

文章编号: 1004-4353(2019)03-0276-03

渐开线圆柱齿轮齿廓的修形研究

金俊杰, 廉哲满*

(延边大学 工学院, 吉林 延吉 133002)

摘要: 根据坐标变换方法和标准渐开线方程, 推导出了一个新的非工作面齿廓修形方程, 然后根据该修形方程和 SolidWorks 建立了齿轮模型. 利用有限元分析法对渐开线圆柱齿轮齿廓修形前后的受力情况进行了分析, 结果表明修形后的齿轮接触应力比修形前减小了 7.01%, 修形后的齿根应力比修形前减少了 10.95%.

关键词: 坐标变换; 非工作面齿廓; 修形方程; 瞬态分析

中图分类号: TH122

文献标识码: A

Research on profile modification of involute cylindrical gear

JIN Junjie, LIAN Zheman*

(College of Engineering, Yanbian University, Yanji 133002, China)

Abstract: According to coordinate transformation method and standard involute equation, we derive a new profile modification equation for non-working face, and then establish a gear model based on the modification equation and SolidWorks. The stress of involute cylindrical gear before and after modification is analyzed by finite element method. The results show that the contact stress of modified gear is 7.01% less than that before modification, and the root stress of modified gear is 10.95% less than that before modification.

Keywords: coordinate transformation; non-working face; modification equation; transient analysis

0 引言

渐开线圆柱齿轮因具有传动性能稳定等优点, 被广泛应用在汽车、工业、航天、仪器、矿山机械等领域中^[1]. 近年来, 人们对齿轮性能的要求越来越高, 因此需要不断提高齿轮的设计精度、强度和传动性能, 以满足市场的需求. 研究发现, 修形不仅能够提高齿轮的强度, 而且能够降低齿轮运转的噪音^[2-4]; 因此, 国内外很多研究人员对齿轮的修形进行了研究^[5-8]. 在齿轮的修形相关研究中, 目前大部分学者是根据齿轮的不同工况, 利用经验公式来确定其修形长度和修形量, 以此进行曲线修形或者是直线修形; 但因这种方法需要考

虑的误差因素较多, 因此其精度不易掌控^[9]. 基于以上研究, 本文根据坐标变换方法和渐开线方程, 推导出渐开线圆柱齿轮非工作面齿廓的修形方程, 以此建立修形后的齿轮模型, 并通过有限元分析法验证本文修形方法对提高齿轮承载能力的有效性.

1 齿轮非工作面修型曲线的建立

齿轮在传动过程中, 一些齿轮轮齿两侧的受力情况会有不同. 对此, 一些学者提出了渐开线圆柱齿轮齿廓不对称的修形方法^[10]. 渐开线圆柱齿轮齿廓修形示意图如图 1 所示. 图 1 中轮齿左侧齿面为工作面, 工作面齿廓为标准渐开线, 右侧为

非工作面. 为了保持渐开线圆柱齿轮的传动特性, 本文仅对非工作面进行修形. 首先选择非工作面的渐开线与齿轮分度圆交点 o , 然后将非工作面渐开线绕 o 点逆时针方向旋转 β 角度进行修形处理. 修形面以轮齿分度圆与非工作面交点处为分界线, 靠近齿顶部分(图 1 中的 1 部分) 为去除的材料部分, 靠近齿根部分(图 1 中的 2 部分) 为增加的材料部分.

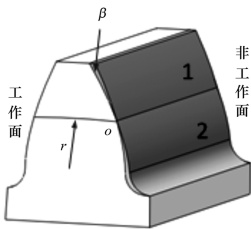


图 1 齿廓修形示意图

渐开线方程为:

$$\begin{cases} x = r_b(\cos \varphi + \varphi \sin \varphi), \\ y = r_b(\sin \varphi - \varphi \cos \varphi). \end{cases} \quad (1)$$

式(1)中 r_b 为基圆半径, φ 为渐开线的发生线在基圆上的转动角度. 若展开角 $\varphi = \varphi_t$, 渐开线的坐标点为 o , 则有:

$$x_t^2 + y_t^2 = r^2. \quad (2)$$

式(2)中 r 为分度圆半径, $r = mz/2$. 由此得出:

$$\varphi_t = \sqrt{\frac{1}{\cos^2 \alpha} - 1}.$$

根据坐标变换公式, 将非工作面的渐开线绕 o 点逆时针旋转 β 角, 可得渐开线相对于 o 点的变换方程:

$$\begin{cases} x''' = (x - x_t)\cos\beta + (y - y_t)\sin\beta + x_t, \\ y''' = (y - y_t)\cos\beta - (x - x_t)\sin\beta + y_t. \end{cases} \quad (3)$$

研究表明, 齿根的过渡曲线与齿轮的加工方式、齿轮的工作参数和加工齿轮的刀具齿顶形状等有关. 由于本文对非工作面进行修形时, 会影响到齿根的结构, 因此需要研究齿轮载荷对齿根应力的影响. 基于以上分析, 本文在研究中将修形前后的齿根圆过渡线的一端与轮齿渐开线相切, 另一端与基圆相切, 以此进行对比分析.

2 修形后齿轮模型的建立

表 1 为某小型渐开线圆柱齿轮减速机工作时

的一对齿轮副的参数. 根据齿轮参数, 本文利用 SolidWorks 软件建立标准渐开线齿轮模型. 修形前的齿轮轮齿端面图如图 2(a)所示. 在相同参数条件下, 根据上述修形曲线, 按旋转角度 $\beta = 5^\circ$ 进行建模, 修形后的齿轮轮齿端面图如图 2(b)所示.

表 1 渐开线圆柱齿轮副的几何参数及工况

模数	压力角/ (°)	齿数	齿宽/ mm	中心距/ mm	螺旋角/ (°)
2	20	30/30	5/5	60	0
齿顶高 系数	顶隙 系数	弹性 模量	转速/ (rad/s)	转矩/ (N·m)	泊松比
1	0.25	206	0.5	20	0.3

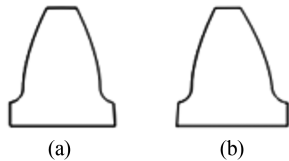
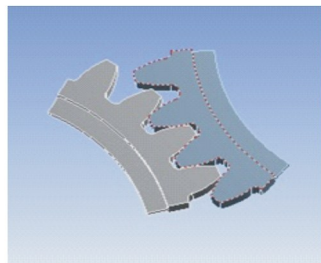


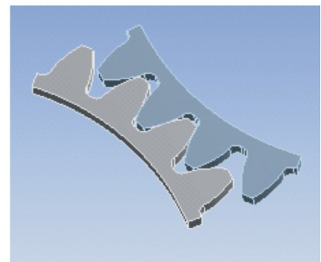
图 2 修形前后的轮齿端面图

3 齿轮修形前后的有限元分析

建立修形前后的齿轮啮合有限元分析模型, 如图 3 所示. 将模型分别导入到 ANSYS Workbench 瞬态分析软件中, 然后对模型进行网格划分, 并设定相互作用的轮齿面的接触类型. 将表 1 中的数据输入到有限元模型后, 其所得结果如图 4 所示.

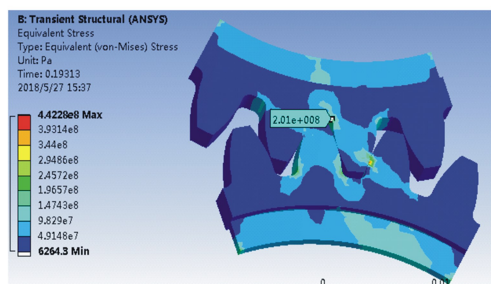


(a) 标准渐开线齿轮啮合分析模型

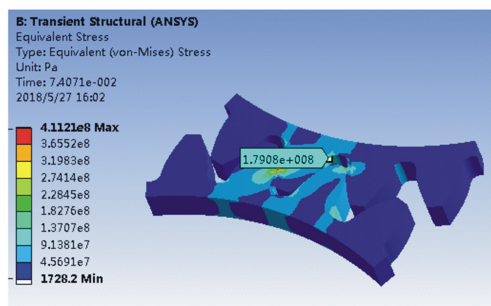


(b) 修形后齿轮啮合分析模型

图 3 修形前后的齿轮啮合有限元模型



(a) 标准渐开线齿轮啮合的分析结果



(b) 修形后齿轮啮合的分析结果

图 4 修形前后渐开线齿轮啮合的分析结果

由图 4 可以看出,在相同载荷的条件下,标准齿轮接触应力为 442.2 MPa,修形后的齿轮接触应力为 411.2 MPa,即修形后的齿轮接触应力比标准齿轮接触应力减小了 7.01%;标准渐开线齿轮齿根的应力为 201.0 MPa,修形后齿根的应力为 179.1 MPa,即修形后的齿根应力比标准渐开线齿轮齿根的应力减小了 10.95%。

4 结论

本文对渐开线齿轮的非工作面进行了修形设

计和仿真分析,结果表明齿轮在啮合过程中其接触应力比修形前减小了 7.01%,齿根应力比修形前减小了 10.95%。本文在研究中因只修改了非工作面,因此不会影响齿轮原有的传动特性。本文结果对提高齿轮的性能具有很好的参考价值。另外,因不同的非工作面齿廓旋转角 β 对齿轮性能的影响不同,所以修形时要根据齿轮的实际工况和精度要求选取适当的转角 β 。本文在分析过程中,未能考虑齿轮的制造精度、安装精度等因素对齿轮啮合过程所造成的影响,因此在今后的研究中我们将考虑上述因素,以得到更准确的分析结果。

参考文献:

- [1] 李毅华,栾振辉. 国内外传动机械学的现状及发展趋势[J]. 煤矿机械,2005,26(12):8-10.
- [2] 莫江涛,钟家宗,龚佳兴. 渐开线齿廓修形方法及应用[J]. 煤矿机械,2018,39(1):117-121.
- [3] 陈一东. 渐开线圆柱齿轮接触分析和修形特性[D]. 长沙:国防科学技术大学,2007.
- [4] 吴序堂. 齿轮啮合原理[M]. 2 版. 西安:西安交通大学出版社,2009.
- [5] 孙建国. 渐开线圆柱齿轮修形及动力接触特性研究[D]. 重庆:重庆大学,2008.
- [6] 周志峰. 渐开线圆柱直齿轮修形的分析与研究[D]. 北京:北京交通大学,2014.
- [7] 周志峰,刘伟,王婧. 渐开线直齿轮修形的有限元分析与研究[J]. 机电工程,2013,30(12):1490-1493.
- [8] 汤鱼,常山,何玉龙,等. 齿廓修形对齿面接触应力影响的研究[J]. 通用机械,2010,9(4):7-9.
- [9] 周广森. 渐开线圆柱齿轮修形设计研究[D]. 沈阳:东北大学,2010.
- [10] 邓小禾. 渐开线圆柱齿轮齿廓修形与啮合规律研究[D]. 武汉:武汉理工大学,2015.