DOI:10.16198/j.cnki.1009-640X.2016.03.003
庞翠超. 象限分析法分析沉水植物促淤效应[J]. 水利水运工程学报, 2016(3): 20-26. (PANG Cui-chao. Application of quadrant analysis in analyzing sediment transport in flow with submerged plants[J]. Hydro-Science and Engineering, 2016(3): 20-26.)

象限分析法分析沉水植物促淤效应

庞翠超[1,2]

(1. 南京水利科学研究院 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210029; 2. 长江勘测规划设计研究有限责任公司上海分公司, 上海 200439)

摘要: 在研究浅水湖泊中沉水植物促淤、降低水体浊度的原理等问题时,已有的泥沙求解公式不适用,难以准确预测泥沙运动趋势及状态,这就要根据影响泥沙运动的水流流态进行分析。象限分析法近年来被用于分析泥沙运动状态。详细阐述了该方法的基本原理,介绍了通过实测离散数据用以分析紊动结构的方法,分析了试验数据,并揭示了沉水植物降低水体浊度的机理,即因为沉水植物的存在,在其冠顶以下形成下扫水流,将泥沙携带向床面,同时下扫水流在近床面处与该处的喷射水流混合,从而降低了自身能量,促使泥沙沉降、淤积。

关 键 词: 象限分析法; 沉水植物; 浅水湖泊; 泥沙运动

中图分类号: TV142　　**文献标志码:** A　　**文章编号:** 1009-640X(2016)03-0020-07

泥沙运动状态由泥沙自身属性和所处水流流态决定[1-3]。前人对泥沙的起动流速、扬动流速、止动流速和水流挟沙能力等均做了深入研究[4-5],但其求解公式均要求一定的适用条件,比如水流应为恒定均匀流等。因此,在研究一些问题时,比如浅水湖泊中沉水植物促淤、降低水体浊度,以及海边滩涂植物促淤造陆的原理,已有的泥沙求解公式不适用,难以准确预测泥沙运动趋势及运动状态。这就要根据影响泥沙运动的水流流态进行分析。为了在复杂的水流状态下,从机理上分析泥沙起动、止动和输移过程,有学者将原用于分析紊流边界层边界近处的拟序结构的象限分析法应用于解释泥沙的运动状态[6-12],但其分析的基本原理鲜见于文献。针对这一情况,本文结合笔者的试验成果,对象限分析法用于分析泥沙运动状态的原理进行比较完整的诠释。

1 切应力象限分析法分析泥沙运动机理

1.1 原 理

层流之所以失去稳定而转变为紊流,主要是由于水流在行进中不可避免地受到一些干扰。当这种干扰超过一定限度以后,层流就会失去稳定而产生漩涡。这种干扰既有内在因素,也有外来因素。对于河道和湖泊来说,内在扰动最为主要,这种扰动可以有各种不同的形式,例如周界的粗糙和水流的局部分离,都会产生漩涡。湖泊中大型水生植物的存在更是产生局部漩涡的主要根源。

初生成的小漩涡方向各异,部分会逐渐扩大,部分会逐渐消失,这均取决于漩涡周围的水流结构。钱宁等[5]指出,如在漩涡顶部,漩涡的旋转分速与当地流速方向一致,在漩涡底部则两者方向相反时(见图 1),由此形成的流速水头差产生了垂向压差,使漩涡离开产涡处而上升。与此同时,漩涡被水流带向下游。就这

收稿日期: 2015-07-21
基金项目: 上海市科学技术委员会科研计划项目课题(13231203700);水文水资源与水利工程科学国家重点实验室开放研究基金资助项目(2014492111)
作者简介: 庞翠超(1984—),女,河北晋州人,工程师,博士,主要从事环境水力学研究。E-mail: pangcuichao@163.com

样，由此处产生的漩涡逐渐扩散至其他区域。如漩涡方向与以上所述相反，则漩涡会逐渐被压迫消失。漩涡的垂向运动使紊流中各水层的性质（例如动量、热量或含沙量等）可以不断进行交换。其中动量交换产生紊动应力，此紊动应力又对周围漩涡产生影响。对漩涡旋转和向上输运有影响的紊动切应力主要是 $-\rho\overline{u'w'}$（分析时常用 $\overline{u'w'}$ 代替）。作用在漩涡不同位置的紊动切应力 $-\rho\overline{u'w'}$ 可形成力矩，加速漩涡旋转[13]。这里 u'，w' 分别是 x-，y- 方向的脉动流速，x-方向沿水平流向，y- 方向垂直向上。

以脉动流速 u'，w' 为坐标轴，构成一个坐标系，根据脉动流速 u'，w' 方向的正负，可将漩涡分为 4 部分，并确定各部分所在象限，如图 2 所示。由水流垂向运动方向可知，远离近底层的水体中，处于第一、二象限的漩涡运动有利于物质上浮，处于第三、四象限的有利于物质沉降（淤积）。第一象限，属于外向交互作用流态，物质通过高速水流向上、向前运输，在远离底层和近底层区，均有利于物质向上方、向下游运输。第二象限，属于喷射流态，物质由低速水流区带入高速水流区，在远离底层区，有利于物质的向上运输；在近底层区，时均流速较小，因此紊动对底泥颗粒的抖动作用较明显，此时若切应力、流速激增则可起动底泥，使其向上运输，反之则不能起动底泥。第三象限，属于内向交互作用流态，在远离底层区，物质由高流速水体带入低流速水体，水平脉动流速方向与主流速相反，有助于物质减速和较快向下沉淀；在近底层，情况同第二象限，紊动对底泥颗粒的抖动作用较明显，但垂向流速绝对值变小，且方向向下，因此不利于底泥起动。第四象限，属于下扫流态，在远离底层区，物质随高速水流向下、向前输运，有利于物质淤积在下游；在近底层区，高速水流向下冲击底泥，有助于底泥起动。

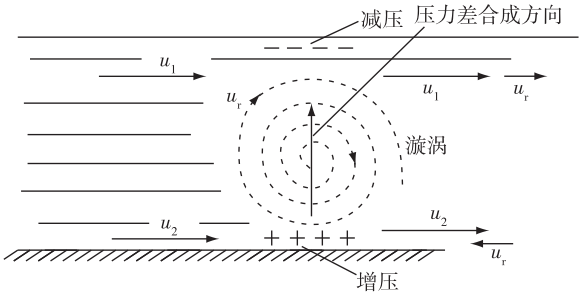


图 1　漩涡形成、脱离边壁进入主流区示意

Fig. 1　Mechanism of formation and separation from side wall to main stream area of vortex

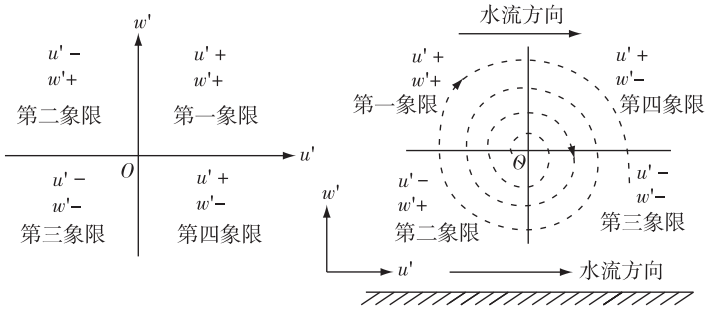


图 2　漩涡的四象限

Fig. 2　Four quadrants of vortex

1.2　象限分析法解释泥沙运动的概念

水流紊动是随机的，因此，同一位置不同时刻的水流所属象限、所属流态可能不同，各流态对 $\overline{u'w'}$ 的贡献也会不同，但总有一种或两种流态起主导作用，从而决定该水域泥沙的主要运动取向。紊动切应力象限分析的概念由 S. S. Lu 和 W. Willmarth 在 1973 年[14]分析紊流边界层黏性底层外边界处紊动切应力特征时提出。如前所述，以主流向（x 向）的脉动流速 u' 为横坐标，以垂向（y 向）的脉动流速 w' 为纵坐标，组成 u'-w' 速度平面。根据实测脉动流速 u' 和 w' 的符号，判断脉动速度位于 u'-w' 速度平面的哪一个象限，以此将 $u'w'$ 分类并给出紊流的特征和类型。为此，定义如下象限函数：

$$T_i(\tau)=\begin{cases}1 & \text{任何时刻 } \tau\text{，如果点}(u',w')\text{ 在 } u'\text{-}w' \text{ 速度平面的第 } i \text{ 象限}\\ 0 & \text{其他情况}\end{cases}\quad (i=1,2,3,4) \tag{1}$$

得到如下 4 组脉动速度乘积 $u'w'$ 的数据系列：

$$u'w'_i(\tau)=T_i(\tau)u'(\tau)w'(\tau)\ (i=1,2,3,4) \tag{2}$$

每一组脉动速度的乘积 $u'w'_i$ 序列的时均值为：$\widetilde{u'w'_i}=\dfrac{1}{N}\sum\limits_{j=0}[u'w'_i(\tau)]_j$　　(3)

式中：N 是测试样本的数据总数。分组脉动速度的乘积 $u'w'_i$ 序列的时均值 $\widetilde{u'w'}$ 与样本总数的时均值 $\overline{u'w'}$

有如下关系：

$$\overline{u'w'} = \sum_{i=1}^{4} \widetilde{u'w'}_i \tag{4}$$

与 $\widetilde{u'w'}_i$ 对应的紊流类型分别是：① $\widetilde{u'w'}_i$ 在第一象限，对应的紊流称之为外向交互作用流态；② $\widetilde{u'w'}_i$ 在第二象限，对应的紊流称之为喷射流态；③ $\widetilde{u'w'}_i$ 在第三象限，对应的紊流称之为内向交互作用流态；④ $\widetilde{u'w'}_i$ 在第四象限，对应的紊流称之为下扫流态。这 4 种流态不仅与紊流本身的动量和能量交换过程有密切关系，也与水体中其他物质，如泥沙、污染物质等的输运过程密切相关。

为了判断主导流态的幅度，即对紊动切应力 $\overline{u'w'}$ 贡献最大的流态，在 u'-w' 速度平面内定义一个称作“孔(Hole)”的区域，它是由 4 条 $|u'w'|=$ constant(定值)的曲线围成的区域，图 3 所示为 $|u'w'|=1.0$。定义一个表征“孔”尺度的阈值参数 H：

$$H = \frac{|u'w'|}{\sqrt{\overline{u'^2}}\sqrt{\overline{w'^2}}} \tag{5}$$

式中：$\sqrt{\overline{u'^2}}$ 是速度分量 u 的紊动强度；$\sqrt{\overline{w'^2}}$ 是速度分量 w 的紊动强度。

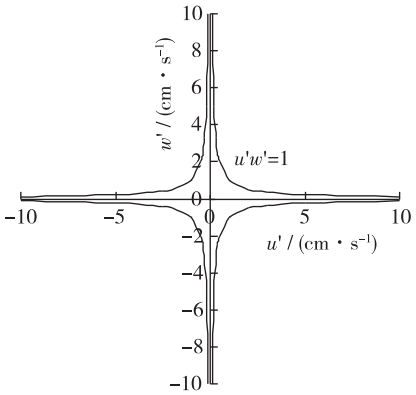


图 3 u'-w' 速度平面

Fig. 3 Velocity plane of u'-w'

利用参数 H，可以抽取出较大幅度的紊动流态，便于判断流场的某个区域、某段时间紊流流动的主导流态是哪一种。不同流态的幅度用下式计算：

$$F_{\widetilde{u'w'}_i} = \frac{\widetilde{u'w'}_i(H)}{\overline{u'w'}} = \frac{1}{\overline{u'w'}} \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_0^T u'(t)\, w'(t)\, S_i(t,H)\, \mathrm{d}t (i = 1,2,3,4) \tag{6}$$

式中：下标 i 表示象限；T 表示监测时间长度。

$$S_i(t,H) = \begin{cases} 1 & |u'(t)w'(t)| > H\sqrt{\overline{u'^2}}\sqrt{\overline{w'^2}} \text{ 和点}(u',w') \text{ 在 } u'\text{-}w' \text{ 速度平面的第 } i \text{ 象限} \\ 0 & \text{其他情况} \end{cases} \tag{7}$$

“孔”内的点(u',w')对应的紊动流态总幅度(即对紊动切应力 $\overline{u'w'}$ 的总贡献)可由下式得到：

$$F_{\widetilde{u'w'}_h} = \frac{\widetilde{u'w'}_h(H)}{\overline{u'w'}} = \frac{1}{\overline{u'w'}} \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_0^T u'(t)\, w'(t)\, S_h(t,H)\, \mathrm{d}t \tag{8}$$

$$S_h(t,H) = \begin{cases} 1 & |u'(t)w'(t)| \leqslant H\sqrt{\overline{u'^2}}\sqrt{\overline{w'^2}} \\ 0 & \text{其他情况} \end{cases} \tag{9}$$

上述 5 种幅度值存在以下关系：

$$\sum_{i=1}^{4} \frac{\widetilde{u'w'}_i(H)}{\overline{u'w'}} + \frac{\widetilde{u'w'}_h(H)}{\overline{u'w'}} = 1 \tag{10}$$

为了分析离散实测资料，式(6)和式(8)分别写成如下形式：

$$F_{\widetilde{u'w'}_i} = \frac{\widetilde{u'w'}_i(H)}{\overline{u'w'}} = \frac{1}{\overline{u'w'}} \frac{1}{N} \sum_{n=1}^{N} u'(n)\, w'(n)\, S_i(n,H)\, \Delta t \ (i = 1,2,3,4) \tag{11}$$

$$S_i(n,H)=\begin{cases}1 & |u'(n)w'(n)|>H\sqrt{\overline{u'^2}}\sqrt{\overline{w'^2}}\ \text{和点}(u',w')\ \text{在}\ u'\text{-}w'\ \text{速度平面的第}\ i\ \text{象限}\\ 0 & \text{其他情况}\end{cases}\tag{12}$$

$$F_{\widetilde{u'w'_h}}=\frac{\widetilde{u'w'_h}(H)}{\overline{u'w'}}=\frac{1}{\overline{u'w'}}\frac{1}{N}\sum_{n=1}^{N}u'(n)\,w'(n)\,S_h(n,H)\,\Delta t\tag{13}$$

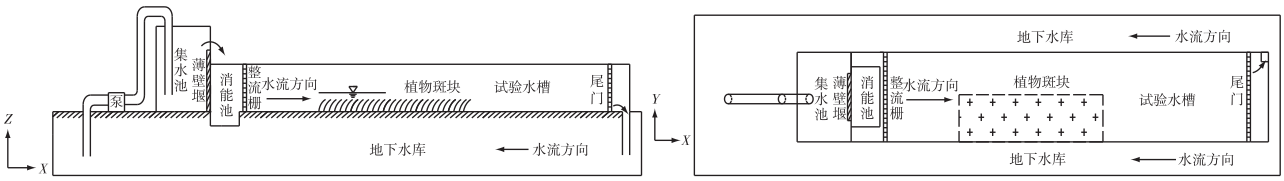
$$S_h(n,H)=\begin{cases}1 & |u'(n)w'(n)|\leqslant H\sqrt{\overline{u'^2}}\sqrt{\overline{w'^2}}\\ 0 & \text{其他情况}\end{cases}\tag{14}$$

式中：n 为样本数据的序号；N 为测试样本的数据总数。比较 4 个象限的 $F_{\widetilde{u'w'_i}}$ 的大小，哪个象限的绝对值大，则该象限的流态为主导流态。

2　象限分析法在分析沉水植物促淤中的应用

2.1　试验设置

(1)试验材料及试验装置。试验用草为苦草。苦草布置成斑块状，固定苦草的铁丝网长 4 m、宽 1 m。试验水槽长 10 m、宽 1.9 m，底坡 6‰。装置示意见图 4。



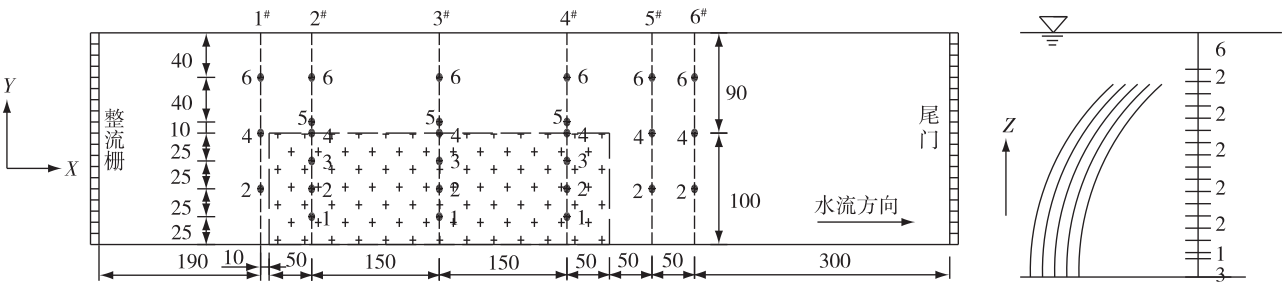
(a) 正视图　　(b) 俯视图

图 4　水槽结构

Fig. 4　Schematic figure of flume structure

(2)试验工况。试验采用原型苦草，平均株高约 35 cm，叶片从根部直接长出，每株苦草约有 8 片叶子，叶片平均宽 0.8 cm。苦草固定在铁丝网上，呈梅花形布置。苦草植株的分布密度为 172；86 和 43 株/m^2，分别以 A，B，C 标志。植物斑块放置在水槽一侧，见图 4。

试验共布置 6 个测量断面、27 条测量垂线。每条垂线上 17 个测点，见图 5(a)和(b)。试验水深 40 cm，断面平均流速 10 cm/s。利用三维声学多普勒点式流速仪测量三维瞬时流场。



(a) 测量垂线布置　　(b) 测点垂向布置

注："·"为测量垂线位置，1#~6#为测量断面

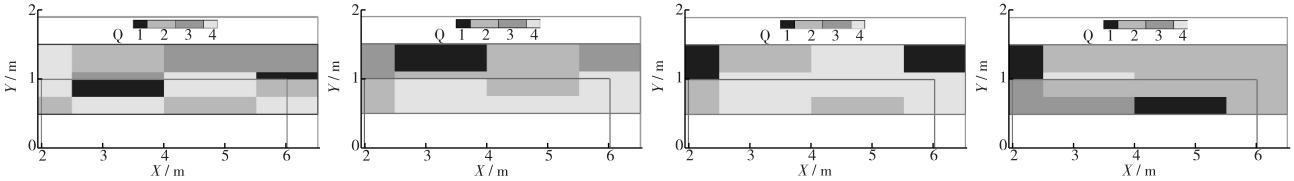
图 5　测量断面、垂线和测量点布置(单位：cm)

Fig. 5　Arrangement of monitoring section, vertical line and measuring points (unit: cm)

2.2 试验结果分析

由于苦草斑块存在,紊流流场内主导流态分布必然受其影响,为了分析苦草斑块区域内主导紊流流态分布,选取水面以下 6 cm($z/h=1.8$,苦草冠顶以上)、苦草冠顶处($z/h=1.0$)、苦草 1/2 弯曲高度处($z/h=0.5$)、水槽底部以上 4 cm 处($z/h=0.15$)4 个水平剖面(h 为苦草在水流中的高度,z/h 为监测点相对高度,A,B,C 密度的苦草高度 h 分别为 27,19.6,20.6 cm)进行分析。另外,为了观测主导流态垂向分布,还选择了通过斑块中心和紧靠斑块的外侧边界处的两个纵向剖面进行分析。

2.2.1 *不同水平剖面内紊流主导流态的分布* 图 6 是水草 B 密度(86 株/m^2)工况下 4 个水平剖面内主导流态的分布。图中绿线框代表水槽段,红线框代表植物斑块区域,紫线框代表有测量数据的区域。图标 Q 中的数字 1,2,3,4 分别表示第一、第二、第三和第四象限对应的流态。由图 6(a)可见,近床面处,Q1(第一象限流态),Q2(第二象限流态),Q4(第四象限流态)流态共存,在植物斑块区,第二、第四象限流态占主导。在 $z/h=0.5$ 高度处(图 6(b)),在植物斑块区和斑块下游区,第四象限流态占主导;在斑块侧边界外,第一、第二、第三象限共存。在冠顶($z/h=1.0$)处平面内(图 6(c)),植物斑块区及其下游,第四象限流态占主导;在斑块上游和中部,第二象限流态占主导;在侧边界外存在第一象限流态。在自由液面 6 cm 以下($z/h=1.8$)平面内(图 6(d)),除少数区域,第二象限流态占主导。

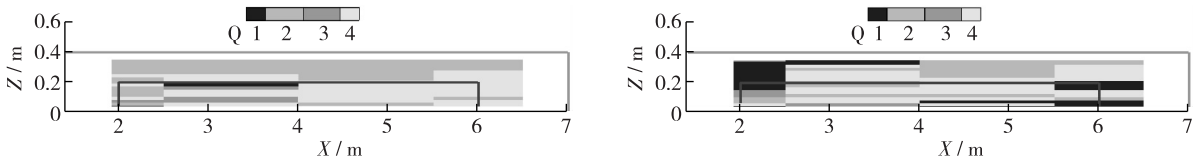


(a) z/h=0.15 (b) z/h=0.5 (c) z/h=1.0 (d) z/h=1.8

图 6 不同高度处水平面内主导流态分布

Fig. 6 Distribution of dominant flow pattern along horizontal profile

2.2.2 *紊流主导流态沿纵剖面分布* 图 7 是水草 B 密度工况下 2 个纵向垂面内主导流态分布。从图 7(a)可见,在斑块区,冠顶以上第二象限流态为主导流态;冠顶以下,第四象限流态为主导流态,在近床面处出现第一和第二象限流态。在斑块下游,冠顶以下,第四象限流态仍然是主导流态,原因可能是斑块内的紊动涡经对流-扩散过程传输至斑块下游区。通过斑块侧边界的纵剖面内,4 种流态共存,原因可能是冠顶层与侧边界处的强剪切层互为干扰的结果。



(a) 通过斑块中心 (b) 通过斑块侧边界

图 7 通过斑块中心和侧边界纵剖面内主导流态分布

Fig. 7 Distribution of dominant flow pattern along longitudinal profile through centre and side boundary of plant patch

2.2.3 *5 个水平剖面内主导流态的统计分析* 对苦草斑块区域内,5 个水平剖面中测量点的主导紊流流态所属象限进行统计,结果见表 1。从表中数据可以看出,流态分布情况随斑块内苦草分布密度略有不同。冠顶以上流区,3 种分布密度以第二象限的紊流流态为主,主导流态处于第二象限的比例分别为 41.7%,66.7%和 77.8%;冠顶以下流场,3 种分布密度的工况则以第四象限的紊流流态为主,主导流态处于第四象限的比例分别为 33.3%~50.0%,66.7%~80.6%和 44.4%~77.8%;在床面附近,以第 4 象限的紊流流态为主的现象不明显,4 种流态随机出现。总而言之,从冠顶至床面,自上而下,第四象限所占比例逐步递减,除

床面附近外，第三、四象限所占比例明显占优。

表 1　不同高度水平剖面内苦草斑块区主导流态统计

Tab. 1　Statistics of dominant flow pattern along horizontal profile at different heights in patch area

剖面位置	主导流态所属象限占比/%											
	A				*B*				*C*			
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4	Q1	Q2	Q3	Q4
水面下 6 cm 处	0	41.7	16.7	41.7	11.1	66.7	11.1	11.1	11.1	77.8	0	11.1
冠顶处	0	33.3	16.7	50.0	0	11.1	8.3	80.6	0	22.2	11.1	66.7
冠顶下 4 cm 处	16.7	16.7	16.7	50.0	11.1	0	11.1	77.8	11.1	11.1	0	77.8
1/2 弯曲高度处	11.1	22.2	33.3	33.3	0	33.3	0	66.7	22.2	22.2	11.1	44.4
床面以上 4 cm	16.7	8.3	50.0	25.0	22.2	22.2	11.1	44.4	22.2	33.3	11.1	33.3

注：Q1，Q2，Q3，Q4 分别表示第一、二、三、四象限的统计值。

2.2.4　小　结　沉水植物的存在，改变了水体紊流运动，并且造成特定的涡旋结构。在冠顶上下形成影响物质，包括泥沙等颗粒输移的规则的、大尺度的拟序结构。象限分析揭示了这种拟序结构在植物斑块区的不同区域形成的主导流态（外向交互作用流态、喷射流态、内向交互作用流态、下扫流态）。根据试验资料，在沉水植物斑块区，冠顶上层水流的主导流态主要是喷射流态，其水流方向向上，也就是说，植物冠顶以上的水流运动不利于泥沙沉降，但悬沙在水体中的分布是上层浓度远小于下层浓度[4]，所以上层水体的流态变化对输沙的影响很有限。冠层以下水流的主导流态为下扫流态，在近床面处又呈现喷射及其他流态。下扫流态阻止了泥沙的上浮，并将泥沙携带向床面，下扫水流在近床面处与该处的喷射、外向交互作用等水流混合，降低了下扫水流的能量，促使泥沙沉降、淤积。这就是沉水植物促淤，降低水体浊度的机理。

3　结　语

（1）本文从紊动涡旋结构的角度分析了泥沙等物质在紊动水流中运移状态与涡旋的关系，详细阐述了象限分析法的基本原理和用以分析水流紊动结构的方法。四象限中，第一象限，属于外向交互作用流态，有利于物质向上方、向下游运输。第二象限，属于喷射流态，在远离底层区，有利于物质向上运输；在近底层区，有利于底泥起动。第三象限，属于内向交互作用流态，在远离底层区，有助于物质减速和较快向下沉淀；在近底层，不利于底泥起动。第四象限，属于下扫流态，在远离底层区，有利于物质淤积于下游；在近底层区，有助于底泥起动。

（2）利用象限分析法对试验数据进行了分析，合理解释了沉水植物促淤、降低水体浊度的机理：由于沉水植物的存在，在植物冠顶以下形成下扫水流，将泥沙携带向床面，下扫水流在近床面处与该处的喷射水流混合，降低了下扫水流的能量，促使泥沙沉降、淤积。

参　考　文　献：

[1] BOUDREAU B P, JORGENSEN B B. The benthic boundary layer: transport processes and biogeochemistry[M]. New York: Oxford University Press, 2001: 4-43.

[2] LEONARD L A, LUTHER M E. Flow hydrodynamics in tidal marsh canopies[J]. Limnology and Oceanography, 1995, 40(8): 1474-1484.

[3] HORPPILA J, NURMINEN L. Effects of different macrophyte growth forms on sediment and presuspension in a shallow lake[J]. Hydrobiologia, 2005, 545: 167-175.

[4] 沙玉清. 泥沙运动学引论[M]. 北京：中国工业出版社，1965.（SHA Yu-qing. Introduction of sedimentation[M]. Beijing: China Industry Press, 1965.（in Chinese））

[5] 钱宁，万兆惠. 泥沙运动力学[M]. 北京：科学出版社，1983.（QIAN Ning, WAN Zhao-hui. Mechanics of sediment transport

[M].Beijing: Science Press, 1983. (in Chinese))

[6] YUAN Ye, WEI Hao, ZHAO Liang, et al. Implication of intermittent turbulent bursts for sediment resuspension in a coastal bottom boundary layer: a field study in the western Yellow Sea, China[J]. Marine Geology, 2009, 263: 87-96.

[7] CHAPMAN C A, WALKER I J, HESP P A, et al. Turbulent Reynolds stress and quadrant event activity in wind flow over a coastal foredune[J]. Geomorphology, 2012, 151/152: 1-12.

[8] HOPKINSON L C. Flow through vegetation patches with multiple layers: a quadrant analysis[C]// Proceedings of the 2012 World Environmental and Resources Congress. Crossing Boundaries, ASCE, 2012:1406-1415.

[9] GYR A, SCHMID A. Turbulent flow over smooth erodible sand beds in flumes[J]. Journal of Hydraulic Research, 1997, 35(4): 525-544.

[10] NASIRI E, AFZALIMEHR H, GALLICHAND J, et al. Turbulence measurements above sharp-crested gravel bedforms[J]. International Journal of Hydraulic Engineering, 2013, 2(5): 101-114.

[11] CARVALHO E, MAIA R, ALEIXO R. Quadrant method application to the study of the beginning of sediment motion of sedimentary particles[C]// MEFTE 2014, 11-12 Setembro 2014, Porto, Portugal.

[12] FRANCA M J, SANTOS B O, ANTICO F, et al. Quadrant analysis of coherent structures in open channel flows over mobile and immobile hydraulically rough beds[C]// ERCOFTAC Bulletin 100, 2014.

[13] 李家星, 赵振兴. 水力学[M]. 南京: 河海大学出版社, 2001. (LI Jia-xing, ZHAO Zhen-xing. Hydraulics[M]. Nanjing: Hohai University Press, 2001. (in Chinese))

[14] LU S S, WILLMARTH W W. Measurements of the structure of the Reynolds stress in a turbulent boundary layer[J]. Journal of Fluid Mechanics, 1973, 60(3): 481-511.

Application of quadrant analysis in analyzing sediment transport in flow with submerged plants

PANG Cui-chao[1,2]

(1. *State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering*, *Nanjing Hydraulic Research Institute*, *Nanjing* 210029, *China*; 2. *Shanghai Department*, *Changjiang Company Limited of Survey*, *Planning*, *Design and Research*, *Shanghai* 200439, *China*)

Abstract: The existing formulas for calcularing parameters such as incipient velocity, uplifted velocity, stopping velocity of sand and silt carrying capacity, etc. describing pattern of sediment transport are not suitable to studying various problems and are difficult to predict a tendency of sediment movement and to explain the formation of the pattern of sediment transport in the case histories such as sediment deposition and turbidity reduction caused by the submerged plants in the shallow lake. The quadrant analysis method has been applied to analyze the pattern of sediment transport in water flow recently. This paper explains a basic principle of this method and the way of using the method to analyze experimentally the measured discretized data of the turbulent flow structure. The method is applied to analyze the experimental data and explore the mechanism of turbidity reduction casused by the submerged plants. There forms a sweeping flow pattern bellow the canopies and the flow brings the sediment toward the bed surface, then the sweeping flow mixes with the sprinkler flow near the bed surface, thus the mixing process reduces the energy contained in the sweeping flow and promotes sediment deposition.

Key words: quadrant analysis method; submerged plants; shallow lake; pattern of sediment transport