

文章编号: 1001-2486 (2000) 01-0073-04

复杂结构的轴类零件弯曲刚度 CAD^{*}

夏尊凤, 潘存云, 尚建忠

(国防科技大学机电工程与自动化学院, 湖南 长沙 410073)

摘要: 内锥孔、外锥台同时存在的轴在航空机械中得到广泛地应用, 但机械设计手册上未对这一情况给出具体地解决方法。本文讨论了用计算机对轴类零件进行弯曲刚度计算时应解决的问题, 给出了内锥孔、外锥台同时存在的轴刚度计算的解决方法, 并用 ADS 开发工具在 AutoCAD 开发环境下付诸实践。

关键词: CAD; 机械设计; 轴类零件; 刚度

中图分类号: TH122 文献标识码: A

Bending Rigidity CAD of Complex Structure Shaft Parts

XIA Zun-feng, PAN Cun-yun, SHANG Jian-zhong

(College of Mechatronics Engineering and Automation, National Univ. of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: The shafts with inner and outer cones is applied widely to aviation machine, but the definite calculating approach of their rigidity isn't given in current machine design manuals. The problem to be solved in calculating bending rigidity of shaft parts with computer is discussed, and an approach of calculating bending rigidity of shafts with inner and outer cones is introduced, and implemented by ADS developing tools in AutoCAD.

Key words: CAD; machine design; shaft parts; rigidity

轴在载荷作用下, 将产生弯曲变形, 如果变形量超过了允许的限度, 机器的工作性能大大降低。在设计重要轴时, 必须检验轴的变形, 即必须进行刚度校核, 弯曲刚度是刚度计算中的一个重要内容。

弯曲刚度校核有当量直径法和能量法, 本文采用能量法。

能量法需先绘出轴的弯矩 M 图, 如果需求出 A 处的挠度 Y_a , 则在 A 处加一个与变形方向相同的单位力 $F_i = 1\text{N}$, 如果需求出 A 处的偏转角 θ_a , 则在 A 处加一个与变形方向相同的单位力矩 $M_i = 1\text{N} \cdot \text{mm}$, 并求出它们所引起的弯矩 M' , 然后按 M 、 M' 及截面的连续性将轴分成若干段, 则变形量用下式求得:

$$\Delta = \sum_{i=1}^n \int_0^{l_i} \frac{MM'}{EI} dl$$

式中: Δ —— 计算变形处的变形量(挠度 y 或转角 θ), mm 或 rad;

M —— 轴所受弯矩, $\text{N} \cdot \text{mm}$;

M' —— 在计算变形处加单位力 $F_i = 1\text{N}$ 或单位力矩 $M_i = 1\text{N} \cdot \text{mm}$ 时轴上引起的弯矩, $\text{N} \cdot \text{mm}$;

E —— 材料弹性模量, MPa;

I —— 截面惯性矩, mm^4 ;

l_i —— 各轴段的长度, mm;

n —— 按 M 、 M' 及截面的连续性将轴分成的若干段数^[1]。

在经典的手工校核中, 手册上只给出有关空心圆柱和实心圆锥的积分值 $\int_0^{l_i} \frac{MM'}{EI} dl$ 的积分公式, 而对内锥孔、外锥台同时存在的轴段的积分公式未给出, 无法计算。有关轴 CAD 的研究都只考虑简单

* 收稿日期: 1999-09-02

作者简介: 夏尊凤 (1966), 女, 讲师, 硕士生。

结构轴段的刚度校核问题。随着现代工业的发展,轴的结构越来越复杂,如航空用轴,对轴的强度、刚度和振动的要求越来越高,故轴的刚度计算应采用CAD且全面考虑轴的各种可能的结构。基于此想法,我们在AutoCAD环境下运用ADS开发工具开发了轴类零件弯曲刚度计算CAD软件模块,它是轴类零件CAD系统的一部分。

1 弯曲刚度分析

按机械设计手册上的设计原则,采用能量法对轴弯曲刚度进行CAD设计时,应解决如下几个方面的问题。

(1) 分段处理求 n

由于轴上载荷所产生的弯矩 M 和单位载荷所产生的弯矩 M' 在整个轴长上是变化的,阶梯轴的截面惯性矩也不相同。故求变形量之前必须进行分段处理,求出刚度计算公式中所需 n 。

(2) 求轴所受弯矩 M

根据轴上所受的外载荷、轴的长度、左右支承的位置等求轴所受弯矩 M 。

(3) 求单位力矩(M_i)或单位力(F_i)在轴上所引起的弯矩 M'

给定需求出变形量的位置 g_{zz} ,在此位置处作用单位力或单位弯矩,求出弯矩 M' 。

(4) 处理变形方向

在单位力或单位弯矩作用下 g_{zz} 处所受弯矩的方向应与在外载荷作用下所受的弯矩的方向相同。

(5) 积分公式的处理

公式中的 Δ_i 为总变形量,应先分别求出水平和垂直平面中的变形量,然后再合成。

2 处理方法

2.1 分段求 n

当求出在外载荷作用下轴所受的弯矩 M 和在单位载荷作用下轴所受的弯矩 M' 后,根据 M 、 M' 的变化及轴直径、结构的不同,将轴分段。由于 M' 的变化与支承点和校核点有关, M 的变化与外载荷的作用位置及左、右支承有关,则刚度校核时,分段处理如图1。

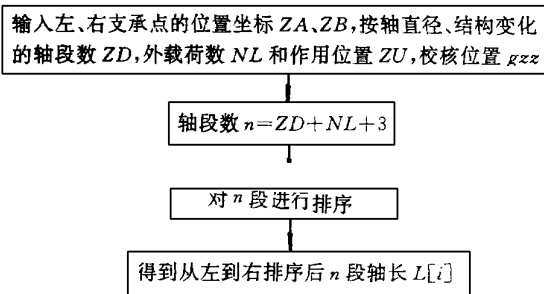


图1 分段求 n

Fig. 1 Search for n

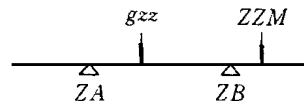


图2 ZA 、 ZB 、 g_{zz} 和 ZZM 的关系

Fig. 2 The relation of ZA , ZB , g_{zz} and ZZM

2.2 求单位力 F_i 所引起的弯矩 M'

单位力 F_i 作用的位置即为欲校核刚度的位置 g_{zz} , 轴的左支承位置为 ZA , 右支承位置为 ZB , 则在单位力 F_i 作用下, 轴上任一位置 ZZM (图2说明 ZA 、 ZB 、 g_{zz} 和 ZZM 之间其中可能的一种关系) 水平力矩 dM_h 和垂直力矩 dM_v 的求法如图3所示。

2.3 求单位力矩 M_i 所引起的弯矩 M'

单位力矩 M_i 作用的位置为 g_{zz} , 左支承为 ZA , 右支承为 ZB , 则在单位力矩 M_i 作用下, 轴上任一位置 ZZM 水平力矩 dM_h 和垂直力矩 dM_v 的求法如图4所示。对于关键点 g_{zz} 必须设一个布尔变量 LR 以判断是在点的左边还是右边, 因为同一点 g_{zz} 的左边和右边的弯矩是不同。

2.4 求轴在外载荷作用下所受弯矩 M

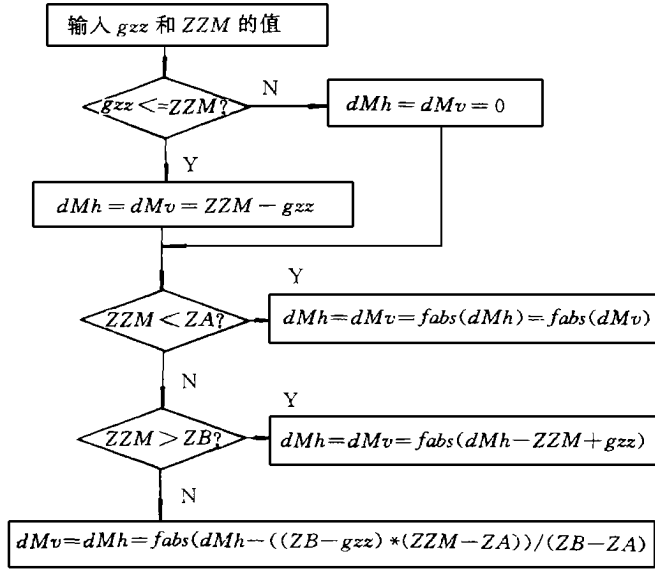


图 3 F_i 引起的弯矩 M'

Fig. 3 Bending moment of F_i' cause

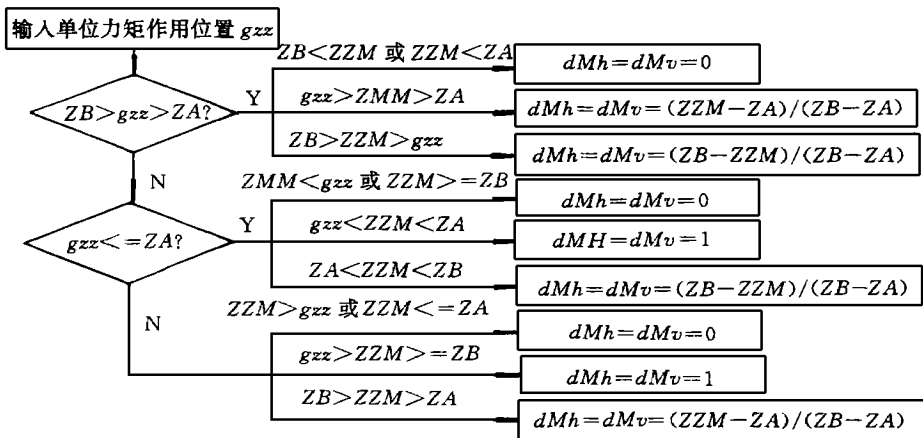


图 4 M_i 引起的弯矩 M'

Fig. 4 Bending moment of M' cause

在外载荷作用下轴所受弯矩 M 的程序框图如图 5。

2.5 M' 的变形方向的处理

在进行刚度校核时,若要计算 g_{zz} 处的变形,则须在 g_{zz} 处加一个与轴的变形方向相同的单位力或单位力矩,也就是说,在单位力或单位力矩作用下,轴在 g_{zz} 处所受弯矩的正负应与在外载荷作用下轴在 g_{zz} 处所受弯矩的正负一致。由此,可采用如下算法。

- 1) 求出 g_{zz} 的弯矩,并得出正负系数 $ff = M/fabs(M)$ 。
- 2) 若 $M = 0$,则求出 g_{zz} 左或右的弯矩,得出正负系数 $ff = M/fabs(M)$ 。
- 3) 若 g_{zz} 左和右的弯矩都为零,表明无变形, $ff = 1$ 。

得到正负系数 ff 后, 乘上单位力或单位力矩作用下轴在 g_{zz} 处所受的弯矩(均为正), 则可保证变形相同这一条件。

2.6 处理积分公式

处理积分公式时, 利用积分的定义进行处理。积分公式 $\int_0^{l_i} \frac{MM'}{EI} dl$ 中 l_i 是第 i 段的长度。不失一般性, 考虑最复杂情况, 如图 6 所示, 设第 i 段轴内外均为圆锥, 左端外径 d_1 , 内径 d_{10} , 右端外径 d_2 , 内径

d_{20} , 则该段任一位置的 d 和 d_0 的表达式均可求出, 根据 d 和 d_0 求出截面惯性矩 I 。再设该段左端所受外载荷作用的弯矩 M_1 , 单位载荷作用的弯矩 M_1' , 右端所受外载荷作用的弯矩 M_2 , 单位载荷作用的弯矩 M_2' ; 则任意位置的 M 、 M' 的一般表达式均可求出, 取 $dl = 1/10$ 或其它一定值, 这样, 利用积分的定义将积分变成循环求和, 可充分利用计算机的运算能力。

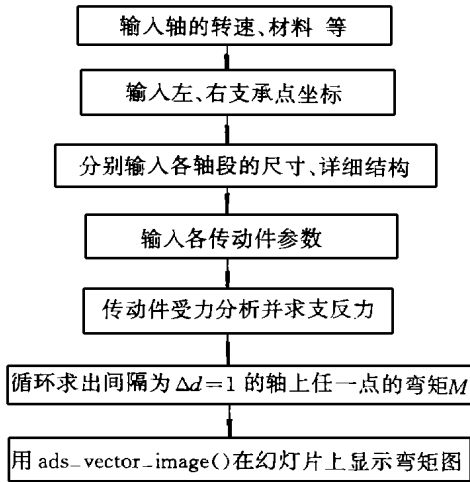


图5 外载荷引起的弯矩 M

Fig. 5 Bending moment of outer load cause

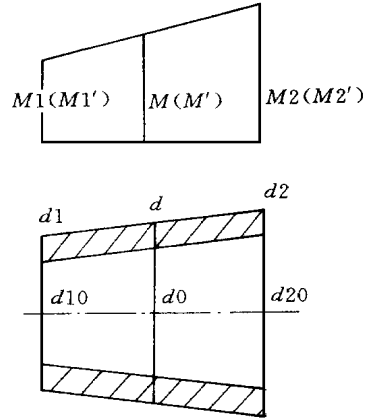


图6 复杂轴段模型

Fig. 6 Model of complex shaft segment

3 结论

上述处理方法已在 AutoCAD 环境下编程实现, 并对徐灏编《机械设计手册》第4卷上的算例进行过验算, 结论如下:

手册上为	$Y_n = 0.0196$	$\theta_B = 0.000174$
本程序计算为	$Y_n = 0.01951$	$\theta_B = 0.00017253$

从上述数据可看出, 轴类零件弯曲刚度 CAD 实用可行。

参考文献:

- [1] 徐灏. 机械设计手册 [S]. 北京: 机械工业出版社, 1991.
- [2] 周之桢. 材料力学 [M]. 长沙: 国防科技大学出版社, 1987.
- [3] 陈举华. 机械零部件计算机辅助设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1996.
- [4] 林龙震. AutoCAD R12 窗口设计技巧与 ADS 程序设计参考 [M]. 北京: 清华大学出版社, 1994.
- [5] 杨厚福. 机械零件程序设计 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1986.