

高炉无料钟炉顶布料器应力分析

秦 生¹, 卞致瑞¹, 苏 维², 马连军¹

(1. 北京科技大学 机械工程学院, 北京 100083; 2. 首钢设计院, 北京 100000)

摘 要: 文章对首钢一号高炉无料钟炉顶布料器的主要部件进行了有限元分析, 所得结果对无料钟炉顶布料器的结构设计及优化有指导性意义。

关键词: 高炉无料钟炉顶; 布料器; ANSYS

中图分类号: TF748 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-6673 (2007) 01-036-02

0 引言

首钢一号高炉采用无料钟炉顶装料设备。布料器的正常运行是高炉正常生产的重要保障。本文针对该布料器进行结构应力应变分析, 在满足强度、刚度的前提下优化布料器结构, 以减轻其对炉壳的负载^[1]。

1 无料钟炉顶布料器结构及力学分析

1.1 布料器的结构

无料钟炉顶布料器主要结构由齿轮箱箱体、中心喉管、上水槽、旋转圆筒组成。各部件在布料器中的位置如图 1 所示。

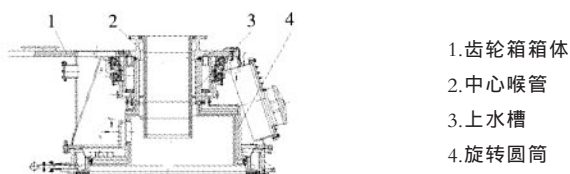


图 1 无料钟炉顶布料器

本文分析了齿轮箱箱体, 上水槽, 旋转圆筒在高炉正常生产过程中的应力应变状况。

1.2 各部件工作条件

布料器位于高炉顶部, 处于高温区域, 采用冷却水降温。布料器内部温度 40℃ 左右。上水槽工作时低速旋转, 槽内装有冷却水, 内壁与中心喉管相邻, 中心喉管处于高温区^[2]。旋转圆筒内表面温度 300℃。

1.3 模型的建立

应用 Pro/E 软件对布料器中齿轮箱箱体、旋转圆筒部件进行实体建模。

收稿日期: 2006-11-07

作者简介: 秦生(1981-), 硕士研究生。研究方向: 新型冶金设备; 卞致瑞, 博士生导师。

齿轮箱箱体网格划分时, 用自由网格划分方法, 单元用 Solid187 单元, 材料的弹性模量取 $2.1 \times 10^{11} \text{Pa}$, 泊松比为 0.27, 密度为 $7.9 \times 10^3 \text{Kg/m}^3$, 图 2 是齿轮箱箱体有限元模型。

上水槽结构对称, 采用其结构的 1/18 进行网格划分和模型加载, 采用 Solid70 号热单元, 上水槽的材质为 Q235, 取其导热系数为 $52 \text{W/m} \cdot \text{K}$, 线形膨胀系数为 1.3×10^{-5} , 弹性模量为 206Gpa, 泊松比为 0.28, 图 3 是上水槽整体分析模型。

旋转圆筒结构对称, 取 1/4 进行网格划分和模型加载, 采用 Solid70 号热单元, 旋转圆筒的材质为 Q235, 取其导热系数为 $52 \text{W/m} \cdot \text{K}$, 线形膨胀系数为 1.3×10^{-5} , 弹性模量为 206Gpa, 泊松比为 0.28。取耐火浇注料的导热系数为 $1.5 \text{W/m} \cdot \text{K}$, 热膨胀系数为 6.0×10^{-6} , 密度为 2000Kg/m^3 , 比热容为 $900 \text{J/kg} \cdot \text{℃}$, 弹性模量为 $0.94 \times 10^5 \text{MPa}$, 泊松比为 0.2。捣料的导热系数取 $10 \text{W/m} \cdot \text{K}$ 。

1.4 载荷分配

齿轮箱箱体位于高炉顶部, 处于静止状态, 箱体内部的各构件的重量以静载的方式分配到齿轮箱箱体顶部, 在齿轮箱底部法兰面上施加零位移约束。

上水槽是连接在旋转



图 2 齿轮箱箱体有限元模型

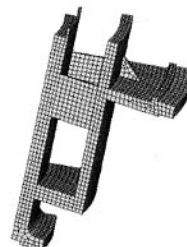


图 3 上水槽整体 1/12 有限元模型



图 4 旋转圆筒 1/4 有限元模型

支撑与旋转圆筒之间的关键构件，主要承受旋转圆筒，减速器，布料溜槽，溜槽中炉料等重量。力加载在上水槽下部法兰上表面，大小为旋转圆筒，减速器，布料溜槽中炉料，溜槽的重量。上法兰底面施加零位移约束。上水槽内部水的重量以及压强对其应力状态影响很小，可忽略不计。

旋转圆筒底面温度 300℃，旋转圆筒冷却水管处温度 40℃，力加载于旋转圆筒底面安装减速器位置处，对旋转圆筒顶部圆面施加零位移约束。

2 仿真结果分析

分析得到齿轮箱箱体、旋转圆筒静力、上水槽最大应力、应变分析结果如表 1 所示。

齿轮箱箱体等效应力分析结果如图 5，从图中可以看到齿轮箱箱体应力分布状态，最大应力分布在箱体上盖区域。

表 1 静力分析结果

构件名称	齿轮箱箱体	旋转圆筒	上水槽
最大等效应力 (Mpa)	18.3	264	305
最大节点位移 (mm)	0.19	3.00	0.58

域。齿轮箱箱体最大等效应力为 18.262Mpa，远远小于材料的许用应力，即便考虑安全系数将其放大 4 倍，也是非常盈余的。

上水槽热机耦合分析结果如图 6 所示，得到其最大载



图 5 齿轮箱等效应力分布



图 6 上水槽 1/18 模型热机耦合分析等效应力分布



图 7 旋转圆筒热机耦合分析等效应力分布

荷为 305Mpa，整体应力分布梯度过大。

旋转圆筒等效应力分析结果如图 7 所示，得到旋转圆筒的最大等效应力高达 264Mpa，从图中可看出旋转圆筒的应力分布梯度较大。

3 改进措施

通过以上分析，本文提出以下几点改进措：

(1) 齿轮箱箱体上盖整体厚度过大，应在满足强度

刚度的条件下适当降低。本文对齿轮箱箱体上盖厚度提出了两种改进方案，与原方案进行了对比，结果如表 2。

表 2 改进方案对比

	厚度值(mm)	最大等效应力(Mpa)	最大结点位移(mm)
原方案	100	18.262	0.190
方案一	90	20.438	0.307
方案二	80	22.776	0.356

从表 2 中可以分析到，当厚度尺寸减少 20%时，齿轮箱的最大应力与节点位移变化都不大，小于许用应力值，降低了齿轮箱箱体自重。

(2) 上水槽热机耦合计算得到最大等效应力高达 305Mpa，而 Q235 钢的屈服极限为 319.4Mpa，最大应力发生在内外壁连接板与内壁的连接处，建模时未考虑圆角，造成应力集中现象，实际中应比模拟的应力要小。但从等效应力图中可以看出最大应力区附近区域的应力也相对较大，为降低整体应力水平，建议增大接板与内壁连接处圆角值，在上水槽内壁内侧布置一定厚度的隔热材料，尽可能使得上水槽的内壁内侧温度与外侧温度一致，减小热应力。本文在不考虑热应力的条件下，计算得到上水槽的最大应力不足 20Mpa，这表明增加隔热层可以大大降低上水槽的应力。

(3) 旋转圆筒的热机耦合计算得到等效应力最大高达 264Mpa，热应力过高，应增加耐火浇注材料的厚度以及合理布置冷水管在旋转圆筒上表面的位置以降低旋转圆筒整体的温度梯度减小热应力。

4 结论

(1) 经有限元法分析得到首钢一号高炉无料钟炉顶布料器的关键构件在正常生产过程中的应力，应变分布状态与大小，结果表明首钢一号高炉无料钟炉顶布料器的关键构件的强度和刚度是合乎设计要求的，且有盈余，存在可优化空间。

(2) 分析结果可以为高炉无料钟炉顶设备设计中参数优化提供依据。

参考文献：

- [1] 中国冶金设备总公司.现代大型高炉设备及制造技术[M].北京：冶金工业出版社,1996.
- [2] 刘志刚,高炉无料钟炉顶布料器的冷却分析[J].冶金设备,2005,12.
- [3] 邵蕴秋.ANSYS8.0 有限元分析实例导航[M].北京:中国铁道出版社,2004.

Stress Analysis of the Bell-less Top of Blast Furnace

QIN Sheng¹, BIAN Zhi-Run², SU Wei², MA Lian-Jun¹

(1.University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083, China;

2.Beijing Shougang Design Institute, Beijing 100000, China)

Abstract: Finite element method is used for the analysis of the stress and displacement of the distributor of the Bell-less Top of No. 1 BF at Shoudu Iron and Steel Co. The result can be used to optimize the design.

Key words: Bell-less top of Blast furnace; Distributor; ANSYS