

21 世纪中叶天津沿海地区极端高水位趋势预测

宋美钰^{1,2}, 王 福^{2,3}, 王 宏²

SONG Mei-yu^{1,2}, WANG Fu^{2,3}, WANG Hong²

1. 吉林大学地球科学学院, 吉林 长春 130061;
 2. 中国地质调查局天津地质调查中心, 天津 300170;
 3. 中国地质科学院研究生院, 北京 100037
1. College of Earth Science, Jilin University, Changchun 130061, Jilin, China;
2. Tianjin Centre, China Geological Survey, Tianjin 300170, China;
3. Graduate School of Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing 100037, China

摘要: 据统计, 天津沿海地区 50 年一遇的风暴潮极端增水水位为 +4.092 m, 开展控沉工作后的地面下沉速率约为 15 mm/a, 目前沿岸海挡顶面高程一般为 +4.332 m, 参考孟加拉湾、伦敦、汉堡等沿海地区在 2050 年海平面上升(取较今高约 0.2 m 的推测值)背景下的极端增水趋势预测(增加 0.5 m), 推测天津沿海地区 2050 年的极端高水位将增加到 +4.792 m (4.092 m + 0.2 m + 0.5 m), 现有海挡顶面高程将下沉至 +3.687 m (以 2007 年为起算年份)。2050 年极端高水位将比届时的海挡顶面高 1.105 m, 由此将加重风暴潮水漫溢致灾的危险。如果再考虑波浪叠加、河口效应、极端海面上升等不确定因素的影响, 危险将更加严重。

关键词: 天津; 极端高水位; 海挡下沉; 趋势预测

中图分类号: X141 **文献标志码:** A **文章编号:** 1671-2552(2008)06-0829-08

Song M Y, Wang F, Wang H. Trend prediction of extreme high water levels in the coastal area of Tianjin, China in the middle of the 21st century. *Geological Bulletin of China*, 2008, 27(6):829-836

Abstract: According to the available statistic data, the 1-in-50-year extreme water level (ewl) caused by storm tides was +4.092 m in the coastal area of Tianjin. The land subsidence rate is ~15 mm/a after the land subsidence is controlled. Now the elevation of the top of the coastal levee is +4.332 m above sea level in general. Following the 0.2m increasing of the projected sea-level-rise, adding extra 0.5m in Bengal Bay, London and Hamburger etc. in 2050 for the extreme high water, we forecast the local ewl will be increased to +4.792m (4.092m+0.2m+0.5m) in the area in 2050, while the top of levee will be sunk to +3.687m at that time (with the starting year of 2007). As a result, the predicted ewl will be 1.105 m higher than the sunk tops of levees in 2050. This will increase the risk of the flooding of storm tide water and occurrence of a disaster. This risk will be even graver in consideration of the influences of a number of uncertain factors such as wave superposition, estuarine effect and extreme sea level rise.

Key words: Tianjin; extreme high water level; coastal levee subsidence; trend prediction

继珠三角和长三角之后, 纳入国家发展战略的“天津滨海新区”正迎来前所未有的发展机遇。与可持续性发展有关的海岸带地质环境现状与变化趋势, 始终是笔者关心的问题^[1]。2007 年 12 月 1 日, 中央电视台以《天津滨海新区规划宜考虑海面上升

因素》为题, 给予天津海岸带同样的关注^[2]。

荷兰重点岸段的海挡可以抵御万年一遇的风暴潮增水^[3], 而天津沿海地区海挡顶面高程为 +4.332m^[4] (天津地区习惯使用大沽高程, 本文为方便与国内外对比, 凡所引参考文献中的大沽高程值, 据天津

收稿日期: 2007-11-16; 修订日期: 2008-03-26

基金项目: 中国地质调查局国土资源调查项目《环渤海地区重点地段环境地质调查及脆弱性评价》(编号: 1212010540501) 和国家“908”专项《我国近海海洋综合调查与评价》资助。

作者简介: 宋美钰(1984-), 女, 在读硕士, 研究方向: 泥质海岸带近现代地质环境变化与预测。E-mail: tjsmeyu@cgs.gov.cn

市测绘部门 1998 年规定一律减去 1.668 m 后,折算为国家 85 高程)。这个高度仅能抵挡百年一遇的风暴潮增水^[4]。今后,随着地面、海挡的下沉和风暴潮强度的增加,现有海挡是否还能抵御百年一遇甚至 50 年一遇的风暴潮增水,是一个对滨海新区中长尺度安全具有重要意义的亟待讨论的问题。

本文通过对天津地区历史极端高水位数据的统计,结合伦敦、汉堡、加尔各答与吉大港所在的孟加拉湾等沿海地区 2040—2060 年风暴潮增水的预测,并考虑地面下沉、波浪叠加、河口效应等因素,对该地区 2050 年极端增水趋势进行预测。

1 天津沿海地区极端高水位预测

1.1 历史极端高水位统计

本文所讨论的极端增水,是指由向岸大风(飓风、台风)和天文大潮叠加形成的强风暴潮到达海岸时产生的异常高水位。这种极端高水位常冲决堤岸、淹没低地,造成极大的生命、财产损失,是海岸带的严重自然灾害。了解以往的风暴潮高水位,并对今后极端高水位可能达到的高度加以预测,是预防风暴潮灾害的前提条件。

天津市所在的渤海湾西岸,是风暴潮多发地区。30 年前,历史学家翟乾祥首次系统地总结了渤海湾近 500 年来风暴潮的发生与致灾情况^[2]。自那时以来,渤海湾风暴潮成为热门的研究对象^[5-16](表 1、图 1)。

表 1 和图 1 显示,20 世纪前半叶仅有 2 次较大的风暴潮记录:1938 年潮位为+3.432m、1939 年潮位为+3.962m。20 世纪后半叶共发生了 6 次较大的风暴潮,1950—1990 年 40 年间共发生了 3 次,而 1992 年以来,每隔 5 年左右就会发生 1 次较大的风暴潮。通过对风暴潮高潮位的统计分析,可知天津沿海地区百年一遇的最高潮位是+4.262 m,50 年一遇的最高潮位为+4.092 m^[9]。

现有风暴潮资料统计显示:1550—1949 年间,渤海湾有 51 次风暴潮记录,平均每 8 年 1 次;1950—1997 年 48 年间发生了 29 次,平均 1.7 年 1 次。风暴潮发生的频率和强度较历史上有明显增加的趋势^[9]。尽管可能存在统计学误差(数百年前沿海人口密度低,风暴潮致灾程度较今低,因而记录可能不够详细甚至缺失),但频率与强度增加的可能性不容低估。

表 1 天津地区 20 世纪较大风暴潮水位记录(85 高程)

Table 1 Water level records of large storms in the 20th century in the Tianjin area

发生时间	高潮水位/m	资料来源
1938-08-11	+3.432	③
1939-08-31	+3.962	[6]
1965-11-07	+4.052	[6]
1972-07-27	+3.732	[6]
1985-08-19	+3.782	[6]
1992-09-01	+4.262	[6]
1997-08-20	+3.922	[7]
2003-10-11	+3.872	[8]

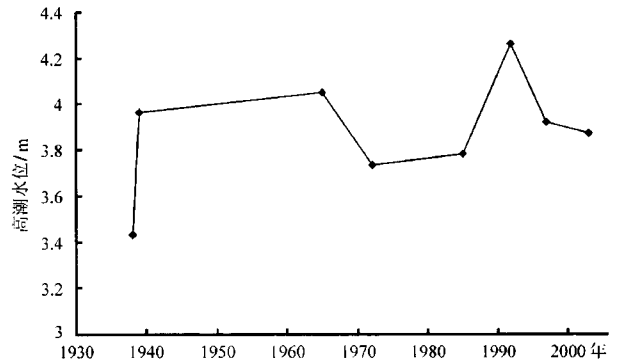


图 1 天津地区 20 世纪较大的风暴潮 (据表 1 所引参考文献改绘)^[5-16](③-④)

Fig. 1 Statistical graph of larger storms in the 20th century in the Tianjin area

1.2 极端高水位预测

极端增水高度的增加是由海面上升引起的,联合国政府间气候变化专门委员会(IPCC)第二工作组第四份评价报告^[17]引述的前人成果表明,伦敦、汉堡、加尔各答与吉大港所在的孟加拉湾等沿海地区,在 2050 年全球海面上升 20 cm 的情况下,预测 2040—2060 年间 50 年一遇的极端增水净增加值为 0.5 m^[18-19]。

2 天津地面高程现状及地面下沉预测

2.1 主要影响因素

本文涉及的影响地质环境的主要因素包括以下 3 个方面。

(1)地表现有高程。天津是中国沿海地区高程最

低的城市之一。1983 年天津市地面高程大于+2 m 的面积占市区总面积的 78%，大约有 11% 的面积位于多年平均高潮水位之下^[13]。天津市东部沿海低平原地面高程一般仅+1~+2 m，最高+3 m，塘沽城区西部海河两岸各乡及东丽区、津南区东部地区多仅为 0m。汉沽城区附近(面积 9 km²)、塘沽城区上海道—河北路一带(面积 8 km²)、海河下游泥沽等地，甚至已低于海平面，达到-1 m^[20-21](图 2)。

(2)地面下沉。近半个世纪以来,天津市及滨海新区持续下沉。天津市地质调查研究院统计了不同时段的地面平均沉降速率(表 2)^[22]。海河闸提供了一个实例:该闸闸顶 1958 年时高+3.332 m,但在 2003 年时仅为+1.832 m,已累计下沉 1.52 m。强烈下沉使 1992 年 9 月 1 日的风暴潮水超过闸顶 1.14 m^[10]。

从 1986 年开始,因地下水开采得到初步控制,地面沉降速率减缓,1986—1998 年平均沉降值降为 15 mm/a^[21]。另据报道:经过近 20 余年来控制地面沉降的努力,天津市已由控沉前的 86 mm/a 降至 2006 年年末的 15~20 mm/a,塘沽区则由大于 100 mm/a 降至 25 mm/a 左右,其他地区沉降速率也明显减缓^[23]。

(3)海挡顶面高程。现海挡顶面高程一般为+4.332 m(大沽高程+6 m),达到抵御百年一遇风暴潮的标准^[4],但还有一部分岸段尚未达到该标准。为便于计算和简化起见,本文选取+4.332 m 为预测今后海挡顶面高程变化的起算值。

2.2 地面下沉预测

根据上述分析,本文以 2007 年为起算年、以 2050 年为预测时限,对天津市地面沉降趋势与程度分别预测如下。

(1)按控沉后的地面平均下沉速率 15 mm/a^[22-23]推算,到 2050 年时地面还将下沉 0.645 m(0.015 m/a×43 a)。依此推算,现高+4.332 m 的海挡,2050 年时将降至+3.687 m(4.332 m-0.645 m)。

到 2017 年时,地面还将下沉 0.15 m(0.015 m/a×10 a),依此推算,现高+4.332 m 的海挡到 2017 年时将降至+4.182 m(4.332 m-0.15 m)。

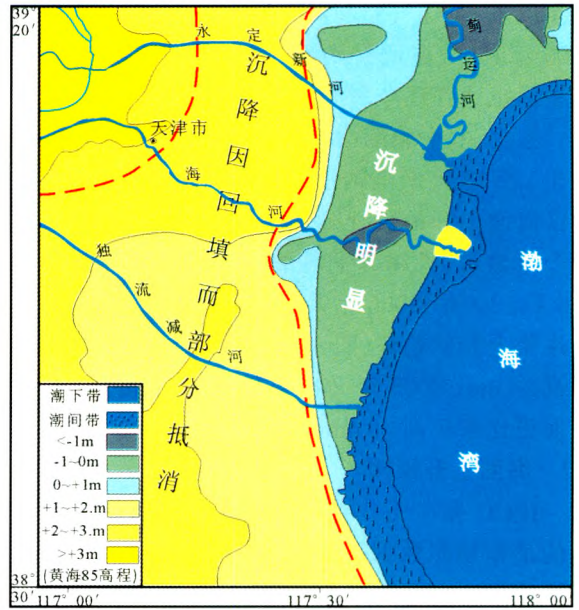


图 2 天津地区 20 世纪末地表高程示意图^[21]
Fig. 2 Sketch map illustrating the surface elevation by the end of the 20th century in the Tianjin area

(2)按天津地区工业化之前(1923—1957 年)的下沉速率 7.1~12 mm/a^[22]推算(即假定今后控沉工作能够完全抑制大规模工业化后的加速下沉),地面仍将下沉 0.305~0.516m,则 2050 年时海挡的高度将降至+4.027 m~+3.816 m。

(3)随着天津经济的加速发展,用水量需求将不断增大。考虑到可能发生的极端情况,按采取控沉措施后的塘沽地面沉降速率 25 mm/a^[23]推算,预测地面还将下沉 1.075 m,2050 年时海挡的高度将降至+3.257 m。

3 海面上升预测

3.1 海面变化历史与现状

距今 13~12 万年前的上一个间冰期时,全球平均气温比现在高 3℃左右,海面比现在高 4~8 m。自那时之后,气温和海面开始下降,到距今约 1.8 万年时的年平均气温甚至比现在约低 8℃、海面比现在

表 2 天津地区控制地面沉降前地面平均沉降速率^[22]

Table 2 Average rates of land subsidence in the Tianjin area before the land subsidence was controlled

时段	1923—1957	1958—1966	1967—1971	1972—1973	1974—1982	1983—1985
沉降速率/mm·a ⁻¹	7.1~12	23	42	109	85	71

约低 100~120 m^[24],此即末次冰期极盛期。距今 1.8 万年以来,全球气温和海面转为上升,距今约 7000~6000 年时,气温回升到现在的水平(或略高),全球海平面也达到现今高度(图 3)。

根据 56 个验潮站的实测数据,中国国家海洋局指出,近 30 年来全国平均海面上升了 9 cm,而天津地区海面上升最快,已达 20 cm^[2]。2006 年中国海平面公报显示,天津海平面平均上升速率为 2.2 mm/a(图 4)。2004—2006 年天津沿海海平面高于常年,并呈逐年上升的趋势(图 5)。其中,2004 年海平面比常年高 24 mm,2005 年又比常年高 37 mm,2006 年海平面更比常年高 48 mm^[25]。

3.2 海面上升预测

IPCC 第一工作组第四份报告公布的海平面上升的最新预测数据显示,2050 年海平面高度的最佳估计值将比现在的海平面高 20 cm 左右^[26](图 6)。

中国国家海洋局对国内海平面变化的预测显示,到 2050 年时全国平均海平面将比 2001 年上升 13~22 cm(这与 IPCC 的 2050 年预测值相近),而天津近岸地区上升更快,将达到 30~60 cm^[2]。

2007 年国家海平面公报仅对今后 10 年的变化趋势做了预测,预计未来 10 年,中国沿海海平面将继续保持上升趋势,将比 2007 年上升 3.2 cm,沿海地区海平面上升幅度介于 1.8~3.9 cm 之间^[27]。

4 21 世纪中叶天津沿海地区增水趋势预测

4.1 2017 年极端增水趋势预测

根据对各类数据的综合研究,首先对今后 10 年(2017 年)可能的趋势加以预测。

仅考虑地面下沉速率为 15 mm/a 的情况^[21],届时海挡将降为 +4.182 m,海面上升值取 3.9 cm^[27],50 年一遇的最高潮位是 +4.092 m^[6],若仅对这 3 个参数做上述考虑,则 2017 年时海挡仅比最高水位高 0.051 m

(4.182 m-0.039 m-4.092 m)(图 7)。这里没有考虑波高及中长尺度海面上升对极端高水位的激发效果(参见上文第 1、2 节)和河口效应(详见下文)。

4.2 2050 年平直岸段增水趋势预测

中长尺度变化,会因各种极端因素、出现概率增加而变得复杂。本文在对 2050 年趋势进行预测时,即增加了中长尺度海面上升对风暴增水的激发效果、波高叠加、河口效应等影响因素。具体预测如下。

I 类:海面上升 20 cm^[26]、极端增水因海面上升激发将加高 50 cm^[18-19],届时极端增水高度将由(现在的 50 年一遇的)+4.092 m^[6]增加到 +4.792 m(4.092 m+0.2 m+0.5 m)。天津沿岸平均浪高 0.6 m^[27],若波浪与增水发生同相位,则极端增水可能加高至 +5.392 m(4.792 m+0.6 m)。

II 类:海面上升 30 cm^[2]、极端增水加高 50 cm,届时极端增水高度将达到 +4.892 m(4.092 m+0.3 m+0.5 m),考虑浪高则增加到 +5.492 m(4.892 m+0.6 m)。

III 类:海面上升 60 cm^[2]、极端增水加高 50 cm,届时极端增水高度将达到 +5.192 m(4.092 m+0.6 m+0.5 m),考虑浪高则增加到 +5.792 m(5.192 m+0.6 m)(表 3)。

以海挡现有高程 +4.332 m 为起算值,代入 2050 年下降后海挡高程值、海平面上升预测值,以及在此基础上极端增水进一步的增加值等参数,绘制出天津市沿海地区 2050 年预测示意图(图 8),届时若发生极端增水,高水位将漫过现有海挡淹没渤海湾西岸部分地区。

4.3 2050 年河口增水趋势预测

天津地区入海河流包括海河、独流减河和(蓟运河-永定新河汇流后的)北塘水道 3 条主要河流。它们的河口及下游河段,同样受到风暴潮的潜在威胁。

荷兰斯凯尔特河 Bath 验潮站的平均高潮位为 +2.59 m,它的下游约 60 km、接近北海的 Vlissin-

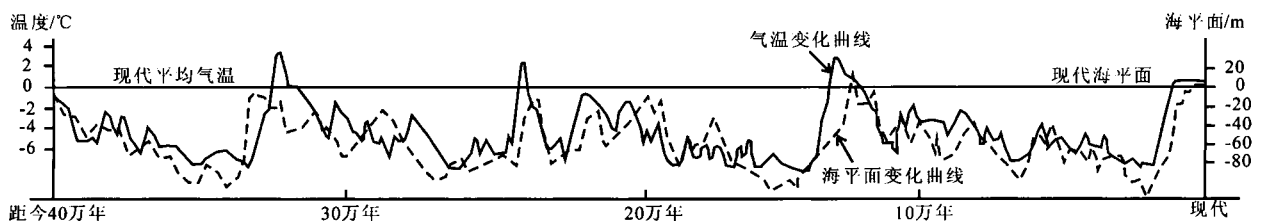


图 3 40 万年以来全球气温和海面变化曲线(据参考文献[24]改绘)

Fig. 3 Curves showing the global temperatures and sea-level changes in the last 400000 years

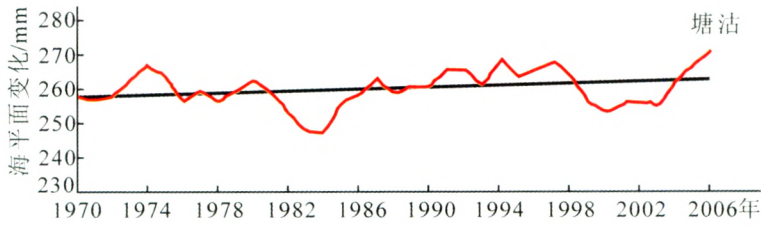


图 4 天津多年海平面变化^[25]

Fig. 4 Perennial sea-level changes in Tianjin

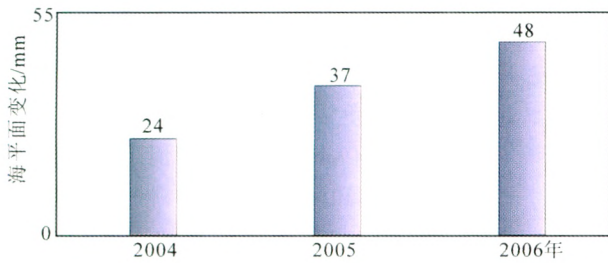


图 5 天津 2004—2006 年海平面变化^[25]

Fig. 5 Sea-level changes in Tianjin from 2004 to 2006

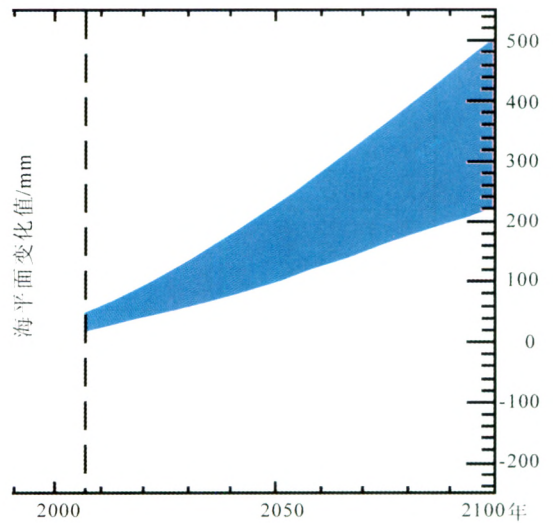


图 6 21 世纪海面上升预测曲线^[26]

Fig. 6 Prediction curve of sea-level rise in the 21st century

gen 验潮站的平均高潮位+1.98 m^[29-31],由于喇叭状河口纳潮引发的“河口效应”,沿河道上溯的潮水在 60 km 的距离内增高了 61 cm,平均增加值约为 1 cm/km。更严重增水的实例发生在美国新奥尔良市。计算机模拟显示,2005 年 8 月,卡特里娜飓风在与 Pontchartrain 湖连通的工业运河 (the Industrial Canal)内引发约 1 m 的增水水头^[32]。

目前天津新港新疆港区、30 万吨原油码头和天津临港工业区的围海造陆,导致海河防潮闸以下的河道加长至 7~12 km,按荷兰斯凯尔特河 Vlissingen—Bath 段河道纳潮导致潮位增高的经验值 1 cm/

km,海河防潮闸的极端高水位应比开放海海岸线处的同一次极端高水位高 7~12 cm,取中间值 10 cm 参与计算(表 3 第 15、16 列)。

独流减河防潮闸、蓟运河—永定新河防潮闸



图 7 2017 年极端增水预测示意图

Fig. 7 Sketch map showing the extreme high water level prediction in 2017

表 3 天津 2050 年极端增水情况预测
Table 3 Extreme high water level (ewl) prediction for Tianjin in 2050

类别	模型	统计近百年来渤海湾高水位获得的 50 年一遇的风暴潮水位/m	2050 年海面上升 0.2m 时 50 年一遇的风暴净增水经验值/m	海面上升 0.2m 时 50 年一遇的风暴净增水经验值/m	2050 年高水位预测值/m	2007 年一般海挡高度/m	地面沉降速率 /m·a ⁻¹	2007—2050 年间累计地面下沉量/m	2050 年时海挡下沉后剩余的剩余高度/m	2050 年时高水位高出海挡的高度/m	渤海湾平均波高/m	波高与 2050 年预测高水位同相位时的极端增水高度/m	2050 年极端增水高出海挡的高度/m	2007 年海河闸高度/m	2050 年时海河闸继续下沉后的剩余高度/m	河口效应增水/m	入海河末端高水位/m	极端增水高出闸顶(以海河闸为例)的高度/m	闸口处波高与 2050 年预测高水位同相位时极端增水高出闸顶的高度/m
I	模型 1	1	0	0	4(=1+2+3)	5	0.015	7	8(=5-7)	9(=4-8)	10	11(=4+10)	12(=11-8)	13	14(=13-7)	15	16(=4+15)	17(=16-14)	18(=17+10)
	模型 2	0.2	0	0	+4.792		0.0071	0.305	+3.687	1.105		5.392	1.705		+1.187		+4.892	3.705	4.305
	模型 3						0.025	1.075	+4.027	0.765			1.365		+1.527			3.365	3.965
II	模型 1	1	0	0	+4.892		0.015	0.645	+3.687	1.205		5.492	1.805		+1.187		+4.992	3.805	4.405
	模型 2	0.3	0.5	0.5	+4.892		0.0071	0.305	+4.027	0.865	0.6		1.465		+1.527	0.1		3.465	4.065
	模型 3						0.025	1.075	+3.257	1.635			2.235		+0.757			4.235	4.835
III	模型 1	1	0	0	+5.192		0.015	0.645	+3.687	1.505		5.792	2.105		+1.187		+5.292	4.105	4.705
	模型 2	0.6	0	0	+5.192		0.0071	0.305	+4.027	1.165			1.765		+1.527			3.765	4.365
	模型 3						0.025	1.075	+3.257	1.935			2.535		+0.757			4.535	5.135

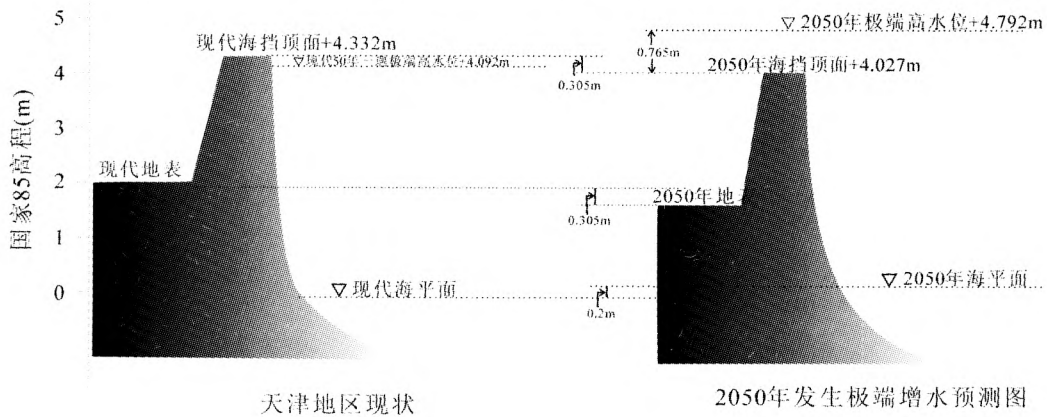
下河道的长度虽然短于上述海河河道,但考虑到今后大规模围海造陆的前景(独流减河河口以北潮间带—浅海区规划的“临港产业区”造陆宽度约 10 km,北塘水道外同样将大规模造陆,形成“海滨休闲旅游区”),对独流减河和北塘水道的“河口效应”,亦参照上述海河防潮闸的思路。

经过 40 余年的地面下沉,海河防潮闸至 2003 年时已下沉至 +1.832 m,“1992.09.01 风暴潮”水漫溢海河闸,水头比闸顶高 1.14 m^[10]。考虑到海河下游塘沽“外滩”和河南岸东沽一带的较低的河堤,在防潮闸加高的同时,宜相应加高闸后河流下游现存的河堤。本文暂按河堤长度 10 km 加高,紧邻防潮闸处的河堤与闸顶建议加高高度 +4.892 m 等高(表 3 第 16 列),上溯 10 km,河堤顶面加高的高度逐渐递减 1 m。考虑到工程费用,本文对闸顶的建议增加高度选择表 3 的 I 类预测值 +4.892 m,闸后河堤顶高的增加亦以此为据。

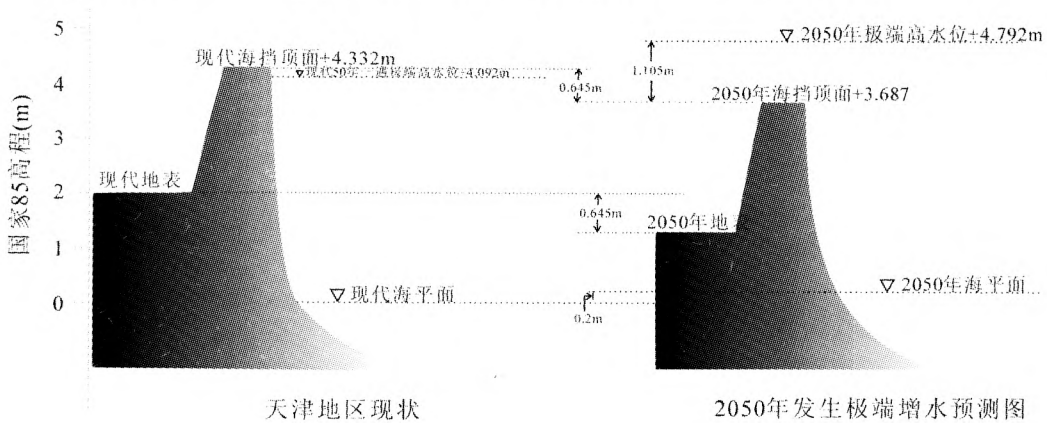
5 结论

极端高水位是泥质海岸带大规模开发的潜在威胁。本文逐一讨论了导致这一情况发生的各种因素和它们之间的关系,并以此为基础分别预测了 2017 年和 2050 年极端高水位的趋势。2017 年时,50 年一遇的风暴潮一旦发生,届时海挡顶面可能比极端高水位仅高 5cm 左右。2050 年可能出现的情况将更为复杂。其中,以最佳估计——海面上升 20 cm、地面下沉 0.645 m(表 3 第 I 类模型 1,不考虑浪高因素)——为前提进行预测时,结果如下:①天津沿海地区现有海挡 2050 年时将降为 +3.687 m,至

保守估计: I-2 (I类, 模型2), 根据表3参数1、2、4、5、7、8和9



最佳估计: I-1 (I类, 模型1), 根据表3参数1、2、4、5、7、8和9



极端估计: III-3 (III类, 模型3), 根据表3参数1、2、5、7、8、11和12

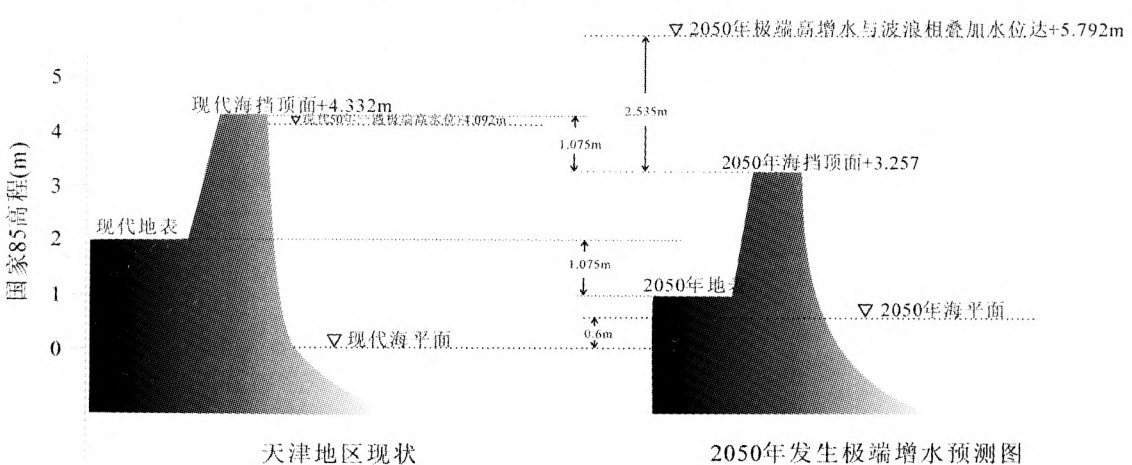


图 8 2050 年极端增水预测示意图

Fig. 8 Sketch map showing the extreme high water level prediction in 2050

少应加高 1.105 m(即海挡要加高至+4.792 m),才可与 2050 年的极端高水位持平。②海河闸 2050 年将进一步下降至+1.187 m,至少应加高 3.705 m(即达到+4.892m),才可抵御因“河口效应”在海河防潮闸处产生的与开放海同一高度的极端高水位;天津市防洪圈的南、北泄洪通道独流减河和北塘水道堤防高度的增加,应参照对海河防潮闸及其下游河道的建议。如果发生表 3 预测的极端情况,则可能造成更大的灾害(例如图 8 的“极端估计”)。

致谢:在成文过程中得到翟乾祥教授、李凤林研究员的指导,谨致谢意。

参考文献:

- [1]王宏,商志文,裴艳东,等.飓风的启示:渤海湾西岸现状与趋势分析[J].地质论评,2007,53(1):83-91.
- [2]朝闻天下.天津滨海新区规划宜考虑海面上升因素[N].中央电视台,2007-12-01.
- [3]Jonkman S N, Stive M J F, Vrijling J K. New Orlean is a lesson to the Dutch[J]. Journal of Coastal Research, 2005, 21(6): xi-xii.
- [4]段志华.再析天津渤海沿岸风暴潮特性及防御减灾对策[J].海洋预报,2002,19(1):43-50.
- [5]中国科学院地学部.海平面上升对中国三角洲地区的影响及对策[C]//任美镔.中国科学院院士咨询报告.北京:科学出版社,1994:1-353.
- [6]吴少华,王喜年,宋珊,等.天津沿海风暴潮灾害概述及统计分析[J].海洋预报,2002,19(1):29-35.
- [7]许富祥.天津沿海三次特大风暴潮成因分析及预防对策[J].海洋预报,2002,19(1):36-42.
- [8]王万筠,殷海涛,赵玉洁.近 50 年滨海新区风暴潮及强增水个案分析[J].天津航海,2007,(2):66-69.
- [9]王一红,尚嗣荣.渤海湾风暴潮灾害及对策[J].灾害学,1999,14(3):70-74.
- [10]张雪莹,邵荣敏,高孟川.天津沿海风暴潮的成因与防灾减灾措施研究[J].天津理工大学学报,2005,21(2):60-63.
- [11]施建堂.海平面上升与天津沿海风暴潮特征[J].海洋信息,1999,(4):25-26.
- [12]施建堂.近 10 多年来我国沿海海平面变化和风暴潮[J].防灾减灾,2002,(2):23-24.
- [13]张燕光.风暴潮对天津沿海地区经济发展的影响及建议[J].天津科技,2004,(1):24.
- [14]刘安国,张德山.环渤海的历史风暴潮探讨[J].青岛海洋大学学报,1991,21(2):21-36.
- [15]王喜年.全球海洋的风暴潮灾害情况[J].海洋预报,1993,10(1):30-36.
- [16]施平,郭洪寿.塘沽温带风暴潮及其预报研究[J].海洋预报服务,1984,1(1):33-42.
- [17]Nicholls R J, Wong P P, Burkett V R, et al. Coastal systems and low-lying areas[C]// Parry M L, Canziani O F, Palutikof J P, et al. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability, IPCC WGII AR4. Cambridge University Press, Cambridge, 2007: 315-356.
- [18]Lavery S, Donovan B. Flood risk management in the Thames Estuary looking ahead 100 years[J]. Philos. T. Roy. Soc. A, 2005, 363: 1455-1474.
- [19]Lowe J A, Gregory J M. The effects of climate change on storm surges around the United Kingdom[J]. Philos. T. Roy. Soc. A, 2005, 363: 1313-1328.
- [20]王福,钟新宝,康慧,等.天津市及其沿海地区地表高程变化现状及趋势[J].地质通报,2005,24(1):87-91.
- [21]王兰化,张士金.地面沉降、海平面上升对天津市海岸带的影响[C]//中国地质调查局.海岸带地质环境与城市发展论文集.北京:大地出版社,2005:184-189.
- [22]田德培,马广杰.天津市地面沉降分区图[C]//孙文承,等.天津市地质环境图集.北京:地质出版社,2004:149-152.
- [23]周明.本市地面沉降速率减缓[N].城市快报,2006-11-30.
- [24]Phillips A G, Furlong M, Fekete E. Carbon's New Math to deal with globe warming, the first step is to do the numbers[J]. National Geographic, 2007, 212(4):32-37.
- [25]国家海洋局.2006 年中国海平面公报[EB/OL].[2007-11-23].http://www.soa.gov.cn,2007.
- [26]Solomon S, Qin D, Manning M, et al. Climate Change 2007: Summary for Policymakers, IPCC WG1 AR4[J]. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 2007:1-18.
- [27]国家海洋局.2007 年中国海平面公报[EB/OL].[2008-01-27].http://ww.gov.cn,2008.
- [28]邹涛,刘秀梅,叶凤娟.天津沿海岸浪特征及分析[J].海洋预报,2002,19(4):11-16.
- [29]Van de Plassche O. Sea-level change and water-level movements in the Netherlands during the Holocene[M]. PhD Dissertation, Vrije Universiteit Amsterdam, 1982: 1-148.
- [30]Van de Plassche O. Introduction[M]//Van de Plassche O. Sea-Level Research: A Manual for the Collection and Evaluation of Data. 1986:1-26.
- [31]Wang Hong. Palaeoenvironment of Holocene chenier and oyster reefs in the Bohai Bay (China)[M]. PhD Dissertation, Vrije Universiteit, Brussel, 1994: 1-249.
- [32]Bourne J K, Turner T. The perils of New Orleans[J]. National Geographic, 2007, 212(2): 32-67.
- ① 王宏.渤海湾地质环境状况:2007 年报告.2007.
- ② 翟乾祥.渤海沿岸历史海啸(风暴潮)资料年表及初步分析.天津市历史博物馆古代史组,1978:1-41.
- ③ 天津市海岸带地质地貌协调组.天津市海岸带综合地质普查报告.1985:16-24.
- ④ 天津市海岸带和海涂资源综合调查领导小组办公室.天津市防强潮、防洪涝对策研究参考资料.1988:1-47.