

doi:10.3969/j.issn.1003-2029.2019.06.011

2018 年秦皇岛风暴潮前后岸基站及浮标 主要水质参数变化分析

马方方¹, 王 刚², 毕玉明¹, 周秋伶¹, 桓清柳^{1*}

(1. 深圳市朗诚科技股份有限公司, 广东 深圳 518029; 2. 河北省地矿局第八地质大队, 河北 秦皇岛 066000)

摘 要: 对 2018 年 8 月秦皇岛风暴潮期间 3 个入海口岸基站及邻近海域浮标的监测数据进行分析, 结果显示: 风暴潮导致入海口水体中 COD、总磷、总氮和氨氮含量均明显升高; 风暴潮 2 d 之后, 3 个入海口邻近海域均发生赤潮, 此次赤潮的发生与风暴潮导致陆源入海污染物骤然大幅升高有关。此次风暴潮导致秦皇岛人造河口、大蒲河口和七里海 3 个岸基监测站的 COD 监测日均值最高分别达到 15.83 mg/L、8.70 mg/L 和 7.92 mg/L, 约升高至前期的 2 倍、1.5 倍和 2 倍; 人造河口总氮变化不大, 大蒲河口和七里海总氮升高 30% 左右; 大蒲河口总磷变化不大, 人造河口总磷为前期的 3.5 倍, 升高幅度最大, 七里海总磷为风暴潮之前两日的 2 倍, 但未超过前一周的最高浓度; 风暴潮当天及第二天, 人造河口、大蒲河口、七里海氨氮日均值陆续达到最高, 分别为 2.34 mg/L、1.11 mg/L 和 0.12 mg/L, 分别为风暴潮前两日的 7 倍、3.5 倍和 10 倍。风暴潮过后, 入海口临近海域发生赤潮, 浮标监测到叶绿素 a 最高值为 76.4 $\mu\text{g/L}$, pH 和溶解氧也大幅升高。分析表明, 此次风暴潮导致的入海口污染物突然大幅升高为风暴潮之后的赤潮发生提供了充足的营养基础。

关键词: 风暴潮; 入海口监测站; 浮标; 赤潮

中图分类号: X834

文献标志码: A

文章编号: 1003-2029(2019)06-0068-07

风暴潮是由强烈大气扰动, 如热带气旋(台风、飓风)、温带气旋(寒潮)等引起的海面异常升降现象。风暴潮期间, 多重因素综合作用, 导致近岸海域水质发生剧烈变化, 期间风、浪导致水体垂直混合加剧; 暴雨短期造成表层污染稀释、中期则导致地表径流将大量化学物质从陆地输送至河口及近岸海域^[1-3]。台风、风暴潮也极易在近岸海域引发赤潮, 主要由于其引起的垂直营养输送及陆源营养盐输入突然增加, 进而引发赤潮生物大量增殖^[4-8]。由于台风、风暴潮多发于我国南海和东海海域, 已有的台风及风暴潮对水质影响研究多集中在南海及东海海域, 且大多采用遥感数据对大面积海域进行研究^[5-7]; 由于监测条件限制, 采用现场数据分析台风、风暴潮等对水质影响的研究相对较少。郭卫东等^[2-3]

研究了台风及暴雨对厦门湾的水质影响, 研究发现, 台风及暴雨短期内会造成近岸海域营养盐倍增, 而对海域水质中期变化影响则较小, 主要由于台风期间表层海水溶解氧充足, 水体自净能力强, 有利于有机污染物氧化降解; 且此时期水动力条件也有利于污染物向外海扩散。ZHOU 等^[9]研究了一次台风及其导致的珠江径流输入对香港海域水质的影响, 台风前该海域爆发大规模赤潮将营养盐消耗至较低水平, 台风后, 由陆源径流携入的大量营养物质导致了又一次赤潮的发生。

河北省沿海受风暴潮影响相对较小, 根据 2017 年河北省海洋状况公报, 2013-2017 年, 风暴潮增水造成的直接经济损失为 23 亿元左右, 其中 2016 年损失最重, 达到 9 亿元左右; 但海域受陆源污染影

收稿日期: 2019-03-25

基金项目: 北京市自然科学基金资助项目(8194059); 深圳市人居环境委员会绿色低碳产业发展专项资助项目(RJWLSDTCYZJ 201801-014); 秦皇岛陆源污染在线监测技术研究与应用资助项目(201701B050)

作者简介: 马方方(1987-), 女, 硕士, 工程师, 主要研究方向为海洋环境在线监测与赤潮研究。E-mail: mff@lightsun.com.cn

通讯作者: 桓清柳(1984-), 女, 高级工程师, 主要研究方向为海洋环境在线监测数据分析与质量控制。E-mail: 748470429@qq.com

响较大,且研究表明,经由陆源入海的生源要素与秦皇岛近岸海域褐潮频发存在明显相关关系^[10-11]。河北省于2013年开始海洋立体观测系统的建设工作,并于2017年开始在入海口处建设在线监测岸基站,实时监控陆源入海污染物浓度变化。目前,秦皇岛海域已建成并运行的近岸海域环境浮标监测监测站点达10个,入海口岸基监测站为9个,实现了利用浮标数据对海域赤潮(含褐潮)发生情况的连续监测^[8,12],同时2016年浮标数据也对风暴潮及其引发的赤潮进行了监测^[8]。在线监测数据由于具有运行连续持久、监测频率高等特点,可以获取异常事件中的极值,实现对海洋灾害事件(风暴潮、赤潮等)的有效监测。本文主要采用秦皇岛海域入海口岸基监测数据及入海口邻近海域环境浮标数据,对2018年8月风暴潮前后入海污染物浓度变化及对临近海域的影响进行分析,以探究风暴潮对入海口及邻近海域水质变化的影响机制。

1 材料与方法

本文数据主要来源于秦皇岛海域3个入海口监测岸基站及其邻近海域3个浮标的监测数据,站位分布见图1,其中岸基站1#和浮标1#分别位于人造河入海口及其邻近海域,岸基站2#和浮标2#分别位于大蒲河入海口及其邻近海域,岸基站3#和浮标3#分别位于七里海(新开口)入海口及其邻近海域。浮标水质参数、水文气象参数的监测频率均为1次/30 min,主要用于收集水温、盐度、pH、DO、Chl a等水文参数。3个浮标的水质监测传感器均为美国YSI公司的EXO2型多参数水质监测仪,水质传感器海上运行期间均定期(每月1~2次)进行维护、校准和数据比对。岸基站监测频率为1次/4 h,主要用于收集COD、总氮、氨氮、总磷等参数,岸基站监测仪器运行期间维护频率为2次/月,同时每月进行一次与实验室的数据比对。

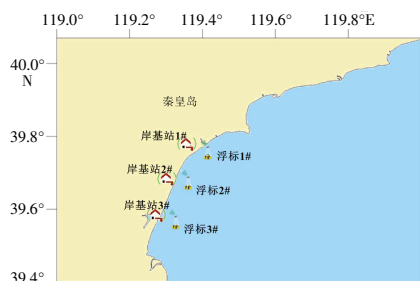


图1 监测站位分布

2 结果与讨论

2.1 风暴潮过程描述

2018年8月12日~15日,受副高外围暖湿气流及第14号台风“摩羯”外围环流的影响,秦皇岛市降雨较大,首轮降雨发生于2018年8月12日8时~13日8时;第二轮降雨从14日夜间开始,截止至15日20时,全市平均降雨在200 mm以上,达到大暴雨级别。8月15日,海域发生风暴潮,根据监测数据,近岸海域风速最高达到11级,阵风最高达到14级,有效波高最高达到2.41 m,最大波高达到4.64 m。

2.2 风暴潮前后在线监测数据变化

2.2.1 岸基站1#和浮标1#数据变化 岸基站1#风暴潮前后主要水质参数数据变化见图2。浮标1#风暴潮前后水温、盐度和降雨量变化见图3,水质参数变化见图4。根据图3,风暴潮期间降雨集中在8月14日~8月15日,具体时间为8月14日6时~8月15日14时,这期间累计雨量达到241 mm。

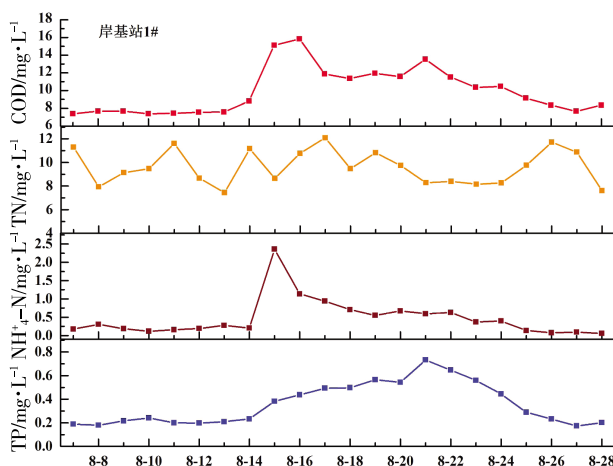


图2 8月7日~8月28日岸基站1# COD, TN, NH_4^+-N , TP 日均值变化

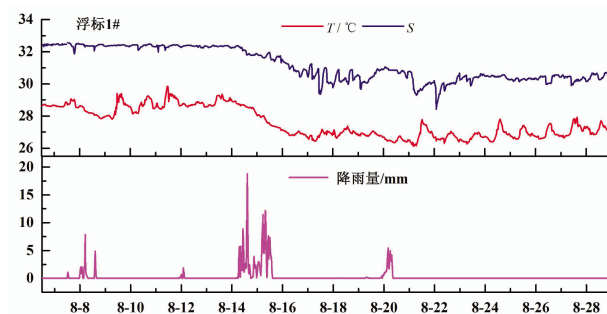


图3 8月7日~8月28日浮标1# 水温、盐度、降雨量变化

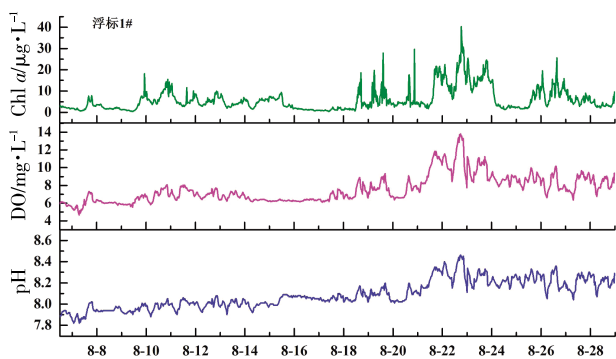


图4 8月7日-8月28日浮标1# Chl a, DO, pH变化

8月7日-13日, 风暴潮影响秦皇岛海域之前一周, 气象条件整体稳定, 仅在8月8日有较大降雨, 日降雨量为31 mm, 期间人造河入海口及邻近海域水文水质变化也较为稳定。入海口COD、氨氮和总磷较为稳定, 其中, COD日均值变化范围为7.39~7.69 mg/L, 氨氮日均值变化范围为0.12~0.31 mg/L, 总磷变化范围为0.12~0.24 mg/L; 总氮变化相对较大, 日均值变化范围为7.44~11.61 mg/L。根据浮标监测数据, 风暴潮前一周, 人造河入海口邻近海域水温、盐度均较高, 海域水质整体稳定, 8月10日-13日, 海域可能受到小规模赤潮影响, 叶绿素a略有升高, 最高值为15.5 µg/L, 期间溶解氧和pH也有类似波动, 溶解氧自6.00 mg/L升高至8.07 mg/L, pH则从7.90左右升高至8.08。

8月14日开始, 受台风“摩羯”外围环流影响, 降雨突增, 14日当天降雨量达到104.71 mm, 15日降雨量继续升高, 达到136.77 mm, 且受风暴潮影响, 近岸海域风浪均较大; 自14日开始, 入海口及邻近海域监测数据变化较大。入海口各水质参数变化过程不一, COD、氨氮和总磷均有明显升高, 总氮则相对稳定。8月14日COD略有升高, 15日~16日则大幅升高, 日均值分别达到15.12 mg/L和15.83 mg/L, 为风暴潮前的2倍。氨氮日均值也在8月15日和16日达到最高, 分别为2.36 mg/L和1.14 mg/L, 8月15日日均值为前期的7倍以上, 8月16日显著降低, 但仍远高于风暴潮前期。总磷变化表现为缓慢升高, 8月14日-8月21日, 1周内日均值升高至0.73 mg/L, 为风暴潮前期(8月13日)日均值的3.5倍。总氮变化过程与其他水质参数差异较大, 8月14日-19日, 总氮变化过程与风暴潮之前较为相似, 8月20日至21日, 总氮持续降低, 较8月19日降低2.50 mg/L之后, 至8月24日一直保持稳定。

根据浮标监测数据, 邻近海域水温和盐度从8月14日开始持续降低, 与降雨开始的时间一致。至8月16日, 水温日均值较8月13日降低2℃, 至8月20日水温均较低, 8月21日开始水温恢复正常的昼夜变化, 但直至月底, 水温均维持在27℃左右, 未再升高至风暴潮之前温度; 受降雨及后续的陆源淡水输入影响, 盐度在3 d内从32.5降低至30左右, 8月20日略有升高, 之后则保持稳定。8月14日-15日, 风暴潮影响初期, 叶绿素a、溶解氧和pH略有波动; 风暴潮过后2 d, 根据数据变化, 海域明显发生赤潮, 8月18日叶绿素a开始升高, 溶解氧和pH随之升高, 至8月22日达到峰值, 叶绿素a最高达到40.3 µg/L, 同一时间溶解氧和pH达到最高值, 分别为13.81 mg/L和8.46。8月18日-23日, 叶绿素a、pH和溶解氧平均值分别为9.8 µg/L、8.17和8.80 mg/L。结合岸基站监测数据, 由于入海口氮盐较高, 磷相对较低, 海域相对来说为磷限制, 总磷于8月21日达到最高, 叶绿素a则从8月21日开始更加明显地升高, 并于8月22日达到最高值, 与总磷升高的过程较为一致。

2.2.2 岸基站2#和浮标2#数据变化 岸基站2# 风暴潮前后主要水质参数数据变化见图5, 浮标2# 风暴潮前后主要水质参数变化见图6。8月7日-13日, 风暴潮影响秦皇岛海域之前一周, 大蒲河入海口及邻近海域水文水质整体也较为稳定。入海口COD、总氮和总磷较为稳定。其中, COD日均值变化范围为5.67~6.60 mg/L, 总氮日均值变化范围为1.25~1.62 mg/L, 总磷变化范围为0.51~0.63 mg/L; 氨氮变化相对较大, 日均值变化范围为0.16~0.48 mg/L。根据浮标监测数据, 风暴潮前一周, 大蒲河入海口邻近海域水温、盐度均较高, 盐度均高于32。海

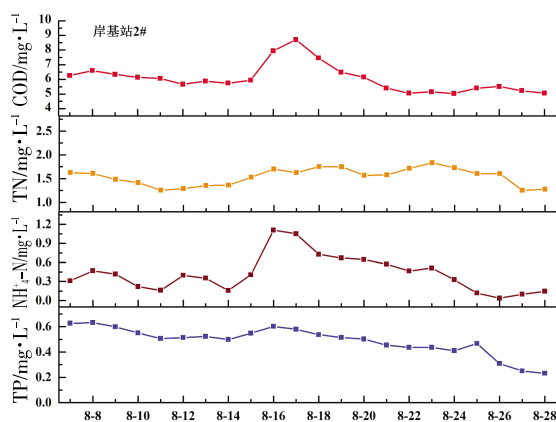


图5 8月7日-8月28日岸基站2# COD, TN, NH₄⁺-N, TP 日均值变化

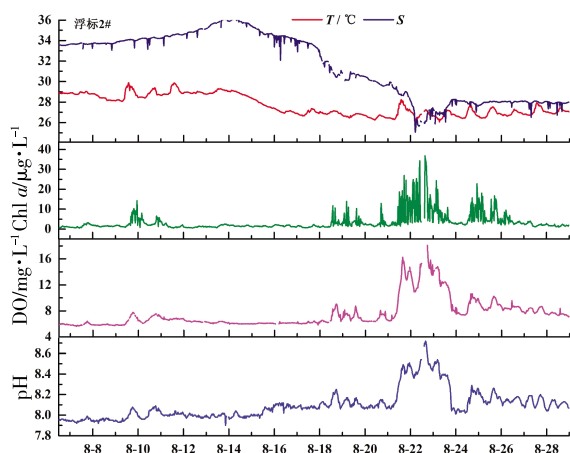


图6 8月7日-8月28日浮标2#监测水质数据变化

域水质整体稳定,8月9日-10日,海域可能受到小规模赤潮影响,叶绿素a略有升高,最高值为14.3 $\mu\text{g/L}$,期间溶解氧和pH也有类似波动,溶解氧自5.80 mg/L 升高至7.76 mg/L ,pH则从7.9左右升高至8.08。

大蒲河入海口水质参数8月14日变化不大,从8月15日开始明显升高,入海口临近海域温盐则从8月14日开始明显降低。入海口各水质参数变化过程不一,且与入河口变化不同。COD、氨氮表现为先明显升高、后显著降低,总氮为缓慢升高,总磷先略有升高、后缓慢降低。8月14日COD略有升高,8月15日-16日则大幅升高,日均值分别达到7.94 mg/L 和8.70 mg/L ,接近风暴潮前的1.5倍。氨氮自8月15日开始升高,日均值最高的为8月16日和17日,分别达到1.11 mg/L 和1.05 mg/L ,8月16日日均值为前期的3.5倍以上,8月18日显著降低,8月19日-26日缓慢降低至风暴潮前浓度水平。总磷变化相对较小,8月15日-16日,日均值较14日略有升高,从0.49 mg/L 升高至0.60 mg/L ,但未超过风暴潮前一周日均值最高值,8月17日-24日,日均值缓慢降低至0.41 mg/L 。总氮变化也较小,8月15日-16日,总氮略有升高,日均值较14日升高0.33 mg/L ,之后则较为稳定,16日-24日,日均值变化范围在1.57~1.83 mg/L 之间。

根据浮标监测数据,邻近海域水温和盐度从8月14日开始持续降低,水温变化过程与浮标1#相似,风暴潮期间水温日均值降幅也为2 $^{\circ}\text{C}$,且至8月底,水温均保持在27 $^{\circ}\text{C}$ 左右;但盐度降幅较大,日均值降幅达到6左右,实测值最低降至26以下。8月14日-17日,叶绿素a均较低,溶解氧和pH略有升高,但升高幅度不大。与1#浮标所在海域相

同,风暴潮过后2 d,海域也受到赤潮影响,8月18日叶绿素a开始升高,溶解氧和pH随之升高,至8月22日达到峰值,叶绿素a最高达到36.8 $\mu\text{g/L}$,同一时间溶解氧和pH达到最高值,分别为18.08 mg/L 和8.69。8月18日-23日,叶绿素a、pH和溶解氧平均值分别为5.9 $\mu\text{g/L}$ 、8.24和9.37 mg/L ,叶绿素a整体低于1#浮标,但溶解氧和pH较高,结合岸基站监测数据,由于大蒲河入海口COD、总氮、氨氮均显著低于入河口,可能导致了邻近海域赤潮期间营养盐供应不够充足,由于耗氧有机物较少,导致溶解氧升高幅度较大。

2.2.3 岸基站3#和浮标3#数据变化 岸基站3#风暴潮前后主要水质参数数据变化见图7,浮标2#风暴潮前后主要水质参数变化见图8。8月7日-13日,风暴潮影响秦皇岛海域之前一周,七里海岸基站监测数据略有波动,但变化不大,邻近海域也受到小规模赤潮的影响。入海口COD、总氮、氨氮、总磷均在8月9日出现明显升高,之后几日则又缓慢降低。其中,COD日均值变化范围为3.69~5.39 mg/L ,总氮日均值变化范围为1.19~1.37 mg/L ,总磷变化范围为0.07~0.15 mg/L ;氨氮变化相对较大,日均值变化范围为0.011~0.13 mg/L 。根据浮标监测数据,风暴潮前一周,七里海邻近海域水温、盐度均较高,盐度为28左右。由于发生小规模赤潮,邻近海域水质参数变化较大,叶绿素a日均值变化范围为2.53~12.54 $\mu\text{g/L}$,溶解氧日均值变化范围为5.75~8.02 mg/L ,pH日均值变化范围7.93~8.16。

七里海岸基站水质参数8月14日变化不大,从8月15日开始明显升高,入海口临近海域水温从8月14日开始明显降低,盐度则从8月18日开始降低。入海口各水质参数变化过程不一,且与其他两个入河口变化不同。COD、总磷先明显升高、后显著降低;总氮为缓慢升高;氨氮先小幅升高后保持稳定,5 d后再次大幅升高。8月14日COD略有升高,15日-16日则大幅升高,日均值分别达到6.33 mg/L 和7.92 mg/L ,为风暴潮前的2.14倍,17日至18日显著降低,之后则保持在较低水平。总磷15日和16日日均值分别为0.12 mg/L 和0.17 mg/L ,为风暴潮前的2倍以上,17日显著降低,之后保持缓慢波动下降的趋势。总氮自15日开始缓慢升高,21日日均值达到最高值,为1.74 mg/L ,较风暴潮前升高了30%。氨氮在8月15日-16日也有升高,16日日均值为0.12 mg/L ,未超过风暴潮前一周的最高

值,但较13日(0.011 mg/L)则升高10倍左右;8月21日,氨氮再次升高,日均值达到0.7 mg/L,直至8月28日才降低至升高之前的浓度水平。

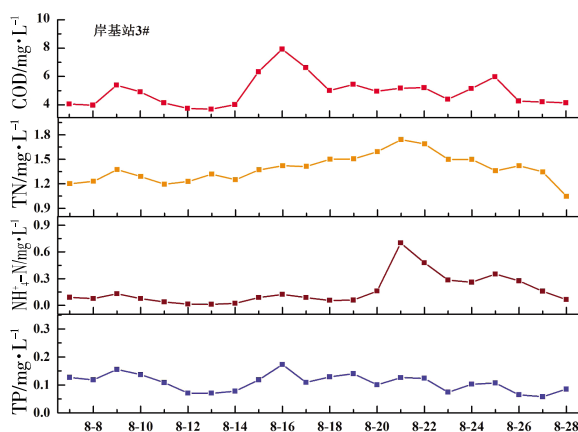


图7 8月7日~8月28日岸基站3# COD, TN, NH_4^+-N , TP 日均值变化

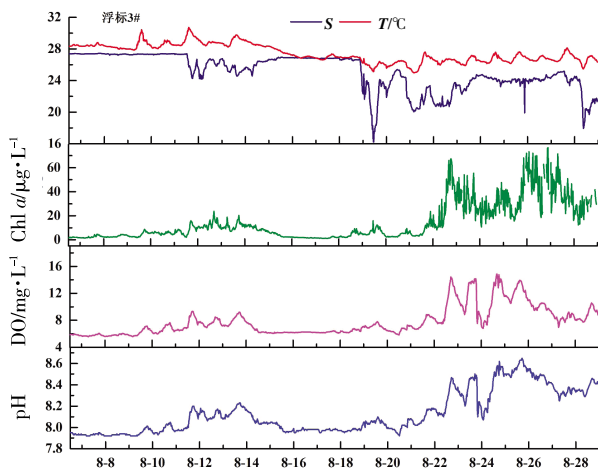


图8 8月7日~8月28日浮标3# 监测水质数据变化

根据浮标监测数据,邻近海域水温从8月14日开始持续降低,水温变化过程与其他海域相似,降幅略高于其他海域。盐度变化与其他两个海域不同,从8月18日才开始降低,日均值降幅约为5,实测值最低降至16.21。8月14日,受降雨影响,叶绿素a显著降低,溶解氧和pH也随之降低,直至8月17日,均保持在较低水平。与其他两个海域相同,风暴潮过后2 d,七里海附近海域也受到赤潮影响,8月18日叶绿素a开始升高,溶解氧和pH随之升高。但赤潮发生的主要时间段为8月22日~27日,期间叶绿素a、溶解氧、pH均较高,每日均有峰值;叶绿素a最高达到76.4 $\mu\text{g/L}$,溶解氧和pH最高值分别为14.89 mg/L和8.65。8月22日~27日,叶绿素a、pH和溶解氧平均值分别为35.27 $\mu\text{g/L}$ 、8.39和10.49 mg/L,叶绿素a整体高于其他两个海域。

2.3 讨论

2.3.1 秦皇岛不同海域风暴潮期间变化对比分析 对比人造河入海口、大蒲河入海口和七里海风暴潮前的污染水平,整体污染程度为:人造河入海口>大蒲河入海口>七里海,人造河入海口总氮远高于其他两个入海口,总氮日均值达到地表水五类标准(2 mg/L)的3.7~5.8倍,大蒲河总磷则最高,日均值也超出地表水五类标准(0.4 mg/L);COD和氨氮相对较低。

风暴潮期间,3个人海口COD变化较为一致,均在风暴潮当天和第二天明显升高,升高幅度也较为接近,为风暴潮前的1.5~2倍,之后则快速降低;COD短时大幅升高的原因可能是风浪导致底层有机物上升至表层所致,氨氮与COD变化相似,应为同一原因。大蒲河和七里海总氮变化趋势较为一致,均为缓慢升高,且升高幅度不大,人造河总氮与风暴潮之前变化相似,浓度均较高且波动较大,风暴潮过后2 d,总氮反而为下降趋势且持续了1周;大蒲河和七里海总氮缓慢升高主要为上游地表径流输入所致,故升高较为缓慢,而同样受到地表径流的影响,人造河由于总氮极高,反而在一定程度上被稀释。风暴潮前,大蒲河入海口总磷最高,但风暴潮之后人造河口总磷变化最大,1周内升高了2.5倍,总磷缓慢升高应为地表径流输入所致;七里海总磷较之风暴潮前一天也升高1倍,但由于接近风暴潮前一周的最高浓度,故不能判定为风暴潮所致。

2.3.2 风暴潮导致水质变化的具体原因分析 风暴潮对入海口及邻近海域水体的影响主要表现在:(1)风浪导致水体垂直混合加剧,底层有机物通过上升流进入表层从而影响表层水质;(2)强降雨既在短小时内导致表层污染稀释,又通过地表径流导致污染物输入大量、持续增加;(3)风暴潮增水导致河流感潮区域海水倒灌、盐度升高,清洁海水的补充及与海域水体的充分混合在短期内对水质起到一定的改善作用。风暴潮对于水体的影响通过这几种方式协同作用,海域不同,风暴潮影响也不同。例如,对于海口湾,台风对水质的影响主要通过风浪和风暴潮增水^[9];而对于厦门湾,径流、陆源输入及风浪导致的强烈水体运行是影响水质的主要因素^[9]。

本次风暴潮并非台风直接影响所致,风暴潮增水相对较小,且从前文所述的浮标数据变化可以发现,8月14日~15日,浮标1#和2#盐度均持续下降,浮标3#附近的七里海入海口处为泻湖,且盐度

较高,对于陆源淡水输入起到了蓄积作用,故14日-15日其邻近海域浮标盐度未出现下降,但也没有升高,盐度的变化表明海域受风暴潮增水对近岸海域影响较小。而入海口水体主要污染物均明显升高,可见本次风暴潮期间水质变化受到(1)(2)两种方式主导;用入海口岸基站盐度监测数据进行验证,发现人造河口和大蒲河口盐度变化不大,风暴潮当天盐度均低于2,七里海岸基站距近岸海域较近,风潮前盐度为28~30,风暴潮当天盐度即开始下降,至风暴潮2d后降至最低值18.3,由此可见,本次风暴潮期间增水对入海口水质影响也较小。

2.3.3 风暴潮对赤潮的诱发及在预警中的作用
此次风暴潮发生前,海域曾有小规模赤潮发生,人造河口和七里海邻近海域最为明显,且此次小规模赤潮随着8月14日开始的降雨及风速较大被冲散而暂时消亡。风暴潮造成海域水温、盐度降低,陆源入海污染物、尤其是营养物质在短期内突然升高(岸基站监测数据可以印证这一点)。风暴潮过后,海域发生另一次较大规模的赤潮,赤潮仍以人造河口和七里海附近海域为主,且根据数据发生变化的时间,赤潮始发应是在人造河口。秦皇岛海域风暴潮相对较少,本次风暴潮诱发的赤潮与2016年风暴潮之后的赤潮事件^[8]有一定相似之处。两次赤潮均始发于风暴潮过后2~3d,2016年赤潮始发于7月23日,水温也由于前期风暴潮影响大幅降低,保持在25℃左右,赤潮也发生在(戴河)入海口附近海域,两次赤潮的诱因均为前期风暴潮引起的大量陆源污染输入。结合2016年和2018年两次风暴潮过后海域的赤潮发生规律推测,秦皇岛海域风暴潮2d后,入海口邻近海域较易发生赤潮,由于赤潮爆发的诱因为风暴潮导致的陆源污染突然大幅增加,故可将风暴潮这个条件扩展至短时大暴雨;通过监控风暴潮或大暴雨期间入海口监测站污染物数据

变化,可以对赤潮进行早期预警。由于风暴潮前后海域水质监测数据不易获取,且如果赤潮持续时间较短则不易被发现,只有通过长期的连续监测数据才可以发现,后期可继续跟踪在线监测数据,对此规律进行持续检验及对赤潮发生条件进行具体细化。

3 结论

(1) 2018年8月的风暴潮导致秦皇岛3个人海口主要污染物浓度大幅提高。其中,人造河入海口COD、氨氮和总磷均有明显升高,分别为风暴潮前的2倍、7倍和3.5倍,总氮则相对稳定;大蒲河入海口COD、氨氮升高至风暴潮前的1.5倍和3.5倍,总氮和总磷升高幅度不大;七里海COD、总磷、总氮升高至风暴潮前的2.14倍、2倍和1.3倍,氨氮较风暴潮前一天升高10倍,但未超过风暴潮前一周的最高值。

(2) 风暴潮期间,入海口邻近海域水温、盐度降幅较大,水温均下降2℃,盐度降幅在2.5~6之间,其中大蒲河入海口和七里海邻近海域降幅较大;前期小规模赤潮在风暴潮影响下消散,期间溶解氧、pH和叶绿素a变化均较小。风暴潮过后2d,3个海域再次陆续受到赤潮影响,人造河入海口邻近海域最早受到影响,七里海海域所受影响的时间最长。赤潮期间,浮标1#、浮标2#和浮标3#监测到叶绿素a最高值分别为40.3 μg/L、36.8 μg/L和76.4 μg/L,溶解氧和pH也随之大幅升高。

(3) 本次风暴潮影响期间,入海口水体水质变化主要原因为降雨导致的陆源径流输入及风浪导致的水体垂直混合。风暴潮导致的水温降低、营养盐短期大量输入,为后期赤潮发生提供了良好的水文条件和营养基础。

参考文献:

- [1] 陈春华,李巧香.海口湾的台风及其对海水水质的影响机制分析[J].海洋学报,2002,24(2):59-65.
- [2] 郭卫东,杨逸萍,弓振斌,等.台风暴雨影响期间厦门湾海水盐度、pH、溶解氧和COD变化特征[J].海洋科学,2001,25(7):1-5.
- [3] 杨逸萍,郭卫东,方志山,等.台风暴雨对厦门港湾海水溶解无机氮、磷含量的影响[J].海洋科学,2003,27(7):52-58.
- [4] 刘义豪,宋秀凯,靳洋,等.一次陆源降雨污水引起血红哈卡藻赤潮的成因[J].生态学报,2012,32(15):4836-4843.
- [5] ZHAO Hui, TANG Dan-ling, WANG Dong-xiao. Phytoplankton blooms near the Pearl River Estuary induced by Typhoon Nuri[J]. Journal of Geophysical Research, 2009, 114(C12): C12027.

- [6] ZHAO Hui, SHAO Jin-chao, HAN Guo-qi, et al. Influence of Typhoon Matsa on phytoplankton Chlorophyll-a off East China [J]. *PLoS One*, 2015, 10(9): e0137863.
- [7] FU Dong-Yang, LUAN Hong, PAN De-lu, et al. Impact of two typhoons on the marine environment in the Yellow Sea and East China Sea[J]. *Chinese Journal of Oceanology and Limnology*, 2016, 16(4):871-884.
- [8] 周秋伶, 马方方, 张永丰, 等. 风暴潮过后秦皇岛海域两次赤潮过程浮标数据变化[J]. *海洋技术学报*, 2018, 37(1): 68-73.
- [9] ZHOU Wei-hua, YIN Ke-dong, Harrison Paul J, et al. The influence of late summer typhoons and high river discharge on water quality in Hong Kong waters[J]. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 2012, 111 (1000): 35-47.
- [10] 曹西华, 俞志明, 宋秀贤, 等. 秦皇岛入海河流的污染水平、排放特征及对褐潮暴发区生源要素的影响[J]. *海洋与湖沼*, 2017, 48(5): 970-981.
- [11] Dong Hong-po, Huang Kai-xuan, Wang Hua-long, et al. Understanding strategy of nitrate and urea assimilation in a Chinese strain of *aureococcus anophagefferens* through RNA-seq analysis[J]. *PLoS One*, 2014, 9(10): e111069.
- [12] 马方方, 张万磊, 张永丰, 等. 2013-2014 年秦皇岛海域褐潮期间浮标主要水质参数变化 [J]. *海洋环境科学*, 2016, 35(4): 520-525.

Analysis on the Variation of Main Water Quality Parameters of Estuary Stations and Buoys During a Storm Surge in Qinhuangdao in 2018

MA Fang-fang¹, WANG Gang², BI Yu-ming¹, ZHOU Qiu-ling¹, HUAN Qing-liu¹

1. Shenzhen Lightsun Technology Corp. , Ltd., Shenzhen 518029, Guangdong Province, China;

2. Qinhuangdao Mineral Resource and Hydrogeological Brigade, Hebei Geological Prospecting Bureau, Qinhuangdao 066000, Hebei Province, China

Abstract: The monitoring data of three estuary stations in Qinhuangdao and buoys in adjacent sea area during a storm surge in August 2018 are analyzed in this paper. The storm surge resulted in a significant increase in COD, total phosphorus (TP), total nitrogen (TN) and ammonia nitrogen in the estuaries. Two days after the storm surge, red tides occurred in the adjacent sea area of the estuaries and the occurrence of the red tides is related to the sudden increase of pollutants input caused by storm surges. Affected by the storm surge, the highest daily average of COD concentration reached 15.83 mg/L, 8.70 mg/L and 7.92 mg/L in the Renzao estuary, Dapu estuary and Qilihai estuary, which was about 2 times, 1.5 times and 2 times of the previous concentration, respectively. TN concentration in Renzao estuary changed little, while in the Dapu estuary and Qilihai estuary it increased by about 30%. TP concentration in the Dapu estuary did not change significantly, while in the Renzao estuary it increased to 3.5 times of the previous level and the rising range reaches the maximum. TP concentration in the Qilihai estuary was twice that of two days before the storm surge, but it did not exceed the maximum concentration of the previous week. On the day of the storm surge and the next day, the daily average of ammonia nitrogen in the Renzao estuary, Dapu estuary and Qilihai estuary reached 1.43 mg/L, 1.11 mg/L, and 0.12 mg/L, respectively, which were 7 times, 3.5 times and 10 times of those of two days before the storm surge. After the storm surge, red tides occurred in the adjacent sea area of the estuaries. The maximum value of chlorophyll-a reached 76.4 $\mu\text{g/L}$. At the same time, pH and dissolved oxygen increased significantly. The sudden and sharp increase of estuary pollutants caused by the storm surge provided a sufficient nutritional basis for red tides after the storm surge.

Key words: storm surge; estuary monitoring station; buoy; red tide