

# 基于物联网的生产过程质量追溯系统

郑磊, 刘金祥, 崔溪, 彭焱, 王才华

华北理工大学, 河北 唐山

收稿日期: 2022年9月13日; 录用日期: 2022年10月12日; 发布日期: 2022年10月20日

## 摘要

随着制造业发展不断向智能化, 信息化发展, 目前我国制造业面临数据采集效率比较低、生产信息追溯比较困难、质量监测水平比较低的问题。首先为了改变这一难题, 本文提出基于互联网的生产过程质量追溯系统, 确定产品的质量可追溯性和管理批次的质量可追溯性过程; 其次通过分析批次生成数据的基本原理, 识别每个连接中的数据流, 建立基于Petri网络的正可追溯性模型; 最后将质量管理技术与物联网技术相结合, 从数据采集、传输、存储、分析、显示等方面的研究, 实现对追溯管理的实时性和智能化。全面实现数字化、信息化、智能化生产, 降低人为因素, 提高生产效益, 为制造企业在物联网基础上的生产过程质量追溯提供一种参考方案。

## 关键词

物联网, 数据采集, 质量追溯

# IoT-Based Production Process Monitoring and Quality Traceability System

Lei Zheng, Jinxiang Liu, Xi Cui, Yao Peng, Caihua Wang

North China University of Science and Technology, Tangshan Hebei

Received: Sep. 13<sup>th</sup>, 2022; accepted: Oct. 12<sup>th</sup>, 2022; published: Oct. 20<sup>th</sup>, 2022

## Abstract

With the continuous development of the manufacturing industry to the intelligent and information development, China's manufacturing industry is currently facing the problems of low data collection efficiency, difficulty in tracing production information, and low quality monitoring level. First of all, in order to change this problem, this paper proposes an Internet-based quality traceability system for the production process, which determines the quality traceability of the product and

the quality traceability process of the management batch. Secondly, by analyzing the basic principles of batch generation data, identifying the data flow in each connection, and establishing a positive traceability model based on petri network; finally, the quality management technology is combined with the Internet of Things technology, and the research from data acquisition, transmission, storage, analysis, display, etc., realizes the real-time and intelligent traceability management. Fully realize digital, informatized and intelligent production, reduce human factors, improve production efficiency, and provide a reference scheme for manufacturing enterprises to trace the quality of the production process based on the Internet of Things.

## Keywords

Internet of Things, Data Acquisition, Quality Traceability

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

目前,我国的工业化和智能化水平还不高,大部分追溯工作都是基于工人,工人依靠经验和解决方案来分析问题,也就出现了当产品质量出现问题时,不能及时有效的找到质量问题的情况。

现如今,我国已经开始越来越重视质量管理和追溯系统的研究和开发,如赵伟等利用物联网和 RFID 技术设计了溯源软件的整体结构和模型,实现了对汽车零部件的追溯[1]。Costa 等充分应用物联网技术实现了生产过程的可追溯[2]。吴江进等基于批次和案例推理的质量溯源方法,构建了产品质量溯源模型,并结合物联网技术完成了质量溯源系统的设计[3]。以上研究对中国工业化的发展产生了重大影响,但仍有许多研究仍处于学术层面,有鉴于此,作者将致力于解决生产信息追溯困难等问题,在基于 Petri 网的质量追溯模型的基础,设计了一种基于物联网的质量追溯性系统,实现了各生产信息的相互关联,研发了由产品唯一编码对生产过程的质量追溯流程。

## 2. 系统总体架构

在物联网的感知层、网络层、平台层、应用层等[4]四层架构的基础上,结合系统需求,建立起了生产过程监测及质量追溯系统的四层系统架构。

1) 感知层:采用 STM32F407 作为主要的控制单元,设计数据采集终端。注意生产现场数据的采集情况,根据其参数完成本地控制,同时接收云端控制指令,并相应地响应系统控制。

2) 网络层:在 WIFI 和以太网两种网络传输方式下,并用于采用标准的数据通信系统,保证消息的发送和接收的准确性,满足功能要求和可靠性要求。

3) 平台层:使用阿里物联网云平台实现终端设备接入、身份认证以及数据解析,通过平台内部规则引擎,将所需数据以服务端订阅形式将数据流转至自建服务器,通过开放的 API 接口,间接完成服务器对设备的控制。

4) 应用层:通过云服务器搭建应用服务层的运行环境,采用前后端分离的系统架构,构建生产过程监测及质量追溯软件系统,后端系统负责向云平台订阅消息,完成数据加工处理分析,并将数据存储至数据库,同时建立与前端通信接口,前端系统则负责应用界面渲染呈现,以及向后端服务器发送用户控制命令。

5) 系统功能模块：本文通过对生产过程监测和质量追溯系统的需求进行分析，将系统划分为生产监测、质量追溯、系统管理、基础信息管理四大功能模块。

### 3. 生产过程质量追溯方案研究

#### 3.1. 产品追溯性

ISO 质量管理体系标准中将可追溯性定义为：“The ability to re-trace the history use or location of an entity by means of recorded identification”，即通过记录标识的方法追踪实体来历、用途和位置的能力。

可追溯性内涵包括追踪和追溯，追踪是利用供应链中的关联数据，对某一实体相应的历史轨迹进行跟踪和监测，追溯又可以分为正向追溯和逆向追溯[5]。正向追溯即预测结果的追溯，是顺着生产过程的方向对每个过程的关键环节进行监控，分析可能发生的潜在隐患，并确定产品位置。逆向追溯即诊断原因追溯，是逆着生产过程的方向，追溯影响产品质量的关键节点，以寻求产品质量产生根源。当产品质量出现问题时，可以对生产过程的各个工序的质量信息进行逆向追溯，从而找出问题根源。在发现问题后，通过对问题原材料、零件批次进行分析，并运用正向追溯方法，找出问题产品所在批次，从而进行维修或召回。

#### 3.2. 产品追溯对象

产品生产过程分为两个关键环节：设计和制造，设计过程对应的产品质量是设计质量，制造过程对应的产品质量是制造质量。而制造过程是影响产品质量的主要因素，根据统计显示，生产制造过程导致的质量问题占到了半数以上。企业生产阶段的质量追溯就是对从原材料采购到产品交付的全过程的追溯。质量追溯对象如图 1 所示。

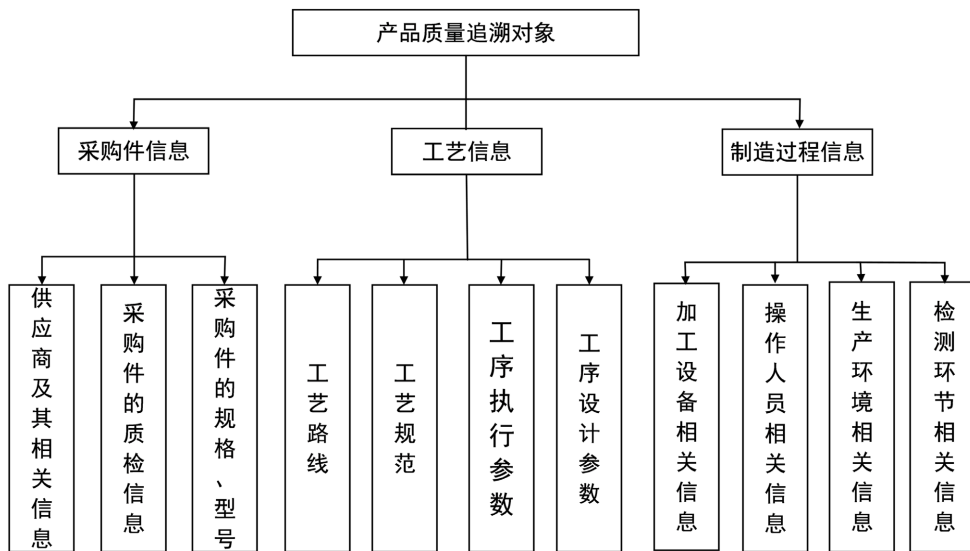


Figure 1. Quality traceability objects

图 1. 质量追溯对象

##### 1) 采购件的追溯

采购件包括原材料、标准件、外协件。对采购件的追溯需要对采购件的供应商及其相关信息、采购件的质检信息、采购件的规格型号等数据进行追溯。采购件的质量问题将严重影响到产品质量，所以，在产品质量追溯方面，对采购件的追溯是一个重要环节。

## 2) 工艺信息的追溯

工艺设计的主要任务是依据产品的需要, 将其按照特定的工艺路线进行加工。工艺的内容包括选择材料、制定工艺路线、制定工艺参数等。因此, 在产品生产加工过程中工艺设计是导致产品质量的根本性问题, 工艺信息追溯是必不可少的环节。

## 3) 制造过程信息的追溯

人、机、料、法、环、测, 即“5M1E”, 作为影响产品质量的关键因素, 其中四个要素直接与产品制造过程相关联, 因此, 有必要对产品生产过程数据进行详细的记载, 从而真实反映产品历史生产过程信息, 当产品出现问题时, 对其进行分析, 找到问题根源, 从而达到质量追溯的目的。因此, 在质量追溯过程中, 制造过程追溯是最主要的目标。

### 3.3. 生产过程质量追溯实现

在生产过程中, 会产生大量的质量信息, 这些数据记录在不同的质量文件中。

因此, 只有在生产流程中建立相互关联的数据, 并采集存储这些关键数据, 才能够实现产品生产过程中的质量追溯。根据生产过程中的关键数据, 建立基于关键节点的质量追溯 Petri 模型, 如图 2 所示。

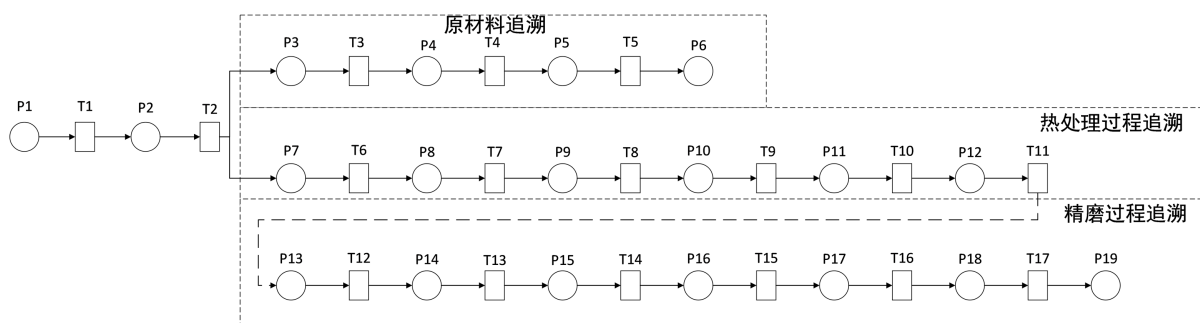


Figure 2. Quality traceability Petri model based on key nodes

图 2. 基于关键节点的质量追溯 Petri 模型

图中  $T = \{T1, T2, \dots, T19\}$  表示生产过程中的任务集合,  $P = \{P1, P2, \dots, P20\}$  表示生产过程中产生的质量文件集合。

对产品进行正确的标识是实现产品可追溯的基础, 这就涉及到产品批次的信息编码问题, 信息编码贯穿着产品从物料采购、产品制造、质检最后仓储的各个环节, 其应该具有唯一性、稳定性、实用性和规范性。在本研究中产品编码按照“批次号+原材料编号+序列号”的模式设计。可根据产品批次号确定产品批次信息, 由序列号区分属于同批次的不同单件产品, 据此追溯产品在各个阶段的履历信息。

其生产过程质量追溯是根据产品缺陷的原因以及各生产工序、原材料和产品的批次关系追溯具有同样质量缺陷的产品。在追溯出有缺陷的产品和生产批次之后, 就可以追溯原材料的采购、热处理、精磨等工序的过程信息, 明确造成产品缺陷的相关工艺、设备、物料、人员、检验等信息。

## 4. 生产过程追溯系统实现

### 4.1. 开发环境准备

物联网云平台是基于平台层形成的物联网应用解决方案, 实现应用层与底层网络、硬件的解耦, 脱离了底层各种异构设备和传输协议的束缚[6]本文采用阿里云物联网平台, 该物联网平台向下主要使用 MQTT 协议连接海量的物联网设备, 向上提供 API 接口以供后端服务器来调用[7]。

物联网云平台配置流程如下：

- 1) 创建产品；2) 创建设备；3) 获取设备三元数组；4) 自定义物模型。

定义物模型后，即可按照产品的 Topic 进行通讯，物联网平台会自动解析物模型，并将数据更新到物联网平台的云端数据库[7]。

- 5) 系统开发环境

生产过程监测及质量追溯系统软件主要是在 idea 上使用 Java 语言实现，采用基于 B/S 的设计模式。前端采用 Vue、Element-UI、Echart 等网页编写技术，后端采用 Springboot 整合 Mybatis 框架实现数据接收与处理。系统采用前后端分离的方式，极大缓解后台的压力，提升了网站的安全性、可靠性、易用性。

### 4.2. 数据库结构设计

数据库设计是保证系统正常运行的基础，一方面产品生产过程中所采集的数据种类多、数据量大需要对其进行分类管理，以便于实现生产过程的监测及数据分析。其次，数据库的设计也是实现产品质量追溯的核心，只有将企业业务过程中的关键数据记录下来，通过数据主键建立表与表之间的关系，才能实现生产过程的质量追溯。为了便于的表示，下面将产品追溯数据库结构模型进行阐述。如图 3 所示。

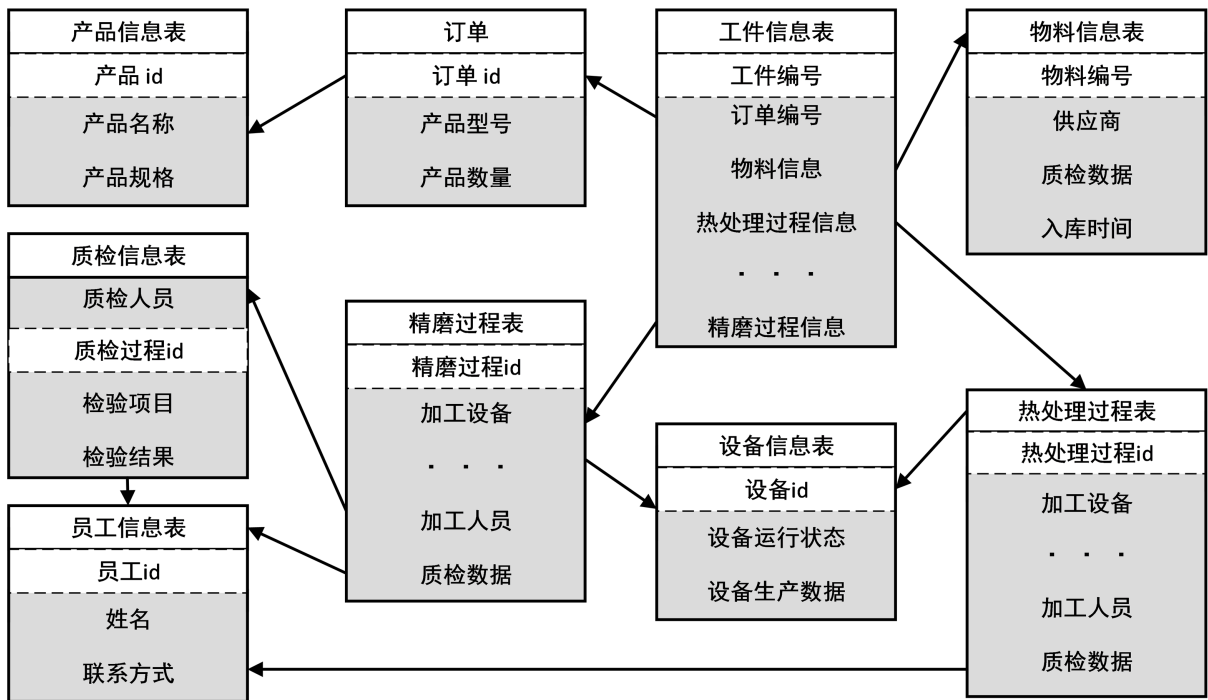


Figure 3. Traceability database structure model

图 3. 追溯数据库结构模型

### 4.3. 数据采集终端的设计

数据采集终端作为生产数据采集的基础，其必须满足生产线上各种通讯手段的需求，来获取这些传感器的采集数据以及设备状态信息等，并通过自身的通信模块，实时地将数据传输至物联网云平台，对 MCU 的要求较高。本文选用基于 CortexM4 内核的 32 位嵌入式微控制器 STM32F407ZGT6，通过外加扩展电路实现相应的采集功能。该芯片支持 FPU (浮点运算)和增强的 DSP 处理指令，具有更高的数据处理能力，同时包含以太网 MAC 控制器，能更好的适应工作场景需要[8]。

#### 4.4. 后端软件的设计

后端系统主要实现与物联网云平台的信息交互，数据处理后与数据库交互，与数据分析软件 MATLAB 的交互，并与前端建立通信，完成业务逻辑处理。由于本文的 PCA-PSO-SVM 控制图模式识别模型是基于 MATLAB 生产环境构建的，而本系统采用 Java 语言进行开发，因此需要将 MATLAB 核心程序 .m 文件通过打包部署工具转化为 Jar 包，并将其导入到 Java 项目中，以实现 Java 程序的调用，其实现需要保证 MATLAB 内置 Java 版本与系统安装的 Java 版本保持一致。该项目通过 IDEA 进行开发，采用 Maven 进行管理，添加的依赖 jar 包。

#### 4.5. 前端软件的设计与实现

系统前端采用 Vue 进行开发，Vue 是一套用于构建用户界面的渐进式框架，能够方便的与第三方框架整合。项目通过整合 Vue-router 实现路由跳转、整合 Axios 框架实现 Ajax 异步通信，采用 Element-UI 进行组件式开发。

##### 1) 正向追溯

通过正向追溯界面选择质量问题并输入质量问题源编号来查询其他可能存在质量问题的产品。正向追溯界面中，系统支持模糊查询，可对产品编号、产品名称、操作人员、检验位置、检验项目、检验人员、检验结果、时间对产品等质量影响要素任意进行选择，查找符合筛选条件的产品，正向追溯页面如图 4 所示。

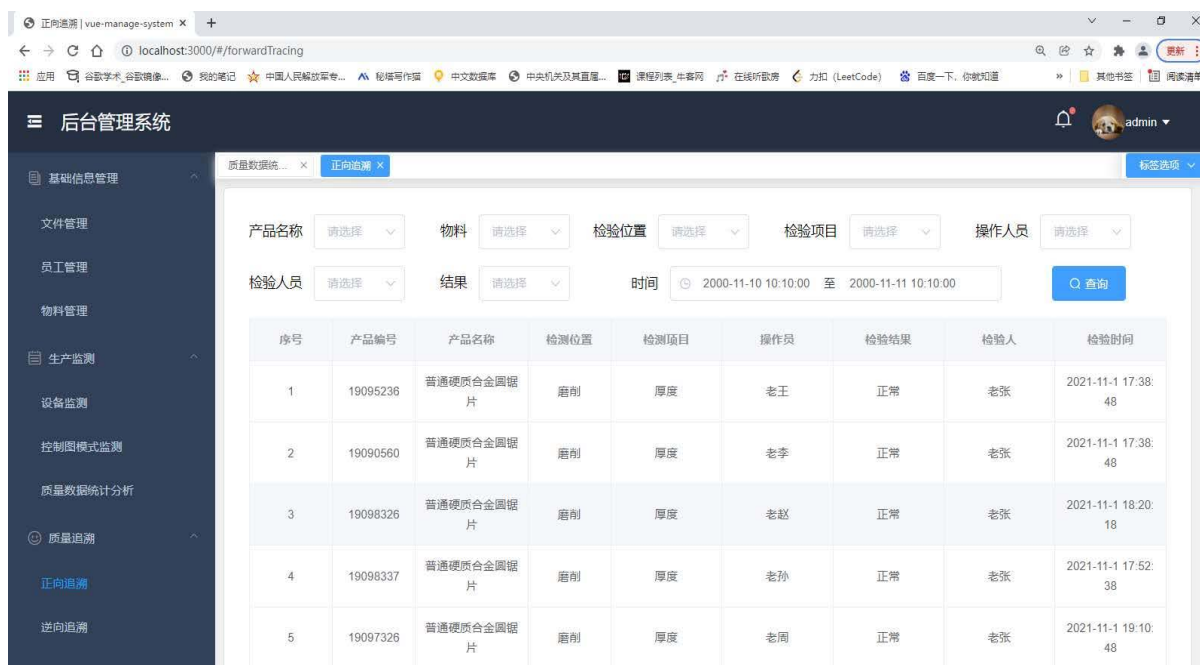


Figure 4. Forward traceability interface

图 4. 正向追溯页面

##### 2) 逆向追溯

当产品出现问题可通过产品编号，查看产品各工序生产信息，点击想要查看的工序，系统将显示该工序的操作人员、检验人员、加工设备、检验设备、工艺参数、检验结果等质量影响要素的具体信息。为了便于显示，用户可以选择隐藏查询区域，逆向追溯页面如图 5 所示。

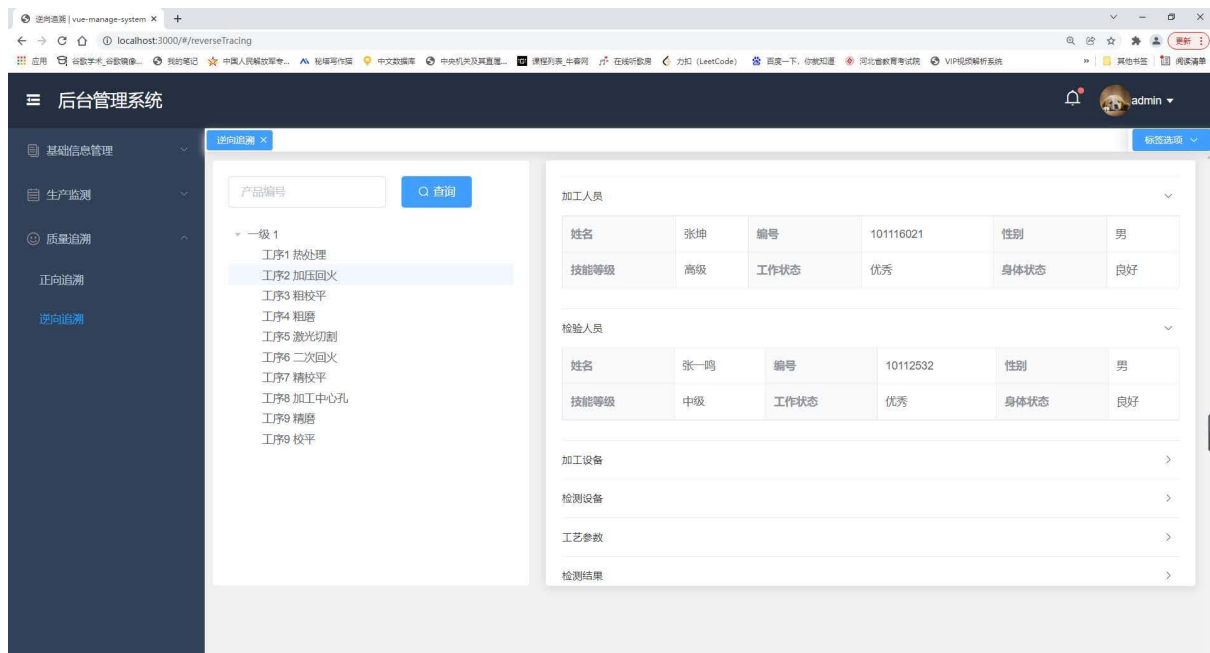


Figure 5. Reverse traceability interface

图 5. 逆向追溯页面

## 5. 结论

随着信息化技术的不断提高, 物联网等信息化技术在制造业中的应用逐渐增多, 质量管理技术与信息技术的相互融合已经成为制造业行业发展的必然所趋。与此, 本课题结合物联网技术、SPC 质量管理技术、软件开发技术, 对企业生产全过程的数据采集、监测和质量追溯进行研究。课题主要完成了确定了产品质量追溯对象和基于批次管理的质量追溯方法, 通过分析批次信息产生的关键节点, 建立了基于 petri 网的质量追溯模型, 并设计产品编码及质量追溯流程。但限于个人水平以及研究条件等诸多因素的影响, 还存在一些不足。对生产过程质量追溯主要侧重于实时生产条件状态的跟踪, 而反向质量追溯也主要是对历史生产状态的分析, 并没有对异常原因进行智能化分析, 需要对满足企业生产的智能诊断做进一步研究。

## 参考文献

- [1] 赵伟. S 汽车零部件企业产品质量追溯系统研究[D]: [硕士学位论文]. 青岛: 中国海洋大学, 2015: 35-42.
- [2] Costa, C.D. and Mmd, C. (2019) Implementation of a RFID Technology-Based Automatic Traceability System for Industry 4.0. *European Journal of Engineering Research and Science*, **4**, 15-16.
- [3] 吴江进. 产品电子履历构建及质量溯源关键技术研究与应用[D]: [硕士学位论文]. 贵州: 贵州大学, 2020: 26-41.
- [4] Lin, J, Yu, W., Zhang, N., et al. (2017) A Survey on Internet of Things: Architecture, Enabling Technologies, Security and Privacy, and Applications. *IEEE Internet of Things Journal*, **4**, 1125-1142. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2017.2683200>
- [5] 王兆华. 基于质量追溯的质量管理信息系统研究与实现[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京航空航天大学, 2017: 9-30.
- [6] HU, H. and Li, Y. (2020) Remote Status Monitoring Based on ESP8266 Connected IoT Cloud Platform. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, **461**, Article ID: 012022. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/461/1/012022>
- [7] 阿里云. 什么是物联网平台[EB/OL]. [https://help.aliyun.com/document\\_detail/30522.html](https://help.aliyun.com/document_detail/30522.html), 2022-09-15.
- [8] ARM LIMITED (2020) Arm Cortex-M4 Processor Technical Reference Manual. <https://developer.arm.com/documentation/100166/0001/?lang=en>