

工程机械再制造减速机齿轮接触分析

丁贺 张朝阳 于爱军

(徐州徐工挖掘机械有限公司 江苏 徐州 221000)

摘要: 为了提高工程机械减速机再制造后的性能和使用寿命, 文章对再制造减速机齿轮的接触性能进行了深入研究。采用 Pro/E 对变位齿轮参数化建模, Workbench 建立齿轮仿真分析模型, 选择动力学模块进行齿轮接触分析。分析结果表明, 转速及转矩是影响齿轮失效的主要原因。减速机转速过高时, 高速运转的小齿轮容易损伤; 转矩过高时, 低转速运转的大齿轮容易损伤, 并通过试验验证了最佳的装配工艺和再制造减速机的使用条件。

关键词: 再制造; 减速机; 齿轮接触; 仿真分析

0 引言

工程机械具有再制造性强、再制造价值大等特点, 是再制造行业的典型代表。减速机作为工程机械的关键传动元件, 每年发生故障失效的数量巨大, 减速机失效的零件中齿轮失效占到 70% 左右。因为齿间接触属于高副, 因此接触区域存在应力集中现象, 在齿轮的接触应力循环作用下容易产生齿面剥落或点蚀, 国内外有不少研究人员对齿轮啮合过程中接触应力做过大量研究, 并取得了丰硕的成果。

利用计算机仿真进行机械结构设计是现代制造领域的重要方法之一, 其目的是优化产品结构, 满足设计需求。本文利用 Pro/E 与 Workbench 软件对变位齿轮参数化建模, 分析中心距、摩擦系数、转速和转矩等参数对齿轮接触应力的影响, 对提高齿轮使用寿命及再制造装配具有重要意义。

1 齿轮副有限元模型建立

1.1 三维模型建立

以某型号减速机为例, 齿轮参数见表 1、表 2, 在 Pro/E 建立齿轮副三维模型, 导入 Workbench 进行动力学分析, 定义齿轮的材料属性: 本文设小齿轮为主动轮, 大齿轮为从动轮, 大、小齿轮材料为 20CrNiMo (弹性模量 $E=208\text{GPa}$, 泊松比 $\mu=0.295$, 质量密度 $=7870\text{kg}\cdot\text{mm}^3$), 进行网格划分后见图 1。

1.2 边界条件及载荷确定

为了模拟齿轮的真实状态, 在对齿轮进

行边界条件设定时, 需按照齿轮真实接触状态进行设定。齿轮进行动态接触分析时, 主动轮、从动轮都需要设置为绕中心轴旋转, 因此分别为主动轮、从动轮添加旋转副, 使它们可以绕中心轴转动。采用 Joint 命令为齿轮添加旋转副, 在接触 (Connection) 栏中添加 2 个 Joint 命令, 物体 (Body) 分别选择主动轮、从动轮, 接触类型 (Connection Type) 选择 Body-ground, 类型 (Type) 选择旋转副 (Revolute), 此时便分别为主动轮、从动轮

表 1 小齿轮参数

齿数	模数	压力角 / (°)	齿宽 /mm	变位系数
5	3	20	44.6	0.80

表 2 大齿轮参数

齿数	模数	压力角 / (°)	齿宽 /mm	变位系数
31	3	20	44.6	0

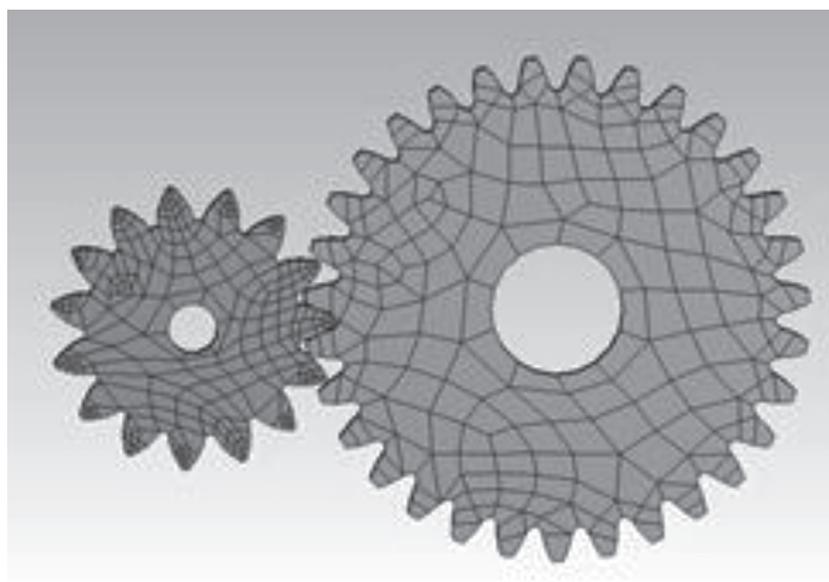


图 1 齿轮网格划分

添加了1个旋转副。

采用 Joint load 命令为齿轮添加载荷，在 Transient 栏中，添加一个 Joint Load 命令，Joint 选择大齿轮为从动轮，力矩大小 (Magnitude) 设置为 400Nm，此时便为从动轮添加了一个 400Nm 的阻力矩。添加另一个 Joint Load 命令，Joint 选择小齿轮为主动轮，转速大小 (Magnitude) 设置为 1000r/min，此时便为主动轮添加了一个 1000r/min 的转速。有限元模型如图 2 所示。

2 齿轮副接触分析

2.1 中心距对接触应力的影响

摩擦系数选择为 0.1，转速为 1000r/min，转矩为 400Nm，中心距为 71.5mm 的仿真分析见图 3。中心距分别选取为 71.5mm、71.7mm、71.9mm、72.1mm、72.3mm 进行接触分析，仿真分析计算结果见图 4。

从图 4 中可以看出齿轮的接触应力随着中心距的增加而增加，在 71.9mm 的时候有明显的拐点出现，上升趋势显著提高，达到约 900MPa，而到达 72mm 时超过 1000MPa，齿轮易受到损坏，故而推荐齿轮再制造装配过程中的中心距控制在 71.5 ~ 71.9mm。

2.2 转速对接触应力的影响

摩擦系数选择为 0.1，转矩为 400Nm，中心距分别选取为 71.5mm，转速分别设置为 1000r/min、1500r/min、2000r/min、2500r/min，仿真分析计算结果见图 5。

从图 5 中可以看出，当齿面接触应力随着齿轮转速的增加而剧烈增加，特别是当转速接近 1750r/min 时，应力最高达到约 1050MPa，此时齿轮在高速运转过程中，由于接触应力较高，齿轮容易受到剥落、点蚀等损伤，在实际运行过程中要特别注意超速运转。

2.3 摩擦系数对接触应力的影响

转矩为 400Nm，中心距选取为 71.5mm，转速选择为 1000r/min，摩擦系数分别设置为 0.1、0.2、0.3、0.4、0.5，仿真分析计算结果见图 6。

从图 6 中可以看出，摩擦系数对接触应力的影响不大，几乎保持不变，但在实际运转过程中，也要保证各个齿轮的粗糙度，若

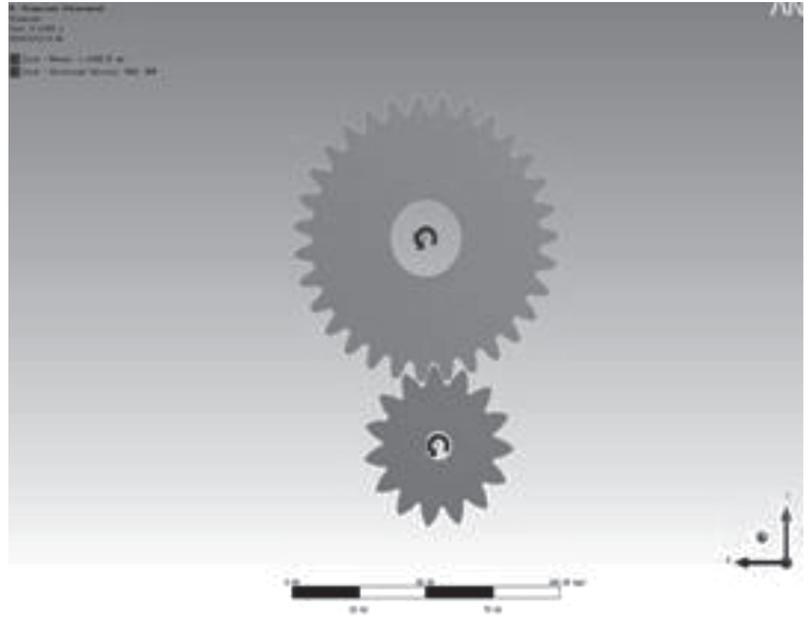


图 2 边界条件及载荷有限元模型

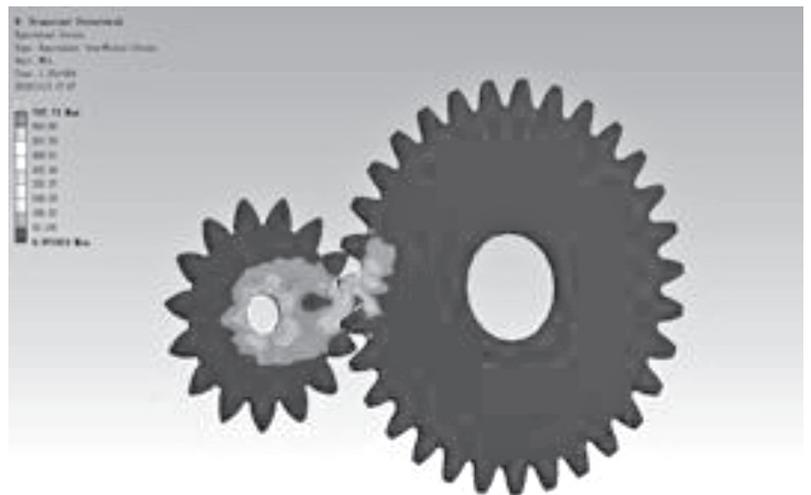


图 3 齿轮接触应力云图仿真分析

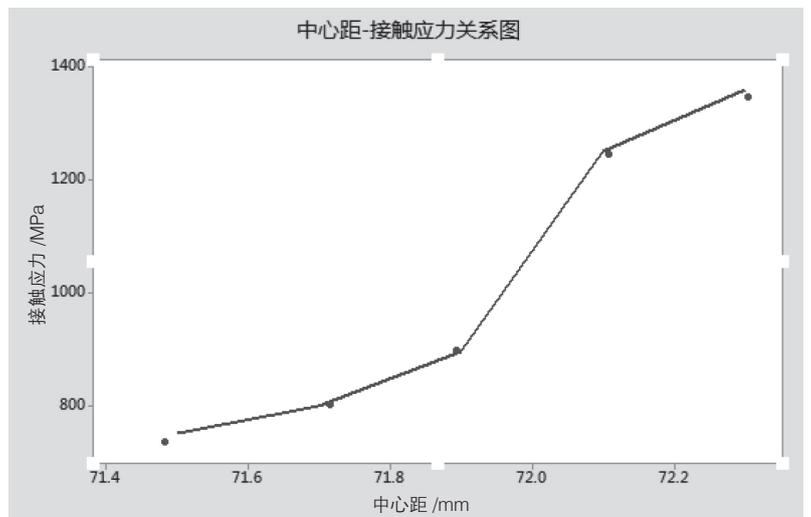


图 4 不同中心距齿轮接触应力结果

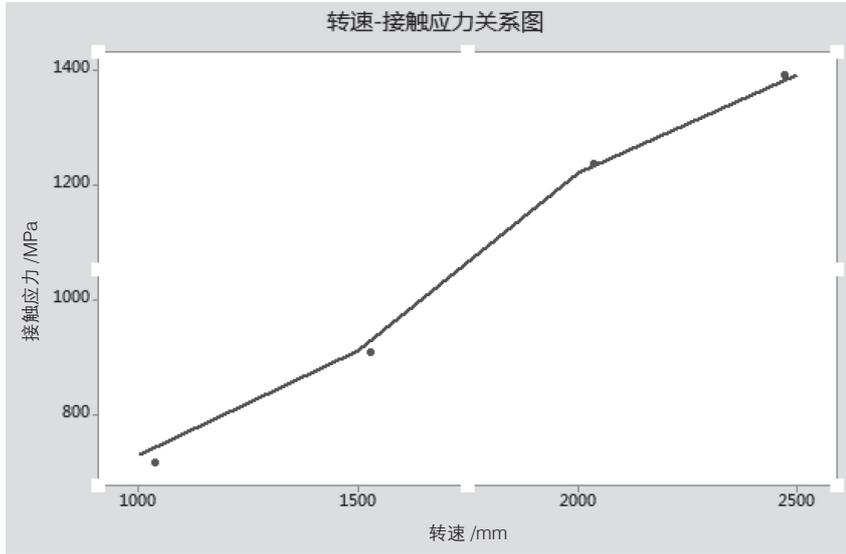


图5 不同转速齿轮接触应力结果

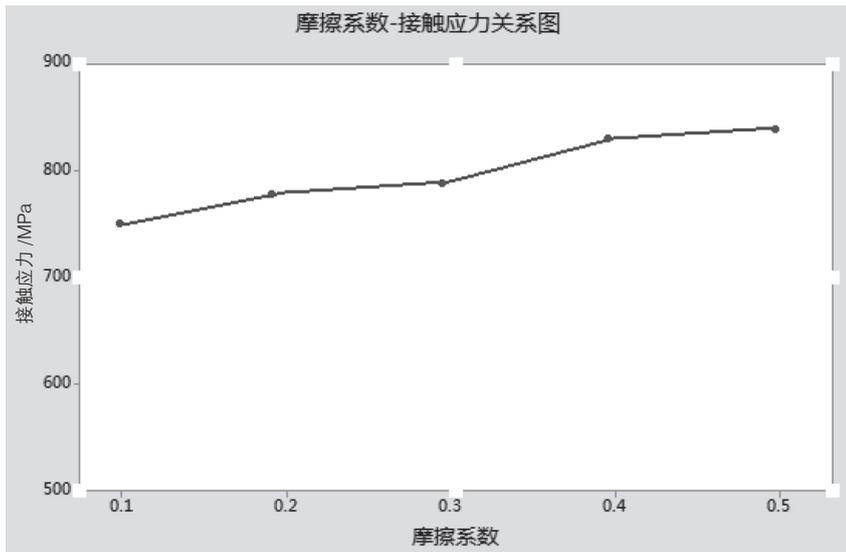


图6 不同摩擦系数齿轮接触应力

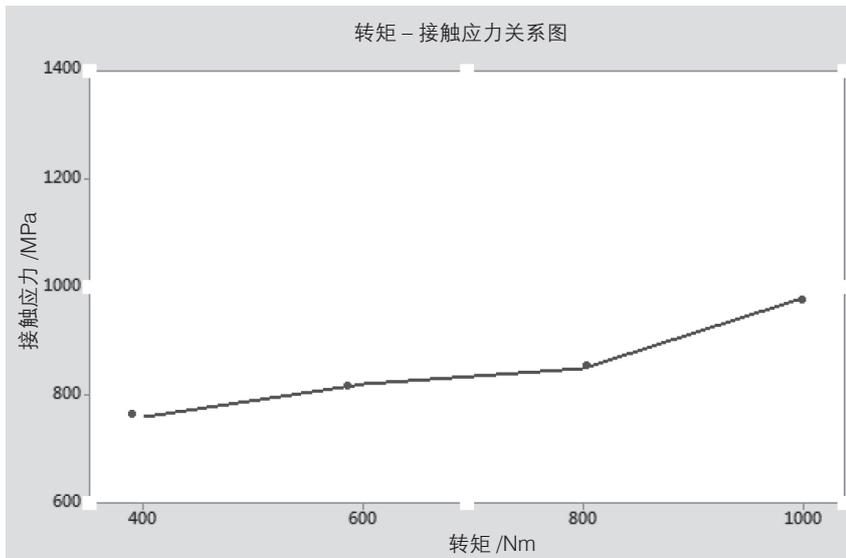


图7 不同转矩齿轮接触应力

粗糙度较高,达不到要求时,齿轮在运转过程中受到冲击的作用,容易剥落齿面的表面层,剥落的硬质容易划伤齿面,导致齿轮进一步出现严重失效。

2.4 转矩对接触应力的影响

中心距选取为71.5mm,转速选择为1000r/min,摩擦系数为0.1,转矩设置为400Nm、600Nm、800Nm、1000Nm,仿真分析计算结果见图7。

从图7中可以看出,转矩对接触应力的影响不是特别大,但从曲线上分析部应超过额定转矩的2倍即800Nm较为合适,超过800Nm后转矩对接触应力的影响将会增大。

3 试验结果与分析

通过千分表对中心距的尺寸进行测试,中心距离控制在71.5~71.7mm之间,摩擦系数通过销盘式摩擦系数试验机进行分析在0.1~0.2之间。将齿轮副装配在减速机上,通过性能实验台加载不同的转矩和转速进行试验分析(图8)。定转矩变转速,变转速定转矩进行测试分析。试验参数如表3所示。

在定转矩变转速试验过程中,转速在加载到1500 r/min时,运转平稳,传动效率在95%~96.5%之间波动,但当转速加载至1800r/min,运行约50h左右,试验出现振动加剧、异响等现象出现,随即终止试验,对减速机进行拆解后,观测到高速轴齿轮出现齿面剥落、磨损的现象(图9),结合前面的仿真分析,由于齿面接触应力过高所导致。

定转速变转矩试验过程中,转矩在加载到600Nm时,运转平稳,传动效率在95.5%~96.5%之间波动,在加载至800Nm后运行70h左右,出现振动噪声增大、异响等现象,随即终止试验,对减速机进行拆解后,观测到行星轮齿面出现齿面剥落、磨损的现象(图10),结合前面的仿真分析,由于齿面接触应力过高所导致。

4 结语

本文对再制造减速机的变位齿轮进行建模及CAE分析,分析结果表明,

表3 性能试验参数

定转矩变转速		
转矩 /Nm	转速 / (r/min)	运行时间 /h
400	500	100
	1000	100
	1500	100
	1800	100
	2000	100
	2200	100
定转速变转矩		
转速 / (r/min)	转矩 /Nm	运行时间 /h
1000	200	100
	400	100
	600	100
	800	100
	1000	100

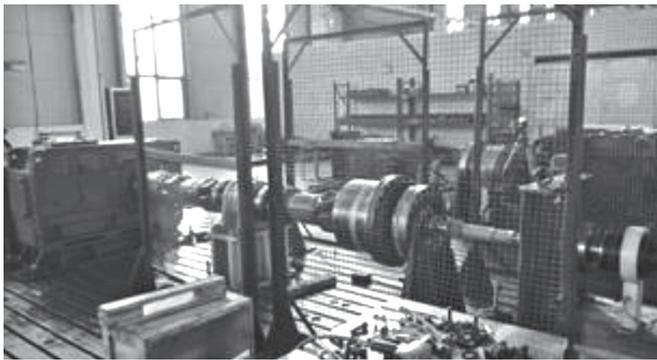


图8 减速机性能测试试验

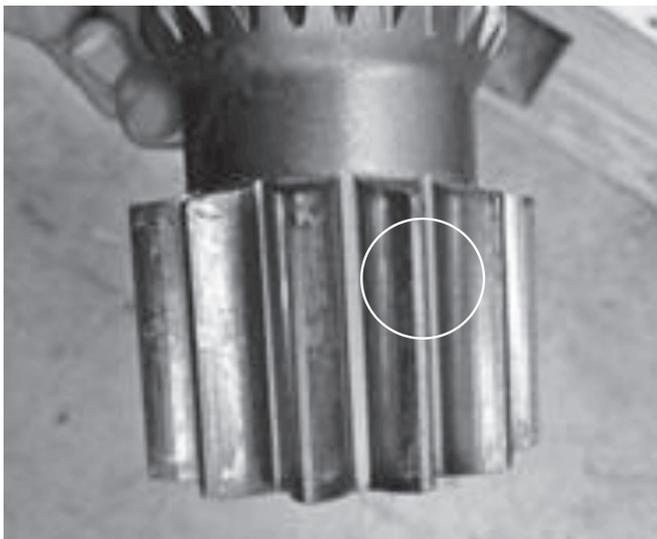


图9 高速轴齿轮损伤

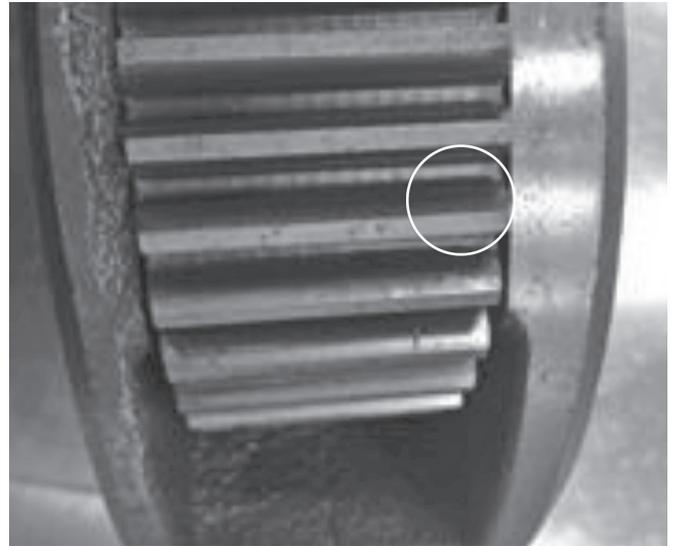


图10 低速轴齿轮损伤

转速及转矩是影响齿轮失效的主要原因。通过分析还得出,该型减速机的装配工艺为中心距71.5~71.7mm,齿轮摩擦系数≤0.2;减速机使用工况转矩≤600Nm,转速≤1800r/min。通过试验分析得出,当减速机转速过高时,高速运转的小齿轮容易损伤,当转矩过高时低转速运转的大齿轮容易损伤。

参考文献:

[1] 黄向明,张传杰,王伏林,等. 工程机械再制造过程信息追溯模型研究[J]. 湖南大学学报(自然科学版),2015,42(02):17-21.

[2] 李碧波,李素有,吴立言,等. 渐开线齿轮接触应力分布规律的研究[J]. 机械与电子,2010(06):69-71.

[3] 张永栋,谢小鹏,廖钱生,等. 基于有限元方法的齿轮接触仿真分析[J]. 滑与密封,2009,34(01):49-51.

[4] 李杰,孙青军,王乐勤. 渐开线齿轮的接触分析[J]. 工程设计学报,2009,16(01):27-31.

[5] 冯伟,周新聪,严新平,等. 接触问题实体建模及有限元法仿真实现[J]. 武汉理工大学学报,2004,26(06):52-55.

[6] 周万峰. 双渐开线齿轮接触特性研究[D]. 青岛:青岛科技大学,2016.

作者简介:丁贺(1985.05-),男,汉族,江苏徐州人,本科,工程师,研究方向:挖掘机制造工艺。