

(12) 按照专利合作条约所公布的国际申请

(19) 世界知识产权组织
国际局

(43) 国际公布日
2016 年 9 月 15 日 (15.09.2016)



(10) 国际公布号
WO 2016/141725 A1

- (51) 国际专利分类号:
G06F 17/50 (2006.01)
- (21) 国际申请号:
PCT/CN2015/094174
- (22) 国际申请日:
2015 年 11 月 10 日 (10.11.2015)
- (25) 申请语言:
中文
- (26) 公布语言:
中文
- (30) 优先权:
201510108956.8 2015 年 3 月 12 日 (12.03.2015) CN
- (71) 申请人: 中车青岛四方机车车辆股份有限公司
(CRRC QINGDAO SIFANG CO., LTD.) [CN/CN]; 中国山东省青岛市城阳区锦宏东路 88 号, Shandong 266111 (CN)。
- (72) 发明人: 马云双 (MA, Yunshuang); 中国山东省青岛市城阳区锦宏东路 88 号, Shandong 266111 (CN)。赵红伟 (ZHAO, Hongwei); 中国山东省青岛市城阳区锦宏东路 88 号, Shandong 266111 (CN)。田爱琴 (TIAN, Aiqin); 中国山东省青岛市城阳区锦宏东路 88 号, Shandong 266111 (CN)。丁叁叁 (DING,

Sansan); 中国山东省青岛市城阳区锦宏东路 88 号, Shandong 266111 (CN)。

(74) 代理人: 北京集佳知识产权代理有限公司
(UNITALEN ATTORNEYS AT LAW); 中国北京市朝阳区建国门外大街 22 号赛特广场 7 层, Beijing 100004 (CN)。

(81) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的国家保护): AE, AG, AL, AM, AO, AT, AU, AZ, BA, BB, BG, BH, BN, BR, BW, BY, BZ, CA, CH, CL, CN, CO, CR, CU, CZ, DE, DK, DM, DO, DZ, EC, EE, EG, ES, FI, GB, GD, GE, GH, GM, GT, HN, HR, HU, ID, IL, IN, IR, IS, JP, KE, KG, KN, KP, KR, KZ, LA, LC, LK, LR, LS, LU, LY, MA, MD, ME, MG, MK, MN, MW, MX, MY, MZ, NA, NG, NI, NO, NZ, OM, PA, PE, PG, PH, PL, PT, QA, RO, RS, RU, RW, SA, SC, SD, SE, SG, SK, SL, SM, ST, SV, SY, TH, TJ, TM, TN, TR, TT, TZ, UA, UG, US, UZ, VC, VN, ZA, ZM, ZW。

(84) 指定国 (除另有指明, 要求每一种可提供的地区保护): ARIPO (BW, GH, GM, KE, LR, LS, MW, MZ, NA, RW, SD, SL, ST, SZ, TZ, UG, ZM, ZW), 欧亚 (AM, AZ, BY, KG, KZ, RU, TJ, TM), 欧洲 (AL, AT, BE, BG, CH,

[见续页]

(54) Title: LOCAL STRUCTURE INSTABILITY FINITE ELEMENT SIMULATION APPARATUS FOR HIGH-SPEED TRAIN BODY AND METHOD THEREFOR

(54) 发明名称: 高速动车组车体局部结构失稳有限元仿真装置及其方法

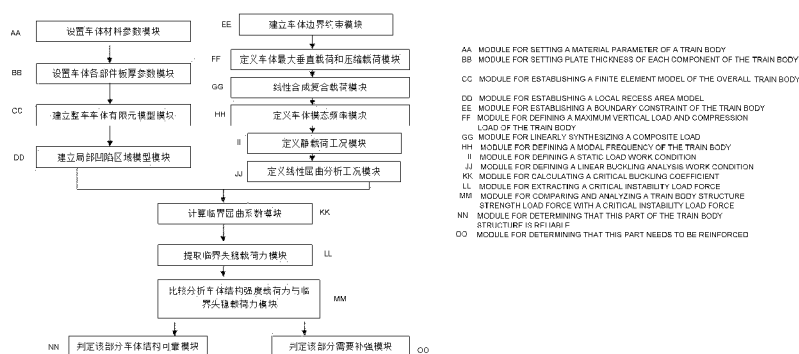


图 1

(57) Abstract: A local structure instability finite element simulation apparatus for a high-speed train body and a method therefor. By means of a linear buckling analysis and finite element simulation method, structure completeness of a train body and defect states such as local profile recessing or protruding are simulated, a local structure instability critical load force of a train is analyzed, and tooling applying, adjustment and repair processes and welding parameter setting are instructed in a site machining and manufacturing process, thereby avoiding waste and potential safety risks. The method of the present invention, employing a man-machine interaction apparatus, comprises: firstly, performing modeling according to a drawing of a train body, and establishing a simulation recess portion at a local part of the train body; establishing a boundary constraint of the train body, performing linear synthesis to obtain a maximum vertical load and compression load of the train body, defining a modal frequency of the train body, and establishing static load and linear buckling analysis work conditions; then performing structure instability simulation analysis on the train body, and calculating a critical buckling coefficient to obtain a maximum load which can be applied; determining that this part is reliable if the critical buckling coefficient is greater than or equal to 1; and determining that this part needs to be reinforced if the critical buckling coefficient is less than 1.

(57) 摘要:

[见续页]



CY, CZ, DE, DK, EE, ES, FI, FR, GB, GR, HR, HU, IE, IS, IT, LT, LU, LV, MC, MK, MT, NL, NO, PL, PT, RO, RS, SE, SI, SK, SM, TR), OAPI (BF, BJ, CF, CG, CI, CM, GA, GN, GQ, GW, KM, ML, MR, NE, SN, TD, TG)。

本国际公布:

— 包括国际检索报告(条约第 21 条(3))。

一种高速动车组车体局部结构失稳有限元仿真装置及其方法，通过采用线性屈曲分析及有限元仿真方法，模拟车体结构完好和局部型材凹陷或凸起等缺陷状态，分析动车组结构局部失稳的临界载荷力，指导现场加工制造过程中的工装施加、调修工艺以及焊接参数的设置，避免浪费和安全隐患。本发明采用人机交互装置，首先依据车体图纸建模，在车体局部建立模拟凹陷部；建立车体的边界约束，线性合成车体最大垂直载荷和压缩载荷，定义车体模态频率，建立静载荷和线性屈曲分析工况，然后进行车体结构失稳仿真分析，计算临界屈曲系数，得出能够施加的最大载荷；如果临界屈曲系数大于等于 1 则判定该部分可靠；如果临界屈曲系数小于 1 则判定该部分需要补强。

高速动车组车体局部结构失稳有限元仿真装置及其方法

本申请要求于 2015 年 03 月 12 日提交中国专利局、申请号为 201510108956.8、发明名称为“高速动车组车体局部结构失稳有限元仿真装置及其方法”的中国专利申请的优先权，其全部内容通过引用结合在本申请

5 中。

技术领域

本发明属于高速动车领域，具体涉及车体结构的设计，特别是用于车体出现凹陷后的车体安全性的结构失稳性分析。

背景技术

10 动车组车体结构仿真分析主要参照相关强度标准，比如日本标准 JIS E7105: 2006、欧洲标准 EN12663: 2010 和 200 公里强度暂规，对车体结构强度、刚度进行计算分析。这些计算载荷工况无法评估车体出现凹陷后的车体安全性。所以车体评估需要进行结构失稳性分析。

发明内容

15 提供一种高速动车组车体局部结构失稳有限元仿真装置及其方法，通过采用有限元仿真方法，模拟车体结构完好和局部型材凹陷或凸起等缺陷状态，分析动车组结构局部失稳的临界载荷力。指导现场加工制造过程中的工装施加、调修工艺以及焊接参数的设置。采用车体结构失稳仿真分析方法可比较准确评估在加工制造过程中车体出现凹陷或凸起等缺陷状态，

20 指导车体制造加工，避免车体制造过多材料浪费。

本发明的技术方案如下所述：

一种高速动车组车体局部结构失稳有限元仿真装置，包括三大部分，第一部分为建立车体结构有限元模型模块，第二部分为建立车体结构边界条件模块，第三部分为车体结构失稳仿真分析模块，第一部分与第二部分

25 均与第三部分相连接，具体地：

第一部分模块，通过人机交互装置获得车体设计的形状、尺寸而进行建模，还包括建立局部凹陷区域模型模块，在车体局部建立模拟至少一个

-2-

凹陷部;

第二部分模块,包括通过人机交互装置配置的建立车体边界约束模块、定义车体最大垂直载荷和压缩载荷模块、线性合成复合载荷模块、定义车体模态频率模块、定义静载荷工况模块、定义线性屈曲分析工况模块,其中:建立车体边界约束模块,在车体选取至少一个位置对于其自由度进行约束限制;定义车体最大垂直载荷和压缩载荷模块,在车体水平平面上平面施加均布载荷,该均布载荷为车体承受的最大垂直载荷;在车体的至少一个位置上建立纵向的压缩载荷;线性合成复合载荷模块,接收定义车体最大垂直载荷和压缩载荷模块的数据,线性合成该最大垂直载荷和压缩载荷;定义车体模态频率模块,设定车体模态频率的范围值备用,提供给第三部分模块;定义静载荷工况模块,对于车体的静载荷进行设置备用;定义线性屈曲分析工况模块,连接定义静载荷工况模块、定义车体模态频率模块,获得静载荷、模态频率数据;

第三部分模块,获得第一部分、第二部分模块的数据后,进行车体结构失稳仿真分析,包括依次连接的计算临界屈曲系数模块、提取临界失稳载荷力模块、比较分析车体结构强度载荷力与临界失稳载荷力模块,计算临界屈曲系数模块,输出该凹陷部的临界屈曲系数给提取临界失稳载荷力模块;提取临界失稳载荷力模块,得出该凹陷部处结构能够施加的最大载荷,即得出车体局部结构失稳时的临界失稳载荷力,输出备用;比较分析车体结构强度载荷力与临界失稳载荷力模块,获得车体局部结构失稳时的临界失稳载荷力,经过车体结构强度分析后提取后该部位的载荷力,比较两值大小,如果根据车体结构强度得出的载荷力小于临界失稳载荷力,那么这种缺陷状态车体结构在运行是可靠的,如果大于临界失稳载荷力,那么这种缺陷车体结构就需要做进一步补强方案以提高缺陷部位的刚度。

进一步地,所述的第一部分模块包括设置车体材料参数模块、设置车体各部件板厚参数模块、建立整车车体有限元模型模块、建立局部凹陷区域模型模块,其中设置车体材料参数模块获得车体采用的材料参数;设置车体各部件板厚参数模块,根据车体设计图纸资料,获得车体各部件结构

的板厚的属性赋值；建立整车车体有限元模型模块，根据图纸中的车体结构建立车体有限元模型，车体结构用四边形板单元，局部用三角形板单元进行模拟，获得车体结构二维模型；建立局部凹陷区域模型模块，在整车车体有限元模型中，建立局部区域的凹陷模型，设置凹陷部尺寸。

5 进一步地，所述的第三部分模块中，还包括判定该部分车体结构可靠模块、判定该部分需要补强模块，比较分析车体结构强度载荷力与临界失稳载荷力模块根据数据分析结果，如果临界屈曲系数大于等于 1 则与判定该部分车体结构可靠模块连接，或如果临界屈曲系数小于 1 则与判定该部分需要补强模块连接。

10 进一步地，所述的建立车体边界约束模块中，在车体四个空簧上约束其三个方向的平动自由度。

进一步地，所述的压缩载荷设置为：在车钩安装座处施加车体纵向载荷；所述的最大垂直载荷设置为：在车体地板上平面施加均布载荷。

15 进一步地，所述的最大垂直载荷为 547.6kN，即在车体地板上平面施加 547.6kN 的均布载荷；所述的压缩载荷为 1500kN，即在车钩安装座施加车体纵向的 1500kN。

进一步地，所述的建立整车车体有限元模型模块中，所述的板单元的大小设置为 20mm；所述的定义车体模态频率模块中，模态频率范围定义为 1~40HZ。

20 进一步地，所述的建立局部凹陷区域模型模块中，凹陷部尺寸为凹陷深度 4mm，凹陷长度 3800mm。

一种高速动车组车体局部结构失稳有限元仿真方法，包括以下步骤：

第一步，通过人机交互装置对车体设计的形状、尺寸而进行建模，并建立车体局部凹陷区域的模型，在车体局部建立模拟至少一个凹陷部；

25 第二步，通过人机交互装置配置车体结构的边界条件，执行步骤依次包括：

S1 建立车体边界约束，在车体选取至少一个位置对于其自由度进行约束限制；

—4—

S2 定义车体最大垂直载荷和压缩载荷,在车体水平平面上平面施加均布载荷,该均布载荷为车体承受的最大垂直载荷;在车体的至少一个位置上建立纵向的压缩载荷;

5 S3 线性合成复合载荷,设置车体最大垂直载荷和压缩载荷模块的数据后,线性合成该最大垂直载荷和压缩载荷;

S4 定义车体模态频率,设定车体模态频率的范围值备用;

S5 定义静载荷工况,对于车体的静载荷进行设置备用;

S6 定义线性屈曲分析工况模块,配置已设定的静载荷、模态频率数据;

10 第三步,进行车体结构失稳仿真分析,经过计算得出该凹陷部的临界屈曲系数 $0.X$,结果表明在初始施加载荷的 $X\%$ 时,结构已经出现失稳现象,进而得出该结构能够施加的最大载荷;如果临界屈曲系数大于等于 1 则判定该部分车体结构可靠;如果临界屈曲系数小于 1 则判定该部分需要补强。

一种高速动车组车体局部结构失稳有限元仿真方法,其步骤如下:

15 Step 1 输入车体材料的各项参数;

Step 2 依据车体设计图纸资料,对车体各部位结构的板厚进行属性赋值;

Step 3 根据图纸中的车体结构建立车体有限元模型,车体结构用四边形,局部用三角形板单元模拟,获得车体的二维模型;

20 Step 4 在整车车体有限元模型中,建立局部区域的凹陷模型,设置凹陷区域的凹陷深度、凹陷长度;

Step 5 配置建立车体的边界约束条件:在车体四个空簧位置约束三个方向的平动自由度,后续的车体约束中保持该配置处于激活状态;

25 Step 6 设置最大垂直载荷和压缩载荷,后续的车体载荷施加中保持相应卡片处于激活状态;在车钩安装座施加车体纵向的压缩载荷,在车体地板上平面施加均布的最大垂直载荷;

Step 7 进行复合工况的计算,为考核复合工况下的车体线性屈曲,线性合成两种上述两种载荷:最大垂直载荷和压缩载荷;

—5—

Step 8 定义车体模态频率的卡片，模态频率的频率范围设置为 1 ~ 40Hz;

Step 9 定义静载荷工况，选择上述的边界约束条件、复合载荷;

Step10 定义线性屈曲分析工况，选择上述的定义的静载荷工况和车体
5 模态频率;

Step 11 计算临界屈曲系数，进行车体结构失稳仿真分析，经过计算得出该凹陷部的临界屈曲系数 0.X;

Step 12 结果表明在初始施加载荷的 X% 时，结构已经出现失稳现象，进而得出该结构能够施加的最大载荷;

10 Step 13 比较分析，上述步骤得到的车体局部结构出现凹陷时的临界失稳载荷力，以及车体结构强度分析后提取该部位的载荷力的两值大小;

Step 14 如果根据车体结构强度得出的载荷力小于或等于临界失稳载荷力，那么这种缺陷状态车体结构在运行是可靠的;

Step 15 如果根据车体结构强度得出的载荷力大于临界失稳载荷力，那么这种缺陷车体结构就需要做进一步补强方案以提高缺陷部位的刚度。
15

附图说明

图 1 本发明的高速动车组车体局部结构失稳有限元仿真装置的结构图;

图 2 本发明的高速动车组车体局部结构失稳有限元仿真装置的流程图;
20

图 3 本发明在 Hyperworks 软件中的材料参数设置界面;

图 4 本发明在 Hyperworks 软件中的板厚参数设置界面;

图 5 本发明在 Hyperworks 软件中的车体二维模型图;

图 6 本发明在 Hyperworks 软件中的车体局部区域凹陷模型图;

25 图 7 本发明在 Hyperworks 软件中的约束参数定义界面;

图 8 本发明在车体上的定义约束位置的示意图;

图 9 本发明在 Hyperworks 软件中的定义载荷、模态频率的界面;

图 10 本发明在 Hyperworks 软件中的定义静载荷工况的界面;

图 11 本发明在 Hyperworks 软件中的定义线性屈曲分析工况的界面;

图 12 本发明的车体失稳仿真分析的分析模型立体图。

其中, 1-凹陷部, 2-空簧。

具体实施方式

5 现结合附图和实施例对本发明作进一步地说明:

在本实施例中, 高速动车组车体局部结构失稳有限元仿真装置及其方法采用现有软件 Hyperworks 软件作为人机交互基础, 形成本方案, 但其他类似的有限元分析软件也可支撑本装置及本方法的应用。

1、在 Hyperworks 软件 hypermesh 模块中建立车体结构有限元模型。

10 1.1、设置材料参数

车体结构采用铝合金材料, 其对应的材料参数如下: 铝合金材料: $E: 69000\text{MPa}$; $\mu: 0.3$, $\rho: 2.7\text{e-}9\text{t/mm}^3$ 。在材料定义模块中进行如下设置: 如图 3 所示。

1.2、设置单元属性

15 依据车体设计图纸资料, 对车体各部位结构的板厚进行属性赋值。由于本车体结构涉及到大量的板厚属性赋值, 在此仅列出一个进行说明, 如图 4 所示。其他不在赘述。

1.3 车体有限元模型

20 根据图纸中的车体结构建立车体有限元模型, 车体结构主要用四边形, 局部用三角形板单元模拟, 板单元大小设置为 20mm, 得到车体的二维模型, 如图 5 所示。

在整车车体有限元模型中, 建立局部区域的凹陷模型, 凹陷区域尺寸为假设凹陷深度 4mm, 凹陷长度 3800mm, 具体断面位置见图 6 所示。

2、建立车体结构的边界条件。

25 2.1 建立约束

在 hypermesh 模块中建立约束的定义卡片 spc, 后续的车体约束中保持该卡片处于激活状态, 如图 7 所示。

在车体四个空簧位置约束三个方向的平动自由度, 如图 8 所示。

2.2 建立载荷

如图 9 所示, 在 hypermesh 模块中建立载荷的定义卡片 1500kN、zuidacuizai 以及复合载荷, 后续的车体载荷施加中保持相应卡片处于激活状态。

- 5 本次分析中主要考核在最大垂直载荷 (547.6kN) 和压缩载荷(1500kN) 复合工况下的车体线性屈曲。在车钩安装座施加车体纵向的 1500kN, 在车体地板上平面施加 547.6kN 的均布载荷。

复合工况的定义见图 9 中 fuhe 卡片的定义方法, 线性的合成两种载荷: 最大垂直载荷和压缩载荷。

- 10 同时也定义车体模态频率的卡片, 名称定义为 freq, 频率范围 1 ~ 40Hz。

2.3 建立载荷分析工况

在完成车体有限元模型并定义的相应的约束和载荷后, 下一步开始建立载荷分析工况, 由于本次分析是线性屈曲分析, 那么在 hypermesh 模块中定义如图 10、图 11 所示。首先定义一个静载荷工况, 名称定义为 static load。约束选择 spc, 载荷选择 fuhe。

- 15

然后定义线性屈曲分析工况, 名称定义为 linear buckling, 选择上边定义的静载荷工况 static load 和模态频率 freq。

3、计算结果

- 20 如图 12 所示, 进行车体结构失稳仿真分析, 经过计算得出该部位的临界屈曲系数为 0.874。结果表明在初始施加载荷的 87.4 % 时, 结构已经出现失稳现象, 进而得出该结构能够施加的最大载荷。

- 25 4、通过线性屈曲分析, 得出车体局部结构出现凹陷时的临界失稳载荷力, 经过车体结构强度分析后提取后该部位的载荷力, 比较两值大小, 如果根据车体结构强度得出的载荷力小于临界失稳载荷力, 那么这种缺陷状态车体结构在运行是可靠的, 如果大于临界失稳载荷力, 那么这种缺陷车体结构就需要做进一步补强方案以提高缺陷部位的刚度。

如图 1 和图 2 所示, 高速动车组车体局部结构失稳有限元仿真装置, 包括三大部分, 第一部分为建立车体结构有限元模型模块, 第二部分为建

立车体结构边界条件模块，第三部分为车体结构失稳仿真分析模块，第一部分与第二部分均与第三部分相连接，具体地：

第一部分模块，通过人机交互装置获得车体设计的形状、尺寸而进行建模，还包括建立局部凹陷区域模型模块，在车体局部建立模拟至少一个凹陷部 1；

第二部分模块，包括通过人机交互装置配置的建立车体边界约束模块、定义车体最大垂直载荷和压缩载荷模块、线性合成复合载荷模块、定义车体模态频率模块、定义静载荷工况模块、定义线性屈曲分析工况模块，其中：建立车体边界约束模块，在车体选取至少一个位置对于其自由度进行约束限制；定义车体最大垂直载荷和压缩载荷模块，在车体水平平面上平面施加均布载荷，该均布载荷为车体承受的最大垂直载荷；在车体的至少一个位置上建立纵向的压缩载荷；线性合成复合载荷模块，接收定义车体最大垂直载荷和压缩载荷模块的数据，线性合成该最大垂直载荷和压缩载荷；定义车体模态频率模块，设定车体模态频率的范围值备用，提供给第三部分模块；定义静载荷工况模块，对于车体的静载荷进行设置备用；定义线性屈曲分析工况模块，连接定义静载荷工况模块、定义车体模态频率模块，获得静载荷、模态频率数据；

第三部分模块，获得第一部分、第二部分模块的数据后，进行车体结构失稳仿真分析，包括依次连接的计算临界屈曲系数模块、提取临界失稳载荷力模块、比较分析车体结构强度载荷力与临界失稳载荷力模块，计算临界屈曲系数模块，输出该凹陷部的临界屈曲系数给提取临界失稳载荷力模块；提取临界失稳载荷力模块，得出该凹陷部处结构能够施加的最大载荷，即得出车体局部结构失稳时的临界失稳载荷力，输出备用；比较分析车体结构强度载荷力与临界失稳载荷力模块，获得车体局部结构失稳时的临界失稳载荷力，经过车体结构强度分析后提取后该部位的载荷力，比较两值大小，如果根据车体结构强度得出的载荷力小于临界失稳载荷力，那么这种缺陷状态车体结构在运行是可靠的，如果大于临界失稳载荷力，那么这种缺陷车体结构就需要做进一步补强方案以提高缺陷部位的刚度。

第一部分模块包括设置车体材料参数模块、设置车体各部件板厚参数模块、建立整车车体有限元模型模块、建立局部凹陷区域模型模块，其中设置车体材料参数模块获得车体采用的材料参数；设置车体各部件板厚参数模块，根据车体设计图纸资料，获得车体各部件结构的板厚的属性赋值；

- 5 建立整车车体有限元模型模块，根据图纸中的车体结构建立车体有限元模型，车体结构用四边形板单元，局部用三角形板单元进行模拟，获得车体结构二维模型；建立局部凹陷区域模型模块，在整车车体有限元模型中，建立局部区域的凹陷模型，设置凹陷部 1 尺寸。

- 10 第三部分模块中，还包括判定该部分车体结构可靠模块、判定该部分需要补强模块，比较分析车体结构强度载荷力与临界失稳载荷力模块根据数据分析结果，如果临界屈曲系数大于等于 1 则与判定该部分车体结构可靠模块连接，或如果临界屈曲系数小于 1 则与判定该部分需要补强模块连接。

- 15 建立车体边界约束模块中，在车体四个空簧 2 上约束其三个方向的平动自由度。

- 20 压缩载荷设置为：在车钩安装座处施加车体纵向载荷；所述的最大垂直载荷设置为：在车体地板上平面施加均布载荷。最大垂直载荷为 547.6kN，即在车体地板上平面施加 547.6kN 的均布载荷；所述的压缩载荷为 1500kN，即在车钩安装座施加车体纵向的 1500kN。所述的建立整车车体有限元模型模块中，所述的板单元的大小设置为 20mm；所述的定义车体模态频率模块中，模态频率范围定义为 1~40HZ。所述的建立局部凹陷区域模型模块中，凹陷部尺寸为凹陷深度 4mm，凹陷长度 3800mm。

一种高速动车组车体局部结构失稳有限元仿真方法，包括以下步骤：

- 25 第一步，通过人机交互装置对车体设计的形状、尺寸而进行建模，并建立车体局部凹陷区域的模型，在车体局部建立模拟至少一个凹陷部；

第二步，通过人机交互装置配置车体结构的边界条件，执行步骤依次包括：

S1 建立车体边界约束，在车体选取至少一个位置对于其自由度进行

约束限制;

S2 定义车体最大垂直载荷和压缩载荷,在车体水平平面上平面施加均布载荷,该均布载荷为车体承受的最大垂直载荷;在车体的至少一个位置上建立纵向的压缩载荷;

5 S3 线性合成复合载荷,设置车体最大垂直载荷和压缩载荷模块的数据后,线性合成该最大垂直载荷和压缩载荷;

S4 定义车体模态频率,设定车体模态频率的范围值备用;

S5 定义静载荷工况,对于车体的静载荷进行设置备用;

10 S6 定义线性屈曲分析工况模块,配置已设定的静载荷、模态频率数据;

第三步,进行车体结构失稳仿真分析,经过计算得出该凹陷部的临界屈曲系数 $0.X$,结果表明在初始施加载荷的 $X\%$ 时,结构已经出现失稳现象,进而得出该结构能够施加的最大载荷;如果临界屈曲系数大于等于 1 则判定该部分车体结构可靠;如果临界屈曲系数小于 1 则判定该部分需要
15 补强。

一种高速动车组车体局部结构失稳有限元仿真方法,其步骤如下:

Step 1 输入车体材料的各项参数;

Step 2 依据车体设计图纸资料,对车体各部位结构的板厚进行属性赋值;

20 Step 3 根据图纸中的车体结构建立车体有限元模型,车体结构用四边形,局部用三角形板单元模拟,获得车体的二维模型;

Step 4 在整车车体有限元模型中,建立局部区域的凹陷模型,设置凹陷区域的凹陷深度、凹陷长度;

25 Step 5 配置建立车体的边界约束条件:在车体四个空簧位置约束三个方向的平动自由度,后续的车体约束中保持该配置处于激活状态;

Step 6 设置最大垂直载荷和压缩载荷,后续的车体载荷施加中保持相应卡片处于激活状态;在车钩安装座施加车体纵向的压缩载荷,在车体地板上平面施加均布的最大垂直载荷;

Step 7 进行复合工况的计算，为考核复合工况下的车体线性屈曲，线性合成两种上述两种载荷：最大垂直载荷和压缩载荷；

Step 8 定义车体模态频率的卡片，模态频率的频率范围设置为 1 ~ 40Hz；

5 Step 9 定义静载荷工况，选择上述的边界约束条件、复合载荷；

Step 10 定义线性屈曲分析工况，选择上述的定义的静载荷工况和车体模态频率；

Step 11 计算临界屈曲系数，进行车体结构失稳仿真分析，经过计算得出该凹陷部的临界屈曲系数 0.X；

10 Step 12 结果表明在初始施加载荷的 X% 时，结构已经出现失稳现象，进而得出该结构能够施加的最大载荷；

Step 13 比较分析，上述步骤得到的车体局部结构出现凹陷时的临界失稳载荷力，以及车体结构强度分析后提取该部位的载荷力的两值大小；

15 Step 14 如果根据车体结构强度得出的载荷力小于或等于临界失稳载荷力，那么这种缺陷状态车体结构在运行是可靠的；

Step 15 如果根据车体结构强度得出的载荷力大于临界失稳载荷力，那么这种缺陷车体结构就需要做进一步补强方案以提高缺陷部位的刚度。

最后应当说明的是：以上实施例仅用以说明本案的技术方案而非对其限制；尽管参照较佳实施例对本案进行了详细的说明，所属领域的普通技术人员应当理解：依然可以对本案的具体实施方式进行修改或者对部分技术特征进行等同替换；而不脱离本案技术方案的精神，其均应涵盖在本案请求保护的技术方案范围当中。

20

权 利 要 求

1. 一种高速动车组车体局部结构失稳有限元仿真装置, 包括三大部分, 第一部分为建立车体结构有限元模型模块, 第二部分为建立车体结构边界条件模块, 第三部分为车体结构失稳仿真分析模块, 第一部分与第二部分
5 均与第三部分相连接, 具体地:

第一部分模块, 通过人机交互装置获得车体设计的形状、尺寸而进行建模, 还包括建立局部凹陷区域模型模块, 在车体局部建立模拟至少一个凹陷部;

第二部分模块, 包括通过人机交互装置配置的建立车体边界约束模块、
10 定义车体最大垂直载荷和压缩载荷模块、线性合成复合载荷模块、定义车体模态频率模块、定义静载荷工况模块、定义线性屈曲分析工况模块, 其中: 建立车体边界约束模块, 在车体选取至少一个位置对于其自由度进行约束限制; 定义车体最大垂直载荷和压缩载荷模块, 在车体水平平面上平面施加均布载荷, 该均布载荷为车体承受的最大垂直载荷; 在车体的至少
15 一个位置上建立纵向的压缩载荷; 线性合成复合载荷模块, 接收定义车体最大垂直载荷和压缩载荷模块的数据, 线性合成该最大垂直载荷和压缩载荷; 定义车体模态频率模块, 设定车体模态频率的范围值备用, 提供给第三部分模块; 定义静载荷工况模块, 对于车体的静载荷进行设置备用; 定义线性屈曲分析工况模块, 连接定义静载荷工况模块、定义车体模态频率
20 模块, 获得静载荷、模态频率数据;

第三部分模块, 获得第一部分、第二部分模块的数据后, 进行车体结构失稳仿真分析, 包括依次连接的计算临界屈曲系数模块、提取临界失稳载荷力模块、比较分析车体结构强度载荷力与临界失稳载荷力模块, 计算
25 临界屈曲系数模块, 输出该凹陷部的临界屈曲系数给提取临界失稳载荷力模块; 提取临界失稳载荷力模块, 得出该凹陷部处结构能够施加的最大载荷, 即得出车体局部结构失稳时的临界失稳载荷力, 输出备用; 比较分析车体结构强度载荷力与临界失稳载荷力模块, 获得车体局部结构失稳时的临界失稳载荷力, 经过车体结构强度分析后提取后该部位的载荷力, 比较

两值大小，如果根据车体结构强度得出的载荷力小于临界失稳载荷力，那么这种缺陷状态车体结构在运行是可靠的，如果大于临界失稳载荷力，那么这种缺陷车体结构就需要做进一步补强方案以提高缺陷部位的刚度。

2. 根据权利要求 1 所述的一种高速动车组车体局部结构失稳有限元仿真装置，其特征在于，所述的第一部分模块包括设置车体材料参数模块、设置车体各部件板厚参数模块、建立整车车体有限元模型模块、建立局部凹陷区域模型模块，其中设置车体材料参数模块获得车体采用的材料参数；设置车体各部件板厚参数模块，根据车体设计图纸资料，获得车体各部件结构的板厚的属性赋值；建立整车车体有限元模型模块，根据图纸中的车体结构建立车体有限元模型，车体结构用四边形板单元，局部用三角形板单元进行模拟，获得车体结构二维模型；建立局部凹陷区域模型模块，在整车车体有限元模型中，建立局部区域的凹陷模型，设置凹陷部(1)尺寸。

3. 根据权利要求 1 或 2 任一所述的一种高速动车组车体局部结构失稳有限元仿真装置，其特征在于，所述的第三部分模块中，还包括判定该部分车体结构可靠模块、判定该部分需要补强模块，比较分析车体结构强度载荷力与临界失稳载荷力模块根据数据分析结果，如果临界屈曲系数大于等于 1 则与判定该部分车体结构可靠模块连接，或如果临界屈曲系数小于 1 则与判定该部分需要补强模块连接。

4. 根据权利要求 3 所述的一种高速动车组车体局部结构失稳有限元仿真装置，其特征在于，所述的建立车体边界约束模块中，在车体四个空簧(2)上约束其三个方向的平动自由度。

5. 根据权利要求 1 至 4 任一所述的一种高速动车组车体局部结构失稳有限元仿真装置，其特征在于，所述的压缩载荷设置为：在车钩安装座处施加车体纵向载荷；所述的最大垂直载荷设置为：在车体地板上平面施加均布载荷。

6. 根据权利要求 5 所述的一种高速动车组车体局部结构失稳有限元仿真装置，其特征在于，所述的最大垂直载荷为 547.6kN，即在车体地板上平面施加 547.6kN 的均布载荷；所述的压缩载荷为 1500kN，即在车钩安装

座施加车体纵向的 1500kN。

7. 根据权利要求 1 至 6 任一所述的一种高速动车组车体局部结构失稳有限元仿真装置，其特征在于，所述的建立整车车体有限元模型模块中，所述的板单元的大小设置为 20mm；所述的定义车体模态频率模块中，模态频率范围定义为 1~40HZ。

8. 根据权利要求 7 所述的一种高速动车组车体局部结构失稳有限元仿真装置，其特征在于，所述的建立局部凹陷区域模型模块中，凹陷部尺寸为凹陷深度 4mm，凹陷长度 3800mm。

9. 一种高速动车组车体局部结构失稳有限元仿真方法，包括以下步骤：

10 第一步，通过人机交互装置对车体设计的形状、尺寸而进行建模，并建立车体局部凹陷区域的模型，在车体局部建立模拟至少一个凹陷部；

第二步，通过人机交互装置配置车体结构的边界条件，执行步骤依次包括：

15 S1 建立车体边界约束，在车体选取至少一个位置对于其自由度进行约束限制；

S2 定义车体最大垂直载荷和压缩载荷，在车体水平平面上平面施加均布载荷，该均布载荷为车体承受的最大垂直载荷；在车体的至少一个位置上建立纵向的压缩载荷；

20 S3 线性合成复合载荷，设置车体最大垂直载荷和压缩载荷模块的数据后，线性合成该最大垂直载荷和压缩载荷；

S4 定义车体模态频率，设定车体模态频率的范围值备用；

S5 定义静载荷工况，对于车体的静载荷进行设置备用；

S6 定义线性屈曲分析工况模块，配置已设定的静载荷、模态频率数据；

25 第三步，进行车体结构失稳仿真分析，经过计算得出该凹陷部的临界屈曲系数 $0.X$ ，结果表明在初始施加载荷的 $X\%$ 时，结构已经出现失稳现象，进而得出该结构能够施加的最大载荷；如果临界屈曲系数大于等于 1 则判定该部分车体结构可靠；如果临界屈曲系数小于 1 则判定该部分需要

补强。

10. 一种高速动车组车体局部结构失稳有限元仿真方法，其步骤如下：

Step 1 输入车体材料的各项参数；

5 Step 2 依据车体设计图纸资料，对车体各部位结构的板厚进行属性赋值；

Step 3 根据图纸中的车体结构建立车体有限元模型，车体结构用四边形，局部用三角形板单元模拟，获得车体的二维模型；

10 Step 4 在整车车体有限元模型中，建立局部区域的凹陷模型，设置凹陷区域的凹陷深度、凹陷长度；

Step 5 配置建立车体的边界约束条件：在车体四个空簧位置约束三个方向的平动自由度，后续的车体约束中保持该配置处于激活状态；

15 Step 6 设置最大垂直载荷和压缩载荷，后续的车体载荷施加中保持相应卡片处于激活状态；在车钩安装座施加车体纵向的压缩载荷，在车体地板上平面施加均布的最大垂直载荷；

Step 7 进行复合工况的计算，为考核复合工况下的车体线性屈曲，线性合成两种上述两种载荷：最大垂直载荷和压缩载荷；

Step 8 定义车体模态频率的卡片，模态频率的频率范围设置为 1~40Hz；

20 Step 9 定义静载荷工况，选择上述的边界约束条件、复合载荷；

Step 10 定义线性屈曲分析工况，选择上述的定义的静载荷工况和车体模态频率；

Step 11 计算临界屈曲系数，进行车体结构失稳仿真分析，经过计算得出该凹陷部的临界屈曲系数 $0.X$ ；

25 Step 12 结果表明在初始施加载荷的 $X\%$ 时，结构已经出现失稳现象，进而得出该结构能够施加的最大载荷；

Step 13 比较分析，上述步骤得到的车体局部结构出现凹陷时的临界失稳载荷力，以及车体结构强度分析后提取该部位的载荷力的两值大小；

—16—

Step 14 如果根据车体结构强度得出的载荷力小于或等于临界失稳载荷力，那么这种缺陷状态车体结构在运行是可靠的；

Step 15 如果根据车体结构强度得出的载荷力大于临界失稳载荷力，那么这种缺陷车体结构就需要做进一步补强方案以提高缺陷部位的刚度。

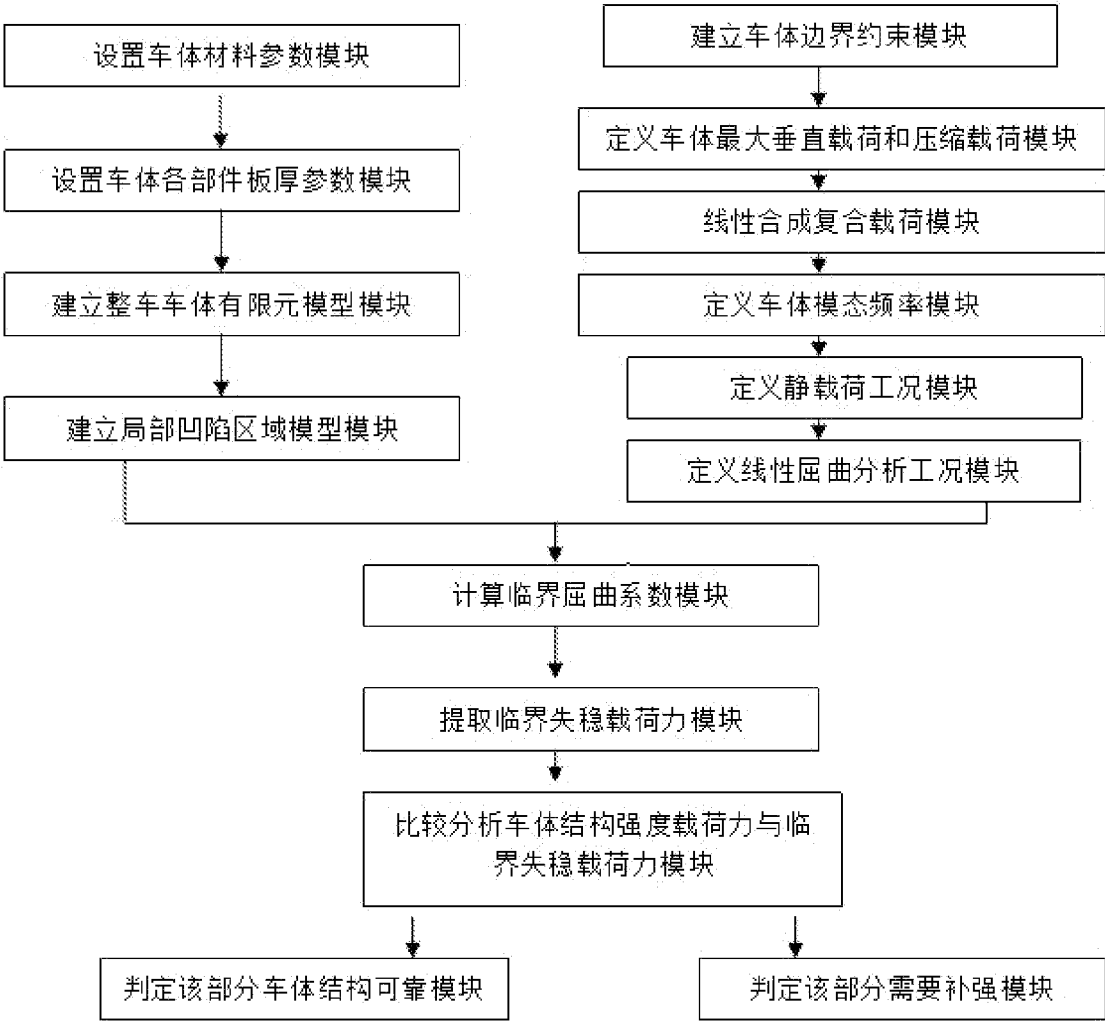


图 1

—2/8—

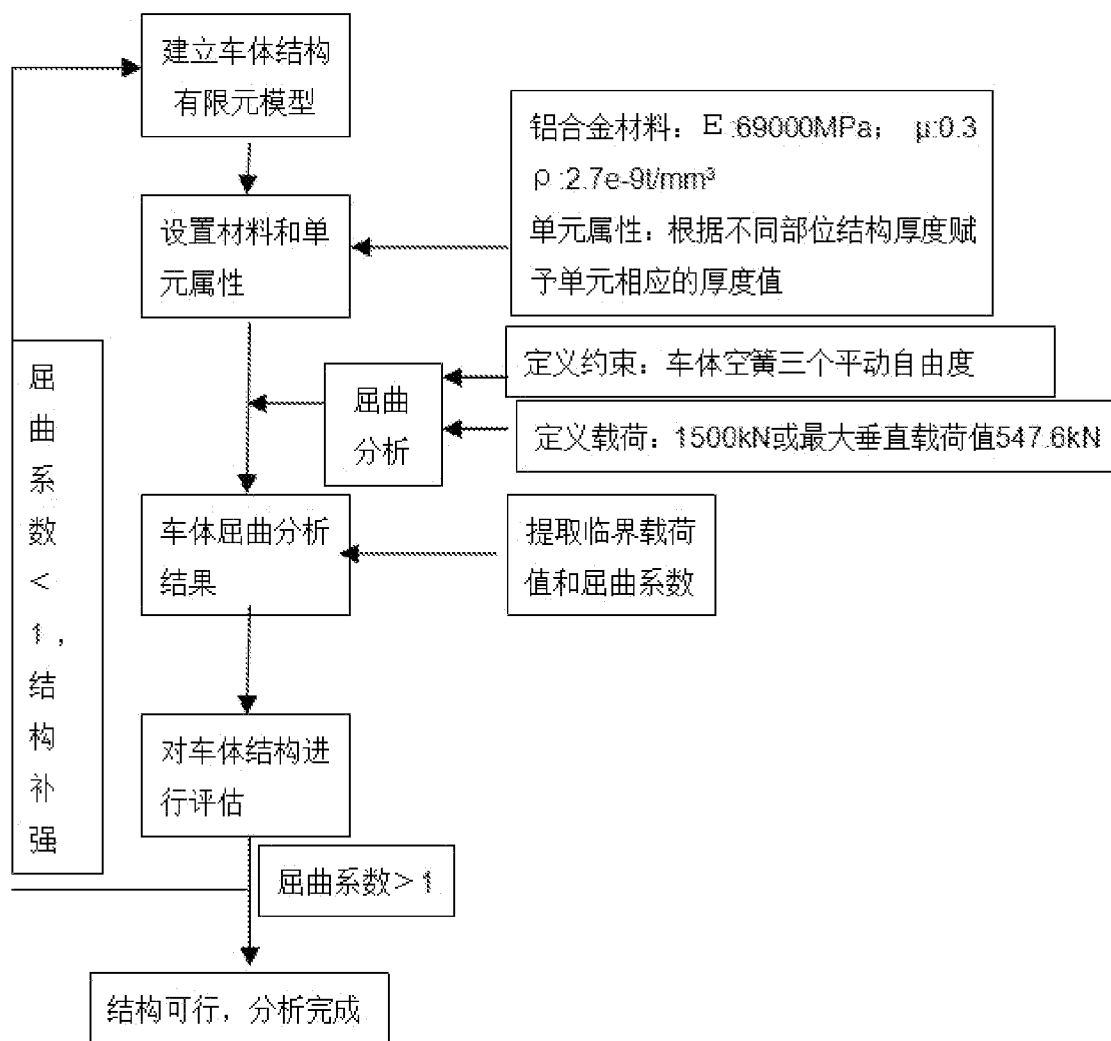


图 2

cradle	mat name ⁴		alumini um	
update	☐ color	☐		
	type ⁴	ISO TROPIC		
	card image ⁴	MATI		
MAT :	ID	[E]	[G]	[A] [TREF] [GE]
	24	[6.9e+04]	[SS]	
	[ST]	[SC]		
			[PU]	[RHO]
			[0.300]	[2.7e-09]
User Comments				
		Hide In Menu/Export		
	☐ MATS1			
	☐ MATI1			
	☐ MAT4			
	☐ MAT5			
	☐ MATFAT			

3
B

create

update

assign

prop name =

color

type =

card image =

material =

2 0

PSHELL

aluminum

7 2 2

MID1

IT

MID2

MID3

TS1

NSM

User Comments

Hide & Menu/Export

MID_opt

MID2_opt

COMIT

PSHELLX

4

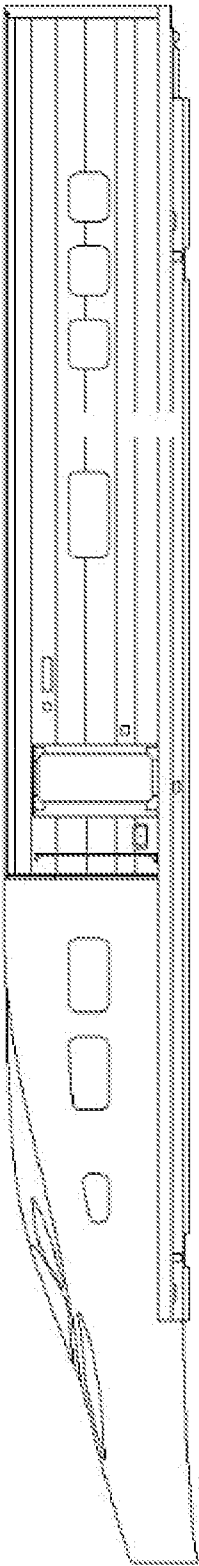



图 5

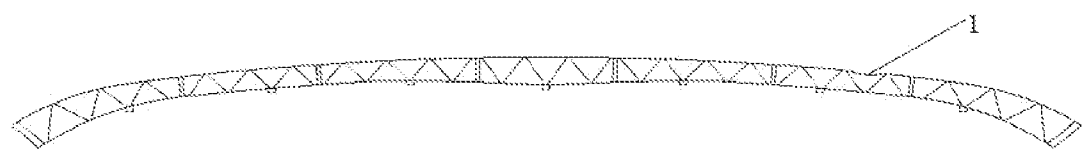


图 6

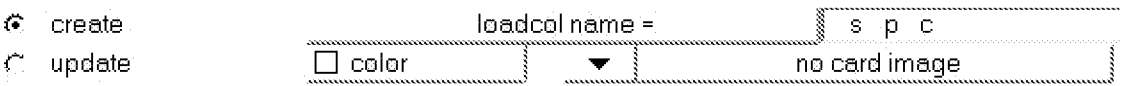


图 7

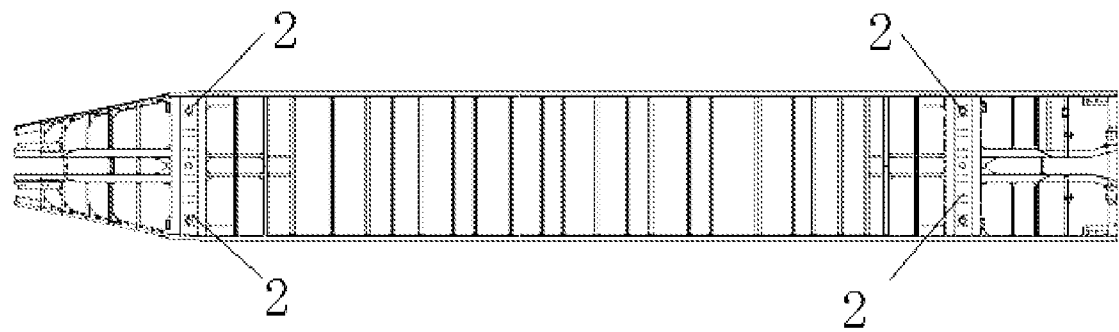


图 8

— 7/8 —

create
update

loadset name = TUBES
color no card image

create
update

loadset name = TUBES
color no card image

create
update

loadset name = TUBES
color card image = LOAD

LOAD

ID	S	S1(1)	L1(1)	S1(2)	L1(2)
1 2	1 0 0 0	1 0 0 0	0	1 0 0 0	1 0

create
update

loadset name = TUBES
color card image = EIGRL

EIGRL

SID	[N1]	[N2]	[ND]	[MSGVL]	[MAXSET]	[SHFSCL]	FORM
1 1	1 0 0 0	4 0 0 0					MASS

图 9

name = static load type: linear static

☒ SPC
☒ LOAD
☐ SUPORT

☐ MPC
☐ TEMP
☐ DEFORM
☐ STATSUB(PRELOAD)

图 10

name = linear buckl type: linear buckling

☐ SPC
☐ MPC
☒ STATSUB(BUCKLING)

☒ METHOD(STRUCT)
☐ DEFORM

= 1 1

= 2

图 11

—8/8—

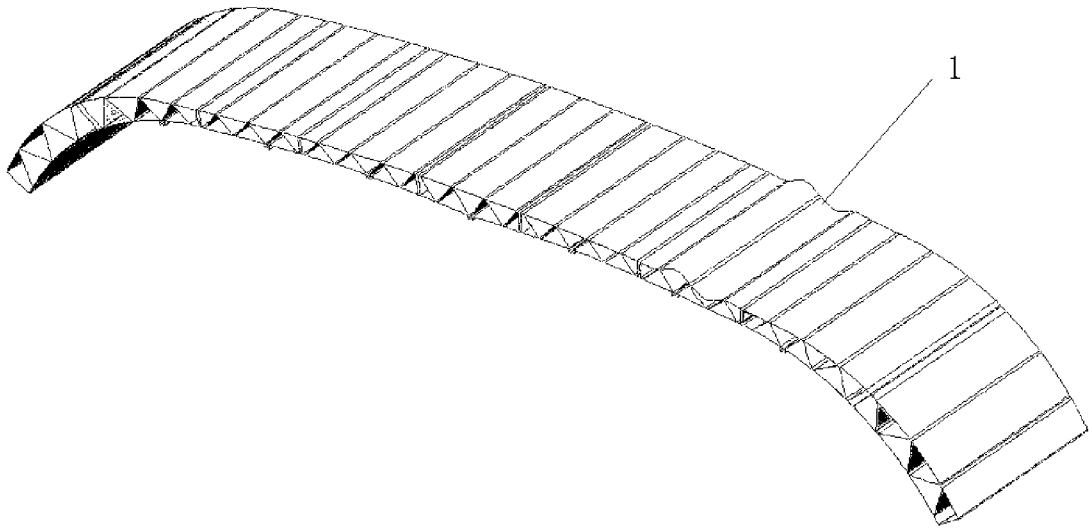


图 12

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.
PCT/CN2015/094174

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

G06F 17/50 (2006.01) i

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC: G06F 17/-; B62D 65/-

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

WPI, EPODOC, CNPAT, CNKI: car, vehicle, train, track, steady, simulate, concave, protrude, local, structure

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
PX	CN 104765908 A (CSR SIFANG LOCOMOTIVE & ROLLING STOCK) 08 July 2015 (08.07.2015) claims 1-10	1-10
A	CN 104166772 A (UNIV GUILIN ELECTRONIC TECHNOLOGY) 26 November 2014 (26.11.2014) the whole document	1-10
A	CN 104392072 A (UNIV BEIJING JIAOTONG) 04 March 2015 (04.03.2015) the whole document	1-10
A	CN 101264774 A (UNIV SHANGHAI JIAOTONG) 17 September 2008 (17.09.2008) the whole document	1-10

☐ Further documents are listed in the continuation of Box C.

☒ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:	"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance	"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date	"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)	"&" document member of the same patent family
"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means	
"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed	

Date of the actual completion of the international search 17 January 2016	Date of mailing of the international search report 29 January 2016
Name and mailing address of the ISA State Intellectual Property Office of the P. R. China No. 6, Xitucheng Road, Jimenqiao Haidian District, Beijing 100088, China Facsimile No. (86-10) 62019451	Authorized officer CHEN, Lina Telephone No. (86-10) 62411709

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International application No.
PCT/CN2015/094174

Patent Documents referred in the Report	Publication Date	Patent Family	Publication Date
CN104765908 A	08 July 2015	None	
CN104166772 A	26 November 2014	None	
CN104392072 A	04 March 2015	None	
CN101264774 A	17 September 2008	None	

A. 主题的分类 G06F 17/50 (2006.01) i 按照国际专利分类 (IPC) 或者同时按照国家分类和 IPC 两种分类																	
B. 检索领域 检索的最低限度文献 (标明分类系统和分类号) G06F 17/-; B62D 65/- 包含在检索领域中的除最低限度文献以外的检索文献 在国际检索时查阅的电子数据库 (数据库的名称, 和使用的检索词 (如使用)) WPI, EPDOC, CNPAT, CNKI: car, vehicle, train, track, steady, simulate, concave, protrude, local, structrue; 车, 稳, 仿真, 模拟, 凹, 陷, 突, 局部, 结构																	
C. 相关文件 <table border="1"> <thead> <tr> <th>类 型*</th> <th>引用文件, 必要时, 指明相关段落</th> <th>相关的权利要求</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>PX</td> <td>CN 104765908 A (南车青岛四方机车车辆股份有限公司) 2015年 7月 8日 (2015 - 07 - 08) 权利要求1-10</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104166772 A (桂林电子科技大学) 2014年 11月 26日 (2014 - 11 - 26) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 104392072 A (北京交通大学) 2015年 3月 4日 (2015 - 03 - 04) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> <tr> <td>A</td> <td>CN 101264774 A (上海交通大学) 2008年 9月 17日 (2008 - 09 - 17) 全文</td> <td>1-10</td> </tr> </tbody> </table>			类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求	PX	CN 104765908 A (南车青岛四方机车车辆股份有限公司) 2015年 7月 8日 (2015 - 07 - 08) 权利要求1-10	1-10	A	CN 104166772 A (桂林电子科技大学) 2014年 11月 26日 (2014 - 11 - 26) 全文	1-10	A	CN 104392072 A (北京交通大学) 2015年 3月 4日 (2015 - 03 - 04) 全文	1-10	A	CN 101264774 A (上海交通大学) 2008年 9月 17日 (2008 - 09 - 17) 全文	1-10
类 型*	引用文件, 必要时, 指明相关段落	相关的权利要求															
PX	CN 104765908 A (南车青岛四方机车车辆股份有限公司) 2015年 7月 8日 (2015 - 07 - 08) 权利要求1-10	1-10															
A	CN 104166772 A (桂林电子科技大学) 2014年 11月 26日 (2014 - 11 - 26) 全文	1-10															
A	CN 104392072 A (北京交通大学) 2015年 3月 4日 (2015 - 03 - 04) 全文	1-10															
A	CN 101264774 A (上海交通大学) 2008年 9月 17日 (2008 - 09 - 17) 全文	1-10															
☐ 其余文件在C栏的续页中列出。 ☒ 见同族专利附件。																	
* 引用文件的具体类型: “A” 认为不特别相关的表示了现有技术一般状态的文件 “E” 在国际申请日的当天或之后公布的在先申请或专利 “L” 可能对优先权要求构成怀疑的文件, 或为确定另一篇引用文件的公布日而引用的或者因其他特殊理由而引用的文件 (如具体说明的) “O” 涉及口头公开、使用、展览或其他方式公开的文件 “P” 公布日先于国际申请日但迟于所要求的优先权日的文件 “T” 在申请日或优先权日之后公布, 与申请不相抵触, 但为了理解发明之理论或原理的在后文件 “X” 特别相关的文件, 单独考虑该文件, 认定要求保护的发明不是新颖的或不具有创造性 “Y” 特别相关的文件, 当该文件与另一篇或者多篇该类文件结合并且这种结合对于本领域技术人员为显而易见时, 要求保护的发明不具有创造性 “&” 同族专利的文件																	
国际检索实际完成的日期 2016年 1月 17日		国际检索报告邮寄日期 2016年 1月 29日															
ISA/CN的名称和邮寄地址 中华人民共和国国家知识产权局 (ISA/CN) 中国北京市海淀区蓟门桥西土城路6号 100088 传真号 (86-10)62019451		授权官员 陈丽娜 电话号码 (86-10)62411709															

国际检索报告
关于同族专利的信息

国际申请号

PCT/CN2015/094174

检索报告引用的专利文件			公布日 (年/月/日)	同族专利	公布日 (年/月/日)
CN	104765908	A	2015年 7月 8日	无	
CN	104166772	A	2014年 11月 26日	无	
CN	104392072	A	2015年 3月 4日	无	
CN	101264774	A	2008年 9月 17日	无	