机车电传动 2017 年第 6 期 (2017-11-10)
ELECTRIC DRIVE FOR LOCOMOTIVES №6, 2017(Nov. 10, 2017)

文章编号：1000–128X(2017)06–0114–03

浮车型 5 模块低地板有轨电车轴重与轮重计算

崔启超，聂　敏，原志强

（中车大同电力机车有限公司 技术中心，山西 大同　037038）

摘　要：依据浮车型 5 模块低地板有轨电车的结构特性以及铰接装置的运动特性，将车辆进行合理的划分，作出轴重、轮重计算模型，运用力平衡与力矩平衡原理，计算出轴重与轮重。这是精确控制车辆轴重与轮重的基础。

关键词：有轨电车；低地板；轴重；轮重；铰接装置

中图分类号：U482.1　　**文献标识码：**A

doi：10.13890/j.issn.1000-128x.2017.06.025

Calculation of Axle Weight and Wheel Weight of Suspended-modular-tram with 5 Module and Low Floor

CUI Qichao, NIE Min, YUAN Zhiqiang

(Technical Center, CRRC Datong Co., Ltd., Datong, Shanxi 037038, China)

Abstract: Based on the structure characteristics of the suspended-modular-tram with 5 module and low floor and the motion characteristics of the articulated equipment, a reasonable division of the vehicle was made, and the calculation model of axle weight and wheel weight was built. With applying force balance and moment balance principle, the axle weight and the wheel weight were figured out, which provided basis for axle weight and wheel weight accuracy control.

Keywords: tram; low floor; axle load; wheel load; articulated equipment

0　引言

低地板车辆的轴重与轮重控制，是有轨电车设计过程中的一项关键内容。寻找一种合理的算法来计算出车辆的重心位置、各轴的轴重以及各轮的轮重，是精确控制轴重与轮重必不可少的一环。只有做到精确地控制轴重与轮重，才可以在满足线路及标准要求的基础上，最大限度地降低设计难度、节约设计成本。

1　轴重与轮重计算思路

轴重计算的基本理论是依据力平衡与力矩平衡原理来计算重心位置以及各轴轴重，但是力矩平衡有一个前提条件，就是计算对象必须为一个刚体。而对于浮车型 5 模块低地板城轨车辆，各模块通过铰接装置相连接，模块的重量相互独立又相互影响，为了便于通过竖曲线，一般会在中间拖车模块的任意一侧采用允许车体间发生点头运动的铰接装置。在此种情况下，轴重与轮重计算，成为设计中的难点。

浮车型 5 模块低地板城轨车辆轴重计算的重点在于分析铰接装置的运动特性。本文依据铰接装置的运动特性，将浮车型 5 模块低地板城轨车辆划分为 2 个部分，在垂向方向，将每一部分看做一个刚体，求出每一部分的重量及重心，以及连接 2 个部分的铰接装置的垂向受力，运用力平衡原理和力矩平衡原理，求出每一个转向架所受垂向压力，再结合转向架自重，得出轴重。

将车辆合理地划分为不同的刚体模块，这一分析手段同样适用于轮重计算。通过计算单个刚体模块重心在车辆横向方向上的偏移量，再运用力平衡与力矩

收稿日期：2017–05–09

平衡原理，将单个车轴的轴重分配到单个车轮，即可计算得出轮重。

2　车辆总体技术特征

浮车型 5 模块低地板有轨电车采用的编组形式为 Mc1+F1+Tp+F2+Mc2，如图 1 所示。其中，Mc1、Mc2 为带有司机室的动车模块，F1、F2 为浮车模块，Tp 为带有受电弓的拖车模块。其中，Mc1 模块、Mc2 模块又由司机室模块和转向架模块组成，两者在接触面上通过高强度螺栓连接在一起。为了编组灵活以及节约设计成本，所有的转向架模块中的车体部分均可以互换。

模块之间采用铰接和贯通道进行连接，方便连挂、解编与扩编。

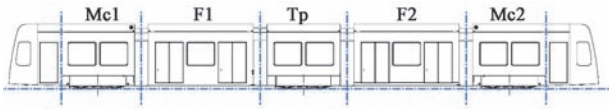

图 1　车辆编组

3　轴重与轮重计算

3.1　刚体模块划分

从左到右，定义 Mc1 模块与 F1 模块之间的铰接装置为Ⅰ位铰接，F1 模块与 Tp 模块之间的铰接装置为Ⅱ位铰接，Tp 模块与 F2 模块之间的铰接装置为Ⅲ位铰接，F2 模块与 Mc2 模块之间的铰接装置为Ⅳ位铰接。定义 Mc1 模块的转向架为Ⅰ位转向架，Tp 模块的转向架为Ⅱ位转向架，Mc2 模块的转向架为Ⅲ位转向架。

Ⅰ位铰接、Ⅱ位铰接、Ⅳ位铰接主要允许车体间的摇头运动，而限制车体之间的侧滚和点头运动，Ⅲ位铰接允许车体间的摇头运动和点头运动，限制车体间的侧滚。故在垂向方向上，在Ⅲ位铰接处，将浮车型 5 模块低地板城轨车辆划分为两部分，定义 Mc1 模块、F1 模块与 Tp 模块组成为刚体模块 1，F2 模块与 Mc2 模块组成刚体模块 2。

3.2　坐标系的规定

对于刚体模块 1，规定坐标原点为 F1 模块的几何中心点在轨面上的投影点，以此原点建立坐标系 1，坐标系 1 的 x 轴与车辆的纵向中心线平行，规定向右为正方向，按照右手定则定义出 y 轴和 z 轴。

同理，标示出刚体模块 2 的坐标系，如图 2 所示。

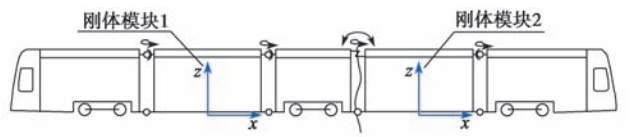

图 2　模块及坐标定义

3.3　刚体模块的重量及重心计算

对于刚体模块 1 或刚体模块 2，均是由若干子系统构成，运用力平衡原理和力矩平衡原理，求出刚体模块的重量及重心，计算公式如下：

$$G_n=\sum G_s \tag{1}$$

$$x_n=(\sum G_s\cdot x_s)/G_n \tag{2}$$

$$y_n=(\sum G_s\cdot y_s)/G_n \tag{3}$$

$$z_n=(\sum G_s\cdot z_s)/G_n \tag{4}$$

式中：G 为重量；x、y、z 为刚体模块的坐标；下标 n 代表刚体模块，下标 s 表示子系统。

3.4　刚体模块 2 中Ⅲ位转向架及Ⅲ位铰接装置受力计算

由于刚体模块 2 相比于刚体模块 1 受力较简单，故首先计算刚体模块 2 的受力情况。

如图 3 所示，由于Ⅲ位铰接限制车体间的相互点头运动，F2 模块和 Mc2 模块在垂向看做一个刚体，同时将转向架的 4 个二系弹簧对车体的支持力简化为一个中心支持力，对刚体模块 2 进行计算：

$$T_3+N-G_2=0 \tag{5}$$

$$T_3\cdot\frac{L}{2}-N\cdot\frac{L_f}{2}-G_2\cdot x_{G2}=0 \tag{6}$$

推出：

$$N=\frac{L-2x_{G2}}{L+L_f}\cdot G_2 \tag{7}$$

$$T_3=\frac{2x_{G2}+L_f}{L+L_f}\cdot G_2 \tag{8}$$

式中：N 为Ⅲ位铰接装置对刚体模块 2 的支持力；T_3 为转向架对刚体模块 2 的支持力；G_2 为刚体模块 2 的重力；x_{G2} 为刚体模块 2 重心的纵向坐标值；L 为转向架中心距；L_f 为浮车模块的长度。

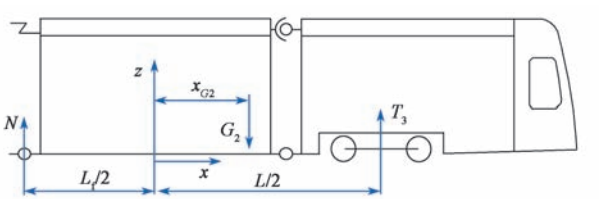

图 3　刚体模块 2 受力分析

3.5　刚体模块 1 中Ⅰ位转向架、Ⅱ位转向架受力计算

如图 4 所示，由于Ⅰ位铰接、Ⅱ位铰接不允许车体间发生相互点头运动，故将 Mc1 模块、F1 模块与 Tp 模块在垂向方向上看做一个刚体，同时将转向架的 4 个二系弹簧对车体的支持力简化为一个中心支持力，则有式（9）~式（11）。

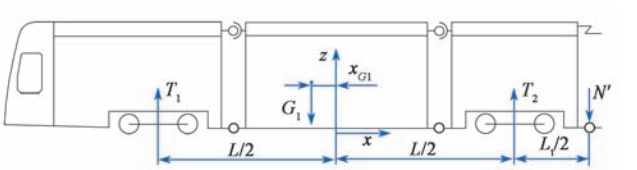

图 4　刚体模块 1 受力分析

$$T_1+T_2-G_1-N'=0 \tag{9}$$

$$T_2 \cdot \frac{L}{2} + G_1 \cdot x_{G1} - T_1 \cdot \frac{L}{2} - N' \cdot (\frac{L_t}{2} + \frac{L}{2}) = 0 \quad (10)$$

$$N' = N \quad (11)$$

推出：

$$T_1 = \frac{L + 2x_{G1}}{2L} \cdot G_1 - \frac{L_t \cdot (L - 2x_{G2})}{2L \cdot (L + L_f)} \cdot G_2 \quad (12)$$

$$T_2 = \frac{L - 2x_{G1}}{2L} \cdot G_1 + \frac{(2L + L_t) \cdot (l - 2x_{G2})}{2L(L + L_f)} \cdot G_2 \quad (13)$$

式中：N' 为Ⅲ位铰接装置对刚体模块 1 的压力；T_1、T_2 分别为Ⅰ位转向架、Ⅱ位转向架对刚体模块 1 的支持力；L 为转向架中心距；L_f 为浮车模块的长度；L_t 为拖车模块长度；x_{G1} 为刚体模块 1 的纵向坐标。

由上述计算可知，T_1、T_2、T_3 的大小主要由 2 个刚体模块的重量及重心位置以及整车的结构参数所决定。

3.6 轴重计算

T_1、T_2、T_3 分别为Ⅰ位转向架、Ⅱ位转向架、Ⅲ位转向架二系簧上的垂向受力，设Ⅰ位转向架自重为 m_1，Ⅱ位转向架自重为 m_2，Ⅲ位转向架自重为 m_3。由于不论是动力转向架还是非动力转向架，其转向架重心位置接近其几何中心，可认为转向架自重均匀地分配到每一根车轴，则Ⅰ位转向架轴重 M_1、Ⅱ位转向架轴重 M_2、Ⅲ位转向架轴重 M_3 分别为：

$$M_1 = \frac{T_1 + m_1}{2} \quad (14)$$

$$M_2 = \frac{T_2 + m_2}{2} \quad (15)$$

$$M_3 = \frac{T_3 + m_3}{2} \quad (16)$$

3.7 轮重计算

浮车型 5 模块低地板城轨车辆的自由铰分为 2 种类型，一种类型是使用有限位作用的横向减振器的自由铰，另一种类型是使用横向拉杆的自由铰。根据 2 种自由铰运动特性的不同，轮重计算也将分为两 2 情况。

1）自由铰采用有限位作用的横向减振器

当Ⅲ位铰接的自由铰采用横向减振器时，Tp 模块与 F2 模块之间允许侧滚，则在计算轮重时，仍将整车在自由铰处分为刚体模块 1 和刚体模块 2。坐标系依然沿用轴重计算时的坐标系。刚体模块 1 的受力关系如图 5 所示。

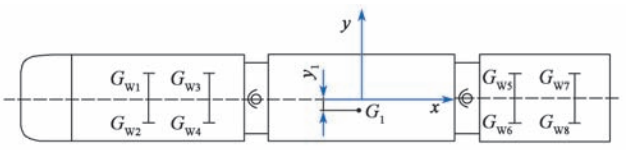

图 5 刚体模块 1 受力分析

对于刚体模块 1，假设其合成重心偏离车辆纵向中心线为 y_1，则对于单个车轴的受力，如图 6 所示。

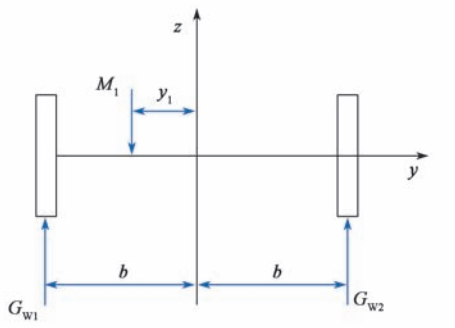

图 6 单个车轴受力分析

依据力平衡与力矩平衡原理，对单个车轴列出方程如下：

$$M_1 = G_{W1} + G_{W2} \quad (17)$$

$$M_1 \cdot y_1 + G_{W2} \cdot b = G_{W1} \cdot b \quad (18)$$

推出：

$$G_{W1} = \frac{y_1 + b}{2b} \cdot M_1 \quad (19)$$

$$G_{W2} = \frac{b - y_1}{2b} \cdot M_1 \quad (20)$$

式中：b 为车轮 2 个滚动圆距离的一半；G_{W1} 为 1 位车辆的轮重；G_{W2} 为 2 位车轮的轮重。

同理计算出刚体模块 2 各轮的轮重。

2）自由铰采用横向拉杆

当自由铰接采用横向拉杆时，整列车的侧滚刚度是一致的，各模块具有相同的抗侧滚能力，故在计算轮重时，将整车看做一个刚体模块进行计算。由于整列车采用模块化设计，Mc1 模块与 Mc2 模块、F1 模块与 F2 模块具有互换性，且为中心对称布置，则 Mc1 模块和 Mc2 模块、F1 模块和 F2 模块由于重心偏置引起的绕 x 轴的侧滚力矩将达到自平衡状态，整列车的侧滚力矩只等于 Tp 模块重心偏置引起的侧滚力矩。单独计算出 Tp 模块的重量和重心位置，依据上述计算方法，计算得出轮重即可。

4 结语

浮车型 5 模块低地板城轨车辆的轴重计算离不开对铰接装置的研究，按照铰接装置不同的结构特性，将车辆进行合理的划分，运用最基本的力平衡与力矩平衡原理，即可求出轴重和轮重。

参考文献：

[1] 牛锡平，周希楹，韩明盛 . 100% 低地板轻轨车辆车体固定铰强度分析 [J]. 铁道机车车辆，2008(6)：43–46.

[2] 张宇，刘劲，邓谊柏 . 储能式现代有轨电车轴重与轮重计算 [J]. 电力机车与城轨车辆，2015(4)：20–23.

作者简介：崔启超（1979–），男，高级工程师，研究方向为电力机车与城轨车辆。