

# 基于PLC的配电箱温湿度实时监控系统设计

姚盛清, 肖智中, 张艳芳

中建安装集团有限公司南京公司, 江苏 南京

收稿日期: 2022年3月23日; 录用日期: 2022年4月20日; 发布日期: 2022年4月28日

## 摘要

低压配电箱是建筑施工现场常用设备, 由于现场环境复杂和使用管理难以严格规范, 因而配电柜极易发生短路等用电故障, 给施工和人身安全带来严重威胁。本文设计一种基于S7-200 SMART的配电箱温湿度实时监控系統, 具有实时电流、温度、湿度检测能力, 并能根据设定阈值开启排风扇或启动报警, 避免线路凝露导致的绝缘不足和其他故障未能及时发现带来的次生伤害。系统具有可靠性高、监测参数多、实时性好等优点, 可显著提高施工现场用电安全和智能化程度。

## 关键词

配电箱安全, PLC, 多参数检测, 实时监控

# Design of On-Site Monitoring System for Distribution Box Temperature and Humidity Based on Programmable Logic Controller

Shengqing Yao, Zhizhong Xiao, Yanfang Zhang

China Construction Installation Group Co., Ltd., Nanjing Company, Nanjing Jiangsu

Received: Mar. 23<sup>rd</sup>, 2022; accepted: Apr. 20<sup>th</sup>, 2022; published: Apr. 28<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

Low voltage distribution box is common device for construction site. Due to the complex environment and management deficiency, the electricity failures, such as short out, often occurs in low voltage distribution box, which makes big challenges to the object and human safety. This paper provides an on-site monitoring system for distribution box temperature and humidity based on S7-200 SMART. The system has the ability to monitor the current, temperature, and humidity of the distribution box. The fan and alarm module are controlled by the set threshold, which can

avoid the insulation fault caused by condensation and secondary damage due to the neglect of other failures. This proposed system has the advantages of high reliability, multi-parameters, and on-site monitoring, which help improve the safety and intelligence of the construction dramatically.

## Keywords

Distribution Box Safety, PLC, Multi-Parameters Measurement, On-Site Monitoring

Copyright © 2022 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

随着我国国民经济快速增长和城镇化进程稳步推进，国家对建筑及其建造过程的安全和智能化提出了越来越高的要求[1]。然而，长期以来对于建筑工程现场，移动式低压配电柜由于接线不规范、负荷不稳定、线损率高、电压质量合格率低等原因，一直是建筑工程现场用电的重要安全隐患[2]。除了材料质量、结构设计等产品本身质量因素之外，高温、高湿的使用环境极易导致配电箱内部材料腐蚀老化或绝缘不足，从而引发设备故障和人身安全事故[3] [4]。

上海海事大学刘江虹等[5]针对配电箱夏季运行特点设计一种应用于配电箱的温度监控和火灾报警系统，以单片机为核心，采用温度和烟雾传感器对配电箱内环境进行检测，能够在发生火灾时进行声光报警，方便用户对配电箱进行安全智能管理。南京林业大学丁小田等[6]设计了一种基于 MSP430 单片机和 DS18B20 温度传感器的实验室低压配电箱无线安全监测系统。太原科技大学王丰瑞等[7]利用 STM32F103 控制器和 NB-IoT DTU 实现对配电箱温度和电能表数据监控，以及报警数据实时上传等功能。山西晋城宏圣建筑工程有限公司的刘云利[8]运用基于 ARM 处理器设计配电箱温度监控和报警系统。

综上所述，目前低压配电箱安全监控系统仅检测箱内温度，监测参数单一，只有当火灾发生时才会触发报警，无法预防此类安全事故发生；再者，建筑工地使用的低压配电箱需要经常移动，更换使用场所和用电负载，使用环境变化大，对监控系统可靠性提出更高的要求。针对以上问题，本文设计在低压配电箱工作过程中实时监测箱体内部温度和湿度变化，依据工作条件要求控制箱体内温度和湿度在安全范围内，将有助于显著减小因环境因素导致的腐蚀老化或高湿凝露带来的安全隐患；采用可靠性更高的 PLC 作为控制器，进一步提高监控系统在建筑工程领域适用性。

## 2. 温湿度检测原理

### 2.1. 温度检测原理

Pt100 温度传感器是一种以铂(Pt)制成的金属热电阻式温度传感器，属于正电阻系数，其电阻和温度变化的关系式如公式(1)所示：

$$R_t = R_0 (1 + A \times t + B \times t^2) \quad (1)$$

其中， $R_0$  为  $0^\circ\text{C}$  时铂电阻阻值， $t$  是当前温度(摄氏度)， $R_t$  为当前温度下铂电阻阻值， $A$  和  $B$  分别为  $3.9 \times 10^{-3}$  和  $-5.8 \times 10^{-7}$ 。Pt100 温度传感器具有精度高、响应快、稳定性高等显著优点，且其结构简单易于集

成到其他传感器系统中，为温度参数测量和检测结果优化提供了便利。

## 2.2. 湿度检测原理

薄膜电容式湿度传感器是一种新型的湿度计，其在两个金属电极之间沉淀一层聚合物薄膜，材质通常为聚胺盐或醋酸纤维聚合物，结构如图1所示。当聚合物薄膜吸收环境中水分或失去水分，将改变两金属电极间介电常数；当电极间电压保持不变时，此电容器的电容量将随薄膜含水量的变化而改变，从而实现湿度检测。其电容值按照公式(2)计算可得。

$$C = \frac{\varepsilon_0 \cdot \varepsilon_r \cdot A}{d} \quad (2)$$

其中， $C$  是电容量， $d$  是上下电极之间的间距，此处即为聚合物薄膜厚度， $A$  为上下电极重叠面积， $\varepsilon_0, \varepsilon_r$  分别是真空介电常数( $8.854 \times 10^{-12}$  F/m)和聚合物薄膜相对介电常数。

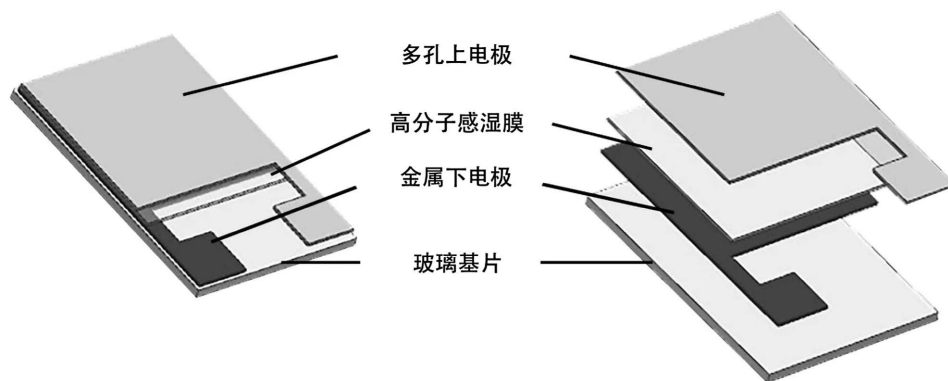


Figure 1. Structure of film capacitive sensor  
图1. 薄膜电容式传感器结构

为了实现快速响应，感湿薄膜厚度仅为  $1 \mu\text{m} \sim 10 \mu\text{m}$ ，同时上部电极还必须保持较高的水渗透性。基于这一结构的湿度传感器具有较宽的测量范围，通常从  $-50^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$ ，若采用耐高温的热固性树脂作为介电介质，不仅允许传感器在  $185^\circ\text{C}$  环境下连续测量，更是在  $-50^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}$  露点温度范围内具有极小的温度系数，因此可以在很宽的范围内实现准确测量。

## 2.3. 电流检测原理

霍尔式电流传感器基于霍尔效应，即霍尔器件在额定工作电流条件下产生的霍尔电势与垂直于其表面的磁感应强度成正比，如公式(3)所示。

$$U_H = k_H \times I_H \times B \quad (3)$$

其中， $U_H$  是霍尔电势； $k_H$  是霍尔器件灵敏度系数，不仅与材质有关，而且与霍尔器件厚度密切相关； $I_H$  是流经霍尔传感器的工作电流； $B$  是垂直于霍尔器件表面的磁感应强度。而根据毕奥 - 萨伐定律，载流长直导线外某点 P 处的磁感应强度计算公式为：

$$dB = \frac{\mu_0}{4\pi} \frac{Idl \times r}{r^3} \quad (4)$$

其中， $dB$  为载流导线上一段微元  $dl$  在线外 P 点处产生的磁感强度， $\mu_0$  为真空磁导率， $I$  为导线中通过的电流， $r$  是 P 点距  $dl$  的直线距离。对于无限长直导线，P 点处磁感应强度  $B$  可通过公式(4)积分计算得：

$$B = \frac{\mu_0 I}{2\pi d} \quad (5)$$

将公式(5)带入公式(3)可得:

$$U_H = k_H \times I_H \times \frac{\mu_0 I}{2\pi d} \quad (6)$$

从而可知, 霍尔电势  $U_H$  与长直导线中电流  $I$  成正比关系, 测得霍尔电势即可由公式(6)计算得出导线中电流大小。

### 3. 基于 PLC 的低压配电柜监控系统结构

#### 3.1. 系统结构与硬件选型

在工业生产和电气控制领域现已广泛采用的可编程逻辑控制器(PLC, Programmable Logic Controller)是一种具有微处理器的数字运算控制器, 可将控制指令随时调入内存存储和运行, 在模块扩展性和系统可靠性方面与单片机系统相比具有显著优势, 因而应用广泛。随着应用领域拓展, PLC 在最初只有逻辑控制功能的基础上, 现已不断扩展出时序控制、模拟控制、数据采集、多机通讯等功能[9]。本文涉及对环境参数连续采集、对动作单元逻辑控制, 且工程现场使用条件复杂, 对监控系统可靠性要求高, 系统整体结构如图 2 所示。

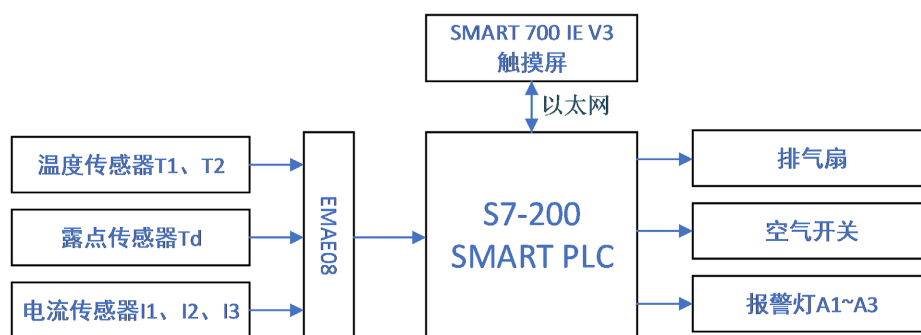
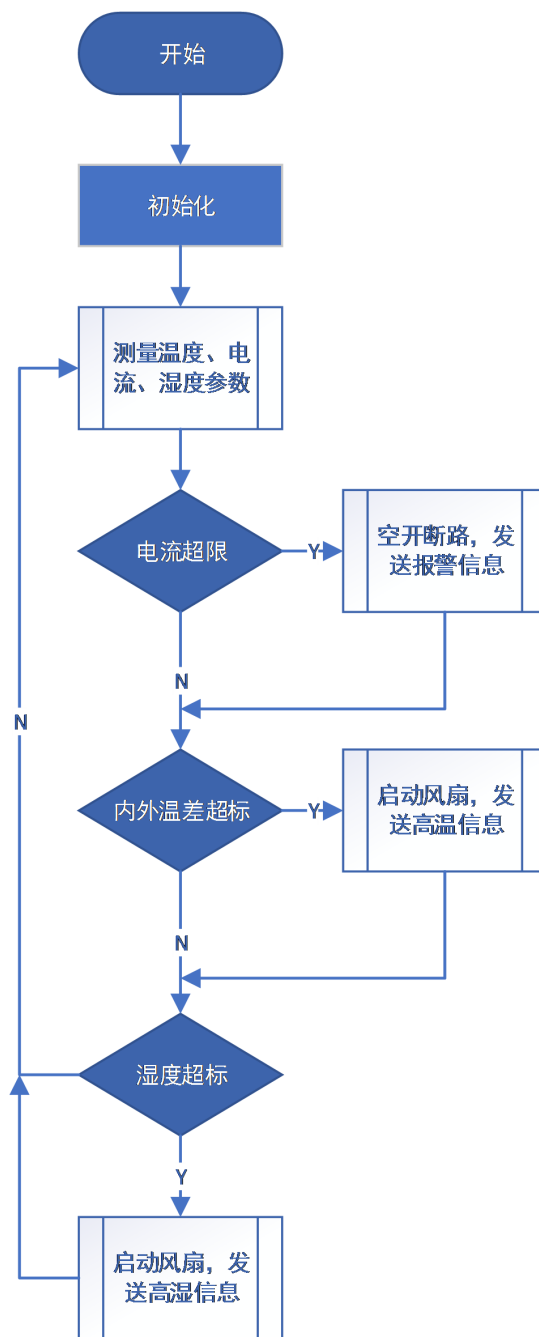


Figure 2. Diagram of overall structure of the monitoring system  
图 2. 监控系统整体结构示意图

其中, PLC 主模块选择西门子公司的 S7-200 SMART, CPU 为 SR20 AC/DC/RLY; 选取 EM AE08 作为 8 通道模拟量输入模块, T1, T2 (配电箱内温和外温)、I1, I2, I3 (三相进箱电流)和 Td (箱内露点仪)的模拟量信号由 EM AE08 采集, 排气扇 P, 以及报警灯 A1~A3 使能均为数字量信号, 直接接入 S7-200 SMART 的 CPU 模块数字量输出端子[10] [11]。其中, 用于监测配电箱内温度和湿度的主要传感器属于核心器件, 对检测的灵敏度和可靠性要求更高, 因此采用 SUTO (希尔思)公司的 S211 (三线制)温/湿度集成传感器; 同时, 为便于参数设置和配电箱工作状态及报警信息显示, 监控系统配有触摸屏, 型号为西门子 SMART 700 IE V3 [12] [13] [14]。

#### 3.2. 系统软件设计

为实现实时监控低压配电箱的工作状态, 监控系统按功能分为数据采集、显示通讯和逻辑控制三个模块; 考虑到系统主控制单元选用西门子公司 S7 系列 PLC, 因此系统的编程软件同样选择西门子公司的 STEP7 MicroWIN SMART V2.5, 使用梯形图编程实现控制逻辑[15] [16], 软件系统总体流程如图 3 所示。



**Figure 3.** Main process of the monitoring system for low voltage distribution box

**图 3.** 低压配电箱监控系统主流程

系统首先执行初始化操作，将 PLC 内部寄存器状态初始化，读取各判断条件阈值，读取触摸屏状态，若正常则完成初始化流程，组态画面上有相应的指示灯亮起，系统正常启动后则进入传感器数据读取和控制逻辑执行程序。图 4 是箱体内部温度(T1)采集的梯形图程序，选用的温度传感器为露点仪内置铂电阻温度传感器，温度检测范围是 $-25^{\circ}\text{C}\sim 85^{\circ}\text{C}$ ，输出 4~20 mA 的电流信号，接至 EM AE08 模块 0 通道上。每隔 1 s，V2.1 产生一个脉冲，采集一次温度信号，经过量程变换，结果存入 MD0 寄存器中。

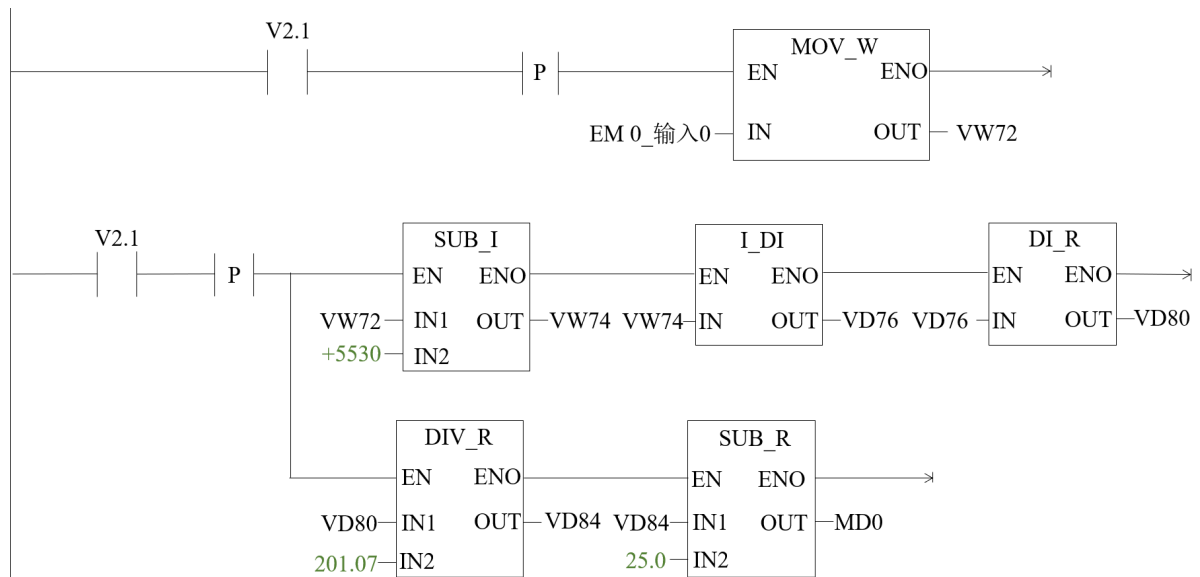


Figure 4. Ladder diagram procedure of box internal temperature collection

图 4. 箱体内部温度采集梯形图程序

图 5 所示为箱体外部温度(T2)采集的梯形图程序, 选用的温度传感器检测范围是 $-30^{\circ}\text{C}\sim 70^{\circ}\text{C}$ , 输出 $4\sim 20\text{ mA}$ 的电流信号, 接至 EM AE08 模块 1 通道上。每隔 1 s, V2.1 产生一个脉冲, 采集一次温度信号, 经过量程变换, 结果存入 MD4 寄存器中。

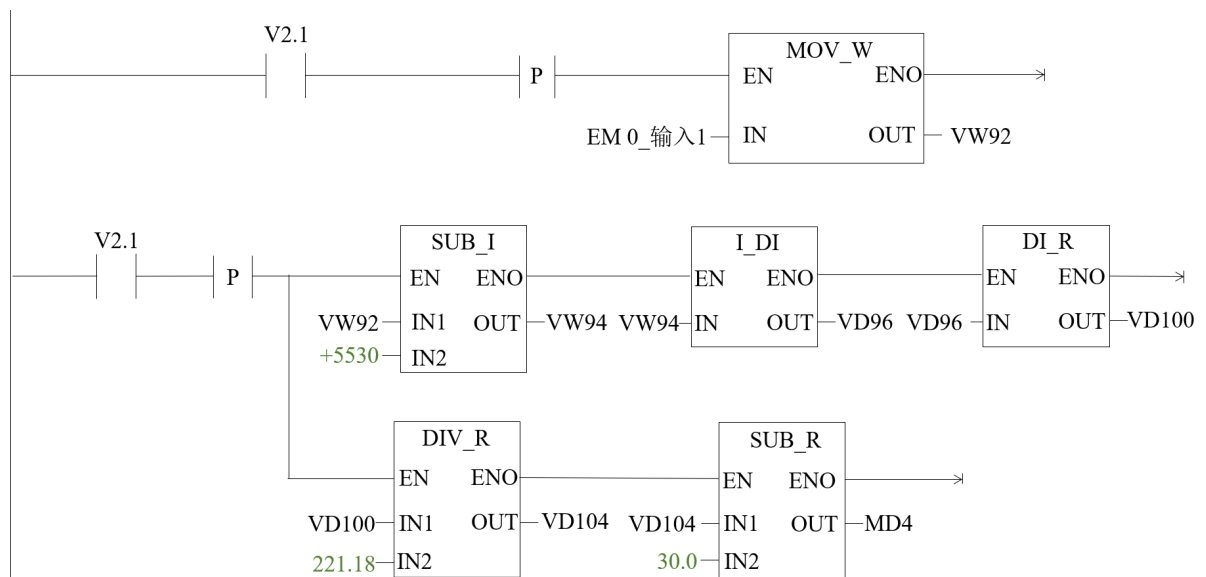


Figure 5. Ladder diagram procedure of box external temperature collection

图 5. 箱体外部温度采集的梯形图程序

图 6 是露点仪 S211 信号采集的梯形图程序, 选用的露点传感器检测范围是 $0\%\sim 90\%$ , 输出 $4\sim 20\text{ mA}$ 的电流信号, 接至 EM AE08 模块 2 通道上。每隔 1 s, V2.1 产生一个脉冲, 采集一次露点信号, 经过量程变换, 结果存入 MD8 寄存器中。

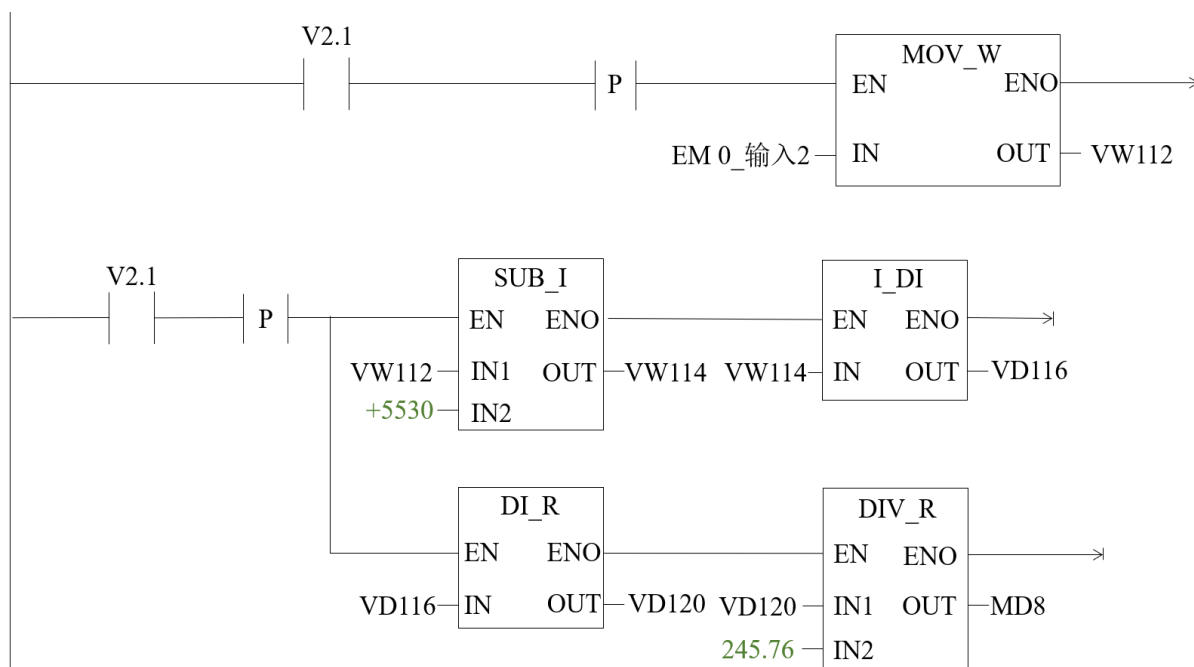


Figure 6. Ladder diagram procedure of dew-point signal collection  
图 6. 露点仪信号采集梯形图程序

图 7 是进箱电流(I1)采集的梯形图程序, 选用的传感器检测范围是-150~150 A, 输出 0~5 V 的电压信号, 接至 EM AE08 模块 4 通道上。每隔 1 s, V2.1 产生一个脉冲, 采集一次电流信号, 经过量程变换, 结果存入 MD12 寄存器中。

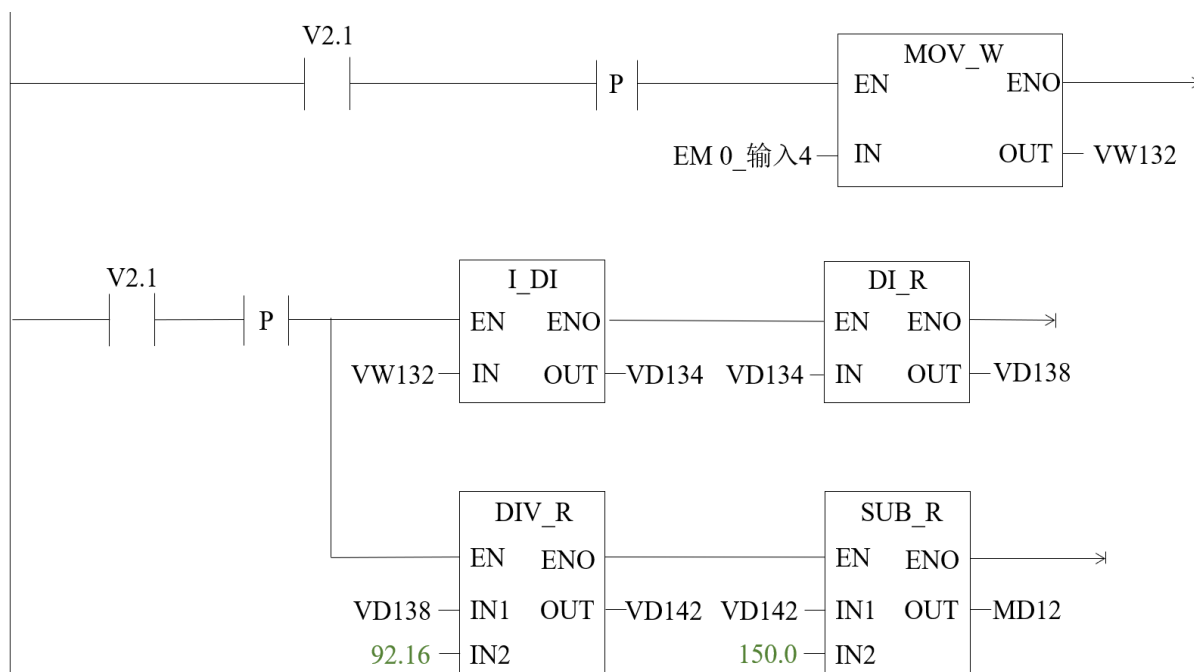
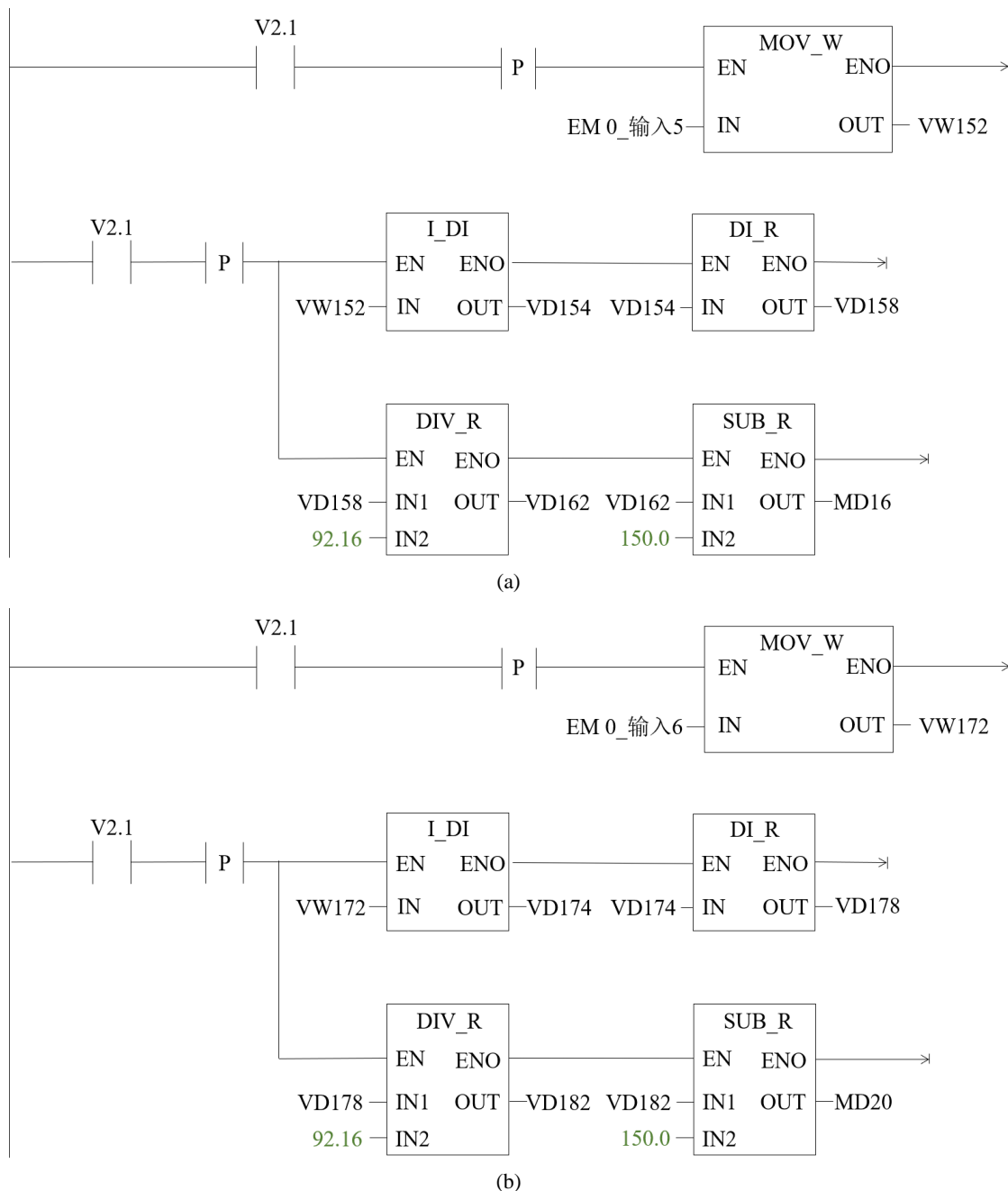


Figure 7. Ladder diagram procedure of incoming current I1 collection  
图 7. 进箱电流 I1 采集梯形图程序

进箱电流 I2/I3 采集流程与 I1 相似, 分别接至 EM AE08 模块 5 和模块 6 通道上。每隔 1 s, V2.1 产生一个脉冲, 采集一次电流信号, 经过量程变换, 结果存入 MD16 和 MD20 寄存器中, 其采集流程梯形图如图 8(a)和图 8(b)所示。

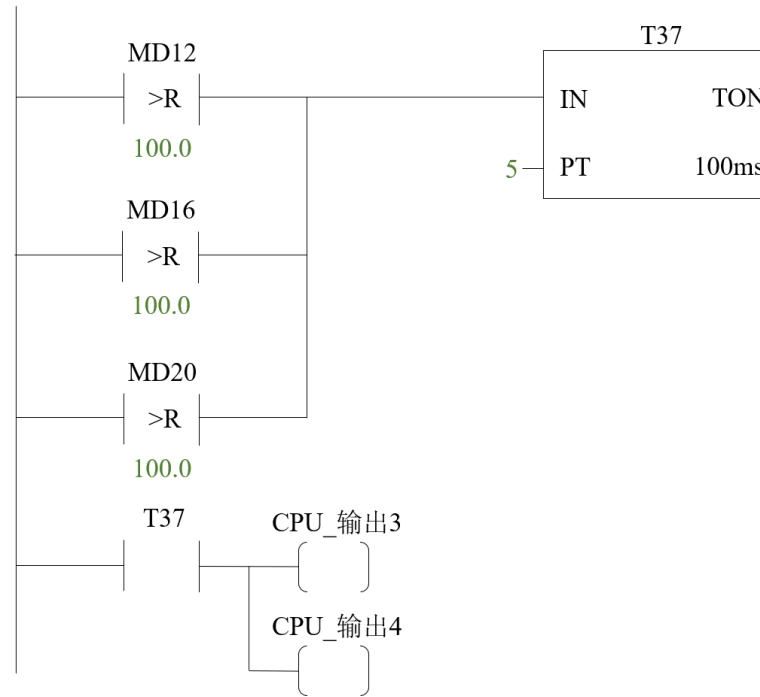


**Figure 8.** (a) Ladder diagram procedure of incoming current I2 collection; (b) Ladder diagram procedure of incoming current I3 collection

**图 8.** (a) 进箱电流 I2 采集梯形图程序; (b) 进箱电流 I3 采集梯形图程序

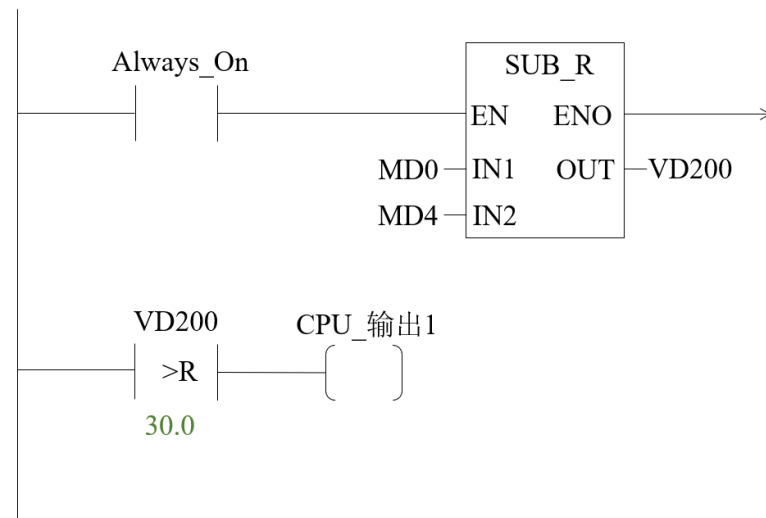
图 9 是实时监测三相进箱电流值, 若任一相电流超电流报警阈值(默认 100 A)并持续 500 ms (防止浪涌电流冲击), Q0.3 和 Q0.4 置 1, A3 报警灯点亮, A4 开关导通, 切断主电流。





**Figure 9.** Ladder diagram procedure of three-phase incoming current alarm  
**图 9.** 三相进箱电流报警梯形图程序

若系统监测到配电箱内外温差超过温差报警阈值(默认 30℃)时, 则判定箱内异常升温可能存在局部着火点, Q0.1 置 1, A1 报警灯点亮, 其梯形图程序如图 10 所示。



**Figure 10.** Ladder diagram procedure of the alarm of internal and external box temperature difference  
**图 10.** 箱体内外温差报警梯形图程序

图 11 是露点监测和报警程序, 当露点仪输出超过报警阈值(默认相对湿度 80%, 对应传感器输出 16 mA), Q0.2 置 1, A2 报警灯点亮。

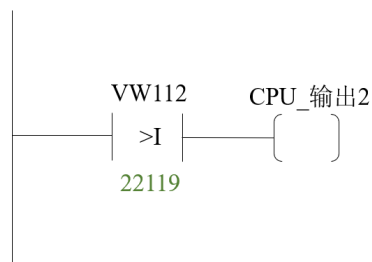


Figure 11. Ladder diagram of dew-point alarm

图 11. 露点值报警梯形图程序

图 12 为降温/除湿监测梯形图程序，当箱体内部温度 T1 和箱体外部温度 T2 温度差超过 15℃，或露点仪输出超过除湿限值，默认为湿度报警阈值减去 10%，即若湿度报警阈值为 80%，则除湿限值为相对湿度 70%，对应传感器输出 12 mA。若条件满足则 Q0.5 置 1，启动风扇，但系统不报警。

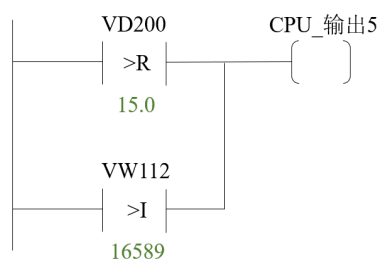


Figure 12. Ladder diagram procedure of temperature/humidity decreasing control

图 12. 降温/除湿控制梯形图程序

### 3.3. 组态界面设计

西门子 SMART 700 IE V3 触摸屏由 WinCC flexible SMART V3 开发完成，其组态界面分为初始设置界面和状态监控界面。初始设置画面如图 13 所示，包括箱体内外温差报警阈值、湿度报警阈值和电流报警阈值设置，设置完成无需保存，切换至状态监控界面则自动将以上设置参数存入主控制器中非易失性存储单元。

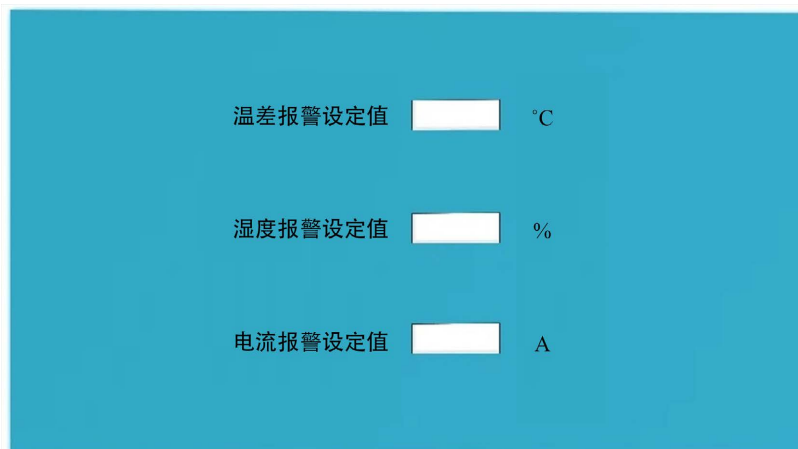


Figure 13. Interface of system initial state setting

图 13. 系统初始设置界面

系统正常运行后,控制器会自动按照设定时间节拍采集各传感器数据,并与系统记录的报警阈值对比判定配电箱工作状态是否正常。用户可以通过观察界面(如图 14 所示),清楚直观地获取当前的配电箱内外温度、箱内湿度、进箱电流等实时数据,以及各报警灯、风扇和进箱空气开关状态;同时,用户可以随时切换系统至参数设置界面调整各报警阈值。

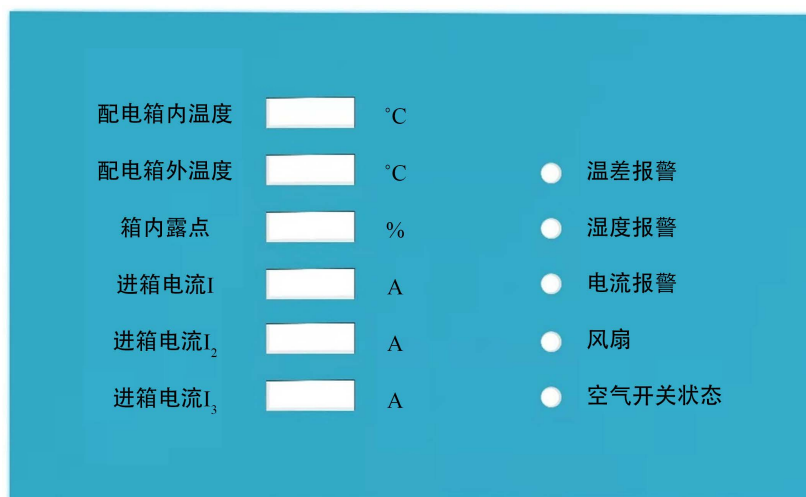


Figure 14. Interface of system state monitoring  
图 14. 系统状态监控界面

## 4. 结论

本文设计一种基于 S7-200 SMART 的低压配电箱温湿度监测系统,通过 EMAE08 模拟量输入模块采集电流、温度和湿度信息,实现了配电箱电流、内外温差,以及相对湿度的实时监测,并与预设参数阈值比较以控制风扇、空气开关和报警装置,能够在温度异常或湿度过高时首先启动预警动作,有效预防凝露导致的安全隐患,而非被动的事后报警。系统控制模块采用比通用单片机可靠性更高的 PLC 器件,使用梯形图编写 PLC 控制程序,通过 WinCC 开发的触摸屏实现了人机交互,提高了系统运行的稳定性,有效保障工程现场移动低压配电箱用电和施工人员人身安全,为建筑施工现场复杂用电环境下低压配电箱实时监控提供可靠的解决方案。

## 致 谢

本文作者由衷感谢我司“智慧建筑与先进传感工程技术研究中心”及南京工业大学电气工程与控制科学学院徐启老师的支持与帮助。

## 基金项目

本文研究工作得到江苏省建设系统科技项目(2021ZD52)和南京市建设行业科技计划项目(Ks2157)资助。

## 参考文献

- [1] 住房和城乡建设部关于印发“十四五”建筑业发展规划的通知[Z/OL]. [http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-01/27/content\\_5670687.htm](http://www.gov.cn/zhengce/zhengceku/2022-01/27/content_5670687.htm), 2022-01-19.
- [2] 孔卫华. 浅谈低压配电箱在运行中的故障改进及监控装置应用[J]. 科技资讯, 2008(5): 62.

- 
- [3] 王亚东. 低压配电箱的常见故障及其原因分析[J]. 上海节能, 2019(11): 917-919.
- [4] 刘红文. 配电箱常见故障及其原因分析[J]. 城市建设理论研究, 2019(17): 5.
- [5] 刘江虹, 等. 基于单片机的配电箱温度监测和火灾报警系统设计[J]. 消防设备研究, 2020, 39(11): 1542-1544.
- [6] 丁小田, 时维铎. 基于单片机的实验室配电箱无线安全监测系统[J]. 山西电子技术, 2015(4): 15-16 + 23.
- [7] 王丰瑞, 李小松, 宋伟德. 配电箱智能监控系统的设计[J]. 太原科技大学学报, 2021, 42(3): 181-187.
- [8] 刘云利. 煤矿地面配电箱在线监测系统设计[J]. 机电工程技术, 2019, 48(8): 247-249.
- [9] 翟潘. PLC 在电气自动化系统中的应用[J]. 电子技术与软件工程, 2019(3): 107.
- [10] 刘星平. PLC 原理及应用: 西门子 S7-200 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2017.
- [11] 胡墨然, 胡卫朋, 刘小煜, 等. 基于 PLC 的排污泵站自动控制系统设计[J]. 制造业自动化, 2020, 42(7): 21-24.
- [12] 陈毓莉, 庞水全, 郑志军. 基于 PLC 与触摸屏的物料分拣教学实验台设计[J]. 实验技术与管理, 2017, 34(10): 70-74+81.
- [13] 宿宁, 孙恒辉, 黄伟, 等. 基于 PLC 和触摸屏的水田拖拉机多种动态参数检测系统设计[J]. 现代农业装备, 2021, 42(4): 29-35.
- [14] 耿青涛, 肖军, 耿青红, 等. 基于以太网 PLC 通信的触摸屏控制[J]. 工业控制计算机, 2021, 34(9): 123-126.
- [15] 王晓宇, 高杨, 周易. WinCC flexible 组态软件在轴承试验控制系统中的应用[J]. 电气传动自动化, 2019, 41(5): 30-32+29.
- [16] 张烈平, 马航, 李梦, 等. 基于 PLC 和 WinCC 的柿饼烘干监控系统[J]. 现代电子技术, 2018, 41(14): 118-121.