不同风向作用下莱州湾水交换规律数模研究

迟万清1,3,刘艳玲2*,刘建强3,熊丛博3,张永强3

(1. 中国海洋大学 海洋地球科学学院,山东 青岛 266100; 2. 中国海洋大学 环境科学与工程学院,山东 青岛 266100;3. 国家海洋局 第一海洋研究所,山东 青岛 266061)

摘 要:为了解莱州湾在不同方向风作用下水动力和水交换状况,基于实测数据验证的海洋水动力模型 Mike21FM 对流场和余流场进行了数值模拟。水动力研究结果表明,风对莱州湾海流的影响不如余流明显。通过 示踪剂输移扩散的水交换模型计算结果可知,不同风向对莱州湾不同海域水交换改善也不相同:E向风对东部海 域水交换改善明显;N向风对西部海域水交换改善明显;W向风对整个莱州湾水交换能力改善最好;S向风对水交 换能力改善最差。研究表明不但是污染源决定了污染物浓度的分布状况,水文气象条件也对污染物浓度分布有影 响,应充分认识到不同水文气象条件对水体污染物分布的影响。

关键词:莱州湾;水交换;示踪剂模型;水交换半周期

中图分类号:P73 **文献标识码:**A **文章编号:**1671-6647(2018)03-0384-10

doi:10.3969/j.issn.1671-6647.2018.03.005

位于山东省的莱州湾分布有大面积的农渔业区、海洋保护区,海洋盐业、海洋化工和海洋交通运输业等 主要海洋产业优势明显,但近年来莱州湾中污染物不断增加,生态环境日益恶化。《中国海洋环境质量公 报》^[1]显示,2003—2014年莱州湾的生态系统健康状况一直为不健康或亚健康。随着莱州湾海洋环境问题 逐渐突显,科研工作者对这一海域进行了大量研究^[2-7],从底质沉积物^[2,5-6]、生物^[3,8]、水质^[7]等不同方面对 莱州湾污染及生态^[9]状况进行了分析评价。特别是《山东省海洋环境公报》(也称《山东省海洋环境状况公 报》和《山东省海洋环境质量公报》,以下简称《公报》)^[10]多年来一直提供山东省近岸海域海洋环境主要数 据,从 2004年起,每年都会对污染海域分布范围或面积进行公报,莱州湾作为山东省近岸海域的重要部分, 一直都是《公报》中非常关注的海域。近年来《公报》^[10]通过年际间不同水质等级分布面积的比较,分析全省 海域水质总体趋势,评价全省海水质量状况。污染源是影响污染物浓度分布的主要因素,但是作为海洋中污 染载体的海水具有流动性,海水的水交换能力与区域水体的自净能力、营养盐输运等有密切的联系^[11]。鉴 于水文气象等因素对海洋水体水流及水交换都有影响^[12],本文尝试通过不同方向的风和潮边界共同作用下 的莱州湾水交换数值模拟,从水体交换角度对莱州湾污染物输移分布规律进行探讨。

1 资料与方法

1.1 水深地形和岸线

本次模型试验中水深数据源自中国人民解放军海军司令部航海保证部电子海图数字化的水深点和等深 线以及中国海洋大学开发的全球水深展示系统提取的水深数据。研究区海岸线采用平均大潮高潮线,本文

收稿日期:2017-04-29

资助项目:国家自然科学基金项目——多重人为压力下莱州湾生态环境的演变趋势和调控原理(U1706215);中央级公益性科研院所基本科研业务费专项资金资助项目——水面综合散热系数现场测定技术及其在温排水二维数学模型中的应用研究(2014T06)
 作者简介:迟万清(1975-),男,内蒙古通辽人,教授级高级工程师,主要从事数值模拟方面研究. E-mail: 350018185@qq.com
 * 通讯作者:刘艳玲(1976-),女,辽宁葫芦岛人,讲师,博士,主要从事环境影响评价和安全评价方面研究. E-mail: liuyanling@ouc.edu.cn

(李 燕 编辑)

收集了 2010-01 Landsat8 影像数据,其空间分辨率可达到 15 m,对配准的卫片解译提取岸线,结合中国人民 解放军海军司令部航海保证部 2005-10 第 1 版的图号为 11840 海图修正后提供了模型计算岸线。

1.2 水动力模型介绍

本研究中数值模型采用的是 Mike21FM,利用非等距网格技术(Flexible Mesh Approach)对计算区域进 行空间离散(www.mikepoweredbydhi.com)。非等距三角形网格的优点是对关心的区域局部加密,可以使 模型中的陆地岸线保持相对平滑,从而最大程度减少了锯齿岸线对计算结果的不利影响。水动力模型包括 潮位边界、海面风摩阻、海底摩阻、科氏力等动力过程。水动力模型开边界设置在中国日照一韩国釜山一线, 开边界的水位是根据日照港等处长期的潮位观测资料获得的主要分潮(M_2 , S_2 , O_1 , K_1)的调和常数并结合 《黄渤海海洋水文图集》中同潮图来给定的。模型北侧在辽东湾湾顶,模型计算区域为(117°~127°E, 35°~41° N)。计算域东西宽约 750 km,南北长约 650 km,总面积约为 36 万 km²,外海的计算网格步长在 10~20 km,同时采用对研究区域附近局部加密的方法,使研究区域附近网格在 100 m 左右(图 1)。



Fig.1 Model domain and grids

1.3 欧拉(Euler)余流

海流的非线性作用产生了余流,余环流对污染物在海域内的输移及长期稳定分布状况起着重要作用^[13]。海洋中的欧拉余流可简单定义为欧拉平均速度,具体计算方法是构造 *xoy* 右手直角坐标系,对流速沿 *x* 轴和 *y* 轴分解,分解后欧拉余流计算形式^[13]:

$$\begin{cases} U_{\rm E} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} u_i \\ V_{\rm E} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^{N} v_i \end{cases}, \tag{1}$$

式中, $U_{\rm E}$, $V_{\rm E}$ 分别代表 x,y 方向的欧拉平均速度;N = nT/dt,n 为所取计算周期的个数,T 为潮周期,m dt 为数值模拟的时间步长; u_i , v_i 是模型计算的每个时步的x,y 方向的速度。根据 $U_{\rm E}$, $V_{\rm E}$ 计算结果合成欧拉 余流场。

1.4 水交换模型的介绍

为了研究莱州湾内的水交换状况,以溶解态的保守性物质作为研究海域水的示踪剂,建立对流-扩散型 的水交换数值模式。在物质输运模块中考虑了潮流输运中的平流项与局地项及水平扩散项等在物质输运中 的作用。

1)具体的保守物质输运方程形式:

$$\frac{\partial hC}{\partial t} + \frac{\partial uhC}{\partial x} + \frac{\partial vhC}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial x} (hK_x \frac{\partial C}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (hK_y \frac{\partial C}{\partial y}), \qquad (2)$$

式中,C为保守性溶解态湾内水的示踪剂浓度;u,v为x,y水平方向的流速;h为水深(m); K_x, K_y 分别为x,y水平方向的扩散系数。

2) 定解条件

初始条件:

$$C(x, y, t) \mid_{t=0} = 0$$
 (3)

边界条件在水域边界分2种情况:

当由边界流出时:

$$\frac{\partial hC}{\partial t} + \frac{\partial huC}{\partial x} + \frac{\partial hvC}{\partial y} = 0.$$
(4)

由于开边界离研究区较远,开边界处示踪剂浓度值对研究区的计算结果影响较小,所以当示踪剂物质由 边界流入时,边界处浓度取值为 0。

在陆域边界上有

$$\frac{\partial C}{\partial \vec{n}} = 0_{\circ} \tag{5}$$

3)水交换数值模拟情况设计

水动力模型稳定通常需要一定的时间,本研究中在水动力模型计算稳定情况下(模型运行 240 h 后),对 老黄河口与龙口一线以南莱州湾海域给定水示踪剂的保守物质的初始浓度为 1.0,对于该区以外海域保守物质的初始浓度为 0。

4)水交换时间的确定

通过前人的研究成果可知,利用水质模型进行水交换计算时反映水体输移和交换的指标较多^[14],如纳 潮量、水交换周期、平均滞留时间(average residence time)、半交换时间(half-life time)、冲洗时间(flushing time)、水交换率^[15]等。

本研究中通过示踪剂残留浓度及水半交换时间来进行探讨,其中水交换率的定义为

水半交换时间定义为水体的污染物浓度降低为初始浓度一半时所需的时间^[16]。水半交换时间通常被应用 于对某个海域^[17]或者某个区域^[14,18]作为整体来考虑其水体浓度达到初始浓度 1/2 的时间,也有学者通过对 计算域内特征点^[19]处的浓度变化的比较来分析水交换能力变化情况。在本研究中是对计算网格而言的,水 质模型的优点是通过数值计算可以获得每个计算网格不同时刻的浓度值,而针对每个网格点的浓度的衰减 都是在平流、扩散的作用下呈周期性下降关系,存在潮周期变化引起的浓度振荡特征^[15],因为每个网格点的 浓度是随时间变化的,因此经过一段时间后,网格的示踪剂浓度在潮流输移扩散的作用下会相应降低,本研 究中给定为当该网格点水交换率首次出现 50%的时间为水半交换时间。

1.5 水文气象条件情景

通过多年的卫片分析可知,2011年莱州湾西南部岸线形态基本形成[20],为此本研究选用2011年实测资

36 卷

料验证水动力模型(具体验证结果请参考《莱州湾西南部水交换机制及水质改善对策研究》^[21],本文限于篇幅在此不再赘述水动力模型验证相关内容)。由 1980—1989 年羊口盐场气象站逐时风速、风向观测资料统计分析可知,10 m/s 左右的风速在各个方向均有出现,占总风频的 13.84%,考虑到稳定的 10 m/s 风速可以作为莱州湾盛行风的强风场。为了探讨不同方向强风场作用下对水交换的影响机制,在计算过程中,分别对 E向、N向、S向、W向等不同方向的 10 m/s 的定风场和潮边界共同作用下的水文气象条件下的水动力及水 交换进行了数值模拟。

2 结 果

2.1 流场数值模拟结果分析

通过各风向下莱州湾涨落急流场图(图 2a,图 2b,图 2c,图 2d 分别为 E向,N向,S向,W向 10 m/s风 作用下的涨急流场;图 2e,图 2f,图 2g,图 2h 分别为 E向,N向,S向,W向 10 m/s风作用下的落急流场)可 以看出,不同方向的风作用下,莱州湾涨落急时流场整体相差不大。流向改变较大的主要是落急时老黄河口 南侧及莱州湾湾顶东部等海域。

莱州湾涨急时总体表现为在老黄河口东侧海域流向为 S向,流速在 0.6 m/s 左右;在东营生态城东侧海 域涨急时流向近 W向,流速为 0.4 m/s 左右;在森达美港挡沙堤附近,涨急时流向近 SW 向,流速在森达美 港西侧海域达到了 0.7 m/s 以上,在森达美港东侧海域流速在 0.2 m/s 左右;在潍河口和胶莱河河口附近, 流向近 S向,流速在 0.2 m/s 左右;在刁龙嘴西南侧海域,涨急时流向近 SE向,流速在 0.2 m/s 左右;在刁龙 嘴北侧海域,涨急时流向近 SW 向,流速大小约为 0.4 m/s;在老黄河口东南侧和刁龙嘴的西北侧海域流速较 大,可达 1 m/s 以上。

莱州湾落急时流场整体表现为在老黄河口东侧海域落急时流向为 N 向,流速在 0.55 m/s;在东营生态 城东侧海域落急时流向近 E 向,流速为 0.3 m/s 左右;在森达美港挡沙堤附近,落急时流向近 NE 向,流速在 森达美港西侧海域达到了 0.3 m/s 以上。流向差别较大的海域在老黄河口南侧海域,E 向风作用下的落急 流场在老黄河口南侧为 W 向,N 向风作用下近 SE 向,S 向和 W 向风作用下流向近 E 向,W 向风在老黄河 口南侧海域流速明显较其他海域流速增大。在莱州湾顶的东部海域,E 向风作用下的落急时流向为 NW 向,W 向风作用下流向近 E 向,N 向和 S 向风作用下落急时流向近 N 向。



图 2 各风向下莱州湾涨落急流场图

Fig.2 Current fields in the Laizhou Bay under the influence of winds from different directions during flood and ebb tides

2.2 余流场数值模拟结果分析

通过莱州湾各风向下莱州湾余流流场图(图 3)可以看出,不同风向作用下莱州湾余流流场表现明显不同。E向风作用下的余流流场在老黄河口南侧形成了一个逆时针环流;在森达美港挡沙堤与刁龙嘴之间海域形成了一个顺时针环流;在莱州湾湾口附近海域余流流向近西向。N向风作用下的余流流场在老黄河口 南侧形成了一个顺时针环流;在森达美港西侧海域形成了一个逆时针流;在刁龙嘴西南部海域形成了一个顺 时针环流;在莱州湾湾口附近海域余流流向近东向。S向风作用下的余流流场在老黄河口南侧形成了一个 顺时针环流;在刁龙嘴西部海域形成了一个逆时针环流;在莱州湾湾口附近海域余流流向近西向。W向风 作用下的余流流场在老黄河口南侧形成了一个顺时针环流;在森达美港挡沙堤西部海域形成了一个逆时针 的环流;在森达美港挡沙堤以东的刁龙嘴与龙口一线形成了一个自西向东的余环流;在莱州湾湾口附近海域 余流流向近东向。

各风向下余流流速大小分布规律一致性较好,整体表现为在莱州湾中部海域余流流速相对于其他海域 明显较小,余流流速较大的海域主要是在老黄河口东南部和刁龙嘴西部海域。余流流速的差别是:老黄河口 附近 W 向风余流流速超过 0.3 m/s 的余流流速范围最大;N 向风次之;E 向风 0.3 m/s 的余流流速范围最 小。刁龙嘴附近海域 E 向风和 S 向风的 0.3 m/s 的余流流速范围较 N 向风和 W 向风的计算结果大。



图 3 各风向下莱州湾余流流场图

Fig.3 Residual current fields in the Laizhou Bay associated with the winds from different directions

2.3 水半交换周期分布规律分析

通过对研究区内每个网格点示踪剂浓度首次出现 50%的时间统计形成了不同风向下水半交换周期分 布图(图 4)。

在 E 向风的作用下,莱州湾湾口东侧海域水交换能力明显优于西侧海域,在刁龙嘴与老黄河口一线以

东海域,水半交换周期在 10 d 左右,在森达美港以东海域,水半交换周期在 20 d 左右,在森达美港挡沙堤与 老黄河口一线以西海域,水交换能力最差,特别是东营生态城与老黄河口之间的海域,水半交换周期在 30~ 40 d。

在 N 向风的作用下,莱州湾湾口西侧海域水交换能力明显优于东侧海域,水半交换周期 10 d 的等值线 可以到达东营生态城南侧,在刁龙嘴附近海域,水半交换周期在 20 d 以上,特别是刁龙嘴西南部和东北部海 域,水半交换周期可以达到 40 d 以上。

在 S 向风的作用下,莱州湾湾口东侧海域水交换能力明显优于西侧海域,水半交换周期 10 d 的等值线 可以达到刁龙嘴北侧;在老黄河口与森达美港挡沙堤一线的东部海域水半交换周期在 30~40 d 左右,森达 美港挡沙堤与老黄河口一线西侧海域水交换能力最差,大部分海域水半交换周期可以达到 40 d 以上。

在 W 向风的作用下,水半交换周期 10 d 的等值线分布于老黄河口一森达美港挡沙堤一刁龙嘴北侧一 龙口一线,水交换能力最差的位于森达美港挡沙堤西侧海域,水半交换周期在 20 d 左右。整体看来,W 向风 最有利于莱州湾水交换。



图 4 各风向下莱州湾水半交换周期(d)

Fig.4 Distribution of water exchange half-life time (d) in the Laizhou Bay associated with the winds from different directions

3 讨 论

通过模型计算水半交换周期为10 d 的等值线与《山东省海洋环境公报》水质等级分布图比较(图 5)可以 看出,2005 和 2014 年实测的污染海域分布图中清洁海域与较清洁海域的分界线(也就是一类水质与二类水 质区分界线)与 N 向和 E 向 10 m/s 风作用下莱州湾水半交换周期为10 d 的等值线分布的位置分别存在一 定的相似性。这两期监测所得到的不同等级水质分布情况明显不同,面积也不相等,而在本研究中莱州湾水 半计算的初始场(相当于湾内污染物初始分布,计算过程中没有污染进入湾内)都是一致的,不同风向水交换 结果与不同时期监测海域分布规律能有一致性,说明像莱州湾这样的半封闭海湾,湾内水体污染状况分布除 了与污染物入海源强有关,还受到潮流和风速造成水交换能力变化的影响。特别是对一类、二类水质区等低 污染水域进行评价时,如果只是以调查的时段污染水体面积作为评价海洋环境质量优劣的话,会造成评价结 果的可信性降低。

由于《山东省海洋环境公报》水质评价中使用的数据为大范围多站位多期的观测结果,不同观测时段以 及观测前一段时间内是否受寒潮、季风等天气过程影响情况不同,如果只是以观测期间污染物浓度高低和观 测到的污染水体面积大小来评价海域水质优劣的话,会造成评价结果可信性降低,建议今后在进行莱州湾这 样半封闭水体进行海洋水质评价时,对调查时段以前的水文气象信息进行调查收集,结合水文气象调查结果 进行相应评价。



图 5 模型计算水半交换周期为 10 d 的等值线与《山东省海洋环境公报》^[10]水质等级分布比较图 Fig.5 Comparison between the contours of 10 days water exchange half-life time simulated by numerical model and cited from the official report, Marine Environment Report of Shandong Province^[10]

4 结 语

针对莱州湾这样的半封闭海湾海域水质状况评价主要是依靠实测水质数据指标而忽略了天气及水文状况对水交换能力影响这一问题,基于建立的 Mike21 水动力模型和水交换示踪剂模型,讨论了不同方向下以风速 10 m/s 为莱州湾盛行风的强风场情况下莱州湾水动力及水交换规律,认为天气及水文状况也会影响污染物的空间分布状况,具体结论如下:

1)通过对不同风向下的水动力计算结果比较可以看出,不同风向涨落急流向差别不明显,而不同风向作 用下莱州湾余流流场则表现明显不同,说明余流受风的影响明显。

2)不同风向作用下的水交换计算结果表明,风对污染物的长期输运起着非常重要的作用,E向风对莱州 湾东部海域水交换改善明显,N向风对莱州湾西部海域水交换改善优于其他海域,W向风最有利于莱州湾 水交换,S向风对莱州湾整体水交换能力改善相对于其他风向最差。

参考文献(References):

- [1] State Oceanic Administration of China. Marine environment quality bulletin of China[EB/OL].[2017-01-05]. http://www.coi.gov.cn/gongbao/huanjing/. 国家海洋局. 中国海洋环境质量公报[EB/OL].[2017-01-05]. http://www.coi.gov.cn/gongbao/huanjing/.
- [2] ZHANG P, HU R J, ZHU L H, et al. Distributions and contamination assessment of heavy metals in the surface sediments of western Laizhou Bay implications for the sources and influencing factors[J]. Marine Pollution Bulletin, 2017, 119: 429-438.

- [3] TIAN X H, XU Y J, SONG X K, et al. Temporal and spatial distribution of semicarbazide in western Laizhou Bay[J]. Marine Pollution Bulletin, 2016, 112(1-2): 393-398.
- [4] XU Y D, WEI X, XIA B, et al. Potential ecological risk assessment of heavy metals in surface sediments of the eastern Laizhou Bay[J]. Advances in Marine Science, 2015, 33(4): 520-527. 徐艳东,魏潇,夏斌. 莱州湾东部海域表层沉积物重金属潜在生态风险评价[J]. 海洋 科学进展, 2015, 33(4): 520-527.
- [5] WANG Y, LING M, LIU R H. Distribution and source identification of trace metals in the sediment of Yellow River Estuary and the adjacent Laizhou Bay[J]. Physics and Chemistry of the Earth, 2017, 97: 62-70.
- [6] LIU X H, ZHANG H B, TANG J H. Levels distributions and sources of veterinary antibiotics in the sediments of the Bohai Sea in China and surrounding estuaries[J]. Marine Pollution Bulletin, 2016, 109(1): 597-602.
- [7] ZHANG J F, GAO X L. Nutrient distribution and structure affect the acidification of eutrophic ocean margins a case study in southwestern coast of the Laizhou Bay China[J]. Marine Pollution Bulletin, 2016, 111(1-2): 295-304.
- [8] WANG F F, GAO M S, LIU J, et al. Distribution and environmental significance of live and dead benthic foraminiferal assemblages in surface sediments of Laizhou Bay Bohai Sea[J]. Marine Micropaleontology, 2016, 123: 1-14.
- [9] SHEN C C, SHI H H, ZHENG W, et al. Study on the cumulative impact of reclamation activities on ecosystem health in coastal waters [J]. Marine Pollution Bulletin, 2016, 103: 144-150.
- [10] Shandong Provincial Oceanic & Fishery Administration. Report on the Marine Environmental Quality in Shandong, P. R. C[EB/OL]. [2017-01-05]. http://www.hssd.gov.cn/pub/hjbhczz/hyhjzl/hjgb/. 山东省海洋环境公报[EB/OL].[2017-01-05]. http://www.hssd.gov.cn/pub/hjbhczz/hyhjzl/hjgb/.
- [11] ZHANG C Y. Effects of shoreline change on water exchange in Lianyungang port adjacent waters[J]. Advances in Marine Science, 2015, 33(1): 31-37. 张存勇. 岸线变化对连云港港口海域水交换的影响研究[J]. 海洋科学进展, 2015, 33(1): 31-37.
- [12] ANDUTTA F P, RIDD P V, WOLANSKI E. The age and the flushing time of the Great Barrier Reef waters[J]. Continental Shelf Research, 2013, 53: 11-19.
- [13] LI F. Numerical simulation of tidal currents and tide-induced residual currents in Bohai Sea[D]. Tianjin: University of Tianjin, 2009. 李 斐. 渤海海域潮流及潮余流的数值模拟[D]. 天津: 天津大学, 2009.
- [14] WANG X G, DONG M, XIONG W. Three dimensional numerical simulation of water exchange in main port of Lianyungang port[J]. Port & Waterway Engineering, 2015, 4(502): 92-99. 王兴刚,董敏,熊伟. 连云港港主体港区水交换三维数值模拟[J]. 水运工程, 2015, 4(502): 92-99.
- [15] GAO J S, CHEN B, QIU R K, et al. Numerical model study of water exchange ability and substance transport in Beilun Estuary[J]. Guangxi Sciences, 2015, 22(3): 250-254. 高劲松,陈波,邱仁康,等. 北仑河口水交换能力及物质输运的数值模拟研究[J]. 广西科学, 2015, 22(3): 250-254.
- [16] LIXB, SUNXY, NIUFX, et al. Numerical study on the water exchange of a semi-closed bay[J]. Marince Science Bulletin, 2012, 31 (3): 248-254. 李希彬,孙晓燕,牛福新,等. 水交换数值模拟研究[J]. 海洋通报, 2012, 31(3): 248-254.
- [17] LIU H, PAN W R, LUO Z B. Study on water exchange characters in the Shenhu Bay[J]. Marine Environmental Science, 2008, 27(2): 157-160. 刘浩,潘伟然,骆智斌. 深沪湾水交换特性的研究[J]. 海洋环境科学, 2008, 27(2): 157-160.
- [18] WEI H, TIAN T, ZHOU F, et al. Numerical sutdy on the water exchange of the Bohai Sea: Simulation of the half-life time by dispersion model[J]. Journal of Ocean University of Qingdao(Natural Science), 2002, 32(4): 519-525. 魏皓,田恬,周锋,等. 渤海水交换的数 值研究——水质模型对半交换时间的模拟[J]. 青岛海洋大学学报(自然科学版), 2002, 32(4): 519-525.
- [19] WANG C, LIN J, CHEN P M, et al. Numerical simulation of annual average wind's impact on water exchange in Daya Bay[J]. Journal of Shanghai Fisheries University, 2009, 18(3): 351-358. 王聪,林军,陈丕茂,等. 年平均风场作用下大亚湾水交换的数值模拟[J]. 上海 海洋大学学报, 2009, 18(3): 351-358.
- [20] JIANG S H, ZHU L H, HU R J, et al. The hydrodynamic response to reclaimation in Laizhou Bay[J]. Periodical of Ocean University of China (Natural Science), 2015, 45(10): 74-80. 姜胜辉,朱龙海,胡日军,等. 围填海工程对莱州湾水动力条件的影响[J]. 中国海洋大学 学报(自然科学版), 2015, 45(10): 74-80.
- [21] LIU Y L. Research on the water exchange mechanism and improve measurements in the southwest of Laizhou Bay[D]. Qingdao: Ocean University of China, 2017. 刘艳玲.莱州湾西南部水交换机制及水质改善对策研究[D]. 青岛:中国海洋大学, 2017.

Numerical Simulation of Water Exchange in the Laizhou Bay Under the Influence of Wind With Different Direction

CHI Wan-qing^{1,3}, LIU Yan-ling², LIU Jian-qiang³, XIONG Cong-bo³, ZHANG Yong-qiang³

(1. College of Marine Geosciences, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

2. College of Environmental Science and Engineering, Ocean University of China, Qingdao 266003, China;

3. The First Institute of Oceanography, SOA, Qingdao 266061, China)

Abstract: To understand the influence of wind direction on hydrodynamics and water exchange in the Laizhou Bay, the numerical model Mike21FM, which is verified by observed data, is used to simulate the current field and tidal residual current in the bay. The dynamical simulations shows that the residual current demonstrates stronger variability than the currents induced by wind with different direction. The results of tracer model show that the influences of winds from different directions on the water exchange in different areas of the Laizhou Bay are significantly different: the wind from the east improves water exchange remarkably in the eastern Laizhou Bay while the water exchange of almost entire bay while the southerly wind has little influence on water exchange. Further analysis shows that the distribution of contaminants is affected not only by the contamination source but also by the wind velocity and direction. Therefore, the impacts of hydrodynamics and wind should be both taken into account when evaluating the water quality in the Laizhou Bay.

Key words: Laizhou Bay; water exchange; tracer model; half-life time of water exchange Received: April 29, 2017