

文章编号:1004-2539(2003)05-0008-04

LogiX 齿轮的性能研究

(山东大学机械工程学院, 山东 济南 250061) 冯显英 王爱群 李剑锋

摘要 LogiX 齿轮齿形是由许多微段渐开线组成的一种异型功能齿廓,比常规标准渐开线齿轮具有诸多的优越性。本文通过有限元分析与计算,表明了 LogiX 齿轮的弯曲强度明显优于常规标准渐开线齿轮。同时,通过实际的啮合传动噪声测试实验,证明了 LogiX 齿轮传动的噪声等啮合性能指标也优于常规渐开线齿轮。丰富新型齿廓理论,对今后推广应用新型 LogiX 齿轮奠定了理论和实践基础。

关键词 LogiX 齿轮 弯曲强度 接触强度 噪声 有限元分析

前言

在齿轮传动中,决定其性能优劣的最基本的要素就是齿轮的齿形。LogiX 齿轮^[1]是根据全新的齿形理论所提出的一种新型齿轮,它的齿形由许多微段渐开线连接而成,采用对称的凸凹啮合形式,并且使微段渐开线的啮合点在啮合时的相对曲率为零,从而大大提高了齿轮的承载能力和寿命。这种新型齿廓可望在重载齿轮传动中得到应用。

LogiX 齿轮传动试验表明其具有诸多优越性,因此,国内对之也作了许多研究^[2~4]。作为一种新型齿轮,对这类异型功能曲面新齿廓,目前仍须从其性能、啮合理论和创成技术方面作进一步研究。其中强度计算就是齿轮设计和研究领域中的一项重要内容。研究和开发高速重载、高性能的新型齿轮,对异型功能曲面及其对齿轮的折断、点蚀等失效形式进行分析,首先要涉及的就是齿面接触强度和齿根弯曲强度指标。本文针对 LogiX 齿轮的接触强度、弯曲强度、啮合噪声等性能指标进行了讨论研究。

1 LogiX 齿轮的弯曲强度分析计算

1.1 分析计算方法和工具选择

关于齿轮轮齿的弯曲应力和变形计算,有很多方法。目前广泛采用的是有限元法。轮齿的弹性有限元分析在齿轮领域的应用,不仅仅在应力应变分析方面,而且已经成为轮齿综合刚度分析、理想修形曲线及异型功能曲面设计的基础。在进行有限元法计算时,选择合适的计算机通用程序,或自行编制计算机程序。目前世界各国已经开发了不少用于结构分析的大型通用程序。在此我们选择了应用广泛的 ANSYS 有限元分析软件。

1.2 单元选择与网格划分

为了比较渐开线齿轮和 LogiX 齿轮的弯曲强度,我们使用参数相同的两种齿轮的计算结果来说明问题。设定有关齿轮参数 模数 $m = 5$,齿数 $z = 17$,材料选用 45 号钢,其弹性模量 $E = 2.14 \times 10^5 \text{MPa} = 2.14 \times 10^5 \text{N/mm}^2$,泊松比 $\mu = 0.3$ 。齿轮传动时的转矩 $T = 19.1 \text{N} \cdot \text{mm}$,齿宽 $b = 30 \text{mm}$ 。单位齿宽上的法向载荷 $P = F/b = 2T/(bmz)$ 。载荷作用点距齿顶 1mm。

参 考 文 献

- 汪劲桦,黄田. 并联机床—机床行业面临的机遇与挑战. 中国机械工程,1999,10(10)
- Huang T, Wang J S, Whitehouse D J. Closed form solution to the workspace of hexapod based parallel machine tools. ASME J Of Mechanical Design, 1999,121(1)
- 徐礼钜,范守文,李翔龙. 基于混联机构的虚拟轴机床. 中国发明专利,申请号:00120604 4
- Celement M. Gosselin and Sefrioui. Determination of The Singularity Loci of Spherical Three - Degree - Of - Freedom Parallel Manipulators. DE - Vol. 45, Robotics, Spatial Mechanisms, and Mechanical Systems ASME 1992, 329 ~ 336
- 梁崇高,荣辉. 一种 Stewart 平台型机械手位移正解. 机械工程学报, 1991,27(2)
- 黄真,孔令富,方跃法. 并联机器人机构学与控制. 北京:机械工业出版社,1997
- 范守文,徐礼钜,甘泉. 二重八面体变几何桁架机器人工作空间解析. 电子科技大学学报,2001,30(12)
- 徐礼钜,范守文. 一种混联型虚拟轴机床奇异位形分析的解析法. 四川大学学报(工程科学版),2002,34(2)
- 徐礼钜,林光春. 十二面体变几何桁架机器人位置正解分析的符号解. 机械科学与技术, 2000,18(5)

收稿日期:20011211 收稿修改日期:20020613

基金项目:四川省应用基础基金资助项目(02GY029) - 032

作者简介:徐礼钜(1935 -),男,江苏苏州人,教授、博导

首先计算 LogiX 齿轮齿形上各关键点的坐标值,并将之输入到 ANSYS 中产生几何模型,然后选择定义单元类型及选项。单元类型的选择对计算精度和计算时间有很大的影响,所以选择时要慎重。常用的二维单元主要有三角形 3 节点单元、三角形 6 节点单元、矩形单元和 8 节点任意四边形等参单元等。经过全面的比较衡量,我们选择了 8 节点等参单元,自动划分网格。

1.3 应力计算

在应力计算时,以齿轮齿数、模数基本参数作为考虑的基本因素(取值范围 $z = 17 \sim 30$ 和模数 $m = 2 \sim 6$),忽略其它,且选取两侧齿根最大应力和整体最大位

移为目标函数。每个因素的水平数取 3,得正交计算表如表 1 所示。

表 1 正交计算表

水平	齿数	模数/mm
1	17	2
2	20	4
3	30	6

正交计算结果如表 2 所示。对于 LogiX 齿轮的初始参数,这里取相对压力角 $\delta = 0.04^\circ$,初始压力角 $\alpha_0 = 4^\circ$,初始基圆半径 $G_0 = 12000\text{mm}$ 。

表 2 正交计算结果

序号	齿数	模数	单位齿宽上的 法向载荷/(N/mm)	渐开线齿轮		LogiX 齿轮		
				最大应力/Mpa	最大位移/mm	最大应力/Mpa	最大位移/mm	最大应力减小率/%
1	17	2	353.7	895.637	0.00031	244.538	0.00027	72.7
2	17	4	176.9	221.453	0.00015	100.574	0.00013	54.7
3	17	6	117.9	98.512	0.00010	66.73	0.00007	42.6
4	20	2	318.3	688.014	0.00028	206.155	0.00024	70.1
5	20	4	159.2	172.058	0.00014	83.214	0.00011	48.2
6	20	6	106.1	76.446	0.00009	28.817	0.00008	61.8
7	30	2	212.2	516.936	0.00018	182.461	0.00018	64.7
8	30	4	106.1	129.238	0.00009	49.648	0.00007	62.0
9	30	6	70.7	57.412	0.00006	43.081	0.00004	24.6

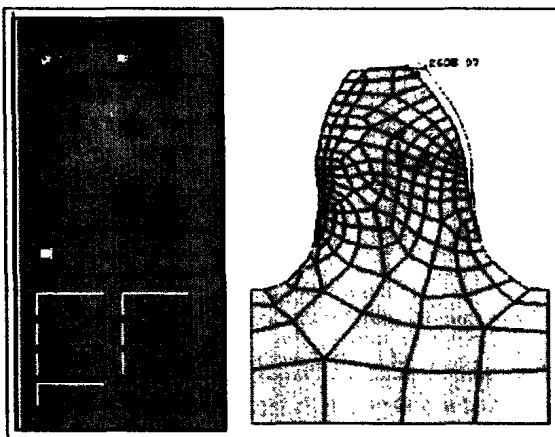


图 1 LogiX 齿轮的网格划分图

相同载荷和相同齿轮基本参数条件下,正交计算结果

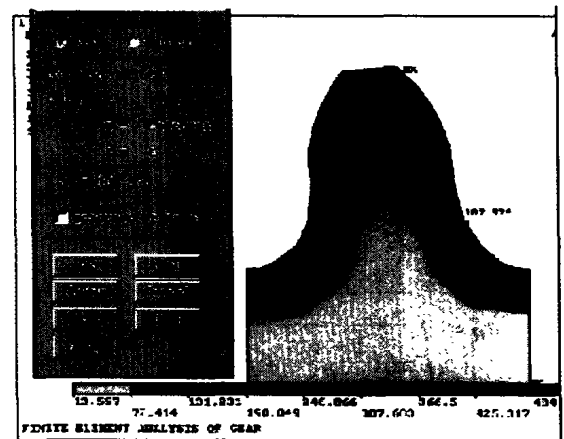


图 2 LogiX 齿轮的应力分布图

1.4 结果分析

对 LogiX 齿轮,其网格划分图和轮齿变形如图 1 所示,图中显示了变形最大的位置及其最大变形量。主应力分布情况如图 2 所示,图中标明了危险截面上的主应力的大小及其位置的分布状况。从图中可以看出最大应力发生在齿根的过渡曲线处。在相同材料、

说明,增大模数和齿数,对提高 LogiX 齿轮和渐开线齿轮的强度都有利。而且,LogiX 齿轮的弯曲强度远大于渐开线齿轮的弯曲强度,LogiX 齿轮的齿根弯曲应力比相应的渐开线齿轮小得多。从它们的应力图中也可以发现,LogiX 齿轮不但峰值应力小,高应力分布区较渐

开线齿轮也要小的多,其中等应力区域较大,说明 LogiX 齿轮应力分布的合理性。但实际工况下,齿轮一般是在变应力条件下工作的,其损坏的主要原因为疲劳损坏。齿轮的寿命并不与它所受的最大应力成正比。因此,比较 LogiX 齿轮和渐开线齿轮的弯曲强度时,不能只用有限元法所算出的静应力数值进行对比,还应该对两种齿轮的弯曲疲劳强度作实验研究。

2 LogiX 齿轮的接触强度分析计算

影响接触疲劳强度的因素很多,如接触应力、齿面接触速度、齿面润滑状态及材料的性能和热处理等。其中,接触应力是影响齿面接触疲劳强度的主要因素,将其它因素的影响可以用各种系数加以修正。所以,计算接触应力是齿轮接触疲劳强度计算的主要内容。要使齿面在预期的使用寿命内不出现点蚀,其强度条件是齿面上任何部位的计算接触应力 σ_H 都不大于轮齿的许用接触应力 $[\sigma_H]$,即 $\sigma_H \leq [\sigma_H]$ 。

对于 LogiX 齿轮,齿面接触应力的计算公式仍可以两圆柱接触的接触应力公式为基础,结合其参数导出。按赫兹公式,得接触应力为^[7]

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{F_n}{\pi L \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right)} \frac{\rho_1 \pm \rho_2}{\rho_1 \rho_2}} \quad (1)$$

式中 F_n ——法向压力(N)

L ——接触线长度(mm)

E_1, E_2 ——两圆柱体材料的弹性模量

ν_1, ν_2 ——两圆柱体材料的泊松比

ρ_1, ρ_2 ——两圆柱体的曲率半径。当圆柱体与平面接触时,则式中的 $\rho_2 = \infty$,当圆柱体与凹圆柱体接触时, ρ_2 前取减号,否则取加号。

对于 LogiX 齿轮传动,其啮合方式为凸凹啮合方式,因此式(1)变为

$$\sigma_H = \sqrt{\frac{F_n}{\pi L \left(\frac{1-\nu_1^2}{E_1} + \frac{1-\nu_2^2}{E_2} \right)} \frac{\rho_1 - \rho_2}{\rho_1 \rho_2}} \quad (2)$$

由 LogiX 齿形构造原理可知,齿廓曲线上微段渐开线的接合点处(即 N-P 点处), $\rho_1 = \rho_2$,代入上式可得 $\sigma_H = 0$ 。所以从理论上讲,在 N-P 点处的接触应力为零,即在该点处实现了滚动摩擦。若齿廓曲线上的接合点越多,则滚动摩擦点越多,LogiX 齿轮的接触强度越高。

当然在实际生产中,因加工、测量、安装等各方面的误差和传动时的弹性变形等因素的影响,接触应力

不可能为零,但与渐开线齿轮的凸凸啮合形式相比,LogiX 齿轮的凸凹啮合形式显然要好得多。

对于 LogiX 齿轮齿廓,尽管构造齿廓的微段渐开线数量越多,其该项指标性能越好,但是 CNC 插补加工则要相对困难。所以实际应用时,应具体问题具体分析。事实上,滚动摩擦和滑动摩擦两种方式按一定比例共存,还有利于使润滑均布。

3 LogiX 齿轮的噪声测试

按照文献[4]提出的创成方法,分别加工了一对 $m = 6, z = 17$ 、材料为铸铁的标准齿轮和一对 LogiX 齿轮,并在齿轮音响机上进行啮合传动性能测试(注:表中以频域分析中啮合频率为 400Hz 处的噪声信号的电压幅值作为比较依据)。图 3 为利用齿轮音响机测量噪声时的一对 LogiX 齿轮啮合传动的情况。表 3 为同等中心距、不同转速下的齿轮传动噪声测量频域分析结果,表 4 为不同中心距、某种转速下的测试分析结果。



图 3 LogiX 齿轮啮合传动及噪声测试

表 3 同等中心距不同转速下的齿轮传动噪声测量频域分析结果

测量条件	$a = 102\text{mm}$					
	300	400	500	600	700	800
LogiX 齿轮/mv	15.00	17.06	17.16	17.51	18.88	16.79
增长率/%	0	13.7	0.6	2.0	7.8	-11.1
渐开线齿轮/mv	12.66	23.33	24.71	34.75	35.16	45.6
增长率/%	0	84.3	5.9	40.6	11.8	29.7

表 4 同等转速不同中心距下的齿轮传动噪声测量频域分析结果

测量条件	$n = 400\text{r/min}$		
	100	102	104
LogiX 齿轮/mv	20.69	17.06	23.73
变化率/%	21.3	0	39
渐开线齿轮/mv	27.43	23.33	26.38
变化率/%	17.6	0	13.1

图 4、图 5 给出了转速 $n = 500\text{r/min}$ 、啮合中心距

为 102mm 下的两种不同齿轮啮合传动噪声信号频谱分析图。

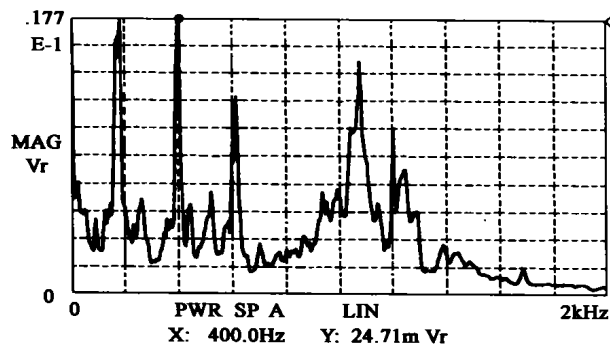


图 4 渐开线齿轮的啮合噪声频域分析图

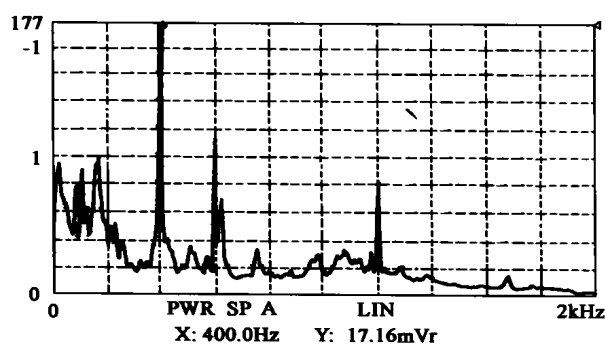


图 5 LogiX 齿轮的啮合噪声频域分析图

显然,由实验数据结果可以看出,LogiX 齿轮传动噪声比常规渐开线齿轮传动噪声要小。且在同样转速下,中心距发生变化时,渐开线齿轮噪声的变化比 LogiX 齿轮要小,LogiX 齿轮传动噪声对中心距敏感。

4 结论

通过上述分析和实际实验表明

(1) 相同模数和齿数的齿轮,LogiX 齿轮无论是接触强度还是弯曲强度,都明显优于常规标准渐开线齿轮。而且随着齿轮齿数、模数的增加,其弯曲强度提高。因此 LogiX 齿轮磨损小,寿命长。

(2) LogiX 齿轮传动噪声比相同参数的常规渐开线齿轮传动低。在标准中心距安装下,随着转速的增加,LogiX 齿轮传动噪声增幅较标准渐开线齿轮小,但 LogiX 齿轮啮合性能对中心距变化比常规渐开线齿轮传动敏感,其在标准中心距下啮合性能最好。究其原因,在中心距发生变化时,LogiX 齿轮啮合点处相对曲率半径将不再为零,接触强度明显下降,从而导致噪声明显提高。

参 考 文 献

- 1 Komori, T, Arga, Y and Nagata, S. A New Gear Profile Having Zero Relative Curvature at Many Contact Points. Transactions of the ASME, 1990, 12(3): 430 ~ 436
- 2 吴希让, 陶兴, 李顺晓. 提高齿轮寿命的新齿廓. 实用机械科技, 1992 (3): 6 ~ 12
- 3 李剑锋, 李荣刚, 冯显英. LogiX 齿轮的形成原理. 山东大学学报, 2002, 32(1): 30 ~ 33
- 4 王爱群, 冯显英, 艾兴. 微线段齿轮的创成方法探讨及其计算机仿真. 机械工程学报, 2003, 39(1): 143 ~ 148

收稿日期: 20030110 收修改稿日期: 20030428

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(59905018)

山东省优秀中青年科学家基金资助项目(01BS33)

作者简介: 冯显英(1965 -), 男, 山东金乡人, 工学博士, 副教授

《包装与食品机械》杂志简介

邮发代号: 26-111(双月刊)

《中国学术期刊(光盘版)》“中国学术期刊综合评价数据来源期刊”

《中国期刊网全文收录期刊》“中国核心期刊(遴选)数据库收录期刊”

“万方数据—数字化期刊群”首批《CAJ-CD 规范》执行优秀期刊

《包装与食品机械》杂志是中国机械工程学会包装与食品工程分会会刊。是合肥通用机械研究所包装机械分所主编的大型技术刊物。该刊为胶印彩色封面, 大 16 开本, 双月刊, 全年定价: 48 元。国内外公开发行, 国内统一刊号: CN34-1120/TS, 国际刊号: ISSN1005-1295, 广告经营许可证: 皖合工商广字 0018。国外发行代号: Q4791。

《包装与食品机械》杂志主要报道国内外包装与食品机械研制设计、包装工艺、工艺装备、包装材料、食品包装等方面的内容, 辟有专家论坛、试验研究、设计探讨、技术应用、行业综述、经验交流、标准规范、供求信息、简讯、信息窗等栏目。该杂志宗旨是传递国内外包装与食品机械研制开发信息, 促进我国包装与食品机械科研和生产的发展。该刊以全国性、专业性和实用性为特色, 读者面广, 信息量大, 深受读者欢迎。

地址: 安徽省合肥市长江路 888 号

邮编: 230031

电话: (0551)5311880

传真: (0551)5312800-2565

E-mail: bjzss@mail.hf.ah.cn

网址: http://www.chinapmftech.com