



(12) 发明专利

(10) 授权公告号 CN 116070552 B

(45) 授权公告日 2023.06.27

(21) 申请号 202310248376.3

CN 110287026 A, 2019.09.27

(22) 申请日 2023.03.15

CN 114943192 A, 2022.08.26

(65) 同一申请的已公布的文献号

CN 115238397 A, 2022.10.25

申请公布号 CN 116070552 A

US 7359841 B1, 2008.04.15

WO 2022188394 A1, 2022.09.15

(43) 申请公布日 2023.05.05

赵钟 等. 适用于任意网格的大规模并行CFD计算框架PHengLEI.《计算机学报》.2018, 第42卷(第11期), 2368-2383.

(73) 专利权人 中国空气动力研究与发展中心
计算空气动力研究所

王兰. 超燃冲压发动机整机非结构网格并行数值模拟研究.《中国博士学位论文全文数据库工程科技II辑》.2007, (第6期), C031-20.

地址 621010 四川省绵阳市涪城区二环路
南段6号

(72) 发明人 赵钟 马燕凯 万云博 何先耀
何琨 张子佩 陈坚强

Zhang Laiping 等.Applications of dynamic hybrid grid method for three-dimensional moving/deforming boundary problems.《Computers & Fluids》.2012, 第62卷45-63. (续)

(74) 专利代理机构 北京观韬中茂律师事务所
11553

专利代理师 张聪聪 郝政宇

审查员 龚秒

(51) Int. Cl.

G06F 30/28 (2020.01)

G06F 119/14 (2020.01)

G06F 113/08 (2020.01)

(56) 对比文件

CN 109948202 A, 2019.06.28

权利要求书3页 说明书14页 附图4页

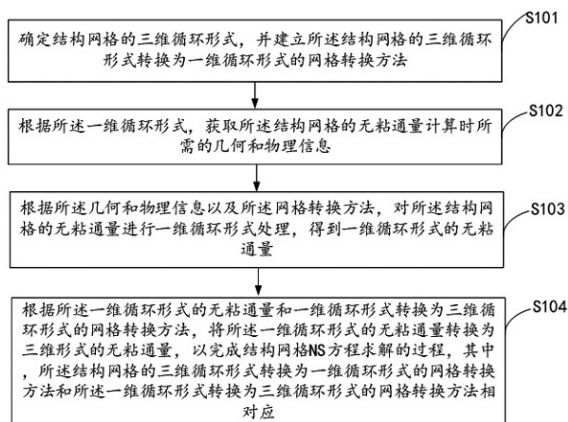
(54) 发明名称

无粘通量的计算方法、装置、终端设备及存储介质

两种网格类型具有相同的计算精度,且提升了程度的可维护性。

(57) 摘要

本申请公开了一种无粘通量的计算方法、装置、终端设备及存储介质,通过确定结构网格的三维循环形式,并建立结构网格的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法;根据一维循环形式,获取结构网格的无粘通量计算时所需的几何和物理信息;根据几何和物理信息以及网格转换方法,对结构网格的无粘通量进行一维循环形式处理,得到一维循环形式的无粘通量;根据一维循环形式的无粘通量和一维循环形式转换为三维循环形式的网格转换方法,将一维循环形式的无粘通量转换为三维形式的无粘通量,以完成结构网格NS方程求解的过程,这样,实现了



CN 116070552 B

[接上页]

(56) 对比文件

Xiao Xu 等. A parallelized hybrid N-S/
DSMC-IP approach based on adaptive

structured/unstructured overlapping grids
for hypersonic transitional flows.
《Journal of Computational Physics》.2018,
第371卷409-433.

1. 无粘通量的计算方法,其特征在于,所述方法包括:

确定结构网格的三维循环形式,并建立所述结构网格的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法;

根据所述一维循环形式,获取所述结构网格的无粘通量计算时所需的几何和物理信息;

根据所述几何和物理信息以及所述网格转换方法,对所述结构网格的无粘通量进行一维循环形式处理,得到一维循环形式的无粘通量;

根据所述一维循环形式的无粘通量和一维循环形式转换为三维循环形式的网格转换方法,将所述一维循环形式的无粘通量转换为三维形式的无粘通量,以完成结构网格NS方程求解的过程,其中,所述结构网格的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法和所述一维循环形式转换为三维循环形式的网格转换方法相对应;

所述确定结构网格的三维循环形式,并建立所述结构网格的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法,包括:

确定结构网格的索引方向,并为每一个索引方向设置面方向编号;

根据需要循环的各个索引方向,设置面循环时各个索引方向的起始值和终止值;

设置面循环时面左右两侧单元的连接关系;

根据所述面方向编号、各个索引方向的起始值和终止值,以及面左右两侧单元的连接关系,建立面循环数据,并建立三个索引方向的面循环的循环方式;

所述根据需要循环的各个索引方向,设置面循环时各个索引方向的起始值和终止值,包括:

对于各个索引方向的面,当进行面循环时,分别设置第一方向的第一初始值和第一终止值,第二方向的第二初始值和第二终止值,第三方向的第三初始值和第三终止值,其中,所述第一终止值为第一方向上的最大单元数,所述第二终止值为第二方向上的最大单元数,所述第三终止值为第三方向上的最大单元数。

2. 根据权利要求1所述的无粘通量的计算方法,其特征在于,所述设置面循环时面左右两侧单元的连接关系,包括:

对第一方向进行面循环时,面左右两侧单元的编号在第一方向上相差1,在第二方向和第三方向上相等;

对第二方向进行面循环时,面左右两侧单元的编号在第二方向上相差1,在第一方向和第三方向上相等;

对第三方向进行面循环时,面左右两侧单元的编号在第三方向上相差1,在第一方向和第二方向上相等;

根据上述对不同方向的面进行面循环,建立面左右两侧单元的连接关系。

3. 根据权利要求1所述的无粘通量的计算方法,其特征在于,所述根据所述一维循环形式,获取所述结构网格的无粘通量计算时所需的几何和物理信息,包括:

获得面左侧单元和面右侧单元的编号;

获取面的面积和面法向信息;

获取面左单元和面右单元原始变量和扩散系数等值;

获取无粘通量计算过程中的几何和物理信息,其中,所述几何和物理信息至少包括无

粘通量的计算格式和熵修正系数。

4. 根据权利要求1所述的无粘通量的计算方法,其特征在于,所述根据所述几何和物理信息以及所述网格转换方法,对所述结构网格的无粘通量进行一维循环形式处理,得到一维循环形式的无粘通量,包括:

根据所述几何和物理信息,确定所述结构网格的无粘通量的计算格式,所述计算格式至少包括:Roe格式或VanLeer格式;

根据与所述计算格式对应的通量计算公式以及所述几何和物理信息,得到所述一维循环形式的无粘通量。

5. 根据权利要求1所述的无粘通量的计算方法,其特征在于,所述根据所述一维循环形式的无粘通量和一维循环形式转换为三维循环形式的网格转换方法,将所述一维循环形式的无粘通量转换为三维形式的无粘通量,以完成结构网格NS方程求解的过程,包括:

根据所述一维循环方式,对所述结构网格的三个方向的面分别进行循环;在循环过程中,将所述一维循环形式的无粘通量依次赋值给所述三个方向的面,得到三维数组的无粘通量。

6. 无粘通量的计算装置,其特征在于,所述装置包括:

确定模块,用于确定结构网格的三维循环形式,并建立所述结构网格的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法;

获取模块,用于根据所述一维循环形式,获取所述结构网格的无粘通量计算时所需的几何和物理信息;

计算模块,用于根据所述几何和物理信息以及所述网格转换方法,对所述结构网格的无粘通量进行一维循环形式处理,得到一维循环形式的无粘通量;

转换模块,用于根据所述一维循环形式的无粘通量和一维循环形式转换为三维循环形式的网格转换方法,将所述一维循环形式的无粘通量转换为三维形式的无粘通量,以完成结构网格NS方程求解的过程,其中,所述结构网格的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法和所述一维循环形式转换为三维循环形式的网格转换方法相对应;

所述确定模块,用于:

确定结构网格的索引方向,并为每一个索引方向设置面方向编号;

根据需要循环的各个索引方向,设置面循环时各个索引方向的起始值和终止值;

设置面循环时面左右两侧单元的连接关系;

根据所述面方向编号、各个索引方向的起始值和终止值,以及面左右两侧单元的连接关系,建立面循环数据,并建立三个索引方向的面循环的循环方式;

所述确定模块,具体用于:

对于各个索引方向的面,当进行面循环时,分别设置第一方向的第一初始值和第一终止值,第二方向的第二初始值和第二终止值,第三方向的第三初始值和第三终止值,其中,所述第一终止值为第一方向上的最大单元数,所述第二终止值为第二方向上的最大单元数,所述第三终止值为第三方向上的最大单元数。

7. 一种终端设备,其特征在于,包括:至少一个处理器和存储器;

所述存储器存储计算机程序;所述至少一个处理器执行所述存储器存储的计算机程序,以实现权利要求1-5中任一项所述的无粘通量的计算方法。

8.一种计算机可读存储介质,其特征在于,该计算机可读存储介质中存储有计算机程序,所述计算机程序被执行时实现权利要求1-5中任一项所述的无粘通量的计算方法。

无粘通量的计算方法、装置、终端设备及存储介质

技术领域

[0001] 本申请属于流体力学技术领域,尤其涉及一种无粘通量的计算方法、装置、终端设备及存储介质。

背景技术

[0002] 计算流体力学(Computational Fluid Dynamics,简称为CFD),是一门利用计算机,数值求解流动控制NS方程的交叉学科。在工业产品研发过程中,通过借助CFD数值模拟,可大幅降低研发费用,缩短设计周期,提高产品的精细化设计水平。

[0003] 计算流体力学的求解过程是在空间网格上将NS方程进行离散,并进行数值迭代求解的过程。目前主流的空间网格类型包括结构网格和非结构网格,两种网格类型均具有各自的优势和劣势。结构网格计算精度高、但网格生成难度大,非结构网格生成过程简单、但计算精度较低。结合结构网格和非结构网格两者优势,采用混合网格方法求解是未来的发展趋势。

[0004] 混合网格方法中,为了保证两种网格具备相同的计算精度、降低程序的重复性和提升程序的可维护性,两种网格类型需要采用统一计算方式进行计算。然而,结构网格和非结构网格在数据结构上存在着较大的差异,结构网格由于其规则性较强,其网格信息采用三维数组的形式进行存储,而非结构网格规则性较差,网格信息采用一维数组进行存储。两种网格类型的差异给统一计算带来了非常大的挑战,如何能够实现两种网格类型具有相同的计算精度,且提升程序的可维护性,是目前急需解决的问题。

发明内容

[0005] 本申请意在提供一种无粘通量的计算方法、装置、终端设备和存储介质,以解决现有技术中存在的不足,本申请要解决的技术问题通过以下技术方案来实现。

[0006] 第一个方面,本申请实施例提供一种无粘通量的计算方法,所述方法包括:

[0007] 确定结构网格的三维循环形式,并建立所述结构网格的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法;

[0008] 根据所述一维循环形式,获取所述结构网格的无粘通量计算时所需的几何和物理信息;

[0009] 根据所述几何和物理信息以及所述网格转换方法,对所述结构网格的无粘通量进行一维循环形式处理,得到一维循环形式的无粘通量;

[0010] 根据所述一维循环形式的无粘通量和一维循环形式转换为三维循环形式的网格转换方法,将所述一维循环形式的无粘通量转换为三维形式的无粘通量,以完成结构网格NS方程求解的过程,其中,所述结构网格的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法和所述一维循环形式转换为三维循环形式的网格转换方法相对应。

[0011] 可选地,所述确定结构网格的三维循环形式,并建立所述结构网格的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法,包括:

- [0012] 确定结构网格的索引方向,并为每一个索引方向设置面方向编号;
- [0013] 根据需要循环的各个索引方向,设置面循环时各个索引方向的起始值和终止值;
- [0014] 设置面循环时面左右两侧单元的连接关系;
- [0015] 根据所述面方向编号、各个索引方向的起始值和终止值,以及面左右两侧单元的连接关系,建立面循环数据,并建立三个索引方向的面循环的循环方式。
- [0016] 可选地,所述根据需要循环的各个索引方向,设置面循环时各个索引方向的起始值和终止值,包括:
- [0017] 对于各个索引方向的面,当进行面循环时,分别设置第一方向的第一初始值和第一终止值,第二方向的第二初始值和第二终止值,第三方向的第三初始值和第三终止值,其中,所述第一终止值为第一方向上的最大单元数,所述第二终止值为第二方向上的最大单元数,所述第三终止值为第三方向上的最大单元数。
- [0018] 可选地,所述设置面循环时面左右两侧单元的连接关系,包括:
- [0019] 对第一方向进行面循环时,面左右两侧单元的编号在第一方向上相差1,在第二方向和第三方向上相等;
- [0020] 对第二方向进行面循环时,面左右两侧单元的编号在第二方向上相差1,在第一方向和第三方向上相等;
- [0021] 对第三方向进行面循环时,面左右两侧单元的编号在第三方向上相差1,在第一方向和第二方向上相等;
- [0022] 根据上述对不同方向的面进行面循环,建立面左右两侧单元的连接关系。
- [0023] 可选地,所述根据所述一维循环形式,获取所述结构网格的无粘通量计算时所需的几何和物理信息,包括:
- [0024] 获得面左侧单元和面右侧单元的编号;
- [0025] 获取面的面积和面法向信息;
- [0026] 获取面左单元和面右单元原始变量和扩散系数等值;
- [0027] 获取无粘通量计算过程中的几何和物理信息,其中,所述几何和物理信息至少包括无粘通量的计算格式和熵修正系数。
- [0028] 可选地,所述根据所述几何和物理信息以及所述网格转换方法,对所述结构网格的无粘通量进行一维循环形式处理,得到一维循环形式的无粘通量,包括:
- [0029] 根据所述几何和物理信息,确定所述结构网格的无粘通量的计算格式,所述计算格式至少包括:Roe格式或VanLeer格式;
- [0030] 根据与所述计算格式对应的通量计算公式以及所述几何和物理信息,得到所述一维循环形式的无粘通量。
- [0031] 可选地,所述根据所述一维循环形式的无粘通量和一维循环形式转换为三维循环形式的网格转换方法,将所述一维循环形式的无粘通量转换为三维形式的无粘通量,以完成结构网格NS方程求解的过程,包括:
- [0032] 根据所述一维循环方式,对所述结构网格的三个方向的面分别进行循环;在循环过程中,将所述一维循环形式的无粘通量依次赋值给所述三个方向的面,得到三维数组的无粘通量。
- [0033] 第二个方面,本申请实施例提供一种无粘通量的计算装置,所述装置包括:

[0034] 确定模块,用于确定结构网格的三维循环形式,并建立所述结构网格的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法;

[0035] 获取模块,用于根据所述一维循环形式,获取所述结构网格的无粘通量计算时所需的几何和物理信息;

[0036] 计算模块,用于根据所述几何和物理信息以及所述网格转换方法,对所述结构网格的无粘通量进行一维循环形式处理,得到一维循环形式的无粘通量;

[0037] 转换模块,用于根据所述一维循环形式的无粘通量和一维循环形式转换为三维循环形式的网格转换方法,将所述一维循环形式的无粘通量转换为三维形式的无粘通量,以完成结构网格NS方程求解的过程,其中,所述结构网格的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法和所述一维循环形式转换为三维循环形式的网格转换方法相对应。

[0038] 可选地,所述确定模块用于:

[0039] 确定结构网格的索引方向,并为每一个索引方向设置面方向编号;

[0040] 根据需要循环的各个索引方向,设置面循环时各个索引方向的起始值和终止值;

[0041] 设置面循环时面左右两侧单元的连接关系;

[0042] 根据所述面方向编号、各个索引方向的起始值和终止值,以及面左右两侧单元的连接关系,建立面循环数据,并建立三个索引方向的面循环的循环方式。

[0043] 可选地,所述确定模块用于:

[0044] 对于各个索引方向的面,当进行面循环时,分别设置第一方向的第一初始值和第一终止值,第二方向的第二初始值和第二终止值,第三方向的第三初始值和第三终止值,其中,所述第一终止值为第一方向上的最大单元数,所述第二终止值为第二方向上的最大单元数,所述第三终止值为第三方向上的最大单元数。

[0045] 可选地,所述确定模块用于:

[0046] 对第一方向进行面循环时,面左右两侧单元的编号在第一方向上相差1,在第二方向和第三方向上相等;

[0047] 对第二方向进行面循环时,面左右两侧单元的编号在第二方向上相差1,在第一方向和第三方向上相等;

[0048] 对第三方向进行面循环时,面左右两侧单元的编号在第三方向上相差1,在第一方向和第二方向上相等;

[0049] 根据上述对不同方向的面进行面循环,建立面左右两侧单元的连接关系。

[0050] 可选地,所述获取模块用于:

[0051] 获得面左侧单元和面右侧单元的编号;

[0052] 获取面的面积和面法向信息;

[0053] 获取面左单元和面右单元原始变量和扩散系数等值;

[0054] 获取无粘通量计算过程中的几何和物理信息,其中,所述几何和物理信息至少包括无粘通量的计算格式和熵修正系数。

[0055] 可选地,所述计算模块用于:

[0056] 根据所述几何和物理信息,确定所述结构网格的无粘通量的计算格式,所述计算格式至少包括:Roe格式或VanLeer格式;

[0057] 根据与所述计算格式对应的通量计算公式以及所述几何和物理信息,得到所述一

维循环形式的无粘通量。

[0058] 可选地,所述转换模块用于:

[0059] 根据所述一维循环方式,对所述结构网格的三个方向的面分别进行循环;在循环过程中,将所述一维循环形式的无粘通量依次赋值给所述三个方向的面,得到三维数组的无粘通量。

[0060] 第三个方面,本申请实施例提供一种终端设备,包括:至少一个处理器和存储器;

[0061] 所述存储器存储计算机程序;所述至少一个处理器执行所述存储器存储的计算机程序,以实现第一个方面提供的无粘通量的计算方法。

[0062] 第四个方面,本申请实施例提供一种计算机可读存储介质,该计算机可读存储介质中存储有计算机程序,所述计算机程序被执行时实现第一个方面提供的无粘通量的计算方法。

[0063] 本申请实施例包括以下优点:

[0064] 本申请实施例提供的无粘通量的计算方法、装置、终端设备和存储介质,通过确定结构网格的三维循环形式,并建立结构网格的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法;根据一维循环形式,获取结构网格的无粘通量计算时所需的几何和物理信息;根据几何和物理信息以及网格转换方法,对结构网格的无粘通量进行一维循环形式处理,得到一维循环形式的无粘通量;根据一维循环形式的无粘通量和一维循环形式转换为三维循环形式的网格转换方法,将一维循环形式的无粘通量转换为三维形式的无粘通量,以完成结构网格NS方程求解的过程,其中,结构网格的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法和一维循环形式转换为三维循环形式的网格转换方法相对应,保证结构网格和非结构网格格式精度一致,两种网格计算无粘通量时,采用完全相同的计算格式的程序,可以保证采用不同网格类型计算时,无粘通量的计算精度完全一致,这样,实现了两种网格类型具有相同的计算精度,且提升了程度的可维护性。

附图说明

[0065] 为了更清楚地说明本申请实施例或现有的技术方案,下面将对实施例或现有技术描述中所需要使用的附图作简单地介绍,显而易见地,下面描述中的附图仅仅是本申请中记载的一些实施例,对于本领域普通技术人员来讲,在不付出创造性劳动性的前提下,还可以根据这些附图获得其他的附图。

[0066] 图1为本申请一实施例中一种无粘通量的计算方法的流程图;

[0067] 图2为本申请一实施例中无粘通量计算过程;

[0068] 图3为本申请一实施例中结构网格和非结构网格数据结构的区别;

[0069] 图4为本申请一实施例中结构网格无粘通量统一计算的方法;

[0070] 图5为本申请一实施例中三维循环转换为一维循环的具体实现方式;

[0071] 图6是本申请的一种无粘通量的计算装置实施例的结构框图;

[0072] 图7是本申请的一种终端设备的结构示意图。

具体实施方式

[0073] 为使本申请的目的、技术方案和优点更加清楚,下面将结合具体实施例及相应的

附图对本申请的技术方案进行清楚、完整地描述。显然,所描述的实施例仅是本申请一部分实施例,而不是全部的实施例。基于本申请中的实施例,本领域普通技术人员在没有做出创造性劳动前提下所获得的所有其他实施例,都属于本申请保护的范围。

[0074] NS方程:Navier-Stokes方程的简称,用于描述流体力学的控制方程;

[0075] 流场变量:流动中的压力、速度、密度、温度等状态量;

[0076] CFD:Computational Fluid Dynamics的简称,用于求解NS方程获得流场变量,通过数值离散方法,将连续的NS方程离散为 $Ax=B$ 形式的线性方程组,并通过方程组求解技术求解得到流场变量。

[0077] 结构网格:指的是网格节点间存在数学逻辑关系,相邻网格节点之间的关系是明确的,在网格数据存储过程中,只需要存储基础节点的坐标而无需保存所有节点的空间坐标

[0078] 非结构网格:其定义和结构化网格相对应,非结构网格是指网格区域内的内部点不具有相同的毗邻单元,即网格剖分区域内的不同内点相连的网格数目不同。

[0079] 无粘通量:是NS方程中表征流动问题中对流作用的部分。

[0080] 无粘通量格式:用于计算NS方程中无粘通量的数值方法,比如中心差分方法和迎风方法等。

[0081] 本申请一实施例提供一种无粘通量的计算方法,用于对结构网格和非结构网格的无粘通量进行计算。本实施例的执行主体为无粘通量的计算装置,设置在终端设备上,例如,终端设备至少包括计算机终端等。

[0082] 参照图1,示出了本申请的一种无粘通量的计算方法实施例的步骤流程图,该方法具体可以包括如下步骤:

[0083] S101、确定结构网格的三维循环形式,并建立结构网格的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法;

[0084] 具体地,由于结构网格和非结构网格因网格特性的不同,因此数据处理时采用了不同的数据结构,从而导致计算方式存在很大的差异,因此,本申请实施例中提供一种从三维循环计算的方式转换为一维循环计算方式,对于此,终端设备确定结构网格的三维循环形式,并建立结构网格的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法。

[0085] S102、根据一维循环形式,获取结构网格的无粘通量计算时所需的几何和物理信息;

[0086] 具体地,终端设备将结构网格面循环方式从三维循环转换为了一维循环,因此无粘通量计算过程所需要的物理信息也可以通过一维循环的方式获取,进而结构网格面上的无粘通量可以采用一维循环的方式进行计算。

[0087] S103、根据几何和物理信息以及网格转换方法,对结构网格的无粘通量进行一维循环形式处理,得到一维循环形式的无粘通量;

[0088] 具体地,终端设备依据数值参数,确定无粘通量的计算格式,如Roe格式和VanLeer格式等,利用几何和物理信息代入到通量计算的公式,计算得到一维循环形式的无粘通量。

[0089] $F_c = F(Q_L, Q_R)$ 其中 F_c 为公共面的无粘通量, Q_L 和 Q_R 分别为L单元和R单元的物理量信息, F 为选用的无粘通量计算格式。

[0090] S104、根据一维循环形式的无粘通量和一维循环形式转换为三维循环形式的网格转换方法,将一维循环形式的无粘通量转换为三维形式的无粘通量,以完成结构网格NS方程求解的过程,其中,结构网格的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法和一维循环形式转换为三维循环形式的网格转换方法相对应。

[0091] 具体地,终端设备完成了无粘通量的计算,然而得到的无粘通量采用一维数组的存储方式进行存储,一维数组的存储方式无法完成NS方程的后续求解过程,因此需要将得到的无粘通量从一维数组的存储方式转换为三维数组的存储方式。一维数组向三维的转换方式同样可以利用上述建立的转换方法进行,按照相同的顺序循环一遍即可。

[0092] 本申请实施例提供的无粘通量的计算方法,通过确定结构网格的三维循环形式,并建立结构网格的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法;根据一维循环形式,获取结构网格的无粘通量计算时所需的几何和物理信息;根据几何和物理信息以及网格转换方法,对结构网格的无粘通量进行一维循环形式处理,得到一维循环形式的无粘通量;根据一维循环形式的无粘通量和一维循环形式转换为三维循环形式的网格转换方法,将一维循环形式的无粘通量转换为三维形式的无粘通量,以完成结构网格NS方程求解的过程,其中,结构网格的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法和一维循环形式转换为三维循环形式的网格转换方法相对应,保证结构网格和非结构网格格式精度一致,两种网格计算无粘通量时,采用完全相同的计算格式的程序,可以保证采用不同网格类型计算时,无粘通量的计算精度完全一致,这样,实现了两种网格类型具有相同的计算精度,且提升了程度的可维护性。

[0093] 本申请又一实施例对上述实施例提供的无粘通量的计算方法做进一步补充说明。

[0094] 可选地,确定结构网格的三维循环形式,并建立结构网格的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法,包括:

[0095] 确定结构网格的索引方向,并为每一个索引方向设置面方向编号;

[0096] 根据需要循环的各个索引方向,设置面循环时各个索引方向的起始值和终止值;

[0097] 设置面循环时面左右两侧单元的连接关系;

[0098] 根据面方向编号、各个索引方向的起始值和终止值,以及面左右两侧单元的连接关系,建立面循环数据,并建立三个索引方向的面循环的循环方式。

[0099] 可选地,根据需要循环的各个索引方向,设置面循环时各个索引方向的起始值和终止值,包括:

[0100] 对于各个索引方向的面,当进行面循环时,分别设置第一方向的第一初始值和第一终止值,第二方向的第二初始值和第二终止值,第三方向的第三初始值和第三终止值,其中,第一终止值为第一方向上的最大单元数,第二终止值为第二方向上的最大单元数,第三终止值为第三方向上的最大单元数。

[0101] 可选地,设置面循环时面左右两侧单元的连接关系,包括:

[0102] 对第一方向进行面循环时,面左右两侧单元的编号在第一方向上相差1,在第二方向和第三方向上相等;

[0103] 对第二方向进行面循环时,面左右两侧单元的编号在第二方向上相差1,在第一方向和第三方向上相等;

[0104] 对第三方向进行面循环时,面左右两侧单元的编号在第三方向上相差1,在第一方

向和第二方向上相等；

[0105] 根据上述对不同方向的面进行面循环,建立面左右两侧单元的连接关系。

[0106] 可选地,根据一维循环形式,获取结构网格的无粘通量计算时所需的几何和物理信息,包括:

[0107] 获得面左侧单元和面右侧单元的编号;

[0108] 获取面的面积和面法向信息;

[0109] 获取面左单元和面右单元原始变量和扩散系数等值;

[0110] 获取无粘通量计算过程中的几何和物理信息,其中,几何和物理信息至少包括无粘通量的计算格式和熵修正系数。

[0111] 可选地,根据几何和物理信息以及网格转换方法,对结构网格的无粘通量进行一维循环形式处理,得到一维循环形式的无粘通量,包括:

[0112] 根据几何和物理信息,确定结构网格的无粘通量的计算格式,计算格式至少包括:Roe格式或VanLeer格式;

[0113] 根据与计算格式对应的通量计算公式以及几何和物理信息,得到一维循环形式的无粘通量。

[0114] 可选地,根据一维循环形式的无粘通量和一维循环形式转换为三维循环形式的网格转换方法,将一维循环形式的无粘通量转换为三维形式的无粘通量,以完成结构网格NS方程求解的过程,包括:

[0115] 根据一维循环方式,对结构网格的三个方向的面分别进行循环;在循环过程中,将一维循环形式的无粘通量依次赋值给三个方向的面,得到三维数组的无粘通量。

[0116] NS方程的数值计算过程中,无粘通量的计算是重要的组成部分。无粘通量的计算过程如图2所示,针对两个相邻的网格单元L和R,其公共面的通量需要利用公共面的几何信息、单元L及单元R的物理信息,和无粘通量计算格式参数进行计算。公共面的几何信息包括面积和面法向。L和R单元的物理信息包括密度、压力、温度、速度等物理量。无粘通量的计算格式参数包括选用的格式及此格式计算过程中需要用到的参数等。

[0117] 以图2的无粘通量计算为例,无粘通量的具体公式为:

[0118] $F_c = F(Q_L, Q_R)$ 其中 F_c 为公共面的无粘通量, Q_L 和 Q_R 分别为L单元和R单元的物理量信息, F 为选用的无粘通量计算格式。

[0119] 结构网格和非结构网格因网格特性的不同,因此数据处理时采用了不同的数据结构,从而导致计算方式存在很大的差异。结构网格的数据采用(I, J, K)三维数组进行存储,非结构网格的数据采用一维数组进行存储。结构网格和非结构网格数据结构的差异如图3所示。

[0120] 由于数据存储方式的不同,结构网格计算无粘通量时,采用的是(I, J, K)三个方向三维循环的形式进行计算,非结构网格采用的是一维循环的形式进行计算。结构网格和非结构网格循环方式的差异如下所示:

[0121] 结构网格计算无粘通量过程:

[0122] for(i=1->iCellMax) {

[0123] for(j=1->jCellMax) {

```
[0124]     for(k=1->kCellMax) {  
[0125]     针对(i,j,k)面,计算无粘通量  
[0126]     }}}
```

[0127] 非结构网格计算无粘通量过程:

```
[0128]     for(iFace=1->nTotalFace) {  
[0129]     针对iFace面,计算无粘通量  
[0130]     }
```

[0131] 通过研究发现,结构网格计算无粘通量时的面循环方式如果可以从三维循环方式变为一维循环的方式,就实现了和非结构网格一致的循环方式,则可以实现两种网格类型无粘通量的统一计算。

[0132] 本申请实施例将结构网格无粘通量的计算过程从三维循环计算的方式转换为一维循环计算方式,从而实现了结构网格和非结构网格无粘通量计算的统一。

[0133] 无粘通量的统一计算方法的具体步骤包括:

[0134] 步骤1:建立结构网格三维循环形式转换为一维循环方式的方法;

[0135] 步骤2:按照步骤1建立的一维循环形式,获取无粘通量计算时所需的几何和物理信息;

[0136] 步骤3:利用步骤2获得的几何和物理信息和步骤1建立的一维循环方式,结构网格无粘通量采用非结构网格的循环方式进行计算;

[0137] 步骤4:将步骤3计算得到的无粘通量,按照步骤1建立的转换方法,将无粘通量从一维形式的表示转换为三维形式进行存储,以完成结构网格NS方程求解的其他过程。

[0138] 完整的无粘通量统一计算流程如图4所示:

[0139] 具体地,步骤1包括:

[0140] 本申请实施例中主要是将三维循环方式转换成一维循环方式,(i,j,k)三维循环转换为一维循环之后的循环方式如下所示:

```
[0141]     do {  
[0142]     iFace++;  
[0143]     flag=iterijk(i,j,k);  
[0144]     }while(flag)
```

[0145] 建立一个迭代算子iterijk,每次将面编号推进一次,并将一维面编号加1,从而将三维面数据结构转换为了一维数据结构。针对结构网格每个面的的对推进过程可以保证面具有统一的计算顺序,具体的迭代推进过程如图5所示。

[0146] 具体地,步骤1包括:

[0147] 步骤11:结构网格的索引包括I,J,K三个方向,即第一方向、第二方向和第三方向在实现过程中,设置(I,J,K)三个面方向编号依次为(1,2,3)。

[0148] 其中,传统的无粘通量计算过程中,结构网格采用三维循环方式,无法和结构网格无粘通量进行统一。本申请实施例建立了三维数据循环方式转换为一维数据循环方式的技术,将结构网格的无粘通量计算过程采用一维数据格式进行计算,实现了和非结构网格无粘通量的统一计算。

[0149] 步骤12:根据需要循环的面方向,设置面循环时的三个方向的起始值和终止值。

[0150] 具体步骤为:

[0151] 步骤121: 当对I方向的面进行循环时, I方向的初始值和终止值对应为 $[0, iCellMax]$, 前后均为比空间, 其中 $iCellMax$ 为整个网格在i方向的最大单元数。另外, J和K方向的起始值和终止值分别为 $[1, jCellMax]$ 和 $[1, kCellMax]$ 。其中 $jCellMax$ 和 $kCellMax$ 分别为整个网格在j和k方向的最大单元数。

[0152] 步骤122: 当对J方向进行面循环时, 三个方向起始终止值分别为 $[1, iCellMax]$ 、 $[0, iCellMax]$ 和 $[1, iCellMax]$ 。

[0153] 步骤123: 当对K方向进行面循环时, 三个方向起始终止值分别为 $[1, iCellMax]$ 、 $[1, iCellMax]$ 和 $[0, iCellMax]$ 。

[0154] 步骤13: 根据所需循环的面方向, 设置面循环时面左右两侧单元的连接关系, 这里用 $(i11, j11, k11)$ 表示。

[0155] 具体步骤为:

[0156] 步骤131: 对I方向进行面循环时, 面左右两侧单元的编号在i方向上相差1, j和k方向上相等, 建立的连接关系可以表示为: $(i11, j11, k11) = (1, 0, 0)$ 。

[0157] 步骤132: 对J方向进行面循环时, 面左右两侧单元的编号在j方向上相差1, i和k方向上相等, 建立的连接关系可以表示为: $(i11, j11, k11) = (0, 1, 0)$ 。

[0158] 步骤133: 对K方向进行面循环时, 面左右两侧单元的编号在k方向上相差1, i和j方向上相等, 建立的连接关系可以表示为: $(i11, j11, k11) = (0, 0, 1)$ 。

[0159] 步骤14: 依据步骤11、步骤12和步骤13建立的面循环数据, 建立三个方面进行面循环的统一循环方式, 具体实现过程如图4所示。

[0160] 具体步骤为:

[0161] 步骤141: 针对 (i, j, k) 单元下一个单元的位置判定规则为: 首先将i值加1, 如果i小于等于 $iCellMax$, 则返回true;

[0162] 步骤142: 如果i大于 $iCellMax$, 则将j值加1, 如果j小于等于 $jCellMax$, 则返回true;

[0163] 步骤143: 如果j大于 $jCellMax$, 则将k值加1, 如果k小于等于 $kCellMax$; 则返回true,

[0164] 步骤144: 如果上述三个条件都不满足, 否则返回false。

[0165] 具体地, 步骤2包括:

[0166] 步骤1将结构网格面循环方式从三维循环转换为了一维循环, 因此无粘通量计算过程所需要的物理信息也可以通过一维循环的方式获取, 进而结构网格面上的无粘通量可以采用一维循环的方式进行计算。具体地, 步骤2包括:

[0167] 步骤21: 针对任意 (i, j, k) 面, 获得面左侧单元和右侧单元的编号;

[0168] 步骤22: 获取面的面积和面法向信息。

[0169] 步骤23: 获取面左单元和面右单元原始变量和扩散系数等值。

[0170] 步骤24: 获取无粘通量计算过程的相关方法参数, 如无粘通量的计算格式, 熵修正系数等。

[0171] 具体地, 步骤3包括:

[0172] 步骤31: 依据数值参数, 确定无粘通量的计算格式, 如Roe格式和VanLeer格式等。

[0173] 步骤32:利用物理信息代入到通量计算的公式,计算得到通量。

[0174] 具体地,步骤4包括:

[0175] 步骤3完成了无粘通量的计算,然而得到的无粘通量采用一维数组的存储方式进行存储,一维数组的存储方式无法完成NS方程的后续求解过程,因此需要将得到的无粘通量从一维数组的存储方式转换为三维数组的存储方式。需要说明的是,一维数组向三维的转换方式同样可以利用步骤1建立的方法进行,按照相同的顺序循环一遍即可。

[0176] 具体地,步骤4包括:

[0177] 步骤41:按照步骤1建立的一维循环方式,对三个面方向各循环一次。

[0178] 步骤42:在循环过程中,将采用一维数组表示的通量依次赋值给三维数组表示的形式。

[0179] 本申请实施例提供的一种结构网格和非结构网格无粘通量的统一计算方法,针对NS方程无粘通量的计算过程,将结构网格无粘通量的计算过程从三维循环计算的方式转换为一维循环计算方式,保证结构网格和非结构网格格式精度一致。两种网格计算无粘通量时,采用完全相同的计算格式的程序,可以保证采用不同网格类型计算时,无粘通量的计算精度完全一致,降低了程序的重复性。针对两种不同类型的网格,仅需要一次程序实现,两种类型同时具备了无粘通量的计算功能,提升程序的可维护性。程序后期bug清除和功能新增只需要维护一套程序,不需要针对两种类型网格重复维护。

[0180] 需要说明的是,对于方法实施例,为了简单描述,故将其都表述为一系列的动作组合,但是本领域技术人员应该知悉,本申请实施例并不受所描述的动作顺序的限制,因为依据本申请实施例,某些步骤可以采用其他顺序或者同时进行。其次,本领域技术人员也应该知悉,说明书中所描述的实施例均属于优选实施例,所涉及的动作并不一定是本申请实施例所必须的。

[0181] 本申请实施例提供的无粘通量的计算方法,通过确定结构网格的三维循环形式,并建立结构网格的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法;根据一维循环形式,获取结构网格的无粘通量计算时所需的几何和物理信息;根据几何和物理信息以及网格转换方法,对结构网格的无粘通量进行一维循环形式处理,得到一维循环形式的无粘通量;根据一维循环形式的无粘通量和一维循环形式转换为三维循环形式的网格转换方法,将一维循环形式的无粘通量转换为三维形式的无粘通量,以完成结构网格NS方程求解的过程,其中,结构网格的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法和一维循环形式转换为三维循环形式的网格转换方法相对应,保证结构网格和非结构网格格式精度一致,两种网格计算无粘通量时,采用完全相同的计算格式的程序,可以保证采用不同网格类型计算时,无粘通量的计算精度完全一致,这样,实现了两种网格类型具有相同的计算精度,且提升了程度的可维护性。

[0182] 本申请另一实施例提供一种无粘通量的计算装置,用于执行上述实施例提供的无粘通量的计算方法。

[0183] 参照图6,示出了本申请的一种无粘通量的计算装置实施例的结构框图,该装置具体可以包括如下模块:确定模块801、获取模块802、计算模块803和转换模块804,其中:

[0184] 确定模块801用于确定结构网格的三维循环形式,并建立结构网格的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法;

[0185] 获取模块802用于根据一维循环形式,获取结构网格的无粘通量计算时所需的几何和物理信息;

[0186] 计算模块803用于根据几何和物理信息以及网格转换方法,对结构网格的无粘通量进行一维循环形式处理,得到一维循环形式的无粘通量;

[0187] 转换模块804用于根据一维循环形式的无粘通量和一维循环形式转换为三维循环形式的网格转换方法,将一维循环形式的无粘通量转换为三维形式的无粘通量,以完成结构网格NS方程求解的过程,其中,结构网格的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法和一维循环形式转换为三维循环形式的网格转换方法相对应。

[0188] 本申请实施例提供的无粘通量的计算装置,通过确定结构网格的三维循环形式,并建立结构网格的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法;根据一维循环形式,获取结构网格的无粘通量计算时所需的几何和物理信息;根据几何和物理信息以及网格转换方法,对结构网格的无粘通量进行一维循环形式处理,得到一维循环形式的无粘通量;根据一维循环形式的无粘通量和一维循环形式转换为三维循环形式的网格转换方法,将一维循环形式的无粘通量转换为三维形式的无粘通量,以完成结构网格NS方程求解的过程,其中,结构网格的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法和一维循环形式转换为三维循环形式的网格转换方法相对应,保证结构网格和非结构网格格式精度一致,两种网格计算无粘通量时,采用完全相同的计算格式的程序,可以保证采用不同网格类型计算时,无粘通量的计算精度完全一致,这样,实现了两种网格类型具有相同的计算精度,且提升了程度的可维护性。

[0189] 本申请又一实施例对上述实施例提供的无粘通量的计算装置做进一步补充说明。

[0190] 可选地,确定模块用于:

[0191] 确定结构网格的索引方向,并为每一个索引方向设置面方向编号;

[0192] 根据需要循环的各个索引方向,设置面循环时各个索引方向的起始值和终止值;

[0193] 设置面循环时面左右两侧单元的连接关系;

[0194] 根据面方向编号、各个索引方向的起始值和终止值,以及面左右两侧单元的连接关系,建立面循环数据,并建立三个索引方向的面循环的循环方式。

[0195] 可选地,确定模块用于:

[0196] 对于各个索引方向的面,当进行面循环时,分别设置第一方向的第一初始值和第一终止值,第二方向的第二初始值和第二终止值,第三方向的第三初始值和第三终止值,其中,第一终止值为第一方向上的最大单元数,第二终止值为第二方向上的最大单元数,第三终止值为第三方向上的最大单元数。

[0197] 可选地,确定模块用于:

[0198] 对第一方向进行面循环时,面左右两侧单元的编号在第一方向上相差1,在第二方向和第三方向上相等;

[0199] 对第二方向进行面循环时,面左右两侧单元的编号在第二方向上相差1,在第一方向和第三方向上相等;

[0200] 对第三方向进行面循环时,面左右两侧单元的编号在第三方向上相差1,在第一方向和第二方向上相等;

[0201] 根据上述对不同方向的面进行面循环,建立面左右两侧单元的连接关系。

- [0202] 可选地,获取模块用于:
- [0203] 获得面左侧单元和面右侧单元的编号;
- [0204] 获取面的面积和面法向信息;
- [0205] 获取面左单元和面右单元原始变量和扩散系数等值;
- [0206] 获取无粘通量计算过程中的几何和物理信息,其中,几何和物理信息至少包括无粘通量的计算格式和熵修正系数。
- [0207] 可选地,计算模块用于:
- [0208] 根据几何和物理信息,确定结构网格的无粘通量的计算格式,计算格式至少包括:Roe格式或VanLeer格式;
- [0209] 根据与计算格式对应的通量计算公式以及几何和物理信息,得到一维循环形式的无粘通量。
- [0210] 可选地,转换模块用于:
- [0211] 根据一维循环方式,对结构网格的三个方向的面分别进行循环;在循环过程中,将一维循环形式的无粘通量依次赋值给三个方向的面,得到三维数组的无粘通量。
- [0212] 对于装置实施例而言,由于其与方法实施例基本相似,所以描述的比较简单,相关之处参见方法实施例的部分说明即可。
- [0213] 本申请实施例提供的无粘通量的计算装置,通过确定结构网格的三维循环形式,并建立结构网格的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法;根据一维循环形式,获取结构网格的无粘通量计算时所需的几何和物理信息;根据几何和物理信息以及网格转换方法,对结构网格的无粘通量进行一维循环形式处理,得到一维循环形式的无粘通量;根据一维循环形式的无粘通量和一维循环形式转换为三维循环形式的网格转换方法,将一维循环形式的无粘通量转换为三维形式的无粘通量,以完成结构网格NS方程求解的过程,其中,结构网格的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法和一维循环形式转换为三维循环形式的网格转换方法相对应,保证结构网格和非结构网格格式精度一致,两种网格计算无粘通量时,采用完全相同的计算格式的程序,可以保证采用不同网格类型计算时,无粘通量的计算精度完全一致,这样,实现了两种网格类型具有相同的计算精度,且提升了程度的可维护性。
- [0214] 本申请再一实施例提供一种终端设备,用于执行上述实施例提供的无粘通量的计算方法。
- [0215] 图7是本申请的一种终端设备的结构示意图,如图7所示,该终端设备包括:至少一个处理器901和存储器902;
- [0216] 存储器存储计算机程序;至少一个处理器执行存储器存储的计算机程序,以实现上述实施例提供的无粘通量的计算方法。
- [0217] 本实施例提供的终端设备,通过确定结构网格的三维循环形式,并建立结构网格的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法;根据一维循环形式,获取结构网格的无粘通量计算时所需的几何和物理信息;根据几何和物理信息以及网格转换方法,对结构网格的无粘通量进行一维循环形式处理,得到一维循环形式的无粘通量;根据一维循环形式的无粘通量和一维循环形式转换为三维循环形式的网格转换方法,将一维循环形式的无粘通量转换为三维形式的无粘通量,以完成结构网格NS方程求解的过程,其中,结构网格

的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法和一维循环形式转换为三维循环形式的网格转换方法相对应,保证结构网格和非结构网格格式精度一致,两种网格计算无粘通量时,采用完全相同的计算格式的程序,可以保证采用不同网格类型计算时,无粘通量的计算精度完全一致,这样,实现了两种网格类型具有相同的计算精度,且提升了程度的可维护性。

[0218] 本申请又一实施例提供一种计算机可读存储介质,该计算机可读存储介质中存储有计算机程序,计算机程序被执行时实现上述任一实施例提供的无粘通量的计算方法。

[0219] 根据本实施例的计算机可读存储介质,通过确定结构网格的三维循环形式,并建立结构网格的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法;根据一维循环形式,获取结构网格的无粘通量计算时所需的几何和物理信息;根据几何和物理信息以及网格转换方法,对结构网格的无粘通量进行一维循环形式处理,得到一维循环形式的无粘通量;根据一维循环形式的无粘通量和一维循环形式转换为三维循环形式的网格转换方法,将一维循环形式的无粘通量转换为三维形式的无粘通量,以完成结构网格NS方程求解的过程,其中,结构网格的三维循环形式转换为一维循环形式的网格转换方法和一维循环形式转换为三维循环形式的网格转换方法相对应,保证结构网格和非结构网格格式精度一致,两种网格计算无粘通量时,采用完全相同的计算格式的程序,可以保证采用不同网格类型计算时,无粘通量的计算精度完全一致,这样,实现了两种网格类型具有相同的计算精度,且提升了程度的可维护性。

[0220] 应该指出,上述详细说明都是示例性的,旨在对本申请提供进一步的说明。除非另有指明,本文使用的所有技术和科学术语均具有与本申请所属技术领域的普通技术人员的通常理解所相同的含义。

[0221] 需要注意的是,这里所使用的术语仅是为了描述具体实施方式,而非意图限制根据本申请的示例性实施方式。如在这里所使用的,除非上下文另外明确指出,否则单数形式也意图包括复数形式。此外,还应当理解的是,当在本说明书中使用术语“包含”和/或“包括”时,其指明存在特征、步骤、操作、器件、组件和/或它们的组合。

[0222] 需要说明的是,本申请的说明书和权利要求书及上述附图中的术语“第一”、“第二”等是用于区别类似的对象,而不必用于描述特定的顺序或先后次序。应该理解这样使用的术语在适当情况下可以互换,以便这里描述的本申请的实施方式能够以除了在这里图示或描述的那些以外的顺序实施。

[0223] 此外,术语“包括”和“具有”以及他们的任何变形,意图在于覆盖不排他的包含。例如,包含了一系列步骤或单元的过程、方法、系统、产品或设备不必限于清楚地列出的那些步骤或单元,而是可包括没有清楚地列出的或对于这些过程、方法、产品或设备固有的其它步骤或单元。

[0224] 为了便于描述,在这里可以使用空间相对术语,如“在……之上”、“在……上方”、“在……上表面”、“上面的”等,用来描述如在图中所示的一个器件或特征与其他器件或特征的空间位置关系。应当理解的是,空间相对术语旨在包含除了器件在图中所描述的方位之外的在使用或操作中的不同方位。例如,如果附图中的器件被倒置,则描述为“在其他器件或构造上方”或“在其他器件或构造之上”的器件之后将被定位为“在其他器件或构造下方”或“在其他器件或构造之下”。因而,示例性术语“在……上方”可以包括“在……上方”和

“在……下方”两种方位。该器件也可以其他不同方式定位,如旋转90度或处于其他方位,并且对这里所使用的空间相对描述作出相应解释。

[0225] 在上面详细的说明中,参考了附图,附图形成本文的一部分。在附图中,类似的符号典型地确定类似的部件,除非上下文以其他方式指明。在详细的说明书、附图及权利要求书中所描述的图示说明的实施方案不意味是限制性的。在不脱离本文所呈现的主题的精神或范围下,其他实施方案可以被使用,并且可以作其他改变。

[0226] 以上所述仅为本申请的优选实施例而已,并不用于限制本申请,对于本领域的技术人员来说,本申请可以有各种更改和变化。凡在本申请的精神和原则之内,所作的任何修改、等同替换、改进等,均应包含在本申请的保护范围之内。

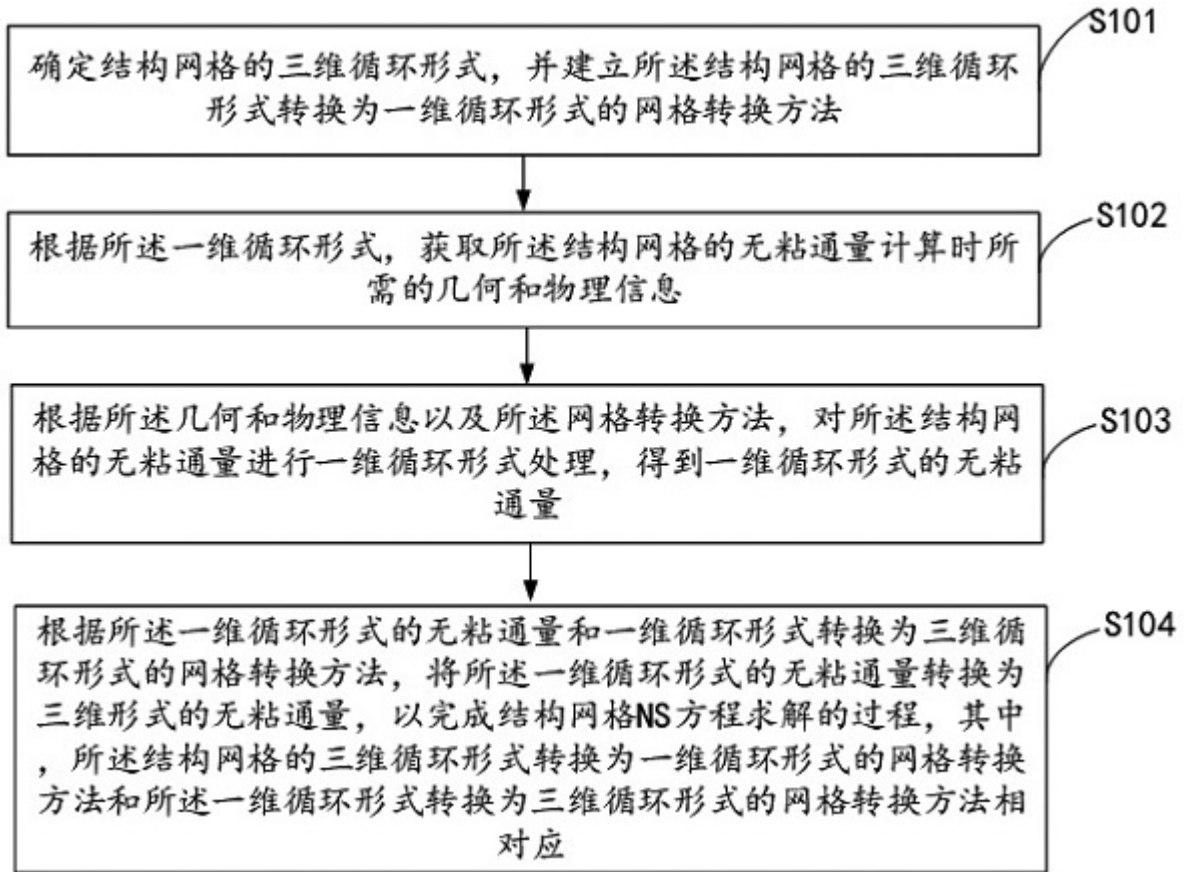


图1

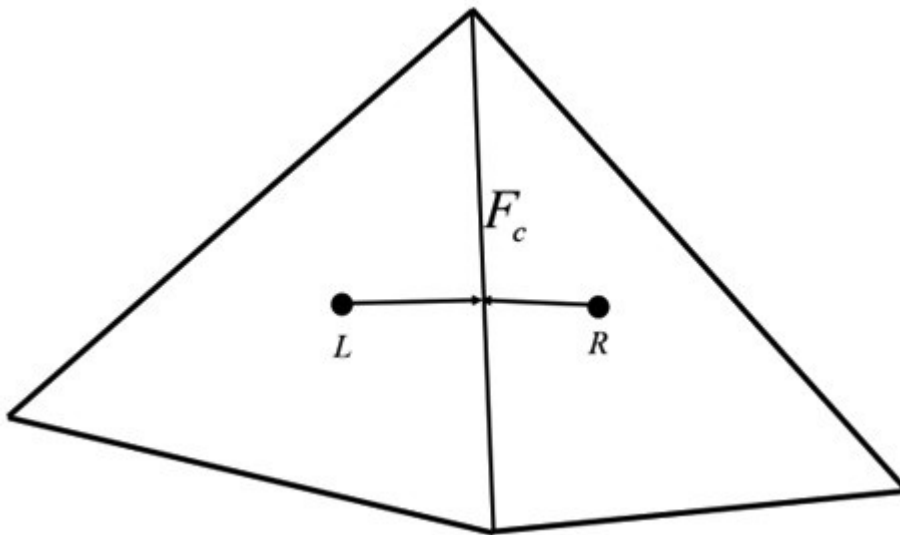


图2

(1,5,1)	(2,5,1)	(3,5,1)	(4,5,1)	(5,5,1)
(1,4,1)	(2,4,1)	(3,4,1)	(4,4,1)	(5,4,1)
(1,3,1)	(2,3,1)	(3,3,1)	(4,3,1)	(5,3,1)
(1,2,1)	(2,2,1)	(3,2,1)	(4,2,1)	(5,2,1)
(1,1,1)	(2,1,1)	(3,1,1)	(4,1,1)	(5,1,1)

21	22	23	24	25
16	17	18	19	20
11	12	13	14	15
6	7	8	9	10
1	2	3	4	5

结构网格数据结构

非结构网格数据结构

图3

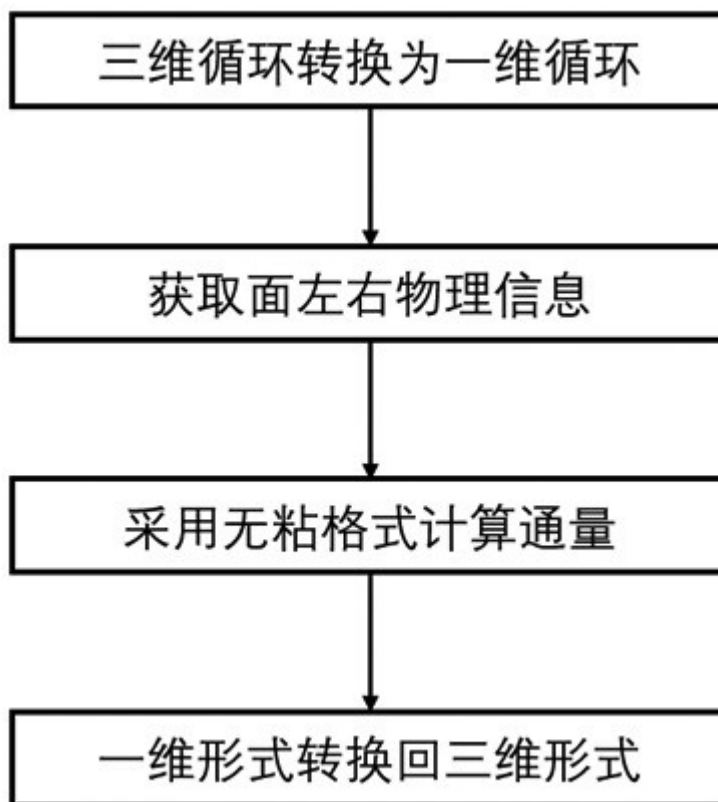


图4

iterijk函数具体实现

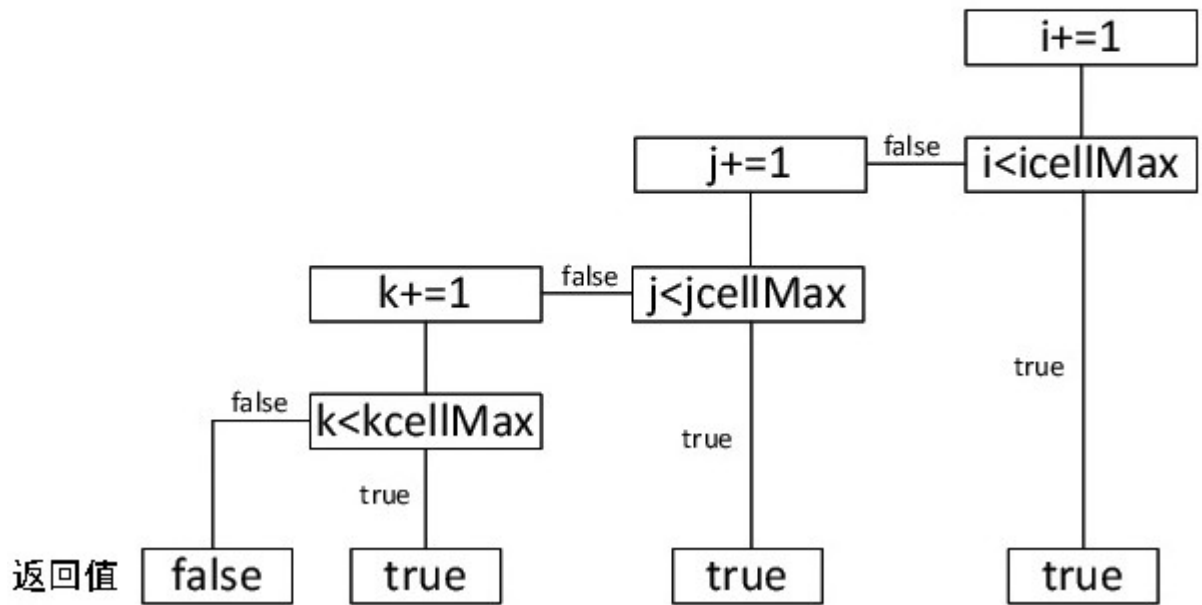


图5

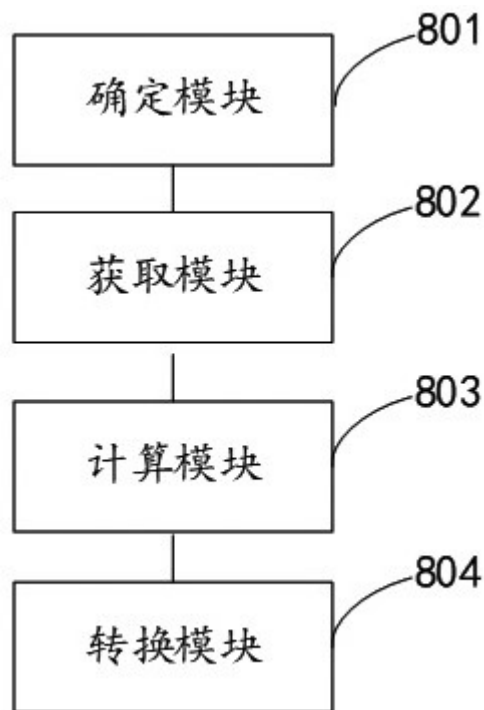


图6

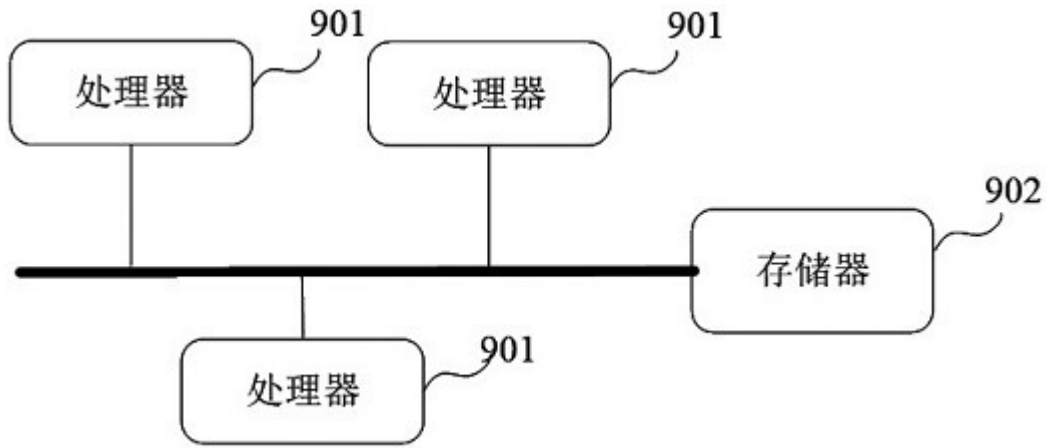


图7