

# 植物坝覆盖区明渠二维两相流场紊动特性研究

刘 锋<sup>1,2</sup>, 邱秀云<sup>1,2</sup>, 张圣凯<sup>3</sup>, 周 著<sup>1</sup>

(1. 新疆农业大学 水利与土木工程学院, 新疆 乌鲁木齐 830052;

2. 新疆农业节水与水资源研究中心, 新疆 乌鲁木齐 830052;

3. 新疆伊宁市农业综合开发办公室, 新疆 伊宁 835000)

**摘要:** 漂浮植被占用了行洪断面面积, 增大了河流的阻力, 遇到障碍物后, 造成河道严重堵塞。通过室内物理模型试验和数值模拟的方法, 研究、分析大面积覆盖水面的漂浮植被对河道泄洪能力、河道水体结构、水流特性的影响。根据紊动强度和雷诺应力沿程变化, 从波动幅度上看, 植物覆盖区波动幅度较大; 对根茎区, 无植物覆盖但受影响区紊动强度不大, 但较无植物覆盖时的明渠水流有明显增大, 植物坝覆盖区及植物坝前缘区变化显著, 尤其是植物坝前缘区的紊动强度波动很剧烈。

**关键词:** 植物; 紊动强度; 雷诺应力

中图分类号: TV131

文献标识码: A

文章编号: 1672—1144(2012)02—0065—05

## Research on Turbulent Properties of Two-dimensional and Two-phase Flow Field of Open Channel in Vegetation Coverage Area

LIU Feng<sup>1,2</sup>, QIU Xiu-yun<sup>1,2</sup>, ZHANG Sheng-kai<sup>3</sup>, ZHOU Zhu<sup>1</sup>

(1. College of Water Conservancy and Civil Engineering, Xinjiang Agricultural University, Wulumuqi, Xinjiang 830052, China;

2. Xinjiang Research Center of Agricultural Water Saving and Water Resources, Wulumuqi, Xinjiang 830052, China;

3. Yining City Comprehensive Development Office of Agriculture in Xinjiang, Yining, Xinjiang 835000, China)

**Abstract:** The floating vegetation would take up part of the cross section area for flood flow, increase flow resistance, and cause river blockage when encountering barrier. Through model test and numerical simulation, the effects of large-area floating vegetation on river flood capacity as well as on river water body structure and water flow properties are researched and analyzed. According to the streamwise variation of turbulent intensity and Reynolds stress, and based on the motion range, the motion range of vegetation coverage area is bigger; To the root-stock area, there has no vegetation coverage, the turbulent intensity in the influence area is not great, but it increases obviously compared with that in the open-channel flow. The variations in the vegetation coverage area and its fore-area are obvious, particularly in its fore-area, the motion of the turbulent intensity is very violent.

**Keywords:** vegetation; turbulent intensity; Reynolds stress

漂浮植被在长江及其以南的河道、湖泊和水库中疯狂生长, 大量繁殖后, 遮蔽水面, 占用了行洪段面积, 增大了河流的阻力, 遇到障碍物后, 造成河道严重堵塞, 形成一道“水坝”, 阻碍水体的流动, 致使水面壅高, 给堤防造成很大隐患。

本文在对有植被的河道水流国内外研究现状的基础上, 通过室内物理模型试验和数值模拟的方法, 研究、分析大面积覆盖水面的漂浮植被对河道泄洪能力, 及其对河道水体结构、水流特性的影响。

### 1 试验设备及断面选取

本试验是在新疆农业大学水利与土木工程学院水工实验室内水槽中进行的。水槽布置如图 1 所示。水槽长 25 m, 宽 0.5 m, 高 0.6 m。两边为玻璃壁面, 底部为平滑的水泥抹面。水流经过矩形量水堰进入进水池, 水槽进口处设有消能栅, 经稳定设施后流入水槽, 水槽上设有活动支架, 以固定测速设备。槽尾设有活页尾门, 调节活页尾门开度可控制

水槽水位。断面设置以细钢丝闸处为 0 测量断面,沿上游方向距离 0 断面 2 m 处为第 2 测量断面,依

此类推,分别为第 4 测量断面、第 6 测量断面和第 7 测量断面。

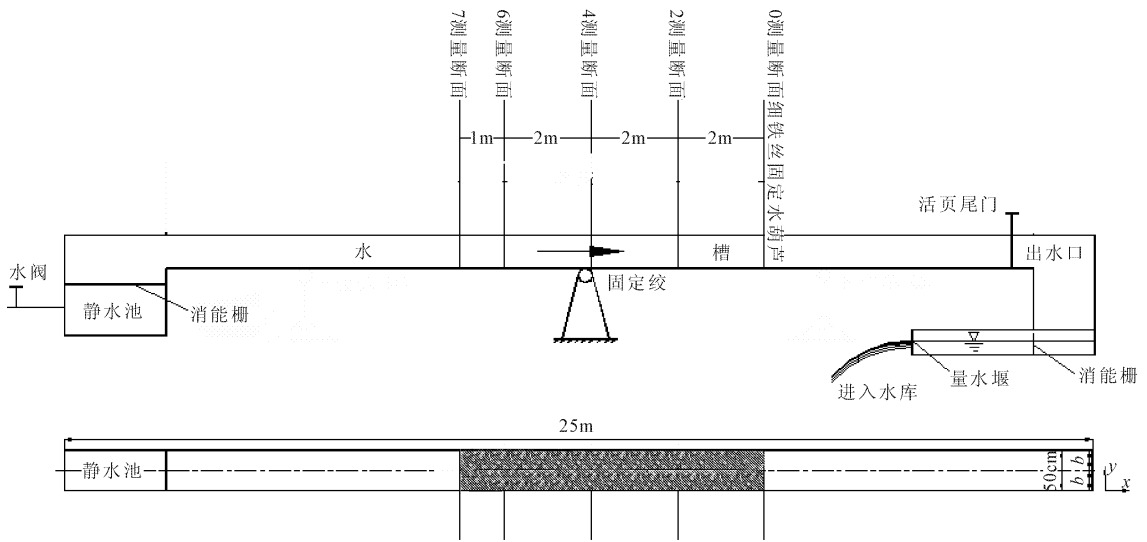


图 1 水槽布置示意图

本试验采用装饰用的绿色塑料树作为模型植被。塑料树全高约 10 cm 左右,主干直径约 2 mm,上部有树枝和树叶,树顶最大横向宽度为 7 cm,并具有一定的柔韧性,见图 2。模型树的根部有用于固定的圆形孔,试验时将模型树固定在一个有插座的网格上。

用不同的计算方法得到的相对紊动强度,可能会有不同的结果。一般而言,为便于进行比较分析,通常使用摩阻流速或时均流速对  $\sqrt{u_i'^2}$  进行无量纲化,将其转化为相对紊动强度<sup>[3-4]</sup>。本文采用 0 测量断面的平均流速  $U_0$  对紊动强度进行无量纲化,即

$$\frac{\sqrt{u_i'^2}}{U_0} = \frac{\sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2}}{U_0} \quad (2)$$

天然河流中的水流绝大多数为紊流,许多工程建设中的流体力学问题都应当考虑到水流的紊动特性。河道中泥沙的输移、沉降、河床堤岸的侵蚀,以及水流阻力都受水流紊动的影响<sup>[5-7]</sup>。因此,对水流紊动强度的研究有重要的现实意义。本文主要分析了漂浮植物存在于河道时水流的紊动特性。

### 2.1 有无植物时各向紊动强度沿程变化比较

图 3 显示在根茎以下区(相对水深  $Y < 0.7$ ),各向相对紊动强度沿水深变化不大,第 2 断面相对紊动强度较大,第 7 断面和植物前缘临界断面的各向紊动强度几乎与无植物时相同,该区域壅水很高,根茎以下区较稳定,流速相对较小,水面波动也很小。在根茎区  $Y \geq 0.7$ ,各向相对紊动强度变化明显,其中植物前缘临界断面横向和纵向相对紊动强度有较大变化,最大值是无植物时的 6 倍之多,垂向变化较小;三向相对紊动强度在植物前缘的断面在相对水深  $Y \geq 0.7$  时出现最大值,说明此处的水体受到植物植株阻力影响最大。由于植物的阻水效应,造成

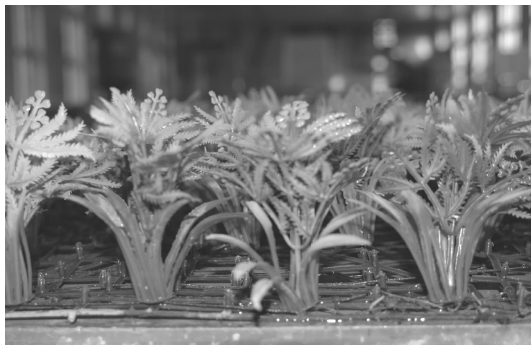


图 2 模型植被照片

试验中流速用旋桨流速仪和三维多普勒声学流速仪(ADV)两种仪器量测。

## 2 有植物坝的河道水流紊动特性研究

流体运动要素随时间作不规则急剧变化的现象称为紊动,在统计理论中,反映这一水力特性的参数为瞬时流速相对于时均流速变化幅度的均方根值,代表流场紊动水平的基本参数,被称为紊动强度,即

$$\sqrt{u_i'^2} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (u_i - \bar{u})^2} \quad \text{表示}^{[1-2]} \quad (1)$$

近水面区域内水流结构发生深刻变化,水面起伏波动明显,流态不稳定,是各向相对紊动强度发生较大变化的主要原因。三向相对紊动强度中,垂向紊动

强度值  $T_z$  较其他两方向较小,也就是说水槽中植物对流速垂向的紊动强度的影响最小,而对纵向紊动强度  $T_y$  和横向紊动强度  $T_x$  的影响较大。

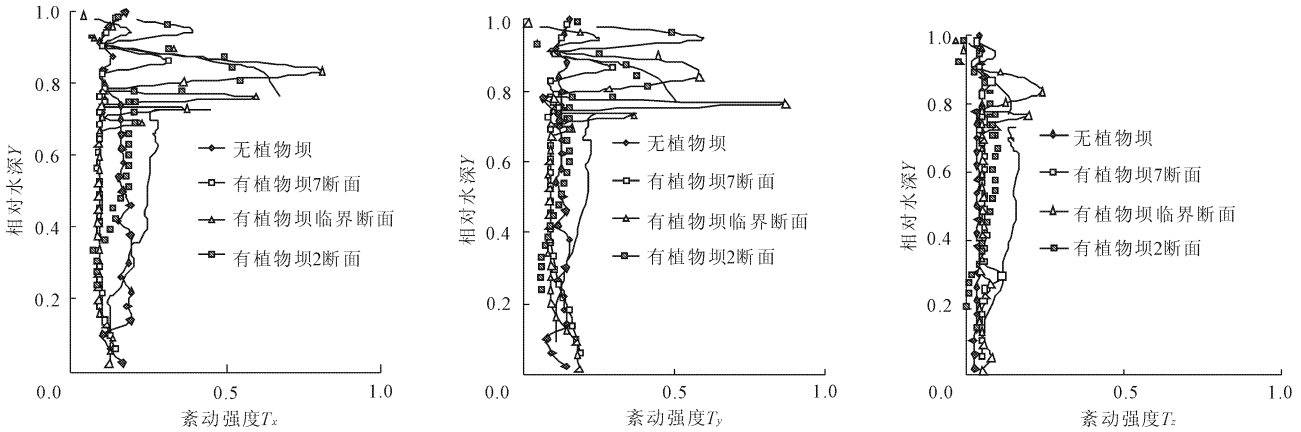


图 3 有无植物坝时各向紊动强度

### 2.2 同一断面各向紊动强度分布比较

在同一断面上有或无植物情况下各向紊动强度分布比较见图 4。无植物时的紊动强度沿水深都很小。有植物覆盖,在根茎以下区( $Y < 0.7$ )时,三个断面上的紊动强度变化都很小,其中第 2 断面上相对紊动强度较其他两个断面大,这是因为有植物覆盖的第 2 断面过水面积比其他两个小的缘故;根茎区( $Y \geq 0.7$ )相对紊动强度在第 7 断面不是很大,在第 2 断面和植物前缘临界断面(即第 7 断面)上,相对紊动强度波动很剧烈。

从波动幅度上看,第 2 断面较大,因其位于覆盖区中间,由于中间区域过流断面小,平均流速大,水流相对紊动强度较大;第 7 断面位于覆盖区前端,受到植物阻水影响使上游壅水,时均流速减小,虽然没有植物坝覆盖但依然受到了影响;临界断面位于种植区前缘,属于汇水处,近水面有波动,相对紊动强度在该处也较其他部位大。可将有植物河道水流划分成三个区域即无植物覆盖但受影响区、植物前缘区以及水流充分发展的(一段距离内的流速皆呈近似于冰凌期分布)植物覆盖区,对应的典型断面依次为第 7 断面、临界断面和第 2 断面。

## 3 有植物河道水流的雷诺应力分析

雷诺应力是迁移惯性力(非线性项)取时均而出现的,属于惯性力的范畴。雷诺应力可表示为  $\tau_{ij} = -\rho \overline{u_i u_j}$ ,是由紊动水团的交换在流层之间产生的剪切应力。可以解释为通过垂直于  $i$  向平面的单位面积流体的  $j$  向动量,  $\tau_{ij}$  则表示由于紊动引起的平

均动量流。

$\tau_{xy} = -\rho \overline{u_x u_y}$  作用面法线方向为  $x$  向,力的方向为  $y$  向的雷诺应力。

$\tau_{zx} = -\rho \overline{u_z u_x}$  作用面法线方向为  $z$  向,力的方向为  $x$  向的雷诺应力。

$\tau_{zy} = -\rho \overline{u_z u_y}$  作用面法线方向为  $z$  向,力的方向为  $y$  向的雷诺应力。

对有植物河道的雷诺应力进行了无量纲化,即  $T_{ij} = -\rho \overline{u_i u_j} / \rho U_0^2$ ,  $U_0$  为进水口断面的平均流速。

### 3.1 有无植物时各向雷诺应力比较

试验研究表明沿程各断面雷诺应力分布不同(见图 5)。

图 5 显示在根茎以下区( $Y < 0.7$ ),各向雷诺应力沿程变化不大,横向和纵向雷诺应力分布相似。水流充分发展的植物覆盖区(第 2 断面)较其他值略大,而没有植物覆盖但受影响的区域(第 7 断面)和植物坝前缘临界断面几乎与无植物时相同;在根茎区( $Y > 0.7$ )雷诺应力变化明显,由于植物的存在,近水面区域剧烈扰动使得水流质团间发生强烈的能量交换和传递,雷诺应力在该处变化幅度最大,波动显著。说明受植物阻水效应主要在表层,底层影响很小。

### 3.2 同一断面的各向雷诺应力分布比较

图 6 为同一断面上有无漂浮植被情况下各向雷诺应力沿水深分布,从图 6 可见,无植物时,雷诺应力沿水深方向各处都很小。有植物时,雷诺应力的分布发生了明显的变化,在第 7 断面上  $Y \geq 0.8$  时,三向雷诺应力增加都较大,虽然此处并无植物覆盖,但

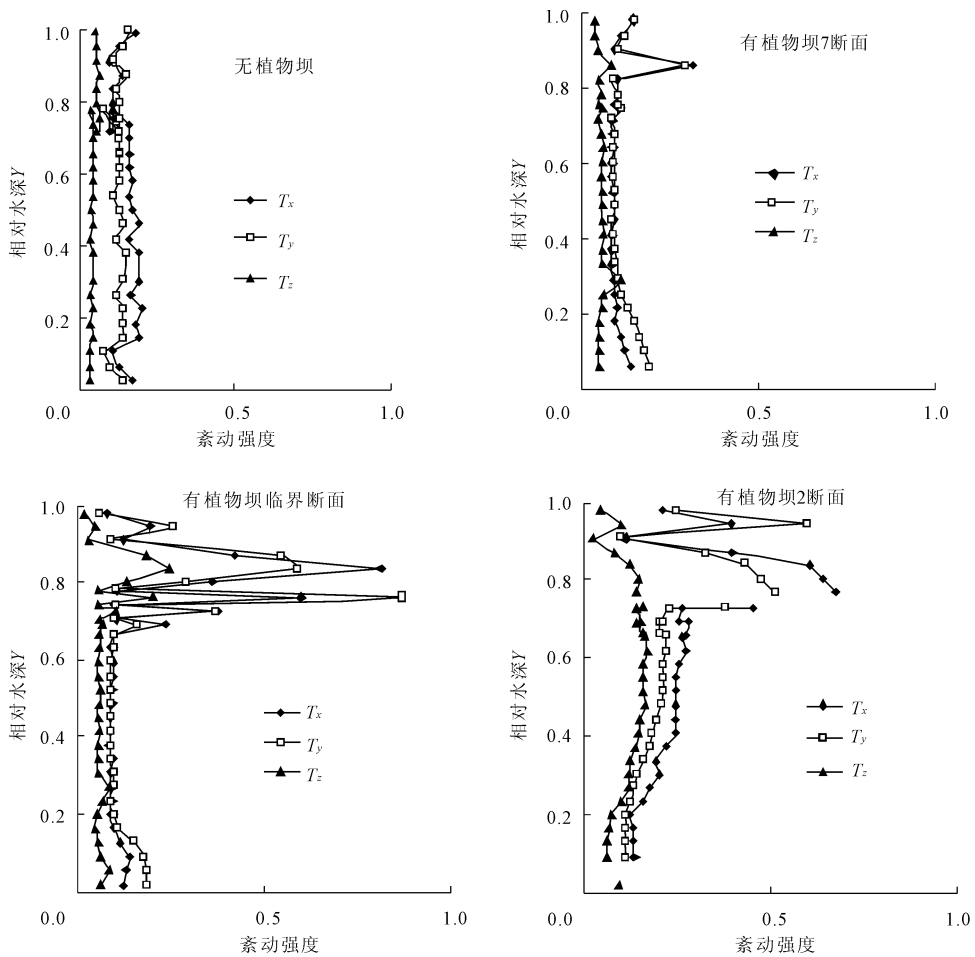


图 4 同一断面有无植物时紊动强度

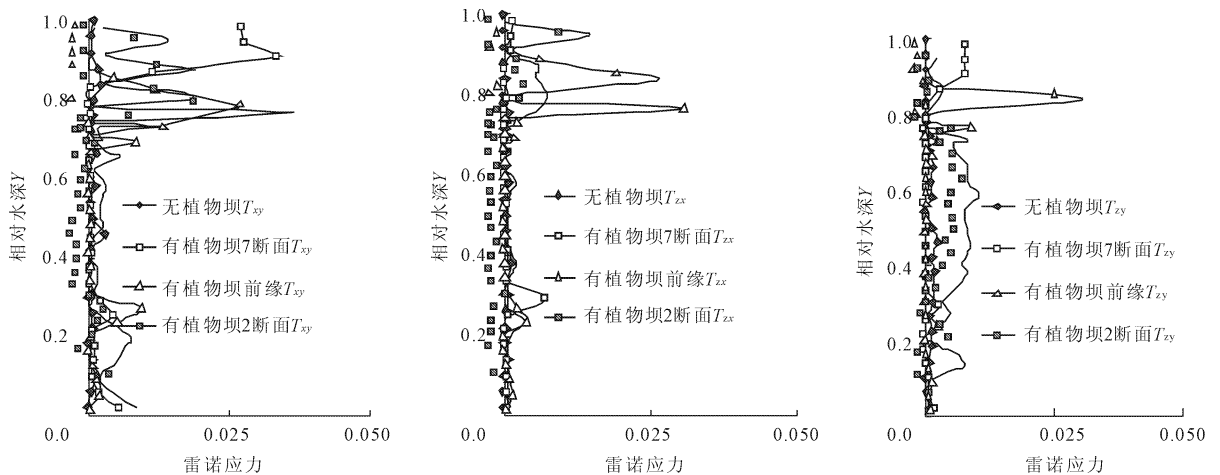


图 5 有无植物坝三向雷诺应力

由于植物的阻力效应,使靠近水面的水体波动幅度很大,使其阻力效应影响至此;在  $Y \leq 0.8$  时,较无植物各向雷诺应力分布变化不大。植物前缘断面上,  $Y \geq 0.7$  时,该处由于植物根叶的影响,近水面区域扰动剧烈使得水流质团间发生强烈的能量交换和传递,雷诺应力在该处变化幅度最大,波动也最显著,

$Y \leq 0.7$  时的雷诺应力与无植物时相当;在第 2 断面上与植物前缘测量断面雷诺应力分布趋势相似,  $Y \geq 0.7$  时变化显著,而  $Y \leq 0.7$  时较其他两个断面也很显著,这是因为由于植物的覆盖,占据了一部分过水断面,使过水断面减小,从而使整个断面都有不同程度的影响。

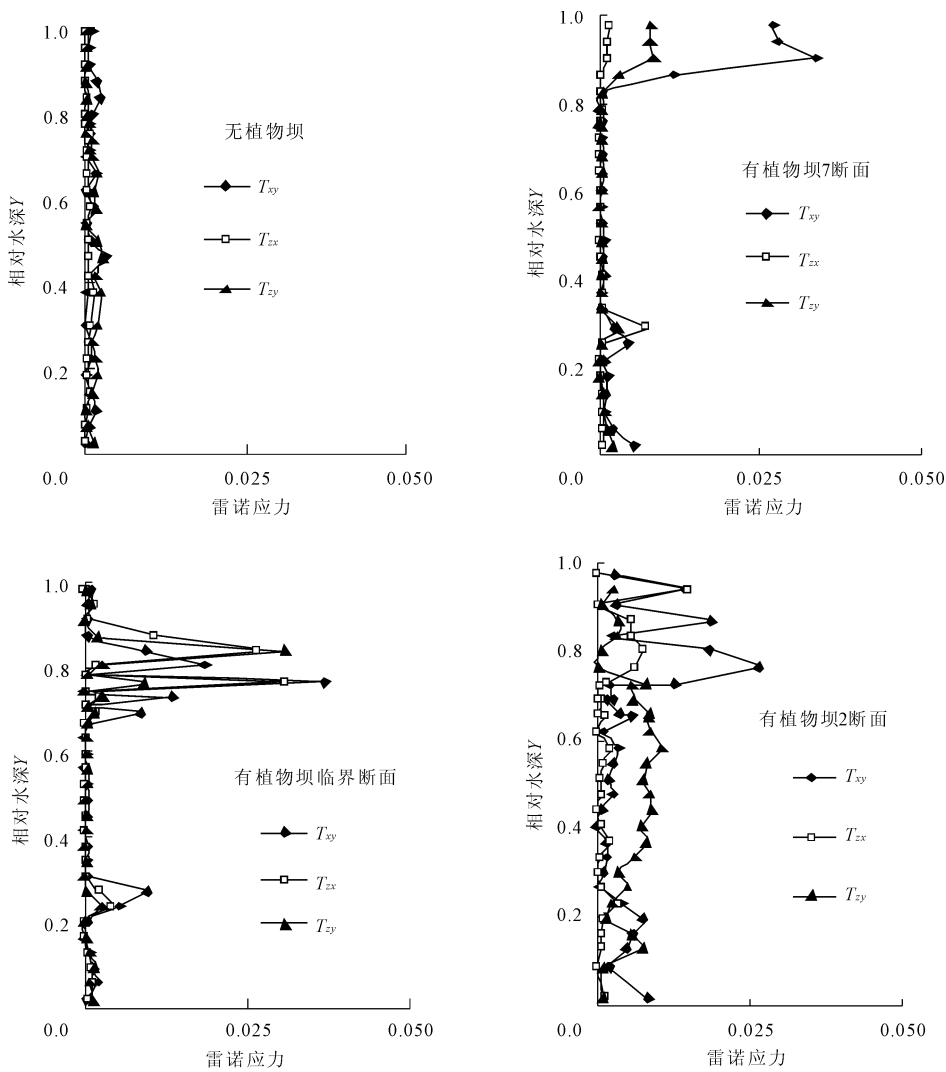


图 6 同一断面有无植物坝时雷诺应力

## 4 结 论

本文主要对有漂浮植被河道的水流紊动特性进行了试验研究。通过试验研究得出以下结论:

(1) 植物根茎以下区紊动强度变化很小,从波动幅度上看,植物覆盖区波动幅度较大;对根茎区,无植物覆盖但受影响区紊动强度不大,但较无植物时的明渠水流有明显增大。

(2) 漂浮植被的存在,改变了水流结构。无植物时沿水深方向的纵向流速分布符合半对数分布,有植物时纵向流速分布与其断面位置有关。

(3) 有植物覆盖后较无植物时,雷诺应力的分布发生了明显的变化,无植物时雷诺应力非常小;在植物前缘断面和第 2 断面处受植物阻水效应明显,尤其是植物前缘断面上水流结构发生深刻变化,动量和质量交换强烈,雷诺应力也相应增大。

## 参考文献:

- [1] David Velasco Allen Bateman, Jose. Redondo and Vicente Demedina. An Open Channel Flow Experimental and Theoretical Study of Resistance and Turbulent Characterization Over Flexible Vegetated Lings[J]. Flow, Turbulence and Combustion, 2003, (70):69-88.
- [2] Vassitios A. Tsihrintzis, Edgear E. Madiedo. Hydraulic Resistance Determination in Marsh Wetlands[J]. Water Resources Management, 2000, (14):285-309.
- [3] 袁 梦,黄本胜,邱秀云,等.水葫芦覆盖区水流阻力效应试验研究[J].广东水利水电,2008,(2):7-10.
- [4] 王福军.计算流体动力学分析——CFD 软件原理与应用[M].北京:清华大学出版社,2004.
- [5] 陈界仁,朱晓丹.含柔性沉水植物明渠水流运动特性试验研究[J].水利水电科技进展,2008,28(3):16-19.
- [6] 章本照,印建安,张宏基.流体力学数值方法[M].北京:机械工业出版社,2003.
- [7] 张明亮,沈永明,吴修广,等.复式断面三维漫滩水流的数值模拟[J].水力发电学报,2006,25(5):31-36.