

提高带式烧结机星轮承载能力的方法及仿真研究

白明华 李洪涛 李建松
(燕山大学)

摘要 通过对带式烧结机星轮承载能力的研究分析,揭示了星轮表面产生塑性变形、飞边的原因;提出了提高星轮表面承载能力的方法,包括辊轮空心、斜面星轮齿面、降低齿面摩擦等方法,并对辊轮空心以及斜面星轮齿面进行了非线性有限元分析,证明了其在提高星轮齿面承载能力方面的有效性。

关键词 带式烧结机 星轮承载能力 有限元分析 塑性变形

1 前言

带式烧结机是采用星轮旋转推动台车辊轮的方式实现运动。烧结机常在低速重载,多粉尘等恶劣环境下工作,其驱动系统精度较低,运行过程中产生冲击振动,粉尘及矿粉引起的摩擦增大等因素都会使带式烧结机星轮与台车辊轮接触的应力增大,在齿面上产生磨损、塑性变形以及飞边等损伤,导致带式烧结机核心部件星轮的提前报废,给企业带来巨大损失。因此,研究提高带式烧结机星轮表面承载能力的方法具有极大的实用价值和经济价值。

2 辊轮结构改造与有限元分析

2.1 理论分析

星轮齿面和辊轮之间为线接触方式。由于星轮齿面的曲率半径远大于辊轮的曲率半径,故可将星轮齿面简化为平板。

根据 Gladwell 的线接触理论,对圆柱与板接触模型进行分析,可以得到最大应力与参数的关系式^[1]:

$$\sigma_{\max} = \frac{E}{2(1-\nu^2)} + \frac{E}{2(1-\nu^2)} \frac{3}{16} \sigma^3 + o(\sigma^5) \quad (1)$$

式中: E ——弹性模量,MPa;

ν ——泊松比。

作用力 F 与参数 σ 的关系式:

$$F = \sqrt{\frac{2(1-\nu^2)}{l E r}} \sigma \quad (2)$$

式中: l ——星轮齿面厚度,mm;

F ——星轮齿面与辊轮之间的法向压力,N;

r ——辊轮的曲率半径,mm。

将式(2)带入式(1)中,得到齿面最大应力公式:

$$\sigma_{\max} = \frac{E}{2(1-\nu^2)} \sqrt{\frac{2(1-\nu^2)}{l E r}} F + \frac{E}{2(1-\nu^2)} \frac{3}{16} \left(\sqrt{\frac{2(1-\nu^2)}{l E r}} F \right)^3 + o \left(\left(\sqrt{\frac{2(1-\nu^2)}{l E r}} F \right)^5 \right) \quad (3)$$

由于最大应力公式需要通过迭代运算,可以将其简化。因除第一项之外的其他项运算结果的数量级均比较小,故将式(3)简化为:

$$\sigma_{\max} = \sqrt{\frac{E F}{2(1-\nu^2) l r}} \quad (4)$$

接触面的最大剪应力为:

$$\tau_{\max} = 0.3 \sigma_{\max} \quad (5)$$

2.2 辊轮空心法原理

空心法最早来自于空心圆柱滚子轴承。前苏联曾将此种轴承用于铁路机车车辆上,利用空心滚子变形,增大滚子在滚道上的接触面积,提高轴承承载能力^[2]。

根据赫兹理论,带式烧结机星轮与台车辊轮接触时,星轮及辊轮表面会发生变形,产生近似椭圆的接触面。该接触面积大小决定了星轮

表面的接触应力。空心辊轮与实心辊轮相比,在同样的外界条件下变形量大于实心辊轮,因此产生的接触面积要比实心辊轮与星轮齿面接触面积大,接触面产生的接触应力则较小,从而降低了星轮表面金属流动的可能以及产生飞边的危险。

2.3 辊轮与星轮齿面接触有限元分析

在带式烧结机台车平稳运行,没有一端先接触的情况下,对模型进行无摩擦非线性有限元分析。由于星轮对称布置,因此利用对称原理,简化模型如图1所示。

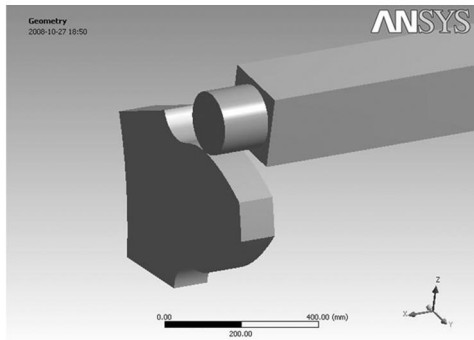


图1 星轮齿面与辊轮接触

表1 有限元分析参数

名称	数据	单位
星轮齿宽	100	mm
台车体总压力	60000	N
辊轮曲率半径	85	mm
空心辊轮内半径	60	mm
除台车体外其他零件材料弹性模量	2.1e+5	MPa
所有零件材料泊松比	0.3	-
横梁材料弹性模量	1.0e+6	MPa

根据表1的参数和图1所示模型,建立边界条件,划分网格,进行非线性有限元分析。接触区的空心辊轮与实心辊轮的切应力对比,如图2所示。根据图2,得到两条曲线的渐势线,如图3所示。

表2 无摩擦接触应力最大值(MPa)

应力	空心辊轮接触	实心辊轮接触
最大 Mises 应力	197.59	211.42
最大切应力	112.35	119.72
最大法向应力	50.418	49.778
最大主应力	54.966	53.978

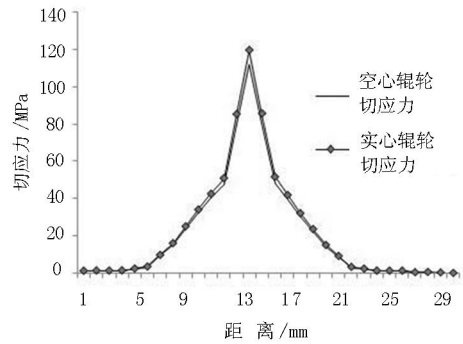


图2 星轮齿面接触切应力曲线

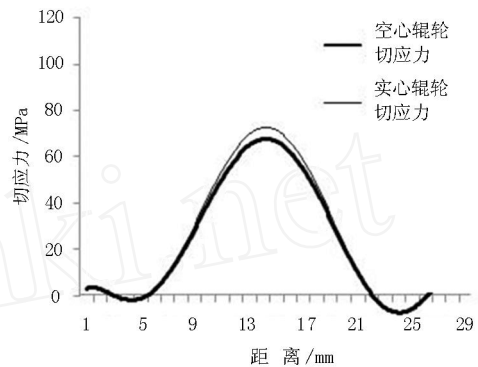


图3 星轮齿面接触切应力渐势线曲线

由图2、图3可以看出,在相同的边界条件下,采用空心辊轮比采用实心辊轮星轮齿面接触区的剪应力明显减小,其他区域渐势线趋势基本相同。由有限元分析得出,采用空心辊轮时,星轮表面接触区的最大切应力为112.35 MPa;而采用实心辊轮时,星轮表面接触区的最大切应力为119.72 MPa,较用空心辊轮时高出6.6%。由此看出,辊轮空心法可以明显降低星轮表面危险接触区的切应力,有效防止星轮表面金属塑性流动。

由式(4),根据表1计算得出,星轮表面最大接触应力 σ_{\max} 为360.04 MPa。由式(5)得出,星轮表面最大切应力 τ_{\max} 为108 MPa,与仿真结果基本吻合。

辊轮变形引起接触面积变大,提高了星轮表面的承载能力。但是,随着辊轮空心量的上升,辊轮本身的承载能力急剧下降。根据大量的有限元分析,60%空心度的辊轮承载能力比相同尺寸的实心辊轮减小1/2;相同载荷下,

70%空心度的辊轮变形量比60%空心度辊轮大一倍左右。经有限元分析得出,辊轮的最优空心量在60%~70%,此区间的辊轮具有相对较高的刚性,同时也有足够的柔性,可以提高星轮的承载能力约10%。

图4是根据辊轮空心法设计的辊轮结构。该结构已经成功地运用在唐山冶金矿山机械厂60 m²无起拱带式烧结机上,经过近两年的运行,情况良好,在减小星轮表面应力方面起到了良好的作用,达到了预期的要求。

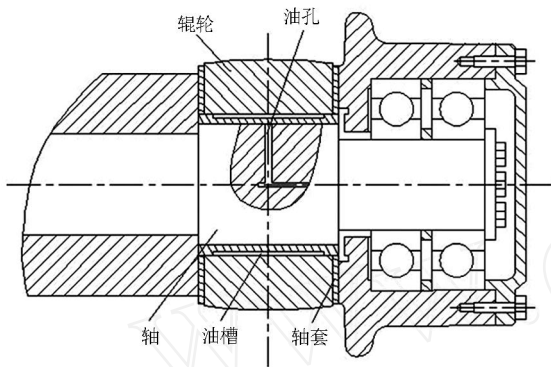


图4 空心鼓形辊轮结构图

3 星轮齿面结构改造与有限元分析

3.1 斜面星轮齿面原理

目前工业上应用的烧结机星轮齿面均为平面型齿面。这种齿面在台车受载,车体与辊轮发生轻微变形的过程中受载不均,致使星轮的一侧应力过大,严重时导致星轮齿面金属塑性流动,产生飞边。所谓斜面星轮齿面原理,就是将星轮齿面内侧(指靠近台车的一侧)应力较大的一边,去除一定材料,使原来的平面齿面变成斜面。斜面星轮齿面可以使星轮齿面受载均匀,降低最大应力,从而减小星轮表面产生塑性流动的可能,提高星轮寿命。

3.2 斜面星轮齿面与辊轮接触的有限元分析

根据表1中参数,分别对平面星轮齿面与实心辊轮接触,斜面星轮齿面与实心辊轮接触进行有限元分析。

图5中最大剪应力 σ_A 为119.72 MPa,由A点向外剪应力逐渐减小,等剪应力曲线应力分

别为106.42 MPa,93.117 MPa,79.816 MPa,66.515 MPa,53.214 MPa,39.914 MPa,26.61 MPa,13.31 MPa。最大剪应力主要集中在A区域,因此在该区域产生了危险接触区域。

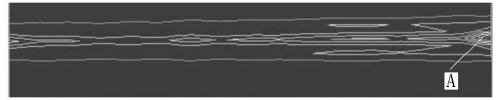


图5 平面星轮齿面与实心辊轮接触等剪应力线图



图6 斜面星轮齿面与实心辊轮接触等剪应力线图

斜面星轮齿面采用倾斜角为1°的齿面进行分析。图6中最大剪应力 σ_A 为81.64 MPa, σ_B 为63.5 MPa,由点A向外剪应力逐渐减小,等应力曲线分别为72.57 MPa,63.5 MPa,54.43 MPa,45.36 MPa,36.289 MPa,27.219 MPa,18.149 MPa,9.0792 MPa,0.0090461 MPa。

表3 实心辊轮线接触应力最大值(MPa)

应力名称	平面星轮齿面	斜面星轮齿面
最大法向应力	49.778	28.041
最大剪应力	119.72	81.64
最大 Mises 应力	211.42	144.44

由表3可见,在边界条件相同的情况下,平面星轮齿面最大剪应力高出斜面星轮齿面38.08 MPa,提高星轮齿面承载能力31.8%。由此可见,斜面星轮齿面可以有效降低星轮齿面危险接触区的最大剪应力,提高星轮承载能力,防止星轮齿面金属流动以及产生飞边。

4 星轮密封润滑,减小摩擦

带式烧结机星轮传动过程中,会在星轮纵向和横向产生摩擦力。星轮齿面与辊轮接触,产生纵向摩擦力,由于辊轮可绕其轴线作滚动,可忽略纵向摩擦力。但是,由于带式烧结机运行过程中,可能发生台车跑偏,使星轮齿面与辊

轮存在沿轴线方向的横向摩擦力^[3],从而造成最大剪应力上升,容易引起齿面的塑性流动。因此降低星轮齿面与辊轮之间的摩擦系数,可以有效地降低星轮齿面的最大剪应力,提高星轮表面的承载能力。

目前工业上使用的带式烧结机星轮的工作状况比较恶劣,粉尘以及无润滑都会使齿面摩擦系数增大。因此可以采取对星轮密封润滑的方法,减小摩擦力,从而减小星轮表面的最大剪应力,提高星轮承载能力。

5 其他减小齿面应力的方法

除以上方法外,其他降低星轮表面应力的方法还有:

- (1) 适当增加星轮齿宽;
- (2) 适当增大辊轮半径;
- (3) 采用其他手段,控制台车跑偏;
- (4) 采用热处理工艺,提高齿面质量。

以上方法均可在某种程度上提高星轮表面的承载能力。

6 结 语

(1) 星轮齿面金属的塑性流动取决于最大切应力,降低切应力可以提高星轮齿面的承载能力。

(2) 辊轮空心可以增大辊轮变形量,从而增大星轮齿面与辊轮接触面积,有效提高星轮表面的承载能力。

(3) 斜面星轮齿面原理可以使星轮表面承载趋于均匀,有效提高星轮表面承载能力。星轮齿面倾斜角大小与星轮宽度,台车承重有关。

(4) 星轮齿面与辊轮之间的横向摩擦力会使星轮表面的最大切应力增大,通过采用密封润滑的方式可减小摩擦系数。

参考文献

- 1 彼得·爱伯哈特,胡斌.现代接触动力学[M].南京:东南大学出版社,2003,6(1):131~134
- 2 刘尔膺,王慧敏.一种新型机床主轴轴承空心圆柱滚子轴承[J].机床,1989,10:15~19
- 3 梁宏志.新型60m²无拱带式烧结机关键技术研究及工程实践[D].秦皇岛:燕山大学学报,2007,11:56~57

Techniques for Increasing Loading Ability of Star Wheel in Straight Gate and Simulation Study

Bai Minghua et al.

Abstract Through the analysis on the loading ability of star wheel in straight gate, the reasons that caused star wheel surface occurring plastic deformation and upset metal were revealed. The ways for increasing its loading ability were proposed, including hollow wheel, inclined gear tooth surface, decreasing gear tooth friction force. At same time, the non-linear finite element analysis about the hollow wheel and inclined gear surface was also conducted, and the effectiveness of these ways for increasing loading ability of star wheel were proved.

Keywords straight gate, loading ability of star wheel, finite element analysis, plastic deformation

2009年必和必拓减产25%

美林公司称,由于全球钢产量下降抑制铁矿石需求,因而必和必拓公司2009年铁矿石可能减少25%。美林公司分析师表示,由于铁矿石价格下跌,必和必拓公司西澳铁矿石产量减产3000万吨,而2008年可能减产400万吨。

金融危机造成全球钢材需求下降,从而迫使亚洲、欧洲和北美钢厂减产,相应降低了铁矿石需求。目前,巴西淡水河谷公司和澳大利亚力拓集团已经减产,但必和必拓尚未宣布减产。美林公司称,在连续4年铁矿石供应紧张之后,根据其预测,受钢产量大幅下降的驱动,全球铁矿石市场将出现供过于求的局面。

2007财年,必和必拓公司铁矿石产量为1.22亿吨,该公司雄心勃勃的计划是到2015年将西澳铁矿石年产能提高到3亿吨。11月份,必和必拓公司董事会批准了在西澳投资48亿美元的扩建计划,到2011年下半年铁矿石产能将增加至2.05亿吨。麦格里银行分析师表示,2008年必和必拓公司可能将其西澳铁矿石产量削减17%。11月用户要求必和必拓公司延迟发货,数量约为必和必拓预计2008年产量的5%。

李之甫