

海水位上升对台湾西部海岸地区的影响

薛曙生

(台湾方舟工程顾问有限公司 台北市)

摘要 温室效应导致海水位上升,从而影响海岸环境。海水位上升对于海岸坡度较缓地区,将会造成大量土地资源流失、沙洲消失、湿地及生态环境变迁及河口后退现象,低洼地区遭受高海水位倒灌的机会更多,同时海岸土壤盐化也将加速破坏地下水的水质及土壤组成;在海岸坡度较大地区,海水位上升将导致岸线面临更多波能入侵的冲击;海水位上升还容易破坏草泽生态系统的平衡,降低资源的供应与品质;对滨海工业区而言,将影响工业区港的各种设施、各种软硬件护岸工程以及工业区用地填筑高程与排水等。目前台湾岛内对于海水位上升的影响了解得十分有限,作者对此提出了一些有益的建议。

关键词 海水位 海岸环境 滨海工业区 护岸工程

“温室气体”致使地球产生增温效应,多方面影响海洋环境,其中以海水位上升影响海岸最为直接。除了温室效应外,影响平均海水位相对变化的因素尚有厄尔尼诺(El Nino-Southern Oscillations)、板块运动造成的地壳升降运动、抽取地下水造成的地层沉陷,以及造地填土的沉陷等。

20世纪以来,世界各地海岸地区在海水位上升加上大潮或暴潮的同步影响下,造成的灾害新增。虽然有些局部地区海水位有下降趋势,但大体来说,各地的海水位都以1~5mm/a的速率上升,引起国际普遍的关注。

台湾省对于海水位实测调查研究案例并不多,也没有得到一致的结果,甚至同一地点也有不同结果。按台湾成功大学台南水工试验所整理分析台中港及将军渔港两处水位观测资料,显示台中港海水位在1974~1979年间有上升趋势,5年多时间内约上升10cm,而1979年后则呈现下降趋势,同时其平均海水位变化达20cm。将军渔港的海水位变化极不明显,虽有上升趋势,其幅度仅约1.5cm,而其平均海水位变化量却达15cm。比较两港在1974~1979年间的相同时段潮位状况,亦无明显的相关性。

由台中港与将军渔港两处10年潮位资料分析结果显示,西南沿海地区海水位变动趋势并不清楚,加上潮位站本身的基准高程可靠性亦不高,因此不能据之用作研究依据。

然而研究温室效应的冲击必须依据可以量化的

方案,以目前台湾观测资料的质与量而言,均不易达到这一目标。

本文参考全球海水位上升预测方式,根据将军渔港1980~1990年10年观测的线性回归趋势,在假设未来此趋势维持不变的情况下,预估海水位在2100年将上升15cm左右。并设定台湾50年后海水位上升低、中、高三方案分别为6cm,21cm,41cm,而在2100年水位涨幅分别为14cm,45cm,86cm,作为讨论温室效应对台湾西部海岸地区的冲击的依据。

1 对海岸物理环境的冲击

海水位的高低对海岸物理环境有决定性的影响,最明显的冲击事实就是海岸遭受侵蚀,海岸线后退,土地流失。此外,海岸地区的海岸过程、波浪条件、流动型态与速度、暴潮作用强度与范围、地形地貌之变动、地下水位与水质以及近海水文与水质等物理环境与因子都受到直接与间接的冲击。

1.1 波浪

海水位上升的结果,使得水深增加,因此也连带使得海床的摩擦效应降低,对波浪条件及其作用力有两方面的影响:一是外海波浪能量的消耗量减少;二是波浪形成的强度增高。这两层影响对沿海工业区的外廓堤防或护岸最为直接。

1.2 暴潮

台风引起水位变化,主要来自台风本身气压低所牵引的海水位上升量以及台风应力所造成的风扬。前者相对不受水面上升影响,因此只需讨论对

作者简介:薛曙生,男,博士,台湾方舟工程顾问公司董事兼总经理,从事海岸及河川流域管理、海岸规划及海域环境研究,曾发表《海岸动力、地貌与海岸规划》等论著。

风扬的影响程度。

一般情况下,工业区岸线位置固定,当外海水深增加,风应力引起的暴潮水位反倒减低。根据文献[1]的研究,在海水深度为 h_0 的海域中,岸边的最大暴潮偏差 $\eta_{\max}$ 为

$$\frac{\eta_{\max}}{h_0} = \sqrt{1+2A} - 1 \quad (1)$$

式中 A 是连接风应力与静水力各项间的比值,与水深成正比。根据式(1)可得 $\eta_{\max}$ 因海水位上升所产生的变动量 $\Delta\eta_{\max}$ 与海水位变动量 Δh_0 间的关系

$$\frac{\Delta\eta_{\max}}{\Delta h_0} = \frac{\left(\frac{-\eta_{\max}}{h_0}\right)}{\left(1 + \frac{\eta_{\max}}{h_0}\right)} \quad (2)$$

可知,当 Δh_0 为增量时(即海水位上升),则 $\Delta\eta_{\max}$ 反而减少。以云林麦寮专用港背景资料为例, $h_0 = 8\text{ m}$, $\eta_{\max} = 3\text{ m}$,50年中海水位上升 0.21 m (方案二)代入式(2)得 $\Delta\eta_{\max} = -0.06\text{ m}$ 。

当然,海水位上升量扣除暴潮的下降量,其净量仍是增加的,以上述计算为例,总水位仍然增加 0.15 m 。

1.3 潮位差与潮流

海水位上升效应对潮汐现象影响比较显著的地区是具有遮蔽性的半封闭地区,比如海湾、河口、岬湾、泻湖(lagoons)等。与工业区直接相关的是离岛式工业区内的深水港及隔离水道。主要的冲击分为两方面:一是纳潮量(tidal prism)的变化,影响海中悬浮物质浓度扩散的能力,因此影响水质;二是出海口水道的变迁,增加疏浚问题。

1.4 地形与地貌

海水位上升对于地貌的影响主要是淹没砂质海岸,促使侵蚀区域扩大。其影响一般可分为砂岸侵蚀、越顶冲刷和直接淹没三种情况。第一类侵蚀情形,目前已广被应用,是根据沙滩平衡理论提出的,如下式

$$R = \Delta h_0 \left(\frac{x}{z} \right) \quad (3)$$

式中 R 为海岸侵蚀距离; x 为海底可能变迁的离岸距离; z 为剖面高度; Δh_0 为海水位上升高度。以云林离岛计划为例,海底坡度介于 $1/100$ 与 $1/500$ 之间,以50年上升 $6\sim 41\text{ cm}$ 计, R 将介于 $6\sim 205\text{ m}$ 之间。第二与第三类则相关于离岸砂洲的动向,以外伞顶砂洲为例,大部分学者认为该砂洲系由于波浪力、风吹砂、越顶冲刷等因素作用均使得外伞顶砂洲逐年后退,海水位上升后将使得越顶冲刷范围更加扩大。水深较浅的砂洲如箱子寮等外海砂洲,也可能由于海水位上升而加长越顶的时间,砂洲变宽变广遂成为主要趋势。

1.5 海水入侵

海水位上升扩大海水入侵范围。在河口或感潮水域,海水位上升促使高盐度海水向河流上游推进,河流水质与土壤盐化的范围加大;另外,海水位上升也影响地下水的水质。

河口附近的盐楔(saline wedge)常因海水位上升数厘米而向上游推进达数公里,严重影响河流饮水的水质,对海岸生态系统在旱季所造成的冲击也不可忽视。台湾河流底床虽然大多坡度较大,但在河口地区坡度较缓,干旱时期,流量很小,因此水质所受海水入侵影响相对提高。

沿岸地区,由于海水位上升使海水与土壤接触的面积增加,因此高盐度海水透过土壤孔隙渗入地下水体的量自然增加。影响程度一般与土壤孔隙率、渗透距离以及雨水位的高程差成正比。

对低高程的砂洲岛而言,海水位小幅的上升可以严重影响砂洲下的淡水层。海水位上升的结果,使得原来盐淡水界面位置向陆侧移动,将浮在上层的淡水层也升高,以便维持水动力的平衡。因此,小幅度的海水位上升可以大幅度影响地下水水质与土壤盐度。

2 对海岸湿地的冲击

多年调查与研究的结论显示,湿地对社会经济、环境品质与生态资源都有重要影响;特别是海岸湿地,不但对海岸水质具有净化功能,同时提供了食物和栖息地给丰富而多样的海岸生物。海水位上升的速率虽然缓慢,但其长期对敏感的海岸湿地持续累积的效应,却十分可观,不容忽视。海水位上升会破坏海岸湿地的生态平衡,迁移并缩小湿地的地理位置与范围,增加土地盐化的面积,损失生物栖息处所,降低环境品质,并造成国土流失及渔业减产后果,对社会经济和环境品质都有相当的冲击力。

2.1 湿地生态的平衡与植物型态特性

河口及海岸地区的潮间带湿地,包藏着具有高生产力的栖息地,对河口食物链而言是绝对必要的。这些栖息地包括草泽、潮滩及海滩,它们的分布情况,相当敏感地受制于潮汐条件、波浪、每天淹水历时、漂砂沉积率与泥沙特性、以及气候等因素的影响。这些因素稍有变动,栖息地的脆弱平衡就会受到相当程度的影响。湿地相对于平均海水位的高程,通常是决定海岸潮感栖息地边界范围及其植物型态的关键条件,栖息地的淹水频率、淹水深度、淹水历时以及土壤的含盐度等,都会受到湿地相对高程的影响。有些草泽植物需要每日规则地经受潮水淹没,有些则习惯于无规则或低频率潮水偶尔的滋润。

2.2 海岸湿地变迁模式

基于湿地高程、栖息地植生型态、以及局部环境生物相等诸因素间的相关性,海水位上升对于湿地的冲击,可利用海岸湿地变迁(transformation of wetlands)概念模式,来说明海岸沼泽可能的变迁趋势。这种概念模式系利用底床高程(相对于平均水位的高程)、淹水频率与淹水历时、接近潮水通道程度、以及漂砂供应条件等因素,找出沼泽演变的可能预测方法。各参数因子间的不同变更率,可以形成几种不同的草泽演变形式。倘若漂砂沉积超过海水面上升速率时,沼泽区将会呈现垂直淤高现象,淹水影响程度减少,致使低沼泽区渐渐演变为高沼泽区或陆地(非湿地)。这种变迁形式大多发生在漂砂供应量很大的海岸湿地。台湾西南海岸河口湿地过去历年的自然演变,大多是这种形式。

另一种相反的趋势是海水面上升速率超过沉积速率。在这种情况下,湿地淹水历时和频率都会增加,高草泽区将被低草泽区、潮滩甚至被海洋水域所取代。近10年来,台湾沿海由于地层严重下陷,目前演变方向应该是朝向这个趋势。

湿地的淤填与淹没两种物理作用,均对草泽的分布与范围有重要影响。在某些情况下,潮间带生物种被陆生物种或人类开发所取代。在另一些情况下,草泽区又会转变成泥滩或浅海水域的环境。为维持草泽的面积、范围与分布不变,湿地必须顺着海岸剖面往上迁移,保持与海平面上升的速率同步;然而事实上,除非湿地上下邻接地坡度是常数,要维持一个不变的植物分布几乎是不可能的。因此,在海水位加速上升的情况下,湿地植物分布的变化必定是非常显著的。

2.3 台湾海岸湿地高程与面积的冲击程度

纯粹从海水位上升速率来推敲,台湾西海岸湿地的变动方向大致是从海侧向陆侧迁移。然而,由于严重的地层下陷的影响,西海岸湿地的实际趋势正好相反。彰、云、嘉、屏等西海岸地层下陷面积约达755 km²,其中不少地区每年下陷量达15 cm以上。这种速率是任何海水位上升速率所望尘莫及的,自然对海岸湿地的冲击强度也大为提高。这样的速率下,前述的湿地变迁模式就不一定适用。草泽区的适应调整速度也许根本就赶不上水位上升的脚步,以致最终可能遭受严重侵蚀的命运。

如前所述,要具体地来评估台湾西海岸湿地在水位变动影响下的趋势,必须要有湿地的地形、面积、植被型态以及相对水位变动速率等基本资料作依据。目前台湾这方面的调查资料十分有限,准确可靠的本土性量化变迁模式极不容易建立,自然难

以具体地预测未来的冲击后果。

3 对滨海工业区各种海岸设施的影响

海水位上升后,海岸地区的各种设施系统必然会受影响,其影响范围与程度视设施系统本身的重要性、设计条件及所处位置而定。对滨海工业区而言,主要的影响对象包括工业区专用港的各种设施、各种软硬件护岸工程、以及工业区用地填筑高程与排水问题等。

3.1 工业区专用港

3.1.1 外廓设施

外廓设施主要包括防波堤及护岸。海水位上升对外廓设施的影响为堤身稳定性及堤顶高程适当性。当海水位上升后,总水位高程会因为暴潮高、静水位以及其它因素之增加而增高,也连带促使波高及波浪溯升量增加,都威胁到防波堤及护岸之安全,并增加越波几率,影响堤内侧的稳定与排水。相对而言,海水位上升对深水防波堤影响较小,但对浅水防波堤及护岸的结构稳定性有比较大的影响,主要表现为堤趾冲刷或淘空,堤面消波块冲失,以及由于越波量增加,影响内侧排水或造成内侧堤面护面块冲失。

3.1.2 港内码头岸壁

一般港内码头岸壁都为直立或接近垂直的岸壁,海水位上升对其影响主要在设计水位与码头顶面高程差的适当程度。海水位上升将缩小高程差距。如果差距太小,不但在台风时期容易发生洪灾,同时对平时的船舶操作形成不便与危险。例如布袋渔港便是因为地层下陷形成相对的海水位上升而常遭洪泛之苦。不过,一般工业港码头在设计时,所预留的超水距(free board)比较宽,小幅度海水位上升对其不致造成即时性严重影响。

3.1.3 港内水域

a. 港池水域稳定性。潮汐的振幅及相位都可能因海水位上升而改变,因此,港池水域最大的问题就是要研析港池震荡自然频率的可能改变,探讨海水位上升是否因此会引起新的共振频率。每个港口几何特性均有所不同,各港必须分别加以研究讨论。

b. 航道淤浅。如前所述,港池内因海水位上升会促使纳潮量增加,进而造成在航道(潮流通道的)淤积现象。不过,港池四周通常多为直立码头岸壁,纳潮量变化应该非常微小,故所引起的航道淤浅现象应可忽略。

3.2 海埔地工业区海岸防护设施

海埔地开发为工业区系利用海岸潮间带之填筑,以软硬件工法等防护设施,保护填筑区免于受波浪及海潮等动力的冲击而流失。

3.2.1 硬件工法

硬件工法是传统的工程护岸措施,其主要策略是以硬件结构物扰乱或改变自然原有海岸动力系统,以达到局部海岸地区的防护目的。它们对高能量海潮与波浪的突然来袭,确有显著功效,台湾过去大多使用此种工法保护海岸。当海水位上升后,海岸动力系统多少都会改变,因此原设计的各种海岸结构物在功能上是否仍旧维持,是必须研析探讨的。

a. 沿岸线型海岸硬件结构物。这种类型结构物包括海堤、护岸、直立岸壁等,容易导致堤附近海床冲刷,尤以直立岸壁为然。海水位上升促使水深加大,同时较高能量波浪也作用于结构物,海床冲刷问题将更加严重。另外,越波问题也将加重,可能导致内侧填土冲失,结构物因被动土压力消减而遭破坏。海水位上升后,海堤和直立岸壁保护平均潮位上的土地和防止海水倒灌的功能都将减退,护岸保护土地的功能也会减低。

b. 垂直岸线型硬件结构物。这种类型结构物包括突堤(或突堤群)、导流堤及防波堤等,对海岸线变动影响较大,它们拦截上游漂砂常导致下游海岸严重侵蚀。海水位上升对垂直线型硬件结构物的安全性影响较轻微,对其功能性影响较大。突堤群(groins)对有明显沿岩流砂岸的保护最有效,常能防止海岸侵蚀;其陆侧端点常延伸埋入砂丘线以内。海水上升后,砂丘线的后退会造成陆侧端暴露于大风暴的波浪潮水作用之下,以致沿岸输砂绕过突堤端,降低截砂功能。另外,水位上升亦将导致突堤群淹没或越波,都降低其捕砂功能。

c. 离岸线型硬件结构物。海水位上升将使离岸堤后的岸线向内陆推移,增加波浪在堤后的绕射能力,降低其遮蔽效应。增加的越波量更是加强了堤内侧的波浪作用。海水位上升对离岸堤本身的稳定性也造成相当的威胁。按估算,若波高因海水位上升而增加10%,则护面块重量则需增加33%,所增加的工程维护费用可能相当有意义。

d. 水闸门。闸门作用在保护海堤内设施免受海水高涨侵袭,因此海水位上升后,水闸门开闭使用标准也应遵从新规则。

3.2.2 软件工法

软件工法是近代海域环保意识抬头和审美观转变双重冲击下的产物。其主要精神在于顺应自然趋势作设计,以防止海岸砂土的流失,绝对不作顶撞的挑衅考虑。由于自然界的物理过程常是周期性的,因而许多软件工程也需作周期性考虑。海水位上升后,各地海岸过程特性难免不受影响,软件工法所受冲击面积常比硬件工法差异程度大,但由于变化过

程缓慢,且软件工法常随自然界的变化调整而自我调整,不易在短期内察觉。

目前,美国常使用的软件工法有七种:①设置后退线法;②砂丘建造;③潮间带沼泽地辟建;④潮流通道人工位移法;⑤人工养滩法;⑥旁砂道法;⑦人工岬湾法。其中人工养滩法、人工岬湾法以及砂丘建造的观念,已在台湾海岸防护方面考虑使用,以配合景观与游憩活动。其它各法尚未能接受。海水位上升对于上述三种软件工法有正面影响,促使海滩及砂丘的高程随水位上升而上升。

3.2.3 软硬件结合工法

软硬件结合工法的主要精神是利用软件工法在经常的海岸物理环境下保护海岸,再使用硬件结构物的功能抵制大浪潮。因此,海水位上升对此工法的影响与软件工法相同,影响居正面的成份多。

养滩工程的成本与波浪条件直接相关,按 Dean 的理论,海水位上升所引起沙滩砂粒流失率的增加量 ΔV ,按台湾西部波浪波高 H 为2m,海底深度 h 为10m,依照本文采用方案,50年海水位上升分别为0.06m,0.21m,0.41m,则计算养滩砂土流失率分别增加1.1%,4.0%,7.9%,同理可推出其所应支出费用和增加的成本。

3.3 海埔地填筑高程决定与排水

填海造地高程决定的关键因素是设计水位及排水系统。通常设计水位的考虑大多基于发生几率与观测水位统计资料的相关性。由于台湾西南各地水位观测资料严重不足,无法据之作长年频率分析,因此大多依赖各种模式的模拟运算结果。填地高程与成本经济密切相关,填得太高,造价昂贵,有浪费之嫌,太低容易遭受洪水之患以及排水困难等问题。因此精确的水位预测在填海造地之设计中乃是必需研究的课题。精密度常须探讨到0cm差别的程度。海水位上升,不论幅度大小,对填土高程的决定都是有意义的。

以云嘉离岛工业区为例,初步规划方案的填地面积达10767 hm^2 ,以50年海水位上升21cm计算,约需增加土方 $22.6 \times 10^6 \text{ m}^3$ 。即使扣除暴潮因海水位上升而降低的因素,所需增加土方量也在 $16 \times 10^6 \text{ m}^3$ 以上。这种庞大的土方增加量会造成下列各种冲击:①增加土方来源的困难;②造成海域生态环境因海底抽砂作业所形成的损失与污染(以10m波深深度,12%流失率计算,海底抽砂面积约1.8 km^2);③增加填土造价成本;④影响海底抽砂区附近海岸之地形与地貌变迁。以目前云嘉离岛工业区的规划,填土高+4.00探讨,遭受洪水暴潮的几率不高,海水位上升后,洪泛几率虽然提高,但影响有限,然而排水问题比

较显著,特别是沿护岸结构物附近地区,排水功能降低加上越波量增加之结果,容易造成严重问题。

4 结 语

台湾四周环海,地少人稠,海岸活动与土地利用频繁,对于海水位上升效应的影响,宜密切注意,以便早作防患准备。海水位上升对于海岸坡度较缓的地区,造成大量土地资源流失,沙洲消失,湿地及生态环境变迁,及河口后退现象,低洼地区遭受高海水位倒灌的机会更高,同时海岸土壤盐化也将加速破坏地下水的水质及土壤组成。在海岸坡度较大地区,海水位上升将导致海岸线面临更多波能入侵的冲击。在时间分布上,这些冲击并不一定会立即出现,但随着时间的延续会逐步增加冲击程度。在空间分布上,这些冲击也不一定会呈现一致性。因此,实施“选择性海岸保护”应是合适的应变策略。台湾西海岸稀少的湿地对生态环境有重要影响,海水位上升容易破坏草泽生态系的平衡,降低资源的供应与品质,岛内对此冲击程度的了解十分有限。

a. 修正现存海水位观测站参考基准面,重新评估海水位上升趋势与幅度,建立滨海工业区海水位上升预测模式。

b. 在主要滨海工业区设立当地的海水位观测系统。台湾沿海地区,特别是西南沿海已有多处海埔地规划或兴建滨海工业区,由于水位资料是工程及环境规划与设计的基本资料,资料之品质要求与工程成本关系密切。然而现存的观测站在空间分布上,尚嫌不足,在资料的记录时间长度上,也不充分。建议在各主要大型工业区增设潮位站,建立完整的海水位观测网系统,进行长期观测,以备日后更新评估工作之用。

c. 岛内对湿地的重视与研究,似乎尚在起步阶段,相关湿地的量化资料也十分有限。因此,海水位上升对其具体的影响,不易深入探讨。目前海岸湿地的植物方面,仅对红树林的研究比较深入,其它的研究似乎尚有广大空间。主管机关似有必要对于环岛湿地生态系统进行较深入研究,彻底了解湿地植物种类、分布范围、周边物化环境、生态资源以及过去演化过程等。

d. 针对各大型滨海工业区的规划方案,进行单独案例研究,详细评估海水位上升对其所造成的冲击,特别是在经济上所形成的影响。经济影响评估,必须依据该规划的具体方案、各种初步设计的设施及其财务计划,精确估算海水位上升对该滨海工业区所可能造成的经济损失,作为因应策略的参考。

e. 评估环岛各滨海工业区可能的能源使用总量

及其对全球温室效应可能造成的影响程度,以便适应全球大气变迁研究的参考。

参考文献

- 1 Dean R G, Dalrymple R A. Water wave mechanics for engineers and scientists. Englewood Cliffs, N J Prentice - Hall, Inc. 1984. 353
- 2 Dean R G. Beach erosion causes, processes, and remedial measures. In: CRC Critical Reviews in Environmental Control. Boca Raton, Fla: CRC Press, 1976. 259 ~ 296

(收稿日期:1996-12-30 编辑:熊水斌)

+++++

(上接第34页)

轮机。在所参观的水轮机试验室中,我们见到了刚建成不久,为中国长江三峡工程水轮发电机组投标研制的一个最大的试验台。

在德国,许多大学的环境研究单位和环保技术公司组建了“亲亚协会(ProAsia)”,工作的重点是中国。德国亚琛工业大学的水和固体废物研究所(Fiw)已为我国山西长治化肥厂完成了污水处理方案,正在为四川雅安造纸厂做污水处理研究,也正在为南京市垃圾掩埋场做规划研究,这些工作均不需要中国提供研究经费,同时,他们已组织了多届中德环保研讨会。

法国马塞供水公司在地中海沿岸国家有一定的知名度,在马格里布国家(即摩洛哥、突尼斯、阿尔及利亚等北非国家)有常设办事机构,在拉丁美洲的许多国家也建立了联系网络。公司国际部只有15人,国际培训、咨询已搞了20年,主要对象是一些北非、拉美国家,国际技术培训、咨询的年产值近700万法郎。

4 政府支持

德国联邦水工研究所每年可从交通部得到6000万马克的经费,其中一半用于发工资,人均年薪约6万马克,剩下的一半用于更新研究设备,开展科学研究。

德国联邦环保局是国家的一个咨询机构,每年从联邦环保部的科研部得到1亿马克的经费,其中5000万马克用于最新技术的研究,还有5000万马克作为环保设备研制的贷款。

前面提到的德国亚琛工业大学水和固体废物研究所(Fiw)为中国南京等地做的环保研究工作,其经费是由亚琛工业大学所在地北威州政府提供资助的。

(收稿日期:1997-03-17 编辑:马敏峰)