

ICS 45.060.20
S 51

TB

中华人民共和国铁道行业标准

TB/T 3500—2018

动车组车体耐撞性要求与验证规范

Crashworthiness requirements and verification specification
for car body of EMU/DMU

2018-04-12 发布

2018-11-01 实施

国家铁路局 发布

目 次

前言 III

1 范围 1

2 术语和定义 1

3 碰撞场景 2

4 被动安全要求 2

 4.1 耐撞性总体原则 2

 4.2 防爬性能要求 2

 4.3 生存空间要求 2

 4.4 加速度和减速度要求 4

 4.5 排障器 4

5 耐撞性验证 4

 5.1 验证原则及步骤 4

 5.2 试验验证 5

 5.3 数值仿真验证 6

附录 A(规范性附录) 80 t 货车说明 8

附录 B(规范性附录) 可变形障碍物说明 9

参考文献 11

前 言

本标准按照 GB/T 1.1—2009 给出的规则起草。

本标准由中车青岛四方车辆研究所有限公司归口。

本标准起草单位：中车青岛四方机车车辆股份有限公司、中车长春轨道客车股份有限公司、中车唐山机车车辆有限公司、中南大学、西南交通大学、大连交通大学、中车青岛四方车辆研究所有限公司。

本标准主要起草人：赵士忠、丁叁叁、马云双、田爱琴、余永革、王卉子、田红旗、肖守讷、孙彦彬、刘辉、阎锋。

动车组车体耐撞性要求与验证规范

1 范围

本标准主要规定了动车组的碰撞场景、被动安全要求与耐撞性验证。

本标准适用于 200 km/h 及以上新型动车组。

2 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

2.1

被动安全 **passive safety**

采用相关系统或措施减轻碰撞事故产生的影响。

2.2

耐撞性 **crashworthiness**

车体以可控制的方式吸收冲击能量、减轻撞击后果和降低乘客受伤风险的能力。

2.3

碰撞场景 **collision scenario**

为评估动车组耐撞性能而规定的撞击工况。

2.4

爬车 **overriding**

碰撞发生时,一节车辆爬上另一节车辆的现象。

2.5

防爬装置 **anti-climb device**

安装在车辆端部,在碰撞发生时能够抑制车辆爬车行为的装置。

2.6

压溃区 **crumple zone**

能够以可控方式变形吸能的车体端部结构中的非载人区域。

2.7

能量吸收装置 **energy absorbing device**

安装于车体上,以可控方式变形吸能的装置。

2.8

净接触力 **net contact force**

某一瞬时作用在车辆两端纵向力的合力。

2.9

生存空间 **survival space**

在碰撞事故中为了保证司乘人员和旅客安全应保持的空间。

2.10

碰撞质量 **collision mass**

动车组整备状态的质量与 50% 定员的质量之和。

3 碰撞场景

碰撞场景无法包含所有可能实际发生的碰撞事故,但可代表常见的碰撞事故。表 1 给出了分析评估动车组耐撞性的碰撞场景。

表 1 碰撞场景

碰撞场景	障碍物	运行线路要求	撞击车速度 km/h	碰撞对象及条件
1	相同类型的动车组	所有线路	36	相同类型的动车组
2	刚性墙	试验线路	18	固定静止的刚性墙
3	80 t 货车	客货混行线路	36	见附录 A
4	15 t 可变形障碍物	具有平交道口的线路	$v_{LC}^* - 50$ 且 小于或等于 110	见附录 B
5	小型低矮障碍物	所有线路	—	见 4.5
场景 2、3、4 及场景 2 的撞击车速度由供需双方协商确定。 平直轨道上,撞击车与被撞击车均不制动,被撞击车初始速度为零。				
* v_{LC} 为平交道口的限行速度。				

4 被动安全要求

4.1 耐撞性总体原则

在规定的碰撞场景下,动车组车体应满足下列目标:

- a) 限制爬车;
- b) 能量吸收有序可控;
- c) 保持生存空间的结构完整性;
- d) 限制加/减速度;
- e) 减轻撞击轨道障碍物产生的后果;
- f) 降低脱轨的风险。

4.2 防爬性能要求

- 4.2.1 动车组应具有良好的防爬性能,在规定的碰撞场景下应能避免列车间或者车辆间的爬车。
- 4.2.2 碰撞场景 1,在列车碰撞接触点有 40 mm 的初始垂向偏移情况下(静止动车组列车处于较低的水平位置上),能量吸收装置应能有序可控地吸收能量,生存空间应满足 4.3 的要求,加/减速度应满足 4.4 的要求。
- 4.2.3 发生碰撞时,每个转向架应至少有一个轮对与轨道保持有效接触,即每个转向架至少有一个轮对在轨道上方的垂直位移不大于轮缘名义高度的 75%。
- 4.2.4 当防爬装置在碰撞中完全起作用,并提供碰撞车辆间稳定的互锁,且通过互锁界面传递纵向力,则车轮与轨面之间允许的最大垂向位移为 100 mm。

4.3 生存空间要求

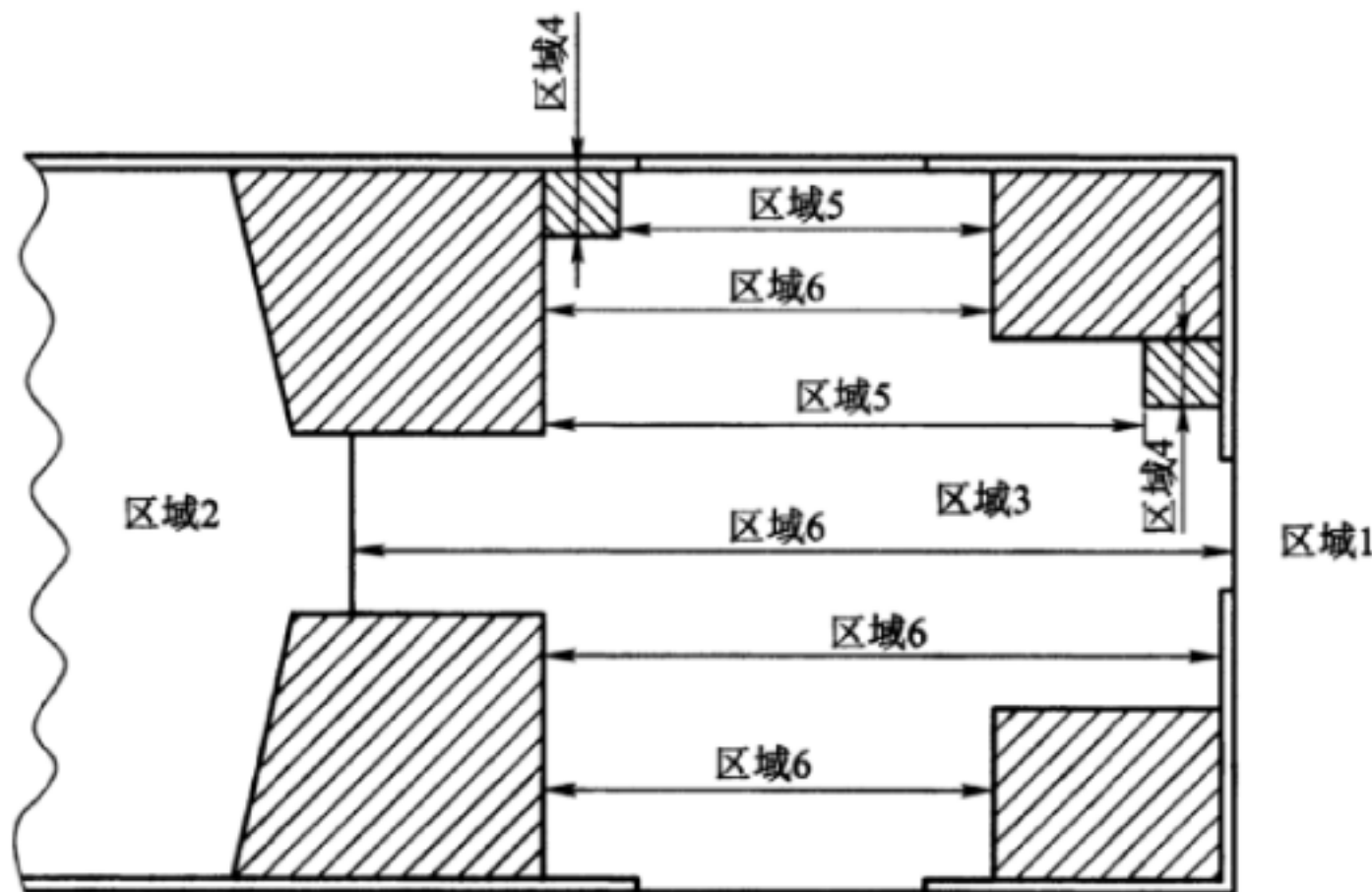
4.3.1 总体要求

生存空间结构应能够承受吸能结构压溃变形过程中所受到的最大外力并保持完整,但允许有局部的塑性变形和屈曲。

4.3.2 乘员生存空间要求

在规定的碰撞场景下,乘客生存空间区域结构不应发生明显的垂向和横向折曲、皱褶,在纵向冲击方向长度的减少应为任意每 5 m 不大于 50 mm,如 5 m 的位置处于车体端部,则最大可减少 100 mm,或

乘客生存空间区域的塑性应变限制在 0.1 以内；在乘客临时占用区,如图 1 所示,在横向尺寸大于 250 mm 的区域内,纵向长度减少不应超过 30%。



说明：
 区域 1——车辆端部；
 区域 2——乘客区域,指乘客生存空间；
 区域 3——临时乘客区域,如车端通道；
 区域 4——最大横向尺寸为 250 mm 的区域；
 区域 5——纵向长度减少不做要求的区域；
 区域 6——纵向长度减少不应超过 30% 的区域。

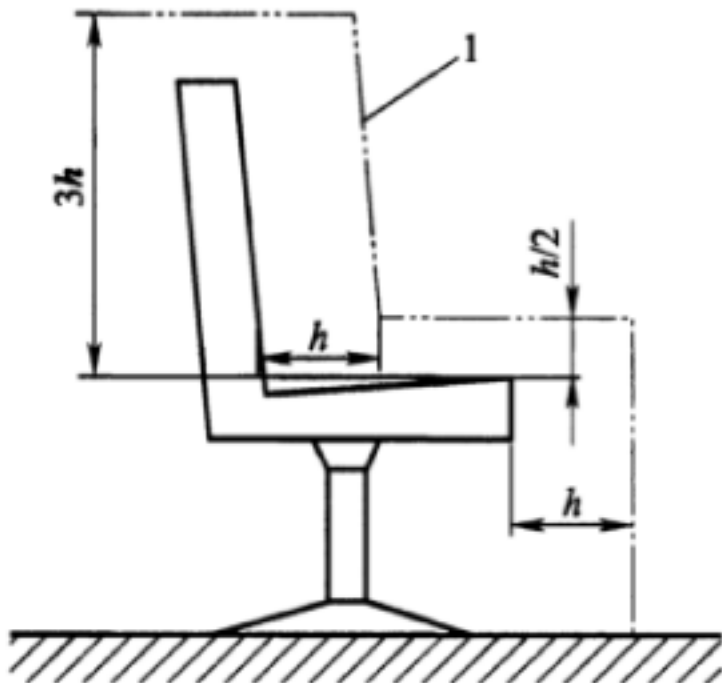
图 1 车端变形区域示意图

4.3.3 司机生存空间要求

在规定的碰撞场景下,司机和其他司机室人员的生存空间应满足如下要求：

- a) 围绕司机室固定座椅,在座椅中心线上测量座椅前方的最小净空应满足图 2 中要求(座椅位于设计初始位置)；
- b) 紧邻司机室固定座椅空间的长度和宽度至少为 750 mm,高度为司机室地板和顶板面之间原始高度的 80%。

同时,挡风玻璃的内表面边缘由司机室结构支撑,防止撞击时玻璃向内突入。



说明：
 $h = 300\text{ mm}$ ；
 1——净空轮廓线。

图 2 司机座椅净空区

每个生存空间应至少维持一条逃生路线,即通过一扇指定的逃生门或逃生窗逃生。在规定的碰撞

场景下,结构变形不会影响逃生路线的使用。

撞击过程中,结构变形不应明显导致任何车厢设备或部件如司机操控台、挡风玻璃等侵入指定生存空间。

4.4 加速度和减速度要求

对于碰撞场景 1 和 3,生存空间的纵向平均加/减速度的绝对值均应小于 $5g$;对于碰撞场景 2 和 4,生存空间的纵向平均加/减速度的绝对值均应小于 $7.5g$ 。

车辆的平均加/减速度与起止时间有关,起始时刻为作用在车辆的净接触力刚超过零时,终止时刻为净接触力再次降到零时。

车辆的平均加/减速度与净接触力的变化情况有关,允许净接触力峰值明显高于平均值,但净接触力峰值不应持续存在。如果在净接触力降到零时所经历的时间过长,那么终止时刻为净接触力降至最大净接触力的 10% 时。

注:与上述加速度等级对应的车体瞬时应力状态可能会超过车体静强度要求。

4.5 排障器

4.5.1 排障器应安装在动车组的头车上。

4.5.2 排障器应为连续的结构,在正常运行条件下,排障器应能够扫除线路上的障碍,应向两侧推出被清扫的障碍物。

4.5.3 排障器连接装置应能承受作用在排障器下边缘中心处的 137 kN 纵向压缩载荷,且不会发生永久变形。供需双方如协商一致,宜按表 2 所列载荷要求进行排障器设计及性能验证。

表 2 作用在排障器上的静载荷

静 载 荷	数 值 kN
作用在中心线的静载荷	300
作用在横向偏离中心线 750 mm 的静载荷	250

采用表 2 中载荷加载时,各纵向静载荷应单独施加,施加区域的宽度应为 0.5 m ,距排障器下边缘高度最大为 0.5 m ,此处应注意高度可能受车钩或者是其他装置的限制。合力的作用线应当水平并经过载荷面中心,作用线距轨面高度不大于 0.5 m 。排障器载荷施加的具体要求见图 3。每个单独施加的静态负载不应引起排障器及其在车体上固定装置的永久性变形。排障器的加载位置见图 3。

如果排障器过载,不应因其自身的塑性变形而产生某种附加危险。

5 耐撞性验证

5.1 验证原则及步骤

5.1.1 动车组的耐碰撞性应进行技术验证,可采用数值仿真或仿真与试验相结合的方式进行。开展耐碰撞性验证的步骤如下。

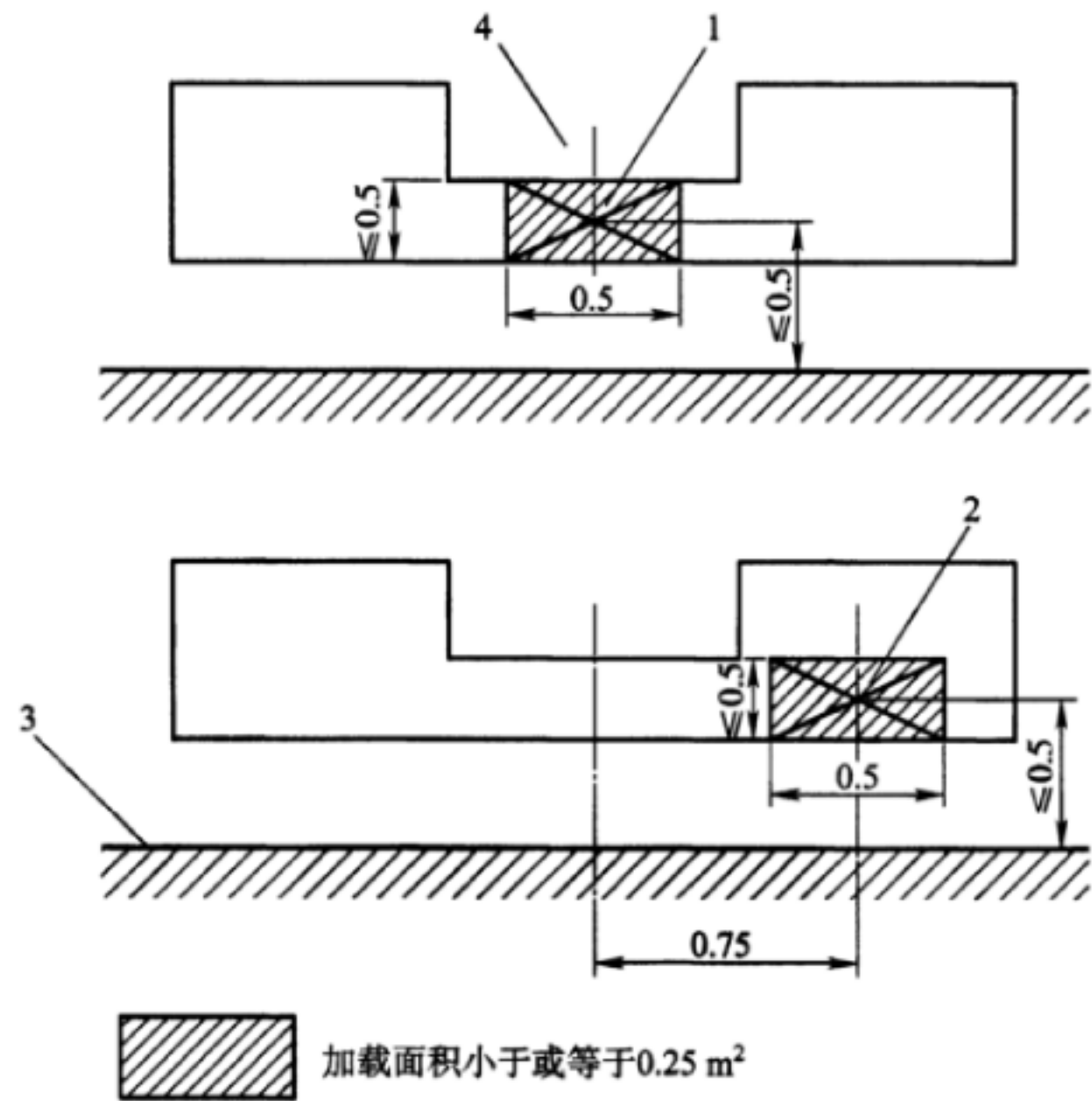
步骤 1 能量吸收装置和压溃区结构的碰撞试验。

对全尺寸试样进行测试,确定能量吸收装置或压溃区的力学性能,并为模型校准提供输入信息。试验时应考虑以下目标:

- a) 尽可能接近定义的碰撞场景;
- b) 便于校准;
- c) 尽可能使吸能结构及装置发挥出最大吸能能力;
- d) 体现相关的设计意图。

可通过全尺寸试验分别验证车钩缓冲装置、能量吸收元件和防爬装置的性能。

单位为米



说明：

- 1——中心载荷作用位置；
- 2——侧向载荷作用位置（两侧单独作用）；
- 3——轨面；
- 4——车钩净空。

图3 排障器的载荷施加位置

步骤2 结构数值模型的校准。

在步骤1描述的全尺寸碰撞测试完成后，应通过比较测试结果和相应数字仿真结果来校准数值模型。在验证过程中，应满足以下两个基本条件：

- a) 能量吸收装置和压溃区结构的性能应与试验一致，吸能变形阶段的顺序也应一致；
- b) 所有测试结果应进行详细分析，尤其是结构重点部位的力和位移。

步骤3 碰撞场景的数值仿真。

应正确建立可能会产生塑性变形的各类车辆结构的三维模型。该模型应包括按步骤2校准的模型，以及车体结构其余部分的一个完整三维模型。第一个或前两个车辆模型应包括详细的能量吸收装置和压溃区结构。列车其他车辆可以采用集中质量—弹簧系统代表它们的整体性能。

最后应进行所有碰撞场景的仿真（除非通过试验直接验证）以使车辆满足耐撞性要求。整列车模型应当包含上述方法验证后的车辆模型。

5.1.2 如果车辆设计的关键特征先前已经验证过，满足如下条件的新方案设计可缩减验证程序：

- a) 所做的任何修改不会显著改变结构的耐碰撞性能；
- b) 相对标准要求如有较大的安全裕度，可以忽略结果的不确定性因素。

5.2 试验验证

5.2.1 概述

5.2.1.1 试验应能正确再现能量吸收装置或压溃区结构的碰撞响应行为，用于校准仿真模型。

5.2.1.2 能量吸收中涉及到的不同类型的组件都应进行测试。具有相似能量吸收机理的组件，可不进行单独测试。

5.2.1.3 对独立工作的能量吸收元件可进行单独测试；所有交互作用的能量吸收结构应在同一测试

中进行。

5.2.1.4 试验方法应保证吸收装置或压溃区结构在试验中的吸能量不小于该结构设计吸能容量的80%。如果吸能量采用较低的数值,应证明采用该数值是合理的,且不应小于结构设计吸能容量的50%。

5.2.1.5 为校准仿真模型,全尺寸试验应具有足够冲击能量来保证以下要求:

- a) 试验中涉及到的所有吸能结构及装置都应发挥作用;
- b) 在动态试验中的冲击速度至少为碰撞场景规定速度的50%;
- c) 全尺寸部件所包含的吸能元件均应在试验中进行验证。

对速度非常敏感的部件(例如黏性阻尼器元件)的试验应在达到有效情形冲击速度时进行。

5.2.1.6 对于多车辆耦合碰撞可以采用缩比模型进行试验,试验应反映全尺寸模型的力学特性及能量耗散规律。

5.2.2 试验项目

5.2.2.1 塑性变形区的材料准静态和应变率试验

对于碰撞过程的模拟,应测试描述材料在高速碰撞过程的非线性材料参数,即屈服后的材料参数。

5.2.2.2 吸能元件试验

对于可参与冲击吸能的独立部件进行单独的吸能特性试验,用于测试元件的吸能性能。

5.2.2.3 多种吸能元件的组合结构碰撞试验

多种吸能元件组成的组合式结构应完成碰撞试验。该试验用于测试结构中各元件的变形模式和吸能量等关键技术参数,评价各吸能元件间能否按照预设的变形顺序及模式实现可控吸能。

该试验可采用试验机压缩试验、台车撞击、落锤试验等方式进行。

5.2.2.4 列车多体缩比碰撞试验

可采用缩比模型进行多车辆耦合碰撞试验,试验结果应反映全尺寸模型的力学特性及能量耗散规律。

5.2.2.5 全尺寸车辆碰撞试验

为对车辆碰撞性能进行评价和验证,条件允许的情况下,可采用全尺寸车辆进行碰撞试验。

5.2.2.6 全尺寸编组列车碰撞试验

条件允许的情况下,采用全尺寸编组列车进行碰撞试验,试验在规定的碰撞场景下进行。试验用于对编组列车碰撞性能的评价和验证。

5.3 数值仿真验证

5.3.1 数值模型的建立

碰撞数值仿真应保证模型的正确性和有效性。在列车级数值仿真中,能量吸收装置和压溃区结构应采用经过试验验证的建模技术。

5.3.2 数值模型的校正

与试验相比,所校正的数值模型整体上应达到下列要求:

- a) 碰撞阶段顺序一致;
- b) 变形模式相同;
- c) 仿真获得的能量耗散值与试验值相比误差在10%范围内;
- d) 仿真获得的力—时间曲线,与相应的试验曲线(包括峰值、谷值、均值等)相比总体趋势一致。

对于单个吸能装置或整个系统所处的不同吸能阶段,所校正的数值模型应达到下列要求:

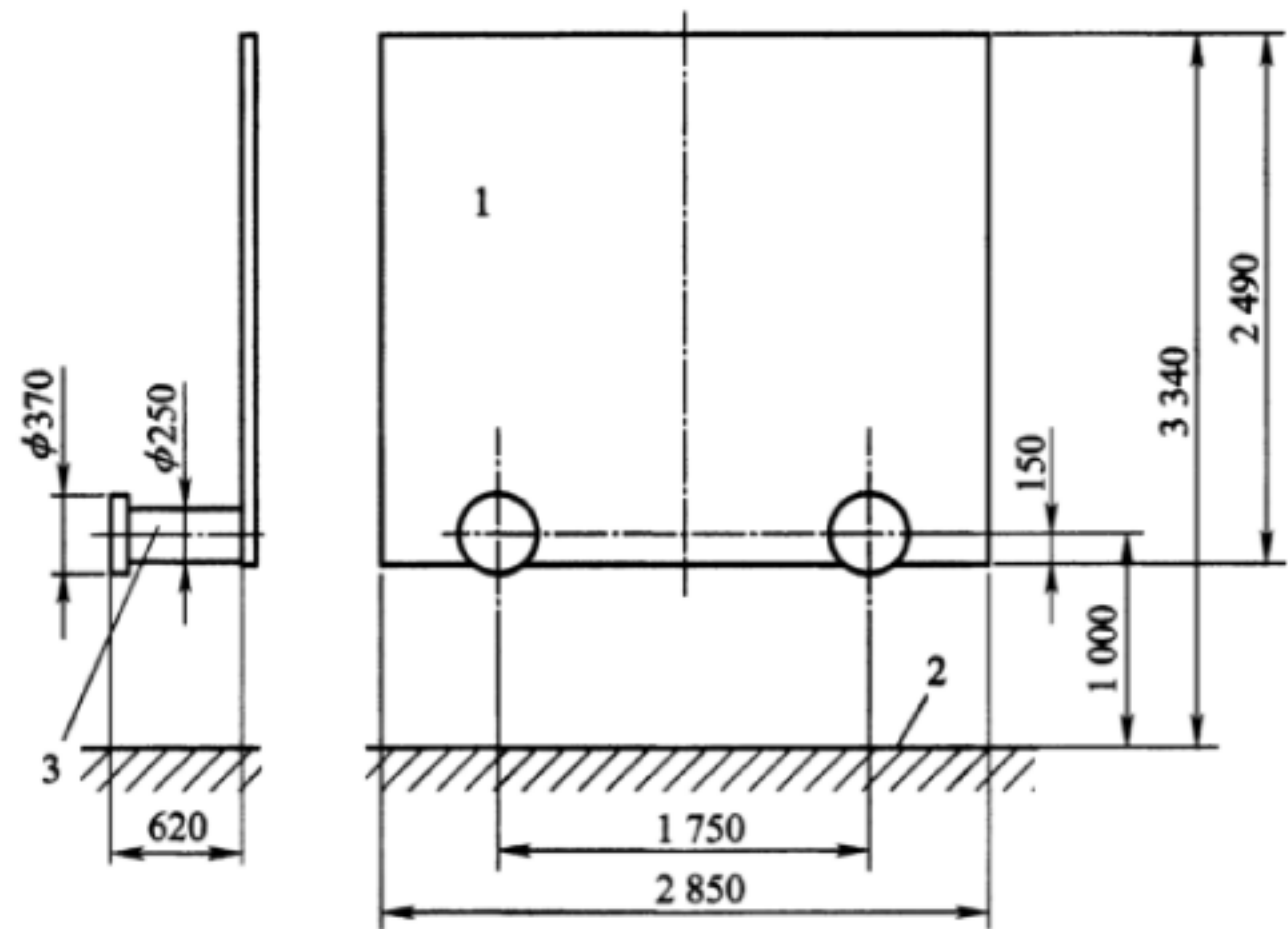
- a) 模拟的总位移(行程)与试验值相比误差应在10%的范围内;
- b) 由力—位移图确定的平均力与试验值相比误差应在10%的范围内。

在试验过程中测量的不确定量以及数值模型中不确定量都应当在验证报告中量化和注明。事先确定的校正参数的误差也应当量化、确定和解释(包括从初始模拟到试验结果之间的差值)。试验结果和数值仿真结果良好吻合的前提是高质量的数值模型和高精度的动态测试。数值模型中,变形区域的材料特性应当能够较好地反映所用材料的实际动态特性,模型的其他部分可采用材料的名义应力值。为与试验条件一致,数值仿真过程仅允许调整质量和速度。

附录 A
(规范性附录)
80 t 货车说明

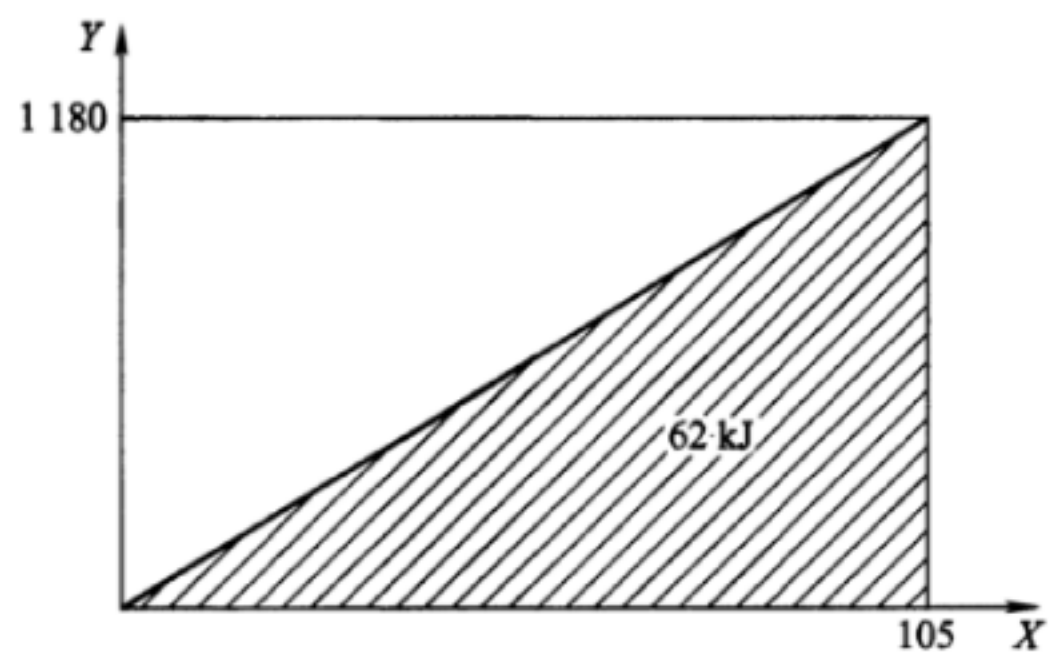
当动车组与装有侧缓冲装置的货车发生碰撞时,货车应由一个 80 t 的质量块代替,这个质量块只有一个在运行方向的移动自由度。货车横截面几何形状见图 A. 1,端墙应假定为刚性。端墙上装有侧缓冲器,其初始尺寸见图 A. 1,行程为 105 mm,力—位移特性曲线见图 A. 2。

单位为毫米



说明:
1——端墙;
2——轨面;
3——侧缓冲器。

图 A. 1 带有缓冲器的货车界面



说明:
Y——两个缓冲器的力,单位为千牛(kN);
X——位移,单位为毫米(mm)。

图 A. 2 侧缓冲器特性

附录 B
(规范性附录)
可变形障碍物说明

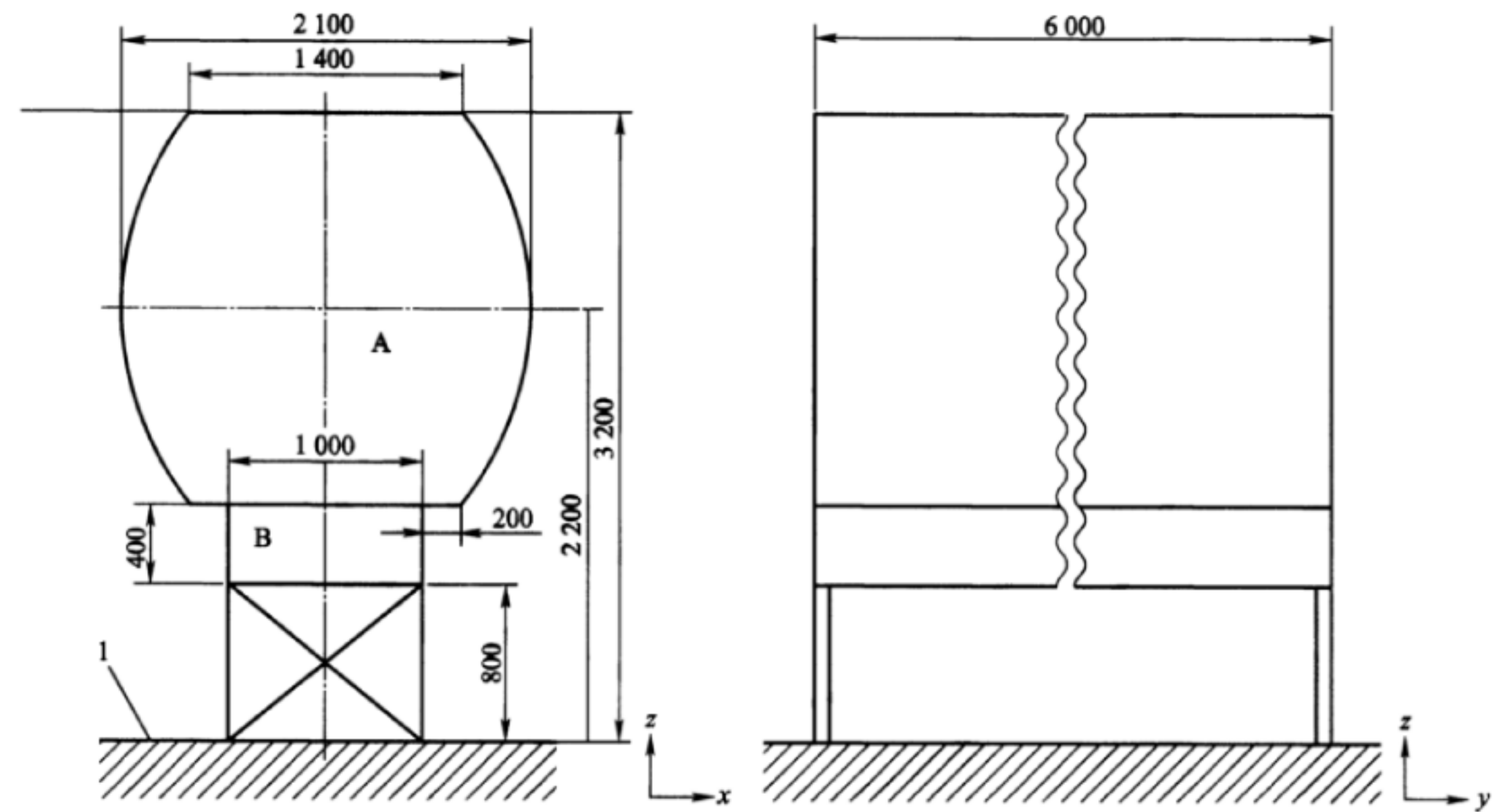
动车组与尺寸较大的障碍物发生碰撞时,障碍物可在碰撞仿真中用一个完整的数值模型来等效代替。

障碍物是不约束的,见图 B.1,可以用下列特性描述:

- a) 几何形状见图 B.1;
- b) 质量为 15 t;
- c) 质心距轨面高度 1 750 mm;
- d) A 部分和 B 部分在建模时可考虑或忽略外层蒙皮;
- e) 质量和刚度沿 y 轴连续均匀分布;
- f) 对地面没有摩擦;
- g) 如果障碍物表面摩擦需要模拟,摩擦系数设为 0.2;
- h) 在模拟过程中可以不考虑司机室端部的中心车钩。

注:为达到要求的性能,障碍物 z 方向的密度和 x 方向的刚度可以改变。

单位为毫米



说明:

- A、B——障碍物的上、下部分;
- 1——轨面。

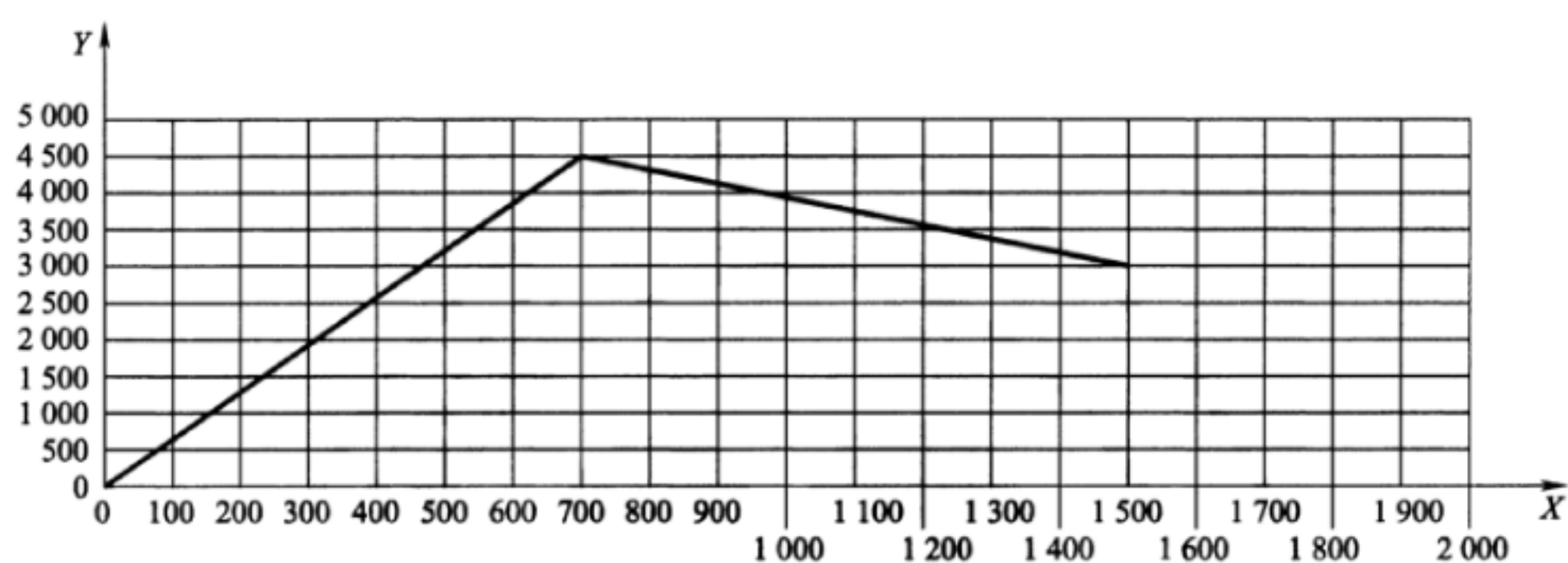
图 B.1 可变形障碍物的几何形状

当一个均匀实心的球体碰撞障碍物中心时,其刚度应与图 B.2 所示的纵向力—位移曲线的特性相匹配,球体应当满足以下要求:

- a) 撞击物形状,直径为 3 m 的均匀实心球体(质心距轨面的高度为 1.5 m);
- b) 撞击物质量,50 t;

- c) 撞击速度,30 m/s;
- d) 撞击物只有纵向移动自由度(x 方向);
- e) 纵向力—位移的特性曲线应当高于图 B.2 中给出的曲线。

为了达到这个条件,力—位移特性应经 60 Hz 的低通滤波器滤波(此处对接触力的垂向分量没有特别要求)。



说明:

X ——球体的位移(x 方向),单位为毫米(mm);

Y ——纵向力,单位为千牛(kN)。

图 B.2 可变形障碍物的刚度

参 考 文 献

- [1] EN 15227:2008 + A1:2010 铁路应用 铁路车辆车体的耐撞性要求 (Railway applications—Crashworthiness requirements for railway vehicle bodies)
 - [2] ISO 6487:2012 铁道车辆 碰撞试验中的测量技术 测试设备 (Road vehicle—Measurement techniques in impact tests—Instrumentation)
 - [3] ISO 6892-1:2009 金属材料 拉伸试验 第1部分:常温测试法 (Metallic materials—Tensile testing—Part 1: Method of test at room temperature)
-