



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 119190332 A

(43) 申请公布日 2024. 12. 27

(21) 申请号 202411378806.4

(22) 申请日 2024.09.30

(71) 申请人 西北工业大学

地址 710068 陕西省西安市碑林区友谊西路127号

(72) 发明人 叶正寅 张昭朋 叶坤

(74) 专利代理机构 西北工业大学专利中心  
61204

专利代理师 张明

(51) Int. Cl.

B64C 1/00 (2006.01)

B63B 1/28 (2006.01)

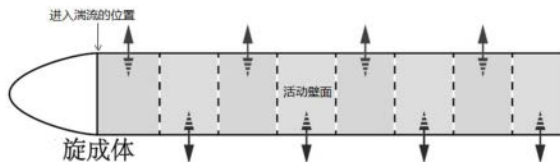
权利要求书2页 说明书4页 附图3页

(54) 发明名称

一种基于分段蒙皮旋转振荡的旋成体飞行器减阻方法

(57) 摘要

本发明公开了一种基于分段蒙皮旋转振荡的旋成体飞行器减阻方法,包括:确定旋成体飞行器在巡航状态下机身进入湍流阶段的流体力学参数;确定旋成体飞行器上用于布置活动蒙皮的预设区域,将预设区域内的旋成体飞行器机身按照预设长度进行轴向分段;在所述预设区域内的机身外部布置活动蒙皮,活动蒙皮的轴向长度为所述预设长度;活动蒙皮为筒状回转体结构,与机身之间布置驱动机构,用于驱动该段活动蒙皮在机身表面旋转振荡,且相邻的活动蒙皮的旋转振荡方向相反;确定旋成体飞行器进入巡航阶段初始时刻的活动蒙皮旋转振荡参数;旋成体飞行器实际飞行过程中,当进入到巡航阶段后,按照确定的旋转振荡参数,利用驱动机构驱动活动蒙皮进行旋转振荡。



1. 一种基于分段蒙皮旋转振荡的旋成体航行器减阻方法,其特征在于,包括:

确定旋成体航行器在巡航状态下进入湍流阶段的流体力学参数;

基于所述流体力学参数,确定旋成体航行器机身上用于布置活动蒙皮的预设区域,将预设区域内的旋成体航行器机身按照预设长度进行轴向分段;

在所述预设区域内的机身外部布置活动蒙皮,活动蒙皮的轴向长度为所述预设长度;活动蒙皮为筒状回转体结构,布置在机身外蒙皮的外部;每段活动蒙皮与机身之间布置驱动机构,用于驱动该段活动蒙皮在机身表面旋转震荡;且相邻的活动蒙皮的旋转震荡方向相反;

确定旋成体航行器进入巡航阶段初始时刻的活动蒙皮旋转震荡参数;

旋成体航行器实际飞行过程中,当进入到巡航阶段后,按照确定的旋转震荡参数,利用驱动机构驱动活动蒙皮进行旋转震荡。

2. 根据权利要求1所述的基于分段蒙皮旋转振荡的旋成体航行器减阻方法,其特征在于,所述方法还包括:

通过传感器实时采集当前巡航状态下的流体动力学参数,以实时修正旋转震荡参数;利用修正后的旋转震荡参数实时对活动蒙皮进行驱动控制。

3. 根据权利要求1所述的基于分段蒙皮旋转振荡的旋成体航行器减阻方法,其特征在于,所述旋成体航行器在巡航状态下进入湍流阶段的流体力学参数,包括:机身进入湍流阶段的位置、边界层厚度 $\delta$ 、表面运动粘性系数 $\nu$ 和表面摩擦速度 $u_{\tau}$ ;所述流体动力学参数通过实际航行试验或者对旋成体航行器建模后进行数值模拟得到。

4. 根据权利要求1所述的基于分段蒙皮旋转振荡的旋成体航行器减阻方法,其特征在于,所述预设区域为旋成体航行器进入湍流阶段的位置开始,至距离旋成体航行器操纵面十二倍边界层厚度 $\delta$ 为止;所述操纵面为尾翼或小翼。

5. 根据权利要求1所述的基于分段蒙皮旋转振荡的旋成体航行器减阻方法,其特征在于,所述预设长度 $L$ 的计算公式为:

$$L = L^+ \times \frac{\nu}{u_{\tau}}$$

其中, $L^+$ 为无量纲长度,表示旋成体航行器巡航状态下所面临的涡的平均流向长度,该长度可以通过数值模拟得到流场并对流场进行后处理分析得到; $\nu$ 表示表面运动粘性系数, $u_{\tau}$ 表示表面摩擦速度。

6. 根据权利要求1所述的基于分段蒙皮旋转振荡的旋成体航行器减阻方法,其特征在于,在预设区域内,按照预设长度 $L$ 对其进行分段,表示为:

$$N = \lfloor M / L \rfloor$$

其中, $\lfloor \quad \rfloor$ 表示向下取整, $M$ 表示预设区域的长度;

即最终在预设区域内布置整数个活动蒙皮,剩余的部分不够一个 $L$ 的长度,则不布置。

7. 根据权利要求1所述的基于分段蒙皮旋转振荡的旋成体航行器减阻方法,其特征在于,所述活动蒙皮旋转震荡的参数为:

$$V_{\theta} = V_0 \sin\left(\frac{2\pi}{T_0} t\right)$$

其中 $V_{\theta}$ 为旋转周向速度, $V_0$ 为最大周向速度, $T_0$ 为旋转振荡周期, $t$ 为振荡时间,最大周向速度 $V_0 = V_0^+ \times u_{\tau}$ ,旋转振荡周期 $T_0 = \frac{T^+ V}{u_{\tau}^2}$ ;  $V_0^+$ 和 $T^+$ 分别为无量纲最大周向速度和无量纲振荡周期,通过数值模拟得到。

8. 根据权利要求7所述的基于分段蒙皮旋转振荡的旋成体航行器减阻方法,其特征在于,所述实时采集当前巡航状态下的的流体动力学参数,包括当前时刻的活动蒙皮表面摩擦速度和表面运动粘性系数,将这两个值分别作为参数 $u_{\tau}$ 、 $\nu$ 代入到 $V_0$ 、 $T_0$ 的计算公式中,从而实时计算 $V_0$ 的值,用该值不断地对活动蒙皮的运动进行调整。

9. 一种旋成体航行器,其特征在于,所述旋成体航行器上设置有根据权利要求1-8中任一项所述基于分段蒙皮旋转振荡的旋成体航行器减阻方法中所设计的活动蒙皮。

## 一种基于分段蒙皮旋转振荡的旋成体航行器减阻方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及航空、航海以及空气动力学领域,具体涉及一种基于分段蒙皮旋转振荡的旋成体航行器减阻方法。

### 背景技术

[0002] 减阻设计是旋成体航行器设计过程中的重要研究问题,也是提高旋成体航行器性能指标的重要途径。许多水下航行器采用旋成体外形,在高速前行时,其摩擦几乎占总阻力的80%以上;对于旋成体航空器形而言,摩擦阻力也占有相当大的比例。

[0003] 正因为摩擦阻力占水下旋成体航行器阻力的比例高,人们不断探索减小摩擦阻力的方法,到目前为止,已经探索出许多主动、被动的减阻方法。对于水下的环境,除通用的附面层减小摩擦阻力的方法外,还有人提出了超空泡的减阻方法;有些适用于空气环境的减阻方法难以被用于水下环境,如适用于空气环境下的等离子体激励方法。

[0004] 被动减阻技术由于成本低、实施简便获得了更多的青睐,如微型沟槽壁面减阻,已经开始在实际工程中进行应用。然而被动减阻方法往往减阻效果有限,如微型沟槽理论上最多只能减少约10%的摩擦阻力,但在实际工程应用中达不到这一指标;主动减阻技术在本领域的相关研究较少,不能形成切实的应用方案。

### 发明内容

[0005] 本发明的目的是提供一种基于分段蒙皮旋转振荡的旋成体航行器减阻方法,在航行器机身表面布置周向旋转震荡的活动蒙皮,通过各段进行相对反方向的旋转振荡,以抵消多余的扭矩,实现横向振荡的主动减阻机制。

[0006] 为了实现上述任务,本发明采用以下技术方案:

[0007] 一种基于分段蒙皮旋转振荡的旋成体航行器减阻方法,包括:

[0008] 确定旋成体航行器在巡航状态下进入湍流阶段的流体力学参数;

[0009] 基于所述流体力学参数,确定旋成体航行器机身上用于布置活动蒙皮的预设区域,将预设区域内的旋成体航行器机身按照预设长度进行轴向分段;

[0010] 在所述预设区域内的机身外部布置活动蒙皮,活动蒙皮的轴向长度为所述预设长度;活动蒙皮为筒状回转体结构,每段活动蒙皮与机身之间布置驱动机构,用于驱动该段活动蒙皮在机身表面旋转震荡,且相邻的活动蒙皮的旋转震荡方向相反;

[0011] 确定旋成体航行器进入巡航阶段初始时刻的活动蒙皮旋转震荡参数;

[0012] 旋成体航行器实际飞行过程中,当进入到巡航阶段后,按照确定的旋转震荡参数,利用驱动机构驱动活动蒙皮进行旋转震荡。

[0013] 进一步地,所述方法还包括:

[0014] 通过传感器实时采集当前巡航状态下的流体动力学参数,以实时修正旋转震荡参数;利用修正后的旋转震荡参数实时对活动蒙皮进行驱动控制。

[0015] 进一步地,所述旋成体航行器在巡航状态下进入湍流阶段的流体力学参数,包括:

机身进入湍流阶段的位置、边界层厚度 $\delta$ 、表面运动粘性系数 $\nu$ 和表面摩擦速度 $u_\tau$ ；所述流体动力学参数通过实际航行试验或者对旋成体航行器建模后进行数值模拟得到。

[0016] 进一步地,所述预设区域为旋成体航行器进入湍流阶段的位置开始,至距离旋成体航行器操纵面十二倍边界层厚度 $\delta$ 为止;所述操纵面为尾翼或小翼。

[0017] 进一步地,所述预设长度 $L$ 的计算公式为:

$$[0018] \quad L = L^+ \times \frac{\nu}{u_\tau}$$

[0019] 其中, $L^+$ 为无量纲长度,表示旋成体航行器巡航状态下所面临的涡的平均流向长度,该长度可以通过数值模拟得到流场并对流场进行后处理分析得到; $\nu$ 表示表面运动粘性系数, $u_\tau$ 表示表面摩擦速度。

[0020] 进一步地,在预设区域内,按照预设长度 $L$ 对其进行分段,表示为:

$$[0021] \quad N = \lfloor M / L \rfloor$$

[0022] 其中, $\lfloor \quad \rfloor$ 表示向下取整, $M$ 表示预设区域的长度;

[0023] 即最终在预设区域内布置整数个活动蒙皮,剩余的部分不够一个 $L$ 的长度,则不布置。

[0024] 进一步地,所述活动蒙皮旋转震荡的参数为:

$$[0025] \quad V_\theta = V_0 \sin\left(\frac{2\pi}{T_0} t\right)$$

[0026] 其中 $V_\theta$ 为旋转周向速度, $V_0$ 为最大周向速度, $T_0$ 为旋转振荡周期, $t$ 为振荡时间,最大周向速度 $V_0 = V_0^+ \times u_\tau$ ,旋转振荡周期 $T_0 = \frac{T^+ \nu}{u_\tau^2}$ ;  $V_0^+$ 和 $T^+$ 分别为无量纲最大周向速度和无量纲振荡周期,通过数值模拟得到。

[0027] 进一步地,所述实时采集当前巡航状态下的的流体动力学参数,包括当前时刻的活动蒙皮表面摩擦速度和表面运动粘性系数,将这两个值分别作为参数 $u_\tau$ 、 $\nu$ 代入到 $V_0$ 、 $T_0$ 的计算公式中,从而实时计算 $V_\theta$ 的值,用该值不断地对活动蒙皮的运动进行调整。

[0028] 一种旋成体航行器,该旋成体航行器上设置有所述基于分段蒙皮旋转振荡的旋成体航行器减阻方法中所设计的活动蒙皮。

[0029] 与现有技术相比,本发明具有以下技术特点:

[0030] 本发明在旋成体航行器表面分段构造成能够一定范围旋转振动的活动蒙皮,相邻的两段活动蒙皮反向旋转振荡,通过改变附面层的近壁自维持系统,达到减阻、降噪的目的;该方案不仅可以显著降低航行器的摩擦阻力,还可以减小航行器因为高速航行而产生的噪声,提升航行器的性能。

## 附图说明

[0031] 图1为旋成体航行器活动蒙皮的分段示意图;

[0032] 图2为旋成体航行器活动蒙皮的震荡过程示意图;

[0033] 图3为固定蒙皮(航行器原有的外蒙皮)与活动蒙皮的摩擦阻力对比图;

[0034] 图4为固定蒙皮与活动蒙皮的截面流场图;其中(a)为固定蒙皮的分布,(b)为活动蒙皮在阻力系数较大时的分布,(c)为活动蒙皮在阻力系数较小时的分布。

### 具体实施方式

[0035] 参见附图,本发明提供一种基于分段蒙皮旋转振荡的旋成体飞行器减阻方法,包括以下步骤:

[0036] 步骤1,确定旋成体飞行器在巡航状态下进入湍流阶段的流体力学参数,包括机身进入湍流阶段的位置、边界层厚度 $\delta$ 、表面运动粘性系数 $\nu$ 和表面摩擦速度 $u_\tau$ 。

[0037] 针对待进行改造的旋成体飞行器,通过实际航行试验或者对旋成体飞行器建模后进行数值模拟,可以得到旋成体飞行器进入湍流阶段的位置。

[0038] 步骤2,基于所述流体力学参数,确定旋成体飞行器机身上用于布置活动蒙皮的预设区域,将预设区域内的旋成体飞行器机身按照预设长度进行轴向分段。

[0039] 参见附图1,所述预设区域为旋成体飞行器进入湍流阶段的位置开始,至距离旋成体飞行器操纵面(尾翼或者小翼)十二倍边界层厚度 $\delta$ 为止;在此区域内,旋转振荡对操纵面位置流场的影响可以忽略不计,同时能获得最大的减阻效果。

[0040] 所述预设长度 $L$ 的计算公式为:

$$[0041] \quad L = L^+ \times \frac{\nu}{u_\tau}$$

[0042] 其中, $L^+$ 为无量纲长度,表示旋成体飞行器巡航状态下所面临的涡的平均流向长度,该长度可以通过数值模拟得到流场并对流场进行后处理分析得到;本方案中确定为150。

[0043] 在预设区域内,按照预设长度 $L$ 对其进行分段,表示为:

$$[0044] \quad N = \lfloor M / L \rfloor$$

[0045] 其中, $\lfloor \quad \rfloor$ 表示向下取整, $M$ 表示预设区域的长度。

[0046] 即如果预设区域长度与 $L$ 的比值不为整数,则向下取整作为最终的分段数;即最终在预设区域内布置整数个活动蒙皮,剩余的部分不够一个 $L$ 的长度,则不布置。

[0047] 步骤3,在所述预设区域内的机身外部布置活动蒙皮,活动蒙皮的轴向长度为所述预设长度;活动蒙皮为筒状回转体结构,布置在机身外蒙皮的外部,相邻活动蒙皮之间为间隙活动配合;每段活动蒙皮与机身之间布置驱动机构,用于驱动该段活动蒙皮在机身表面旋转震荡;且相邻的活动蒙皮的旋转震荡方向相反;所述驱动机构为电机或液压机构。

[0048] 步骤4,确定旋成体飞行器进入巡航阶段初始时刻的活动蒙皮旋转震荡参数。

[0049] 其中,活动蒙皮旋转震荡的参数为:

$$[0050] \quad V_\theta = V_0 \sin\left(\frac{2\pi}{T_0} t\right)$$

[0051] 其中 $V_\theta$ 为旋转周向速度, $V_0$ 为最大周向速度, $T_0$ 为旋转振荡周期, $t$ 为振荡时间,最大周向速度 $V_0 = V_0^+ \times u_\tau$ ,旋转振荡周期 $T_0 = \frac{T^+ \nu}{u_\tau^2}$ ;  $V_0^+$ 和 $T^+$ 分别为无量纲最大周向速度和无量纲振荡周期,通过数值模拟得到。

[0052] 本方案设计了一个数值模拟方案,在ICEM中对旋成体航行器表面进行建模,设置表面边界条件为活动蒙皮,模拟时假设旋成体航行器表面处于完全湍流状态,固定无量纲最大周向速度 $V_0^+ = 12$ ,无量纲振荡周期取值范围为 $T^+ = 50 - 200$ ;模拟雷诺数为2800,马赫数为0.2,在该条件下模拟结果表明,当无量纲振荡周期为 $T^+ = 100$ 时可以得到最大减阻效果。因此在本方案中无量纲最大周向速度 $V_0^+ = 12$ ,无量纲振荡周期 $T^+ = 100$ 。

[0053] 步骤5,旋成体航行器实际飞行过程中,当进入到巡航阶段后的初始时刻,按照步骤4确定的旋转震荡参数,利用驱动机构驱动活动蒙皮进行旋转震荡。

[0054] 更进一步地,可通过传感器实时采集当前巡航状态下的流体动力学参数,包括活动蒙皮表面摩擦速度和表面运动粘性系数,用这两个值实时修正旋转震荡参数,以修正后的旋转震荡参数实时对活动蒙皮进行驱动控制。

[0055] 即,实际应用过程中,旋成体航行器在进入巡航阶段后,不断采集当前时刻的活动蒙皮表面摩擦速度和表面运动粘性系数,将这两个值分别作为参数 $u_\tau$ 、 $\nu$ 代入到 $V_0$ 、 $T_0$ 的计算公式中,从而实时计算 $V_0$ 的值,用该值不断地对活动蒙皮的运动进行调整,以达到更好的减阻效果。

[0056] 实施例:

[0057] 基于上述方案,发明人对活动蒙皮和固定蒙皮分别进行了计算,为了准确模拟附面层内部的流动细节,采用基于Navier-Stokes方程的直接数值模拟方法计算局部附面层流动。为了减少计算量,采用国内外通用的槽道流模型方式,旨在针对附面层内部流动的精细模拟。

[0058] 计算中来流马赫数为0.2,基于槽道半高的雷诺数为3180;大气密度、温度和粘性系数以海平面参数为计算参数。图3是固定蒙皮与活动蒙皮的摩擦阻力对比图;图4是固定蒙皮与振荡壁面的截面流场图;可以看出,活动壁面摩擦阻力相比固定蒙皮降低了30%以上。

[0059] 以上实施例仅用以说明本申请的技术方案,而非对其限制;尽管参照前述实施例对本申请进行了详细的说明,本领域的普通技术人员应当理解:其依然可以对前述各实施例所记载的技术方案进行修改,或者对其中部分技术特征进行等同替换;而这些修改或者替换,并不使相应技术方案的本质脱离本申请各实施例技术方案的精神和范围,均应包含在本申请的保护范围之内。

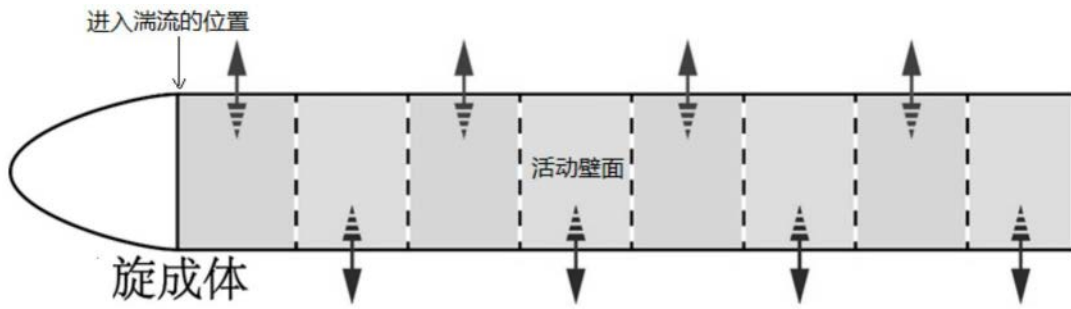


图1

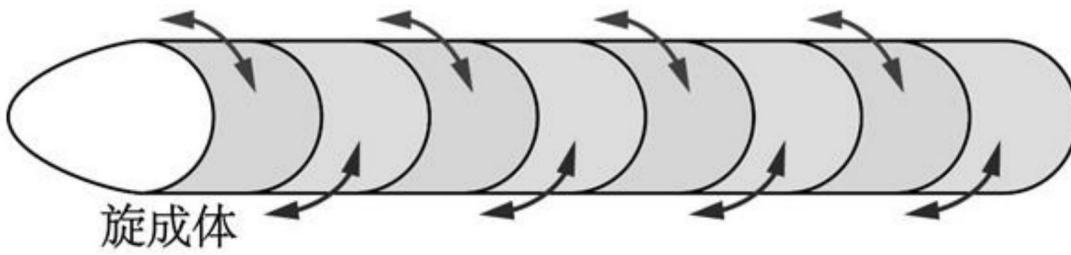


图2

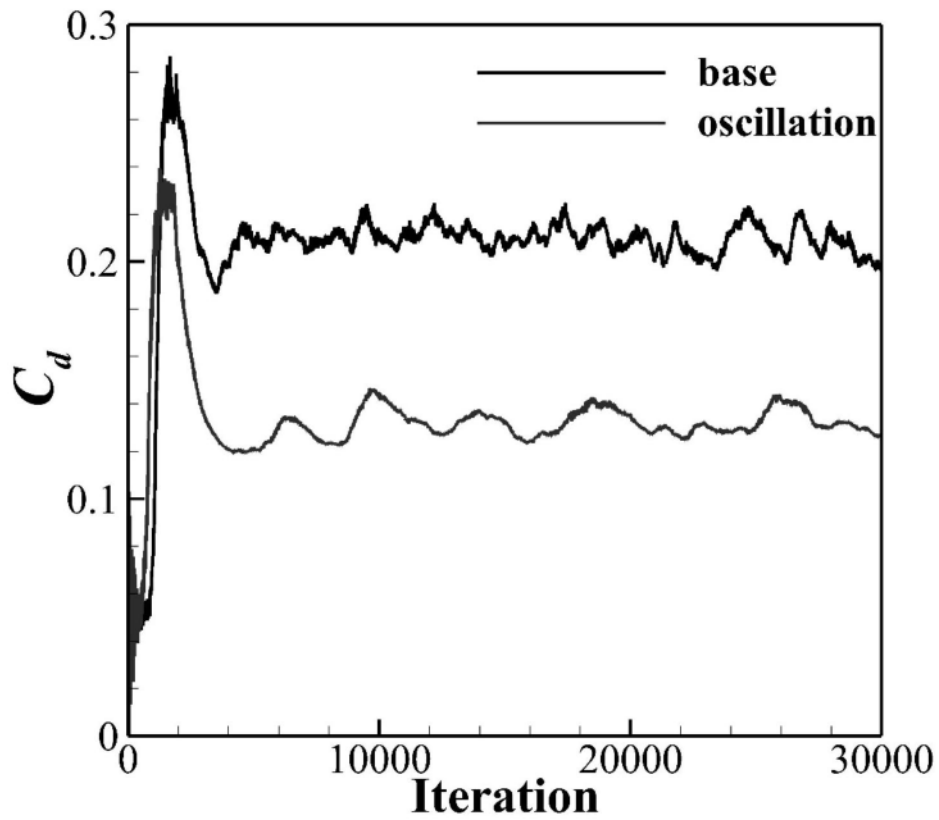
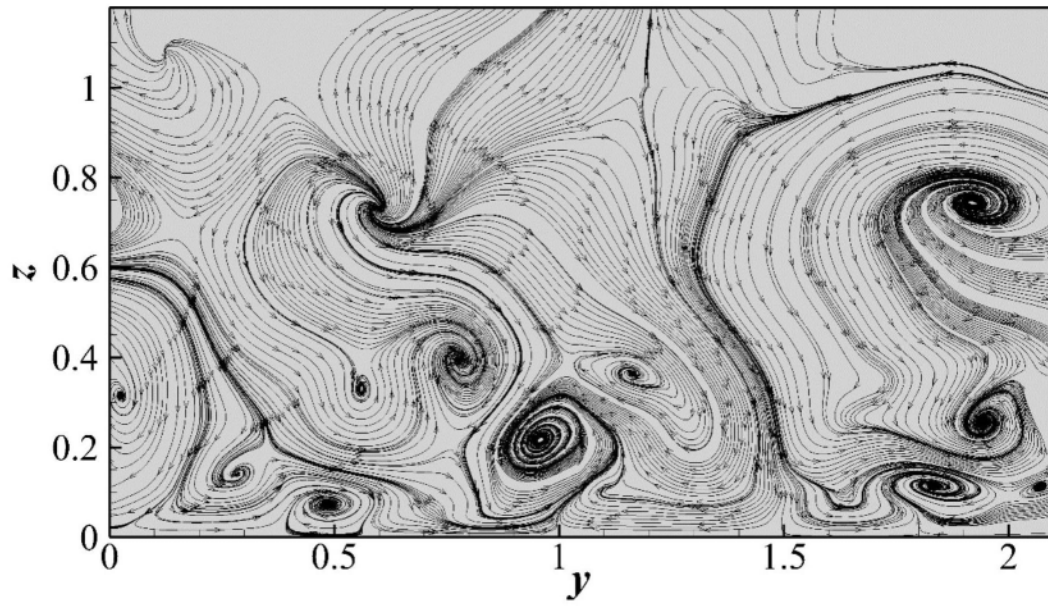
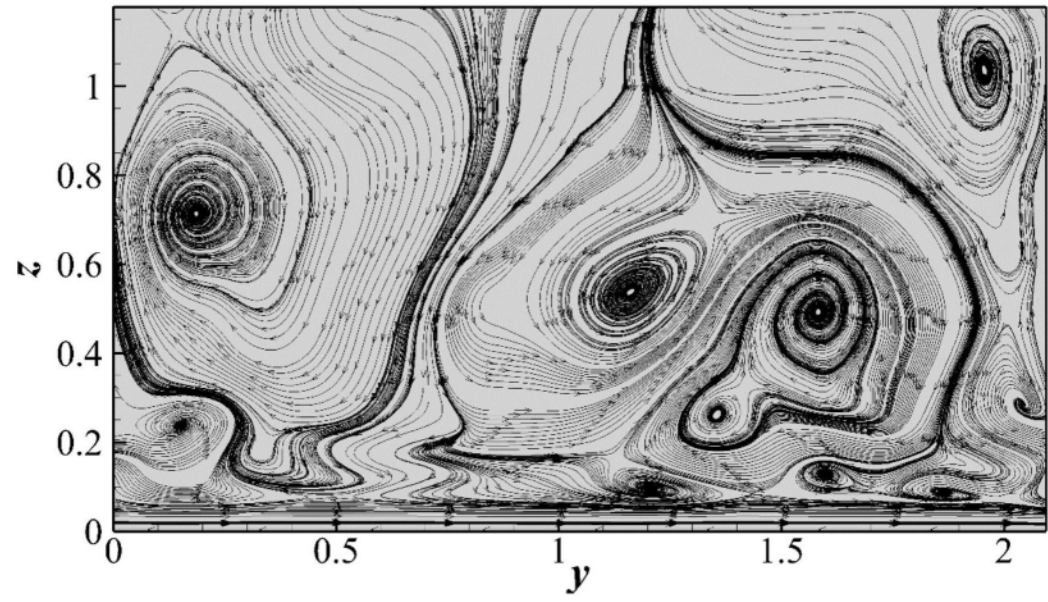


图3



(a)



(b)

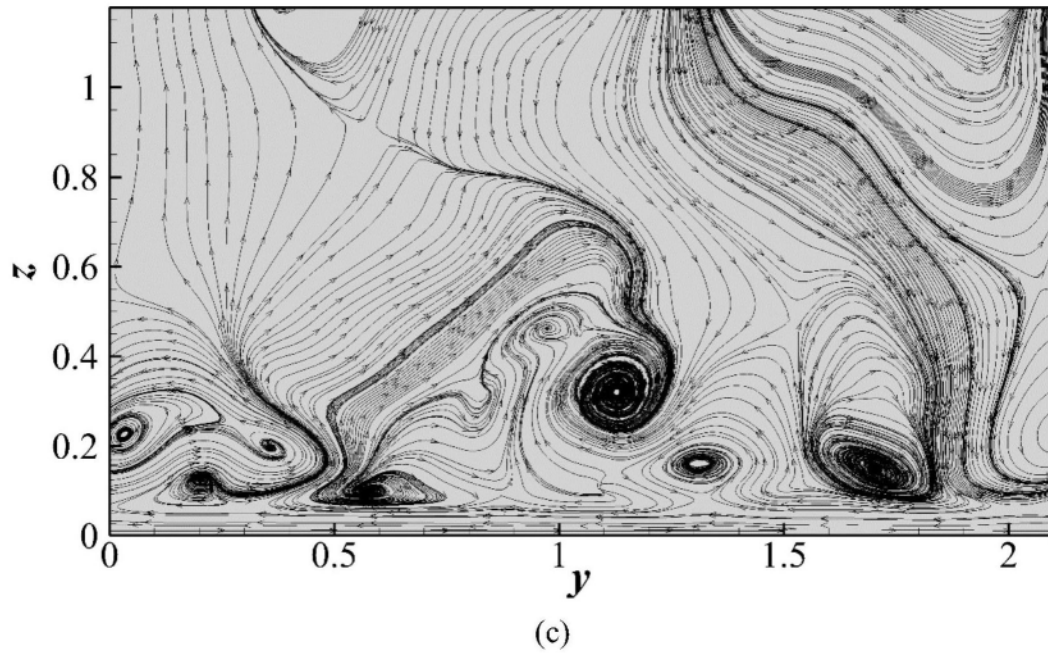


图4