

DOI:10.3876/j.issn.1000-1980.2019.02.014

波流共同作用下水平轴潮流能水轮机水动力特性

张继生¹,张 婧¹,王日升²,顾介康¹,林祥峰¹

(1. 河海大学港口海岸与近海工程学院,江苏 南京 210024; 2. 山东交通学院交通土建学院,山东 济南 250347)

摘要:通过开展物理模型试验,探究波流共同作用下水平轴潮流能水轮机尾流场的流速变化和紊动特性。结果表明:相比于纯流工况,波浪的存在有利于支撑结构后方水流的速度恢复,但会使水轮机叶片旋转水域后方近尾流的速度损失更大,远尾流的速度恢复更慢;水轮机下游流速会随波高和周期的增加而增大;波流共同作用工况下的湍流强度整体高于纯流工况;湍流强度随波浪周期的增大而减小,随波高的增大而变大。

关键词:潮流能水轮机;波流共同作用;水动力特性;物理模型试验

中图分类号:P743.1 文献标志码:A 文章编号:1000-1980(2019)02-0175-08

Investigation on the hydrodynamics around a tidal stream turbine of horizontal axis under the combined action of wave and current

ZHANG Jisheng¹, ZHANG Jing¹, WANG Risheng², GU Jiekang¹, LIN Xiangfeng¹

(1. College of Harbor, Coastal and Offshore Engineering, Hohai University, Nanjing 210024, China;
2. College of Traffic and Civil Engineering, Shandong Jiaotong University, Jinan 250347, China)

Abstract: Physical experiments were conducted in this study to investigate the flow velocity distribution and the turbulence characteristics in the wake of a horizontal axis tidal stream turbine under the combined action of wave and current. The results show that the existence of wave would contribute to the recovery of flow velocity behind the support structure. Compared with that under pure current, larger velocity deficit was observed within the swept area and slower velocity recovery rate was found in the far wake, when the model turbine operates under the combined action of wave and current. It's also found that the flow velocity in the downstream of turbine would increase with the increasing of wave height and wave period. Meanwhile, turbulence intensity in the flow field under combined wave and current is generally higher than that under a pure current condition. In addition, turbulence intensity would decrease with the increasing of wave period, while would increase with the increasing of wave height.

Key words: tidal stream turbine; combined action of wave and current; hydrodynamics; physical experiments

21 世纪以来,面对常规能源日益枯竭、环境恶化的局面,各国将目光转向可再生能源^[1]。潮流能属于海洋可再生能源,其资源丰富、清洁无污染且可预测性强,具有良好的开发前景^[2]。水平轴潮流能水轮机以其结构简单、发电功率大、技术成熟的特点成为最具有商业开发前景的潮流能发电装置^[3]。研究潮流能水轮机下游的水动力特性,可为提升能量转化效率奠定理论基础,并为潮流能开发利用装置设计提供指导,具有重要的工程应用意义^[4-5]。

近年来,国内外学者对纯流作用下的水轮机水动力特性进行了大量研究。例如,Myers 等^[6]在循环水槽中测试了来流条件对悬臂式水平轴潮流能水轮机上下游水位的影响,发现有来流时水轮机前水位雍高;经过转子后水位迅速减小。Maganga 等^[7]在循环水槽中用 LDV(laser doppler velocimetry)测量了一台悬浮式水轮

基金项目:国家重点研发计划(2017YFC1404200);国家自然科学基金面上项目(51879098);江苏省研究生科研与实践创新计划项目(KYCX17_0448)

作者简介:张继生(1979—),男,教授,博士,主要从事潮流能利用工程研究。E-mail:jszhang@hhu.edu.cn

引用本文:张继生,张婧,王日升,等.波流共同作用下水平轴潮流能水轮机水动力特性[J].河海大学学报(自然科学版),2019,47(2):175-182.
ZHANG Jisheng, ZHANG Jing, WANG Risheng, et al. Investigation on the hydrodynamics around a tidal stream turbine of horizontal axis under the combined action of wave and current[J]. Journal of Hohai University(Natural Sciences), 2019, 47(2): 175-182.

机的尾流状况,发现水轮机周边水体紊动越强烈,尾流恢复越快,形成的尾流宽度越小。汪洁^[8]和张文广^[9]分别对单向和双向叶片水轮机进行了物理模型试验和数值模拟,结果显示:流速较小时,流场变化较为平稳,尾流的影响区域小;流速增大后,尾流的影响范围扩大到整个计算区域。

波浪会导致作用在水轮机叶片上的荷载产生波动^[10-11],前人在波流共同作用方面也做了相关研究^[12-14]。Lust 等^[15]通过试验测量了波流共同作用下水轮机的扭矩、推力和叶尖速比,发现这些参数的平均性能不会因为波高的大小或者波浪是否存在而发生变化。Nevalainen 等^[16]通过数值模拟分析发现转子半径、叶片根距和波高是水轮机转子所受推力大小的主要影响参数;这些参数对载荷的变化范围有影响,对载荷平均值没有影响。马伟佳等^[17]研究了悬臂式水平轴水轮机在不同浸没深度下,其功率与载荷的变化情况,发现随水轮机浸没深度增加,波浪引起的轴向载荷增加量变小。

综上所述,国内外学者对纯流作用下潮流能水轮机的各种特性已经进行了比较详细的研究,而对于波流共同作用下水轮机水动力特性的研究较少,对波流条件下水轮机后方尾流场特性尚未明确。本文旨在通过物理模型试验,研究不同波流条件下水平轴潮流能水轮机尾流场的流速变化和紊动特性变化规律。

1 试验方案

1.1 试验水槽

试验在山东交通学院港航水动力实验室的波流水槽中进行的,水槽长 50 m、宽 1.2 m、高 1.4 m (图 1)。水槽两侧为光滑透明的钢化玻璃,底部由表面光滑的瓷砖铺成。水槽坐标轴的划分采用笛卡尔坐标系, x 轴正方向沿来流方向; y 轴正方向为水槽横断面方向,垂直向里; z 轴正方向为竖直向上。坐标原点位于距离水流出口 30 m 的横断面中心线处的海床上。

1.2 水轮机

试验选择三叶片水平轴潮流能水轮机(图 2),制作材料为不锈钢,叶片采用数控机床加工。起动流速 0.3 m/s,设计流速 0.35 m/s,设计功率 0.3 W,叶轮直径 $D=0.27$ m,选用 NACA63-8xx 翼型,轮毂直径 0.15D 支撑结构直径 0.1D,轮毂长度为 0.87D,支撑结构与叶轮中心间距为 0.5D。水轮机通过支撑结构安装在水槽横断面的中心线上,且转子的轮毂高度距海床 1D,距离水流入口 30 m,在试验水槽中的布置如图 1 所示。

1.3 声学多普勒流速仪(ADV)

试验采用声学多普勒流速仪(ADV)(图 3(a))进行水轮机尾流场的测量。ADV 被固定在可沿水槽自由移动的平台。试验中 ADV 测量的剖面范围(图 3(b))为 3 cm,能够提供三维流速观测,剖面分辨率为 1 mm,流速采样频率为 100 Hz,采样时间为 120 s。试验采集数据的信噪比超过 20 dB,相关度大于 90%,表明测量数据可靠。

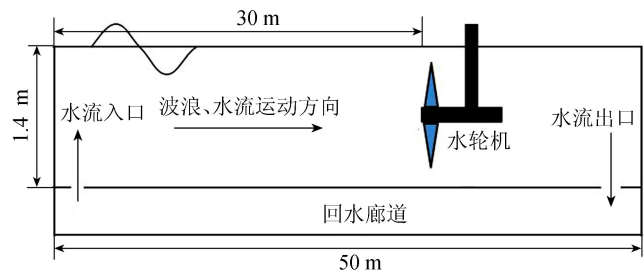


图 1 波流水槽示意图

Fig.1 Scheme of the wave-current flume

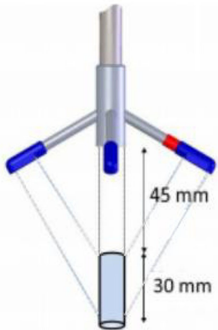


图 2 潮流能水轮机模型

Fig.2 Model of the tidal stream turbine



(a) ADV现场安装



(b) ADV取区区域示意图

图 3 ADV 示意图

Fig.3 Scheme of the ADV

1.4 数据测量

ADV 测点布置如图 4 所示。沿 x 方向(图 4(a)),从 $-0.5D$ 到 $15D$ 依次测量 10 个横断面。在每个横断面上(图 4(b)),沿 y 方向在上叶尖、轮毂中心高度处分别测量 $-1D$ 至 $1D$ 处的流场数据,水轮机旋转直径外测量间隔为 $0.25D$,旋转直径内间隔为 $0.17D$;在水槽中心线上,沿 z 方向测量距海床面 $7 \sim 47\text{ cm}$ 的流场数据,测量间隔为 $0.1D$ 。试验中,水深为 $54\text{ cm}(2D)$,试验组次安排见表 1。

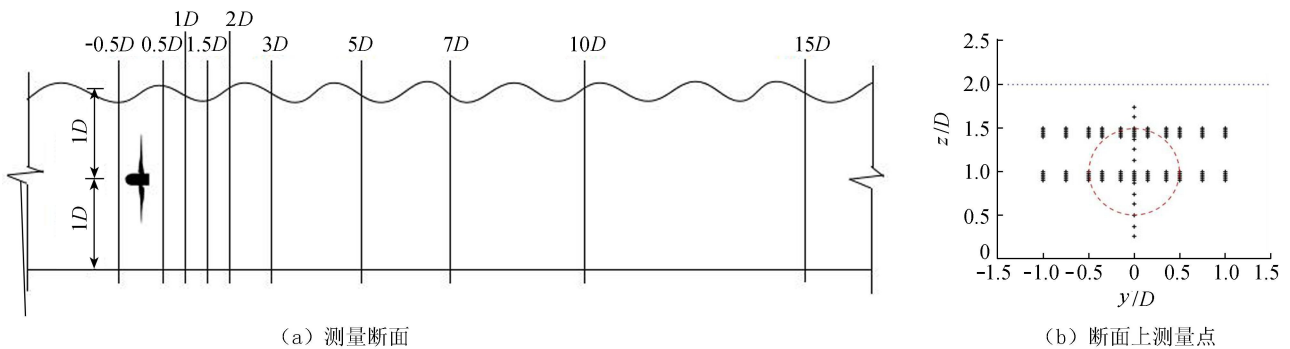


图 4 测量点位置示意图
Fig. 4 Locations of measurement points

1.5 数据处理

试验中测得的流速时间序列可表示为

$$u = \bar{u} + u'$$
 (1)

式中: $\bar{u}$ ——当前测点时均流速, m/s ; u' ——脉动流速, m/s 。

速度损失 u_{def} 为

$$u_{\text{def}} = \left(\frac{\bar{u}}{U} - 1 \right) \times 100\%$$
 (2)

湍流强度 T (turbulent intensity)的计算公式为

$$T = \frac{\sqrt{\frac{1}{3}(\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2})}}{u_0}$$
 (3)

其中 $\overline{u'} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (u_i - \bar{u})^2}$ $\overline{v'} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (v_i - \bar{v})^2}$ $\overline{w'} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (w_i - \bar{w})^2}$

式中, $\overline{u'}$ 、 $\overline{v'}$ 、 $\overline{w'}$ —— x 、 y 、 z 方向上各测点的流速脉动均值; N ——120 s 内流速采样数量; u_i 、 v_i 、 w_i —— x 、 y 、 z 方向各测点的流速瞬时值; $\bar{u}$ 、 $\bar{v}$ 、 $\bar{w}$ —— x 、 y 、 z 方向各测点的平均流速。

2 试验结果分析

对波流共同作用下水平轴潮流能水轮机物理模型的试验结果进行分析,得到不同波流参数条件下水轮机尾流场中水流流速分布规律和湍流强度分布规律。为得到速度损失分布图与湍流强度分布图,将 ADV 测量结果进行插值,利用插值生成连续的等值线图。试验过程中,待水轮机叶轮旋转稳定后开始测量流场数据,水轮机旋转速度为 90 r/min ,尖速比为 3.64。

2.1 流速分布

水轮机前方自由来流平均来流速度 0.35 m/s ,越靠近水面流速越大,越靠近床面流速越小。流速分布符合 $1/7$ 流速分布规律。

2.1.1 纯流条件

由图 5(a)可知,水流经过水轮机之后发生扩散,呈现不对称的特征。该不对称特征可能与水流经过轮毂后,从轮毂后方脱离的尾涡相关。

水轮机对后方 $(0.5 \sim 7)D$ 范围内的流速都有很大影响, $y/D=0$ 处流速最低,两侧流速逐渐增加。在水轮机后方 $(0.5 \sim 1.5)D$ 的近尾流区域,速度损失最大为 30%,离水轮机距离越近,流速越小;水轮机后方

表 1 试验组次
Table 1 Test groups

试验工况	波高/m	周期/s
Case 0		
Case 1	0.05	1.0
Case 2	0.08	1.0
Case 3	0.05	1.5

注:上游来流速度的平均值 $U=0.35\text{ m/s}$ 。

(7~10) D 的远尾流区域,流速曲线相差不大,速度损失维持在10%,相比近尾流区域,流速有进一步的恢复;到后方15 D 处速度损失维持在5%以下的水平。

由图5(b)可知,在水轮机后方1 D 处,最大速度损失位于水轮机转子的中心线,这说明位于前方的水轮机机舱对正后方位位置的影响最大。由于水轮机叶片转动和支撑结构阻塞的共同作用,另一个速度损失的极大值点位于上部叶尖处。上叶尖处速度损失最大可达到25%,而下叶尖处速度损失最大为10%,说明水轮机支撑结构对水流的阻碍作用大于叶片自身的转动。

纯流中由水轮机支撑结构引起的速度损失迅速恢复,并且与水轮机轮毂后方流向下流的尾流合并。随着尾流向下游移动,其中心线向水面缓慢倾斜。当水流到达水轮机后方7 D 处时,流速恢复到初始的90%;当水流到达12 D 处时,流速可恢复到初始的95%以上;到15 D 之后,流速基本能恢复到100%。

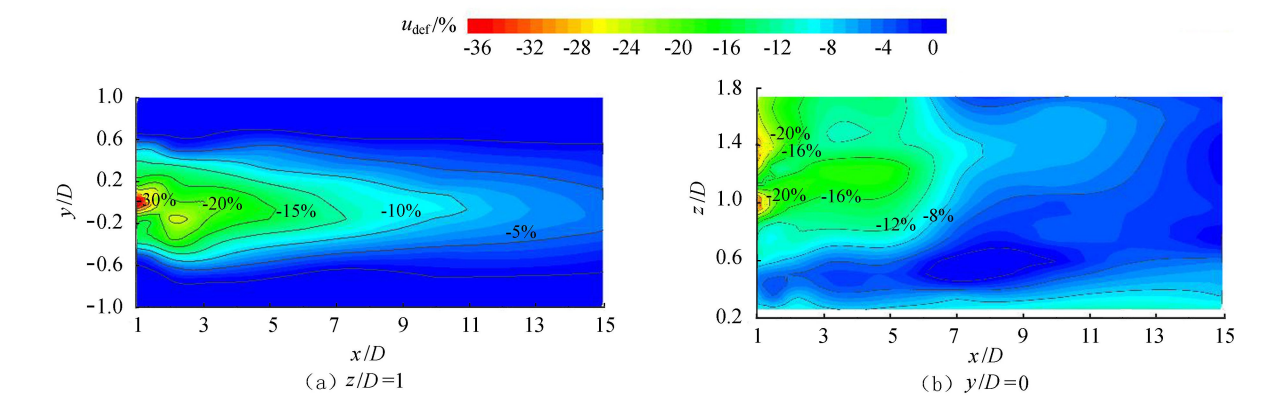


图5 纯流条件下 $z/D=1$ 和 $y/D=0$ 平面处的速度损失分布

Fig.5 Distribution of the velocity deficit at $z/D=1$ and $y/D=0$ plane under current-only

2.1.2 波流共同作用

波流共同作用下,由于波浪的加入使得流速具有相应的周期性变化,但其均值不发生改变。由图6(a)可知,轮毂正后方(0.5~1.5) D 范围内,速度损失达到35%,比纯流工况的损失多了5%。造成这种现象的原因是水流经过水轮机叶片后,产生了朝不同方向剥离的趋势,造成了更大的速度损失。

从尾流场的影响区域看,到水轮机下游5 D 处时,波流共同作用下的影响宽度仍维持在1 D ,而纯流条件下的影响宽度减小为0.8 D 。5 D 下游断面的影响宽度都开始逐渐减小。

由图6(b)可知,相比纯流的情况,尾流在支撑结构后方的速度损失更小,为20%。水轮机叶片旋转水域后方范围内的水流流速在1 D 处损失达到33%,3 D 处损失达到20%,在(5~7) D 之间流速损失达到15%。相比于纯流,波流条件下叶片旋转水域后方范围内的流速恢复慢。

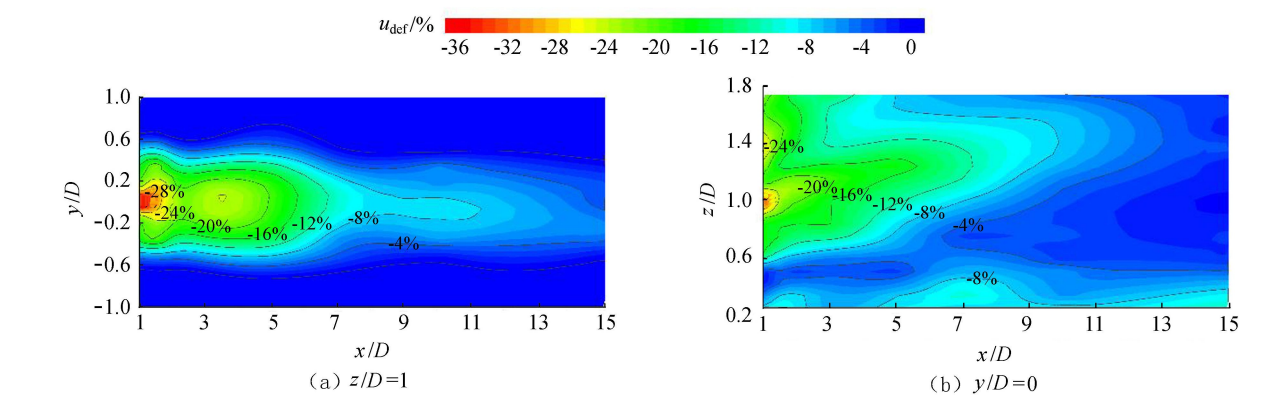


图6 Case1 工况下 $z/D=1$ 和 $y/D=0$ 平面处的速度损失分布

Fig.6 Distribution of the velocity deficit at $z/D=1$ and $y/D=0$ plane under the condition of Case 1

对比图6与图5可以发现,波浪的存在有利于支撑结构后方的流速恢复。而对于水轮机叶片旋转水域后方的水流来说,波浪的存在会使近尾流的流速损失更大,远尾流的流速恢复变得更慢。

2.1.3 波参数的影响

图7分别为 Case 0 ~ Case 3 工况下水轮机后方轮毂高度流速分量 $\bar{u}$ 沿横向的变化。可以发现,水轮机后方 $1D$ 中心点处的流速最小,相对流速 0.62,两侧流速最大,相对流速 1.07; $1.5D$ 中心点处的流速与 $1D$ 处相比变化明显,相对流速增大到 0.75,两侧流速变化不大,相对流速 1.08; $5D$ 处流速曲线愈加平缓,流速得到进一步恢复; $15D$ 处流速恢复到水轮机前方水流的初始状态。除此之外,其他工况下水轮机轮毂高度后方流速分量 u 的横向变化规律与之基本相同。

波流共同作用下 (Case 1 ~ Case 3) 水轮机后方 $1D$ 中心点处的相对流速分别为 0.61、0.55 和 0.62, 小于纯流工况下的流速, 两端相对流速分别为 1.07、1.09 和 1.07, 与纯流工况下的流速相近; $1.5D$ 处规律与之类似; $5D$ 处的流速整体略小于纯流工况; $15D$ 处 4 种工况下的流速相差无几, 这说明波浪的存在使得近尾流的流速损失更大, 远尾流的流速恢复更慢。通过对比可以发现, Case 2 和 Case 3 的流速均比 Case 1 大, 因此水轮机下游流速会随波高和周期的增加而增大。

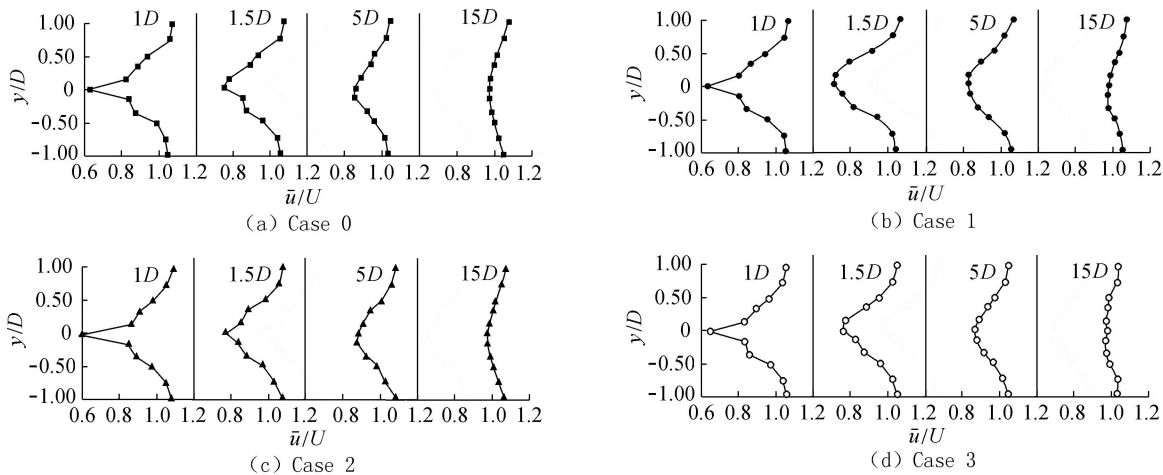


图7 水轮机后方轮毂高度 $\bar{u}$ 沿横向变化

Fig.7 Laterally variation of $\bar{u}$ at hub height in the downstream of the turbine

2.2 紊动特性

2.2.1 纯流条件

由图8(a)可知,水轮机后方 $1D$ 处的最大湍流强度位于轮毂正后方, 大约为 11%; 随着水流向下游流动, 湍流强度迅速减小。水轮机后方 $5D$ 处湍流强度约为 7%, $12D$ 之后的湍流强度衰减到 5%, 基本与入口处水流的湍流强度 (约为 4%) 相同。

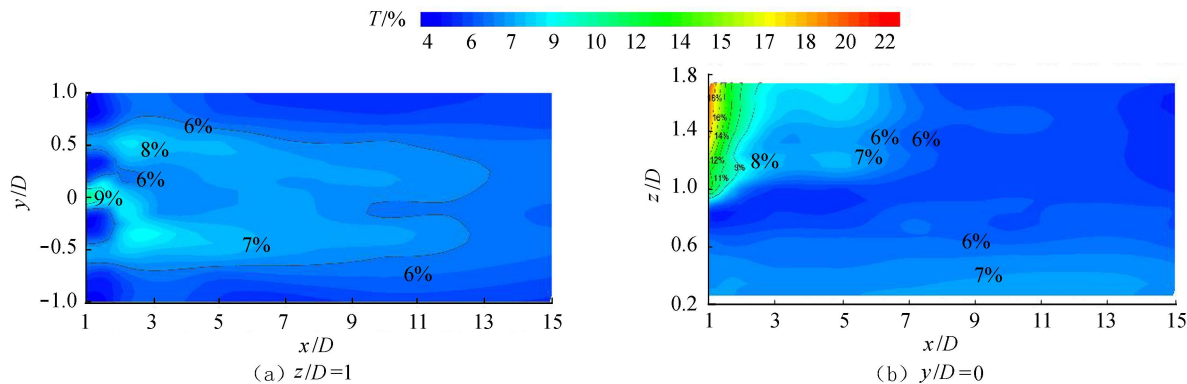


图8 纯流条件下 $z/D=1$ 和 $y/D=0$ 平面和的湍流强度分布

Fig.8 Distribution of the turbulence intensity at $z/D=1$ and $y/D=0$ plane under pure current

近尾流区域除了轮毂后方一个湍流强度峰值外,在两侧的叶尖位置还存在 2 个较小的峰值,其湍流强度可以达到 8%,这说明在该区域,除了轮毂后方机舱对水流紊动的影响外,叶尖旋转带来的水流紊动同样不可忽视。轮毂至叶尖之间区域的湍流强度明显小于这 3 个峰值,这表明水流经过叶片中部并不会引起流速

脉动均值的巨大波动。3个峰值往下游发展后逐渐聚合,最终合并成一个单峰值。

由图8(b)可知,水流最大紊动出现在水轮机后方径向(1~2) D ,垂向(1~1.8) D 范围内,这说明叶片的转动和支撑结构的存在对湍流强度的贡献最大。在近尾流区域,湍流强度的等值线非常密集,这说明湍流强度的变化极其剧烈。而到了远尾流区域,伴随着距离水轮机越来越远,湍流强度也越来越小,且2个湍流强度较高的区域进一步合并,下游8 D 之后基本达到一个稳定状态,维持在5%以下。

在水轮机的近尾流区域,湍流强度的最小值在水轮机下部叶尖到水轮机轮毂这个范围之内,造成这一现象的原因主要是2个方面:(a)水轮机的叶尖速比较小,叶片的旋转对于水流紊动的影响较小;(b)水轮机的叶尖扫过的区域比叶片中部引起的湍流强度大。因此,叶尖位置相较于靠近叶尖位置的湍流强度更大。

2.2.2 波流共同作用

一般认为的湍流强度是脉动均值的均方根与平均速度的比值,而波浪的存在使得流速分解为均值、振荡值和随机脉动值。因此,波流共同作用的湍流强度无法用之前的方法来描述。由于波浪具有周期性,故在此引入一个相位平均的概念^[18]。此时流速分解值中的均值和振荡值在不同周期的相同相位内被平均化,湍流强度仍然是随机脉动均值的均方根与平均速度的比值,与纯流条件下的定义和结果基本相同。

由图9(a)可知,与纯流条件相比,其整体规律相似,水轮机后方都存在3个中间大两侧小的湍流强度峰值,在三峰之间都出现了明显的谷值。这2个谷值在到下游2 D 处之后逐渐消失,3个峰值也逐渐融合。与纯流条件稍有不同的是,波流共同作用条件下水轮机后方近尾流处湍流强度的值更大且远尾流处的湍流强度恢复地更慢。

由图9(b)可知,湍流强度的整体分布趋势与纯流条件基本相同,都是在水轮机支撑结构后方且轮毂上方位置为湍流强度的峰值,在近尾流区域随着径向距离的增加,湍流强度迅速减小,等值线非常密集;到了远尾流区域,湍流强度的衰减速率变小,等值线变得稀疏;在到达10 D 时,湍流强度约为6%,之后伴随着径向距离的进一步增加,湍流强度趋于稳定,基本小于4%,与水轮机入口位置的紊动相一致。

与纯流条件相比,Case 1工况下水轮机后方3 D 到6 D 之间的紊动变化情况稍有不同。在纯流条件下,该区域内湍流强度的变化基本趋势较为平缓,约从8%下降到7%,仅下降了1%,而在Case1工况下该区域的变化趋势稍大,下降大于2%。波浪的存在明显使得从近尾流到远尾流过渡区域的湍流强度进行了重新分布,让水流相比于纯流条件更快地达到稳定状态。

2.2.3 波参数的影响

由图10可知,水轮机前方1 D 处各工况的湍流强度大致相同,大小在4%左右。在水轮机后方1 D 处,湍流强度沿横向的变化出现了多个极值,在轮毂正后方湍流强度的值最大,两叶尖处出现了2个大致相同的极大值,湍流强度关于轮毂所在的轴线对称。水轮机后方1.5 D 和2 D 处湍流强度沿横向的变化规律与1 D 处基本相同,但其大小随着与水轮机距离的增大而减小。在10 D 和15 D 处,湍流强度沿横向的变化趋于稳定,各工况之间湍流强度大致相同,都维持在6%左右。

对不同工况而言,湍流强度在水轮机后方1 D 处存在明显差异。由图可知,各工况在1 D 处的湍流强度最大值依次为:Case 0工况下11%;Case 1工况下12%;Case 2工况下15%;Case 3工况下15%。总体来说,

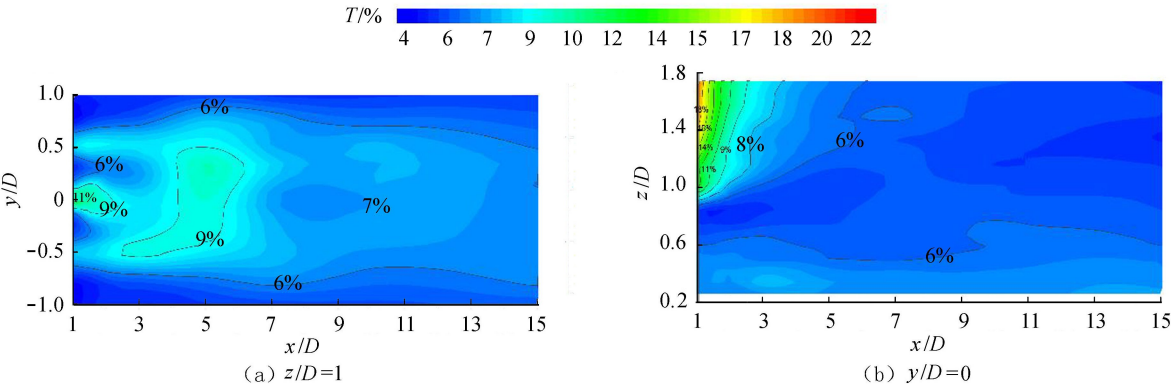


图9 Case1 工况下 $z/D=1$ 和 $y/D=0$ 平面处的湍流强度分布

Fig. 9 Distribution of the turbulence intensity at $z/D=1$ and $y/D=0$ plane under the condition of Case 1

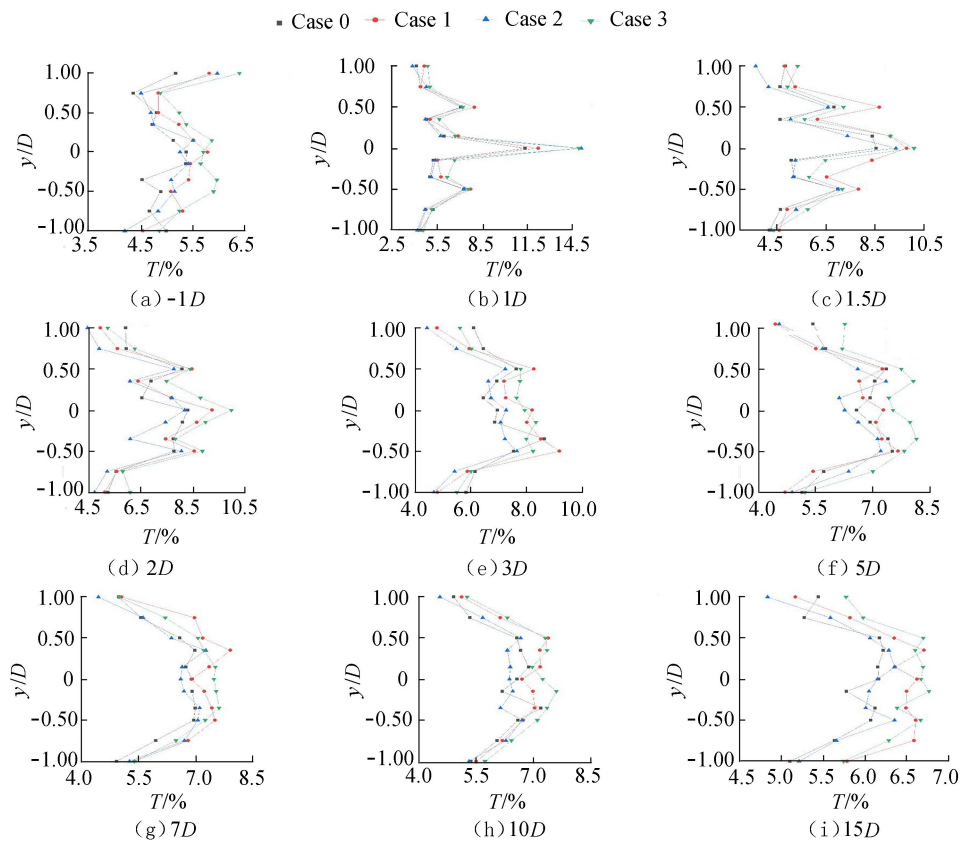


图 10 不同工况下轮毂高度处湍流强度沿横向变化

Fig. 10 Laterally variation of turbulent intensity at hub height under different conditions

纯流工况的湍流强度数值最小,波流共同作用工况的湍流强度数值要大于纯流工况。在波流共同作用的 3 种工况下,湍流强度会随周期的增大而减小,随波高的增大而增大。

3 结 论

- a. 与纯流条件相比,波浪的存在有利于支撑结构后方水流的速度恢复;使得水轮机叶片旋转水域后方近尾流的速度损失更大,远尾流的速度恢复更慢。
- b. 水轮机下游流速会随波高和周期的增大而增大。
- c. 与纯流条件相比,波流共同作用下水轮机后方近尾流的湍流强度更大,远尾流的湍流强度恢复较慢。
- d. 波流共同作用工况的湍流强度整体要大于纯流工况;湍流强度会随周期的增大而减小,随波高的增大而增大。

参考文献:

[1] 张亮, 李新仲, 耿敬, 等. 潮流能研究现状 2013[J]. 新能源进展, 2013, 1(1): 53-68. (ZHANG Liang, LI Xinzhong, GENG Jing, et al. Tidal current energy update 2013[J]. Advances in New and Renewable Energy, 2013, 1(1): 53-68. (in Chinese))

[2] 张理, 李志川. 潮流能开发现状、发展趋势及面临的力学问题[J]. 力学学报, 2016, 48(5): 1019-1032. (ZHANG Li, LI Zhichuan. Development status, trend and the problems of mechanics of tidal current energy [J]. Chinese Journal of Theoretical and Applied Mechanics, 2016, 48(5): 1019-1032. (in Chinese))

[3] 魏东泽, 吴国荣, 郭欣, 等. 潮流能开发技术研究进展[J]. 可再生能源, 2014, 32(7): 1067-1074. (WEI Dongze, WU Guorong, GUO Xin, et al. Research progress in exploration technology of tidal current energy [J]. Renewable Energy Resources, 2014, 32(7): 1067-1074. (in Chinese))

[4] MYCEK P, GAURIER B, GERMAIN G, et al. Experimental study of the turbulence intensity effects on marine current turbines behaviour. part II : two interacting turbines[J]. Renewable Energy, 2014, 66(7): 876-892.

[5] 张亮, 尚景宏, 张之阳, 等. 潮流能研究现状 2015:水动力学[J]. 水力发电学报, 2016, 35(2): 1-15. (ZHANG Liang, SHANG Jinghong, ZHANG Zhiyang, et al. Tidal current energy update 2015:hydrodynamics[J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2016, 35(2): 1-15. (in Chinese))

[6] MYERS L E, BAHAJ A S. Wake studies of a 1/30th scale horizontal axis marine current turbine[J]. Ocean Engineering, 2007, 34(5): 758-762.

[7] MAGANGA F, GERMAIN G, KING J, et al. Experimental characterization of flow effects on marine current turbine behaviour and on its wake properties[J]. IET Renewable Power Generation, 2010, 4(6): 498-509.

[8] 汪洁. 海流能转换器水动力特性的数值模拟及实验研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2012.

[9] 张文广. 双向叶片涡轮机内部三维流场的数值模拟与实验研究[D]. 杭州: 浙江工业大学, 2012.

[10] BARLTROP N, VARYANI K S, GRANT A, et al. Investigation into wave-current interactions in marine current turbines[J]. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers Part A Journal of Power and Energy, 2007, 221(A2): 233-242.

[11] TATUM S C, FROST C H, ALLMARK M, et al. Wave-current interaction effects on tidal stream turbine performance and loading characteristics[J]. International Journal of Marine Energy, 2016, 14: 161-179.

[12] GALLOWAY P W, MYERS L E, BAHAJ A S. Quantifying wave and yaw effects on a scale tidal stream turbine[J]. Renewable Energy, 2014, 63: 297-307.

[13] FAUDOT C, DAHLHAUG O G. Prediction of wave loads on tidal turbine blades[J]. Energy Procedia, 2012, 20: 116-133.

[14] MILNE I A, DAY A H, SHARMA R N, et al. Blade loads on tidal turbines in planar oscillatory flow[J]. Ocean Engineering, 2013, 60(2): 163-174.

[15] LUST E E, LUZNIK L, FLACK K A, et al. The influence of surface gravity waves on marine current turbine performance[J]. International Journal of Marine Energy, 2013, 3: 27-40.

[16] NEVALAINEN T M, JOHNSTONE C M, GRANT A D. A sensitivity analysis on tidal stream turbine loads caused by operational, geometric design and inflow parameters[J]. International Journal of Marine Energy, 2016, 16: 51-64.

[17] 马伟佳, 荆丰梅, 王树齐, 等. 浪流共同作用下潮流能水轮机性能试验研究[J]. 中国造船, 2017, 58(2): 189-198. (MA Weijia, JING Fengmei, WANG Shuqi, et al. Experimental study on performance of tidal current turbine in the waves[J]. Shipbuilding of China, 2017, 58(2): 189-198. (in Chinese))

[18] UMEYAMA M. Changes in turbulent flow structure under combined wave-current motions[J]. Journal of Waterway Port Coastal & Ocean Engineering, 2010, 135(5): 213-227.

(收稿日期:2018-06-24 编辑:刘晓艳)

· 简讯 ·

警惕假冒《河海大学学报(自然科学版)》网站的声明

近期,网上出现了某些自称为《河海大学学报(自然科学版)》编辑部的网站,通过使用本刊编辑部的名称和地点、伪造资质证书等非法手段,意图假借编辑部的名义,达到非法营利目的。为此,《河海大学学报(自然科学版)》编辑部郑重声明如下:

《河海大学学报(自然科学版)》编辑部官方域名(网站)为 <http://jour.hhu.edu.cn>。凡要求将版面费通过转账至个人账户的均非本编辑部所为。假冒本编辑部网站发布的信息、活动及后果均与本编辑部无关。在此特提醒广大读者、作者注意甄别本刊网站合法域名,选择正确途径投稿,避免不必要的损失。

《河海大学学报(自然科学版)》地址:南京市西康路1号河海大学期刊部

在线投稿:<http://jour.hhu.edu.cn/hhdxzbzr/ch/index.aspx>

E-mail: xb@hhu.edu.cn 或 xb1957@vip.163.com

电话:025-83786343

(本刊编辑部供稿)