

# YQL5.5×66型链篦机关键部位受力分析及改进设计

刘红卫

中煤科工集团沈阳设计研究院有限公司 辽宁 沈阳 110066

**摘要:**链篦机头轮轴用于驱动篦床的形走,在高温状态下所承载荷最大,对零件材质要求较高。链篦机中的头轮轴、小轴、链节承载着整个系统的连接作用,并且从常温到600~700°C之间进行循环往复工作。本文通过ANSYS软件对头轮轴进行有限元分析,改变以往传统的实心轴结构,将头轮轴改为厚壁管结构,从而节省加工成本、缩短制造周期;通过常规力学分析对小轴、链节进行校核,利用ANSYS软件从强度、刚度对该部件进行有限元分析,并且对链节进行了热力学分析,对今后的链篦机设计与生产提供一定的指导作用。

**关键词:**链篦机;头轮轴;小轴;链节;有限元分析;厚壁管

## 引言

链篦机是应用在高炉炼铁用链篦机一回转窑氧化球团线的主机设备,是该工艺线上三大主机设备中的核心设备。其特点是:高温、大型、工况环境恶劣,操作维修难,主要在钢铁公司和铁矿矿山中使用。链篦机是用于冶金烧结大型主机设备,该机是在高温状态下大链条平行运行的非标设备。其用途是:将造球机造好的料球,经过本机的干燥、预热使料球产生一定的强度等,再经窑尾溜槽送入到回转窑中进行焙烧,使其达到质量要求,生产出合格的氧化球团<sup>[1]</sup>。

由于链篦机属于热工设备,内部结构比较复杂,零部件达上万个,如果针对每个零件都进行受力分析,工作量巨大,而且也没有必要,因为很多部件只是辅助功能或没有太高的强度、刚度要求。只要把关键零部件分析的清楚、透彻,链篦机就能很好的运行,起到事半功倍的效果。

运行部分是链篦机的核心部件,其中包含了链篦机设备中价值含量最高的零部件,链篦机关键零部件结构质量的高低直接影响着设备的总体成本及运行状。头轮轴用于驱动链篦床装置的走行,处于链篦机温度最高的炉窑处(回转窑窑尾),热风温度达1050°C,要求采用合金钢锻件<sup>[2]</sup>。由于此处环境复杂、所承载荷较大,头轮轴的好坏直接影响着整套球团生产线的正常运行,在设计头轮轴时往往通过传统的加大安全系数法来降低故障的发生,这样就会造成头轮轴的尺寸过大,材料浪费。并通过对小轴、链节进行常规力学分析,在此基础上利用ANSYS软件分别对小轴、链节进行有限元分析,得出应力和位移分布情况,并根据计算结果从强度和刚度两方面进行分析,验证该设计是否满足使用要求。

本文以YQL5.5×66型链篦机为例,运用ANSYS软件

对该零件进行受力分析,得出应力和位移分布情况,并根据计算结果从刚度、强度两方面对比分析,在满足载荷要求和具有一定安全系数的前提下改进零件结构和尺寸,降低制造成本。

## 1 头轮轴的有限元分析

本链篦机头轮轴为阶梯轴,驱动处轴径为 $\phi 380\text{mm}$ ,轴承座处轴径为 $\phi 400\text{mm}$ ,链轮处轴径分别为 $\phi 445\text{mm}$ 、 $\phi 460\text{mm}$ 、 $\phi 475\text{mm}$ ,轴长为9340mm,通水孔内径为 $\phi 80\text{mm}$ 。首先利用ANSYS软件进行建模,通过ANSYS软件对头轮轴的材质进行设置,并划分实体单元网格,单元类型采用SOLID45单元,该实体单元有8个节点,每个节点有3个自由度,总单元数为52077个,总节点数为81333个,自由划分网格形状为四面体和六面体。由于链槽处为重点受力部分网,所以该处网格划分较总体网格更为细致<sup>[3]</sup>。

对头轮轴进行边界约束,在驱动端轴表面施加轴向、径向和切向约束A,在轴承座处的轴表面施加径向约束B,在轴两侧施加的驱动重力载荷之和为C,7个链轮处承受重力载荷之和为D,E、F为一对力偶,数值分别为加载在两侧链槽处力的总和,G为连轮处水平拉力总和,轴自重通过设置重力惯性自动加载<sup>[4]</sup>。

通过ANSYS软件进行受力分析,得到应力图和应变图,最大等效应力发生在两端轴承座处,大小为165.52MPa;最大变形量发生在轴中心处,大小为2.0024mm。分析得出该轴最大应力小于屈服极限应力,其安全系数也满足要求。

## 2 头轮轴的改进设计

由于头轮轴在高温环境下工作,在轴中心处有通水孔进行降温,需做深钻孔加工。由于加工难度较大,并且加工周期也长,如果将原实心轴结构换成厚壁管结

构，并选择合理的通水孔内径后，就免去了一道内孔加工工程序，可以降低加工难度、减轻重量。查相关管标准手册及与钢管制造厂家沟通后，考虑到毛坯钢管锻造成本，选择了三种不同管内径，分别为： $\phi 120\text{mm}$ 、 $\phi 140\text{mm}$ 、 $\phi 150\text{mm}$ ，钢管外径为 $\phi 490\text{mm}$ 。

通过ANSYS软件对三种管径进行分析，得出如下应力分布云图，如图1、2、3、4、5、6所示。

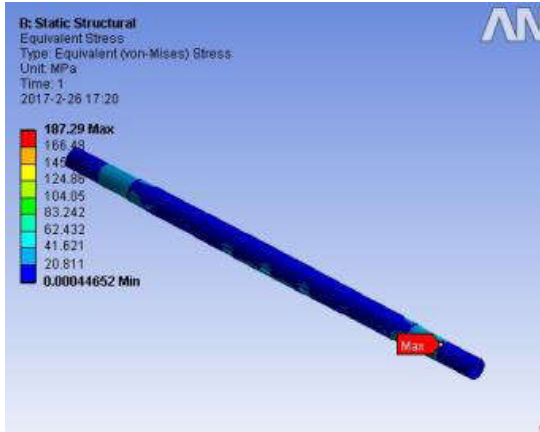


图1 内径 $\phi 120\text{mm}$ 应力云图

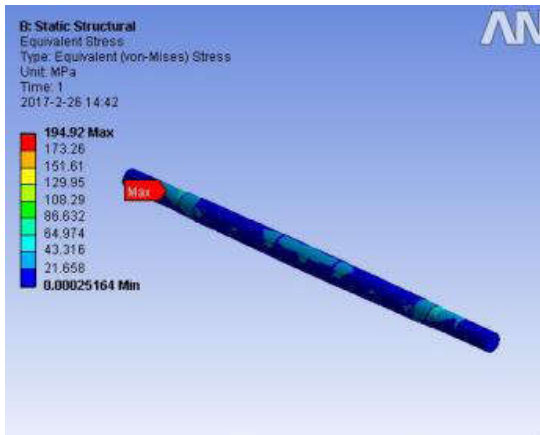


图2 内径 $\phi 140\text{mm}$ 应力云图

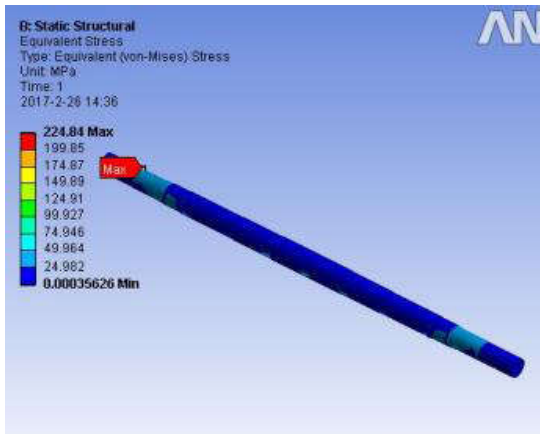


图3 内径 $\phi 150\text{mm}$ 应力云图

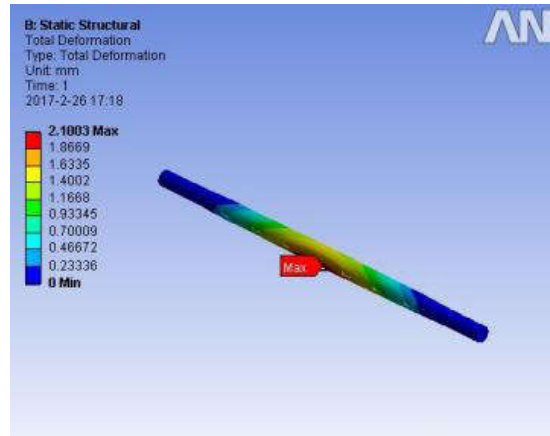


图4 内径 $\phi 120\text{mm}$ 应变云图

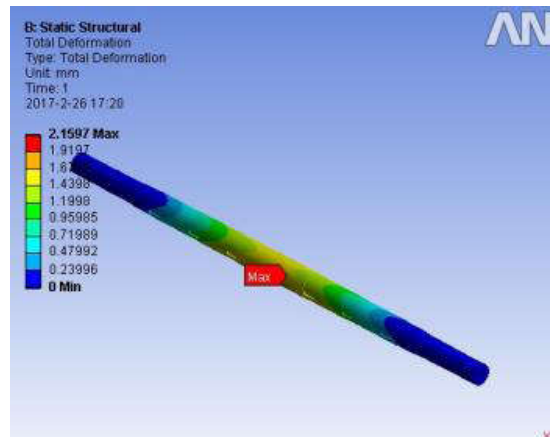


图5 内径 $\phi 140\text{mm}$ 应变云图

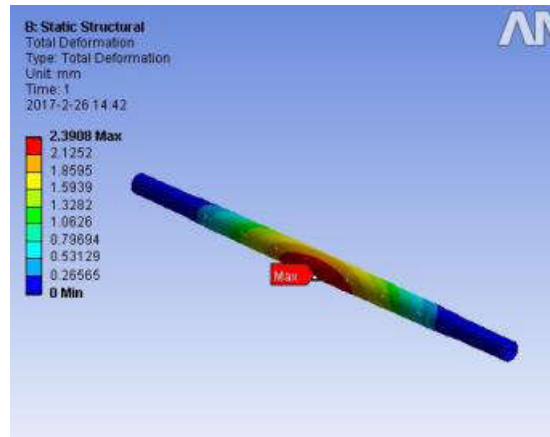


图6 内径 $\phi 150\text{mm}$ 应变云图

通过分析结果，将各云图数据汇总进行详细对比，见表1所示。通过对比分析发现内径为 $\phi 150$ 的厚壁钢管等效应力最大，变形量也最大。 $\phi 120$ 的厚壁钢管等效应力较小，变形量也较小。而 $\phi 140$ 的厚壁钢管的等效应力与原 $\phi 80$ 差别不大，并且在该材料屈服极限允许范围之内，并且变形量2.1597mm也满足设计要求。通过此次优化，采用外径 $\phi 490\text{mm}$ 、内径 $\phi 140\text{mm}$ 的厚壁钢管轴，重量减轻

1296kg, 并且省去深钻孔工序, 制造成本约减少10万元。

表1 头轮轴有限元分析结果对比

内容	内径 (mm)	最大等效应力 (MPa)	最大变形量 (mm)
原实心轴	80	165.52	2.0024
厚壁钢管轴	120	187.29	2.1003
	140	194.92	2.1597
	150	224.84	2.3908

### 3 小轴的有限元分析

小轴是将链节、篦床连接成一个整体(组成链篦床), 总长度为5620mm, 直径大小为 $\phi 42\text{mm}$ 。当链节工作时, 小轴所受剪切力为链轮处的水平拉力 $F$ , 小轴截面积为:

$$A = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi \times 0.042^2}{4} = 1.385 \times 10^{-3} \text{m}^2$$

当驱动满载输出时, 小轴所受剪应力为:

$$\tau = \frac{F}{A} = \frac{84927.57}{1.375 \times 10^{-3}} = 863249 \text{Pa} = 61.77 \text{MPa}$$

当小轴承受两链节之间的物料和链篦床产生的压力时, 小轴所受剪应力为:

$$\tau = \frac{P}{A} = \frac{1195.6}{1.375 \times 10^{-3}} = 863249 \text{Pa} = 0.863 \text{MPa}$$

由于小轴材质为35CrMoV, 属于合金钢材质, 查重型机械标准手册得 $\delta = 540 \text{MPa}$ ,  $[\tau] = 0.6 \sim 0.8\delta$ , 所以 $[\tau] = 324 \sim 432 \text{MPa}$ , 计算后所得数据均能满足条件。

通过ANSYS软件对小轴受力情况进行分析, 得到应力图和应变图, 最大等效应力发生在与链节对应的连接处, 大小为45.9MPa; 最大变形量也发生在该处, 大小为0.016mm, 通过分析得出该小轴满足设计要求, 安全系数也满足其要求。

### 4 链节的有限元分析

链节是链篦床中传递力的关键部件, 头部驱动通过驱动链轮带动链节传动, 使整个链篦床平稳运行, 链篦床通过链节的传动, 对链篦机中的料球进行干燥、预热和加热。链节的受力分析比较简单, 主要承受挤压力。

当链节运行到头轮轴处时受力最大, 大小为链轮处水平力 $F = 84927.57 \text{N}$ , 链节本身受力最小截面为 $A_1 = 0.052 \times 0.087 = 4.524 \times 10^{-3} \text{m}^2$ , 在此处链节受挤压力 $\tau = \frac{F}{A_1} = 18.77 \text{MPa}$ 。在链节中部受拉应力, 此处截面积为

$$A_2 = 7.19 \times 10^{-3} \text{m}^2, \delta = \frac{F}{A_2} = 10.87 \text{MPa}。$$

链节属于耐热钢铸件, 查重型机械标准手册得 $\delta = 235 \text{MPa}$ ,  $\delta_{\text{挤压}} = 1.5 \sim 2.5\delta$ ,  $\delta_{\text{挤压}} = 352 \sim 587 \text{MPa}$ , 计算

后所得数据均能满足条件。

链节是链篦床的传动纽带, 由于链节采用精密铸造, 在进行ANSYS软件分析之前先做如下约定: 链节铸造无沙眼、裂纹等缺陷对分析计算的影响。通过应力云图和应变云图得知, 最大等效应力发生在单耳孔内表面边处, 大小为35.77MPa; 最大变形量发生在单耳孔前端, 大小为0.024mm, 通过分析得出该链节满足设计要求, 安全系数也满足其要求。最大等效应力发生在两铰接耳孔底部, 大小为41.47MPa; 最大变形量发生在两铰接耳孔前端, 大小为0.036mm, 通过分析得出该链节满足设计要求, 安全系数也满足其要求。

链节工作环境是从常温到600~700°C之间循环往复工作, 所以该校核链节的机械性能应从常温、高温两种工况考虑。由于链节热量是从上表面向下表面传递, 导致链节整体受热不均, 产生膨胀变形不均, 此时在工作载荷外力作用下, 产生应力应变云图, 最大等效应力达到105.76MPa; 最大变形量发生在单耳孔前端, 达到1.118mm, 考虑到链节的重要性, 安全系数不能降低, 因此链节按原设计执行。

### 结束语

本文是以YQL5.5×66型链篦机头轮轴为研究对象, 通过Solidworks软件对头轮轴进行实体建模, 利用ANSYS软件进行有限元分析, 得出应力和位移分布情况, 并根据计算结果从强度和刚度两方面进行分析, 在满足载荷工况要求和具有一定安全系数的前提下改进零件结构和尺寸, 降低制造成本, 为链篦机的结构改进提供了有力的参考依据。通过ANSYS分析软件, 将原头轮轴结构改为合理的厚壁圆管结构, 从而减少耐热钢材料的浪费、减小加工成本、降低加工难度、缩短加工周期, 为赢得更多的市场占有率提供了基础。

依据工程力学、材料力学, 从传统力学上对链篦机的小轴、链节进行受力计算, 该校核该关键零部件是否满足使用要求, 为生产和设计提供了理论基础。利用ANSYS软件对小轴、链节进行有限元分析, 从强度、刚度对该部件进行校核, 并对链节在常温和高温环境下进行了验证, 再次验证了本次设计能满足使用要求。

### 参考文献

- [1]温正, 张文电. ANSYS14.0有限元分析权威指南[M]. 机械工业出版社, 2020(8):121, 124.
- [2]赵荣华, 李建清, 高新兵, 张彦博. 链篦机传动系统的结构与计算[J]. 烧结球团, 2002(7):19-22.
- [3]高宇宏, 张英明, 唐玖. 链篦机的结构简介[M]. 机械工程与自动化, 2018, 66(20):235-236.
- [4]姚廷松. 链篦机综合利用及主要件分析[D]. 大连理工大学硕士研究生毕业论文, 2018, 41(11):118-119.