

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2005371

枪弹存储环境低功耗监测预测系统

李志文

(武警工程大学 西安 710086)

摘要: 针对传统的枪弹存储环境监测装置存在监测实时性差及功耗较高和检测精度不高、无预测或者预测不准确等问题,设计了一款能够实时监测和预测枪弹存储各位置温湿度的系统。利用无线传输、低功耗等技术,实现了各测量节点的环境信息的实时采集,通过最大相似日算法实现环境信息预测,并在数据后台显示。装置在运行过程中功耗较低,一节2700 mAH 电池理论使用时间可达6年,测量结果精度达到 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及 $\pm 2\text{RH}\%$,预测精度则达到 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及 $\pm 5\text{RH}\%$ 。实验结果表明,该监测装置可实时监测枪弹存储位置的环境温湿度并信息进行有效的温湿度预测,具备实时性好,测量精度高,预测准确等优势,有效解决了枪弹存储中的环境下信息监测难、预测精度不高的问题。

关键词: 低功耗;在线监测;最大相似日模型;温湿度预测;枪弹存储

中图分类号: TN709 文献标识码: A 国家标准学科分类代码: 470.40

Low power environmental monitoring and forecasting system for arms and ammunition storage

Li Zhiwen

(Engineering University of CAPF, Xi'an 710086, China)

Abstract: A real-time monitoring and prediction system of temperature and humidity at each location of bullet storage is designed to aim at the problems of poor real-time monitoring, high power consumption, low detection accuracy, no prediction or inaccurate prediction existing in the traditional bullet storage environment monitoring device. The real-time collection of environmental information of each measurement node is realized by using wireless transmission and low power technology. The environmental information is forecasted by using the maximum similar day algorithm and displayed in the background. The power consumption of the device is low during operation, and the theoretical service time of a 2700 mAH battery can reach 6 years. The accuracy of measurement is $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $\pm 2\text{RH}\%$, and the accuracy of prediction is $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ and $\pm 5\text{RH}\%$. The experimental results show that the monitoring device can real-time monitor the environment temperature and humidity of the bullet storage location and effectively predict the temperature and humidity. It has the advantages of good real-time performance, high measurement accuracy, accurate forecasting and other advantages, which effectively solves the problems of difficult information monitoring and low prediction accuracy in the environment of arms and ammunition storage.

Keywords: low power consumption; on-line monitoring; maximum similar day model; temperature and humidity prediction; arms and ammunition storage

0 引言

枪弹的存储对其环境要求比较高,在温度湿度较高时容易使得枪弹内的金属部分锈蚀影响枪弹的性能。枪弹大多是一批生产大量的弹药,经过一段时间的存储之后,再投入到部队当中所使用,在存储的过程中,因为其隐蔽性的要求,大多存在于深山老林,地下深洞之中,在这些地方环境下湿度较大,弹药存储在这种环境下时,其金属外壳和金属

部件极易受到环境信息的影响发生锈蚀的情况,影响枪弹的作战使用性能,造成非战斗性损失^[1-2]。为了解决这些常见的问题,世界各国都对枪弹的存储环境进行了监测,减少这些非战斗性损失的,但是我国的研究起步较晚,且测量精度比较低,功能简单,没有预测功能等^[3-4]。为了解决上述存在的问题,本文设计了一种监测和预测装置,其采用无线数据传输的方式对枪械存储环境进行温湿度的监测,并通过以太网的方式发送至数据后台,可以实现远程监测的功

收稿日期:2020-11-17

• 160 •

能,同时通过预测算法的加入,可以对枪弹存储环境进行温湿度信息的较精确的预测,具备实时性好,测量精度高,预测准确等优势。有效地解决了枪弹存储环境监测预测难的问题,对于监测枪弹的存储环境,减少非战斗性损失具有重要意义。

1 低功耗升温监测系统

本文设计的枪弹存储低功耗升温监测装置由监测从机、监测主机、数据后台三大功能模块构成^[5-6],其整体工作原理如图 1 所示。

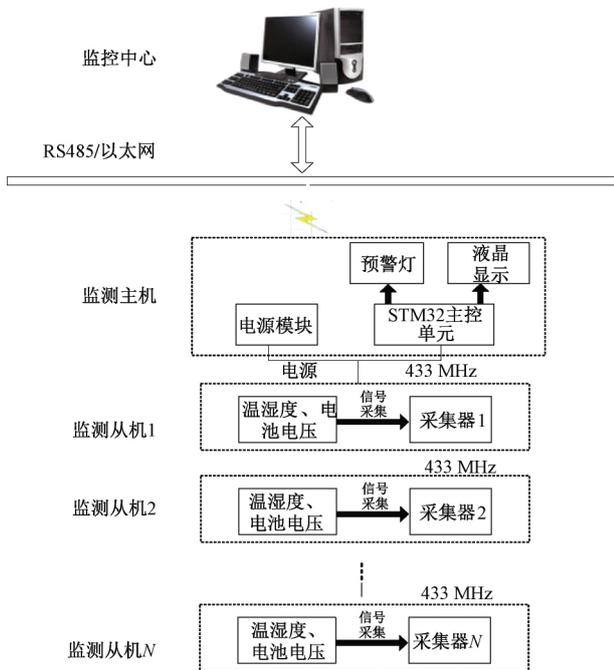


图 1 系统整体工作原理

考虑到工作环境特殊性,监测从机设计过程严格按照低功耗设计,保证监测从机长时间的安全稳定运行。监测从机与监测主机之间的通信采用 433 MHz 无线通信技术,无线通信技术及从机的小型化设计既保证了监测从机安装的灵活性,也降低了监测从机安装对布线的要求,减少因为布线问题对枪弹存储布局的影响。也杜绝因为电火花造成存储安全事故的可能性。监测主机的主要功能是对监测从机数据的汇集、显示、存储和处理,通过无线技术对一定区域范围内的监测从机数据汇集,根据监测数据与后台专家软件或者人工设置的报警阈值比较,可实现报警的功能。数据后台完成对数据存储和运算,植入所搭建模型,完成数据预测。

1.1 监测从机设计方案

监测从机的功能是对枪弹存储室内各节点的温湿度进行测量并进行简单的故障诊断,同时对电池电压进行监测,便于在电池电量即将耗尽时做出报警,提醒用户更换电池。

鉴于监测从机工作环境特殊,平时在使用过程中应尽量延长装置的使用时间,减少装置的维修更换频率。因此

在设计过程中,从单片机的选型^[7-8]、各模块的电路设计,都严格控制功耗。监测从机原理如图 2 所示,CPU 采用具有低功耗设计的 STM8L151K4T6 单片机,监测从机与监测主机之间的通信采用 433 MHz 无线通信技术。

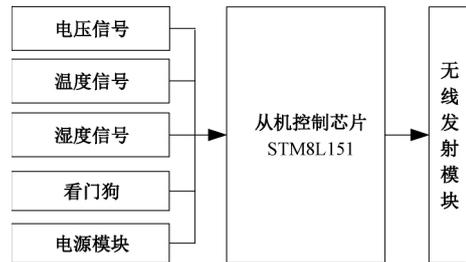


图 2 监测从机原理

监测从机在运行过程中,需要定期对枪弹存储仓库的环境信息进行采集,保证监测数据的有效性。但是单片机的 AD 采样、无线模块、稳压电路等在运行过程中都会产生极大的功耗,这与低功耗的设计极为不符。因此在程序运行的过程中需要关闭,在必要的时刻才会使能外设。在监测从机的程序设计中引入了单片机的低功耗配置,将全部外设使能或进入低功耗设置,间隔 1 s 时间唤醒单片机执行喂狗,阻止看门狗复位。间隔 10 s 使能一次温度采集模块,并与上次存储的温湿度数据比较,判断有无温湿度异常。若无异常情况,则再次进入休眠模式,直至达到 5 min 定时,将采集到的温湿度数据滤波拟合、上传至监测主机,具体工作流程如图 3 所示。

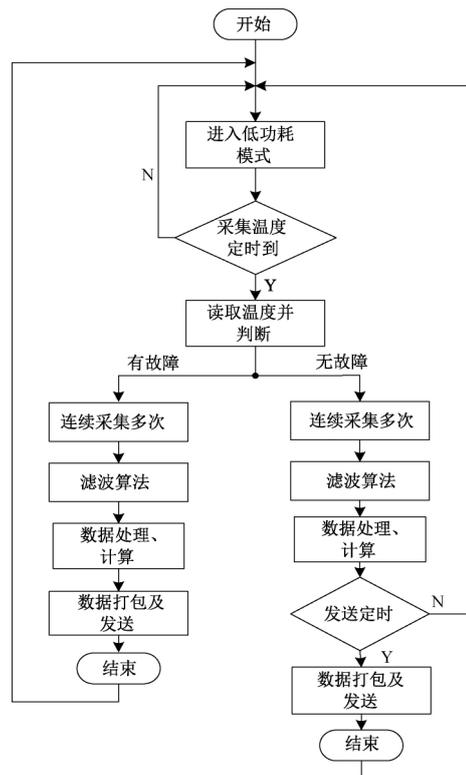


图 3 监测从机流程

1.2 监测主机设计方案

监测主机通过 SHT715 温湿度传感器对环境温度进行实时监测^[9-10],在记录枪弹存储仓库的环境信息的同时,为监测仓库的环境信息的计算提供参考。通过与主机所处环境温度的比较,仓库信息的监测信息更具有参考价值。监测主机还设计有时钟、报警指示灯等功能。并设置有工业级的电阻式触摸屏,可以实时的显示环境温湿度、各监测节点的温度、湿度、电池电压等数据,以及故障报警信息的查询,并可以通过液晶屏键入报警阈值。监测主机还定时的通过 RS485 或者以太网方式将数据上传至数据后台进一步处理,其工作原理如图 4 所示。

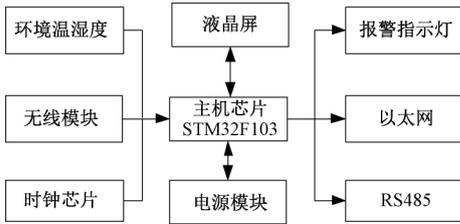


图 4 监测主机原理

监测主机主要实现将对应的从机数据汇总显示、存储并上传至通信后台。因为监测从机数量大且对于发送时间并不固定,因此主机需要一直处于接收模式,才能保证数据的实时性和稳定性。为了能够保证温升数据的实时性,装置植入 UCOS-III 操作系统。主机上电初始化后,一直处于各任务之间的调度中,主要任务有串口读取任务,用来读取液晶屏和数据后台发送的数据;从机接收任务,用于接收从机的信息;人机交互任务;后台数据上传任务。主机在接收到从机数据之后,判断从机监测位置是否有故障。没有故障则继续接收,等待定时时间到,出现故障则及时上传液晶、后台,并显示故障信息。监测主机工作流程如图 5 所示。

1.3 数据后台

数据后台采用 VC++ 实现数据的存储显示和阈值的下发^[11],进行数据分析,同时实现故障预测,并可根据温度数据进行故障预测。数据后台与监测主机都可以根据实际情况,设置不同的对应关系。目前一个数据后台对应一个监测主机,一个监测主机对应多个测温节点。监测主机与

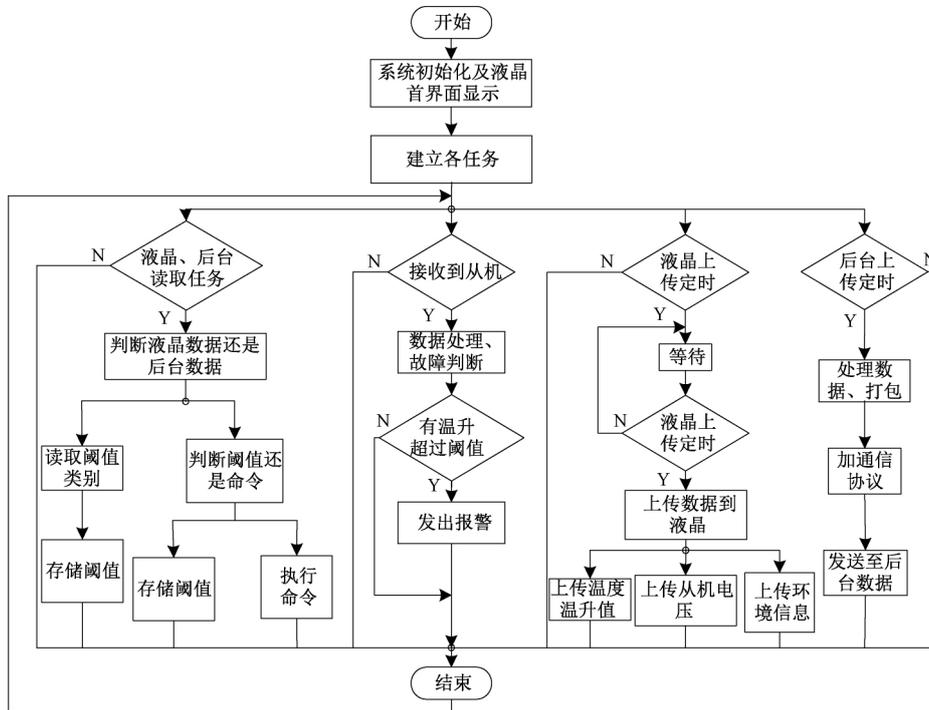


图 5 监测主机流程

监测从机采用 433 MHz 无线通信技术,监测主机与后台采用 GPRS 通信的方式进行。

2 温湿度预测

提前精确预测弹药库温度变化趋势,提前预知弹药存储的环境状态,在恶劣天气出现之前及时发现异常,预留出足够时间应对恶劣存储环境的存在,减少因反应迟缓,造成的弹药枪械在恶劣环境下造成的精度、性能的下降,

这对延长弹药的保存寿命、保持枪械的使用性能具有重大的意义。

2.1 监测数据预处理

环境信息的监测信号在传输过程中不可避免地存在同步偏差、传输错误和信道噪声等问题,造成监测数据失真,即产生离群点,本文采用基于最大标准残差检验去除离群点数据^[12]。

对于数据集中的每个对象 x , 定义 z 分数为:

$$z = \frac{|x - \bar{x}|}{s} \quad (1)$$

其中, \bar{x} 是输入数据的均值, s 是标准差, 对象 x 是离群点, 如果满足式(2), 则被认为是离群点。

$$z \geq \frac{N-1}{\sqrt{n}} \sqrt{\frac{t_{\alpha/(2N), N-2}^2}{N-2+t_{\alpha/(2N), N-2}^2}} \quad (2)$$

其中, $t_{\alpha/(2N), N-2}$ 是显著水平 $\alpha/(2N)$ 下的 t 分布的值, N 是数据集中的对象数。

例如, 以温度为例, 在一组温度数据中人为的把 23.4、24.5 变为奇异点数据 15 和 17, $X=[23.5, 23.7, 25.6, 24.5, 22.4, 23.0, 24.3, 23.4, 24.5, 23.4, 22.9, 25.4]$ 首先用式(1)计算 z 值, 用根据式(2)判断是否为离群点, 接着剔除离群点数据 15、17, 如图 6 所示较好地还原了真实数据。

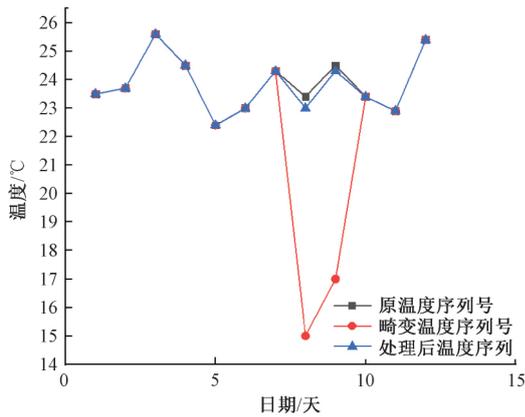


图 6 奇异点数据处理

为了提高数据测量精度, 将剔除离群点后数据进行拟合。设线性区间有一组数据 (x_i, y_j) , 其中 $j = 0, 1, 2, 3, \dots, n$; 多项式拟合函数为:

$$\psi(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + e \quad (3)$$

其中, e 是观测值与拟合模型值之间的残差, 根据最小化残差的平方和:

$$S = \sum_{i=1}^n e_i^2 = \sum_{i=1}^n (y_i - a_0 - a_1x_i - a_2x_i^2)^2 \quad (4)$$

依次 S 对 a_0, a_1, a_2 的导数, 求出拟合函数, 如图 7 所示, 图中可以看出数据预处理效果很好。

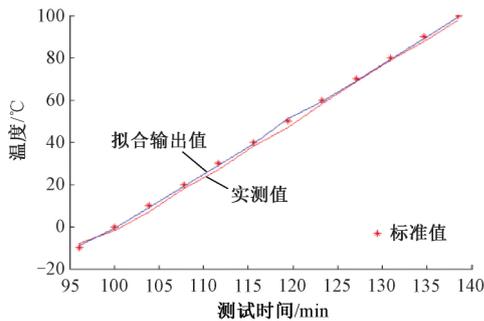


图 7 温度拟合结果

2.2 最大相似日法预测

本文利用相似日(通过某种函数证明与预测日最有可能相关的若干日)的数据对环境的温湿度进行预测。首先把相关因素进行了量化, 使其具有数值上的可比性。但是传统量化数值, 一般只凭经验量化, 本文采用专家判断、客观分析相结合的方法获取各相关因素客观权重, 进而保证了相似日求取的合理性^[13-14]。相似日与待预测日相似的程度不同, 对预测日贡献也不同, 为此本文将相似日赋予不同权重。

1) 相似日相关因素的量化

环境温湿度主要受负天气、温度、降雨量、海拔、气象、日循环等因素的影响, 且温湿度具有累计效应。为此本文主要考虑日类型、气象和日期差 3 个因素。

日类型主要指的是日天气类型, 日天气类型包括晴、多云、阴天、雨、雪, 通过对 EUNITE 竞赛数据特性分析发现, 晴、多云与雪、阴与雨之间的温湿度特性较接近, 故设定映射值分别为 0.3、0.5、0.7, 降雨量对于温湿度的影响是比较打的因此应设值选用的是 0.9; 在忽略其他因素的情况下, 历史日距离预测日越近, 温度特性往往越接近, 即所谓的“近大远小”。

2) 相似日的选择

选近期 15 天的日类型、气象和日期差以及整点时刻的温湿度数据作为预测样本集。原因是过大的选择范围会延长选择时间, 降低预测效率; 而温湿度这种具有累积效应的值短期数据无法有效表征其特征。设第 i 日量化后, 由以上 3 个影响因素组成的向量为 $H_i = [h_{i1}, h_{i2}, h_{i3}]$, 通过聚类分析法计算出历史日与待预测日的相似度 r_{ij} , 该方法将抽象的相似度通过 r_{ij} 来量化其具体大小数值。

$$r_{ij} = \frac{\sum_{k=1}^3 (H_{ik} \cdot H_{jk})}{\sqrt{(\sum_{k=1}^3 H_{ik}^2) \cdot (\sum_{k=1}^3 H_{jk}^2)}} \quad (5)$$

3) 权重系数的确定

各相似日的权重系数是本文预测的关键, 将直接影响预测精度。传统方法是把相似日赋予相同权重, 但事实上相似度不同, 对预测日贡献也不同。为了使预测结果与实际数据误差的平方和达到最小值, 本文利用序关系分析法求取相似日的不同权重系数, 具体步骤如下^[15]。

(1) 选取由聚类分析法求出的相似度最大的 5 日作为相似日, 且其相似度具有序关系 $w_1 > w_2 > w_3 > w_4 > w_5$, w_1, w_2, w_3, w_4, w_5 为权重。

(2) 求出专家关于评价指标与的重要程度之比 $r_2 =$

$$\frac{w_1}{w_2}, r_3 = \frac{w_2}{w_3}, r_4 = \frac{w_3}{w_4}, r_5 = \frac{w_4}{w_5}$$

(3) 求分权重 $y_1 = r_2 * r_3 * r_4 * r_5, y_2 = r_3 * r_4 * r_5,$

$y_3 = r_4 * r_5, y_4 = r_5$

(4) 总权重导数:

$$y^- = r_2 * r_3 * r_4 * r_5 + r_3 * r_4 * r_5 + r_4 * r_5 + r_5$$

(5) 求出各相似日的序权重:

$$\begin{aligned} w'_5 &= y^-, w'_4 = y^- * r_5, w'_3 = w'_4 * r_4, w'_2 = w'_3 * r_3, \\ w'_1 &= w'_2 * r_2 \end{aligned}$$

3 实验结果分析

为了验证所设计的枪弹存储环境低功耗监测预测系统的性能,开展了一些的实验验证分析。

3.1 低功耗实验

低功耗测试实验主要针对监测从机各个模式下的持续时间、功耗电流进行测量,以此判断其低功耗性能。监测从机正常工作时有 4 种工作模式,低功耗模式持续时间较长,消耗较大,其他 AD 采样、喂狗、数据发送模式,电流较大持续时间较短,本文采用高精度万用表直接测量低功耗模式下的功耗电流,低功耗测试如图 8 所示。

由测量实验数据可得,监测从机在低功耗模式下电流为 $8 \mu\text{A}$ (不到 $8 \mu\text{A}$,用 $8 \mu\text{A}$ 计算),数据采样模式下,电流为 4 mA ,持续时间为 100 ms 。在发送模式下时,电流为 35 mA ,持续时间为 100 ms 。1 h 总的能量消耗 W 为:

$$W = W_L + W_{AD} + W_T = 0.0288 + 0.114 + 0.042 = 0.1848 \text{ W}$$

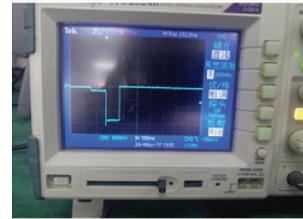
使用的电池是 2700 mAH 的容量,则可以使用的的时间 T 为:

$$T = \frac{W_{\text{电池}}}{W} = \frac{2700 \times 3.6}{0.1848} = 52597 \text{ h} = 6 \text{ 年}$$

3.2 温湿度测量实验

本文在枪械存储室内进行了环境温湿度之间的测试,验证装置温湿度测量的精度,及温湿度预测的可行性。

装置的监控从机与主机之间采用 433 MHz 通信,主要



(a) 发送模式测试



(b) 低功耗模式测试



(c) 温湿度测试模式

图 8 低功耗测试实验平台

是对存储室内多个位置的温湿度进行分布式的监测,通过周围设置加热器和加湿器的方式,模拟周围环境温湿度的变化值,同时,在每个测量位置周围采用人工温湿度测量的方式进行对比实验,以验证本文所设计装置的测量精度。数据测量如表 1 所示。

表 1 试验数据分析

从机号	监测点 实际温度/ $^{\circ}\text{C}$	监测点 测量温度/ $^{\circ}\text{C}$	监测点 实际湿度/ $\% \text{RH}$	监测点 测量湿度/ $\% \text{RH}$	温度误差率/ %	湿度误差率/ %
1	35.4	35.6	65.3	64.6	0.56	1.07
2	35.2	35.4	65.5	65.9	0.57	0.61
3	35.1	35.4	60.3	58.6	0.85	2.82
4	36.4	36.5	70.3	72.2	0.27	2.70
5	36.1	36.0	55.3	55.4	0.28	0.18
6	36.5	36.4	65.7	63.9	0.27	2.74
7	36.6	36.8	63.6	61.8	0.55	2.83
8	36.2	36.5	65.1	66.7	0.83	2.46
9	36.4	36.4	64.8	63.3	0.00	2.31

测量结果相比,监测装置具有较好精度,可以满足系统对温湿度的测量要求。

同时对于温度预测性能的预测,与上述实验相同,通过系统对采集到数据的训练处理,得到温度上升趋势的预测,热平衡模型能考虑到温度随时间的积累效应。设计测量温度与系统预测结果对比显示如图 9 所示,温度发展趋

势相同,且精度较好。

同时预测模型得温湿度上升趋势的预测,设计测量湿度与系统预测结果对比显示如图 9 所示,温湿度发展趋势相同,且精度较好。

由图 9 可知,本文设计枪弹存储环境温湿度监测与预测系统能够较好地完成环境温湿度的测量,且预测结果较

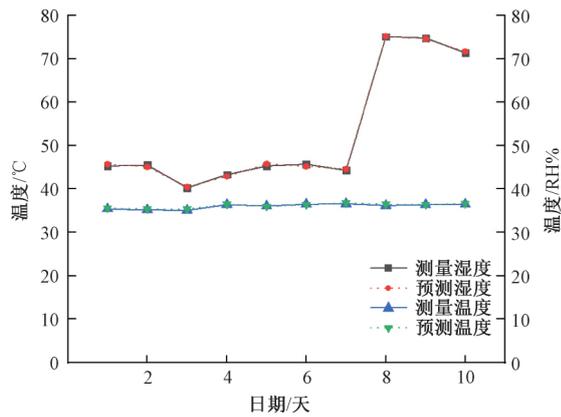


图9 环境温湿度预测对比

准确,测量结果精度达到 $\pm 0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及 $\pm 2\text{RH}\%$,预测精度则达到 $\pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及 $\pm 5\text{RH}\%$,在一定可接受范围内。

4 结 论

枪弹保持良好的性能是保持有效战斗力的前提,而枪弹存储过程中因为环境室度过高的情况造成的金属外壳和金属结构锈蚀问题十分严重。本文借助分布式传感器和无线传输技术完成对枪械存储环境温湿度信息的采集,运用以最大标准残差为核心的算法完成信号离群点的处理,并通过最大相识日的预测方法实现枪弹存储环境温湿度的预测。实验结果表明,本文所设计系统能实时在线的完成枪弹温湿度采集和设备温度发展趋势的预测,且具有较高的测量和预测精度,对枪弹存储过程中减少非战斗性损失具有重要意义。

参考文献

- [1] 曲江泉. 基于 ARM 处理器弹药库环境智能监测系统的研究[D]. 太原:中北大学,2019.
- [2] 王佳. 弹药性能受温湿度影响研究[J]. 电子世界, 2019(11):109.
- [3] 李文涛,姚加飞,张哲. 野战弹药存储方舱的自适应模糊温湿度控制[J]. 化工自动化及仪表, 2013, 40(5): 606-609,623.

- [4] 高欣宝,黄春光,向红军. 包装对弹药装备保障的影响分析及其发展策略[J]. 包装工程, 2013, 34(17): 121-124.
- [5] 董勋凯,温宗周,张阳阳,等. 基于 6LoWPAN 和模糊控制的实时输液监护系统[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2018, 18(5): 80-82,87.
- [6] 黄松涛,耿琳,黄再辉,等. 基于液晶和触摸屏的数字电源人机交互系统设计[J]. 电子测量技术, 2012, 35(12): 87-89,98.
- [7] 杨楠楠,代阳,陶伟伟. 基于单片机的防压伤机床夹具及控制系统设计[J]. 国外电子测量技术, 2020, 39(11): 117-121.
- [8] 鲁文帅,刘睿,周扬,等. 基于单片 TMR 磁传感器的非侵入电流监测微系统[J]. 仪器仪表学报, 2020, 41(6): 1-9.
- [9] 陈俊光,李运华,李运泽,等. 货运飞船智能温湿度测量系统构建和实验[J]. 航空动力学报, 2015, 30(11): 2746-2752.
- [10] 于克生,别少伟. 无线温湿度采集系统的 Linux 驱动程序设计[J]. 电子测量技术, 2012, 35(12): 71-74.
- [11] 郝真鸣,葛卫华,郝晋渊,等. 嵌入式电梯运行状态监测系统研究[J]. 电子测量与仪器学报, 2019, 33(8): 187-193.
- [12] 黄新波,薛智鹏,田毅,等. 高压开关柜热故障预测策略及其应用[J]. 电力自动化设备, 2019, 39(7): 181-187.
- [13] 刘振兴,程韧刚,马伟哲,等. 基于影响因素的相似日智能选取方法研究[J]. 电工技术, 2020(13): 38-41.
- [14] 杨锡运,刘欢,张彬,等. 组合权重相似日选取方法及光伏输出功率预测[J]. 电力自动化设备, 2014, 34(9): 119-123.
- [15] 李啸骢,李春涛,从兰美,等. 基于动态权值相似日选取算法的短期负荷预测[J]. 电力系统保护与控制, 2017, 45(6): 1-8.

作者简介

李志文,助教,主要研究方向为嵌入式技术、装备保障。
E-mail: 970444127@qq.com