

海平面上升与海滩侵蚀

王 颖 吴 小 根

(南京大学大地海洋科学系、海岸与海岛开发国家试点实验室, 南京 210093)

提 要 世纪性的海平面持续上升, 加大了海岸水下斜坡深度, 逐渐减小波浪对沉溺古海岸的扰动作用而形成海底的横向供沙减少, 却加强激浪对上部海滩的冲刷。逐渐上升的海平面, 降低了河流坡降而减少了入海沙量。因此世界海滩普遍出现沙量补给匮乏。海平面上升伴随着厄尔尼诺现象与风暴潮频率的增加, 水动力加大。这两者的综合效应, 使海滩遭受冲刷, 沙坝向陆移动。如按 IPCC 估计, 至 2100 年海面上升 50cm 时, 中国主要旅游海滨的沙滩将损失现有面积的 13%—66%。主要对策是海岸防护与海滩人工喂养。

关键词 海平面 中国海岸 海滩冲刷 海滩喂养

1 世纪性的海平面上升

海平面变化由不同的作用过程形成, 具有长、短周期的不同变化。扼要综述海平面变化的研究成果, 有助于阐明海岸过程背景, 主导变化作用与海岸效应的内在机制。

长周期海平面变化被概括为水动型(eustatic)与均衡型(isostatic)两类。全球规模的变化影响到海水的总量或海盆的体积为水动型海平面变化, 是由于构造运动、洋盆被沉积物充填、冰川作用或水体密度的变化所产生。均衡型表现为地方性的变化, 由于陆地相对于静态海面的挠曲活动所形成, 或伴随冰川后退由于均衡作用形成的区域上升, 或地区沉陷而成。最重要的长周期海平面变化是构造-水动型的(tectono-eustatic)。冰川水动型(glacio-eustatic)的变化, 虽在地质历史时期发生较少, 但在过去的 300 万年期间海平面变化与陆地上冰盖的生长与消融有关。形成于晚第三纪的南极冰盖是水动型海平面变化的最重要的因素, 其生长消退导致第四纪海平面变化迅速的响应^[1]。

应用稳定同位素定年法, 对来自陆架不同深处的泥炭层、潮间带有机体与化石、海滩岩及海成阶地的年代测定, 已获得有关距今 50 000—40 000 年时期海平面变化的局部资料, 了解到距今 30 000 年至 25 000 年前的间冰期时, 海平面与现代海面高度相当。由于最后一次冰期开始, 冰川生长而海平面下降, 下降的最大值估计为 75—130m(多数人采用低于现代海面 100m 的数值), 发生于 18 000 年前。全新世海侵约始于 17 000—15 000 年前, 海平面上升迅速, 速率可达 8—10mm/a。此上升持续到 7 000 年前, 该时的海面约相当于现在海面的

• 南京大学海岸与海岛开发国家试点实验室, 成果编号 SCIEL21193101。

[1] Scientific Committee on Ocean Research, Working Group 89: The Changing Level of The Sea and Models of Beach Responses, 1993.

来稿日期: 1993 08; 收到修改稿日期: 1994 11。

10m 深处。距今 5 000 年时,海面上升率剧减为 1mm/a,此速率一直保持到近期的 200 年期间。对以海成阶地或沿岸堤保存下来的高海面,大多数观察者认为是地方性的构造抬升效应而非起源于水动型,并认为现代海平面是全新世海侵以来最高的位置^①。

海平面继续在变化,证据来自验潮站水位记录分析,展现出—个世界范围的海平面上升,源于冰川的进一步融化与海洋水体热膨胀。近 200 年的验潮资料(瑞典 Brest 站位记录始自 1704 年,荷兰 Amsterdam 站位始自 1682 年,以 Brest 站自 1807 年的记录最为标准)反映出海平面上升趋势与大气温度、海水表层温度变化趋势呈良好的相关,并且自 1930 年以后,海平面上升速率增加。构造活动与人类影响使陆地水准发生变化,使海平面上升值形成明显的地区差异,纽约验潮站代表美国东海岸状况,近百年海平面上升速率为 3mm/a,是海平面上升与相当数量陆地下沉的综合效应。南部的得克萨斯站位资料表明海平面上升速率的平均值达 6mm/a,原因在于抽取地下水与原油而引起的地面沉降。美国西海岸俄勒冈站几乎未表示出相对的海平面上升,因为水动型的海平面上升与陆地抬升量相当。D. Aubrey 与 K. O. Emery 的工作试图将新构造运动上升值与全球性的水动型上升区别开来。虽然验潮站分布在南半球稀少,但从全球范围的验潮记录进行相近比较与趋势性分析,在过去 50 年到 100 年间,水动型的海平面上升值变化为 1—2mm/a。尽管测算方法不同,但结果相近(表 1)。

表 1 据验潮资料所确定的全球水动型海平面变化^{*}

Tab. 1 Global eustatic sea level changes derived from tide gauges

研 究 者	上升速率(mm/a)
Gutenberg (1941)	1.1±0.8
Kuenen (1950)	1.2—1.4
Lisitzin (1958)	1.1±0.4
Wexier (1961)	1.2
Fairbridge and Krebe (1962)	1.2
Hicks (1978)	1.5±0.3
Emery (1980)	3.0
Gornitz et al. (1982)	1.2
Barnett (1982)	1.51±0.15
Barnett (1984)	2.3±0.2
Gornitz and Lebedeff (1987)	1.2±0.3
Braatz and Aubrey (1987)	1.1±0.1
Peltier and Tushingham (1989)	2.4±0.9
Douglas (1991)	1.8±0.1
谢志仁 (1992)	0.7—1.2

^{*} 据国际海洋研究科学委员会第 89 工作组

近数十年来海面加速上升与地球的温室效应有关。人们预测,由于全球变暖使冰川融溶

① SCOR Working Group 89. The Changing Level of the Sea and Models of Beach Responses. 1993.

与海水热膨胀,可使海面上升的数值如下:政府间气候变化专门委员会(IPCC-WG1,1990)估计至2050年海平面上升30—50cm,至2100年海平面可能上升1m,美国环境保护局预测到2100年海平面将上升50—340cm,相当于5—30mm/a上升速率^[1]。全美研究委员会的二氧化碳评估组(The committee of the National Research Council on Carbon Dioxide Assessment)提出,至2100年,海平面上升速率为7mm/a^[2]。Van Der Veen (1988)估计,至2085年海平面上升率为2.8—6.6mm/a^[3]。这些数据比过去100年来海平面1—2mm/a的上升速率高出2—4倍。

国家海洋局1990年公布了据44个站位的验潮资料分析结果:到1989年为止的近30年来,中国沿岸海平面平均上升速率为0.14cm^①。国家测绘局于1992年7月发布根据9个观测站的资料分析结果:在过去100年中,中国东海与南海沿岸海平面分别上升19cm与20cm,中国海平面的年上升率为2—3mm,未来海平面仍呈上升趋势^②。同时,发表了对世界的102年验潮站海平面记录的计算分析结果:在过去100年中,全球海平面平均上升15cm,太平洋海平面上升10cm,大西洋海平面上升29cm,印度洋海平面上升39.6cm。上述资料表明,海平面变化存在着海区差异与时段的差异,但过去100年的海平面上升数值是相近的,未来海平面上升趋势与速率增加是为大多数学者所肯定的。

短周期海平面变化,是由于大气与海洋作用过程的变化,如海水温度的地区性变化、海岸水流强度的改变、气压与风作用力与方向的改变等所造成的海平面年度变化、季节变化或日变化等。最突出的短周期海平面变化与太平洋的厄尔尼诺(El Nino)的发生有关。在太平洋东岸的赤道附近的岛屿验潮站重复记录到,在不到一年的时间内,海平面变化达到40—50cm。在美国西岸,由于厄尔尼诺形成的海平面高达10—20cm。1982—1983年间,俄勒冈州海岸由于厄尔尼诺与海平面季节变化造成海面在12个月内抬升达60cm。风暴潮所形成的增减水在孟加拉湾形成年海平面差异达100cm的记录^[4]。人类活动的影响,如过渡抽取地下水或建筑物重载,使河口三角洲地区大面积沉降,加大海平面上升值,如天津新港码头自1966—1985年下沉达0.5m(国家测绘总局,1992年)。从某种意义上讲,这类变化可归为短周期变化,通过人工措施可控制这类变化。短周期海平面变化对海岸带会形成灾害性破坏,而对海岸潜在效应的推究,研究工作应致力于世纪性的全球范围的水动型海平面上升。这种世纪性的、全球性范围的变化促进了风暴潮与厄尔尼诺现象发生频率的增加。

2 海岸侵蚀效应

全球海平面上升在海岸带的主要反应是海滩侵蚀和海岸沙坝向岸位移。组成海滩与沙坝的沉积物主要是砂级的,属波场中的沉积物,是由波浪自水下岸坡海底掀带,并被浪、流进一步搬运(以横向运动为主)至岸坡上部堆积的。泥沙或来源于河流供给,或来自海蚀岸段以及由近岸海底供沙。后者主要是古海岸堆积(如中国沿岸),或为冰期低海面时的冰川作用沉积(如欧、美沿岸)。由于海平面持续上升,加大的水深,使波浪对古海岸带的扰动作用逐渐减

① 国家海洋局,一九八九年中国海洋环境年报,1990年3月。

② 国家测绘局,中国海平面每年上升二至三毫米,人民日报海外版,1992年7月8日第3版。

小而形成海底的横向供沙减少,却加强了激浪对上部海滩的冲刷。同时,逐渐升高的海平面,降低了河流的坡降,减小了河流向海的输沙量。因此,世界上大部分海滩普遍出现沙量补给匮乏。海平面上升伴随厄尔尼诺现象与风暴潮频率的增加,使水动力作用加强,加上泥沙量匮乏的综合效应,使海滩普遍遭受冲蚀,而沙坝向海坡受冲刷,与越流扇(overwash fan)的形成过程,综合表现为沙坝的向陆迁移。

Bruun P. 以图式表明了海平面上升与海滩变化效应^[5,6]。Bruun 定律的大意是:随着海平面上升,海滩与外滨浅水区的均衡剖面呈现向上部与向陆的移动,海滨线的后退速率(R)与海平面增高(S)有关,即

$$R = \frac{L}{B+h} S \quad (2-1)$$

h 是近滨沉积物堆积的水深, L 是海滩至水深 h 间的横向距离, B 代表滩肩的高度。

关系式(2-1)亦可表示为

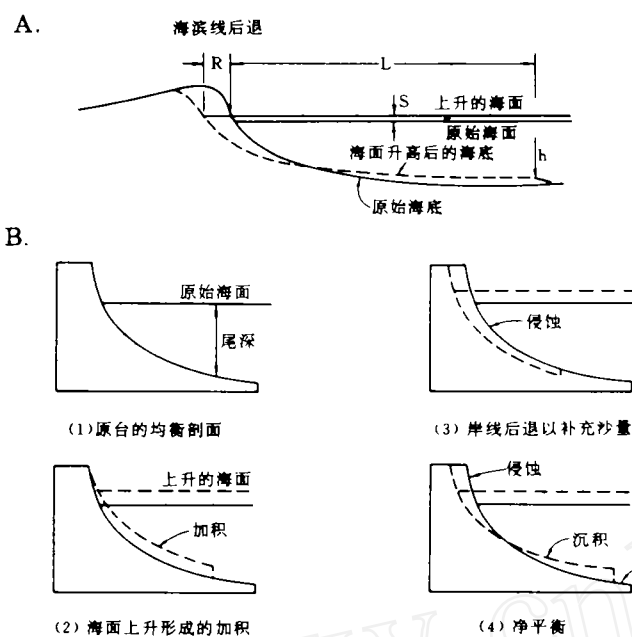
$$R = \frac{1}{\tan\theta} S \quad (2-2)$$

$\tan\theta \approx (B+h)/L$,是指沿着横距 L 的近滨平均坡度。砂质与砂砾质海岸的坡度大部分为 $1/100-1/200$ 间,即 $\tan\theta \approx 0.01$ 至 0.02 。因此据公式(2-2)可得到 $R=50S$ 至 $100S$,表明微小的海平面上升可形成较大的海滨线后退。图 1 是对 Bruun 定律的图解。

图 2 系秦皇岛海岸剖面重复测量记录^[7],其中南山灯塔岸段系海蚀基岩岸。1973 年 8 月较 1964 年 7 月所测剖面,显示海蚀崖与岩滩蚀退变低,仅岩滩外侧有砾石堆积,而石河口堆积海岸则显示上部海滩侵蚀与下部堆积。山东半岛平直砂岸海滩剖面重复测量资料也反映出类似的特点(图 3)。说明 Bruun 图式具代表性。Bruun 图式表明达到均衡剖面的海岸在海平面上升过程中海滩再造的情况,而不适宜于非堆积型的海岸与海蚀(如秦皇岛南山)或海积变化剧烈的岸段。

砂质海滩的侵蚀在中国是普遍的。如,1989 年 5 月至 1990 年 5 月辽东半岛盖县开敞沙质海滩侵蚀速率最大达 6.8m/a ,1989 年至 1993 年 4 年平均侵蚀后退速率约 2m/a 。1989 年到 1993 年 4 年间辽西六股河一带海滩蚀退率约 1m/a ^①。近 20 年来山东半岛砂质海滩蚀退速率约 $1-2\text{m/a}$,造成海滩沙亏损约 $2 \times 10^7\text{t/a}$ ^[8]。海岸蚀退在河口段尤为严重,海浪冲毁了海滩防护林,威胁农田与建筑,咸化了滨海地下水。海滩侵蚀后退与世纪性的全球海平面上升有关,也受到人为的影响:河流中下游水库拦沙,减少了海滩沙之补给。人工采沙做建筑材料销售,使海滩沙益加亏损。失去海浪作用与泥沙补给之平衡,使海滩遭受侵蚀。如,滦河自引滦输水工程后,上游泥沙主要淤积于潘家口水库与大黑汀水库内,多年平均入海水量由 $41.9 \times 10^8\text{m}^3$ 减为 $3.55 \times 10^8\text{m}^3$,而多年平均输沙量由工程前的 $2219 \times 10^4\text{t}$ 减至 $103 \times 10^4\text{t}$ 。海岸泥沙补给骤减,滦河三角洲沙质海岸由加积而转为蚀退,口门岸滩蚀退率达 300m/a ,岸外沙坝蚀退率 25m/a ,海岸蚀退速率较工程前约增加 6 倍,潟湖淤泥层普遍于沙坝外缘出露^[9]。自 70 年代以来,浙闽沿岸沙质海滩或沙丘冲蚀后退约 $1-4\text{m/a}$,老岸堤组成的红砂台

① 庄振业,常瑞芬,苗丰民等. 鲁、辽砂质海岸蚀退研究. 中国海平面变化和海岸侵蚀工作组 1994 会议.



- A. 由于海面上升引起海滩剖面的净变化, 根据 Bruun 定律, 海面上升(S) 将引起外滨带堆积及海滩上部侵蚀, 总的侵蚀后退率(R)。
- B. 根据 Bruun 定律分析公式(1), 由于海面上升(S), 因此海滩向陆侵蚀后退(R)。

图 1 Bruun 定律图解(据 SCOR WG89, 1991)

Fig. 1 The net change in beach-profile position due to a rise in sea level according to the Bruun model

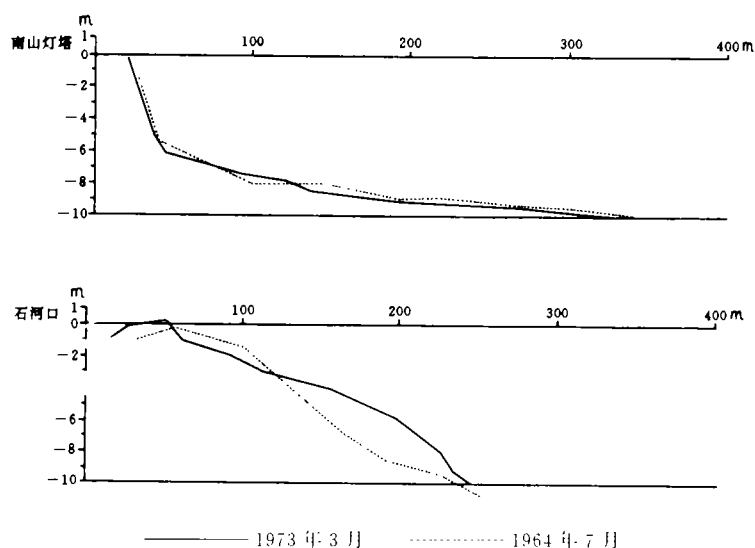


图 2 秦皇岛 1973 年与 1964 年水下剖面比较

Fig. 2 The comparison profiles on submarine coastal slope of Qinghuangdao during 1964 to 1973

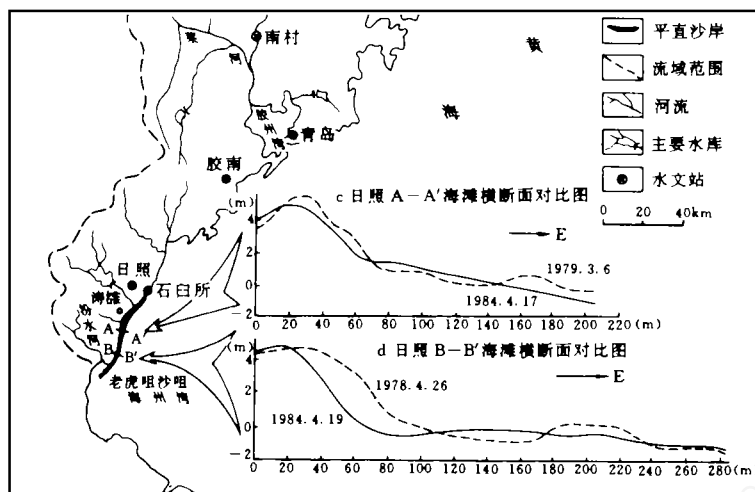


图3 山东半岛两段平直砂岸及其蚀退情况^[5]

Fig. 3 The comparison profiles on beaches in the Rizhao area of Shandong during 1978 to 1984

地蚀退速率高达 $0.4-1\text{m/a}$, 而基岩岬角岸段蚀退速率约为 0.1m/a ^[1]。海滩侵蚀主要发生于台风或寒潮大浪期间, 而后逐渐加积成平缓剖面, 由于泥沙亏损与世纪性的海平面持续上升, 净效果表现为海岸的后退。在构造上升的丘陵或岛屿海岸段, 海平面上升的效果不甚明显。但是, 由于人工采沙而导致海滩侵蚀使滩肩消失的现象却是普遍的。如江苏赣榆县九里沙滩, 水下取沙做建材出售, 海滩受蚀几尽, 现已禁止采沙并修建水泥堤防冲, 但沙滩风光已消失。海南岛三亚湾由于采沙加速海滩冲蚀, 海滩剖面降低, 木麻黄林亦遭受损坏。

沙质海滩自低潮线向下至激浪带外缘, 宽度大, 脊槽起伏, 粗细砂夹杂, 激浪带外缘有陡坡坡折。低潮水边线附近为 $1^{\circ}-2^{\circ}$ 平坦坡的细粒沙滩。高低潮间的海滩宽度不大, 一般不超过 50m , 相对高度小于 1m , 海面间或有脊湾交错的滩尖咀微地形。高潮线附近坡度增大至 $4^{\circ}-7^{\circ}$, 砂粒增大并夹杂贝壳或海藻残体, 部分陡滩坡度约 12° 。特大高潮线以上多为长草的沙丘或沿岸沙堤, 其向海坡可增大至 20° , 沙堤高度 $2-5\text{m}$ 不等, 沙丘叠加处高度可达 10m 或更高。沿岸堤系全新世的海滩脊或晚更新世的古海滩, 大部分已发展为海滩上部的沙丘带, 不经常受到海浪冲刷, 可视为一天然的海滨屏障。上述各带系海滩的整体结构, 由于人工采沙或其它原因, 破坏了海滩水下部分的动态平衡——海浪动力与泥沙供应间的平衡, 会招致上部海滩遭受冲刷破坏。

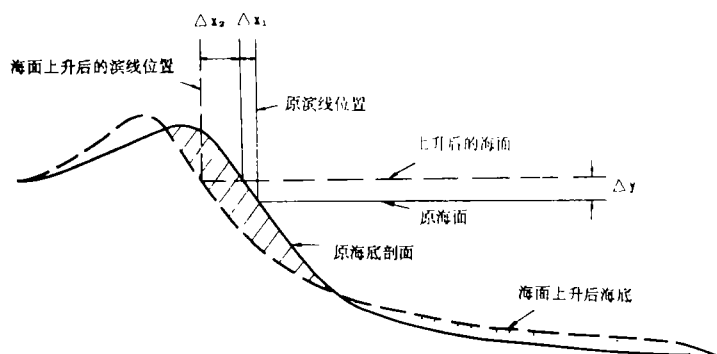
海平面上升与海滩侵蚀是全球性现象, 为此, 海洋研究科学委员会 (Scientific Committee on Ocean Research, SCOR) 已成立专门工作组进行研究, 作为工作组的成员之一, 作者结合中国海岸实际介绍了 SCOR 的主要结论。中国科学院地球科学部提出: 预估当 21 世纪海平面上升 50cm 时, 中国主要海滨旅游海滩的变化数据。本文选择了大连、秦皇岛、青岛、北海、三亚等 5 处著名海滨旅游区内的若干海滩进行了分析计算 (表 2)。上述各地均有我们多年考察的实测剖面数据, 海岸段近滨带外界水深, 除北海为 -2m 外, 其余均采用 -5m , 再

[1] 据福建省地震局姚庆元实测资料。

表 2 海平面上升 0.5m 对我国重要海滨旅游区海滩的影响
Tab. 2 The net result of beach erosion in China by 0.5m of sea level rising during next century

海滨位置	现代海平面之海滩			海平面上升 0.5m 之海滩响应预测					
	长 (m)	平均宽 (m)	相对高 (m)	面积 (m ²)	海滩淹没		海滩侵蚀		综合效应
					损失面积(m ²)	损失率(%)	损失面积(m ²)	损失率(%)	损失面积(m ²) 损失率(%) 淤线后退(m)
星海公园	2125	68.5	6.1	145613	6.8	14450	26.5	56314	33.3 70764 38.7 48.6
大山宾馆	510	42.4	3.8	21645	7.4	3774	15.8	8078	23.2 11852 37.3 54.7
大连沙滩	756	56.3	3.8	42560	7.9	5972	24.7	18674	32.6 24646 43.9 57.9
小计	3391	61.9		209818	6.8-7.9	24196	15.8-26.5	83066	23.2-33.3 107262 51.1
北戴河	7850	87.1	5.9	683456	8.7	68295	48.8	383080	57.5 451375 56.1 66.1
西向河寨	3124	223.6	6.4	698466	6.7	20930	41.5	129650	48.2 150580 18.6 21.6
山东堡	756	88.2	3.5	66672	7.5	5670	25.4	19202	32.9 24872 28.8 37.3
小计	11730	123.5		1448594	6.7-8.7	94895	25.4-48.8	531932	32.9-57.5 626827 43.3
青岛湾	1356	72.8	6.0	98650	8.5	11526	37.9	51455	46.4 62981 52.2 63.9
汇泉湾	1124	70.6	6.0	79356	7.0	7868	38.6	43386	45.6 51254 54.7 64.6
浮山所口	1625	193.1	5.4	313857	8.9	14462	26.4	42932	35.3 57394 13.7 18.3
小计	4105	119.8		491863	7.0-8.9	33856	26.4-38.6	137773	35.3-46.4 171625 34.9
外沙	2530	60.8	6.2	153750	5.8-9.5	17254	27.9	70587	33.7-37.4 87841 45.9 57.1
北海至电白寨	5516	258.4	5.0-9.2	1425588	5.4-9.8	41926	48.1	265335	53.5-57.9 307261 18.6 21.5
电白寨至白虎头	5165	183.2	5.0-7.2	946363	5.4-8.7	36457	45.2	233458	50.6-53.9 269915 24.7 28.6
小计	13211	191.2		2525701	5.4-9.8	95637	27.9-48.1	569380	33.7-57.9 665017 22.5 26.3
大东海	2650	81.5	5.9	215905	7.9	20935	12.2	32330	20.1 53265 15.0 24.7
亚龙湾	8880	166.1	5.4-13.4	1475184	6.8-9.8	74592	12.7	112776	19.5-22.5 187368 7.6 12.7
三亚湾	16360	296.2	3.3-11.6	4846024	5.6-10.2	137654	43.6	713296	49.2-53.8 850950 14.7 17.5
小计	27890	234.4		6537113	5.6-10.2	233181	12.2-43.6	858402	20.1-53.8 1091583 13.1 16.7
总计	60327	185.9	3.3-13.4	11213085	5.4-10.2	481765	12.2-48.8	2180553	20.1-57.9 2662314 19.4 23.7

注:表中海滩面积指低潮海滨线以上包括沿岸砂坝在内的海滨沙滩面积



(Δy 为海面上升幅度, Δx_1 Δx_2 分别为海滨线因海滩遭受淹没和侵蚀而产生的后退量;假定海面上升前后的海滩剖面均已达到平衡)

图 4 海面上升使海滩遭受淹没与侵蚀

Fig. 4 Submerged and erosional beach as sea level rising

结合大比例尺地形图与海图,可以获得有关参数。作者经过对多处海岸剖面重复测量结果对比研究后,认为 Bruun 公式基本上反映海滩变化的自然规律,接受了为国际海洋界所肯定的 SCOR89 工作组研究成果。作者结合对我国海滩研究的认识,并对 Bruun 图加以修正(图 4)。图中滨线采用低潮海滨线, Δy 为预定的海平面上升幅度; Δx_1 表示因海平面上升使部分海滩受淹没而产生的后退量; Δx_2 为海平面上升而产生的海滩侵蚀后退量,由于海平面上升而形成的海滩总后退量为 Δx_1 与 Δx_2 之和,计算的基本依据是海滩趋向于在海平面变动情况下形成新的均衡剖面。表 2 总结了各海滨沙滩在 21 世纪海平面上升 0.5m 后的淹没与冲蚀后退数值。各海滨沙滩面积损失的最小值为 12.7%(亚龙湾),因为该处海岸坡度较大,最大值达 66%(北戴河海滨),上述海滩面积总损失量可达 $266 \times 10^4 \text{m}^2$ 。实际损失值可能要大于上述预算数值,因为激浪与风暴潮作用将更加频繁,其影响的范围更大,大部分海滩均会遭受海水淹浸冲蚀。

3 海滩侵蚀预测与对策

海滨是旅游胜地,以阳光、沙滩与海鲜三 S 著称,供人们增进健康、陶冶心情,开展体育、研究与经营活动。80 年代末以来,国际旅游业已超过石油工业与汽车制造业,成为国际最大的产业,发达国家的海滨旅游业产值约占旅游业总值的 2/3。由海平面上升造成的海滨沙滩的冲蚀破坏,不仅丧失了旅游休憩之场所,而且还会危及滩后沙丘带、潟湖水域、沿岸建筑,蚕蚀岸陆土地与破坏陆地环境,所造成的经济损失与社会影响是不容忽视的。

日益发展的海滩侵蚀已引起各界人士的关注,并成为海岸工程研究的热点课题。当前防护海滩侵蚀最有效的措施是海滩喂养(Beach Nourishment),并辅以导堤促淤或外防波堤掩护,视海岸环境的特点而定。这种措施已为欧、美、日等国广泛应用。采用海滩砂人工补给法,必须对目标海岸段充分调查研究,包括海岸与海底地形、波浪折射、激浪带的横向与纵向泥

沙运动、风力运沙与沙丘带活动状况、沉积物粒径与分布、海岸冲刷与堆积特点、海岸演变与地质过程以及航片与海图的重复测量等。通过调查确定沙源、泥沙粒径、人工海滩型式、防浪掩护的方式以及人工海滩可维持的期限等,然后进行供设计与施工所需的数学模拟。例如,在有一定潮差的海岸段落人工补充的沙量(m^3/a)需增加 40% 的耗损量^[10],再求出按需要与经费条件所能达到的维持年限(5 年、10 年、12 年),最后计算出应补充的总砂量。同时,计算确定人工海滩的长宽比、铺设部位、预定的高度、海滩坡度以及选用砂的粒径等。如选用的砂较原海滩砂细,则均衡剖面的坡度较平缓,可能招致较大的失砂量。目前多开采外滨古海岸砂补充现代海滩,该处水深已超过海岸泥沙活动带,有限量地采沙不会形成对现代海岸过程的破坏。人工堆沙部位以沙丘带坡麓与低潮水边线以下 1m 水深处为宜,该处为海滩活跃地带,最需补充沙量。虽然铺沙后改变不了海滩过程性,仍会发生季节性变化,但是,在相当长的期限内,为该海滨造就了一条美丽的沙滩。若配以少量防波堤建筑,则人工海滩可预期保持滩体的基本稳定。比如,由南京大学海岸与海岛开发国家试点实验室设计的三亚小东海人工海滩,其海滩长宽比为 2:1—4:1,铺设范围介于 -1.0m—2.5m,人工海滩填砂选用三亚市以西 30 多 km 处粒径为 1—2mm 的天然老沙坝砂。为尽可能减少今后人工海滩的维护性回填砂量,小东海人工海滩还设计有必要的丁坝及潜堤等起保滩作用的辅助工程措施^①。

总之,在全球海平面上升、环境变化以及采取有效对策的研究与实施过程中,地学工作具有相当重要的独到作用。

参 考 文 献

- 1 Hoffman, J., Keyes, D. and Titus, J. G. Projecting Future Sea Level Rise: Methodology, Estimates to the Year 2100, and Research Needs. U. S. Environment Protection Agency, Washington D. C., 1983.
- 2 Revelle, R. R. Probable Future Changes in Sea Level Resulting From Increased Atmospheric Carbon Dioxide, Changing Climate, National Research Council Report, Washington, D. C.; National Academy Press, 1983, 433-448.
- 3 Van Der Veen, C. J. Projecting Future Sea Level, Surveys in Geophysics, 1988, 9, 389-418.
- 4 SCOR Working Group 89, The Responses of Beaches to Sea Level Changes, A Review of Predictive Models, Journal of Coastal Research, 1991, 7(3), 895-921.
- 5 Bruun, P., Sea-level rise as a cause of shore erosion. Journal Waterways and Harbours Division, American Society Civil Engineers, 1962, 88(WW1), 117-130.
- 6 Bruun, P. The Bruun Rule of erosion by sea-level rise: A discussion of large-scale two-and-three-dimensional us-ages, Journal of Coastal Research, 1988, 4, 627-648.
- 7 南京大学海洋科学研究中心. 秦皇岛海岸研究. 南京: 南京大学出版社, 1988, 193.
- 8 庄振业、陈卫栋、许卫东. 山东半岛若干平直砂岸近期强烈侵蚀退及其后果. 青岛海洋大学学报, 1989, 19(1), 90—98.
- 9 钱春林: 引滦工程对滦河三角洲的影响, 地理学报, 1994, 49(2), 158—166.
- 10 Hendrik J. Verhagen Method for Artificial Beach Nourishment, 23rd International Conference on Coastal Engineering, Book of Abstracts, 1992, 593-594.

① 南京大学海岸与海岛开发国家试点实验室, 海南鹿回头及小东海海滩改造利用可行性研究报告, 1993.

SEA LEVEL RISE AND BEACH RESPONSE

Wang Ying Wu Xiaogen

(State Pilot Laboratory of Coast & Island Exploitation and Department
of Geo & Ocean Sciences, Nanjing University, Nanjing 210093)

Key words sea level, China coast zone, beach erosion, beach nourishment

Abstract

It has prevailed that the sea level rise amounted to 10-20cm over the past 100 years. The recent predictions of greenhouse-related sea level rise in the next century vary considerable, but all agree that an acceleration is possible. This process has gradually reduced wave winnowing on submerged coastal sediments. At the same time, erosion on the upper beach by break waves has been enhanced. On the other hand, following the rise of sea level, the slopes of the river beds have been reduced, decreasing the fluvial sediment discharges. The lack of coastal sediment supply is a world-wide phenomenon. Combined with the increasing frequency of ELNino and Storm surge, beach erosion and land ward migration of sand barrier islands are the comprehensive results of adjusting the coastal dynamic balance responding the century trend of sea level rising.

By using the Bruun's model, it is estimated that the major tourist beaches along the China coast zone will lose about 13-66% of their present area while sea level is continually rising to 50cm higher by the year of 2100. Beach protection by building up groin and artificial barrier and beach nourishment are the major methods used under such circumstances.

作者简介

王颖,女,1935年生,教授,博士生导师,1960年北京大學四年制研究生畢業。主要研究海岸地貌與海洋沉積。發表論文80多篇,書8本。