

需求驱动的大型农机装备多性能互反馈设计关键技术

屠立 (浙江机电职业技术学院机械工程学院, 浙江杭州 310053)

摘要 针对大型农机装备的设计特征提出需求驱动的大型装备多性能互反馈设计关键技术, 主要包括基于灰理论分析与预测的多性能需求驱动技术; 大型农机装备多尺度目标性能建模与耦合技术; 基于多性能互反馈的大型农机装备多尺度重构技术。

关键词 大型农机装备; 多性能需求驱动; 建模与耦合; 多尺度重构

中图分类号 S220.5 **文献标识码** A **文章编号** 0517-6611(2015)15-334-02

Key Technology on Multi-performance Mutual Feedback Design Based on Requirement Driven of Large Agricultural Equipment TU Li (Department of Mechanical Engineering, Zhejiang Institute of Mechanical & Electrical Engineering, Hangzhou, Zhejiang 310053)

Abstract Key technology on multi-performance mutual feedback design based on requirement driven of large agricultural equipment was proposed aimed at the features of the large agricultural equipment. The multi-performance requirement driven technique based on gray theory analyses and forecasting, multi-scale target performance modeling and coupling technique, multi-scale restructuring technique based on mutual feedback were included.

Key words Large agricultural equipment; Multi-performance requirement driven; Modeling and coupling; Multi-scale restructuring

相比发达国家而言,我国大型农机在装备设计研发、工艺规划、制造技术等方面仍存在一定差距,大型农机装备的自主研发设计能力较为薄弱,缺乏自主知识产权和核心技术。因此,增强大型农机装备的研发设计能力已经成为我国大装备制造业进一步发展急需解决的关键问题。

大型农机装备开发设计及其下游的活动都是由客户需求驱动的。客户需求集中体现在产品性能的实现上,性能包括产品的功能和质量两个方面,质量是产品实现功能的程度和在使用期内功能的保持性,是功能在全生命周期中偏离期望值程度的度量,依附于功能而存在。因此,其设计可以认为是采用适当的设计技术与设计系统,围绕如何设计出满足客户个性化性能需求的产品展开。

1 大型农机装备的多性能互反馈设计关键技术

1.1 基于灰理论分析与预测的多性能需求驱动技术^[1-2]

1.1.1 动态多性能需求的灰理论定量分析与预测。基于灰理论中的灰关联度分析和GM(1,1)模型,利用灰关联度分析从模糊、不明显和非量化的客户需求中分析客户对产品多性能的真实偏好及水平,并获取相应的性能需求重要度。基于GM(1,1)模型,根据在4个以上时间段内获得大型装备多性能需求重要度进行趋势预测。

1.1.2 多性能需求信息向敏感设计变量的跨域映射。大型装备的设计参数经历客户需求域、产品性能域、设计变量域和模块结构域的多域映射。使用QFD和灰度预测模型,实现多性能模糊需求信息向定量设计性能指标的转化;采用产品独立优化和变量敏感度聚类,寻求满足关键性能指标的敏感设计参数;通过DSM和变化传播分析,实现基于敏感变量的产品性能合理规划。在此基础上,通过产品结构性能、行为性能和目标性能的有机融合,进而驱动大型装备多性能互

反馈的大型装备多尺度重构设计。

1.2 大型装备多尺度目标性能建模与耦合技术^[3-4]

1.2.1 多尺度目标性能特征耦合关系建模。在大型装备目标性能融合过程中引入尺度变量,由每个层次上各个尺度节点处的状态向量构成的向量集合就是对相应目标性能实现过程的一个多尺度表示。目标性能多尺度融合在零件尺度、部件尺度和整机尺度之间是一个递归的融合关系,通过分析两个输入性能特性与两个输出性能特性耦合关系、输入性能特性之间耦合关系、输出性能特性之间耦合关系,利用矩阵的形式建立多尺度性能特性耦合关系矩阵,根据3层质量特性的关系,建立多尺度目标性能特征耦合关系模型。

1.2.2 多尺度目标性能耦合关系解耦机理及模型。通过分析目标性能特征耦合关系类型,可得出虽然目标性能在设计、制造阶段有不同的内容,但是目标性能特性耦合的本质是相同的;通过分析不同类型的耦合关系,可得出各类型耦合问题的解耦机理。在此基础上,对目标性能特性的传递与耦合过程进行分析,表明在任何阶段和层次上,目标性能特性解耦的本质是相同的,从而可建立统一的目标性能特性解耦模型。

1.2.3 基于MSRE的大型装备目标性能耦合优化。传统大型装备目标性能特性优化设计都假定设计参数不受外界条件的干扰,求解出的最优解都位于可行域的边界上,但在实际过程中由于各种不确定因素,容易使设计参数的值发生改变,可能使最优解移动到可行域外,造成优化失效的问题。建立基于最小灵敏度评估(MSRE)的大型装备多尺度目标性能稳健优化模型,采用广义差分多目标进化算法求得多目标性能稳健优化问题的优化解集。

1.3 基于多性能互反馈的大型装备多尺度重构技术^[5]

1.3.1 构建大型装备多性能的互反馈体系。面对影响大型装备设计的两个主要方面,需要设计的产品各种性能所受的客观作用(P)和在该作用下大型装备所作出的反馈(E)。二者互反馈作用共同构建了支持和决定大型装备设计的“作用-反馈”体系(S),根据集合理论将“作用-反馈”体系形

基金项目 国家自然科学基金资助项目(复杂装备可重构与再生配置设计关键技术研究,50905159)。

作者简介 屠立(1966-),男,陕西西安人,教授,从事产品优化设计技术设计技术、制造业信息化研究。

收稿日期 2015-04-01

式化的表达为: $S = PUE$ 。

1.3.2 基于多性能互反馈的多尺度重构准则。在大型装备重构设计过程中,对不同尺度上产品的性能及物理特性的要求也是不相同的。在零件尺度上,要求模块内部零部件性能之间具有一定的聚合性;在部件尺度上,要求模块单元性能之间具有相对的独立性;同时还要考虑到在产品尺度上,模块规划重构的结果对产品整体性能稳定性的影响。分析产品模型不同结构尺度上的性能特性,提出基于多性能互反馈的多尺度重构准则。

1.3.3 基于多性能聚合的大型装备多尺度重建建模。面向零件尺度上多性能内部聚合性准则考虑同一性能中零部件的内部聚合度,在零件尺度上,使零部件的内部性能在聚合度达到最大。面向部件尺度上性能的外部独立性准则考虑的是质量簇间综合相对耦合性,在部件尺度上,使多性能间的相对耦合度达到最小。面向产品尺度上多性能整体稳定性准则考虑的是多性能设计需求的一致性,在产品尺度上,使得产品的稳定性最佳。

1.3.4 基于改进 Pareto 算法的大型装备多性能规划重构。在分析大型装备产品族及其组成单元多性能特性的基础上,运用模糊数学理论建立功能质量多性能规划的数学模型,通过改进的强度 Pareto 进化算法(SPEA2+)对产品族多性能划分方案进行优化,得到产品族性能的最优划分解。通过对产品多性能的规划重构,使得性能内部凝聚性最大,性能间关联性最小,提高了产品多性能间的聚合度,降低了多性能间的耦合度,从而使产品性能稳定性最佳。

2 大型农机装备多性能互反馈设计的研究内容

2.1 构建多性能互反馈设计知识库 大型农机装备多性能互反馈设计是基于知识的设计技术,构建结构合理,知识容量大的设计知识库是本项目研究的重要一环。基于需求驱动的大型装备多性能互反馈设计关键技术涉及的主要知识有:产品性能行为、产品族结构、互反馈规则、多性能需求等知识,构建上述知识库需要研究设计知识的数据结构、获取与表达、检索与更新、知识库管理系统选型等技术。

2.2 多性能需求的灰理论分析与预测 引入灰色系统理论,提出了一套有效的 QFD 多性能需求重要度多属性动态配置决策方法。利用灰关联度分析从模糊、不确定和非量化的客户需求中分析其对产品性能的真实偏好及水平,提高 QFD 中多属性决策的可靠性与准确性,GM(1,1)灰关联度预测模型能够在数据量较少的条件下做出准确预测,减少了收集大量数据所需的工作量与分析时间,快速地对每个性能属性进行动态评价和调整。

2.3 动态多性能需求信息向敏感设计变量的映射 反映动态多性能需求信息的最直接因素是产品的关键性能属性及其相关敏感设计变量值,因此需要首先建立性能需求与变量的映射关系。使用大型装备历史销售数据分析、竞争因素分析和技术变化趋势分析等,确认装备的目标市场、面向目标市场的派生产品和市场动态因素。通过性能需求的功能配置,分析客户需求所对应的性能指标,得到系列产品的敏感

设计变量。

2.4 建立多尺度目标性能特征耦合模型 通过分析两输入目标性能特性与两输出目标性能特性耦合关系、输入目标性能特性之间耦合关系、输出目标性能特性之间耦合关系,利用矩阵的形式建立多尺度目标性能特性耦合关系矩阵。将目标性能特性的映射分为输入目标性能特性,中间层目标性能特性与输出目标性能特性。输入目标性能特性之间具有自相关性,该耦合关系必然造成输出目标性能特性的耦合。多个中间层目标性能特性同时受到多个输入目标性能特性的影响,便造成映射过程的耦合,最终便可形成输出目标性能特性的耦合,根据三层质量特性的关系,建立耦合关系模型。

2.5 大型装备多尺度目标性能耦合关系解耦 研究各耦合问题的实现顺序和解耦顺序,分析耦合因素的隶属度函数和判定耦合因素耦合强弱弱的准则。通过对目标性能特性的传递与耦合过程的分析,表明在任何阶段和层次上,目标性能特性解耦的本质是相同的,从而建立统一的质量特性解耦模型。

2.6 大型装备目标性能耦合优化设计 目标性能耦合优化设计根据大型装备目标性能耦合设计数学模型,经过产品目标性能特性设计计算、基于 MSRE 的质量特性稳健求解、基于模糊集合理论的 Pareto 稳健选优 3 个步骤实现。建立基于最小灵敏域评估(MSRE)的产品目标性能特性稳健优化数学模型,采用广义差分多目标进化算法求得多尺度目标性能特性稳健优化问题的 Pareto 稳健优化解集。解决传统机械产品目标性能特性优化设计都假定设计参数不受外界条件的干扰,求解出的最优解都位于可行域的边界上,但在实际过程中由于各种不确定因素,容易使设计参数的值发生改变,可能使最优解移动到可行域外,造成优化失效的问题。

2.7 建立大型装备多性能的互反馈体系 大型装备的性能可以认为是产品与其所受客观作用的相互反馈,而装备对相关各因素作用和影响的反馈不仅仅表现为产品的功能属性。在更为广泛的层面上,设计者需要同时面对影响大型装备设计的两个主要方面是需要设计的装备所受的客观作用(P)和在该作用下装备所作出的反馈(E)。二者共同构建了支持和决定大型装备设计的“作用-反馈”体系(S)，“作用-反馈”体系可形式化的表达为: $S = PUE$, 根据对象结构公理: “作用-反馈”体系的结构可表达为: $S = (PUE)$ 。

2.8 建立多性能互反馈的多尺度重构准则 在大型装备重构设计过程中,在不同尺度上对性能及物理特性的要求也是不相同的。当装备模块划分尺度越小时,易于性能与客户需求之间映射,有利于客户参与产品定制设计,产品的定制性增强。装备组件划分尺度越大时,多性能之间的解耦概率增大,易于性能结构独立性分解。因此,在零件尺度上,要求模块内部零部件之间具有一定的聚合性;在部件尺度上,要求模块单元之间具有相对的独立性;同时还要考虑到在产品尺度上,模块规划重组的结果对产品整体稳定性的影响。

(下转第 338 页)

射灌浆墙方案。

3.3 高压喷射灌浆墙设计

3.3.1 墙体主要设计指标。参照国内外已建和类似工程,坝基中板墙的厚度取为 20 mm;渗透系数 $k \leq i \times 10^{-6} \text{ cm/s}$, $R_{28} \geq 3 \text{ MPa}$ 。

3.3.2 高压喷射灌浆墙体深入基岩的深度。参考有关资料、已建工程,并结合《碾压式土石坝设计规范》SL274—2001,第 6.2.12 条帷幕的底部伸入基岩 1.50 m。

3.3.3 孔距、排距的确定。孔距的大小直接关系到防渗的效果和防渗墙的造价,参考有关资料、已建工程和现场围井试验最终确定高喷灌浆的孔距 1.2 m,采用单排。

3.3.4 高压喷射灌浆墙主要技术指标。工程高压喷射灌浆墙的连接方式采用折线连接方式,喷灌角度采用 20° ,喷管提升速度 $6 \sim 8 \text{ m/s}$,高喷压力 $30 \sim 40 \text{ MPa}$ 。

3.3.5 工艺参数。

高压喷射灌浆工艺参数

水压 // kg/cm^2	250 ~ 400
水排量 // L/min	75
气压 // kg/cm^2	4.5 ~ 8.0
气排量 // L/min	600 ~ 1 300
浆水压力 // kg/cm^2	3.0 ~ 6.0
排量 // L/min	60 ~ 90
喷嘴直径 // mm	2 ~ 4
提升速度 // cm/s	6 ~ 5

3.3.6 灌浆材料。高压喷射灌浆材料采用新鲜 425 号普通硅酸盐水泥,浆液配比:水泥:水:1 ~ 1.5。

4 防渗效果

双城水库工程除险加固工程于 2002 年完成除险加固,2002 年冬天进行了蓄水,水库运行水位已达正常蓄水位,经

过 10 年运行未发现异常,保护了下游 21×10^4 人口, $2.13 \times 10^4 \text{ hm}^2$ 耕地的防洪安全,将保护对象的防洪标准由 20 年一遇提高到 30 年一遇。每年为灌区供水 $1 728.25 \times 10^4 \text{ m}^3$,满足灌区用水要求。取得了良好社会效益。

5 结论

(1) 双城水库大坝为壤土均质坝,坝基为砂卵砾石层,建坝初期未对坝基采取防渗处理,水库运行初期未能真正发挥应有效益,所以水库防渗处理必须在建坝蓄水前进行,确保工程正常运行。

(2) 对双城水库大坝坝基防渗处理采用高压喷射灌浆,其对已建工程较经济、适用,是已建工程一种较好的防渗处理方案。

(3) 坝基采用高压喷射灌浆处理时必须按照设计初拟参数,进行现场试验,并采用围井对设计参数进行复核。

(4) 对从坝顶钻进的高压喷射灌浆墙,必须严格控制参数,采取可靠的观测措施防止压力过高将坝体劈裂,破坏原坝体。

参考文献

- [1] 姚文秀. 高压喷射灌浆在大梁水库坝基处理中的应用[J]. 人民黄河, 2007, 29(12): 79 - 80.
- [2] 张树山. 水利水电施工中的高压喷射灌浆施工探析[J]. 民营科技, 2014 (2): 186.
- [3] 董晓峰, 刘伟山. 高压喷射灌浆防渗技术在水库大坝基础处理中的应用分析[J]. 民营科技, 2014 (7): 163.
- [4] 赵和辉, 杨宏波. 高压喷射灌浆在坝基防渗中的应用效果分析[J]. 甘肃水利水电技术, 2011, 47(10): 34 - 36.
- [5] 蒋礼节, 蒋菲. 高压喷射灌浆在水库大坝除险加固中的应用探讨[J]. 黑龙江水利科技, 2014(6): 185 - 186.
- [6] 戴永坚. 高压喷射灌浆在尹回水库除险加固工程中的应用[J]. 水利规划与设计, 2013(1): 48 - 51.
- [7] 张爱华. 高压喷射灌浆在新疆某水库除险加固中的应用[J]. 水利与建筑工程学报, 2010, 8(5): 57 - 59.
- [8] 何维结. 高压喷射灌浆技术在东方红水库除险加固工程中的应用[J]. 科技资讯, 2013(17): 43 - 44.

(上接第 335 页)

2.9 大型装备基于多性能互反馈的多尺度规划重构 针对目标加权法在模型求解中的不足,采用改进的强度 Pareto 智能进化算法对大型装备基于多性能互反馈的多尺度规划重构问题进行求解。提出的基于 pareto 进化算法(SPEA2+)算法的大型装备基于多性能互反馈的多尺度规划重构。SPEA2+ 智能进化算法具有更强的搜索能力,并能在设计空间获得解集更分散的 Pareto 集,能更准确、有效地得到透平膨胀机产品族功能质量在多个尺度作用下的最佳规划重构方案应用效果。多尺度规划重构的结果在零件尺度上,提高了产品质量的内部聚合性,在部件尺度上,降低了质量间的耦合性,在产品尺度上,增强了定制产品的稳定性。

3 结论

大型农机装备的设计过程不是简单、独立的,而是一个涉及多个环节、多项设计技术、多种设计知识的混合过程。

现有产品设计方法难以从产品的多尺度、多性能角度出发,使多设计过程和多设计知识实现互相传递和反馈。建立一种由多性能需求驱动的,将种类多样、领域广泛、结构复杂的设计过程和设计知识集成在一起的,可通过各个设计环节中性能信息的互相反馈作用及时调整设计策略的大型装备设计链,从而能够准确、快速、高效的设计出满足客户多性能需求的产品。

参考文献

- [1] 方辉, 谭建荣, 殷国富, 等. 基于灰理论的质量屋用户需求分析方法研究[J]. 计算机集成制造系统, 2009, 15(3): 576 - 584.
- [2] 刘思峰, 党耀国, 方志耕, 等. 灰色系统理论及其应用[M]. 北京: 科学出版社, 2004.
- [3] 丁力平, 谭建荣, 冯毅雄, 等. 基于 Pareto 蚁群算法的拆线线平衡多目标优化[J]. 计算机集成制造系统, 2010, 15(7): 1406 - 1413, 1429.
- [4] 李中凯, 谭建荣, 裴乐森, 等. 基于强度 Pareto 进化的注塑机注射性能多目标优化[J]. 计算机集成制造系统, 2007, 13(11): 2162 - 2168, 2183.
- [5] 高一聪, 冯毅雄, 谭建荣, 等. 制造资源耦合映射与模糊匹配技术研究[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2012, 24(3): 290 - 298.