

ICS 45.060.01
S 30

TB

中华人民共和国铁道行业标准

TB/T 3115—2005

机车车辆动力学性能 台架试验方法

Test methods for dynamic performance of
locomotive and rolling stock on test rig

2005-06-27 发布

2005-12-01 实施

中华人民共和国铁道部 发布

目 次

前 言	II
引 言	III
1 范 围	1
2 规范性引用文件	1
3 试验条件	1
4 试验项目和试验方法	2

前 言

本标准由铁道行业内燃机车标准化技术委员会提出并归口。

本标准由西南交通大学起草。

本标准主要起草人：张卫华、曾京。

本标准为首次发布。

引 言

机车车辆台架试验是机车车辆研究开发的有效手段,为了规范试验,提高试验质量,制订本标准。

本标准参照了机车车辆动力学试验标准 GB/T 5599—1985《铁道车辆动力学性能评定和试验鉴定规范》、TB/T 2360—1993《铁道机车动力学性能试验鉴定方法及评定标准》。本标准所提出的试验项目和试验方法与上述两项标准基本一致。同时根据台架试验的特点和能力,提出了机车车辆悬挂自振特性试验和机车车辆车体振动模态试验。

机车车辆动力学性能台架试验方法

1 范 围

本标准规定了铁道机车车辆在台架上进行整车或转向架(模拟半车)动力学性能试验的条件和试验方法。

本标准适用于铁道机车车辆在台架上进行整车或转向架(模拟半车)动力学性能试验。动车组可参照执行本标准。

2 规范性引用文件

下列文件中的条款通过本标准的引用而成为本标准的条款。凡是注日期的引用文件,其随后所有的修改单(不包括勘误的内容)或修订版均适用于本标准,然而,鼓励根据本标准达成协议的各方研究使用这些文件的最新版本。凡是不注日期的引用文件,其最新版本适用于本标准。

GB/T 5599—1985 铁道车辆动力学性能评定和试验鉴定规范

TB/T 2360—1993 铁道机车动力学性能试验鉴定方法及评定标准

3 试验条件

3.1 试验机车车辆

3.1.1 试验委托单位在试验前应向试验承担单位提供被试机车车辆及转向架(以下简称被试车)的组装总图、主要尺寸和有关特征参数。

3.1.2 试验前试验承担单位需会同试验委托单位对被试车进行检查,确认其技术状态符合设计要求及有关技术标准、规程的规定后方可进行试验。

3.1.3 被试车应按其实际运行状况进行整備。作为研究性试验,允许采用代用车体,但要求代用车体和实际设计的车体的参数相当。

3.1.4 在正式进行测试之前,被试车应在试验台上模拟运行不少于 10 h 或累计模拟运行里程 500 km 以上,对被试车进行磨合,而且磨合运行速度应在试验最高速度的 1/3 到试验最高速度之间均匀分布。

3.2 试 验 台

3.2.1 试验台应通过国家计量认证或实验室通过实验室国家认可。

3.2.2 试验台的状态应达到设计技术要求,特别是轨头型面的磨损不大于 0.2 mm,滚动台左右轨道轮的轮径差不大于 0.5 mm,同一转向架的试验台的轮径差不大于 1 mm,整车范围内试验台的轮径差不大于 2 mm;所有轨道轮在滚动圆处的径向跳动不大于 0.2 mm;试验台轨道轮顶部的高度偏差,同一转向架范围内不大于 2 mm,整个试验台内不大于 4 mm;同一转向架试验台轨道轮相对转速差不大于 0.5%,整车范围内试验台轨道轮相对转速差不大于 1.0%。

3.2.3 滚动振动试验台和振动台的激振能力应与要求的激振谱相适应。

3.2.4 在进行曲线模拟试验时,试验台轨道轮的顶点应是机车车辆相应位置在曲线上的位置,而且轨道轮轴中心线通过模拟曲线的圆心;试验台可以模拟曲线超高和内外轨差速,超高和差速的设置应和曲线状况要求一致。

3.2.5 被试车的纵向固定方式应和被试车在实际运用中的车钩作用方式一致。采用两端固定时,纵向固定杆的长度不小于 1 m。采用单端固定时,纵向固定杆的长度不小于 1.5 m。

3.2.6 在没有特殊要求时,试验台轨道轮断面采用 60 kg 钢轨断面,轨底坡采用 1/40。

3.2.7 在进行平稳性能测试时,所采用的激振用轨道谱应和被试车实际运行线路的轨道谱相当。如果暂不能提供相应实际线路的轨道谱,推荐采用表 1 所列的与线路速度等级对应的代用谱。

表 1 激振代用谱列表

线路速度等级(km/h)	代用谱
120	中国干线谱
160	美国 5 级谱
200	美国 6 级谱
250	德国高干扰谱
300 及以上	德国低干扰谱

3.2.8 在进行动力车的动力学性能试验时,试验台应具有模拟动力车牵引和制动工况的功能。

3.3 试验速度

3.3.1 对运行响应试验,最高试验速度应不低于最高运行速度的 1.1 倍。对运动稳定性试验,在有激振条件下,最高试验速度应不低于最高运行速度或最高线路试验速度(以速度高者为准)的 1.15 倍;对无激振的纯滚动运动稳定性试验,最高试验速度应不低于最高运行速度或最高线路试验速度(以速度高者为准)的 1.2 倍。

3.3.2 在进行运行响应试验时,采用速度分级,速度级为 10 km/h~20 km/h,在常用运行速度范围可采用较小的速度分级。平稳性试验的最低速度由试验委托单位提出,但至少应低于最高运行速度的一半。

3.3.3 在进行运动稳定性试验时,可采用速度扫描或速度分级进行,采用速度扫描时的试验速度加速度(或减速度)应小于 0.5(km/h)/s,采用速度分级时,试验速度分级不大于 10 km/h。

4 试验项目和试验方法

4.1 试验项目及要求

本标准中 4.2 的运动稳定性试验、4.3 的运行响应试验和 4.5 的悬挂自振特性试验为规定试验项目,4.4 的曲线通过试验和 4.6 的车体振动模态试验为选做试验项目。

4.2 运动稳定性试验

4.2.1 运动稳定性临界速度定义和试验方法

机车车辆稳定性试验就是测定临界速度,往往通过被试验机车车辆在试验台上的蛇行运动极限环图进行分析,得到各种含义的临界速度。典型的极限环图如图 1 所示。当机车车辆在理想平直轨道上运行时,也就是试验台轨道轮作无扰动的纯滚动,当试验运行速度达到 v_{C0} 时,机车车辆系统出现稳定的周期运动,即蛇行运动,蛇行运动的振幅随速度的提高而增大, v_{C0} 称为线性临界速度;当速度大于 v_{C1} 时,周期运动发生跳跃,振动幅值加大,出现撞击轮缘现象的蛇行运动,这时为无条件失稳, v_{C1} 称为非线性失稳速度;当速度小于 v_{C2} 时系统则稳定,所以 v_{C2} 称为非线性稳定速度。图中虚线为不稳定周期运动极限环振幅值,当速度大于 v_{C2} 小于 v_{C1} 时,且初始扰动幅值大于图 1 中虚线,同样也可出现极限环振幅较大的蛇行运动,这时称为有条件失稳,失稳速度 v_C 位于 v_{C2} 和 v_{C1} 之间。

机车车辆稳定性试验台试验分两种方式,一是通过试验台纯滚动试验进行增速,找到蛇行运动非线性失稳速度 v_{C1} ,然后降速,当蛇行运动消失,即找到非线性稳定速度 v_{C2} ;二是模拟机车车辆线路运行的滚振试验,也就是在轨道轮有模拟线路不平顺激励运动的情况下进行增速,直到出现蛇行运动,这时即得到有轨道不平顺激励下的失稳速度 v_C ,激振停止,再进行降速,当蛇行运动消失时即找到非线性稳定速度 v_{C2} 。

4.2.2 检测项目

测点位置见图 2,具体检测项目有:

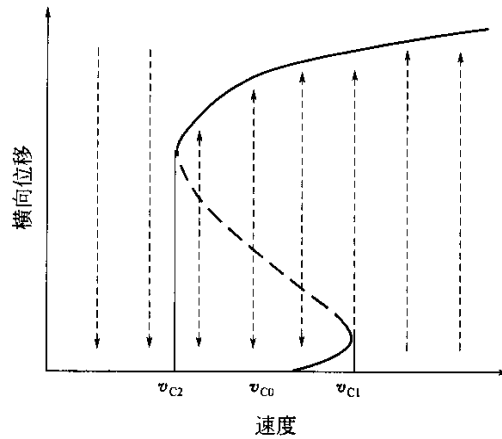


图 1 蛇行运动极限环图

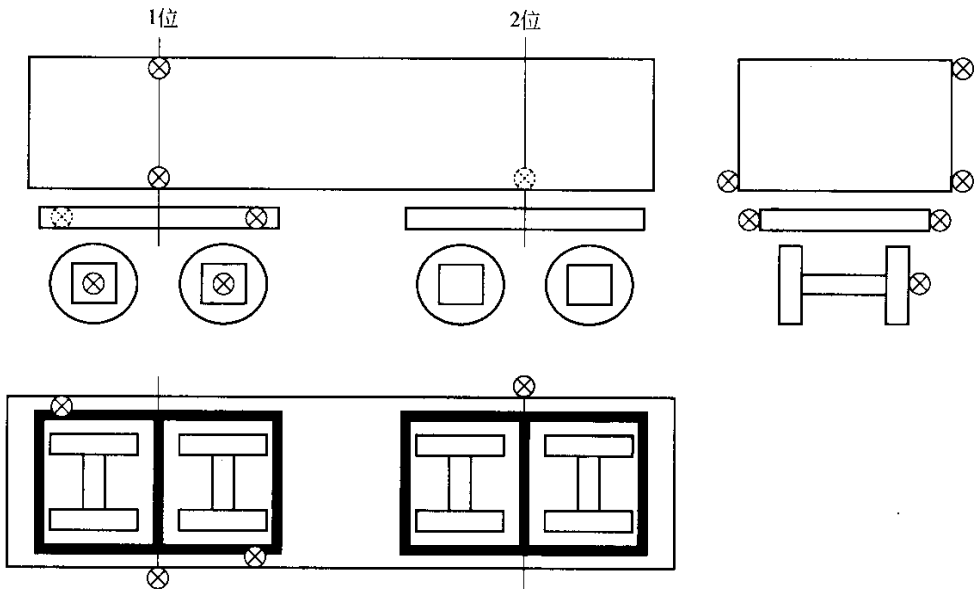


图 2 测点示意图

- a) 1 位转向架中心对应处的车体侧墙下部点垂向和横向位移或加速度,1 位转向架中心对应处的车体侧墙上上部横向位移或加速度,2 位转向架中心对应处的车体侧墙下部垂向和横向位移或加速度;
- b) 1 位转向架前后轮对处构架上对角位置的垂向和横向位移或加速度;
- c) 1 位转向架中各轮对横向位移。

4.2.3 运动稳定性评估方法

被试车运动稳定性的评估可以直接采用轮对周期(或拟周期)运动位移或加速度的状况进行评估。

4.2.3.1 评估内容

稳定性试验的评估内容为:

- a) 蛇行失稳临界速度。包括出现失稳的临界速度和失稳后恢复稳定的临界速度;

b) 失稳后运动振型。包括车体、转向架和各轮对在失稳后的振型。

4.2.3.2 运动稳定性评估

通过观测和检测轮对运动位移或加速度,判断出表 2 所示的不同类型临界速度。

表 2 不同类型临界速度判别表

评定	符号	判定标准	备注
线性临界速度	v_{C0}	纯滚动过程中轮对出现周期运动的速度	
非线性失稳速度	v_{C1}	纯滚动过程中轮对周期运动幅值出现跳跃的速度	
非线性稳定速度	v_{C2}	出现轮对周期运动后,降低试验速度,失稳消失的速度	
(轨道不平顺激励下)失稳速度	v_C	在轨道不平顺谱激励下,出现明显的蛇行失稳时的速度	可通过停止激励来确定蛇行与否

对被试车, v_{C2} 应大于最高运行速度或试验最高速度的 1.15 倍。

4.3 运行响应试验

4.3.1 运行响应试验方法

运行响应试验是通过滚振相结合的试验方法来模拟被试车在线路不平顺激励下的运行状态,测定车体的振动响应的平稳性。在条件不允许的情况下,可采用纯振动试验台进行。

激励信号是采用实际的轨道谱或相应的代用谱。试验时,首先确定试验台第一轴的激励信号,后面的 2~6 轴的激励信号通过第 1 轴的激励信号延时得到,延时为:

$$t_{i-1} = \frac{l_{i-1}}{v} \quad (1)$$

式中:

- t_{i-1} ——第 i 根轴到第 1 根轴的延时,单位为秒(s);
- l_{i-1} ——第 i 根轴到第 1 根轴的距离,单位为米(m);
- v ——模拟运行速度,单位为米每秒(m/s)。

4.3.2 检测项目

测点布置参考图 2,具体检测项目有:

- a) 车体 1、2 位转向架处对角侧横向和垂向位移。车体 1、2 位转向架处和中部的垂直和横向加速度,加速度计的布置位置按照 GB/T 5599—1985 和 TB/T 2360—1993 规定;
- b) 1 位转向架前后轮对处构架上对角侧的垂向和横向位移,以及该转向架中部的垂直和横向加速度;
- c) 1 位转向架中 1 位轮对的横向位移;
- d) 1 位转向架一系和二系悬挂的垂向和横向位移。

4.3.3 评估内容

运行响应试验评估内容为:

- a) 平稳性指标;
- b) 车体和构架的振动加速度和位移;
- c) 悬挂的动挠度。

4.3.4 评估参考标准

4.3.4.1 客车和货车的运行平稳性评定标准和计算方法参考 GB/T 5599—1985。采用平稳性指标 w 和车体平均最大加速度进行评估。

4.3.4.2 机车的运行平稳性评定标准和计算方法参考 TB/T 2360—1993。采用平稳性指标 w 、车体的最大加速度 a_{\max} 和司机室振动加权加速度 a_w (m/s^2) 进行评估。

4.4 曲线通过试验

4.4.1 试验方法

在试验台上进行曲线通过模拟时,按照以下的步骤进行:

- a) 把试验台单元设置在曲线的半径方向,轨道轮在曲线的切线上;
- b) 根据需要调整轨距的加宽;
- c) 根据计算得到的未平衡加速度来设置轨道轮对的超高倾角;
- d) 被试车安装到试验台上,采用两端固定,牵引杆的牵引偏转角度根据模拟曲线半径和被试车的结构参数确定;
- e) 使试验台运行到需模拟运行的速度;
- f) 根据曲线半径,调整左右轨道轮的速差到所需值;
- g) 进行稳态曲线通过试验时,试验台纯滚动,测定轮轨力;
- h) 进行曲线通过的动态响应试验时,输入轨道不平顺激励谱(见 4.3 条),测量被试车的动态响应和轮轨力。

4.4.2 检测项目

测点布置参考图 2,具体检测项目有:

- a) 车体 1 位、2 位转向架处对角侧横向和垂向位移,车体 1 位、2 位转向架处垂直和横向加速度,加速度计的布置位置按照 GB/T 5599—1985、TB/T 2360—1993 规定;
- b) 1 位转向架前后轮对处构架上对角侧的垂向和横向位移,以及该转向架中部的垂直和横向加速度;
- c) 1 位转向架中各位轮对的横向位移;
- d) 1 位转向架一系和二系悬挂的垂向和横向位移;
- e) 1 位转向架前后位轮对轮轨力。

4.4.3 评估内容

曲线通过试验评估内容为:

- a) 车体加速度和平稳性指标,评价方法和标准见 4.3.4;
- b) 轮轨力,轮重减载率和脱轨系数,客车和货车的计算方法和评估标准参考 GB/T 5599—1985,机车的计算方法和评估标准参考 TB/T 2360—1993;
- c) 车体和构架的振动加速度和位移。

4.5 悬挂自振特性试验

4.5.1 试验方法

机车车辆是一个多自由度系统。根据多自由度振动系统的特性,作为质量体的车体、构架应具有振动振型和自振频率,一般称之为悬挂自振特性。根据车体和构架的运动自由度,对相应自由度进行强迫激励,便可测出相应的自振频率。根据激励信号的不同,对机车车辆的悬挂自振频率的测定方法可分为变频扫描法、阶跃法或随机法。

4.5.1.1 变频扫描法

用滚振试验台的轨道轮或单纯激励试验台的活动轨道,根据振型的需要,对车轮进行正弦激励,测定构架和车体的位移(或加速度)响应。通过连续改变正弦激励的频率,扫频速度不大于 0.05 Hz/s ,记录连续变化的响应曲线,根据车体或构架的最大振动响应点的振动频率,确定该振型下的自振频率。在条件限制时允许离散改变频率进行扫频,频率变化间隔不大于 0.5 Hz ,但在出现自振频率的 $\pm 0.5 \text{ Hz}$ 范围内,频率变化间隔不大于 0.1 Hz 。

4.5.1.2 阶跃法

根据振型的需要,用滚振试验台的轨道轮或单纯激振试验台的活动轨道对被试车轮对进行阶跃激振,测定车体和转向架的位移响应时间历程。根据响应曲线可计算出自振频率和相应的阻尼比。阻尼比计算公式为:

$$\zeta = \ln\left(\frac{A_i}{A_{i-1}}\right) \quad (2)$$

式中:

A_i 和 A_{i-1} ——相邻位移响应峰值,单位为毫米(mm)。

4.5.1.3 随机法

用白噪声随机信号对轮对进行激振,测定车体和转向架的响应,再根据激振输入信号和响应信号,计算出响应振型下的传递频响函数,对应的峰值响应的频率点即为自振频率。在用随机法对机车车辆悬挂自振频率进行测试时,激振频率范围为 0.1 Hz~20 Hz。

4.5.2 检测项目

具体检测项目有:

- a) 1 位转向架中心对应处的车体侧墙下部点垂向和横向位移或加速度,1 位转向架中心对应处的车体侧墙上上部横向位移或加速度,2 位转向架中心对应处的车体侧墙下部垂向和横向位移或加速度。具体测点位置参见图 2;
- b) 1 位转向架前后轮对处构架上对角位置的垂向和横向位移或加速度。

4.5.3 悬挂自振频率评估标准

转向架(不含货车转向架)的点头和浮沉自振频率小于 7 Hz。

4.6 车体振动模态试验

4.6.1 车体振动模态试验方法

对装备齐全的被试车的车体利用试验模态分析方法进行模态识别,要求识别出 5 Hz~40 Hz 频率范转的车体振型。进行模态试验时,可采用单点激振多点测量或多点激振多点测量方法。鉴于车体较大而且结构复杂,建议优先采用多点激振多点测量方法。试验时,可采用 2 Hz~40 Hz 白噪声随机信号激振,初步确定机车车辆的模态和频率,在接近振型频率点时,再采用正弦扫描进行激振,以准确获得机车车辆的真实模态。

在进行车体模态测定时,车体采用低刚度的材料(如气囊)支撑在转向架二系悬挂点处。也可以采用现车状态下,进行工作模态的测定。

4.6.2 检测项目

位移或加速度传感器的测量点应至少布置在 7 个测量截面上,每一断面的每个边不少于 3 个,如图 3 所示。传感器的布置可在车内,也允许在车外。

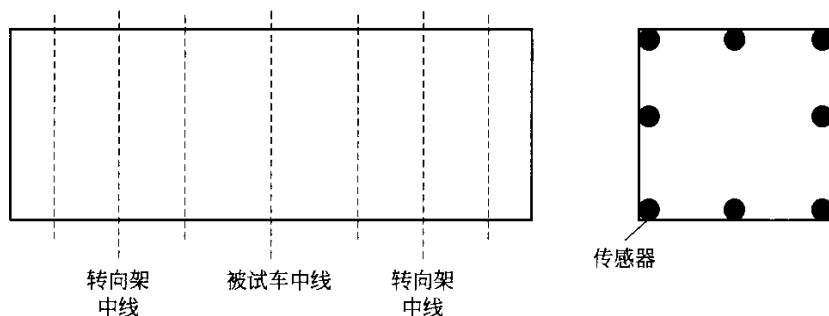


图 3 传感器布点

4.6.3 评估标准

4.6.3.1 在整备条件下,车体一阶弯曲自振频率 f_C 与转向架的点头和沉浮自振频率的比值应大于

1.4 倍。

4.6.3.2 在没有检测转向架的点头和沉浮自振频率情况下,在整备条件下,车体一阶弯曲自振频率应不低于 10 Hz。
