



(12)发明专利申请

(10)申请公布号 CN 111125909 A  
(43)申请公布日 2020.05.08

(21)申请号 201911344182.3

(22)申请日 2019.12.24

(71)申请人 奇瑞汽车股份有限公司  
地址 241006 安徽省芜湖市经济技术开发  
区长春路8号

(72)发明人 项阳 雍安姣 高月仙 王银慈  
叶坚

(74)专利代理机构 北京五月天专利商标代理有  
限公司 11294  
代理人 李永联

(51)Int.Cl.  
G06F 30/20(2020.01)  
G06F 30/15(2020.01)

权利要求书2页 说明书4页 附图4页

(54)发明名称

一种一维汽车热管理模型的自动化标定方法

(57)摘要

本发明是一种一维汽车热管理模型的自动化标定方法,须建立一维整车或系统级仿真模型,要确定的参数为标定参数及初始值、边界参数、标定目标、标定模式、标定值、误差计算方法及标定算法。再由计算机使用标定工具全程自动完成其标定:工程师向计算机输入所有相关参数,经交互模块、误差计算模块,最后由优化模块判断是否达到停止标准,输出最优结果。本发明可以有效解决目前模型标定工作中存在的问题,标定全程由计算机自动完成,减轻了工程师的负担;自动化标定的速度是手动标定的上百倍,缩短了工作周期;标定精度较手动标定高;此外,可提高模型的适用范围。



CN 111125909 A

1. 一种一维汽车热管理模型的自动化标定方法,其特征在于,所述方法为:

(1) 建立一维整车或系统级仿真模型,所述模型的组成架构与试验的组成架构相同,或为其合理等效;其中,所要确定的参数为:

1) 确定标定参数及初始值;

2) 确定边界参数;

3) 确定标定目标;

4) 确定标定模式;

5) 确定标定值;

6) 确定误差计算方法,所述误差计算方法为绝对误差或相对误差;若任一标定值为0,则必须选择绝对误差;

7) 确定标定算法,所述标定算法为根据历史标定参数与误差,推测下一组标定参数的方法;

(2) 由计算机使用其设定的自动化标定工具全程自动完成其标定:

步骤1) 工程师向计算机输入标定所需的上述所有相关参数,计算机检查参数输入,若不符合要求,给出错误提示要求重新输入,若符合要求则进入交互模块;

步骤2) 交互模块将标定参数代入模型,再循环代入各组边界参数,调用仿真软件计算并保存结果,直至所有边界计算完成,进入误差计算模块;若首次执行,标定参数则为初始值;

步骤3) 误差计算模块根据用户选择的误差计算方法,将步骤2) 计算结果与标定值代入公式进行计算,返回误差结果,进入优化模块;

步骤4) 优化模块判断是否达到停止标准,如误差满足要求、达到最优解、计算次数或计算时间超过设定值、或其他停止标准;若未达到,根据用户选择的标定算法,计算下一组标定参数,重新进入步骤2) 交互模块,若满足,则输出最优结果,结束运行。

2. 根据权利要求1所述的自动化标定方法,其特征在于,所述的自动化标定工具包括:

(1) 交互模块,用于控制仿真软件,代入边界参数与标定参数,计算后返回标定目标值;

(2) 误差计算模块,根据选择的误差计算方法,比较模型计算结果与标定值,并返回误差;

(3) 优化模块,根据选择的标定算法,由历史标定参数与误差推测下一组标定参数,直至达到停止标准,所述停止标准可为:精度满足要求、达到最优解、计算次数或计算时间超过设定值。

3. 根据权利要求1所述的自动化标定方法,其特征在于,所述标定参数为模型中 $n$ 个可调节的输入参数,所述初始值为与输入参数一一对应的、满足约束条件的、可使模型顺利计算的 $n$ 个值,所述 $n$ 为大于等于1的整数;

所述约束条件为 $m$ 个不等式,代表标定参数的调节范围,所述 $m$ 为大于等于0的整数。

4. 根据权利要求1所述的自动化标定方法,其特征在于,所述边界参数为模型中 $s$ 个可调节的输入参数,共 $t$ 组,代表 $t$ 个不同边界的试验,所述 $s$ 、 $t$ 为大于等于1的整数。

5. 根据权利要求1所述的自动化标定方法,其特征在于,所述标定目标为模型与试验共有且关注的 $h$ 个输出参数,所述 $h$ 为大于等于1的整数。

6. 根据权利要求1所述的自动化标定方法,其特征在于,所述标定模式可为单个点、多

个点或曲线,若为稳态模型则仅能选择单个点。

7.根据权利要求1所述的自动化标定方法,其特征在于,所述标定值为与标定目标一一对应的t组、每组h个试验结果,若标定模式为多个点或曲线,则所述标定值指t个按规定格式保存了这些数据的Excel文件名;

在确定标定值时需确定目标权重,所述标定目标权重为h个体现各标定目标优先级的系数。

8.根据权利要求1所述的自动化标定方法,其特征在于,绝对误差的计算方法为:

$$e_a = (\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^h w_j \cdot \sum_{k=1}^{t_{end}} |x'_{i,j,k} - x_{i,j,k}|) / (t * h * t_{end}),$$

相对误差的计算方法为:

$$e_r = (\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^h w_j \cdot \sum_{k=1}^{t_{end}} |(x'_{i,j,k} - x_{i,j,k}) / x_{i,j,k}|) / (t * h * t_{end}),$$

其中, $t_{end}$ 为模型计算时长,若为稳态模型则为1,单位为s, $w_j$ 为输入的第j个标定目标的权重,若未输入则为 $1/h$ , $x'_{i,j,k}$ 和 $x_{i,j,k}$ 分别为第i个试验边界条件下第j个标定目标在k时刻的实时计算结果与标定值。

9.根据权利要求1所述的自动化标定方法,其特征在于,所述标定算法由MATLAB的优化工具箱提供,包括但不限于:fmincon、fminsearch、模式搜索法(pattern search)、遗传算法(genetic algorithm)等。

## 一种一维汽车热管理模型的自动化标定方法

### 技术领域

[0001] 本发明属于汽车技术领域,涉及一种一维汽车热管理模型的自动化标定方法。

### 背景技术

[0002] 在车辆的开发过程中,一维热管理仿真是唯一能对整车或系统级别的热性能表现进行预测的分析手段。在建模过程中,需要根据现有的试验结果,对整车或系统模型中的子系统、零部件进行标定,以保证模型的可靠性。其中,标定指根据试验数据校准模型参数,直至结果的准确度符合要求。

[0003] 现有技术中,一维仿真软件提供的标定工具只适用于稳态、单标定参数、无约束的模型。而目前绝大部分应用场景不符合上述条件,因此都需要仿真工程师进行手动标定。手动标定的一般步骤是:1. 估计一组初始标定参数,输入模型、仿真并输出结果;2. 将仿真值与试验值进行比对,根据经验调节标定参数,再次输入模型计算;3. 重复步骤2直至仿真值与试验值的误差满足精度要求。手动标定过程极耗时,标定的结果有赖于模型的复杂程度、标定参数的数量、需求的标定精度,尤其依赖于工程师的经验。若标定参数或标定目标的数量较大(4个及以上),手动标定很难达成高精度要求,在这种情况下,工程师只能保证优先级较高的标定目标。由于工程师工作经验的不同,手动标定往往需要数个工作日。此外,手动标定往往只能依据某一试验结果,其结果通常只适用于该试验边界,若与另一边界下的试验数据进行比较,仿真结果仍有明显偏差。

[0004] 专利号为CN106202641A的发明提出了一种发动机CFD仿真计算模型的标定方法、系统及装置,将正交优化方法应用到仿真模型的标定过程中,但在每组实验的模型标定时,输入参数的变化过程仍需由工程师自行估计,手动进行,可以说提供了一种将大量的标定参数通过分组与正交优化降维以减少手动标定工作量的方法,而不是一种完全自动化的标定方法。

### 发明内容

[0005] 为解决手动标定工作耗时、出错率高、适应性差的问题,本发明提供了一种一维汽车热管理模型的自动化标定方法。

[0006] 本发明采用的技术方案如下:

一种一维汽车热管理模型的自动化标定方法,所述方法为:

(1) 建立一维整车或系统级仿真模型,所述模型的组成架构与试验的组成架构相同,或为其合理等效;其中,所要确定的参数为:

- 1) 确定标定参数及初始值;
- 2) 确定边界参数;
- 3) 确定标定目标;
- 4) 确定标定模式;
- 5) 确定标定值;

6) 确定误差计算方法,所述误差计算方法为绝对误差或相对误差;若任一标定值为0,则必须选择绝对误差;

7) 确定标定算法,所述标定算法为根据历史标定参数与误差,推测下一组标定参数的方法;

(2) 由计算机使用其设定的自动化标定工具全程自动完成其标定:

步骤1) 工程师向计算机输入标定所需的上述所有相关参数,计算机检查参数输入,若不符合要求,给出错误提示要求重新输入,若符合要求则进入交互模块;

步骤2) 交互模块将标定参数代入模型,再循环代入各组边界参数,调用仿真软件计算并保存结果,直至所有边界计算完成,进入误差计算模块;若首次执行,标定参数则为初始值;

步骤3) 误差计算模块根据用户选择的误差计算方法,将步骤2) 计算结果与标定值代入公式进行计算,返回误差结果,进入优化模块;

步骤4) 优化模块判断是否达到停止标准,如误差满足要求、达到最优解、计算次数或计算时间超过设定值、或其他停止标准;若未达到,根据用户选择的标定算法,计算下一组标定参数,重新进入步骤2) 交互模块,若满足,则输出最优结果,结束运行。

[0007] 本发明的有益效果是:

本发明提供了一种一维汽车热管理模型的自动化标定方法,可以有效解决目前模型标定工作中存在的问题。在一维仿真软件中搭建模型,定义接口并在标定工具中输入相应参数后,标定全程由计算机自动完成,减轻了工程师的负担;在实际使用时发现,自动化标定的速度是手动标定的上百倍,缩短了工作周期;标定精度较手动标定高;此外,多组工况同时标定,可提高模型的适用范围。

## 附图说明

[0008] 图1为本发明自动化标定工具的方框流程图;

图2为前端模块空气流等效模型示意图;

图3为前端模块空气流等效模型应用本发明自动标定过程中的精度演变图;

图4为乘客舱采暖等效模型示意图;

图5为乘客舱采暖等效模型应用本发明自动标定过程中的精度演变图。

## 具体实施方式

[0009] 下面结合附图对本发明进行清楚、完整的说明。本领域普通技术人员在基于这些说明的情况下将能够实现本发明。在结合附图对本发明进行说明前,需要特别指出的是:

构成本发明的一部分的附图用来辅助对本发明的理解,附图中所提供的内容及其在本发明中有关的说明可用于解释本发明,但不构成对本发明的不当限定。

[0010] 本发明中在包括下述说明在内的各部分中所提供的技术方案和技术特征,在不冲突的情况下,这些技术方案和技术特征可以相互组合。

[0011] 此外,下述说明中涉及到的本发明的实施例通常仅是本发明一部分的实施例,而不是全部的实施例。因此,基于本发明中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动的前提下所获得的所有其他实施例,都应当属于本发明保护的范围。

[0012] 为解决手动标定工作耗时、出错率高、适应性差的问题,本发明提供了一种一维汽车热管理模型的自动化标定方法。

[0013] 本发明采用的技术方案如下:

第一方面,提供一种自动化标定方法,所述方法包括:

建立一维整车或系统级仿真模型,所述模型的组成架构与试验的组成架构相同,或为其合理等效。

[0014] 确定标定参数及初始值,所述标定参数为模型中n个可调节的输入参数,所述初始值为与输入参数一一对应的、满足约束条件的、可使模型顺利计算的n个值,所述n为大于等于1的整数。

[0015] 可选的,确定标定参数的约束条件,所述约束条件为m个不等式,代表标定参数的调节范围,所述m为大于等于0的整数。

[0016] 可选的,确定边界参数,所述边界参数为模型中s个可调节的输入参数,共t组,代表t个不同边界的试验,所述s、t为大于等于1的整数。

[0017] 确定标定目标,所述标定目标为模型与试验共有且关注的h个输出参数,所述h为大于等于1的整数。

[0018] 确定标定模式,所述标定模式可为单个点、多个点或曲线,若为稳态模型则仅能选择单个点。

[0019] 确定标定值,所述标定值为与标定目标一一对应的t组、每组h个试验结果,若标定模式为多个点或曲线,则所述标定值指t个按规定格式保存了这些数据的Excel文件名。

[0020] 可选的,确定标定目标权重,所述标定目标权重为h个体现各标定目标优先级的系数。

[0021] 确定误差计算方法,所述误差计算方法可为绝对误差或相对误差。若任一标定值为0,则必须选择绝对误差。

[0022] 绝对误差的计算方法为:

$$e_a = (\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^h w_j \cdot \sum_{k=1}^{t_{end}} |x'_{i,j,k} - x_{i,j,k}|) / (t * h * t_{end}),$$

相对误差的计算方法为:

$$e_r = (\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^h w_j \cdot \sum_{k=1}^{t_{end}} |(x'_{i,j,k} - x_{i,j,k}) / x_{i,j,k}|) / (t * h * t_{end}),$$

其中, $t_{end}$ 为模型计算时长,若为稳态模型则为1,单位为s, $w_j$ 为输入的第j个标定目标的权重,若未输入则为 $1/h$ , $x'_{i,j,k}$ 和 $x_{i,j,k}$ 分别为第i个试验边界条件下第j个标定目标在k时刻的实时计算结果与标定值。

[0023] 确定标定算法,所述标定算法为根据历史标定参数与误差,推测下一组标定参数的方法。标定算法由MATLAB的优化工具箱提供,包括但不限于:fmincon、fminsearch、模式搜索法(pattern search)、遗传算法(genetic algorithm)等。

[0024] 第二方面,提供一种自动化标定工具,所述工具包括:

交互模块,用于控制仿真软件,代入边界参数与标定参数,计算后返回标定目标值。

[0025] 误差计算模块,根据选择的误差计算方法,比较模型计算结果与标定值,并返回误差。

[0026] 优化模块,根据选择的标定算法,由历史标定参数与误差推测下一组标定参数,直

至达到停止标准,所述停止标准可为:精度满足要求、达到最优解、计算次数或计算时间超过设定值、其他停止标准。

[0027] 参见图1,自动化标定工具的工作流程如下:

其标定全程由计算机自动完成。

[0028] 步骤1) 工程师向计算机输入标定所需的所有相关参数,计算机检查参数输入,若不符合要求,给出错误提示要求重新输入,若符合要求则进入交互模块。

[0029] 步骤2) 交互模块将标定参数(若首次执行,则为初始值)代入模型,再循环代入各组边界参数,调用仿真软件计算并保存结果,直至所有t组边界计算完成,进入误差计算模块。

[0030] 步骤3) 误差计算模块根据用户选择的误差计算方法,将步骤2) 计算结果与标定值代入公式进行计算,返回误差结果,进入优化模块。

[0031] 步骤4) 优化模块判断是否达到停止标准,如误差满足要求、达到最优解、计算次数或计算时间超过设定值、或其他停止标准。若未达到,根据用户选择的标定算法,计算下一组标定参数,重新进入步骤2) 交互模块,若满足,则输出最优结果,结束运行。

[0032] 实施例1(如图2所示)

搭建前端模块空气流等效模型,其中,1、2分别代表上下格栅前端压增系数,3、4、5分别代表上下格栅与发动机舱的阻力系数,6、7为散热器,8为风扇。标定需求为,通过调节各压增系数与阻力系数,使所有车速下,各散热器的风量与试验结果一致。

[0033] 标定时,标定参数为模型中1~5的系数,初始值均为1,约束条件均为大于等于0,边界参数为前端风速,标定目标为6、7两个散热器的风量,标定值为风洞试验的风量测量结果,标定模式为单个点,误差计算方法为相对误差,标定算法为模式搜索法。

[0034] 图3为自动化标定工具输出的本实施例的精度演变图,表明输入的初始值误差为83%,经过约150次迭代计算,可将误差降至1.5%以下,满足精度要求。

[0035] 实施例2(如图4所示)

搭建乘客舱采暖等效模型,其中,A代表发动机,B代表加热器芯体。标定需求为,通过两组不同边界的试验水温,拟合发动机的相关热属性参数。两组试验边界以表格形式储存在模型内部,通过试验编号切换。

[0036] 标定时,标定参数为发动机A的热量系数、热容、与冷却液对流换热系数、与环境对流换热系数,约束条件均为大于0,边界参数为仿真时间、试验编号,标定目标为加热器芯体B入口水温,标定值为两个Excel文件名,分别储存了两次试验的入口水温结果,标定模式为曲线,误差计算方法为绝对误差,标定算法为fminsearch。

[0037] 图5为自动化标定工具输出的本实施例的精度演变图,表明输入的初始值误差为20.3℃,经过约35次迭代计算,可将误差降至2.5℃以下,满足精度要求。

[0038] 应当理解的是,以上的一般描述和后文的细节描述仅是示例性和解释性的,并不能限制本发明。

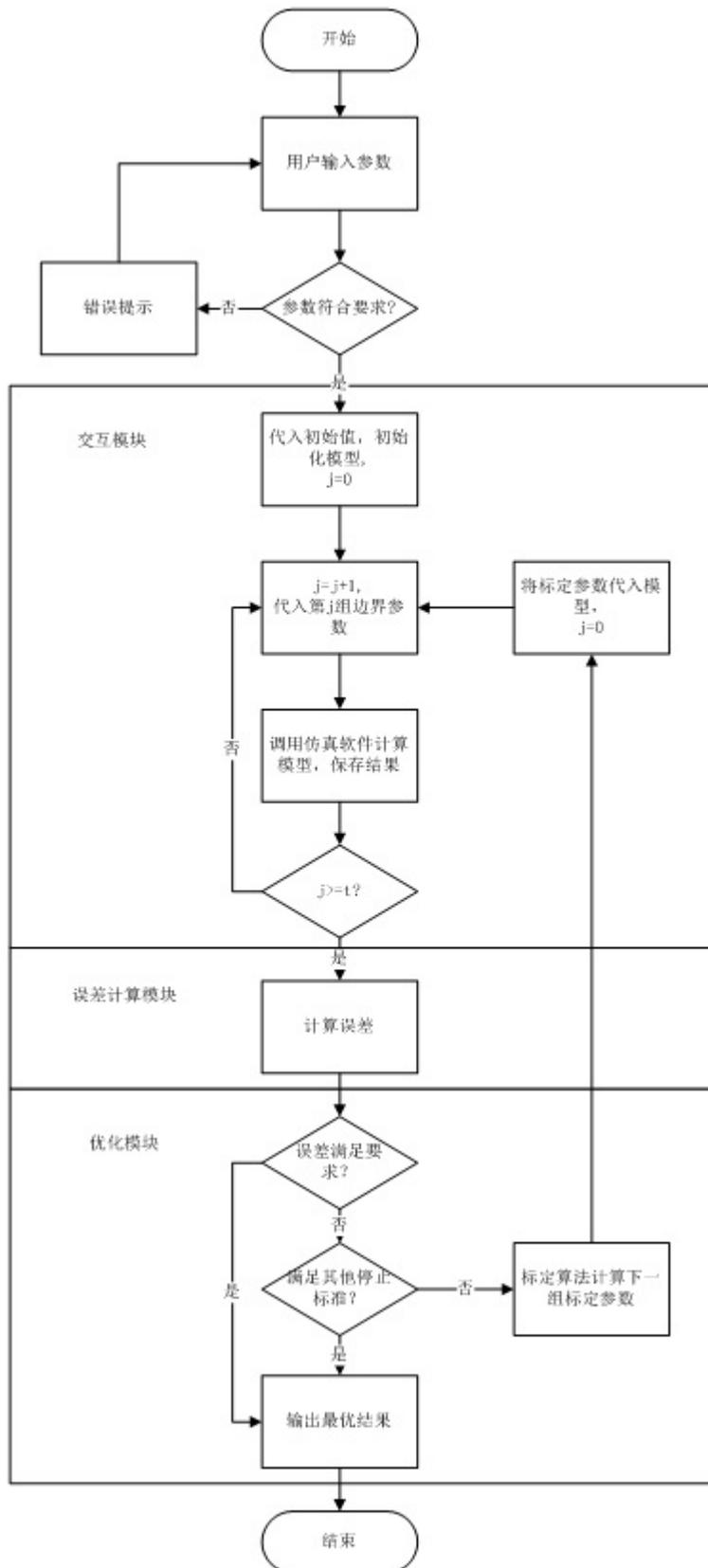


图1

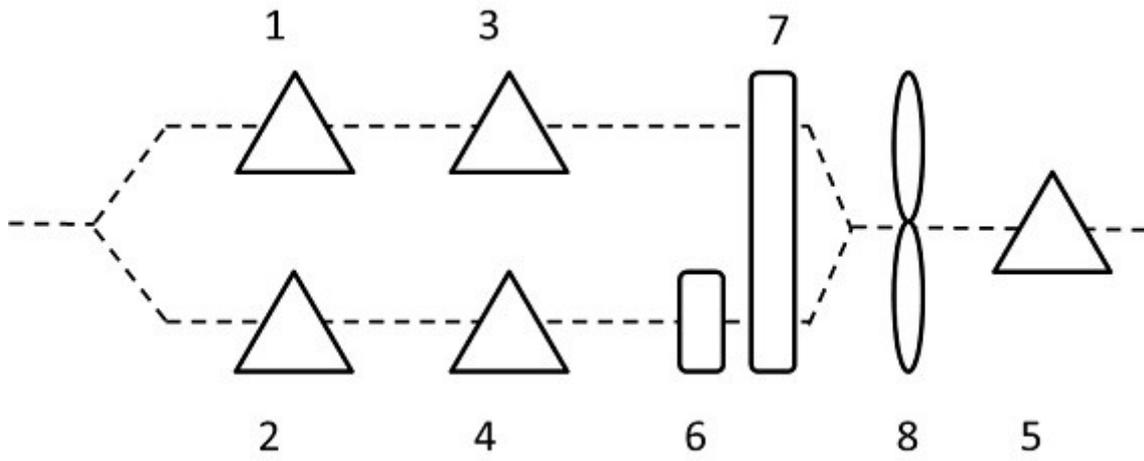


图2

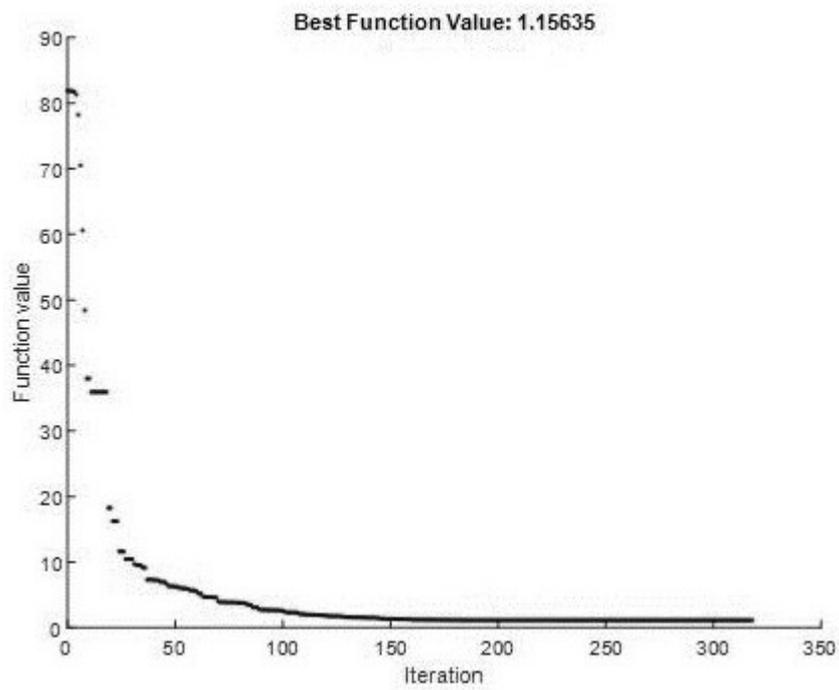


图3

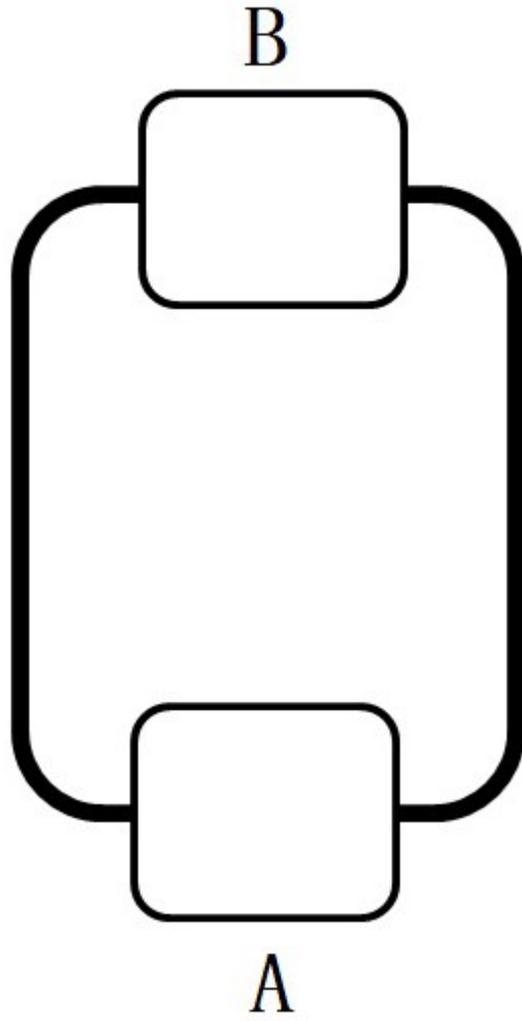


图4

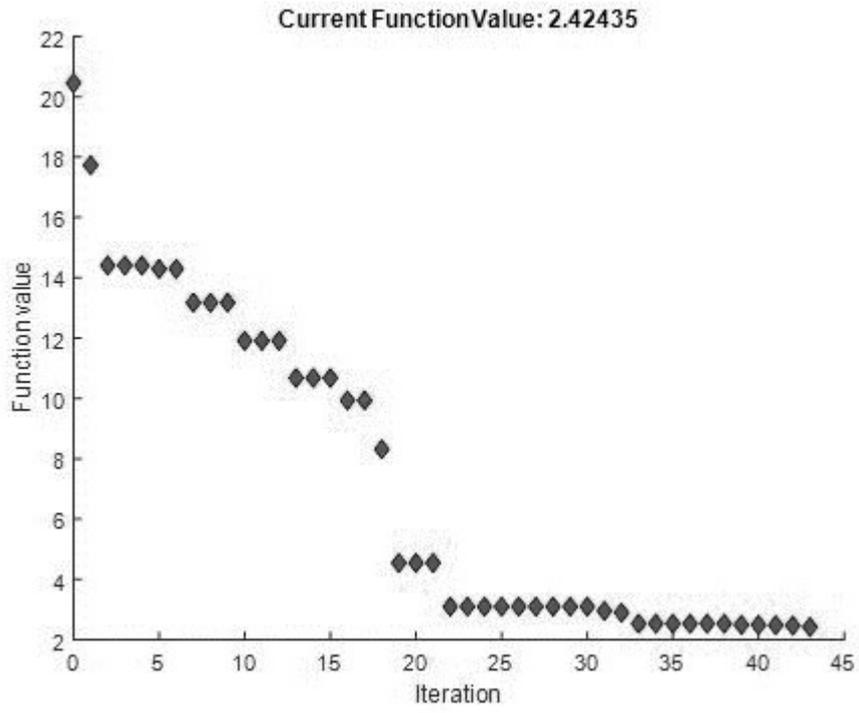


图5