

# 掘进机截割减速器轻量化设计分析

皇甫杰

(山西兰花科技创业股份有限公司望云煤矿分公司)

**摘 要:**对望云煤矿 EBZ200 掘进机截割减速器进行轻量化设计,根据经验设计方法对截割减速器太阳轮、行星、内齿圈等结构参数进行调整。为验证此次掘进机截割减速器轻量化设计的可行性,分别对参数优化调整后的行星机构和行星架进行有限元仿真分析,结果表明调整后的行星机构和行星架可以满足望云煤矿 EBZ200 掘进机安全生产要求,轻量化改进后的掘进机截割减速器的质量减轻 11%,降低了减速器制造成本,达到了设计目的。

**关键词:**掘进机;截割减速器;行星架;轻量化设计;有限元仿真分析

## 1 概况

煤矿掘进机截割减速器结构设计方法多为理论计算法、经验设计法等,所设计的掘进机截割减速器精准性不足,为保障掘进机性能,通常会采用增加材料使用量等方法,导致掘进机截割减速器制造成本增加。针对此种情况,以望云煤矿 EBZ200 掘进机截割减速器为研究对象,在满足载荷条件的同时,开展合理轻量化设计,减少减速器体积质量,节约减速器制造材料,降低制造成本。

## 2 掘进机截割减速器轻量化设计参数

望云煤矿 EBZ200 掘进机截割减速器采用

YBUD-200/110-4/8 型电机,输入功率 110 kW,额定转速 1481/737r/min。改进前的掘进机截割减速器基本参数如下。

(1)太阳轮:一级太阳轮和二级太阳轮的模数为 6、8;齿数为 18、16;齿形角为  $20^\circ$ ;齿顶高系数为 1;齿宽为 80mm、120mm;分度圆直径为 108mm、128 mm;齿顶圆直径为 120 mm、144 mm;齿根圆直径为 93mm、141mm;基圆直径为 101.487mm、120.592 mm。

(2)行星轮:一级行星轮和二级行星轮的模数为 6、8;齿数为 26、19;齿形角为  $20^\circ$ ;齿顶高系数为 1;齿宽为 75 mm、112 mm;分度圆直径为 156 mm、152 mm;齿顶圆直径为 168mm、168mm;齿根圆直径为 141mm、132mm;基圆直径为 146.592mm、142.833 mm。

(3)内齿圈:一级内齿圈和二级内齿圈的模数为

6、8;齿数为72、56;齿形角为 $20^{\circ}$ ;齿顶高系数为1;齿宽为80 mm、120 mm;分度圆直径为432 mm、448 mm;齿顶圆直径为420 mm、432 mm;齿根圆直径为447 mm、468 mm;基圆直径为405.947 mm、342.982 mm。

根据仿真模拟试验和日常使用经验,对EBZ200掘进机截割减速器进行轻量化调整,具体参数如下。

(1)太阳轮:一级太阳轮和二级太阳轮的模数为5.5、6;齿数为17、19;齿形角为 $20^{\circ}$ ;齿顶高系数为1;齿宽为80 mm、120 mm;分度圆直径为93.5 mm、114 mm;齿顶圆直径为104.5 mm、126 mm;齿根圆直径为79.75 mm、99 mm;基圆直径为87.861 mm、107.125 mm。

(2)行星轮:一级行星轮和二级行星轮的模数为5.5、6;齿数为25;齿形角为 $20^{\circ}$ ;齿顶高系数为1;齿宽为75 mm、113 mm;分度圆直径为137.5 mm、150 mm;齿顶圆直径为148.5 mm、162 mm;齿根圆直径为123.75 mm、135 mm;基圆直径为129.208 mm、140.954 mm。

(3)内齿圈:一级内齿圈和二级内齿圈的模数为5.5、6;齿数为67、69;齿形角为 $20^{\circ}$ ;齿顶高系数为1;齿宽为80 mm、120 mm;分度圆直径为368.5 mm、414 mm;齿顶圆直径为357.5 mm、402 mm;齿根圆直径为382.25 mm、429 mm;基圆直径为346.954 mm、389.033 mm。

### 3 掘进机截割减速器有限元模型构建

根据EBZ200掘进机截割减速器轻量化设计参数,通过SolidWorks软件构建减速器各关键结构的三维几何模型,包括行星架、太阳轮、行星轮、内齿轮等,为方便计算,对模型进行简化处理,省略模型中倒角、小孔等不影响结构性能的细节。对模型进行虚拟装配,实施结构件间干涉检验,确认不存在干涉

问题后,形成如图1所示的掘进机截割减速器轻量化模型。

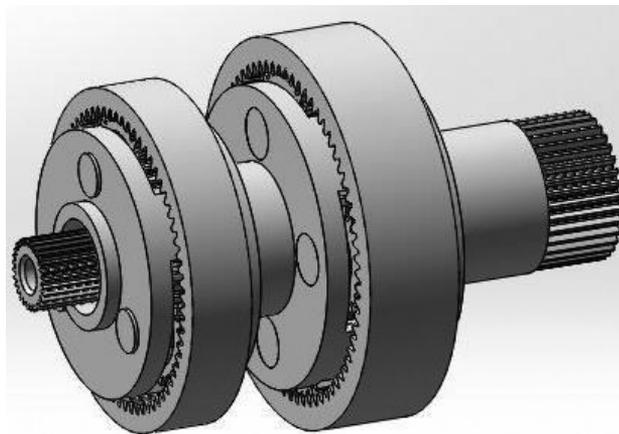


图1 掘进机截割减速器轻量化模型

将掘进机截割减速器轻量化模型导入到ANSYS软件中,根据XXX煤矿EBZ200掘进机截割减速器实际情况,配置10Cr2Ni4A合金结构钢,单元属性设置为C3D8R六面体单元,通过扫掠实体网格划分法进行网格划分。

## 4 仿真分析

### 4.1 行星机构

通过ANSYS软件进行减速器行星机构有限元仿真分析。图2~图4为一级行星轮的等效变形云图、等效应力云图以及等效应变云图,其他结构件仿真分析结果与之类似,具体仿真分析结果见表1。

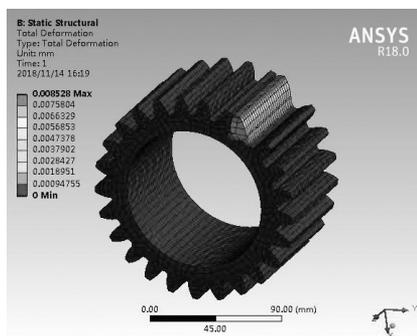


图2 一级行星轮等效变形云图

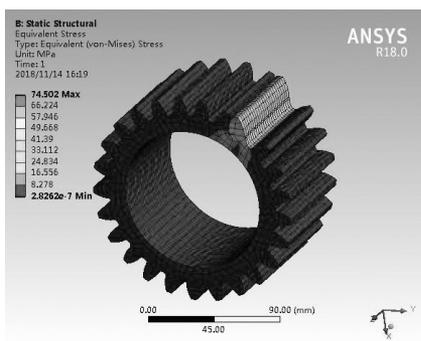


图3 一级行星轮等效应力云图

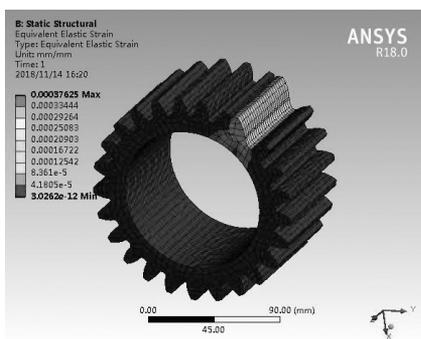


图4 一级行星轮等效应变云图

表1 掘进机截割减速器行星机构有限元仿真结果

项目	最大应力 /MPa	最大应变 /mm	最大变形 /mm	安全系数
一级太阳轮	107.33	0.000 55	0.012 02	2.332 7
一级行星轮	74.612	0.000 39	0.008 54	3.356 7
一级内齿圈	30.54	0.000 16	0.004 68	8.216 8
二级太阳轮	168.79	0.000 87	0.026 41	1.483 2
二级行星轮	167.9	0.000 85	0.018 40	1.491
二级内齿圈	79.921	0.000 43	0.009 86	3.133 5

如表1所示,掘进机截割减速器轻量化设计中一级行星机构和二级行星机构中各关键结构件的安全系数均大于1(最大应力/许用应力),说明此次轻量化设计。在掘进机截割减速器行星机构中,一级太阳轮和二级太阳轮在有限元仿真分析中所承受的应力相对较大,分别为107.33 MPa和168.79 MPa;其次为行星轮,一级行星轮和二级行星轮所承受的应力分布为74.612 MPa和167.9 MPa;内齿圈所承受的应力值相对较小,一级内齿圈和二级内齿圈所承受

的应力值分别为30.54 MPa和79.921 MPa。

总体来说,此次轻量化设计较为安全可靠,可满足要求。不过从图中可以看出,行星机构中太阳轮和行星轮所承受的应力相对较大,并且主要受力点位于齿轮啮合区域,易产生塑性变形,所以轻量化设计后应对行星齿轮表面进行渗碳淬火等热处理工艺,增加齿轮表面硬度。

#### 4.2 行星架

通过ANSYS软件进行掘进机截割减速器行星架有限元仿真分析。图5~图8为一级行星架仿真模拟结果,二级行星架仿真分析过程与一级行星架基本一致。

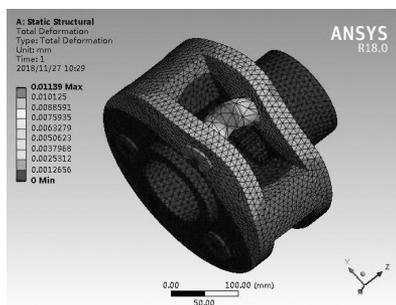


图5 一级行星架总变形云图

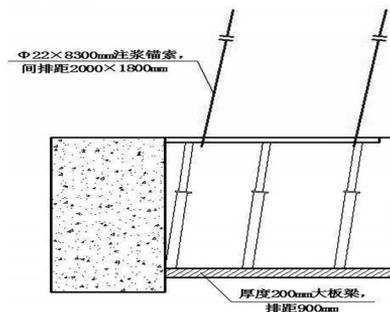


图6 一级行星架等效应力云图

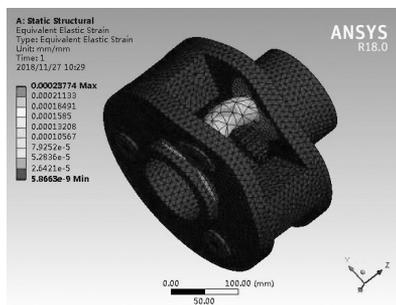


图7 一级行星架等效应变云图

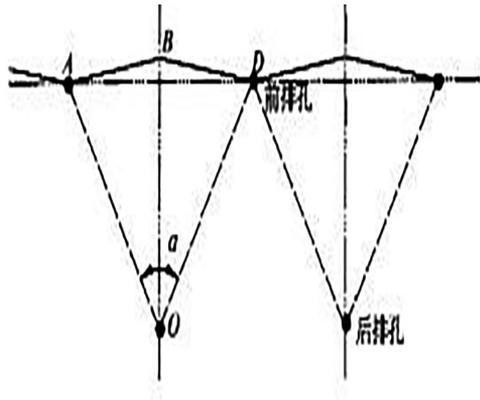


图8 一级行星架安全系数云图

通过仿真分析可知,EBZ200掘进机行星减速器轻量化设计中一级行星架有限元仿真分析中所承受的最大应力为45.491MPa,最大应变为0.00024 mm,最大变形为0.01140 mm,安全系数为5.4956。二级行星架有限元仿真分析中所承受的最大应力为101.79MPa,最大应变为0.00051mm,最大变形为0.034386 mm,安全系数为2.4559。

从图中可以看出,行星架最大受力区域集中在行星架与行星轮轴联接区域,最大变形区域为行星轮轴区域。相较于一级行星架,二级行星架所承受的应力和应变更大,但总体来说行星架性能符合要求。

## 5 工程应用

为进一步验证掘进机截割减速器轻量化设计可行性和应用价值,将轻量化设计应用于望云煤矿中,改进前后的截割减速器质量见表2。

表2 掘进机截割减速器改进前后质量对比

项目	原质量/kg	现质量/kg	减重/kg
一级太阳轮	12.3	7.5	4.8
一级行星轮	8	4.6	3.4
一级内齿圈	28	23.6	4.4
二级太阳轮	22.5	15.5	7
二级行星轮	12	8.5	3.5
二级内齿圈	56	50	6

如表2所示,改进前后掘进机截割减速器的总质量分别为406.5 kg和359.5 kg,相较于改进前,改进后的轻量化设计中掘进机截割减速器的质量减轻11%,并且在为期6个月的工程应用中未出现任何异常,说明此次掘进机截割减速器轻量化设计的可行性。

## 6 结语

综上所述,以望云煤矿EBZ200型掘进机截割减速器为研究对象,进行掘进机截割减速器轻量化设计,该设计经过有限元仿真分析和实际工程应用分析,可以满足望云煤矿EBZ200掘进机安全生产要求,轻量化改进后的掘进机截割减速器的质量减轻11%,达到了减少体积质量,节约减速器制造材料,降低制造成本的目的。

### 参考文献:

- [1]郝锦龙,董洪全.掘进机截割部减速器动力学建模及行星架结构强度分析[J].煤矿机械,2020,41(10):87-90.
- [2]胡亮,赵国瑞,李旭.掘进机截割部行星齿轮传动系统断齿故障仿真分析[J].矿业科学学报,2020,5(4):409-415.
- [3]刘赣华,包世阳,黄云生.机械手减速器行星架组仿真与试验研究[J].机械设计与研究,2020,36(3):72-76.
- [4]马建军.掘进机截割部行星减速器结构的优化改进研究[J].机械管理开发,2021,36(9):30-32.
- [5]吴迅.基于有限元应力分析下对差动减速器行星架设计优化[J].中国设备工程,2020(9):90-91.