

盾构掘进机的减速箱动力学分析

刘智辉¹ 朱洪秀^{2*} 袁向华¹

1. 上海隧道工程有限公司机械制造分公司 上海 201306

2. 上海海事大学 上海 201306

摘要: 通过对盾构掘进机的减速箱三维建模,并运用Ansys瞬态动力学分析方法,对减速齿轮系传动过程进行数值分析,检验齿轮箱齿轮系的设计要求能否满足材料力学性能要求,通过瞬态动力学分析,盾构机减速箱齿轮系在传动过程其应力集中部位发生在齿轮啮合接触处和齿根部位,同时随着运行产生交变应力。

关键词: 有限元; 减速机; 齿轮系传动; 应力集中; 瞬态动力学

DOI: <https://doi.org/10.37155/2717-5197-0309-12>

1 引言

有限元在减速机分析中的应用^[1,2,3]比较普遍,其中静力学分析、动力学分析^[4]以及模态分析^[5]在传统机械领域发挥着重要的指导作用,在设计研发阶段验证产品设计的可靠性和准确性^[6,7]。减速机在盾构机掘进时,起到改变传动比以及传递扭矩的作用—从高速低扭矩电动机端到低速高扭矩的减速机扭矩输出端。其中扭矩的变化随着传动比的提高而不断突变,为了在设计研发过程中,能够可视化得到减速机的各个齿轮和各个轴段的应力分布、应力变化,来确保设计时满足材料本身的力学性能。而在传统机械设计领域,工程师们往往需要基于机械设计理论知识,以及不断简化模型外观尺寸,优化数学理论模型,非常考验工程师们的专业水平和功底,同时计算量庞大。通过有限元分析建立相关模型,设置相关材料属性,调用相关计算模块,比较方便的得出求解结果。根据其可视化功能,十分方便的得出应力最大区域。

2 有限元模型

盾构掘进机采用行星齿轮系传动,图1为设计阶段的减速机结构剖视图,其主要有行星齿轮系以及箱体构成。其中行星齿轮系分别由太阳轮、行星轮、外齿圈、行星架等基本构件组成。他们之间的配合传动起到了传递扭矩和改变传动比的作用。为了研究其运转工况下的应力应变分布,对其进行建模以及优化。

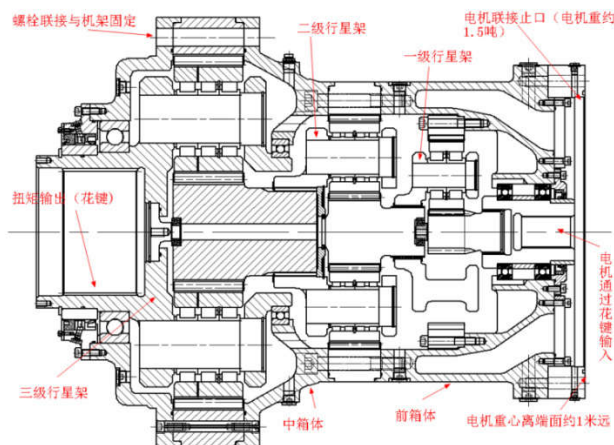


图1 减速机结构剖视图

*通讯作者: 朱洪秀, 1994年11月, 男, 汉, 浙江省台州市, 硕士。研究方向: 电气工程。

项目名称: 上海市工业强基专项, 隧道掘进机刀盘主驱动装置减速机和密封圈的研发、生产、工程应用“一条龙”项目(GYQJ-2019-1-37)。

2.1 减速机模型

假定减速机箱体的刚性较大，同时假设减速机齿轮系传动对中良好。其模型可优化为图2显示的模型。整个齿轮系由太阳轮、行星轮、外齿圈、行星架等基本构件组成。从太阳轮端输入扭矩，然后从行星架输出端输出扭矩。

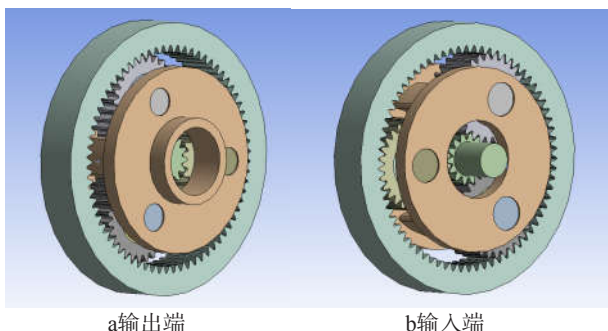


图2 减速机齿轮系模型

2.2 有限元参数

减速机齿轮系材料包括太阳轮、行星轮、外齿圈、行星架等构件设置为42CrMo 的材料参数，箱体等构件材料参数设置为下表QT500-7的材料参数。详细参数参见表1。

表1 齿轮系构件材料参数表

部件名称	材料名称	弹性模量(N/m ²)	泊松比	质量密度(kg/m ³)	屈服强度(N/m ²)
行星架	42CrMo	2.12×10^{11}	0.280	7850	9.3×10^8
箱体	QT500-7	1.62×10^{11}	0.293	7000	3.2×10^8

2.3 减速机工况及边界条件

为了保证盾构机掘进时正常的工作扭矩输出，要求减速机设计时的工况如表2所示，输出端扭矩为203.5 kN·m，输出的转速为9.4 rpm，以及其传动比为104.93: 1。

表2 齿轮系设计输出工况

输出扭矩(kN·m)	输出转速(rpm)	总传动比
203.5	9.4	104.93: 1

在有限元分析中把上诉的工况需求作为模拟的边界条件输入，定义一级行星架的输出端转动扭矩为11.637 kN·m，其太阳轮输入端转速为986rpm，所以在workbench中行星架的输出扭矩为11.637 kN·m，太阳轮的输入端设置为远端位移约束，其旋转速度为986rpm。同时设置太阳轮，行星轮以及外齿轮的接触面，设定其摩擦系数为0.1，外齿轮圈实际与箱体固定配合故设置为绑定，以及齿轮与固定转轴设定为无摩擦接触。

3 仿真结果

根据上诉模型以及边界条件，用软件分析计算，对太阳轮、行星轮、行星架应力分布进行分析。

3.1 行星架应力分析

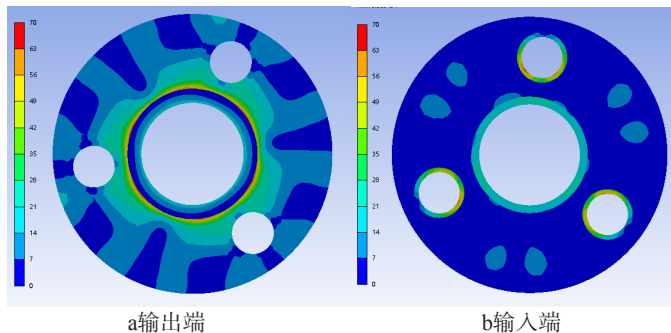


图3 行星架应力分布云图

行星架应力云图如图3所示。根据应力云图所示，其应力主要集中在输出端的截面突变处以及输入端的行星轮轴孔部位。其应力分布符合实际工况，最大应力大约为70MPa，满足材料力学性能要求。

3.2 行星轮应力分析

对于行星轮来说，由于其接触形式为齿形啮合接触，其接触面与它的弹性形变量有关，导致其接触面积小，应力集中。图4为行星轮齿轮啮合运行过程中的应力分布以及其应力变化。

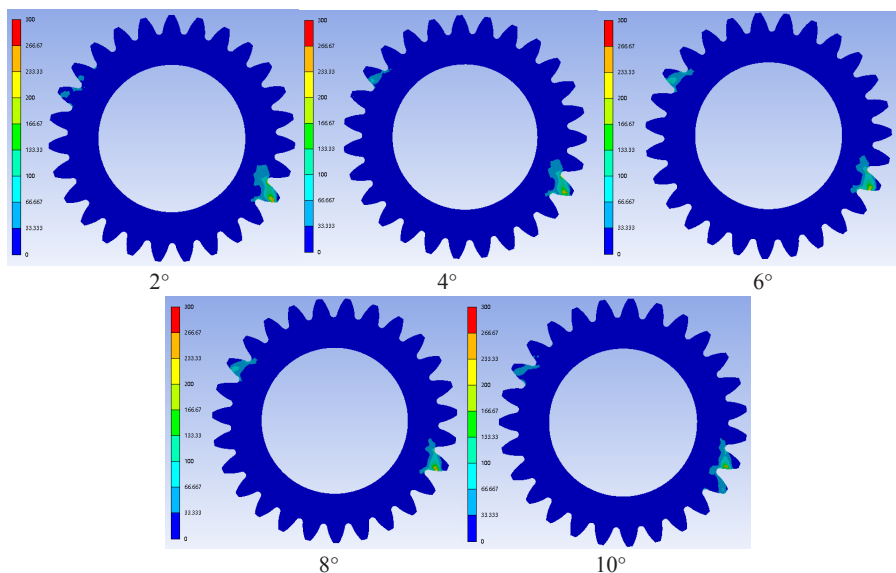


图4 行星轮应力分布云图（太阳轮旋转角度）

在减速机齿轮运行过程中，行星轮齿轮应力云图随着啮合的位置的变化而不断发生变化，且最大应力产生在齿轮啮合部位，并且啮合处齿根部位也存在应力集中现象。随着运行过程，齿轮受交变载荷的作用，齿轮也产生了交变应力。其最大应力在300MPa附近，符合设计工况。

3.3 太阳轮应力分析

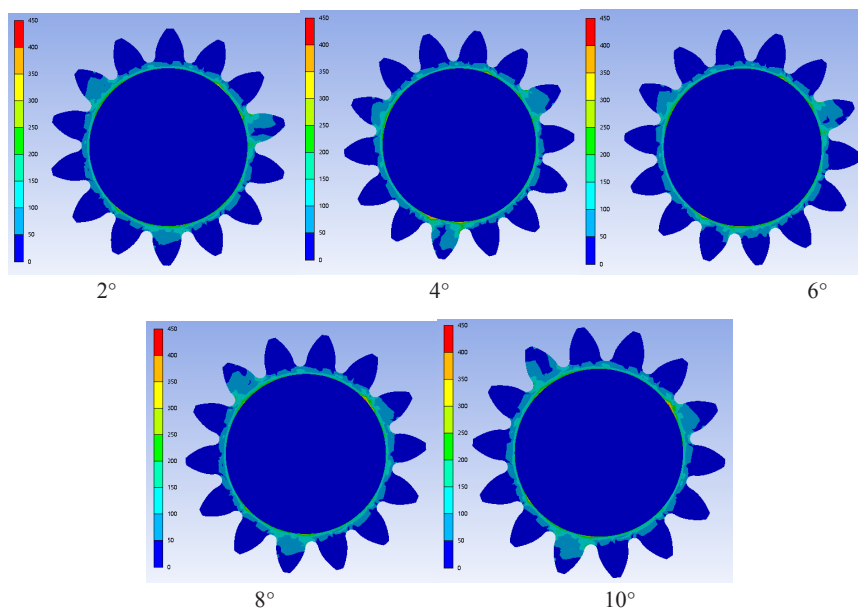


图5 太阳轮应力分布云图（太阳轮旋转角度）

在减速机齿轮运行过程中，如图5所示，太阳轮齿轮应力云图也随着啮合的位置的变化而不断发生变化，且最大应力产生在齿轮啮合部位，并且啮合处齿根部位与太阳轮界面突变处存在应力集中现象。随着运行过程，齿轮受交变

载荷的作用, 齿轮也产生了交变应力。其最大应力在450MPa附近, 符合设计工况。

4 结论

通过有限元分析减速机齿轮的啮合过程, 得出以下结论: 减速机齿轮系在传动过程中, 其主要应力集中在齿轮啮合面以及齿轮啮合的齿根处。随着齿轮传动过程, 出现交变应力。在该文中的减速机齿轮的设计工况下, 其最大集中应力出现在太阳轮处, 最大应力大致为450MPa, 满足设计工况。有限元法适用于减速机齿轮系传动过程的分析, 其应力分布区域符合传统机械设计的理论。

参考文献:

- [1]陆静.卷盘喷灌机行星齿轮减速箱优化设计与仿真分析[D].江苏大学,2019.
- [2]任杰锶.某轻卡变速箱的静力学仿真分析[J].汽车实用技术,2021,46(15):108-112.
- [3]王敏,万长东,田玉祥.减速箱蜗杆断齿故障机理仿真分析与试验研究[J].现代制造工程,2020(11):150-153+130.
- [4]马胜.ISofer-MG1型行星齿轮减速箱非线性动力学与故障诊断研究[D].西南交通大学,2020.
- [5]李静,杨宏斌,任继华,徐爱军.智能扫地机滚刷齿轮箱的振动特性仿真分析及试验研究[J].机械传动,2021,45(08):124-129.
- [6]韩星会,张轩诚,郑方焱,徐曼,田俊.新型螺旋非圆锥齿轮的数学模型和齿面接触分析(英文)[J/OL].Journal of Central South University:1-16[2021-10-09].
- [7]徐雁波,郭媛媛,贾松阳.风电偏变驱动器设计中的齿轮轴轴承校核问题研究[J].机电工程,2021,38(09):1160-1166.