

协同编队列车安全防护方法、装置、设备、系统及介质

5 相关申请的交叉引用

本申请主张在 2021 年 11 月 23 日在中国提交的中国专利申请号 202111397928.4 的优先权，其全部内容通过引用包含于此。

技术领域

10 本申请属于列车自动防护技术领域，尤其涉及一种协同编队列车安全防护方法、装置、设备、系统及介质。

背景技术

15 列车协同编队是一种新型的列车合作驾驶模式，它是在移动闭塞基础上，通过列车间的信息交互与感应，在保证列车安全情况下，通过虚拟连挂技术实现两列或多列列车灵活编组，区间速度趋同以及同进同出站台的目的，从而提高地铁运营效率、降低运营成本。

20 相关技术中，在列车协同编队中，可以采用相对速度安全防护模型进行安全防护，列车在追踪前车时，将前车看作有速度的障碍物，前车停车车尾处作为后车的 MA 终点，充分考虑前车的速度和制动能力，以两车相对制动距离为基础保证列车运行安全。但是，当相对速度安全防护模型受到通信延迟、测速测距误差等因素影响时，会不可避免地限制后车的顶棚速度，导致前车与后车的停车时间间隔变长，降低了编队列车的进出站效率。

25

发明内容

本申请实施例的目的是提供一种协同编队列车安全防护方法、装置、设备、系统及介质，能够解决相关技术中前车与后车的停车时间间隔变长，编队列车的进出站效率低的问题。

第一方面，本申请实施例提供一种协同编队列车安全防护方法，该方法包括：获取第一列车与第二列车的运行状态信息和距离信息，以及第一列车和第二列车对应编队的可碰撞速度，其中，第一列车与第二列车为编队中相邻两辆列车；在第一列车处于紧急制动阶段的情况下，根据第二列车所处的行车阶段、运行状态信息、距离信息和可碰撞速度，建立安全防护模型；根据安全防护模型，确定第二列车的安全防护速度，其中，安全防护速度用于第二列车与第一列车不碰撞，或者以不大于可碰撞速度的速度发生碰撞。

第二方面，本申请实施例提供一种协同编队列车安全防护装置，该装置包括：获取模块，用于获取第一列车与第二列车的运行状态信息和距离信息，以及第一列车和第二列车对应编队的可碰撞速度，其中，第一列车与第二列车为编队中相邻两辆列车；建立模块，用于在第一列车处于紧急制动阶段的情况下，根据第二列车所处的行车阶段、运行状态信息、距离信息和可碰撞速度，建立安全防护模型；确定模块，用于根据安全防护模型，确定第二列车的安全防护速度，其中，安全防护速度用于第二列车与第一列车不碰撞，或者以不大于可碰撞速度的速度发生碰撞。

第三方面，本申请实施例提供一种协同编队列车安全防护设备，包括：处理器，存储器及存储在所述存储器上并在所述处理器上运行的程序或指令，所述程序或指令被所述处理器执行时实现第一方面的协同编队列车安全防护方法的步骤。

第四方面，本申请实施例提供一种协同编队列车安全防护系统，包括第三方面的协同编队列车安全防护设备。

第五方面，本申请实施例提供一种计算机可读存储介质，计算机可读存储介质上存储有计算机程序指令，计算机程序指令被处理器执行时实现第一方面的协同编队列车安全防护方法的步骤。

本申请提供一种协同编队列车安全防护方法、装置、设备、系统及存储介质，获取编队中相邻的第一列车与第二列车的运行状态信息和距离信息，以及第一列车和第二列车对应编队的可碰撞速度。在此基础上，可以在第一列车处于紧急制动阶段的情况下，根据第二列车所处的行车阶段、

- 运行状态信息、距离信息和可碰撞速度，建立安全防护模型。由于该安全防护模型是基于可碰撞速度建立的，因此基于该安全防护模型确定的安全防护速度，可以允许第一列车与第二列车在进站停车阶段，以小于或等于该可碰撞速度的速度发生碰撞，打破传统列车不能面对面接触的安全底线，
- 5 允许列车以某个安全范围内的速度碰撞并认为是安全的，进一步提高后车的运行速度，缩短列车的停车时间间隔，提升编队列车的进出站效率。

附图说明

- 10 为了更清楚地说明本申请实施例的技术方案，下面将对本申请实施例中所需要使用的附图作简单的介绍，对于本领域普通技术人员来讲，在不付出创造性劳动的前提下，还可以根据这些附图获得其他的附图。

图 1 是本申请实施例提供的协同编队列车安全防护方法的流程示意图；

图 2 是本申请实施例提供的协同编队列车安全防护场景的示例的示意图；

- 15 图 3 是本申请实施例提供的第一场景的示例的示意图；

图 4 是本申请实施例提供的第二场景的示例的示意图；

图 5 是本申请实施例提供的第三场景的示例的示意图；

图 6 是本申请实施例提供的第四场景的示例的示意图；

图 7 是本申请实施例提供的第五场景的示例的示意图；

- 20 图 8 是本申请实施例提供的协同编队列车安全防护装置的结构示意图；

图 9 是本申请实施例提供的协同编队列车安全防护设备的硬件结构示意图。

具体实施方式

- 25 下面将详细描述本申请的各个方面的特征和示例性实施例，为了使本申请的目的、技术方案及优点更加清楚明白，以下结合附图及具体实施例，对本申请进行进一步详细描述。应理解，此处所描述的具体实施例仅意在解释本申请，而不是限定本申请。对于本领域技术人员来说，本申请

可以在不需要这些具体细节中的一些细节的情况下实施。下面对实施例的描述仅仅是为了通过示出本申请的示例来提供对本申请更好的理解。

如背景技术，在列车协同编队中，可以采用相对速度安全防护模型进行安全防护，列车在追踪前车时，将前车看作有速度的障碍物，前车停车车尾处作为后车的 MA 终点，充分考虑前车的速度和制动能力，以两车相对制动距离为基础保证列车运行安全。但是，当相对速度安全防护模型受到通信延迟、测速测距误差等因素影响时，会不可避免地限制后车的顶棚速度，导致前车与后车的停车时间间隔变长，降低了编队列车的进出站效率。

- 10 为了解决相关技术中的问题，本申请实施例提供了一种协同编队列车安全防护方法，获取编队中相邻的第一列车与第二列车的运行状态信息和距离信息，以及第一列车和第二列车对应编队的可碰撞速度。在此基础上，可以在第一列车处于紧急制动阶段的情况下，根据第二列车所处的行车阶段、运行状态信息、距离信息和可碰撞速度，建立安全防护模型。由于该
- 15 安全防护模型是基于可碰撞速度建立的，因此基于该安全防护模型确定的安全防护速度，可以允许第一列车与第二列车在进站停车阶段，以小于或等于该可碰撞速度的速度发生碰撞，打破传统列车不能面对面接触的安全底线，允许列车以某个安全范围内的速度碰撞并认为是安全的，进一步提高后车的运行速度，缩短列车的停车时间间隔，提升编队列车的进出站效率，解决了相关技术中前车与后车的停车时间间隔变长，编队列车的进出站效率低的问题。
- 20

下面结合附图，通过具体的实施例及其应用场景对本申请实施例提供的协同编队列车安全防护方法进行详细地说明。

- 25 图 1 是本申请实施例提供的一种协同编队列车安全防护方法的流程示意图，该协同编队列车安全防护方法的执行主体可以为协同编队列车安全防护设备，为了简洁，下面将协同编队列车安全防护设备统称为设备。

需要说明的是，上述执行主体并不构成对本申请的限定。

如图 1 所示，本申请实施例提供的协同编队列车安全防护方法可以包括步骤 110-步骤 130。

步骤 110, 获取第一列车与第二列车的运行状态信息和距离信息, 以及第一列车和第二列车对应编队的可碰撞速度。

其中, 第一列车与第二列车为编队中相邻两辆列车, 第一列车可以为前车, 第二列车可以为后车。

5 需要说明的是, 在本申请实施例中, 由于放宽了列车安全防护的限制, 允许列车在低速下轻微碰撞, 因此第一列车与第二列车之间需要具有列车车体结构强度的支撑, 第一列车与第二列车的设计能够满足以下条件: 第一列车与第二列车在基于可碰撞速度发生碰撞的情况下, 不会发生形变, 和/或不会对列车内乘客产生明显影响。

10 可碰撞速度可以为预设速度, 由于不同类型的列车发生碰撞时产生的影响不同, 因此该可碰撞速度与同一编队内列车类型相关。

具体地, 可以根据同一编队内列车类型确定该编队对应的可碰撞速度, 该可碰撞速度可以为发生碰撞时, 列车不会产生形变的最大速度。

15 当同一编队内列车类型不同时, 该编队中所有车型对应的可碰撞速度中数值最小的为该编队对应的可碰撞速度。

步骤 120, 在第一列车处于紧急制动阶段的情况下, 根据第二列车所处的行车阶段、运行状态信息、距离信息和可碰撞速度, 建立安全防护模型。

20 步骤 130, 根据安全防护模型, 确定第二列车的安全防护速度, 其中, 安全防护速度用于第二列车与第一列车不碰撞, 或者以可碰撞速度发生碰撞。

25 示例性地, 图 2 是本申请实施例提供的协同编队列车安全防护场景的示例的示意图, 如图 2 所示, 曲线 1 为第一列车的速度与位置的关系曲线, 曲线 2 为第二列车的安全防护速度与位置的关系曲线, 也即本申请实施例建立的安全防护模型。第二列车可以按照曲线 2 对应的安全防护速度在紧急制动建立 (Braking Establishment, BE) 阶段和紧急制动阶段 (Emergency Braking, EB) 行驶, 基于该安全防护速度, 可以保证第一列车与第二列车在全程行驶阶段不发生碰撞, 或者, 在第二列车减速至可碰撞速度的第二时刻 t'_2 之后, 第二列车以小于或等于可碰撞速度 v_{col} 的速度与

第一列车发生碰撞。这样，即使发生碰撞，也可以保证第一列车与第二列车不会发生形变，进而在保证安全的前提下，提升了第二列车的顶棚速度，缩短列车的停车时间间隔与停车距离，更加接近于编队列车同步进出站的理想化场景。

5 本申请实施例提供的协同编队列车安全防护方法，获取编队中相邻的第一列车与第二列车的运行状态信息和距离信息，以及第一列车和第二列车对应编队的可碰撞速度。在此基础上，可以在第一列车处于紧急制动阶段的情况下，根据第二列车所处的行车阶段、运行状态信息、距离信息和可碰撞速度，建立安全防护模型。由于该安全防护模型是基于可碰撞速度
10 建立的，因此基于该安全防护模型确定的安全防护速度，可以允许第一列车与第二列车在进站停车阶段，以小于或等于该可碰撞速度的速度发生碰撞，打破传统列车不能面对面接触的安全底线，允许列车以某个安全范围内的速度碰撞并认为是安全的，进一步提高后车的运行速度，缩短列车的停车时间间隔，提升编队列车的进出站效率。

15 涉及步骤 110，获取第一列车与第二列车的运行状态信息和距离信息，以及第一列车和第二列车对应编队的可碰撞速度。

 在本申请的一些实施例中，协同编队列车安全防护设备可以为第二列车，步骤 110 可以包括：接收第一列车通过虚拟连挂技术发送的第一列车的运行状态信息和位置信息；获取第二列车的运行状态信息和位置信息；
20 根据第一列车和第二列车的运行状态信息和位置信息，确定第一列车与第二列车的距离信息。

 在本申请的一些实施例中，运行状态信息可以包括速度、加速度，设备可以根据第二列车的速度、加速度判断第二列车当前所处的行车阶段，该行车阶段可以包括牵引阶段、惰行阶段、紧急制动建立阶段、紧急制动
25 阶段；设备可以根据第一列车的速度、加速度判断第一列车当前所处的行车阶段，该行车阶段可以包括紧急制动阶段和停车阶段。

 在本申请的一些实施例中，若只考虑进站停车阶段，第二列车所处的行车阶段可以包括紧急制动建立 BE 阶段和紧急制动 EB 阶段，运行状态信息可以包括第一列车在初始时刻的第一初始速度 v_0^l 、第二列车在初始时刻

的第二初始速度 v_0^f 、第一列车处于紧急制动阶段的第一加速度 a_{eb}^l 、第二列车处于紧急制动阶段的第二加速度 a_{eb}^f 、第二列车处于紧急制动建立阶段的第三加速度 a_{be}^f ，距离信息包括第一列车与第二列车在初始时刻的初始距离 s_0 、第一列车的紧急制动距离 s_p^l 。

- 5 示例性地，如图 2 所示，第一列车为 201，第二列车为 202，第一初始速度 v_0^l 为 201 在初始时刻（ $t=0$ ）的速度，第二初始速度 v_0^f 为 202 在初始时刻的速度，初始距离 s_0 为在初始时刻时 201 与 202 之间的距离。第一加速度 a_{eb}^l 为 201 处于紧急制动阶段的加速度，第二加速度 a_{eb}^f 为 202 处于紧急制动阶段（ t_1-t_2 ）的加速度，第三加速度 a_{be}^f 为 202 处于紧急制动建立阶段（ $0-t_1$ ）的加速度。紧急制动距离 s_p^l 可以为 201 在紧急制动阶段的行驶距离。

需要说明的是，图 2 所示的紧急制动建立阶段和紧急制动阶段仅针对列车 202，即后车。

- 涉及步骤 120，在第一列车处于紧急制动阶段的情况下，根据第二列车所处的行车阶段、运行状态信息、距离信息和可碰撞速度，建立安全防护模型。

- 当第一列车与第二列车进入进站停车阶段，考虑最不利情况，第一列车经历紧急制动阶段和停止阶段，第二列车经历紧急制动建立阶段和紧急制动阶段。设备根据第二列车当前所处行车阶段是 BE 段还是 EB 段，结合前车速度是否为零的状态，在允许碰撞的前提下，确定第二列车与第一列车的速度差小于某个阈值时，第二列车的速度上限值，即安全防护速度。

- 在本申请的一些实施例中，步骤 120 可以具体包括：在第一列车处于紧急制动阶段，且第一时刻早于第二时刻的情况下，根据第二列车所处的行车阶段、运行状态信息、距离信息和可碰撞速度，建立第一安全防护模型；在第一列车处于紧急制动阶段，且第二时刻早于第一时刻的情况下，根据第二列车所处的行车阶段、运行状态信息、距离信息和可碰撞速度，建立第二安全防护模型；其中，第一时刻 t_3' 为第一列车减速至可碰撞速度的时刻，第二时刻 t_2' 为第二列车减速至可碰撞速度的时刻。

具体地，第一种情况，第一列车与第二列车制动性能差异不大，正常运行状态下，第一列车比第二列车更快减速至可碰撞速度，因此如图 2 所

示, 第一时刻 t_3' 早于第二时刻 t_2' , 此时可以建立第一安全防护模型; 第二种情况, 当第一列车制动性能比较差时, 第二列车比第一列车更快减速至可碰撞速度, 因此第二时刻早于第一时刻, 此时可以建立第二安全防护模型。

- 5 在一个实施例中, 设备可以根据第一列车在当前时刻的运行速度、加速度计算第一列车的紧急制动时间, 并根据该紧急制动时间确定第一列车的紧急制动阶段的结束时刻, 即第三时刻; 根据第一初始速度和第一加速度计算第一列车的紧急制动距离 $s_p^l = \frac{v_0^l^2}{a_{eb}^l}$; 根据第二列车的运行状态信息计算第二列车从当前时刻至停车时刻的各行车阶段所处时间, 例如: 当第二列车处于牵引阶段, 则根据当前速度、加速度、牵引切除时间计算牵引切除阶段的所处时间, 同理计算惰行阶段所处时间、紧急制动建立阶段所处时间 $(t_1 - 0)$ 、紧急制动阶段的所处时间 $(t_2 - t_1)$; 根据第一列车的紧急制动时间, 可计算从当前时刻减速至可碰撞速度所经历的时间, 从而确定减速至可碰撞速度的第一时刻 t_3' ; 根据第二列车从当前时刻至停车时刻的各行车阶段所处时间, 可计算从当前时刻减速至可碰撞速度所经历的时间, 从而确定减速至可碰撞速度的第二时刻 t_2' 。

- 20 在一个实施例中, 第一安全防护模型可以满足以下条件: 第一列车从初始时刻行驶至第五时刻的行驶距离大于或等于第二列车从初始时刻行驶至第五时刻的行驶距离, 第五时刻为第二时刻 t_2' 之前的任意时刻; 第一列车和第二列车在第六时刻的行驶速度均小于或等于可碰撞速度, 第六时刻为第二时刻 t_2' 至第二列车的停车时刻 t_2 之间的任意时刻。

具体地, 该条件可以为公式 (1):

$$\begin{cases} S_l(t) - S_f(t) \geq 0 & \forall t \in [0, t_2'] \\ v_f(t), v_l(t) \leq v_{col} & \forall t \in [t_2', t_2] \end{cases} \quad (1)$$

- 25 其中, $S_l(t)$ 为第一列车在当前时刻 t 的行驶距离, $S_f(t)$ 为第二列车在当前时刻 t 的行驶距离; $v_f(t)$ 为第二列车在当前时刻 t 的行驶速度, $v_l(t)$ 为第一列车在当前时刻 t 的行驶速度。

- 30 在本申请实施例中, 由于在第二列车减速至可碰撞速度的第二时刻之前, 第一列车的行驶距离大于或等于第二列车的行驶距离, 因此能够保证在两车速度均达到可允许碰撞速度时刻之前的任意时刻, 第一列车与第二列车不会发生碰撞, 保证了列车的安全; 同时, 在第二列车减速至可碰撞速度的第二时刻之后, 由于第一列车与第二列车的行驶速度均不超过可碰

撞速度，因此两车可以在且仅在允许可碰撞范围内发生碰撞，将第二列车的最高顶棚速度提升至可碰撞速度，降低相邻两车进站停车时间差。

需要说明的是，基于第一列车与第二列车的性能和状态不同，第一时刻、第二时刻、第三时刻（即第一列车的紧急制动阶段的结束时刻）、第四时刻（即第二列车的紧急制动阶段的开始时刻）的先后顺序不同，本申请可以按照该先后顺序进行应用场景划分，基于不同应用场景建立不同的第一安全防护模型。

在本申请的一些实施例中，步骤 120 可以具体包括：在第一列车处于紧急制动阶段，且第一时刻早于第二时刻的情况下，根据第一时刻、第二时刻、第三时刻、第四时刻的先后顺序，确定第二列车对应的第一安全防护场景；根据第二列车所处的行车阶段、运行状态信息、距离信息和可碰撞速度，分别建立与每个第一安全防护场景关联的第一安全防护模型；其中，第三时刻 t_3 为第一列车的紧急制动阶段的结束时刻，第四时刻 t_1 为第二列车的紧急制动阶段的开始时刻。

下面结合图 3 至图 5，通过具体的实施例及其应用场景对本申请实施例提供的第一安全防护模型进行详细地说明。

需要说明的是，在图 3 至图 5 中，曲线①为第二列车在紧急制动建立阶段和紧急制动阶段的安全防护速度-位置曲线，曲线④为第一列车在紧急制动阶段和停车阶段的速度-位置曲线，曲线②为第二列车在惰性阶段和紧急制动阶段的安全防护速度-位置曲线，曲线③为第二列车在牵引阶段和紧急制动阶段的安全防护速度-位置曲线。

在本申请的一些实施例中，图 3 是本申请实施例提供的第一场景的示意图，如图 3 所示，在先后顺序为第一时刻 t'_3 、第三时刻 t_3 、第四时刻 t_1 、第二时刻 t'_2 的情况下，第二列车对应的第一安全防护场景可以为第一场景，与第一场景关联的第一安全防护模型可以为公式（2），公式（2）与图 3 所示曲线①相对应：

$$v_f(t) \leq \begin{cases} \frac{v_0^1}{2} \left(1 + \frac{a_{be}^f}{a_{eb}^f} + \frac{s_0}{s_p^1} \right), t \in [0, t_3] \\ 0.5 * a_{be}^f * t_f + \frac{s_0 + \frac{(v_0^1)^2}{2 * a_{eb}^f}}{t_f}, t \in [t_3, t_1] \\ \sqrt{(v_{col})^2 + 2 * a_{eb}^f * [0.5 * (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f^2 + (s_0 + s_p^1)]} - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ t \in [t_1, t_2'] \\ v_{col}, t \in [t_2', t_2] \end{cases} \quad (2)$$

其中, t 为当前时刻, t_1 为第四时刻, t_f 为初始时刻至第四时刻的时长, t_2 为第二列车的停车时刻, t_3 为第三时刻, t_2' 为第二时刻, $v_f(t)$ 为第二列车在当前时刻 t 的安全防护速度, v_0^1 为第一初始速度, a_{eb}^1 为第一加速度, a_{eb}^f 为第二加速度, a_{be}^f 为第三加速度, s_0 为初始距离, s_p^1 为紧急制动距离, v_{col} 为可碰撞速度。

在本申请的一些实施例中, 图 4 是本申请实施例提供的第二场景的示意图, 如图 4 所示, 在先后顺序为第四时刻 t_1 、第一时刻 t_3' 、第三时刻 t_3 、第二时刻 t_2' 的情况下, 第二列车对应的第一安全防护场景为第二场景, 与第二场景关联的第一安全防护模型可以为公式 (3), 公式 (3) 与图 4 所示曲线①相对应:

$$v_f(t) \leq \begin{cases} \frac{s_0 - 0.5 * (a_{eb}^1 - a_{be}^f) t_f^2}{t_f} + v_0^1, t \in [0, t_1] \\ v_0^1 + \frac{0.5 a_{eb}^1 (a_{eb}^f - a_{be}^f) t_f^2 + a_{eb}^1 s_0}{v_0^1} - \frac{0.5 (a_{eb}^1 - a_{be}^f) v_0^1}{a_{eb}^1} - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ t \in [t_1, t_3] \text{ 且 } a_{eb}^1 \geq a_{eb}^f \\ v_0^1 + \sqrt{(a_{eb}^f - a_{eb}^1) ((a_{eb}^f - a_{be}^f) t_f^2 + 2 s_0)} - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ t \in [t_1, t_3] \text{ 且 } a_{eb}^1 < a_{eb}^f \\ \sqrt{(v_{col})^2 + 2 * a_{eb}^f * [0.5 * (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f^2 + (s_0 + s_p^1)]} - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ t \in [t_3, t_2'] \\ v_{col}, t \in [t_2', t_2] \end{cases} \quad (3)$$

其中, t 为当前时刻, t_1 为第四时刻, t_f 为初始时刻至第四时刻的时长, t_2 为第二列车的停车时刻, t_3 为第三时刻, t_2' 为第二时刻, $v_f(t)$ 为第二列车在当前时刻的安全防护速度, v_0^1 为第一初始速度, a_{eb}^1 为第一加速度, a_{eb}^f 为第二加速度, a_{be}^f 为第三加速度, s_0 为初始距离, s_p^1 为紧急制动距离, v_{col} 为可碰撞速度。

在本申请的一些实施例中, 图 5 是本申请实施例提供的第三场景的示

意图, 如图 5 所示, 在先后顺序为第四时刻 t_1 、第一时刻 t'_3 、第二时刻 t'_2 、第三时刻 t_3 的情况下, 第二列车对应的第一安全防护场景为第三场景, 与第三场景关联的第一安全防护模型可以为公式 (4), 公式 (4) 与图 5 所示曲线①相对应:

$$5 \quad v_f(t) \leq \begin{cases} \frac{s_0 - 0.5(a_{eb}^l - a_{be}^f)t_f^2}{t_f} + v_0^l, t \in [0, t_1] \\ \frac{2av_{col} + a_{eb}^f v_{col} + \sqrt{\Delta}}{a_{eb}^l + a_{eb}^f} + v_0^l - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f \text{ 且需满足 } av_{col}^2 - (a_{be}^f)^2 c > 0, \\ t \in [t_1, t'_2] \& a_{eb}^l > a_{eb}^f \\ \frac{v_{col} + \sqrt{v_{col}^2 + 4a_{eb}^f [0.5(a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f^2 + s_0]}}{2} + v_0^l - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ t \in [t_1, t'_2] \& a_{eb}^l = a_{eb}^f \\ v_0^l + \sqrt{(a_{eb}^f - a_{eb}^l) \left((a_{eb}^f - a_{be}^f)t_f^2 + 2s_0 \right) - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f}, \\ t \in [t_1, t'_2] \& a_{eb}^l < a_{eb}^f \\ v_{col}, t \in [t'_2, t_2] \end{cases} \quad (4)$$

其中, t 为当前时刻, t_1 为第四时刻, t_f 为初始时刻至第四时刻的时长, t_2 为第二列车的停车时刻, t'_2 为第二时刻, $v_f(t)$ 为第二列车在当前时刻的安全防护速度, v_0^l 为第一初始速度, a_{eb}^l 为第一加速度, a_{eb}^f 为第二加速度, a_{be}^f 为第三加速度, s_0 为初始距离, s_p^l 为紧急制动距离, v_{col} 为可碰撞速度。
 Δ 为 $b^2 - 4ac$, 其中 $a = 0.5 * (a_{eb}^l - a_{eb}^f)$, $b = v_0^f - v_0^l + (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f$,
 $c = 0.5 * (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f^2 - s_0$, $\Delta = (a_{be}^f)^2 [v_{col}^2 + 2(a_{eb}^l + a_{eb}^f) c]$ 且 $\Delta \geq 0$ 。
 v_0^f 为第二初始速度。

以上提供与第一场景、第二场景、第三场景中任意场景关联的第一安全防护模型均可以满足公式 (1) 的安全防护条件, 因此在不同应用场景下, 可以基于与该应用场景关联的第一安全防护模型确定列车安全防护速度, 基于该安全防护速度控制第二列车行驶, 若第二列车运行速度超过安全防护速度, 则施加紧急制动, 保证行车安全。

在一个实施例中, 第三时刻为第一列车的紧急制动阶段的结束时刻, 第二安全防护模型可以满足以下条件: 第一列车从初始时刻行驶至第七时刻的行驶距离大于或等于第二列车从初始时刻行驶至第七时刻的行驶距离, 第七时刻为第一时刻 t'_3 之前的任意时刻; 第一列车和第二列车在第八时刻的行驶速度均小于或等于可碰撞速度, 第八时刻为第一时刻 t'_3 至第三时刻 t_3 之间的任意时刻。

具体地，该条件可以为公式（5）：

$$\begin{cases} S_l(t) - S_f(t) \geq 0 & \forall t \in [0, t_3'] \\ v_f(t), v_l(t) \leq v_{col} & \forall t \in [t_3', t_3] \end{cases} \quad (5)$$

其中， $S_l(t)$ 为第一列车在当前时刻 t 的行驶距离， $S_f(t)$ 为第二列车在当前时刻 t 的行驶距离； $v_f(t)$ 为第二列车在当前时刻 t 的行驶速度， $v_l(t)$ 为第一列车在当前时刻 t 的行驶速度。

在本申请实施例中，由于在第一列车减速至可碰撞速度的第一时刻之前，第一列车的行驶距离大于或等于第二列车的行驶距离，因此能够保证在两车速度均达到可允许碰撞速度时刻之前的任意时刻，第一列车与第二列车不会发生碰撞，保证了列车的安全；同时，在第一列车减速至可碰撞速度的第一时刻之后，由于第一列车与第二列车的行驶速度均不超过可碰撞速度，因此两车可以在且仅在允许可碰撞范围内发生碰撞，将第二列车的最高顶棚速度提升至可碰撞速度，降低相邻两车进站停车时间差。

需要说明的是，基于第一列车与第二列车的性能和状态不同，第一时刻与第二列车的停车时刻存在先后顺序，本申请可以按照该先后顺序进行应用场景划分，基于不同应用场景建立不同的第二安全防护模型。

在本申请的一些实施例中，在第一列车处于紧急制动阶段，且第二时刻早于第一时刻的情况下，根据第二列车所处的行车阶段、运行状态信息、距离信息和可碰撞速度，建立第二安全防护模型，包括：在第一列车处于紧急制动阶段，且第一时刻早于第二时刻的情况下，根据第一时刻与第二列车的停车时刻的先后顺序，确定第二列车对应的第二安全防护场景；根据第二列车所处的行车阶段、运行状态信息、距离信息和可碰撞速度，分别建立与每个第二安全防护场景关联的第二安全防护模型。

下面结合图 6 和图 7，通过具体的实施例及其应用场景对本申请实施例提供的第二安全防护模型进行详细地说明。

需要说明的是，在图 6 和图 7 中，曲线①为第二列车在紧急制动建立阶段和紧急制动阶段的安全防护速度-位置曲线，曲线④为第一列车在紧急制动阶段和停车阶段的速度-位置曲线，曲线②为第二列车在惰性阶段和紧急制动阶段的安全防护速度-位置曲线，曲线③为第二列车在牵引阶段和紧急制动阶段的安全防护速度-位置曲线。

在本申请的一些实施例中，图 6 是本申请实施例提供的第四场景的示意图，如图 6 所示，在第一时刻 t'_3 早于停车时刻 t_2 的情况下，第二列车对应的第二安全防护场景为第四场景，与第四场景关联的第二安全防护模型可以为公式（6），公式（6）与图 6 所示曲线①相对应：

$$5 \quad v_f(t) \leq \begin{cases} \frac{s_0 - 0.5(a_{eb}^l - a_{be}^f)t_f^2}{t_f} + v_0^l, t \in [0, t_1] \\ \frac{(a_{eb}^l)^2[0.5(a_{eb}^f - a_{be}^f)t_f^2 + s_0] - 0.5(a_{eb}^l - a_{eb}^f)(v_0^l - v_{col})^2}{a_{eb}^l(v_0^l - v_{col})} \\ + v_0^l - (a_{eb}^f - a_{be}^f)t_f, t \in [t_1, t_3'] \& a_{eb}^l \geq a_{eb}^f \\ v_0^l + \sqrt{(a_{eb}^f - a_{eb}^l)((a_{eb}^f - a_{be}^f)t_f^2 + 2s_0)} - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ t \in [t_1, t_3'] \& a_{eb}^l < a_{eb}^f \\ v_{col}, t \in [t_2', t_2] \end{cases} \quad (6)$$

其中， t 为当前时刻， t_1 为第四时刻，第四时刻为第二列车的紧急制动阶段的开始时刻， t_f 为初始时刻至第四时刻的时长， t_2 为第二列车的停车时刻， t_2' 为第二时刻， t_3' 为第一时刻， $v_f(t)$ 为第二列车在当前时刻的安全防护速度， v_0^l 为第一初始速度， a_{eb}^l 为第一加速度， a_{eb}^f 为第二加速度， a_{be}^f 为第三加速度， s_0 为初始距离， s_p^l 为紧急制动距离， v_{col} 为可碰撞速度。

在一个实施例中，在第四场景中，各个时刻的先后顺序为：第四时刻、第二时刻、第一时刻、停车时刻、第三时刻。

在本申请的一些实施例中，图 7 是本申请实施例提供的第五场景的示意图，如图 7 所示，在停车时刻 t_2 早于第一时刻 t'_3 的情况下，第二列车对应的第二安全防护场景为第五场景，与第五场景关联的第二安全防护模型可以为公式（7），公式（7）与图 7 所示曲线①相对应：

$$v_f(t) \leq \begin{cases} \frac{s_0 - 0.5 * (a_{eb}^l - a_{be}^f) t_f^2}{t_f} + v_0^l, t \in [0, t_1] \\ \frac{a_{eb}^f v_0^l + \sqrt{(a_{eb}^f v_0^l)^2 + 2 * c * (a_{eb}^f)^2 (a_{eb}^l + a_{eb}^f)}}{a_{eb}^l + a_{eb}^f} - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ t \in [t_1, t_2] \& a_{eb}^l \geq a_{eb}^f \\ v_0^l + \sqrt{(a_{eb}^f - a_{eb}^l) ((a_{eb}^f - a_{be}^f) t_f^2 + 2s_0)} - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ t \in [t_1, t_2] \& a_{eb}^l < a_{eb}^f \\ \frac{a_{eb}^l [0.5 * (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f^2 + (s_0 + s_p^l)]}{2(v_0^l - v_{col})} + \frac{a_{eb}^f (v_0^l - v_{col})}{2a_{eb}^l} \\ - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, t \in [t_2, t_3'] \\ v_{col}, t \in [t_2', t_2] \end{cases} \quad (7)$$

其中， t 为当前时刻， t_1 为第四时刻，第四时刻为第二列车的紧急制动阶段的开始时刻， t_f 为初始时刻至第四时刻的时长， t_2 为第二列车的停车时刻， t_3' 为第一时刻， t_2' 为第二时刻， $v_f(t)$ 为第二列车在当前时刻的安全防护速度， v_0^l 为第一初始速度， a_{eb}^l 为第一加速度， a_{eb}^f 为第二加速度， a_{be}^f 为第三加速度， s_0 为初始距离， s_p^l 为紧急制动距离， v_{col} 为可碰撞速度。

在一个实施例中，在第五场景中，各个时刻的先后顺序为：第四时刻、第二时刻、停车时刻、第一时刻、第三时刻。

以上提供的与第四场景或第五场景关联的第二安全防护模型均可以满足公式 (5) 的安全防护条件，因此在不同应用场景下，可以基于与该应用场景关联的第二安全防护模型确定列车安全防护速度，基于该安全防护速度控制第二列车行驶，若第二列车运行速度超过安全防护速度，则施加紧急制动，保证行车安全。

在一个实施例中，在第一场景至第五场景中，第一列车在 t_3 时刻的速度 $v_{t_3}^l = 0$ ，第二列车在 t_1 时刻的速度 $v_{t_1}^f = v_0^f - a_{be}^f * t_f$ 。

在本申请的一些实施例中，模型预测算法，例如模型预测控制 (Model Predictive Control, MPC) 算法可实现某时间域内的对象状态的滚动预测，因此设备可以基于 MPC 的列车自动运行 (Automatic Train Operation, ATO) 控制算法或其他可预测算法，以及当前和前几个周期的列车状态 (速度、加速度) 预测未来若干周期内的状态变化，根据所预测的状态变化判断列车所处的实际行车阶段；基于列车所处的实际行车阶段，对本申请实施例的第一安全防护模型和第二安全防护模型进行扩展，扩展

后的安全防护模型适应于多个应用场景的编组列车的安全防护。该多个应用场景可以包括：第一列车处于紧急制动阶段，第二列车处于牵引阶段或常用制动阶段；第一列车处于紧急制动阶段，第二列车处于惰行阶段；第一列车处于紧急制动阶段，第二列车处于紧急制动建立阶段；第一列车处于紧急制动阶段，第二列车处于紧急制动阶段

针对以上多个应用场景，设备可以根据第一列车紧急制动时间、第一列车减速至可碰撞速度时间、第二列车牵引切除时间、第二列车惰行时间、第二列车紧急制动建立、第二列车紧急制动减速至可碰撞速度的时间、第二列车紧急制动至停车时间，将以上多个应用场景细分为不同的安全防护场景。

需要说明的是，本申请实施例提供的协同编队列车安全防护方法，执行主体可以为协同编队列车安全防护装置，或者该协同编队列车安全防护装置中的用于执行协同编队列车安全防护方法的控制模块。本申请实施例中以协同编队列车安全防护装置执行协同编队列车安全防护的方法为例，说明本申请实施例提供的协同编队列车安全防护装置。下面对协同编队列车安全防护装置进行详细介绍。

图 8 是本申请实施例提供的协同编队列车安全防护装置的结构示意图。如图 8 所示，该协同编队列车安全防护装置 800 可以包括：获取模块 810、建立模块 820、确定模块 830。

其中，获取模块 810，用于获取第一列车与第二列车的运行状态信息和距离信息，以及第一列车和第二列车对应编队的可碰撞速度，其中，第一列车与第二列车为编队中相邻两辆列车；建立模块 820，用于在第一列车处于紧急制动阶段的情况下，根据第二列车所处的行车阶段、运行状态信息、距离信息和可碰撞速度，建立安全防护模型；确定模块 830，用于根据安全防护模型，确定第二列车的安全防护速度，其中，安全防护速度用于第二列车与第一列车不碰撞，或者以不大于可碰撞速度的速度发生碰撞。

在本申请的一些实施例中，第二列车所处的行车阶段包括紧急制动建立阶段和紧急制动阶段，运行状态信息包括第一列车在初始时刻的第一初

始速度、第二列车在初始时刻的第二初始速度、第一列车处于紧急制动阶段的第一加速度、第二列车处于紧急制动阶段的第二加速度、第二列车处于紧急制动建立阶段的第三加速度，距离信息包括第一列车与第二列车在初始时刻的初始距离、第一列车的紧急制动距离。

- 5 在本申请的一些实施例中，在第一列车处于紧急制动阶段的情况下，建立模块 820 具体用于：在第一列车处于紧急制动阶段，且第一时刻早于第二时刻的情况下，根据第二列车所处的行车阶段、运行状态信息、距离信息和可碰撞速度，建立第一安全防护模型；在第一列车处于紧急制动阶段，且第二时刻早于第一时刻的情况下，根据第二列车所处的行车阶段、运行状态信息、距离信息和可碰撞速度，建立第二安全防护模型；其中，
10 第一时刻为第一列车减速至可碰撞速度的时刻，第二时刻为第二列车减速至可碰撞速度的时刻。

- 在本申请的一些实施例中，在第一列车处于紧急制动阶段，且第一时刻早于第二时刻的情况下，建立模块 820 具体用于：在第一列车处于紧急制动阶段，且第一时刻早于第二时刻的情况下，根据第一时刻、第二时刻、第三时刻、第四时刻的先后顺序，确定第二列车对应的第一安全防护场景；根据第二列车所处的行车阶段、运行状态信息、距离信息和可碰撞速度，分别建立与每个第一安全防护场景关联的第一安全防护模型；其中，第三时刻为第一列车的紧急制动阶段的结束时刻，第四时刻为第二列车的紧急制动阶段的开始时刻。
15
20

 在本申请的一些实施例中，在先后顺序为第一时刻、第三时刻、第四时刻、第二时刻的情况下，第二列车对应的第一安全防护场景为第一场景，与第一场景关联的第一安全防护模型包括：

$$v_f(t) \leq \begin{cases} \frac{v_0^l}{2} \left(1 + \frac{a_{be}^f}{a_{eb}^f} + \frac{s_0}{s_p^l} \right), t \in [0, t_3] \\ 0.5 * a_{be}^f * t_f + \frac{s_0 + \frac{(v_0^l)^2}{2 * a_{eb}^f}}{t_f}, t \in [t_3, t_1] \\ \sqrt{(v_{col})^2 + 2 * a_{eb}^f * [0.5 * (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f^2 + (s_0 + s_p^l)]} - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ \quad t \in [t_1, t_2'] \\ v_{col}, t \in [t_2', t_2] \end{cases}$$

- 其中, t 为当前时刻, t_1 为第四时刻, t_f 为初始时刻至第四时刻的时长, t_2 为第二列车的停车时刻, t_3 为第三时刻, t'_2 为第二时刻, $v_f(t)$ 为第二列车在当前时刻的安全防护速度, v_0^l 为第一初始速度, a_{eb}^l 为第一加速度, a_{eb}^f 为第二加速度, a_{be}^f 为第三加速度, s_0 为初始距离, s_p^l 为紧急制动距离, v_{col} 为可碰撞速度。

在本申请的一些实施例中, 在先后顺序为第四时刻、第一时刻、第三时刻、第二时刻的情况下, 第二列车对应的第一安全防护场景为第二场景, 与第二场景关联的第一安全防护模型包括:

$$v_f(t) \leq \begin{cases} \frac{s_0 - 0.5 * (a_{eb}^l - a_{be}^f) t_f^2}{t_f} + v_0^l, t \in [0, t_1] \\ v_0^l + \frac{0.5 a_{eb}^l (a_{eb}^f - a_{be}^f) t_f^2 + a_{eb}^l s_0}{v_0^l} - \frac{0.5 (a_{eb}^l - a_{eb}^f) v_0^l}{a_{eb}^l} - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ t \in [t_1, t_3] \text{ 且 } a_{eb}^l \geq a_{eb}^f \\ v_0^l + \sqrt{(a_{eb}^f - a_{eb}^l) ((a_{eb}^f - a_{be}^f) t_f^2 + 2s_0)} - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ t \in [t_1, t_3] \text{ 且 } a_{eb}^l < a_{eb}^f \\ \sqrt{(v_{col})^2 + 2 * a_{eb}^f * [0.5 * (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f^2 + (s_0 + s_p^l)]} - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ t \in [t_3, t'_2] \\ v_{col}, t \in [t'_2, t_2] \end{cases}$$

- 其中, t 为当前时刻, t_1 为第四时刻, t_f 为初始时刻至第四时刻的时长, t_2 为第二列车的停车时刻, t_3 为第三时刻, t'_2 为第二时刻, $v_f(t)$ 为第二列车在当前时刻的安全防护速度, v_0^l 为第一初始速度, a_{eb}^l 为第一加速度, a_{eb}^f 为第二加速度, a_{be}^f 为第三加速度, s_0 为初始距离, s_p^l 为紧急制动距离, v_{col} 为可碰撞速度, Δ 为 $(a_{be}^f)^2 [v_{col}^2 + 2 (a_{eb}^l + a_{eb}^f) c]$, c 为 $0.5 * (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f^2 - s_0$ 。

在本申请的一些实施例中, 在先后顺序为第四时刻、第一时刻、第二时刻、第三时刻的情况下, 第二列车对应的第一安全防护场景为第三场景, 与第三场景关联的第一安全防护模型包括:

$$v_f(t) \leq \begin{cases} \frac{s_0 - 0.5 * (a_{eb}^l - a_{be}^f) t_f^2}{t_f} + v_0^l, t \in [0, t_1] \\ \frac{2av_{col} + a_{eb}^f v_{col} + \sqrt{\Delta}}{a_{eb}^l + a_{eb}^f} + v_0^l - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f \text{ 且需满足 } av_{col}^2 - (a_{be}^f)^2 c > 0, \\ t \in [t_1, t_2'] \& a_{eb}^l > a_{eb}^f \\ v_{col} + \frac{\sqrt{v_{col}^2 + 4a_{eb}^f [0.5 * (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f^2 + s_0]}}{2} + v_0^l - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ t \in [t_1, t_2'] \& a_{eb}^l = a_{eb}^f \\ v_0^l + \sqrt{(a_{eb}^f - a_{eb}^l) ((a_{eb}^f - a_{be}^f) t_f^2 + 2s_0) - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f}, \\ t \in [t_1, t_2'] \& a_{eb}^l < a_{eb}^f \\ v_{col}, t \in [t_2', t_2] \end{cases}$$

其中, t 为当前时刻, t_1 为第四时刻, t_f 为初始时刻至第四时刻的时长, t_2 为第二列车的停车时刻, t_2' 为第二时刻, $v_f(t)$ 为第二列车在当前时刻的安全防护速度, v_0^l 为第一初始速度, a_{eb}^l 为第一加速度, a_{eb}^f 为第二加速度, a_{be}^f 为第三加速度, s_0 为初始距离, s_p^l 为紧急制动距离, v_{col} 为可碰撞速度, Δ 为 $(a_{be}^f)^2 [v_{col}^2 + 2(a_{eb}^l + a_{eb}^f) c]$, c 为 $0.5 * (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f^2 - s_0$ 。

在本申请的一些实施例中, 第一安全防护模型满足以下条件: 第一列车从初始时刻行驶至第五时刻的行驶距离大于或等于第二列车从初始时刻行驶至第五时刻的行驶距离, 第五时刻为第二时刻之前的任意时刻; 第一列车和第二列车在第六时刻的行驶速度均小于或等于可碰撞速度, 第六时刻为第二时刻至第二列车的停车时刻之间的任意时刻。

在本申请的一些实施例中, 在第一列车处于紧急制动阶段, 且第二时刻早于第一时刻的情况下, 建立模块 820 具体用于: 在第一列车处于紧急制动阶段, 且第一时刻早于第二时刻的情况下, 根据第一时刻与第二列车的停车时刻的先后顺序, 确定第二列车对应的第二安全防护场景; 根据第二列车所处的行车阶段、运行状态信息、距离信息和可碰撞速度, 分别建立与每个第二安全防护场景关联的第二安全防护模型。

在本申请的一些实施例中, 在第一时刻早于停车时刻的情况下, 第二列车对应的第二安全防护场景为第四场景, 与第四场景关联的第二安全防护模型包括:

$$v_f(t) \leq \begin{cases} \frac{s_0 - 0.5 * (a_{eb}^l - a_{be}^f)t_f^2}{t_f} + v_0^l, t \in [0, t_1] \\ \frac{(a_{eb}^l)^2 [0.5(a_{eb}^f - a_{be}^f)t_f^2 + s_0] - 0.5(a_{eb}^l - a_{eb}^f)(v_0^l - v_{col})^2}{a_{eb}^l(v_0^l - v_{col})} \\ + v_0^l - (a_{eb}^f - a_{be}^f)t_f, t \in [t_1, t_3'] \& a_{eb}^l \geq a_{eb}^f \\ v_0^l + \sqrt{(a_{eb}^f - a_{eb}^l)((a_{eb}^f - a_{be}^f)t_f^2 + 2s_0)} - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ t \in [t_1, t_3'] \& a_{eb}^l < a_{eb}^f \\ v_{col}, t \in [t_2', t_2] \end{cases}$$

- 其中, t 为当前时刻, t_1 为第四时刻, 第四时刻为第二列车的紧急制动阶段的开始时刻, t_f 为初始时刻至第四时刻的时长, t_2 为第二列车的停车时刻, t_2' 为第二时刻, t_3' 为第一时刻, $v_f(t)$ 为第二列车在当前时刻的安全防护速度, v_0^l 为第一初始速度, a_{eb}^l 为第一加速度, a_{eb}^f 为第二加速度, a_{be}^f 为第三加速度, s_0 为初始距离, s_p^l 为紧急制动距离, v_{col} 为可碰撞速度。

在本申请的一些实施例中, 在停车时刻早于第一时刻的情况下, 第二列车对应的第二安全防护场景为第五场景, 与第五场景关联的第二安全防护模型包括:

$$v_f(t) \leq \begin{cases} \frac{s_0 - 0.5 * (a_{eb}^l - a_{be}^f)t_f^2}{t_f} + v_0^l, t \in [0, t_1] \\ \frac{a_{eb}^f v_0^l + \sqrt{(a_{eb}^f v_0^l)^2 + 2 * c * (a_{eb}^f)^2 (a_{eb}^l + a_{eb}^f)}}{a_{eb}^l + a_{eb}^f} - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ t \in [t_1, t_2] \& a_{eb}^l \geq a_{eb}^f \\ v_0^l + \sqrt{(a_{eb}^f - a_{eb}^l)((a_{eb}^f - a_{be}^f)t_f^2 + 2s_0)} - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ t \in [t_1, t_2] \& a_{eb}^l < a_{eb}^f \\ \frac{a_{eb}^l [0.5 * (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f^2 + (s_0 + s_p^l)]}{2(v_0^l - v_{col})} + \frac{a_{eb}^f(v_0^l - v_{col})}{2a_{eb}^l} \\ - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, t \in [t_2, t_3'] \\ v_{col}, t \in [t_2', t_2] \end{cases}$$

- 其中, t 为当前时刻, t_1 为第四时刻, 第四时刻为第二列车的紧急制动阶段的开始时刻, t_f 为初始时刻至第四时刻的时长, t_2 为第二列车的停车时刻, t_3' 为第一时刻, t_2' 为第二时刻, $v_f(t)$ 为第二列车在当前时刻的安全防护速度, v_0^l 为第一初始速度, a_{eb}^l 为第一加速度, a_{eb}^f 为第二加速度, a_{be}^f 为第三加速度, s_0 为初始距离, s_p^l 为紧急制动距离, v_{col} 为可碰撞速度。

在本申请的一些实施例中，第三时刻为第一列车的紧急制动阶段的结束时刻，第二安全防护模型满足以下条件：第一列车从初始时刻行驶至第七时刻的行驶距离大于或等于第二列车从初始时刻行驶至第七时刻的行驶距离，第七时刻为第一时刻之前的任意时刻；第一列车和第二列车在第八时刻的行驶速度均小于或等于可碰撞速度，第八时刻为第一时刻至第三时刻之间的任意时刻。

本申请实施例提供的协同编队列车安全防护装置能够实现图 1-图 7 的方法实施例中电子设备所实现的各个过程，并能达到相同的技术效果，为避免重复，这里不再赘述。

10 本申请实施例中的协同编队列车安全防护装置可以是装置，也可以是终端中的部件、集成电路、或芯片。该装置可以是移动电子设备，也可以为非移动电子设备。示例性的，移动电子设备可以为手机、平板电脑、笔记本电脑、掌上电脑、车载电子设备、可穿戴设备、超级移动个人计算机（ultra-mobile personal computer, UMPC）、上网本或者个人数字助理
15 （personal digital assistant, PDA）等，非移动电子设备可以为服务器、网络附属存储器（Network Attached Storage, NAS）、个人计算机（personal computer, PC）、电视机（television, TV）、柜员机或者自助机等，本申请实施例不作具体限定。

本申请实施例中的协同编队列车安全防护装置可以为具有操作系统的装置。该操作系统可以为安卓（Android）操作系统，可以为 iOS 操作系统，还可以为其他可能的操作系统，本申请实施例不作具体限定。

需要说明的是，本申请实施例第一方面提供的协同编队列车安全防护方法，执行主体可以为协同编队列车安全防护设备，或者该协同编队列车安全防护设备中的用于执行协同编队列车安全防护方法的控制模块。

25 图 9 是本申请实施例提供的协同编队列车安全防护设备的硬件结构示意图。

如图 9 所示，本实施例中的协同编队列车安全防护设备 900 可以包括处理器 901 以及存储有计算机程序指令的存储器 902。

具体地，上述处理器 901 可以包括中央处理器（CPU），或者特定集

成电路（Application Specific Integrated Circuit，ASIC），或者可以被配置成实施本申请实施例的一个或多个集成电路。

存储器 902 可以包括用于数据或指令的大容量存储器。举例来说而非限制，存储器 902 可包括硬盘驱动器（Hard Disk Drive，HDD）、软盘驱动器、闪存、光盘、磁光盘、磁带或通用串行总线（Universal Serial Bus，USB）驱动器或者两个或更多个以上这些的组合。在合适的情况下，存储器 902 可包括可移除或不可移除(或固定)的介质。在合适的情况下，存储器 902 可在综合网关容灾设备的内部或外部。在特定实施例中，存储器 902 是非易失性固态存储器。存储器可包括只读存储器（Read-Only Memory，ROM），随机存取存储器（Random Access Memory，RAM），磁盘存储介质设备，光存储介质设备，闪存设备，电气、光学或其他物理/有形的存储器存储设备。因此，通常，存储器包括一个或多个编码有包括计算机可执行指令的软件的有形（非暂态）计算机可读存储介质（例如，存储器设备），并且当该软件被执行（例如，由一个或多个处理器）时，其可操作来执行参考根据本申请实施例的方法所描述的操作。

处理器 901 通过读取并执行存储器 902 中存储的计算机程序指令，以实现上述实施例中的任意一种协同编队列车安全防护方法。

在一个示例中，协同编队列车安全防护设备 900 还可以包括通信接口 903 和总线 910。其中，如图 9 所示，处理器 901、存储器 902、通信接口 903 通过总线 910 连接并完成相互间的通信。

通信接口 903，主要用于实现本申请实施例中各模块、装置、单元和/或设备之间的通信。

总线 910 包括硬件、软件或两者，将在线数据流量计费设备的部件彼此耦接在一起。举例来说而非限制，总线可包括加速图形端口（AGP）或其他图形总线、增强工业标准架构（EISA）总线、前端总线（FSB）、超传输（HT）互连、工业标准架构（ISA）总线、无限带宽互连、低引脚数（LPC）总线、存储器总线、微信道架构（MCA）总线、外围组件互连（PCI）总线、PCI-Express（PCI-X）总线、串行高级技术附件（SATA）总线、视频电子标准协会局部（VLB）总线或其他合适的总线或者两个或

更多个以上这些的组合。在合适的情况下，总线 910 可包括一个或多个总线。尽管本申请实施例描述和示出了特定的总线，但本申请考虑任何合适的总线或互连。

本申请实施例提供的协同编队列车安全防护设备，能够实现图 1-图 7 的方法实施例中协同编队列车安全防护设备所实现的各个过程，并能达到相同的技术效果，为避免重复，在此不再赘述。

结合上述实施例中的协同编队列车安全防护方法，本申请实施例可提供一种协同编队列车安全防护系统，该协同编队列车安全防护系统包括上述实施例中的协同编队列车安全防护设备。协同编队列车安全防护设备的具体内容可参见上述实施例中的相关说明，在此不再赘述。

另外，结合上述实施例中的协同编队列车安全防护方法，本申请实施例可提供一种计算机存储介质来实现。该计算机存储介质上存储有计算机程序指令；该计算机程序指令被处理器执行时实现上述实施例中的任意一种协同编队列车安全防护方法的步骤。计算机存储介质的示例包括非暂态存储介质，如电子电路、半导体存储器设备、ROM、闪存、软盘、CD-ROM、光盘、或其他物理/有形的存储介质。

需要明确的是，本申请并不局限于上文所描述并在图中示出的特定配置和处理。为了简明起见，这里省略了对已知方法的详细描述。在上述实施例中，描述和示出了若干具体的步骤作为示例。但是，本申请的方法过程并不限于所描述和示出的具体步骤，本领域的技术人员可以在领会本申请的精神后，做出各种改变、修改和添加，或者改变步骤之间的顺序。

以上所述的结构框图中所示的功能块可以实现为硬件、软件、固件或者它们的组合。当以硬件方式实现时，其可以例如是电子电路、专用集成电路（Application Specific Integrated Circuit，ASIC）、适当的固件、插件、功能卡等等。当以软件方式实现时，本申请的元素是被用于执行所需任务的程序或者代码段。程序或者代码段可以存储在机器可读介质中，或者通过载波中携带的数据信号在传输介质或者通信链路上传送。“机器可读介质”可以包括能够存储或传输信息的任何介质。机器可读介质的例子包括电子电路、半导体存储器设备、ROM、闪存、可擦除 ROM（EROM）、

软盘、CD-ROM、光盘、硬盘、光纤介质、射频（RF）链路，等等。代码段可以经由诸如因特网、内联网等的计算机网络被下载。

还需要说明的是，本申请中提及的示例性实施例，基于一系列的步骤或者装置描述一些方法或系统。但是，本申请不局限于上述步骤的顺序，
5 也就是说，可以按照实施例中提及的顺序执行步骤，也可以不同于实施例中的顺序，或者若干步骤同时执行。

上面参考根据本公开的实施例的方法、装置（系统）和计算机程序产品的流程图和/或框图描述了本公开的各方面。应当理解，流程图和/或框图中的每个方框以及流程图和/或框图中各方框的组合可以由计算机程序指令实现。这些计算机程序指令可被提供给通用计算机、专用计算机、或其它
10 其它可编程数据处理装置的处理器，以产生一种机器，使得经由计算机或其它可编程数据处理装置的处理器执行的这些指令使能对流程图和/或框图的一个或多个方框中指定的功能/动作的实现。这种处理器可以是但不限于是通用处理器、专用处理器、特殊应用处理器或者现场可编程逻辑电路。还可理解，框图和/或流程图中的每个方框以及框图和/或流程图中的方框的
15 组合，也可以由执行指定的功能或动作的专用硬件来实现，或可由专用硬件和计算机指令的组合来实现。

以上所述，仅为本申请的具体实施方式，所属领域的技术人员可以清楚地了解到，为了描述的方便和简洁，上述描述的系统、模块和单元的具体工作过程，可以参考前述方法实施例中的对应过程，在此不再赘述。应
20 理解，本申请的保护范围并不局限于此，任何熟悉本技术领域的技术人员在本申请揭露的技术范围内，可轻易想到各种等效的修改或替换，这些修改或替换都应涵盖在本申请的保护范围之内。

权 利 要 求 书

1.一种协同编队列车安全防护方法，包括：

获取第一列车与第二列车的运行状态信息和距离信息，以及所述第一列车和第二列车对应编队的可碰撞速度，其中，所述第一列车与所述第二列车为所述编队中相邻两辆列车；

在所述第一列车处于紧急制动阶段的情况下，根据所述第二列车所处的行车阶段、所述运行状态信息、距离信息和所述可碰撞速度，建立安全防护模型；

根据所述安全防护模型，确定所述第二列车的安全防护速度，其中，所述安全防护速度用于所述第二列车与所述第一列车不碰撞，或者以不大于所述可碰撞速度的速度发生碰撞。

2.根据权利要求 1 所述的方法，其中，所述第二列车所处的行车阶段包括紧急制动建立阶段和紧急制动阶段，所述运行状态信息包括所述第一列车在初始时刻的第一初始速度、所述第二列车在所述初始时刻的第二初始速度、第一列车处于紧急制动阶段的第一加速度、第二列车处于紧急制动阶段的第二加速度、所述第二列车处于紧急制动建立阶段的第三加速度，所述距离信息包括所述第一列车与所述第二列车在初始时刻的初始距离、所述第一列车的紧急制动距离。

3.根据权利要求 2 所述的方法，其中，在所述第一列车处于紧急制动阶段的情况下，根据所述第二列车所处的行车阶段、所述运行状态信息、距离信息和所述可碰撞速度，建立安全防护模型，包括：

在所述第一列车处于紧急制动阶段，且第一时刻早于第二时刻的情况下，根据所述第二列车所处的行车阶段、所述运行状态信息、距离信息和所述可碰撞速度，建立第一安全防护模型；

在所述第一列车处于紧急制动阶段，且所述第二时刻早于所述第一时刻的情况下，根据所述第二列车所处的行车阶段、所述运行状态信息、距离信息和所述可碰撞速度，建立第二安全防护模型，

其中，所述第一时刻为所述第一列车减速至所述可碰撞速度的时刻，所述第二时刻为所述第二列车减速至所述可碰撞速度的时刻。

4.根据权利要求 3 所述的方法,其中,在所述第一列车处于紧急制动阶段,且第一时刻早于第二时刻的情况下,根据所述第二列车所处的行车阶段、所述运行状态信息、距离信息和所述可碰撞速度,建立第一安全防护模型,包括:

- 5 在所述第一列车处于紧急制动阶段,且第一时刻早于第二时刻的情况下,根据所述第一时刻、所述第二时刻、第三时刻、第四时刻的先后顺序,确定所述第二列车对应的第一安全防护场景;

根据所述第二列车所处的行车阶段、所述运行状态信息、距离信息和所述可碰撞速度,分别建立与每个所述第一安全防护场景关联的第一安全防护模型,

其中,所述第三时刻为所述第一列车的紧急制动阶段的结束时刻,所述第四时刻为所述第二列车的紧急制动阶段的开始时刻。

- 5.根据权利要求 4 所述的方法,其中,在所述先后顺序为第一时刻、第三时刻、第四时刻、第二时刻的情况下,所述第二列车对应的第一安全防护场景为第一场景,与所述第一场景关联的第一安全防护模型包括:

$$v_f(t) \leq \begin{cases} \frac{v_0^l}{2} \left(1 + \frac{a_{be}^f}{a_{eb}^l} + \frac{s_0}{s_p^l} \right), t \in [0, t_3] \\ 0.5 * a_{be}^f * t_f + \frac{s_0 + \frac{(v_0^l)^2}{2 * a_{eb}^l}}{t_f}, t \in [t_3, t_1] \\ \sqrt{(v_{col})^2 + 2 * a_{eb}^f * [0.5 * (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f^2 + (s_0 + s_p^l)]} - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ \quad t \in [t_1, t_2'] \\ v_{col}, t \in [t_2', t_2] \end{cases}$$

- 其中, t 为当前时刻, t_1 为所述第四时刻, t_f 为所述初始时刻至所述第四时刻的时长, t_2 为所述第二列车的停车时刻, t_3 为所述第三时刻, t_2' 为所述第二时刻, $v_f(t)$ 为所述第二列车在当前时刻的安全防护速度, v_0^l 为所述第一初始速度, a_{eb}^l 为所述第一加速度, a_{eb}^f 为所述第二加速度, a_{be}^f 为所述第三加速度, s_0 为所述初始距离, s_p^l 为所述紧急制动距离, v_{col} 为所述可碰撞速度。

6.根据权利要求 4 所述的方法,其中,在所述先后顺序为第四时刻、第一时刻、第三时刻、第二时刻的情况下,所述第二列车对应的第一安全

防护场景为第二场景，与所述第二场景关联的第一安全防护模型包括：

$$v_f(t) \leq \begin{cases} \frac{s_0 - 0.5 * (a_{eb}^l - a_{be}^f)t_f^2}{t_f} + v_0^l, t \in [0, t_1] \\ v_0^l + \frac{0.5a_{eb}^l(a_{eb}^f - a_{be}^f)t_f^2 + a_{eb}^l s_0}{v_0^l} - \frac{0.5(a_{eb}^l - a_{eb}^f)v_0^l}{a_{eb}^l} - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ t \in [t_1, t_3] \text{ 且 } a_{eb}^l \geq a_{eb}^f \\ v_0^l + \sqrt{(a_{eb}^f - a_{eb}^l)((a_{eb}^f - a_{be}^f)t_f^2 + 2s_0)} - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ t \in [t_1, t_3] \text{ 且 } a_{eb}^l < a_{eb}^f \\ \sqrt{(v_{col})^2 + 2 * a_{eb}^f * [0.5 * (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f^2 + (s_0 + s_p^l)]} - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ t \in [t_3, t_2'] \\ v_{col}, t \in [t_2', t_2] \end{cases}$$

- 其中， t 为当前时刻， t_1 为所述第四时刻， t_f 为所述初始时刻至所述第四时刻的时长， t_2 为所述第二列车的停车时刻， t_3 为所述第三时刻， t_2' 为所述第二时刻， $v_f(t)$ 为所述第二列车在当前时刻的安全防护速度， v_0^l 为所述第一初始速度， a_{eb}^l 为所述第一加速度， a_{eb}^f 为所述第二加速度， a_{be}^f 为所述第三加速度， s_0 为所述初始距离， s_p^l 为所述紧急制动距离， v_{col} 为所述可碰撞速度。

7. 根据权利要求 4 所述的方法，其中，在所述先后顺序为第四时刻、
10 第一时刻、第二时刻、第三时刻的情况下，所述第二列车对应的第一安全防护场景为第三场景，与所述第三场景关联的第一安全防护模型包括：

$$v_f(t) \leq \begin{cases} \frac{s_0 - 0.5 * (a_{eb}^l - a_{be}^f)t_f^2}{t_f} + v_0^l, t \in [0, t_1] \\ \frac{2av_{col} + a_{eb}^f v_{col} + \sqrt{\Delta}}{a_{eb}^l + a_{eb}^f} + v_0^l - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f \text{ 且需满足 } av_{col}^2 - (a_{be}^f)^2 c > 0, \\ t \in [t_1, t_2'] \text{ 且 } a_{eb}^l > a_{eb}^f \\ v_{col} + \frac{\sqrt{v_{col}^2 + 4a_{eb}^f[0.5 * (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f^2 + s_0]}}{2} + v_0^l - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ t \in [t_1, t_2'] \text{ 且 } a_{eb}^l = a_{eb}^f \\ v_0^l + \sqrt{(a_{eb}^f - a_{eb}^l)((a_{eb}^f - a_{be}^f)t_f^2 + 2s_0)} - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ t \in [t_1, t_2'] \text{ 且 } a_{eb}^l < a_{eb}^f \\ v_{col}, t \in [t_2', t_2] \end{cases}$$

其中， t 为当前时刻， t_1 为所述第四时刻， t_f 为所述初始时刻至所述第

四时刻的时长, t_2 为所述第二列车的停车时刻, t'_2 为所述第二时刻, $v_f(t)$ 为所述第二列车在当前时刻的安全防护速度, v_0^l 为所述第一初始速度, a_{eb}^l 为所述第一加速度, a_{eb}^f 为所述第二加速度, a_{be}^f 为所述第三加速度, s_0 为所述初始距离, s_p^l 为所述紧急制动距离, v_{col} 为所述可碰撞速度, Δ 为

5 $(a_{be}^f)^2 [v_{col}^2 + 2(a_{eb}^l + a_{eb}^f)c]$, c 为 $0.5 * (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f^2 - s_0$ 。

8. 根据权利要求 5-7 任意一项所述的方法, 其中, 所述第一安全防护模型满足以下条件:

所述第一列车从初始时刻行驶至第五时刻的行驶距离大于或等于所述第二列车从初始时刻行驶至第五时刻的行驶距离, 所述第五时刻为所述第二时刻之前的任意时刻;

10

所述第一列车和所述第二列车在第六时刻的行驶速度均小于或等于所述可碰撞速度, 所述第六时刻为所述第二时刻至所述第二列车的停车时刻之间的任意时刻。

9. 根据权利要求 4 所述的方法, 其中, 在所述第一列车处于紧急制动阶段, 且所述第二时刻早于所述第一时刻的情况下, 根据所述第二列车所处的行车阶段、所述运行状态信息、距离信息和所述可碰撞速度, 建立第二安全防护模型, 包括:

15

在所述第一列车处于紧急制动阶段, 且第一时刻早于第二时刻的情况下, 根据所述第一时刻与第二列车的停车时刻的先后顺序, 确定所述第二列车对应的第二安全防护场景;

20

根据所述第二列车所处的行车阶段、所述运行状态信息、距离信息和所述可碰撞速度, 分别建立与每个所述第二安全防护场景关联的第二安全防护模型。

10. 根据权利要求 9 所述的方法, 其中, 在所述第一时刻早于所述停车时刻的情况下, 所述第二列车对应的第二安全防护场景为第四场景, 与所述第四场景关联的第二安全防护模型包括:

25

$$v_f(t) \leq \begin{cases} \frac{s_0 - 0.5 * (a_{eb}^l - a_{be}^f)t_f^2}{t_f} + v_0^l, t \in [0, t_1] \\ \frac{(a_{eb}^l)^2 [0.5(a_{eb}^f - a_{be}^f)t_f^2 + s_0] - 0.5(a_{eb}^l - a_{eb}^f)(v_0^l - v_{col})^2}{a_{eb}^l(v_0^l - v_{col})} \\ + v_0^l - (a_{eb}^f - a_{be}^f)t_f, t \in [t_1, t_3'] \& a_{eb}^l \geq a_{eb}^f \\ v_0^l + \sqrt{(a_{eb}^f - a_{eb}^l)((a_{eb}^f - a_{be}^f)t_f^2 + 2s_0)} - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ t \in [t_1, t_3'] \& a_{eb}^l < a_{eb}^f \\ v_{col}, t \in [t_2', t_2] \end{cases}$$

其中, t 为当前时刻, t_1 为第四时刻, 所述第四时刻为所述第二列车的紧急制动阶段的开始时刻, t_f 为所述初始时刻至所述第四时刻的时长, t_2 为所述第二列车的停车时刻, t_2' 为所述第二时刻, t_3' 为所述第一时刻,

- 5 $v_f(t)$ 为所述第二列车在当前时刻的安全防护速度, v_0^l 为所述第一初始速度, a_{eb}^l 为所述第一加速度, a_{eb}^f 为所述第二加速度, a_{be}^f 为所述第三加速度, s_0 为所述初始距离, s_p^l 为所述紧急制动距离, v_{col} 为所述可碰撞速度。

11. 根据权利要求 9 所述的方法, 其中, 在所述停车时刻早于所述第一时刻的情况下, 所述第二列车对应的第二安全防护场景为第五场景, 与所
10 述第五场景关联的第二安全防护模型包括:

$$v_f(t) \leq \begin{cases} \frac{s_0 - 0.5 * (a_{eb}^l - a_{be}^f)t_f^2}{t_f} + v_0^l, t \in [0, t_1] \\ \frac{a_{eb}^f v_0^l + \sqrt{(a_{eb}^f v_0^l)^2 + 2 * c * (a_{eb}^f)^2 (a_{eb}^l + a_{eb}^f)}}{a_{eb}^l + a_{eb}^f} - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ t \in [t_1, t_2] \& a_{eb}^l \geq a_{eb}^f \\ v_0^l + \sqrt{(a_{eb}^f - a_{eb}^l)((a_{eb}^f - a_{be}^f)t_f^2 + 2s_0)} - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ t \in [t_1, t_2] \& a_{eb}^l < a_{eb}^f \\ \frac{a_{eb}^l [0.5 * (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f^2 + (s_0 + s_p^l)]}{2(v_0^l - v_{col})} + \frac{a_{eb}^f (v_0^l - v_{col})}{2a_{eb}^l} \\ - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, t \in [t_2, t_3'] \\ v_{col}, t \in [t_2', t_2] \end{cases}$$

其中, t 为当前时刻, t_1 为第四时刻, 所述第四时刻为所述第二列车的紧急制动阶段的开始时刻, t_f 为所述初始时刻至所述第四时刻的时长, t_2 为所述第二列车的停车时刻, t_3' 为所述第一时刻, t_2' 为所述第二时刻,

- 15 $v_f(t)$ 为所述第二列车在当前时刻的安全防护速度, v_0^l 为所述第一初始速度,

a_{eb}^l 为所述第一加速度, a_{eb}^f 为所述第二加速度, a_{be}^f 为所述第三加速度, s_0 为所述初始距离, s_p^l 为所述紧急制动距离, v_{col} 为所述可碰撞速度。

12.根据权利要求 9-11 任意一项所述的方法, 其中, 所述第三时刻为所述第一列车的紧急制动阶段的结束时刻, 所述第二安全防护模型满足以下
5 条件:

所述第一列车从初始时刻行驶至第七时刻的行驶距离大于或等于所述第二列车从初始时刻行驶至第七时刻的行驶距离, 所述第七时刻为所述第一时刻之前的任意时刻;

所述第一列车和所述第二列车在第八时刻的行驶速度均小于或等于所述可碰撞速度, 所述第八时刻为所述第一时刻至所述第三时刻之间的任意
10 时刻。

13.一种协同编队列车安全防护装置, 包括:

获取模块, 用于获取第一列车与第二列车的运行状态信息和距离信息, 以及所述第一列车和第二列车对应编队的可碰撞速度, 其中, 所述第一列
15 车与所述第二列车为所述编队中相邻两辆列车;

建立模块, 用于在所述第一列车处于紧急制动阶段的情况下, 根据所述第二列车所处的行车阶段、所述运行状态信息、距离信息和所述可碰撞速度, 建立安全防护模型;

确定模块, 用于根据所述安全防护模型, 确定所述第二列车的安全防护速度, 其中, 所述安全防护速度用于所述第二列车与所述第一列车不碰撞, 或者以不大于所述可碰撞速度的速度发生碰撞。
20

14.根据权利要求 13 所述的装置, 其中, 所述第二列车所处的行车阶段包括紧急制动建立阶段和紧急制动阶段, 所述运行状态信息包括所述第一列车在初始时刻的第一初始速度、所述第二列车在所述初始时刻的第二
25 初始速度、第一列车处于紧急制动阶段的第一加速度、第二列车处于紧急制动阶段的第二加速度、所述第二列车处于紧急制动建立阶段的第三加速度, 所述距离信息包括所述第一列车与所述第二列车在初始时刻的初始距离、所述第一列车的紧急制动距离。

15.根据权利要求 14 所述的装置, 其中, 所述建立模块具体用于:

在所述第一列车处于紧急制动阶段，且第一时刻早于第二时刻的情况下，根据所述第二列车所处的行车阶段、所述运行状态信息、距离信息和所述可碰撞速度，建立第一安全防护模型；

在所述第一列车处于紧急制动阶段，且所述第二时刻早于所述第一时刻的情况下，根据所述第二列车所处的行车阶段、所述运行状态信息、距离信息和所述可碰撞速度，建立第二安全防护模型，

其中，所述第一时刻为所述第一列车减速至所述可碰撞速度的时刻，所述第二时刻为所述第二列车减速至所述可碰撞速度的时刻。

16.根据权利要求 15 所述的装置，其中，所述建立模块具体用于：

10 在所述第一列车处于紧急制动阶段，且第一时刻早于第二时刻的情况下，根据所述第一时刻、所述第二时刻、第三时刻、第四时刻的先后顺序，确定所述第二列车对应的第一安全防护场景；

根据所述第二列车所处的行车阶段、所述运行状态信息、距离信息和所述可碰撞速度，分别建立与每个所述第一安全防护场景关联的第一安全防护模型，

其中，所述第三时刻为所述第一列车的紧急制动阶段的结束时刻，所述第四时刻为所述第二列车的紧急制动阶段的开始时刻。

17.根据权利要求 16 所述的装置，其中，在所述先后顺序为第一时刻、第三时刻、第四时刻、第二时刻的情况下，所述第二列车对应的第一安全防护场景为第一场景，与所述第一场景关联的第一安全防护模型包括：

$$v_f(t) \leq \begin{cases} \frac{v_0^l}{2} \left(1 + \frac{a_{be}^f}{a_{eb}^f} + \frac{s_0}{s_p^l} \right), t \in [0, t_3] \\ 0.5 * a_{be}^f * t_f + \frac{s_0 + \frac{(v_0^l)^2}{2 * a_{eb}^f}}{t_f}, t \in [t_3, t_1] \\ \sqrt{(v_{col})^2 + 2 * a_{eb}^f * [0.5 * (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f^2 + (s_0 + s_p^l)]} - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ \quad t \in [t_1, t_2'] \\ v_{col}, t \in [t_2', t_2] \end{cases}$$

其中， t 为当前时刻， t_1 为所述第四时刻， t_f 为所述初始时刻至所述第四时刻的时长， t_2 为所述第二列车的停车时刻， t_3 为所述第三时刻， t_2' 为所述第二时刻， $v_f(t)$ 为所述第二列车在当前时刻的安全防护速度， v_0^l 为所

述第一初始速度, a_{eb}^l 为所述第一加速度, a_{eb}^f 为所述第二加速度, a_{be}^f 为所述第三加速度, s_0 为所述初始距离, s_p^l 为所述紧急制动距离, v_{col} 为所述可碰撞速度。

18. 根据权利要求 16 所述的装置, 其中, 在所述先后顺序为第四时刻、
5 第一时刻、第三时刻、第二时刻的情况下, 所述第二列车对应的第一安全防护场景为第二场景, 与所述第二场景关联的第一安全防护模型包括:

$$v_f(t) \leq \begin{cases} \frac{s_0 - 0.5 * (a_{eb}^l - a_{be}^f)t_f^2}{t_f} + v_0^l, t \in [0, t_1] \\ v_0^l + \frac{0.5a_{eb}^l(a_{eb}^f - a_{be}^f)t_f^2 + a_{eb}^l s_0}{v_0^l} - \frac{0.5(a_{eb}^l - a_{eb}^f)v_0^l}{a_{eb}^l} - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ \quad t \in [t_1, t_3] \text{ 且 } a_{eb}^l \geq a_{eb}^f \\ v_0^l + \sqrt{(a_{eb}^f - a_{eb}^l)((a_{eb}^f - a_{be}^f)t_f^2 + 2s_0)} - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ \quad t \in [t_1, t_3] \text{ 且 } a_{eb}^l < a_{eb}^f \\ \sqrt{(v_{col})^2 + 2 * a_{eb}^f * [0.5 * (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f^2 + (s_0 + s_p^l)]} - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ \quad t \in [t_3, t_2'] \\ v_{col}, t \in [t_2', t_2] \end{cases}$$

- 其中, t 为当前时刻, t_1 为所述第四时刻, t_f 为所述初始时刻至所述第四时刻的时长, t_2 为所述第二列车的停车时刻, t_3 为所述第三时刻, t_2' 为
10 所述第二时刻, $v_f(t)$ 为所述第二列车在当前时刻的安全防护速度, v_0^l 为所述第一初始速度, a_{eb}^l 为所述第一加速度, a_{eb}^f 为所述第二加速度, a_{be}^f 为所述第三加速度, s_0 为所述初始距离, s_p^l 为所述紧急制动距离, v_{col} 为所述可碰撞速度。

19. 根据权利要求 16 所述的装置, 其中, 在所述先后顺序为第四时刻、
15 第一时刻、第二时刻、第三时刻的情况下, 所述第二列车对应的第一安全防护场景为第三场景, 与所述第三场景关联的第一安全防护模型包括:

$$v_f(t) \leq \begin{cases} \frac{s_0 - 0.5 * (a_{eb}^l - a_{be}^f) t_f^2}{t_f} + v_0^l, t \in [0, t_1] \\ \frac{2av_{col} + a_{eb}^f v_{col} + \sqrt{\Delta}}{a_{eb}^l + a_{eb}^f} + v_0^l - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f \text{ 且需满足 } av_{col}^2 - (a_{be}^f)^2 c > 0, \\ t \in [t_1, t_2'] \& a_{eb}^l > a_{eb}^f \\ v_{col} + \frac{\sqrt{v_{col}^2 + 16a_{eb}^f [0.5 * (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f^2 + s_0]}}{2} + v_0^l - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ t \in [t_1, t_2'] \& a_{eb}^l = a_{eb}^f \\ v_0^l + \sqrt{(a_{eb}^f - a_{eb}^l) \left((a_{eb}^f - a_{be}^f) t_f^2 + 2s_0 \right) - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f}, \\ t \in [t_1, t_2'] \& a_{eb}^l < a_{eb}^f \\ v_{col}, t \in [t_2', t_2] \end{cases}$$

其中, t 为当前时刻, t_1 为所述第四时刻, t_f 为所述初始时刻至所述第四时刻的时长, t_2 为所述第二列车的停车时刻, t_2' 为所述第二时刻, $v_f(t)$ 为所述第二列车在当前时刻的安全防护速度, v_0^l 为所述第一初始速度, a_{eb}^l 为所述第一加速度, a_{eb}^f 为所述第二加速度, a_{be}^f 为所述第三加速度, s_0 为所述初始距离, s_p^l 为所述紧急制动距离, v_{col} 为所述可碰撞速度, Δ 为 $(a_{be}^f)^2 [v_{col}^2 + 2(a_{eb}^l + a_{eb}^f) c]$, c 为 $0.5 * (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f^2 - s_0$ 。

20. 根据权利要求 17-19 任意一项所述的装置, 其中, 所述第一安全防护模型满足以下条件:

- 10 所述第一列车从初始时刻行驶至第五时刻的行驶距离大于或等于所述第二列车从初始时刻行驶至第五时刻的行驶距离, 所述第五时刻为所述第二时刻之前的任意时刻;

所述第一列车和所述第二列车在第六时刻的行驶速度均小于或等于所述可碰撞速度, 所述第六时刻为所述第二时刻至所述第二列车的停车时刻之间的任意时刻。

21. 根据权利要求 16 所述的装置, 其中, 所述建立模块具体用于:

在所述第一列车处于紧急制动阶段, 且第一时刻早于第二时刻的情况下, 根据所述第一时刻与第二列车的停车时刻的先后顺序, 确定所述第二列车对应的第二安全防护场景;

- 20 根据所述第二列车所处的行车阶段、所述运行状态信息、距离信息和所述可碰撞速度, 分别建立与每个所述第二安全防护场景关联的第二安全

防护模型。

22.根据权利要求 21 所述的装置, 其中, 在所述第一时刻早于所述停车时刻的情况下, 所述第二列车对应的第二安全防护场景为第四场景, 与所述第四场景关联的第二安全防护模型包括:

$$5 \quad v_f(t) \leq \begin{cases} \frac{s_0 - 0.5 * (a_{eb}^l - a_{be}^f) t_f^2}{t_f} + v_0^l, t \in [0, t_1] \\ \frac{(a_{eb}^l)^2 [0.5(a_{eb}^f - a_{be}^f) t_f^2 + s_0] - 0.5(a_{eb}^l - a_{eb}^f)(v_0^l - v_{col})^2}{a_{eb}^l(v_0^l - v_{col})} \\ + v_0^l - (a_{eb}^f - a_{be}^f) t_f, t \in [t_1, t_3'] \& a_{eb}^l \geq a_{eb}^f \\ v_0^l + \sqrt{(a_{eb}^f - a_{eb}^l)((a_{eb}^f - a_{be}^f) t_f^2 + 2s_0)} - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ t \in [t_1, t_3'] \& a_{eb}^l < a_{eb}^f \\ v_{col}, t \in [t_2', t_2] \end{cases}$$

其中, t 为当前时刻, t_1 为第四时刻, 所述第四时刻为所述第二列车的紧急制动阶段的开始时刻, t_f 为所述初始时刻至所述第四时刻的时长, t_2 为所述第二列车的停车时刻, t_2' 为所述第二时刻, t_3' 为所述第一时刻, $v_f(t)$ 为所述第二列车在当前时刻的安全防护速度, v_0^l 为所述第一初始速度, a_{eb}^l 为所述第一加速度, a_{eb}^f 为所述第二加速度, a_{be}^f 为所述第三加速度, s_0 为所述初始距离, s_p^l 为所述紧急制动距离, v_{col} 为所述可碰撞速度。

23.根据权利要求 21 所述的装置, 其中, 在所述停车时刻早于所述第一时刻的情况下, 所述第二列车对应的第二安全防护场景为第五场景, 与所述第五场景关联的第二安全防护模型包括:

$$15 \quad v_f(t) \leq \begin{cases} \frac{s_0 - 0.5 * (a_{eb}^l - a_{be}^f) t_f^2}{t_f} + v_0^l, t \in [0, t_1] \\ \frac{a_{eb}^f v_0^l + \sqrt{(a_{eb}^f v_0^l)^2 + 2 * c * (a_{eb}^f)^2 (a_{eb}^l + a_{eb}^f)}}{a_{eb}^l + a_{eb}^f} - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ t \in [t_1, t_2] \& a_{eb}^l \geq a_{eb}^f \\ v_0^l + \sqrt{(a_{eb}^f - a_{eb}^l)((a_{eb}^f - a_{be}^f) t_f^2 + 2s_0)} - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, \\ t \in [t_1, t_2] \& a_{eb}^l < a_{eb}^f \\ \frac{a_{eb}^l [0.5 * (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f^2 + (s_0 + s_p^l)]}{2(v_0^l - v_{col})} + \frac{a_{eb}^f (v_0^l - v_{col})}{2a_{eb}^l} \\ - (a_{eb}^f - a_{be}^f) * t_f, t \in [t_2, t_3'] \\ v_{col}, t \in [t_2', t_2] \end{cases}$$

其中, t 为当前时刻, t_1 为第四时刻, 所述第四时刻为所述第二列车的紧急制动阶段的开始时刻, t_f 为所述初始时刻至所述第四时刻的时长, t_2 为所述第二列车的停车时刻, t'_3 为所述第一时刻, t'_2 为所述第二时刻, $v_f(t)$ 为所述第二列车在当前时刻的安全防护速度, v_0^l 为所述第一初始速度, a_{eb}^l 为所述第一加速度, a_{eb}^f 为所述第二加速度, a_{be}^f 为所述第三加速度, s_0 为所述初始距离, s_p^l 为所述紧急制动距离, v_{col} 为所述可碰撞速度。

24. 根据权利要求 21-23 中任意一项所述的装置, 其中, 所述第三时刻为所述第一列车的紧急制动阶段的结束时刻, 所述第二安全防护模型满足以下条件:

10 所述第一列车从初始时刻行驶至第七时刻的行驶距离大于或等于所述第二列车从初始时刻行驶至第七时刻的行驶距离, 所述第七时刻为所述第一时刻之前的任意时刻;

所述第一列车和所述第二列车在第八时刻的行驶速度均小于或等于所述可碰撞速度, 所述第八时刻为所述第一时刻至所述第三时刻之间的任意
15 时刻。

25. 一种协同编队列车安全防护设备, 包括处理器, 存储器及存储在所述存储器上并在所述处理器上运行的程序或指令, 所述程序或指令被所述处理器执行时实现如权利要求 1-12 任意一项所述的协同编队列车安全防护方法的步骤。

20 26. 一种协同编队列车安全防护系统, 包括如权利要求 14 所述的协同编队列车安全防护设备。

27. 一种计算机可读存储介质, 所述计算机可读存储介质上存储有计算机程序指令, 所述计算机程序指令被处理器执行时实现如权利要求 1-12 任意一项所述的协同编队列车安全防护方法的步骤。