

权利要求

1. 一种大气污染环境下列车运行防护方法，其特征在于，包括以下步骤：

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
5 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 ；

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
10 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
15 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
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；

20 按照下述方法训练车底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底的
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；

25 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的
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，

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，

5 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；

步骤 7，

15 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；

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。

2. 如权利要求 1 所述的大气污染环境下列车运行防护方法，其特征在于，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、20 SO2 浓度、PM2.5 浓度、VOC 浓度、粉尘浓度中的一种或多种。

3. 如权利要求 1 所述的大气污染环境下列车运行防护方法，其特征在于，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。

4. 如权利要求 1 所述的大气污染环境下列车运行防护方法，其特征在于，车顶空气综合评价指标 Q_0 计算方法为：

25
$$Q_0 = \text{车顶CO2浓度} \times p_1 + \text{车顶NO2浓度} \times p_2 + \text{车顶SO2浓度} \times p_3 + \text{车顶PM2.5浓度} \times p_4 + \text{车顶VOC浓度} \times p_5 + \text{车顶粉尘浓度} \times p_6 ;$$

车底空气综合评价指标 Q_1 计算方法为：

$$Q_1 = \text{车底}CO_2\text{浓度} \times p_1 + \text{车底}NO_2\text{浓度} \times p_2 + \text{车底}SO_2\text{浓度} \times p_3 \\ + \text{车底}PM_{2.5}\text{浓度} \times p_4 + \text{车底}VOC\text{浓度} \times p_5 + \text{车底粉尘浓度} \times p_6;$$

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

5. 如权利要求 1 所述的大气污染环境下列车运行防护方法, 其特征在于, 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:

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;

- 10 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;

- 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;

步骤 A4: 判断是否组建精英种群;

- 25 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。

6. 如权利要求 1 所述的大气污染环境下列车运行防护方法，其特征在于，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率 f_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]，蝙蝠搜索频率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 ， $t=1$ ；

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 $Rand1 > r_i$ ，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 只蝙蝠的脉冲频率；

步骤 B5：若 $Rand2 > A_i$ ，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
5 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
10 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。

7. 一种大气污染环境下列车运行防护系统，其特征在于，包括：

车顶空气品质检测模块（1）：用于采集车顶空气品质检测数据；

15 车底空气品质检测模块（2）：用于采集车底空气品质检测数据；

数据传输模块（3）：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据传输至数据处理模块（4）；

数据处理模块（4）：用于建模和计算污染等级；其中：

建模过程包括：

20 利用车顶空气品质检测数据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的各污染物的平均浓度数据，利用车底空气品质检测数据计算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；

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 ；

25 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；

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；

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 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（5）；

站台数据中心（5）：用于接收数据处理模块（4）发送的车顶部件污染等级

和车底部件污染等级，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（6）；

站台执行模块（6）：用于根据站台数据中心（5）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。

- 5 8. 如权利要求 7 所述的大气污染环境下列车运行防护系统，其特征在于，车顶空气品质检测模块（1）和车底空气品质检测模块（2）均包括 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 浓度传感器、粉尘浓度传感器中的一种或多种。

9. 如权利要求 7 所述的大气污染环境下列车运行防护系统，其特征在于，
10 所述车顶空气品质检测模块（1）包括若干车顶空气品质检测装置（101），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（101）；
 所述车底空气品质检测模块（2）包括若干车底空气品质检测装置（201），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（201）；
 每三节车厢共用一个数据处理模块（4）。

- 15 10. 如权利要求 7 所述的大气污染环境下列车运行防护系统，其特征在于，所述站台执行模块（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；无人机站点包括若干无人机（6011），各无人机（6011）上设有喷洒清理器和照明设备；人机交互端（602）包括指令接收计算机（6021）。