

文章编号: 1005-8451 (2007) 10-0015-03

轨道车辆抗倾覆性分析软件的开发

魏玲玲, 杨岳, 彭波

(中南大学交通运输工程学院, 长沙 410075)

摘要:轨道车辆的抗倾覆性计算对保证车辆运行安全具有重要作用。手工计算抗倾覆性需要耗费大量的时间精力, 并且常常只能得到倾覆系数的近似计算结果。为解决这个问题, 论述了在三维CAD环境的支持下, 如何开发软件实现轨道车辆抗倾覆性的自动分析。经验证, 开发完成的软件能对轨道车辆倾覆稳定性进行快速和准确的自动分析。

关键词:轨道车辆; 三维CAD模型; 抗倾覆稳定性; 软件开发

中图分类号: TP39

文献标识码: A

Software development of calculation on anti-overturning stability of track vehicles

WEI Ling-ling, YANG Yue, PENG Bo

(School of Traffic and Transportation Engineering, Central South University, Changsha 410075, China)

Abstract: The calculations of anti-overturning stability played an important part in ensuring the running security of track vehicles. But it was consumed a large amount of time and energy by hand, and usually only approximative result of calculation could be obtained. In order to solve these problems, it was discussed how to develop software to implement automatic analysis and calculation of the anti-overturning stability of track vehicles under three-dimensional CAD environment. It was proved that the developed software could do automatic analysis and calculation to anti-overturning stability of track vehicles rapidly and correctly.

Key words: track vehicles; three-dimensional CAD model; anti-overturning stability; software development

车辆的抗倾覆稳定性是关系到车辆能否安全运行的重要指标, 车辆沿轨道运行时受到各种横向力的作用, 如风力、离心力、线路超高引起的重力横向分量以及横向振动惯性力等。如果车辆以高于规定的速度通过曲线, 车辆会发生倾覆失稳, 从而导致车辆横向侧滑或是横向倾翻。为了保证车辆在线路上运行安全, 不发生任何倾覆和脱轨等重大事故, 在轨道车辆设计开发中需进行认真的抗倾覆性的校核计算。

本文在讨论车辆抗倾覆稳定性的一般计算原理的基础上, 介绍如何根据车辆车体和转向架的三维CAD模型, 建立软件系统实现轨道车辆抗倾覆稳定性的快速、精确的自动计算。

1 轨道车辆抗倾覆稳定性的计算原理

车辆在各种横向力作用下会形成一侧车轮减载, 另一侧车轮增载的现象。如果各种横向力在最

不利组合作用下使得车辆一侧车轮与钢轨之间的垂向作用力减少到零时, 车辆就有倾覆的危险。图1所示为车辆通过曲线时的受力分析模型。

车辆在横向力作用下可能倾覆的程度用倾覆系数D来表示。

为了保证车辆不倾覆, 倾覆系数D不能超过临界值。GB5599-85规定容许倾覆系数D<0.8。为了简化计算, 略去一些影响较小的因素。按图1所示关系, 根据作用在车辆上各力平衡条件可求出内侧和外侧车轮上的垂向力 P_1 和 P_2 , 进而导出车辆的倾覆系数D。

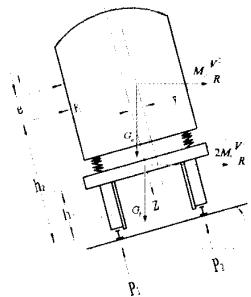


图1 车辆受力分析模型

$$D = \frac{P_d}{P_{st}} = \frac{P_2 - P_1}{P_2 + P_1}$$

$$= \frac{M_c y_c (\frac{V^2}{R} \sin \theta + g \cos \theta) + (M_c h_2 + 2M_t h_1) (\frac{V^2}{R} \cos \theta - g \sin \theta) + (h_2 + e) F_w + h_2 F_1}{(M_c + 2M_t) b (\frac{V^2}{R} \sin \theta + g \cos \theta)}$$

式中：

P_{st} — 无横向力作用时轮轨间重向静载荷；
 P_d — 在横向力作用下轮轨间重向力变化量；
 P_2 — 增载侧轮轨间重向力；
 P_1 — 减载侧轮轨间重向力。
 M_c — 车体质量（车箱和货物质量之和）；
 M_t — 每台转向架质量；
 V — 车辆运行速度；
 R — 曲线半径；
 b — 轨道宽度的一半；
 θ — 超高角；
 h_1 — 转向架重心至轨面高度；
 h_2 — 车体重心至轨面高度；
 F_1 — 车体横向振动惯性力；
 g — 重力加速度；
 e — 风压力中心与车体重心之间垂向距离；
 y_c — 在横向力作用下车体横移量，其值为：

$$y_c = \frac{F_w + F_1 + M_c (\frac{V^2}{R} \cos \theta - g \sin \theta)}{4K_y}$$

其中 K_y — 转向架悬挂横向刚度；
 F_w — 横向风压力。

对轨道车辆抗倾覆性校核的目的就是要确保计算出的倾覆系数要小于 0.8。

2 软件设计原理

通过分析上述的轨道车辆抗倾覆性计算公式，可将计算需要的参数分为两类：(1) 车辆基本设计参数，它们包括： V 、 R 、 θ 、 $2b$ 、 F_1 、 g 、 K_y 和 F_w ，这些参数可由设计人员直接输入；(2) 要根据车辆零部件的具体尺寸和结构确定的参数，它们包括：车体质量 M_c 、转向架质量 M_t 、转向架重心至轨面高度 h_1 、车体重心至轨面高度 h_2 、风压力中心与车体重心之间垂向距离 e ，这些参数可由三维 CAD 几何模型直接或间接获得。将这两类参数综合起来，

即可实现轨道车辆抗倾覆稳定性的自动分析计算。采用的车辆抗倾覆性分析计算软件结构如图 2 所示。

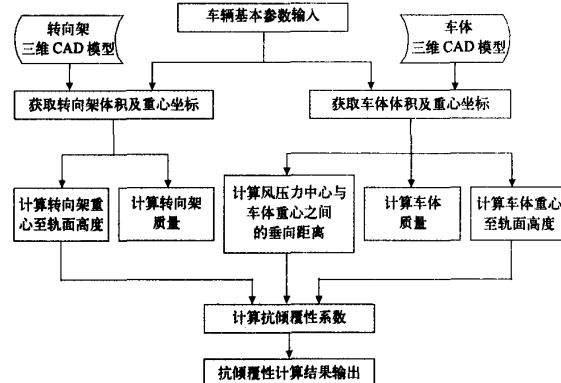


图 2 软件结构图

设计人员首先在三维 CAD 系统的支持下分别对转向架和车体进行三维零件建模和装配建模。轨道车辆抗倾覆稳定性分析软件对转向架和车体的三维装配模型进行分析处理，分别获得转向架和车体的质量属性数据。在集成用户界面下，可进行车辆基本设计参数的输入，这时计算机将获得的转向架和车体的质量属性参数、车辆基本设计参数综合起来，进行车辆抗倾覆稳定性的分析计算，并在集成用户界面下给出分析计算结果。设计人员根据车辆抗倾覆稳定性的具体情况，可对转向架和车体的三维 CAD 设计模型进行修改和调整。修改后的转向架和车体的三维装配模型可重新进行抗倾覆稳定性计算，直到得到较为理想的结果。

3 基于三维 CAD 几何模型的转向架及车体特征数据获取

3.1 转向架物性特征数据自动获取方法

利用 SolidWorks 提供的质量特性工具，可方便

地得到转向架的体积和重心，但这些数据是外部数据，不能在开发软件中直接引用。为获得可在程序中直接引用转向架物性特征数据，通过 Visual Basic 调用 SolidWorks 提供的 API (Application Program Interface) 函数，可得到转向架的体积和重心。

但是，无论是通过质量特性工具或 API 函数得到的转向架重心坐标值都是以 SolidWorks 进行几何建模时所定义的坐标系，尽管转向架装配建模时可以定义坐标系 X-Y 平面平行于转向架车轮底平面，但由于设计人员各自的习惯，转向架车轮底平面往往与转向架装配模型的 X-Y 平面并不平行。因而，得到的转向架装配模型重心坐标 Z 值并不是转向架相对转向架车轮底平面的高度。为了解决这个问题，可以建立一个包容转向架装配模型的长方体包容盒，求得转向架装配模型重心与该包容盒底面的 Z 向距离，即为转向架重心相对于转向架车轮底平面的高度 h1。

SolidWorksVBA 主程序代码如下：

```
Set swApp = CreateObject("SldWorks.Application")
Set swAssy = swApp.ActivateDoc("转向架")
进入转向架三维装配视图
vBox = swAssy.GetBox(0) ' 获取转向架三维装配模型的包容盒
boolstatus = mass.AddBodies((combody))
val_center = mass.CenterOfMass ' 获取转向架三维装配模型的重心坐标
Z_center=val_center(2)
Z_min = vBox(2)
val_H=Abs(Z_center-Z_min) ' 计算重心坐标与包容盒底面的 Z 向距离
val_Volume = mass.Volume ' 获取转向架三维装配模型体积
val_Mass=val_Volume*val(Destiny) ' 计算转向架质量
```

3.2 车体物性特征数据的自动获取方法

车体质量属性的获取方式与转向架质量属性的获取方式基本相同。但是，车体质量包括车箱和货物之和，车体重心则是车箱和货物这个整体的重心，因此，当车箱装载货物不同时，车体的重心将会相应变化。所以计算车体重心要考虑货物高度的影响。另外，为了求得车体重心至轨面的高度，可先求得车体重心至车体底面的高，再加上车体底面

至轨面的高度。

设 h3 为车体重心至车体底面的距离，w3 为空车体质量；h4 为最大货物高度，w4 为货物最大质量；h5 为车体底面至轨面的高度。这里假定货物是均匀放置在车体内部。则车体重心至轨面的高度 h2 可应用下述公式计算：

$$h_2 = \frac{w_3 \cdot h_3 + w_4 \cdot h_4 / 2}{w_3 + w_4} + h_5$$

设车体高度为 h6，则风压力中心与车体重心之间的垂向距离 e 可用下述公式计算：

$$e = \left| \frac{h_6}{2} - h_2 \right|$$

车体质量属性数据获取步骤如下：

(1) 进入空车体三维装配视图；(2) 获取空车体三维装配模型的包容盒；(3) 获取空车体三维装配模型的重心坐标；(4) 计算空重心与包容盒底面的 Z 向距离；(5) 获取空车体三维装配模型体积(6) 计算空车体质量；(7) 计算装载货物后的车体重心至轨面的高度；(8) 计算风压力中心与车体重心之间的垂向距离。

其中(1) — (6) 采用的 VBA 代码与转向架质量属性获取采用的代码基本相似。

4 结束语

本文所述的分析软件利用三维 CAD 系统提供的建模、模型识别、质量特性获取等功能实现了对轨道交通抗倾覆性的自动分析计算。应用以上分析软件对多种轨道交通模型进行了实验验证，结果表明：数据分析准确可靠，计算过程高效快捷，可大大提高车辆设计人员的工作效率。

参考文献：

- [1] 王开云, 翟婉明, 蔡成标. 车辆在弹性轨道结构上的横向稳定性分析[J]. 铁道车辆, 2001, 39 (7): 1-4.
- [2] 周劲松, 赵洪伦, 王福天. 铁道车辆稳定性与曲线通过性能折衷最优化研究[J]. 铁道学报, 1998, 20 (3).
- [3] 韩梅, 张健. 货物重心在车辆上横向容许偏移量的研究[J]. 铁道货运, 2002 (5): 33-34.
- [4] 唐文静, 魏修亭, 董小娟. 基于 VB 的 SolidWorks 二次开发的研究与实践[J]. 中国制造业信息化, 2005 (6): 98-99, 114.