面向产品生命周期的质量数据模型

唐晓青 胡 云 王雪聪

(北京航空航天大学 机械工程及自动化学院, 北京 100083)

摘 要: 在对产品生命周期和产品进化链质量保证过程分析的基础上,提出了一种面向产品生命周期和产品进化链的多层次质量数据模型. 该模型以融合产品结构模型和产品进化模型的广义物料清单作为单一数据辐射源,通过产品进化模型完整表达产品的改进过程,实现了产品进化生命周期内的质量数据的集成. 在产品生命周期内将广义物料清单的多视图按产品生命周期质量管理过程实例化,并以此作为质量数据载体. 围绕质量数据载体阶段性的质量管理过程组织产品实现过程中质量业务活动,以质量业务活动为基础,完成具体的质量数据对象的操作与关联,通过"载体—过程—活动—业务对象—物理数据"的关联实现了产品生命周期质量数据的集成.

关 键 词: 产品质量; 产品生命周期; 产品进化链; 物料清单; 质量数据模型

中图分类号: TH 166; TH 165$^+$.4

文献标识码: A **文 章 编 号**: 1001-5965(2006)10-1135-06

Quality data model in product lifecycle

Tang Xiaoqing Hu Yun Wang Xuecong

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100083, China)

Abstract: A multi-layered quality data model framework was proposed to support product lifecycle based on the analysis of quality data throughout product lifecycle and product evolution process and action chain. The model was comprised of 6 layers, the core of which was the general bill of material(GBOM) layer made up of product structure models and product evolution models. Under the constraint of product structure, GBOM was mapped into several bill of material(BOM) views throughout a product's lifecycle. According to the process of quality management for product lifecycle, each BOM view was then instantiated as carriers of quality data. At each stage, the quality operation activities that link quality data objects were organized around the carriers, the center of the management process. Mapped successively among carrier layer, quality process layer, quality activity layer, quality object layer and physical data layer, quality data were integrated throughout a product's lifecycle.

Key words: product quality; product lifecycle; product evolution chain; bill of material; quality data model

产品生命周期质量管理是在信息集成基础上实现产品生命周期质量信息管理的需求而产生的一种新的质量管理模式,面向产品生命周期的质量管理的关键是建立集成化的质量数据模型来支持产品全生命周期各阶段质量活动[1-4]. 该模型不仅要能有效地组织单一产品生命周期内的质量数据,保证质量数据在整个产品生命周期跨度内的一致性和完整性,以实现企业产品全生命周期内的质量数据共享和质量信息的横向可追溯[5],同时还需支持动态环境下产品由于质量改进前后质量数据的有效性和延续性,以保证质量信息的纵向可追溯性,支持企业质量知识的积累.

1 产品生命周期质量过程模型

产品生命周期是指具体产品从获取用户需求开始经过产品的结构设计、工艺设计、原材料采

收稿日期: 2006-05-24

基金项目: 高等学校博士点基金资助项目(20020006014)

作者简介: 唐晓青(1953-),女,黑龙江哈尔滨人,教授, tangxq@buaa.edu.cn.

购、零部件加工、产品装配、产品销售直至产品回收处理整个实现过程[1]. 图 1 描述了面向产品生命周期的质量管理的一般过程,通过市场分析,企业构建产品开发计划,并指导产品开发、设计、制造、销售和回收等全过程. 所有的质量活动均与产品过程中的活动相关联,共享产品数据,并监控产品质量的形成过程和产品数据流.

在产品生命周期的早期,将形成产品的基本数据和产品质量策略. 在产品生命周期中期,质量保证主要是依据产品设计规范和产品质量控制策略对产品进行符合性检查,并控制影响产品质量的"人、机、料、法、环、检"6 大因素,监控生产过程,分析产品质量状态,进行质量决策解决现场质量问题等,主要的质量活动有:质量数据采集、质量数据分析、统计过程控制、生产设备管理与维护、计量器具管理、质量成本分析和人员质量考核管理等. 当产品通过销售渠道到达最终客户手上,质量管理和控制进入使用质量管理阶段. 使用质量管理活动主要涵盖使用故障采集、分析与处理,维修与备件管理,顾客满意度管理等.

在产品生命周期的各个阶段,基于产品生命周期过程中产生的质量数据进行产品质量改进,以不断地提高产品质量. 质量改进的结果同时反馈给与产品相关的企业内各业务部门进行质量决策,并以此为依据进行过程调整.

整个产品生命周期内的质量活动和质量数据直接或者间接地同产品 BOM(Bill of Material)关联. xBOM 是产品数据在其生命周期内某一阶段产生的 BOM 视图:客户需求分析阶段的 CBOM(Customer BOM)、工程设计阶段的 EBOM(Engineering BOM)、物料采购阶段的 BBOM(Buying BOM)、零部件加工阶段的 MBOM(Manufacturing BOM)、部件产品装配阶段的 ABOM(Assembly BOM)、产品销售使用服务阶段的 SBOM(Service BOM)以及产品回收阶段的 RBOM(Recycling BOM).

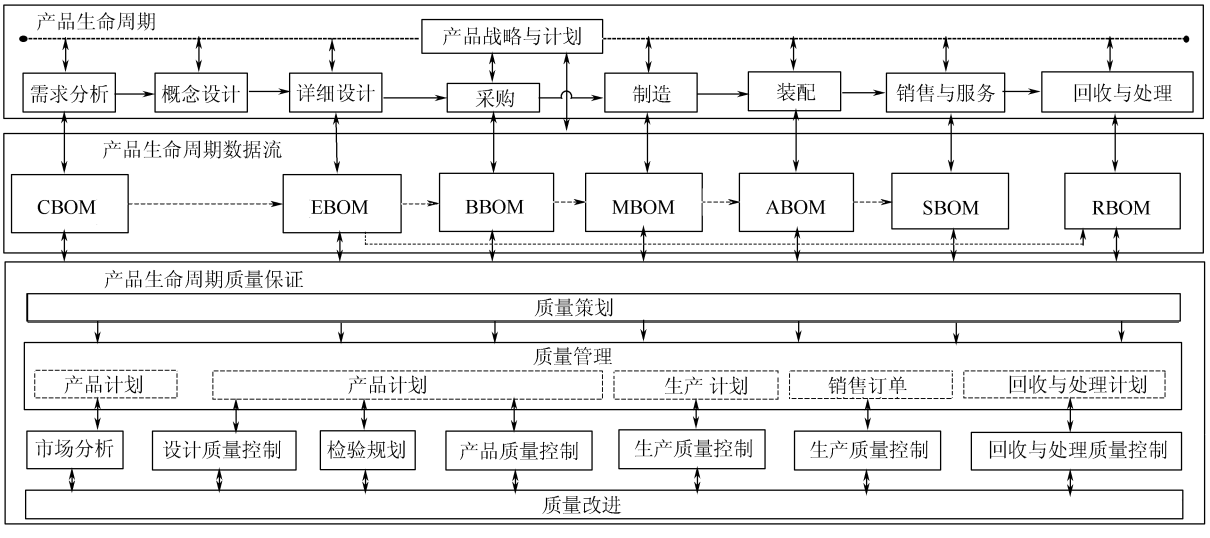

图 1 产品生命周期质量管理与数据流动的基本过程

2 产品进化链

企业常以 2 种方式向客户提供新产品:全新的产品和基于已有的成熟的产品平台定制化的产品,在动态多变的买方市场环境下,基于产品平台提供定制化产品被认为是兼顾效益和效率的模式. 为了吸引顾客,提高市场竞争力和经济效益,企业需要从产品在设计、生产制造、使用过程和回收处理过程中的质量反馈、产品市场发展和企业自身生产条件的变化中不断获取质量改进机会,以实现产品平台质量持续改进[6-7],不断地引入一些新的质量特性或者调整产品结构,从而满足顾客新的需求提高顾客满意. 持续地质量改进使得产品平台不断进化,形成了如图 2 所示基于时间轴的产品进化链. 一般而言,产品平台以 2 种方式进行进化:全局进化和局部进化,局部进化只是对子系统内部进行改进而保持产品平台的整体结构不变,表现扩展平台之间的进化;全局进化是在继用原有平台部分子系统和接口的基础上对平台的结构进行调整形成了新平台,例如调整产品结构、引入新的接口和子系统取代原有接口和子系统,平台与平台之间具有一定的延续性. 如图 2 所示,产品的生命周期都是始于产品进化链上一特定的产品平台,沿着时间轴产品生命周期平行于产品进化链,产品进化链和产品平台之间存在一定的交替关系. 图 2 同时也描述了产品平台之间以及产品平台与产品生命周期的相互关系,产品进化链中的后继产品平台 i 起始于上一平台 $i-1$

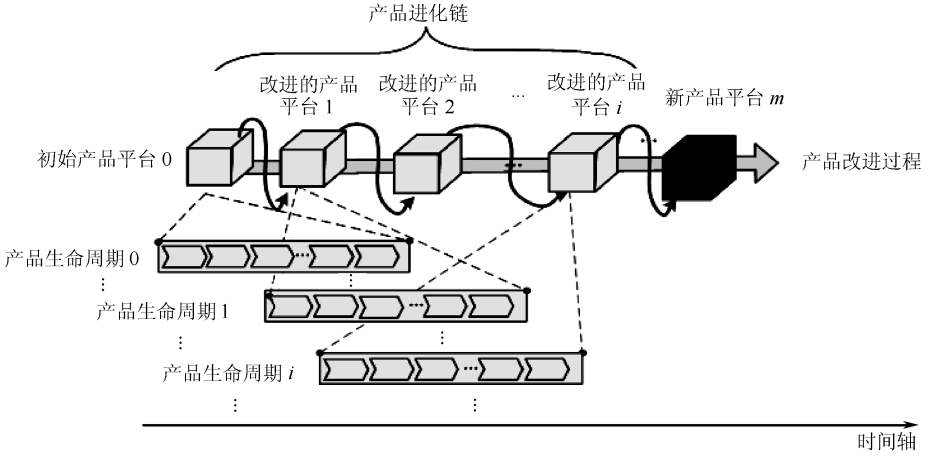

图 2　产品进化链

结束,第 i 个产品生命周期关联于其对应的产品平台.

产品作为质量数据的载体,产品生命周期内所有质量保证活动的质量数据都应同产品平台保持一致. 因此产品生命周期内的质量数据模型应该能够积累来源于所有产品平台的质量特性,保证质量数据的可追溯性.

2.1　产品进化模型

产品进化的 2 种模式在微观层面上则表现为图 3 所示的质量特性的进化和产品结构的进化. 图中,“S”代表构成产品平台的物料项;“R”表示父物料对象和子物料对象之间通过一定的配置规则进行组合的关系;“A”表示子物料项的可选择关系. 每个物料项“Si”均持有相应的质量特性.

产品平台结构进化主要是通过产品设计更改实现对产品平台结构的调整,调整操作有遗传、淘汰和扩展. “遗传关系”即完整地保留原平台结构;“扩展关系”将引入新的产品结构节点;“淘汰关系”即以新的产品节点替代原有的产品节点,或者删除冗余结构.

质量特性是产品的固有属性,用于区分不同产品对象之间质量差别的性质、性能与特点的特性,它包括功能、性能、结构和成本等各个方面. 质量控制的目标就是使质量特性符合其相关的质量规范,并满足市场需求. 产品质量特性继承于产品平台质量特性,在产品开发过程中得以具体实现. 作为质量控制的对象,质量特性进化过程中的延续性需要得到有效的保证. 质量特性的进化可以分为质量特性集的进化和基于特性集的质量特性实例的进化,而质量特性实例的进化关系分为遗传关系、淘汰关系、扩展关系和调整关系. “遗传关系”将实现质量特性完整的复制;“淘汰关系”将在进化过程中去掉不满足质量改进策略的原产品平台的质量特性;“扩展关系”即按照质量特性改进需求扩充平台节点质量特性;“调整关系”即完成基于原有质量特性的特性值的变动.

产品进化过程将伴随着质量特性集的进化. 在此过程,质量特性集将出现在扩展平台或者新平台中增加新的特性、更改特性属性域和更改质量特性的特征值等现象.

2.2　质量数据模型的进化

模型是对客观对象的抽象. 如图 4 所示,产品进化关系在模型层面将反映到产品结构的进化、质量特性的进化;质量特性的进化进而表现为产品质量特性实例的进化和质量特性集的进化;产品结构进化和质量特性实例进化将对应于质量数据模型的物理层的进化,质量特性集进化将对应于质量数据模型的逻辑层的进化,是对构成模型层次的实体、实体属性和实体关系进行调整,逻辑层的进化最后也要通过物理层具体数据来反映.

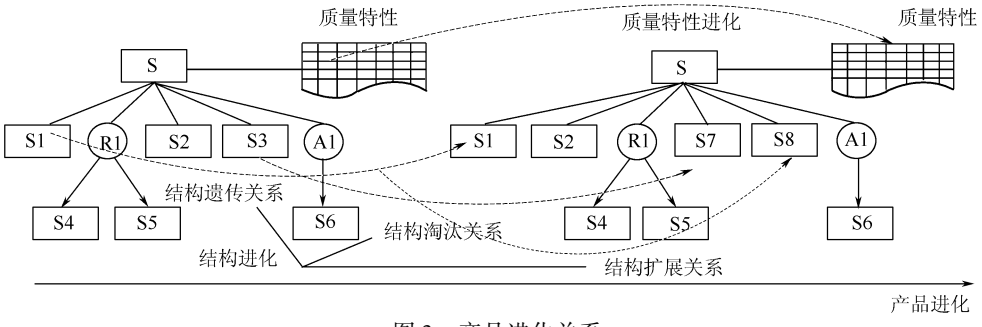

图 3　产品进化关系

为了体现产品的进化关系需要在物理层构建有效的表达数据进化的方法.

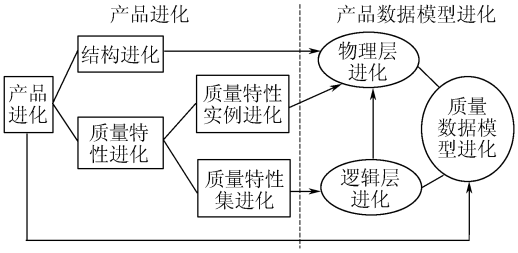

图4 产品进化数据模型层

2.3 基于时间截面的产品进化模型

由于产品进化沿着时间轴具有明显的时序性,对应产品进化过程上某一时间截面上的产品平台对象可以表示为

$$o(t)=f(q(t),p(t),r(t)) \quad t\in[t_s,t_e] \tag{1}$$

式中,$o(t)$表示基于时间截面的产品平台对象函数;t_s为产品进化链始点;t_e为产品进化链终点;$q(t)$为产品质量特性变量;$p(t)$为产品结构变量;$r(t)$为属性变量与结构变量之间的关系变量;$r(t)$实质上是一种约束变量,用于质量特性调整时对产品结构调整进行约束. 可以用图5简单描述产品进化过程中产品平台对象的函数关系.

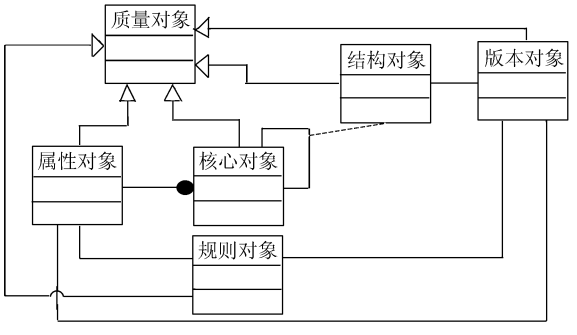

图5 基于时间截面的产品进化模型UML图

质量对象扩展了UML中的类对象形成质量数据模型基元用于质量数据模型的构建,属性对象、结构对象、基本对象和版本对象都继承了质量对象的属性和方法,基本对象是对质量对象在产品进化链上唯一表示,属性对象和结构属性对象记录了质量特性实例和质量对象结构关系,版本对象基于时间属性记录了进化历程,规则对象定义了基于版本的对象和属性的提取规则.

2.4 基于时间截面的质量数据进化模型

质量数据依赖于产品数据,质量数据的有效性是建立在产品数据有效性的基础之上的,为了同产品进化保持一致,质量数据也应采用同产品数据相应的有效性控制机制,本文采用基于时间截面的有效性控制方法,基于时间截面的质量数据有效性控制方法是在质量数据基本属性的基础上增加有效时间维和事务时间维[8],分别控制质量数据对象属性有效性和质量数据元组有效性,属性有效性保证了质量数据质量控制对象语义正确性,在质量系统中采用时间区间表示属性有效,该方法既能表示连续时间又兼容了离散时间点;质量数据元组的有效性控制质量数据生命周期内有效性,为了简化元组有效只需表示数据从录入到废止时间区间而不用关注质量数据生命周期的变更细节,由于质量业务数据只是反映了某个时间点产品某个质量特性,相对而言是一静态的属性,如图6所示,质量数据视图源于产品质量数据表和产品质量视图,产品质量表和产品数据视图之间通过产品质量特性标识索引和时态索引建立对应关系.

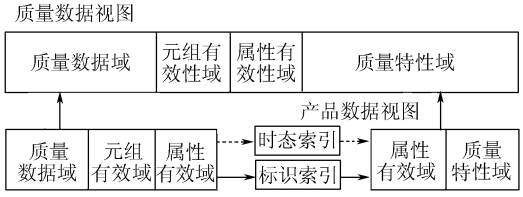

图6 基于时间截面的产品质量数据视图

3 基于BOM的产品生命周期质量数据模型

质量数据作为一类特殊的业务数据除了具有一般数据的特性外,还具有以下几个特点:一致性、独立性、分散性、进化性和继承性. 图7展示了一个基于BOM的、支持产品生命周期和产品进化链的多层质量数据模型. 该模型由内至外模型分为6个层次:广义BOM层、质量数据载体层、质量业务过程层、质量业务活动层、质量业务对象层和质量业务数据层,其中广义BOM层作为核心,定义了通用的质量控制对象及其结构关系,在阶段性结构约束下广义BOM演化为阶段性BOM并实例化为质量数据载体.

1) 广义BOM层. 广义BOM层定义了一个全局、统一的产品结构概念模型,一个支持产品演化过程中所有质量活动并使冗余数据达到最少的标准化实体集合,以实现产品生命周期内单一数据源[9]. 采用面向对象的方式表示广义产品结构GBOM模型M_{GBOM}

$$M_{GBOM}=\{M_{GSBOM},M_{GPEM}\}$$

M_{GSBOM}为广义产品平台结构模型,记录产品对象的基本属性及其结构关系;M_{GPEM}为产品进化模型完整地记录了产品对象属性和产品结构属性的进化历程和进化的原理.

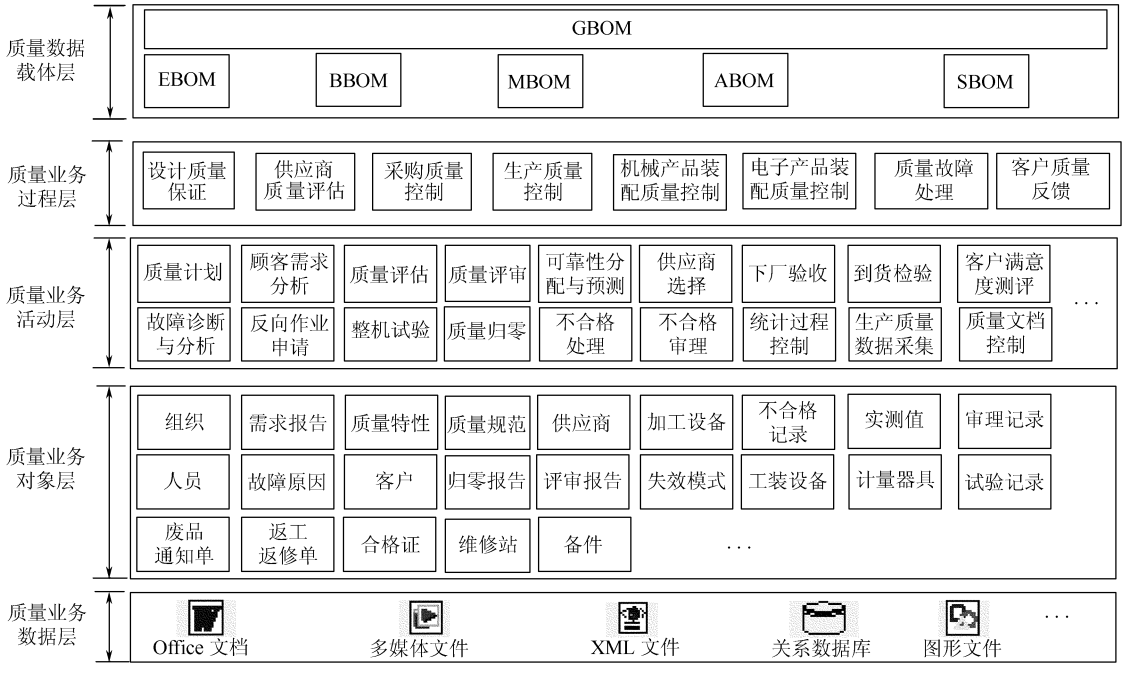

图 7　质量数据层次模型

$M_{\mathrm{GSBOM}}=\{O_{\mathrm{PO}},O_{\mathrm{PS}}\}$,$O_{\mathrm{PS}}$为产品结构对象;$O_{\mathrm{PO}}$为产品属性对象.

$O_{\mathrm{PO}}=\{I_{\mathrm{D}},O_{\mathrm{PB}},O_{\mathrm{PE}}\}$,其中 I_{D} 为产品对象唯一标识;$O_{\mathrm{PB}}=\{P_{\mathrm{Name}},P_{\mathrm{Type}},\cdots\}$为产品对象的基本属性对象,包括产品的名称、产品类型、产品编码等基本属性,是为产品生命周期内各阶段公用的属性集,由于产品对象基本属性定义有限,所以该集合为一有限集;O_{PE}为产品对象扩展属性对象,对应产品生命周期每个阶段的阶段性属性集,是一可扩展的集合.

$O_{\mathrm{PS}}=\{I_{\mathrm{S}},O_{\mathrm{SB}},O_{\mathrm{SC}}\}$,$I_{\mathrm{S}}$ 为产品结构对象,由结构对象唯一标识;O_{SB}为产品对象关系的产品结构基本对象;O_{SC}为产品对象结构约束对象构成. $O_{\mathrm{SB}}=\{I_{\mathrm{P}},I_{\mathrm{C}},N,O_{\mathrm{PV}},O_{\mathrm{CV}}\}$,$I_{\mathrm{P}}$ 为父产品对象标识;I_{C}为子产品对象标识;N 为产品父对象和子对象之间的数量关系;O_{PV}和 O_{CV}为父对象和子对象版本对象. $O_{\mathrm{SC}}=\{O_{\mathrm{C}},S\}$用于控制产品全生命周期各视图的演化依据,$O_{\mathrm{C}}$ 为演化约束对象定义了结构约束和版本约束规则;S 为阶段类型. $M_{\mathrm{GPEM}}=\{I_{\mathrm{E}},T,O_{\mathrm{ER}}\}$,$I_{\mathrm{E}}$ 为进化对象唯一标识;T 为产品进化类型,产品的进化从形式上可以分为产品对象进化和产品结构进化,前者是针对产品质量特性进行调整,后者则是产品结构的调整;O_{ER}为进化原理对象,描述产品进化的原因和依据.

2) 质量数据载体层. 质量数据载体层根据产品全生命周期各阶段 BOM 视图定义,将广义 BOM 按照一定的映射规则在产品结构约束条件 C_X 下转化成各阶段 BOM 视图,同时按照不同阶段质量管理组织模式 I_X,实例化为具体的质量管理载体对象,GBOM 到各实例 BOM 的映射关系为

$$\mathrm{GBOM}\xrightarrow{C_X}\mathrm{xBOM}\xrightarrow{I_X}\mathrm{IxBOM}\quad(2)$$

GBOM 通过各约束对象先演化成抽象的 xBOM[10],xBOM 再按照与质量管理的组织模式相应的实例化条件,将 xBOM 实例化为对质量管理具有实际意义的 BOM 实例 IxBOM(Instance of xBOM). 对应各阶段实例 BOM 与 GBOM 之间的演化关系为

$$\left.\begin{aligned}&\mathrm{GBOM}\xrightarrow{C_{\mathrm{E}}}\mathrm{EBOM}\xrightarrow{\mathrm{DP}}\mathrm{IEBOM}\\&\mathrm{GBOM}\xrightarrow{C_{\mathrm{B}}}\mathrm{BBOM}\xrightarrow{\mathrm{SBN}}\mathrm{IBBOM}\\&\mathrm{GBOM}\xrightarrow{C_{\mathrm{M}}}\mathrm{MBOM}\xrightarrow{\mathrm{PBN}}\mathrm{IMBOM}\\&\mathrm{GBOM}\xrightarrow{C_{\mathrm{A}}}\mathrm{ABOM}\xrightarrow{\mathrm{ABN}}\mathrm{IABOM}\\&\mathrm{GBOM}\xrightarrow{C_{\mathrm{S}}}\mathrm{SBOM}\xrightarrow{\mathrm{PC}}\mathrm{ISBOM}\end{aligned}\right\}\quad(3)$$

GBOM 在设计阶段产品工程结构约束 C_{E} 下先演化为抽象的 EBOM,通过设计项目 DP 对抽象的 EBOM 实例化为对质量管理具有实际意义的 EBOM 实例 IEBOM. 相应的生产阶段、采购阶段、装配阶段和使用阶段 GBOM 通过相应的结构约束条件($C_{\mathrm{B}},C_{\mathrm{M}},C_{\mathrm{A}},C_{\mathrm{S}}$)完成对应的 xBOM 的提取,并通过具体的产品生产批次 PBN、装配批次 ABN、采购批次 SBN 或者产品编号 PC 等实例条件对象将 xBOM 实例化为制造 BOM 实例 IMBOM、采购 BOM 实例 IBBOM、装配 BOM 实例 IABOM 和产品服务 BOM 实例 ISBOM.

3) 质量业务过程层. 由于产品开发和使用过

程十分复杂,产生的质量数据复杂,需要在数据载体层的基础细分产品生命周期,用一组模型分阶段描述产品全生命周期质量数据模型. 本文按照质量管理面向过程的原则和产品对象性质宏观上将产品全生命周期质量管理划分为 8 个阶段性过程:设计质量控制过程、供应商质量评估过程、采购质量控制过程、生产质量控制过程、机械产品装配质量控制过程、电子产品装配质量控制过程、质量故障处理过程和客户质量反馈过程. 在上述过程的指导下过程可以逐级细分成更加具体细致的子过程,例如一般的生产质量控制过程可细分为领料质量控制过程、加工过程质量控制和成品质量控制 3 个过程. 上述质量管理过程的数据通过质量数据载体层和广义 BOM 层进行转换和集成.

4) 质量业务活动层. 宏观的业务过程的划分只能指导质量数据的分类与组织,质量数据的获取与操作则由构成质量业务过程的业务活动完成. 质量活动的获取与划分参考企业的质量管理程序文件,构成了企业质量管理活动元集,该活动集对质量管理系统而言,是一个相对静态的概念. 在质量策划阶段根据产品质量保证要求将这些活动按一定的规则进行组合就形成了产品质量保证过程. 通过活动将质量业务对象同质量管理过程关联.

5) 质量业务对象层. 质量业务对象是质量活动的数据对象,是质量活动输入对象、输出对象、控制对象和资源对象的抽象集合,产品全生命周期内质量管理所涉及的质量业务对象应该包括质量管理所涉及的组织、人员、设备、计量器具、检验记录、检验项目、试验文件等数据对象.

6) 质量业务数据层. 质量业务数据层是质量业务数据的物理表示,是格式多样的分布的业务对象物理数据的集合.

4 结束语

有效地组织产品生命周期的质量数据是面向产品生命周期质量管理的关键,本文基于产品生命周期和产品进化链质量保证过程,提出了面向产品生命周期和产品进化链的多层质量数据模型,该模型以 GBOM 作为产品全生命周期内质量管理的单一数据源,实例化 BOM 多视图作为质量信息载体组织产品实现过程中各质量活动相关的质量数据,保证了产品生命周期内质量数据集成、统一,通过基于时间截面的质量对象增量进化模型,保证了质量对象在产品改进链上的延续性,从而从模型层上保证了质量数据在产品生命周期内的一致性,继承性和集成性. 基于该模型构建的面向军工企业的 QQJG 集成质量管理系统已经在某大型研究院投入试运行.

参考文献 (References)

[1] 黄双喜, 范玉顺. 产品生命周期管理研究综述[J]. 计算机集成制造系统——CIMS, 2004, 10(1): 1-9
Huang Shuangxi, Fan Yushun. Overview of product lifecycle management [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems——CIMS, 2004, 10(1): 1-9(in Chinese)

[2] Sudarsan R, Fenves S J, Sriram R D, et al. A product information modeling framework for product lifecycle management[J]. Computer-Aided Design, 2005, 37(13):1399-1411

[3] Lin Binshan. Quality control information system in manufacturing: considerations and concerns for management[J]. International Journal of Operations & Production Management, 1998, 11(1):41-50

[4] 段桂江, 唐晓青. 基于过程方法的制造企业质量管理系统模型研究[J]. 中国机械工程, 2005, 16(24):2207-2211
Duan Guijiang, Tang Xiaoqing. Modeling of quality management system for manufacturing enterprise based on process method [J]. China Mechanical Engineering, 2005, 16(24): 2207-2211(in Chinese)

[5] Jansen Vullers M H, VanDorp C A, Beulens A J M. Managing traceability information in manufacture[J]. International Journal of Information Management, 2003,23(5):395-413

[6] 唐晓青, 王雪聪. 以顾客满意为中心的大规模定制质量改进[J]. 机械工程学报, 2005, 41(5):200-204
Tang Xiaoqing, Wang Xuecong. Customer-oriented quality improvement in mass customization [J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2005, 41(5): 200-204(in Chinese)

[7] 王雪聪, 唐晓青. 基于产品平台技术的大规模定制质量保证研究[J]. 北京航空航天大学学报, 2004,30(5):469-474
Wang Xuecong, Tang Xiaoqing. Research on product platform-based quality assurance in mass customization [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2004, 30(5): 469-474(in Chinese)

[8] 汤庸. 时态数据库导论[M]. 北京:北京大学出版社,2004
Tang Yong. Introduction to temporal database[M]. Beijing:Peking University Press, 2004(in Chinese)

[9] 范玉青. 现代飞机制造技术[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2001
Fan Yuqing. Modern aircraft manufacturing technology [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics and Astronautics Press, 2001(in Chinese)

[10] 刘晓冰, 黄学文, 马跃, 等. 面向产品全生命周期的 xBOM 研究[J]. 计算机集成制造系统——CIMS, 2002, 8(12): 983-987
Liu Xiaobing, Huang Xuewen, Ma Yue, et al. Research on xBOM for product whole life cycle [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems——CIMS, 2002, 8(12): 983-987(in Chinese)