



(21) 申请号 201910930011.2

G06F 119/08 (2020.01)

(22) 申请日 2019.09.29

(56) 对比文件

(65) 同一申请的已公布的文献号

JP 2007232547 A, 2007.09.13

申请公布号 CN 110807246 A

CN 106897478 A, 2017.06.27

(43) 申请公布日 2020.02.18

张志俭等. 板状燃料反应堆热工水力实时仿真程序研究与开发.《核动力工程》.2010, (第06期),

(73) 专利权人 哈尔滨工程大学

审查员 董环环

地址 150001 黑龙江省哈尔滨市南岗区南通大街145号哈尔滨工程大学科技处知识产权办公室

(72) 发明人 陈广亮 田兆斐 张志俭 李磊

(74) 专利代理机构 北京博尔赫知识产权代理事

务所(普通合伙) 16045

专利代理师 于武江

(51) Int. Cl.

G06F 30/20 (2020.01)

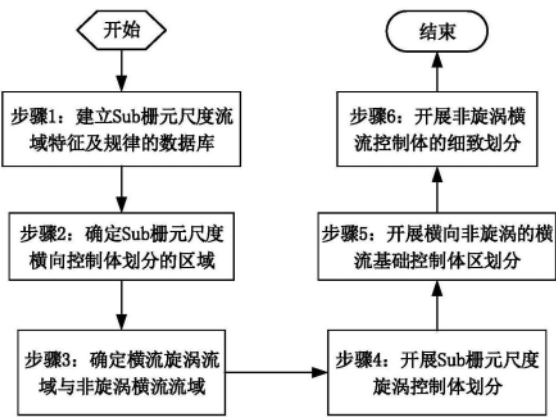
权利要求书1页 说明书5页 附图3页

(54) 发明名称

一种Sub栅元尺度的反应堆热工水力控制体划分方法

(57) 摘要

本发明涉及核反应堆堆芯热工水力计算领域,具体涉及一种Sub栅元尺度的反应堆热工水力控制体划分方法。建立Sub栅元尺度流域特征及规律数据库;确定Sub栅元尺度横向控制体划分的区域;确定横流旋涡流域与非旋涡横流流域;开展Sub栅元尺度横向旋涡控制体区划分;开展横向非旋涡的横流基础控制体区划分;开展非旋涡横流控制体的细致划分。本发明能够模拟堆芯单个栅元以内参量的横向分布特性,提升核反应堆堆芯热工水力子通道分析空间分辨率,更适应于堆芯组件流域的实际热工水力过程。



1. 一种Sub栅元尺度的反应堆热工水力控制体划分方法,其特征在于,包括:

步骤一:建立Sub栅元尺度流域特征及规律数据库:根据不同工况时、不同空间位置处,辨识所研究堆芯组件不同流域Sub栅元尺度冷却剂的横流特性及其规律,建立数据库;所述Sub栅元尺度具体为:空间分辨率能够辨识栅元内部的横向二维流动特性,即辨识Sub栅元尺度的横向二维流动特性;

所述横流特性具体为:堆芯组件不同流域Sub栅元尺度冷却剂的横向流动特性,重点是含搅混翼定位格架下游附近流域的横向流动特性;其中,上述横向指与竖直方向垂直的方向;

所述建立数据库的具体内容为:针对不同运行工况时堆芯组件不同重要流域,记录Sub栅元尺度的横流特性及规律,重点记录各栅元流道内大尺寸旋涡以及所关心旋涡所在区域位置和范围,记录各栅元流道内非旋涡横流的横向流道与流动方向;其中,上述所关心旋涡通过研究者经验、精细化实验与计算研究经验、堆芯横流运动规律与机理研究的方式确定;

步骤二:确定Sub栅元尺度横向控制体划分的区域:根据所研究的堆芯组件流域中具有复杂横流运动的区域,将该区域确定为待进行Sub栅元尺度横向控制体划分的区域;

步骤三:确定横流旋涡流域与非旋涡横流流域:根据步骤二所述的待进行Sub栅元尺度横向控制体划分的区域,基于堆芯计算分析所研究堆芯组件流域中Sub栅元尺度冷却剂的横流特性,通过对栅元级冷却剂通道内的横向流域进行分类,在横向上进行特征流域划分,得到横流旋涡流域和非旋涡横流流域;

步骤四:开展Sub栅元尺度横向旋涡控制体区划分:根据步骤三所述的横流旋涡流域,通过进行横向旋涡控制体划分,将每个横流旋涡流域划分,得到1个Sub栅元尺度的横流旋涡流域控制体;

步骤五:开展横向非旋涡的横流基础控制体区划分:根据步骤三所述的非旋涡横流流域,通过进行横向非旋涡的横流基础控制体区划分,基于每个栅元的横流进出口数量和位置,将每个非旋涡横流流域划分,得到4个横向非旋涡的横流基础控制体;

步骤六:开展非旋涡横流控制体的细致划分:根据计算效率与空间分辨率要求,基于步骤一所述的横流特性与规律,对步骤五所述的横向非旋涡的横流基础控制体区进行非旋涡横流控制体的细致划分,将每个横向非旋涡的横流基础控制体区划分,得到一个或多个非旋涡横流控制体。

2. 根据权利要求1所述的一种Sub栅元尺度的反应堆热工水力控制体划分方法,其特征在于:所述步骤五中,所述横向非旋涡的横流基础控制体的数目确定方法为:每个栅元的横向冷却剂流动进出口的数量为4,对应各横向进出口,将非旋涡横流流域分为4个横向非旋涡的横流基础控制体;

所述横向非旋涡的横流基础控制体的特征为:每个横向非旋涡的横流基础控制体区含有1个栅元横向流动出口或入口。

一种Sub栅元尺度的反应堆热工水力控制体划分方法

技术领域

[0001] 本发明涉及核反应堆堆芯热工水力计算领域,具体涉及一种Sub栅元尺度的反应堆热工水力控制体划分方法。

背景技术

[0002] 核动力的安全性与经济性受核反应堆堆芯热工水力状态预测技术水平的影响。精细化堆芯热工水力计算流体动力学(CFD)程序的计算能够在精细空间尺度上模拟堆芯的释热、传热与流动。然而堆芯精细化热工水力CFD计算分析的仿真网格数量巨大,计算资源占用量大,计算时间长。

[0003] 由于控制体内物理参量的平均化处理,虽然增大CFD程序控制体的尺寸能够一定程度上提高计算效率,然而即使考虑全面的CFD控制方程在控制体尺寸增大到一定程度后将无法模拟细致的三维TH状态;且边界层内固体对液体的黏性影响需要通过小尺寸控制体进行计算;另外,针对宏观对象进行宏观量化总结的经验计算公式对大区域宏观平均参量的预测更为适用。

[0004] 目前,通过对物理方程进行简化,减少控制体数量,考虑相邻横向大控制体间的质量、动量、能量输运,开发堆芯子通道计算程序,是堆芯热工水力细致状态模拟的主流工程化计算技术。然而,该类技术的研发始于20世纪60年代,受当时计算技术与堆芯热工水力机理认知的影响,程序控制体的最小横向范围为单个栅元级流道,不能模拟栅元流道内的参量细致分布、力与运动作用等细致热工水力特性。为提升堆芯热工水力计算分析技术在工程化应用中的精度,有必要开发新型堆芯子通道分析计算的控制体划分方法。

发明内容

[0005] 本发明的目的在于提供一种Sub栅元尺度的反应堆热工水力控制体划分方法,以提升核反应堆堆芯热工水力子通道分析空间分辨率。

[0006] 本发明实施例提供一种Sub栅元尺度的反应堆热工水力控制体划分方法,包括:

[0007] 步骤一:建立Sub栅元尺度流域特征及规律数据库:根据不同工况时、不同空间位置处,辨识所研究堆芯组件不同流域Sub栅元尺度冷却剂的横流特性及其规律,建立数据库;

[0008] 步骤二:确定Sub栅元尺度横向控制体划分的区域:根据研究域中具有复杂横流运动的区域,将该区域确定为待进行Sub栅元尺度横向控制体划分的区域;

[0009] 步骤三:确定横流旋涡流域与非旋涡横流流域:根据步骤二所述的待进行Sub栅元尺度横向控制体划分的区域,基于堆芯计算分析域中Sub栅元尺度冷却剂的横流特性,通过对栅元级冷却剂通道内的横向流域进行分类,在横向上特征流域划分,得到横流旋涡流域和非旋涡横流流域;

[0010] 步骤四:开展Sub栅元尺度横向旋涡控制体区划分:根据步骤三所述的横流旋涡流域,通过进行横向旋涡控制体划分,将每个横流旋涡流域划分,得到1个Sub栅元尺度的横流

旋涡流域控制体；

[0011] 步骤五：开展横向非旋涡的横流基础控制体区划分：根据步骤三所述的非旋涡横流流域，通过进行横向非旋涡的横流基础控制体区划分，基于每个栅元的横流进出口数量和位置，将每个非旋涡横流流域划分，得到4个横向非旋涡的横流基础控制体；

[0012] 步骤六：开展非旋涡横流控制体的细致划分：根据计算效率与空间分辨率要求，基于步骤一所述的横流特性与规律，对步骤五所述的横向非旋涡的横流基础控制体区进行非旋涡横流控制体的细致划分，将每个横向非旋涡的横流基础控制体区划分，得到一个或多个非旋涡横流控制体；

[0013] 本发明还包括这样一些结构特征：

[0014] 所述步骤一中，所述Sub栅元尺度具体为：空间分辨率能够辨识栅元内部的横向二维流动特性，即辨识Sub栅元尺度的横向二维流动特性；

[0015] 所述横流特性具体为：堆芯组件不同流域Sub栅元尺度冷却剂的横向流动特性，重点是含搅混翼定位格架下游附近流域的横向流动特性；其中，上述横向指与竖直方向垂直的方向；

[0016] 所述建立数据库的具体内容为：针对不同运行工况时堆芯组件不同重要流域，记录Sub栅元尺度的横流特性及规律，重点记录各栅元流道内大尺寸旋涡以及所关心旋涡所在区域位置和范围，记录各栅元流道内非旋涡横流的横向流道与流动方向；其中，上述所关心旋涡通过研究者经验、精细化实验与计算研究经验、堆芯横流运动规律与机理研究的方式确定；

[0017] 所述步骤五中，所述横向非旋涡的横流基础控制体的数目确定方法为：每个栅元的横向冷却剂流动进出口的数量为4，对应各横向进出口，将非旋涡横流流域分为4个横向非旋涡的横流基础控制体；

[0018] 所述横向非旋涡的横流基础控制体的特征为：每个横向非旋涡的横流基础控制体区含有1个栅元横向流动出口或入口；

[0019] 本发明的有益效果在于：

[0020] 1. 横向上小于单燃料栅元的Sub栅元尺度控制体的建立：传统反应堆子通道程序的横向最小控制体为单个栅元或更大的区域范围，无法模拟栅元内的：精细横流运动、旋涡运动、精细压力梯度、液体间的黏性力等。

[0021] 本发明在子通道仿真中采用小于单燃料栅元的最小控制体，且控制体的划分形式是基于Sub栅元尺度精细化的热工水力特性，能够模拟栅元流道中横向Sub栅元尺度的热工水力过程，包括Sub栅元尺度的旋涡状态、栅元内与栅元间的横流状态、栅元内的压力分布、栅元内的液体间黏性力等细致的堆芯热工水力过程；

[0022] 2. 栅元及横截面积更大区域的参量非均匀化计算：若控制体的横向面积是单栅元横截面积或更大的横截面积，由于控制体内采用参量均匀化处理，参量在单栅元范围内的横向分布无法模拟，然而实际情况是单栅元范围压力、温度、速度等参量的横向非均匀分布特性显著，所以传统的子通道程序控制体划分方案的适用性受限。

[0023] 本发明所设计的Sub栅元尺度的反应堆热工水力控制体划分方法由于采用Sub栅元级别的控制体，尺寸小，能够模拟堆芯单个栅元以内参量的横向分布特性，更适应于堆芯组件流域的实际热工水力过程。

附图说明

- [0024] 图1为典型栅元级流道的二维横截面示意图；
- [0025] 图2为本发明栅元级流道的横向流域划分示意图；
- [0026] 图3(a)为本发明栅元级流道中的流线及栅元中心旋转旋涡示意图；
- [0027] 图3(b)为本发明栅元级流道中的流线及栅元中心旋转旋涡示意图；
- [0028] 图4为本发明栅元级流道横截面的横向二维控制体划分示意图；
- [0029] 图5(a)为本发明栅元级流道横截面的横流旋涡流域控制体和横流基础控制体区划分示意图；
- [0030] 图5(b)为本发明栅元级流道横截面的横流旋涡流域控制体和横流基础控制体区划分示意图；
- [0031] 图6(a)为本发明栅元级流道横截面的非旋涡横流控制体划分示意图；每个横向非旋涡的横流基础控制体区划分成2个非旋涡横流控制体；
- [0032] 图6(b)为本发明栅元级流道横截面的非旋涡横流控制体划分示意图；每个横向非旋涡的横流基础控制体区划分成4个非旋涡横流控制体；
- [0033] 图7为一种Sub栅元尺度的反应堆热工水力控制体划分方法的流程图。
- [0034] 标号说明：1为横流旋涡流域；2为非旋涡横流流域；3为横流旋涡流域控制体；4为横向非旋涡的横流基础控制体。

具体实施方式

- [0035] 为使本发明的上述目的、特征和优点能够更加明显易懂，下面结合附图对本发明做进一步描述：
- [0036] 本发明的技术方案是这样实现的：
- [0037] 步骤1：建立数据库，记录不同工况下，不同空间位置处，Sub栅元尺度流域的横流特性及规律；
- [0038] 步骤2：确定研究域中具有复杂横流运动的区域，并将该区域确定为进行Sub栅元尺度横向控制体划分的区域，该步骤可通过研究者经验、精细化实验与计算研究经验、堆芯横流运动规律与机理等方式完成。
- [0039] 步骤3：对所确定的Sub栅元尺度横向控制体划分区域进行流域分类，将流域在横向上划分为旋涡流域、非旋涡横流流域。
- [0040] 步骤4：进行横向上的旋涡控制体划分，将每个旋涡流域划分为一个Sub栅元尺度的旋涡流域控制体。
- [0041] 步骤5：进行横向上非旋涡的横流基础控制体区划分，根据每个栅元的横流进出口数量和位置，将非旋涡流域划分为与横流进出口数目相同的基础控制体区，且每个基础控制体区含有一个横流出口或入口。
- [0042] 步骤6：根据计算效率与空间分辨率要求，根据横流特性与规律，对每个横流基础控制体区进行非旋涡横流控制体的细致划分。
- [0043] 本发明还可以这样描述：
- [0044] (1) 辨识所研究堆芯组件不同流域Sub栅元尺度冷却剂的横流特性，尤其是辨识含搅混翼定位格架下游附近流域的横流特性；

[0045] (2) 基于堆芯计算分析域中Sub栅元尺度的冷却剂横向流动特性,对栅元级冷却剂通道内的横向流域进行分类,分为横向旋涡流域、非旋涡横流流域;

[0046] (3) 进行横向二维控制体划分,对栅元级冷却剂通道内的每个横向旋涡流域建立1个Sub栅元尺度的控制体,对栅元级冷却剂通道内的非旋涡横流流域分为4个横流基础控制体区;

[0047] (4) 根据计算效率与空间分辨率要求,根据横流特性与规律,每个横流基础控制体区划分为1个或多个非旋涡横流控制体。

[0048] 本发明还可以包括:

[0049] 1.所述辨识所研究堆芯组件不同流域Sub栅元尺度冷却剂横流特性具体包括:

[0050] 建立数据库,针对不同运行工况,为堆芯组件不同重要流域,记录Sub栅元尺度的横流特性及规律,重点记录各栅元流道内大尺寸旋涡或所关心旋涡所在的区域位置和范围,记录各栅元流道内非旋涡横流的横向流道与流动方向。

[0051] 本发明所述的Sub栅元尺度是指空间分辨率能够辨识栅元内部的横向二维流动特性,即辨识Sub栅元尺度的横向二维流动特性,图1为典型栅元尺度的流道二维横截面。

[0052] 本发明所述的横向指与竖直方向垂直的方向。

[0053] 本发明所述所关心旋涡可通过研究者经验、精细化实验与计算研究经验、堆芯横流运动规律与机理研究等方式确定。

[0054] 2.所述对研究流域中的每个栅元级冷却剂通道内的横向流域进行分类,分为横向旋涡流域、非旋涡横流流域,具体包括:

[0055] 基于数据库中不同运行工况下不同流域Sub栅元尺度的横流特性及规律,针对研究域中每个栅元级冷却剂通道,在横向上进行特征流域划分。

[0056] 图3中左右两图是横向研究域流域划分的两个示例,两个示例在横向上均包括2个相邻的栅元级流道,各栅元级流道中心处各有一个大尺寸的旋涡,图3中的两示例的旋涡旋转方向及相邻栅元流道间的横流流动方向存在差别,本发明将包含旋涡的中心流域划分为旋涡流域,栅元级流道中旋涡流域外的其它流域划分为非旋涡横流流域。

[0057] 如图2所示,将各栅元流道内横向大尺寸旋涡或所关心旋涡的所在区域换分成1个横向旋涡流域,或分别为每个大尺寸旋涡或所关心旋涡所在的区域各自划分为横向旋涡流域。将每个栅元级冷却剂通道内除旋涡流域外的流域,划分为非旋涡横流流域。

[0058] 3.所述进行横向二维控制体划分,对栅元级冷却剂通道内的每个横向旋涡流域建立1个Sub栅元尺度的旋涡流域控制体,对栅元级冷却剂通道内的非旋涡横流流域划分为4个横流基础控制体区,具体包括:

[0059] 如图4所示,在横向上,将每个旋涡流域划分成1个横流旋涡控制体;对于非旋涡流域,由于每个栅元的横向冷却剂流动出入口的数量为4,对应各横向出入口,将非旋涡流域划分为4个横流基础控制体区,保证每个横流基础控制体区含有1个栅元横向流动出口或入口。

[0060] 4.所述根据计算效率与计算空间分辨率要求,每个横流基础控制体区划分为1个或多个非旋涡横流控制体,具体包括:

[0061] 如图6所示,栅元中每个横流基础控制体区根据计算效率与空间分辨率要求,根据横流特性与规律,可以继续划分为多个控制体;或不进行划分,即1个横流基础控制体区划

分为1个非旋涡横流控制体。图6 (a) 为每个横流基础控制体区划分为2个非旋涡横流控制体的示例,图6 (b) 为每个横流基础控制体区划分为4个非旋涡横流控制体的示例。

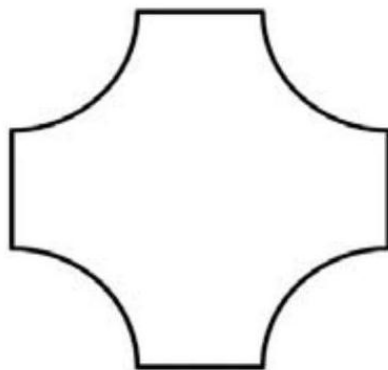


图1

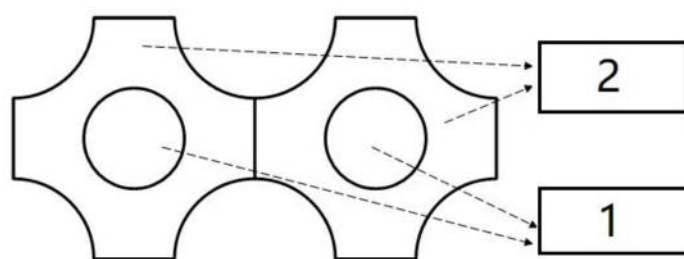


图2

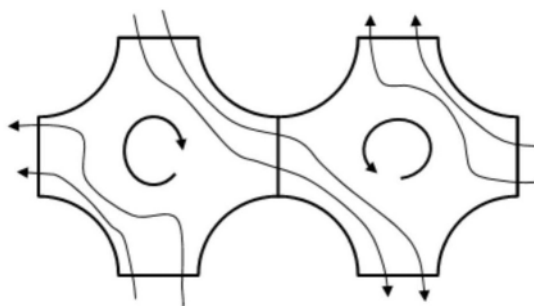


图3 (a)

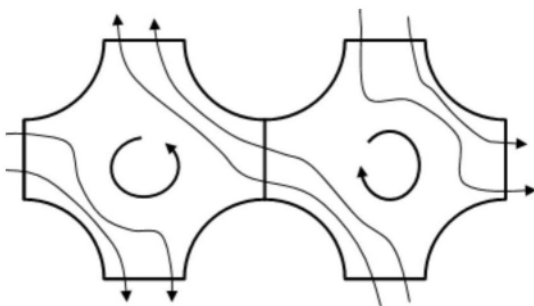


图3 (b)

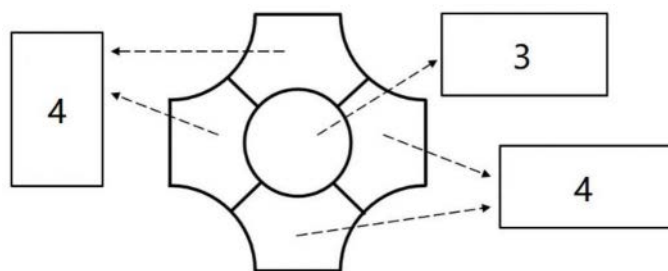


图4

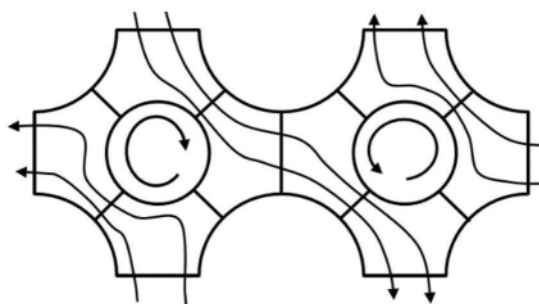


图5 (a)

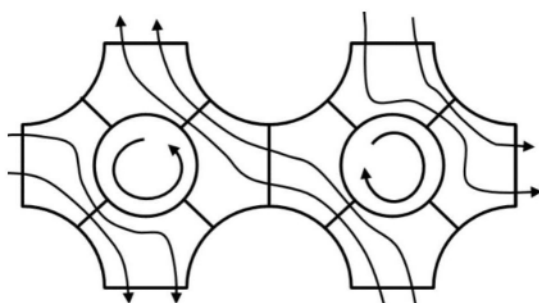


图5 (b)

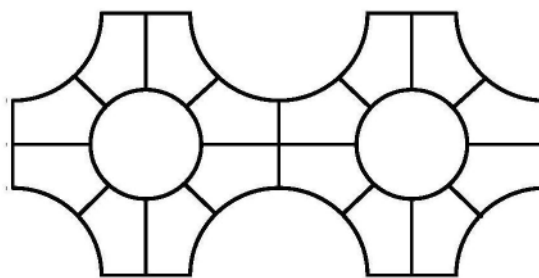


图6 (a)

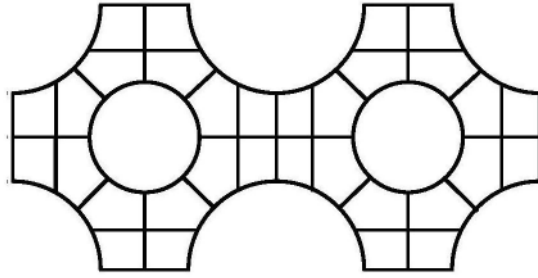


图6 (b)

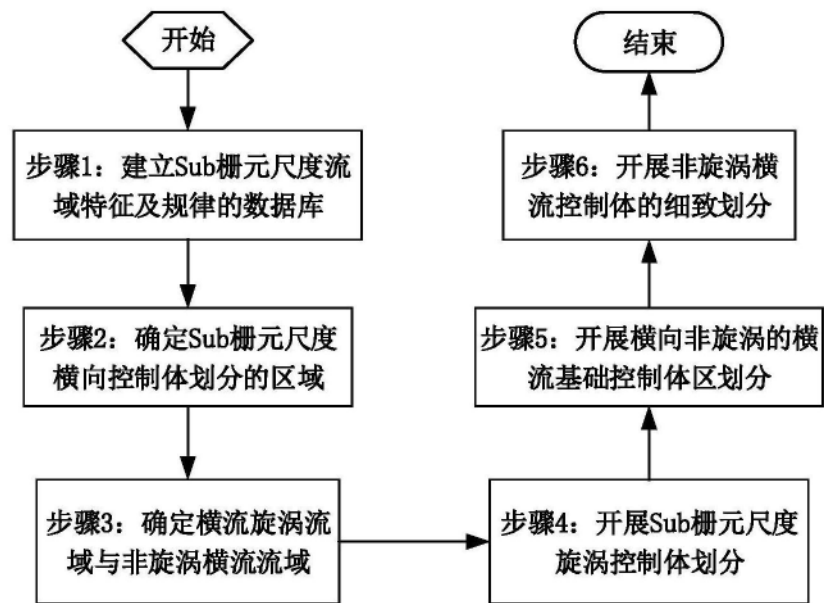


图7