学校代码： 10246
学　　号： 14210720152

復旦大學

硕 士 学 位 论 文

（学术学位）

基于 RFID 和数据仓库的混凝土管桩智慧生产管理系统及其决策研究

Intelligent Concrete Pipe Pile Production Management System Based on RFID & Data Warehouse with the Research of Decision Making

院　　系： 信息科学与工程学院

专　　业： 通信与信息系统

姓　　名： 张聪

指 导 教 师： 钱松荣 教授

完 成 日 期： 2017年 3 月 30 日

指导小组成员名单

钱松荣　教授

摘　要

混凝土管桩是施工现场实施安装时常用的装配式预制构件，其产品在施工前预先完成，具有安全、耐用、环保、可维护等优点。但在实际过程中，由于建筑行业施工环境复杂，对混凝土管桩的生产缺乏有效管理，导致管桩质量得不到有效保证（如钢筋强度不合格，养护时间不足等），给施工带来安全隐患；此外由于管理落后等问题，大部分企业生产自动化程度不高，仍是劳动密集型的生产管理结构，造成人力物力的极大浪费，不利于企业在市场化环境下的成长。

随着信息技术和物联网技术的发展，人们开始探寻通过 RFID（Radio Frequency Identification，射频识别）技术和数据仓库（DW，Data Warehouse）技术解决上述问题。RFID 技术是自动识别技术的一种，利用无线射频方式进行数据通信，对目标加以识别并采集身份信息；RFID 技术可以在无需人工干预的情况下实现信息采集，同时具有非接触识别、抗污染性和耐久性的优点，目前已广泛应用于仓储管理、畜牧管理、交通运输、身份认证等诸多领域。数据仓库是数据分析和联机分析处理的平台，可为企业管理人员提供各种粒度的多维数据分析，更可以通过进一步数据挖掘或搭建运筹学模型的方式提供决策支持交互，被广泛应用于商业智能领域和决策支持系统。

本文便是在这一基础上，设计了基于 RFID 和数据仓库的混凝土管桩生产管理系统：通过在混凝土管桩内埋设无源 RFID 标签，结合物联网及相关数据采集、处理技术，对混凝土管桩的生产、检验、运输等过程进行有效管理，完成混凝土管桩全生命周期的信息采集和责任溯源；根据工厂实际需求，在 RFID 信息管理平台基础上，对生产数据建立企业级数据仓库，通过对数据仓库的进一步挖掘、分析和处理，建立了信息化工厂智能决策模型，为企业日常流水线中的物资管理提供运筹学支持，以节约企业生产成本，实现智能化、信息化管理。

总的来说，本生产管理系统解决方案能够有效实现信息采集、溯源功能，完成对管桩各生产环节的实时、透明、可视化监控；通过数据仓库和智能决策模型，为企业管理者有效安排日常经营活动、节约内部成本提供了理论依据和数据支持，有一定的推广价值和实用意义。

关键字：RFID，生产管理，数据仓库，决策分析，信息化

中图分类号：　TP31

Abstract

Concrete pipe piles are prefabricated components commonly used for the construction site, the components have the advantage of being safe, durable, environmental protection and maintainable, etc. But in reality, due to the complexity of industry construction environment and the lack of effective management, the quality of concrete pipe piles can not be guaranteed (such as unqualified steel bar intensity, lack of maintenance time, etc) which leads to the hidden security danger for constructions; furthermore, the majority of enterprises have low automation degree and still owns labor-intensive production & management structure, which has caused a huge waste of resources and is not conducive to the growth under the market circumstances.

With the development of information technology and the IOT (Internet of Things), people began to explore through RFID (Radio Frequency Identification) and DW (Data Warehouse) technology to solve these problems. RFID technology is a kind of automatic identification technology which could identify the target and obtain relevant data by the use of radio-frequency communication and complete information collection & processing without the need of manual intervention. With the advantages of non-contact identification, anti-pollution and durability, RFID technology has been widely used in storage management, animal husbandry management, transportation control as well as many other areas. Data warehouse is a platform for data analysis and data online analysis and processing. It can provide enterprise mangers with multi-dimensional data, analysis of various granularity, and decision support interaction through further data mining or establishment of operational research model, which is widely used in decision-making support systems and business intelligence.

On the basis of related researches, the paper has designed a concrete pipe pile production management system based on RFID and Data Warehouse. By laying passive RFID tags into concrete pipe piles, combined with the IOT and related data collection & processing technology, the system could perform effective management for pipe production, inspection, transportation and other processes in the complete production life cycle of information collection and responsibility traceability. In addition, enterprise data warehouse has been established based on the production management system and actual needs of the factory, which could be used for further mining, analysis and processing as well as the building of information plant's intelligent decision-making model, thus to provide daily material management with operational support, save production costs and achieve intelligent, inforamtization management.

In general, the production management system solution can effectively realize information collection & traceability as well as real-time, transparent and visual monitoring for all the production chains. Through the Data Warehouse and intelligent decision-making model, the enterprise manager could arrange daily business activities, saving internal costs with theoretical basis and data support, which has a certain promotional value and practical significance.

Keywords: RFID, production management, data warehouse, decision analysis, informatization

CLC： TP31

目 录

第一章 绪论 1
1.1 引言 1
1.2 国内外研究现状及发展前景 1
1.3 论文主要工作及组织结构 3
1.3.1 论文的研究内容 3
1.3.2 论文的内容结构 3
第二章 基础理论与相关研究 5
2.1 RFID 技术概述 5
2.1.1 RFID 的基本原理 5
2.1.2 RFID 系统结构 5
2.1.3 RFID 的技术优势和应用现状 7
2.2 数据仓库及相关技术 7
2.2.1 数据仓库的基本特征 8
2.2.2 数据仓库的层次结构 8
2.2.3 数据仓库中的联机分析处理技术 10
2.3 本章小结 11
第三章 系统总体架构设计 12
3.1 系统需求分析 12
3.1.1 企业存在的问题 12
3.1.2 系统需求 12
3.2 系统整体架构 13
3.2.1 RFID 信息管理平台 13
3.2.2 数据仓库 14
3.2.3 决策模型 14
3.2.4 人机交互界面 14
3.3 本章小结 15
第四章 RFID 信息管理平台 16
4.1 RFID 信息管理平台基础架构 16
4.2 RFID 信息采集层设计 17
4.2.1 硬件设计 18
4.2.2 嵌入式软件设计 20
4.3 RFID 应用服务层设计 22
4.3.1 总体设计 22
4.3.2 数据库基础架构 24
4.3.3 功能模块设计 30
4.4 本章小结 38
第五章 数据仓库设计与实现 39
5.1 数据仓库的主题 39
5.2 数据仓库的维度 40
5.3 数据仓库的模型结构 41
5.4 数据仓库的 ETL 处理 42
5.5 人机交互界面展示 43

5.6 本章小结 45
第六章 决策模型设计 46
6.1 单周期需求离散报童模型 46
6.2 多周期需求连续报童模型 47
6.2.1 需求连续报童模型 47
6.2.2 多进货周期的修正 48
6.3 实例分析 49
6.4 本章小结 50
第七章 总结与展望 51
7.1 本文总结 51
7.2 研究展望 52
参考文献 53
攻读学位期间发表的学术论文 56
致 谢 57

第一章 绪论

1.1 引言

随着信息技术的快速发展，国内外竞争的日趋激烈和劳动力成本的不断上升，大型制造企业的外部生存环境正面临翻天覆地的变化。面对技术创新速度加快，产品生命周期缩短等一系列挑战，企业除了更新原有产品结构外，引进先进的生产管理方式、决策制度，完善质量监管、责任溯源，已成为新时代企业发展整体竞争力的重中之重。

在“工业 4.0”和“中国制造 2025”提出后，越来越多的制造企业认识到，传统的人工管理模式已经不再符合当前市场化的时代要求，只有通过借助相关 IT 信息管理平台，提高企业信息化、自动化水平，完成生产数据的实时统计、追踪，并在此基础上对生产、仓储和物资供应等实施精确规划，才能进一步优化企业资源，在激烈的市场竞争中立于不败之地[1]。

混凝土管桩企业也不例外，由于管桩本身具有单件成本高，制造工艺复杂，应用广泛等特点，企业对管桩产品质量、成本优化具有很高的要求，一旦产品出现质量问题，往往造成严重的安全隐患或巨额的赔偿损失[2]。国内外研究应用证明，RFID 技术作为一种先进的自动识别和数据采集技术，可以有效应用到企业经营中来，实现精细化、智能化管理。通过使用 RFID 技术和相关物联网技术，企业可以完成对产品数据的实时采集、监控，满足制造业生产流程和管理模式的需求[3]；同时在此基础上，建立企业数据仓库，通过对生产数据等的进一步汇总分析，结合先进管理理念和运筹学模型，企业能够有效安排物资、生产、调度计划，避免出现过量制造，库存浪费，频繁移动物料等问题，提高企业整体生产管理效率，节约生产成本，实现效益最大化[4]。

1.2 国内外研究现状及发展前景

进入信息时代以来，传统大型制造企业由于仍采用传统的人工、纸质办公模式，面临生产管理效率低下、信息不对称等问题，造成企业无法实时同步生产线信息，管理人员人为决策频繁失准，影响企业整体经济效益；随着以 RFID 技术为代表的的物联网技术和数据仓库技术的发展，越来越多的人们开始探索利用其为企业建立信息管理系统以解决上述问题，并已在不同领域取得了一定的应用。

RFID 技术是自动识别技术的一种，被认为是 21 世纪十大重要技术之一[5]，该技术利用无线射频方式进行数据通信，对目标身份信息进行采集和识别。自 20 世纪 90 年代末至今，RFID 电子标签成本不断降低，在各行业领域的应用也不断扩大：在物流配送领域，世界最大的连锁超市沃尔玛自 2003 年起，开始要求其下属主要供货商在产品上加装 RFID 标签，当产品到达其仓储中转中心时，通过 RFID 读卡器，系统会自动采集

产品信息，实现自动化库存清点，降低了公司的运营和管理成本；许多欧洲企业也借鉴沃尔玛的做法，在集装箱和货物运输中加装了 RFID 标签，这样在货物运输中转时，零售商能够精确掌握货物位置，方便进行管理和调度[6]。在传统制造领域，RFID 技术也被广泛应用于生产过程的透明管理。德国知名公司经营汽车零配件生产的 ZF Friedrichshafen 公司，为保证准时按生产计划为用户供货，引进了一套 RFID 生产管理系统来追踪、引导变速器生产，通过 RF-IT Solutions 公司生产的 RFID 中间件，与企业现有服务应用软件连接，有效实现了产品生产、包装、运输、销售的全程可视化，提高了公司的经济效益[7]。在管栝瑜[8]、朱同林[9]、姚德利[10]等人的研究中，对 RFID 技术在混凝土制造领域的应用也进行了探索，经证明 RFID 技术是一种有效的识别、追溯技术，能够用以改造企业经营管理模式，实现科学化、智能化管理，对推进我国建筑产业信息化发展产生积极作用。

数据仓库技术的发展起源于上世纪 70 年代，美国教授 Michael S.Scott Morton 认为可以通过数据和计算机建模为企业提供辅助决策支持，并据此提出了决策支持系统（DSS）的概念[11]，然而随着企业运营规模和历史数据的不断积累，传统的关系型数据库已经不能满足企业的分析要求，无法从庞大的数据积累中发掘有效信息为企业管理提供数据支持。针对这一情况，W.H. Inmon 博士在上世纪 90 年代初提出了数据仓库的概念，数据仓库是数据分析和数据联机分析处理的平台，可为企业管理者提供各种粒度的多维数据分析，更可以通过进一步数据挖掘或建立运筹学模型的方式提供决策支持交互[12]。针对数据仓库在企业管理上的巨大前景，国外几家大型数据库公司陆续提出了数据仓库解决方案，这其中包括 Sybase 公司推出的 Quick Start Data Mart，支持 Bit Wise 和垂直数据存储技术，通过改进的索引方式，使得访问查询效率比传统关系型数据库快了 100 倍；IBM 公司借鉴多个合作伙伴和第三方开发商的解决方案，融合了 Essayed 的多维分析 OLAP 工具和 IBM 的智能挖掘机（Intelligent Miner），使用户可在多个环境中获得有效信息；Oracle 公司也发布了 Oracle 数据仓库白皮书，提出了数据仓库解决方案在定义、建立、使用中的若干准则[13]。在国内，越来越多的研究人员也开始探索将数据仓库应用在管理决策领域，如人力资源[14]、煤矿精细化管理[15]、温室管理[16]、铁路售票[17]等，均取得了较好的管理效果。

虽然 RFID 技术和数据仓库技术在各自领域都为企业信息化管理做出了很大提升，但将两者有效结合起来，为传统制造企业构建生产、管理、决策系统解决方案，完成产品全生命周期的智能化管理和决策分析，在相关领域尚处在空白状态。本文便是在这一基础上，结合 RFID 技术和数据仓库技术，通过 RFID 信息采集平台获取产品在生产线各环节的生产数据，构建数据仓库和决策模型，通过人机交互界面为企业提供管理、决策支持，有助于企业在生产线各工序环节对信息实时、透明化管理，有效完成产品质量监管；同时协调统筹内部各资源配置，降低企业成本，提高经济效益；通过历史汇总统计数据建立的数据仓库和决策模型的建立，为管理用户提供数据支持，帮助企业在市场

化环境下完成信息化、智能化决策分析。

1.3 论文主要工作及组织结构

1.3.1 论文的研究内容

本文在前人研究的基础上，结合混凝土管桩制造企业存在的管理落后、经营效率不高、生产信息采集不及时、信息不对称等问题，创新性地将 RFID 为代表的物联网技术与数据仓库技术结合起来，用于企业生产信息的智能采集和产品的自动化管理，通过计算机网络技术和运筹学模型，为企业在管理、决策方面提供信息化支持，本文研究的主要内容如下：

（1）借鉴国内外 RFID 技术和数据仓库在企业运营管理中的经验，在一年多的时间里，实地调研混凝土管桩企业的管理、运营模式，搜集现场数据资料，针对现有企业实际情况抽象完成项目整体需求分析、系统整体架构，提出了一套以 RFID 和数据仓库技术为核心的信息采集、生产管理方案。

（2）针对企业生产过程中的需求，完成了 RFID 信息管理平台的整体设计，包括 RFID 电子标签、信息采集层、应用服务层三部分：选取了合适的 RFID 电子标签芯片，以适应企业复杂的生产环境；设计了信息采集层的基本架构，包括 RFID 读卡器的硬件电路设计和软件设计，用于完成射频信号的编解码、调制/解调、时序控制、逻辑控制等功能；采用 C/S 架构，使用 C#和 SQL 语言编写，在 Visual Studio 2013 与 SQL Server 2008 R2 中完成应用服务层的开发，应用服务层功能模块包括人事管理、物资管理、生产管理、产成品管理、质量检验、综合查询、BBS 公告栏等功能，涵盖了产品全生命周期，方便企业实时、透明、精准化管理；参照企业现行通用的各生产报表，抽象成符合计算机语言的关系数据库模型，完成了后台数据库表的整体设计。

（3）考虑企业管理在决策性方面的需求以及 RFID 信息采集平台的历史数据积累，引入数据仓库技术，确定混凝土管桩企业在生产管理方面的主题，完成关系数据库到数据仓库的数据提取、清理、变换，采用雪花模型完成在时间维度、生产维度、物资维度上的企业级数据仓库建立；通过 OLAP 联机分析处理的上卷下钻等操作为用户提供多维度、不同层次的数据支持。

（4）对企业日常经营管理活动中极为重要的物资管理，在 RFID 信息采集平台和数据仓库技术的支持下，采用运筹学方法，建立改进的多周期报童模型，为企业优化内部资源配置，动态调整发展战略提供帮助。

1.3.2 论文的内容结构

本文共分为七个章节，内容安排如下：

第一章为绪论，阐述本文的研究背景、国内外研究现状及发展应用前景，介绍了本

文研究的主要内容和创新点，说明了文章的内容结构安排。

第二章为系统的基础理论和相关研究介绍，主要概述了 RFID 技术的基本原理、RFID 技术的系统架构、技术优势和应用现状；同时介绍了数据仓库技术的基本特征、层次结构和 OLAP 联机分析处理技术，为文章奠定理论基础。

第三章为系统总体架构设计，介绍了通过 RFID 技术和数据仓库技术建立的系统基本架构，从 RFID 信息采集平台、数据仓库和决策模型简述系统的设计。

第四章为 RFID 信息采集平台设计，介绍了 RFID 信息采集平台的组成，包括 RFID 电子标签选型，RFID 读卡器设计和应用服务系统设计三部分，详述了读卡器的软硬件设计、应用服务系统数据库设计和功能模块设计。

第五章为 RFID 数据仓库设计，介绍了系统企业级数据仓库的搭建，包括确定数据仓库的主题和维度，数据仓库的模型设计，数据的预处理和装载以及在商业智能工具中的展示。

第六章为系统决策模型设计，介绍了以物资管理为核心的离散单周期报童模型和连续多周期报童模型的应用，最后通过企业实际情况说明了多周期报童模型的应用。

第七章对全文所做工作进行总结，并结合论文在试运行过程中存在的问题，提出未来下一步的改进方向。

第二章 基础理论与相关研究

2.1 RFID 技术概述

RFID（Radio Frequency Identification）技术，即射频识别技术，是一种通过交变电磁场信号实现数据通信的信息自动识别、采集技术。进入 21 世纪以来，作为物联网的重要基础，RFID 技术凭借其可工作于恶劣环境，无需人工自动识别，易于维护等特点被广泛应用于生产管理、物资配送、身份认证、门禁系统、畜牧业安全溯源、图书馆管理等诸多领域，为信息化、智能化管理提供了有效的解决方案[17]。

2.1.1 RFID 的基本原理

RFID 技术的基本工作流程是：将符合需求的特定频段 RFID 电子标签加装到识别物品上，当对应物品进入到读卡器产生的电磁场中时，电子标签将产生感应电压，完成内部电路供能；在识别处理读卡器的指令后，电子标签将内部信息经调制、编码后通过电磁信号返回到读卡器端；读卡器端接收天线信号，经射频模块解调电路、检波电路、整流电路送入 MCU 进行软件解码获取标签信息，然后经通信接口返回信息至上位机；上位机接收到信息后进行相关处理和数据身份绑定，继续下达指令控制读卡器操作[18]。

根据能量感应方式的不同，射频识别系统一般可以分为两类，包括电感耦合（Inductive Coupling）系统和电磁反向散射耦合（Backscatter Coupling）系统[19]；前者依据的是电磁感应原理，后者依据的的是雷达信号原理；本文所使用的是电感耦合的标签芯片。

2.1.2 RFID 系统结构

射频识别（RFID）是利用读卡器与电子标签之间的电磁耦合来实现数据通信，从而对电子标签及其所代表的的对象进行识别的自动识别技术。常见的 RFID 系统由读卡器、电子标签、RFID 中间件和应用软件构成[20]，一般将 RFID 中间件和应用软件统称为应用服务系统，其系统基本架构见下图 2-1：

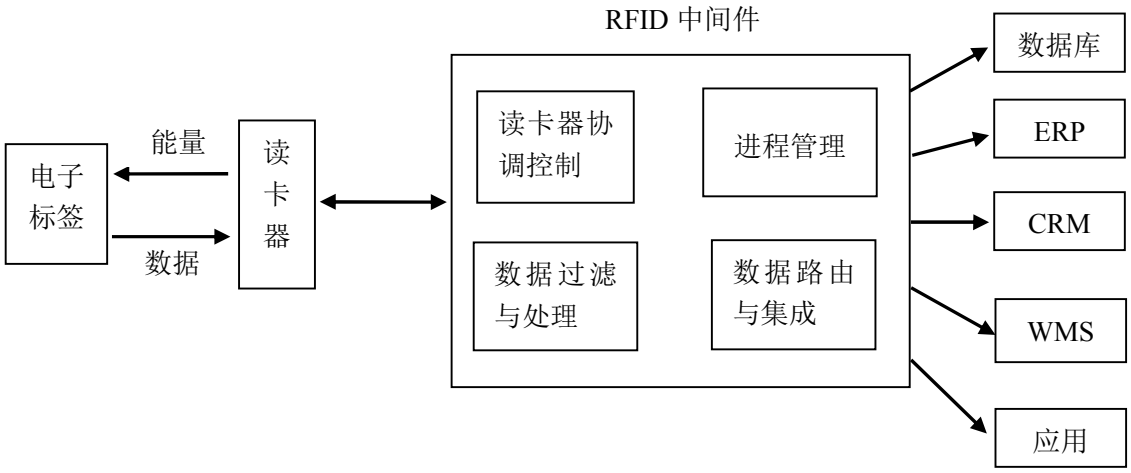


图 2-1 RFID 系统基本模型图

（1）读卡器

读卡器（Reader）是 RFID 系统的前端控制模块，其任务是接收来自主机的控制指令，完成与电子标签之间的双向通信。读卡器一般由天线、射频接口、逻辑控制单元和串行接口四部分构成，其基本结构如图 2-2 所示：

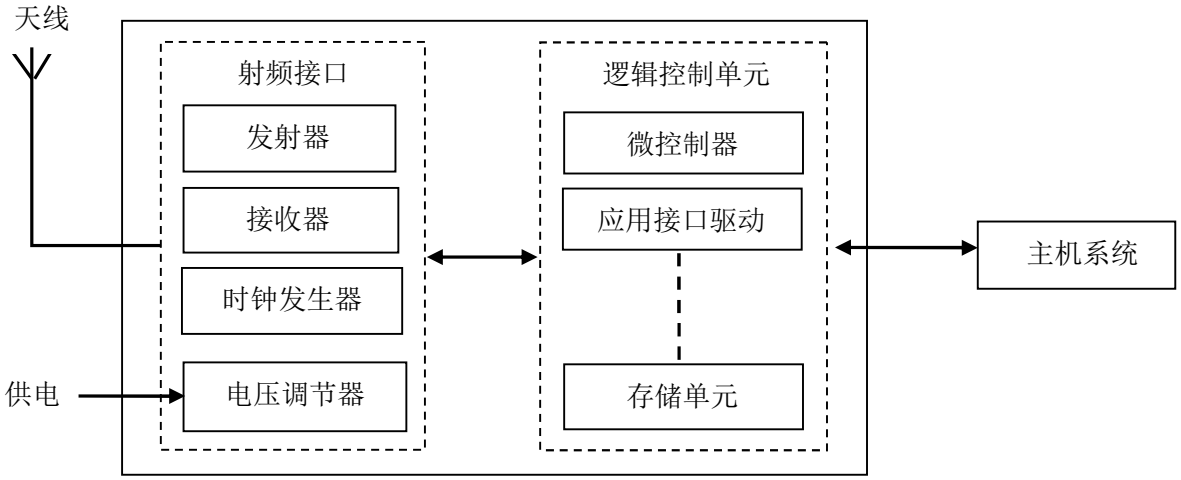


图 2-2 读卡器基本结构图

（2）电子标签

电子标签（Electronic Tag）包括 IC 芯片和无线通信天线，是射频识别系统中的身份标识主体；其内部一般由编解码电路，存储器，电源电路，控制电路组成，其中存储器中储存着唯一标识物体的信息，故将电子标签附在物体上可以完成自动识别。

（3）应用服务系统

应用服务系统包括 RFID 中间件和 RFID 应用软件两部分，其中 RFID 中间件介于电子标签和应用软件之间，用于处理协调两者间的通信和数据操作；RFID 应用软件包括各种不同的功能模块，其功能一方面对读卡器下达控制指令，另一方面完成识别信息

的实时采集、录入和处理。

2.1.3 RFID 的技术优势和应用现状

RFID 技术是一种新型的自动采集、识别技术，其主要优势和特点集中在以下几方面[21]：

（1）信息安全可靠，标签内信息数据不会被篡改；

（2）相比于传统的人工识别、条形码等方式，可以实现信息自动识别采集，且无需人工辅助操作；电磁信号具备一定的穿透性，读卡器和标签间可实现远距离通信；

（3）抗环境干扰，可工作于各种复杂恶劣环境，使用寿命长且能重复使用；

（4）无源标签价格低廉，系统维护搭建方便；

（5）标签内部存储空间大，除基础的 ID 身份信息外，还能包含部分附加信息如生产数据、产地等；通过读卡器可以下达不同指令获取特定需要的信息；

（6）信息识别、采集速度快，可实现多标签数据的实时采集。

正是因为这些优点，RFID 技术被广泛应用于生产管理、物资配送、身份认证、门禁系统、畜牧业安全溯源、图书馆管理等诸多领域；尤其是近几十年来，RIFD 技术应用在全世界有了很大发展和应用，主要表现在美国配置的电子收费、交通管理系统上，以及欧洲在不停车收费系统、道路控制和商业上的应用。自上世纪 90 年代初颁布实施“金卡工程”以来，RFID 技术也开始在我国高速公路电子收费系统（ETC）、电子车牌管理系统、身份识别卡片、图书馆管理中广泛应用。综合来看，RFID 的典型应用领域包括[22]：

（1）铁路车号自动识别管理。如：中国铁路、北美铁路、瑞士铁路等；

（2）高速公路自动不停车收费系统（ETC）及其管理；

（3）乘客行李的信息自动采集、托运、分发。如：北美部分机场；

（4）公共交通卡、图书馆门禁卡、学生校园卡等身份识别卡的广泛应用；

（5）动物射频识别，用于食品安全溯源管理和宠物身份认证；

（6）生产产品流水线信息采集、产品仓储、出厂托运的实时跟踪；

2.2 数据仓库及相关技术

数据仓库（Data Warehouse，DW）于 1990 年提出，是数据分析、数据挖掘（Data Mining，DM）和联机数据分析处理（On-Line Analytical Processing，OLAP）的结构化数据环境，支持复杂的数据分析操作，侧重为决策支持系统（Decision Support System，DSS），主管资讯系统（Executive Information System，EIS）提供数据支持[23]，帮助决策者从大量历史数据中，分析出有效资讯，快速应对内外环境变化拟定决策，构件商业智能（Business Intelligence，BI）体系。

2.2.1 数据仓库的基本特征

数据仓库的概念由 W.H Inmon 于在《Building the Data Warehouse》一书中正式提出："数据仓库是一个面向主题的、集成的、时变的、非易失的数据集合，支持管理者的决策过程"；数据仓库的关键特性便是面向主题、集成、时变、非易失四个方面[25]：

（1）面向主题的（Subject-oriented）

相对于关系型数据库，数据仓库的建立往往围绕着一些重要主题而来，如企业经营效益、产品质量标准等，在宏观上将信息管理系统中的数据进行统一集成，而非采用传统的面向应用设计方法。采用基于主题的方式来构建数据要求所选主题是完备的、可分析的特定领域，主题内部之间有自己的逻辑内涵且互不交叉；同传统数据库着重于增、删、查、改等频繁事务操作不同，数据仓库更关心的是最优化模型和决策支持。因此，数据在装载前需要经过筛选和变换，去除对决策和管理者无用的数据，以便于后续处理。

（2）集成的（Integrated）

数据仓库通常由多个异构数据库，如操作数据库，OLTP 处理记录和一般文件等集成变换而来；其数据主要用于分析决策，为管理者提供数据支持，因而并不是对基础数据的简单汇总，而是要将这些数据经过 ETL 处理筛选、转化、变换成统一的形式，保证字段名称、单位格式、属性度量的一致性。

（3）时变的（Time-variant）

在数据仓库中存储的是大量历史数据的集合，为了方便信息的追溯和查询，所有的关键结构和事实表中都必须包含时间属性；同时为保证信息的时效性和准确性，这些数据必须不断更新、删除或增加新的数据内容，以为相关部门提供实时的信息决策支持。

（4）非易失的（Nonvolatile）

数据仓库中的数据通常都是物理分离存放，用户涉及的操作主要是数据的初始化装载和联机查询访问，并不像传统数据库一样对数据进行频繁修改和删除；所以在数据仓库的基础管理中，并发控制和事务处理、恢复机制是不需要的，尽管外在的关系数据库中，具体事务处理过程/基础数据在发生着变化，数据仓库中的数据是相对稳定、非易失的。

2.2.2 数据仓库的层次结构

一般来讲，数据仓库采用数据仓库服务器，OLAP 联机分析处理服务器，前端工具/人机交互界面三层架构[26]，其基本结构图如下所示：

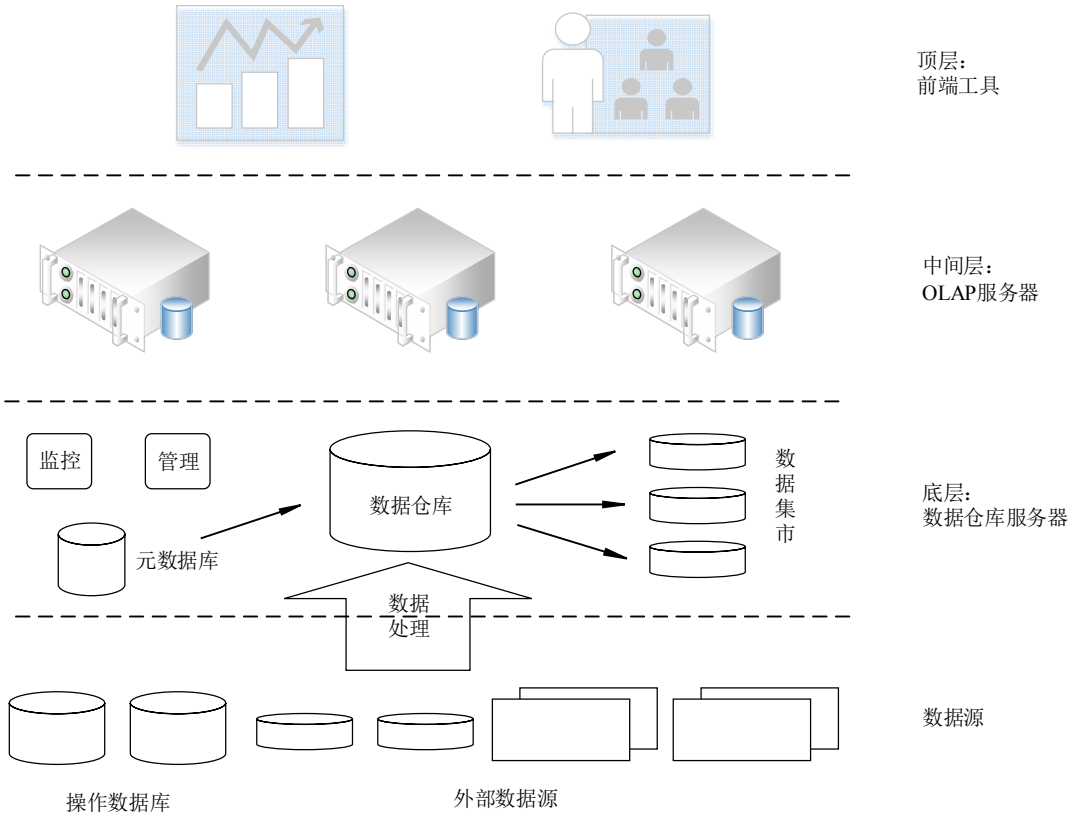


图 2-3 数据仓库层次架构图

（1）数据源

数据源是各种异构数据库的集合，主要包括操作数据库和各种外部数据源，虽然不隶属于基本架构中，但为数据仓库提供最底层的直接数据来源。

（2）数据处理

来自数据源的基础数据需要经过一定的预处理再进行装载，以满足数据仓库的集成性要求。数据仓库系统采用 ETL 技术来完成数据预处理，通常包括以下功能[26]：

• 数据提取：数据是从多个异构外部数据库中采集而来，需通过主题的确立删除冗余和不必要的数据，仅提取其中的有效信息。

• 数据清理：由于外在数据来源不同，需对其进行必要的清理操作，对时间格式、命名规范、主键、外键名称等进行归一化，一方面保证数据真实有效，另一方面为后续操作和查询带来便捷。

• 数据变换：同样由于外部数据来源不同，种类多、数据量大，且存在单位不一致，字段名不统一等格式问题，在进行加载之前必须先将遗产或宿主格式转换为数据仓库格式，对数据进行清洗和转换，一般可用专用工具或 SQL 编程实现。

• 装入和刷新：在最终装入数据仓库前，往往还要将数据进行排序、合并、汇总、检查完整性、计算视图等操作，同时建立划分和索引方便数据的查询；另外需要及时传播数据的更新。

（3）底层-数据仓库服务器

数据仓库服务器位于最底层，该层使用基础数据库管理系统（Database Management System，DBWS）的信关（Gateway）对操作数据库或外部数据源传来的数据进行统一管理和监控，主要包括资源使用情况、操作合法性、存储管理、安全保护等功能；同时该层定义元数据库，用于存放源数据、管理信息（仓库使用的统计量、审计跟踪和错误报告）以及操作环境到数据仓库的映射数据血统（迁移数据的历史和所使用的的变换序列）、目标数据本身的信息等；此外，由于企业数据仓库（Enterprise Warehouse）集成了企业范围内所有信息，不适用于日常小范围的数据访问，该层提供了数据集市（Data Mart）结构，仅仅包含小批量的企业数据，适用于特定用户群，用于帮助用户进行快速、精准分析。

（4）中间层-OLAP 服务器

OLAP 服务器典型使用包括关系 OLAP（ROLAP）模型（采用扩充的关系 DBMS，将多维数据操作变换成标准的关系操作）以及多维 OLAP（MOLAP）模型（采用专门的服务器，直接实现多维数据和操作），通过 OLAP 技术为用户提供多维数据结构的操作支持。

（5）顶层-前端工具层

数据仓库的前端工具层用于与用户完成人机交互，包括数据分析、查询、汇总等基本操作，方便决策分析人员访问数据，进行数据挖掘、趋势分析、模式识别等操作。

2.2.3 数据仓库中的联机分析处理技术

联机分析处理技术（OnLine Analytical Processing，OLAP）是数据仓库的关键技术，该概念由关系数据库之父 E.F.Codd 在 1993 年《Providing OLAP to User Analysis》中首次提出，用于支持数据的复杂分析处理，侧重为高层管理人员提供决策支持[26]，某种意义上 OLAP 也常被定义为共享多维信息的快速分析（Fast Analysis of Shared Multidimensional Information，FASMI），通常具备以下特征[27]：

• 快速性：OLAP 系统应具有快速反应能力，在极短时间内响应用户操作。对于大型数据仓库的设计来说，这往往需要做技术上的相关支持，包括对数据的提前计算、采用特殊的数据存储格式等。

• 可分析性：OLAP 系统需要处理与主题相关的分析，包括逻辑和数据统计分析等。为方便操作，OLAP 系统应无需用户进行手动编程便可以定义新的专门计算，以可视化报告的形式显示在人机交互界面上。此外，平台应具有一定的扩展性，可以将分析结果导出到外部分析工具上，方便管理人员获取和决策。

• 共享性：OLAP 在保证系统安全的基础上，应规定用户的不同权限，如对元数据库进行安全设置等，为不同用户提供适当粒度级别的共享数据和信息的机制。

• 多维性（Multidimensional）：OLAP 的关键属性是多维性。系统需提供数据分析

的多维视图，帮助用户从多层次、不同维度考察数据库中的有效数据信息，通过常见的 OLAP 上卷（roll-up），下钻（drill-down），切片（slice）和切块（dice），转轴（pivot），钻过（drill-across）及钻透（drill-through）等操作全面细致审查数据要素，为决策分析等提供事实依据。

• 信息性：对企业级数据仓库来说，OLAP 系统应能及时处理大量数据，并以可视化报告、表格、图表等形式通过人机交互界面呈现出来，为用户提供数据支持。

在数据仓库的概念中，与传统数据库的区别是常常会讨论到的问题；传统的操作数据库是关系型数据库，采用联机事务处理（Online Transaction Processing，OLTP）系统，以数据库为基础，执行联机事务和查询处理，用来完成企业日常经营活动中信息的增删查改等工作，提供的是实时更新的基础信息；而数据仓库采用的 OLAP 联机分析处理系统面向知识工人（高层管理决策人员、分析人员），存储的是大量的历史数据及其不同维度的分析特征，两者的区别如下表所示[28]；

表 2-1 OLTP 系统与 OLAP 系统的区别

特征	OLTP	OLAP
特性	基础操作处理，增删查改，面向事务	信息处理，面向分析决策、数据挖掘
用户群	办公职员，信息记录人员	管理决策者，数据挖掘/分析员
功能	日常事务处理，基础管理	远期宏观目标，分析与决策
数据库设计	基于 E-R 图关系数据库，面向应用	星型/雪花/事实星座，面向主题
数据	实时的，二维分立的	历史的，跨时间维护，多维、集成统一的
视图	高度详细、单维度或无维度，关系简单	多维度的，集成的
工作单元	短而简单，基本查询或操作	涉及多个表和维度，复杂查询
访问	读/写	大多为只读
用户数	数千	数百
DB 规模	GB 到高达 GB	≥TB
优先	实用性，可操作性，数据完整性	灵活性，可满足特定需求定制
度量	事务处理速度	查询处理速度

2.3 本章小结

本章主要介绍了论文的理论基础，包括 RFID 技术的基本原理，以电子标签、读卡器、应用服务系统组成的体系结构以及其技术优势与应用场景等；简述了数据仓库的基本特征，介绍了其层次结构和 OLAP 联机分析处理技术，为后续章节的系统设计提供了坚实的理论基础。

第三章 系统总体架构设计

本文研究的主题是为混凝土管桩企业建立一套生产管理系统，通过 RFID 技术和数据仓库、运筹学模型，优化企业内部人力、物力资源，实现实时智能化管理。本章首先分析企业在管理上存在的相关问题，然后结合企业实际需求设计系统整体架构，并对各部分的设计做相关概述。

3.1 系统需求分析

3.1.1 企业存在的问题

目前在大型混凝土管桩预制构件企业中，对于混凝土预制构件的管理十分混乱[30]，主要有以下几方面的问题：

（1）大部分生产信息仍采用劳动密集型的手工录入方式，费时费力，容易造成生产数据跟踪不及时等问题，此外 Excel、文本文件、手工纸质报表等多种生产记录方式并存的方式不利于资料的统一归档和整理。

（2）企业日常经营管理落后，涉及企业运营效率的重大决策如生产计划、物资进货量等纯粹由人为决定，缺乏理论和数据依据，经常造成过量制造、库存不足等问题，严重增加了企业的经营成本。

（3）混凝土管桩单件成本造价高，应用广泛，一旦出现质量问题，往往带来严重的安全后果，同时使企业蒙受巨额损失；部分企业虽采用了粘贴条形码或手动粉刷书写流水号的方式来管理，但一方面工作强度大，另一方面由于外在天气、环境原因，容易造成流水号模糊不清、丢失等，给安全溯源、质量保证带来极大困难。

3.1.2 系统需求

针对上述问题，本文抽象出混凝土管桩生产管理系统需求如下：

（1）生产信息化管理

系统需要实现混凝土管桩的生产智能管理，这包括生产信息的追溯和日常生产工序环节的信息录入、报表汇总等，这要求通过在混凝土管桩上加装 RFID 电子标签，利用 RFID 读卡器完成实时信息的采集和绑定，通过应用服务系统录入后台数据库；同时系统必须覆盖整个生命周期，包括混凝土管桩的钢筋笼绑扎、入模、张拉、浇筑、离心、普养等生产环节，不违背原有企业的生产规律。

（2）质量保证和责任溯源

系统需实现质量保证和责任溯源功能，这要求生产管理系统需实现质量检测模块，并将质量信息与产品、生产批次、班组、物资批次等进行绑定；另外，要建立责任人制度，系统需实现基础的人事管理和部门管理，当产品一旦出现问题，系统必须实时追溯

到具体操作人、生产批次，方便问责和产品召回。

（3）决策智能化管理

为摆脱企业传统管理模式效率低下的问题，系统需借助生产管理系统完成智能化管理。这一方面包括对企业内部生产进度、物资储存状况、生产工序环节的实时、透明、可视化管理，另一方面系统需借助信息化平台，为用户在工期管理、物资管理等经营活动方面提供数据或决策支持，以实现对生产、物料供应的精准化管理。

（4）实用性与可靠性

考虑到混凝土管桩企业生产环境复杂（车间操作缺乏良好办公条件，生产工序中的高温、震荡对标签性能的影响），系统需能满足可靠性和稳定性要求，产品自动识别和信息采集需能应对外在复杂环境变化；另一方面，系统必须具备便携性和实用性，方便施工人员在现场进行实时操作。

3.2 系统整体架构

针对上述问题，本文提出了一套以 RFID 技术为基础的混凝土管桩生产管理系统，提供产品的自动识别、信息采集、信息录入、智能化管理等功能，并在此基础上搭建企业级数据仓库和运筹学模型，为用户提供多维度的数据支持和决策支持。系统功能架构由 RFID 信息管理平台、数据仓库、决策模型和人机交互界面四部分组成，其架构图如下所示：

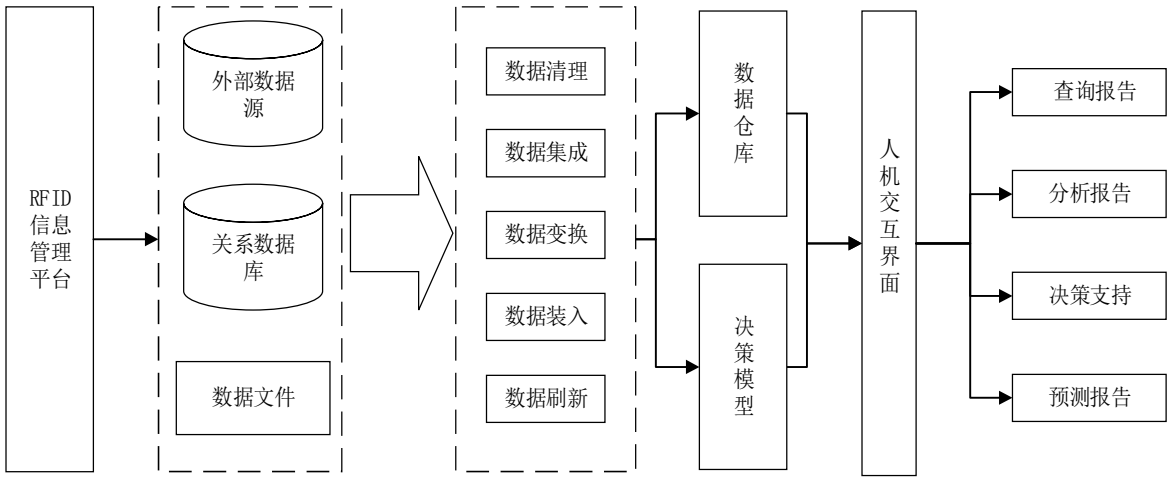


图 3-1 混凝土管桩生产管理系统功能架构图

3.2.1 RFID 信息管理平台

RFID 信息管理平台是生产管理系统的基础和核心部分，也是数据仓库的基础数据信息来源，RFID 信息管理平台由 RFID 电子标签，RFID 读卡器，应用服务系统三部分组成，在混凝土管桩生产的初期阶段，将符合环境要求的 RFID 电子标签绑扎在管桩上，这样当产品经过施工流水线各生产环节时，施工工人可以通过系统实时录入各项生产数

据，这些生产信息会与产品信息、施工人员、班组信息绑定，构成企业基础数据库；RFID 信息采集平台包括了产品的信息采集和产品的日常管理功能，涵盖了混凝土管桩的生产、质检、出运，以及辅助的人事管理、物资管理、生产调度等过程，一方面保证了施工环节产品全生命周期的信息溯源和责任归属，方便用户进行实时记录、查询、管理生产线产品信息，另一方面也为后续数据仓库的搭建提供了数据来源。

在 RFID 信息管理平台中，本文选用 125kHz 低频标签作为 RFID 芯片，根据车间生产需求，完成信息采集层 RFID 读卡器的软件、硬件设计和应用服务系统中的各工序环节的数据库设计、功能模块设计，详见第四章 RFID 信息管理平台。

3.2.2 数据仓库

数据仓库是从一个或多个数据源收集的信息存储库，企业基础数据库（包括关系数据库，数据文件，外部数据源）中的历史数据经过数据清理、集成、变换等处理，删除噪声和不一致数据，将与主题分析相关的数据整合起来变换成统一形式装入数据仓库，同时随着时间的变化进行动态刷新。数据仓库为生产管理系统的决策支持提供数据平台，通过 OLAP 联机分析处理技术，用户可以动态完成时间维度、生产维度、物资维度等数据的交互分析，为“知识工人”（经理、主管、分析人员等）提供有效数据支持。

在数据仓库中，本文根据企业的实际需求，确定了数据仓库以物资、生产、质量保证、资源配置的主题和时间-生产-物资三个维度，通过雪花模型完成企业级数据仓库的设计，详见第五章数据仓库设计与实现。

3.2.3 决策模型

决策模型通过对数据仓库中数据进行进一步处理和分析，并针对企业的物资采购等经营活动抽象建立运筹学模型，使得系统能有效利用数据仓库的历史数据，跟踪生产线运营状况，建立最优化模型，节省企业内部人力物力资源，对企业的下一步决策进行规划支持，提高管理的质量和效率。

在决策模型中，本文着重于企业的物资采购问题，在介绍单周期报童模型的基础上，提出了适用企业经营管理的多周期需求连续报童模型，用于优化内部资源配置，详见第六章决策模型设计。

3.2.4 人机交互界面

人机交互界面是系统的展示部分，一方面实现 RFID 信息管理平台的基础管理，包括日常生产信息的录入、人员和产品的基础管理等；另一方面用于为用户提供企业内部生产线的实时、有效信息，如生产进度信息、查询报告等，方便透明化管理；同时系统可以根据决策模型的预测分析结果，向用户提供诸如物资供应、工期预警等参考，实现智能决策；在本系统中，人机交互界面采用 C#语言在 Visual Studio 2013 中编写，最终

以 C/S 架构，通过系统 winform 操作窗体为用户提供信息和操作，详见各章模块窗体图。

3.3 本章小结

本章首先分析了混凝土管桩企业在生产管理上存在的问题，然后根据实际情况，完成了生产管理系统的需求分析，在此基础上，结合 RFID 技术和数据仓库基础完成系统的总体架构设计，对 RFID 信息采集平台、数据仓库、决策模型和人机交互界面四个组成部分进行了简述。

第四章 RFID 信息管理平台

4.1 RFID 信息管理平台基础架构

RFID 信息管理平台是混凝土管桩生产管理系统的基础，涵盖了企业流水线生产的各工序环节，为用户提供信息采集、录入、汇总、分析等功能，在充分分析企业实际需求，实现生产智能化管理目的的基础上，本文将信息管理平台分为 RFID 电子标签，信息采集层，应用服务层三部分，其基础架构如图所示：

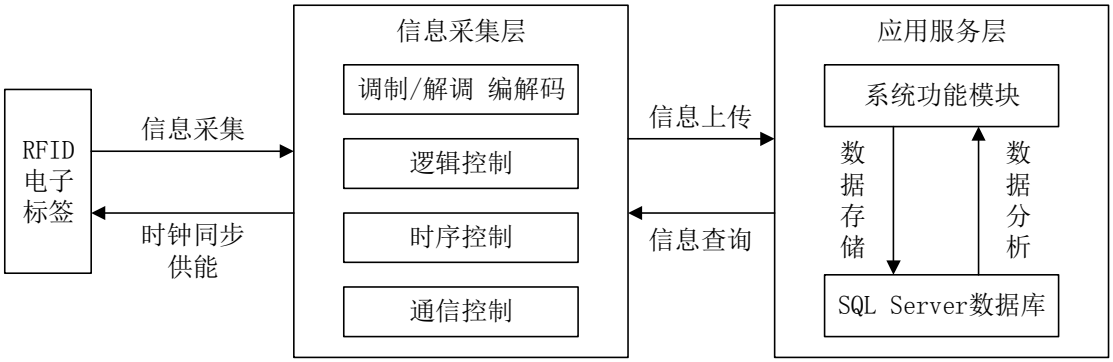


图 4-1 RFID 信息管理平台基本架构图

（1）RFID 电子标签

RFID 电子标签由 IC 芯片和无线通信天线组成，其内部存储着被识别物品的相关信息[31]；在这里我们把 RFID 电子标签植入混凝土管桩中，作为管桩的 ID 身份标识用于信息采集。考虑到在实际生产过程中，管桩内部为钢结构且外壁混凝土层有一定厚度，如图 4-2 所示，且需要经历很多生产工序，如浇筑（搅拌好的混凝土进入钢模），离心（钢模旋转），普养（高温普养池）等对 RFID 标签就有许多要求。我们采用了 125kHz 低频电子标签 EM4100 作为工作标签，EM4100 是非接触低频只读无源射频芯片，2ASK 方式调制，有 64bits 可编程存储空间，采用 10 位 16 进制全球唯一的 UUID 用作身份标识，可有效满足产品的身份信息绑定[32]；芯片本身也支持多种封装工艺，系统实际采用的电子标签外部包裹一层陶瓷外壳，可以有效防止生产过程中外在环境的干扰[33]。

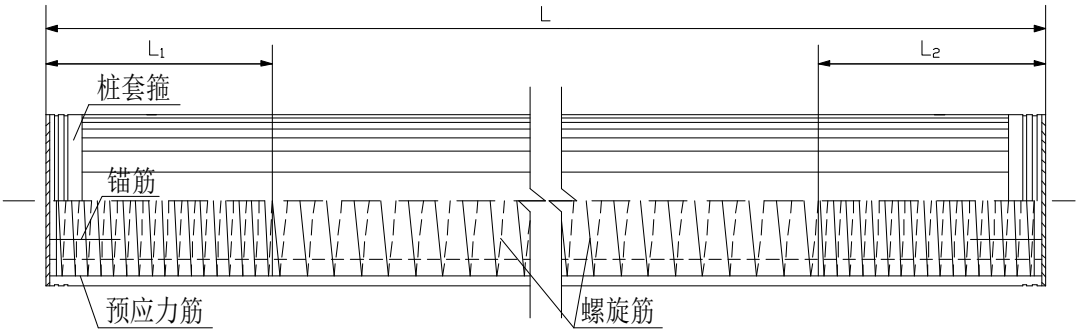


图 4-2 混凝土管桩结构图

最终 RFID 标签外观尺寸为：12X60mm 圆柱体，两端有孔，可以用细铁丝固定在混

凝土钢筋笼上，经测试标签具有良好穿透性（可穿透一定厚度的混凝土层），抗干扰（钢筋），同时有一定的高温适应性，防震和防水性（在经历生产工序时不会丧失性能）足够满足实际生产的需求，如图 4-3 所示;

图 4-3 RFID 电子标签图

（2）信息采集层

信息采集层是整个 RFID 信息平台的硬件组成部分，主要包括 RFID 读卡器及其附属设备等，实现调制/解调、编解码，逻辑控制，时序控制，通信控制的功能；信息采集层一方面为电子标签供能，提供时钟同步，采集管桩的身份信息；另一方面与后台应用服务系统通信，完成信息的上传和查询。这里系统采用了 Atmega64 作为 MCU 控制芯片，D 类功率放大电路设计读卡器的射频模块，以满足实际车间信息采集时的距离和性能要求。

（3）应用服务层

应用服务层是 RFID 信息平台的核心部分，由管理功能模块和 SQL Server 数据库组成。该层涵盖管桩生产的整个生命周期，包括人员管理、物资管理、生产信息管理、质量检验和产成品出运等，可实现管桩信息的实时录入和查询；此外，通过对信息采集层数据的集中统计和处理，系统可以获取实际的物资消耗、生产进度、出运状况等动态数据，可将其汇总存入企业基础数据库，为后续数据仓库的建立和智能决策分析提供真实有效的数据来源。

4.2 RFID 信息采集层设计

RFID 信息采集层是系统的前端硬件部分，用于获取 RFID 电子标签的信息，并与后台服务系统进行数据通信，由 RFID 读卡器及附属通信接口组成，RFID 读卡器功能[34]如图 4-4 所示。考虑到实际生产环境的复杂性，为方便工人操作，RFID 读卡器必须是手持式的，此外为保证信息的及时录入，在实际中加装了 Surface Pro3 作为现场的智能操作平台，完成信息的实时、有效管理；同时，RFID 读卡器也需要考虑读写距离等性

能要求，以适应现场车间的工作环境。在综合分析以上需求的情况下，本文完成了该层 RFID 读卡器硬件和嵌入式软件的设计。

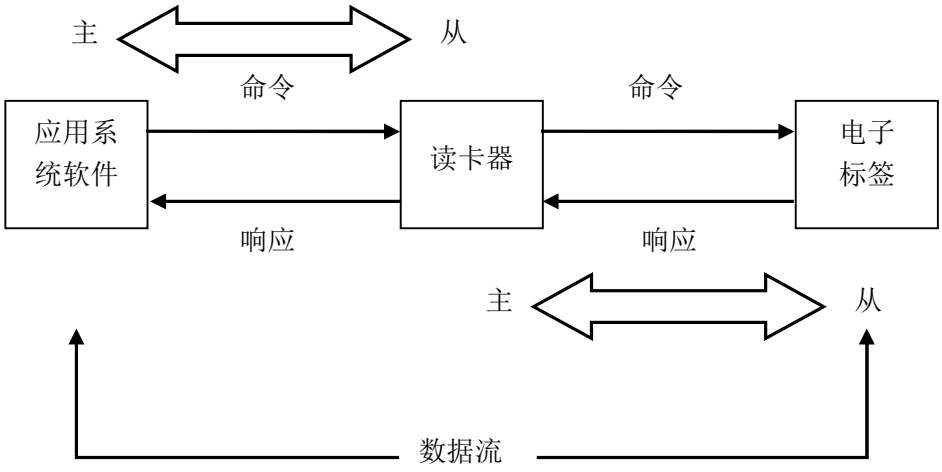


图 4-4 RFID 读卡器功能图

4.2.1 硬件设计

考虑到系统对 RFID 读卡器的可靠性、实用性的需求，本系统 RFID 读卡器硬件架构如下图 4-5 所示，整个 RFID 读卡器硬件由射频接口、逻辑控制单元和通信模块组成。

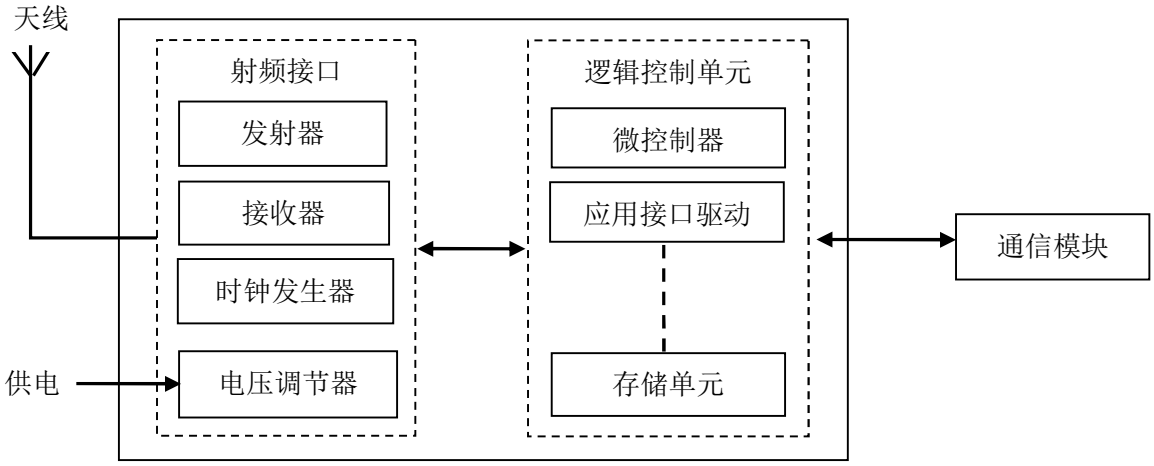


图 4-5 RFID 读卡器硬件结构图

（1）射频接口

射频接口模块用于完成与 RFID 电子标签的通信，通过时钟发生器产生固定频率 125kHz 的电磁波，为电子标签提供能量，读取返回的信息，完成必要的解调检波、整流等功能。读卡器采用 74HC4060 芯片、4MHz 晶振设计时钟电路，通过芯片的计数/振荡功能选择产生 125kHz 的电磁波，采用二极管包络检波电路完成解调功能。由于读卡器的功率放大电路直接影响读写距离，为满足工厂车间远距离通信的要求，我们采用分离元件设计 D 类功率放大器完成射频模块的信号放大功能[35][36]，如图 4-6 所示。

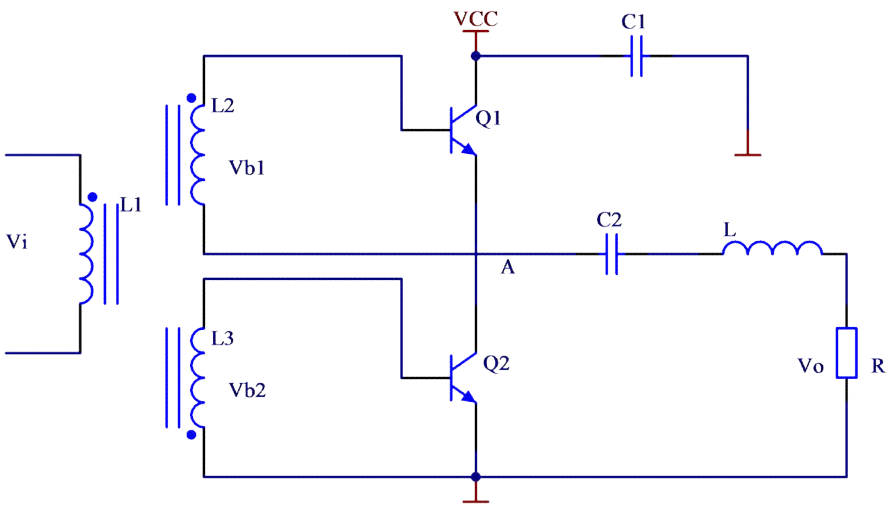


图 4-6 D 类功率放大器原理图

D 类功率放大电路工作于开关状态，通过控制晶体管的 ON/OFF 驱动信号，使其在极短的时间内完全导通或完全截止来驱动信号。图中V_i为固定频率f_0的激励信号源，可以是矩形波或正弦波；变压器 L1~L3 用来产生两个极性反向，幅度相等的激励信号。V_{b1}和V_{b2}分别为加到二极管 Q1 和 Q2 上的输入端的电压，使两管轮流饱和导通和截止。L、C2、R 构成串联谐振回路，谐振于激励信号的频率f_0，用于选频。若激励信号为固定f_0频率的矩形波，在正半周时，Q1 管饱和导通，Q2 管截止，电压$V_A = V_{cc} - V_{ces}$。负半周时，Q1 管截止，Q2 管饱和导通，电压$V_A = V_{ces}$。故V_A处为幅度$V_{cc} - 2V_{ces}$的矩形方波。

根据傅里叶级数分解可得，A 点电压的基波电压分量为$V_{A1m} = 2(V_{cc} - V_{ces})/\pi$。

当串联谐振回路的有载品质因数 Q 足够高时，负载 R 上的电压即为 A 点电压的基波分量，即$V_{A1m} = 2(V_{cc} - V_{ces})/\pi$，为频率$f_0$的正弦波。

由于 D 类功率放大器工作于开关状态，当工作进入饱和区时，晶体管饱和压降为 0，器件内阻接近于 0；当无信号输入进入截止区时，电流为 0；因而相比于传统的 A 类、B 类功率放大器，工作效率极高[37]（90%左右），理想情况下可达 100%，十分适用于本读卡器射频模块的设计。

（2）逻辑控制单元（MCU）

中央逻辑控制单元（MCU）用于完成读卡器的总体控制和与其他各模块的通信，包括对射频模块传来的电信号进行解码，与 PC 上位机通信，完成中断控制、时序控制等，是读卡器设计的核心部分，这里我们采用 AVR 单片机 Atmega64 作为主控芯片，实现生成/捕获中断、控制上位机通信、读取射频接口返回的电子标签信息，发送指令等功能；如图 4-7 所示；

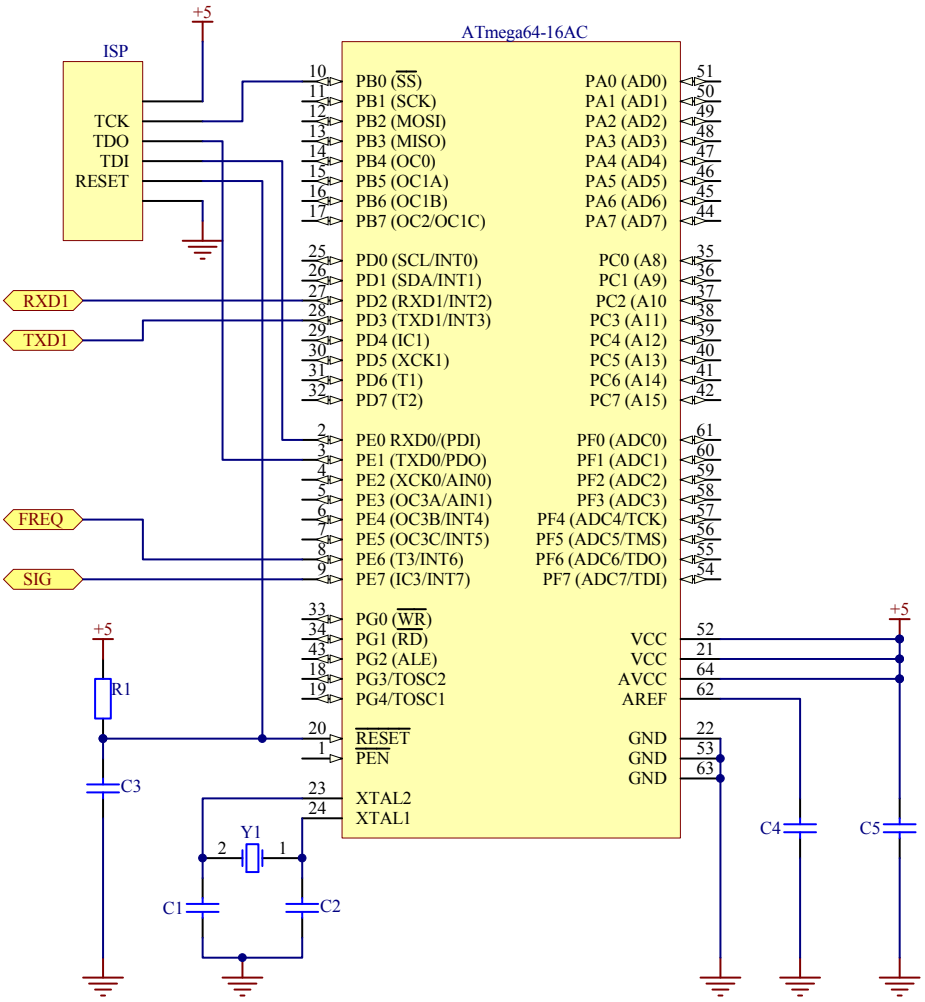


图 4-7 ATmega64 电路原理图

ATmega64 是高性能、低功耗的 8 位 AVR 单片机芯片，使用先进的精简指令集结构，具备多个可编程 IO 端口和定时计数器，符合便携式读卡器对功能、性能的要求。在信息采集时，FREQ 口传入晶振电路的 125kHz 信号，用于时钟同步；射频接口模块将前端天线信号经解调、滤波、整流等处理后经 SIG 口送入的 IC3/INT 端口，通过定时/计数器 T3 的捕获功能完成标签信息的软件解码。ISP 实现单片机在线系统编程，RXD1 和 TXD1 连接通信模块，用于单片机和主机间的正常通信，其余部分参见 ATmega64 典型电路完成设计[38]。

（3）通信模块

通信模块用于完成读卡器与主机的通信，向主机返回 RFID 电子标签信息。这里我们采用 RS232 通信接口，MAX232 芯片完成必要的电平转换。RS-232 通信协议由美国电子工业联盟（EIA）制定，是一套广泛应用于计算机外设连接的串行数据异步通信标准。在实际操作中，通信接口外接 Surface Pro3 作为现场的操作平台，实现信息的及时录入和管理。

4.2.2 嵌入式软件设计

读卡器的嵌入式软件结合硬件平台实现对电子标签信息的读取，同时完成必要的时序控制、逻辑控制、通信控制、软件解码等功能。我们采用 Win AVR + AVR Studio 完成读卡器软件的开发。在实际工作中 RFID 的工作流程如图所示：

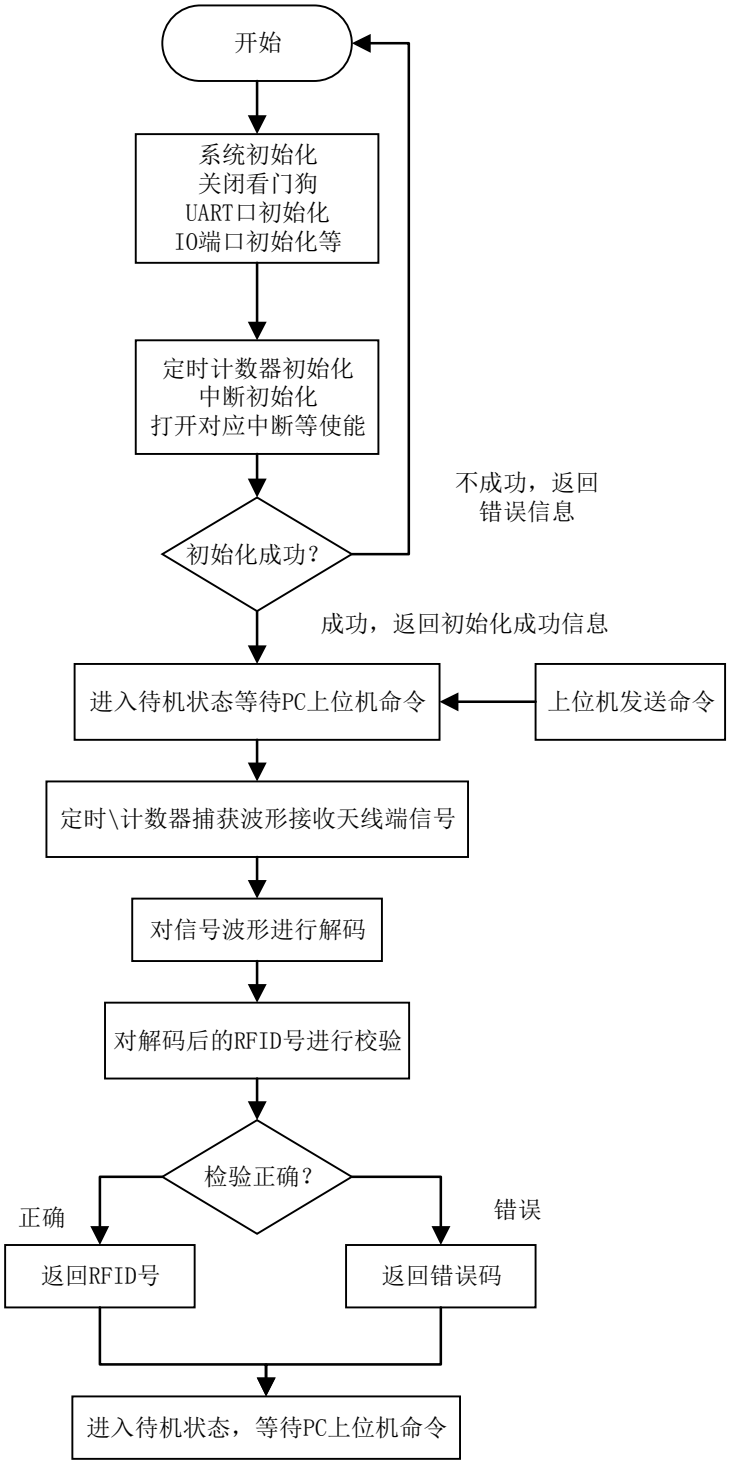


图 4-8 RFID 读卡器软件流程图

（1）读卡器上电启动，上位机发送命令对读卡器进行初始化操作，包括关闭看门狗，初始化配置 IO 口，设置 UART 口通信参数，声明中断，定时/计数器初始化等，读卡器根据初始化情况向上位机返回对应信息。

（2）经正常初始化后读卡器开始产生 125kHz 的载波激活场信号，进入等待状态。

（3）当电子标签进入读卡器的读卡距离范围内时，电子标签内部射频电路产生电荷积累，当电荷积累至工作电压状态时，电子标签开始正常工作，将自身信息经编码、调制后，通过天线端电磁波信号发送出去。

（4）上位机向读卡器发送读命令，读卡器开始接收天线端返回的信号，经硬件电路模块完成波形检测、整流送入 Atmega64 芯片，通过定时/计数器对信号波形进行捕获，若经软件解码、校验等处理后得到正确的 ID 数据，则将对应 ID 数据返回至上位机；若出现错误，则将对应的错误信息返回。

（5）上位机接收到 RFID 电子标签信息后，对相关生产信息做进一步处理；RFID 读卡器重新进入待机状态，等待上位机发送命令。

4.3 RFID 应用服务层设计

4.3.1 总体设计

RFID 应用服务层是整个信息管理平台的核心部分，该层将读卡器采集到的 RFID 电子标签信息与混凝土管桩的实际生产参数绑定，通过功能模块录入系统数据库，完成生产数据的汇总、处理、分析和查询功能。出于稳定性和安全性的考虑，应用服务层采用了 C/S 架构，使用 Visual Studio 2013 与 SQL Server 2008 R2 开发，C#和 SQL 语言进行编写[39]；应用服务层自企业的人员管理、物资管理开始，到混凝土管桩的流水线生产、质量检验、产成品出运为止，涵盖了产品的整个生命周期，能实时监控每道工序的生产情况，完成责任归属和信息溯源。

在前面的章节中，我们分析了混凝土管桩企业的经营问题和项目需求，通过实地调研，我们将整个应用服务层功能模块分为人事管理、物资管理、生产管理、产成品管理、质量检验、综合查询、基础管理、信息公告栏和系统管理九大模块，其应用服务层主要架构如图 4-9 所示；

人事管理和物资管理模块属于系统的初期阶段，这一阶段主要是对人员信息的配置和工程物资的准备。通过系统可将相关信息提前录入，方便后期产品与人员和物资信息进行一一绑定，这样当产品出现质量问题时，可以通过查询系统数据有效追溯到施工责任人和物资供应商；此外，通过对生产进度的监控，系统可以预估物资使用情况，方便管理人员完成物资的动态调度。

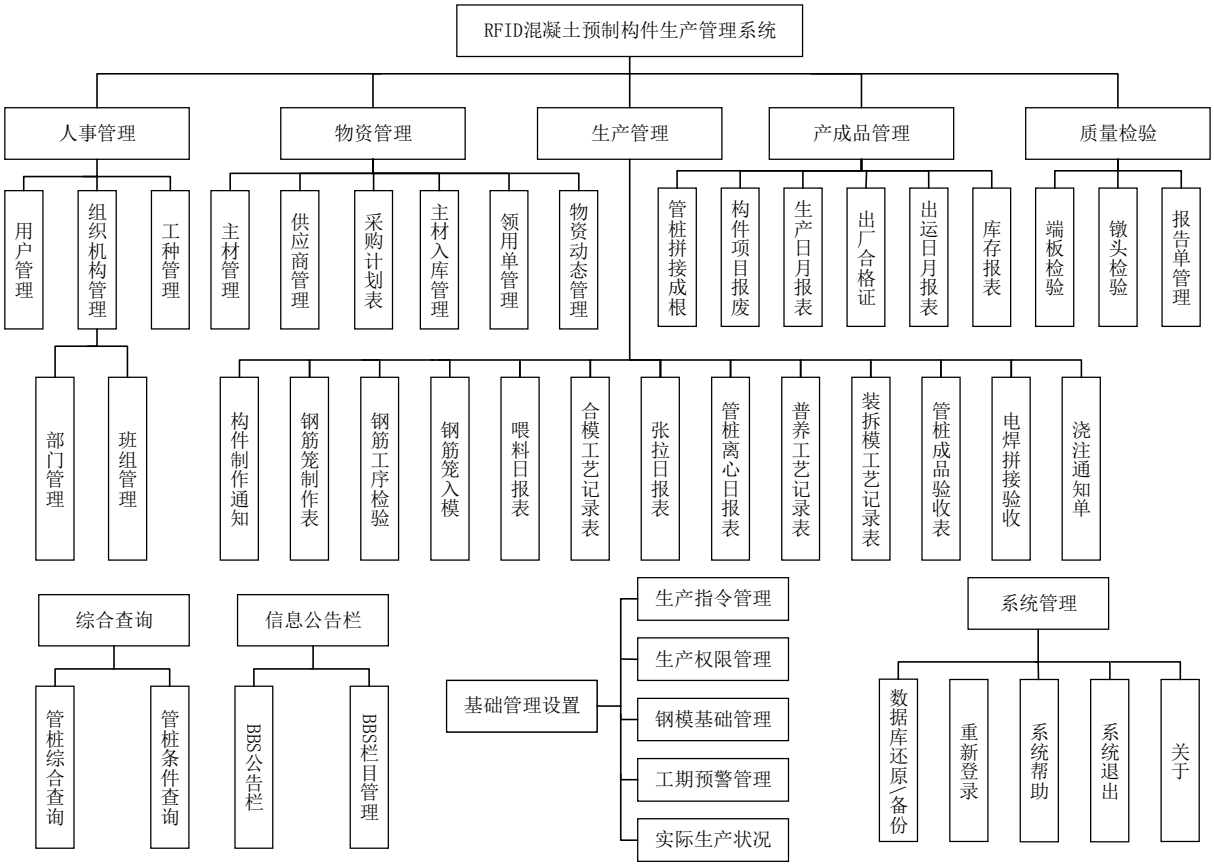


图 4-9 应用服务层架构图

生产管理、产成品管理和质量检验模块是系统的中、后期阶段，在这一阶段产品开始正式进入车间流水线生产。为方便施工人员操作，系统采用了 Surface Pro 作为智能便携终端与手持式读卡器相连，用于车间现场完成 RFID 电子标签信息的采集和生产数据的录入，并针对 Surface Pro 做了界面和功能上的优化和适配。在生产的第一阶段—钢筋笼制作工序中，我们将专用混凝土 RFID 电子标签绑扎到钢筋笼上作为身份标识，通过读卡器扫描录入，完成与混凝土管桩的绑定和信息的初始化。在其后的每道工序中，施工人员都通过系统实时记录生产信息和人员信息，这样当产品完成生产、检验、出运时，所有工序生产数据都已存储到系统数据库中，完成了在产品全生命周期的信息溯源。

综合查询和信息公告模块是系统的辅助部分，施工人员可以通过综合查询完成对数据的实时查询，包括单根管桩的基本生产信息（如钢筋笼绑扎时间，普养温度，离心转速、张拉强度等）以及统计信息（如管桩日生产量、日出运量，产品检验合格率等）等；信息公告模块用于发布公告消息等指导工人完成生产调度、班次交接等工作。

基础管理设置模块用于生产的集中管理，其中生产权限管理功能可以对施工班次、员工工种进行规范，做到一岗一人权责分明。实际生产状况、生产指令管理功能可以方便管理人员下达任务安排，对每日生产进度状况进行实时监控；工期预警管理功能可以根据现阶段生产量完成情况，对下一阶段生产量进行预测，当生产米数和根数等不符合进度要求时将在系统内发出预警信息。

系统管理模块包含数据库备份/恢复，系统帮助等功能，用于对生产管理系统本身进行技术支持和维护。

4.3.2 数据库基础架构

RFID 信息管理平台采用 Microsoft SQL Server 2008 R2 设计数据库，SQL Server 是 Microsoft 推出的关系型数据库管理系统，在安全性、准确性、运行速度方面具有绝对的优势，同时具有可伸缩性好，与其他软件集成度高的特点[40]；SQL Server 自带的 BI（Business Intelligence）工具更能提供企业级的数据分析，十分适用于构建和管理高可用和高性能的数据应用程序。

为满足混凝土管桩企业的实际运营需求，本系统共建立数据表 78 张，涵盖人事、物资、生产、产成品出运、质量检验等全部功能模块及其多对多映射关系表，限于篇幅有限，仅取其中主要表结构设计展开讨论。

（1）人事管理

人事管理模块涉及数据表包括用户表、职工基本信息表、部门表、班组表、权限栏目表、工种表，其中由于职工与部门、班组、权限、工种等存在多对多关系（例如职工可能属于多个部门，一个部门包含多个员工），故添加职工-部门表、职工-班组表、职工-权限表、职工-工种表等关系表；职工基本信息表如表 4-1 所示：

表 4-1 用户基本信息表（职工信息表）

字段名	数据类型	主键否	可否为空	描述
ID	varchar（8）	是	否	用户编号（工号）
StaffName	varchar（20）	否	否	职工姓名
Sex	varchar（4）	否	否	性别
IDCard	varchar（20）	否	否	身份证号
Business	varchar（20）	否	否	职位
Kultur	varchar（14）	否	否	文化程度
Safety	bit	否	否	是否受过安全教育
Delete	bit	否	否	是否已被删除
RFID	varchar（30）	否	否	存放 RFID 号
PicPath	varchar（200）	否	可	存放职工照片路径

职工基本信息表包含员工编号、姓名、身份证号等字段，RFID 号用于企业信息化考勤后与职工信息的绑定，PicPath 字段存放职工相片路径，在查看个人信息时，系统通过 PicPath 获取照片文件流信息并显示；其余员工班组、部门信息等通过多对多关系表查询获取。

（2）物资管理

物资管理模块涉及数据表包括主要材料表（表征企业使用的材料编号、名称、规格型号等基本信息），供应商表（表征材料供货商名称、联系方式等基本信息），采购计

划表（用于表征物资进货采购计划，用于进货前审批），主材入库表（表征物资材料入库信息），领用表（表征物资材料在生产车间的领用信息）、物资动态统计表（动态表征物资库存状态）以及必要的关系表等，其中采购计划表结构如表所示：

表 4-2 采购计划表

字段名	数据类型	主键否	可否为空	描述
PurBill	varchar（20）	是	否	单据编号
PurNO	int	否	否	序号
MatName	varchar（30）	否	否	材料名称
MatType	varchar（30）	否	否	材料规格型号
PurRequrie	varchar（30）	否	否	质量要求
PurUnit	varchar（30）	否	否	计量单位
PurQty	float	否	否	采购数量
PurDate	datetime	否	否	供货日期
PurContact	varchar（20）	否	否	联系人
PurConTele	varchar（30）	否	否	联系人联系方式
PurFriPrice	float	否	否	运杂费
PurMatPrice	float	否	否	材料费
PurPayType	varchar（20）	否	否	付款方式
PurPayTime	datetime	否	否	付款时间
PurType	bit	否	否	采购方式，0 为甲供，1 为自购
SuplName	varchar（30）	否	否	供货商名称
PurPrim	varchar（30）	否	否	初选单位名称
PurNote	varchar（100）	否	是	备注
PurWritDep	varchar（30）	否	否	填报单位
PurWritPer	varchar（20）	否	否	填报人
PurWritdate	datetime	否	否	填报日期
PurAppro	bit	否	否	是否审批，1 为已审批
PurApproPer	varchar（20）	否	否	审批人
PurApproDate	datetime	否	否	审批日期

采购计划表用于实际生产进货前的规划和审批，包括材料信息、物资供应信息和审批、填报信息等，其中的材料序号、供应商名称、填报、审批人等字段为外键，分别来自主要材料表、物资供应商表、职工信息表中的对应字段，用于实现数据完整性和一致性；主材入库表与采购计划表类似，相当于实际的物资入库记录，增加了质保书、送检报告等编号等字段，与质量检验模块的质检表确定联系，用于责任追究和质量保证。

物资模块中的领用单表与车间生产产生直接联系，其表结构如所示：

表 4-3 物资领用表

字段名	数据类型	主键否	可否为空	描述
FetchBill	varchar（20）	是	否	单据编号
FetchDep	varchar（30）	否	否	领料单位
FetchUse	varchar（30）	否	否	工程用途
MatID	varchar（5）	是	否	材料编号
MatName	varchar（30）	否	否	材料名称
MatType	varchar（30）	否	否	材料规格型号
FetchUnit	varchar（30）	否	否	计量单位
FetchQtyAsk	float	否	否	请领数量
FetchQtyRel	float	否	否	实领数量
FetchPrice	float	否	否	单价
FetchTotal	float	否	否	总价
SuplAdmin	varchar（20）	否	否	供应主管
SuplPer	varchar（20）	否	否	发料人
FetchAdmin	varchar（20）	否	否	领料主管
FetchPer	varchar（20）	否	否	领料人

领用表中的材料编号、材料规格型号等字段为外键，从主要材料表中获取，表征企业仓库的物资信息；此外领用表中包含计量单位、请领、实领数量等字段，结合主材入库表的物资进货量，可从系统角度对物资库存状况进行动态估计，实现企业信息化管理；物资动态统计表结构如所示：

表 4-4 物资动态统计记录表

字段名	数据类型	主键否	可否为空	描述
MatStatsID	varchar（20）	是	否	物资统计记录编号（日）
MatStatsBill	varchar（20）	否	否	单据编号（月）
MatStatsDate	datetime	否	否	日期
MatDesc	varchar（100）	否	否	材料说明
MatStorage	float	否	否	库存数
MatPur	float	否	否	当日进货数
MatUse	float	否	否	消耗数
MatStoLeft	float	否	否	库存结余
MatStatsNote	varchar（100）	否	否	备注 1
MatPurSum	float	否	否	进货总计
MatUseSum	float	否	否	消耗总计

物资动态统计记录表包含物资统计记录编号、单据编号等字段用于实现文件材料按时间的归档，其中库存数、当日进货数、消耗数等字段可通过系统当天的主材入库表、领用表中的进货量和物资领用量动态获取，实现自动统计记录；通过对当前物资的实时记录，结合生产使用消耗，该表也可以提供物资预警的数据支持。

（3）生产管理

生产管理是系统的核心部分，在混凝土管桩生产管理中，需要经历钢筋笼绑扎、钢筋工序验收、钢筋笼入模、浇筑、喂料、合模、张拉、离心、普养、管桩成品验收、管桩拼接、电焊拼接验收等步骤，我们针对实际中的系统需求，对上述环节分别建立了数据表及其关系表，同时考虑企业的生产规划，建立了构件制作通知表和构件制作记录表，分别表征工程的基本信息（工程名称、合同编号、交货信息、委托方等）和工程各规格型号管桩的生产需求（如特定规格型号管桩米数、桩靴、桩垫、桶体要求等），RFID 信息溯源在生产的第一道工序钢筋笼绑扎中完成，其数据表结构如所示：

表 4-5 钢筋笼制作表

字段名	字段类型	是否主键	是否为空	描述说明
GJLID	varchar(20)	是	否	钢筋笼ID号
RFID	varchar(20)	否	否	RFID号
ComPro	varchar(100)	否	否	工程名称
ComSpec	varchar(40)	否	否	规格型号
ComBatch	varchar(20)	否	否	生产批次
Selected	bit	否	否	是否被抽检
SteelLength	int	否	否	长度
SteelDTD	varchar(20)	否	否	镦头直径
SteelDTH	varchar(20)	否	否	镦头厚度
SteelTime	datetime	否	否	钢筋笼绑扎开始时间
DHPJID	varchar(50)	否	否	电焊拼接记录表ID
TeamName	varchar(20)	否	否	施工班组
FetchBill	varchar(20)	否	否	物资领用单编号
SteelYL	int	否	否	钢筋用量
SRFID	varchar(50)	否	否	SRFID号

在钢筋笼制作阶段，完成 RFID 号与混凝土管桩的初始化绑定，这里考虑到采集的方便性，分别在钢筋笼的首尾两端各绑扎一个 RFID 电子标签，记为 RFID 和 SRFID 字段，此外，钢筋笼制作表包含工程名称、抽检信息、生产批次、施工班组信息、物资领用信息等，方便企业针对工程进行精细化管理，同时有效完成生产信息的溯源。

在钢筋笼入模环节，一个或多个钢筋笼放入模具中进行后续工序操作直至拆模，这其中涉及了生产的各主要环节，由于模具重复利用，所以钢筋笼与模具间仍是多对多关系，需采用中间关系表建立，钢筋笼入模表结构如表所示：

表 4-6 钢筋笼入模表

字段名	字段类型	是否主键	可否为空	说明
IMID	varchar(20)	是	否	入模表的ID
IMTime	datetime	否	否	入模时间
ModelNO	varchar(20)	否	否	钢模号
IMSpc	varchar(20)	否	否	规格型号
FeedID	varchar(20)	否	是	所在喂料表ID
FeedLength	float	否	是	喂料表中的长度
FeedRated	float	否	是	喂料表中的投入额定
FeedReal	float	否	是	喂料表中实际喂料偏差
FeedNote	varchar(50)	否	是	喂料表中的备注
IMID	varchar(20)	是	是	所在入模表的ID
TMID	varchar(20)	否	是	所在合模表ID
TMJY	varchar(8)	否	是	是否均匀涂刷脱模剂
TMQQ	varchar(8)	否	是	是否合模螺丝齐全
TMQH	varchar(8)	否	是	是否合缝口清灰
TMJG	varchar(8)	否	是	是否均匀紧固合模螺丝
TMBZ	varchar(8)	否	是	是否喂料后笼子散架绑扎
ZLID	varchar(20)	否	是	所在张拉表ID
ZLSHEJ	float	否	是	张拉设计Mpa
ZLSHIJ	float	否	是	张拉实际Mpa
ZLTenMpa	float	否	是	张拉力10%Mpa
ZLSCTen	float	否	是	张拉伸长值10%理论
ZLSCSC	float	否	是	张拉伸长值实测
ZLSCHJ	float	否	是	张拉伸长值合计
LXID	varchar(20)	否	是	所在离心表中的ID
LXDSZS	varchar(50)	否	是	低速离心机转速
LXDSTIME	varchar(50)	否	是	低速离心时间
LXZDSZS	varchar(50)	否	是	中低速离心机转速
LXZDSTIME	varchar(50)	否	是	中低速离心时间
LXZSZS	varchar(50)	否	是	中速离心机转速
LXZDTIME	varchar(50)	否	是	中速离心时间
LXGSZS	varchar(50)	否	是	高速离心机转速
LXGSTIME	varchar(50)	否	是	高速离心时间
PYID	varchar(20)	否	是	所在普养表的ID
ZCMID	varchar(20)	否	是	所在装拆模表的ID
ZCMQH	varchar(8)	否	是	是否钢模清灰
ZCMQL	varchar(8)	否	是	是否张拉环清理
ZCM_XPAZ	varchar(8)	否	是	是否橡皮塞安装
ZCMGJ	varchar(8)	否	是	是否二端箍筋绑扎
ZCMBJFW	varchar(8)	否	是	是否端板锚筋复位

钢筋笼入模表中包含了钢模的基本信息（如规格型号，入模时间等），同时该表包含其他生产信息表的 ID 号，用来确定生产信息之间的绑定和联系；该表直接显示对应的个体生产记录信息如喂料长度、离心时间、张拉力、钢模状况等，对于可能有多个钢模共有的表信息（例如一批钢模在同一班组的操作下完成离心），通过外键查询相应的生产信息总表来获得。

（4）质量检验

质量检验模块包括镦头检验表、端板检验表和报告单上传表，用于记录生产管桩的墩头、端板检验信息，同时对主材入库表中的物资在入库时送交实验室进行质量检验，在系统内上传质检报告，报告单上传表结构如表所示：

表 4-7 报告单上传表

字段名	数据类型	主键是否	可否为空	描述
BGID	varchar（50）	是	否	检验报告单编号
ComBatch	varchar（20）	否	否	生产批次
BGType	varchar（50）	否	否	报告类型（有限种类）
BGPath	varchar（200）	否	否	存放报告的对应的路径 http 客户端
BGName	varchar（100）	否	否	自动获取的文件名称
BGTime	datetime	否	否	上传时间
BGMat	varchar（50）	否	否	检验材料项目
BGPer	varchar（50）	否	否	检验材料上传人
BGHID	varchar（20）	否	否	标明表名前缀，数据类型

报告单上传表中的检验报告单编号用于与主材入库表中的对应字段绑定，确保物资来源、质检信息详实，报告单类型包括实验室、物资站、生产质检三种类型，报告单上传时间和上传人由系统自动获取确保责任到人、防止数据造假，对应文件路径存放在 BGPath 中供后续下载和查看。

（5）产成品管理

产成品管理模块用于记录管桩的库存、生产、出运、报废等信息，包括构件项目报废表（记录构件生产过程中的坏桩等报废信息），生产日月报表，出厂合格证，出运日月报表，库存报表及其相关关系表等。产成品管理类似物资管理，通过生产日月报表和出运日月报表可以动态获取库存统计，其中主要的生产报表的表结构如表所示：

表 4-8 生产记录表

字段名	数据类型	主键是否	可否为空	描述
SCDR_ID	varchar(20)	是	否	管桩生产日报记录 ID
SCDayIN	varchar(20)	否	否	管桩生产日报 ID
SCSpec	varchar(20)	否	否	管桩生产型号
SCSpecL	int	否	否	管桩生产型号长度
SCSNO	int	否	否	管桩生产数量
SCFNO	int	否	否	管桩生产方量

表 4-9 生产日报表

字段名	数据类型	主键是否	可否为空	描述
SCDayIN	varchar(20)	是	否	管桩生产日报 ID
SCMonID	varchar(20)	否	否	生产报表编号
SCPro	varchar(20)	否	否	工程名称
SCDaySumL	int	否	否	管桩长度合计
SCDaySumS	int	否	否	管桩数量合计
SCDaySumF	int	否	否	管桩方量合计
SCDayTime	datetime	否	否	管桩日报时间

表 4-10 生产月报表

字段名	数据类型	主键是否	可否为空	描述
SCMonID	varchar(20)	是	否	生产报表编号
SCPro	varchar(50)	否	否	生产工程名称
SCZBR	varchar(20)	否	否	制表人
SCSHR	varchar(20)	否	否	审核人
SCMonTime	datetime	否	否	月报表时间
SCMonSumL	int	否	否	生产月长度汇总 m
SCMonSumS	int	否	否	生产月汇总件
SCMonSumF	int	否	否	生产月汇总方量

由以上表结构可知，生产报表体系由【生产月报表—生产日报表—生产日记录表】三层结构组成，相关层次表间由报表 ID 作为外键，针对特定规格型号管桩生产数量构成一条生产记录，每天的生产记录汇总构成生产日报表，每月的生产日报表汇总构成生产月报表，相关记录表中的汇总数据在实时记录时通过 SQL Server 自动完成更新，用于企业的生产管理和数据分析。

4.3.3 功能模块设计

综上所述，整个 RFID 信息采集平台由人事管理、物资管理、生产管理、产成品管理、质量检验、综合查询、基础管理、信息公告栏和系统管理九大模块组成，由于系统功能涵盖生产管理过程中的所有流程，且覆盖生产信息、人事管理、物资管理等所有信息数据表，限于本文篇幅有限，仅选取其中重要部分做简要介绍。整个应用服务层功能

模块设计采用 C#语言，在 Visual Studio 2013 平台下开发，登录界面与主界面如下所示：

图 4-9 系统登录界面

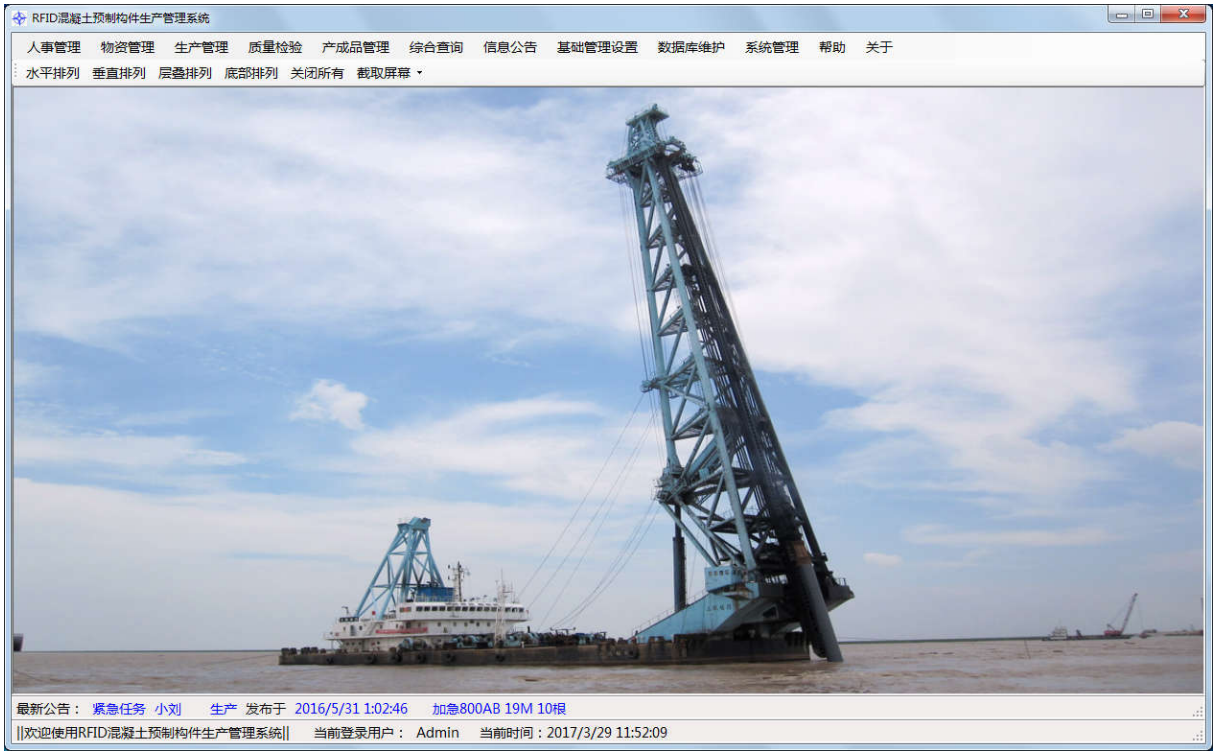


图 4-10 系统主界面

（1）人事管理模块

通过单击导航栏中的人事管理的部门、班组、工种等菜单，系统可实现用户管理、班组管理等功能，如图 4-10 所示，在用户管理界面，系统可以完成完善企业组织结构，对员工基本信息进行添加、修改、删除等操作，同时维护职工部门、班组、权限、工种信息等，便于员工责任划分；通过 C#控件 PictureBox 可显示职工的照片，系统使用 HTTP

协议将图片上传至 IIS 服务器，同时将文件路径存入职工信息表中；通过左侧的边栏人事部门可以完成人员的基础预览，当需要对特定人员进行查找时，可通过上方分类查询中职工编号、职工姓名进行快速查询和维护。

图 4-11 用户管理窗体

（2）物资管理模块

物资管理模块用于完成物资的基础维护，实现主材管理、供应商管理、采购计划表、审批、主材入库管理、领用单管理和物资动态管理等窗体；分别实现物资从计划采购到入库、领用、物资动态库存管理等流程，物资动态管理窗体如图 4-11 所示：

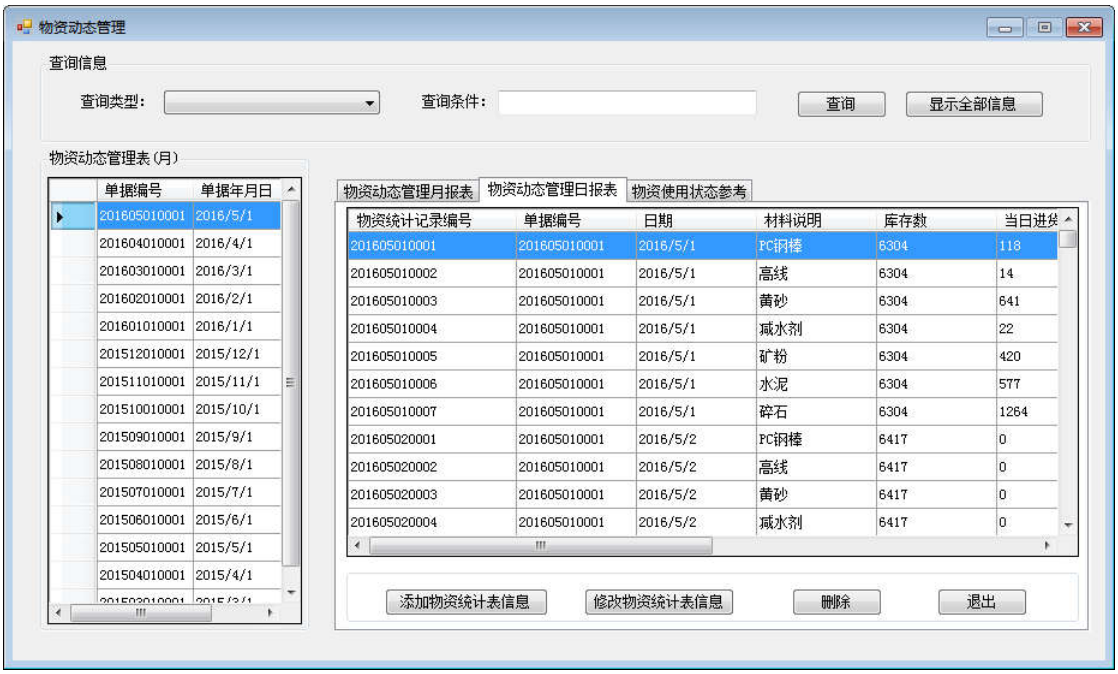


图 4-12 物资动态管理窗体

管理人员可以方便地从窗体中完成企业物资的维护，通过单击添加物资统计信息，在窗体中填写详细的进货数、消耗数、库存数等，系统可以实时记录企业内部的库存状态，为物资管理提供数据支持；在物资动态参考选项卡中，系统可以根据当天生产物资领用量和主材入库进货量动态确定物资使用参考，方便企业实时了解物资使用状况和损耗，防止物资挪用现象的发生。

（3）生产管理

生产管理用于企业生产车间现场操作，为方便施工人员操作，系统采用了 Surface Pro 作为智能便携终端与手持式读卡器相连，用于车间现场完成 RFID 电子标签信息的采集和生产数据的录入，并针对 Surface Pro 做了界面和功能上的优化和适配，如图 4-13 所示：

图 4-13 施工现场操作

在混凝土管桩生产的第一阶段钢筋笼绑扎中，我们将 RFID 电子标签绑扎到钢筋笼上，相当于给予每个预制构件一个身份 ID 号、确定钢筋笼与 RFID 号的关系，钢筋笼制作表窗体如图 4-14 所示；在该窗体中，现场施工人员完成钢筋笼基本信息的录入，包括工程信息、班组信息、绑扎时间等，当将电子标签绑扎完成时，单击窗体的读取按钮，通过读卡器外接天线，系统可以自动获取 RFID 号与钢筋笼 ID 完成绑定，当产品进入后续的入模、喂料、合模、张拉、离心等步骤时，施工人员通过现场操作平台可以继续完成信息的采集和录入，有效完成生产信息的追溯和管理。

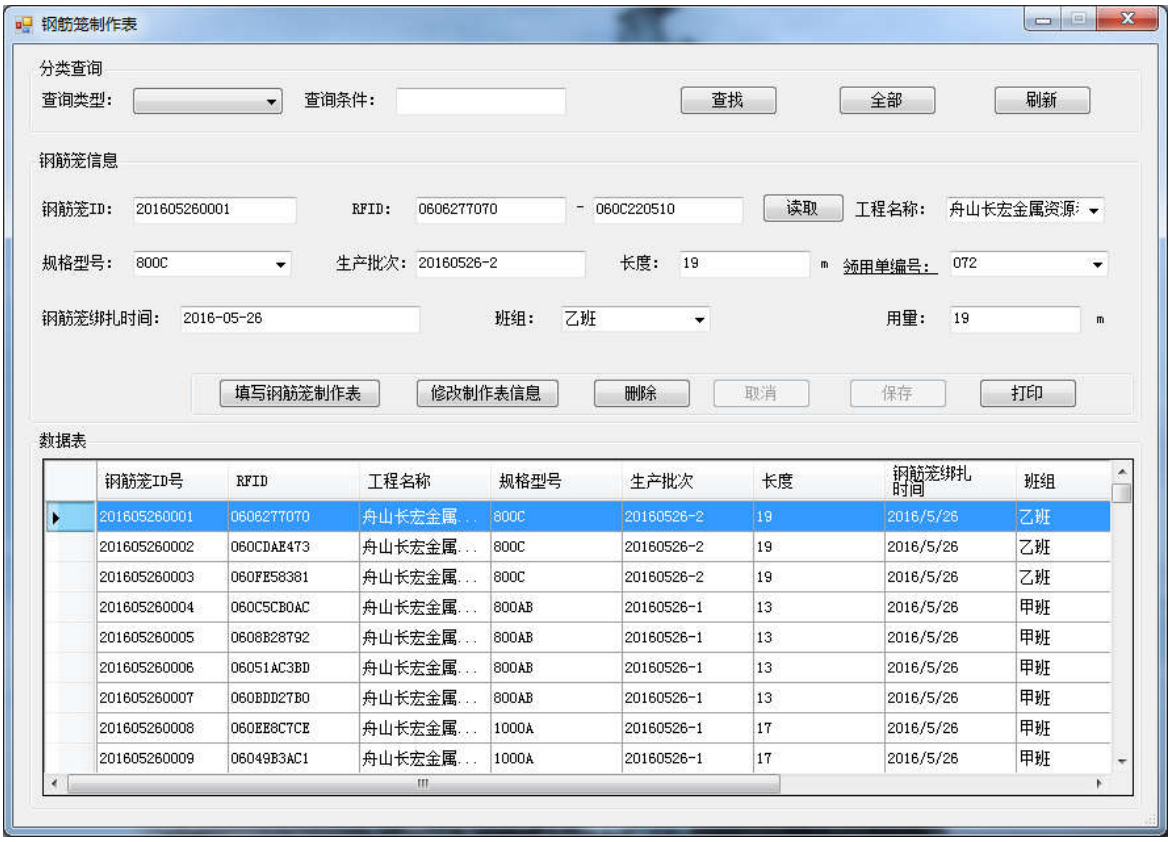


图 4-14 钢筋笼制作表

考虑到信息集成的特点，在某些生产环节混凝土管桩企业本身已集成了现场操作平台，如图 4-15 所示，车间采用了组态王作为现场张拉操作平台，组态王是亚控科技开发的工业自动控制系统，以标准的工业计算机软硬件平台代替传统封闭式传感器上位机，可通过 PLC 通讯完成企业设备的自动化控制[41]；

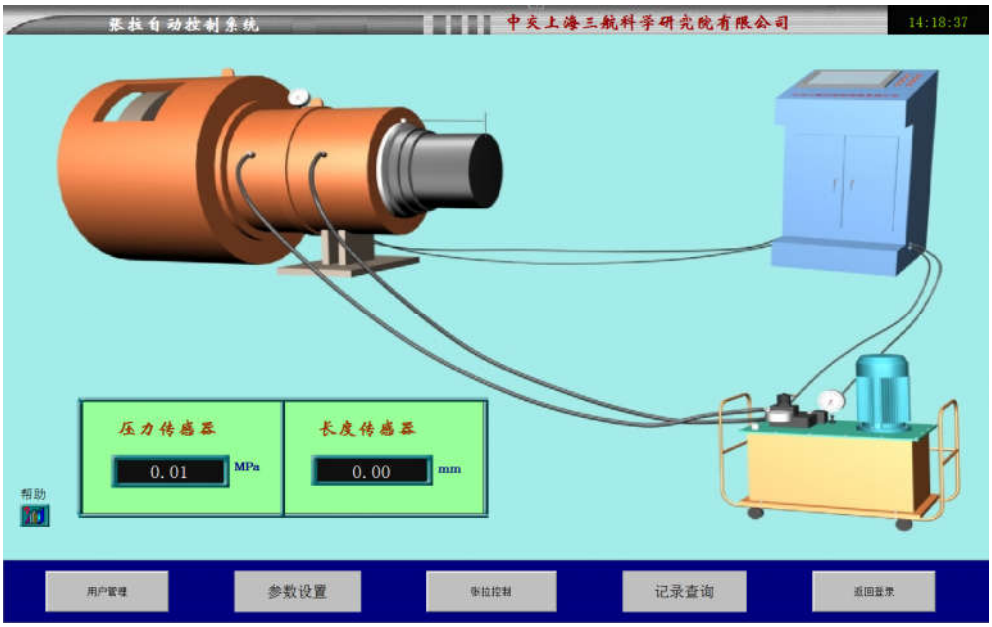


图 4-15 张拉自动控制系统

在组态王开发平台的基础上，我们为本系统加入了数据接口，当实时张拉完成时，通过单击张拉入模表中的张拉数据读取按钮，系统可以自动获取张拉数据，无需手动输入，有效防止伪造数据的发生，保证生产参数的真实有效，如图 4-16 所示；

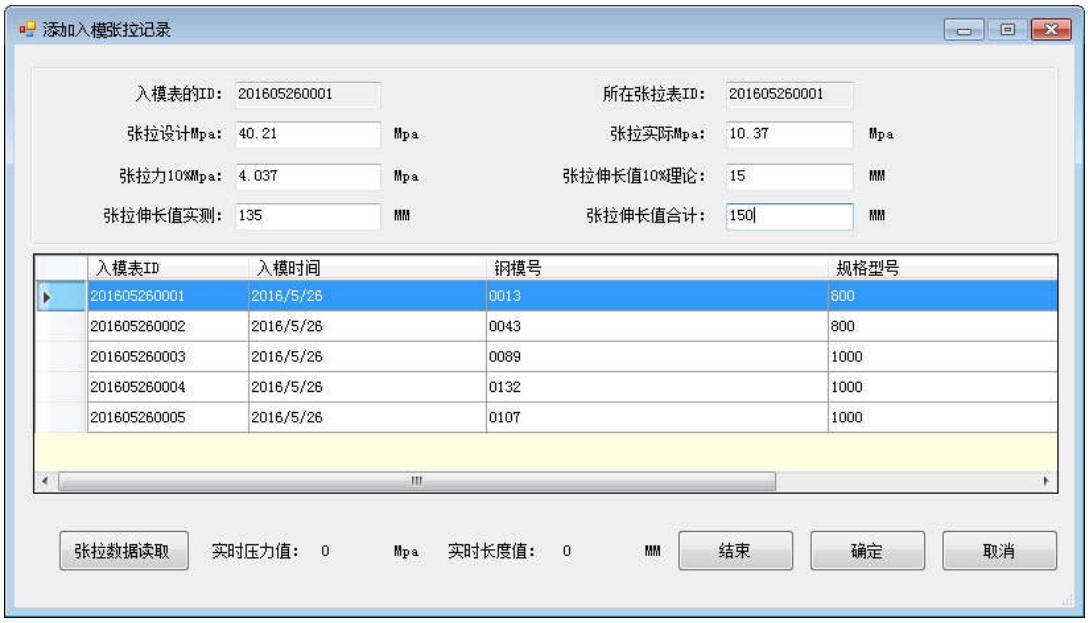
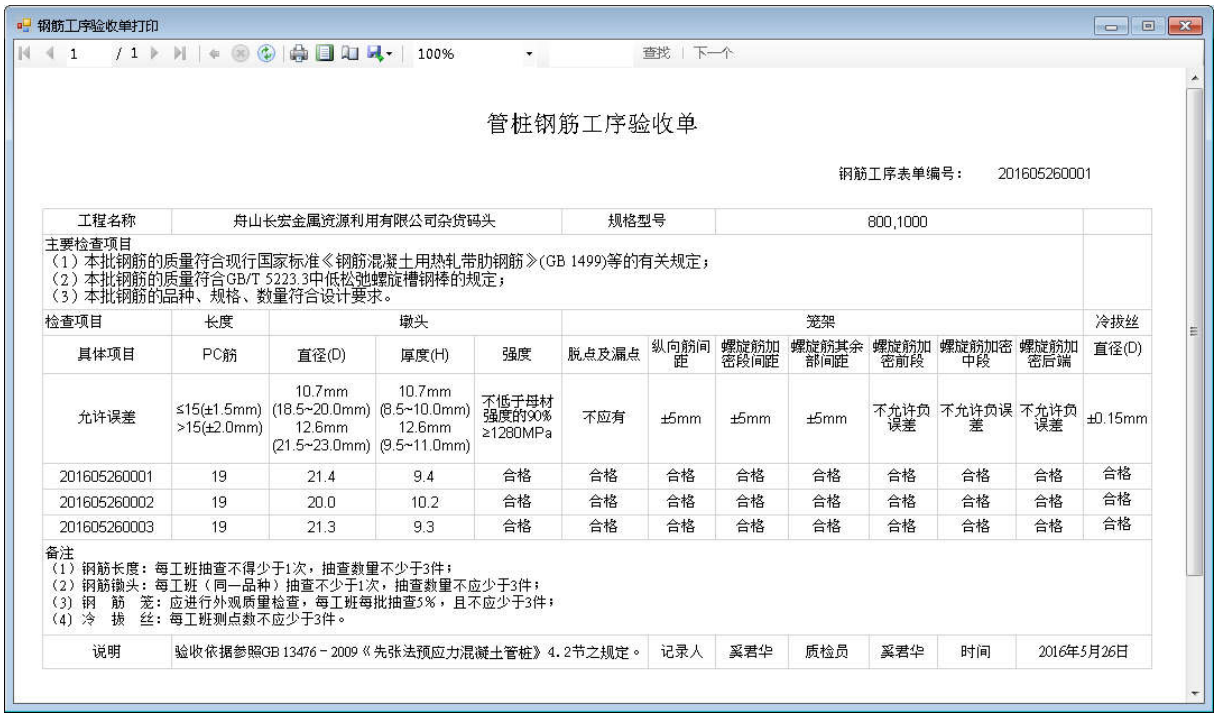


图 4-16 添加入模张拉记录

在各生产功能模块中，系统可以通过 C#的 Reporting Service 控件，根据生产数据完成报表打印功能，有效摆脱了过去人工录入填写的不便，如图 4-17 所示；此外管理人员能通过查询栏中的时间、报表 ID 等字段可对各生产报表完成集中查询，方便信息的检索和归档，提升了企业管理效率。



钢筋工序验收单打印

管桩钢筋工序验收单

钢筋工序表单编号： 201605260001

工程名称	舟山长宏金属资源利用有限公司杂货码头			规格型号	800,1000							
主要检查项目 （1）本批钢筋的质量符合现行国家标准《钢筋混凝土用热轧带肋钢筋》(GB 1499)等的有关规定； （2）本批钢筋的质量符合GB/T 5223.3中低松弛螺旋槽钢棒的规定； （3）本批钢筋的品种、规格、数量符合设计要求。												
检查项目	长度	墩头			笼架							冷拔丝
具体项目	PC筋	直径(D)	厚度(H)	强度	脱点及漏点	纵向筋间距	螺旋筋加密段间距	螺旋筋其余部间距	螺旋筋加密前段	螺旋筋加密中段	螺旋筋加密后端	直径(D)
允许误差	≤15(±1.5mm) >15(±2.0mm)	10.7mm (18.5~20.0mm) 12.6mm (21.5~23.0mm)	10.7mm (8.5~10.0mm) 12.6mm (9.5~11.0mm)	不低于母材强度的90% ≥1280MPa	不应有	±5mm	±5mm	±5mm	不允许负误差	不允许负误差	不允许负误差	±0.15mm
201605260001	19	21.4	9.4	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格
201605260002	19	20.0	10.2	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格
201605260003	19	21.3	9.3	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格	合格
备注 （1）钢筋长度：每工班抽查不得少于1次，抽查数量不少于3件； （2）钢筋镦头：每工班（同一品种）抽查不少于1次，抽查数量不应少于3件； （3）钢　筋　笼：应进行外观质量检查，每工班每批抽查5%，且不应少于3件； （4）冷　拔　丝：每工班测点数不应少于3件。												
说明	验收依据参照GB 13476－2009《先张法预应力混凝土管桩》4.2节之规定。				记录人	奚君华		质检员	奚君华	时间	2016年5月26日	

图 4-17 管桩钢筋工序验收单

（4）质量检验

质量检验模块包括镦头检验、端板检验和上传报告单等功能，用于施工人员对产品进行检查，保证产品质量安全；上传报告单窗体如图 4-18 所示，在左侧的信息栏中，管理人员可以方便获取待检查的物资材料和混凝土浇筑信息，质检人员在完成质检后，填写相关质检信息，以报告单的形式通过 HTTP 协议上传至系统中，完成物资材料与质检报告的绑定，明确责任归属。

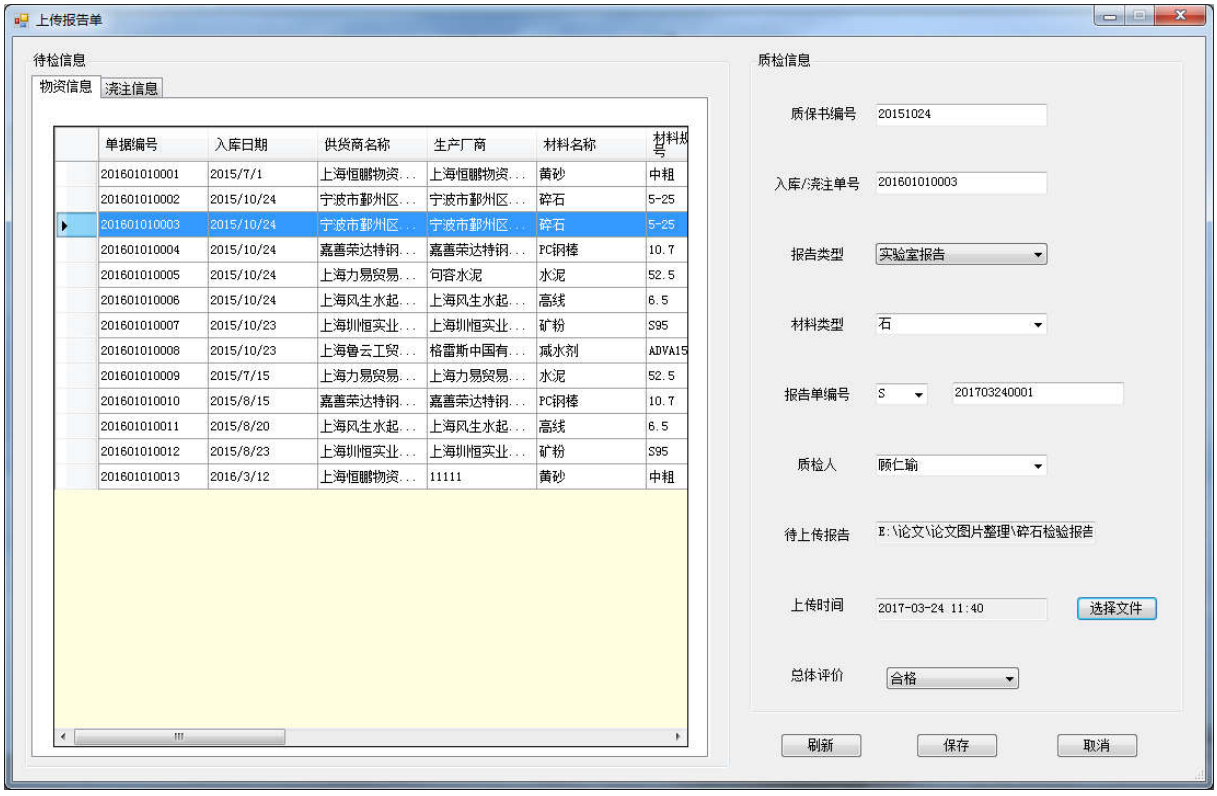


图 4-18 报告单管理

（5）产成品管理

产成品管理包括构件项目报废表、生产日月报表、出厂合格证、出运日月报表等功能模块，用于完成对产品的生产、出运的信息录入和统计，并通过可视化窗体图表显示，如图 4-19 所示。管理人员也可通过生产日月报表、出运日月报表中的统计数据，动态获取产品的库存信息，包括构件类型、库存数目等，如图 4-20 所示，通过库存报表下方的规格汇总，管理者可以清晰获取不同规格型号管桩的生产、出运、库存状况，便于企业制定发展、管理战略。

图 4-19 管桩生产量统计图

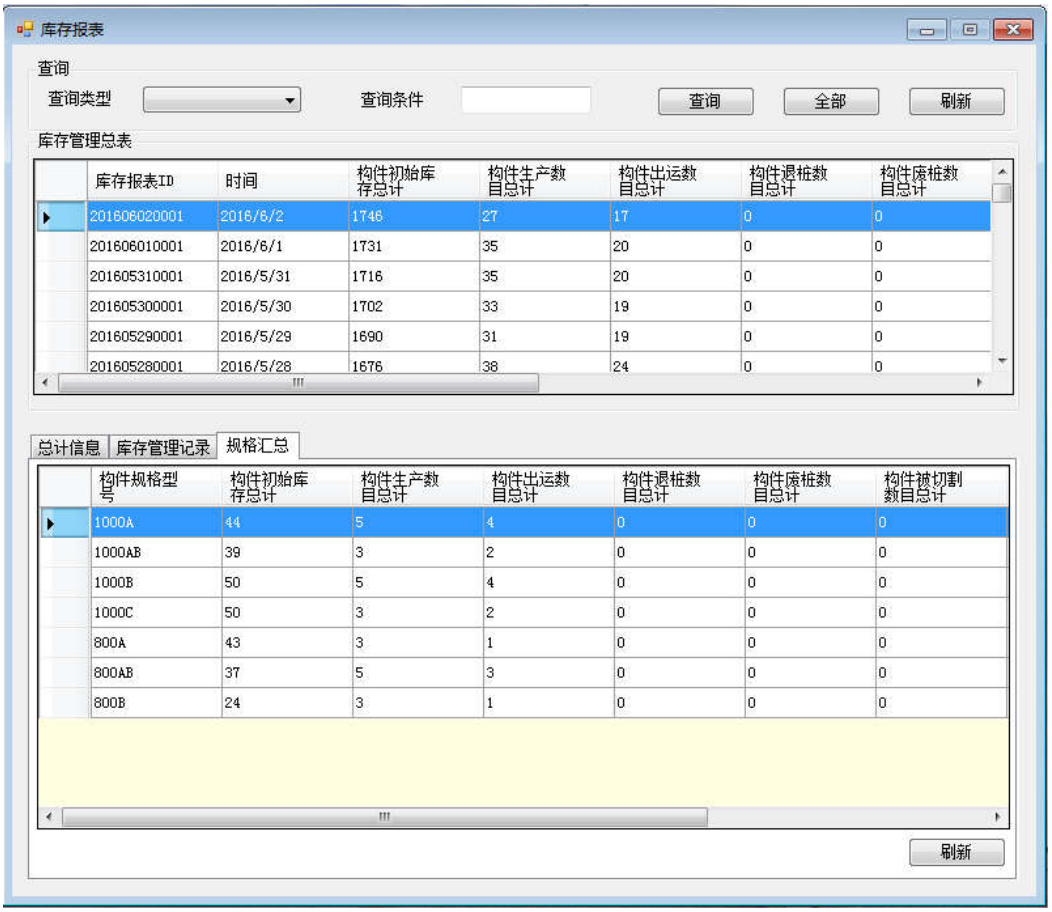


图 4-20 管桩库存报表

4.4 本章小结

本章重点介绍了生产管理系统的 RFID 信息管理平台，首先对 RFID 信息管理平台进行了基础架构设计，然后针对混凝土管桩生产企业实际车间环境和现有管理制度，完成了对信息采集层和应用服务层的设计，通过应用服务层的系统窗体功能模块实现了管桩生产信息的实时采集、录入和管理，便于企业完善信息化管理制度，实现生产信息溯源和责任保证，同时为下一章中数据仓库的建立提供了切实准确的数据来源。

第五章 数据仓库设计与实现

数据仓库是面向主题、集成、时变、非易失的数据集合，包含基本数据、历史数据、综合数据等，这些数据根据数据仓库的决策主题被抽取、转换为统一的格式，便于用户通过联机分析处理（OLAP）等工具进行各种粒度的交互分析，从而为辅助决策等提供支持[42]。

数据仓库的设计主要在于从数据源中抽象出符合企业生产决策（主题）的数据结构，然后依照统一的规范组织建立起来，在这里我们选取混凝土管桩制造企业作为企业主体，并在其经营活动基础上进行表设计，数据仓库采用 Microsoft SQL Server 2008 R2 和 SQL Server Business Development Tool 进行建立[43]。

5.1 数据仓库的主题

相比于面向具体业务操作流程的增删查改操作的传统关系型数据库，数据仓库往往围绕一定的主题，通过统一的数据格式来建立。通过实地调研企业现状，我们了解到对于混凝土管桩企业来说，管桩单件成本高、价格昂贵，且企业生产管理效率低下，仍采用传统的劳动密集型方式工作，如何有效实现产品信息化管理，节约内部成本，创造更大利润是企业最为关心的问题。在这一基础上，本文确定生产管理、物资管理、质量保证和企业内部资源的有效配置作为数据仓库的主题，其涉及的主要数据关系如图 5-1 所示：

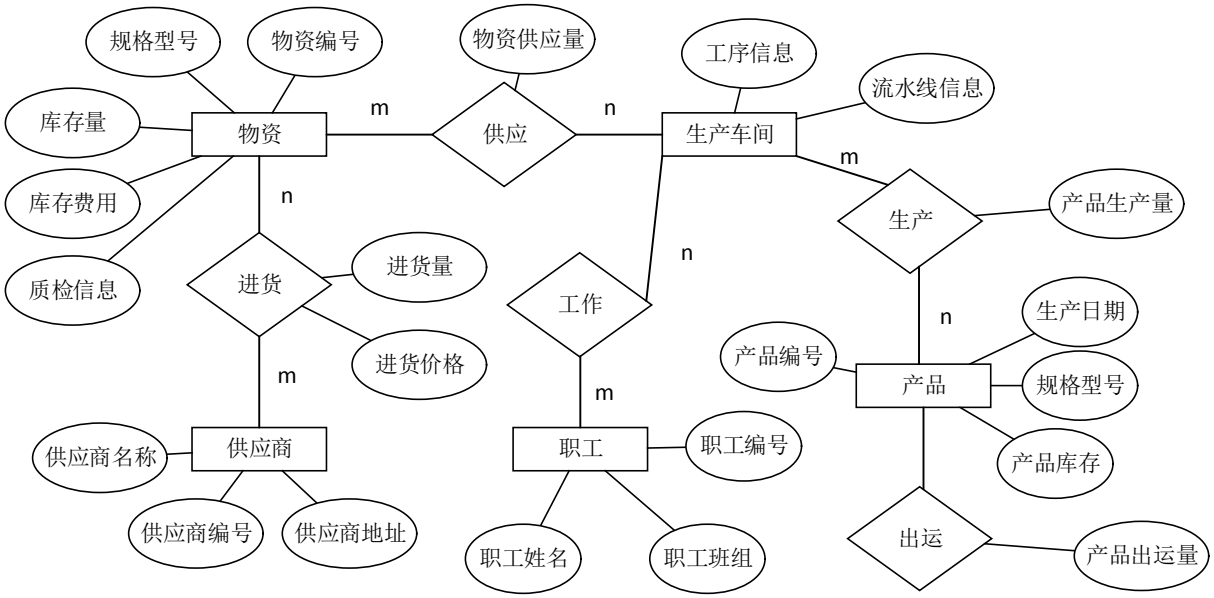


图 5-1 数据仓库主题关系图

（1）物资主题

物资主题中供应商为企业提供生产物资，生产车间根据需求获取物资供应，所涉及关系表包括物资主材入库表、库存报表、主材供应商表等，用于分析企业的物资状况，

包括进货费用分析，物资库存、用料分析，预警分析等，同时方便企业追溯物资来源和使用，实现透明化管理。

（2）生产主题

生产主题中包括车间生产中的所有数据表及其相关物资表和职工表，一方面用于质量保证和生产信息溯源，明确产品物资来源、操作职工责任归属；另一方面通过产品日/月生产量，生产报废情况等确定企业经营现状，为企业制定内部管理策略提供数据和事实依据。

（3）质量保证

质量保证主题与以上两主题协调统一，涵盖生产产品从原料入库到生产、产品出运的全过程，包括各生产环节参数的实时录入、检验信息的绑定等，这样当产品一旦出现问题，通过溯源生产供应链可以清晰找出问题源头和责任人，及时作出产品召回或补救措施。

（4）资源配置

利润是企业经营中最关心的问题，只有通过优化企业现有资源配置，提高整体经营管理效率才能获得最大利润；只有通过对企业中各成本环节，如物资进货、库存费用和职工劳动生产率、坏桩率等的详细记录，企业才能清晰获得内部经营情况，真正实现最优化配置。

5.2 数据仓库的维度

数据仓库及其联机分析处理工具基于多维数据模型建立，这种模型即数据立方体形式，可以从多个维度为用户提供不同层次的信息[44]；在确定好整个数据仓库的主题后，由于企业最关心的是内部资源随时间变化的情况，我们确定了物资、生产、时间三个维度表。

（1）时间维度

时间维表表征企业内部经营状况的时间特征，从大到小的可将时间维度分为年、季度、月、日，通过后期 OLAP 联机分析处理技术的上卷（roll-up）和下钻（drill-down）操作，可以分别获取其他维度在时间上的统计信息和详细信息，便于可视化管理决策。

（2）物资维度

物资维表表征企业内部的物资管理特征，企业的物资状况由从供应商处的进货状况和内部供车间生产的物资调度决定，通过物资维度表，管理人员可以实时确定企业各类物资消耗状况，通过上卷可以将物资维度中的进货状况、进货费用进行聚合分析，在下钻中可以按供应商名称、物资名称等获得信息分类，方便企业进行相关决策。

（3）生产维度

生产维表表征企业内部生产特征，考虑到企业日常的组织结构，生产维度涉及到的信息主要有产品信息、职工人员信息、车间信息等，生产维度表可支持时间维度的查询，

完成诸如某车间某天生产某型号的统计数量，相关操作人员某季度的产品生产数量等，为企业提供切实有效的维度信息。

综上所述，企业数据仓库有效的维度信息例子可为【时间，生产】-【年/季度/月/日，800A/800B/1000C/1200A（管桩不同型号），生产数量】，【时间，物资】- 【年/季度/月/日，黄沙/石子/水泥（物资不同类型），库存数量】，【生产，物资】- 【管桩型号，管桩数量，钢筋/水泥/石子用量】等，供管理者进行多维度的数据分析和查询。

5.3 数据仓库的模型结构

在关系数据库中，经常采用实体-联系模型（E-R 图）进行设计，数据库用实体与实体之间的联系来表示，适用于增、删、查、改频繁的联机事务处理系统；而在数据仓库中，往往采用简明的、面向主题的多维数据模型，以用于联机分析处理。这里我们采用雪花模式（Snowflake Schema）设计混凝土管桩企业数据仓库。雪花模式是多维数据模型的一种，由事实表（Fact Table）和一组附属的维度表（Dimension Table）组成[45]。事实表是数据仓库架构的中心，用于描述特定业务内的事件数据，包含其他表的主键数据且不冗余；附属的维度表用于描述事实数据表中的维度数据，同事实表联合起来完成联机查询，系统在 SQL Server Business Development Tool 内完成数据仓库的主要设计架构如下图 5-2 所示：

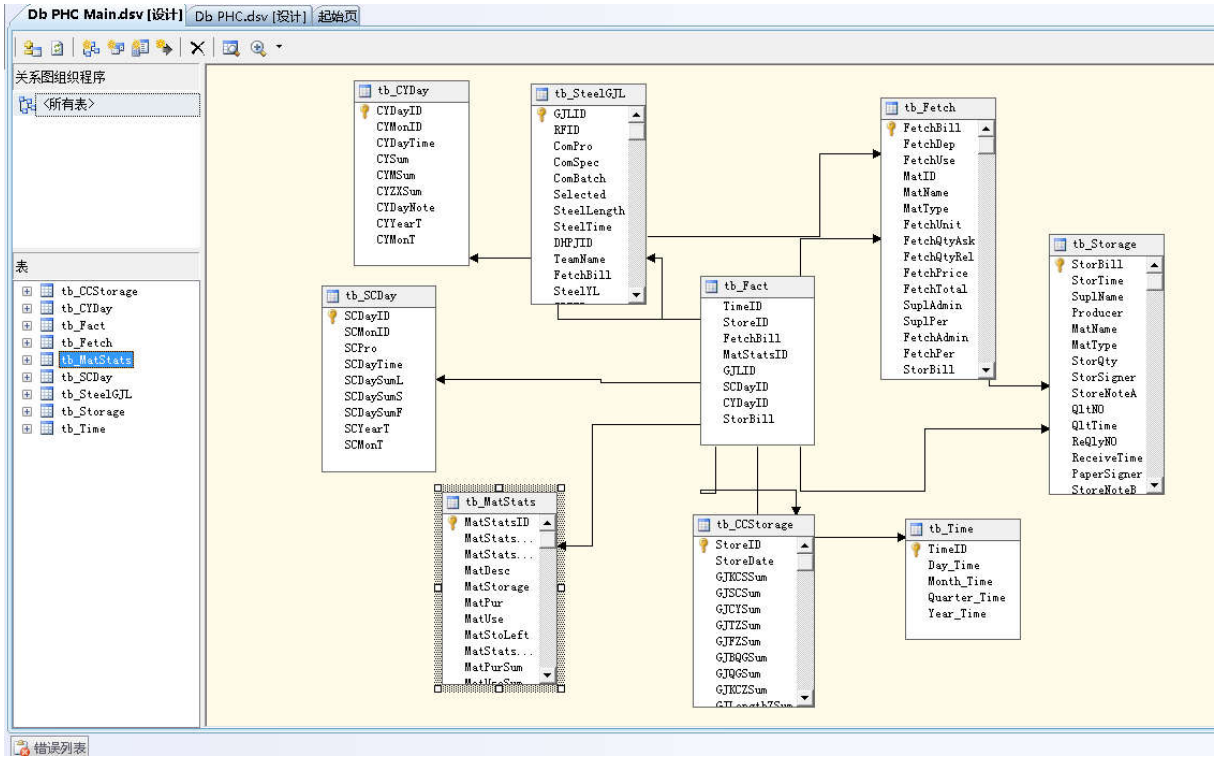


图 5-2 数据仓库的雪花模型主体架构

在雪花模型架构中，tb_Fact 为事实表，包含数据库其他维度表的索引信息，如时间

维主键 TimeID，生产日报表主键 SCDayID 等；其余各表表征其他维度信息，包括物资主题的主材入库表（tb_Storage），物资领用表（tb_Fetch），物资动态库存分析表（tb_MatStats）等，该部分可与对应时间维度表和管桩生产中的钢筋笼制作表（tb_SteelGJL）发生联系，追溯统计物资来源信息，通过每天的主材入库记录和物资领用记录动态分析物资库存状况，便于企业的管理决策。

企业的生产分析主题涉及到所有的生产工序，为了便于分析，我们将上图主体架构的生产部分及其关联分离扩展出来，其涉及结构如图 5-3 所示，生产主题涉及的报表包括事实表、时间维度表、物资领用单表和钢筋笼制作表、钢筋笼入模表（tb_IM）、生产记录日月报表（tb_SCDRecord，tb_SCDay，tb_SCMonth），出运记录日月报表（tb_CYRecord，tb_CYDay，tb_CYMonth）等生产维度表;在进行联机分析处理过程中，通过事实表的时间主键和产品主键，生产、出运日报表主键等，企业可以清晰获取特定时间点和特定时间周期的产品生产、出运、物资消耗等统计信息，在此基础上通过钢筋笼入模表中其他生产信息表外键（如拆模表的 ZCMID，张拉表的 ZLID 等）可对数据进行进一步挖掘，获取特定产品在特定工序的详尽生产信息，完成 OLAP 的切片、切块等操作，为管理者提供全方位的数据支持。

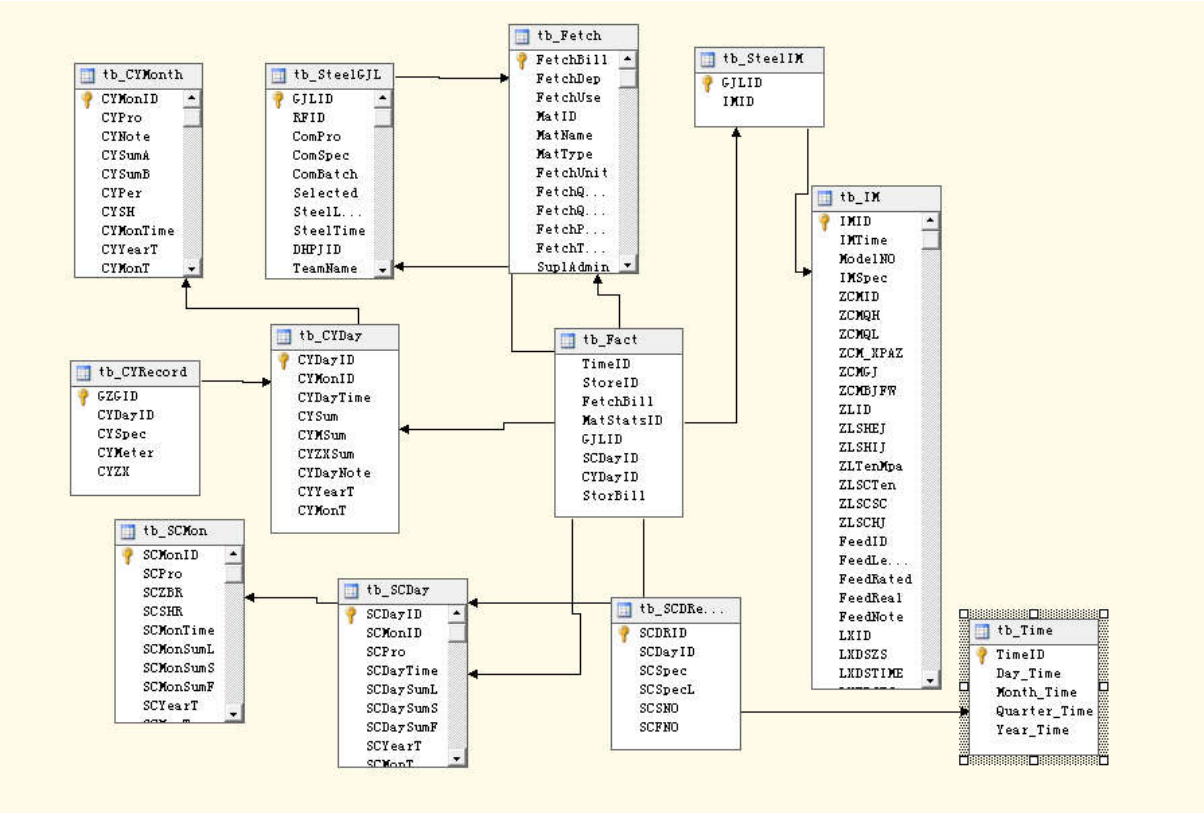


图 5-3 数据仓库生产主题结构

5.4 数据仓库的 ETL 处理

数据仓库是集成的，其数据来源于多个异构数据库包括关系数据库和外部文件等，

需要经过数据清理和数据集成技术，将数据转化为统一的命名约定和格式后再进行装载，以保证决策的可信度[46]。ETL（Extract，Transform，Load）技术便是用来解决上述问题，ETL 技术包括三个方面：数据的抽取（Extract），将数据从原始的业务系统或数据库中读取出来，并检查其中的错误，做数据预处理；数据的转换（Transform），按照数据仓库设计好的规则，将数据转化为统一的数据格式；数据的装载（Load），将转化后的数据经排序、汇总、检查完整性后增量或全部导入数据仓库中[47]。

在传统的管理模式下，由于信息记录采用 Excel 表格、word 文档、纸质文件等多种形式，对数据仓库的建立带来很大困难；通过 RFID 信息管理平台的建立，改变了原有人工输入记录生产信息的工作方式，数据多采用标准化格式统一录入数据库，给 ETL 处理带来很大便利；建立数据仓库时所做的 ETL 操作主要有：

（1）从数据库直接迁移：通过 SQL 语句，直接从原关系数据库中获取相关字段，或采用 avg、count、min、max 等函数获取特定内容导入新的数据仓库表中，例如：insert into tb_SCDay (SCDaySumS，SCDaySumL，SCDaySumF) select sum(SCSNO), sum(SCSNO*SCSpecL),sum(SCFNO) from tb_SCDRecord where SCDayID=”2016-03-05”; 即将原有生产记录数据库中的汇总数据导入到每日生产量数据库中。

（2）日期格式的转换：在实际操作数据表，如钢筋笼绑扎时间、堆场管理时间等，日期均为精确到分，而在出运月报表和生产月报表中时间为年-月，为统一整理，将数据仓库所涉及时间转化为精确到日，即年月日的格式保存为 datetime 格式，便于汇总和分析；同时通过时间维度表的 TimeID 对所有时间以数据库记录的方式索引，便于 OLAP 的查询和分析。

（3）数据审核和预处理：数据在加载入数据仓库时，也要保证数据整体的一致性和准确性，通过 SQL Server 自带的主键-外键审核功能，系统可以保证加载数据的一致有效性；在数据仓库建立之初，对于初始库存量，前期生产数据以及部分残缺、不足数据等采用人工录入和程序脚本结合的方式加以完善。

（4）数据装载：在数据抽取、清洗、处理完成后，在 Business Intelligence 工具里创建 Analysis Service 项目，选择数据源建立数据源视图和多维数据集，进行数据装载和部署，并根据企业的需要定期完成数据仓库的刷新。

5.5 人机交互界面展示

通过数据仓库建立的联机分析处理功能，系统可以方便地为用户提供多维度的信息，用于管理和决策支持，如图 5-4 所示，该模块可以动态显示当前企业内部的实际生产状况和各工序完成情况，包括生产计划、指令信息、生产班组、车间信息、生产完成状况等，为管理者提供真实可靠的统计信息；此外，单击下方各工序按钮可以实现在生产维度上的下钻操作，查询产品在不同工序更为详细的生产数据，如图 5-5 所示。

图 5-4 实际生产状况信息

图 5-5 钢筋笼入模工序信息

对于已经生产出的管桩成品，也可以通过日期、生产批次、工程等条件进行联机分析查询，如图 5-6 管桩查询窗体所示，通过查询可获取对应工程和生产批次的管桩汇总信息，双击每条检验记录可以进一步在数据立方体上切片，获取详细的特定型号和单根管桩的生产信息；便于企业从不同维度了解生产运营和工程完成状况，制定下一步发展战略。

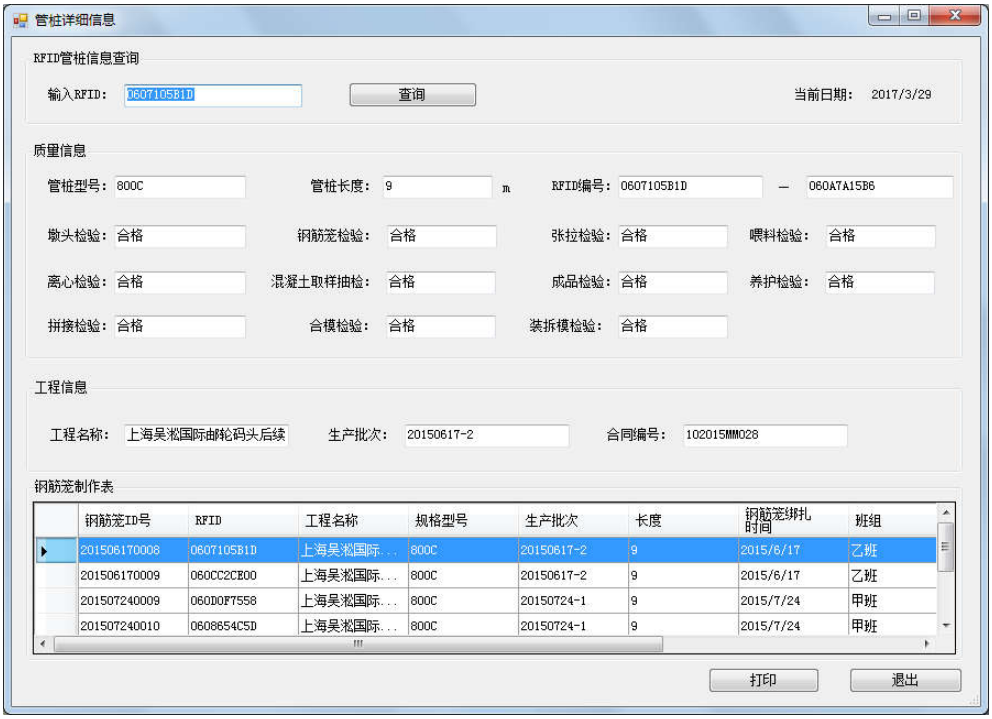


图 5-6 管桩信息查询

5.6 本章小结

本章结合混凝土管桩生产企业的实际需求，确定了数据仓库的主题和时间、生产、物资三个维度的选取，采用雪花模型完成了数据仓库的设计，并解释了该结构对企业在生产信息管理、物资管理方面的作用，最后介绍了数据仓库中的 ETL 处理，说明了在建立数据仓库过程中对数据抽取、清洗、转换等所做的设计与实现。

第六章 决策模型设计

数据仓库的设计初衷是为了应对复杂的内外部环境，对企业的智能决策提供数据支持。单纯的联机分析处理技术虽然可以完成上卷、下钻，切片、切块等操作，从不同层次维度获取可视化的数据信息，但仍需要外部模型工具来综合分析内部资源状况，为决策者提供数据支持；相对于传统的人工管理分析，通过数据信息的支持和建模，决策者可以依据最优化解的形式抽象解决企业生产问题，为企业降低成本费用，提高经营利润；本章从物资管理方面阐述决策模型在数据仓库基础上的设计。

传统的制造企业由于无法有效跟踪统计数据，在生产线上往往会出现库存浪费、频繁进货或物资短缺等问题，造成内部人力物力资源的极大浪费；对于混凝土管桩生产企业也不例外，如何确定物资订货量直接关系企业的生产成本和运营效率，本方案考虑通过改进的多周期报童模型解决上述问题。

6.1 单周期需求离散报童模型

报童模型在上世纪 50 年代提出，用于解决供应链中的进货管理问题，报童模型的基本假设是[47]：报童每天卖报纸的需求量为离散随机变量，报童每天以价格 q 购进报纸，并且以固定价格 $k+q$ 在白天卖掉（$k>0$），如果有剩余报纸白天未卖完，只能在晚上以低于成本价的价格 $q-i$ 卖掉（$i>0$），可由过往经验得每天卖出报纸份数 x 的概率 $P(x)$，求每天报童报纸准备的份数为多少时可获得最大收益。

考虑将报童的收益抽象成企业的经营目标，q 是物资的进货价格，k 可视为卖出产品所得的利润，i 视为多余物资在仓库储存时的管理费，假设某日物资进货量为 l，需求量为 x，报纸概率密度函数为 $P(x)$，$\sum_{x=0}^{\infty} P(x)=1$；

当 $x<l$，即需求量小于进货量时，可得因物资存货过多带来的损失为

$$C_1=\sum_{x=0}^{l} i(l-x)P(x) \tag{6-1}$$

当 $x\geq l$，即需求量大于订货量时，可得因缺货而少赚钱的损失为

$$C_2=\sum_{x=l+1}^{\infty} k(x-l)P(x) \tag{6-2}$$

故综合公式（6-1）（6-2）可得，订货量为 l 时的损失期望值为

$$C(l)=C_1+C_2=\sum_{x=0}^{l} i(l-x)P(x)+\sum_{x=l+1}^{\infty} k(x-l)P(x) \tag{6-3}$$

求物资最优化进货量即求损失期望值最小，可得设最优进货量为 l^*，应满足以下要求，即保证在该订货点会得到比其他订货量更小的损失：

① $C(l^*) \le C(l^*+1)$；　　② $C(l^*) \le C(l^*-1)$；

将①代入公式可得，$(k+i)\sum_{x=0}^{l^*} P(x) - k \ge 0$，即 $\sum_{x=0}^{l^*} P(x) \ge \frac{k}{k+i}$；同理将②代入公式可得 $(k+i)\sum_{x=0}^{l^*-1} P(x) - k \le 0$，即 $\sum_{x=0}^{l^*-1} P(x) \le \frac{k}{k+i}$，所以可知报童模型最佳订货量为不等式：

$$\sum_{x=0}^{l^*-1} P(x) \le \frac{k}{k+i} \le \sum_{x=0}^{l^*} P(x) \tag{6-4}$$

此时可得订货量为一固定值，即当进货量的概率分布之和为 $\frac{k}{k+i}$ 时，可获得最大利润，适用于类似报童模型的、每日需求为离散变量的单周期订货策略。

6.2 多周期需求连续报童模型

6.2.1 需求连续报童模型

考虑到混凝土管桩生产企业的实际经营需求，对物资的每日使用量不是离散变化的，而是以连续的概率密度分布函数表示的随机变量；同时区别于传统的报童模型，在企业中物资缺货是不被允许的（会造成工期延误，生产机器空置，违约风险等一系列问题），因而往往在物资发生短缺时，企业愿意支付额外的费用来紧急进货调度，将此时进货价记为高于成本价的惩罚价 $q+p$（$p>0$），p 视为如果物资供应未到达生产需求时临时进货所增加的多余费用；在这里假设考虑企业每天的物资需求量为 x，其分布概率密度函数为 $f(x)$，概率分布函数为 $F(x)$ 来讨论改进的报童模型；在物资订货量为 l 时，物资需求量为 x 时，可得由于企业不允许缺货，无论何时实际物资供给量均为 x；设物资过多存储费用为 $C_1(l)$，物资不足多花费的费用为 $C_2(l)$；

当 $x<l$，即需求量小于进货量时，可得因物资存货过多带来的损失为 $C_1(l)=i(l-x)$；

当 $x \ge l$，即需求量大于订货量时，可得因多进货增加的费用为 $C_2(l)=(p+q)(x-l)$；

物资本身进货成本费用为 ql，卖出产品销售额为 $(k+q)x$，记最终盈利为 $R(x)$，盈利期望为 $E[R(x)]$，可得

盈利=产品销售收入-物资进货成本-多余物资存货成本-物资不足花费

盈利的期望值为：

$$\begin{aligned} E[R(x)] &= \int_0^\infty (k+q)xf(x)dx - ql - \int_0^l C_1(l)f(x)dx - \int_l^\infty C_2(l)f(x)dx \\ &= (k+q)\int_0^\infty xf(x)dx - ql - \int_0^l i(l-x)f(x)dx - \int_l^\infty (p+q)(x-l)f(x)dx \\ &= (k+q)E(x) - \{i\int_0^l (l-x)f(x)dx + (p+q)\int_l^\infty (x-l)f(x)dx + ql\} \end{aligned}$$

由上式可得首项 $(k+q)E(x)$ 为常量，可将其记做平均盈利水平，第二项

$i\int_0^l (l-x)f(x)dx$ 为因物资存货过多带来的额外存储费用，$(p+q)\int_l^\infty (x-l)f(x)dx$ 视为因缺货导致的销售收入减少的期望值；可得记当前的费用期望为 $E[C(l)]$，有

$$E[C(l)] = i\int_0^l (l-x)f(x)dx + (p+q)\int_l^\infty (x-l)f(x)dx + ql \tag{6-5}$$

为使最终盈利最大化，易得：

$$\max E[R(x)] = (k+q)E(x) - \min E[C(l)] \tag{6-6}$$

$$\max E[R(x)] + \min E[C(l)] = (k+q)E(x) \tag{6-7}$$

由公式（6-6）（6-7）可知当最终盈利 $E[R(x)]$ 最大化时，费用期望 $E[C(l)]$ 取最小值，两者的期望值之和可视为固定的平均盈利不变；即可将求最大盈利转化为求费用损失期望值最小，当 x 为连续随机分布变量时，可用微分法求最小值，对公式（6-5）求导得：

$$\begin{aligned}\frac{dE[C(l)]}{dl} &= \frac{d}{dl}[i\int_0^l (l-x)f(x)dx + (p+q)\int_l^\infty (x-l)f(x)dx + ql] \\ &= i\int_0^l f(x)dx - (p+q)\int_l^\infty f(x)dx + q\end{aligned} \tag{6-8}$$

令 $\frac{dE[C(l)]}{dl} = 0$，记 $F(l^*) = \int_0^{l^*} f(x)dx$，代入公式（6-8）可得即为

$$iF(l^*) - (p+q)(1-F(l^*)) + q = 0$$

$$F(l^*) = \frac{p}{i+p+q} \tag{6-9}$$

由上式（6-9）可得，当货物需求分布概率为 $F(l^*)$ 时对应的货物量即为最优进货量，由原（6-5）式求其二阶导数可得

$$\frac{d^2E[C(l)]}{dl^2} = if(l) + (p+q)f(l) > 0 \tag{6-10}$$

由公式（6-10）可知此时 l^* 为函数的极小值点，在本模型中也是最小值点，即为最大盈利时对应的最优进货点；

由上式也可知当 $p=0$ 时，即不存在缺货惩罚时，最优进货量为 0，此时最优决策更倾向于不提前备货以减少库存费用，仅在需要物资时进行进货，这一结论符合一般的常识规律，当然在本模型中企业不允许缺货，且缺货惩罚 $p>0$。

6.2.2 多进货周期的修正

对于企业的实际运营来说，物资进货往往不是基础报童模型一样是单周期进货的，在每个进货周期之前，上一周期未使用完的货物会继续用到下一周期，这给上述需求连

续报童模型带来了些许修正；设上一阶段未使用完物资为b，作为本周期的初始库存，代入公式（6-5）可得，

$$E[C(l)]=i\int_0^l(l-x)f(x)dx+(p+q)\int_l^\infty(x-l)f(x)dx+q(l-b)$$

$$\min\{E[C(l)]\}=-qb+\min\{i\int_0^l(l-x)f(x)dx+(p+q)\int_l^\infty(x-l)f(x)dx+ql\} \quad (6\text{-}11)$$

相比原单周期需求连续报童模型，公式（6-11）仅仅增加了$-qb$的常量，故同理根据公式（6-9）可从$F(l^*)=\dfrac{p}{i+p+q}$求出理论最优进货量l^*；此时对应进货策略发生些微变化：

①当$b<l^*$，即初始库存量小于最优进货量时，可得因物资存货不足，该周期需补订货$l=l^*-b$；

②当$b>l^*$，即初始库存量大于最优进货量时，可得此时最优订货量已满足，不再追加订货。

6.3 实例分析

结合混凝土管桩生产线实际运营状况，在应用模型进行最优化资源配置前，还需要针对企业现状做一部分数据预处理和概率模型提取操作：

混凝土管桩企业往往生产多种产品，而不同产品有多种不同物资需求，在这里需对其做预处理再进一步使用模型求最优解，设企业共生产n种产品，某生产周期生产产品数量记为矩阵$p_r=[p_{r1},p_{r2},p_{r3}...p_{rn}]$，其中$p_{ri}$为第$i$种产品该生产周期的生产量；企业产品所需物资共$m$种，不同产品所需物资数量抽象$n$行$m$列的物资消耗矩阵$D$，

$$D=\begin{bmatrix} d_{11} & ... & d_{1m} \\ ... & d_{ij} & ... \\ d_{n1} & ... & d_{nm} \end{bmatrix} \quad (6\text{-}12)$$

其中d_{ij}表示第i种产品对第j种物资的消耗；设企业该生产周期物资需求矩阵为U，可得：

$$U=p_rD=\begin{bmatrix} p_{r1} & p_{r2} & ... & p_{rn} \end{bmatrix}\times\begin{bmatrix} d_{11} & ... & d_{1m} \\ ... & d_{ij} & ... \\ d_{n1} & ... & d_{nm} \end{bmatrix}=\begin{bmatrix} u_1 & u_2 & ... & u_m \end{bmatrix} \quad (6\text{-}13)$$

如上所示矩阵U中每一项u_i表示企业该生产周期对第i种物资的总消耗。

在报童模型的假设中，企业对于物资需求的概率密度函数必须是已知的，这在传统的管理模式下几乎很难得到，但企业数据仓库的建立很好的解决了这个问题。通过上述矩阵分析，通过在数据仓库上进行 OLAP 联机分析查询，系统可得在历史时间内工厂的各生产周期产品生产量数据矩阵p_r，公式（6-12）的物资消耗矩阵可由生产线产品配方

比获得，结合公式（6-13）进而得到各项物资需求矩阵U，考虑正常物资需求量的波动可采用近似截尾正态分布拟合[48]，可得工厂物资消耗的概率密度函数：

$$f_i(x)=\frac{\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i}\exp(-\frac{(x-\overline{u_i})^2}{2\sigma_i^2})}{\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i}\exp(-\frac{(b_i-\overline{u_i})^2}{2\sigma_i^2})-\frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_i}\exp(-\frac{(a_i-\overline{u_i})^2}{2\sigma_i^2})} \tag{6-14}$$

其中$\overline{u_i}$为物资i历史条件下需求量的均值，σ_i为物资i历史条件下的标准差，a_i和b_i分别为截尾正态分布的下限和上限，通过计算代入公式（6-9）和公式（6-11）可得在企业当下对物资需求及进货量的最优预测，避免了以前盲目进货、备货不足等问题；此外，通过原始统计数据可以预估企业的生产水平，即在机器资源、人力资源一定的条件下企业的每日生产量，这样当企业经营环境发生变化时（如机器更新，施工人员减少等），也可通过数据仓库的重新装入和刷新，对物资需求和进货量进行同步调整，为企业管理者提供数据支持。

6.4 本章小结

本章主要介绍了企业物资决策模型的设计，通过分析单周期需求离散和多周期需求连续报童模型，结合企业生产实际情况，得到了一套物资管理决策方案：通过数据仓库的历史数据，获取企业生产周期的产品生产量矩阵和物资需求矩阵，通过修正的报童模型得企业进货最优解，避免了以往纯靠人力判断，随机、盲目进货造成的生产资源浪费、工期延误等问题，有效优化了企业内部资源。

第七章 总结与展望

7.1 本文总结

随着信息产业和物联网的发展，传统的大型制造业正面临严峻的转型挑战，如何通过信息化平台优化现有管理模式，摆脱产能过剩、效益低下的困境已成为制造企业最为关注的问题。在 2015 年全国两会《政府工作报告》上，“中国制造 2025”的计划被正式提出，类似德国“工业 4.0”的“智能工厂”、“智能生产”、“智能物流”的三大主题，“中国制造 2025”也对在未来十年加快科技创新和产业变革，改进现有生产结构和管理模式，通过物联网等先进技术实现推动智能化经营管理决策提出了一系列设想，力争在 2025 年进入制造强国行列。

在这一背景下，本文结合混凝土管桩制造企业的现状，经过实地调研、调试，在 RFID 技术和数据仓库技术的基础上提出了一套生产管理系统解决方案，通过在混凝土管桩产品上加装 RFID 电子标签，实现生产信息的智能采集和数据的汇总整合，并提出了物资管理的优化模型，本文所做的主要工作总结如下：

（1）在客观分析混凝土管桩生产企业面临的内外挑战基础上，认真比对国内外研究实例，结合以 RFID 技术为代表的物联网技术和数据仓库、联机分析处理技术，提出了混凝土管桩生产管理系统的解决方案以满足企业信息化、智能化管理的需求。

（2）在详细介绍 RFID 技术和数据仓库、联机分析处理技术的基础上，提出了生产管理系统的基本架构，包括 RFID 信息管理平台、数据仓库和决策模型，人机交互界面四部分，其中 RFID 信息管理平台用于识别、记录实时生产信息为数据仓库提供数据来源，数据仓库建立联机分析处理机制提供多层次数据支持，决策模型在此基础上进行物资管理的优化和分析，整个系统通过人机界面与用户进行交互。

（3）结合企业生产车间施工环境复杂的特点，完成 125kHz 低频 RFID 电子标签的选型和便携手持式读卡器的设计，在现有企业管理结构上，完成 RFID 应用服务层数据库设计和功能模块设计，涵盖从人事管理、物资管理到生产管理、质量检验、产成品管理等全生命周期，方便产品信息的实时录入、汇总和分析，实现质量保证和信息溯源。

（4）确定数据仓库生产管理、物资管理、质量保证、资源配置的主题，从【时间-物资-生产】三个维度采用雪花模型完成数据仓库设计；介绍了在数据装载中采用的 ETL 技术处理方法，为企业提供可视化、多维度的数据分析提供了数据平台。

（5）在数据仓库提供的多层次数据支持的基础上，通过对传统单周期报童模型的改进，提出了多周期需求连续报童模型以完成企业的物资最优化管理方案；结合企业运行实际，提出了结合生产矩阵，物资需求矩阵和需求概率密度函数的物资进货量解决方案，改变了企业原有的人工管理模式，从数据上为企业管理者提供切实有效的决策支持，完成企业内部资源的优化配置。

7.2 研究展望

本文结合 RFID 技术和数据仓库技术，为混凝土管桩生产企业提出了一套生产管理解决方案，在物资管理方面提出了多周期报童模型优化企业资源配置，对传统制造企业借助信息化平台改进管理模式、实现智能化生产有一定的借鉴意义。在试运行期间，系统能良好满足企业在生产管理方面的需求，不过限于时间和外在条件的限制，也存在一些问题，未来下一步发展研究方向主要有：

（1）系统扩展性方面，目前系统的使用主体是企业内部，但对物资供应商、工程委托方等机构，往往也有对产品信息追溯和查询的需求，在未来可以考虑开放系统的数据库接口，采用 B/S 架构实现 web 端开发，为不同类型的用户提供信息追溯的功能。

（2）系统兼容性方面，考虑到现在越来越多的制造企业使用工控设备或传感器平台实现车间操作，系统可以像张拉模块一样兼容更多的工控/传感器接口，直接从工业设备中管理、读取生产参数，一方面保证数据真实有效，防止篡改；同时简化工人操作，将车间的生产操作和管理集中在统一的平台上。

（3）模型优化方面，系统在物资管理方面提出了报童模型，用于企业节约内部成本，实现最大化收益。今后在数据仓库数据进一步积累的基础上，可以针对员工生产效率、混凝土配方比、生产智能调度等方面做更深入的分析和挖掘，总结建立更多的最优化模型用于企业决策支持。

参考文献

[1] 周晓光，王晓华；射频识别（RFID）技术原理与应用实例；人民邮电出版社；2006：308-319

[2] 张海峰；混凝土预制构件的生产与施工质量控制[J]；建筑知识学术刊；2012（6）：307-308

[3] RFID-based traceability system for architectural concrete.Zangroniz, R. ; Pastor, J. M. ; Dios, J. J.de;Garcia-Escribano,J.;Morenas,J.;Garcia,A. Smart Objects: Systems, Technologies and Applications (RFID Sys Tech), 2010 European Workshop on Publication Year: 2010 , Page(s): 1- 8 VDE CONFERENCE PUBLICATIONS

[4] 胡珉，陆俊宇；基于 RFID 的预制混凝土构件生产智能管理系统设计与实现[J]；土木建筑工程信息技术；2013（6）：50-56

[5] 许毅，陈建军；RFID 原理与应用[M]；清华大学出版社；2013：1-5

[6] 宋延强；RFID 与物联网[M]；清华大学出版社；2016：76-79

[7] 黄玉兰；物联网射频识别（RFID）技术与应用[M]；人民邮电出版社；2013：191-195

[8] 管栝瑜，张德海，黄灵，姬丽苗，韩进宇；无线射频技术技术在混凝土预制构件企业生产管理中的应用研究[J]；建筑发展导向（下）；2013（6）：80-81

[9] 朱同林，徐海军，张勇；利用 RFID 动态监测混凝土质量的研究[J]；广东土木与建筑；2012-4（4）：56-58

[10] 姚德利；RFID 在施工管理中的应用研究[J]；施工技术；2012-6（41）：326-327

[11] 杨士哲；基于数据仓库的决策支持系统的研究与开发[D]；浙江大学；2002

[12] 范明；数据挖掘概念与技术[M]；机械工业出版社；2012：82-84

[13] 张志军；基于数据仓库的企业管理决策支持系统[D]；山东大学；2006

[14] 姜梅；基于数据仓库-数据挖掘的人力资源决策支持系统[D]；四川大学；2000

[15] 张毅；基于数据仓库原理的煤矿精细化管理研究[D]；中国矿业大学；2014

[15] 王成，李民赞，王丽丽等；基于数据仓库和数据挖掘技术的温室决策支持系统[J]；农业工程学报；2008（11）：169-171

[16] 刘雄鹏，雷定猷；基于数据仓库的铁路货票数据分析决策支持系统[J]；电脑与信息技术；2004（2）：51-54

[17] 李泉林，郭龙岩；综述 RFID 技术及其应用领域[J]；中国电子商情(RFID 技术与应用)； 2006（1）：51-62

[18] Nemai Chandra Karmakar；Introduction to RFID Systems；Handbook of Smart Antennas for RFID Systems；Year: 2010；Pages: 13 - 56, DOI: 10.1002/9780470872178.ch2；Wiley-IEEE Press eBook Chapters

[19] R. Want；An introduction to RFID technology；IEEE Pervasive Computing；Year: 2006,

Volume: 5, Issue: 1；Pages: 25 - 33, DOI: 10.1109/MPRV.2006.2；IEEE Journals & Magazines

[20] 周晓光，王晓华，王伟；射频识别（RFID）系统设计、仿真与应用[M]；人民邮电出版社；2008：1-6

[21] 周汉斌；射频识别技术及其应用[J]；科技咨询导报；2017（14）：2-5

[22] 游战清，李苏剑；无线射频识别技术（RFID）理论与应用[M]；电子工业出版社；2004：12-20；

[23] 刘强；数据仓库及数据挖掘技术的应用[J]；电子技术与软件工程；2016（1）:192

[24] 杨莉国，欧付娜，刘庆海等；数据仓库相关技术研究综述[J]；电脑知识与技术；2011（11）：2234-2255

[25] 张曙明；论数据仓库的数据架构设计[J]；信息通信技术；2009（6）：11-15

[26] 张霖；基于数据仓库的企业决策支持系统模型研究[D]；清华大学；2005

[27] 王卫华，刘丙杰；决策支持技术的发展及其体系结构的研究[J]；湖北大学学报（自然科学版）；2001（3）：23-26

[28] 杨光，张雷，艾波；OLAP 技术及其发展[J]；计算机应用研究；1999（7）：7-10

[29] 李志辉；基于数据仓库的决策支持系统研究[D]；武汉理工大学；2002

[30] 方仁玉，车蜀涛，崔希勇；蒸养预制混凝土管片专用水泥的生产与质量控制[J]；水泥；2010（2）：22-24

[31] 余雷；基于 RFID 电子标签的物联网物流管理信息系统[J]；微计算机信息；2006（22）：233-235

[32] 敖华，陈渊睿，骆祖国，李婷；基于 AVR 单片机的 125kHz 简易 RFID 阅读器设计[J]；通信与信息技术；2010（7）：111-114

[33] High Frequency and Ultrahigh Frequency Radio Frequency Identification Passive Sensor Transponders for Humidity and Temperature Measurement Within Building Structures .Pursula, P.;Marttila,I.;Nummila,K.;Seppa,H.Instrumentation and Measurement, IEEE Transactions on Volume:62, Issue: 9 DOI: 10.1109/TIM. 2013. 2258763 Publication Year: 2013, Page(s): 2559-2566 Cited by: Papers (3) IEEE JOURNALS & MAGAZINES

[34] 郭帅；远距离 RFID 读卡器设计[D]；大连理工大学；2005

[35] 虎永存；D 类功率放大器的原理和电路[J]；实用电子文摘；1998（5）：46-51

[36] Mikko Martelius; Kari Stadius; Jerry Lemberg; Tero Nieminen; Enrico Roverato; Marko Kosunen; Jussi Ryynänen; Lauri Anttila; Mikko Valkama;Class D CMOS power amplifier with on/off logic for a multilevel outphasing transmitter;2016 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS) Year: 2016; Pages: 710 - 713, DOI: 10.1109/ISCAS.2016.7527339

[37] 雷张伟；D 类功率放大器设计[D]；电子科技大学；2002

[38] Atmega64A-AU,8-bit Microcontroller with 64K Bytes In-System Programmable Flash[EB]; ATMEL CORPORATION;2009

[39] 张建奇，岳勇，鲍复民；RFID 工厂物流管理系统的 WCF 设计与实现[J]；系统集成与应用；2012（11）：56-62

[40] 状志剑；数据库原理与 SQL Server 2008（第二版）[M]；高等教育出版社；2014:1-10

[41] 齐岩磊，陈娟，祁欣；基于单片机和组态王的温度监控系统的设计[J]；电子测量技术；2011（7）：54-57

[42] 李志辉；基于数据仓库的决策支持系统研究[D];武汉理工大学；2002

[43] 杨从亚；基于 SQL Server 的物流企业数据仓库设计和应用[J]；价值工程；2008（8）：101-104

[44] 郑建智，段占祺，应桂英；数据仓库和 OLAP 技术在卫生统计决策支持系统中的应用[J]；中国卫生信息管理杂志；2012（9-3）：47-51

[45] Akhmad Dahlan; Ferry Wahyu Wibowo;Design of Library Data Warehouse Using SnowFlake Scheme Method: Case Study: Library Database of Campus XYZ; 2016 7th International Conference on Intelligent Systems, Modelling and Simulation (ISMS) Year: 2016；Page: 318 - 322, DOI: 10.1109/ISMS.2016.71

[46] 张可新；基于数据仓库的企业运营决策支持系统[D]；吉林大学；2006

[47]《运筹学》教材编写组；运筹学（第三版）[M]；清华大学出版社；2005：345-376

[48] 吴燕燕，袁建明；随机库存模型中最优过程均值选择研究[J]；合肥工业大学学报（自然科学版）；2016（3）：415-419

[49] 王小科等；C#开发实战宝典[M]；清华大学出版社；2010：200-366

攻读学位期间发表的学术论文

1. 张聪，钱松荣；《基于 RFID 的混凝土管桩生产管理系统》，微型电脑应用，已录用
2. 张聪，钱松荣；《基于数据仓库的企业智能决策研究》，微型电脑应用，2017（5）：45-48

致 谢

转眼间三年的研究生生活即将结束，这让我在即将写完这篇论文之际，不禁感慨时光易逝。不得不说，在复旦的学习生涯是我最不凡的经历之一，三年的时光让我学习和成长了很多，从入校伊始的懵懵懂懂，到即将走出校门、迈入工作岗位的憧憬，回顾过往的岁月，有辛苦，有汗水，有孜孜不倦的追求，也有抓耳挠腮的思索，但无一例外，走过的每一步都坚实地印在了我的人生道路上。希望在今后的日子里，我也能常常回忆起走过的路，时时给自己希望和勇气去迎接新的生活和挑战。

在这里，由衷感谢我的导师钱松荣教授在研究生阶段对我的关心和指导。从大四进入实验室参与项目以来，钱老师始终以严谨治学的态度为我们传授知识和技术，注重培养我们软硬件等多方面的技能，为完成科研工作和将来走入社会打下坚实的基础；当项目出现问题或遇到瓶颈时，通过与老师的交流和讨论，往往能够打开思维，想出崭新的思路和解决方案。在日常生活中，钱老师平易近人、谦逊宽厚的师者风范也时时感染着我们，令我受益匪浅，对我的学习和工作都产生了积极的影响。

感谢夏勇明老师在日常生活中对我们的关心和照顾，为我们创造了良好的实验室学习和研究条件；感谢薛仁云、薛仁豪和李树根老师在硬件电路设计上的指导和项目实际运行中给予的帮助和建议，正是各位老师们的指导和关心，才保证了科研项目和实验的顺利完成和实施。

感谢实验室已经毕业的学长学姐刘青、林秀晶、金佳骏、马霄、杨鑫在项目和学业上给予我的帮助，感谢实验室的好伙伴白东、裘任翔、王志文、郭慢、高昊、刘思豪等同学三年的陪伴，感谢室友张宇行和班级里的各位同学，感谢与你们在一起度过了人生这段美好的时光。

最后感谢我的父母和朋友对我的关心和爱护，是你们给予了我一直前进的动力，让我没有因为生活上的小波折而丧失希望，在这里也祝福父母身体健康，祝我的小伙伴们拥有幸福快乐的生活。