

# 基于可信标识的皮棉生产质量追溯方法研究

吴雪, 孙文磊\*, 郎双曼, 王丽雯, 常赛科, 路程  
(新疆大学 智能制造现代产业学院, 乌鲁木齐 830049)

**摘要:** **目的** 通过分析当前棉花加工行业存在的信息链断裂、质量信息追溯难、各环节信息孤岛等问题, 实现皮棉生产全过程质量信息管理。**方法** 提出了一种基于标识解析的皮棉生产全过程质量信息追溯方法。首先, 按照生产顺序将皮棉生产的环节进行划分, 分析各环节中对质量存在危害的影响因素; 其次, 运用模糊层次分析法计算各环节的权重值, 对皮棉生产车间的可靠性进行了分配; 然后, 通过对各环节中的人、机、料、法、环、测等信息进行分析, 融合标识解析技术和可拓物元理论, 探讨了一种基于物元可拓的全要素信息标识模型, 以实现皮棉生产信息的高效管理; 最后, 在信息标识的基础上, 提出了一种结合有向无环图 (DAG) 的质量信息追溯方法。**结果** 采用 IntelliJ IDEA 编程软件和 MySQL 数据库搭建了皮棉生产全过程质量信息追溯系统, 实现了对皮棉生产全过程质量信息的溯源。**结论** 通过对机采棉加工关键质量信息追溯进行验证, 测得了系统平均查询时间为 73.964 ms, 能够满足皮棉生产质量信息追溯的需求。本研究可为棉花生产全过程质量信息追溯提供一定的参考与借鉴。

**关键词:** 皮棉生产过程; 质量信息追溯; 有向无环图; 可靠性分配; 标识解析

中图分类号: TB497

文献标志码: A

文章编号: 1001-3563(2024)23-0220-12

DOI: 10.19554/j.cnki.1001-3563.2024.23.024

## Quality Traceability Method for Cotton Production Process Based on Trusted Identification

WU Xue, SUN Wenlei\*, LANG Shuangman, WANG Liwen, CHANG Saike, LU Cheng

(College of Intelligent Manufacturing Modern Industry, Xinjiang University, Urumqi 830049, China)

**ABSTRACT:** The work aims to achieve the management of quality information throughout the entire process of cotton production by analyzing the current problems in the cotton processing industry, such as information chain breakage, difficulty in quality information traceability, and information isolation in various links. This article proposed a method for tracing quality information throughout the entire process of cotton production based on identification analysis. Firstly, the cotton production process was divided according to the production sequence, and the factors that posed risks to quality in each process were analyzed; Secondly, the fuzzy analytic hierarchy process was used to calculate the weight values of each link and allocate the reliability of the cotton production workshop. Then, by analyzing the information of people, machines, materials, methods, environment, and measurement in each link, integrating identification analysis technology and extensible matter element theory, a comprehensive element information identification model based on matter element extension was explored to achieve efficient management of cotton production information; Based on information identification, a quality information traceability method combining directed acyclic graph (DAG) was proposed; A cotton production process quality information traceability system was established using IntelliJ IDEA programming software and

收稿日期: 2024-06-03

基金项目: 国家工业和信息化部重点项目 (TC210A02E); 自治区重大科技专项项目 (2022A01009-4)

\*通信作者

MySQL database, achieving traceability of cotton production process quality information. In conclusion, by verifying the traceability of key quality information in machine picked cotton processing, the average query time of the system is measured to be 73.964 ms, which can meet the requirements of quality information traceability in cotton production. This study can provide certain reference and reference significance for the traceability of cotton quality information throughout the entire process.

**KEY WORDS:** cotton production process; quality information traceability; directed acyclic graph; reliability allocation; identification resolution

棉花产业是新疆地区的支柱产业之一,其对富民安边具有重大意义。然而,总产高、面积大并不意味着单产好、质量优,棉花的品质受其皮棉生产环节的影响大,关乎后续棉纺织的质量<sup>[1-2]</sup>。皮棉生产过程存在各环节信息割据、责任界限不明确、信息链断裂以及质量信息溯源难等问题。对于皮棉生产企业而言,及时发现质量问题并找到其原因,可调整工艺信息,消除潜在的风险;对于皮棉生产车间内部人员而言,当皮棉质量出现问题时,会出现责任界限不明确的问题。因此,亟须找到一种合适的方法打通皮棉生产各环节之间的信息壁垒,使得全流程信息在生产线上流通。

工业互联网标识解析技术可为万物分配唯一的身份证,实现人机物的全面互联。目前,该技术已成功应用于农业、食品加工、汽车以及仓储物流等多个行业。常赛科等<sup>[3]</sup>通过对异形油梁式抽油机的关键零部件进行赋码关联,实现了抽油机全生命周期的运维管理;蔡炳育<sup>[4]</sup>通过分析饲料生产全流程信息,设计开发了基于物联网技术的饲料安全追溯系统。Farzana 等<sup>[5]</sup>建立了基于 RFID 渔业供应链管理系统。然而,上述研究均基于传统消费互联网的域名解析,没有统一的管理平台和编码标准,无法实现异构系统海量数据的互通互用<sup>[6]</sup>。近年来,随着工业互联网技术逐渐成熟,一种融合了区块链技术的溯源方法为产品质量追溯带来了新的机遇。国内外许多研究学者都基于这一技术对众多领域的信息进行溯源研究。在食品供应链领域,陈旭华等<sup>[7]</sup>设计了一种区块链的牛肉供应链的可信追溯系统,成功解决了数据易篡改、主体信任低等问题。在农业领域,谈和义等<sup>[8]</sup>针对当前由于供应链数据缺乏真实性而引起的农产品安全问题,构建了一种融合区块链技术的农产品溯源系统。在医学领域,Nawaz 等<sup>[9]</sup>建立了一种基于超级账本锯齿的假药供应链追溯系统,提高了药品来源的透明度和可靠度。在服装领域,金鹏等<sup>[10]</sup>针对服装追溯体系中存在的问题,提出了一种基于权威证明机制的服装可追溯系统设计方案。但采用工业互联网标识解析技术对皮棉生产全流程数据进行溯源的研究鲜有报道。

由此可知,对皮棉生产全过程信息进行溯源是一种记录和跟踪籽棉收购、检验、仓储、机采棉加工、

皮棉检验等信息的过程。本文在对追溯系统设计时,首先对整体的皮棉生产车间各环节相对于总体系统的可靠度采用模糊层次分析法进行了合理的分配,以此可确定追溯环节的指标权重。其次,结合工业互联网标识解析技术对皮棉生产每个环节通过编码标识管理其所包含的 5M1E 信息。最后,搭建皮棉生产全过程质量追溯系统,以期实现皮棉生产全流程信息数字化管理。

## 1 皮棉生产车间可靠性分配模型构建

本研究在对皮棉生产质量追溯系统设计时,根据车间生产流程特点,分别对各子系统进行分析,引入模糊层次分析法对各子系统的可靠性进行分配,从而对皮棉生产质量追溯系统的可靠性进行研究<sup>[11]</sup>。

### 1.1 皮棉生产车间可靠性分配层次模型建立

通过对棉花加工车间可靠性的影响因素分析并结合 FAHP 层次分析法,对皮棉生产质量追溯系统进行分配层次建模,将皮棉生产质量追溯系统可靠度作为目标层,影响可靠性分配的主客观因素作为准则层,各环节子系统作为对象层<sup>[12-13]</sup>。皮棉生产车间可靠性分配层次模型如图 1 所示。

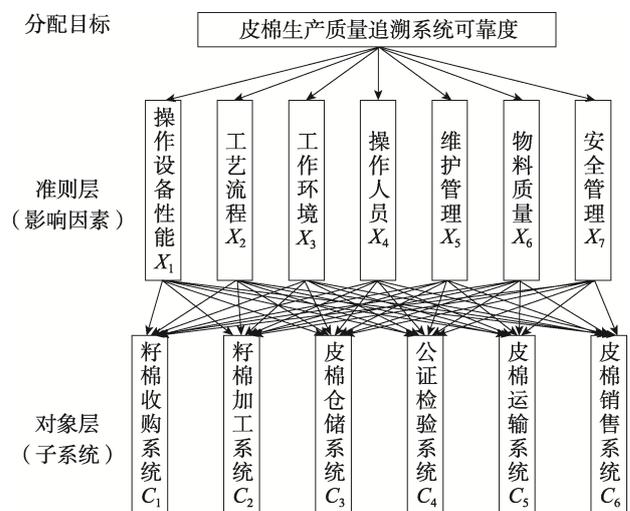


图 1 皮棉生产车间可靠性分配层次结构  
Fig.1 Hierarchical structure of reliability allocation in cotton production workshop

### 1.2 基于模糊层次分析法的棉花加工车间可靠性分配权重计算方法

皮棉生产属于多源多工序过程,需要综合考虑各种因素对系统的影响。因此,在第1.1节的基础上,以新疆某棉花加工企业为研究对象,进行可靠性评估模型构建。具体方法步骤如下:

1) 引入0.1~0.9分位的比例标度,对指标的相对重要性进行评判,建立模糊互补判断矩阵A:

$$A = (a_{ij})_{n \times n} = \begin{bmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{n1} & a_{n2} & \dots & a_{nn} \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中:  $a_{ij}$  为矩阵中第  $i$  行第  $j$  列重要度;  $n$  为分析指标的数量。

2) 计算模糊互补判断矩阵的权重:

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^n a_{ij} + \frac{n}{2} - 1}{n(n-1)}, i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

式中:  $\sum_{j=1}^n a_{ij}$  为第  $i$  行的元素之和。

3) 计算特征矩阵  $W^*$ :

设  $W = (W_1, W_2, \dots, W_n)^T$  为模糊矩阵  $A$  的权重向量,

其中  $\sum_{i=1}^n W_i = 1, W_i \geq 0 (i = 1, 2, \dots, n)$ , 令  $W_{ij} = \frac{W_i}{W_i + W_j}$  ( $\forall i, j = 1, 2, \dots, n$ ), 则判断矩阵的特征矩阵为:

$$W^* = (W_{ij})_{n \times n} \quad (3)$$

4) 计算相容性指标  $I$ :

设矩阵  $A = (a_{ij})_{n \times n}$  和  $B = (b_{ij})_{n \times n}$  均为模糊判断矩阵, 则相容性指标为:

$$I(A, B) = \frac{1}{n^2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |a_{ij} + b_{ij} - 1| \quad (4)$$

式中:  $I(A, B)$  为矩阵  $A$  和矩阵  $B$  的相容性指标。

5) 一致性检验:

当相容性指标  $I(A, W^*) \leq \alpha$ , 取  $\alpha = 0.1$  时, 判断矩阵通过一致性检验。

### 1.3 基于模糊层次分析法的棉花加工车间可靠性分配权重计算

#### 1.3.1 权重矩阵确定

研究选取28位相关人员,分别对准则层的操作设备性能、工艺流程、工作环境、操作人员、维护管理、物料质量、安全管理7个影响因素按其两者之间关系的重要性进行评分,得到模糊互补判断矩阵A。

棉花加工厂家给出的权重模糊互补判断矩阵为:

$$A_1 = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0.7 & 0.3 & 0.6 & 0.4 & 0.6 \\ 0.5 & 0.5 & 0.4 & 0.6 & 0.6 & 0.4 & 0.6 \\ 0.3 & 0.6 & 0.5 & 0.4 & 0.6 & 0.4 & 0.6 \\ 0.7 & 0.4 & 0.6 & 0.5 & 0.6 & 0.4 & 0.4 \\ 0.4 & 0.4 & 0.4 & 0.4 & 0.5 & 0.3 & 0.5 \\ 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.7 & 0.5 & 0.6 \\ 0.4 & 0.4 & 0.4 & 0.6 & 0.5 & 0.4 & 0.5 \end{bmatrix}$$

由式(2)可计算的权重向量为:

$$W_1 = (0.145, 0.145, 0.140, 0.145, 0.129, 0.160, 0.136)$$

由式(4), 计算  $A_1$  的特征矩阵为:

$$W_1^* = \begin{bmatrix} 0.500 & 0.500 & 0.509 & 0.500 & 0.529 & 0.475 & 0.516 \\ 0.500 & 0.500 & 0.509 & 0.500 & 0.529 & 0.475 & 0.516 \\ 0.491 & 0.491 & 0.500 & 0.491 & 0.520 & 0.467 & 0.507 \\ 0.500 & 0.500 & 0.509 & 0.500 & 0.529 & 0.475 & 0.516 \\ 0.471 & 0.471 & 0.480 & 0.471 & 0.500 & 0.446 & 0.487 \\ 0.525 & 0.525 & 0.533 & 0.525 & 0.554 & 0.500 & 0.541 \\ 0.484 & 0.484 & 0.493 & 0.484 & 0.513 & 0.459 & 0.500 \end{bmatrix}$$

由式(3)可得,  $A_1$  与  $W_1^*$  的相容性指标为  $I(A_1, W_1^*) = 0.076 < 0.1$ , 故一致性检验通过。

科研人员给出的权重模糊互补判断矩阵为:

$$A_2 = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.4 & 0.6 & 0.4 & 0.6 \\ 0.4 & 0.5 & 0.4 & 0.6 & 0.7 & 0.4 & 0.6 \\ 0.3 & 0.6 & 0.5 & 0.4 & 0.6 & 0.4 & 0.5 \\ 0.6 & 0.4 & 0.6 & 0.5 & 0.6 & 0.4 & 0.3 \\ 0.4 & 0.3 & 0.4 & 0.4 & 0.5 & 0.3 & 0.5 \\ 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.7 & 0.5 & 0.7 \\ 0.4 & 0.4 & 0.5 & 0.7 & 0.5 & 0.3 & 0.5 \end{bmatrix}$$

同理, 计算权重向量为:

$$W_2 = (0.150, 0.145, 0.138, 0.140, 0.126, 0.162, 0.138)$$

$A_2$  的特征矩阵为:

$$W_2^* = \begin{bmatrix} 0.500 & 0.508 & 0.521 & 0.517 & 0.543 & 0.481 & 0.521 \\ 0.492 & 0.500 & 0.512 & 0.509 & 0.535 & 0.472 & 0.512 \\ 0.479 & 0.488 & 0.500 & 0.496 & 0.523 & 0.460 & 0.500 \\ 0.483 & 0.491 & 0.504 & 0.500 & 0.526 & 0.464 & 0.504 \\ 0.457 & 0.465 & 0.477 & 0.474 & 0.500 & 0.437 & 0.477 \\ 0.519 & 0.528 & 0.540 & 0.536 & 0.562 & 0.500 & 0.540 \\ 0.479 & 0.488 & 0.500 & 0.496 & 0.523 & 0.460 & 0.500 \end{bmatrix}$$

同理可得,  $A_2$  与  $W_2^*$  的相容性指标为  $I(A_2, W_2^*) = 0.083 < 0.1$ , 故一致性检验通过。

根据各环节的可靠性评估结果,综合棉花加工厂家和科研人员的意见后, 权重向量表示为:

$$W = (0.148, 0.145, 0.139, 0.143, 0.128, 0.161, 0.137)$$

### 1.3.2 指标矩阵确定

采用与第 1.3.1 节相同的打分规则, 确定单一因素对 7 个子系统的影响程度, 建立模糊互补判断矩阵。

棉花加工厂家和科研人员分别给出的模糊互补判断矩阵为:

操作设备性能  $X_1$

$$R_1^{X_1} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.7 & 0.3 & 0.6 & 0.5 & 0.6 \\ 0.3 & 0.5 & 0.4 & 0.5 & 0.3 & 0.6 \\ 0.7 & 0.6 & 0.5 & 0.6 & 0.4 & 0.5 \\ 0.4 & 0.5 & 0.4 & 0.5 & 0.4 & 0.7 \\ 0.5 & 0.7 & 0.6 & 0.6 & 0.5 & 0.5 \\ 0.4 & 0.4 & 0.5 & 0.3 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$R_2^{X_1} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.3 & 0.3 & 0.4 & 0.4 & 0.5 \\ 0.7 & 0.5 & 0.5 & 0.4 & 0.3 & 0.5 \\ 0.6 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.6 & 0.4 \\ 0.5 & 0.6 & 0.5 & 0.5 & 0.4 & 0.7 \\ 0.6 & 0.7 & 0.4 & 0.6 & 0.5 & 0.4 \\ 0.5 & 0.5 & 0.6 & 0.3 & 0.6 & 0.5 \end{bmatrix}$$

工艺流程  $X_2$

$$R_1^{X_2} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.7 & 0.3 & 0.6 & 0.5 & 0.6 \\ 0.3 & 0.5 & 0.4 & 0.5 & 0.3 & 0.6 \\ 0.7 & 0.6 & 0.5 & 0.6 & 0.4 & 0.5 \\ 0.4 & 0.5 & 0.4 & 0.5 & 0.4 & 0.7 \\ 0.5 & 0.7 & 0.6 & 0.6 & 0.5 & 0.5 \\ 0.4 & 0.4 & 0.5 & 0.3 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$R_2^{X_2} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.3 & 0.3 & 0.4 & 0.4 & 0.5 \\ 0.7 & 0.5 & 0.5 & 0.4 & 0.3 & 0.5 \\ 0.6 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.6 & 0.4 \\ 0.5 & 0.6 & 0.5 & 0.5 & 0.4 & 0.7 \\ 0.6 & 0.7 & 0.4 & 0.6 & 0.5 & 0.4 \\ 0.5 & 0.5 & 0.6 & 0.3 & 0.6 & 0.5 \end{bmatrix}$$

工作环境  $X_3$

$$R_1^{X_3} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.4 & 0.5 & 0.3 & 0.7 & 0.6 \\ 0.6 & 0.5 & 0.4 & 0.6 & 0.7 & 0.4 \\ 0.5 & 0.6 & 0.5 & 0.4 & 0.5 & 0.4 \\ 0.7 & 0.4 & 0.6 & 0.5 & 0.6 & 0.6 \\ 0.3 & 0.3 & 0.5 & 0.4 & 0.5 & 0.6 \\ 0.4 & 0.6 & 0.6 & 0.4 & 0.4 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$R_2^{X_3} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0.4 & 0.4 & 0.5 & 0.7 \\ 0.5 & 0.5 & 0.3 & 0.6 & 0.5 & 0.4 \\ 0.6 & 0.7 & 0.5 & 0.4 & 0.5 & 0.5 \\ 0.6 & 0.4 & 0.6 & 0.5 & 0.4 & 0.6 \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.6 & 0.5 & 0.6 \\ 0.3 & 0.6 & 0.5 & 0.4 & 0.4 & 0.5 \end{bmatrix}$$

操作人员  $X_4$

$$R_1^{X_4} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.4 & 0.4 & 0.5 & 0.3 & 0.5 \\ 0.6 & 0.5 & 0.6 & 0.4 & 0.3 & 0.7 \\ 0.6 & 0.4 & 0.5 & 0.5 & 0.4 & 0.5 \\ 0.5 & 0.6 & 0.5 & 0.5 & 0.3 & 0.7 \\ 0.7 & 0.7 & 0.6 & 0.7 & 0.5 & 0.7 \\ 0.5 & 0.3 & 0.5 & 0.3 & 0.3 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$R_2^{X_4} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.6 & 0.8 & 0.7 & 0.3 & 0.6 \\ 0.4 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.3 & 0.4 \\ 0.2 & 0.5 & 0.5 & 0.6 & 0.4 & 0.4 \\ 0.3 & 0.5 & 0.4 & 0.5 & 0.3 & 0.7 \\ 0.7 & 0.7 & 0.6 & 0.7 & 0.5 & 0.6 \\ 0.4 & 0.6 & 0.6 & 0.3 & 0.4 & 0.5 \end{bmatrix}$$

维护管理  $X_5$

$$R_1^{X_5} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0.6 & 0.4 & 0.3 & 0.5 \\ 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.6 & 0.4 & 0.6 \\ 0.4 & 0.5 & 0.5 & 0.4 & 0.2 & 0.6 \\ 0.6 & 0.4 & 0.6 & 0.5 & 0.2 & 0.6 \\ 0.7 & 0.6 & 0.8 & 0.8 & 0.5 & 0.3 \\ 0.5 & 0.4 & 0.4 & 0.4 & 0.7 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$R_2^{X_5} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.4 & 0.7 & 0.5 & 0.4 & 0.5 \\ 0.6 & 0.5 & 0.4 & 0.7 & 0.3 & 0.7 \\ 0.3 & 0.6 & 0.5 & 0.3 & 0.4 & 0.5 \\ 0.5 & 0.3 & 0.7 & 0.5 & 0.3 & 0.7 \\ 0.6 & 0.7 & 0.6 & 0.7 & 0.5 & 0.4 \\ 0.5 & 0.3 & 0.5 & 0.3 & 0.6 & 0.5 \end{bmatrix}$$

物料质量  $X_6$

$$R_1^{X_6} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.7 & 0.6 & 0.6 & 0.5 & 0.8 \\ 0.3 & 0.5 & 0.6 & 0.5 & 0.4 & 0.7 \\ 0.4 & 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0.5 & 0.5 \\ 0.4 & 0.5 & 0.4 & 0.5 & 0.4 & 0.6 \\ 0.5 & 0.6 & 0.5 & 0.6 & 0.5 & 0.4 \\ 0.2 & 0.3 & 0.5 & 0.4 & 0.6 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$R_2^{X_6} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.6 & 0.7 & 0.5 & 0.5 & 0.7 \\ 0.4 & 0.5 & 0.7 & 0.4 & 0.3 & 0.6 \\ 0.3 & 0.3 & 0.5 & 0.5 & 0.4 & 0.6 \\ 0.5 & 0.6 & 0.5 & 0.5 & 0.3 & 0.5 \\ 0.5 & 0.7 & 0.6 & 0.7 & 0.5 & 0.3 \\ 0.3 & 0.4 & 0.4 & 0.5 & 0.7 & 0.5 \end{bmatrix}$$

安全管理  $X_7$

$$R_1^{X_7} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.6 & 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0.5 \\ 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0.4 & 0.6 & 0.4 \\ 0.6 & 0.4 & 0.5 & 0.5 & 0.6 & 0.4 \\ 0.5 & 0.6 & 0.5 & 0.5 & 0.5 & 0.5 \\ 0.4 & 0.4 & 0.4 & 0.5 & 0.5 & 0.6 \\ 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.6 & 0.4 & 0.5 \end{bmatrix}$$

$$R_2^{x_7} = \begin{bmatrix} 0.5 & 0.5 & 0.6 & 0.4 & 0.4 & 0.6 \\ 0.5 & 0.5 & 0.6 & 0.3 & 0.4 & 0.6 \\ 0.4 & 0.4 & 0.5 & 0.4 & 0.6 & 0.5 \\ 0.6 & 0.7 & 0.6 & 0.5 & 0.5 & 0.4 \\ 0.6 & 0.5 & 0.4 & 0.5 & 0.5 & 0.5 \\ 0.4 & 0.4 & 0.5 & 0.6 & 0.5 & 0.5 \end{bmatrix}$$

根据上述的模糊互补判断矩阵,计算方法步骤同第 1.3.1 节,均通过一次性检验。故 7 个子系统在单一因素影响下的权重矩阵为:

$$R = \begin{bmatrix} 0.164 & 0.165 & 0.168 & 0.160 & 0.190 & 0.153 \\ 0.160 & 0.158 & 0.174 & 0.168 & 0.177 & 0.160 \\ 0.167 & 0.167 & 0.168 & 0.175 & 0.163 & 0.160 \\ 0.168 & 0.162 & 0.158 & 0.164 & 0.195 & 0.154 \\ 0.164 & 0.172 & 0.153 & 0.165 & 0.187 & 0.160 \\ 0.187 & 0.165 & 0.158 & 0.162 & 0.174 & 0.155 \\ 0.169 & 0.163 & 0.164 & 0.174 & 0.164 & 0.170 \end{bmatrix}$$

因此,得出可靠性分配权重为:

$$\omega = W \oplus R = [0.169 \quad 0.165 \quad 0.164 \quad 0.167 \quad 0.179 \quad 0.159]$$

由权重矩阵可知,皮棉生产车间可靠性分配等级顺序为 C<sub>5</sub>皮棉质检系统、C<sub>1</sub>籽棉收购系统、C<sub>4</sub>机采棉加工系统、C<sub>2</sub>籽棉质检系统、C<sub>3</sub>籽棉仓储系统、C<sub>6</sub>皮棉仓储系统,因此,在对系统设计时需优先考虑皮棉质检和籽棉收购环节的影响,本计算结果可为系统设计和功能开发提供理论基础。

## 2 皮棉生产车间质量追溯系统设计

### 2.1 皮棉生产车间标识物元可拓模型

#### 2.1.1 工业互联网标识编码设计

为实现皮棉生产车间标识编码与各生产环节紧

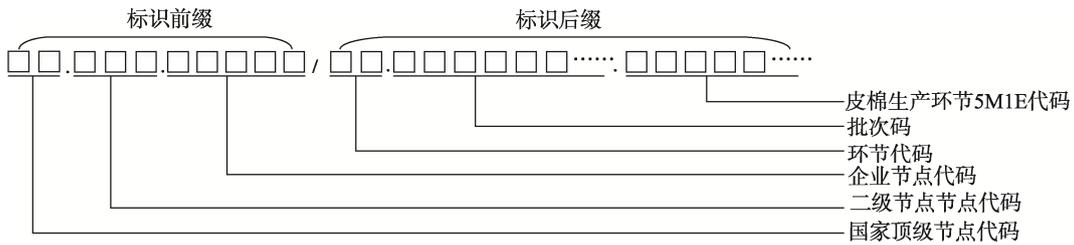


图 3 皮棉生产过程编码规则

Fig.3 Coding rules for cotton production process

表 1 标识解析二级节点环节代码

Tab.1 Identification and interpretation of code of the second level node link

环节代码	含义	备注
01	籽棉收购	收购人员、收购日期、合同、数量等
02	籽棉质检	检验员、检验设备、回潮率、含杂率、马克隆值等
03	籽棉仓储	入库日期、垛位号、批次、仓储环境、仓库管理员等
04	机采棉加工	操作人员、加工设备、加工环境、锯齿机采棉等
05	皮棉质检	批次号、检验员、异性纤维率、检验日期、含杂率等
06	皮棉仓储	入库日期、仓储环境、仓库管理员、出库日期等

密关联,研究引入工业互联网标识解析技术,对皮棉生产车间全要素信息进行编码赋码操作。由于 Handle 标识体系具有唯一性、溯源性及兼容性等优点,因此,研究选用 Handle 标识体系,其编码规则包括标识前缀和标识后缀。标识前缀向新疆特变电工二级节点平台提出申请,标识前缀注册信息如图 2 所示。



图 2 标识前缀分配信息

Fig.2 Identification of prefix allocation information

Handle 标识编码的前缀和后缀用“/”分隔,前缀由若干个数字串和分隔符“.”组成。Handle 后缀由 UTF-8 字符组成,用户可自行定义<sup>[14-16]</sup>。后缀参照《棉花加工机械产品型号编制方法》、《棉包信息管理技术规程》、《工业互联网标识解析编码规范》和《固定资产分类和编码》自行设计。环节代码由 2 位数字组成;批次码在地区编号、加工企业编号、年份 7 位数字的基础上,根据各环节自行确定;皮棉生产环节 5M1E 代码即人、机、料、法、环、测的编号。编码规则如图 3 所示,皮棉生产的标识解析二级节点分类码如表 1 所示。

### 2.1.2 标识载体选择

皮棉生产全过程的信息量大且复杂, 需在关键环节进行标识管理, 以便实现对历史信息的溯源。QR 码具有存储信息量大、纠错能力强, 识读速度快等特点, 常被应用于对物品的一物一码标识<sup>[17-18]</sup>。因此, 本研究采用 QR 码与上述编码关联的方式, 对皮棉生产过程中的物理实体和虚拟资源进行标识。

操作人员可在系统的操作界面打印皮棉生产环节的 QR 码, 采用一维码存储机采棉溯源信息、加工批次信息以及皮棉质量检测信息, 将其机采棉加工批次编码、皮棉质量检测编码与籽棉信息用 QR 码进行关联, 实现全流程信息追溯和验证。皮棉棉包追溯标签如图 4 所示。



图 4 皮棉棉包追溯标签  
Fig.4 Cotton bag traceability label

### 2.1.3 皮棉生产车间标识物元可拓模型建立

为实现皮棉生产车间多源数据融合与数字化管理, 本文探讨了一种皮棉生产过程标识物元可拓模型。结合物元可拓理论分析了皮棉生产环节中的要素信息, 利用工业互联网标识解析技术为媒介, 打通各环节之间的信息壁垒。

皮棉生产过程标识物元可拓模型是在工业互联网标识编码的基础上, 以皮棉生产过程  $N_m$  为对象,  $C_m$  为当前环节的行为特征,  $N_m$  关于  $C_m$  的量值  $V_m$  构成了有序三元组<sup>[19-21]</sup>, 建立皮棉生产全过程的标识物元可拓数学模型, 如图 5 所示。

## 2.2 基于 DAG 的皮棉生产质量追溯模型

皮棉生产工序复杂, 每个环节之间既独立又相互影响。因此, 结合有向无环图( Directed Acyclic Graph, DAG)和标识解析技术, 用有向路径去连接皮棉生产各环节之间的关键节点。基于有向无环图的皮棉生产车间全要素标识数据质量追溯信息流交互, 如图 6 所示。模型构建如下。

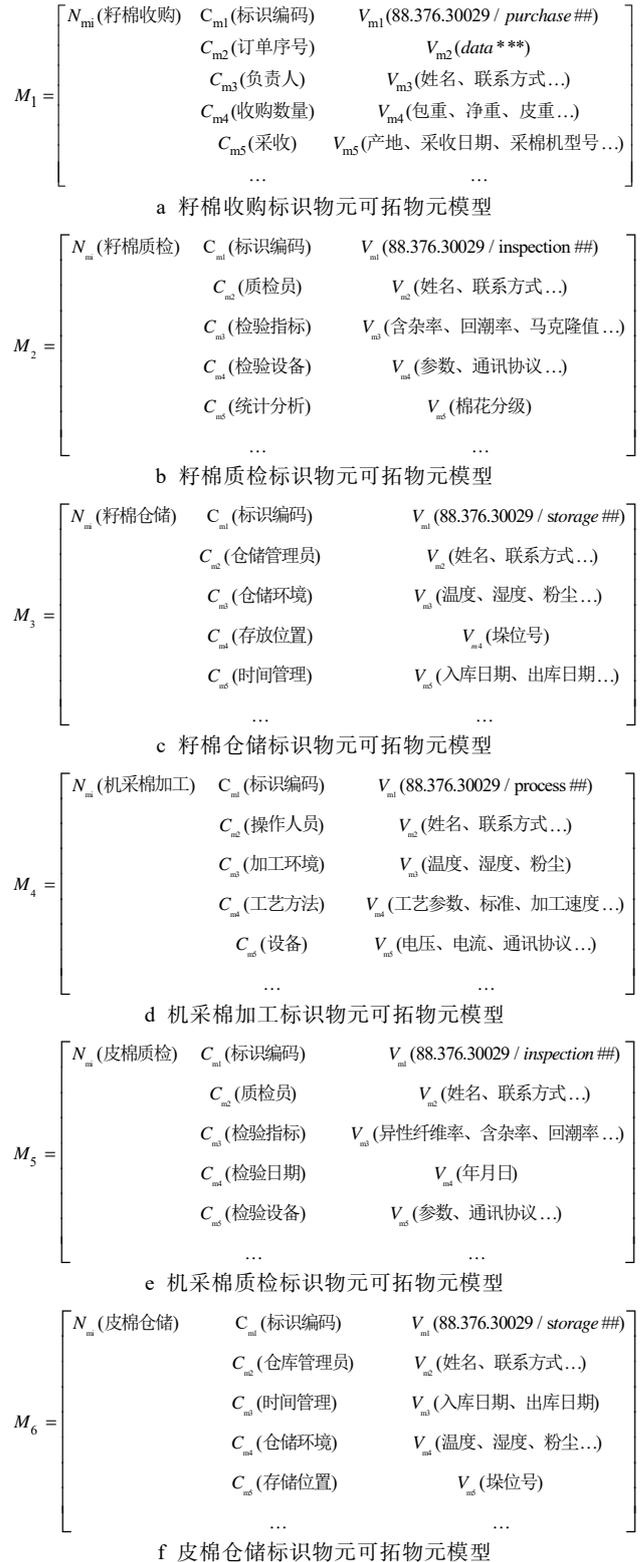


图 5 皮棉生产车间物元可拓模型  
Fig.5 Extended model of matter elements in cotton production workshop

1) 根据棉花加工厂的工艺指导文件, 将各工序之间的关系按照工序顺序在二维直角坐标系中进行表示, 并在每个工序对应的坐标点创建环节容器<sup>[22]</sup>, 其中, 横轴表示串联工序间的先后顺序, 纵轴表示并

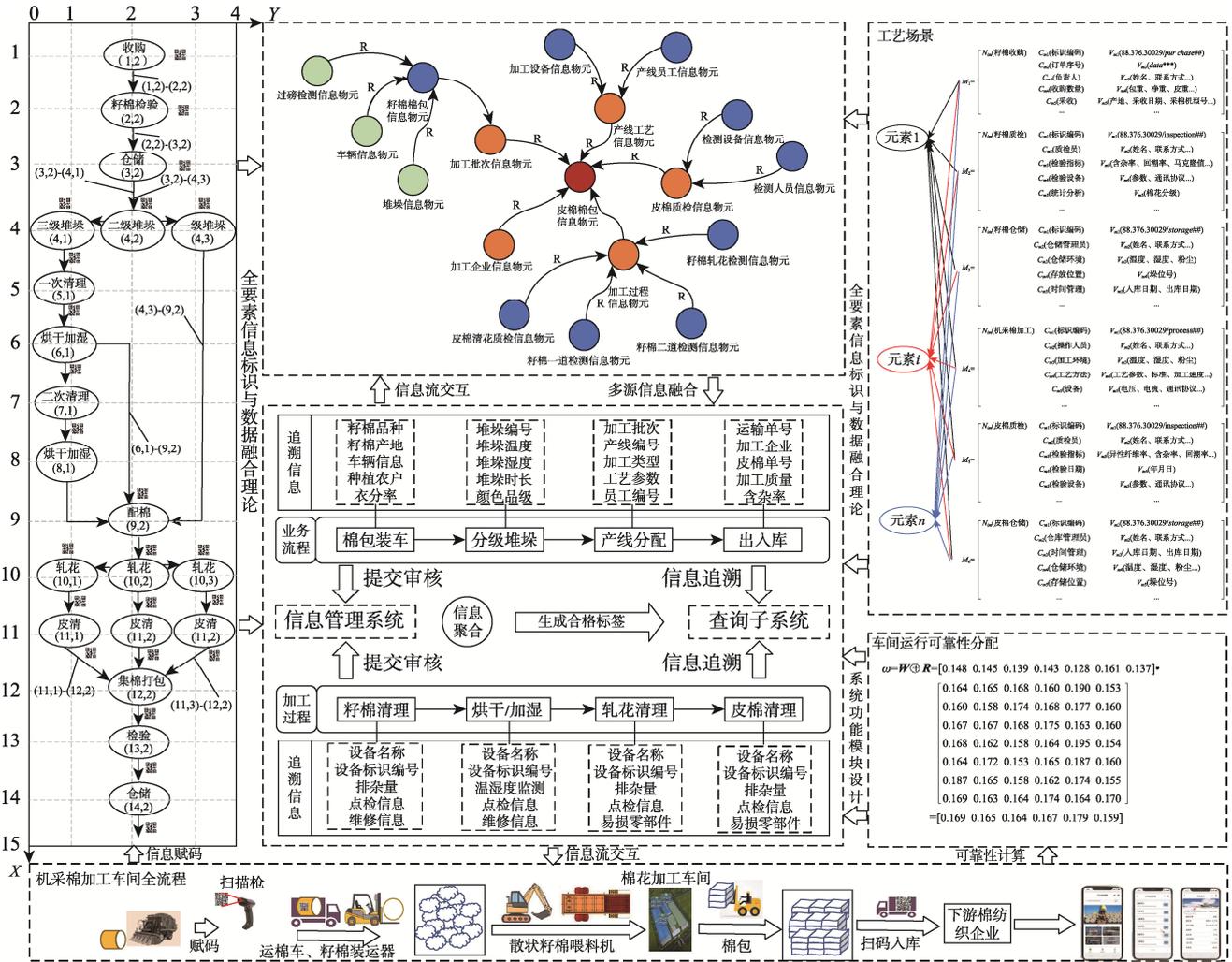


图6 皮棉生产车间全要素标识数据质量追溯信息流交互示意  
Fig.6 Schematic diagram of information flow interaction for quality traceability of all factor identification data in cotton production workshop

联工序间的并联关系，数学符号表示为：

$$C_u \leftrightarrow (x_i, y_i), \quad x_i > 0, y_i > 0 \quad (5)$$

式中： $C_u$ 为第*i*个环节容器， $x_i$ 、 $y_i$ 为环节容器在坐标系中所对应的坐标。

依据皮棉生产工序间的先后顺序，用单向箭头来连接环节容器之间的关联关系，表示为：

$$C_{n(i,j)} = (C_u, C_j), \quad i \leq n, j \leq n \quad (6)$$

式中： $C_{n(i,j)}$ 为从环节容器  $C_u$  到环节容器  $C_j$  的单向连接线， $n$  为皮棉生产工艺过程中工序的数量。

2) 创建邻接矩阵  $G$ ，用矩阵表示所有的环节容器之间的关联关系， $G$  的元素定义  $g_{i,j}$  为：

$$g_{i,j} = \begin{cases} 1, & C_{n(i,j)} \neq \emptyset \\ 0, & C_{n(i,j)} = \emptyset \end{cases} \quad (7)$$

式中： $g_{i,j}$  值为 1 表示环节容器存在有向连接，值为 0 则表示不存在有向连接。

3) 根据环节容器所属环节，向容器内添加该环节所包含的信息要素，表示为：

$$C_{tk} = \{P_a, D_b, M_c, T_d, E_e, C_f\} \quad (8)$$

式中： $C_{tk}$  表示第  $k$  个环节容器， $P_a$  表示人员， $D_b$  表示设备， $M_c$  表示原材料， $T_d$  表示工艺方法， $E_e$  表示环境， $C_f$  表示检测。具体指标可参见上述的可拓物元有序三元组矩阵。

### 2.3 系统架构设计

皮棉生产质量溯源系统旨在实现皮棉生产过程中的质量可追溯，系统需记录从籽棉收购至皮棉仓储环节的关键信息，工厂内部人员可通过扫码对皮棉质量问题进行溯源。系统采用“基础设施层+平台层+应用层”的方式进行构建。系统架构如图7所示。其中：基础设施层，由通用数据模型、数据采集与传输装置以及应用层通用组件组成；平台层，利用阿里物联网云平台，实现终端设备的连接、身份验证以及数据解析；应用服务层，采用前后端分离架构，前端则负责界面渲染及用户指令的发送至后端，后端处理消息订阅、数据处理分析及存储，并与前端通信。

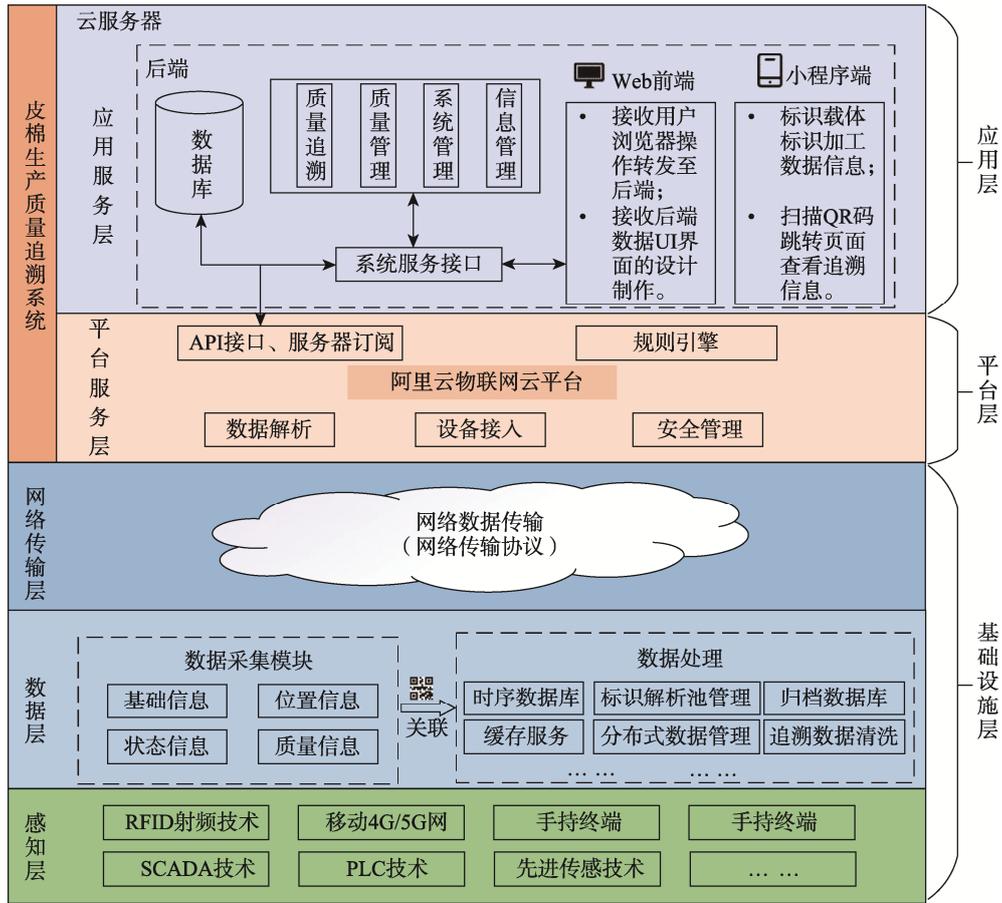


图 7 系统总体架构  
Fig.7 Overall system architecture

## 2.4 系统功能模块设计

为实现机采棉加工环节全流程质量数据追溯与定位,综合考虑操作设备性能、工艺流程、工作环境、操作人员水平等准则层影响因素,依照信息编码标准,结合 FAHP 的计算结果,以树形结构对皮棉生产车间全要素标识信息进行分类。根据皮棉生产车间属性,构建皮棉生产全过程质量追溯系统。主要包含 4 大功能模块:质量追溯模块、运维模块、系统设置模块及基础信息模块。各模块间通过标识解析技术和先进传感技术协同管理。

### 2.4.1 质量追溯模块

质量追溯模块包括 2 个子模块:正向追溯子模块和逆向追溯子模块。正向追溯可追踪皮棉生产环节至潜在质量问题批次;逆向追溯则通过皮棉追溯码反向查询加工全链条信息,快速定位质量问题根源,及时调整生产。

### 2.4.2 运维模块

运维模块包括设备管理子模块和统计分析子模块。设备管理负责皮棉生产设备的监控管理;统计分析则监控生产任务进度,上传皮棉信息,进行成品统

计分析及历史质量数据查询。

### 2.4.3 系统设置模块

系统设置模块包括用户管理子模块和权限管理子模块。用户管理子模块主要实现对用户信息的增、删、改、查。权限管理子模块可创建不同的用户角色,并对其分配相应的权限,包括访问页面、可执行操作以及可查看或修改的数据。

### 2.4.4 基础信息模块

基础信息模块包括 3 个子模块:人员、原材料、文件管理。人员子模块主要是记录生产线上人员的基本信息;原材料子模块是对籽棉信息进行管理,包括籽棉收购、质检、库存管理等信息;文件管理子模块包含了工艺文件、质检记录等信息。

## 2.5 数据库设计

为了方便后续跟踪和追溯皮棉生产信息,需将其信息保存于数据库中。本文选用 MySQL 数据库,对皮棉生产质量追溯环节分析后,建立了籽棉收购信息表、籽棉质检信息表、籽棉仓储信息表、机采棉加工信息表、皮棉质检信息表以及皮棉仓储信息表。数据结构如图 8 所示,部分数据字段规范表设计见表 2。

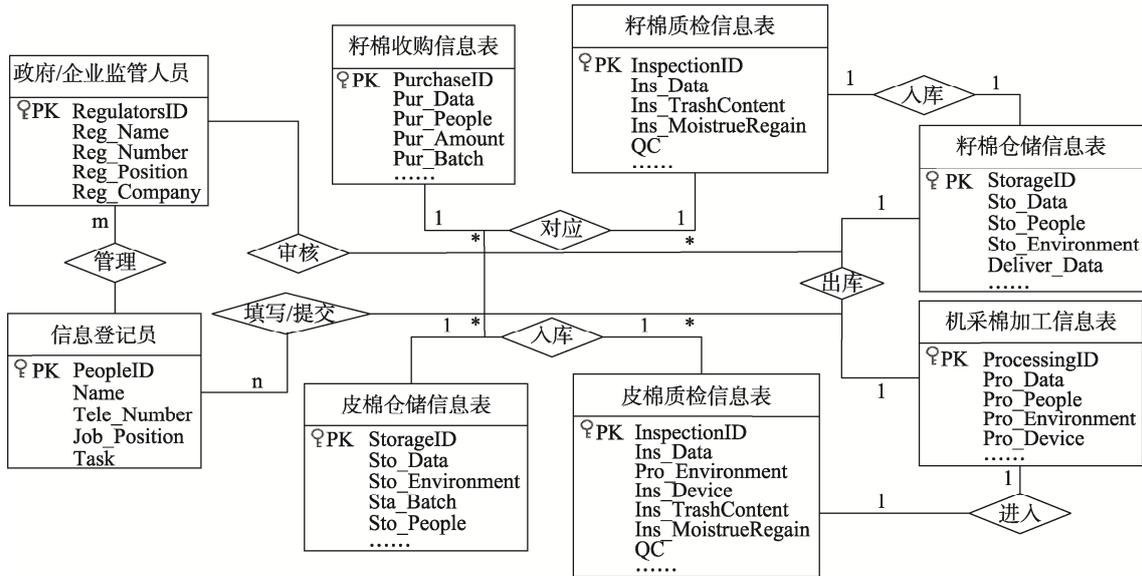


图8 数据结构设计  
Fig.8 Data structure design

表2 部分数据字段规范  
Tab.2 Partial data field specifications

字段名	数据类型	长度	注释	备注
ID	int	35	编号	主键
QC	varchar	30	质检员	
Warehousing_Data	datetime	6	入库日期	
Delivery_Data	datetime	6	出库日期	
Tele_Number	varchar	30	联系方式	
Line_Code	varchar	35	环节编码	
Processing_Environment	varchar	35	加工环境	
Processing_Data	datetime	6	加工日期	
Trash_Content	varchar	35	含杂率	
Moisture_Regain	varchar	30	回潮率	
Micronaire	varchar	30	马克隆值	
Device_Parameters	varchar	35	设备参数	
Process_Batch	varchar	35	加工批次	



图9 机采棉加工信息展示  
Fig.9 Display of machine picked cotton processing information

### 3 系统实现

#### 3.1 Web 端实现

机采棉加工质量追溯系统采用了前后端分离的开发模式，主要使用 Java 语言进行编码，开发环境为 IDEA。前端采用 Vue、Element-UI 和 Echart 等技术实现，后端则使用 Spring Boot 框架集成了 MyBatis，用于收集和處理用户数据。管理员登录系统后可查询机采棉加工基本信息，如图 9 所示。

#### 3.2 小程序端的实现

农产品溯源系统小程序端的核心功能是在农产品生产加工过程中，各环节会产生大量的质量信息数据，相关人员可以通过智能手机终端，将相应的操作信息快速便捷地录入系统，并上传到后台数

据库中，生成皮棉生产阶段的各项前端数据，确保了数据录入的准确性和实时性。如图 10 所示的是籽棉信息查询界面。

#### 3.3 系统测试

分别采用 Postman(Version8.0.6)对数据写入和数据查询进行测试，确保系统正常运行和提高数据的准确度；采用 Jmeter2.9 对本文系统的标识解析部分进行性能测试。

##### 3.3.1 数据写入测试

对皮棉质检信息和机采棉加工信息数据写入进行 25 轮测试，得到皮棉质检数据平均写入时间为 769.432 ms，机采棉加工数据平均写入时间为 767.899 ms。

##### 3.3.2 数据查询测试

同样对皮棉质检数据和机采棉加工数据进行 25 轮查询测试得到皮棉质检数据平均查询时间为 75.645 ms，机采棉加工数据平均查询时间为 72.282 ms。测试结果如图 11 所示。

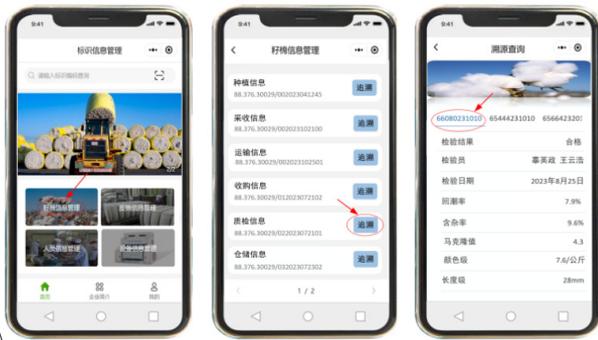


图 10 籽棉信息溯源查询

Fig.10 Traceability query of seed cotton information

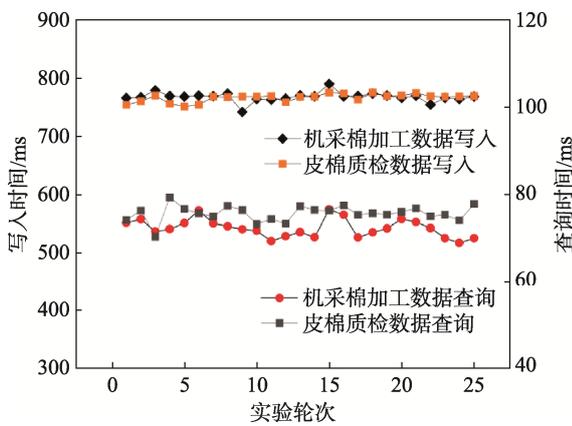


图 11 机采棉加工数据

Fig.11 Processing data of machine picked cotton

### 3.3.3 标识解析模块性能测试

在系统最佳状态下,对标识解析模块性能进行测试,测试项目有 TPS、响应时间、QPS。实验设置环节代码下的 50 套标识,每套标识码下有 40 个标识编码,预设响应时间为 0.35 s。采用并发梯度法逐步增加并发用户,每组梯度运行 10~15 min,将实验结果收集并整理,绘制得出梯度曲线,如图 12 所示。实验结果表明,当并发用户数<35 个时,系统响应时间虽>0.25 s,但在预设时间之内,达到了预期的

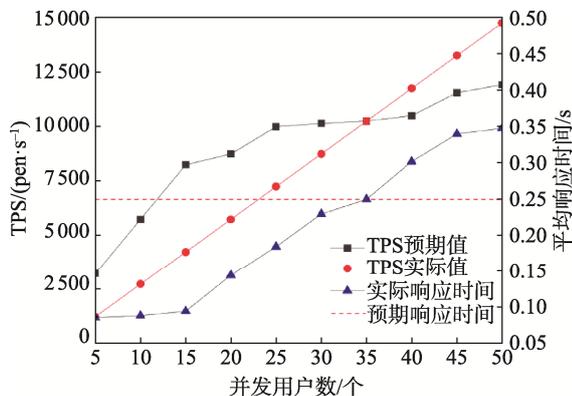


图 12 系统查询及解析梯度曲线

Fig.12 System query and analysis of gradient curves

效果。因此,此系统性能良好,具有良好的稳定性和可靠性,能满足标识查询以及数据可视化的要求。

## 4 结语

为了实现皮棉生产全过程全要素标识数据的可信溯源,通过对其生产过程中的数据信息进行分析,构建了皮棉生产质量追溯系统,开展了以下研究:

1) 皮棉生产车间可靠性模型构建。分析了子系统相对其总系统的权重向量,确定了整个生产车间对其子系统可靠性分配权重,为后续系统的开发与设计提供指导。

2) 皮棉生产车间全要素标识模型建立。通过引入工业互联网标识解析技术对皮棉生产过程关键环节进行标识,构建了以生产环节为导向的可拓物元模型,将各个环节的全要素信息用标识编码进行关联映射,打通了各环节之间的信息壁垒。

3) 皮棉生产车间全要素标识信息质量追溯方法研究。基于皮棉生产车间可靠性评估模型并结合可拓物元标识模型,对其关键环节中所包含的全要素信息进行了记录,探讨了一种基于有向无环图的皮棉生产追溯方法,以期实现对其质量信息的溯源。

4) 搭建了皮棉生产质量追溯系统。对系统中数据写入、数据查询以及对标识解析模块的性能进行了测试,结果表明,系统可满足皮棉生产车间数据溯源要求,研究为皮棉生产车间全要素标识数据提供了一种可靠的解决方法。

同时,标识解析技术目前还无法确保数据的完整性和真实性,在数据处理、存储及传输过程中,仍可能面临安全漏洞和隐私泄露的风险,未来,数据的安全性与隐私保护仍具有一定的挑战。因此未来在农产品质量追溯领域,笔者认为应结合区块链与深度学习技术,依靠神经网络模型对现有数据传输方式与网络架构进行优化,以确保数据在传输中的快速与可信。

### 参考文献:

[1] 王旭飞. 新疆棉花生产机械化技术发展研究[J]. 南方农机, 2023, 54(17): 80-82.  
WANG X F. Research on the Development of Mechanization Technology of Cotton Production in Xinjiang[J]. China Southern Agricultural Machinery, 2023, 54(17): 80-82.

[2] 姜善伟, 田立文, 罗宏海, 等. 新疆棉花优质高产关键生产技术分析[J]. 中国农业科学, 2023, 56(14): 2673-2685.  
LOU S W, TIAN L W, LUO H H, et al. Analysis on Key Production Techniques of Cotton with Good Quality and

- High Yield in Xinjiang[J]. *Scientia Agricultura Sinica*, 2023, 56(14): 2673-2685.
- [3] 常赛科, 孙文磊, 刘志远, 等. 基于可信标识的工业设备全生命周期运维系统研究[J]. *制造技术与机床*, 2023(11): 82-89.  
CHANG S K, SUN W L, LIU Z Y, et al. Research on the Full Lifecycle Maintenance System of Industrial Equipment Based on Trusted Identification[J]. *Manufacturing Technology & Machine Tool*, 2023(11): 82-89.
- [4] 蔡炳育. 基于物联网技术的饲料安全追溯系统设计与应用[J]. *饲料研究*, 2020, 43(12): 163-167.  
CAI B Y. Design and Application of Feed Safety Traceability System Based on Internet of Things Technology[J]. *Feed Research*, 2020, 43(12): 163-167.
- [5] RAHMAN L F, ALAM L, MARUFUZZAMAN M, et al. Traceability of Sustainability and Safety in Fishery Supply Chain Management Systems Using Radio Frequency Identification Technology[J]. *Foods*, 2021, 10(10): 2265.
- [6] 曾大明, 张善翔. 装备制造行业工业互联网标识解析应用分析[J]. *通信与信息技术*, 2022(1): 28.  
ZENG D M, ZHANG S X. Analysis and Application of Industrial Internet Identity in Equipment Manufacturing Industry[J]. *Communication & Information Technology*, 2022(1): 28.
- [7] 陈旭华, 潘星宇, 张文德, 等. 区块链赋能牛肉供应链可信追溯系统的构建[J]. *福州大学学报(自然科学版)*, 2023, 51(6): 756-761.  
CHEN X H, PAN X Y, ZHANG W D, et al. Construction of the Credible Traceability System of the Blockchain-Enabled Beef Supply Chain[J]. *Journal of Fuzhou University (Natural Science Edition)*, 2023, 51(6): 756-761.
- [8] 谈和义, 顾永跟, 吴小红, 等. 融合区块链的农产品溯源系统设计[J]. *湖州师范学院学报*, 2023, 45(10): 32-43.  
TAN H Y, GU Y G, WU X H, et al. Design of Agricultural Product Traceability System Based on Blockchain[J]. *Journal of Huzhou University*, 2023, 45(10): 32-43.
- [9] NAWAZ A, WANG L G, IRFAN M, et al. Hyperledger Sawtooth Based Supplychain Traceability System for Counterfeit Drugs[J]. *Computers & Industrial Engineering*, 2024, 190: 110021.
- [10] 金鹏, 薛哲彬, 江润恬, 等. 基于区块链技术的服装可追溯系统设计与实现[J]. *丝绸*, 2021, 58(5): 62-69.  
JIN P, XUE Z B, JIANG R T, et al. Design and Implementation of Blockchain Technology-Based Clothing Traceability System[J]. *Journal of Silk*, 2021, 58(5): 62-69.
- [11] 武园园, 孙文磊. 多因素下风力发电机组系统可靠性分配方法的研究[J]. *机械设计与制造*, 2024(6): 210-213.  
WU Y Y, SUN W L. Research on Reliability Allocation Method of a Wind Turbine Generator System under Multiple Factors[J]. *Machinery Design & Manufacture*, 2024(6): 210-213.
- [12] XU F F, HU R L, ZHANG M B, et al. Energy Saving and Emission Reduction Potential Evaluation of a Coal Mine Based on Fuzzy Hierarchical Analysis[J]. *Sustainability*, 2023, 15(15): 11754.
- [13] 丛成. 基于模糊层次分析法的机械加工工艺的优化选择[J]. *机械设计与制造工程*, 2020, 49(1): 100-104.  
CONG C. Optimization of Machining Process Based on Fuzzy Analytic Hierarchy Process[J]. *Machine Design and Manufacturing Engineering*, 2020, 49(1): 100-104.
- [14] 任语铮, 谢人超, 曾诗钦, 等. 工业互联网标识解析体系综述[J]. *通信学报*, 2019, 40(11): 138-155.  
REN Y Z, XIE R C, ZENG S Q, et al. Survey of Identity Resolution System in Industrial Internet of Things[J]. *Journal on Communications*, 2019, 40(11): 138-155.
- [15] 陶世峰, 杨巍, 李刚, 等. 工业互联网 Handle 标识解析技术在桥梁行业中的创新应用研究[J]. *新型工业化*, 2024, 14(4): 90-97.  
TAO S F, YANG W, LI G, et al. Research on the Application of Handle Identifier/Resolution Technology in Bridge Construction and Maintenance[J]. *The Journal of New Industrialization*, 2024, 14(4): 90-97.
- [16] FAN Y P, DAI C R, HUANG S, et al. A Life-Cycle Digital-Twin Collaboration Framework Based on the Industrial Internet Identification and Resolution[J]. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2022, 123(7): 2883-2911.
- [17] 燕雨薇, 余粟. 二维码技术及其应用综述[J]. *智能计算机与应用*, 2019, 9(5): 194-197.  
YAN Y W, YU S. A Review on Two-Dimensional Code Technology and Its Application[J]. *Intelligent Computer*

- and Applications, 2019, 9(5): 194-197.
- [18] 凌康杰, 岳学军, 刘永鑫, 等. 基于移动互联的农产品二维码溯源系统设计[J]. 华南农业大学学报, 2017, 38(3): 118-124.
- LING K J, YUE X J, LIU Y X, et al. Design of a Farm Product Traceability System with QR Code Based on Mobile Internet[J]. Journal of South China Agricultural University, 2017, 38(3): 118-124.
- [19] 祝勇仁. 成衣制造工艺知识可拓表示与实例推理应用研究[J]. 北京服装学院学报(自然科学版), 2021, 41(2): 56-63.
- ZHU Y R. Research on Extension Representation of Garment Manufacturing Process Knowledge and Case-Based Reasoning Application[J]. Journal of Beijing Institute of Fashion Technology (Natural Science Edition), 2021, 41(2): 56-63.
- [20] HAO L, WANG T B, GUO C P. Research on Parallel Association Rule Mining of Big Data Based on an Improved K-Means Clustering Algorithm[J]. International Journal of Autonomous and Adaptive Communications Systems, 2023, 16(3): 233-247.
- [21] 孙威虎, 邹浩. 基于物元可拓模型的农产品分销网络效率评价[J]. 物流技术, 2019, 38(8): 68-72.
- SUN W H, ZOU H. Research on Efficiency Evaluation of Agricultural Products Distribution Network Based on Matter Element Extension Model[J]. Logistics Technology, 2019, 38(8): 68-72.
- [22] 谷振宇, 何仪, 李东洋. 基于数字孪生的铸造工艺过程环境影响评价方法[J]. 中国机械工程, 2023, 34(12): 1465-1475.
- GU Z Y, HE Y, LI D Y. Assessment Method of Environmental Impact of Casting Processes Based on Digital Twin[J]. China Mechanical Engineering, 2023, 34(12): 1465-1475.