

螺旋分级机轴头连接结构的有限元分析比较

撰文 / 云南锡业机械制造有限公司 史川山

利用 SolidWorks 三维设计软件的 Simulation 分析模块, 对 $\phi 2\text{m}$ 螺旋分级机上轴头不同的几种连接结构进行建模, 并做了有限元分析比较, 对今后轴头连接结构的进一步改进和优化设计提供了理论依据。

一、引言

螺旋分级机是重力选矿厂的主要设备之一, 其构造简单、工作稳定且操作方便, 与球磨机配成闭路循环, 借助固体颗粒因比重不同而在液体中沉淀速度不同的机理, 来进行机械分级。主要用于磨矿回路中的预先分级和检查分级, 也可用于洗矿和脱泥等作业。螺旋分级机主要有高堰式单螺旋和双螺旋、低堰式单螺旋和双螺旋、沉没式单螺旋和双螺旋分级机, 低堰式分级机目前运用较少, 主要是高堰式和沉没式。螺旋分级机主要结构如图 1 所示。

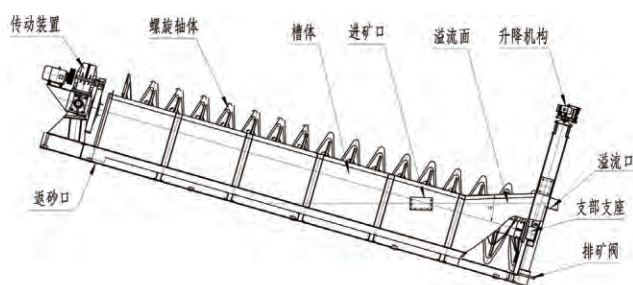


图 1 螺旋分级机主要结构图

其主要由传动装置、螺旋轴体、槽体、升降机构、下部支座和排矿阀等组成。

螺旋分级机的工作原理是：因为于固体颗粒的大小和比重不同, 所以在液体中沉降速度不同的原理, 通过螺旋

轴体的转动, 对矿浆起搅拌作用, 细矿颗粒浮游于矿浆上面由槽体溢流口流出, 粗矿粒沉于槽底, 由螺旋在搅拌的同时推向槽体上部排料口作为返砂排出。通常螺旋分级机与磨机组成闭路, 将粗砂返回磨机再磨。

螺旋分级机的螺旋轴体结构如图 2 所示, 其通过电动机、减速器、圆柱齿轮或圆锥齿轮副进行传动, 其使用寿命决定了螺旋分级机整体工作性能和生产效率, 螺旋轴体的轴头和中空轴在螺旋分级机工作中, 长期处于交变应力的作用下, 轴头、中空轴及其连接处容易发生断裂或脱离。因此, 对螺旋轴体的轴头与中空轴的连接进行分析设计是十分必要的。本文利用 SolidWorks 三维设计软件, 以 $\phi 2\text{m}$ 螺旋分级机上轴头连接为例, 对目前采用的几种轴头与中空轴的连接方式进行三维建模有限元分析, 为进一步结构设计和改进提供合理的依据。

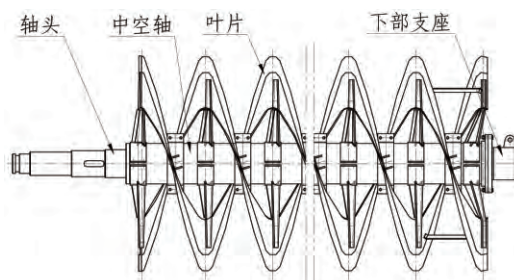


图 2 螺旋轴体结构图

二、 $\phi 2m$ 螺旋分级机主要技术参数

1. 主要技术参数

- (1) 电机功率：15kW。
- (2) 电机转速：970r/min。
- (3) 减速机速比：31.5。
- (4) 大小齿轮速比：8.5523。
- (5) 总速比：269.4。
- (6) 螺旋轴转速：3.6r/min。
- (7) 中空轴规格： $\phi 377 \times 30\text{mm}$ 。

2. 有限元分析时零件材质相关属性参数

有限元分析时零件材质相关属性参数如表 1 所示。

表 1

名称	轴头和轴套	轴头和圆柱销	中空轴
材质	ZG270-500	45	20
屈服强度	270MPa	355MPa	245MPa
抗剪模量	84200MPa	82300MPa	83100MPa
张力强度	500MPa	600MPa	410MPa
弹性模量	215000MPa	209000MPa	213000MPa
泊松比	0.27	0.269	0.282
热扩张系数	1.2e-005/K	1.17e-005/K	1.19e-008/K
质量密度	7720 kg/m ³	7890 kg/m ³	7800 kg/m ³

3. 计算中空轴所受的最大扭矩

- (1) 电机输出扭矩。

$$\text{平衡方程式: } T = 9550 \frac{P}{n}$$

式中, T 为电机输出转矩, 单位为 $\text{N} \cdot \text{m}$; P 为电机功率, 单位为 kW ; n 为电机输出转速, 单位为 r/min 。

根据平衡方程式计算电机输出转矩扭:

$$T = 9550 \times \frac{15}{970} = 147.68 (\text{N} \cdot \text{m})$$

- (2) 中空轴所受最大扭矩。

$$T(\text{轴}) = T \times i_{\text{减}} \times i_{\text{齿}}$$

式中, $i_{\text{减}}$ 为减速机速比; $i_{\text{齿}}$ 为大小齿轮速比。

$$T(\text{轴}) = 147.68 \times 31.5 \times 8.5523 = 39785 \text{ N} \cdot \text{m}$$

三、轴连接结构的有限元分析

SolidWorks 三维 CAD 设计软件, 除其基本的零部件三维建模和工程图快速生成外, 它还内容包了应力分析、应变分析、变形分析、热力分析、运动分析、线性和非线性分析等有限元分析模块, 通过对这些模块的应用, 我们

可以大大地缩短设计周期, 对零部件的结构进行优化设计, 非常接近地模拟出产品在实际工况条件下的使用状态, 降低产品测试成本, 提高产品质量。

下面就分级机轴头几种常用的连接方式进行建模分析比较。

1. 传统轴头的连接方式

- (1) 连接方式如图 3 所示。

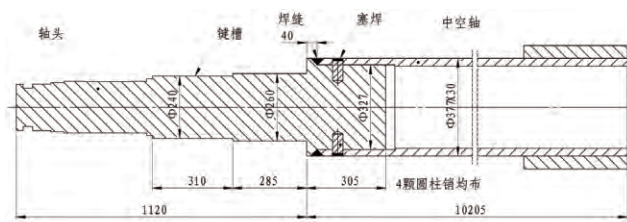


图 3 传统连接方式

图 3 中轴头材质为：ZG270-500；中空轴为： $\phi 377 \times 30$ 钢管，材质：20 钢；圆柱销材质为：45 钢。

- (2) 利用 SolidWorks 软件对轴、中空轴和圆柱销连接建模如图 4 所示。

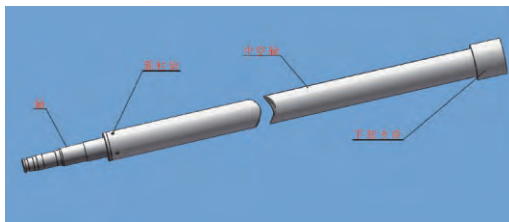


图 4 轴、中空轴和圆柱销连接三维模型

因我们主要是分析轴头连接处的应力分布情况, 中空轴下部支座体简化为用一轴套固定。

- (3) 打开 SolidWorks 软件中的 SolidWorks Simulation 插件, 新建静应力分析算例, 分析零件为: 轴、中空轴和圆柱销, 并应用材质, 输入各零件材质属性参数。连结选择边焊缝接头: 使轴和中空轴焊缝连接 (图 5), 再选择零部件接触为全局接触无穿透。

- (4) 确定边界条件 (即软件中的夹具): 选择固定的几何体, 使轴键槽段和中空轴末端的轴套约束固定 (图 6)。

- (5) 添加外载荷为扭矩, 选择中空轴外表面受扭, 输入扭矩为 39785 $\text{N} \cdot \text{m}$ 。

- (6) 生成网格如图 7 所示, 网格细节为: 最大单元大小 40mm, 最小单元大小 8mm, 节总数 131932 节, 单元总数 71750 个。

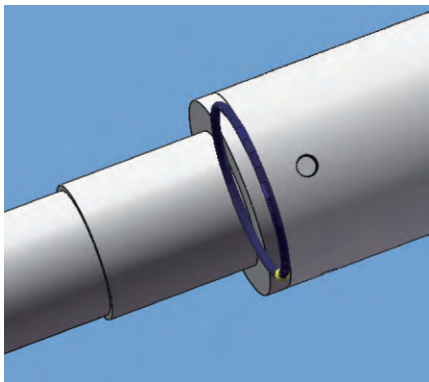


图 5 轴与中空轴缝连接

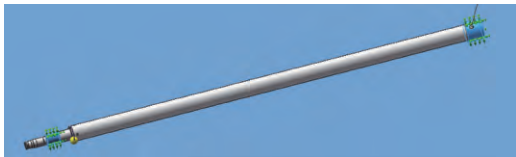


图 6 轴套约束固定



图 7 生成网格

(7) 运行此算例得到如图 8 ~ 11 所示的结果。

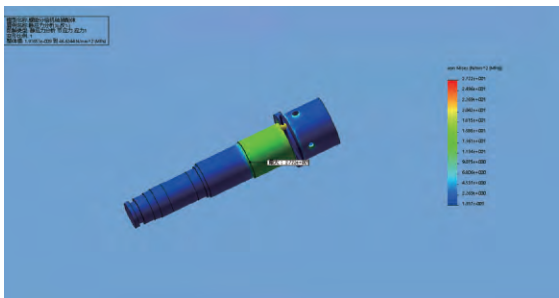


图 8 轴最大 VON Mises (MPa) 应力

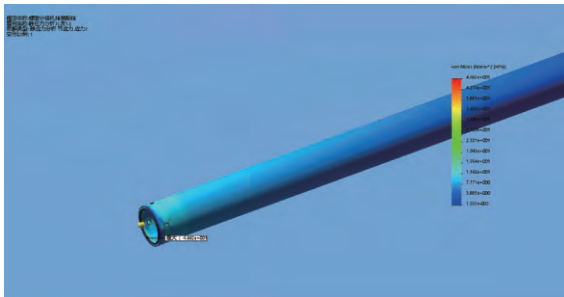


图 9 管最大应力

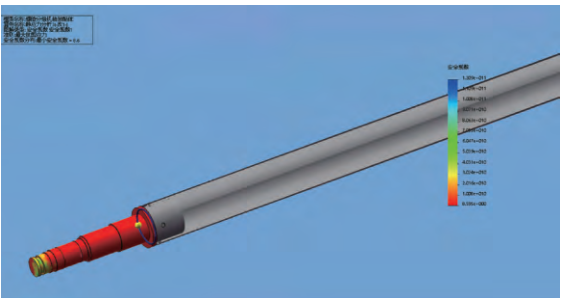


图 10 轴最小安全系数

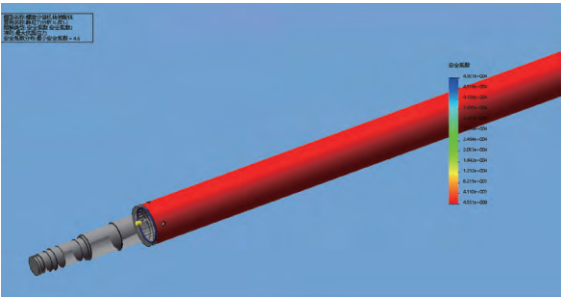


图 11 管最小安全系数

表 2

轴			钢管		
最大 VON Mises 应力 (MPa)	最大剪应力下的最小安全系数	所在部位	最大 VON Mises 应力	最大剪应力下的最小安全系数	所在部位
27.22	8.6	轴肩处	46.62	4.6	钢管与轴焊接处

在实际工作中，螺旋分级机槽为倾斜一定角度 (14°) 安装，螺旋轴倾斜，除承受一定的扭力外，还承受自重、叶片自重等的径向力和叶片推动物料的轴向力，在此分析中忽略不计。

由此算例可以得出表 2 中的数据，轴的最大 VON Mises 应力为：27.22 MPa，所在部位为轴肩直径过处，最小安全系数为 8.6，钢管的最大 VON Mises 应力为 46.62MPa，所在部位为钢管与轴焊接处，最小安全系数为 4.6，圆柱销的最大 VON Mises 应力为 11.8MPa，最小安全系数为 14，此连接结构轴和钢管的强度是满足的，圆柱销的安全系数为最大，在本文以下的分析中，不再专门列出。

同时，利用此模型算例，在其他条件都不变的情况下，在去除管与轴的焊缝连接（即管和轴不焊接，而只用圆柱销连接），得到表 3 所示结果。

表 3

轴			钢管		
最大 VON Mises(MPa)	最大剪应力下的最小安全系数	所在部位	最大 VON Mises 应力	最大剪应力下的最小安全系数	所在部位
128	1.8	轴与圆柱销接触处	106	2.2	钢管与圆柱销接触处

此结果可看出,如只采用圆柱销连接,在较恶劣的工况条件下,是不可靠的,轴和钢管在圆柱销连接处容易发生应力屈服,在交变应力下断裂。

此传统的设计方案由于主轴头采用一般铸钢件材质(ZG270-500),虽然理论上强度已够,制造成本较低,但作为分级机的重要传动零件,在实际生产过程中,其铸造制造工艺过程的控制质量,往往对最终的产品使用效果有很大的影响。铸件内部易产生晶粒粗大、疏松、夹渣、气孔、裂纹和元素偏析等缺陷,并有一定的残留内应力,其强度、塑性和韧性指标难以达到规定要求。通过有限元分析我们可以得知,在轴受扭矩的情况下,其最大应力在轴肩处,在分级机的实际工作中,常常由于矿浆浓度、返砂量的大小等,使轴头在交变应力的作用下发生断裂。对此我们进行了改进设计。

2. 改进后的轴头连接方式

改进后的轴头连接方式如图 12 所示。

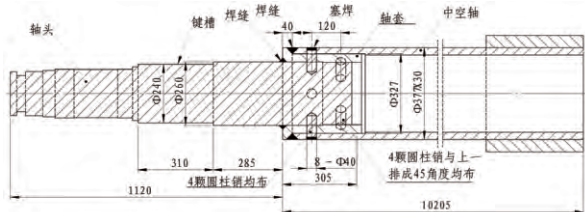


图 12 改进连接方式

图 12 中的轴头通过轴套与中空管连接。轴头材质改为 45 钢,为节约材料降低制造成本,使之与中空轴钢管的连接用一轴套来过渡,轴套材质为 ZG270-500;中空轴为 $\phi 377 \times 30$ 钢管,材质 20 钢;圆柱销为二排且在轴截面上交叉均布,材质为 45 钢。

利用 SolidWorks 软件,按分析传统连接方式的步骤,输入与传统连接方式相同的分析数据和条件(相同的材料属性数据、网格大小和边界条件等),进行有限元分析结果如图 13 ~ 18 所示。

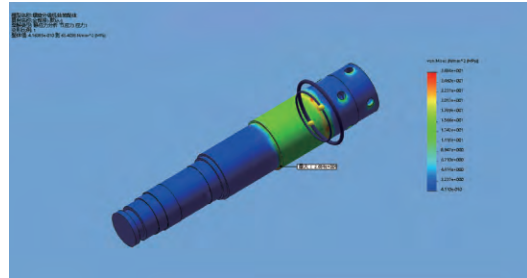


图 13 轴最大应力



图 14 管最大应力

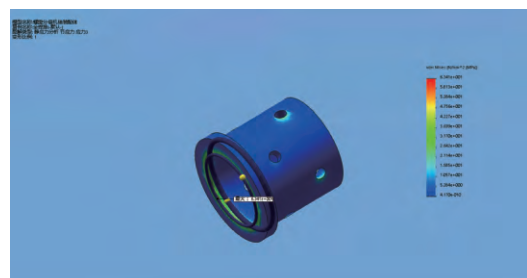


图 15 轴套最大应力

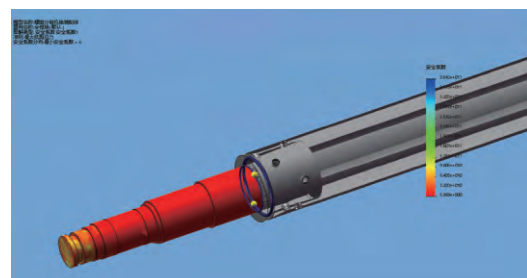


图 16 轴最小安全系数



图 17 管最小安全系数



使用 SolidWorks 软件, 按以上分析步骤, 输入相同的分析数据和条件 (相同的材料属性数据、网格大小、边界条件等), 进行有限元分析结果如表 5 所示。



四、结语

通过以上应用 SolidWorks 三维设计软件,对几种不同的分级机轴头连接结构进行建模有限元分析,对分级机轴头结构连接的设计和进一步的改进提供了合理的依据, SolidWorks 的有限元分析法为设计者提供了方便、直观、快捷且可靠的计算结果,虽然其分析结果为理论性的,不能完全替代产品的实际测试,但对产品的实际生产和应用仍有着较大的指导意义。本文希望通过对分级机轴头连接结构的有限元分析,对利用 SolidWorks 有限元分析产品起到一定的借鉴意义。同时,希望各位同行对本文的不足之处提出宝贵意见。

轴			钢管			轴套		
最大 VON Mises (MPa) 应力	最大剪应力下的最小安全系数	所在部位	最大 VON Mises 应力	最大剪应力下的最小安全系数	所在部位	最大 VON Mises 应力	最大剪应力下的最小安全系数	所在部位
26.84	6	轴肩处	37.32	4.3	钢管与轴焊接处	63.41	4	轴套与轴焊接处

轴			钢管			轴套		
最大 VON Mises (MPa) 应力	最大剪应力下的 最小安全系数	所在部位	最大 VON Mises 应力	最大剪应力下的 最小安全系数	所在部位	最大 VON Mises 应力	最大剪应力下的 最小安全系数	所在部位
29.5	5.4	轴肩处	36.81	4.4	钢管与柱销 接触处	61.29	3.8	轴套与轴 焊接处