

斗杆结构尺寸表达形式对智能优化进程的影响

罗承旭,林述温,林航

(福州大学 机械工程及自动化学院,福建 福州 350108)

摘要:现有挖掘机斗杆结构使用的尺寸表达形式使优化过程中几何形状约束处理耗时长,直接影响了智能优化过程的效率和质量。针对上述问题,研究不同斗杆结构尺寸表达形式对几何形状约束及优化目标对应力约束的灵敏度,提出了新的尺寸表达形式,经分析得出:在新尺寸表达形式下优化过程几何形状约束处理得到简化,极大提高了智能优化过程的效率和质量。

关键词:尺寸表达形式;几何形状约束;灵敏度;参数化建模

中图分类号:TP202+.7 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2019)04-0093-04

Influence of Size Expression Form of Stick Structure on Intelligent Optimization Process

LUO Chengxu, LIN Shuwen, LIN Hang

(School of Mechanical Engineering and Automation, Fuzhou University, Fuzhou 350108, China)

Abstract: If the existing size expression form of the excavator stick structure is used in the optimization process, it takes a long time of the geometric shape constraint processing thus directly affecting the efficiency and quality of the intelligent optimization process. For this, this paper studies the sensitivity of different stick structure expressions to geometry constraints and the stress constraints of optimizing the target, and proposes a new size expression form. It comes to the conclusion that in the new size expression form of the stick structure, the geometric shape constraint is simplified, thug greatly improving the efficiency and quality of the intelligent optimization process.

Keywords: size expression form; geometry constraint; sensitivity; parametric modeling

0 引言

反铲液压挖掘机斗杆结构种类多样,同一种斗杆结构可以采用不同的结构尺寸表达形式,不同的结构尺寸表达形式会对整个优化模型的约束处理机制产生影响。斗杆结构优化设计的目标在于满足结构强度性能要求的前提下实现斗杆各板件总体积最小,而优化过程中往往涉及多种约束,主要为几何形状约束、结构强度特性约束、参数区间约束^[1-5]。斗杆结构尺寸表达形式会直接影响斗杆结构优化模型中的几何形状约束和强度约束的处理机制,从而影响优化的效率和结果。

传统的斗杆结构尺寸表达形式如图 1 所示^[6],以下简称“方案一”。图中 A 为弯板处倒角圆心, K 为弯板与上盖板的连接线垂直于纸面的投影点, F 为与动臂连接铰孔的圆心, N 为与连杆连接铰孔的圆心, Q 为与铲斗连接铰孔的圆心, E、G 分别为与斗杆液压缸及与铲斗液压缸连接铰孔圆心。该类型斗杆结构几何形状的合理性主要与点 A、点 K 及 F、N、Q 三位置铰孔的外径有密切的关系。方案一中,结构尺寸参数 SKE、HKF、SAE、HAF 虽直观反映出结构点 K、A 与铰孔 E、F、G 的位置关系,但参数化建模时仍容易导致斗杆形状畸形,故为实现智能优化过程中对斗杆几何形状进行约束。文献[6]在优化模型中建立了几何形状约束模型,该约束模型包括斗杆结构参数尺寸约束和几何形状分类特征矩阵。建立几何形状分类特征矩阵需要在结构参

数区间内随机抽样用于建模并剔除建模失败和畸形样本,之后合理分类样本并对每一类几何形状特征矩阵进行反复训练、检验。可见该几何形状约束模型构造十分复杂,且在优化过程中需不断利用此模型对斗杆进行几何可行性判断及畸形斗杆调优,约束处理进程缓慢,斗杆结构尺寸表达形式还影响到应力约束模型的通用性。因此,有必要研究一种新的斗杆结构尺寸表达形式,使得几何形状约束和强度约束得到简化,从而提高优化的效率和质量。

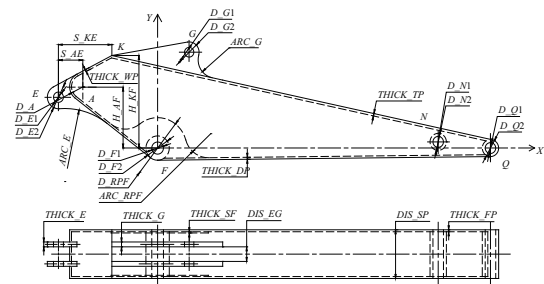


图 1 常见的斗杆结构尺寸表达形式(方案一)

1 不同的斗杆结构尺寸表达形式对智能优化设计约束的影响

本文针对单液压缸普通型耳板分离式斗杆的结构尺

作者简介:罗承旭(1992—),男,福建三明人,硕士研究生,研究方向为工程机械智能优化。

寸参数表达形式进行分析:

现有的斗杆结构尺寸表达形式^[6-7]下的几何形状约束是在机构参数确定的前提下进行的。首先对该类型斗杆实例进行统计分析,拟定图1所示的各结构尺寸参数的合理取值区间,利用拉丁超立方抽样技术^[8]在参数取值区间内进行均匀抽样,得到200组样本;以VC++为开发环境,利用PTO/TOOLKIT工具包提供的库函数和头文件对Pro/E三维造型软件进行二次开发,编写参数化建模模块,通过MFC基础类库开发的人机交互界面传递样本尺寸参数异步调用Pro/E,进行斗杆样本的批量参数化建模。对建模后的样本进行分析后发现:

方案一的200组样本在批量建模时,由于所抽取的尺寸参数不能组成完整实体,就有52组斗杆样本建模失败,通过检视建模成功的组样本时发现又有18个样本出现图2和图3所示的畸形结构,所以在智能优化过程中,方案一的寻优样本存在几何不可行和畸形结构,需要在各结构参数尺寸约束的基础上附加几何形状分类特征矩阵,对寻优样本进行几何可行性判断,并对畸形斗杆结构作出调整。该约束处理过程繁琐且可靠性低,使几何形状约束处理过程耗时长,降低了优化的效率,影响优化的质量。

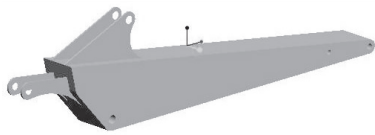


图2 畸形结构1

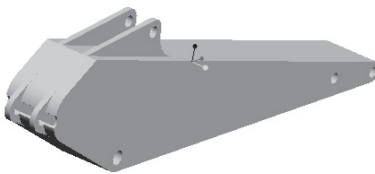


图3 畸形结构2

为此,本文提出了一种新的斗杆结构尺寸表达形式如图4所示,以下简称方案二。图中 P_{D1} 为铰孔中心 F 点到弯板上侧上边缘的垂直距离, P_{D2} 为铰孔中心 F 点到上盖板上边缘的垂直距离, A_K 为弯板上侧与上盖板之间的夹角, A_F 为弯板下侧与下盖板之间的夹角, D_A 为弯板倒角直径,该方案用 P_{D1} 、 P_{D2} 、 A_K 、 A_F 、 D_A 5个关键结构尺寸变量表达关键结构点 A 、 K 。

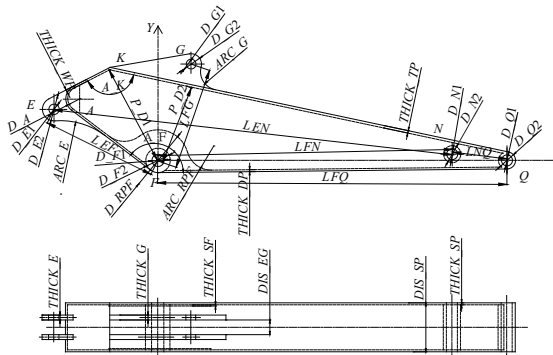


图4 新斗杆结构尺寸表达形式(方案二)

利用斗杆结构方案详细设计知识库确定新尺寸表达形式下各结构参数取值区间,如表1所示。利用拉丁超立方抽样技术进行均匀抽样,获取200组样本,利用斗杆结构参数化建模块进行各样本的参数化建模,所得结果全部几何可行,未出现畸形斗杆结构,因而在智能优化过程中,只需通过对各结构变量施加尺寸区间约束就能保证各寻优样本全部几何可行。无需建立复杂的几何形状分类特征矩阵,从而极大地提高了优化的效率。

表1 新尺寸表达形式下各结构参数取值区间 mm

结构参数	取值范围	结构参数	取值范围	结构参数	取值范围
D_{F1}	[70,95]	DIS_{SP}	[220,420]	ARC_E	[1100,1400]
D_{F2}	[140,190]	DIS_{EG}	[80,160]	ARC_G	[300,500]
D_{E1}	[55,75]	ARC_{RPF}	[300,500]	D_{RPF}	[300,550]
D_{E2}	[100,150]	$THICK_{SF}$	[10,30]	D_A	[150,250]
D_{G1}	[55,75]	$THICK_{TP}$	[5,20]	P_{D1}	[680,850]
D_{G2}	[110,150]	$THICK_{DP}$	[5,25]	P_{D2}	[600,780]
D_{N1}	[40,55]	$THICK_{FP}$	[5,25]	A_K	[109,140]
D_{N2}	[75,110]	$THICK_{WP}$	[10,30]	A_F	[130,165]
D_{Q1}	[50,65]	$THICK_E$	[15,40]	—	—
D_{Q2}	[90,130]	$THICK_G$	[15,40]	—	—

另外,新尺寸表达形式下的各结构参数取值区间能适用于一定范围内的机构参数,从而使新尺寸表达形式下的几何形状约束模型通用性较方案一更好,突破了方案一中的几何形状约束仅适用于机构参数固定条件下的局限,表1适用的机构参数范围如表2所示。

表2 新尺寸表达形式下结构参数取值区间所适用的机构参数范围 mm

机构参数	L_{EF}	L_{FG}	L_{FN}	L_{FQ}	L_{EQ}	L_{GN}	L_{NQ}
上限	852	750	2 113	2 500	3 460	2 075	380
下限	1 050	924	3 665	3 180	4 092	2 480	500

新尺寸表达形式下的斗杆结构智能寻优步骤为:智能优化设计参数初始化—导入结构详细设计方案—区间约束及结构性能约束—优化算法自主配置—优化前处理—遗传算法全局寻优—优化后处理—结束。同方案一相比,不必反复调用几何形状分类特征矩阵,有力地简化了优化过程约束处理,提高了优化的效率。

2 不同结构尺寸表达形式下结构变量对优化目标及应力约束的灵敏度分析

灵敏度分析是研究一个系统/模型的输出状态对系统参数敏感程度的一种方法,通过灵敏度分析可获知系统/模型中哪些参数对系统/模型有较大影响^[9]。本文主要分析不同尺寸表达方式下的斗杆结构尺寸参数对斗杆结构应力特征截面以及斗杆结构体积灵敏度的影响规律。通过Pro/E软件对斗杆结构批量参数化建模即可获得各

斗杆样本体积;根据 GB9141-88 规定的 4 种典型的挖掘工况,分别对方案一的 130 个斗杆样本和方案二的 200 个样本进行批量有限元分析,提取如图 5 所示的 10 个关键截面应力和综合最大应力。

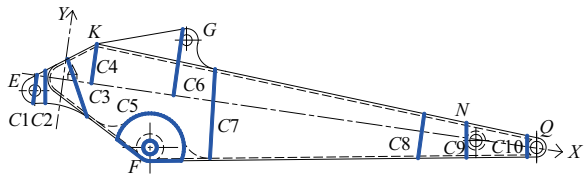
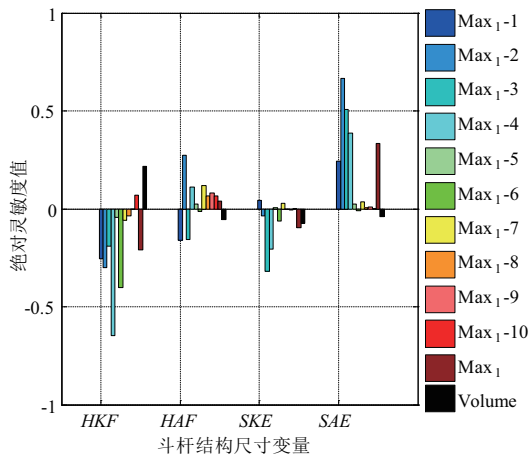
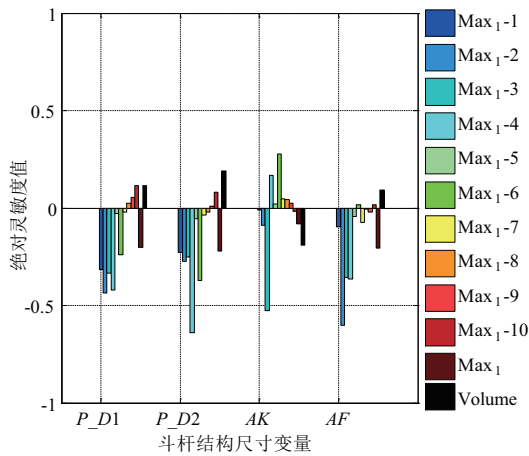


图 5 斗杆关键截面位置

利用 SPSS 统计学分析软件对 2 种尺寸表达方式下的各参数进行对关键截面应力、综合最大应力和体积的 spearman 秩相关分析,获得各参数相应的灵敏度,利用 MATLAB 软件绘制 2 种尺寸表达方式下的 4 个不同结构变量对应的灵敏度柱状图,结果的表达如图 6 和图 7 所示,其中 Max₁-1-Max₁-10 代表各结构尺寸变量对 10 个关键应力特征截面的灵敏度,Max₁ 代表各结构尺寸变量对关键应力特征截面综合最大应力的灵敏度,Volume 表示对体积的灵敏度情况。

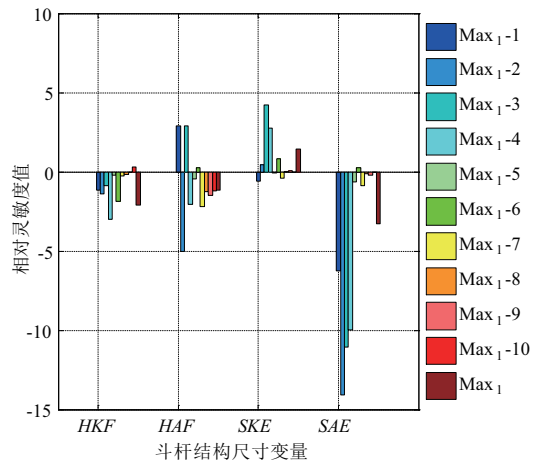


a) 方案一尺寸表达形式

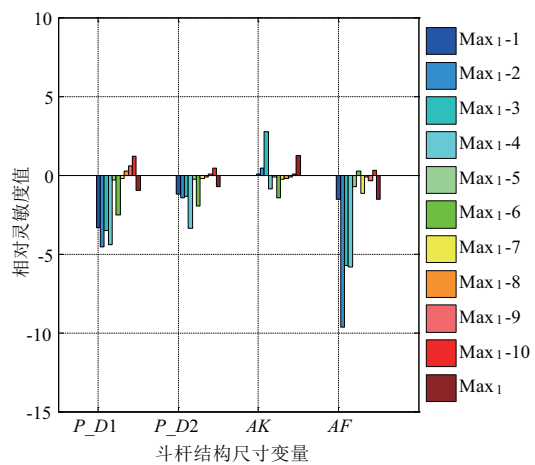


b) 方案二尺寸表达形式

图 6 4 个结构变量对关键截面应力、综合最大应力、体积的绝对灵敏度



a) 方案一尺寸表达形式



b) 方案二尺寸表达形式

图 7 4 个结构变量对关键截面应力、综合最大应力、体积的相对灵敏度

对比图 6 和图 7 可知:从体积优化目标灵敏度作对比,方案一 HKF、HAF、SKE、SAE 4 个结构变量对体积的灵敏度值分别为 0.215 2、0.054 4、0.074 9、0.039 0,灵敏度绝对值总和为 0.383 5;方案二 P_D1、P_D2、AK、AF 4 个结构变量对体积的灵敏度值分别为 0.115 4、0.189 0、0.191 0、0.092 4,灵敏度绝对值总和为 0.587 8,可见方案二 4 个结构变量对体积的灵敏度较方案二分布更加均匀,更有利于优化过程中参数的调节,方案二 4 个结构变量对体积灵敏度值总和比方案一更高,说明其对优化目标影响更大,有利于提高优化的效率。应力约束是智能优化模型最重要的约束之一,从综合最大应力灵敏度作对比,方案一 HKF、HAF、SKE、SAE 4 个结构变量对综合最大应力的灵敏度值分别为 0.210 6、0.038 9、0.094 4、0.332 2,灵敏度绝对值总和为 0.676 1;方案二 P_D1、P_D2、AK、AF 4 个结构变量对综合最大应力的灵敏度值分别为 0.200 0、0.222 0、0.080 9、0.205 0,灵敏度绝对值总和为 0.707 9,可见方案二 4 个参数与斗杆结构应力关系更为密切,有助于提高斗杆结构神经网络应力预测模型的预测精度。从综合最大应力对体积的相对灵敏度作对比,方案一与方案二 4 个结构变量的综合最大应力对体积的相对灵敏度值分别为

2.095 7、1.1746、1.4233、3.2833 与 0.9786、0.7152、1.2612、1.5176,相对灵敏度值总和分别为 7.9769、4.4726,可见方案一的4个结构变量对体积的相对灵敏度较方案二高很多,综合最大应力对体积的相对灵敏度值过高即对约束模型的灵敏度过高甚至超过对优化目标的灵敏度,对优化变量的调节是不利的,综合分析,显然方案二更好。

3 结语

本文结合实例,研究了挖掘机斗杆结构采用不同的尺寸表达形式,对智能优化设计中几何形状约束及优化变量灵敏度产生不同的影响,得出以下结论:

1) 斗杆结构尺寸表达形式直接影响智能优化的效率和质量。本文提出一种新的斗杆尺寸表达形式,只要控制斗杆各结构变量在合理的范围内,建模过程就不会产生几何形状畸形结构个体,即通过尺寸约束达到几何形状约束的目的,故在优化模型中无需因优化变量选取不当,而建立复杂的斗杆结构几何形状分类特征矩阵,从而大大简化了智能优化过程的效率,保证了优化的质量。

2) 斗杆结构新尺寸表达形式下的4个主要结构变量对优化目标的灵敏度分布更加均匀,且对优化目标的灵敏度总和比方案一更高,有利于提高优化的效率。

3) 斗杆结构新尺寸表达形式下的4个主要结构变量的综合最大应力对体积的相对灵敏度比方案一更低,有利于优化过程中优化变量的调节,避免优化过程陷入局部最

优点。

参考文献:

- [1] HUA Haiyan, LIN Shuwen. New Knowledge-based Genetic Algorithm for Excavator Boom Structural Optimization[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2014, 27(2), 392-401.
- [2] 王亚兵. 反铲液压挖掘机工作装置结构与性能一体化设计研究[D]. 重庆:重庆大学,2014.
- [3] Jin Chen, Fei Qing and Xiaoping Pang. Mechanism optimal design of backhoe hydraulic excavator working device based on digging paths[J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2004, 28(1): 213-222.
- [4] Jong-Won Kim, Seungmin Jung, Jinuk Kim, et al. Optimal design of the front linkage of a hydraulic excavator for multi-objective function[J]. Journal of Mechanical Science and Technology, 2014, 28(8): 3103-3111.
- [5] 杨铁明. 基于知识的综合多工况挖掘机斗杆结构优化设计关键技术研究[D]. 福州:福州大学,2012.
- [6] 张洋梅. 知识引导的挖掘机斗杆结构智能优化设计关键技术研究[D]. 福州:福州大学,2014.
- [7] 花海燕. 多层次知识集成引导的挖掘机机构智能优化设计新策略[D]. 福州:福州大学,2014.
- [8] 邓乾旺,文文. 基于拉丁超立方抽样的薄板装配误差分析[J]. 中国机械工程,2012,23(8): 947-951.
- [9] 梁明轩,王晓林,袁惠群,等. 基于响应面法的轿车减速齿轮可靠性灵敏度研究[J]. 中国机械工程,2016(4): 555-559.

收稿日期:2018-03-22