

# 列车轴承立体仓库系统<sup>①</sup>

张瑞娟<sup>1,2</sup>, 蒲宝明<sup>2</sup>, 潘世铭<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>(中国科学院研究生院, 北京 100049)

<sup>2</sup>(中国科学院沈阳计算技术研究所, 沈阳 110171)

**摘要:** 列车轴承立体仓库系统是一种集信息、存储、管理于一体,用于自动存储的自动化立体仓库系统(AS/RS)。该系统运用目前新技术,解决了以往存在的轴承存储位置不准确与选配轴承时匹配精度不高的问题。在系统实现中它以 OMRON CQM1H 系列 PLC 为控制中心,结合变频调速技术与工控机相结合,实现了与 HMIS 的高度集成。本文介绍了该系统的系统结构、各子系统功能及各主要部分的设计与实现,并对数据采集、存储与选配算法及上下位机通信进行了详细介绍。最后简略介绍了 PLC 模拟仿真软件对控制部分的仿真。经实际应用表明,该系统具有较高的控制精度及性能,对提高列车轴承管理效率具有重要意义。

**关键词:** 列车轴承; 自动化立体仓库; PLC; HMIS; 上下位机通信

## Train Bearings Warehouse System

ZHANG Rui-Juan<sup>1,2</sup>, PU Bao-Ming<sup>2</sup>, PAN Shi-Ming<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>(Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China)

<sup>2</sup>(Shenyang Institute of Computing Technology, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110171, China)

**Abstract:** Train bearing system is a system with a set of information, storage, management in one and for the Automatic Storage and Automated Retrieval (AS/RS). It uses the present newly technology, to solve the problems that the storage locations of bearings are not accurate and the matching accuracy is not high. When implemented, it uses CQM1H Serial of OMRON PLC to be the control center, combines with the frequency conversion technologies, the IPCS and highly integrates with the HMIS. This paper introduces system structure, function and the major part of the subsystem design and implementation, and talks about the data collection, storage and matching algorithms in detail. Finally, PLC simulator simulates the control part. The practical application shows that the system has high control precision and performance and it will make great importance on improving the management efficiency of train bearing management.

**Keywords:** train bearings; AS/RS; PLC; HMIS; upper and lower computer communication

## 1 引言

随着我国铁路事业的发展,铁路部门对铁路自动化管理提出了更高的要求,轴承自动化管理便是其中之一。目前列车轴承管理还主要是以人工管理为主,某些部门使用了立体仓库系统,但其中有些比较落后,精确度不高,无法使系统的利用率达到最大化<sup>[1]</sup>,针对这一缺点,本文设计并实现了列车轴承立体仓库系统。它应用目前新技术来实现轴承的自动化管理,解

决了以往存在的轴承存储位置不准确与选配时匹配精度不高的问题,改进了列车的自动化管理。

列车轴承立体仓库系统是集信息采集、轴承存储选配与库存信息管理于一体的自动化立体仓库系统,主要由高层货架、入库小车、出库小车、升降车、出入库机械手、输送机、压装工位机械手、PLC 控制台、轴颈检测仪、立体仓库监控及管理系统等构成,该系统以 HMIS 管理计算机、监控机与 HMIS 中央数据库

① 收稿时间:2010-05-04;收到修改稿时间:2010-05-31

服务器作为上位机,以欧姆龙 CQM1H 系列 PLC 作为下位机,通过上位机对下位机的控制,来实现立体仓库的自动化管理。

本论文以具体的实践项目为背景,阐述了该系统的系统结构、各子系统功能及主要部分的设计与实现,并对数据采集、轴承存储与选配算法及网络通信部分进行了详细介绍。最后对 CX-Programmer7.1 仿真软件对控制部分的仿真进行了简略的说明。

## 2 系统结构设计

列车轴承立体仓库系统要求具备仓库自动化管理和控制功能。系统采用 3 级结构即管理级、控制级与执行级<sup>[2]</sup>。管理级包括 HMIS 管理计算机、监控机与 HMIS 中央数据库服务器;控制级包括 6 台欧姆龙 CQM1H 系列 PLC;执行级包括各执行设备的机械部分。系统结构原理图如图 1 所示。

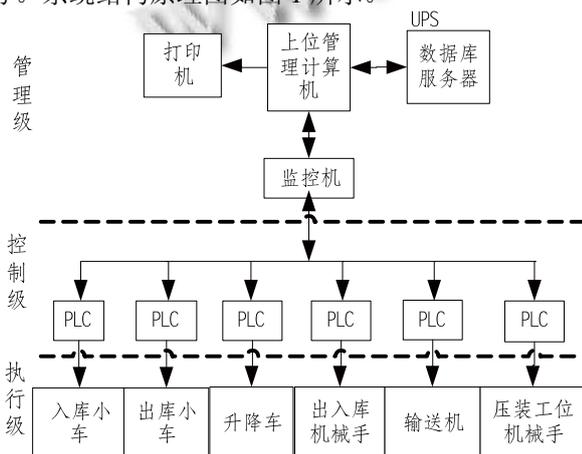


图 1 系统结构原理图

## 3 列车轴承立体仓库子系统的划分

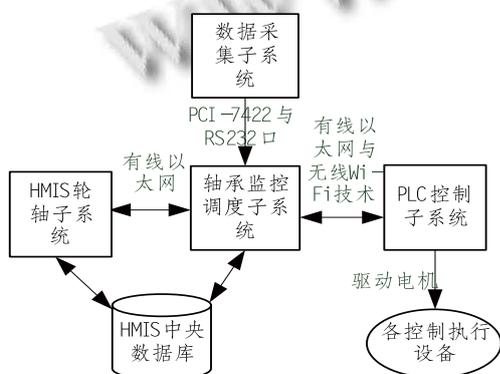


图 2 子系统关系图

通过对系统结构的分析,可将该系统划分为四个子系统:HMIS 轮轴子系统、数据采集子系统、轴承库监控子系统、控制执行子系统。各子系统结构关系如图 2 所示。

### 3.1 HMIS 轮轴子系统

HMIS 轮轴子系统安装在 HMIS 管理计算机上。该子系统通过与 HMIS 中央数据库服务器的通信,可以实现数据的相互传输,是系统与客户管理人员进行交互的一个平台;同时与监控子系统通信,通过监控子系统来对执行设备发送执行命令。主要包括入库管理、出库管理、库存信息管理、轴承匹配运算、出库管理与报表打印等功能模块。

### 3.2 数据采集子系统

数据采集子系统是整个立体仓库数据的来源,主要包括对新造轴承入库前的轴承内径检测、轮对轴颈的检测、密封座内径检测与执行设备状态信息,入库时库存位置及出库时出库信息的确认获得的数据。它能够和数据库服务器相互通信,进行数据的上传和下载。

### 3.3 轴承库监控子系统

轴承监控子系统是实现立体仓库作业自动化、智能化的核心系统。它完成的主要任务:①与 HMIS 系统的通信。②监控立体仓库运行状态。③仓库作业管理。④处理异常。⑤确定货位即一是新造轴承入库货位分配;二是要确定待出库轴承的货位;三是将再次入库轴承放在原位。⑥人机交互。

### 3.4 控制执行子系统

控制执行子系统以 PLC 为中心,接受来自上位机的任务命令,采集各执行设备传感系统的信息,通过 PLC 控制软件控制 PLC 的输出,通过输入输出接口控制电路由驱动电机驱动立体仓库各执行设备执行各种操作,达到控制各执行设备的运动,实现立体库作业的正确执行<sup>[3]</sup>;并向上位机发送升降车、出入库小车等设备的实时状态信息,使监控机实现对执行设备的实时监控功能。

## 4 列车轴承立体仓库相关关键开发技术

### 4.1 轴承自动选配方案的设计与实现

自动选配功能主要为轴承压装服务。轴承压装前,需要根据轮对轴颈的外径尺寸来选配合适的轴承,因

此，在入库前就要运用便携式测量仪进行轴承内径的测量，运用外径测量仪对轮对轴颈的外径进行测量，通过算法对二者进行匹配，将匹配的轴承通过压装工位机械手将其放到压装工位。测量存储选配部分流程图如图 3 所示。

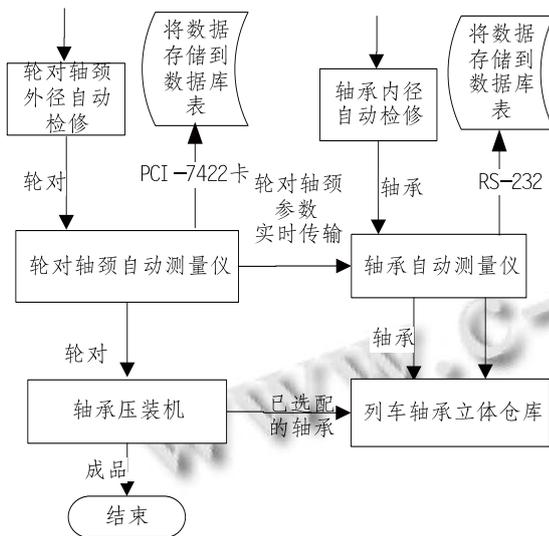


图 3 测量存储选配部分流程图

#### 4.1.1 轴承内径检测

运用轴承内径检测仪对轴承内径测量时可以通过检测仪的键盘输入轴承的一系列信息，并将测量出的结果与其它信息通过 RS232 口传输到 HMIS 中央数据库服务器，相应的通过该连接，检测仪也可以从数据库下载数据。

#### 4.1.2 轮对轴颈外径检测中数据采集

传感器是轴颈外径检测仪的关键部件，其性能决定了轴颈外径检测仪的品质。在本系统中选用的是输入电压为直流-12V~+12V，输出电压直流-5V~+5V，量程为-1 mm~+1 mm 的差动电压式位移传感器，这种传感器对每 1/1000 mm 位移输出的电压是 5mV。传感器配合 PCI-7422 数据采集卡进行轴颈外径检测，然后对该数据进行识别、处理、控制操作，并最后将该数据上传至 HMIS 中央数据库中。在对数据采集软件实现时使用工具 VC2008，Oracle9.0 数据库，软件部分主要包括数据采集、数据处理、数据库录入三部分<sup>[4,5]</sup>。数据采集部分流程图如图 4 所示。

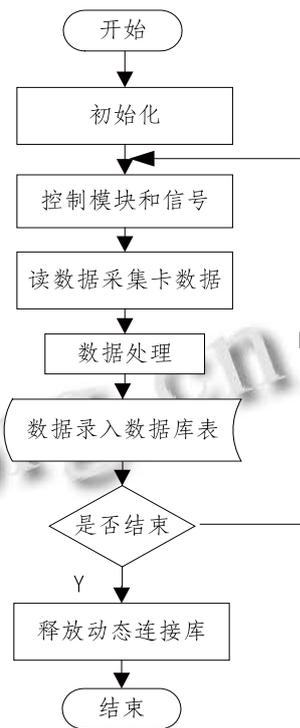


图 4 数据采集软件流程图

#### 4.2 轴承入出库相关原则及匹配算法

列车轴承立体仓库需要至少能容纳 260 个轴承的货架，根据此要求本系统设计的高层货架是由左右 2 列，每列 20 行，每行从上到下可容纳 7 个轴承的铁架子组成。每次存储过程为轴承由入库小车输送到立体库内，由输送机进行近距离的传输，输送到存储位置，然后由出入库机械手将该轴承放入到货位。

##### 4.2.1 轴承入库存储货位分配原则

为了提高管理效率，保证在存储轴承的过程中出入库机械手尽可能缩短移动距离以及保证存储架的稳定，设计的存储原则<sup>[3]</sup>为：左右兼顾、由外及里、先下后上。对存储位置选择时，先从紧靠门口的位置一次往里扫描左右存储货架是否有空位，在找到有空位的货架后，如果发现该货架有多个空位，则将轴承存储放在最下面的空位处，从而防止轴承架倾斜。

在对轴承存储软件实现时，在 Oracle9.0 数据库中建立了一张 BearingStorage 数据库表来模拟整个存储库，该表为：BearingStorage(Num, ID, Period, Height, Row, Col)，其中 Num(1≤Num≤280)作为主键，为存

储位序号; ID 为轴承编号, 为空时代表该位还没有放入轴承; Period( $1 \leq \text{Period} \leq 60$ )为轴承能在库内存放的时间, Height( $1 \leq \text{Height} \leq 7$ )是存储轴承高度所在的位置, Row( $1 \leq \text{Row} \leq 20$ )是存储轴承所在行, Col(1 或 2)是存储轴承所在列。在对轴承存储时, 每个轴承的存储位置为 BearingStorage 表中的一条记录, 为了满足以上的存储原则整个表还应该以 Height、Row、Col 为第一、第二、第三关键字进行降序排列。

#### 4.2.2 轴承出库选选配时匹配算法研究

轴承选配时, 根据轴承的内径  $\Phi R_{-d_1}^{-d_2}$  与轮对轴颈的外径  $\Phi R_{-d_3}^{-d_4}$ , 求得过盈量的范围为  $d_1+d_3 \sim d_2+d_4$  mm, 再进一步求得理想过盈量为  $((d_2+d_4)-(d_1+d_3))/2+(d_1+d_3)$  mm。

车辆段的轴承包括新造轴承、段修轴承和大修轴承。根据经验统计表明新造轴承尺寸分散中间值偏向公差下限, 段修后的轴承尺寸分散中间值偏向公差上限, 大修后的轴承尺寸分散中间值接近公差中间值, 由数学知识可知, 任意选取一个轴承与一个轴颈进行压装匹配, 其配合过盈量呈平均分布状态<sup>[6]</sup>。

轴承内径在过盈量中间值附近的轴承, 在选择时就需要考虑其它的一些属性如轴承剩余寿命、轴承型号、轴承库存时间。同时每个属性又有多个等级, 于是再次采用的算法是一个多目标的分级决策系统<sup>[1,5]</sup>。本系统采用两级决策的方法, 以下只需用此算法再找出另外一个决策条件即可。

在选出第二个属性时, 首先设目标函数对应  $m$  个决策方案:  $x_1, x_2, \dots, x_m$  与  $n$  个目标:  $y_1, y_2, \dots, y_n$ , 由二者组成决策矩阵  $A$ ,  $a_{ij}$  代表  $x_i, y_j$  处的属性值即各属性的重要程度。接着求出各个属性的权值。权值的确定我们采用 Saaty 给出的属性重要性等级表(如表(1)所示), 对矩阵  $A$  中的各  $a_{ij}$  值进行赋值。然后用特征向量法求出  $\lambda_{\max}$  和  $\omega$ , 接着对矩阵  $A$  进行一致性检验, 要  $\lambda_{\max} < \lambda_{\max}$ , 如果不满足, 需对  $A$  重新估算, 直至满足要求。在各备选方案的各目标属性值已知时, 可以根据指标的大小排出方案  $i(i=1, \dots, m)$  的优劣, 选出起决定作用的属性。由此选出合适的轴承和轮对进行匹配, 出库小车将轴承送到压装工位, 由压装工位机械手下料, 便完成了匹配工作, 通过此两级决策来匹配轴承使选出的轴承匹配精度很高。

表 1 (saaty) 属性重要性等级表

相对重要程度	定义
1	两个目标同样重要
3	一个目标比另一个略微重要
5	一个目标比另外一个重要
7	已实践证明一个目标比另外一个目标重要
9	一个目标比另外一个重要的多
2、4、6、8	介于上述各级别之间使用

### 5 车轴承立体仓库的网络通信

列车轴承立体仓库系统中的通信网络包括两部分。一是 HMIS 管理计算机、HMIS 中央数据库服务器与监控机三者之间的相互通信即是上位机各组成部分之间的相互通信。二是监控机与下位机各 PLC 的通信即上下位机之间的通信<sup>[6]</sup>。

#### 5.1 上位机组成部分间的通信

HMIS 管理计算机、HMIS 中央数据库服务器与监控机之间的相互通信主要是通过 UDP 协议以异步非阻塞方式通过有线以太网进行。

#### 5.2 上位机与下位机 PLC 的通信

上下位机之间的通信主要指监控机与各执行设备的 PLC 之间的通信。监控机与下位机的通信系统采用无线 Wi-Fi 技术与有线以太网结合的方式进行通信。

有线网和无线网通过无线基站连接在一起, 使各执行设备和有线网络之间能够相互通信。各执行设备上的 PLC 通过通讯转换模块与无线基站进行物理连接, 构成移动节点。利用无线基站模块构成监控机与下位机通信的无线网络, 能够很好的实现远程控制及信号检测, 摆脱了通信过程中如果选用串口通信出现受通讯距离的限制及选用现场总线方式通信出现的各种现场总线无法达成统一与相互之间不能兼容的缺点。

### 5.3 列车轴承立体仓库系统通信硬件组成与软件实现

#### 5.3.1 列车轴承立体仓库系统通信所需硬件组成

该立体库由 1 台入库小车 PLC, 1 台出库小车 PLC, 1 台升降车 PLC, 1 台出入库机械手 PLC, 1 台压装工位机械手 PLC, 1 台三层交换机, 4 个无线网卡, 1 个无线基站, 2 台 PC 机分别作为 HMIS 中央数据库服务器与 HMIS 管理计算机, 1 台研华工控机作为监控机等组成; HMIS 中央数据库服务器、HMIS 管理计算机、监控机、打印机与固定无线基站

通过网线将其连接起来，在通过三层交换机组成一个有线以太网；分别将 4 个网卡插入到 4 台通过无线网通信的 PLC 插槽中，于是，通过共享的无线基站就将无线网与有线网组成一个局域网。网络拓补图如图 5 所示。

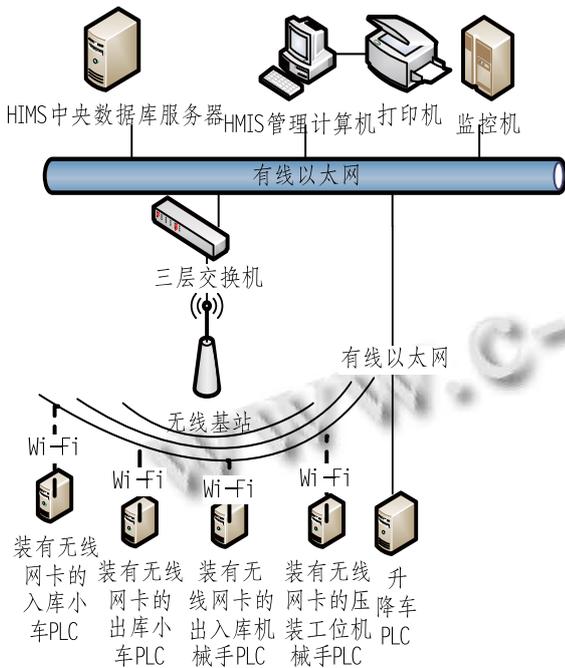


图 5 网络拓补图

### 5.3.2 列车轴承立体仓库系统通信软件的实现

上位机各组成部分之间的通信，包括指令任务数据通信和数据库数据连接。指令任务通信是通过运用 VC2008 强大的网络编程技术实现的。上位机监控程序启动，在特定端口开启网络侦听，在与 HIMS 管理计算机正常连接后，监控机进入任务等待状态，在接收到管理计算机发出的任务请求后，将任务分解并发送到下位机各执行设备 PLC。通信协议采用 UDP 协议<sup>[2]</sup>。数据库数据连接是利用 Oracle9.0 优异的网络连接性能在数据库层实时进行的，客户端使用 PL/SQL Developer5.1 版本进行 HIMS 的数据库编程。

监控机与下位机 PLC 的通信本文采用通用的工业自动化组态软件世纪星，PLC 编程采用欧姆龙编程软件 CX-Programmer7.1 进行梯形图编程；通过世纪星组态软件与 CX-Programmer7.1 编写软件的各自网络部分的设置，可以很方便实现二者的通信且通过 CX-Programmer 7.1 将编译成功的梯形图控制程序，下载到 CX-Programmer7.1 模拟器中，通过 PLC 模拟器虚拟的模拟了系统中各执行设备的运行情况。

## 6 结论

本系统中 HMIS 轮轴子系统采用 VC2008 强大的多线程编程技术，数据库服务器采用大型的网络数据库 oracle9.0，HMIS 重要工具 PL/SQL 作为客户端，控制子系统采用通用组态软件 CenturyStar6.12 与下位机欧姆龙 CQM1H 系列 PLC 进行无线网络通信控制，同时采用改进的轴承存储选配算法，实现了一个存储位置准备、选配出的轴承匹配精度高、信息交互能力强及运行稳定的列车轴承立体仓库系统。该系统已在通过铁路部门正式运行，相信随着列车轴承立体仓库的普及使用，必将为铁路列检部门带来一定的经济效益。

## 参考文献

- 王永强,王晓林.基于自动化立体仓库系统的火车轴承匹配算法的研究.制造业自动化,2009,31(11):156-158.
- 刘俊鹏.自动化立体仓库网络系统的研究[硕士学位论文].大连:大连交通大学,2009.
- 杨文超,杨妮妮,赵新慧.轴承存储选配子系统的设计与实现.计算机应用研究,2003,10(9):100-101.
- Petrak L. Automated storage retrieval. System. Ware House, Freezers. National Provisioner, 2003,217(11):80-81.
- 陈功,张晞,高喻,顾歆,宋耀民.基于 VC++的数据采集系统的设计.机电产品开发与创新,2007,20(6):114-116.
- 李伟,甜怀文.铁路货车轴承智能存储选配系统的设计[硕士学位论文].成都:西南交通大学,2006.
- 王沛,王磊.关于无线以太网在全封闭式自动化立体仓库中的应用.太原科技,2009,11(11):86-87.