

跨海大桥工程对附近水域影响的数值研究



吴松华

(中交水利水电建设有限公司, 浙江 宁波 315200)

摘要: 利用平面二维浅水潮波方程, 在对实测资料良好验证的基础上, 得到浦坝港海区较符合实际的流场, 分析浦坝港大桥工程对周边海区水流、泥沙的影响及危险品坠海引起的水质变化。结果表明: 流速增大区位于主桥墩之间和附近的水域, 减小区主要位于大桥南段和北段引桥桥墩附近的水域以及主桥墩所处的局部水域; 淤积区域主要位于浦坝港大桥的南段以及北段引桥附近的水域, 冲刷区域位于主桥墩所在的水域附近; 在桥梁所在海域若发生硫酸泄漏事故, 对海域水环境的影响范围很大, 应坚决避免此类事故的发生以保证海区水质。

关键词: 潮流; 数学模型; 数值模拟; 水质; 泥沙冲淤; 浦坝港

中图分类号: TV 131.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)09-0009-07

Numerical study on influence of sea bridge project on nearby waters

WU Song-hua

(CCCC Water Resources and Hydropower Construction Co., Ltd., Ningbo 315200, China)

Abstract: We use two-dimensional shallow-water tidal equation, obtain the real tidal flow field of Puba Port on the basis of model verification against the field measured data, and analyze the effect of the Puba Port bridge project on the flow and silt in the nearby sea area and the change of water quality resulting from the dangerous goods into the sea. The results show that the increased zone of flow velocity is located between two main piers of the bridge and near the water, the reduced zone of flow velocity is located mainly in the nearby waters of the southern and northern approach bridge piers and the local waters of the main piers. The deposition area mainly is located in the south part of the bridge of Puba Port and near the north part of the approach bridge, scour area is located in the waters around the main piers. If sulfuric acid leakage accident is produced in waters around the bridge, the affecting area of the water environment is large, such accident must be avoided to ensure the water quality.

Keywords: tidal flow; mathematical model; numerical simulation; water quality; sediment souring and depositing; Puba Port

跨海大桥的建设对区域的经济和社会发展产生巨大效益, 但对工程附近的水生环境也产生一定的影响。王晨阳^[1]通过模型试验, 研究港珠澳大桥周边冲刷与流场变化情况。刘波等^[2]研究杭州湾跨海大桥对两侧悬浮泥沙浓度的影响, 得出大桥上游浓度高于下游浓度的结论。金相楠等^[3]模拟顺河跨海大桥对河道壅水、流态以及河床冲刷的影响, 从防洪安全角度, 指出应尽量避免采

用顺河形式的跨海大桥。石晓雨等^[4]模拟胶州湾跨海大桥对纳潮量、水体交换、余流特性的变化, 指出跨海大桥改变了胶州湾海水结冰现象。陈妍宇等^[5]模拟污染物对流扩散过程, 得出胶州湾跨海大桥对水流变化和水交换能力等影响显著的结论。黄庆航等^[6]从安全角度, 提出泉州湾大桥的风险事态评估方法。戴路等^[7]采用等效糙率法概化桥墩, 模拟金塘大桥对海水水质和悬沙浓度增

量的影响。谢挺^[8]分析舟岱跨海大桥对海洋环境和海洋生态的影响，指出跨海大桥对 50~100 m 范围内的浮游植物和动物有一定损害。郭健等^[9]采用多层次模糊综合评估模型，评估某跨海大桥特殊路段危险化学品运输事故的应急保障能力。曹静等^[10]分析舟山市小干二桥工程对附近海域水质和生态环境的实际影响。

现有研究多集中于跨海大桥对附近水域水流、地形冲淤变化、水生环境等的影响，而危险品坠海对海域水质影响的数值研究尚不多见。

浦坝港大桥建成后，将改变附近海域的水动力条件，导致附近区域的泥沙运移发生变化，形成新的冲淤变化趋势，进而引起附近水域海底地形的变化^[11]。同时该工程建成后，营运期可能发生硫酸等危险品坠海，对海域水质产生影响。因此需要对水动力和水质影响进行预测评价。

1 工程概况

浦坝港大桥位于浙江省台州市三门县东部浦

坝港，东与牛头门和白带门水道相邻并与扩塘山岛相望，见图 1。大桥通航孔按双向通航考虑，如图 2 所示，主跨跨度 120 m，桥梁跨径布置为 $11 \times 30 \text{ m} + 16 \times 40 \text{ m} + (68+120+68) \text{ m} + 26 \times 40 \text{ m}$ ，桥梁总长 2 273 m。



图 1 区域地理位置

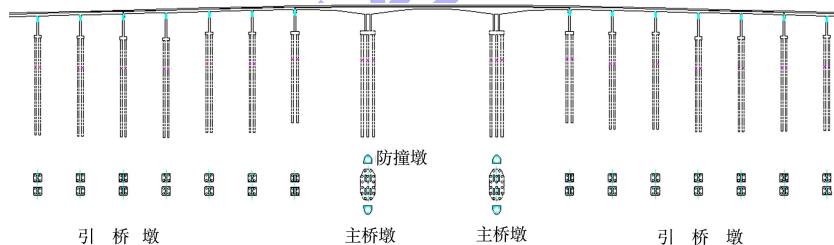


图 2 浦坝港大桥桥型及桥墩布置

2 工程对附近水动力及冲淤影响

利用平面二维浅水潮波方程^[12]及相应定解条件^[13]，在对实测资料良好验证的基础上，得到浦坝港海区较为符合实际的流场。由于桥墩桩基会对水流有阻碍作用，采用加大桩基附近的糙率来体现其阻碍作用，由群桩区海底糙率计算公式^[14]求得桩附近的糙率。由于主桥墩和引桥墩的形状和布置均有所不同，主桥墩的加糙幅度大于引桥墩。

桥梁建设后，对桥位附近水域原有的流场势

必造成一定的影响。模拟得到工程前后全潮平均流速变化如图 3 所示。

工程的建造对附近潮流流速的影响较小，总体上对潮流的影响主要集中在桥墩附近水域。工程对潮流流速的影响随着与桥墩距离的增大而减小。流速增大的范围以桥为中心，向西北、东南延伸的距离分别为 1 200、1 000 m 左右。流速减小区主要位于大桥南段和北段引桥墩附近的水域，在主桥墩所在的局部水域，流速也出现了一定的减小。

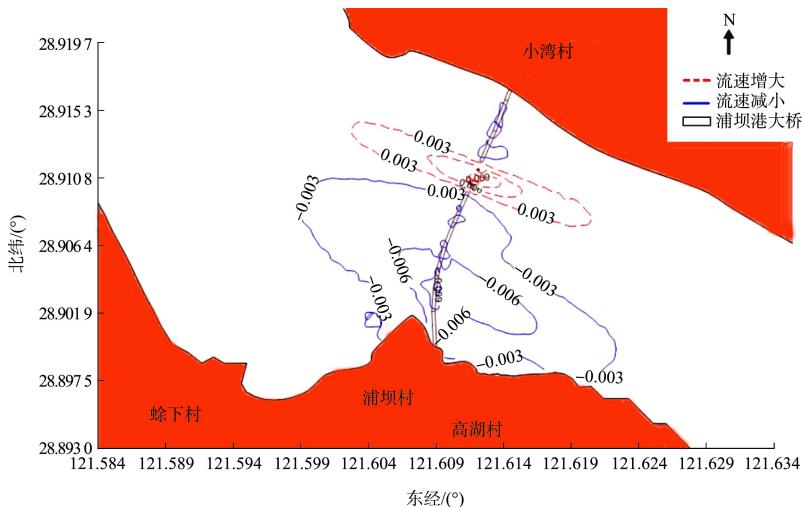


图3 全潮平均流速变化分布(单位:m/s)

工程的实施使附近海域局部水动力条件产生变化，进而将导致局部的泥沙冲淤变化。根据河床变形方程建立冲淤模型^[15]，计算得到浦坝港大桥工程完成后的年冲淤量和达到极限冲淤平衡时水深的变化，结果如图4所示。

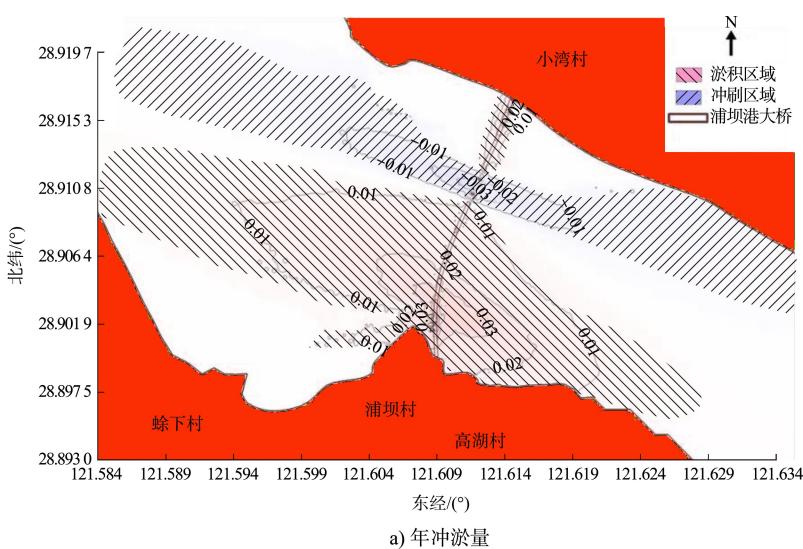
淤积区域主要位于浦坝港大桥的南段以及北段引桥附近的水域。大桥南段的淤积大于北段。大桥南段的年淤积量最大在0.08 m左右，达到冲淤平衡时，其最大的淤积厚度约为0.13 m，大部分区域的淤积厚度在0.02~0.08 m，其范围以此段大桥的位置为中轴线，向桥的上、下游方向各延伸约2 km。大桥北段的淤积程度和范围都小于南段，其年冲淤量为0.01~0.03 m，冲淤达到平衡时，该淤积区的

最大淤积厚度为0.08 m，其范围控制在大桥北段中轴线向上、下游150 m的范围以内。

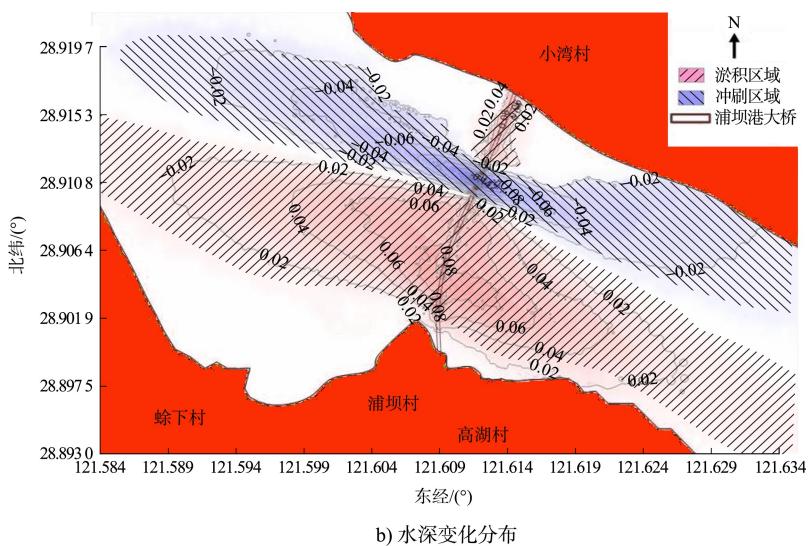
冲刷区域位于主桥墩所在的水域附近，年冲刷量在0.01~0.04 m，达到冲淤平衡时，最大冲刷量在0.1 m左右。冲刷区的范围以大桥区段的位置为中轴线分别向上、下游延伸2 km左右。

大桥南段和北段附近水域的流速有不同程度的减小，其中大桥南段附近接近冲淤平衡所需时间为2 000 d左右(约5.5 a)；大桥北段的水域达到冲淤平衡所需时间在2 200 d左右(约6 a)。

工程不会引起整个水道流态和泥沙运移态势的改变，也不会在整体上对桥区水道和附近海床产生明显的冲淤影响。



a) 年冲淤量



b) 水深变化分布

图 4 工程完成后的年冲淤量和达到极限冲淤平衡时水深的变化 (单位: m)

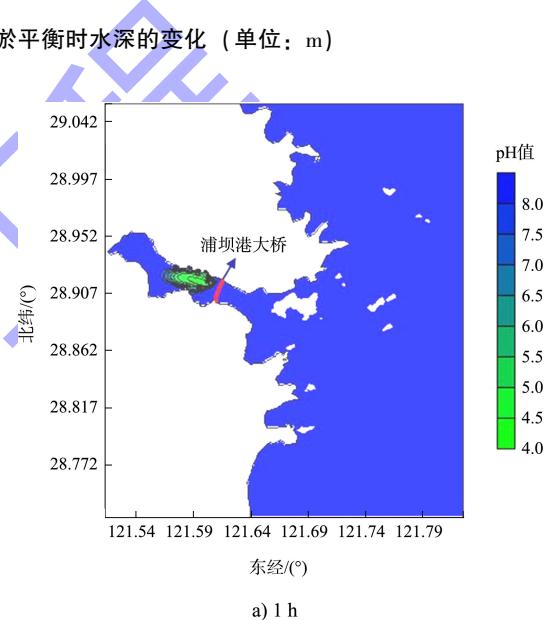
3 工程对附近水域水质的影响

计算区域的海域潮强流急、垂向掺混充分, 可假定污染物浓度场对流场没有影响, 采用平面二维保守物质的扩散输移方程:

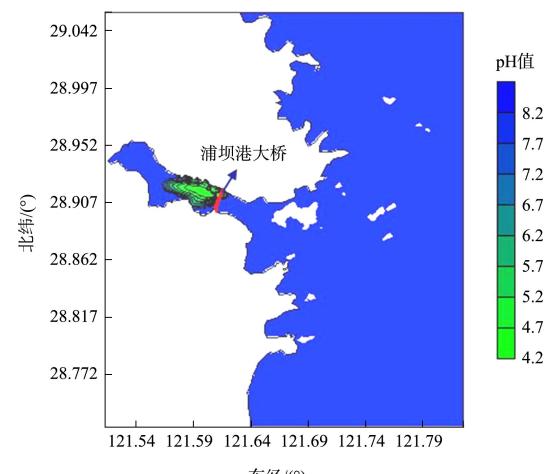
$$\frac{\partial C}{\partial t} + C_x \frac{\partial C}{\partial x} + C_y \frac{\partial C}{\partial y} = E_x \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} + E_y \frac{\partial^2 C}{\partial y^2} + F \quad (1)$$

式中: C 为污染物浓度 (mg/L); C_x 、 C_y 为浓度在 x 、 y 方向的分量 (mg/L); t 为时间 (s); E_x 、 E_y 分别为 x 、 y 方向的扩散系数 (m^2/s); F 为污染物排放源强 (mg/s), 污染物排放量为 10 t , 设泄漏时间为 30 min , 则 F 取 5556 mg/s 。

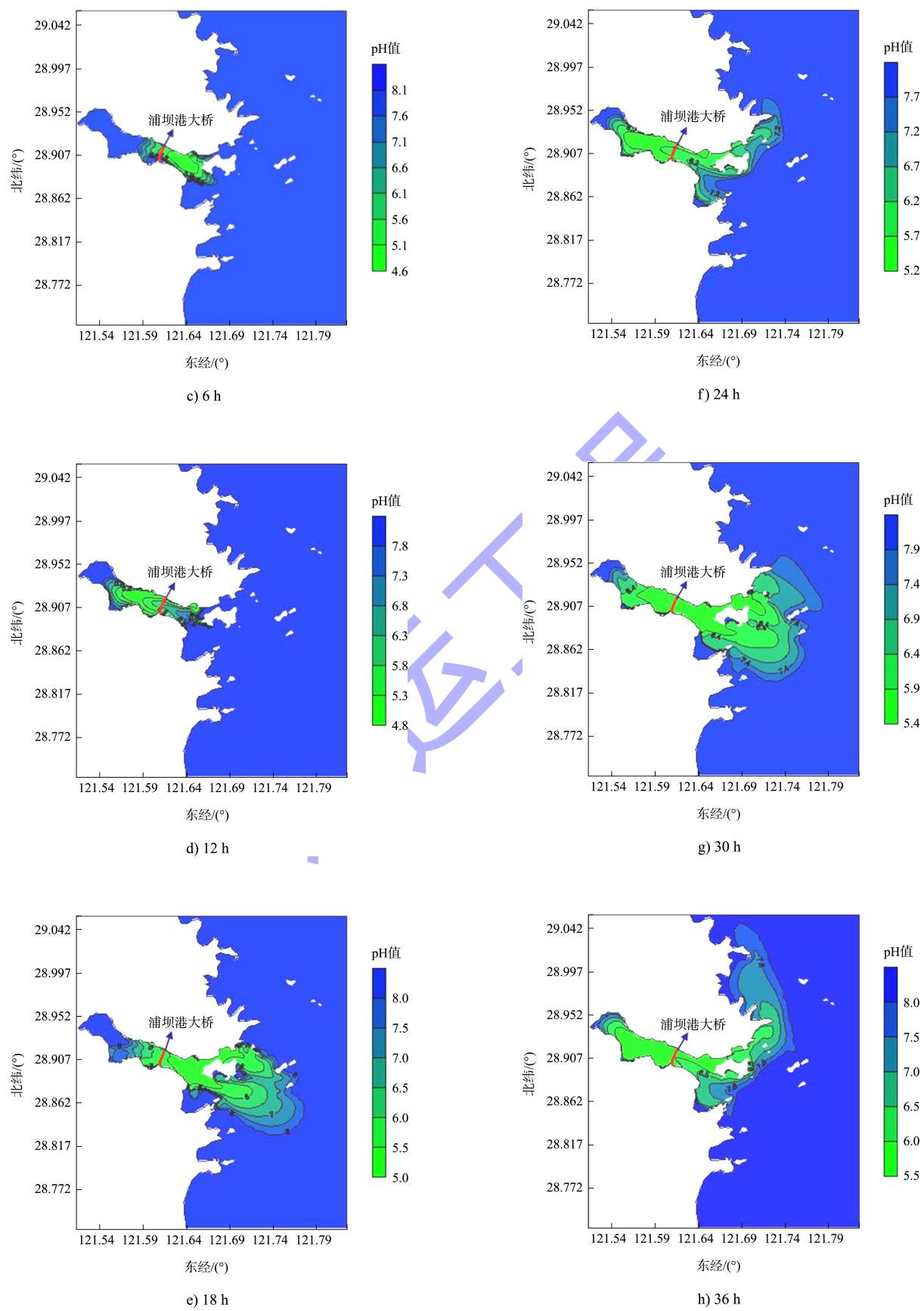
由于车辆坠海事故的发生无论在时间还是空间上都具有较大的不确定性, 因此无法事先确定, 本次预测在浦坝港大桥两主桥墩中间设置 1 个预测点, 进行全潮周期(约 201 h)污染物增量分布的计算, 大潮潮动力较强, 对硫酸的稀释扩散能力较强, 硫酸扩散较远, 影响范围较大, 小潮潮动力较弱, 硫酸易堆积在泄漏地点附近, 不易扩散。因此分别以大、小潮的涨、落急时刻作为特征时刻来预测泄露情况。限于篇幅, 仅列出大潮涨潮时开始(浦坝港大桥中部 10 t 浓硫酸坠海) 72 h 内海域 pH 值分布, 见图 5。



a) 1 h



b) 3 h



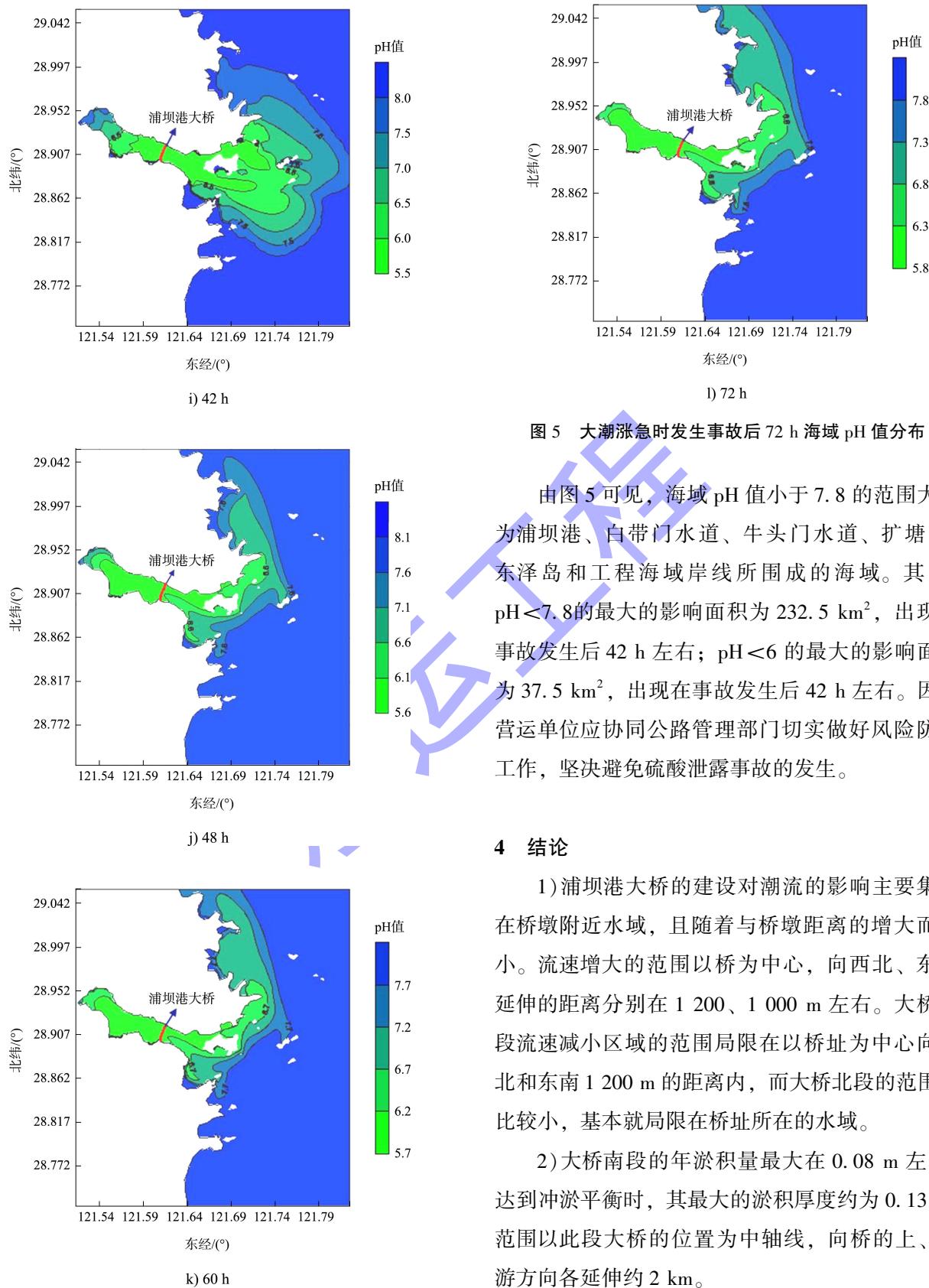


图 5 大潮涨急时发生事故后 72 h 海域 pH 值分布

由图 5 可见, 海域 pH 值小于 7.8 的范围大致为浦坝港、白带门水道、牛头门水道、扩塘山、东泽岛和工程海域岸线所围成的海域。其中, $pH < 7.8$ 的最大的影响面积为 232.5 km^2 , 出现在事故发生后 42 h 左右; $pH < 6$ 的最大的影响面积为 37.5 km^2 , 出现在事故发生后 42 h 左右。因此营运单位应协同公路管理部门切实做好风险防范工作, 坚决避免硫酸泄露事故的发生。

4 结论

1) 浦坝港大桥的建设对潮流的影响主要集中在桥墩附近水域, 且随着与桥墩距离的增大而减小。流速增大的范围以桥为中心, 向西北、东南延伸的距离分别在 1 200、1 000 m 左右。大桥南段流速减小区域的范围局限在以桥址为中心向西北和东南 1 200 m 的距离内, 而大桥北段的范围则比较小, 基本就局限在桥址所在的水域。

2) 大桥南段的年淤积量最大在 0.08 m 左右, 达到冲淤平衡时, 其最大的淤积厚度约为 0.13 m, 范围以此段大桥的位置为中轴线, 向桥的上、下游方向各延伸约 2 km。

3) 大桥北段的其年冲淤量为 0.01~0.03 m, 冲淤达到平衡时, 该淤积区的最大淤积厚度为 0.08 m, 其范围控制在大桥北段中轴线以上、下游 150 m 的范围以内。

4) 冲刷区域位于主桥墩所在的水域附近, 年冲刷量在 0.01~0.04 m; 达到冲淤平衡时, 最大冲刷量在 0.1 m 左右。冲刷区的范围以大桥这个区段的位置为中轴线分别向上、下游延伸 2 km 左右。

5) 在桥梁所在海域若发生硫酸泄漏事故, 对海域水环境的影响范围很大, 白带门和牛头门水道的海水 pH 值将大幅超标, 渔业生产也会受到一定的影响, 应坚决杜绝此类事故的发生。

参考文献:

- [1] 王晨阳.跨海大桥对水动力环境影响研究[D].长沙: 长沙理工大学, 2011.
- [2] 刘波, 程乾, 曾焕建, 等.基于 GOCI 数据的杭州湾跨海大桥两侧水域悬浮泥沙浓度空间分异规律研究[J].杭州师范大学学报(自然科学版), 2016, 15(1): 102-107.
- [3] 金相楠, 孙冬梅, 冯平.顺河跨海大桥工程对河道影响数值分析[J].南水北调与水利科技, 2017, 15(3): 164-170.
- [4] 石晓雨, 张日东, 张文静, 等.跨海大桥建设对胶州湾北部冬季结冰现象的影响[J].海洋通报, 2018, 37(6):

633-642.

- [5] 陈妍宇, 宋德海, 鲍献文, 等.胶州湾跨海大桥对海湾水体交换的影响[J].海洋与湖沼, 2019, 50(4): 707-718.
- [6] 黄庆航, 唐力文, 杨弘卿.泉州湾跨海大桥风险事态评估方法研究[J].公路交通科技(应用技术版), 2020, 16(3): 334-337.
- [7] 戴路, 陈鹏, 祖晓涵.跨海大桥拦阻设施实施的悬沙扩散影响分析[J].水道港口, 2020, 41(2): 133-139.
- [8] 谢挺.舟岱跨海大桥试桩工程海域使用可行性研究[J].中国水运, 2020(5): 79-81.
- [9] 郭健, 陶行行.跨海大桥危险化学品运输事故应急保障能力评估[J].消防科学与技术, 2020, 39(7): 1033-1036.
- [10] 曹静, 许恒韬, 赵沧海, 等.跨海大桥工程对附近海域水质和生态环境的影响及其跟踪监测验证[J].海洋开发与管理, 2020, 37(10): 94-98.
- [11] 吴松华, 章哲华, 姚炎明.浦坝港二维潮流数值模拟研究[J].浙江水利水电学院学报, 2018, 30(5): 17-23.
- [12] 吴松华.瓯江北口水底管线铺设开挖引起的悬浮物输移数值模拟[D].杭州: 浙江大学, 2011.
- [13] 吴松华, 姚炎明, 周大成, 等.开挖过程中悬浮泥沙扩散输移的数值模拟[J].港工技术, 2011, 48(2): 1-4.
- [14] 罗肇森, 孙梅秀.河工模型中几种人工糙率的计算[J].水利水运科学研究, 1981(2): 70-82.
- [15] 吴松华.某陆域形成工程水动力与泥沙冲淤影响数值分析[J].水运工程, 2012(7): 19-23.

(本文编辑 王璁)

· 消息 ·

巴基斯坦卡拉奇港 SAPT 集装箱堆场项目移交业主

近日, 中国港湾承建、中交水运规划设计院负责设计施工的巴基斯坦卡拉奇港 SAPT 集装箱堆场与房建二期项目堆场工程顺利移交业主。

项目位于巴基斯坦第一大港卡拉奇港, 是在已建一期工程基础上进行扩建, 陆域总面积约 32 万 m², 重点打造自动化专业集装箱堆场, 其中振华重工为其提供了 11 台自动化轮胎吊。项目建设内容包括堆场、给排水、消防、电气、通信控制、铁路、房建、土建和其他配套设施等。项目建成后, 整个港区年设计吞吐能力将达到 310 万 TEU, 有力推进巴基斯坦的贸易发展。

https://www.ccccltd.cn/news/jcxw/jx/202108/t20210823_141524.html (2021-08-23)