

文章编号:1005-9865(2022)04-0044-09

大鹏湾岬湾型海滩季节性变化特征及原因分析 ——以官湖海滩为例

刘星璐¹, 徐 昇², 罗小峰¹, 张功瑾¹, 丁 磊¹, 路川藤¹, 丁 佩¹

(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. 深圳市规划和自然资源局, 广东 深圳 518038)

摘 要:随着全球海平面的上升及极端气象的频发,全球海滩总体呈现出一定的退化现象,海滩保护成为海岸带生态修复的焦点问题之一。我国华南地区岬湾型海滩分布广泛,以深圳市大鹏湾官湖海滩为代表,基于2020—2021年实测海滩剖面高程数据,分析岬湾型海滩季节性变化特征。研究表明,官湖海滩剖面坡度夏秋缓冬春陡,夏秋侵蚀冬春淤积;海滩沉积物粒径季节性变化不明显。海滩剖面形态受风浪、平均潮位的季节性变化控制,以夏秋季为例,平均潮位逐渐升高,南向波浪强度较大,在二者的共同作用下,海滩后滨侵蚀明显,泥沙离岸运输,并在前滨淤积。补沙方案宜在夏秋季进行,且重点区域为官湖海滩东侧与观海湾海滩,防御方案应主要削弱南向波浪。

关键词:岬湾型海滩;海滩剖面;季节性变化;沉积物粒径;海滩养护;官湖海滩

中图分类号:P753 文献标志码:A DOI:10.16483/j.issn.1005-9865.2022.04.006

Seasonal variation characteristics and causes of headland-bay beaches: A case study of Guanhu beach

LIU Xinglu¹, XU Sheng², LUO Xiaofeng¹, ZHANG Gongjin¹, DING Lei¹, LU Chuanteng¹, DING Pei¹

(1. State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China; 2. Planning and Natural Resources Bureau of Shenzhen Municipality, Shenzhen 518038, China)

Abstract: With the rise of global sea level and the frequent occurrence of extreme weather, the global beaches show a certain degradation phenomenon in general, and beach protection has become one of the focal issues of coastal zone ecological restoration. We take Guanhu beach as the representative of headland-bay beach and analyze the seasonal change characteristics of it based on the measured beach profile elevation data from 2020 to 2021, and investigate the causes of seasonal change. The research shows that the slope of Guanhu beach profile is slow in summer and autumn and steep in winter and spring. Beach has erosion in summer and autumn and siltation in winter and spring; the seasonal change of beach sediment grain size is not obvious. The beach profile morphology is controlled by the seasonal changes of wind and waves and mean tide level. For example, the mean tide level gradually rises and the southward wave intensity is higher in summer and autumn. Under the joint action of both, the beach back shore erodes obviously and the sediment is transported offshore, which results in the front shore silting. The sand replenishment program should be carried out in summer and autumn, and the key areas are the east side of Guanhu beach and Guanhai Bay beach. The defense works should mainly weaken the southward waves.

Keywords: headland-bay beaches; beach profiles; seasonal variation; sediment grain size; beach maintenance; Guanhu beach

收稿日期:2021-10-09

基金项目:国家重点研发计划资助项目(2019YFB1600700)

作者简介:刘星璐(1997—),男,江苏盐城人,博士研究生,主要从事河口海岸泥沙研究。E-mail: 15850679021@163.com

通信作者:罗小峰。E-mail: cjk3d@126.com

由于近年来全球气候变化及人类大规模活动的影响^[1-2],我国70%左右的砂质海岸发生了海岸侵蚀现象^[3],导致自然海滩和人工海滩都随之发生海滩侵蚀^[4],对旅游生态行业产生负面影响,因此海滩保护成为海岸带生态修复的焦点问题之一。

岬湾海滩是主要的砂质海岸类型,这类海滩的特点在于岬角遮蔽效应,岬角掩护范围的大小决定了海滩的沉积^[5],相比于开敞型海滩,形成稳定状态的可能性较高^[6],较难发生侵蚀现象^[7],然而台风风暴潮破坏^[8]以及人类活动影响都会导致岬湾型海滩发生侵蚀和岸滩失稳^[9]。除了个别极大台风风暴潮的毁坏作用难以通过自然作用恢复以外,一般情况下,随着季节的变化,风暴侵蚀和常浪恢复的循环作用^[10]会使岬湾型海滩处于一个动态平衡^[11-12]。季节变化往往会带来风浪条件与平均潮位的变化,而风浪是岬湾类海滩剖面变化的主要动力控制因子^[13],平均潮位也会影响破波带区域与侵蚀基准面的位置^[14],引起岸滩侵蚀的加剧^[15]。已有研究表明,海滩剖面的形态变化具有一定的季节循环性,但堆积与侵蚀的季节性具体过程和地理位置密切相关,不同区域季节性变化不同。西班牙桑坦德省的海滩一年中冬季堆积夏季侵蚀,且恢复堆积比侵蚀的时间长^[16],而美国太平洋西北部海滩会每年夏季外扩15~20 m,到冬季又恢复平衡^[17]。我国青岛石老人海滩^[18]在平稳期呈现夏季堆积冬季侵蚀,变化幅度较小,而在剧变期呈现夏季侵蚀冬季堆积的变化特征;涠洲岛西南部海滩^[19]表现为夏季后滨和高潮带侵蚀,低潮带和浅水区淤积,冬季与之相反。因此华南地区岬湾型海滩的季节循环变化难以简单类推且可能存在其特殊性。同时,岬湾型海滩一旦发生年际间的侵蚀趋势,其剖面必然先在年内的季节性变化上有所体现,探究不同季节发生的趋势性调整,可以深化其年际间趋势性变化内在机制的认识。

官湖海滩位于大鹏湾东北部,近年来年际间呈西侧淤积东侧侵蚀的趋势,尤其官湖社区前沿海滩侵蚀退化尤为显著,海滩养护工程亟待制定。对于养护方案的选择,岬湾型海滩与开敞型海滩也有所不同,应当依据不同的退化原因进行合适的方案比选,例如岬湾型海滩的特征岬角受到破坏,应当优先修复岬角构建静态平衡岬湾进行补砂修复,或者由于岬湾型海滩独特的地形条件而引起的差异性季节输沙,应当对流失沙体情况严重的剖面着重补沙,亦或是选择流失率最大的季节进行养护补沙工作,减少不必要的人力物力消耗等等,均需要对岬湾型海滩的季节性变化规律进行研究。为支撑海滩的退化原因分析与养护方案制定,于2020—2021年开展了官湖海滩剖面测量,本文基于此,深入分析研究海滩的季节性变化特征与原因,一方面能够加强对华南区域大鹏湾海滩季节性变化特征的认识;另一方面,可为相关岬湾型海滩的养护方案制定提供科学依据。

1 海滩季节性变化特征研究

1.1 研究区域概况

大鹏湾位于大鹏半岛与香港九龙半岛之间,且东北西三面环山,湾口朝向为东南方向,总面积约335 km²。在大鹏湾的东北部,充斥诸多砂质海岸与岬角,岬角间形成岬湾型海滩,本次研究对象为官湖区域,研究区域格局分布如图1所示。

官湖区域的主要岬角为官湖角,自西向东为官湖海滩与观海湾海滩,两海滩被望鱼岭分隔,是典型的岬湾型海滩。大鹏湾潮汐为不规则半日混合潮,2020年平均高潮位约为0.91 m(85高程,下同),平均低潮位约为-0.63 m,大潮平均潮差1.98 m,潮汐强度弱^[20]。风浪资料来源于深圳市海洋监测预报中心,经2020年葵涌下沙站点(位置见图1)观测数据统计而得,大鹏湾常风向为SSW,频率为11.1%,次常风向为NW,频率为9.7%,夏季常风向为SSW,冬季常风向为NW,年平均风速为4.5 m/s;湾内主要受外海涌浪影响,全年强浪向为SSW,最大波高为2.6 m,常浪向为SSW,频率为47.59%,次常浪向为S,频率为36.55%。

为探究官湖海滩季节性变化特征,于2020年5月、2020年7月、2020年10月、2021年1月分四次对深圳官湖海滩进行剖面测量与沉积物采样,测量时间选取潮汐表预测大潮低潮位时刻,沉积物采样与剖面测量同步进行。

利用RTK进行人工碎步剖面高程测量,地形变化不明显处三步一测,地形变化明显处适当加密监测点数量,虽然监测断面固定,但由于每次监测点位置不重合,因此在断面上设置固定分析点,监测数据插值到固定点。测量剖面间距100 m,见图1。观测期间无台风影响。

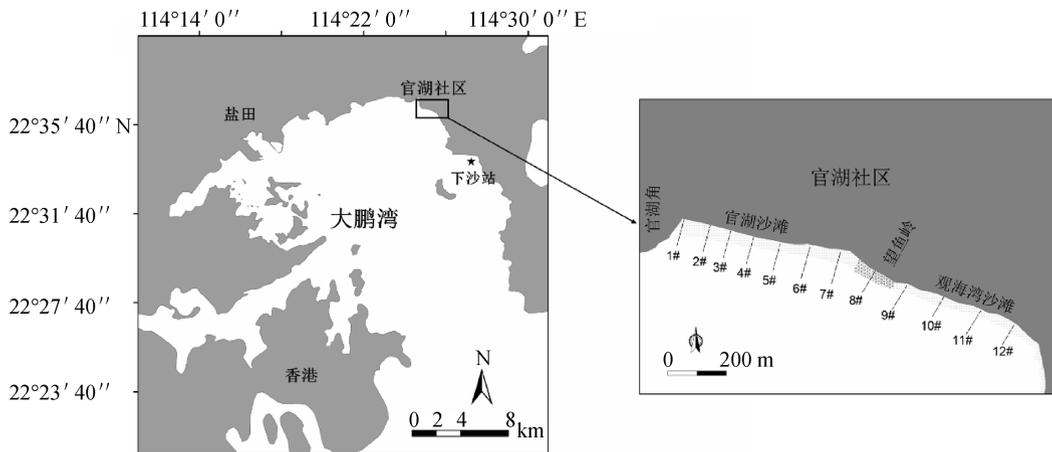


图1 研究区域格局分布
Fig. 1 Distribution of the study area

由于官湖海滩在形态上表现为西宽东窄,总结每个测量断面的演变规律、剖面形态与相对地理位置后将剖面进行归类分组,具体分组为1#~4#剖面、5#~7#剖面以及9#~12#剖面,第一组剖面具有滩肩且冬季滩肩缘回到初始滩肩缘位置,第二组剖面无滩肩呈斜坡型,第三组剖面具有滩肩但冬季滩肩缘未回到初始滩肩缘位置,相对地理位置分别对应官湖海滩西侧、官湖海滩东侧与观海湾海滩,各组剖面的形态与演变规律大致相似,测剖面分组与特征如表1所示。

表1 观测剖面分组与特征
Tab. 1 Observation profile grouping and characteristics

剖面	分组		
	第一组	第二组	第三组
组内剖面	1#~4#	5#~7#	9#~12#
剖面地理位置	官湖沙滩西侧	官湖沙滩东侧	观海湾沙滩
剖面特征	有滩肩且冬季滩肩缘回到初始位置	无滩肩呈斜坡型	有滩肩且冬季滩肩缘未回到初始位置

为简化文章篇幅,选取2#、6#、10#剖面分别作为官湖海滩西侧、官湖海滩东侧与观海湾海滩的典型断面进行研究。

1.2 剖面特征

根据图2~图4可知,官湖海滩不同位置的剖面呈现不同的形态,官湖海滩西侧由于天然岬角的存在,海滩宽度在60 m左右,存在滩肩;向东海滩宽度减小,东侧海滩剖面宽度仅40 m左右,逐渐变为无滩肩剖面形态;观海湾海滩临近东部岬角,宽度在50 m左右,同样存在滩肩。

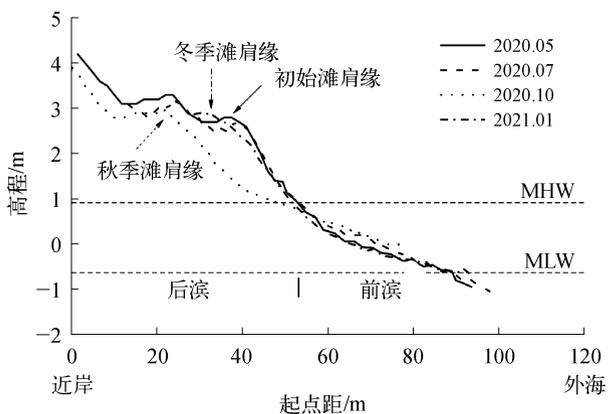


图2 官湖西侧2#剖面变化
Fig. 2 Variation of 2# profile

官湖海滩西侧剖面如图2所示,秋季后滨侵蚀深度最大位置在距近岸40 m处。冬季剖面相比于夏秋季剖面更陡,在秋季一部分后滨沙转化为前滨沙,后滨平均侵蚀0.78 m,最大侵蚀达1.7 m,前滨平均淤积0.09 m,最大淤积达0.2 m,到冬季时,一部分前滨沙由于堆积作用又转化为后滨沙,前滨平均侵蚀0.23 m,最大侵蚀达0.36 m,后滨平均淤积0.77 m,最大淤积达1.68 m,处于动态平衡的状态。滩肩缘从夏季开始向岸内方向移动,到秋季离岸最近,向岸移动约20 m,到冬季回到夏季的初始位置,滩肩长度从夏季开始到冬季,经历先变短再变长的过程。

官湖海滩东侧剖面如图 3 所示,秋季后滨侵蚀深度最大的位置在距近岸 30 m 处附近,和官湖西侧剖面相比有一定程度的后移,同时官湖海滩东侧剖面滩坎滩肩逐渐消失,剖面形状呈斜坡型,同样表现为夏秋季海滩剖面比冬春季坡度更缓,在秋季一部分后滨沙转化为前滨沙,后滨平均侵蚀 0.4 m,最大侵蚀达 0.9 m,前滨平均淤积 0.24 m;到冬季时,一部分前滨沙由于堆积作用又转化为后滨沙,前滨平均侵蚀 0.34 m,后滨平均淤积 0.35 m,最大淤积达 0.84 m。

观海湾海滩剖面如图 4 所示,后滨秋季侵蚀深度最大的位置又回到了距近岸 40 m 处。剖面同样表现为秋缓冬陡。滩肩缘夏季开始向岸内移动,秋季离岸最近,向岸移动约 20 m,冬季逐渐向海移动,但与官湖海滩西侧剖面不同,没有回到夏季的初始位置,滩肩长度从夏季开始到冬季,经历先变短再变长,比起夏季初始长度变短。在秋季一部分后滨沙转化为前滨沙,后滨平均侵蚀 1 m,最大侵蚀达 1.5 m,前滨平均淤积 0.2 m;到冬季一部分前滨沙由于堆积作用又转化为后滨沙,前滨平均侵蚀 0.2 m,最大侵蚀达 0.4 m,后滨平均淤积 0.45 m,最大淤积达 0.88 m。具体各位置前后滨平均变化量如图 5 所示。

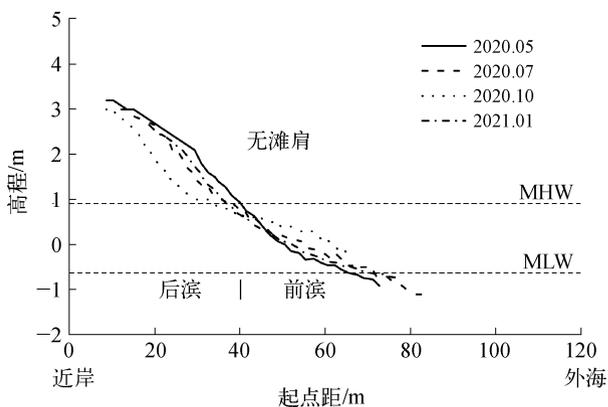


图 3 官湖东侧 6#剖面变化
Fig. 3 Variation of 6# profile

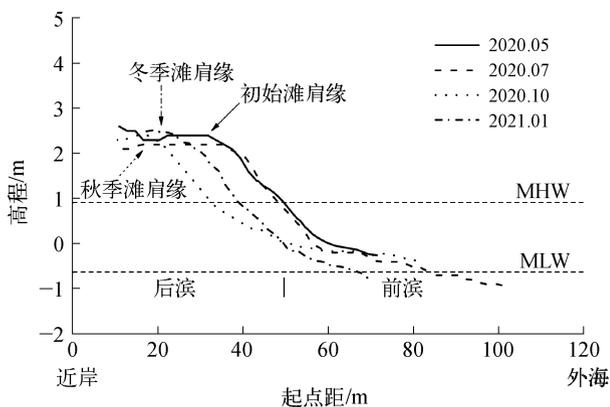


图 4 观海湾 10#剖面变化
Fig. 4 Variation of 10# profile

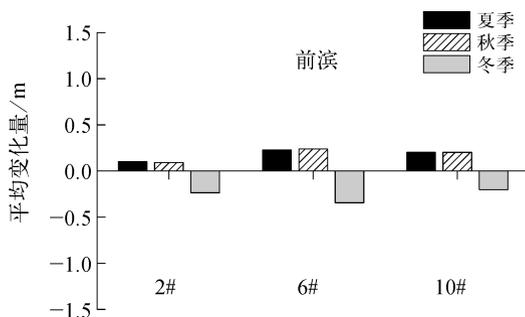
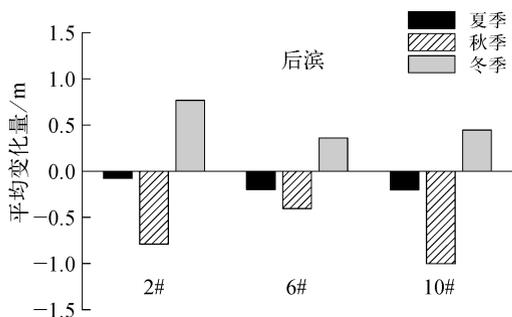


图 5 各剖面前后滨季节平均变化量(淤积为正,侵蚀为负)

Fig. 5 Average seasonal change in foreshore for each profile (siltation is +, erosion is -)

各剖面坡度特征与输沙特征如表 2 所示。

表 2 剖面坡度特征与输沙特征

Tab. 2 Profile slope characteristics and sand transport characteristics

剖面	秋季			冬季		
	后滨坡度	前滨坡度	输沙状态	后滨坡度	前滨坡度	输沙状态
2#	1 : 12	1 : 29	离岸	1 : 10	1 : 25	向岸
6#	1 : 13	1 : 29	离岸	1 : 10	1 : 27	向岸
10#	1 : 13	1 : 46	离岸	1 : 11	1 : 24	向岸

整体总结三个位置的海滩剖面虽然剖面形态各有不同,但总体呈夏秋缓冬春陡的姿态,同时在秋季,后滨的侵蚀程度与前滨的堆积程度均达到最大,而官湖西侧剖面与观海湾剖面后滨侵蚀最大处均位于距近岸

40 m 处,位于两者之间的官湖东侧剖面后滨侵蚀最大处则有一定的后移,在距近岸 30 m 处。从图 5 可以得出,三个位置的剖面均在夏季后滨成侵蚀趋势,但侵蚀幅度相对较小;秋季后滨侵蚀前滨堆积,处于离岸输沙的侵蚀状态;冬季后滨堆积前滨侵蚀,处于向岸输沙的堆积状态。

1.3 粒径特征

对沉积物采样进行级配计算,得到各剖面不同高程的 D_{50} 值,采样所处位置分别为低潮位、中潮位与高潮位。根据采样点高程不同,沉积物尽管各组分所占百分比不同,但分布均为细砂的含量较高,中砂的含量次之,粗砂再次之,砾最少。2#剖面、6#剖面、10#剖面各采样点位置 D_{50} 值如图 6 所示。

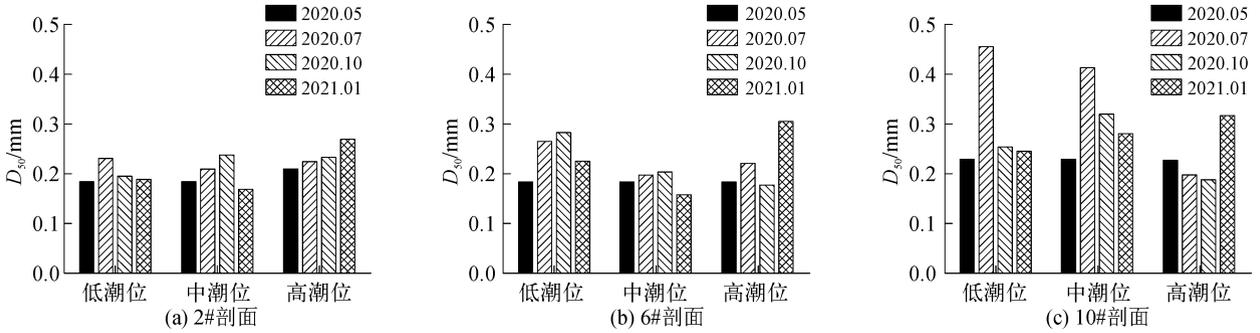


图 6 各典型剖面 D_{50} 季节分布

Fig. 6 Seasonal distribution of D_{50} for typical profile

综合看来,官湖海滩沉积物粒径整体变化幅度不大,季节性变化主要有以下两点:1) 中低潮位附近夏秋季粒径相对略粗,冬春季相对略细。夏秋季滩面呈侵蚀趋势,细颗粒泥沙流失,从而导致夏秋季滩面粒径相对其他季节较粗。2) 高潮位附近粒径在冬季相较于其他季节明显变粗。随着冬季的堆积作用,原本秋季中低潮位粗颗粒泥沙向上堆积,使得冬季高潮位处的粒径变粗。

一年四次测量证明了岬湾型海滩具有显著的季节性变化特征,开展相应的原因分析研究对于预测剖面形态、开展补沙养护工作及降低补沙流失率,具有重要的指导意义。

2 季节性变化原因分析

岬湾型海滩与一般海滩一样,处于动态变化之中,岬湾型海滩剖面形态主要与水文气象条件、海滩基本组成以及相对地理位置有关。水文气象条件包括潮汐、气温以及风暴潮等,海滩基本组成包括海床坡度与沉积物粒度分布,相对地理位置指是否靠近岬角掩护范围,而究其本质是这些因素引起了侵蚀沉积动力的改变,侵蚀沉积动力一般指风、波浪以及潮位等。根据测量期间的水文气象条件资料收集,2020 年大鹏湾地区无台风风暴潮的侵袭,实际上官湖海滩剖面季节性变化的主要影响因素为季节性风浪变化与季节性平均潮位变化。本节将结合研究区域概况,对上述官湖海滩的整体季节性变化特征进行原因分析,并对横向输沙进行计算验证。

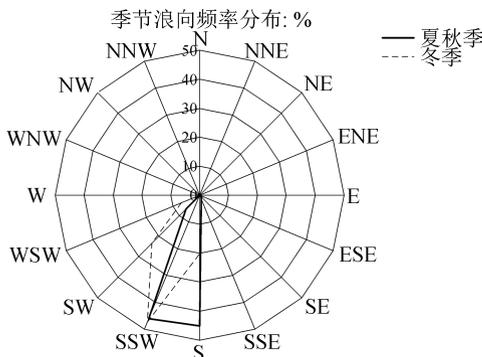


图 7 2020 年季节浪向频率分布图

Fig. 7 Seasonal wave direction frequency distribution in 2020

2.1 季节性风浪变化

采用葵涌下沙站点 2020 年 1 月 1 日 0 时—2020 年 12 月 31 日 22 时的 1/10 大波高、平均周期、有效波高、最大波高、浪向各 4 369 个数据进行波浪要素统计,绘制 2020 年夏秋季和冬季浪向频率分布图(图 7)以及 2020 年各月份平均最大波高表(表 3)。

夏秋季(2020 年 6 月—11 月),常风向为 SSW,浪相对较大,夏秋季各月份平均最大波高均大于 0.3 m,8 月份甚至接近 0.6 m,达到 0.57 m;常浪向为 SSW,频率为 46.09%,次常浪向为 S,频率为 44.99%,夏秋季常风向与常浪向一致,均为 SSW。官湖附近海

域的SSW向强浪直接作用于滩面,造成大量水体涌上滩面,海滩很快形成饱和,难以进行进一步的渗透作用,水体开始向离岸方向回流,与上冲水体形成激烈对冲,造成滩面侵蚀,同时大量沙体随回流向海搬运,所以夏秋季后滨侵蚀,前滨堆积,且秋季达到变化的最大值。之后随着回流速度的衰减,且泥沙到达闭合水深以外,逐渐在外滨处发生堆积,形成水下的离岸沙坝,阻挡了波浪的进一步侵蚀,最后随着时间的推移,恢复常浪作用下,泥沙向岸推移,在冬季恢复向岸堆积作用,使剖面达到每年的相对平衡状态。

表3 2020年各月份平均最大波高
Tab. 3 Average maximum wave height in each month in 2020

最大波高	月份											
	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月
H_{\max}/m	0.26	0.29	0.26	0.24	0.38	0.50	0.43	0.57	0.35	0.47	0.33	0.28

冬季(2020年12月—2021年2月),常风向为NW,常浪向为SSW,频率为47.16%,由于经过夏秋季的滩面侵蚀,此时坡度较缓,闭合水深以内,随着SSW波浪的持续作用与破碎,泥沙堆积在滩面,周而复始泥沙不断堆积形成滩肩;另一方面冬季常风向为NW,即离岸风,风速较大,离岸风使表层水体做离岸运动,而底层水体则做向岸运动,不断搬运泥沙在滩面堆积。随着泥沙不断向岸输运,海滩下部遭受侵蚀达到一定坡陡时,由于冬季波浪强度较夏秋季较低,各月份平均最大波高基本小于0.3m,波浪很难再搬运泥沙进入海滩,至此海滩剖面达到一个相对均衡状态,所以冬季与夏秋季相反,后滨堆积,前滨侵蚀,冬季主要受SSW向涌浪和NW向季风的影响发生堆积。

由于存在S向常浪的作用,官湖海滩走向呈NW—SE,外海波浪补沙由于东岬角的掩护作用,靠近东岬角遮蔽段受影响较小,导致官湖海滩东侧区域的观海湾海滩冬季常浪剖面恢复较慢;官湖海滩西侧剖面靠近西岬角,南向浪携带的泥沙在西岬角的掩护下,更易在西岬角的遮蔽段沉积,使官湖海滩西侧区域剖面冬季常浪剖面恢复较快。

大鹏湾区域不同季节的不同风浪组合引起的横向水流变化,使得搬运泥沙的方式也不同,泥沙的落淤与冲刷位置也不同,从而导致剖面的形态存在季节性变化。可见季节性风浪变化主要从动力的角度影响泥沙的输运,使得海滩剖面呈现夏秋季侵蚀、冬季堆积的季节性变化特征。

2.2 季节性平均潮位变化

官湖海滩与观海湾海滩虽然相对地理位置不同,海滩剖面形态有一定的差异性,但整体均处于夏秋侵蚀、冬季堆积的状态,总体呈夏缓冬陡,这一特征与大鹏湾月平均潮位的季节性变化有关。

为了精确研究大鹏湾月平均潮位变化规律,收集广东沿海多年月平均潮位与大鹏湾葵涌站2020年月平均潮位资料,如图8所示。

由图8可知,广东沿海每一个观测年期间,8月份至10月份均为平均潮位上升时段,2017年8月份至10月份,夏秋季月平均潮位上升约0.5m,2018年8月份至10月份,夏秋季平均潮位上升约0.2m。而2017年10月份到次年3月份,冬春季平均潮位处于下降趋势,2017年10月份至次年3月份,平均潮位下降约0.5m。葵涌站与广东沿海整体变化趋势基本一致,在6月份到10月份月平均潮位处于上升阶段,上升约0.29m,10月份月平均潮位到达最大值0.63m,10月份到12月份月平均潮位开始下降,但冬季的平均潮位已经远大于夏秋季上升过程中的平均潮位。冬季平均潮位处于较大值,导致破波带向岸方向移动,在破波带内产生向岸流,具有一定的上冲力,将岸外泥沙向岸搬运,使得冬季后滨堆积,前滨侵蚀,从而导致冬季剖面变陡,秋季剖面稍

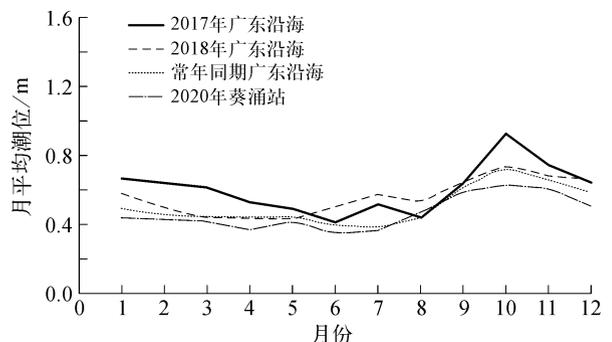


图8 大鹏湾月平均潮位变化

Fig. 8 Monthly mean tide level variation in Dapeng Bay

缓。根据著名的布容法则^[15,21],滨海海滩侵蚀后退速率与海平面增高有关,随着平均潮位上升,侵蚀基准面被抬高,同时海洋动力作用相对增强,沙量输出增大,导致海岸侵蚀后退,但该法则适用于海岸长期演变,不宜解释短期季节性变化。根据1977年Dean提出的平衡剖面半经验公式,剖面将随着水动力条件的变化形成新的平衡剖面,而1992年Bodge^[22]提出指数表达式的平衡剖面模式,1994年Komar和McDougal^[23]对其加以变换得到指数形式的新平衡剖面公式,在与Dean平衡剖面的比较中,与实际海滩剖面吻合更好,因此采用该公式计算:

$$h(y) = h_0(1 - e^{-Ky}) \quad (1)$$

式中: $h(y)$ 为离岸 y 距离处的水深, h_0 为极限水深, y 为距岸边水平距离, K 为现场测定参数。从式(1)可得,水深与离岸距离呈正相关,当潮位抬升时,即水位增加, y 也随之增加。冬季相比于夏秋季,平均潮位已经抬高到较大值,平衡剖面整体向离岸方向移动,剖面呈向平衡剖面演变的趋势,呈堆积状态;夏秋季相比于冬春季,潮位有所降低,平衡剖面整体向岸方向移动,随着剖面向平衡剖面演变,呈侵蚀状态。因此,年内月平均潮位的变化是海滩剖面季节性变化的原因之一。

2.3 季节性横向输沙计算

当一年内不同季节的波浪条件有很大变化时,海滩剖面会在风暴剖面与常浪剖面两种形式之间相互转化,假设海滩上泥沙的纵向运动是平衡的,在剖面形式转化时,一般可以认为泥沙只是在离岸区和岸边之间来回搬运,而研究表明,转化的条件与波陡、组成海滩的泥沙粒径以及海滩坡度有关。因此引出判别参数 K ^[24]对岸滩剖面的横向输沙特征进行判别:

$$K = \frac{(H_0/L_0) \tan\beta}{\omega/gT} \quad (2)$$

根据深水波弥散关系, $L_0 = gT^2/2\pi$,化简可得:

$$K = \frac{2\pi H_0 \tan\beta}{\omega T} \quad (3)$$

式中: H_0 为深水波高, $\tan\beta$ 为岸滩坡度, T 为深水波周期, ω 为泥沙沉速。泥沙沉速 ω 根据沙质泥沙沉速经验公式,根据实测资料,大鹏湾泥沙粒径处于0.05~1.8 mm区间,故采用半经验公式计算泥沙沉速 ω ^[24]:

$$\omega = 10^{-[0.447(\lg D_{50})^2 + 1.961\lg D_{50} + 2.736]} \quad (4)$$

代入式(3)得出 K 值,若 $K > 0.5$,横向输沙为离岸输沙,若 $K < 0.5$,为向岸输沙。实测波浪资料来源于葵涌下沙站,距官湖海滩最近,同时根据全年浪向频率分布图(图9所示),全年观测站点浪向大多为SSW与S向,即官湖海滩入射波浪基本处于垂直入射的情况,因此可以忽略波浪的折射效应,统计各观测月份的有效深水波高、平均波周期如表4所示。

泥沙沉速 ω 根据四次测量不同剖面的沉积物粒径 D_{50} 代入式(4)计算得出,岸滩坡度 $\tan\beta$ 根据四次测量剖面的前滩坡度计算得出,将各数据代入式(3),计算官湖海滩不同季节 K 值如表5所示。

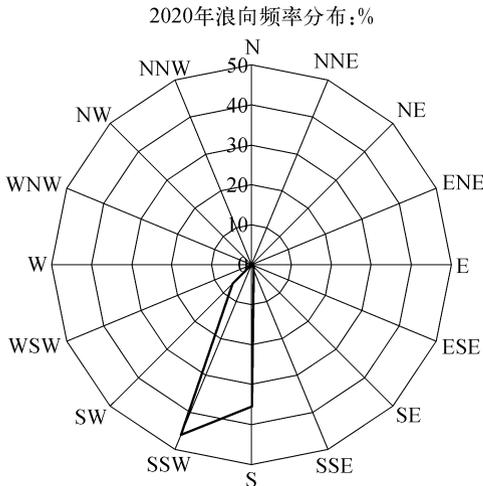


图9 2020年全年浪向频率分布图

Fig. 9 Annual wave frequency distribution in 2020

表4 官湖海滩各观测月份计算波要素

Tab. 4 Calculated wave elements for each observation month at Guanhu Beach

波要素	时间			
	2020.05	2020.07	2020.10	2021.01
H_0/m	0.27	0.31	0.33	0.18
T/s	3.96	3.82	5.26	4.56

表5 官湖海滩剖面K值季节分布
Tab. 5 Seasonal distribution of K values in the Guanhu beach profile

时间	K 值		
	2#剖面	5#剖面	10#剖面
2020.05	0.66	1.01	0.50
2020.07	0.74	0.64	0.85
2020.10	0.80	1.03	0.68
2021.01	0.22	0.31	0.26

可见官湖海滩剖面尽管位置形态有所不同,但K值在夏秋季均大于0.5,冬季小于0.5,说明官湖海滩处于夏秋季离岸输沙、冬季向岸输沙的状态,与上文剖面形态演变即夏秋季侵蚀、冬季堆积的规律一致。

3 结 语

基于2020—2021年大鹏湾官湖海滩实测数据,总结大鹏湾岬湾型海滩季节性变化特征及原因,运用平衡剖面与横向输沙判别式等公式验证了理论与实测数据的一致性,为该区域海滩养护与防御工程的实施提供科学指导,具体结论如下:

1) 官湖海滩剖面坡度夏秋缓冬春陡,夏秋季后滨侵蚀,前滨堆积,冬春季相反,海滩剖面坡度秋季达到最大,春季最小。

2) 官湖海滩泥沙粒径季节性变化幅度不大,中低潮位附近夏秋季粒径相对略粗,冬春季相对略细,高潮位附近冬季粒径明显粗于其他季节。

3) 岬湾型海滩剖面季节性变化与风浪、平均潮位的季节性变化密切相关。夏秋季平均潮位逐渐升高,南向波浪强度较大,在二者的共同作用下,海滩后滨侵蚀明显,泥沙离岸输运,并在前滨淤积,冬春季,平均潮位逐渐回落,波浪强度亦减弱,夏秋季前滨淤积的泥沙发生侵蚀,并在后滨淤积,形成海滩剖面一年四季的周期性变化。

4) 通过横向输沙理论公式计算,官湖海滩剖面夏秋季为侵蚀型剖面,冬春季为堆积型剖面,与实测海滩剖面结果一致。

5) 由于官湖海滩夏秋季侵蚀冬季堆积,应当在夏秋季进行适当的补沙防御措施,减少海滩面积损失,同时由于官湖海滩东侧与观海湾海滩堆积恢复作用较慢,补沙体积应略大于官湖海滩西侧,即补沙的重点区域宜为官湖海滩东侧与观海湾海滩,且根据各剖面季节性变化规律,主要流失部位为滩肩,应进行滩肩补沙。若修建相关海岸工程,应主要防御SSW向波浪,削弱夏秋季波浪的侵蚀作用。

参考文献:

- [1] REGUERO B G, LOSADA I J, MÉNDEZ F J. A recent increase in global wave power as a consequence of oceanic warming[J]. Nature Communications, 2019, 10(1): 1-14.
- [2] MO W, WANG D, QIU L. Effects of human activity on the sandy coast in Hainan Island, China[J]. Shore & Beach, 2013, 81(2): 41-46.
- [3] 于吉涛, 陈子桑. 砂质海岸侵蚀研究进展[J]. 热带地理, 2009, 29(2): 112-118. (YU Jitao, CHEN Zishen. Study progress of sandy coastal erosion[J]. Tropical Geography, 2009, 29(2): 112-118. (in Chinese))
- [4] 唐筱宁, 王绿卿, 杨锦凌. 护岸工程与海滩流失[J]. 海岸工程, 2015, 34(2): 33-39. (TANG Xiaoning, WANG Luqing, YANG Jinling. Revetment construction and beach erosion[J]. Coastal Engineering, 2015, 34(2): 33-39. (in Chinese))
- [5] 程武风. 岬湾海滩的稳定性与沉积行为[D]. 上海: 华东师范大学, 2017. (CHENG Wufeng. Stability and sedimentary behaviors of headland-bay beaches[D]. Shanghai: East China Normal University, 2017. (in Chinese))
- [6] 王广禄. 海湾海滩修复研究[D]. 杭州: 国家海洋局第三海洋研究所, 2008. (WANG Guanglu. The study of bay beach restoration and nourishment[D]. Hangzhou: Third Institute of Oceanography State Oceanic Administration, 2008. (in Chinese))
- [7] 李广雪, 宫立新, 杨继超, 等. 山东滨海海滩侵蚀状态与保护对策[J]. 海洋地质与第四纪地质, 2013, 33(5): 35-46.

- (LI Guangxue, GONG Lixin, YANG Jichao, et al. Beach erosion along the coast of Shandong Province and protection countermeasures[J]. *Marine Geology & Quaternary Geology*, 2013, 33(5): 35-46. (in Chinese))
- [8] 周赢涛, 冯曦, 管卫兵, 等. 风暴浪作用中岬角型弧形海滩冲淤过程研究[J]. *泥沙研究*, 2019, 44(4): 73-80. (ZHOU Yingtao, FENG Xi, GUAN Weibing, et al. Study on characteristics of beach scour in headland bays due to storm wave action [J]. *Journal of Sediment Research*, 2019, 44(4): 73-80. (in Chinese))
- [9] 向亚武, 王永红. 海岛岬湾海滩稳定性分析——以长岛明珠广场海滩和荣成镆铳岛海滩为例[J]. *海洋地质前沿*, 2018, 34(8): 7-17. (XIANG Yawu, WANG Yonghong. Stability analysis of headland bay beach around island: taking Mingzhu Square beach of Chang island and Moye island beach of Rongcheng as examples[J]. *Marine Geology Frontiers*, 2018, 34(8): 7-17. (in Chinese))
- [10] SHEPARD F P. Beach cycles in southern California[J]. *U. S. Army Corps of Engineers Beach Erosion Board Techn. Memo*, 1950(7): 31.
- [11] 周赢涛, 冯曦, 管卫兵, 等. 波浪作用下岬湾海滩蚀积特点: 以澳大利亚 Narrabeen 海滩为例[J]. *科学通报*, 2019, 64(2): 223-233. (ZHOU Yingtao, FENG Xi, GUAN Weibing, et al. Characteristics of beach erosion in headland bays due to wave action: Taking the Narrabeen beach in Australia as an example [J]. *Chin Sci Bull*, 2019, 64(2): 223-233. (in Chinese))
- [12] KURIYAMA Y, YANAGISHIMA S. Investigation of medium-term barred beach behavior using 28-year beach profile data and Rotated Empirical Orthogonal Function analysis[J]. *Geomorphology*, 2016, 261: 236-243.
- [13] 黄世昌, 姚文伟, 刘旭, 等. 淤泥质海床相邻的岬湾海滩剖面特征研究[J]. *海岸工程*, 2016, 35(4): 1-9. (HUANG Shichang, YAO Wenwei, LIU Xu, et al. Profile characteristics of the beaches adjacent to muddy seabed in the headland bays [J]. *Coastal Engineering*, 2016, 35(4): 1-9. (in Chinese))
- [14] 吴多誉, 张航飞, 张东强, 等. 琼东北海湾海滩地形年度变化特征对比分析[J]. *海岸工程*, 2021, 40(1): 29-36. (WU Duoyu, ZHANG Hangfei, ZHANG Dongqiang, et al. Annual changes characteristics of beach topography in the northeastern bays of Hainan Province [J]. *Coastal Engineering*, 2021, 40(1): 29-36. (in Chinese))
- [15] BRUUN P. Sea-level rise as a cause of shore erosion[J]. *Journal of the Waterways and Harbors Division*, 1962, 88: 117-130.
- [16] MEDINA R, LOSADA M A, LOSADA I J, et al. Temporal and spatial relationship between sediment grain size and beach profile[J]. *Marine Geology*, 1994, 118(3-4): 195-206.
- [17] DÍEZ J, COHN N, KAMINSKY G M, et al. Spatial and temporal variability of dissipative dry beach profiles in the Pacific Northwest, USA[J]. *Journal of Coastal Research*, 2018, 34(3): 510-523.
- [18] 冯哲, 王永红, 易李达玲. 岬湾海滩剖面中长期变化特征及其控制因素——以青岛石老人海滩为例[J]. *海洋科学*, 2016, 40(7): 100-109. (FENG Zhe, WANG Yonghong, YILI Daling. Characteristics of long-and medium-term variation in bay beach profiles and associated control factors at Shilaoren Beach, Qingdao [J]. *Marine Sciences*, 2016, 40(7): 100-109. (in Chinese))
- [19] 彭俊, 蔡锋, 赵广涛, 等. 福建湄州岛西南部海滩重塑后剖面的季节变化特征[J]. *海洋湖沼通报*, 2005(4): 61-68. (PENG Jun, CAI Feng, ZHAO Guangtao, et al. The seasonal profile change characteristics due to beach reshaping southwest of Meizhou island in Fujian [J]. *Transactions of Oceanology and Limnology*, 2005(4): 61-68. (in Chinese))
- [20] 国家海洋信息中心. 潮汐表: 2020 第 3 册台湾海峡至北部湾[M]. 北京: 海洋出版社, 2019. (National Oceanic Information Center. Tide table: 2020 Volume 3, Taiwan Strait to Beibu Gulf [M]. Beijing: Ocean Press, 2019. (in Chinese))
- [21] SCHWARTZ M. The Bruun theory of sea-level rise as a cause of shore erosion[J]. *Journal of Geology*, 1967, 75(1): 76-92.
- [22] BODGE K R. Representing equilibrium beach profiles with an exponential expression[J]. *Journal of Coastal Research*, 1992(8): 47-55.
- [23] KOMAR P D, MCDOUGAL W G. The analysis of exponential beach profiles[J]. *Journal of Coastal Research*, 1994(10): 59-69.
- [24] 邹志利. 海岸动力学[M]. 北京: 人民交通出版社, 2009. (ZHOU Zhili. Coastal dynamics [M]. Beijing: People's Communications Press, 2009. (in Chinese))