

# 未来海平面上升对江苏沿海水利工程的影响\*

都金康 史运良

(南京大学大地海洋科学系 210008)

**提要** 研究探讨表明,未来海平面上升将导致江苏沿海水利工程本身风险性的显著增大,表现为工程遭受破坏程度的增强和受到破坏次数的指数性增多。海面上升还严重影响苏北沿海水利工程效用的发挥,表现为海堤防护标准的降低,抗御风暴潮的能力减少,以及沿海挡潮闸排水能力的降低,加剧这一地区的洪涝灾害。最后,为减轻未来海平面上升对苏北沿海水利工程造成的不利影响,提出了一些看法和建议。

**关键词** 海平面上升 水利工程 排水能力

未来海平面上升将对世界沿海地区构成严重威胁,是全球潜在的最重大的自然灾害。江苏沿海地区,人口稠密,经济发达,地势低下,坡降极缓,海拔2m以下的面积达5000km<sup>2</sup>,是我国极易受到海面上升影响的地区之一。为防患于未然,研究海面上升对这一地区产生哪些不利影响,探索防治对策及措施具有重要意义。

海面上升是气候变暖引起的全球海平面的上升和抽取地下水等引起的区域性地面沉降相迭加的结果。尽管预测下一世纪全球海平面将上升50—100cm(任美镔,1990),但对特定地区的海面上升,还要预测当地地面沉降状况。江苏沿海地区由于地下水矿化度高,抽取量少,目前地面沉降不明显,但未来地面沉降与否还无法确定。因而本项研究综合考虑两者因素,确定高、中、低三个方案(1.5m,1.0m,0.5m)作为下一世纪海面上升的可能值,探讨不同方案对这一地区水利工程造成影响的大小,从而找出规律性的东西,这比某些研究仅采取一种方案进行分析要有价值得多。

## 1 海面上升对水利工程风险性的影响

**1.1 海面上升对江苏沿海涵闸的影响** 江苏省在沿海诸入海河道上,兴建了大量的涵闸。这些工程的兴建,对沿海地区的挡潮、防洪排涝、蓄淡灌溉起了非常大的作用。

未来海面上升对水利工程风险性的影响,可以用两个指标来反映:(1)破坏度,即闸下可能最高高潮位与闸顶高程的比值,此值越大,说明海潮对涵闸的破坏力越大。(2)闸下设计高潮位的频率,此值越大,表明涵闸受到破坏的次数越多。

本项研究选取了5个代表性涵闸来计算海面上升的不同幅度,引起涵闸破坏度的变化(本地区涵闸与河流入海口之间距离短,可忽略影响因素,认为海面上升高度与闸下潮

\* 国家自然科学基金资助项目,48970066号。

收稿日期:1991年12月9日;接受日期:1992年2月20日。

水位上升高度一致)。从表 1 的计算结果可以看出,随着海面的不断上升,所有工程遭受破坏的程度都是增大的,而且可能最大潮高接近或超过闸顶高程,破坏度接近或大于 1。

表 1 海面上升引起代表性涵闸破坏度(%)的变化

Tab. 1 Variation of destructiveness of tide level to typical Sluiceways by future sea level rise in coast of Jiangsu Province

河闸名称		射阳河闸	新洋港闸	王港闸	东台河闸	小洋口闸
闸顶高程 (m)		7.5	8.0	7.5	7.5	8.0
现 状	可能最大潮高(m)	5.3	5.5	5.9	6.8	7.8
	破坏度	71	69	79	91	98
海面上升 0.5m	可能最大潮高(m)	5.8	6.0	6.4	7.3	8.3
	破坏度	77	75	85	97	104
海面上升 1.0m	可能最大潮高(m)	6.3	6.5	6.9	7.8	8.8
	破坏度	84	81	92	104	110
海面上升 1.5m	可能最大潮高(m)	6.8	7.0	7.4	8.3	9.3
	破坏度	91	88	99	111	116

5 个涵闸下游设计最高潮位出现的频率,随着海面上升而变化的情况见表 2。在现状条件下,各闸设计最高潮位出现的频率是很低的(工程设计标准高)。如射阳河闸的设计高水位远远高于可能最大潮高,其它河闸的设计高水位分别相当于 300 年、50 年、70

表 2 海面上升引起代表性涵闸下游设计最高潮位概率(%)的变化

Tab. 2 Variation of the probability of occurrence of designed highest tide level to typical sluiceways by future sea level rise in coast of Jiangsu Province

河闸名称		射阳河闸	新洋港闸	王港闸	东台河闸	小洋口闸
设计高潮位(m)		6.15	5.40	5.00	5.90	6.50
相应 概率	现状	0.00	0.33	2.00	1.40	4.00
	海面上升 0.5m	0.13	0.75	8.00	4.50	14.00
	海面上升 1.0m	0.26	2.10	26.00	14.00	40.00
	海面上升 1.5m	0.90	5.50	64.00	42.00	86.00

年、25 年一遇。随着海面上升,同样的设计高潮位出现的频率,大大提高。如王港闸,5m 高的设计潮位,目前是 50 年一遇;而海面上升 0.5m 时,12.5 年就出现一次;当上升 1.0m 时,不到 4 年就出现一次;而上升 1.5m 时,平均一年半就出现一次。由此可见,当海面上升时,同一水位出现的频率是增大的,而且增大的幅度是非线性的,呈指数增加规律(因这一地区潮位分布规律服从皮尔逊 III 型分布<sup>1)</sup>)。

由以上分析可知,海面上升,对工程影响的两项指标都增加了,而且由于频率呈指数规律增加,整个工程的风险性也呈非线性规律增大。

**1.2 海面上升对海堤的影响** 根据未来海面上升的不同方案,预测历史上出现的最高潮位在未来可能达到的高度,并与现状海堤的高度比较,分析海面上升对海堤的影响。

1) 江苏省水文手册,1976,江苏省水文总站编。

表 3 是对江苏沿海 8 处主要海堤进行分析的结果。随着海面的不断上升,各海堤的历史最高潮位,将有 3 处超过堤顶高度,其余几处也都接近堤顶高度。未来若这种高潮位重现,将会淹没部分海堤,加上本区多为土质海堤,不被淹没的海堤也极易被波浪淘蚀而溃决,整个地区的海堤将处于全面危急状态。

江苏海堤的起围高程,一般在平均高潮线附近。如果海面上升,平均高潮位出现的频率将呈指数性增长,平均高潮位与海堤接触的次數,也呈指数性增长,堤脚受波浪淘蚀的机会大大增加,土堤倒坍的可能性也会极大增加。

表 3 海面上升对海堤的影响(单位: m)

Tab. 3 Impact of future sea level rise on dikes in coast Jiangsu Province

地 点		大 溇 港	遥 望 港	小 洋 口 闸	东 台 河 闸	斗 龙 港 闸	新 洋 港 闸	射 阳 河 闸	滨 海 闸
现状海堤高程		8.20	8.20	8.50	7.00	7.50	6.40	6.50	5.50
历史最高潮高(消去壅高)		4.69	4.77	6.39	5.17	3.91	3.10	2.83	3.67
波浪爬高		2.00	1.80	1.70	1.50	1.50	1.50	1.50	1.50
海面 上升 0.5m	历史最高潮高	7.19	7.07	8.59	7.17	5.91	5.10	4.83	5.67
	超过堤顶高	-1.01	-1.13	0.09	0.17	-1.59	-1.30	-1.67	0.17
海面 上升 1.0m	历史最高潮高	7.69	7.57	9.09	7.67	6.41	5.60	5.33	6.17
	超过堤顶高	-0.51	-0.63	0.59	0.67	-1.09	-0.70	-1.17	0.67
海面 上升 1.5m	历史最高潮高	8.19	8.07	9.59	8.17	6.91	6.10	5.83	6.67
	超过堤顶高	-0.01	-0.13	1.09	1.17	-0.59	-0.20	-0.67	1.17

## 2 海面上升对江苏沿海水利工程防洪排涝的影响

江苏沿海的洪涝水,除江都抽水站排水入江以外,主要靠沿海各挡潮闸排入黄海。尤其是低洼的里下河地区(指通扬运河以北,苏北灌溉总渠以南,大运河以东,通榆运河以西的地区,总面积 11 965km<sup>2</sup>),主要排涝出路为通过射阳港、黄沙港、新洋港、斗龙港 4 大港自排入黄海。如 1991 年 6—7 月梅雨期内,江都抽排涝水 11.8 亿 m<sup>3</sup>,而 4 大港排水 37.2 亿 m<sup>3</sup>。由此可见,沿海挡潮闸排水,是这一地区排涝水的主要出路,对减轻这一地区洪涝灾害起着决定性的作用。

沿海各闸的排水能力,在过水断面一定的条件下,主要受上下游水位的影响。若未来海平面上升,闸下水位将上升,比降减少,排水能力将降低。同时,闸下水位低于闸上水位的时间也将缩短,因而排水时间也缩短。这两个因素的变化,将导致排水量的减少,势必加重这一地区的洪涝灾害。下面以沿海最大的涵闸——射阳河闸为例,具体分析变化情况。

**2.1 海面上升对排水能力的影响** 沿海涵闸排水能力的影响因素很多,主要有闸孔宽度、闸门开启高度、闸上稳定水位、闸下潮水位、排水时间等等。其中潮汐顶托对涵闸排水能力影响很大,而潮汐变化极不稳定,所以目前还没有计算受潮汐影响的涵闸排水能力的适用方法。这里只能根据以往的实测资料寻找各因素间的相互关系,据此再推算海面上升对排水能力可能带来的影响。

根据射阳河闸 1983,1987 两年的水文统计资料,作出在同一闸上水位条件下,闸下一潮(指普通一日两个高潮和两个低潮)最低水位与排水能力(一潮排水期平均每秒钟的排水量)的相关关系。然后根据排水期间高低潮位与闸下一潮最低水位之间的关系,计算出海面上升引起闸下一潮最低水位的变化量,从而推算出排水能力的变化量。最后得出不同上游水位条件下,海面上升的不同速率引起涵闸排水能力变化的数值(表 4)。计算结果表明,海面上升同一值,涵闸排水能力的变化取决于闸上水位,闸上水位越高,排水能力的降低也越大。此外,同一闸上水位,海面上升幅度越大,排水能力的降低也越大。

表 4 海面上升引起射阳河闸排水能力( $m^3/s$ )的变化

Tab. 4 Drainage capacity variation of Sheyang River sluiceway by future sea level rise

闸上稳定水位(m)		0.80	1.00	1.30
闸下平均最低水位(m)		0.39	0.60	0.87
平均排水能力		603.3	650.0	758.3
海面上升	排水能力	573.3	610.0	668.3
0.5m	降低百分比	5	6	12
海面上升	排水能力	541.7	570.0	578.3
1.0m	降低百分比	10	12	24
海面上升	排水能力	511.7	530.0	488.3
1.5m	降低百分比	15	19	36

**2.2 海面上升对排水时间的影响** 江苏沿海地区平均高潮位高于闸上平均水位,因而涵闸排水只能在低潮期间,闸下潮水位低于闸上水位时排。若海面上升,整个潮水位上升,闸下潮水位低于闸上水位的时间缩短,排水时间也将相应缩短。表 5 是计算的射阳河闸现状及海面上升不同高度后,一潮最大排水时间。在闸上水位一定条件下,排水时间随着海面上升而急剧减少,海面上升幅度越大,排水时间缩短的幅度也越大。但闸上水位高,排水时间减少的幅度相应减少。

表 5 海面上升引起射阳河闸排水时间(h)的变化

Tab. 5 Available drainage time variation of Sheyang River sluiceway during per tide period by future sea level rise in coast of Jiangsu Province

闸上稳定水位(m)		0.8	1.0	1.3
一潮最大排水时间		13	14	16
海面上升	排水时间	11	12	13
0.5m	减少百分比	15	14	19
海面上升	排水时间	8	10	11
1.0m	减少百分比	38	29	31
海面上升	排水时间	4	6	8
1.5m	减少百分比	69	57	50

**2.3 海面上升对排水量的影响** 海面上升, 涵闸排水能力降低, 排水时间也减少, 这样涵闸每日的排水量也减少。设排水能力减少的百分比为  $x$ , 排水时间减少的百分比为  $y$ , 则降低后的一潮排水量为:  $(1-x)(1-y) = 1-x-y+xy$  比原来减少量为:  $1-(1-x)(1-y) = x+y-xy$ 。据此, 计算射阳河闸在未来海面上升后, 一潮排水量的变化。计算结果(表 6)表明, 海面上升后, 闸上不同水位所相应的一潮排水量的变化值相差不明显。这是由于闸上高水位时, 尽管排水能力变化大, 但排水时间变化却减少, 因而综合起来, 与闸上低水位时的排水量变化值相差不悬殊。但是海面上升不同幅度, 排水量变化却相差很大。当海面上升 0.5m 时, 一潮排水量减少 20%—30%; 上升 1.0m 时, 减少 40%—50%; 而上升 1.5m 时, 将减少 65%—75%。即海面上升越高, 排水量减少的幅度增大, 呈非线性关系。

表 6 海面上升引起射阳河闸一潮排水量的变化

Tab. 6 Drainage variation of Sheyang River sluiceway per tide period by future sea level rise in coast of Jiangsu Province

闸上稳定水位 (m)		0.8	1.0	1.3
一潮排水量减少	海面上升 0.5m	19	19	29
	海面上升 1.0m	48	41	48
百分比	海面上升 1.5m	74	66	68

海面上升引起河闸排水量的变化, 将给这一地区的防洪排涝带来很大影响。若同样发生 1991 年 7 月雨涝情况, 当海面上升 0.5m 时, 射阳、新洋、黄沙、斗龙 4 大港将由现在的排水 37.2 亿  $m^3$ , 减少到 26—30 亿  $m^3$ , 7—11 亿  $m^3$  的涝水将积蓄在里下河腹部, 势必抬高外河水位, 淹没大量农田, 同时对圩区也构成极大威胁, 造成更大损失。如果海面上升幅度更大, 则由此而引起的损失也将更加严重。

### 3 结语

海面上升是一种缓慢的渐变性的自然灾害, 它的发生发展过程, 往往会引起人们的忽视, 而当发展到一定程度, 对生命财产构成严重威胁时, 人们才重视它, 然而却为时已晚, 不得不承受海面上升引起的巨大灾难。因此, 为防患于未然, 应及早地对海面上升可能产生的影响进行研究, 以引起有关部门的重视。本文通过对江苏沿海水利工程可能受海面上升影响的分析, 得出以下结论。

**3.1 海面上升将导致江苏沿海水利工程风险性增大。** 这种风险性包括海潮对沿海水利工程破坏力的加大, 以及海潮对沿海工程破坏次数的急剧增多。因而原来设计的海堤及挡潮闸的高度和结构将面临未来海面上升的严重威胁。为保证这些工程的安全, 不仅在高度上要加高, 而且在底宽及面海边坡的结构也应相应地加宽加强, 以防海面上升引起水深增大、波高增加及侵蚀强度增加而对水利工程产生的威胁。

**3.2 海面上升将引起沿海挡潮闸排水量的减少,** 表现为排水能力和排水时间的减少。此外, 苏北沿海双洋口以南为淤积性海岸, 由于冬春长期关闭蓄水, 大部分闸下排水河道淤积严重, 过水断面较原设计大大减少。据分析(宋玉, 1991) 4 大港中最大的两个排水闸——射阳河闸和新洋港闸, 因闸下河道淤积, 丧失了排水能力的 40%—50%。同时,

上游河道阻水障碍众多,排水不畅,这些因素的综合,将会引起排水闸排水能力急剧减少,定会加剧这一地区的洪涝灾情。为此,应开展闸下冲淤保港的研究,采取各种有效措施,恢复沿海各闸已有的过水断面,同时进行河道清障,保证洪涝水的畅流无阻,这样可以缓解由于海面上升而引起排水闸排水能力减少的局面。

**3.3** 迎接海面上升的挑战是一项复杂的系统工程。除了采取一些直接措施如加固、加高水利工程外,有必要,还可以放弃一部分价值不大的土地,顺应海面上升的趋势。对于江苏沿海防洪排涝问题,未来海面上升势必造成河闸排水能力的降低。为此,可以开辟新的洪涝水出路,还应严格控制这一地区围垦湖荡的规模。因为天然湖荡具有滞洪蓄涝的作用。据有关计算(宋玉,1991),里下河地区每百平方公里的湖荡滞涝,可降低外河水位 10—12cm。如果里下河地区能确保 700km<sup>2</sup> 的滞涝湖荡,相当于增加 1 000m<sup>3</sup>/s 的外排能力,其作用是巨大的。此外,对这一地区水利工程进行科学有效地管理,根据海面上升状况,制定水利工程实时,优化运行规则,对于减轻海面上升对工程造成的不利影响,缓解这一地区的洪涝灾害,也有不可估量的作用。

### 参 考 文 献

- 许朋柱、毛锐,1990,海面上升对太湖湖东洼地防洪排涝的影响,中国气候与海面变化研究进展,海洋出版社,74—76。
- 任美镔,1990,海面上升与地面沉降对黄河三角洲影响初步研究,地理科学,10(1): 48—57。
- 宋玉,1991,江苏省里下河地区1991年特大雨涝灾害,南京大学学报(自然科学版·自然灾害研究专辑),99—105。
- 曾从盛等,1991,未来海平面上升及其对福州地区的影响,海洋通报,10(5): 1—7。
- Gornitz, V., 1991, Global coastal hazards from future sea level rise, *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology* 89(1991): 379—398.

## IMPACT OF FUTURE SEA LEVEL RISE ON WATER PROJECTS IN COASTAL AREA OF JIANGSU PROVINCE

Du Jinkang Shi Yunliang

(Department of Geo and Ocean Sciences, Nanjing University, Nanjing 210008)

### ABSTRACT

Future sea level rise is an insidious and most serious hazard in the world. A case study on the effects of future sea level rise on water projects in the coastal area of Jiangsu Province shows that sea level rise could strengthen destructive tidal power on these projects and increase exponentially the probability of occurrence of designed highest tide level, which undermine the safety of the projects.

Future sea level rise can also overload the normal protective function of coastal water projects, such as protective dikes and drainage sluiceways capacity. An estimation of the drainage variations of Sheyang River sluice wal due to sea level rise shows that sea level rise reduces drainage capacity and available drainage time. A 50 cm rise of sea level can cause a drainage decrease of 20%—30% through the Sheyang River sluiceway pertide period; a 100 cm rise can decrease the drainage from 40% to 50%, and a 150 cm rise can cut down the drainage from 65% to 75%. The reduction of drainage capacity can cause more damage from waterlogging and flooding in the area.

The last part of the paper gives suggestions and countermeasures for coping with the impact of sea level rise on coastal water projects of Jiangsu Province.

**Key words** Sea level rise Water project Drainage capacity