

在零件设计中应用拓扑优化 节约原材料

山东泰安泰德重工有限公司 (271000) 边炳传 李清爽

本文通过用UG软件对机床吊耳进行静态有限元分析,在此基础上,采用均匀化方法,对吊耳进行了拓扑优化设计。探讨了拓扑优化设计过程中:基本模型建立、优化区域选择、优化过程控制及优化结果分析与应用等问题。实现了拓扑优化在吊耳结构的初始设计过程中的应用。

结构优化可分为:结构尺寸优化处于产品的详细设计阶段,形状优化处于产品的基本设计阶段,拓扑优化处于产品的概念设计阶段。本次做的拓扑优化是在设计区域内以满足平衡力、应力、位移等约束为前题,改变结构的拓扑形状,使零件结构达到最优。

拓扑优化的最大优点是:能在不知道结构拓扑形状的前提下,根据已知边界条件和载荷条件确定出较合理的结构形式,它不涉及具体结构尺寸设计,提出最佳设计方案。

传统的零件设计方法是先进行结构设计,再进行结构强度校核,这种传统的设计方法受设计者经验的限制,在一般情况下设计者思想比较保守,在设计过程中往往盲目的加大零件尺寸,在一定程度上造成浪费。

本文在吊耳设计中引入拓扑优化设计法,从而得出最优结构,所用原材料也最节约。

1. 建立拓扑优化数学模型及零件有限元模型

(1) 数学模型的建立 以结构最优、重量最小,以应力为约束的优化模型。

求 $t \in E^n$, 使 $W = \sum_{i=1}^n f_w(t_i) w_i^0 \rightarrow \min$ 。

满足: $s_{it} \leq s$ (平均) ($i=1, 2, \dots, L$), $0 \leq t_i \leq 1$ ($i=1, 2, \dots, n$)

式中, t 为拓扑设计变量; W 为结构总重量; s_{it} 是第 i 个单元在第 t 号工作状况下的应力; s (平均) 为应力约束上限; L 为载荷总数; n 为单元总数。

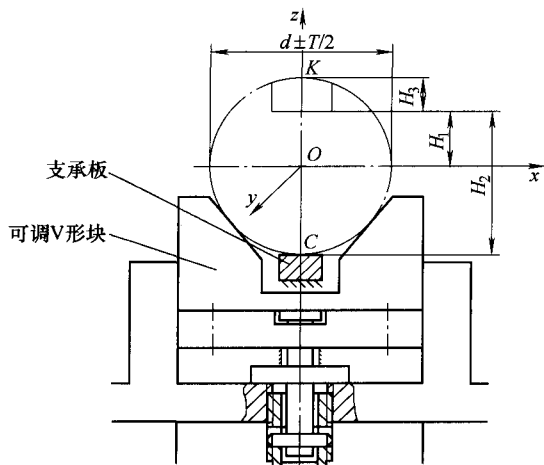


图3 新定位方案

对于 H_1 的定位误差有基准不重合误差和基

准位移误差两个原因,应用定义尺寸法计算可得 $\Delta D_{H1} = T/2$; 对于 H_2 基准重合且没有基准位移误差,即 $\Delta D_{H2} = 0$; 对于 H_3 既有基准不重合误差,也存在有基准位移误差,同样应用定义几何法求得 $\Delta D_{H3} = T$ 。

4. 结语

不论以何种形式标注键槽深度,以支承板及可调宽V形块组合定位形成的定位误差均小于以单一V形块定位形成的定位误差,且当键槽深度以工件的下母线标注时,定位误差为“0”。新定位方案对减少工艺系统原始误差,提高工件加工精度,显然有实际的工程意义。MW

(收稿日期:20120310)

用对偶规划求解此优化模型，经多次工况代入后得到结构在重量最小时的每个单元的拓扑变量，并实现拓扑图形的变更，当单元的拓扑变量为0时，表示该设计变量下的该单元被删除，在图形中显示白色， t_i 为1时表示该设计变量下的单元已保留。拓扑图形显示红色。

(2) 建立拓扑优化结构 吊耳的基本结构为24mm×100mm×150mm的长方形板，有一直径为35mm的孔，弹性模量为205GPa，泊松比为0.3，材料密度为7 850kg/m³，总作用力为41kN，划分为20mm×24个四节点四边形单元。

2. 吊孔上边界载荷分布计算

载荷在吊装孔边界上，载荷的大小分布不均匀，孔的上部分是主要受力区，所以用正弦函数来表示力的分布情况

$$f=A\sin(3.14x/2r) \tag{1}$$

式中， f 为载荷； A 为最大作用载荷； x 为作用节点的X坐标轴数值； r 为孔的半径。

载荷在吊孔直径上的积分等于作用在吊孔上的总力

$$\int_0^b f dx=F \tag{2}$$

将(2)代入(1)得

$$\int_0^b A\sin(3.14x/2r)dx=F \tag{3}$$

解得： $A=3.14F/4r \tag{4}$

将(4)代入(1)中则

$$f=(3.14F/4r)\sin(3.14x/2r) \tag{5}$$

所以任意节点的施加载荷为

$$F_n=\int_a^b (3.14F/4r)\sin(3.14x/2r)dx \tag{6}$$

式中， n 为施载荷的节点号； a 为分布载荷作用区的下限坐标值； b 为分布载荷作用区的上限坐标值。根据式(6)可得各节点载荷的数值，如表1所示。

表1 各节点载荷的数值表

积分区/mm	载荷/N	节点载荷/N
0~5	980	195
5~10	2 845	570
10~15	5 578	1 118
15~20	12 362	2 476
20~25	5 570	1 112
25~30	4 430	889
30~35	2 845	570

3. 拓扑优化结果分析与零件外形设计

有限元模型的生成：几何模型是有限元模型的基础。本文使用UG软件系统，建立其三维空间几何模型。在吊孔顶端承受的最大应力是85MPa，由于该零件是用Q235-B材料，屈服极限为230MPa，安全系数取2.4，可得许用应力为230/2.4=95.8MPa，所以最大应力小于许用应力，能够满强度要求。

4. 优化程序的应用

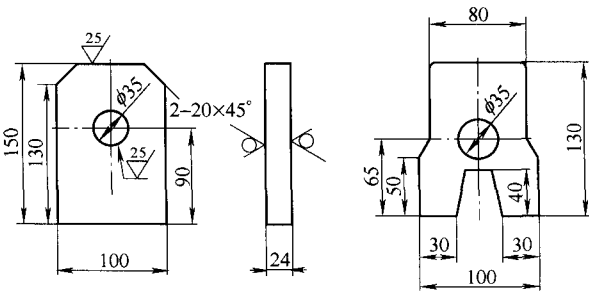
用拓扑优化程序，经过10多次的优化后，得到如图1所示的结构。图中黑色区为保留区，白色区为除区。从图中可以看出优化后节约了钢材。



图1 吊耳的拓扑优化结构

用UG进行有限元分析后，零件的质量、应力、最大位移得到了改善。

在实际工作中，以优化结果为依据，将吊耳设计成为如图2所示结构并得到应用，优化前后结果对比如表2所示。



(a) 优化前 (b) 优化后

图 2

表2 结果对比

零件状态	零件质量/kg	最大应力/MPa	最大位移/mm
优化前	2.3	95	0.022
优化后	1.9	87	0.019

经过使用，将拓扑优化设计引入到机械结构设计中具有一定理论意义和实际价值。能有效地避免设计中的盲目性，使设计者在设计过程中有充分的设计依据。**MW** (收稿日期：20120203)