

引用本文

宋垚,季旭,张恒源,等.基于5G的消防水带智能干燥控制系统设计[J].消防科学与技术,2026,45(8):71-79.

Song Kai, Ji Xu, Zhang Hengyuan. Design of a 5G-based intelligent drying control system for fire hoses [J]. Fire Science and Technology, 2026, 45(8): 71-79.

基于5G的消防水带智能干燥控制系统设计

宋 垚¹, 季 旭¹, 张恒源¹, 冯怡然^{1,2}

(1. 大连工业大学 机械工程与自动化学院, 辽宁 大连 116034;

2. 大连工业大学 辽宁省海洋食品加工技术装备重点实验室, 辽宁 大连 116034)

摘 要:为解决消防员在火场任务后消防水带干燥收卷的难题,本研究开发了一种智能化消防水带干燥装置,结合温湿度传感器和光线传感器的检测特性,利用5G技术构建了涵盖信息层、控制层和设备层的终端监控与调控分析云平台。通过烘干模拟试验和光照特性试验,明确了传感器数据与烘干控制系统之间的关联关系,提出了光照强度与电压的拟合函数曲线。试验结果表明,该智能化消防水带干燥装置及其控制系统可将水带的平均干燥效率提升至传统晾晒方式的7.14倍。经试验验证,该装置能够提高水带的干燥效率,规范晾晒流程,降低水带的磨损与消耗,延长其使用寿命,为进一步提升消防救援工作专业化水平提供了技术保障。

关键词:水带晾晒;智能化干燥系统;传感器;5G技术;云平台

中图分类号:X932;TQ028.8 **文献标志码:**A **DOI:**10.20168/j.1009-0029.2026.08.0071.09

Design of a 5G-based intelligent drying control system for fire hoses

Song Kai¹, Ji Xu¹, Zhang Hengyuan¹, Feng Yiran^{1,2}

(1.School of Mechanical Engineering and Automation, Dalian Polytechnic University, Dalian Liaoning 116034, China; 2. Key Laboratory for Seafood Processing Technology and Equipment of Liaoning Province, Dalian Polytechnic University, Dalian Liaoning 116034, China)

Abstract: In order to solve the problem of firefighters drying and coiling fire hoses after firefighting operations, this research develops an intelligent fire hose drying device, combined with the detection characteristics of temperature, humidity, and light sensors, and utilizes 5G technology to build a terminal monitoring and control analysis cloud platform covering the information layer, control layer, and equipment layer. Through drying simulation tests and light characteristic tests, the correlation between sensor data and the drying control system is clarified, and the fitting function curve between light intensity and voltage is proposed. The test results show that the intelligent fire hose drying device and its control system can increase the average drying efficiency of fire hoses by 7.14 times compared with traditional drying methods. Experimental verification shows that the device improves drying efficiency, standardizes the drying process, reduces hose wear and consumption, and thereby extends its service life in practical applications.

Key words: hose drying; intelligent drying system; sensor; 5G technology; cloud platform

近年来,消防水带的干燥方式已从人工展开晾晒转变为悬挂式晾晒,该方法提高了晾晒效率,但受气温、降水、湿度等不可控因素影响,缺乏规范性与稳定

性。此外,晾晒完成后仍需对水带进行人工收卷,费时费力,且整体效率偏低。李永振^[1]利用空气源热泵技术,设计研制了一种带排气及旁通的箱式消防水带

基金项目: 辽宁省教育厅科研项目 (JYTMS20230395); 辽宁省教育厅科学研究项目 (辽教办 [2020] 122号-J2020008)

作者简介: 宋垚,大连工业大学机械工程与自动化学院硕士研究生,主要从事消防救援装备智能化研究,辽宁省大连市甘井子区轻工苑1号,116034。

通信作者: 冯怡然,大连工业大学机械工程与自动化学院硕士生导师,博士,高级工程师, fengyr@dlpu.edu.cn。

收稿日期: 2025-03-31; **修回日期:** 2025-05-13

热泵干燥系统,在干燥箱内通过循环空气产生热湿传递,将热量传递给水带使其表面和内部水分蒸发扩散,最终由循环空气带离干燥箱。该方法虽解决了传统晾晒方式对水带的影响,但在晾晒效率和能源消耗方面仍有较大的提升空间^[2]。

本文结合现实应用场景与社会技术发展,对消防水带智能化干燥机的控制系统进行了设计,构建了基于5G信息传输技术的温湿度、光线传感器统一控制与监控平台,依据不同检测参数控制烘干机,实现晾晒过程中的智能化烘干;并通过棘轮盘装置,使水带在晾晒结束下降的过程中完成自动收卷。

1 总体设计

1.1 干燥工作流程

具体干燥工作流程如图1所示。水带放入后关闭柜门,由电动机带动卷绕轮上升,开始晾晒工作;水带上升至指定位置后,电动机停止,光线传感器开始工作。环境光度符合相应标准时,箱体展开,利用阳光进行晾晒;当环境光度不符合要求时,箱体关闭,烘干机开启,温湿度传感器开始监测工作,根据所测温湿度范围,利用模糊控制智能调节烘干机输出功率;当温湿度检测达到标准时,烘干机关闭,电动机带动卷带轮下降,在棘轮盘装置的作用下带动链轮盘和卷带轮反转,从而完成水带自动收卷工作;当卷绕轮下降至指定位置时,电动机停止,柜门打开,水带晾晒工作结束^[3]。

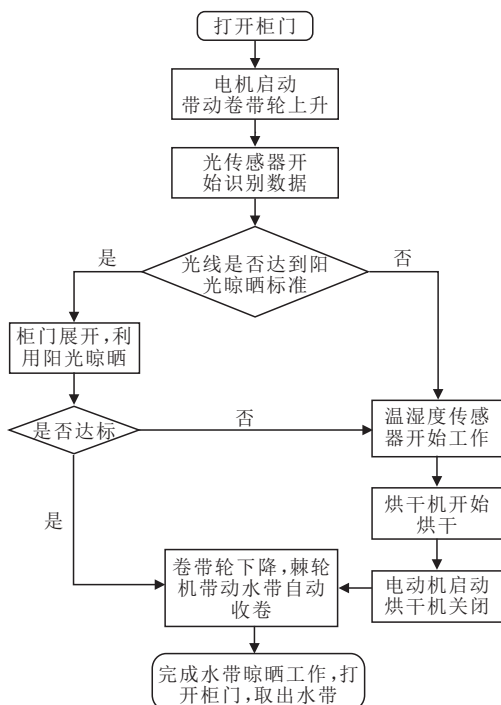


图1 工作路线示意图

Fig. 1 Schematic diagram of working route

1.2 消防水带干燥机装置分析

1.2.1 装置结构

整体装置结构如图2所示。该装置应用于消防救援队基地内,整体长5 m、高15 m、宽3 m,设置于尺寸合适、阳光充足的墙壁处,使用时需安装高度不低于15 m的支架,便于悬挂晾晒。

整体装置由一台蜗杆减速电机驱动,通过钢丝绳绕滑轮转动来控制装置升降。取、送带柜设置于装置外表面,便于水带的取送;内置棘轮装置,干燥结束后水带可自动完成收卷。设备外表采用防潮材料;温湿度传感器和光线传感器置于箱体外接柜内部,用于采集所处环境的实时湿温度和光线信息;相关控制系统集成部件置于箱体上方的防尘罩中。

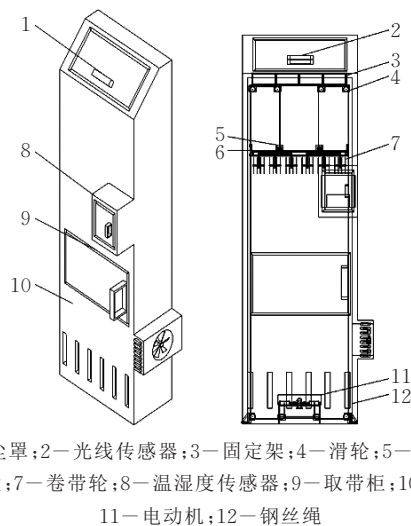


图2 装置结构图

Fig. 2 Device structure diagram

1.2.2 装置工作过程

消防水带干燥机的具体收卷工作过程如图3所示。

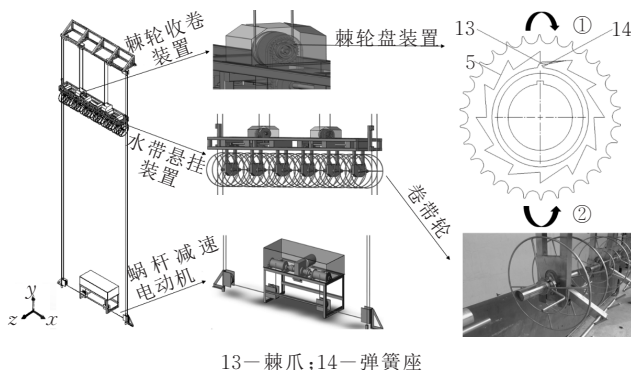


图3 消防水带干燥机收卷工作过程

Fig. 3 Working process of fire hose winding and drying

该装置中,蜗杆减速电动机安装在框架结构底部中心;水带悬挂装置中,钢丝绳缠绕在滑轮上,运动时滑轮固定不动,由电动机驱动钢丝绳绕滑轮转动,进

而由棘轮收卷装置通过链轮盘、卷带轮和钢丝绳的牵引完成水带收卷。

棘轮盘通过链条与链轮盘连接,链轮盘再与卷带轮相连。棘轮盘、链轮盘和卷带轮通过钢丝绳牵引,与固定在建筑物外墙面上的固定架相连。达到干燥结束标准后,棘轮盘驱动链轮盘转动,进而带动卷带轮完成水带收卷。棘爪与弹簧座连接,弹簧座安装在棘轮盘的驱动轴上,水带上升时,驱动轴按图3中的②所示方向逆时针旋转,此时在弹簧座的作用下棘爪在棘轮盘内空转,棘轮盘不转动;水带下降时,驱动轴按图中的①所示方向顺时针转动,此时在弹簧座的作用下,棘爪刚好卡入棘轮盘内圈的棘槽内,驱动棘轮盘与驱动轴同向转动,从而在下降过程中带动卷带轮完成对水带的自动收卷。该工作原理类似自行车链条,前蹬时车轮会正转,反蹬时踏板空转,不带动车轮^[4]。

1.3 消防水带干燥机智能调控框架

图4展示了消防水带干燥机智能调控框架。由图4可知,该消防水带干燥机的智能调控框架分为信息层、控制层、设备层3部分。首先,由信息层对所晾晒消防水带的内部温湿度及所处环境的光线等参数进行监测与收集,并依据本文后续试验所得的温湿度、光线阈值数据进行匹配。其次,由控制层的主控单元对收集的数据执行智能化操作,调节干燥过程,并利用模糊控制生成智能化方案,实时反馈并控制执行机构的输出功率^[5]。最后,在设备层,根据已生成的不同湿度和温度条件下的最优干燥参数,对相关执行构件进行智能化输出控制^[6]。

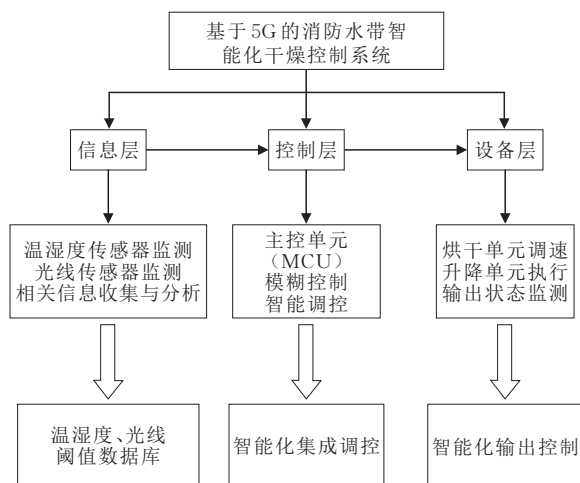


图4 消防水带干燥机智能调控框架

Fig. 4 Intelligent control framework of the fire hose dryer

1.4 智能化控制系统设计

1.4.1 温湿度、光线阈值数据库硬件设计

温湿度与光线阈值数据的收集对于整个干燥机控制系统的运行有至关重要的影响,也是控制层、设

备层建立的基础。本装置所涉及的智能化传感均采用基于STC89C516RD芯片的单片机。该单片机处理与计算能力优秀,操作简便,所涉及模块成本低廉;负责控制各模块间的连接与交互,通过I/O端口精准调控各模块,确保整体系统协同运行;并接入1602A型LCD显示屏作为信息反馈模块,实现对所测参数的实时显示^[7]。

1)温湿度传感器模块设计。根据试验环境与目标结果,选择DHT11作为温湿度传感器。DHT11是一款带有已校准数字信号输出的温湿度复合传感器,采用专用的数字模块采集技术和温湿度传感技术,具有较高的可靠性和长期稳定性。DHT11内置1个电阻式湿敏元件和1个负温度系数热敏电阻(Negative Temperature Coefficient thermistor, NTC)测温元件,由内部单片机完成温湿度信号的采集与处理,并通过单总线与外部应用系统进行通信。温湿度检测模块系统框架如图5所示,温湿度传感器通过单片机将所测参数显示在LCD显示屏上^[8]。



图5 温湿度检测模块系统框架图

Fig. 5 System framework diagram of the temperature and humidity detection module

使用杜邦线将DHT11上的VCC接电源正极,GND接电源负极,DATA为数据输出引脚。图6为温湿度检测模块的工作原理图,其中定义P2[^]3管脚作为信号收发端口,接入电阻与电容以保护元器件,确保信号收发稳定^[9]。

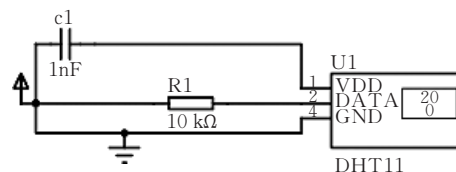


图6 DHT11工作原理图

Fig. 6 DHT11 working principle diagram

工作时,使用杜邦线将DHT11连接至单片机的正、负极和数据端口。烧录程序后,如图7所示,LCD屏幕能够实时显示试验环境的温湿度指标。通过专业测量设备对比较准,该传感器误差极低,符合使用标准。

2)光线传感器模块设计。光线传感器CDS模块作为智能化控制系统中的关键组件,能够实时监测环境光线,识别不同场景下的光照条件,并与温湿度传感器模块进行综合判断。该模块结合阈值数据库,通过智能算法和执行器实现精准控制,从而提高整体系统

的效率与稳定性。

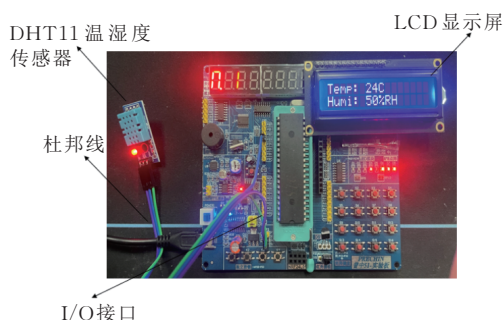


图7 DHT11测试图

Fig. 7 DHT11 test diagram

光敏电阻工作原理图如图8所示。传感器采用CDS光敏电阻模块,CDS模块接入单片机后,用于检测光照强度。由于光敏电阻的电阻值随光照强度变化,单片机通过测量其电压变化来判断当前光照强度,并在连接的LCD显示屏上显示CDS光敏电阻电压对应的光照强度^[10]。

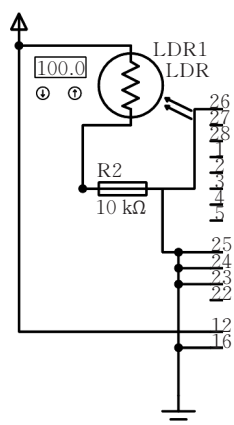


图8 光敏电阻工作原理图

Fig. 8 Photoresistor working principle diagram

1.4.2 智能化集成调控技术设计

1)智能数据收集传递。为实现5G通信功能,接收信息层数据并执行算法进行处理,从而调控整体干燥流程,确保系统运行稳定性,系统选用集成无线通信模块的ESP32系列处理器作为主控单元(MCU)。该传感器在兼具5G通信能力的基础上,提供强大的运算能力,在系统中提供智能数据收集与传递。

2)智能设备自主执行控制。基于MCU,利用模糊推理对设备层进行执行控制,确保设备层达到既定输出功率,完成干燥工作。系统中的模糊控制模块是处理不确定性和复杂控制决策的重要部分。特别是在传统精确控制方法难以有效处理非线性或多变量系统的情况下,模糊控制可将不精确或不确定的输入数据转化为相对精确的控制输出,确保系统在复杂环境下仍能稳定运行^[11]。因此,本系统采用基于数字

信号处理器(DSP)的模糊控制方案,选用Texas Instruments C2000系列。该系列是一种专门用于控制和实时处理的DSP,具备强大的模糊控制计算能力,能够为含有干燥机加热设备的系统提供精确的决策与控制。

3)智能优化控制。烘干机作为整个控制系统设备层的重要执行部分之一,发挥着重要作用;其调节精度直接决定了整体控制系统能否顺利完成烘干工作并达到预期目标^[12]。因此,在上文所述基础上,针对烘干机输出功率进一步提出智能优化控制方案,如图9所示,以采集的温湿度数据库为标量,建立烘干变量控制逻辑图。模糊控制推理完成后,采用质心法进行去模糊化,将模糊输出变量转换为具体的功率值。计算公式如式(1)所示^[13]。

$$P_{\text{output}} = \frac{\sum (\mu_i \cdot P_i)}{\sum \mu_i} \quad (1)$$

式中: μ_i 为模糊隶属度^[13],表示某一规则下的可信度; P_i 为对应的功率输出值。

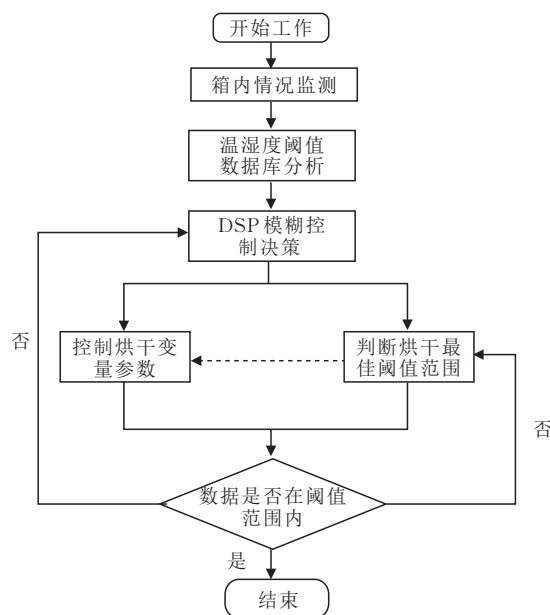


图9 控制优化逻辑图

Fig. 9 Logic diagram of control optimization

1.4.3 智能预警与远程维护

为确保系统安全稳定运行并延长设备使用寿命,需实现多终端一体化操控。5G技术具备超高速的数据传输能力,能够在极短时间内传递大量数据。系统硬件设计如图10所示,在依托5G信号模块的基础上,构建系统上下机位的硬件结构,以实现大规模数据处理、数据协同与监控^[14]。

1.4.4 移动终端构建与测试

为确保试验顺利开展并保证试验结论的准确性,本研究对移动终端进行了构建,并对其接入数据及

5G网络进行了测试。试验场地选在该地区某消防救援队内,如图11所示。

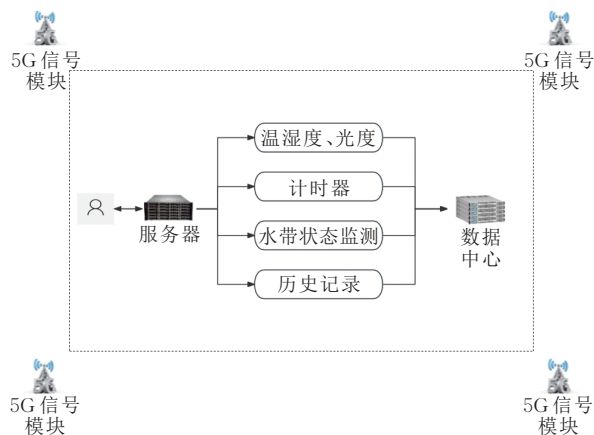


图10 系统硬件设计图

Fig. 10 System hardware diagram



图11 装置现场试验图

Fig. 11 On-site test photo of the device

1)移动终端构建。通过下载移动终端应用,可以实现对系统的实时调整。如图12所示,该终端以5G云端数据库作为数据存储与传输的支撑,在与基站完成信号调试后,即可实现相关功能^[15]。

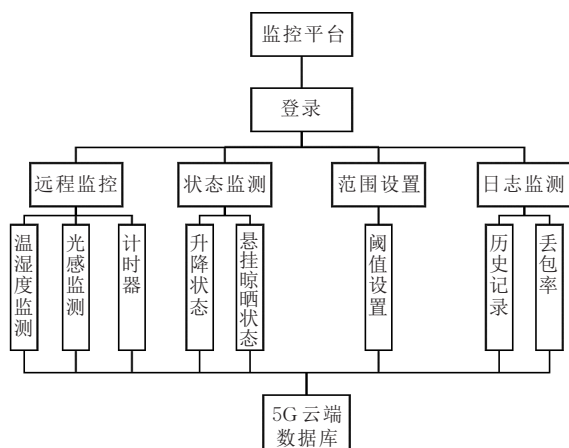


图12 终端设计逻辑图

Fig. 12 Logic diagram of the terminal design

2)移动终端测试。接入基站5G网络后,在移动终端进行登录测试,并通过各模块辅助后续试验的开展。

装置控制系统采用闭环控制,结合5G技术能够精准、快速地判断各部分反馈情况,如图13所示。当

出现异常情况(如温度过高、湿度长时间未下降或晾晒过程中出现水带掉落)时,系统会立即发出警报,并自动调整工作参数,以避免设备损坏或干燥不彻底^[16]。借助5G通信技术,设备的健康状态数据可定期上传至云端平台,管理人员可远程监测设备运行情况,及时进行维护和诊断,减少设备停机时间。同时,每次运行日志均上传至云端数据库,便于管理人员判断维护周期,提高系统可靠性^[17]。

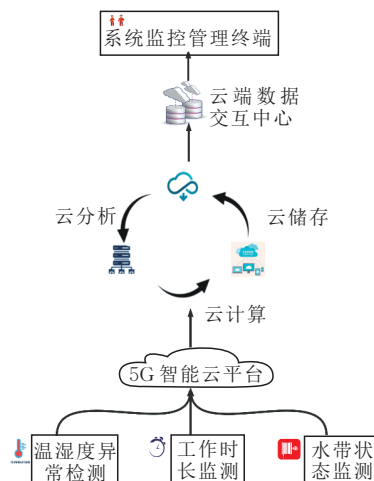


图13 5G智能云平台搭建图

Fig. 13 Architecture diagram of the 5G intelligent cloud platform

2 试验设计

2.1 水带干燥性能试验研究

温湿度监测模块采用DHT11传感器,用于实现系统工作过程中温湿度指标的测量。本试验以温湿度为标量、干燥速率为变量,对水带在不同环境下的干燥性能进行试验,得出温湿度阈值范围,并明确烘干机的控制输出范围。

1)试验设计。为了验证不同温湿度下烘干机对消防水带的干燥效率,设计了相关试验。试验主要通过DHT11温湿度传感器实时监测水带的温湿度,并由控制系统智能调节烘干机的输出功率^[18]。如表1所示,在试验环境温度为25℃的条件下,对3根相同的模拟水带进行不同湿度(70%、80%、90%)和不同温度((40±2)、(50±2)、(60±2)℃)条件下的干燥模拟,并以水带湿度降至50%作为干燥完成的判定标准。

表1 水带干燥性能试验环境参数表

Table 1 Environmental parameters of the fire hose drying performance test

湿度范围	烘干温度/℃
<70%	40±2
70%~80%	50±2
>80%	60±2

2) 试验过程。试验箱体总面积为 225 m^2 。由于其烘干工作的有效检测范围仅为原面积的 $1/4$ ，且单个 DHT11 传感器的有效检测面积约为 5 m^2 ，因此共布置了 15 个 DHT11 温湿度检测器。如图 14 所示，为更好地监测箱体工作部位的温湿度变化，以箱体高度的 $1/3$ 处为坐标原点，沿箱体的长、高、宽分别建立 x 、 y 、 z 空间坐标轴，将 DHT11 传感器分为 3 层等间距布置，确保其在空间中均匀分布，从而实现对整个箱体体积内温湿度的有效覆盖监测。

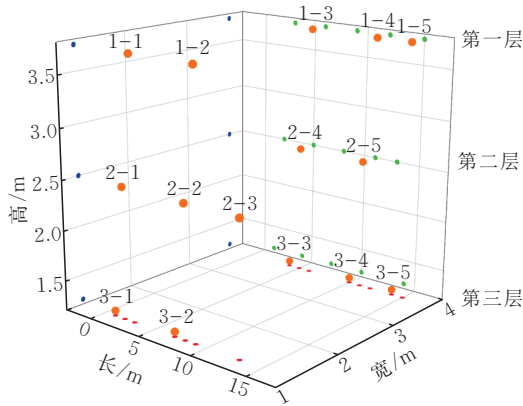


图 14 温湿度传感器分布示意图

Fig. 14 Distribution diagram of temperature and humidity sensors

此外，在监测期间，装置运行会产生振动、部分范围遮挡等问题，且检测过程中存在一定误差^[19]。为进一步提高整体干燥效率并及时调整优化方案，需对过程中的丢包率进行监测。

将收集到的数据用于计算综合丢包率，具体如式(2)所示。

$$y = \frac{N - n_2}{N} \times 100\% \quad (2)$$

式中： y 为丢包率； N 为发送的数据包总数； n_2 为接收到的数据包数。

通过试验得出，在 (40 ± 2) 、 (50 ± 2) 、 $(60 \pm 2)^\circ\text{C}$ 条件下进行模拟烘干，达到干燥标准所需时间分别为 22、15、10 min。通过对自然环境 (25°C) 下的晾晒时间进行测量，得到所需干燥时间为 100 min。结合试验数据并考虑温度对蒸发速率的影响，根据热力学原理，蒸发速率与温度呈非线性关系。设温度区间为 $[T_0, T_x]$ ，其中初始温度 $T_0 = 25^\circ\text{C}$ ， T_x 为烘干目标温度。构造单位时间蒸发效率函数，如式(3)所示。

$$E(T) = e^{0.05(T-25)} \quad (3)$$

蒸发效率随温度变化呈指数增长，其系数 $\alpha \approx 0.05^\circ\text{C}^{-1}$ 。令单位初始效率 $E(25^\circ\text{C}) = 1$ 。因此，蒸发总效率提升倍数(从 25°C 到目标温度 T_x)可通过公式(4)进行计算。

$$n(T_x) = \frac{1}{T_x - 25} \int_{25}^{T_x} e^{0.05(T-25)} dT \quad (4)$$

其中， $n(T_x)$ 表示从 25°C 升温至 T_x 时的平均蒸发效率提升倍数。将 $T_x = 40^\circ\text{C}$ 代入，可得到式(5)。

$$n(40) = \frac{1}{15} \int_{25}^{40} e^{0.05(T-25)} dT = 2.25 \quad (5)$$

因此，在 $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ 条件下采用烘干机烘干，总烘干效率提高至原来的 2.25 倍。由于烘干机在风速及热传导作用下可进一步提升蒸发效率，其总烘干效率显著提高，对应的干燥时间约为 22 min。因此，在 $(40 \pm 2)^\circ\text{C}$ 条件下，烘干机烘干效率的提升如式(6)所示。

$$N_0 = \frac{T_1}{t_1} = 4.55 \quad (6)$$

同理，可得到从 25°C 提升至 50°C ($\Delta T = 25^\circ\text{C}$) 和 60°C ($\Delta T = 35^\circ\text{C}$) 时对应的蒸发效率关系，如式(7)、式(8)所示。

$$n(50) = \frac{1}{25} \int_{25}^{50} e^{0.05(T-25)} dT = 3.37 \quad (7)$$

$$n(60) = \frac{1}{35} \int_{25}^{60} e^{0.05(T-25)} dT = 5.06 \quad (8)$$

因此， (50 ± 2) 、 $(60 \pm 2)^\circ\text{C}$ 条件下，烘干机烘干效率的提升如式(9)、式(10)所示。

$$N_1 = \frac{T_1}{t_2} = 6.75 \quad (9)$$

$$N_2 = \frac{T_1}{t_3} = 10.125 \quad (10)$$

式中： t_1 、 t_2 、 t_3 分别表示水带在烘干机 40 、 50 、 60°C 烘干环境下达于干燥所需的时间。

由上式可知，在 (50 ± 2) 、 $(60 \pm 2)^\circ\text{C}$ 烘干条件下，总烘干效率分别提高了 6.75 倍和 10.125 倍。

因此，可得出综合烘干效率的整体提升情况，具体如式(11)所示。

$$N_0 = \frac{N_1 + N_2}{2} = 7.14 \quad (11)$$

式中： N_0 表示综合烘干效率的整体提升。

结合积分分析模型与试验数据，绘制了烘干速率示意图，如图 15 所示。温度升高显著提升了单位时间蒸发效率。其中，理论蒸发效率在 50°C 和 60°C 条件下分别为 3.37 倍、5.06 倍，实际测得的干燥效率分别提高至 6.75 倍、10.125 倍。在综合各项试验条件与计算结果的基础上，经归一化处理，得出本烘干方案较自然晾晒方式在干燥效率上总体提升了 7.14 倍。

在试验中接入终端进行监测与调节，如图 16 所示。

3) 试验结论。经上述试验验证，选择了该烘干方案，如表 2 所示。通过 DHT11 传感器检测不同湿度的水带，经过变频器处理，将测试结果转化为烘干机的相应输出功率进行烘干。同时，根据实际情况设定阈值范围，在节省时间的前提下保证烘干效率^[20]。

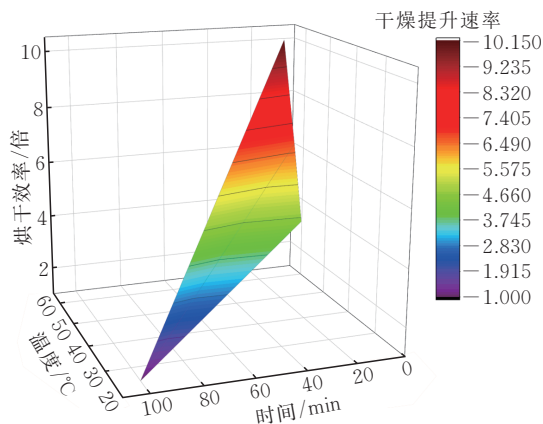


图 15 烘干速率示意图

Fig. 15 Drying rate diagram



图 16 烘干终端操作图

Fig. 16 Operation diagram of the drying terminal

表 2 烘干机输出功率对照表

Table 2 Dryer output power comparison table

湿度范围	烘干温度/°C	烘干机输出功率/kW
<70%	40	3
70%~80%	50	4
>80%	60	5

2.2 光线传感模块性能试验研究

为使该模块能够在不同地区准确识别环境光照强度,并确保其应用的准确性,需要计算光照强度与对应电压之间的关系,从而确定光线阈值范围。受试验地区条件限制,试验采用 Proteus 软件进行仿真验证。

1) 试验设计。本模块中使用 CDS 作为光敏电阻模块。当 CDS 模块接入单片机后,即可检测光照强度信息。

2) 试验过程。如表 3 所示,通过对 25 °C 标准环境进行测试,得出不同天气状况下对应的光照强度。

采用的仿真元件最大测量限度为 1 000 lx,因此

在计算光照强度时,将表 3 中的数据缩小 100 倍进行仿真与计算^[21]。如图 17 所示,对该传感器进行模拟仿真,得到光照强度分别为 1、300、500、800 lx 时对应的电压值,如表 4 所示。

表 3 天气状况与不同光照强度对照表

Table 3 Mapping table of weather conditions and light intensity

天气状况	光照强度/lx
晴天	80 000
薄云天	50 000
多云、阴天	30 000

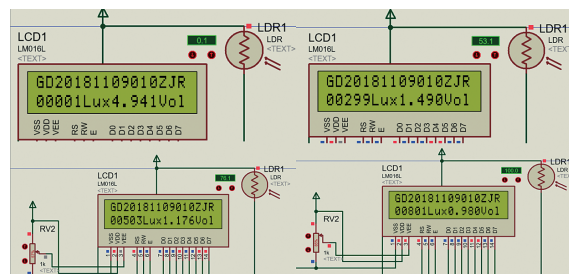


图 17 光线传感器仿真模拟图

Fig. 17 Light sensor simulation diagram

表 4 光照强度与电压对照表

Table 4 Mapping table of light intensity and voltage

天气状况	光照强度/lx	仿真电压/V
晴天	800	0.980
薄云天	500	1.176
多云、阴天	300	1.490
无光照情况下	1	4.941

依据表 4 中的对应关系,可得到如图 18 所示的光照特性曲线。由图 18 可以看出,随着光照强度的增加,所对应的输出电压值会减小,因此使用指数来模拟该函数关系,方程如式(12)所示^[22]。

$$y = a \times e^{-bx} + c \quad (12)$$

式中: y 为输出电压(因变量); x 为光照强度(自变量); a 、 b 、 c 为待定参数值,其中参数 a 表示 $x=0$ 时的初始值,参数 b 表示控制衰变率,参数 c 表示当 $x \rightarrow +\infty$ 时 y 的渐进值。

对光敏电阻进行仿真,选取数据坐标点(1, 4.941)、(100, 2.509)、(200, 1.803)、(300, 1.490)、(400, 1.294)、(500, 1.176)、(600, 1.088)、(700, 1.019)、(800, 0.980)进行计算。由于所选数据点斜率相对较大,为使所得函数更贴近标准值并具有较高精度,拟合过程中避开特殊数据点,最终得到的函数关系如式(13)所示^[23]。

$$y = 3.85 \times e^{-0.009x} + 1.088 \quad (13)$$

拟合函数如图 19 所示。图中各点为原始数据

点,经过拟合计算后得到拟合曲线。该拟合函数能够较好地用于估算光照强度与对应电压的关系^[24]。

3)试验结论。根据上述试验分析得到了光照特性函数。当实际光照强度大于约 50 000 lx 时,即可认为符合自然晾晒条件,可根据实际情况展开箱体进行自然晾晒,从而节省晾晒成本,充分利用环境条件。

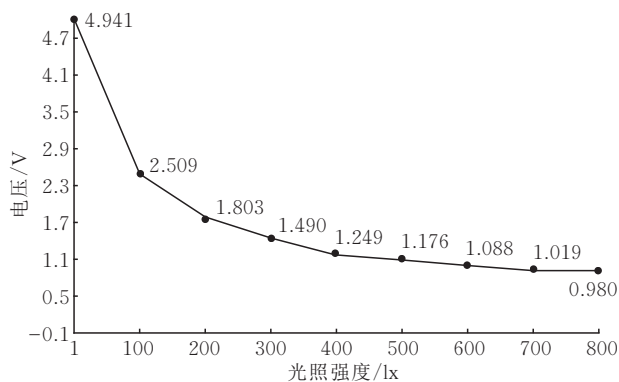


图 18 光照特性折线图

Fig. 18 Line chart of the light characteristic

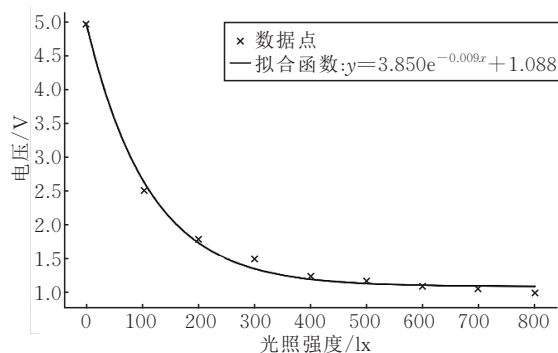


图 19 拟合函数图

Fig. 19 Fitting function diagram

3 结 论

1)开发了基于 5G 的消防水带智能化干燥控制系统,完成了信息层、控制层、设备层 3 部分的具体设计,构建了消防水带干燥机的智能调控框架。

2)明确各装置结构,完成基于棘轮盘自动收卷模块的设计优化,并结合智能化集成调控技术,设计控制优化逻辑,实现智能化优化控制。

3)构建了基于 5G 技术的智能预警与维护云平台,集成云计算、云分析与云存储功能,形成云数据闭环的多终端一体化操作架构,实现智能化监测与分析。

4)进行了水带干燥性能试验研究,明确了温湿度传感器的空间分布和烘干机输出方案;根据光线传感模块测试,明确了光照特性曲线,并得出光照特性拟合函数。

5)本装置提供了一整套标准化的烘干流程,能够

实现自动化操作并减少人为干预。其设计不仅提高了工作效率,也降低了操作复杂性,消防员无需专门培训即可使用,极大地方便了操作并提高了系统稳定性。

参考文献:

- [1] 李永振.带排气及旁通的箱式消防水带热泵干燥系统性能研究[D].青岛:青岛理工大学,2023.
Li Y Z. Research on the performance of a box fire hose heat pump drying system with exhaust and bypass[D]. Qingdao: Qingdao University of Technology, 2023.
- [2] 雷欣雨,刘龙,时豪,等.基于响应面的热泵红外分段干燥消防水带研究[J].消防科学与技术,2025,44(4):532-540.
Lei X Y, Liu L, Shi H, et al. Research on infrared segmented heat pump for fire hose drying based on response surface[J]. Fire Science and Technology, 2025, 44(4):532-540.
- [3] 冯怡然,雷晓静,陶学恒,等.消防水带智能化干燥收卷设备的研发[J].消防科学与技术,2021,40(10):1494-1497.
Feng Y R, Lei X J, Tao X H, et al. Research and development of intelligent drying and rewinding equipment for fire hoses[J]. Fire Science and Technology, 2021, 40(10):1494-1497.
- [4] 韩跃进.基于 TRIZ 理论的水龙带卷收装置创新设计[J].机械研究与应用,2023,36(6):102-104,108.
Han Y J. Innovative design of hose winding device based on TRIZ theory[J]. Mechanical Research & Application, 2023, 36(6): 102-104, 108.
- [5] 刘方.基于模糊控制技术的谷物干燥控制系统研究与设计[J].农业工程,2024,14(11):107-111.
Liu F. Research and design of grain drying control system based on fuzzy control technology[J]. Agricultural Engineering, 2024, 14 (11):107-111.
- [6] 于昊.基于热回收式热泵的消防水带干燥设备性能研究[D].青岛:青岛理工大学,2023.
Yu H. Research on performance of fire hose drying equipment based on heat pump with heat recovery[D]. Qingdao: Qingdao University of Technology, 2023.
- [7] Mohebbi D, Kittleson M M. Remote monitoring in heart failure: Current and emerging technologies in the context of the pandemic [J]. Heart, 2021, 107(5):366-372.
- [8] 付文新,王洪丰.基于 STM32 单片机和 DHT11 温湿度传感器的温湿度采集系统的设计与实现[J].光源与照明,2022,(3): 119-121.
Fu W X, Wang H F. Design and implementation of temperature and humidity acquisition system based on STM32 single chip microcomputer and DHT11 temperature and humidity sensor[J]. Lamps & Lighting, 2022, (3):119-121.
- [9] 杨莹莹,唐朝,卢月静,等.基于单片机的粮仓温湿度检测与示警系统设计[J].农业工程,2025,15(5):126-130.
Yang Y Y, Tang Z, Lu Y J, et al. Design of granary temperature and humidity detection and alerting system based on single chip

- microcomputer[J].Agricultural Engineering, 2025, 15(5):126-130.
- [10] 王维,李赵波.基于单片机的智能大棚的设计与实现[J].微型电脑应用,2024,40(10):46-50.
- Wang W, Li Z B. Design and implementation of intelligent greenhouse system based on microcontroller[J]. Microcomputer Applications, 2024, 40(10):46-50.
- [11] 刘桂杉,李明,王璐.基于模糊PID的麦冬干燥箱温度控制系统设计[J].农机使用与维修,2022,(8):7-12.
- Liu G S, Li M, Wang L. The design of temperature control system for ophiopogon japonicus drying oven based on fuzzy PID[J]. Farm Machinery Using & Maintenance, 2022, (8):7-12.
- [12] 苗虎,周玉成,侯晓鹏,等.木材除湿干燥模糊控制系统的设计与实现[J].林业科学,2014,50(10):99-105.
- Miao H, Zhou Y C, Hou X P, et al. Design and implementation of a fuzzy control system for wood dehumidification drying[J]. Scientia Silvae Sinicae, 2014, 50(10):99-105.
- [13] Chiang T C, Chang C Y, Wang Y W. Single-chip heat-pump control system based on an MCS-51 microcontroller core[J]. Journal of Vibration and Control, 2011, 17(3):347-354.
- [14] 李晨鑫.基于5G的矿用装备远程控制技术研究[J].工矿自动化,2023,49(9):90-97.
- Li C X. Research on remote control technology of mining equipment based on 5G[J]. Journal of Mine Automation, 2023, 49(9):90-97.
- [15] 李亦仲,虎恩典,王振.基于模糊PID的烘干炉温度控制研究[J].仪表技术,2024,(5):74-76.
- Li Y Z, Hu E D, Wang Z. Research on temperature control of drying furnace based on fuzzy PID[J]. Instrumentation Technology, 2024, (5):74-76.
- [16] 唐茂淦.基于OneNET物联网云平台的农田环境监测及远程灌溉系统设计[J].电子制作,2023,31(5):39-43.
- Tang M S. Design of farmland environment monitoring and remote irrigation system based on OneNET Internet of Things cloud platform[J]. Practical Electronics, 2023, 31(5):39-43.
- [17] 张旭辉,鞠佳杉,杨文娟,等.基于数字孪生的复杂矿用设备预测性维护系统[J].工程设计学报,2022,29(5):643-650,664.
- Zhang X H, Ju J S, Yang W J, et al. Predictive maintenance system for complex mining equipment based on digital twin[J]. Chinese Journal of Engineering Design, 2022, 29(5):643-650, 664.
- [18] Guo L Q. Research on single chip microcomputer teaching platform based on wireless communication[J]. Concurrency and Computation: Practice and Experience, 2022, 34(13):e5895.
- [19] 张倩,任秀丽.基于信任机制的无线传感器网络可靠传输路由协议[J].计算机应用研究,2022,39(5):1514-1518,1533.
- Zhang Q, Ren X L. Trust-based reliable transmission routing protocol for wireless sensor network[J]. Application Research of Computers, 2022, 39(5):1514-1518, 1533.
- [20] Pepe M, Alfio V S, Costantino D. UAV platforms and the SfM-MVS approach in the 3D surveys and modelling: A review in the cultural heritage field[J]. Applied Sciences, 2022, 12(24):12886.
- [21] 秦红红,龙敏.光敏电阻传感器在照明节能设计中的应用[J].电子技术,2023,52(8):28-30.
- Qin H H, Long M. Application of photoresistive sensors in lighting energy saving design[J]. Electronic Technology, 2023, 52(8):28-30.
- [22] 孟祥毅,刘艳秋,王静,等.消防水带清洗晾晒技术与装备的研究进展[J].机械,2021,48(5):7-14.
- Meng X Y, Liu Y Q, Wang J, et al. Research progress on cleaning and drying technology and equipment of fire hose[J]. Machinery, 2021, 48(5):7-14.
- [23] Wang Y, Zhang L, Chen X, et al. Machine learning-based prediction of flashover in compartment fires using multi-sensor data fusion[J]. Fire Technology, 2024, 60(2):1023-1048.
- [24] 张靖,单长吉,朱豪.光纤角度传感器及其非线性补偿技术的研究[J].应用激光,2024,44(10):170-178.
- Zhang J, Shan C J, Zhu H. Research on optical fiber angle sensor and its nonlinear compensation technology[J]. Applied Laser, 2024, 44(10):170-178.

(责任编辑:彭燕华)