基于云端的注塑机参数监测系统研究与设计

陈烁夷1，张辉1，张阳1，屈大明2

（1.合肥工业大学 仪器科学与光电工程学院，合肥市 230009，

2. 天津大学 精密仪器与光电子工程学院，天津市 300072）

摘 要：针对目前在注塑生产过程中的模具受力不均、夹紧力不足的问题，提出了一种利用ZigBee和NB-IoT结合的云端注塑机锁模力监测系统。通过对注塑机四根格林柱上的锁模力进行监测，可以分析出当前格林柱的受力情况，以提高塑料产品的质量、延长模具和注塑机的使用寿命。系统使用应变电测法测量系统的锁模力，通过8个无线锁模力监测设备完成4根格林柱锁模力的在线监测，使用ZigBee实现监测设备和网关设备的无线网络连接，并通过NB-IoT将测量数据上传至云端，实现数据的云端管理。通过实际测试，该系统可有效地解决由于锁模力不均造成的注塑生产问题，提高产品质量，降低产品不良率。

关键字：NB-IoT；ZigBee；注塑机；锁模力；

Study and Design of Cloud-based

Injection Machine Parameter Monitoring System

ZhangHui1, ChenShuoyi1, ZhangYang1, Qu Daming1

（1.Hefei University of Technology, School of Instrument Science and Optoelectronic Engineering, Hefei 230009

2.Tianjin University, School of Precision Instruments and Opto-Electronics Engineering, Tianjin 300072）

**Abstract:** Aiming at the problems of uneven force and insufficient clamping force of the mold in the injection molding production process, a clamping force monitoring system for the injection molding machine based on the combination of ZigBee and NB-IoT was proposed. By monitoring the clamping force on the four Green Columns of the injection molding machine, the current force of Green Columns can be analyzed to improve the quality of plastic products and extend the service life of the mold and injection molding machine. The system uses strain electrical measurement to measure the clamping force of the system. The online monitoring of the clamping force of 4 Green Columns is completed through 8 wireless clamping force monitoring devices. The wireless network connection between the monitoring device and the gateway device is achieved using ZigBee. NB-IoT uploads measurement data to the cloud to achieve cloud data management. Through actual testing, the system can effectively solve the problem of injection production due to uneven clamping force, improve product quality, and reduce product failure rates.

**Keywords:** NB-IoT; ZigBee; Injection molding machine; Clamping force;

1. 引言

从近十年的塑料制品行业发展中可以看出，我国塑料制品仍保持快速发展态势，产销量均居于全球首位。据统计，80%的塑料加工都是利用注塑成型的原理制成，而我国也成为世界注塑机台件生产的第一大国。随着人们对于产品性能、产品外观要求的不断提高，对注塑机的生产也提出了更高的要求。锁模力正是在注塑生产过程中的一项重要参数。锁模力是指注射熔融塑料时为克服型腔内熔体对模具的涨开力，注射机施加给模具的锁紧力。在塑料产品的生产过程中，通常需要对注塑机的实际锁模力进行监测，以保证四根格林柱所承受的锁模力的均匀性，延长设备寿命，提高产品质量。而测量传感器和测试仪之间，采用ZigBee无线通讯，避免了传统有线连接中线缆较多、不利于安装维护、扩展性差等不足。

目前对于工厂内多台注塑机无线监控，大多采用WiFi无线网络技术。虽然WiFi网络可以提供热点覆盖、低移动性和高数据传输速率，但是WiFi技术传输距离短和信号穿透能力差的特点同样也是不可克服的。这也使得整个工厂所有车间的WiFi覆盖价格较高。而NB-IoT是全球第三代合作伙伴提出的面向长距离、低速率、低功耗、多终端业务的物联网技术，具有低功耗、低成本、高覆盖、强连接四大优势，成为最适合长距离、多终端物联网业务的通讯技术。

本文设计一种基于NB-IoT通讯和ZigBee通讯相结合的注塑机参数监测系统，实现对于注塑机生产过程中四根格林柱施加的锁模力参数进行实时监测及预警，保证模具受力的合理性和均匀性，从而提高产品质量，降低产品不良率。

1. 系统整体设计
   1. 测量原理

系统利用磁吸附式应变传感器对注塑机的四根格林柱上的锁模力进行测量。磁吸附式应变传感器具有安装容易，可重复使用，响应迅速，对应用环境要求宽松等优点，因此被广泛应用于注塑机锁模力调试与试模使用。传感器以半桥电路上对称的应变片作为其敏感单元，利用应变片受力变形的特性，将应变片变形导致的电阻变化转化为电压变化输出，其工作原理如图1所示。使用时，将传感器吸附在格林柱上，通过测量格林柱的形变，即可计算注塑机锁模力的大小。



图1 传感器工作原理图

Fig.1 Sensor Working Principle Diagram

* 1. 网络架构

注塑机参数监测系统，在整体上是存在“一个工厂——多个注塑加工车间，一个注塑车间——多台注塑机”的双重一对多的结构。一台注塑机也相应对应着一个测量网关，一个网关相应获取多个传感器测量数据。基于此结构，系统以物联网技术为基础建立系统网络架构如图2所示。依据功能不同，系统架构可被划分为4层，即终端层、网络层、数据层和应用层。

**终端层** 就是指由各种传感器构成的监测终端。以注塑机为单位，每一台监测终端都对应一台注塑机，完成注塑机关键参数的监测功能。在注塑生产过程中，锁模力监测、温度监测、压力监测、注射时间监测等都是注塑过程的重要环节，而这些都是需要通过监测终端进行测量，所以考虑系统的易扩展、易维护，以及现场安装方便，此处选用ZigBee构成测量传感器与测量终端之间的无线连接。该层主要实现关键参数数据的采集、短期数据的存储、数据的简单处理与计算、传感器的配置等功能。感知层作为系统的测量基础，是测量数据的主要来源，直接决定整个系统测量数据是否准确、可靠。



图2 系统网络架构框图

Fig.2 Hardware Circuit Design Block Diagram

**网络层** 就是由各种传输网络组成。系统选用NB-IoT无线网络，相应网络层即由NB-IOT基站、NB-IoT核心网、IoT管理平台等组成。NB-IoT基站是移动通信中组成蜂窝小区的基本单元，即通过运营商网络连接的NB-IoT终端用户设备必须在基站覆盖的范围内才能连接，这也正说明了NB-IoT是工作在运营商的许可频段下的低功耗广域网技术。也就是说，从理论上来讲，其网络节点数目仅受基站容量限制。此外NB-IoT网络的另一大特点就是其数据采集后，可以直接被上传至云平台，无需在中间配置网关设备，其能够实现自组网。其“端到云”的网络实现方式，使得对于不需要本地服务器的用户开发更加方便，数据可以直接传输至云平台，实现数据的云端处理。网络层是数据的传输通道，其稳定可靠是系统能够正常工作的重要保障。

**数据层** 是实现数据的正确、妥善管理与网络维护、保障网络运行稳定的软件。在系统中，数据层主要指云服务器端软件，完成数据的存储、分析和维护工作。按照既定的通讯协议，其接收网络层传输的数据信息，并将数据进行处理、分析后，存储至数据库中。系统中云端数据库使用的是MySQL数据库，其具有功能强、使用简单、管理方便、运行速度快、安全可靠性强等特点。而在云端部署方面，考虑到后续网站开发，使用APACHE、PHP和MySQL组合部署，其三者是架构数据库驱动的动态网站的最佳组合。数据层主要实现数据的存储、分析功能，并为后续应用层提供访问接口，使用户能够快速获取数据。

**应用层** 就是指面向用户操作的应用软件。依据不同需要，用户可以通过各种终端设备对其进行访问，从而获取测量数据及相应的数据分析结果。系统中，将提供使用灵活、无需安装Web网页和便捷、成本低手机的微信小程序两种访问方式，并针对不同级别用户的不同关注点进行区分显示，最大程度满足用户需求。应用层是系统信息的集中表现，面向用户显示注塑机参数的测量结果与分析结果，使用户能够直接查看测量情况。其界面的便利性、友好型，用户操作的简单、方便、实用也就尤为重要。

1. 系统硬件设计

系统的硬件设计主要包括两个部分，即监测设备的硬件设计和网关设备的硬件设计，监测设备与网关设备之间通过ZigBee进行通讯，基于CC2530芯片设计。它结合了高性能的2.4GHz直序列扩频（DSSS）射频收发器和一个高性能低功耗的8051微控器，用于搭建功能健全价格低廉的网络节点。

* 1. 监测设备硬件设计

监测设备主要完成对于注塑机的锁模力进行监测，并将监测信息通过ZigBee网络发送至网关设备。监测设备每2个为一组，总共有4组共8个设备，完成对注塑机4根格林柱的受力状态监控。同时，它们本身也具备数据存储功能，以记录节点设备编号等信息。监测设备使用2节AA电池供电，硬件电路部分主要包括电源管理电路、CC2530最小系统电路、传感器信号处理电路、数据存储电路、按键输入及LED显示电路，如下图3所示。



图3 监测设备硬件设计框图

Fig.3 Monitor Hardware Design Block Diagram

* 1. 网关设备硬件设计

网关设备使用CC2530和GD32F103双MCU。其中，CC2530的功能是创建ZigBee网络并接收来自监测设备的数据，然后通过串口将数据传输至GD32F103。GD32F103则负责进行数据处理并将数据发送至NB-IoT网络节点，NB-IoT网络节点再将数据上传至云服务器。同时，它也具备串口通讯以及人机交互功能。网关设备使用注塑机电源直接供电，硬件电路设计部分主要包括电源管理电路、CC2530最小系统电路、数据储存电路、按键输入及LED显示电路、GD32F103最小系统电路、按键输入及LCD显示电路、串口通讯电路以及NB-IoT节点接口电路等。其硬件系统框图如下图4所示。



图4 网关设备硬件设计框图

Fig.4 Gateway Hardware Design Block Diagram

1. 系统软件设计

整个系统的软件所需要实现的功能主要分为5个部分，即传感器数据的采集、无线网络连接及数据的传递、传感器数据的处理、人机交互功能以及数据的云端上传功能，整个系统的软件结构框架如图5所示。



图5 系统软件结构框图

Fig.5 System Software Block Diagram

监测设备完成传感器数据的采集，并通过ZigBee网络将传感器数据传送给网关设备。在收到8个监测设备的数据之后，网关设备对这些传感器数据进行处理，最终计算出注塑机4根格林柱的锁模力信息，同时，系统可以通过按键和液晶屏幕进行一些功能设置以及数据显示，实现系统的人机交互功能。最后，网关设备的控制器通过串口将锁模力信息发送至NB-IoT网络节点，使用NB-IoT技术实现数据的云端上传，并通过制定合适的通讯协议进行数据的解析，进而实现对注塑机锁模力状态信息的云端管理。系统的软件流程图如下图6所示。



图6 系统软件流程图

Fig.6 System Software Flow Chart

网关设备的控制芯片使用串口中断接收监测节点传感器数据，经过数据处理之后，将数据本地存储。同时，网关设备上使用另一个串口与NB-IoT网络节点进行通讯，通讯过程中需要制定合适的通讯协议，当接收到云服务器发起的接收数据请求时，触发该串口中断,通过NB-IoT完成数据的云端上传。而云服务是按照预先配置的网络节点列表，以4s为周期，完成数据的接收与存储功能。数据上传流程如图6所示。



图6 数据上云软件流程图

Fig.6 Data Cloud Software Flow Chart

1. 系统测试

对所设计的基于云端的注塑机状态监测系统进行了测量准确性测试、通讯距离测试、测量稳定性测试和通讯稳定性测试，测试结果表明：

（1）监测节点可以准确可靠采集注塑机锁模力，测试结果精度满足测试要求；

（2）监测节点与网关之间、网关与云服务器之间通讯稳定可靠；

（3）ZigBee和NB-IoT无线网络实时性良好，网络动态稳定性良好；

（4）监测节点完成测量之后可自动进入低功耗模式，该模式下，电池输出电流仅为0.6mA。

1. 结语

本文所设计的基于ZigBee和NB-IoT相结合的注塑机关键参数监测磁通具有实时性良好、可靠性高、测量精度高、系统功耗低等特点。能够实时监测注塑机锁模力变化，利用ZigBee无线网络，避免了有线连接的困难；同时，使用NB-IoT将数据直接传送至云端，“端到云”的网络架构避免了本地布网，节约成本。通过对于锁模力参数的实时监测，避免模具由于受力不均导致的平整度问题，降低产品不良率，提高产品生产质量。

1. **刘浩.注塑机领域的研究进展[J].合成树脂及塑料,2018,35(4):99-102. DOI:10.3969/j.issn.1002-1396.2018.04.025.**
2. **Wu Jingyang, Zhou Hongwei, Ouyang Huabin, et al.Study on the clamping force measurement and partial load regulation technology of injection molding machine[J].CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology,2017,19:19-24.**
3. **周怡颋,凌志浩,吴勤勤.ZigBee无线通信技术及其应用探讨[J].自动化仪表,2005,26(6):5-9. DOI:10.3969/j.issn.1000-0380.2005.06.002.**
4. **陈文周.WiFi技术研究及应用[J].数据通信,2008,(2):14-17. DOI:10.3969/j.issn.1002-5057.2008.02.004.**
5. **戴国华,余骏华.NB-IoT的产生背景、标准发展以及特性和业务研究[J].移动通信,2016,40(7):31-36. DOI:10.3969/j.issn.1006-1010.2016.07.007.**
6. **陈金伟,Bruno Schlaepher.注塑机锁模力测量新技术[J].工程塑料应用,2010,38(2):75-77. DOI:10.3969/j.issn.1001-3539.2010.02.021.**
7. **张万春,陆婷,高音.NB-IoT系统现状与发展[J].中兴通讯技术,2017,23(1):10-14. DOI:10.3969/j.issn.1009-6868.2017.01.003.**
8. **马亚蕾.NB-IOT技术浅析[J].电子制作,2019,(17):74-75.**
9. **兰旭辉,熊家军,邓刚.基于MySQL的应用程序设计[J].计算机工程与设计,2004,25(3):442-443,468. DOI:10.3969/j.issn.1000-7024.2004.03.037.**
10. **赵鹤芹.设计动态网站的最佳方案:Apache+PHP+MySQL[J].计算机工程与设计,2007,28(4):933-934,938. DOI:10.3969/j.issn.1000-7024.2007.04.059.**
11. **章伟聪,俞新武,李忠成.基于CC2530及Ziee协议栈设计无线网络传感器节点[J].计算机系统应用,2011,20(7):184-187,120. DOI:10.3969/j.issn.1003-3254.2011.07.042.**
12. **王风.基于CC2530的ZigBee无线传感器网络的设计与实现[D].陕西:西安电子科技大学,2012. DOI:10.7666/d.y2067882.**