产品质量 BOM 演化过程

唐晓青 胡 云

(北京航空航天大学 机械工程及自动化学院，北京 100191)

摘 要：产品实现就是产品质量生成过程，以 BOM(Bill Of Material) 为中心组织产品质量数据已成为产品过程质量管理的关键技术.通过分析产品质量形成及其过程质量管理的特点明确了产品质量保证过程模型，并从质量管理的角度提出了质量 BOM 的概念，定义了面向对象方法的质量 BOM 数据结构定义模型，结合关键质量特性链和产品过程实现链提出了质量 BOM 双演化过程模型，分析了质量 BOM 的 3 个组成部分：质量 BOM 数据项、数据项结构和质量特征演化方法和过程，最后基于质量 BOM 演化过程模型提出了单一数据源的产品过程质量数据组织集成模型.

关 键 词：质量保证；产品过程；物料清单；关键质量特性链；数据结构

中图分类号：TH 166；TH 165$^+$.4

文献标识码：A **文 章 编 号**：1001-5965(2009)02-0209-06

Evolution process of quality BOM for product process

Tang Xiaoqing Hu Yun

(School of Mechanical Engineering and Automation, Beijing University of Aeronautics and Astronautics, Beijing 100191, China)

Abstract: A method based on BOM (bill of material) was proposed to organize quality data throughout product process. Quality assurance process for product process was proposed, and then the characteristics of quality management for product process were ascertained. The definition of quality BOM was specified in quality domain. Data structure model for quality BOM based on object-oriented method was built. Evolution process of quality BOM for product process based on key quality characteristic chains was put forward. Evolution rules and methods for quality BOM composing of quality material item, quality configuration and quality feature were then analyzed. An integrated organization model for quality data based on quality BOM evolution process was put forward.

Key words: quality assurance; product process; bill of material; key quality characteristic chain; data structure

产品实现过程就是产品结构不断演化的过程，同样也是产品质量形成和质量数据不断积累的过程，以产品结构为中心组织产品数据已成为产品全生命周期管理的关键技术之一[1]. BOM (Bill Of Material)是产品结构的形式化表示，BOM 的演化过程反映了产品实现过程，以 BOM 为中心组织产品实现过程的质量数据能保证数据的有序性、完整性和集成性[2-3]. 一些学者研究了 BOM 在质量数据组织中的作用[4-5]，质量 BOM 作为 XBOM 在阶段性质量数据组织中的应用也得到研究[6]，但是从当前研究来看，对产品过程的质量 BOM 研究还不够完善，有待于进一步推进. 首先，应解决质量管理内涵与质量 BOM 间的一致性问题；其次，目前对质量 BOM 的研究更多地局限在生产检验阶段，缺乏对产品实现全过程质量动态演化过程和方法的研究. 本文首先分析了产品过程质量形成及保证过程，明确了质量管理是基于帕累托原理的针对少数关键特性的管理，然后针对质量管理要求明确了质量 BOM 的概念，并将质量 BOM 定义扩展到产品全过程，进而

收稿日期：2008-07-20

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

提出了基于关键质量特性演化的质量BOM演化过程模型,最后给出了基于质量BOM的面向产品实现全过程的质量数据集成组织模型.

1 产品质量过程

ISO9000:2000质量标准将产品质量定义为产品一组固有的特性满足明示、通常隐含的或必须履行的需求或期望的程度,该定义表明了质量管理对象是质量特性及其被满足程度.程度从技术上包括准确度和精度二方面,通常用2个参数均值μ和偏差σ分别表示.以过程为中心的现代质量管理强调通过过程工作质量来保证产品质量.

从图1可以看出,工作质量分为效果与效率2个维度,并以质量价值这个指标来衡量.质量价值体现了质量管理的全面观,即在保证实现产品符合性和适应性的前提下尽量降低资源和时间消耗.产品过程由一组将客户需求转化成产品的过程和活动组成,通常包括客户需求工程、产品规划、产品设计、生产准备、产品制造和产品交付等过程,通过产品过程,企业识别出产品要求、将要求转换为质量特性,并加以实现.这一过程从质量管理对象的角度来看是质量特性规范形成、依据规范实现特性的过程.为了实现一致、重复、高效地提供高质量产品的目标,并行于产品实现过程,企业需要构建全面的质量保证体系,具体体现在:设计开发阶段通过质量策划确定产品规范和过程规范;生产和服务阶段通过质量策划确定质量控制过程规范;在产品过程的全阶段实现预防和控制相结合的质量控制活动,例如,设计开发阶段的技术状态管理和生产制造阶段的生产检验;在产品实现全过程,基于质量策划和质量控制的质量数据进行产品质量和工作质量改进.可以看出产品质量保证是以产品过程为主线、以质量特性为对象、以提高质量特性的准度和精度为目的、强调效果和效率并行的系统过程.随着产品复杂性的增加,对所有的质量特性和对象进行质量保证不仅效率低而且不现实,基于帕累托原理的针对关键特性的质量管理模式已被证实有助于保证质量管理的效率和效果[7].

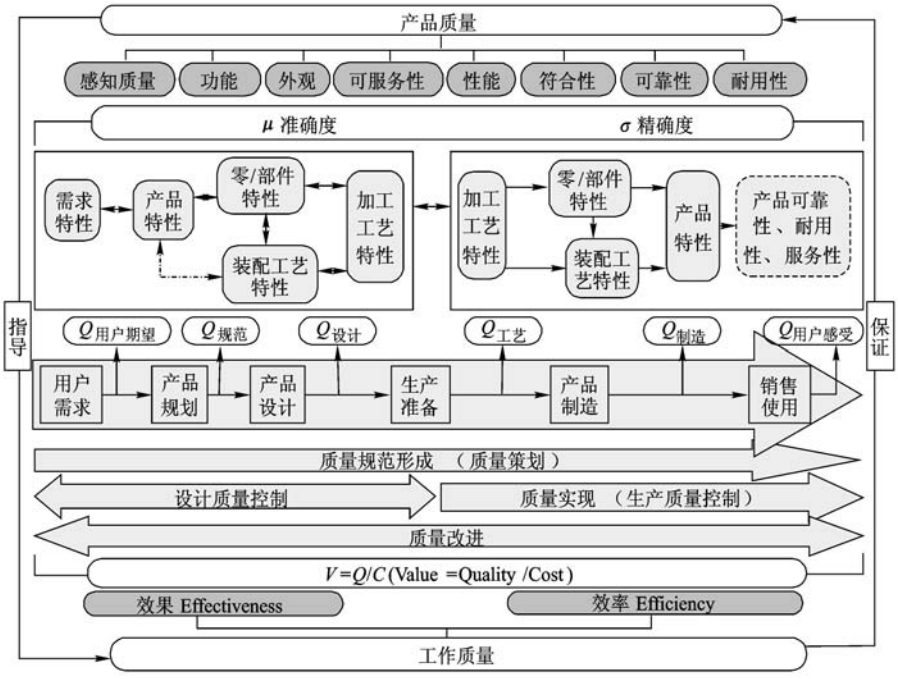


图1 产品质量形成及保证过程

2 质量BOM定义与演化

2.1 质量BOM的定义

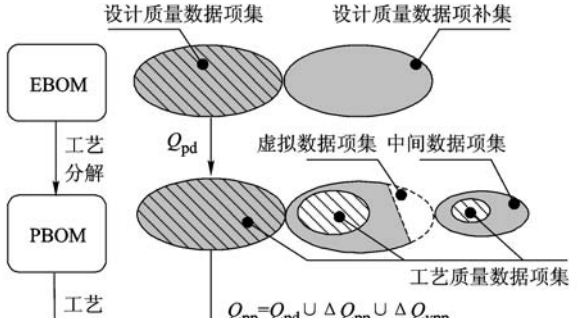
1) 质量BOM数据项定义

质量BOM数据项是产品在其实现过程中的某一数字或物理形态,该形态对企业的质量管理具有意义,企业需要对其进行识别、规划、控制、保证和改进.质量BOM是对质量BOM数据项结构关系的一种形式化描述.质量BOM按照产品过程阶段可以分为设计质量BOM(EQBOM,Engineering Quality Bill of Material)、工艺质量BOM(PQBOM,Process Quality Bill of Material)、生产质量BOM(MQBOM,Manufacturing Quality Bill of Material)和服务质量BOM

(SQBOM,Service Quality Bill of Material),在不同的阶段还可以依据质量管理要求进一步细化,例如,在生产阶段可以在 MQBOM 的基础上派生出针对采购质量管理的采购质量 BOM.

从质量管理要求看,现有质量 BOM 的定义研究仅涉及了产品 BOM 构成的质量属性和内容扩充,并没有涵盖依据质量管理要求对质量 BOM 数据项提取和质量 BOM 结构调整.由于质量 BOM 和产品 BOM 针对的业务领域不同,需要提供的功能也不尽相同,因此其关注的对象构成和属性要素也不尽相同,具体表现在:

① 构成上,产品 BOM 是对产品结构及其组成关系或者生产制造关系完整描述,而质量管理的方法则是以最经济的方式通过技术和管理的手段保证产品质量.实践表明对产品的所有组成细节和产品实现过程中的各个环节进行质量控制不现实也没有必要,抓住关键的少数一直是产品质量管理重要法则,因此,质量管理并不是针对产品 BOM 的全体,而是通过关键质量特性的逐层分解和整合确定的关键质量 BOM 数据项及其关系的子集,图 2 给出了设计、工艺和制造 3 个阶段 BOM 数据项之间的相互关系.



形成过程的产品结构组织形式.针对一些简单的产品工艺规程可替代产品的检验规程,而对一些复杂的产品如飞机、汽车除了进行工程规划外还需要进行检验规程规划,此时需依据检验规程进行 MBOM 的调整才能生成指导质量管理的质量 BOM.

③ 产品 BOM 代表了一类产品在一定时期内、一定条件下的稳定结构,而质量 BOM 由于是基于关键质量特性的提取在产品 BOM 基础上派生的 BOM.产品级关键特性是由设计决定的,是产品固有的,从某种角度看是相对稳定的,但是制造、装配关键特性由产品和工艺过程共同决定[7],采购质量 BOM、制造质量 BOM、装配质量 BOM 和服务质量 BOM 依赖于具体的实现过程受实际生产环境约束具有一定的动态性.

2) 质量 BOM 数据模型

根据面向对象的方法,质量 BOM 形式化定义为:

QBOM = {Item, Configuration, Feature} 为 BOM 数据项对象,用于构建单一 BOM 数据项数据源.Configuration 为构型对象,用于定义 BOM 数据项之间的结构关系.构型对象和 BOM 数据项对象组成了质量数据的载体,它们的属性通过质量特征 Feature 表述,质量特征是质量业务数据的抽象化表达.质量特征从产品过程可以分为规范用的静态特征和表征质量状态用的动态特征,静态特征主要用于确定质量特性规格及公差,动态特征是派生于静态特征某一特定时刻有效版本的并表征产品质量和工作质量的质量实现数据,包括设计阶段的质量仿真验证数据、质量评定

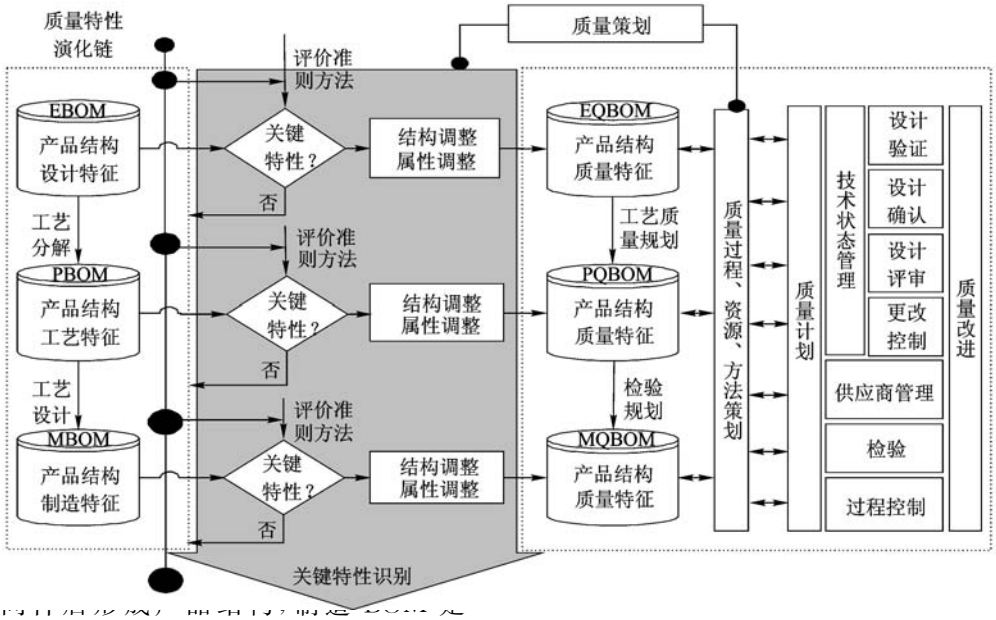


图 5　质量 BOM 演化过程与质量管理的关系

EBOM 依据工艺流程进行重组及映实际产品的

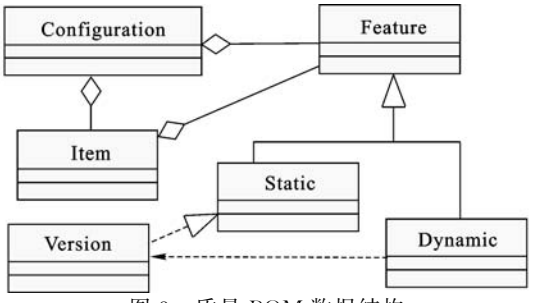


图3 质量BOM数据结构

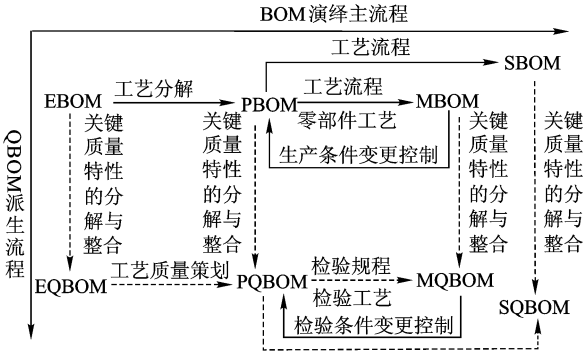


图4 质量BOM双演化过程

链的质量BOM演绎辅过程.其中主过程是产品数据流的XBOM的转换.目前国内外针对XBOM的演化过程、演化算法和形式化表达都较为成熟.主演化过程重点是EBOM通过PBOM向MBOM的转化.产品BOM的演化过程产生了关键质量特性链,基于关键质量特性链通过质量风险分析确定和派生出质量BOM数据项,接着扩充BOM数据项的技术规范、控制手段、控制方法和质量资源规范等静态质量特征以及设计质量验证和评审结果、质量检验报告、质量控制和故障诊断等动态质量特征,并对XBOM进行结构调整以构建涵盖产品全过程各阶段的质量BOM.面向对象的方法通常将质量BOM分为3个组成类:数据项对象,构型对象和特征对象,质量BOM的演绎过程从构成上涵盖了3方面内容:质量BOM数据项演化、质量BOM数据项关系演化和质量特征演化,图5给出了设计、工艺与制造质量BOM演化过程及其与质量管理的关系.

1)质量BOM数据项演化

BOM数据项的演化过程是质量管理对象提取过程,其演化的基类是产品开发过程中形成的阶段性BOM数据项.表1给出了质量BOM数据项提取的参考依据.设计质量BOM数据项的提取需要综合考虑以下标准:客户直接需求、技术风险、政策法规、生命周期健壮性需求以及技术方法的成熟度.标准的获取和评判通常需要采用各种辅助质量方法和工具,例如客户需求的获取就需要通过Kano方法获取分类的客户需求并通过质量功能配置工具(QFD,Quality Function Deployment)将客户需求转化技术需求,技术风险分析则需要应用系统失效模式与影响(FMEA,Failure Mode and Effect Analysis)和设计FMEA方法,通过DFX(Design for X-ability)方法获取产品生命周期各阶段健壮性需求.工艺BOM数据项的提取需要参考装配方式、生产流程组织方式、工艺风险以及工装设备性能等信息,通常需要按照装配加工零件的特点通过公差分析、装配基准流链(DFC,Datum Flow Chain)、工艺FMEA和串并行制造模式下的波动流分析(SOVA,Stream of Variation Analysis)等定性和定量分析方法提取和评测.制造质量项需要参考企业生产方式、工序能力、质量成本和检验能力/风险和企业库存生产能力确定,常用的分析方法有工序能力分析、田口方法、质量成本、制造资源计划(MRP,Manufacturing Resource Planning)、约束理论(TOC,Theory of Constraint).采购质量项的提取通常基于采购件重要度、供应商能力、供应链成熟度、质量风险,分析方法包括供应商过程能力分析、供应链质量成熟度评价、BOM数据项ABC分类.服务质量BOM数据项的确定通常基于目标细分市场环境、服务商能力和产品保证需求等标准,基于客户需求和企业生产技术能力确定.由于产品实现过程的延续性,质量BOM数据项也具有相应的继承性.

表1 质量BOM数据项提取标准

质量BOM数据项	提取标准
设计	内外部客户需求、政策法规、社会环境、技术成熟度等
工艺	尺寸公差链、材料特性、工艺风险、工装设备特性等
制造	工艺质量BOM数据项、工艺过程能力、质量成本、检验能力等
采购	制造质量BOM数据项、供应商能力、质量成本、供货历史、信息共享成熟度等
服务	设计、工艺质量BOM数据项、服务商能力、质量成本、客户需求、目标市场等

2)质量BOM结构演化

由于产品过程的质量管理都是面向产品过程,而且质量BOM数据项的演化也基于阶段性BOM数据项,其结构的调整应以阶段性BOM结构为基础.质量BOM结构的演化需要依据关键质量特性链的动静特性分别对待.在设计阶段,关

键质量特性主要由客户需求和企业环境决定,具有相对稳定性,其质量特征演化需要关注在质量 BOM 数据项提取过程中保证 BOM 的语法有效性和语义有效性,即形成的质量 BOM 必须满足单一根节点、无孤立节点和无环性等结构性要求以及 BOM 数据项有效性属性、数量属性同 EBOM 的一致性. 工艺阶段、生产阶段和服务阶段关键质量特性链与设计质量特性链和特定的实现过程相关,具有一定的动态性,通常需要基于检验规划要求对 BOM 数据项构成关系进行动态调整,例如在进行检验规划确定检验方式时基于检验中心的集中式检验与分布于各个工作站点的检验其 BOM 数据项构成关系就不同.

3) 质量特征演化

质量特征演化过程是质量数据产生过程. 静态质量特征演化过程按照特征的不同其采用的演化算法也不同,常见的演化算法包括特征的遗传、衍生、聚合和变异等,这些特征涵盖了由产品设计、工艺设计、生产准备确定的一些技术和管理规范. 遗传指从基类 BOM 中直接继承特征,例如 EBOM 到 EQBOM 演化时产品设计特征完全继承;衍生指完全在演化过程中产生新特征,如在 MBOM 向 MQBOM 演化时需要派生一些管理特征如生产批次号;聚合指将多个特征通过简单的聚合操作生成新特征,如 EBOM 向 EQBOM 演化时需要聚合数据项的多个特征生成反映一定技术和管理信息的技术状态特征;变异指通过一定的模型关系进行特征的转换,例如在 MBOM 向 MQBOM 转换时需要将制造特征几何公差通过几何模型转化为测量点的几何公差. 质量策划过程还衍生了一些静态的质量特征包括采样方案标准、质量控制过程、控制方法、控制方式和控制用的设备和组织资源等. 动态质量特征主要指参考

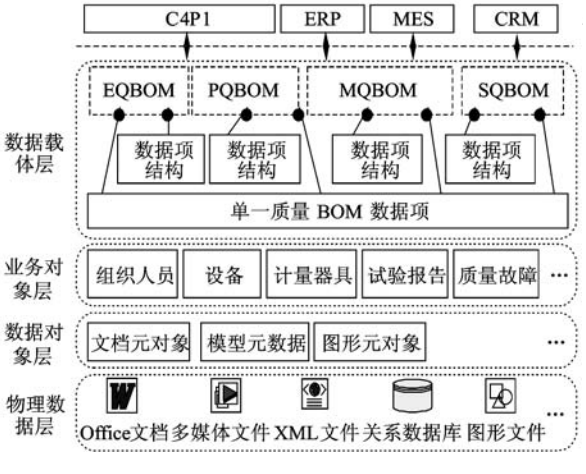


图 6　基于质量 BOM 产品过程质量数据组织模型

3　产品过程质量数据组织

质量 BOM 明确了质量管理的对象与内容,基于质量 BOM 的产品过程质量数据组织能保证产品过程质量数据的针对性、有序性、一致性和连续性,有助于实现产品全过程的产品综合质量分析、产品过程质量成本分析和质量信息的可追溯,而且由于质量 BOM 的演化都是基于阶段性 BOM,以质量 BOM 组织质量数据为实现质量管理信息系统与 C4P1(CAD/CAPP/CAM/CAE/PDM, Computer Aided Design/ Process Planning/ Manufacturing/ Engineering, Product Data Management)、企业资源计划(ERP, Enterprise Resource Planning)、制造执行系统(MES, Manufacturing Execution System)和客户关系管理系统(CRM, Customer Relationship Management)等阶段性应用工具与系统的无缝集成提供了基础. 基于质量 BOM 的产品过程质量数据组织分为如图 6 所示的 4 个层次:基于单一质量 BOM 数据项的质量 BOM 构成了数据载体层,通过 BOM 数据项结构反映了质量业务对象的构成关系;业务对象层基于数据分类方法对质量 BOM 数据项的一些引用的对象进行组织,包括人员设备、计量器具等资源类对象,质量控制方法、故障分类等知识类对象以及质量计划、检验报告、试验报告等数据类对象;数据对象层则包括对物理数据存储层质量数据管理与控制的一些元数据的对象,例如文档元对象包括文档的链接地址、链接方式、文档类型、文档版本等元数据.

4　结 束 语

质量 BOM 定义和质量 BOM 演化过程的研究是基于质量 BOM 的产品过程质量数据管理的关键,本文从质量管理的角度明确了质量 BOM 概念,提出了基于关键质量特性演化链的质量 BOM 演化过程模型,分析了质量 BOM 的 3 个组成部分:质量数据项、质量数据项关系和质量特征演化规则和方法,并构建了基于质量 BOM 的多层次产品过程质量数据组织模型,为实现产品过程质量数据管理的针对性、一致性、有序性和集成性提供了基础.

参考文献(References)

[1] Sudarsan R, Fenves S J, Sriram R D, et al. A product information modeling framework for product lifecycle manage-

ment[J]. Computer-Aided Design, 2005, 37(13): 1399－1411

[2] 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)

[3] 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)

[4] 王灿,张根保,黄忠全,等. 基于质量 BOM 和整合条码的质量信息系统的开发和实施[J]. 工业工程与管理,2001,6(5):22－25
Wang Can,Zhang Genbao,Huang Zhongquan,et al. Exploitation and implementation of quality information system based on quality bill of material and integrated bar code[J]. Industrial Engineering and Management,2001,6(5):22－25 (in Chinese)

[5] 刘明周,张铭鑫,任兰,等. 基于品质物料清单的全面质量数字化管理模式的研究[J]. 计算机集成制造系统——CIMS, 2006,12(1):59－64
Liu Mingzhou,Zhang Mingxin, Ren Lan, et al. Research on digital total quality management mode based on quality BOM [J]. Computer Integrated Manufacturing Systems—CIMS, 2006,12(1):59－64(in Chinese)

[6] 唐晓青,胡云,王雪聪. 产品生命周期质量数据模型[J]. 北京航空航天大学学报,2006,32(10):1135－1140
Tang Xiaoqing, Hu Yun, Wang Xuecong. Quality data model in product lifecycle [J]. Journal of Beijing University of Aeronautics and Astronautics, 2006,32(10):1135－1140 (in Chinese)

[7] Thornton A C. Variation risk management-focusing quality improvements in product development and production [M]. New Jersey:John Wiley & Sons Inc, 2004