

深圳西涌滨海旅游区海滩裂流风险评估及特征分析

张娟^{1,2}, 周水华^{1,2}, 蔡梦楠^{1,2}, 洪晓^{1,2}, 王凯敏³

(1. 国家海洋局南海预报中心, 广东 广州 510300; 2. 自然资源部海洋环境探测技术与应用重点实验室, 广东 广州 510300; 3. 深圳市海洋监测预报中心, 广东 深圳 518067)

摘 要: 基于海滩地形动力学、遥感影像的风险预识别以及现场排查等方法, 对西涌滨海旅游区海滩裂流风险进行了初步评估。评估结果表明: 地形动力分析结果显示, 西涌滨海旅游区泳场逐月平均沙滩类型大部分是沿岸沙坝和裂流沟槽交替的沙坝型(B), 风险等级高; 影像特征判断该沙滩属于沿岸沙坝和裂流沟槽交替的沙坝型(B)或者低潮位附近伴有冲流沙坝及裂流沟槽的低潮沙坝裂流型(LTBR), 裂流风险等级高; 历史影像和现场调研均发现该海滩发生过裂流; 综合判定该海滩裂流风险等级为高。但鉴于观测资料限制和评价方法自身局限性的影响, 本次排查结论仅为初步结论, 其合理性尚需更加深入的研究。

关键词: 地形动力学; 裂流; 风险排查; 西涌滨海旅游区

中图分类号: P731.21 **文献标识码:** A **文章编号:** 1003-0239(2021)01-0061-06

1 引言

裂流是造成滨海旅游安全事故的最重要原因。根据美国国家海洋与大气管理局(National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA)的统计, 近年来美国60%~87%的海滩溺亡事故与裂流有关, 海滩溺水事故率最高的人群为10~29岁的男性^[1]。一些发达国家的海洋部门已经建立起裂流灾害的观测、排查、警示、科普和预警报等公共服务体系。美国已经针对全国重点沿海和沿湖海滩开展了风险排查和裂流警示牌树立工作^[2], 形成了每日发布的裂流风险预警报服务, 并且专门设立网站、设计知识问卷和拍摄科普视频, 向公众宣传推广裂流避险知识。英国、澳大利亚、新西兰、日本、韩国、西班牙和丹麦等国家也在裂流的监测预警和科普方面做了大量工作^[3-7]。

由于游客对海滩环境不熟悉、对裂流危险程度认识不足、部分游客选择在非游泳区游泳以及海滩

浴场管理不到位等原因, 我国每年都会有海滩溺水事故发生。这不仅带来巨大的生命财产损失, 同时海滩管理也长期受裂流溺水事故和纠纷处理等问题的困扰。我国在海滩裂流方面开展的研究和工作比较少, 且不成系统。为了填补滨海旅游灾害防范的空白, 自然资源部海洋减灾中心着手开展了我国滨海旅游区裂流灾害技术评估、公共警示和科普宣传工作, 以此了解我国滨海旅游区裂流风险级别及裂流风险分布情况, 其研究成果也可为滨海旅游管理和滨海浴场选址提供科学依据。

2018年7月27日, 国家海洋局南海预报中心、广东省自然资源厅和深圳市海洋监测预报中心组成调查组, 对深圳西涌滨海旅游区的海滩裂流开展现场排查工作, 主要包括以下7个方面: 访谈、表层沙取样、海滩剖面实时动态(Real Time Kinematic, RTK)测量、裂流目视识别、海滩特征地貌识别和无人机视频拍摄, 以及在疑似裂流所在位置开展染色试验。

收稿日期: 2020-03-26; 修回日期: 2020-06-07。

基金项目: 国家重点研发计划(2018YFC1407002)。

作者简介: 张娟(1982-), 女, 高级工程师, 硕士, 主要从事海洋环境数值预报和海洋灾害评估。E-mail: zhangjuan8205@126.com

2 西涌基本情况

西涌滨海旅游区位于大鹏半岛南端,隶属深圳市南澳镇管辖。用海总面积 11.647 公顷,其中西涌口 3.928 公顷,沙兰仔 3.870 公顷,淡水涌 3.849 公顷,占用岸线总长 945.5 m,海滩长 5 km,开口朝东南向,海滩宽 30~80 m。每年接待 200 万人次,浴场配备有救生队伍和防鲨网等。

3 研究方法

结合裂流事件发生频次和强度、所在海域的波浪特征和浴场开放的季节性特征,以 Wright 等^[8]和 Masselink 等^[9]提出的海滩类型与裂流风险等级对应关系表(见表 1 和图 2)判定的裂流风险等级为基础,并根据遥感影像和现场访谈进行适当的调整后得到最终的裂流风险等级。

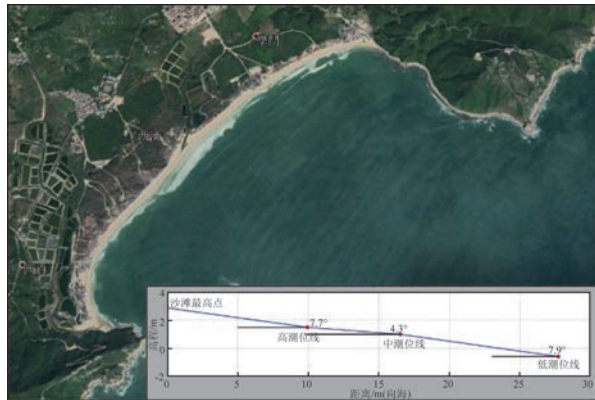


图1 西涌地理位置示意图

3.1 海滩地形动力学分析方法介绍

模型采用的是 Wright 等^[8]提出的沙粒沉降速率参数(Ω)和 Masselink 等^[9]提出的浪潮参数(Relative Tide Range, RTR)。Masselink 等将参数 RTR 和 Ω 进行组合,把海滩划分为 4 组 8 类,具体见表 1 和图 2。张尧等^[3]和李志强等^[10-12]也将此方法应用到我国沿海的裂流风险评估工作中。

浪潮参数计算公式:

$$RTR = \frac{TR}{H_b} \quad (1)$$

沙粒沉降参数计算公式:

$$\Omega = \frac{H_b}{TW_s} \quad (2)$$

$$H_b = 0.39g^{1/5} (TH_\infty^2)^{2/5} \quad (3)$$

$$W_s = (RgD^2) / [C_1\nu + (0.75C_2RgD^3)^{0.5}] \quad (4)$$

式中: TR 为平均潮差(m); H_b 为平均破碎浪高(m); H_∞ 为深水区平均有效波高(m); g 为标准重力

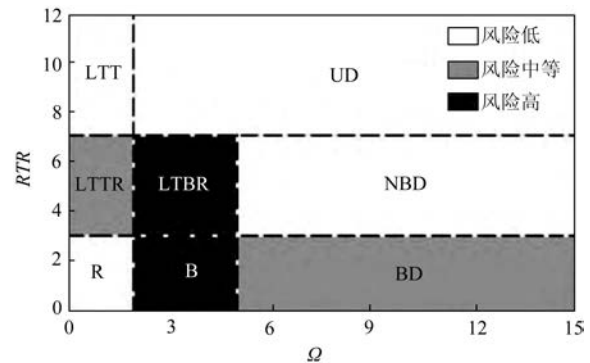


图2 裂流风险评价模型

表1 基于地形动力学指标分析的滨海旅游海滩裂流风险等级表

海滩组别	沙粒沉降参数	潮浪参数	海滩类型	裂流风险
反射型	$\Omega < 2$	$RTR < 3$	完全反射型(Reflective Beaches, R)	低
		$3 \leq RTR \leq 7$	有裂流沟槽的低潮台地型(Low Tide Terrace with Rips, LTTR)	中
		$RTR \geq 7$	无裂流沟槽的平坦低潮台地型(Low Tide Terrace without rips, LTT)	低
中间状态型	$2 \leq \Omega \leq 5$	$RTR < 3$	沿岸沙坝和裂流沟槽交替的沙坝型(Barred Beaches, B)	高
		$3 \leq RTR \leq 7$	低潮位附近伴有冲流沙坝及裂流沟槽的低潮沙坝裂流型(Low Tide Bar/Rip, LTBR)	高
消散型	$\Omega > 5$	$RTR < 3$	沙坝消散型(Barred Dissipative Beaches, BD)	中
		$3 \leq RTR \leq 7$	无沙坝消散型(Non-Barred Dissipative Beaches, NBD)	低
超消散型	$\Omega > 2$	$RTR > 7$	平缓超消散型(Ultra-Dissipative Beaches, UD)	低

加速度 $9.81(\text{m/s}^2)$; T 为波周期(s); W_s 为沙粒沉降速率(m/s); R 为沙/水比重(本文中取 1.65); D 为沙粒径(m); ν 为水的动能粘度(取 $10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$); $C_1 = 18$ 、 $C_2 = 1$ 。

3.2 基于遥感影像的风险预识别分析

在光学遥感照片中,浅滩沿岸沙坝或不连续白色浪花之间的深色狭长水域都可能成为裂流风险的表征。选取卫星遥感影像,包括有人机或无人机等拍摄的图像,提取影像时间、地貌发育情况和波浪破碎等相关信息,预估海滩类型和风险情况。

4 资料来源及处理方法

4.1 波浪

波浪资料均由国家海洋局南海预报中心 30 a 的海浪后报数据集统计得出。该数据集采用第三代

海浪谱模型(WAVEWATCH III, WW3),使用双重嵌套方案,大区($78^{\circ}\sim 154^{\circ}\text{E}$, $-10^{\circ}\text{S}\sim 45^{\circ}\text{N}$)的空间分辨率为 $6'$,小区($99^{\circ}\sim 123^{\circ}\text{E}$, $3^{\circ}\text{N}\sim 25.5^{\circ}\text{N}$)的分辨率为 $2'$ 。非台风期强迫风场采用CCMP(Cross-Calibrated, Multi-Platform)风场,台风期间的风场采用台风模型风场和CCMP风场重构风场。利用南海浮标观测数据对模型模拟结果进行检验,结果表明,波浪后报值与观测值吻合良好,浪高平均相对误差为17.5%。为评估模拟误差对月均值统计结果的影响,用1 a的观测资料统计遮浪站的月平均波高,并与模型统计结果进行比较,发现两者偏差小于0.1 m,说明后报统计结果可以很好地代表浴场海域深水浪的平均状态。西涌滨海旅游区附近海域常年月平均有效波高为 $0.4\sim 0.7\text{ m}$,月平均周期为 $4.9\sim 6.1\text{ s}$,常浪向为ESE和S向,频率分别为57.5%和20.8%,S向浪主要出现在夏季(6—8月),其他季节以ESE向浪为主。具体见表2和表3。

表2 西涌波高特征值统计

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
月平均有效波高/m	0.6	0.6	0.6	0.5	0.4	0.6	0.7	0.7	0.5	0.6	0.7	0.7
月平均周期/s	5.8	5.7	5.4	5.2	4.9	4.9	5.2	5.6	5.4	5.5	5.9	6.1
月平均波长/m	71.8	67.3	61.6	54.8	47.9	49	53.7	60	57.3	64.4	73.3	78.6

表3 西涌浪向分布

[illegible]

4.2 潮差

潮差资料主要由附近海洋站的长期潮位观测资料统计得出。此海域为不正规半日潮,多年实测平均潮差为0.88 m,平均大潮潮差为1.04 m。

4.3 泥沙

调研工作组在景区现场正常波况下取表层沙样,并送到自然资源部汕尾海洋环境监测中心站实验室进行泥沙分析,获得泥沙中值粒径等参数,地形动力学分析时采用中潮线附近沙样的中值粒径。该海滩泥沙粒度空间分布不均匀,东段较粗,西段较细;从沙滩横剖面来看,中潮线附近最粗,且泥沙粒度有明显的垂向变化,表面以中细沙为主,往下则是粗砂及以上粒径。粒度分析结果表明该海滩主要由中砂和粗砂组成,中潮线砂样中值粒径为0.34 mm,高、低潮线砂样中值粒径相同,均为0.22 mm;分选系数为0.13~0.36,分选极好;偏态系数0.33~0.52,为极正偏。

5 结果分析

5.1 地形动力学分析结果

根据地形动力学模型计算得出 RTR 和 Ω ,并获得景区每月的风险级别。计算结果显示(见表4),

西涌海水浴场逐月平均沙滩类型是沿岸沙坝和裂流沟槽交替的沙坝型(B)海滩,裂流风险等级高。

5.2 影像识别分析结果

由该景区获得10幅GOOGLE影像图,影像时间为2010—2017年。从影像图(图略)来看,在一般情况下,该海滩均发生了不同程度的波浪破碎,破波带宽度通常在20~60 m。从2002年9月18日、2013年12月30日、2015年8月25日和2017年7月26日的影像图上看到横向沙坝发育,2010年8月21日、2011年12月2日和2014年9月18日的影像图上看到水下沿岸沙坝发育。

从影像特征判断,该沙滩可能是沿岸沙坝和裂流沟槽交替的沙坝型(B)海滩或者低潮位附近伴有冲流沙坝及裂流沟槽的低潮沙坝裂流型(LTBR),裂流风险等级高。从破波带宽度与浪高的关系和拍摄到裂流当日的浪高来看,在外海浪高大于0.8 m时可能发生具备危害性的裂流。

5.3 现场调研结果

2018年7月27日大潮期拍摄到的低潮滩面高低起伏不平,呈槽脊形态,槽深在50 cm以浅(见图3),救生员反馈浅槽位置变动十分迅速。受台风“贝碧嘉”外围影响,从2018年8月9日11时左右拍摄的影像图上来看,有明显的裂流发生(见图4)。

表4 地形动力学指标分析的西涌海滩裂流风险等级表

月份	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
RTR	1.1	1.1	1.1	1.3	1.6	1.1	1.0	1.0	1.3	1.1	0.9	0.9
Ω	3.0	3.1	3.2	2.8	2.4	3.4	3.7	3.5	2.7	3.1	3.4	3.3
海滩类型	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B	B
风险等级	高	高	高	高	高	高	高	高	高	高	高	高



图3 西涌低潮滩面槽脊地形
(2018年7月27日现场拍摄)



图4 西涌浴场影像图(2018年8月9日现场拍摄,红色虚线内为裂流)

另据救生员介绍,该海滩常在台风影响前后或外海为SE浪向时发生裂流,且以海滩中平直岸段发生的几率最高,其中淡水涌以东岸段较以西岸段更容易发生裂流;裂流在刚开始落潮(或涨潮)时较容易发生。

6 小结

地形动力分析结果显示,西涌滨海旅游区泳场逐月平均沙滩类型大部分是沿岸沙坝和裂流沟槽交替的沙坝型(B),风险等级高;影像特征判断该沙滩属于沿岸沙坝和裂流沟槽交替的沙坝型(B)或者低潮位附近伴有冲流沙坝及裂流沟槽的低潮沙坝裂流型(LTBR),裂流风险等级高。历史影像和现场调研都发现该海滩发生过裂流。因此,综合判定该海滩裂流风险等级为高。

但鉴于观测资料的限制和评价方法自身的局限性,本次排查结果仅为初步结论,其合理性尚需更加深入的研究。主要原因包括以下3方面:

(1)南海属于季风影响区,海浪有明显的季节性变化,同时又是台风经常侵扰之地,因而广东的沙质海滩有较明显的季节变化且可能发生地形和地貌形态的突变。采用基于平均态的地形动力学方法计算地貌类型有一定的局限性,且地形动力学方法仅限于评价地形诱导的裂流风险评判,对于动力引发或者边界约束引发的裂流尚不适用。

(2)采用现场地貌类型识别和遥感影像识别对地形动力学分析结论进行订正,但因遥感影像资料过境时间随机、无准确拍摄时间且分辨率较粗,导致潮时和水下地形判断等存在困难,可以用来准确判别地貌类型的影像数量有限。

(3)裂流作为非长期存在的物理现象,具有偶发性。对研究对象进行长时间的观察,方能积累足够的样本数对其进行分析,但是本次排查因时间

紧,现场调查时间短暂,收集到的历史裂流事件记录非常少。

今后将采用多方法和多手段开展较长时间的裂流专项观测工作,积累丰富的裂流事件,增加水下地形和环境动力观测,采用多方法分析和相互校验,从而得出更加科学的评估结论。

参考文献:

- [1] Gensini V A, Ashley W S. An examination of rip current fatalities in the United States[J]. *Natural Hazards*, 2010, 54(1): 159-175.
- [2] Brannstrom C, Lee Brown H, Houser C, et al. "You can't see them from sitting here": evaluating beach user understanding of a rip current warning sign[J]. *Applied Geography*, 2015, 56: 61-70.
- [3] 张尧, 刘旭楠, 董肇伟, 等. 我国典型滨海旅游区裂流灾害评估调查及风险管理动态[J]. *海洋开发与管理*, 2018, 35(7): 16-25.
- [4] Lee J, Cho W C, Lee J L. The application of a rip current warning decision-process system, Haeundae Beach, South Korea[J]. *Journal of Coastal Research*, 2016, 75(10075): 1167-1171.
- [5] Van Leeuwen B R, McCarroll R J, Brander R W, et al. Examining rip current escape strategies in non-traditional beach morphologies [J]. *Natural Hazards*, 2016, 81(1): 145-165.
- [6] Haller M C, Dalrymple R A, Svendsen I A. Experimental study of nearshore dynamics on a barred beach with rip channels[J]. *Journal of Geophysical Research: Oceans*, 2002, 107(C6): 14.
- [7] 孟凡昌, 李本霞. 裂流的研究综述[J]. *海洋预报*, 2017, 34(1): 82-89.
- [8] Wright L D, Short A D, Green M O. Short-term changes in the morphodynamic states of beaches and surf zones: an empirical predictive model[J]. *Marine Geology*, 1985, 62(3-4): 339-364.
- [9] Masselink G, Short A D. The effect of tide range on beach morphodynamics and Morphology: a conceptual beach model[J]. *Journal of Coastal Research*, 1993, 9(3): 785-800.
- [10] 李志强. 基于地形动力学的华南海滩裂流风险研究[J]. *热带海洋学报*, 2015, 34(1): 8-14.
- [11] 李志强, 朱雅敏. 基于地形动力学的海滩裂流安全性评价——以三亚大东海为例[J]. *热带地理*, 2015, 35(1): 96-102.
- [12] 李志强, 陈杏文. 湛江东海岛裂流风险评价[J]. *海洋开发与管理*, 2016, 33(S2): 73-78.

Risk investigation and characteristic analysis of the rip current in Xichong coastal tourism area of Shenzhen

ZHANG Juan^{1,2}, ZHOU Shui-hua^{1,2}, QI Meng-nan^{1,2}, HONG Xiao^{1,2}, WANG Kai-min³

(1. South China Sea Marine Forecast Center of State Oceanic Administration, Guangzhou 510310 China; 2. Key Laboratory of Marine Environment Survey Technology and Application, Ministry of Natural Resoure, Guangzhou 510300 China; 3. Shenzhen Marine Monitoring Forecasting Center, Shenzhen 518067 China)

Abstract: Based on the beach morphodynamics, the risk pre-identification using remote sensing image and the on-site risk investigation, this paper makes a preliminary assessment of the risk of rip current in the beach of Xichong coastal tourism area of Shenzhen. It is found that the monthly average beach type mostly is barred (B) with high risk level as shown by the beach morphodynamics, while the remote sensing image approves that the beach belongs to the type of barred (B) or the low-tide bar rip (LTBR) with high risk of rip current. Meanwhile, historical rip current events are found by remote sensing image and on-site investigation. Therefore, we preliminarily conclude that the risk level of rip current is high with uncertainties due to the limitation of observation data and assessment method.

Key words: morphodynamics; rip current; risk investigation; Xichong coastal tourism area