



(12)发明专利

(10)授权公告号 CN 104834778 B

(45)授权公告日 2017.09.12

(21)申请号 201510222410.5

(22)申请日 2015.05.04

(65)同一申请的已公布的文献号

申请公布号 CN 104834778 A

(43)申请公布日 2015.08.12

(73)专利权人 北京工业大学

地址 100124 北京市朝阳区平乐园100号

(72)发明人 高学金 王思宇 王普

(74)专利代理机构 北京思海天达知识产权代理有限公司 11203

代理人 沈波

(51)Int.Cl.

G06F 17/50(2006.01)

(56)对比文件

CN 101308060 A,2008.11.19,

CN 101982704 A,2011.03.02,

CN 203111187 U,2013.08.07,

邓元媛.地铁环控大系统变风量节能效果模拟.《建筑热能通风空调》.2009,第28卷(第1期),第82页至第84页.

林晓伟等.地铁通风空调系统的优化控制.《城市轨道交通研究》.2012,第100页至第104页.

审查员 席鹏翰

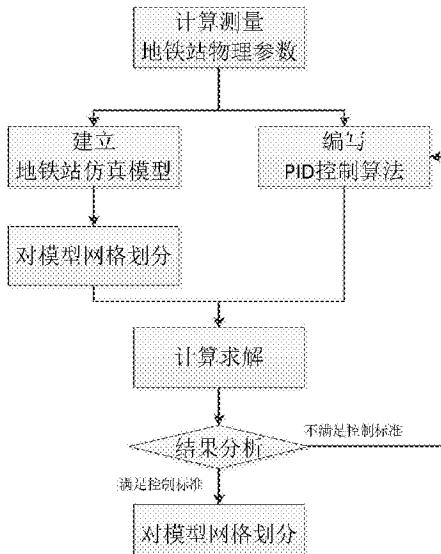
权利要求书2页 说明书5页 附图2页

(54)发明名称

一种地铁站通风空调系统的控制参数优化方法

(57)摘要

本发明提供一种地铁站通风空调系统的控制参数优化方法,属于暖通空调领域,用于地铁站的通风空调系统。主要步骤为:根据地铁站设计图纸搭建地铁站站台层的仿真模型,确定仿真模型参数;对仿真模型进行网格划分;计算初始控制参数,使用Fluent UDF编写地铁站通风空调系统PID控制程序;运行Fluent软件,对地铁站通风空调系统的仿真模型进行计算求解;比较不同控制参数下的流场仿真温度、速度控制结果,最后优化得到最佳控制参数。本发明的特点如下:对地铁站通风空调系统的控制参数进行修改,应用Fluent软件计算不同控制参数下的流场仿真温度、速度控制结果,比较优化得出最佳控制参数。



1. 一种地铁站通风空调系统的控制参数优化方法, 基于Fluent软件, 其特征在于包括以下步骤:

(1) 根据地铁站设计图纸搭建地铁站站台层的仿真模型, 并确定地铁站通风空调系统的仿真模型参数, 其中地铁站通风空调系统的仿真模型参数包括地铁站尺寸、风道管径、风道壁厚、风道材料密度、风道材料导热系数、风道摩擦系数、地铁站站台层内设备发热功率和地铁站壁面热通量, 地铁站通风空调系统的仿真模型包括地铁站的站台层、地铁站通风空调风管和地铁站通风空调风道三部分; 在仿真模型的运行结果中地面上1米至2米的范围内选择两个横截面作为温度传感器和风速传感器的接触面, 横截面的面积为温度传感器和风速传感器的接触面积;

(2) 对搭建好的地铁站站台层仿真模型进行网格划分;

(3) 根据地铁站通风空调系统仿真模型参数, 采用临界比例法计算地铁站通风空调系统PID控制算法的初始控制参数, 并使用Fluent UDF编写地铁站通风空调系统PID控制程序;

(4) 运行Fluent软件, 载入划分好的网格和编写好的地铁站通风空调系统PID控制程序, 并对Fluent软件中的求解参数进行设定; 使用有限体积法对地铁站通风空调系统的仿真模型进行计算求解, 得到地铁站通风空调系统仿真模型的运行结果及两个截面上的瞬时平均温度和瞬时平均风速;

(5) 采用人体舒适度指数来对地铁站通风空调系统不同控制参数下的控制效果进行评价, 通过得到的瞬时平均温度和瞬时平均风速来计算得到瞬时人体舒适度指数, 通过瞬时人体舒适度指数可计算求得在仿真运行时间段内的人体舒适度指数的平均值和人体舒适度指数的标准差, 并判断瞬时人体舒适度指数、人体舒适度指数的平均值和人体舒适度指数的标准差是否满足控制标准;

(6) 若当前控制参数下的瞬时人体舒适度指数、人体舒适度指数的平均值和人体舒适度指数的标准差不能同时满足控制标准, 则采用临界比例法对PID的控制参数进行整定, 并跳转至步骤三, 直到瞬时人体舒适度指数、人体舒适度指数的平均值和人体舒适度指数的标准差全部满足控制标准;

(7) 最后选取经过整定, 满足控制标准的PID控制参数作为优化后的地铁站通风空调系统的运行参数。

2. 根据权利要求1所述的一种地铁站通风空调系统的控制参数优化方法, 其特征在于瞬时人体舒适度指数计算公式如下:

$$y = 1.7t - \frac{32-t}{45-t} - 4v + 34;$$

式中:y代表瞬时人体舒适度指数;t代表瞬时温度;v代表瞬时风速。

3. 根据权利要求1所述的一种地铁站通风空调系统的控制参数优化方法, 其特征在于所述的PID控制算法为增量式PID控制算法。

4. 根据权利要求1所述的一种地铁站通风空调系统的控制参数优化方法, 其特征在于控制标准如下:

$$65 \leq y \leq 85, \quad 70 \leq \bar{y} \leq 80, \quad \bar{\sigma} \leq 0.3;$$

式中:y代表瞬时人体舒适度指数;  $\bar{y}$  代表人体舒适度指数的平均值;  $\bar{\sigma}$  代表人体舒适度

指数的标准差。

## 一种地铁站通风空调系统的控制参数优化方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及到暖通空调领域,针对地铁站通风空调系统提出了一种控制参数优化的方法。具体是利用Fluent软件对地铁站通风空调系统进行流场分析求解并通过流场分析结果对地铁站通风空调系统控制参数进行优化。

### 背景技术

[0002] 伴随着地铁的发展,地铁线路越修越长,虽然地铁能给人民带来方便,但是在修建期间,长时间占用路面也会对路面交通造成很大的压力,给行人带来不便。而如何缩短地铁和地铁站的施工周期,减少修建期间地面的拥堵状况是在地铁领域中的一个重要的研究问题。

[0003] 地铁站通风空调系统的控制参数整定和控制效果评判是一件既费时又费力的工作。一方面,现场设备运行会有大量的电力消耗,另一方面,控制参数的整定会拖慢地铁站的施工周期。对于控制参数整定的传统方法是在地铁站完工之后,在设备调试期间全负荷运行设备,并通过传感器采集的数据不断对控制参数进行修改。这样的方法简单有效,但是需要消耗大量的时间和人力,且设备运行成本高昂,操作专业性强。另外,上述方法仅局限于在地铁站施工完成后,对通风空调的控制参数进行整定。目前亟需找到一种调试时间短、成本低并且准确度较高的方法。

### 发明内容

[0004] 本发明要解决的问题是提供一种地铁站通风空调系统控制参数优化方法,该方法可以有效地调整地铁站通风空调系统控制参数,缩短设备调试周期,节约设备调试成本。

[0005] 一种地铁站通风空调系统的控制参数优化方法,其特征在于对地铁站通风空调系统的控制参数进行修改,应用Fluent软件计算不同控制参数下的流场仿真温度、速度控制结果,比较优化得出最佳控制参数。

[0006] 本发明的技术方案为:一种地铁站通风空调系统控制参数优化方法,方法包括如下具体步骤:

[0007] (1)根据地铁站设计图纸搭建地铁站站台层的仿真模型,并确定地铁站通风空调系统的仿真模型参数,其中地铁站通风空调系统的仿真模型参数包括地铁站尺寸、风道管径、风道壁厚、风道材料密度、风道材料导热系数、风道摩擦系数、地铁站站台层内设备发热功率和地铁站壁面热通量,地铁站通风空调系统的仿真模型包括地铁站的站台层、地铁站通风空调风管和地铁站通风空调风道三部分;在仿真模型的运行结果中地面上1米至2米的范围内选择两个横截面作为温度传感器和风速传感器的接触面,横截面的面积为温度传感器和风速传感器的接触面积;

[0008] (2)对搭建好的地铁站站台层仿真模型进行网格划分;

[0009] (3)根据地铁站通风空调系统仿真模型参数,采用临界比例法计算地铁站通风空调系统PID控制算法的初始控制参数,并使用Fluent UDF编写地铁站通风空调系统PID控制

程序；

[0010] (4) 运行Fluent软件,载入划分好的网格和编写好的地铁站通风空调系统PID控制程序,并对Fluent软件中的求解参数进行设定。使用有限体积法对地铁站通风空调系统的仿真模型进行计算求解,得到地铁站通风空调系统仿真模型的运行结果及两个截面上的瞬时平均温度和瞬时平均风速;

[0011] (5) 采用人体舒适度指数来对地铁站通风空调系统不同控制参数下的控制效果进行评价,通过得到的瞬时平均温度和瞬时平均风速来计算得到瞬时人体舒适度指数,通过瞬时人体舒适度指数可计算求得在仿真运行时间段内的人体舒适度指数的平均值和人体舒适度指数的标准差,并判断瞬时人体舒适度指数、人体舒适度指数的平均值和人体舒适度指数的标准差是否满足控制标准;

[0012] (6) 若当前控制参数下的瞬时人体舒适度指数、人体舒适度指数的平均值和人体舒适度指数的标准差不能同时满足控制标准,则采用临界比例法对PID的控制参数进行整定,并跳转至步骤三,直到瞬时人体舒适度指数、人体舒适度指数的平均值和人体舒适度指数的标准差全部满足控制标准;

[0013] (7) 最后选取经过整定,满足控制标准的PID控制参数作为优化后的地铁站通风空调系统的运行参数。

[0014] 瞬时人体舒适度指数计算公式为: $y=1.7t-\frac{32-t}{45-t}-4v+34$ ,式中:y代表瞬时人体舒适度指数;t代表瞬时温度;v代表瞬时风速。

[0015] PID控制算法为增量式PID控制算法。

[0016] 控制标准为: $65 \leq y \leq 85$ , $70 \leq \bar{y} \leq 80$ , $\bar{\sigma} \leq 0.3$ ,式中:y代表瞬时人体舒适度指数; $\bar{y}$ 代表人体舒适度指数的平均值; $\bar{\sigma}$ 代表人体舒适度指数的标准差。

[0017] 采用上述方案对地铁站通风空调系统进行模拟仿真,不仅能准确地模拟地铁站通风空调系统实际的温度和速度分布情况,而且能够方便准确地得到地铁站通风空调系统的温度和速度的变化、标准差等与控制效果相关的参数值。优化地铁站通风空调系统的控制参数,直到取得地铁站通风空调系统最优控制参数。使用本方法优化地铁站通风空调系统控制参数,可以取得缩短设备调试时间,减少工程周期,节约设备调试成本的效果。

[0018] 本发明将计算流体力学的思想引入到暖通空调控制参数整定问题上,对通风空调的参数整定提供了一种新的方法。对地铁站进行线性和拟合,实现了对地铁站通风空调控制参数的整定。以及提出一种人体舒适度指数,便于对通风空调的控制效果进行判断。

## 附图说明

[0019] 图1是地铁站通风空调系统的控制参数优化方法的流程图;

[0020] 图2是地铁站通风空调系统结构示意图;

[0021] 图3是地铁站通风空调系统PID控制程序的流程图。

## 具体实施方式

[0022] 为了使本发明的目的、技术方案和优点更加清楚,以下示例将结合附图对本发明的技术方案做进一步的说明,显然,所描述的示例只是本发明的一个应用,而不是全部。

[0023] 本发明实施中是采用Fluent软件来对地铁站通风空调系统进行仿真，并通过仿真结果来判断当前控制参数下的控制效果能否满足控制标准以及在不满足控制标准的情况下对控制参数进行整定。使用本方法优化地铁站通风空调系统控制参数，可以取得缩短设备调试时间，减少工程周期，节约设备调试成本的效果。

[0024] 地铁站通风空调系统控制参数优化方法的实现步骤如说明书附图1所示。

[0025] (1) 通过地铁站设计图纸搭建地铁站站台层的仿真模型。在搭建地铁站站台层的仿真模型时，由于地铁站站台层结构较为复杂，为了更有利于搭建仿真模型和提高对仿真模型计算求解的速度，需要对其做一些简化，因此作出如下假设：

[0026] 1. 考虑到地铁站冷水系统和通风系统之间的耦合性难以准确计算，且对最终控制效果影响不大，所以将新风温度设为定值291K。

[0027] 2. 考虑到实际地铁站站台层环境复杂，而且很多物体不仅形状不规则，而且对最终结果影响较小，会严重降低计算速度。所以需要将这类物体进行简化。其中包括：将地铁站站台层垂直电梯设置为关闭状态；将地铁列车简化为长方体，且列车加速度和减速度设为定值；忽略屏蔽门的漏风量。

[0028] 通过现场测量来确定仿真模型的基本仿真参数。包括地铁站尺寸、风道管径、风道壁厚、风道材料密度、风道材料导热系数、风道摩擦系数、地铁站站台层内设备发热功率和地铁站壁面热通量。

[0029] 在地铁站通风空调系统仿真模型地面上方2米的平面上选择两个0.05m\*0.05m的横截面作为温度传感器和风速传感器的位置，接触面积为0.05m\*0.05m，如图2所示。

[0030] (2) 将搭建好的地铁站站台层仿真模型导入到网格划分软件ICEM中，使用ICEM对仿真模型进行网格划分。网格划分采用非结构的四面体网格，并对模型边缘进行网格加密，以提高模型的精准度。总体网格数量大约在500万。

[0031] (3) 编写基于Fluent的地铁站通风空调系统PID控制程序。通过FluentUDF(用户自定义函数)编写基于Fluent的地铁站通风空调系统PID控制程序。

[0032] 在编写PID控制程序时，由于PID控制属于闭环非定长控制，所以需要通过UDF中的DEFINE\_INITIALIZATION宏对控制对象初始化、DEFINE\_EXECUTE\_AT\_END宏进行传感器数据采集和DEFINE\_PROFILE宏进行风机控制以实现该功能。利用begin\_f\_loop(f,t)和end\_f\_loop(f,t)对每个传感器横截面的网格进行遍历，以及宏C\_T(c0,tc0)读取所遍历的网格温度，通过fopen和fclose打开和关闭文档，从而将所需重要参数信息生成TXT文件并保存。同时使用宏F\_PROFILE(f,t,i)来改变通风风机的转速，从而实现地铁站通风空调系统PID控制。其流程图见图3。由于在默认情况下，程序只能在单核运算的情况下对模型进行求解，但实际模型较为复杂，单核计算需要较长的时间。因此，需要在程序中加入#if!RP\_HOST和#if!RP\_NODE来使得上述程序可以在多核运算下对模型进行求解，以及host\_to\_node和node\_to\_host把数据在节点和主机中传输，以提高模型的求解速度。

[0033] (4) 依次将第二步划分好的网格和第三步编写好的PID控制程序载入Fluent软件中。并将PID控制程序中的DEFINE\_INITIALIZATION宏、DEFINE\_EXECUTE\_AT\_END宏和DEFINE\_PROFILE宏载入到User-Defined Function Hooks中。

[0034] 对Fluent软件中的求解参数进行设定：

[0035] 由于流体模型为三维非定常不可压粘性流动，湍流模型选取收敛性较好的

Realizable $\kappa-\epsilon$ 模型,控制方程为动量方程( Navier-Stokes方程)、连续性方程、湍流动能防侧滑能够与湍流耗散率方程联立。采用非耦合算法进行求解,使用SIMPLE算法,时间步长为1s,时间步取64800,即18小时。为了保证每个时间步内计算收敛,将每个时间步的迭代步数设定为20步。地铁站站内初始温度设定为305K。为了提高计算求解的速度,采用单精度计算求解,各控制方程残差均在 $1*10^{-3}$ 以下,在保证数值收敛和物理收敛后,停止迭代。入口设定为风扇入口,出口设定为风扇出口,相关边界条件设置成为壁面。入口和出口的速度由地铁站通风空调系统PID控制程序进行控制。

[0036] 运行仿真模型即可得到选定横截面所监测到的瞬时平均温度和瞬时平均风速。

[0037] (5)采用人体舒适度指数来对地铁站通风空调系统不同控制参数下的控制效果进行评价,通过得到的瞬时平均温度和瞬时平均风速来计算得到瞬时人体舒适度指数,通过瞬时人体舒适度指数可计算求得在仿真运行时间段内的人体舒适度指数的平均值和人体舒适度指数的标准差,并判断瞬时人体舒适度指数、人体舒适度指数的平均值和人体舒适度指数的标准差是否满足控制标准;

[0038] 瞬时人体舒适度指数计算公式如下:

$$[0039] y = 1.7t - \frac{32-t}{45-t} - 4v + 34$$

[0040] 式中:y代表瞬时人体舒适度指数;t代表瞬时温度;v代表瞬时风速。

[0041] 人体舒适度指数的平均值计算公式如下:

$$[0042] \text{平均值 } \bar{y} \text{ 表达式为 } \bar{y} = \frac{\sum_{i=0}^{i=n} y_i}{n}$$

[0043] 式中:i为数据采集的时刻; $y_i$ 为第i时刻的瞬时人体舒适度指数;n为数据采样总数。

[0044] 人体舒适度指数的标准差如下:

$$[0045] \text{标准差 } \bar{\sigma} \text{ 表达式为 } \bar{\sigma} = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{i=n} (y_i - \bar{y})^2}{n}}$$

[0046] 式中:i为数据采集的时刻; $y_i$ 为第i时刻的瞬时人体舒适度指数;n为数据采样总数; $\bar{y}$ 为人体舒适度指数的平均值。

[0047] 控制标准如下:

$$[0048] 65 \leq y \leq 85, 70 \leq \bar{y} \leq 80, \bar{\sigma} \leq 0.3$$

[0049] 式中:y代表瞬时人体舒适度指数; $\bar{y}$ 代表人体舒适度指数的平均值; $\bar{\sigma}$ 代表人体舒适度指数的标准差。

[0050] 不同控制参数的计算结果如表1所示。Kp为比例调节系数,Ki为积分调节系数,Kd为微分调节系数。

[0051] 表1

| 计算次数           | 1      | 2      | 3      |
|----------------|--------|--------|--------|
| PID 控制参数       | Kp=2   | Kp=0.2 | Kp=0.5 |
|                | Ki=1   | Ki=0.4 | Ki=0.3 |
|                | Kd=0   | Kd=0.2 | Kd=0.1 |
| t              | 64800s | 64800s | 64800s |
| $\bar{y}$      | 73.6   | 75.9   | 76.2   |
| $\bar{\sigma}$ | 0.89   | 0.57   | 0.13   |

[0052] [0053] (6) 经过初次计算得到人体舒适度指数的平均值73.6和人体舒适度指数的标准差0.89。由于人体舒适度指数的平均值和人体舒适度指数的标准差不全满足控制标准,所以需要采用临界比例法对第一次计算时的PID控制参数进行整定,并得到第二次计算的PID控制参数。并返回步骤三。最终经过三次计算,第三次计算的结果可以完全满足控制标准。

[0054] (7) 因此得到优化后的地铁站通风空调系统的控制参数为Kp=0.5;Ki=0.3;Kd=0.1。

[0055] 本发明的一种地铁站通风空调系统控制参数优化方法不局限于上述实施例所属的具体技术方案,凡采用等同替换形成的技术方案均为本发明要求的保护范围。

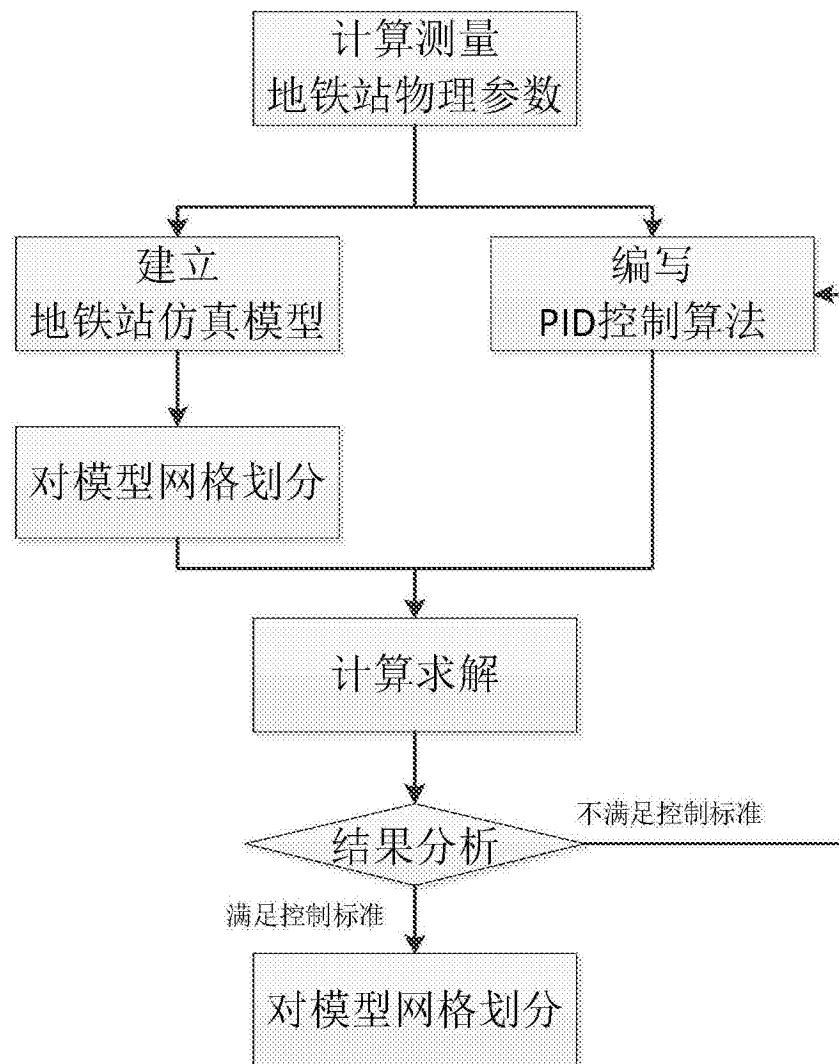


图1

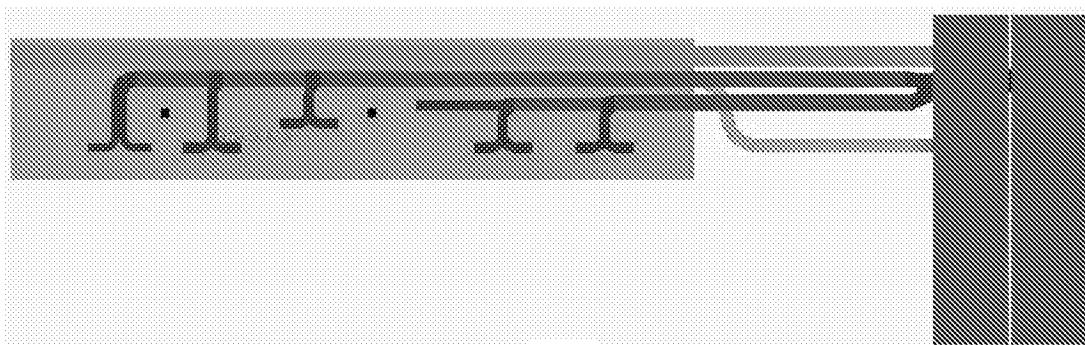


图2

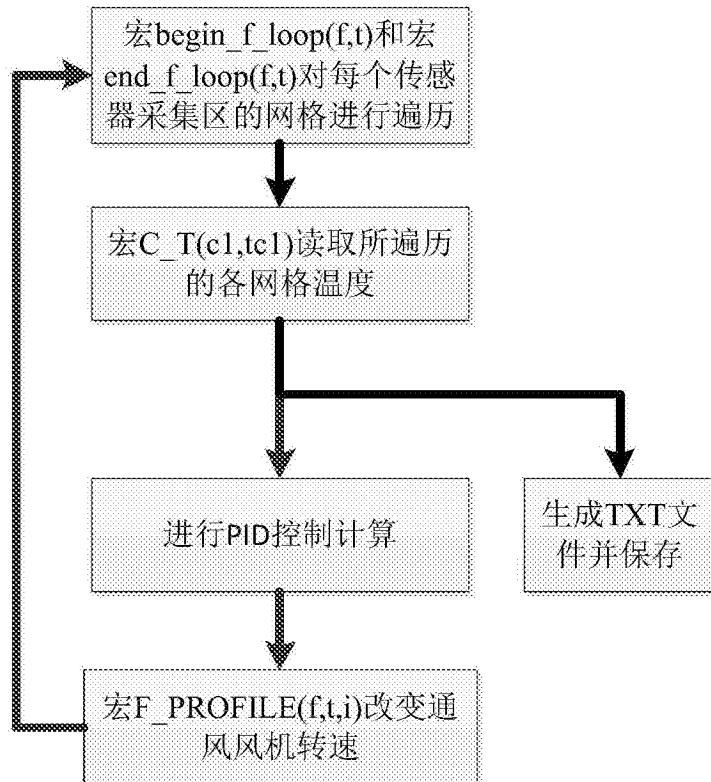


图3