

网络环境下智能产品闭环全生命周期管理系统^①

徐 亭, 程 健, 许宜春

(中国科学技术大学 信息科学与技术学院, 合肥 230009)

摘 要: 为了实现产品的使用、维护乃至生命结束信息的高效管理和充分利用, 在简要介绍闭环产品全生命周期管理(Closed-Loop Product Lifecycle Management, C-L PLM)概念、架构的基础上, 以低温等离子体设备系统为具体应用示例, 总结出了产品全生命周期信息流动模型. 设计并实现了智能产品 C-L PLM 软件. 最后, 给出一个应用实例, 显示探针测量仪设备运行时关键组件状态信息.

关键词: 智能产品; 产品全生命周期管理; 信息闭环流动; 数据库设计; UML

Closed-Loop Product Lifecycle Management System for Intelligent Product Based on Network

XU Ting, CHENG Jian, XU Yi-Chun

(Information Science and Technology, University of Science and Technology of China, Hefei 230009, China)

Abstract: In order to achieve efficient management and take full advantage of the information produced by products in the period of usage maintenance and the ends, the concept and architecture of closed-loop product lifecycle management is introduced briefly. Based on that, plasma system is taken as a specific application example. The product life cycle information flow model is summed. The C-L PLM software for intelligent products is designed and realized. At last, an application is taken as an example, displaying the running state information of the key components of the probe measuring equipment.

Key words: intelligent product; product lifecycle management; information flow in closed-loop; database design; UML

所谓智能产品, 可以认为是一个产品系统, 在不同智能水平上, 它可能包含传感、存储、数据处理、推理和通信这些能力中的一种或多种的组合. 随着信息和相关新兴技术的问世, 如 RFID、小型传感器和传感器网络, 更具代表性地, 产品嵌入式信息设备(Product Embedded Information Device, PEID), 这些智能产品不仅可以完成应有的功能, 还可以收集自身以及其关键部件状态的数据, 有些 PEID 还集成对周边环境参数的监测. 这些数据可以用来分析产品质量, 并转化为信息知识, 从而优化产品的全生命周期管理, 减少“高科技”垃圾的产生.

目前, 国内 PLM 研究者着重研究了: 在 PLM 系统中, 对象建模的方法^[1]和对象模型表达方法^[2]. 而对于汽车等大型带有智能单元的产品, 在生命终结时,

产品的回收再利用成为国外学者的研究热点^[3-5]. 然而, 为了应对激烈的商业竞争, 目前的主要障碍是: (1)产品各个阶段信息流动的鸿沟; (2)由于 PLM 系统需要暴露在网络环境中, 产品和信息系统安全也成为 PLM 系统推广的障碍^[6].

为探索研究解决这些问题的方法, 本文运用国外流行的闭环 PLM 思想, 对智能产品进行全生命周期管理时的信息流动模型进行了分析、设计, 并以低温等离子体设备系统为具体应用示例, 设计了产品全生命周期管理系统的体系架构及软件体系结构, 并实现系统原型. 最后, 展示了系统中的一个应用界面.

1 闭环产品全生命周期管理(C-L PLM)简介 新一代 PLM 系统允许产品全生命周期的操作者

^① 收稿时间:2014-11-14;收到修改稿时间:2015-01-22

访问、管理和控制产品相关信息,尤其是当产品销售到客户手中之后,直到产品生命结束. 它把产品全生命周期分为三个阶段: BOL, 包括产品设计与生产; MOL, 包括物流、使用、服务和维护; EOL, 包括逆向物流(回收)、再制造、重利用、循环和报废^[7].

在全生命周期内, 现在的信息流动不仅要求可以向前继续进行, 还可以作为反馈循环流动, 例如: MOL 阶段的信息可以被 EOL 阶段用来选择最合适的 EOL; 同样的, 可以把 EOL 阶段的信息作为反馈为 BOL 阶段所用, 从而改善新一代产品的研发. 这也就是说无论在水平还是垂直方向上都实现了信息的闭环循环. 我们把这一概念和系统称为闭环产品全生命周期管理^[8].

C-L PLM 的概念起源于欧盟项目 PROMISE(产品全生命周期管理和运用智能嵌入式系统的信息跟踪)的研究, 它的运作基于三大组成部分: PLM 代理、PLM 系统、内嵌 PEID 的产品. 如图 1 所示, PLM 代理用来收集产品 PEID 中产品全生命周期的数据, 然后将这些数据通过网络发送给 PLM 系统. 然而来自 PLM 代理的数据一般是分布在多个地点(生产线上、分布的库

存点、产品使用地点或者产品报废时的处理厂商处)的原始数据, 这就需要 PLM 系统中的 PLM 知识代理把原始的数据转换成知识, 并存入知识数据库(PDKM). 当相关人员或者组织需要请求相关知识的时候, PLM 系统就可以通过信息网给他们发送这些信息.

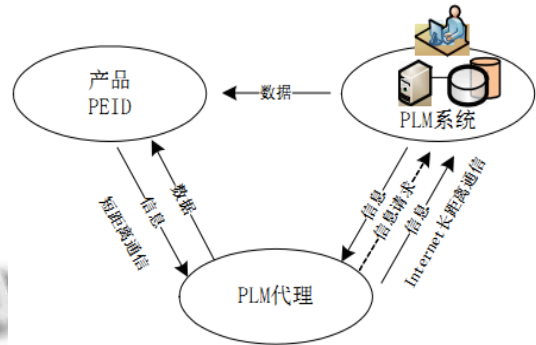


图 1 C-L PLM 运作示意图^[8]

图 2 根据产品全生命周期阶段性的划分, 显示了产品全生命周期过程和各个阶段以及各个阶段间的信息流动. 图 2 中包含产品全生命周期过程中物质原料的流动和信息流动.

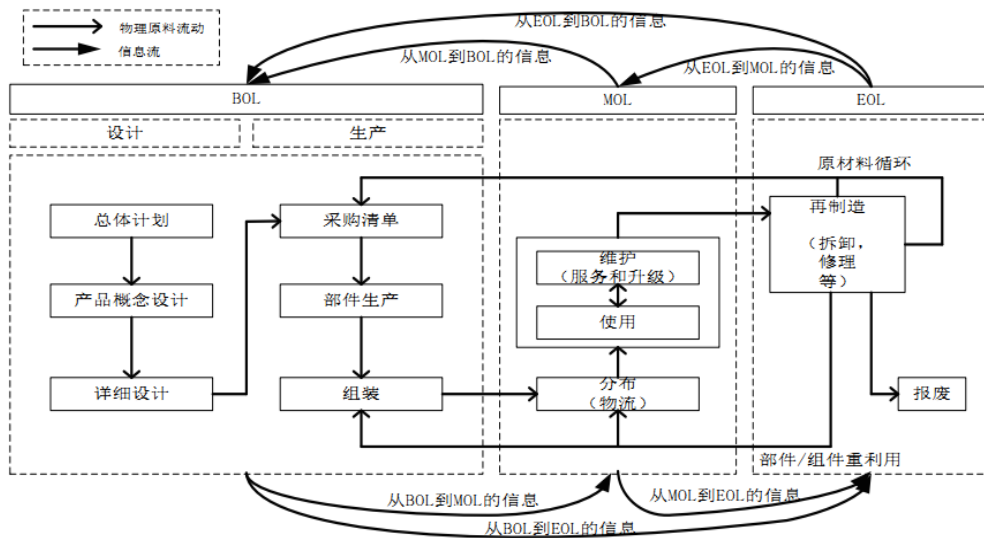


图 2 产品全生命周期过程及信息流动模型^[8]

物质原料的流动主要是部件组件的购买、更新和报废, 以及产品的物流过程. 然而产品的信息流动相对复杂, 在这一过程中, 不仅有信息的前向流动, 还有信息的反馈. 前向流动的信息有: 设计阶段的设计说明、生产指导将被传递到生产阶段; 使用说明、维

护服务以及部分生产资料将被传递到使用阶段; 同时, 拆卸指导、产品使用说明和维护情况说明将被传递到产品的回收处理阶段. 产品使用和回收处理阶段的反馈信息包括: 使用阶段的客户反馈意见、维护服务信息记录、产品报废阶段的部件组件回收和报废清

单和关于拆卸设计的意见反馈.

2 智能产品闭环全生命周期管理系统设计

2.1 低温等离子体设备系统简介

图 3 是我们自主搭建的低温等离子体设备系统,它由气路单元、反应室、真空抽气单元、电源单元和一些检测设备组成^[9]. 其中流量计、真空计和真空抽气单元设备是属于外购产品,而电源单元和静电探针测量仪是我们自主开发的智能产品. 对于该套设备系统具体工作和应用的介绍不是本节的重点,我们主要关注在一个总线系统中,对每个产品或者单个产品某些重要部件全生命周期管理的具体实施.

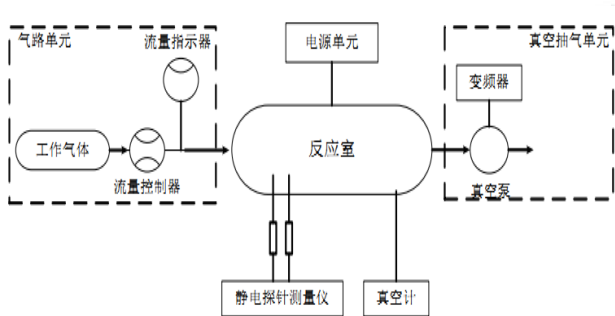


图 3 低温等离子体设备系统^[9]

表 1 表达了在这个系统中,每个产品每个阶段要监测的主要数据. 表中清晰说明了智能产品在全生命

周期中需要获取与传输的数据信息,对于电源单元和静电探针测量仪这些自主开发的智能产品是我们所关注的重点. 对外购产品,作为使用者,我们需要向生产设计者反馈使用情况和一些意见,对于这些产品的生产、报废信息需要生产厂商自主收集.

2.2 智能产品全生命周期管理架构

本小节主要考虑智能设备闭环全生命周期管理系统的总体架构,在图 4 的架构中,智能设备通过以太网或者总线连接到本地控制端,完成在线实时测量. 为了完成对它们全生命周期管理,我们首先选择了单板电脑(自制的控制板)作为产品嵌入式信息设备(PEID). 本地监控端和本地数据库作为 PLM 代理,收集、存储和转发产品的全生命周期数据.

由于智能产品全生命周期管理涉及到很多参与者以及用户软件,出于开发成本与兼容性的考虑,本文设计的信息交换接口层是内嵌于数据服务中心的. 也就是说,后端软件、PDKM、域内专家系统、诊断和决策软件可以基于 Web 实现,可以直接与 PLM 代理通信,而不必为每一个软件系统都开发信息交换接口层. 数据服务中心是智能产品全生命周期管理系统的关键组成部分. 它不仅是用户软件与智能产品通信的数据转换中心,它还需要实现一些安全防护措施,例如,对 PDKM 中数据和知识通过提供访问列表,从而实现访问控制. 再如,它还保证外网接入的安全性.

表 1 低温等离子体设备系统全生命周期管理系统中主要的信息流

信息流动	电源单元	静电探针	外购产品
BOL→MOL	电源 ID、关键部件组件 ID、设计说明、维修服务说明、组装拆卸说明、寿命范围	静电探针 ID、关键部件组件 ID、设计说明、维修服务说明、组装拆卸说明、寿命范围	产品 ID、产品使用说明、产品寿命范围
BOL→EOL	元件清单、拆卸说明、回收再利用指导	元件清单、拆卸说明、回收再利用指导	元件清单、拆卸说明、回收再利用指导
MOL→EOL	故障元件/组件 ID、故障数、安装日期、维护工程师 ID 被替换的元件/组件列表、替换后老化统计	故障元件/组件 ID、故障数、安装日期、维护工程师 ID 被替换的元件/组件列表、替换后老化统计	使用情况、故障数
MOL→EOL	维修/服务方便设计意见、客户描述和意见、关键元件/组件故障数和维修成本、使用时间	维修/服务方便设计意见、客户描述和意见、关键元件/组件故障数和维修成本、使用时间	客户描述与意见、使用时间
EOL→BOL	电源/关键组件使用时间、易于拆卸的意见、元件循环利用率、元件报废对环境的影响意见	探针/关键组件使用时间、易于拆卸的意见、元件循环利用率、元件报废对环境的影响意见	
EOL→MOL	可重利用元件/组件清单、再制造元件组件清单	可重利用元件/组件清单、再制造元件组件清单	

2.3 智能产品全生命周期管理系统软件实现

2.3.1 软件体系结构

系统软件开发采用两套平台,其中,服务器端基于 ASP.NET 和 SQL Sever 数据库平台,采用 C#语言开发;

低温等离子体设备系统中的 PEID 基于实时操作系统 UC/OS-II,采用 C 语言开发,本地控制软件是采用 C#语言开发的 WinForm 程序. 本文重点关注设备系统全生命周期管理平台,该平台由四层组成:数据库层、数

据访问层、业务逻辑层和应用层。其中，数据库层将在 2.3.2 中详细讨论，这也是整个系统的设计重点；数据访问层是这个系统的一个关键之处，将在 2.3.3 中讨论；业务逻辑层用于对用户业务的逻辑分析，当客户端发出

应用层某服务时，业务逻辑层对当前的请求进行分析，进而对数据库访问层和数据库层进行访问，就某一具体的应用做出响应，业务逻辑层包括用户管理、数据相关操作、功能组件。综上所述，系统的体系结构如图 5 所示。

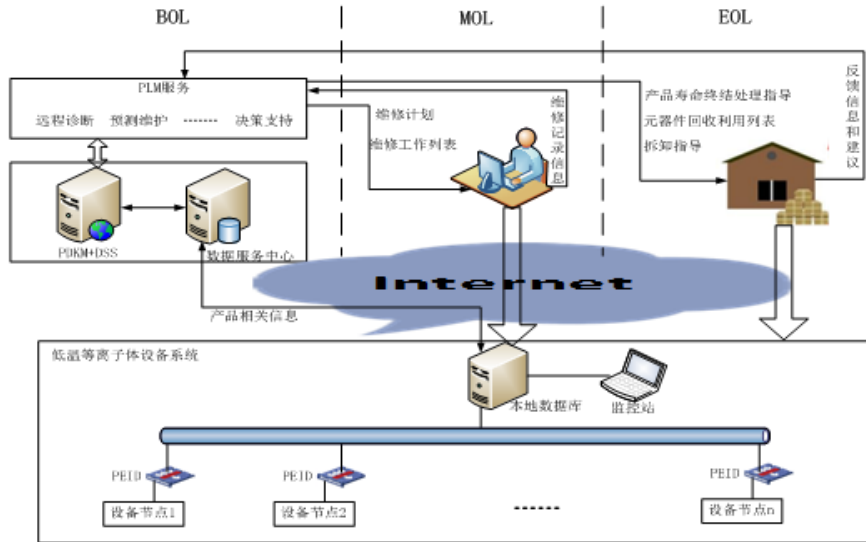


图 4 智能设备闭环全生命管理系统体系结构

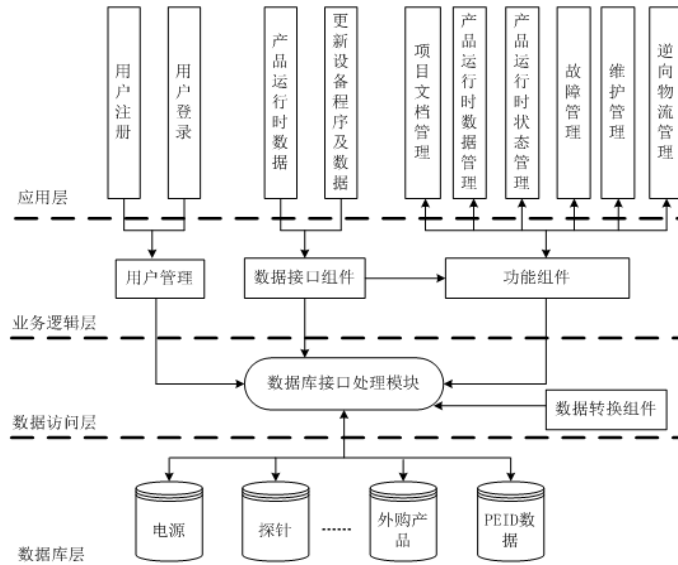


图 5 智能设备全生命周期管理系统体系结构

2.3.2 数据库设计

由于 C-L PLM 系统跨越地域广、生命周期长、涉及参与者多、要收集的产品数据和信息复杂，C-L PLM 系统的数据库设计尤为重要。本文采用面向对象思想，运用 UML 对系统进行分析和建模。图 6 是 C-L PLM 系统中的关键类和它们的关系，其中，根据产品形态

的不同，将产品分为：设计产品和物理产品两种形态，设计产品又包括了产品的需求、设计两个阶段，在这两个阶段参与者有：需求管理员、设计人员和生产商等，产生的主要产品信息有：产品的需求、设计资源和生产工艺，其中，设计资源又分为：产品构成、产品功能描述、产品测试规范、产品使用说明、产品拆卸说

明和产品维护指导等类型；物理产品包括产品生产检验、使用、维护修理和大修(MRO)和报废回收等阶段，在这些阶段的典型参与者有：检验者、使用者、MRO 专员、报废回收专家等，产生的主要产品数据有：检验数据、状态信息数据、工况记录数据、用户反馈信息、故障信息、维护信息和回收报告等。

通过上述阐述和 UML 类图，可以得到整个系统的数据库设计方案，此系统的数据库表主要包括：产品需求元数据表、设计资源元数据表、生产工艺元数据表、产品表、参与者表、检验数据表、使用

者反馈数据表、运行时状态表、工况表、故障信息表、维护信息表以及回收报告元数据表，其中要注意两点：1) 除参与者表，其他表的属性就是图 6 的类属性再加上外键，而参与者表的属性包括：ID、名称、联系方式、项目组名称和职责，其中，职责域用来表明参与者的类型，例如：需求管理者、设计者等；2) 元数据是对文档类型的信息的描述，其中元数据表中的 URL 是定位文件系统中的对应文档的统一资源地位符，实现元数据与文档的对应，方便对文档的管理。

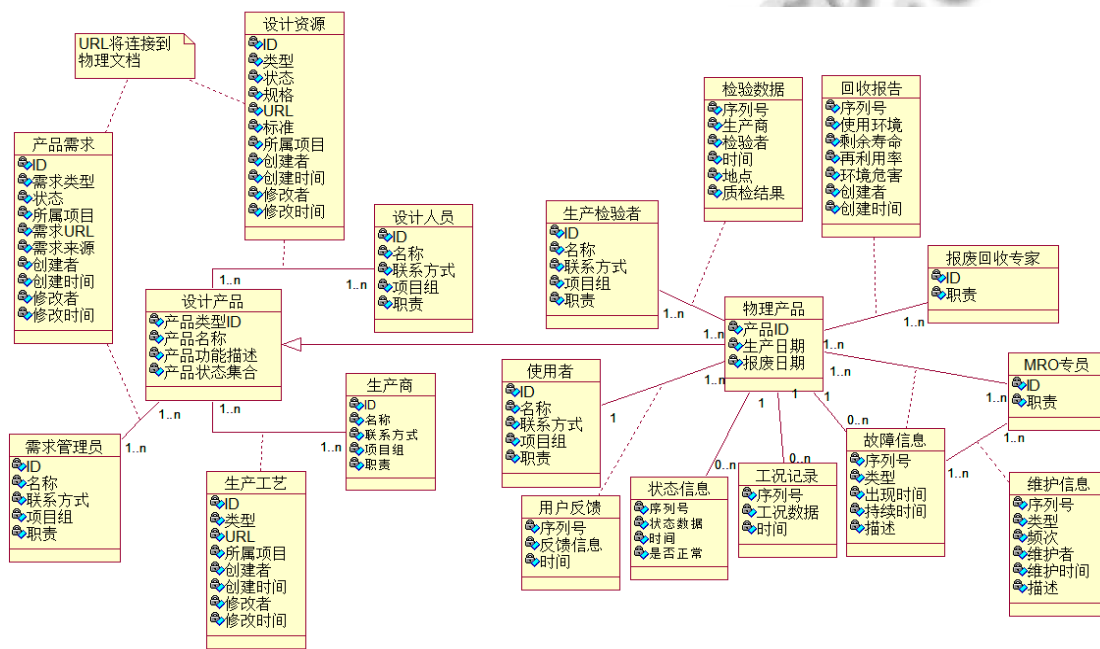


图 6 基于 UML 智能产品全生命周期管理系统类图设计

2.3.3 数据存储与传输

数据存储与传输是数据访问层要实现的功能，数据访问层实现数据库和上层业务的连接，该层包括数据的采集和传输，完成 PLM 系统与 PEID 之间的实时通信，采集设备数据，并将其转换为相应的格式，存储在数据库或者文件系统中，为 PLM 系统应用提供数据的支持。这一层的功能组件需要在图 4 架构中的本地数据库和数据服务中心上实现。

首先，数据主要存储形式有两种，一种是结构化数据利用主流数据库软件，如：SQL Server 数据库，以表的形式存储，另一种就是非结构化数据，主要是各种文档资源，这种数据，我们主要利用元数据库和文件系统来存储，他们之间的连接依靠 URL。

然后，数据的传输，在本系统中，数据的传输包括：第一种形式，PEID 与本地数据库的实时控制与管理数据传输，主要通过以太网，以一定格式的比特流形式，利用自定义的应用层协议+UDP+IP 通信协议实现；第二形式，本地数据库到数据服务中心管理数据的传输，主要是通过 Internet，以 XML 或者是 XML+文档比特流的形式，利用 HTTP 或者 FTP+TCP+IP 通信协议实现。

最后，由于数据存储利用的是数据库表和文件系统的形式存储，而数据传输则按照 XML 形式传输，所以，在本地数据库和数据服务中心，基于 C#语言开发了数据库模型与 XML 数据形式的转换组件，即图 5 智能设备全生命周期管理系统体系结构中的数据转换组件。

3 智能产品闭环全生命周期管理系统实例
 为验证系统的可行性, 在没有考虑网络安全的情况下, 在低温等离子体设备系统中, 以探针测量仪运行时

关键组件状态信息的展示为例, 将PLM系统部署在实验室的服务器上, 并且使得低温等离子体设备系统与此服务器不在一个局域网内时, 测试得到如图7所示效果。

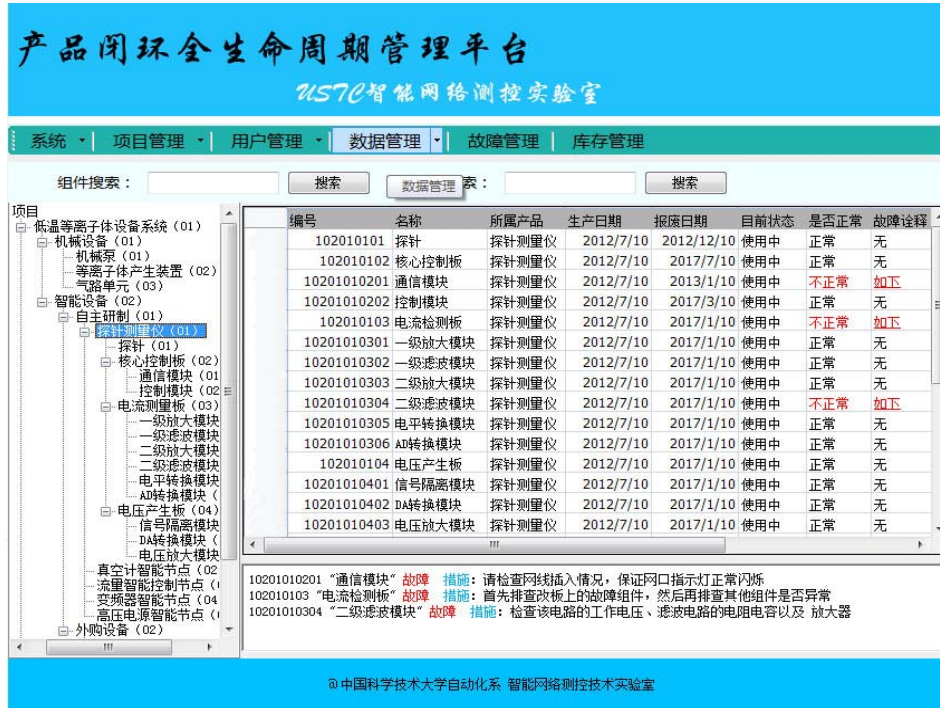


图7 探针测量仪运行时组件状态信息显示界面

4 总结与展望

本文在简要介绍闭环产品全生命周期管理(C-L PLM)概念、架构的基础上, 设计实现了网络的智能产品闭环全生命周期管理的系统, 详细讨论了此系统的数据库设计, 并对此系统中的数据存储、传输形式以及这两种形式之间的转换做了简要叙述. 本文最后, 给出了, 此系统中的一部分功能的演示, 证明了此系统的可行性, 为智能产品管理和维护平台设计提供一定价值的参考, 然而本文在网络安全方面, 需要进一步的实践, 对其功能实现进行验证.

参考文献

- 1 耿俊浩,张振明,田锡天,等.面向产品全生命周期管理的特定领域建模方法.计算机集成制造系统,2008,14(2):262-267.
- 2 邱明,陈刚,董金祥.基于本体的可适应性产品全生命周期管理系统.计算机集成制造系统,2005,11(6):825-830.
- 3 Cao H. Design of a Web-based decision support system for end-of-life vehicles. Third Symposium on Intelligent Media

- Integration for Social Information Infrastructure, 2006, (6): 111.
- 4 Parlikad AK, Mcfarlane D. RFID-based product information in end-of-life decision making. Control Engineering Practice, 2007, (15): 1348-1363.
- 5 Softic S, Rosenberger M, Denger A, et al. Semantically based visual tracking of engineering tasks in automotive product lifecycle. Proc. of the 13th International Conference on Knowledge Management and Knowledge Technologies. ACM. 2013.
- 6 卢亚辉,张力,刘英博.基于域的综合访问控制模型.计算机集成制造系统,2006,12(12),1978-1985.
- 7 Jun HB, Kiritsis D, Xirouchakis P. Research issues on closed-loop PLM. Compute. Ind. 2007, 58(8/9): 855-868.
- 8 Kiritsis D, Bufardi A, Xirouchakis P. Research issues on product lifecycle management and information tracking using smart embedded systems. Advanced Engineering Informatics, 2003, (17): 189-202.
- 9 李想.基于 WLAN 网络测控系统的研究与开发[学位论文].合肥:中国科学技术大学,2012.