

文章编号:1673-9469(2012)03-0105-04

## 基于 ANSYS 的轨枕螺栓电动扳手芯轴可靠性分析

赵军<sup>1</sup>, 孟欣佳<sup>1</sup>, 张立香<sup>2</sup>

(1. 山西机电职业技术学院, 山西 长治 046011; 2. 中国农业大学 工学院, 北京 100083)

**摘要:** 本文通过 ANSYS 参数化设计模块, 建立芯轴三维实体模型, 将芯轴的各段直径、载荷、应力及屈服强度等参数设为服从一定分布规律的随机变量, 根据可靠性应力-强度干涉原理, 建立芯轴极限状态方程, 运用 ANSYS/PDS 模块, 采用 Monte-carlo 模拟技术的 LHS 抽样法, 对其芯轴进行可靠性分析, 给出了芯轴的可靠度数值和各参数的灵敏度图, 探讨了各设计变量对可靠度的影响规律。本研究可为轨枕螺栓电动扳手芯轴的设计提供理论依据, 对芯轴的可靠性研究具有非常重要的意义。

**关键词:** 芯轴; 可靠性分析; ANSYS/PDS; 随机变量; 灵敏度

**中图分类号:** TH123

**文献标识码:** A

## Reliability analysis of electric sleeper bolt wrench core shaft based on ANSYS

ZHAO Jun<sup>1</sup>, MENG Xin-jia<sup>1</sup>, ZHANG Li-xiang<sup>2</sup>

(1. Shanxi Electromechanical Vocational and Technical College, Shanxi Changzhi 046011, China;

2. China Agricultural University Institute, Beijing 100083, China)

**Abstract:** This paper established 3D solid model of the electric sleeper bolt wrench core shaft by ANSYS parametric design module. The core shaft diameter sections, load, stress and yield strength parameters were set to obey a certain distribution of random variables, and according to the reliability of strength interference theory, the core shaft limit state equation was established using ANSYS/PDS module and with the LHS sampling method of Monte-carlo simulation technology, the paper analyzed the reliability of core shaft and gave the reliability and the random parameter sensitivity chart of core shaft, the change rule of the reliability with random variables was discussed. This study can provide theoretical basis for the design of electric sleeper bolt wrench core shaft, and has important significance for the reliability research of core shaft.

**Key words:** core shaft; reliability analysis; ANSYS/PDS; random variable; sensitivity

电动冲击扳手是用于螺栓、螺母装卸机械化的高效工具, 广泛应用于机车、建筑、化工、冶金、坦克等行业。芯轴作为电动冲击扳手的核心部件, 芯轴的失效将直接导致扳手无法工作。芯轴的传统设计是采用材料力学的方法来完成的, 而优化和可靠性分析都是靠一些经验来完成。为此在芯轴的设计过程中不免要造成尺寸的偏大及优

质材料的浪费。随着计算机仿真技术的迅速发展, 采用计算机进行合理的可靠性分析便显得十分方便<sup>[1]</sup>。

### 1 电动扳手冲击机构结构

以轨枕螺栓预紧用电动扳手的冲击结构中的芯轴为研究对象。电动扳手的冲击结构如图 1

收稿日期: 2012-06-10

作者简介: 赵军(1972-), 男, 副教授, 硕士, 从事机电一体化技术、数控技术方向的教学与研究。

所示。

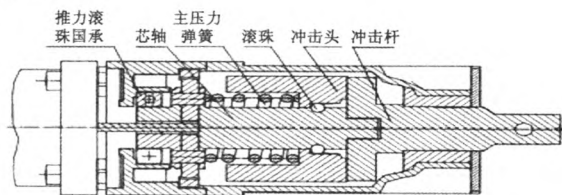


图1 冲击机构结构原理图

Fig.1 Structure schematic diagram of impact mechanism

该电动冲击扳手是通过电动机、减速器带动冲击机构运作,从而完成铁路轨枕螺栓的装卸工作。它将行星齿轮减速机构作为主传动机构,可保证冲击扳手体积小、重量轻,使电动扳手传递功率大、扭矩输出较稳定、冲击小,并能较好地实现对电动扳手扭矩和转速的控制。如图1所示,该冲击机构主要由芯轴、冲击头、滚珠、主压力弹簧、推力滚珠轴承、冲击杆等组成。其中芯轴采用V型槽结构,冲击头采用人字槽结构并带有两个凸爪。冲击机构的作用主要有两个,一是将芯轴旋转的动能转换成冲击头的冲击力,二是确保芯轴上的负载力矩在规定的范围内。

## 2 芯轴静力学分析

### 2.1 有限元建模及网格划分

轨枕螺栓电动扳手芯轴结构如图2所示。

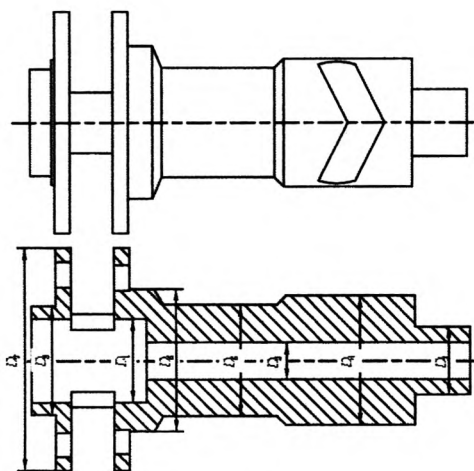


图2 芯轴结构图

Fig.2 Structure diagram of core shaft

本文采用 ANSYS 有限元分析软件直接建立芯轴的实体模型,为求解方便,在保证不影响分析

结果的前提下,忽略倒角、圆角以及人字槽以简化模型,提高模型质量,减少计算时间。建模时,芯轴的回转轴线与 ANSYS 笛卡尔坐标系的 Z 轴重合。运用 ANSYS 参数化建模模块,将芯轴的各轴段直径按参数处理,并对其进行初始化,采用的单位制为国际单位制。

根据芯轴的实体模型特性和受载情况,定义材料的弹性模量为 210 GPa,泊松比为 0.3,由于不考虑芯轴的惯性力,在此不定义材料的密度。单元选用 SOLID185 单元,该单元是 3 维 8 节点固体结构单元,每个节点有 3 个沿着 x、y、z 方向平移的自由度。划分网格时,采用自由网格划分的方式,单元边长为 0.002,整个模型共划分 159 885 个单元,32 218 个节点。建立的有限元模型如图 3 所示。

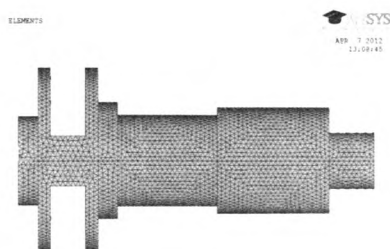


图3 芯轴有限元模型

Fig.3 The finite element model of core shaft

### 2.2 施加载荷及约束

芯轴受到的载荷有:驱动力矩  $T_1$ 、阻力矩  $T_2$  和弹簧力  $F$ 。加载时将力  $F$  转化为面上的压力,施加在芯轴直径为  $D_6$  至  $D_7$  的环形端面上。驱动力矩  $T_1$  的加载是利用“Create Component”命令对输入轴段  $D_7$  圆周面上的所有节点创建节点组元,然后在节点组元上施加绕 Z 轴旋转的转矩  $MZ = T_1$ 。同理可在输出轴段  $D_4$  上施加阻力矩  $T_2$ ,在此要保证驱动力矩与阻力矩方向相反,即所加阻力矩为  $MZ = -T_2$ 。

本模拟中只允许芯轴绕回转轴线 Z 轴旋转,因此对芯轴两个端面施加除 ROTZ 外的所有自由度。

当施加完载荷与约束后,即可对芯轴进行静力学仿真求解,得到芯轴的 Von Mises 等效应力(如图 4 所示)。由图 4 可以看出芯轴的最大应力发生在输入轴端与弹簧的接触区域。

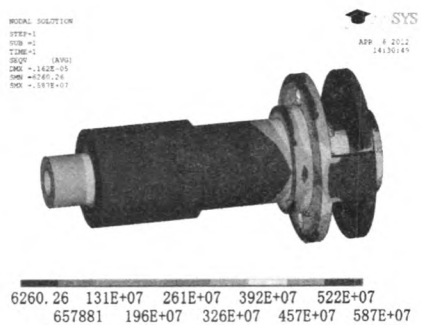


图4 Von Mises等效应力

Fig.4 The equivalent stress of Von Mises

3 芯轴可靠性分析

将节点的等效应力取绝对值,然后按升序排列,使用 \*get 命令提取应力最大值并赋值给  $S_{\max}$ ;使用 \*get 命令建立极限状态方程:  $G = S - S_{\max}$ 。当  $G > 0$  时,芯轴处于安全状态;  $G \leq 0$  时,芯轴失效。

整理命令流,生成概率分析文件(.txt 文件),进入 ANSYS/PDS 分析模块进行可靠性分析。具体步骤为:(1)指定分析文件;(2)设定输入变量和输出变量;(3)选择分析方法;(4)模拟求解。

本模拟中设定的随机输入变量如表 1 所示,输出变量为  $G$  和  $S_{\max}$ 。

表 1 随机变量统计表			
Tab.1 The statistical table of random variables			
随机变量	分布类型	参数一	参数二
$D_1/m$	GAUS	$2.7e-2$	$1e-5$
$D_2/m$	GAUS	$1.2e-2$	$5e-6$
$D_3/m$	GAUS	$2.2e-2$	$5e-6$
$D_4/m$	GAUS	$4.2e-2$	$9.8e-4$
$D_5/m$	GAUS	$3.6e-2$	$1.1e-5$
$D_6/m$	GAUS	$4.6e-2$	$1.02e-5$
$D_7/m$	GAUS	$7.2e-2$	$1.02e-5$
$D_8/m$	GAUS	$3.5e-2$	$1.04e-5$
$F/N$	GAUS	664	10.23
$S/Pa$	GAUS	1.75e8	6.86e5
$T_1/N \cdot m^{-1}$	GAUS	7.73	0.619
$T_2/N \cdot m^{-1}$	GAUS	5.63	0.45

ANSYS/PDS 概率设计模块提供了两种可靠性分析方法:蒙特卡罗 (Monte - carlo) 模拟法和响应面法<sup>[2]</sup>。蒙特卡罗模拟技术是概率分析中最常用的方法,它清楚地模拟实际问题的真实行为特征。一个仿真循环就代表一个加工制造的零件,

该零件承受一个特定系列的载荷和边界条件的作用<sup>[3-4]</sup>。模拟次数越多,说明抽样数目越大,精度就越高<sup>[5]</sup>。在 ANSYS 中,蒙特卡罗模拟技术可以选择直接抽样或拉丁超立方抽样(简称 LHS 抽样法)进行分析。LHS 抽样法具有抽样“记忆”功能,可以避免直接抽样法数据点集中而导致的仿真循环重复问题<sup>[6]</sup>。因此,本文选择 Monte - carlo 中的 LHS 抽样法进行仿真分析。

为获得较高的模拟精度,取模拟样本次数为 1 000 次,得最大等效应力的抽样过程如图 5 所示。图 5 中,最大等效应力随着抽样次数的增加逐渐趋于平稳,说明采用的循环次数足够。

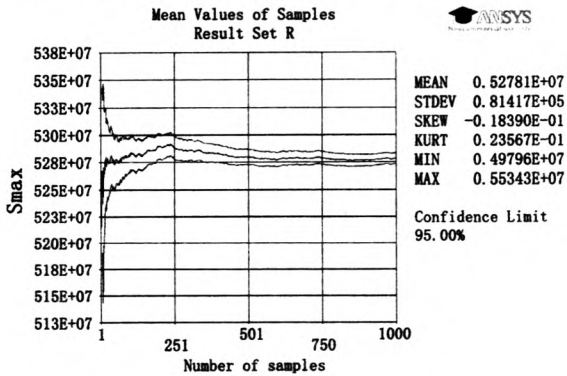


图5 最大等效应力抽样过程

Fig.5 The equivalent stress of Von Mises

4 结果分析

4.1 可靠度分析

可靠度是产品在规定的时间内和规定的条件下,完成预定功能的概率,是衡量可靠性水平高低的重要指标之一<sup>[7]</sup>。由可靠性理论可知,求一个结构的可靠度就是求极限状态方程大于零的概率。因此,极限状态方程  $G > 0$  时的概率,即为芯轴的可靠度  $R$ ,即  $R = P(G > 0)$ 。

经过计算分析后,可以查看置信度为 0.95 时,极限状态方程  $G > 0$  的概率,计算结果如下:

The probability that  $G$  is larger than 0.000 000 0e + 000 is:

Probability[ Lower Bound, Upper Bound]

9.999 96e - 001 [ 9.999 38e - 001, 9.999 99e - 001 ]

结果表明芯轴在模拟样本为 1 000,置信度为 0.95 时的可靠度为 0.999 996,接近于 1,说明该设计具有很高的可靠性。

4.2 灵敏度分析

概率灵敏度是一个非常重要的参数,通过该参数可以查看随机变量对可靠度的影响程度。在设计和制造过程中,应严格控制这些参数,得到更可靠、质量更好的产品。

图6是由“Spearman Rank”表示的芯轴可靠度对随机输入变量的灵敏度图。

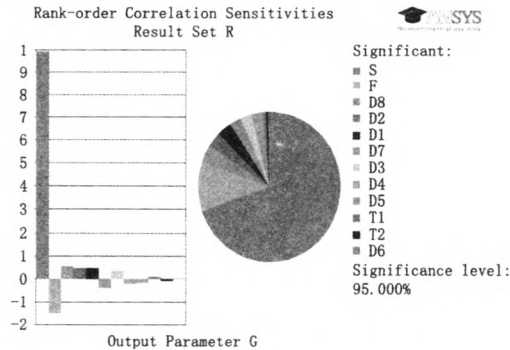


图6 随机参数灵敏度图

Fig.6 Random parameter sensitivity chart

条状图按灵敏度的大小,从左到右依次排列,0 刻度以上的表示可靠度与该参数成正比,0 刻度以下的表示可靠度与该参数成反比。饼状图从90°轴线开始,按灵敏度的大小,顺时针旋转排列,饼状图只能反映随机变量对可靠度的影响程度,而不能反映可靠度的变化规律。通过 ANSYS/PDS 输出文件可查看各随机输入参数的灵敏度数值(如图7所示)。

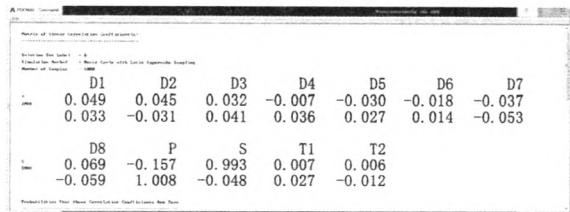


图7 参数灵敏度数值

Fig.7 Parameter sensitivity values

图7中,正值表示芯轴可靠度随该参数的增大而增大,负值表示芯轴可靠度随该参数的减小而减小,数值大小表示该参数对芯轴可靠度的影响程度。参数S的改变对芯轴可靠度的影响比例为0.993,参数F的改变对芯轴可靠度的影响比例为-0.157,说明随机变量S对芯轴的可靠度影响程度最大,且随参数S的增大而增大。

5 结论

当设计无法满足可靠度要求时,可根据各参数对芯轴可靠度的影响规律对各参数进行修正,使芯轴的可靠度达到设计的要求。本研究为改进轨枕螺栓电动扳手芯轴的设计,提高芯轴的可靠性提供了参考,具有一定的现实意义。

参考文献:

[1] 高 晖,王延遐,董 敏,等. 基于 ANSYS 活塞头部的可靠性分析[J]. 农业装备与车辆工程, 2011 (3):15 - 17.

[2] 宫恩祥,黄铭科,叶 娟,等. 基于 ANSYS 的液力透平轴可靠性分析[J]. 石油机械, 2011, 39(1): 39 - 42.

[3] 施卫东,颜品兰,蒋小平,等. 基于 ANSYS/PDS 的泵轴可靠性分析[J]. 排灌机械,2008,26(5):1 - 4.

[4] 张爱华,任工昌. 基于 ANSYS 的概率设计的高速电主轴抗共振的可靠性分析[J]. 机械设计与制造, 2010 (7):112 - 114.

[5] 叶 勇,郝艳华,张昌汉. 基于 ANSYS 的机构可靠性分析[J]. 机械工程与自动化,2004(6):63 - 65.

[6] 张洪才,何 波. 有限元分析 - ANSYS13.0 从入门到实战[M]. 北京:机械工业出版社,2011.

[7] 孙志礼,陈良玉. 实用机械可靠性设计理论与方法[M]. 北京:科学出版社,2003.

(责任编辑 刘存英)