

文章编号 :1007 - 649X(2001)01 - 0084 - 02

# 均匀设计技术在机械设计中的应用

陈江义, 阳 培, 苏智剑

( 郑州工业大学机械与电子工程学院 河南 郑州 450002 )

摘 要 : 考虑到在机械设计领域中采用优化设计方法的局限性 , 结合均匀设计技术和优化设计思想 , 提出了一种优选设计的方法 . 该方法与一般优化设计方法相比 , 具有编程简单、对设计模型性态无严格要求的特点 , 是机械设计方法的一种补充 . 最后给出了利用该方法编制计算程序的思路以及具体算例 , 其结果验证了在机械设计中应用均匀设计技术的可行性 .

关键词 : 均匀设计 ; 优化设计 ; 机械设计

中图分类号 : TH 122 文献标识码 : A

## 0 引言

一般机械工程设计问题 , 都存在多解性、相对性和约束性的特征 , 设计的目的是求出满足约束的解 . 工程设计人员希望在这些解中寻找一个相对最优的解 . 随着计算机应用技术的不断深入 , 60 年代迅速发展了一种新的设计方法 , 即机械优化设计 . 它主要应用数学规划论与计算机技术 , 能使一项设计在有约束的情况下 , 可以得到一个技术经济指标相对最佳的方案 . 然而 , 在一些特殊情况下 , 如设计过程中目标函数或约束条件比较复杂 , 甚至可能包含有限元分析或者大型动态方程的求解 . 这样会使优化模型中的目标函数性态难以预测 , 在求解时会出现迭代时间过长、收敛性差甚至不收敛的现象 , 并且出现伪最优解的可能性增大 , 妨碍了优化设计方法在工程中的应用 . 为了解决这个问题 , 本文中均匀设计技术和优化设计思想相结合 , 提出一种简便的优选设计方法 .

## 1 均匀设计

均匀设计技术<sup>[1]</sup>是 70 年代末由中科院数学所方开泰教授与王元院士共同提出来的 . 它提出的背景是实验设计的需要 , 该技术最先主要用于配方设计 , 并取得了好的效果 . 如生产一种产品 , 它由 4 种成分组成 , 需要知道每一种成分的含量到底为多少时 , 产品质量最好 . 解决这个问题就需

要做实验 , 假定每种成分有 12 种配方比 ( 在实验术语中称为水平 ) , 那么做全面实验需要进行  $12^4$  次 , 该实验次数在实际中是无法接受的 . 正因为如此 , 在随后的实验设计中又产生了正交设计 , 它要求的实验次数最少是水平数的平方 , 对上述问题只需进行  $12^2 = 144$  次实验即可 . 然而 , 对于比较复杂的实验 , 144 次也是一个令人望而生畏的数字 . 在这种情况下 , 均匀设计的方法被提出来了 , 该方法将实验次数降到了只有水平数的一次方 .

均匀设计就是只考虑实验点在试验范围内均匀散布的一种试验设计方法 , 其数学基础是数论 , 它是由一套通过精心设计的表来进行实验设计的 , 这种表称为均匀设计表及相应使用表 . 均匀设计表一般记为  $U_n(b^c)$  ,  $U$  表示均匀设计 ,  $a$  表示设计次数 ,  $b$  表示设计水平数 ,  $c$  表示设计因素 . 该设计表可以通过编制程序获得 , 部分设计表在文献 [1] 中已经给出 , 可以直接选用 .

## 2 优选设计方法

机械设计的实质就是在一定的约束范围内寻求满足某一技术经济指标的相对最优解 , 其本身与实验设计有着很大的相似之处 . 在计算机技术没出现之前 , 在很多情况下采用试凑的方法进行设计 , 而试凑法往往带有一定的盲目性 . 优化设计与均匀设计都克服了这种盲目性 , 优化设计提供了某种算法 ( 如 Powell 方法、DFP 方法等 ) , 计算机

收稿日期 2000 - 04 - 15 ; 修订日期 2000 - 06 - 10

基金项目 河南省自然科学基金资助项目 ( 004041900 )

作者简介 陈江义 ( 1974 - ) 男 , 湖北省仙桃市人 , 郑州工业大学助教 , 硕士 , 主要从事机械 CAD 与设计方法学方面的研究

根据该算法按照最大速降方向有目的地去寻找最优解,而均匀设计则是通过在整个可行域内对均匀分布的可行点进行计算比较,来确定最优解,这些可行点均匀散布在整个可行域内,并具有很大的代表性。均匀设计方法相对于优化设计方法来说,编程序简单,计算时间更短,并且不存在敛散性问题,这一点对于比较复杂的数学模型来说,显得比较具有吸引力,其缺点是计算的精度相对来说较低,但是只要选择的水平数足够多,而且设计变量的变化范围合适的话,设计的效果在工程上是可以接受的。

结合均匀设计与优化设计的特点,在此给出一种简便的优选设计方法,对于如下数学模型<sup>[2]</sup>:

$$F(X) \longrightarrow \min ;$$

$$\text{st. } g_u(X) \geq 0, \quad u = 1, 2, \dots, m ;$$

$$X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T \in R,$$

式中: $F(X)$ 为目标函数; $g_u(X)$ 为约束条件; $m$ 为约束个数; $X$ 为设计变量; $n$ 为变量维数。假定每个设计变量的变化范围为 $x_i, x_i \in [x_{i\min}, x_{i\max}]$ ,  $i = 1, 2, \dots, n$ ,为方便起见,每个变量均取 $k$ 个水平(水平数可以不一样)且变量取值按水平等分(也可不等分,如离散变量设计)<sup>[3]</sup>,则不同水平时每个变量值为 $x_{ij} = x_{i\min} + j \cdot (x_{i\max} - x_{i\min}) / k, j = 1, 2, \dots, k$ 。利用均匀设计表及其使用表,将各变量按表中所给顺序进行不同水平的组合,得出系列设计变量的匹配方案,对这些方案进行设计计算,然后对设计结果进行比较,得出最佳方案。在程序设计时的基本步骤如下:

- (1) 输入均匀设计水平数及变量的上下限;
- (2) 生成均匀设计表;
- (3) 按设计表顺序匹配设计变量,判断各水平时设计变量是否满足约束条件;
- (4) 计算满足约束条件的水平所对应的目标函数值,并比较其大小;
- (5) 选取其中最小目标值所对应水平的设计变量值为设计结果。

3 计算实例

设计一车用卡钳型盘式制动器,要求制动时间短而且在控制温升条件下轮毂尺寸小。车满载时总重 $W = 13720 \text{ N}$ ,行驶速度 $V = 160 \text{ km/h}$ ,车轮半径 $r = 350 \text{ mm}$ ,制动器数(即车轮数) $n = 4$ ,制动盘最大许用直径 $[D_{\max}] = 300 \text{ mm}$ ,制动盘的最大许用温度 $[T_{\max}] = 260 \text{ }^\circ\text{C}$ ,制动盘的材料为钢,制动盘的初始温度 $t_i = 35 \text{ }^\circ\text{C}$ ,轮毂直径 $D_k =$

$75 \text{ mm}$ ,衬片与制动盘的摩擦系数 $\mu = 1$ ,轮胎与路面的附着系数 $\varphi = 1$ ,衬片的最大许用应力为 $[P_{\max}] = 30 \text{ MPa}$ ,油缸的最大许用油压 $[P_{0\max}] = 70 \text{ MPa}$ ,油缸壁厚 $t_c = 6.5 \text{ mm}$ 。

解:建立数学模型<sup>[2]</sup>,在此将数学模型推导过程略去,模型相对文献[2]有所改变

(1) 选择设计变量 $X = [R, d, D_p, P_0]^T = [x_1, x_2, x_3, x_4]^T$ ,其中 $R$ 为摩擦圆中心圆半径; $d$ 为摩擦片直径; $D_p$ 为活塞直径; $P_0$ 为油缸内油压。

(2) 以制动时间作为目标函数, $F(X) = W V r / (2 \pi g n M_f)$ ,其中 $M_f$ 为制动力矩。

(3) 约束条件有 5 个:

- ① 摩擦片的安装不应超出制动盘的范围。  
 $g_1(X) = [D_{\max}] / 2 - R - d / 2 \geq 0 ;$
- ② 摩擦片不应与轮毂发生干涉。  
 $g_2(X) = R - d / 2 - D_k / 2 \geq 0 ;$
- ③ 油缸不应与轮毂发生干涉。  
 $g_3(X) = R - D_p / 2 - D_k / 2 - t_c \geq 0 ;$
- ④ 摩擦片最大压力不应超过其规定值。  
 $g_4(X) = [P_{\max}] - \pi D_p^2 P_0 [4 I (R - d / 2)] \geq 0 ;$
- ⑤ 为防止打滑,制动力矩不应大于车轮与路面的附着力矩。

$g_5(X) = W r \varphi / n - \pi D_p^2 P_0 \mu I_2 (2 I_1) \geq 0$ ,选择水平数为 29 个(也可选更多),选用均匀设计表 $U^{29}(29^6)$ ,该表的构造及使用见文献[1]附录。选择各变量的上下限如表 1 所示(在此计算两组不同上下限时的设计结果)。优选设计结果与优化设计结果见如表 2。

表 1 数学模型中各变量的上下限

Table 1 Upper and down limiting value of variable in mathematical model

设计变量	$x_1/\text{mm}$	$x_2/\text{mm}$	$x_3/\text{mm}$	$x_4/\text{MPa}$
下限 1	40	30	10	1
上限 1	180	100	90	10
下限 2	50	30	20	1
上限 2	150	90	60	7

表 2 优选设计与优化设计结果对比

Table 2 The results' comparison between uniform design and optimum design

结果比较	$x_1/\text{mm}$	$x_2/\text{mm}$	$x_3/\text{mm}$	$x_4/\text{MPa}$	$F/\text{s}$
优选设计 1	85.00	77.50	35.71	7.1071	0.73602
优选设计 2	117.86	49.28	47.14	2.9286	0.72306
优化设计 <sup>[2]</sup>	109.99	60.08	40.34	4.2948	0.72448



## 4 结束语

由于均匀设计变量的选取在可行域内是均匀分布的,因此设计结果可以认为是全局内的较好解.算例表明:该方法与优化设计相比,其设计结果还是令人满意的.该方法的优点在于编制程序简单,计算时间短,不存在敛散性问题,并且还可以用于离散型设计变量的求解.其不足之处在于设计之前需要知道设计变量的上下限,由于均匀

设计表及其使用表的限制,不适合于求解维数较高的问题.

## 参考文献:

- [1] 方开泰,王元.均匀设计与均匀设计表[M].北京:科学出版社,1994.
- [2] 陈秀宁.机械优化设计[M].杭州:浙江大学出版社,1994.
- [3] 贾玉梅.汽车变速箱齿轮副的多目标离散优化[J].郑州工业大学学报,1996,17(3):26-34.

## Application of Uniform Design in Mechanical Design Field

CHEN Jiang - yi , YANG Pei , SU Zhi - jian

( College of Mechanical & Electronic Engineering Zhengzhou University of Technology Zhengzhou 450002 ,China )

**Abstract** :Based on the analysis of limitation of optimum design in mechanical design field , a new method for mechanical design which combines uniform design with optimum design is discussed . Compared with optimum design , the method has characters such as simpler program and less strict requirements for design model , and it is a supplement to mechanical design methods . Finally , a way to program and a concrete example are given . Feasibility of the method is proved by the results .

**Key words** 均匀设计 ; optimum design ; mechanical design