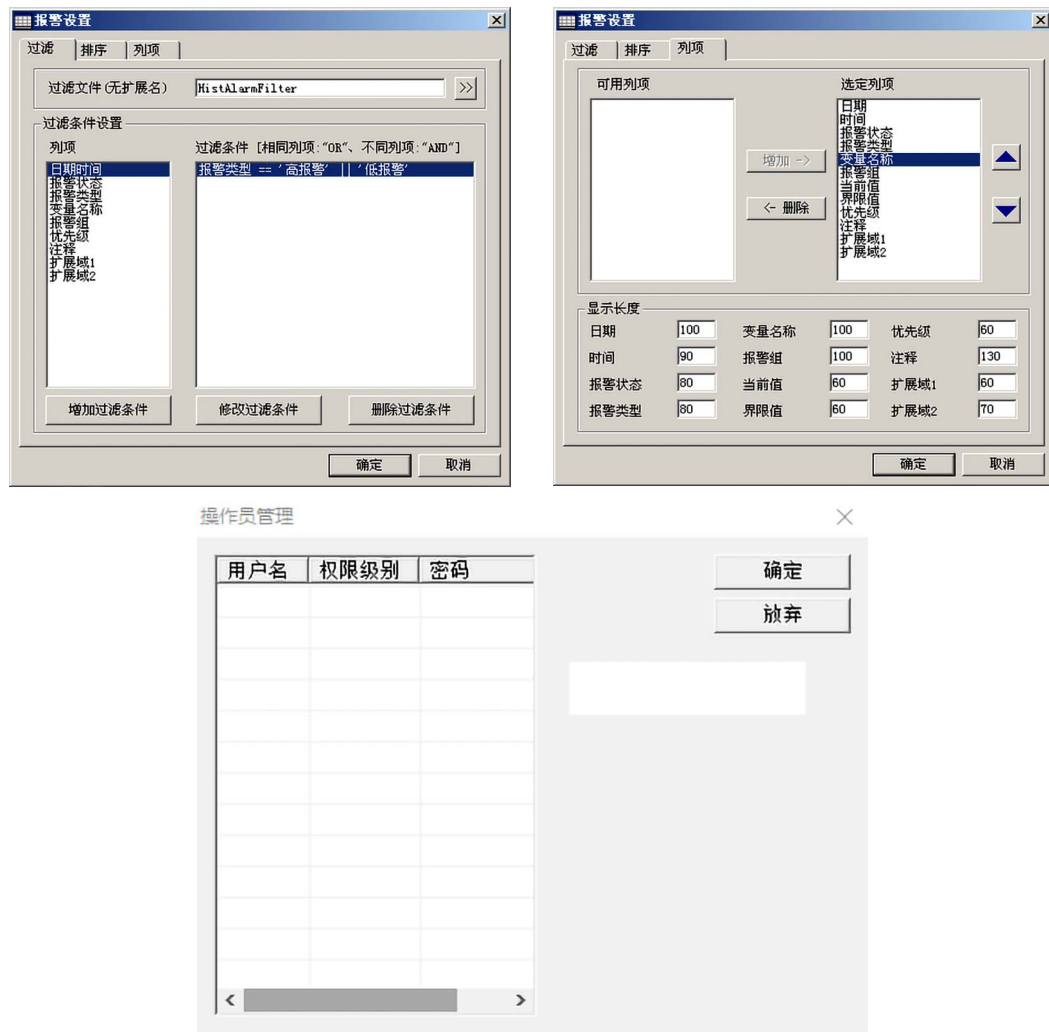


Figure 7. Schematic diagram of system security function design
图 7. 系统安全性功能设计示意图

3.6. 系统在线修改功能设计

火灾自动报警系统具有在线修改的功能，如图 8 所示。可见，主要有：① 画面添加和更改；② 每个画面可以设置多个“层”，但是只能在“编辑层”编辑画面，这样就可以根据需要设置多个层，暂时不愿编辑的图素可以放在其它非编辑层，避免画面编辑时改变不愿改变的图素；③ 设定“启动工程”：系统可以同时有多个开发“工程”，可以设定启动时直接进入的“工程”；④ 工程编辑和监控画面切换全屏模式；⑤ 设置工程保护密码：为了保护工程被未授权人修改，工程可以设置密码保护；⑥ 变量控制的图素显示/隐藏；⑦ 报警声音文件的设置；等等功能，系统更改后，不用重新启动系统，直接自动刷新运行即可。

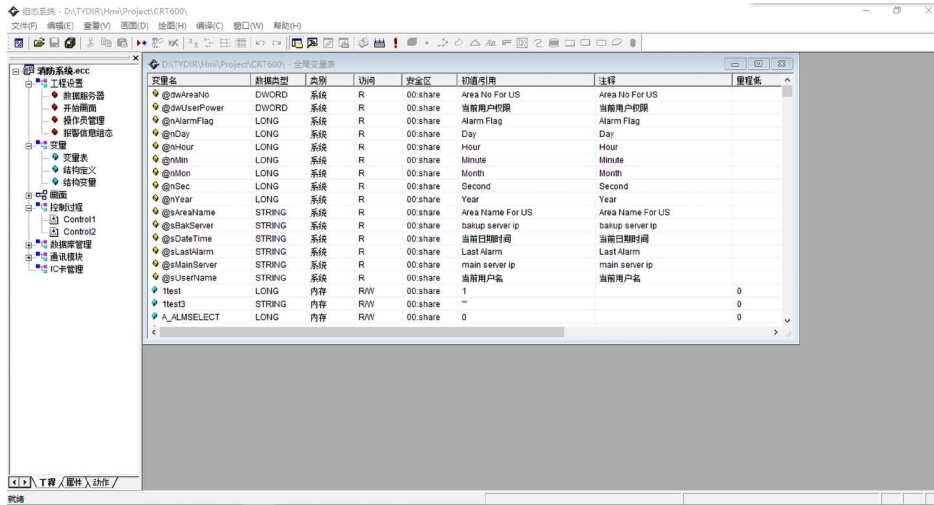


Figure 8. System online modification function design diagram
图 8. 系统在线修改功能设计示意图

3.7. 运行系统功能设计

火灾自动报警系统运行系统，如图 9 所示，其实现基本功能主要是：① 楼层平面循环显示：系统设计了下拉菜单选择不同楼层的平面结构图及设备，也可以通过鼠标滚轮或键盘的“↑”“↓”键以及键盘的翻页键很飞快查询火警显示页面，适合紧急情况下的火警位置精确查询；② 用户管理、权限分配功能：设计了“系统注册或注销”功能，不同的注册用户拥有不同的权限，便于系统查询和运行的管理。没有登录系统，仍然可以查看系统报警信息，以便及时处理火警；③ 查看系统“历史记录”：系统按报警先后顺序保存，分别有火警、联动、回答和故障信息，可通过时间段进行查询；④ 声光报警：火警信息产生后，会产生声音报警同时弹出相应页面和报警信息栏，点击信息栏“消音”按钮后，声音消失，报警信息仍然存在；⑤ 消音和复位：火警信息处理后可对系统进行复位处理，消除系统报警声音并清除报警信息；除非新火警产生，系统会重新报警。控制器复位后，系统也随即复位；⑥ 火警及火警信息记录和处置：系统自动检测和记录所有设备的运行参数、历史报警等主要数据；当信号产生时，界面会弹出相应位置画面(图片)，在对应位置的相应设备图标闪烁，“火警红色”“故障黄色”闪烁。

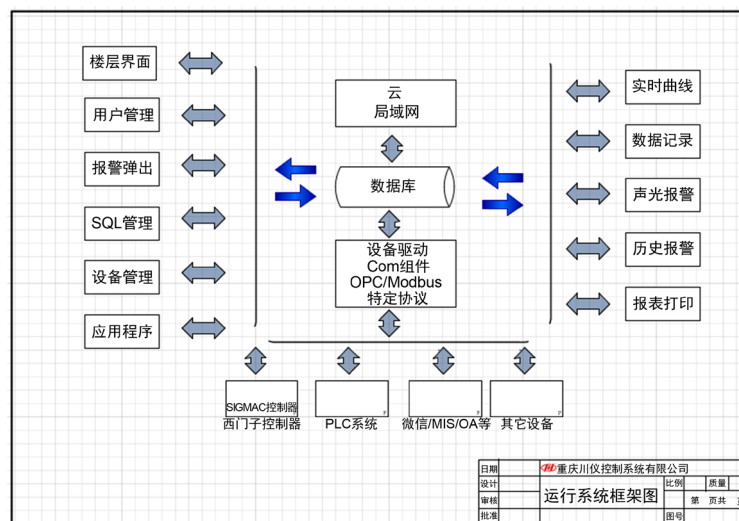




Figure 9. Schematic diagram of function design of operation system
图 9. 运行系统功能设计示意图

4. 结果与讨论

设计的火灾自动报警系统，各功能模块已在用户单位实际运行。软件包含开发环境、运行环境、实时历史数据服务器、WEB 系统、自由报表，大部分标准 OPC 接口，且还包含有美国 HONEYWELL 的 HC900 驱动、日本山武公司系列产品驱动、川仪高新产品及 MODBUS 协议的驱动。系统既能将工厂的 OA、SIS、MIS、微信及各类信息全部整合在一个 WEB 平台上，方便管理人员使用查询；同时，系统也具备了网络云技术，且已测试成功，报警信息可以在手机 APP 或微信上实时显示，如图 10 所示。



Figure 10. Schematic diagram of mobile browsing and Wechat receiving alarm information
图 10. 手机端浏览和微信接收报警信息示意图

需要指出的是，本系统为从事核装置有关的特定客户所开发设计，为了保护客户方的信息，该文中消防平面图做过处理，与原项目有所区别。

5. 总结

设计的系统具有高可靠性，人机操作界面友好，维护方便，且易于组态和易于扩展，满足了客户方

需求。经过三年多的用户单位实际运行,从不死机,系统人机界面响应速度 ≤ 100 ms(毫秒),报警位置反应准确、及时,系统运行稳定可靠,达到了项目预期设计要求。

参考文献

- [1] 王海平,杨浩然. 浅谈核电厂前期阶段核安全文化建设[J]. 中国核工业, 2016(8): 42-43.
- [2] 王伟. M310 核机组安全壳喷淋系统运行改进[J]. 山东工业技术, 2019, 282(4): 205.
- [3] 谢燕芬. 核电厂火灾自动报警系统设计[J]. 科技资讯, 2017, 15(12): 39, 41.
- [4] 徐国飞,李海冰,赵振晖. M310 机组共用辅助蒸汽系统 STR 设计与研究[J]. 核科学与工程, 2013(2): 99-102.
- [5] 刘婧婧,何坤,李岩. 核岛火灾自动报警系统设计分析[J]. 自动化与仪器仪表, 2017(1): 24-26.