DOI: 10. 3969/j. issn. 2095 - 509X. 2017. 06. 006

渐开线斜齿圆柱齿轮 齿根应力的 ANSYS 有限元分析

胡世军 陈 伟 陈建文 (兰州理工大学机电工程学院 甘肃 兰州 730050)

摘要: 以某一工程实例中的斜齿圆柱齿轮作为研究对象 在 Pro/E 软件中利用所给参数建立斜齿圆柱齿轮模型并将其简化为单个轮齿模型导入到 ANSYS 中进行齿根应力分析。由轮齿应力云图可知 ,齿根圆角处容易发生应力集中 ,设计时应当选择恰当的过渡圆角半径 ,避免应力集中 ,从而提高齿轮的弯曲强度。有限元分析的结果与理论计算结果相比 ,其误差在允许的范围内 ,说明结果是准确有效的。

关键词: 斜齿轮; 齿根弯曲应力; ANSYS; 有限元分析

中图分类号: TH132 文献标识码: A 文章编号: 2095 - 509X(2017) 06 - 0029 - 03

齿轮传动是一种应用最为普遍的传动方式 具 有传递功率高、传动比大、传递扭矩大、工作可靠且 使用寿命长等优点。但齿轮是最容易发生故障的 零件之一 因此齿轮传动的失效形式最为常见的便 是轮齿的失效。在传动过程中 接触强度和弯曲强 度是限制齿轮承载能力的主要因素。对于开式齿 轮传动及硬齿面或铸铁齿的闭式齿轮传动 在载荷 增加的情况下,弯曲应力的增加程度要比接触应力 更加明显 轮齿发生弯曲折断便是其最常见的失效 形式 特别是在各类大型齿轮传动中这种失效形式 更为常见 因此在齿轮的设计与强度校核过程中轮 齿折断是必须考虑的重要因素之一 这就要对齿根 弯曲强度进行准确的计算。对于斜齿轮的研究通 常采用等效的方法 即把轮齿简化为矩形截面且在 齿根处固定的悬臂梁[1] 在计算时 ,用齿形系数修 正轮齿截面形状的影响 用齿根应力集中系数修正 由于齿根小的过渡曲线圆角造成的应力集中影响, 但这种方法计算相当繁琐、可靠性欠佳[2]。 随着 各类专业软件的不断普及 有限元法在齿轮设计和 应力分析中得到越来越广泛的应用。本文利用有 限元分析软件 ANSYS 对渐开线斜齿圆柱齿轮的单 个轮齿模型进行加载分析,准确快速地得出齿轮传 动过程中其齿根所受的最大弯曲应力[1]。

渐开线斜齿圆柱齿轮齿根应力计算的数学模型

本文以某一工程实例中的齿轮传动作为研究对象建立其数学模型,该齿轮传动是由电机驱动用于大型传输机械的斜齿圆柱齿轮传动,其具体参数见表1。在设计时,对齿轮进行调制处理,大齿轮硬度为220HB,小齿轮硬度为240HB,齿轮材料是连续、线弹性和均匀的,呈各向同性的特征。齿轮在低转速大载荷的工况下工作,假设齿轮传动是等速传动,标准安装。

表 1 齿轮传动相关参数

小齿轮 转矩 <i>T</i> ₁	小齿轮传 递功率 <i>P</i>				模数 <i>m</i> _n
$2.387.5 \times 10^5 \mathrm{N} \cdot \mathrm{mm}$	20kW	800r/min	30	90	3

斜齿圆柱齿轮齿面上的接触线为一斜线,有载荷作用时 轮齿的失效形式为局部折断,如图 1 所示。当载荷作用在齿顶边缘时,齿根处的弯曲应力最大,对斜齿轮很难用传统方法进行精确计算。斜齿轮齿根弯曲应力利用当量齿轮概念 在直齿轮的弯曲强度计算公式中加入斜齿轮的影响因素,如计入重合度 ε_{α} 及螺旋角影响系数 Y_{β} ,则斜齿轮的弯曲疲劳强度公式为:

收稿日期: 2016 - 10 - 18

作者简介: 胡世军(1968—) ,男 ,甘肃兰州人 ,兰州理工大学教授 ,主要研究方向为机械制造及其自动化。

$$\sigma_{\rm F} = \frac{K F_{\rm t} Y_{\rm Fa} Y_{\rm Sa} Y_{\beta}}{b m_{\rm n} \varepsilon_{\alpha}} \tag{1}$$

$$F_{t} = \frac{2T_{1}}{d_{1}} \tag{2}$$

$$T_1 = 9 \ 550 \times \frac{P}{n_1} \tag{3}$$

$$d_1 = m_n z_1 \tag{4}$$

式中: K 为载荷系数; F_1 为圆周力; Y_{F_a} 为斜齿轮的齿形系数; Y_{S_a} 为斜齿轮的应力校正系数; d_1 为分度圆直径; n_1 为小齿轮转速^[3]; b 为齿宽。

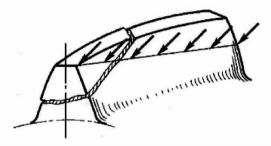


图 1 斜齿圆柱齿轮轮齿受载及折断

2 有限元分析模型建立

2.1 基本假设

为了使结果更具说明性 在进行有限元分析之前 对齿轮传动过程做出几点假设:

- 1) 假设载荷沿啮合线均匀分布,齿面为全齿宽接触且接触线靠近齿顶,齿根弯曲应力有最大值。
- 2) 用一条很窄的接触面代替接触线,将集中载荷转换成表面载荷均匀加载在接触面上。
- 3) 齿轮材料是连续、线弹性和均匀的,呈各向同性的特征。

2.2 创建三维实体模型

端面渐开线方程为

$$\begin{cases} x = r_{\rm b} \cos\theta + r_{\rm b} \sin\theta \\ y = r_{\rm b} \sin\theta - r_{\rm b} \cos\theta \end{cases}$$
 (5)

螺旋线方程为

$$\begin{cases} x = r_{\rm b}\cos(tb\tan\beta/r_{\rm b}) \\ y = \pm r_{\rm b}\sin(tb\tan\beta/r_{\rm b}) \\ z = tb \end{cases}$$
 (6)

式中: θ 为渐开线在 K 点的滚动角; r_b 为基圆半径; t 为参数 $0 \le t \le 1$; β 为螺旋角。

利用斜齿圆柱齿轮端面渐开线方程及螺旋线方程,通过 Pro/E 的参数化建模功能^[4],建立斜齿圆柱齿轮模型。利用有限元分析软件计算斜齿轮齿根弯曲应力与轮齿形变时,若单元数划分较多,

则计算量较大 运算时间较长 但对计算结果精度的影响却非常小。为提高计算效率 通常将单齿模型导入 ANSYS 代替整个模型作为研究对象^[5]。本文将所建 Pro/E 模型导入 ANSYS 中进行分析。完整的斜齿圆柱齿轮实体模型及单个轮齿的模型分别如图 2、图 3 所示。



图 2 斜齿圆柱齿轮实体模型



图 3 斜齿圆柱齿轮单个轮齿的模型

2.3 材料参数及网格划分

根据假设 ,齿轮材料的参数为: 弹性模量 $E=2\times 10^{11}\,\mathrm{N/m^2}$,泊松比 $\mu=0.3$,密度 $\rho=7\,800\,\mathrm{kg/m^3}$ 。将简化后的斜齿圆柱齿轮的单个轮齿模型运用 Mesh Tool 命令进行自由网格划分 ,划分后的模型如图 $4\,\mathrm{fm}$ 。

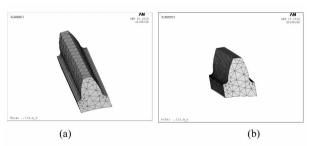


图 4 斜齿轮单个轮齿的网格划分

2.4 加载计算及分析

划分网格后就可对斜齿轮轮齿的弯曲强度进行分析,用一条很窄的接触面代替接触线,将集中载荷转换成表面载荷均匀加载在接触面上。在渐开线的齿顶处施加载荷,设沿齿宽方向均匀分布,则载荷沿齿侧分布的力的大小 $F = F_1/b$,然后进行求解,可得到各点的应力大小以及轮齿的变形情

况。如图 5 所示 斜齿圆柱齿轮的最大弯曲应力出现在轮齿的齿根处 最大值为 244 MPa。

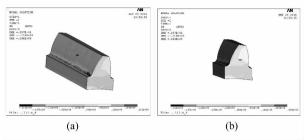


图 5 应力分布云图

2.5 理论值与仿真结果的分析比较

由表 1 及式 (2) ~ (4) 计算得到圆周力 F_{i} = 5 305 N,由式 (1) 计算可得该斜齿圆柱齿轮齿根处最大弯曲应力为 257 MPa,与 ANSYS 有限元分析所得结果 244 MPa 非常接近。由于理论值考虑了齿根应力校正系数,因此比有限元分析得到的值稍大。有限元分析的结果与理论计算结果相比,其误差在允许的范围内,说明其结果是准确有效的。

3 结论

1) 理论上将齿轮简化为悬臂梁,采用力学设计方法计算齿根弯曲应力,由于考虑了齿根应力校正系数,计算结果要比 ANSYS 有限元分析值偏大,

所以一般按传统算法计算弯曲强度是安全的。

- 2) 渐开线斜齿圆柱齿轮齿根应力的 ANSYS 有限元分析值与理论值基本吻合,证明了 ANSYS 分析软件的准确性与快速有效性,为斜齿圆柱齿轮齿根应力分析提供了更加快速有效的方法,并为强度校核以及结构优化提供了依据。
- 3) 齿面为全齿宽接触且接触线靠近齿顶,即载荷作用于齿顶时齿根弯曲应力最大。此时从轮齿应力云图可以看出 轮齿的应力主要集中在齿根圆角处,设计时应当注意过渡圆角半径的选择,避免应力集中,以提高齿轮的弯曲强度。

参考文献:

- [1] 白金兰,王殿忠.有限元法在标准直齿圆柱齿轮弯曲疲劳强度计算中的应用[J].沈阳航空工业学院学报 2001,18(1): 12-14.
- [2] WILCOX L ,COLEMAN W. Application of finite elements to the analysis of gear tooth stress [J]. ASME Journal of Engineering for Industry ,1973 95:1139 – 1148.
- [3] 濮良贵 紀名刚. 机械设计[M]. 7版. 北京: 高等教育出版 社 2004.
- [4] 张朝晖. ANSYS11.0 结构分析工程应用实例解析[M]. 北京: 机械工业出版社 2008.
- [5] 孙江宏 ,段大高. Pro/ ENGINEER 2001 高级功能应用与编程 处理[M]. 北京: 清华大学出版社 ,2003: 310 - 330.

Finite element analysis on tooth root stress of involute helical cylindrical gear based on ANSYS

HU Shijun, CHEN Wei, CHEN Jianwen

(School of Mechanical and Electrical Engineering,

Lanzhou University of Technology, Gansu Lanzhou, 730050, China)

Abstract: Taking the helical cylindrical gear in a certain engineering example as an object, it establishes the model of the helical gears in Pro/E software, and imports the simplified model into ANSYS for the tooth root bending stress analysis. Compares with the theoretical value, the finite element analysis is more accurate, rapid and effective, which provides a more efficient method for tooth root stress analysis and strength checking of helical cylindrical gear. Based on the tooth stress diagram, it shows that the stress concentration at the tooth root fillet is easy to occur. The appropriate radius of fillet should be chosen in the design to avoid the stress concentration and improve the bending strength of the gear.

Key words: helical gear; tooth root bending stress; ANSYS; finite element analysis