

一种混凝土预制构件智能循环养护系统设计

苏沛东, 甄红卫, 柴娜, 曹英荣

(北京星航机电装备有限公司, 北京 100074)

摘要: 国家提倡混凝土预制构件的使用, 传统的混凝土自然养护方法时间长、受到外界环境气温的限制; 根据混凝土的养护特性, 对混凝土预制构件养护工艺进行研究, 设计了一套智能循环养护系统, 完成硬件设计选型, 并给出软件控制方法; 通过在模台下方放置加热系统以及加湿系统, 并采用折叠养护罩将模台构成封闭空间, 中央处理器根据采集到的温湿度, 控制变频采暖炉的加热功率以及蒸汽加湿系统电磁阀的通断, 实现控温控湿的功能; 经过工程应用测试, 升温阶段 2 小时内温度达到 55℃, 湿度达到 90%; 恒温阶段 8 小时内温度保持在 46~60℃, 湿度 $\geq 90\%$, 系统取得良好的效果。

关键词: 预制构件; 养护工艺; 养护单元; 控制系统

Design of the Utility Model Relates to an Intelligent Circulating Maintenance System for Precast Concrete Members

Su Peidong, Zhen Hongwei, Cai Na, Cao Yingrong

(Beijing Xinghang Mechanical—electrical Equipment Corporation, Beijing 100074)

Abstract: The state advocates the use of precast concrete members. The traditional natural curing method of concrete takes a long time and is limited by ambient temperature. According to the curing characteristics of concrete, the curing technology of precast concrete members is studied, and an intelligent cyclic curing system is designed, selection of hardware design is completed, and software control method is given. By placing heating system and humidifying system under the die, and using folding curing cover to form a closed space for the die. According to the collected temperature and humidity, the CPU controls the heating power of the frequency conversion heating furnace and the opening and closing of the solenoid valve of the steam humidification system, so as to realize the function of temperature and humidity control. Through the engineering application test, the system achieves good results. During the heating stage, the temperature reached 55℃ in 2 hours and the humidity reaches 90%. During the constant temperature stage, the temperature was maintained at 46 ~ 60℃ for 8 hours and the humidity $\geq 90\%$.

Keywords: prefabricated component; maintenance technology; maintenance unit; control system

0 引言

随着工业 4.0 的推进, 国家提倡节能减材、绿色环保的建筑方式, 混凝土预制构件的使用比例, 成为国家建筑行业发展的标志。预制构件的生产和使用领域也越来越广泛, 但构件的养护往往得不到足够的重视, 由此使得的构件开裂, 强度不足的现象屡屡发生^[1]。传统混凝土洒水养护方法对工人要求较高, 需要工人严格按照规定时间对混凝土进行间歇性洒水, 并且这种方法会造成大量的水资源浪费, 而传统混凝土养护覆膜养护方法效果不稳定并且如果薄膜出现小孔会严重影响养护效果^[2]。寒冷地区冬季温度低不满足混凝土生产要求, 空气干燥、昼夜温差大、风力大, 在这种气候环境下养护工程难以严格执行^[3]。根据混凝土的养护特性, 为其提供一个温度、湿度都处于最优的养护环境, 设计一套具有自动加热、加湿的功能的智能循环养护系统, 具有很高的研究价值。

1 智能循环养护系统总体设计

随着工程建筑行业的不断发展, 对于预制件的强度要求也越来越高, 所以蒸养技术也在不断改进与发展^[4-5]。通过设计一套温度、湿度独立控制的智能循环养护系统, 系统可以在不受外界环境影响的同时, 达到自动控温、控湿的作用。

智能循环养护系统主要包括中央处理器、温度传感器、湿度传感器、蒸汽发生器、变频采暖炉、电磁阀、循环泵以及智能养护单元。其中, 智能养护单元通过在模台下方放置加热系统以及加湿系统为养护单元提供加热和加湿, 并通过折叠养护罩将模台构成封闭空间。

中央处理器根据放置在智能养护单元内的温度传感器、湿度传感器获得当前时刻养护单元内的温湿度数据, 并根据混凝土预制构件养护工艺, 控制变频采暖炉的加热功率从而控制智能养护单元内的温度; 通过控制蒸汽加湿管路及蒸汽发生器之间电磁阀的通断, 控制智能养护单元内的湿度。中央处理器根据混凝土养护工艺不同阶段的时间和温湿度要求, 自动进行状态切换, 为不同的养护阶段提供最佳的养护环境。智能循环养护系统基本原理如图 1 所示。

收稿日期: 2019-04-27; 修回日期: 2019-05-17。

作者简介: 苏沛东(1989-), 男, 河北张家口人, 工程师, 主要从事工业生产控制线控制系统、控制策略方向的研究。

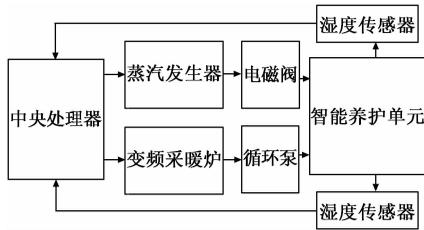


图 1 智能循环养护系统基本原理图

2 系统硬件设计与分析

2.1 系统硬件设计

本文首次将蒸汽发生器、变频采暖炉等设备引入到混凝土预制构件的养护工艺中，相比传统的自然养护以及现有的蒸汽养护方法，具有温湿度自动调节、养护效率高、节约能源等优点。

通过对市场上的蒸汽发生器、变频采暖炉等设备进行选型，蒸汽发生器选用功率为 18 kW，额定蒸汽量 24 kg/H，饱和蒸汽温度 171 ℃；变频采暖炉选用额定功率 30 kW，额定电流 45 A，通过调节电压频率控制水温在 25~85 ℃，满足系统加热、加湿需求。

在主要设备选型完成以后，对蒸汽发生器、变频采暖炉进行二次开发，设备的启停都将受中央处理器同一控制，变频采暖炉加热频率通过串口 RS485 与中央处理器完成通讯。选用 PLC 作为中央处理器对蒸汽发生器、变频采暖炉、温湿度传感器、循环泵、电磁阀、液位计等设备进行集成，并通过触摸屏显示运行状态和命令下发，实现系统协调、有序的运行。

2.2 系统硬件架构

智能循环养护系统是一套可以独立运行的养护系统，养护系统的加热、加湿都可以由自己内部设备实现，只需供电即可，系统在自动模式下无需人工干预自动完成产品整个养护周期的温度、湿度调节，并且可以记录并打印养护状态曲线，实现产品质量跟踪。智能循环养护系统硬件构架如图 2 所示。

其中，智能循环养护系统硬件构架实线箭头指示为信息流，设备与养护单元管理系统之间单向或双向传输；虚线箭头为能量流（电力流），电能从电网经配电箱、控制柜流向各设备；最终信息流与能量流在控制柜汇合，控制养护单元完成预定的功能。

养护单元管理系统用于实现整个养护单元的管理与控制，由计算机通过博图软件编程，控制蒸汽发生器、蒸汽电磁阀、变频采暖炉、循环泵、软化水装置、供水电磁阀、打印机完成养护单元的各项功能。

2.3 系统硬件选型

2.3.1 中央处理器

中央处理器是整个系统的核心，根据控制策略完成特定的运算，配合面板操作按钮及人机界面，完成智能循环养护单元总控管理系统。由于中央处理器只做温湿度的数据处理及控制策略的实现，运算量不大，选用西门子 1215C

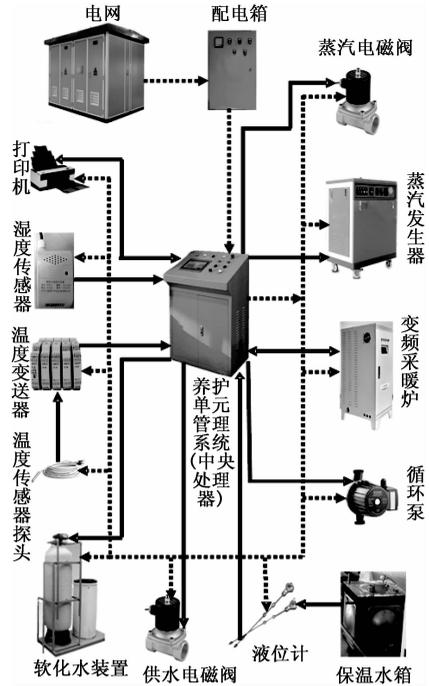


图 2 智能循环养护系统硬件构架

AC/DC/Rly 作为中央处理器，1200 系列 PLC 将微处理器、集成电源、输入和输出电路、内置 PROFINET、高速运动控制 I/O 以及板载模拟量输入组合到一个设计紧凑的外壳中来形成功能强大的控制器，并且提供一个 PROFINET 端口用于通过 PROFINET 网络通信，还可使用附加模块扩展 PROFIBUS、GPRS、RS485 或 RS232 网络进行通信，满足系统使用需求^[6]。根据需要 PLC 加配 RS485 模块完成与变频采暖炉的通信硬件接口，并加配模拟量输入模块完成温湿度传感器数据的采集。

2.3.2 蒸汽发生器

蒸汽发生器主要用来为系统提供蒸汽，通过中央处理器控制蒸汽发生器的启停，并控制蒸汽电磁阀的通断来控制智能养护单元内湿度。蒸汽发生器选用诺贝思全自动电加热蒸汽发生器 NBS-AH-18，功率为 18 kW，额定工作压力 0.7 MPa，额定蒸汽量 24 kg/H，饱和蒸汽温度 171 ℃，AC 电源电压 380 V，外壳使用加厚优质钢板，特殊喷漆工艺，不锈钢水箱、高温高压水泵以及温度、压力、功率可根据需要调节。

2.3.3 变频采暖炉

变频采暖炉配合保温水箱和循环泵以及加热管路构成封闭循环系统，通过变频采暖炉加热的水流入保温水箱，循环泵使保温水箱的水循环整个加热管路后返回变频采暖炉，中央处理器通过控制变频采暖炉的加热频率，达到控制智能养护单元温度的目的。根据需要选用广东江信电子科技有限公司三相 380 V-30 kW 型，额定功率 30 kW，额定电流 45 A，电热效率≥99，电热功率 100%，设备最大压力 0.6 MPa，可以通过调节电压频率控制水温在 25~85 ℃，支持 RS485 通信，采用变频电磁加热体，水电分离加热，

循环水被磁化, 不结水垢, 且具有防干烧、防冻、故障自检功能。

2.3.4 温湿度传感器

温湿度传感器长期处于高温、高湿的环境中, 应选用能适应恶劣环境的工业用温湿度传感器, 根据需要选用厦门泰勒斯测控 TS-FTD 系列风管式温湿度变送器, 温度量程 $0\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}/-20\sim 80\text{ }^{\circ}\text{C}/-40\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 三挡可调, 温度精度 $\pm 0.3\text{ }^{\circ}\text{C}$, 分辨率 $0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$; 湿度量程 $0\sim 100\%\text{RH}$, 湿度精度 $\pm 0.3\%\text{RH}$, 风管式温湿度感测灵敏, 满足使用需求。

2.3.5 人机界面

人机界面通过与中央控制器 PLC 相连, 完成系统状态显示以及现场控制等功能。选用昆仑通态触摸屏 TPC1061Hn, 其具有 10.2 英寸高亮度 TFT 液晶显示屏, 分辨率 1024×600 , 内存 128 M, 存储设备 128 M, 包含 RS232/485 接口、USB 接口以及网口等, 能够方便的与 PLC 实现集成, 屏幕自带 MCGS 嵌入版系统, MCGS 嵌入版以图像、图符、报表、曲线等多种形式显示系统运行中的状态、品质及异常报警等相关信息。

2.3.6 其他硬件

智能循环养护系统其他硬件为通用器件, 供电系统、配电箱、电磁阀、保温水箱、循环泵、软化水装置、液位计等选用满足行业标准的器件。

2.4 系统功能设计

系统具备人工操作和自动控制两种模式, 人工操作模式下用户借助触摸屏手动来控制加热加湿系统的启停, 系统给出当前养护单元温湿度值以及加热、加湿时间; 自动模式下由养护单元管理系统控制各个设备的动作来完成各项功能, 系统将根据温湿度传感器数据自动运行, 直到养护结束自动停止。

养护单元管理系统具有数据存储的功能, 将按照设定的时间间隔对养护房内温湿度数据进行记录, 支持在屏幕上查看历史温湿度曲线以及导出到优盘。

3 系统软件设计

3.1 混凝土预制构件养护工艺

混凝土预制构件成型在正式养护前, 先要在 $5\sim 30\text{ }^{\circ}\text{C}$ 环境下完成预养护, 一般采用室温环境下静置一段时间, 若周围环境不满足该条件时, 需要人工创造预养护条件, 该工艺只对养护房内的温度做要求。预养期内, 混凝土可进行一定程度的水化, 获得一定的初始结构强度, 用以抵抗在升温期中出现的肿胀作用^[7]。

混凝土预制构件预养护结束后, 为了使其能够尽快获得脱模强度, 可以适当提高混凝土养护环境的温度, 以加速模板周转, 提高劳动生产率, 升温期是混凝土结构的定型阶段, 在养护过程中最为重要。升温期的主要控制参数是升温速度, 混凝土的升温速度受到预养时间或初始结构强度以及养护方式等因素的影响。因此, 在 PC 自动化生产

线中, 养护升温期的升温速度应控制在 $15\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 以内^[8-9]。

升温阶段结束后, 温度应保持在最佳范围内使混凝土处于恒温阶段, 恒温阶段养护时间 8 小时, 温度应保持在 $45\sim 60\text{ }^{\circ}\text{C}$, 湿度保持在 $90\%\sim 95\%\text{RH}$ ^[1], 恒温阶段是混凝土养护质量至关重要的阶段, 需要在温度保持的前提下通过蒸汽及时补充湿度, 湿度超出范围很容易造成混凝土开裂等导致产品不合格。

恒温 8 小时结束后进入降温阶段, 降温速度控制在 $25\text{ }^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 之内, 保证降温速度的情况下 2 小时左右降到室温, 智能循环养护系统关闭, 进入自然养护阶段, 将预制构件放置到养护区直到强度达到标准^[10]。各养护状态时间及温度如图 3 所示。

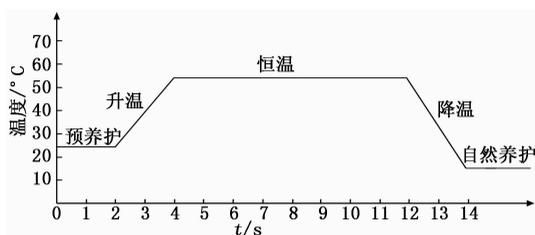


图 3 养护状态时间及温度

3.2 系统软件的设计

养护单元管理软件部分主要包括 PLC 控制软件的设计和与人机交互界面的组态。

1) PLC 的控制软件包括数据采集模块、数据处理模块、人机交互模块、状态显示模块、设备驱动模块和故障诊断模块。养护单元工艺要求成型的混凝土预制构件在养护房内养护包含预养护和正式养护, 正式养护包含升温、恒温和降温, 其中升温 and 恒温过程及其重要, 对产品质量起着决定性作用。升温过程采用模糊控制调节, 确保养护房内的温度根据工艺要求的速率上升, 并在规定的时间内达到设定的温度值, 系统 PLC 控制软件构架如图 4 所示。

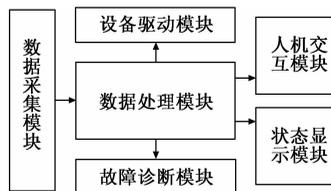


图 4 系统 PLC 控制软件构架

2) 人机交互界面的组态软件采用 MCGS 组态软件, 主要用来实现智能循环养护系统的状态信息显示以及人机交互, 设计内容包括:

系统状态的实时显示以及与 PLC 相关控制变量的连接、在图形界面上绘制温度曲线、处理数据报警及系统报警、存储历史数据并支持数据的查询、各类报表的生成和打印输出。

3.3 系统软件的实现

3.3.1 预养护阶段

预养护阶段由于混凝土湿度较大, 只要满足室温 $5\sim 30$

℃静置即可。系统开始运行之后，首先将温度传感器将采集过来的模拟量信号传送给中央处理器，经过转换后判断当前温度是否在预养护温度范围内，低于最低温度则自动启动变频采暖炉进行小功率加热，补充养护单元内温度，直到预养护两小时结束自动开始升温阶段养护。

3.3.2 升温阶段

在养护的升温阶段，需要变频采暖炉加热整个养护单元，为了能让温度升的更快，节省能耗，该阶段蒸汽发生器和蒸汽阀同时开启，在变频采暖炉和蒸汽发生器及蒸汽阀的共同作用下进行升温，需保证养护房内的湿度和温度上升速率不大于设定值 V ，为保证产品质量，系统判断升温速率不满足条件时变频采暖炉需关闭。

系统升温过程中将根据变频采暖炉出水口的温度来调节加热功率的百分比，出水口温度小于 80°C 时采用 80% 功率加热，在 $80\sim 95^{\circ}\text{C}$ 之间时，证明加热管路中水温较高，则以 40% 功率加热，当出水口温度大于 99°C 时，防止水温过高导致水烧开，将加热功率降低到 20% 。由于传感器检测到合适的温度时，加热管路的温度一般高于智能养护房内温度，所以需要在最佳温度之前停止加热，经过实际考察，采取停止加热温度设定值为最佳温度减去 8°C 。升温阶段控制流程图如图 5 所示。

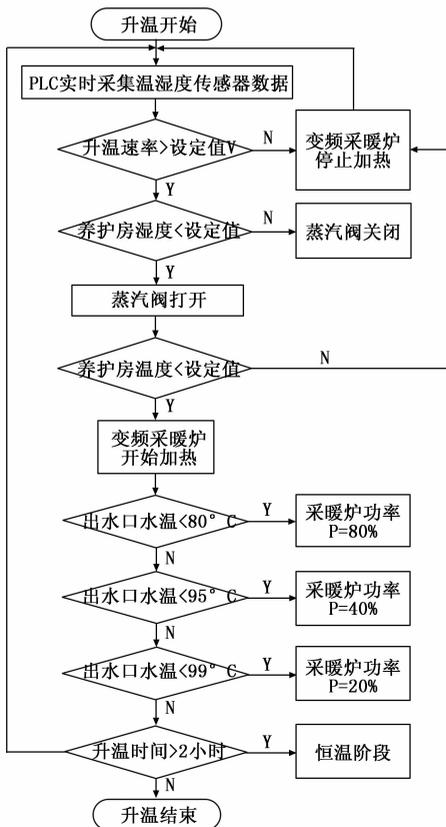


图 5 升温阶段控制流程图

3.3.3 恒温阶段

在升温两小时结束后系统自动运行在恒温 8 小时阶段，

由于升温阶段将智能养护单元内温度升高到最佳温度范围内，且折叠养护罩保温效果较好，养护单元内温度受外界干扰较小，温度变化较慢，只需要在温度低于设定值时，变频采暖炉小功率开启加热即可，大部分时间处于停止加热状态；蒸汽发生器不在进行辅助加热，仅用来补充养护房内的空气湿度，由于恒温阶段时间比较长，在此过程中需要消耗大量的水分，产品的质量受到湿度的影响，此时加湿系统需要及时为养护单元内补充水分，保证养护房处于合适的湿度范围。

3.3.4 降温阶段

在养护的降温阶段，停止加热和加湿，系统根据温度传感器变化来判断温度下降速率，为了保证养护房内温度的下降速率在 $25^{\circ}\text{C}/\text{h}$ 之内。如不满足，避免出现温度骤降，变频采暖炉将选取合适的功率对养护单元进行加热，以保证产品的质量。

4 系统现场应用与验证

实验环境为 2018 年 12 月份北京某预制构件厂，厂房内温度低于 10°C ，根据智能循环养护系统设计方案，设计样机分别对叠合板、外墙板、内墙板进行实验。由于当前冬季室温较低，预养护阶段系统提供一定的加热使智能养护单元温度处于 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ 之间，预养护结束后，系统能够接着开始升温阶段，2 小时内快速将智能养护单元内温度升高到 55°C ，湿度升高到 90% ，并且保证升温阶段温度变化率 $v \leq 15^{\circ}\text{C}/\text{h}$ ；恒温阶段 8 小时内智能养护单元内温度保持在 46°C 到 60°C 之间，湿度不低于 90% ，始终保证混凝土预制构件处于最佳的养护温湿度。降温阶段停止加热同时检测智能养护单元内湿度情况，湿度始终处于要求的范围内，系统功能得以验证。



图 6 智能循环养护系统

5 结束语

1) 分析了当前混凝土预制构件的养护方法，在此基础上设计了具有独立运行不受外界条件制约的智能循环养护系统，融入了自动控制与传感技术，实现控温、控湿以及循环加热功能，减少能源流失。

2) 结合总体设计原理，对智能循环养护系统进行详细设计及硬件选型，确定了系统的硬件实现方案，并研究了混凝土预制构件的养护工艺，给出详细的软件设计流程。

3) 通过对智能循环养护系统的实际现场应用，验证了

(下转第 248 页)