



基于 SolidWorks 的摆动式生物反应器三维建模与仿真

邢鸿雁, 刁兆亮

(天津科技大学机械工程学院, 天津 300222)

摘要: 设计了一种摆动式固态生物反应器, 利用 SolidWorks 软件分别对其主要部件罐体、凸轮、联轴器和轴进行实体建模, 在 SolidWorks 软件中完成虚拟装配、动画制作; 应用 COSMOSMotion 插件对设计的摆动式生物反应器进行运动仿真分析, 模拟实际运行状况. 仿真表明: 生物反应器结构设计合理, 凸轮设计的理论值与实际值一致.

关键词: 生物反应器; 三维建模; SolidWorks; 运动仿真; COSMOSMotion

中图分类号: TP391.72 文献标志码: A 文章编号: 1672-6510(2011)04-0070-04

Three-Dimensional Modeling and Simulation of Swing Bioreactor Based on SolidWorks

XING Hong-yan, DIAO Zhao-liang

(College of Mechanical Engineering, Tianjin University of Science & Technology, Tianjin 300222, China)

Abstract: A swing bioreactor was developed, and the tank, cam, coupling and shafts were modeled by using SolidWorks, respectively, the virtual assembly and computer animation were carried out in SolidWorks too. At the same time, the movement of the swing bioreactor was simulated by using analysis software named COSMOSMotion, it simulated the practical running situations. Simulation results showed that the structure of the bioreactor designed is reasonable, the theoretical value of the designed cam consistent with the actual value.

Keywords: bioreactor; three-dimensional modeling; SolidWorks; movement simulation; COSMOSMotion

固体发酵技术以其投资少、能耗低、环境污染少等特点受到世界各国的广泛关注. 近年来法国、日本、美国等国家对固态发酵设备进行了大量研究, 已有许多类型的固态发酵反应器问世, 主要有转鼓式、木盒式、加盖盘式、垂直培养盘式、倾斜接种盒式、浅盘式、传送带式、圆盘式、搅拌混合式等不同形式的固态发酵反应器^[1]. 但在应用上述发酵反应器工作过程中也反映出固体发酵存在一些缺点, 如: 通风散热困难, 易染菌, 菌体易受伤; 物料翻动力度不够, 存有死角, 造成混料不均; 温度、湿度和氧气需求量等参数不易控制, 造成菌体生长不均, 以致生产率较低等问题^[2-3].

为解决以上固态发酵设备存在的问题, 本文设计的固态物料生物反应器采用一种新型的摇摆式, 在发酵过程中使物料得到充分搅拌与混合, 保证了基质内

部温度、湿度、酸碱度、菌丝生长等方面的均一性. 反应器罐体可以按不同速度实现 45° 往复摆动, 耗能大大降低. 同时也考虑了保温、通气和防止发酵过程中染菌等问题^[4].

为了解反应器实际的运行状况, 利用 SolidWorks 软件完成了生物反应器各个基本体的设计建模和虚拟装配; 同时使用 SolidWorks Animator 演示了产品的外观和运行情况; 结合 COSMOSMotion 仿真了反应器的精确运动情况.

1 零件的设计与三维建模

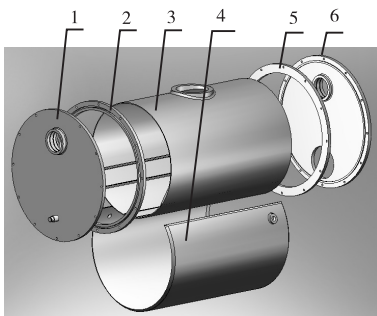
1.1 罐体的设计与实体建模

如图 1 所示, 罐体由圆柱形筒体、与筒体焊接在一起的左右端法兰、与法兰相连的左右封头、夹套

(保温层)及螺栓、螺母、垫片组成. 罐体采用圆形平板封头, 其结构简单, 制造方便, 因为在压力不高, 直径较小的容器中采用平板封头比较经济简便^[5]. 罐体旋转中心不在罐体的中心, 封头上的孔内衬套和轴配合, 孔内开有两处密封槽, 加“O”型橡胶圈保证罐体的密封性. 左封头上有与滚动轴承配合的小轴, 将其焊接在封头上. 右封头上有出料孔. 为了方便安装与拆卸, 两端都采用 12 个均布螺栓的法兰式连接.

罐体是一个薄壁零件, 上端有用于将进料口焊接在上面的加强圈. 其内部设有安装挡板的凹槽, 挡板的作用是在搅拌时带动物料充分混合. 为保证适合生物反应的温度, 设计 1/2 圆筒的夹套作为保温层, 夹套上下设有进、出水口.

建模的主要步骤: (1) 草图绘制; (2) 拉伸与拉伸切除或者扫描与扫描切除; (3) 圆角、倒角等细节特征处理; (4) 整个罐体装配.



1. 左封头; 2. 左端法兰; 3. 筒体; 4. 夹套(保温层); 5. 右端法兰; 6. 右封头

图 1 罐体各个零件的三维实体造型

Fig.1 Three-dimensional solid modeling of various tank parts

1.2 凸轮设计与实体建模

摇摆运动可以由不完全齿轮、四杆机构、凸轮机构 3 种方法实现. 由于不完全齿轮造价比较高, 同时不耐冲击, 四杆机构冲击过大等缺点, 故采用凸轮来实现摇摆运动.

用图解法求凸轮轮廓线的精确性不高, 而且步骤繁琐, 故采用 SolidWorks 的曲线绘制功能来生成精确的凸轮轮廓线. 采用 Excel 与 Solidworks 软件相结合的方法, 在 Excel 中生成参数化方程的数据文件, 在 SolidWorks 中完成凸轮轮廓的精确建模^[6].

由于凸轮转速不高, 承载载荷不大, 故选择从动件(即罐体)的运动规律为等速运动规律, 设计罐体的最大摆角 $\psi_{max} = 45^\circ$. 其推程运动角 $\varphi_0 = 170^\circ$, 回程运动角 $\varphi_0' = 160^\circ$, 远休止角 $\varphi_{01} = 10^\circ$, 近休止角 $\varphi_{02} =$

20° , 则凸轮理论廓线方程为^[3]

$$\begin{cases} x = a \sin \varphi - l \sin(\varphi + \psi + \psi_0) \\ y = a \cos \varphi - l \cos(\varphi + \psi + \psi_0) \end{cases}$$

式中: a 为摆杆反转时的半径; l 为摆杆长度; ψ 为摆杆运动规律, 推程时 $\psi = \varphi \psi_{max} / \varphi_0$, 回程时 $\psi = \psi_{max} - \varphi \psi_{max} / \varphi_0'$; $\psi_0 = 0$, 即摆杆最初在铅直位置; φ 为凸轮转过的角度.

根据凸轮理论廓线方程, 将 φ 在 $0^\circ \sim 360^\circ$ 区间每 1° (换算成弧度值) 取一个点, 得到 x 、 y 的坐标值, 因为凸轮廓线为平面曲线, 故将所有 z 坐标值取为 0, 生成的数据如图 2 所示.

	A	B	C	D	E
1	x	y	z		
2		0	173	0	
3	1.462635389	173.0044	0		
4	2.926183443	173.0177	0		
5	4.391555886	173.0397	0		
6	5.859662566	173.0704	0		
7	7.331410512	173.1097	0		
8	8.807703001	173.1574	0		
9	10.28943862	173.2134	0		
10	11.77751035	173.2774	0		
11	13.27280461	173.3492	0		
12	14.77620037	173.4285	0		
13	16.2885682	173.515	0		

图 2 凸轮理论廓线参数坐标的 Excel 数据

Fig.2 Parameter coordinates of cam's theoretical profile shown in Excel

将该数据文件另存为“文本文件(*.txt)”. 需要注意的是: 在 Excel 中生成数据时, 前 3 列必须是 x 、 y 、 z 坐标值, 因为在 Solidworks 中打开数据文件时, 系统默认前三列数据为 x 、 y 、 z 坐标值^[6].

以“通过 XYZ 点的曲线”功能导入该文本文件, 即可生成凸轮轮廓样条曲线, 然后用“转换实体引用”将曲线转换为草图, 使用“等距实体”生成凸轮的实际廓线. 最后通过二维图形拉伸、拉伸切除以及三维编辑等操作来实现三维实体建模, 如图 3 所示.

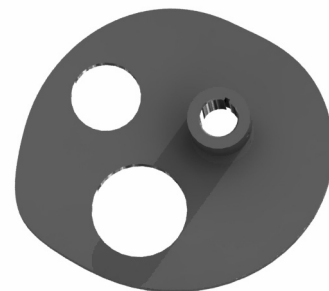


图 3 凸轮的三维模型

Fig.3 Three-dimensional model of cam

1.3 联轴器的选择、轴的设计与实体建模

1.3.1 联轴器的选择与建模

选择凸缘联轴器,其结构简单、工作可靠、方便维护^[7],适合于工作载荷平稳的生物反应器.联轴器建模时,由于凸缘联轴器左右对称,故只需通过拉伸、拉伸切除等命令对一侧进行建模,另一侧使用镜像实体即可.然后,用螺栓将其装配,如图4所示.

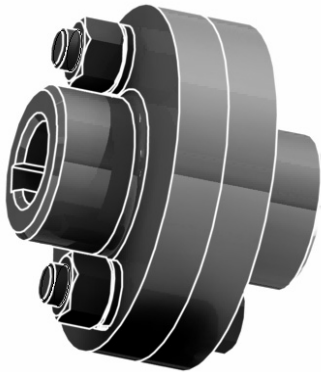


图4 凸缘联轴器三维渲染模型

Fig.4 Three-dimensional rendering model of flange coupling

1.3.2 与罐体相连轴的设计

生物反应器要考虑到罐体内部温度、湿度、通气等要求,在轴中开设两个孔,孔端部设计为管螺纹与外部通气管相连.设计通气管路时,可使用SolidWorks Routing 插件.由于轴要与封头配合,所以设置定位轴肩.通过两根轴的4个孔实现通气和通水,以保持适当的湿度和氧气量,同时还可以用来进行接种、高温杀菌和温度的测定.

1.3.3 轴的三维实体建模

轴可以通过旋转扫描或拉伸两种方法建模,用旋转方法建模速度更快,生成模型文件所占的磁盘空间也更小^[8].在创建过程中,通过设置适当的基准线和基准面,同时分别利用等距实体、孔特征、倒角等一些细节特征,完成轴的建模,如图5所示.

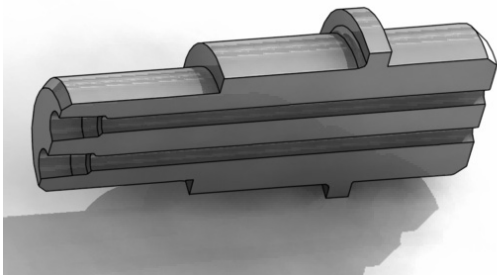


图5 与罐体相连的轴的剖视图

Fig.5 Cutaway view of shaft connected with the tank

2 虚拟装配

虚拟装配是采用计算机仿真与虚拟现实技术,通过在计算机上仿真装配的全过程,实现产品的工艺规划、加工制造、装配和调试,可以早期发现并解决实际装配中可能出现的问题.在SolidWorks中装配时,可以进行零部件之间的干涉检查,计算装配体的各种物理属性,并且可根据需要对生成的零件和特征进行修改定义^[9].

对该摆动式生物反应器虚拟装配时,需注意装配各零部件间的约束与相对运动关系正确与否.先分块进行部件装配,然后再进行集中装配,装配体模型如图6所示.

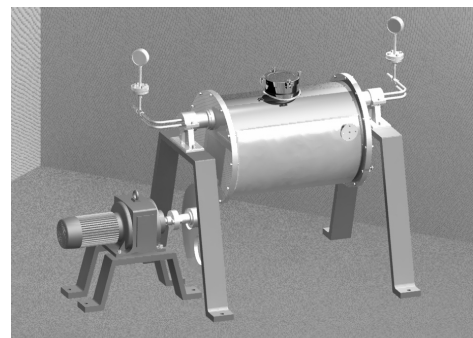


图6 装配体渲染图

Fig.6 Rendering view of the assembly

3 动画制作与运动仿真

3.1 动画制作

利用SolidWorks Animator 插件对装配体进行动画制作,以便进一步查看装配体在动态过程中各零部件之间的相互关系和检测虚拟装配的可靠性,进而优化设计,有效地确保产品的可装配性^[9].

3.2 COSMOSMotion 仿真

COSMOSMotion 可进行机构的干涉分析,跟踪零件的运动轨迹,分析机构中零件的速度、加速度、作用力、反作用力和力矩等,并用图形、表格等多种形式的结果指导修改零件的结构设计或调整零件的材料^[10].COSMOSMotion 仿真设置包括划分运动和静止零部件、添加运动副约束、定义原动件运动、添加工作阻力等.具体步骤如下:

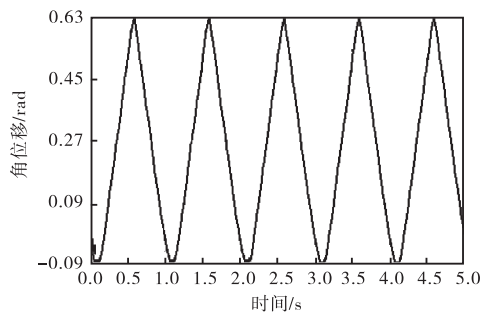
(1)将零部件分为运动零部件和静止零部件.

(2)添加约束.在进入COSMOSMotion界面时,软件会根据装配树中零部件之间的配合关系自动映射到约束中^[11].但在仿真时,还应根据具体对象和分

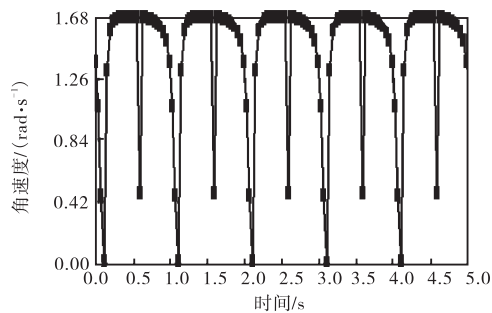
析内容,对一些约束进行必要的增删调整.本装配体只需要4个旋转副,删除其余的约束.

(3)运动及工作阻力设置.电机与电机轴之间的旋转副属性设为“绕Z轴旋转”,运动类型选择“速度”,初始位移为零恒定值,角速度为 $360^\circ/\text{s}$,其余旋转副均为自由运动.在罐体与轴的配合处添加阻力矩.

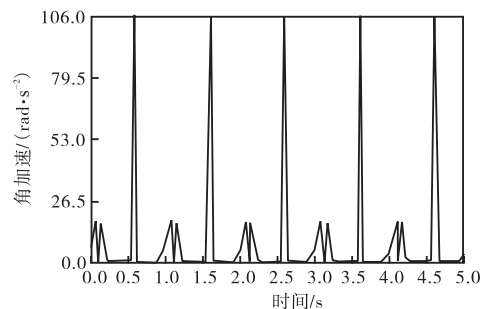
(4)仿真结果输出.选择智能运动构件器中的“仿真”,输入5s,帧的数目为200,进行仿真.选择轨迹跟踪,选中滚动轴承中心点.分别获取罐体上小滚动轴承的运动轨迹,其角位移、角速度、角加速度曲线如图7所示.



(a)角位移曲线



(b)角速度曲线



(c)角加速度曲线

图7 仿真结果

Fig.7 Simulation results

角位移-时间曲线基本是等速运动规律,如图7(a)所示.从图7(b)和图7(c)中可以看出停止时,罐体角速度为0,角加速度为0.由停止转为运动时角速度和角加速度突变.而在推程和回程中,角速度基本恒定,角加速度为0.

4 结 语

利用SolidWorks软件实现了摆动式生物反应器的三维建模并进行了虚拟装配,提高了设计精度和质量,减少了设计工作量,具有良好的人机交互性.

利用COSMOSMotion插件对摆动式生物反应器进行运动仿真分析,模拟了运行状况,通过对动画模拟仿真结果分析得知,生物反应器结构设计合理,凸轮设计的理论值与实际值一致.

参考文献:

- [1] 廖春燕,郑裕国. 固态发酵生物反应器[J]. 微生物学通报,2005,32(1):99-103.
- [2] 李建华,余蜀宜,王传槐,等. 卧式固态物料发酵罐的研制与应用[J]. 饲料工业,2006,27(13):5-6.
- [3] 陈洪章,徐建. 现代固态发酵原理及应用[M]. 北京:化学工业出版社,2004.
- [4] 陈野,邢鸿雁. 固态物料动态发酵装置:中国,ZL200620027227.6[P]. 2007-08-29.
- [5] 谭蔚. 化工设备设计基础[M]. 2版. 天津:天津大学出版社,2007.
- [6] 陈计军,唐良宝. 基于Solidworks和Excel渐开线齿轮三维精确建模研究[J]. 机床与液压,2009,37(12):191-194.
- [7] 吴宗泽. 机械设计[M]. 北京:高等教育出版社,2001.
- [8] 孙小明,尹成龙,朱林,等. 虚拟装配技术在自动引导车转向系统中的应用[J]. 制造业信息化,2007(4):115-117.
- [9] 江洪. Solidworks动画演示和运动分析实例解析[M]. 北京:机械工业出版社,2006.
- [10] 周冰. COSMOS提升设计分析水平[J]. 微型机与应用,2007,10(5):20-23.
- [11] 邓海顺,张贤坤. 基于COSMOSMotion的轴向柱塞泵运动仿真[J]. 煤矿机械,2007,28(9):60-62.