石砟漏斗车底门及开闭机构分析

郭欢　张燕　吴佳
（中车太原机车车辆有限公司　山西　太原　030027）

摘要：本报告对石砟漏斗车底门开闭机构进行运动学和动力学仿真分析，分析开闭机构是否能够实现打开与关闭的要求，对石砟漏斗车底门的静强度、刚度进行分析和评价。

关键词：石砟漏斗车；底门；开闭机构；动力学仿真；评价

0 引言

石砟漏斗车属于铁路货车中特种专用车辆的一种，底门及其传动机构作为漏斗车的关键部件和核心技术，直接影响到漏斗车的使用性能及使用寿命。因此对石砟漏斗车底门及开闭机构进行仿真分析。

1 结构介绍

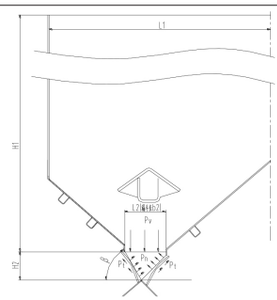
石砟漏斗车的卸砟系统由卸砟门、风动操纵系统、手动操纵系统等组成，风、手动系统各自单独操纵。

2 理论分析

2.1 底门载荷

根据石砟漏斗车结构以及 GB50077-2003《钢筋混凝土筒仓设计规范》中对浅仓漏斗壁上所受载荷的计算要求，确定漏斗车满载时底门上部介质受外力如下表所示。

表 石砟漏斗车满载时底门受力分析表

底门上部介质 受力分析简图	
介质密度 ρ /(t/m3)	1.67
安息角 θ /(°　)	36.5
压力 P_V /kN	$\rho g(h_1+h_2)l_2b_2$
底门法向压力 P_N /kN	$P_V(\cos^2\beta+\tan^2(45°-\theta/2)\sin^2\beta)$
底门切向压力 P_t /kN	$P_V(1-\tan(45°-\theta/2))\sin\beta\cos\beta$

根据车型结构尺寸，确定底门上的法向载荷为 11.71kN 和切向载荷为 8.59kN。

2.2 运动仿真分析

运动仿真分析采用多体系统动力学分析软件，该软件根据机械系统模型，自动建立系统的拉格朗日运动方程，对每个视为刚体的构件，列出 6 个广义坐标带乘子的拉格朗日方程及相应的约束方程，见式（1）、式（2）。

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial K}{\partial \dot{q}_j}\right)-\frac{\partial K}{\partial q_j}+\sum_{i=1}^{n}\frac{\partial \Psi_i}{\partial q_j}\lambda_i=F_j \qquad (1)$$

$$\Psi_i=0 \qquad (i=1,2,\cdots,m) \qquad (2)$$

式中：k——动能；

q_j ——描述系统的广义坐标；

Ψ_i ——系统的约束方程；

F_j ——在广义坐标方向的广义力；

λ_i —— 的拉格朗日乘子列阵。

2.3 开闭机构受力分析

石砟漏斗车底门开闭机构受力为空间力系，坐标系的选择以及进行开门时的受力分析简图如图 1 所示。

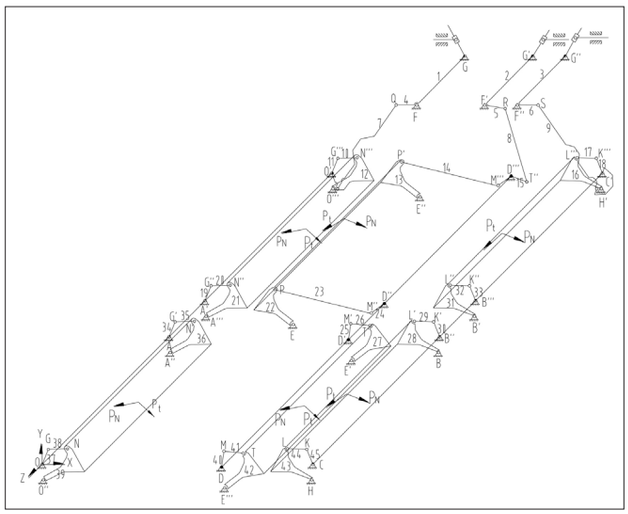


图 1 石砟漏斗车底门开闭机构简图

对于机构中的任何构件，其沿各坐标轴的合力以及绕各坐标轴的合成转矩均应平衡，即：

$\sum F_x=0$；$\sum F_y=0$；$\sum F_z=0$；$\sum M_x=0$；$\sum M_y=0$；$\sum M_z=0$。

3 模型的建立

3.1 底门开闭机构运动学和动力学仿真技术路线

（1）选取石砟漏斗车底门及传动机构作为仿真研究对象，在三维软件中建立底门及传动机构纯刚体动力学模型，导出 adm、cmd 和 xt 格式文件；

44-66 机械工业应用 8月下 第24期 .indd 59　　2022/2/17 13:11:22

（2）将生成的文件导入多体系统动力学分析软件中，并添加运动副，建立纯刚体动力学模型，进行运动学分析；

（3）将底门开闭机构关键部位进行柔性处理，并进行动力学分析；

（4）根据底门开门机构的实际运行工作状态，在多体系统动力学分析软件中对相应的零部件施加约束。

三维模型导入到多体系统动力学分析软件中后，需要对模型进行进一步细化。各底门受到的力，采用集中力的形式施加到各底门面中心处，力的大小以 AKISPL 函数模拟。

3.2 底门强度仿真分析

选取石砟漏斗车底门为研究对象，利用有限元分析软件进行网格离散化处理，采用四节点板壳单元（shell 181）对该底门进行网格划分。

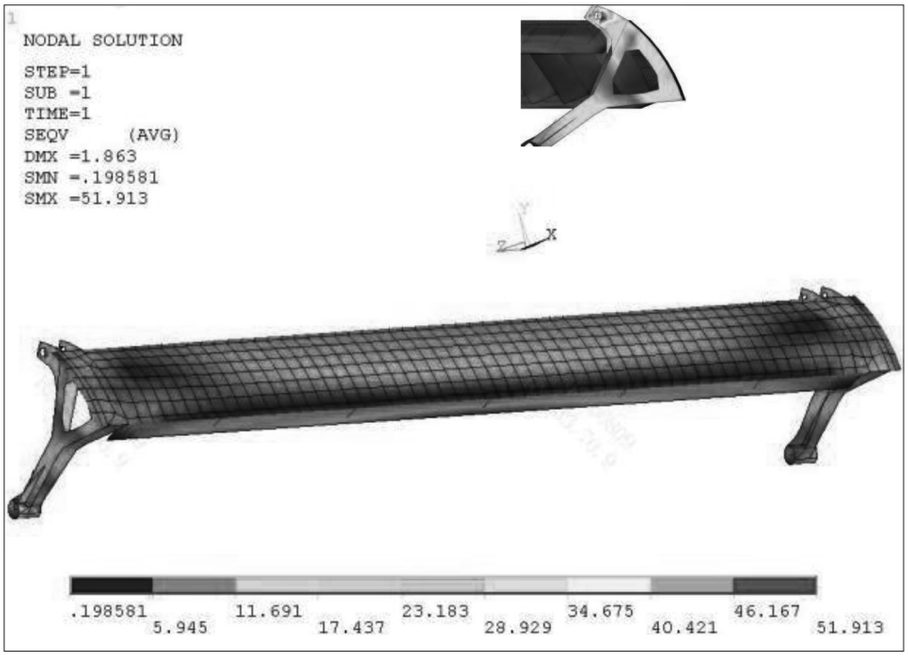


图 2 应力云图

4 仿真结果分析

4.1 运动学仿真分析结果

在石砟漏斗车开闭机构的双向作用风缸上施加沿风缸轴向的驱动以打开底门。绘制出石砟漏斗车底门在打开过程中质心处的位移曲线和速度曲线。

由石砟漏斗车各底门位移和速度曲线可知，横向对称各底门 X 方向位移和速度曲线对称分布，Y 方向位移和速度曲线重合，合位移和合速度曲线重合，底门打开速度逐渐增大。

由对石砟漏斗车开闭机构的运动学分析可以看出：开闭机构在运动过程中没有干涉出现，能够顺利实现打开与关闭的要求石砟漏斗车的各底门的运动具有同步性。

4.2 动力学仿真结果

根据多体系统动力学分析软件自带的动力学求解器对石砟漏斗车开闭机构的求解可以得出：在车辆满载的情况下，石砟漏斗车的底门要顺利打开，所需要的双向作用风缸轴向推力为 11.08kN。

石砟漏斗车的双向作用风缸内壁直径为 254mm。因此可以得出要打开底门，石砟漏斗车的双向作用风缸内最小气压为 218kPa。

分析石砟漏斗车开闭机构中的侧拉杆的铰链点力的变化曲线。开闭机构打开过程经逐次调整以实现打开开闭机构。打开机构过程主要以调节风缸推力来平衡车底门自身的重力分量和货物对底门的力，当调节推力至 11.08kN 时，底门机构可以进行打开，此时的侧拉杆的最大应力为 151.31MPa，底门连接拉杆组成的最大应力为 55.88MPa，满足材料要求。

4.3 底门强度仿真结果

根据石砟漏斗车结构以及 GB50077-2003《钢筋混凝土筒仓设计规范》中对浅仓漏斗壁上所受载荷的计算要求，确定漏斗车满载时底门上部介质受外力如表所示。

按照表中所列法向载荷 、切向载荷 进行施加，得到底门结构应力云图见图 2。由图可见底门结构最大位移值为 1.863mm，最大应力值为 52MPa，小于材料的强度极限，满足结构强度要求。

5 结语

文章分析了底门开闭机构在侧拉杆和底门连接拉杆为柔性杆件时的动力学特性，通过对仿真结果进行分析，得出以下结论：

（1）石砟漏斗车底门开闭机构能够顺利实现打开与关闭的要求，各构件无运动干涉，满足运动要求；

（2）底门开闭机构打开时，连杆组成的应力值远小于其材质的屈服强度，能够满足开门过程中关键部件的强度要求；

（3）石砟漏斗车底门结构满足强度要求。

参考文献：

[1] 芮执元，魏兴春，冯瑞成 . 基于 ADAMS 的虚拟样机技术及其在机构设计中的应用 [J]. 科学技术与工程 ,2006,6(19):3111-3114.

[2] 李围 .ANSYS 土木工程应用实例 [M]. 北京：中国水利水电出版社 ,2017.

[3] 陈定方，孔建益，杨家军，等 . 现代机械设计师手册 [M]. 北京：机械工业出版社 ,2014.

作者简介：郭欢 (1988.08-)，女，汉族，山西运城人，硕士研究生，工程师，研究方向：铁道车辆。

44-66 机械工业应用 8月下 第24期 .indd 60 2022/2/17 13:11:22