

# 农业机械产品数字化设计技术及展望

阎楚良, 杨方飞

(中国农业机械化科学研究院, 北京 100083)

**[摘要]** 针对数字化设计技术的定义分析了其特点, 阐述了当今数字化设计技术研究的热点——计算机辅助概念设计、知识工程、虚拟原型技术; 探讨了机械产品数字化设计技术的研究现状及未来的发展趋势, 即突出产品创新设计、重视虚拟现实技术、强调产品协同设计; 数字化设计技术作为国家中长期科学技术发展规划优先扶持的主题, 其应用将会使传统的农业机械设计制造技术发生革命性的变化。

**[关键词]** 数字化设计; 计算机辅助概念设计; 知识工程; 虚拟原型; 创新设计

**[中图分类号]** S24; TP15 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2006)09-0013-06

## 1 引言

当前, 机械设备正在向大型化(或微型化)、高速化、高效化、精密化、集成化、综合(指功能)比、模块化、自动化、智能化、数字化、网络化和绿色化的方向发展<sup>[1]</sup>, 对产品质量的要求也愈来愈高。高质量的产品是通过精心设计、精密的制造加工、严格的管理生产出来的, 但核心工作是设计。据有关专家统计, 一种产品的质量, 设计的贡献率可达70%; 有的专家认为: 产品的设计是产品质量的灵魂<sup>[2]</sup>。产品设计在保证产品质量、提高产品在市场中的竞争力, 即在新产品开发与老产品改造中, 起着头等重要的作用。

近年来, 信息技术的迅猛发展使得传统的产品设计方法逐渐被现代设计方法所取代, 大批学者对现代设计方法进行了研究, 产生了一批新的设计方法。数字化设计技术涵盖了现代设计的最新技术, 同时又是现代设计的前提, 对其进行深入的研究十分必要<sup>[3]</sup>。笔者分析了数字化设计的定义及其特点, 阐述了当前数字化设计研究的热点, 探讨了数

字化设计技术应用于农业机械产品研发的研究现状及其发展趋势。

## 2 数字化设计技术的含义及特点

### 2.1 含义

总体而言, 数字化设计技术是指将计算机技术应用于产品设计领域。最初的计算机是被设计用来进行科学计算的, 随着计算机和外部设备的发展, 很快人们发现它还可以用在其他的领域, 其中之一是用于产品辅助设计。计算机辅助设计(computer aided design, CAD)便是数字化设计最初的应用。随着研究的深入, 数字化设计已经不仅仅局限在CAD。对于数字化设计技术比较完备的定义是: 数字化设计技术是基于产品描述的数字化平台, 建立基于计算机的数字化产品模型, 并在产品开发全程采用, 达到减少或避免使用实物模型的一种产品开发技术<sup>[4]</sup>。

### 2.2 特点

1) 具有统一的产品定义模型。传统设计在同一产品不同设计阶段具有多种定义模式, 重复定义

**[收稿日期]** 2006-04-04

**[基金项目]** 国家自然科学基金资助项目(50375152)

**[作者简介]** 阎楚良(1947-), 男, 内蒙古奈曼旗人, 中国农业机械化科学研究院研究员, 博士生导师, yancel@sina.com; 杨方飞(1978-), 男, 江苏盐城市人, 博士, 中国农业机械化科学研究院高级工程师, kingyff@163.com

不仅导致设计过程复杂性增加,而且在不同定义模型之间的转化容易引起数据缺失。数字化设计技术通过建立从产品设计到制造的单一数字化产品定义模型,也是面向产品生命周期管理(product life management, PLM)的基础。

2) 实现并行设计。一项设计工作可由多个设计队伍在不同的地域分头并行设计、共同装配,形成一个可完成强度、可制造性、成本和功能测试的完整的数字化模型。由于面向产品生命周期的产品模型信息的完备性,数字化设计有助于实现产品的面向装配的设计(design for assembly, DFA)、面向制造的设计(design for manufacturing, DFM)和面向维修的设计(design for serviceability, DFS)等的DFX设计,DFX设计在提高产品设计质量与速度方面具有重要的意义。

3) 设计过程中减少或避免实物模型的制造。传统设计在产品定型生产前需经过“样机生产—样机测试—修改设计”的过程,且需反复多次,这不仅耗费物力、财力,还使得产品上市周期延长。数字化设计则在制造实物模型之前,先进行计算机仿真分析与测试,排除某些设计不合理性。

4) 面向装配。数字化设计技术建立的基本数学模型是面向装配体的产品模型,而非单个零件。它集成了零部件和装配的全部可用信息,形成了一个包括各种信息的数字化产品模型,可被不同设计环节的众多工程师使用。数字化设计技术可跟踪查寻高度复杂的零部件和大型装配之间的内部关系,并可方便地更改设计。

### 3 当今数字化设计技术研究的热点

#### 3.1 计算机辅助概念设计(CACD)

根据现代设计程式化、逻辑化的产品设计思想,产品开发有一定程序可以遵循。国内外对产品开发设计过程的模型有许多论述,如Pahl等指出,机械设计分为明确任务、概念设计、技术设计和施工设计等4个阶段<sup>[6]</sup>;邹慧君教授提出的机械设计分为产品规划、方案设计、详细设计和改进设计等4个阶段<sup>[7]</sup>。

概括上述产品设计过程,主要分为概念设计(conceptual design)和构型设计(configuration design)。前者的目的是制定出方案,后者的目的是设计出具体的构型。概念设计的重要地位日益突出,概念设计的结果是产品方案,它最终决定着产品的

功能、质量、价格、交货期等企业竞争力构成要素。据统计,概念设计阶段实际投入的费用只占产品开发总成本的5%,却决定了产品总成本的70%<sup>[8]</sup>。CAD系统主要面向产品详细设计阶段,只能解决产品的二维和三维描述,而对于产品的概念设计没有提供有力的支持,不能充分地体现设计人员的创新设计思维活动,不是真正意义上的计算机辅助产品设计。从20世纪80年代后期开始,计算机辅助概念设计(computer aided conceptual design, CACD)技术逐渐受到人们的重视,目前已成为设计领域的研究热点之一。

实现计算机辅助概念设计的关键技术是产品信息建模和推理技术。在概念设计阶段,产品信息建模主要分为功能信息建模和几何信息建模<sup>[9]</sup>。功能信息建模包括功能的表达和功能的分解与组合。对功能的表示方式主要有3种<sup>[10]</sup>。功能分解与组合是在功能表达的基础上,依据一定的作用原理,将总功能进行逐级分解,得到合适的若干子功能,然后确定各子功能的相互关系,实施功能的重组,进行功能结构的构思和设计。对于产品残缺几何信息如何描述、表达及操作,则是概念设计阶段几何信息建模的难点。推理技术有知识驱动和数据驱动两种驱动方式<sup>[11]</sup>。知识驱动应用于存在大量领域知识的情况下,典型技术如知识推理和优化;而数据驱动指依赖大量领域实际数据参与推理,如实例推理、神经网络和机器学习等,其中基于实例推理(cased-based reasoning, CBR)正成为一个重要的发展方向。

#### 3.2 知识工程(KBE)

知识工程(knowledge-based engineering, KBE)在数字化设计技术中的应用愈来愈广泛。现代设计之所以不同于传统的设计,是由于市场、竞争和技术进步形势的变化,它比过去任何时候都更加依赖于对新知识的获取,而不是依赖经验<sup>[2]</sup>。过去的一二十年间,在人工智能和知识工程等领域发展起来的基于框架等多种知识建模技术<sup>[12]</sup>,主要是为实现计算机对知识的智能推理,提高计算机智能服务。对于新知识的获取,通常有多个来源,谢友柏对知识获取的分析和方法进行了详细的研究<sup>[2]</sup>。

知识可分为显性知识(explicit knowledge)和隐性知识(tacit knowledge)<sup>[13]</sup>。对于显性知识和隐性知识的获取,许多学者做了研究<sup>[14-16]</sup>,但是在实现显性知识和隐性知识统一建模,进行知识与知

识、知识与人、知识与过程等知识集成等方面有待进一步研究<sup>[17]</sup>。

### 3.3 虚拟原型 (VP)

虚拟原型技术 (virtual prototyping, VP) 近年来作为数字化设计的一个重要分支, 得到了人们的普遍关注。虚拟原型技术是在 CAX/DFX 等技术基础上发展而来的, 它将信息技术、先进制造技术和先进仿真技术等应用于复杂系统全生命周期, 并进行综合管理, 从系统的层面来分析复杂系统, 支持“由上至下”的复杂系统开发模式<sup>[18]</sup>。

虚拟原型是根据产品设计信息或产品概念产生的在功能、行为和感观特性等方面与物理原型尽可能相似的可仿真的计算机模型。虚拟原型技术经过近 10 年的发展, 已经可以部分替代物理原型, 在产品设计中得到了广泛应用。虚拟原型与物理原型相比, 具有成本低、制作周期短、灵活性强、容易修改、在设计过程的早期阶段就可以建立等优势, 对提高产品设计质量和设计效率起到了很大的作用。大量相关研究表明<sup>[19,20]</sup>, 目前虚拟原型技术已由原来孤立的应用于产品设计过程的若干阶段, 逐步向产品全生命周期以及并行设计环境下的研究转变, 其中面向虚拟装配的虚拟原型技术因其对实际产品设计、生产的积极推动作用而成为热点之一<sup>[21,22]</sup>。

## 4 机械产品数字化设计技术的应用现状及发展趋势

农业机械作为机械产品中重要的一类, 对于农业产业的发展起着关键性的作用。20 世纪末, 美国工程技术界对农业机械化予以高度评价, 将其评为 20 世纪对人类社会生活影响最大的 20 项工程技术成就之一, 排名第 7 位。日本学者曾与美国学者合作, 总结美国 1880—1960 年的农业发展经验, 得出结论说, 农业机械化在美国农业生产率增长中的作用在 70% 以上。改革开放以来, 特别是自上世纪 90 年代起, 我国农业机械装备总量稳步增长, 农业机械作业水平逐步提高。我国农业机械化的巨大发展, 大大提高了农业劳动生产率, 提升了农业的综合生产能力, 加快了传统农业向现代农业转变, 不仅为实现我国农产品供给由长期短缺到总量基本平衡、丰年有余的历史性转变做出了积极贡献, 而且也促进了农村产业结构的调整、农村劳动力资源的优化配置和农民收入的提高, 增强了农业

对国民经济持续、快速、健康发展的支撑能力和保障能力。

但是, 我国农业机械化的发展也存在着一些问题, 主要表现:

一是总体水平还不高, 正处于基本实现农业机械化的初级阶段, 与发达国家相比还有很大差距。美国、加拿大、英国、法国、德国、澳大利亚等发达国家, 在 20 世纪 60 年代前就实现了高度农业机械化。耕地较少的日本和韩国, 在 70 年代也已进入了高度机械化发展阶段, 水稻全程机械化水平达到 95% 以上。特别是韩国只用了 20 年左右的时间就达到了日本战后 40 年达到的机械化水平。而我国农机耕、种、收 3 项作业平均机械化水平仅为 30%。目前, 我国机械化生产主要集中在粮食生产方面, 在三大粮食作物中, 除小麦的机播和机收水平相对较高外, 水稻栽植和收获及玉米机收水平还很低。在经济作物、养殖和农产品贮藏、保鲜及加工等方面, 标准化生产体系薄弱, 许多方面的机械化生产还是空白。

二是发展不平衡。耕种环节机械化水平高、收获环节机械化水平低; 粮食作物机械化水平高、经济作物机械化水平低; 东部地区、大城市郊区和粮食主产区机械化水平高, 西部和欠发达地区机械化水平低。

三是农机产品质量还有待进一步提高。以近 5 年来连续创造市场佳绩的联合收割机为例, 目前我国联合收割机的合格率仅为 44.4%, 其平均无故障工作时间也只有 20~30 h, 而国外同类产品多保持在 50~80 h 水平, 有关部门曾提出要实现平均无故障工作时间 40~50 h 的目标, 可惜至今还没有一个厂家能做到。拖拉机行业为我国农机行业中的老大, 其质量水平也让人乐观不起来, 其中大中型拖拉机的整体技术水平、质量、生产规模、企业素质与发达国家相比差距也很大, 特别是新产品品种不多, 发展滞后, 可靠性、使用寿命满足不了用户要求。有关专家就此曾下过这样结论: 我国现有农机产品技术水平与国外相比要相差 2~4 代, 时间约 20 年<sup>[23]</sup>。因此, 通过数字化设计技术, 提高我国农业装备的设计水平, 提升农业装备制造业企业在国际上的竞争力具有迫切的意义。

采用数字化对农业机械产品进行设计, 在产品开发的阶段运用数字化模型描述产品, 并对产品进行设计、开发、评价、修改。利用计算机进行

三维建模, 把产品的结构和零件全部用三维实体描述出来, 并且将各种技术要求、设计说明、材料公差等非几何信息以及各结构之间的相对位置表示清楚, 在此基础上进行虚拟装配, 检查零部件之间是否发生干涉, 以及检查零部件之间的间隙, 排除某些设计的不合理性, 最终形成数字样机。

数字样机作为制造依据, 能够实现精确设计, 极大限度减少了工程更改, 节省了大量工装模具和生产准备时间。机械零件是通过数字化模型来表达的, 各阶段共享模型数据, 因此在农业机械产品设计的同时, 可进行 CAE 分析计算、工装设计、工艺设计、可制造性分析, 并可借助于网络技术进行数字化传递, 为并行工程创造条件。与传统的设计方法相比, 采用三维数字化设计不仅使产品几何形状得以直观显示, 而且被赋予物理属性的三维模型可以为其后进行的设计分析、验证、模拟与仿真提供保障。

数字化设计技术要求有效地组织多学科的产品开发队伍, 充分利用各种计算机辅助工具, 并有效地考虑产品开发与生产的全过程, 从而缩短产品开发周期, 降低成本, 提高质量, 生产出满足用户需要的产品, 使企业在市场竞争中立于不败之地。

近年来, 将数字化设计技术应用于农业机械产品的研究与开发的实例正不断增多。在构型设计方面利用计算机辅助设计加速产品开发<sup>[24,25]</sup>, 利用计算机仿真对产品性能进行预测、优化产品结构等得到了人们的关注<sup>[26-28]</sup>。在农业机械产品概念设计方面的研究也有学者开始涉及<sup>[29]</sup>。今后数字化设计技术在农业机械中的发展趋势, 应注重以下几点:

1) 突出产品创新设计 (creative design)。随着技术进步和市场竞争的日益激烈, 产品的技术含量和复杂程度在不断增加, 产品的生命周期日益缩短, 创新成为产品的灵魂。以往产品创新主要集中于具体设计过程, 如今从产品的概念设计到详细设计的各个阶段均强调创新设计。谢友柏给出的创新设计的描述公式: 需求 (含潜在的需求) 的确认 → 技术可能 (含联想到的可能解) 扫描 → 矛盾统一设想 (概念) 的产生 → 经济、技术分析 (贯穿全过程) → 设想的优选和确认 → 结构的优选和确认 → 材料的优选和确认 → 加工过程的优选和确认<sup>[30]</sup>。可以看出, 产品创新设计涉及到数据开采、知识发现及其重用技术、知识的表达与组织、知识数据库的

开发、基于知识的决策技术等。我国农业机械设计制造企业的创新能力与国际先进水平有很大差距, 因此对产品创新设计的需求十分迫切。

2) 重视虚拟现实技术 (virtual reality, VR)。虚拟现实技术的出现, 给产品设计带来了一场新的革命, 它集 3D 图形、声音等多媒体为一身, 让设计者/用户身临其境地感受产品的设计过程, 体验其性能, 从而提高设计的成功率。该技术在农业机械设计及制造中非常重要。对于结构复杂、设计困难、设计周期长的大型农业机械的设计, 采用虚拟现实技术, 既便于模拟产品的某些性能, 又便于设计人员对产品的修改, 更便于用户针对产品的原型了解产品的结构和性能等, 提出反馈意见, 加快了产品投入市场的速度。目前国外已提出了两种基于 VR 的工程设计方法, 一种是增强可视化<sup>[31]</sup>, 它利用现有的 CAD 系统产生模型, 然后将模型输入到 VR 环境中, 用户充分利用各种增强效果设备如头盔显示器等产生临境感。另一种是 VR - CAD 系统, 设计者直接在虚拟环境中参与设计<sup>[32,33]</sup>。在国内相关的研究才刚起步, 尤其是 VR 在工程上的应用方面还缺乏一套较为完善的理论和方法。

3) 强调产品协同设计 (concurrent design)。农业机械制造企业面临着新的商业环境, 如产品定制需求的增多; 跨部门甚至跨企业共同协作进行产品设计与制造等, 因此, 产品设计制造的协同是现代企业适应全球经济的重要手段, 也是我国发展农业机械行业乃至整个机械行业所需要瞄准的方向。据估计, 发达国家制造业企业在新产品的开发过程中往往有 40% ~ 70% 的工作是与其他企业和合作伙伴合作完成的。如何从浩瀚的产品资源中选择合适的为己所用, 这就提出了在已有知识库中的搜索算法实现问题。PTC 公司的 Web 服务器上保存了众多世界领先的零件供应商的百余万个零件, 且每月增加几万个新的零件。尽管像 PTC 公司这样将所有资源都纳入自己的服务器的做法在搜索算法实现上较为容易, 但在我国目前采用是不现实的, 并且从长远看也不是方向。一个可行的办法就是由供应商在自己的服务器上提供零件的资源信息, 这样采用什么特征及其参数引导在众多的供应商之间搜索, 以及如何实现客户端各种异构的应用系统与服务器各种异构数据库之间信息的传递就成为应研究的方向。

## 5 结语

从欧美等西方国家制造业的发展历程来看,数字化设计技术首先帮助美、德等发达国家的农业机械制造业完成了一次产业升级,令其把竞争优势集中在“设计”这一产业价值链的上游。但是,对于我们这样的农业大国,如果对于技术含量高、农业结构调整急需的产品,如大马力拖拉机、农作物收获机械、农产品深加工装备等还不能很好供给,而需要依赖进口的现状不能改变,必然会影响农业产业化的进程。

进入21世纪,我国开始实施社会主义现代化建设第三步战略部署,进入全面建设小康社会、加快推进社会主义现代化的新的发展阶段。农业是国民经济的基础,农业机械化是农业现代化的基础,也是实现第三步战略部署和国民经济总体目标的基础,这一点已成为大家的共识。在最新公布的国家中长期科学和技术发展规划纲要中提到制造业领域要优先发展数字化和智能化设计制造。因此,将数字化设计技术引入农业机械行业是改变传统农业机械生产方式,用新技术改造传统农业,支持新兴农业技术,提高农业竞争力的重要手段。它将会对传统的农业机械行业的设计水平、农业装备制造业的水平起到重要的推动作用,将会使传统的农业机械设计、制造技术发生革命性的变化。

### 参考文献

- [1] 闻邦椿,周知承,韩清凯,等.现代机械产品设计与新产品开发中的重要作用——兼论面向产品总体质量的“动态优化、智能化和可视化”三化综合设计法[J].机械工程学报,2003,39(10):43~52
- [2] 谢友柏.现代设计与知识获取[J].中国机械工程,1996,7(6):36~41
- [3] 阎楚良主编.农业机械数字化设计新技术[M].北京:中国农业科学技术出版社,2003
- [4] 王新玉.数字化设计[M].北京:机械工业出版社,2003
- [5] 米小珍,刘晓冰.数字化开发技术中产品定义模型的研究[J].计算机集成制造系统——CIMS,2003,9(5):363~367
- [6] Pahl G, Beitz W. Engineering Design[M]. London: The Design Council, 1984
- [7] 邹慧君主编.机械设计原理[M].上海:上海交通大学出版社,1995
- [8] Hyeon H J, Parsaei H R, Wong J P. Concurrent engineering: The manufacturing philosophy for the 90's [J]. Computer Industry Engineering, 1991, 21(1—4): 34~39
- [9] 舒慧林,刘继红,钟毅芳.计算机辅助机械产品概念设计研究综述[J].计算机辅助设计与图形学学报,2000,12(12):947~953
- [10] 张翰,张永清,周雄辉.计算机辅助概念设计研究[J].机械科学与技术,1999,18(2):333~335
- [11] 关立文,黄洪钟,赵正佳,等.机械产品概念设计:综述与展望[J].机械设计,2001,(8):5~9
- [12] Devedzic V. A survey of modern knowledge modeling techniques[J]. Expert Systems with Applications, 1999, 17(4): 275~294
- [13] Nonaka I, Takeuchi H. The knowledge-creating company [M]. Oxford: Oxford University Press, 1995
- [14] Noh J B, Lee K C, Kim J K, et al. A case-based reasoning approach to cognitive map-driven tacit knowledge management[J]. Expert Systems with Applications, 2000, 19(4): 249~259
- [15] Richard T H, Hamid N, David S. Tacit to explicit knowledge conversion: knowledge exchange protocols[J]. Journal of Knowledge Management, 2001, 5(1): 107~116
- [16] Nishida T. A traveling conversation model for dynamic knowledge interaction [J]. Journal of Knowledge Management, 2002, 6(2): 124~134
- [17] 潘旭伟,顾新建,仇元福,等.面向知识管理的知识建模技术[J].计算机集成制造系统——CIMS,2003,9(7):517~521
- [18] 熊光楞,李伯虎,柴旭东.虚拟样机技术[J].系统仿真学报,2001,13(1):114~117
- [19] 赵文辉,张鲁峰,李思昆.基于渐进式虚拟原型的并行设计方法[J].计算机辅助设计与图形学学报,2003,15(4):475~479
- [20] 苟凌怡,熊光楞,杨流辉,等.支持虚拟样机的协同仿真平台关键技术研究[J].系统仿真学报,2002,14(3):348~355
- [21] 管强,刘继红,钟毅芳,等.虚拟环境下面向装配的设计系统的研究[J].计算机辅助设计与图形学学报,2001,13(6):1~7
- [22] Jayaram S, Connacher H, Lyons K. Virtual assembly using virtual reality techniques [J]. Computer Aided Design, 1997, 29(8): 575~584
- [23] 阎楚良,等编著.农业机械数字化设计应用技术[M].北京:中国农业科学技术出版社,2004
- [24] 尹建军,赵匀,张际先.高速插秧机差速插秧机构的工作原理及其CAD/CAE[J].农业工程学报,2003,19(3):90~94

- [25] 陈田, 殷国富. 联合收割机脱粒滚筒参数化 CAD 方法的研究[J]. 机械工程学报, 2001, 37(1): 104 ~ 108
- [26] 张君媛, 黄金陵, 庄蔚敏. 基于知识的设计系统开发方法[J]. 农业机械学报, 2002, 33(6): 110 ~ 112
- [27] 王志华, 陈翠英. 基于 ADAMS 的联合收割机振动筛虚拟设计[J]. 农业机械学报, 2003, 34(4): 53 ~ 56
- [28] 王其东, 钱立军, 唐永琪, 等. 基于平顺性仿真的农用运输车悬架 CAD 研究[J]. 农业机械学报, 2000, 31(6): 25 ~ 27
- [29] 任文昌, 刘永红, 张优云. 农机产品计算机辅助概念设计[J]. 农业工程学报. 2003, 19(3): 33 ~ 36
- [30] 谢友柏. 制造业产品的“创新”与我国现代设计网络[J]. 中国机械工程, 1998, 9(11): 1220 ~ 1223
- [31] Tushar H Dani, Rajit Gadh. Creation of concept shape design via a virtual reality interface[J]. Computer Aided Design, 1997, 29(8): 555 ~ 563
- [32] Chi-Cheng P Chu, Tushar H Dani, Rajit Gash. Multi-sensory user interface for virtual reality-based computer-aided design system[J]. Computer Aided Design, 1997, 29(10): 709 ~ 728
- [33] Mark Mine. ISAAC: a meta-CAD system for virtual environments[J]. Computer Aided Design, 1997, 29(8): 547 ~ 553

## Digitized Design Technology and Its Application in Agricultural Machinery Design

Yan Chuliang, Yang Fangfei

(Chinese Academy of Agricultural Mechanization Sciences, Beijing 100083, China)

**[Abstract]** To date, conventional design is gradually converted to modern design. As a synthetic technology, the digitized design technology contains the latest technologies in modern design, and as the premise of it. In this paper, the property of digitized design technology is analyzed based on the definition of it and the present research hot spots of digitized design at home and abroad, namely, CACD, KEB, VP are given. The digitized design technology being used in machinery (taking agricultural machinery as example) and its development trend in future, which gives prominence to products innovation design, thinks much of virtual reality technology, and emphasizes cooperative design and manufacture, are also discussed. The application of digitized design will lead to revolutionary change in agricultural machinery design and manufacture.

**[Key words]** digitized design; CACD; KEB; VP; creative design