



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 107092980 A

(43)申请公布日 2017.08.25

(21)申请号 201710227712.0

(22)申请日 2017.04.10

(71)申请人 南京航空航天大学

地址 210016 江苏省南京市秦淮区御道街
29号

(72)发明人 叶博嘉 杨铖 李文博 王钊辉
华一霏 田勇 李杰 万莉莉

(74)专利代理机构 南京经纬专利商标代理有限
公司 32200

代理人 葛潇敏

(51)Int.Cl.

G06Q 10/04(2012.01)

G06Q 50/30(2012.01)

G06N 3/00(2006.01)

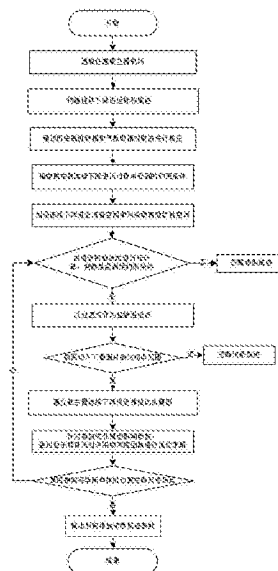
权利要求书2页 说明书5页 附图3页

(54)发明名称

一种基于粒子群算法的连续下降进近排放
优化方法

(57)摘要

本发明公开一种基于粒子群算法的连续下降进近排放优化方法,首先,分析航空器连续进近下降飞行过程,构建连续下降进近标称航迹运控模型;其次,确定航空器连续下降过程中的可行航迹与飞行参数的约束条件,划设连续下降进近排放优化过渡空间与排放优化进近空间;再次,采用高斯模型作为大气扩散模式的模型,建立污染物浓度评估坐标系,分析该模型中决策变量,找出影响污染物浓度的关键因素;最后,航空器在进近过程中的排放浓度最小为目标,建立航空器连续下降进近排放优化模型,通过粒子群算法进行求解。此种方法可针对不同机场划设出对机场、机场附近人口密集区污染最小的连续下降进近航迹,为航空器在终端区下降阶段的节能减排提供相应参考。



1. 一种基于粒子群算法的连续下降进近排放优化方法,其特征在于包括如下步骤:

步骤1,分析航空器连续进近下降飞行过程,梳理航空器构型变化对各类性能参数的影响,构建连续下降进近标称航迹运控模型,通过气象条件与真实航行运行数据对模型进行修正;

步骤2,基于目标机场的标准仪表进场程序和PBN进近程序,确定航空器连续下降过程中的可行航迹与飞行参数的约束条件,划设连续下降进近排放优化过渡空间与排放优化进近空间;

步骤3,构建污染物扩散模型,采用高斯模型作为大气扩散模式的模型,建立污染物浓度评估坐标系,分析该模型中决策变量,找出影响污染物浓度的关键因素;

步骤4,梳理影响航空器进近阶段排放的各类因素,基于连续下降进近的过渡空间和有效扩散空间,以航空器在进近过程中的排放浓度最小为目标,建立航空器连续下降进近排放优化模型,通过粒子群算法进行求解。

2. 如权利要求1所述的基于粒子群算法的连续下降进近排放优化方法,其特征在于:所述步骤1包括如下内容:

步骤11,分析航空器连续下降过程中构型变化过程,梳理受构型变化影响最大的航空器运行参数;

步骤12,以欧洲航行安全组织发布的《航空器基础性能数据库》作为数据参考,应用系统动力学理论,梳理航空器关键运行参数之间关联,建立航空器连续下降标称航迹运控模型;

步骤13,通过气象条件与真实航行运行数据对模型进行修正。

3. 如权利要求1所述的基于粒子群算法的连续下降进近排放优化方法,其特征在于:所述步骤2的具体内容是:

步骤21,根据目标机场的标准仪表进场程序和PBN进近程序,分析得到连续下降进近进场点范围、初始速度、初始航向以及航路上各个拐点的范围、速度和高度约束;

步骤22,过渡空间是以进场点为一边中点建立的立方体空间,在此空间内选取连续下降进近起始点,所述连续下降进近起始点满足由进场点可减速下降至该连续下降进近起始点并满足初始进近速度的约束条件;

步骤23,选出满足条件的连续下降进近起始点后,以连续下降进近起始点为起始点引出多条航迹,根据下滑道和航迹拐点范围,排除无法切入下滑道和超出拐点的航迹。

4. 如权利要求3所述的基于粒子群算法的连续下降进近排放优化方法,其特征在于:所述步骤22的具体内容是:过渡空间是以进场点 $A_0(x_0, y_0, z_0)$ 为一边中点建立的立方体空间,分配给在进场点 $A_0(x_0, y_0, z_0)$ 的航空器进场速度 v_A ,设置一个由 $10^2\text{m} \times 10^2\text{m} \times 10^2\text{m}$ 为单位步长的立方体组成的网格,构成动态过渡空间;在过渡空间内随机产生过渡点 $B_1, B_2, \dots, B_n(x_n, y_n, z_n)$,以及过渡点的约束速度 v_B ,在 A_0 到 B_n 这条航迹内,航空器若以不超过最大减速限度的加速度匀减速达到约束速度 v_B ,则 B_n 作为连续下降进近起始点,否则该过渡点不可行。

5. 如权利要求1所述的基于粒子群算法的连续下降进近排放优化方法,其特征在于:所述步骤3的具体内容是:

步骤31,建立污染物浓度评估坐标系,并根据目标机场实地风向进行坐标系转换;

步骤32,根据飞机燃油流率,求出单架航空器在连续下降进近阶段的任一时间段内污

染物排放强度,由于飞机处于连续下降状态,在计算前需修正有效污染源高度;

步骤33,运用Turner法求出扩散系数。

6.如权利要求1所述的基于粒子群算法的连续下降进近排放优化方法,其特征在于:所述步骤4的具体内容是:

步骤41,分析影响排放浓度的主要因素,建立航空器连续下降进近排放优化模型,模型使航空器在连续下降进近过程中对地面指定一点的污染物排放浓度最小;

步骤42,通过粒子群算法对排放优化模型进行计算,得出最优排放浓度和对应航迹参数。

一种基于粒子群算法的连续下降进近排放优化方法

技术领域

[0001] 本发明属于航空器运行信息感知与识别领域,涉及一种航空器连续进近阶段的排放优化方法,具体涉及建立连续下降进近标称航迹、划设过渡空间/有效扩散空间和给出一种连续下降进近排放浓度的优化求解方法。

背景技术

[0002] 中国民航局、空管局提出加快推进新技术应用等举措以切实提高运行管理效率,减少地面及空中燃油消耗、污染物排放。航空器连续下降进近(Continuous Descent Approach,CDA)作为一种国际民航组织积极推进的新型进场方式,在基于PBN飞行程序提供的垂直引导下,进场航空器可以选择最优初始进近点以最小推力沿连续下滑角进行下降,减少了传统进近方式中的平飞段从而缩短进近路程、降低了油耗与排放。因其有效降低油耗、排放、实现节能环保并减少管制员管制操作等优点,这些年在行业内被广泛关注。

[0003] 相比于国外已有机场付诸实践,国内对于连续下降进近技术的研究成果较少。当前对航空器连续下降进近排放的研究主要在于评估其影响因素与计算模型建立,通过建立标准的连续下降进近航迹,与传统阶梯式进近程序进行对比,分析连续下降进近在排放方面的优势;而在基于连续下降进近技术基础上,根据不同航空器性能、状态、不同机场等条件,针对航空器排放进行优化方面存有空白。因此,现阶段需要一种基于标称航迹的运行控制方式,分析进近航段污染物排放模式,通过运用仿真分析方法建立飞机进近程序模型,提出一种可优化航空器连续下降进近阶段整体排放与扩散的模型和方法。这对优化进近航路划设,推行节能减排航空新技术的应用具有重要意义。

发明内容

[0004] 本发明的目的,在于提供一种基于粒子群算法的连续下降进近排放优化方法,其可针对不同机场划设出对机场、机场附近人口密集区污染最小的连续下降进近航迹,为航空器在终端区下降阶段的节能减排提供相应参考。

[0005] 为了达成上述目的,本发明的解决方案是:

[0006] 一种基于粒子群算法的连续下降进近排放优化方法,包括如下步骤:

[0007] 步骤1,分析航空器连续进近下降飞行过程,梳理航空器构型变化对各类性能参数的影响,构建连续下降进近标称航迹运控模型,通过气象条件与真实航行运行数据对模型进行修正;

[0008] 步骤2,基于目标机场的标准仪表进场程序和PBN进近程序,确定航空器连续下降过程中的可行航迹与飞行参数的约束条件,划设连续下降进近排放优化过渡空间与排放优化进近空间;

[0009] 步骤3,构建污染物扩散模型,采用高斯模型作为大气扩散模式的模型,建立污染物浓度评估坐标系,分析该模型中决策变量,找出影响污染物浓度的关键因素;

[0010] 步骤4,梳理影响航空器进近阶段排放的各类因素,基于连续下降进近的过渡空间

和有效扩散空间,以航空器在进近过程中的排放浓度最小为目标,建立航空器连续下降进近排放优化模型,通过粒子群算法进行求解。

[0011] 上述步骤1包括如下内容:

[0012] 步骤11,分析航空器连续下降过程中构型变化过程,梳理受构型变化影响最大的航空器运行参数;

[0013] 步骤12,以欧洲航行安全组织发布的《航空器基础性能数据库》作为数据参考,应用系统动力学理论,梳理航空器关键运行参数之间关联,建立航空器连续下降标称航迹运控模型;

[0014] 步骤13,通过气象条件与真实航行运行数据对模型进行修正。

[0015] 上述步骤2的具体内容是:

[0016] 步骤21,根据目标机场的标准仪表进场程序和PBN进近程序,分析得到连续下降进近进场点范围、初始速度、初始航向以及航路上各个拐点的范围、速度和高度约束;

[0017] 步骤22,过渡空间是以进场点为一边中点建立的立方体空间,在此空间内选取连续下降进近起始点,所述连续下降进近起始点满足由进场点可减速下降至该连续下降进近起始点并满足初始进近速度的约束条件;

[0018] 步骤23,选出满足条件的连续下降进近起始点后,以连续下降进近起始点为起始点引出多条航迹,根据下滑道和航迹拐点范围,排除无法切入下滑道和超出拐点的航迹。

[0019] 上述步骤22的具体内容是:过渡空间是以进场点 $A_0(x_0, y_0, z_0)$ 为一边中点建立的立方体空间,分配给在进场点 $A_0(x_0, y_0, z_0)$ 的航空器进场速度 v_A ,设置一个由 $10^2\text{m} \times 10^2\text{m} \times 10^2\text{m}$ 为单位步长的立方体组成的网格,构成动态过渡空间;在过渡空间内随机产生过渡点 $B_1, B_2, \dots, B_n(x_n, y_n, z_n)$,以及过渡点的约束速度 v_B ,在 A_0 到 B_n 这条航迹内,航空器若以不超过最大减速限度的加速度匀减速达到约束速度 v_B ,则 B_n 作为连续下降进近起始点,否则该过渡点不可行。

[0020] 上述步骤3的具体内容是:

[0021] 步骤31,建立污染物浓度评估坐标系,并根据目标机场实地风向进行坐标系转换;

[0022] 步骤32,根据飞机燃油流率,求出单架航空器在连续下降进近阶段的任一时间段内污染物排放强度,由于飞机处于连续下降状态,在计算前需修正有效污染源高度;

[0023] 步骤33,运用Turner法求出扩散系数。

[0024] 上述步骤4的具体内容是:

[0025] 步骤41,分析影响排放浓度的主要因素,建立航空器连续下降进近排放优化模型,模型使航空器在连续下降进近过程中对地面指定一点的污染物排放浓度最小;

[0026] 步骤42,通过粒子群算法对排放优化模型进行计算,得出最优排放浓度和对应航迹参数。

[0027] 采用上述方案后,本发明可针对飞机终端区内的任意机型,从任意起始点开始进行优化计算处理,在较短时间内得出针对排放的最优航行轨迹,为飞行过程提供辅助决策,帮助机场更好规划各个航路以减小对周围居民区、人群密集处等地的污染,切实提高运行了管理效率,减少地面及空中污染物排放。

附图说明

- [0028] 图1是本发明的核心原理图；
- [0029] 图2是航空器连续下降标称航迹运控模型航迹图；
- [0030] 图3是划设过渡空间与连续进近空间的筛选航迹图；
- [0031] 图4是优化前后连续下降进近沿X轴方向NO_x排放浓度图；
- [0032] 图5是优化前后连续下降进近沿X轴方向CO排放浓度图；
- [0033] 图6是优化前后连续下降进近沿X轴方向HC排放浓度图。

具体实施方式

[0034] 以下将结合附图,对本发明的技术方案及有益效果进行详细说明。

[0035] 通过综合分析航空器在连续下降进近中各类影响因素,梳理航空器构型变化规律,立足于污染物的排放,建立污染物扩散浓度模型。同时,基于机场标准仪表进场和PBN进近程序,模拟连续下降进近并验证航迹可行性,通过分析进近过程中航空器初始状态、下降角、发动机运行模式等特性,围绕影响航空器排放的根本因素,本发明提供一种基于粒子群算法的连续下降进近排放优化方法,结合图1所示,包括如下步骤:

[0036] 步骤1,分析航空器连续进近下降飞行过程,梳理航空器构型变化对各类性能参数的影响,构建连续下降进近标称航迹运控模型,通过气象条件与真实航行运控数据对模型进行修正。具体内容如下:

[0037] (1.1)分析航空器连续下降过程中构型变化过程,梳理受构型变化影响最大的航空器运行参数,如在8000英尺与3000英尺处,航空器有较大的构型变化,从而发动机推力、航空器所受阻力发生较大突变;

[0038] (1.2)以欧洲航行安全组织发布的《航空器基础性能数据库》作为数据参考,应用系统动力学理论,梳理航空器关键运行参数之间关联,建立航空器连续下降标称航迹运控模型;

[0039] (1.3)通过气象条件与真实航行运行数据对模型进行修正,实现根据航空器质量、飞行高度、速度、机场实际风速、温度的变化,对进近推力、实际燃油流率等关键数据进行修正。

[0040] 步骤2,基于目标机场的标准仪表进场程序和PBN进近程序,确定航空器连续下降过程中的可行航迹与飞行参数的约束条件,划设连续下降进近排放优化过渡空间与排放优化进近空间。具体内容如下:

[0041] (2.1)根据目标机场的标准仪表进场程序和PBN进近程序,分析得到连续下降进近进场点范围、初始速度、初始航向以及航路上各个拐点的范围、速度和高度约束等参数;

[0042] (2.2)过渡空间是以进场点 $A_0(x_0, y_0, z_0)$ 为一边中点建立的立方体空间,此空间存在 $B_1, B_2, \dots, B_n(x_n, y_n, z_n)$,若满足由进场点 A_0 可减速下降至 B_n 并满足初始进近速度的约束条件,则 B_n 可作为连续下降进近起始点。具体方法为分配给在进场点 $A_0(x_0, y_0, z_0)$ 的航空器进场速度 v_A ,设置一个由 $10^2\text{m} \times 10^2\text{m} \times 10^2\text{m}$ 为单位步长的立方体组成的网格,构成动态过渡空间。在过渡空间内随机产生过渡点 $B_1, B_2, \dots, B_n(x_n, y_n, z_n)$,以及过渡点的约束速度(不能大于最大起始进近速度,即 $v_B \leq 380\text{km/h}$),在 A_0 到 B_n 这条航迹内,航空器若以不超过最大减速限度的加速度匀减速达到约束速度 v_B ,则 B_n 可作为连续下降进近起始点,否则该过渡点不可行。

[0043] (2.3) 选出满足条件的 B_n 后,以 B_n 为起始点引出多条航迹,根据下滑道和航迹拐点范围,排除无法切入下滑道和超出拐点的航迹,剩余航迹均为可行航迹。下滑道的宽度与高度均与实际高度有关,拐弯高度分别为1800、1200与900米。

[0044] 步骤3,构建污染物扩散模型。本发明采用的大气扩散模式的模型为高斯模型,建立污染物浓度评估坐标系,分析该模型中决策变量,找出影响污染物浓度的关键因素。具体内容如下:

[0045] (3.1) 建立污染物浓度评估坐标系 (X, Y, Z) ,并根据目标机场实地风向进行坐标系转换;若 β 为风向与线源污染源的夹角,则转换后的坐标系为

$$[0046] \quad (X', Y', Z), \begin{cases} x' = (y_p - y) \cos \beta + x \sin \beta \\ y' = (y - y_p) \sin \beta + x \cos \beta \end{cases};$$

[0047] (3.2) 根据飞机燃油流率,求出单架航空器在连续下降进近阶段的任一 Δt 内污染物排放强度。进近航段根据航空器构型变化高度及航迹拐点分为 k 段,每个分段看作一个独立的污染源来计算污染气体的扩散,飞机在进近阶段为线源污染源,其污染物排放强度表示为

$$SS_k = \sum_{i \in F_{\Delta t}^k} \frac{EI_{i,k} \cdot FF_{i,k}}{V_{i,k} \cdot \Delta t}, \text{其中 } F_{\Delta t}^k \text{ 为时段 } \Delta t \text{ 内对分段 } k \text{ 上的航班集合, } FF_{i,k} \text{ 为飞机 } i \text{ 在分段 } k$$

上的燃油流率, $EI_{i,k}$ 为飞机 i 在分段 k 上的排放指数, $V_{i,k}$ 为飞机 i 在分段 k 上的飞行速度。以A320为例,在下降过程中CO排放指数 $EI_{CO} = 2.5 \text{ g/kg}$,氮氧化物排放指数 $EI_{NOx} = 8 \text{ g/kg}$,HC气体排放指数 $EI_{HC} = 0.40 \text{ g/kg}$;

[0048] (3.3) 高斯扩散模式计算线源污染源排放浓度时需根据风速、下风距离、太阳高度角等参数求出扩散系数;首先根据时间、地理位置确定太阳倾角,从而得到太阳高度角,并利用太阳高度角确定该天气条件下的太阳辐射等级;在使用太阳辐射等级和风速来确定大气稳定度后,综合大气稳定度与下风距离可得出扩散系数。假设在7月上旬某一日,云量为5,平均风速为 4.4 m/s ,风向为 62° ,得当日太阳倾角为 11° ,那么以12:00~12:59为例,大气扩散的水平与

$$\text{垂直扩散系数为: } \sigma_y = \begin{cases} 0.2295x^{0.919325} & x \in [0, 1000] \\ 0.314238x^{0.875086} & x \in (1000, +\infty) \end{cases}, \sigma_z = \begin{cases} 0.114682x^{0.941015} & x \in [0, 500] \\ 0.0757182x^{1.0077} & x \in (500, +\infty) \end{cases} \text{ 其}$$

中, x 为下风距离。

[0049] 步骤4,梳理影响航空器进近阶段排放的各类因素,基于连续下降进近的过渡空间和有效扩散空间,以航空器在进近过程中的排放浓度最小为目标,建立航空器连续下降进近排放优化模型,通过粒子群算法进行求解。具体内容如下:

[0050] (4.1) 分析影响排放浓度的主要因素,建立航空器连续下降进近排放优化模型,模型使航空器在连续下降进近过程中对地面指定一点的污染物排放浓度最小,即目标函数为 $\min PC$ 。主要因素有航空器初始状态、下降角及下风距离等。

[0051] (4.2) 通过粒子群算法对排放优化模型进行计算,得出最优排放浓度和对应航迹参数。实验中,单次传统CDA程序在机场点的HC、CO、NOx排放浓度分别为 0.51 微克/米^3 、 6.5 微克/米^3 、 20.32 微克/米^3 ,优化后的程序浓度减少至 0.47 微克/米^3 、 5.84 微克/米^3 与 18.69 微克/米^3 ,沿X轴方向排放浓度总体平均下降了9.43%,具有较为明显的环保减排效益。

[0052] 以上实施例仅为说明本发明的技术思想,不能以此限定本发明的保护范围,凡是

按照本发明提出的技术思想,在技术方案基础上所做的任何改动,均落入本发明保护范围之内。

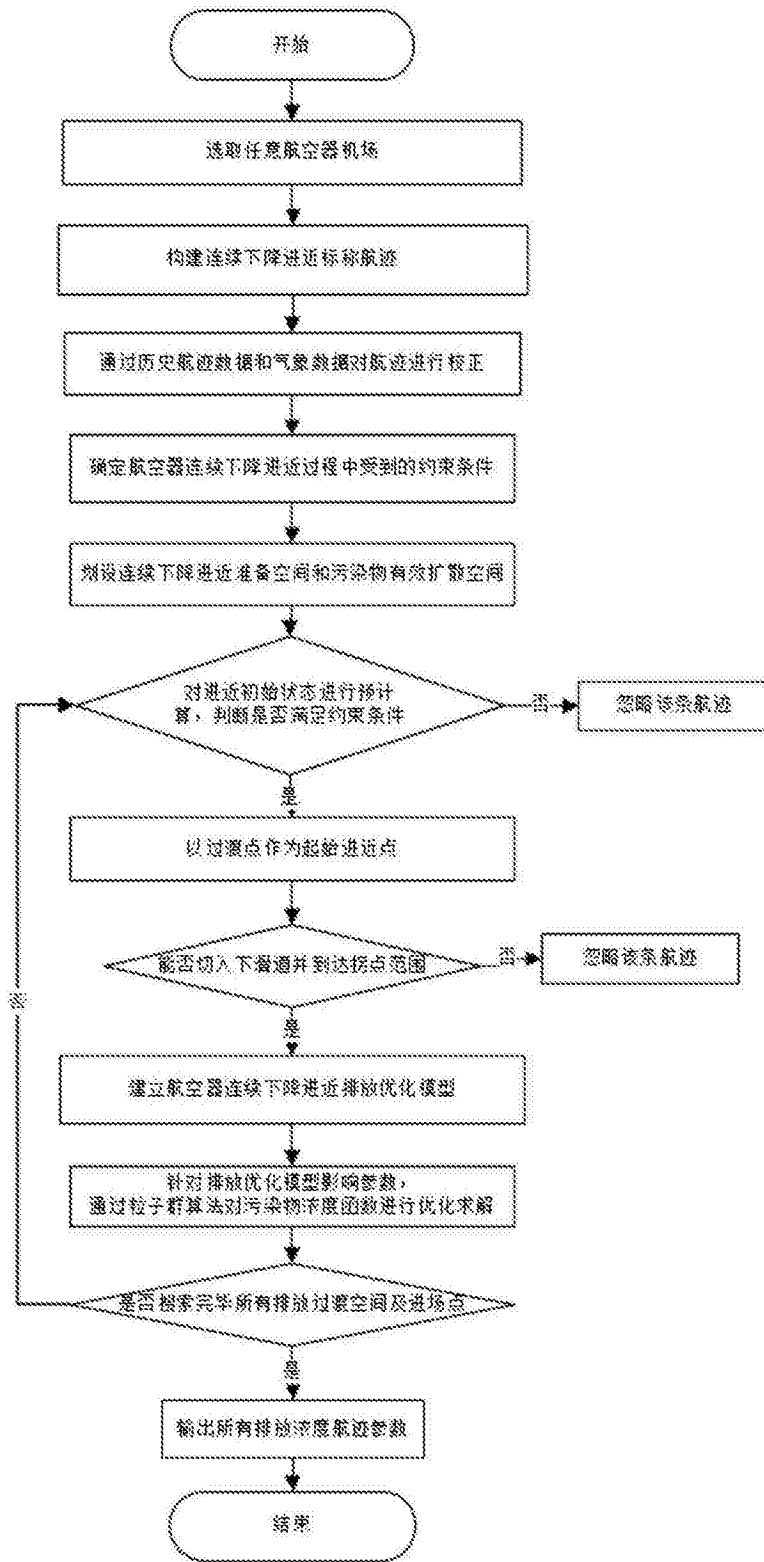


图1

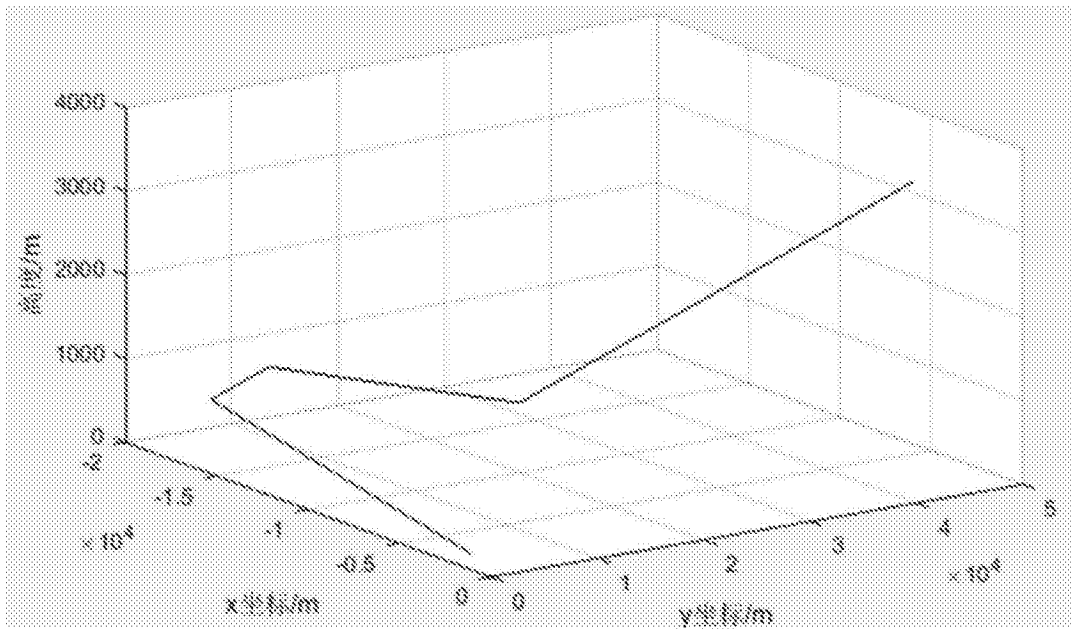


图2

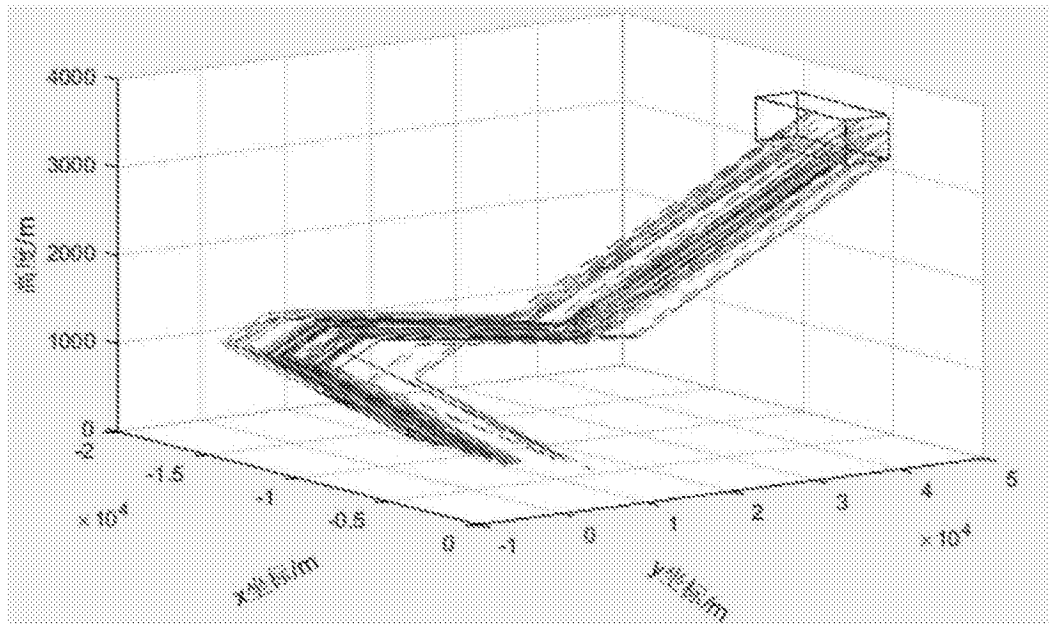


图3

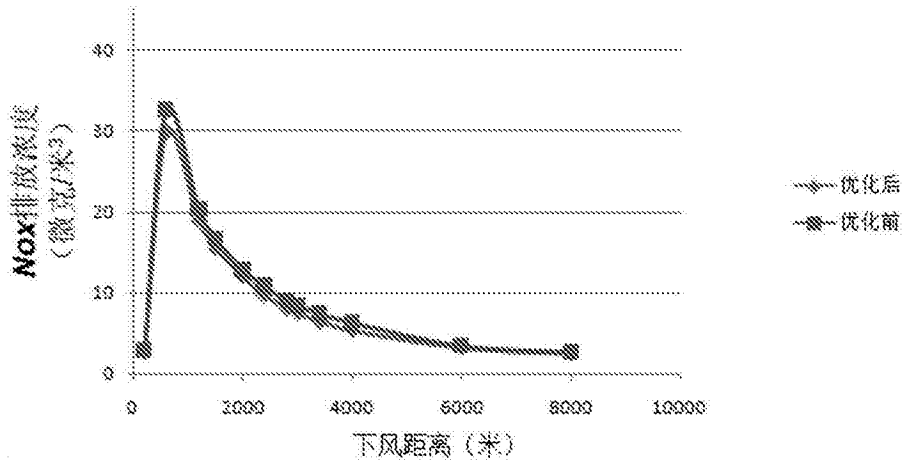


图4

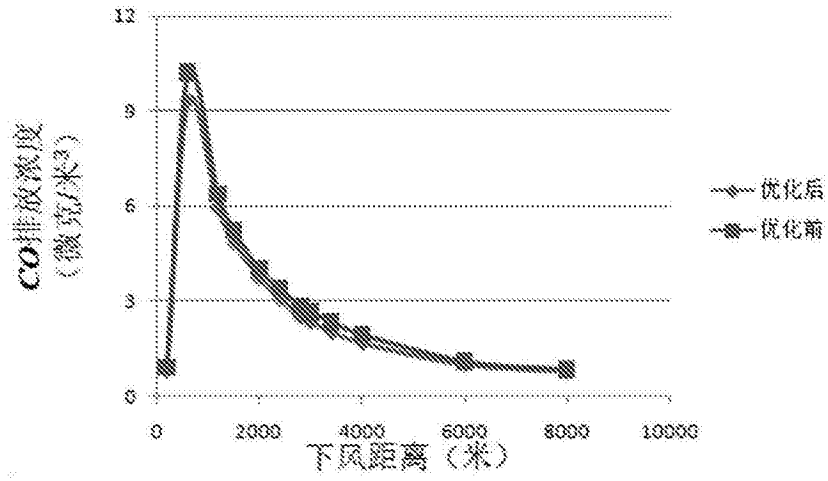


图5

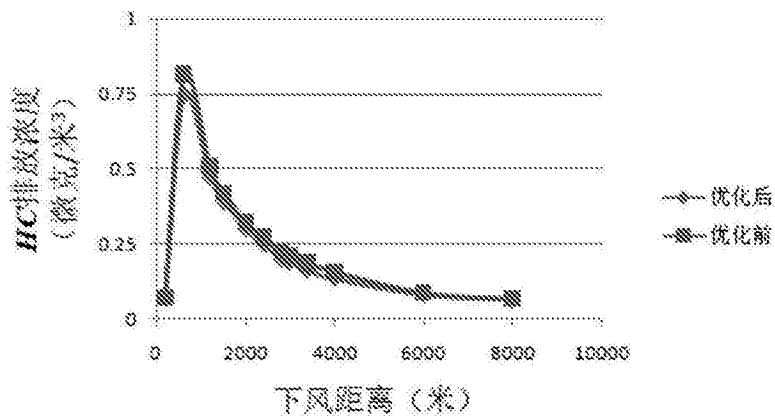


图6