

一种大气污染环境下列车运行防护方法及系统

技术领域

本发明特别涉及一种大气污染环境下列车运行防护方法及系统。

背景技术

5 高速列车近年来在我国飞速发展，作为资源型和环境友好型的运输方式之一，加快建设高速列车发展现在已经成为社会各方面的共识。它已成为我国国民经济发展的动脉，兼具安全、经济、便民等特点。这些特点决定了它向大众化交通工具方面的转变，在我国综合交通体系中处于骨干地位。

10 但是，随着高速列车运行网络的扩展和运行里程的逐年增加，一些问题也随之暴露，其中大气污染环境对高速列车裸露关键部件的危害问题尤为突出。当列车运行环境中的 SO_2 、 NO_2 等含量过高时，可能导致受电弓部件、接触网络、转向架等裸露关键部件点蚀、腐蚀问题加剧，从而减少裸露关键部件的使用寿命，造成经济损失。

发明内容

15 本发明的目的在于，提供一种大气污染环境下列车运行防护方法及系统，对列车关键部件在大气污染环境下的裸露状况进行评估，并进行相关防护措施，保证列车关键部件的正常使用寿命。

为解决上述技术问题，本发明所采用的技术方案是：

一种大气污染环境下列车运行防护方法，其特点是包括以下步骤：

20 步骤 1，采集多组车顶空气品质检测数据和车底空气品质检测数据，并计算列车从始发站时刻点至当前时刻点的运行时间内车顶和车底的各污染物的平均浓度数据；

 步骤 2，利用步骤 1 中的车顶空气品质检测数据求得车顶空气综合评价指标 Q_0 ，利用步骤 1 中的车底空气品质检测数据求得车底空气综合评价指标 Q_1 ；

25 步骤 3，计算车顶部件在满足 $Q_0 \geq Q$ 条件下的暴露时间 T_0 ，计算车底部件在满足 $Q_1 \geq Q$ 条件下的暴露时间 T_1 ；其中， Q 为设定的空气品质综合评价指标健康值；

 步骤 4，

按照下述方法训练车顶部件污染物状态计算模型：

以步骤 1 中计算的列车从始发站时刻点至当前时刻点的运行时间内车顶的各污染物的平均浓度数据以及步骤 3 中对应求得的 T_0 为试验模拟条件，对列车进行模拟运行，获取车顶部件在不同试验模拟条件下的污染等级 G_0 ，其中车顶
5 部件污染等级划分为 G 级；

以步骤 1 中计算的列车从始发站时刻点至当前时刻点的运行时间内车顶的各污染物的平均浓度数据、步骤 3 中对应求得的 T_0 作为输入，以 G_0 作为输出，训练得到车顶部件污染物状态计算模型；

按照下述方法训练车底部件污染物状态计算模型：

10 以步骤 1 中计算的列车从始发站时刻点至当前时刻点的运行时间内车底各污染物的平均浓度数据以及步骤 3 中对应求得的 T_1 为试验模拟条件，对列车进行模拟运行，获取车底部件在不同试验模拟条件下的污染等级 G_1 ，其中车底部件污染等级划分为 G 级；

以步骤 1 中计算的列车从始发站时刻点至当前时刻点的运行时间内车底各污染物的平均浓度数据、步骤 3 中对应求得的 T_1 作为输入，以 G_1 作为输出，
15 训练得到车底部件污染物状态计算模型；

步骤 5，在列车停靠后，获取车顶空气品质检测数据和车底空气品质检测数据；

步骤 6，

20 利用步骤 5 中的车顶空气品质检测数据求得列车从始发站时刻点至当前时刻点的运行时间内车顶的各污染物的平均浓度数据，车顶空气综合评价指标 Q_0 以及车顶部件在满足 $Q_0 \geq Q$ 条件下的暴露时间 T_0 ；在 $Q_0 \geq Q$ 条件下，调用车顶部件污染物状态计算模型，求得车顶部件污染等级；

利用步骤 5 中的车底空气品质检测数据求得列车从始发站时刻点至当前时刻点的运行时间内车底各污染物的平均浓度数据，车底空气综合评价指标 Q_1
25 以及车底部件在满足 $Q_1 \geq Q$ 条件下的暴露时间 T_1 ；在 $Q_1 \geq Q$ 条件下，调用车底部

件污染物状态计算模型，求得车底部件污染等级；

步骤 7，

根据步骤 6 中求得的车顶部件污染等级对车顶部件进行相应的清理防护处理；

- 5 根据步骤 6 中求得的车底部件污染等级对车底部件进行相应的清理防护处理。

作为一种优选方式，车顶空气品质检测数据和车底空气品质检测数据均包括 CO₂ 浓度、NO₂ 浓度、SO₂ 浓度、PM_{2.5} 浓度、VOC 浓度、粉尘浓度中的一种或多种。

- 10 作为一种优选方式，车顶空气品质检测数据和/或车底空气品质检测数据采用多点监测方式得到。

作为一种优选方式，

车顶空气综合评价指标 Q_0 计算方法为：

$$Q_0 = \text{车顶CO}_2\text{浓度} \times p_1 + \text{车顶NO}_2\text{浓度} \times p_2 + \text{车顶SO}_2\text{浓度} \times p_3 + \text{车顶PM}_{2.5}\text{浓度} \times p_4 + \text{车顶VOC浓度} \times p_5 + \text{车顶粉尘浓度} \times p_6;$$

- 15 车底空气综合评价指标 Q_1 计算方法为：

$$Q_1 = \text{车底CO}_2\text{浓度} \times p_1 + \text{车底NO}_2\text{浓度} \times p_2 + \text{车底SO}_2\text{浓度} \times p_3 + \text{车底PM}_{2.5}\text{浓度} \times p_4 + \text{车底VOC浓度} \times p_5 + \text{车底粉尘浓度} \times p_6;$$

其中， p_1 、 p_2 、 p_3 、 p_4 、 p_5 、 p_6 为各污染物对应的权值。

作为一种优选方式，所述步骤 4 中，采用 LSTM 深度网络算法训练车顶部件污染物状态计算模型，其中 LSTM 深度网络的权值和阈值采用带有自适应权值的量子粒子群算法进行寻优获得，包括：

- 20 步骤 A1：以量子粒子群中每个量子粒子个体的位置向量作为所述 LSTM 深度网络的权值和阈值，将量子粒子种群个体的位置向量参数初始化为[-1, 1]的随机数；

- 25 量子粒子群种群的个数的取值范围为[30,100]，量子粒子群的粒子个数的取值范围为[4,60]，最大迭代次数的取值范围为[300,1200]，组建精英种群的迭代次数的取值范围为[50,200]，早熟收敛判断阈值的取值范围为[0.02,0.5]，种群最差

粒子变异比例 $\delta\%$ 的取值范围为 $[1\%, 6\%]$;

步骤 A2: 设定适应度函数, 确定初始最优量子粒子个体位置向量和迭代次数 t , $t=1$;

将量子粒子个体位置向量对应的权值和阈值代入基于 LSTM 深度网络的车顶部件污染物状态计算模型中, 并利用量子粒子个体位置向量确定的基于 LSTM 深度网络的车顶部件污染物状态计算模型确定识别向量标签的种类, 将输出的向量标签和实际的向量标签的均方差的倒数作为第二适应度函数;

步骤 A3: 计算每个量子粒子群的群体适应度方差, 进行早熟收敛判断;

若量子粒子群群体适应度方差小于早熟收敛判断阈值 γ , 则对量子粒子群中 $\delta\%$ 的适应度最差粒子和群体极值粒子进行变异, 并以当前适应度最好的粒子作为全局最优量子粒子个体;

步骤 A4: 判断是否组建精英种群;

当迭代次数大于精英种群迭代次数时, 则通过种群间的信息共享, 提取各种群的极值组建精英种群, 转入步骤 A8, 否则转入步骤 A5;

步骤 A5: 更新各种群粒子参数;

步骤 A6: 重新计算并比较每个粒子的适应度值, 如果优于当前的个体极值, 则更新个体极值; 比较全局极值粒子, 如果存在粒子适应度值优于当前的群体极值, 则更新全局极值粒子, 令 $t=t+1$, 转入步骤 A3;

步骤 A7: 精英种群继续进化;

步骤 A8: 判断是否满足最大迭代次数, 若满足则退出, 否则, 令 $t=t+1$, 转入步骤 B3, 直到找到全局最优值, 输出所述 LSTM 深度网络的权值和阈值。

作为一种优选方式, 所述步骤 4 中, 采用 GRU 深度网络算法训练车底部件污染物状态计算模型, 其中 GRU 深度网络的权值和阈值采用混沌蝙蝠算法进行优化选择获得, 包括:

步骤 B1: 以蝙蝠个体位置作为基于 GRU 深度网络的车底部件污染物状态计算模型的权值和阈值, 初始化蝙蝠种群, 并设置蝙蝠种群参数;

蝙蝠种群规模的取值范围为 $[300, 600]$, 蝙蝠个体最大脉冲频度 r_0 的取值范围为 $[0.3, 0.6]$, 最大脉冲声音强度 A_0 的取值范围为 $[0.3, 0.6]$, 最大迭代次数的取值范围为 $[200, 500]$, 搜索精度的取值范围为 $[0.002, 0.2]$, 脉冲频率的取值范围为

[0,1.8]，蝙蝠搜索频度增加系数的取值范围为[0.04,0.1]，声音强度衰减系数的取值范围为[0.75, 0.1]，最大迭代次数的取值范围为[200,800]，最大搜索精度的取值范围为[0.02,0.15]；

步骤 B2：设定适应度函数，并确定初始最优蝙蝠个体位置和迭代次数 t ， $t=1$ ；

5 将蝙蝠个体位置对应的权值和阈值代入基于 GRU 深度网络的车底部件污染物状态计算模型中，并利用蝙蝠个体位置确定的基于 GRU 深度网络的车底部件污染物状态计算模型得到检测结果，将检测结果和实际情况的差值 E 构建第一适应度函数 $f1(x)$ ， $f1(x)=1/(E+1)$ ；

利用第一适应度函数计算每只蝙蝠个体位置的适应度，以最大适应度对应的
10 蝙蝠个体位置作为初始最优蝙蝠个体位置；

步骤 B3：利用设定的脉冲频率对蝙蝠个体的速度以及位置进行更新；

步骤 B4：若 $\text{Rand1} > r_i$ ，则对处于个体最优位置的蝙蝠进行随机扰动，生成蝙蝠个体的扰动位置；

其中， Rand1 为在[0,1]上均匀分布的随机数， r_i 为第 i 只蝙蝠的脉冲频度；

15 步骤 B5：若 $\text{Rand2} > A_i$ ，蝙蝠个体的扰动位置的适应度优于扰动前的蝙蝠个体位置的适应度，则将蝙蝠个体移动到扰动位置，否则保持原位；

其中， Rand2 为在[0,1]上均匀分布的随机数， A_i 为第 i 只蝙蝠的声音强度；

步骤 B6：如果步骤 B5 条件得到满足，则利用蝙蝠搜索频度增加系数和声音强度衰减系数更新蝙蝠个体的脉冲频度和脉冲声音强度，并跳转步骤 B4，否则
20 跳转到步骤 B7；

步骤 B7：计算当前蝙蝠种群中每个蝙蝠个体位置的适应度，按照由大到小的顺序选出前 $m\%$ 个蝙蝠个体进行位置和速度的混沌优化，得到更新后的前 $m\%$ 个蝙蝠个体， m 的取值范围为[4,25]；

步骤 B8：判断是否达到最大迭代次数或者达到最大搜索精度，若是，则从
25 更新后的前 $m\%$ 个蝙蝠个体中依据适应度值选出全局最优蝙蝠个体，输出全局最优蝙蝠个体对应的基于 GRU 深度网络的车底部件污染物状态计算模型的最佳权值和阈值，否则，令 $t=t+1$ ，转到步骤 B3 继续下一次迭代。

基于同一个发明构思，本发明还提供了一种大气污染环境下列车运行防护系

统，其特点是包括：

车顶空气品质检测模块：用于采集车顶空气品质检测数据；

车底空气品质检测模块：用于采集车底空气品质检测数据；

数据传输模块：用于将采集的车顶空气品质检测数据和车底空气品质检测数

5 据传输至数据处理模块：

数据处理模块：用于建模和计算污染等级；其中：

建模过程包括：

利用车顶空气品质检测数据求得车顶空气综合评价指标 Q_0 ，利用车底空气品质检测数据求得车底空气综合评价指标 Q_1 ；

10 计算车顶部件在满足 $Q_0 \geq Q$ 条件下的暴露时间 T_0 ，计算车底部件在满足 $Q_1 \geq Q$ 条件下的暴露时间 T_1 ；其中， Q 为设定的空气品质综合评价指标健康值；

按照下述过程训练车顶部件污染物状态计算模型：

以计算的列车从始发站时刻点至当前时刻点的运行时间内车顶的各污染物的平均浓度数据以及对应求得的 T_0 为试验模拟条件，对列车进行模拟运行，获

15 取车顶部件在不同试验模拟条件下的污染等级 G_0 ，其中车顶部件污染等级划分为 G 级；

以计算的列车从始发站时刻点至当前时刻点的运行时间内车顶的各污染物的平均浓度数据、对应求得的 T_0 作为输入，以 G_0 作为输出，训练得到车顶部件污染物状态计算模型；

20 按照下述过程训练车底部件污染物状态计算模型：

以计算的列车从始发站时刻点至当前时刻点的运行时间内车底的各污染物的平均浓度数据以及对应求得的 T_1 为试验模拟条件，对列车进行模拟运行，获取车底部件在不同试验模拟条件下的污染等级 G_1 ，其中车底部件污染等级划分为 G 级；

25 以计算的列车从始发站时刻点至当前时刻点的运行时间内车底的各污染物的平均浓度数据、对应求得的 T_1 作为输入，以 G_1 作为输出，训练得到车底部件

污染物状态计算模型；

污染等级计算过程包括：

在列车停靠后，获得车顶空气品质检测数据和车底空气品质检测数据；

利用车顶空气品质检测数据求得列车从始发站时刻点至当前时刻点的运行
5 时间内车顶的各污染物的平均浓度数据，车顶空气综合评价指标 Q_0 以及车顶部件在满足 $Q_0 \geq Q$ 条件下的暴露时间 T_0 ；在 $Q_0 \geq Q$ 条件下，调用车顶部件污染物状态计算模型，求得车顶部件污染等级；

利用车底空气品质检测数据求得列车从始发时刻点至当前时刻点的运行时间
10 内车底的各污染物的平均浓度数据，车底空气综合评价指标 Q_1 以及车底部件在满足 $Q_1 \geq Q$ 条件下的暴露时间 T_1 ；在 $Q_1 \geq Q$ 条件下，调用车底部件污染物状态计算模型，求得车底部件污染等级；

将车顶部件污染等级和车底部件污染等级发送至站台数据中心；

站台数据中心：用于接收数据处理模块发送的车顶部件污染等级和车底部件
15 污染等级，并以接收到的车顶部件污染等级和车底部件污染等级发送防护指令至站台执行模块；

站台执行模块：用于根据站台数据中心发送的防护指令对车顶部件和/或车底部件进行相应的清理防护处理。

作为一种优选方式，车顶空气品质检测模块和车底空气品质检测模块均包括
20 CO₂ 浓度传感器、NO₂ 浓度传感器、SO₂ 浓度传感器、PM_{2.5} 浓度传感器、VOC 浓度传感器、粉尘浓度传感器中的一种或多种。

作为一种优选方式，所述车顶空气品质检测模块包括若干车顶空气品质检测
装置，每节车厢车顶的头部、中部和尾部分别设置一个车顶空气品质检测装置；
所述车底空气品质检测模块包括若干车底空气品质检测装置，每节车厢车底的头
部、中部和尾部分别设置一个车底空气品质检测装置；每三节车厢共用一个数据
25 处理模块。

作为一种优选方式，所述站台执行模块包括站台无人机站点和人机交互端，
站台无人机站点和人机交互端均与站台数据中心相连；无人机站点包括若干无人
机，各无人机上设有喷洒清理器和照明设备；人机交互端包括指令接收计算机。

本发明提供了一种基于深度网络模型的大气污染环境下列车运行防护方法及系统，通过在列车上设置多个空气品质检测模块，采集列车车顶受电弓和车底走行部附近的空气品质数据，对采集数据进行处理分析，并采用无人机喷洒和人工检修方法相结合进行污染防护，具有以下优点：

- 5
- (1) 对列车运行时车顶和车底部件附近的空气品质进行实时有效的监测，从而可以掌握列车裸露关键部件暴露于污染物下的时间，对停靠时采取的清理防护方式具有指导作用。
- (2) 采用车顶和车底综合监测以及多点监测的监测点布置方式，避免车顶和车底空气状况不同导致的检测误差，保证了采集结果的准确性。
- 10
- (3) 根据车顶和车底部件暴露在污染物中的时间选择不同的清理防护策略，减少大气污染物对列车关键部件的黏附和腐蚀，延长相应列车关键部件的使用寿命。
- (4) 将列车关键部件的污染状态分为不同等级，并根据不同污染状态等级选择最合理的清理防护策略，采用无人机喷洒和人工维修两种方法相结合，在保
- 15
- 证防护效果的同时尽可能解放人力。
- (5) 利用深度网络进行车顶和车底部件的污染状态等级计算，保证了列车停靠后清理防护方法的有效性。

附图说明

- 图 1 为本发明系统一实施例原理图。
- 20
- 图 2 为本发明方法一实施方式流程图。
- 其中，1 为车顶空气品质检测模块，101 为车顶空气品质检测装置，2 为车底空气品质检测模块，201 为车底空气品质检测装置，3 为数据传输模块，301 为无线传输模块，4 为数据处理模块，401 为中心计算机，5 为站台数据中心，501 为站台计算机，6 为站台执行模块，601 为站台无人机站点，6011 为无人机，
- 25
- 602 为人机交互端，6021 为指令接收计算机。

具体实施方式

本发明提供了一种大气污染环境下列车运行防护方法和系统，能够实时监测高速列车车顶和车底关键部件暴露处的空气污染物浓度，并利用深度网络，根据所测得的污染物浓度数据获取相应关键部件运行时的污染状态等级，在停靠后

选择合理的清理防护方法。其中关键部件污染状态通过深度网络训练得到，模型输入为各种测量数据，输出为污染状态等级。

如图 1 所示，整个大气污染环境下列车运行防护系统包括车顶空气品质检测模块 1、车底空气品质检测模块 2、数据传输模块 3、数据处理模块 4、站台数
5 据中心 5 和站台执行模块 6。各模块的具体介绍如下：

车顶空气品质检测模块 1：该模块由布置在每个车厢顶部的车顶空气品质检测装置 101 构成。每个车顶空气品质检测装置 101 都包括 CO₂ 浓度传感器、NO₂ 浓度传感器、SO₂ 浓度传感器、PM_{2.5} 浓度传感器、VOC 传感器、粉尘传感器。每个车厢顶部的头部、中部和尾部分别布置一个车顶空气品质检测装置 101。车
10 顶空气品质检测模块 1 所采集数据由数据传输模块 3 发送至数据处理模块 4。

车底空气品质检测模块 2：该模块由布置在每个车厢底部的车底空气品质检测装置 201 构成。每个车底空气品质检测装置 201 都包括 CO₂ 浓度传感器、NO₂ 浓度传感器、SO₂ 浓度传感器、PM_{2.5} 浓度传感器、VOC 传感器、粉尘传感器。每个车厢底部的头部、中部和尾部分别布置一个车底空气品质检测装置 201。车
15 底空气品质检测模块 2 所采集数据由数据传输模块 3 发送至数据处理模块 4。

数据传输模块 3：数据传输模块 3 包括无线传输模块 301，每个车厢设置一个无线传输装置，用来连接车顶空气品质检测模块 1、车底空气品质检测模块 2 和数据处理模块 4，实现采集数据储存和不同模块的数据传输。考虑到列车的长度，可采用 4G 网络进行传输，经济简便。

20 数据处理模块 4：每三个车厢设置一个中心计算机 401，定义为一个空气品质监测区域，构成数据处理模块 4。中心计算机 401 用来接收来自监控范围内三个车厢采集的车顶关键部件空气采集数据和车底关键部件空气采集数据，分别进行数据预处理和模型训练，并实时输出模型训练结果。

站台数据中心 5：该模块包括站台计算机 501，用于接收列车数据处理模块
25 4 发送的关键部件污染状态等级数据，并根据不同接收结果选择合适的清理防护方法，将防护指令发送至站台无人机站点 601 或者人机交互端 602。

站台执行模块 6：包括站台无人机站点 601 和人机交互端 602，站台无人机站点 601 和人机交互端 602 均与站台数据中心 5 相连。其中：

站台无人机站点 601：该模块由防护无人机 6011、无线指令收发器、充电

平台构成，其中无线指令收发器用于接收来自站台计算机 501 的防护指令，充电平台用于对无人机 6011 进行充电。无线指令收发器和充电平台在附图中均未示出，但并不影响本领域的技术人员对本发明的理解和实现。当接收到站台数据中心 5 的防护指令后，无人机 6011 将自主辨别污染的关键部件（位于车顶或是车底），并进行轻度或深度防护清理。每个防护无人机 6011 都配有喷洒清理器和照明设备。

人机交互端 602：该模块包括指令接收计算机 6021，其用于接收站台数据中心 5 发送的人工维修指令并显示于交互界面。

如图 2 所示，整个大气污染环境下列车运行防护系统包括两个过程：离线训练过程和在线停靠防护过程。

离线训练过程：

本发明方法先采集车顶和车底关键部件所在空间的空气污染物浓度信息，再将采集数据发送至相应检测区域内的中心计算机 401 进行数据预处理和模型训练。训练模型包含两种深度网络模型，用于根据所测得的污染物浓度获取关键部件污染状态等级，整个离线过程具体描述如下：

一.车顶和车底关键部件所在空间空气品质数据采集

利用车顶空气品质检测装置 101 和车底空气品质检测装置 201 采集不同污染物浓度数据，其中所采集的车顶空气品质检测数据表示为

$[t, I_{CO_2}, I_{NO_2}, I_{SO_2}, I_{pm2.5}, I_{voc}, I_{粉尘}]$ ，车底空气品质检测数据表示为

$[t, O_{CO_2}, O_{NO_2}, O_{SO_2}, O_{pm2.5}, O_{voc}, O_{粉尘}]$ 。为了对不同车厢不同位置的空气品质检测装置采集数据进行区分，最终由无线传输模块 301 发送的车顶空气品质数据格式为 $[t, I_{CO_2}, I_{NO_2}, I_{SO_2}, I_{pm2.5}, I_{voc}, I_{粉尘}, n, m, 0]$ 和

$[t, O_{CO_2}, O_{NO_2}, O_{SO_2}, O_{pm2.5}, O_{voc}, O_{粉尘}, n, m, 1]$ ，其中 t 表示该组数据的采集时间点；n 表示车厢编号；m 表示空气品质检测装置编号，m=1, 2, 3；0/1

为数据类别识别码，0 表示该组数据为车顶空气品质检测数据，1 表示该组数据为车底空气品质检测数据。

二.数据预处理

车顶空气品质检测装置 101 和车底空气品质检测装置 201 的数据经由无线

传输模块 301 发送至数据处理模块 4 的中心计算机 401, 进行采集数据的预处理, 整个数据预处理步骤如下:

(1) 根据每组数据的 0/1 识别码和 m 值, 对所有车顶关键部件处空气品质检测点的采集数据和所有车底关键部件处空气品质检测点的检测数据进行均值处理, 并将六种污染物的浓度数据进行归一化, 最终得到目标检测车厢的总车顶空气品质检测数据 $[t, I_{CO2总}, I_{NO2总}, I_{SO2总}, I_{pm2.5总}, I_{voc总}, I_{粉尘总}, n, 0]$ 和总车底空气品质检测数据 $[t, O_{CO2总}, O_{NO2总}, O_{SO2总}, O_{pm2.5总}, O_{voc总}, O_{粉尘总}, n, 1]$ 。

(2) 计算空气品质综合评价指标, 定义空气品质综合评价指标的计算方法为:

$$Q = CO_2 \text{浓度} \times p_1 + NO_2 \text{浓度} \times p_2 + SO_2 \text{浓度} \times p_3 + PM_{2.5} \text{浓度} \times p_4 + VOC \text{浓度} \times p_5 + \text{粉尘浓度} \times p_6$$

其中 p 表示不同种类污染物浓度的权值, $p_1 = 0.1$, $p_2 = 0.1$, $p_3 = 0.1$, $p_4 = 0.3$, $p_5 = 0.2$, $p_6 = 0.2$ 。然后将步骤 (1) 中获得的最终车顶和车底空气品质检测数据代入上式进行计算, 获得车顶空气综合评价指标 Q_0 和车底空气综合评价指标 Q_1 。

(3) 设定空气品质综合评价指标健康值为 Q , 分别计算所有 $Q_0 \geq Q$ 和 $Q_1 \geq Q$ 的时刻点, 并获取车顶关键部件在满足 $Q_0 \geq Q$ 条件下污染物中的暴露时间 T_0 和车底关键部件在在满足 $Q_1 \geq Q$ 条件下污染物中的暴露时间 T_1 。

(4) 计算列车从始发站至当前时刻点的运行时间内六种污染物的平均浓度数据 $[I_{CO2平均}, I_{NO2平均}, I_{SO2平均}, I_{pm2.5平均}, I_{voc平均}, I_{粉尘平均}, n, 0]$ 和 $[O_{CO2平均}, O_{NO2平均}, O_{SO2平均}, O_{pm2.5平均}, O_{voc平均}, O_{粉尘平均}, n, 1]$ 。

三. 列车关键部件污染状态计算模型训练

(1) 训练车顶部件污染物状态计算模型

在室外实验条件下进行车顶空气品质数据测量, 挑选 1000 组不同程度车顶空气品质数据, 然后在实验模拟条件下, 对于 1000 组中每组实验数据情况下进行室内模拟运行, 获取受电弓在不同情况下的污染状态, 并根据总体污染状况设

定四种污染等级 0, 1, 2, 3。

车顶部件污染物状态计算模型采用 LSTM 深度网络进行训练, 模型训练输入为车顶空气品质检测平均数据和车顶关键部件污染物暴露时间
5 $[I_{CO2\text{平均}}, I_{NO2\text{平均}}, I_{SO2\text{平均}}, I_{pm2.5\text{平均}}, I_{voc\text{平均}}, I_{\text{粉尘平均}}, T_0]$ 。输出为模拟实验条件下获取受电弓污染状态等级的 0, 1, 2, 3, 从而得到基于 LSTM 深度网络的车顶部件污染物状态计算模型。

所述 LSTM 深度网络输入层包含 7 个节点, 输出层节点个数为 1, 训练过程中的最大迭代次数设置为 1200, 训练学习率为 0.01。

基于 LSTM 深度网络的车顶部件污染物状态计算模型中, LSTM 深度网络的权值和阈值采用带有自适应权值的量子粒子群算法进行寻优获得, 过程如下:
10

步骤 A1: 以量子粒子群中每个量子粒子个体的位置向量作为所述 LSTM 深度网络的权值和阈值, 将量子粒子种群个体的位置向量参数初始化为[-1, 1]的随机数;

量子粒子群种群的个数的取值范围为[30,100], 量子粒子群的粒子个数的取值范围为[4,60], 最大迭代次数的取值范围为[300,1200], 组建精英种群的迭代次数的取值范围为[50,200], 早熟收敛判断阈值的取值范围为[0.02,0.5], 种群最差粒子变异比例 $\delta\%$ 的取值范围为[1%,6%];
15

步骤 A2: 设定适应度函数, 确定初始最优量子粒子个体位置向量和迭代次数 t , $t=1$;

将量子粒子个体位置向量对应的权值和阈值代入基于 LSTM 深度网络的车顶部件污染物状态计算模型中, 并利用量子粒子个体位置向量确定的基于 LSTM 深度网络的车顶部件污染物状态计算模型确定识别向量标签的种类, 将输出的向量标签和实际的向量标签的均方差的倒数作为第二适应度函数;
20

步骤 A3: 计算每个量子粒子群的群体适应度方差, 进行早熟收敛判断;

若量子粒子群群体适应度方差小于早熟收敛判断阈值 γ , 则对量子粒子群中 $\delta\%$ 的适应度最差粒子和群体极值粒子进行变异, 并以当前适应度最好的粒子作为全局最优量子粒子个体;
25

步骤 A4: 判断是否组建精英种群;

当迭代次数大于精英种群迭代次数时, 则通过种群间的信息共享, 提取各种

群的极值组建精英种群，转入步骤 A8，否则转入步骤 A5；

步骤 A5：更新各种群粒子参数；

步骤 A6：重新计算并比较每个粒子的适应度值，如果优于当前的个体极值，则更新个体极值；比较全局极值粒子，如果存在粒子适应度值优于当前的群体极值，则更新全局极值粒子，令 $t=t+1$ ，转入步骤 A3；

步骤 A7：精英种群继续进化；

步骤 A8：判断是否满足最大迭代次数，若满足则退出，否则，令 $t=t+1$ ，转入步骤 B3，直到找到全局最优值，输出所述 LSTM 深度网络的权值和阈值。

(2) 训练车底部件污染物状态计算模型

10 在室外实验条件下进行车底空气品质数据测量，挑选 1000 组不同程度车底空气品质数据，然后在实验模拟条件下，对于 1000 组中每组实验数据情况下进行室内模拟运行，获取走行部在不同情况下的污染状态，并根据总体污染状况设定四种污染等级 0，1，2，3。

车底部件污染物状态计算模型采用 GRU 深度网络进行训练，模型训练输入为车底空气品质检测平均数据和车底关键部件污染物暴露时间
15 $[O_{CO2\text{平均}}, O_{NO2\text{平均}}, O_{SO2\text{平均}}, O_{pm2.5\text{平均}}, O_{voc\text{平均}}, O_{粉尘\text{平均}}, T_1]$ 。输出为模拟实验条件下获取的走行部污染状态等级 0，1，2，3，从而得到基于 GRU 深度网络的车底部件污染物状态计算模型。

基于 GRU 深度网络的车底部件污染物状态计算模型的输入层节点个数为
20 7，隐含层节点个数为 5，输出层节点个数为 1；训练过程中的最大迭代次数设置为 800，训练学习率为 0.01，阈值为 0.06。

基于 GRU 深度网络的车底部件污染物状态计算模型的权值和阈值采用混沌蝙蝠算法进行优化选择，过程如下：

步骤 B1：以蝙蝠个体位置作为基于 GRU 深度网络的车底部件污染物状态计
25 算模型的权值和阈值，初始化蝙蝠种群，并设置蝙蝠种群参数；

蝙蝠种群规模的取值范围为[300, 600]，蝙蝠个体最大脉冲频度 r_0 的取值范围为[0.3,0.6]，最大脉冲声音强度 A_0 的取值范围为[0.3,0.6]，最大迭代次数的取值范围为[200, 500]，搜索精度的取值范围为[0.002,0.2]，脉冲频率的取值范围为

[0,1.8]，蝙蝠搜索频度增加系数的取值范围为[0.04,0.1]，声音强度衰减系数的取值范围为[0.75, 0.1]，最大迭代次数的取值范围为[200,800]，最大搜索精度的取值范围为[0.02,0.15]；

步骤 B2：设定适应度函数，并确定初始最优蝙蝠个体位置和迭代次数 t ， $t=1$ ；

5 将蝙蝠个体位置对应的权值和阈值代入基于 GRU 深度网络的车底部件污染物状态计算模型中，并利用蝙蝠个体位置确定的基于 GRU 深度网络的车底部件污染物状态计算模型得到检测结果，将检测结果和实际情况的差值 E 构建第一适应度函数 $f1(x)$ ， $f1(x)=1/(E+1)$ ；

利用第一适应度函数计算每只蝙蝠个体位置的适应度，以最大适应度对应的
10 蝙蝠个体位置作为初始最优蝙蝠个体位置；

步骤 B3：利用设定的脉冲频率对蝙蝠个体的速度以及位置进行更新；

步骤 B4：若 $\text{Rand1} > r_i$ ，则对处于个体最优位置的蝙蝠进行随机扰动，生成蝙蝠个体的扰动位置；

其中， Rand1 为在[0,1]上均匀分布的随机数， r_i 为第 i 只蝙蝠的脉冲频度；

15 步骤 B5：若 $\text{Rand2} > A_i$ ，蝙蝠个体的扰动位置的适应度优于扰动前的蝙蝠个体位置的适应度，则将蝙蝠个体移动到扰动位置，否则保持原位；

其中， Rand2 为在[0,1]上均匀分布的随机数， A_i 为第 i 只蝙蝠的声音强度；

步骤 B6：如果步骤 B5 条件得到满足，则利用蝙蝠搜索频度增加系数和声音强度衰减系数更新蝙蝠个体的脉冲频度和脉冲声音强度，并跳转步骤 B4，否则
20 跳转到步骤 B7；

步骤 B7：计算当前蝙蝠种群中每个蝙蝠个体位置的适应度，按照由大到小的顺序选出前 $m\%$ 个蝙蝠个体进行位置和速度的混沌优化，得到更新后的前 $m\%$ 个蝙蝠个体， m 的取值范围为[4,25]；

步骤 B8：判断是否达到最大迭代次数或者达到最大搜索精度，若是，则从
25 更新后的前 $m\%$ 个蝙蝠个体中依据适应度值选出全局最优蝙蝠个体，输出全局最优蝙蝠个体对应的基于 GRU 深度网络的车底部件污染物状态计算模型的最佳权值和阈值，否则，令 $t=t+1$ ，转到步骤 B3 继续下一次迭代。

在线停靠防护过程：

(1) 列车停靠后，对于某一检测车厢，通过车顶空气品质检测模块 1 和车底空气品质检测模块 2 进行数据采集，并通过无线传输模块 301 将数据传输至数据处理模块 4 进行预处理，并得到列车从始发时刻点至当前时刻点的运行时间内车底和车底的六种污染物的平均浓度数据，车顶空气品质综合评价指标 Q_0 和车底空气品质综合评价指标 Q_1 ，以及车顶关键部件污染物暴露时间 T_0 和车底关键部件污染物暴露时间 T_1 。

(2) 数据处理模块 4 通过训练完成的基于 LSTM 深度网络的车顶部件污染物状态计算模型，计算得出车顶关键部件污染状态等级 0/1/2/3；数据处理模块 4 通过训练完成的基于 GRU 深度网络的车底部件污染物状态计算模型，计算得出车底关键部件污染状态等级 0/1/2/3。并将车顶和车底的污染物状态等级传输至站台数据中心 5。

(3) 当车顶或者车底的关键部件污染等级为 0 时，认为列车关键部件未受污染，不进行停靠防护清理；当车顶或者车底的关键部件污染等级为 1 时，认为列车关键部件污染状态较轻，调用站台无人机站点 601 进行轻度清理；当车顶或者车底的关键部件污染等级为 2 时，认为列车关键部件污染状态一般，调用站台无人机站点 601 进行深度清理；当车顶或者车底的关键部件污染等级为 3 时，认为列车关键部件污染状态较为严重，将清理防护指令发送至人机交互端 602，申请人工清理防护。

(3) 站台的无人机 6011 通过摄像头进行列车受电弓和列车走行部的识别与悬停，当无人机 6011 运行悬停超过 5s 后喷洒清理器自动运行，轻度清理防护时喷洒清理器运行时间为 1min；深度清理防护时喷洒清理器运行时间为 3min。

上面结合附图对本发明的实施例进行了描述，但是本发明并不局限于上述的具体实施方式，上述的具体实施方式仅仅是示意性的，而不是局限性的，本领域的普通技术人员在本发明的启示下，在不脱离本发明宗旨和权利要求所保护的范围情况下，还可做出很多形式，这些均属于本发明的保护范围之内。