

地面沉降、海平面上升对天津市海岸带的影响*

王兰化, 张士金

(天津市地质调查研究院, 天津 300191)

摘要: 通过对天津市海岸带地区地面沉降和海平面上升的分析, 认为廿世纪以来, 由于各种自然因素和人类活动的影响, 城市和村镇面积不断扩大, 贝壳堤、牡蛎礁均遭破坏; 湿地面积锐减, 过量开采地下水加速了地面沉降, 沿海地质环境不容乐观。文章对天津市海岸带地区防潮堤的安全进行了分析预测, 可为政府主管部门规划和控制提供参考。

关键词: 地面沉降; 海平面上升; 海岸带; 防潮堤; 模拟预测

1 天津市海岸带概况

百年以来天津市沿海平原与海岸线的形态发生了显著变化: 沿海低平原区地面沉降, 泻湖与湿地大面积退化或消失; 海岸线逐渐蚀退、平直, 使大潮高潮线向陆地方向发展, 潮间带逐渐变缓、变宽; 由于淤积、砂质岸线已逐渐转化为泥质岸线。这都将对沿海地区的经济和社会发展产生不良影响。

天津市海岸为典型的淤泥质平原海岸, 全长 153.33 km。依据海岸前缘滩面水动力状况和泥沙的冲淤变化可划分为侵蚀型岸段、相对稳定型岸段和淤积型岸段, 相临岸段间属渐变过渡关系^①。

由塘沽区北部的青坨子向东北方向至河北省涧河口为侵蚀型岸段, 此段陆地无现代河流, 岸边再造主要受海浪回流影响。由于滩面宽度小、坡度大、海浪冲刷直抵岸堤, 沿岸冲刷侵蚀现象明显。1907 年海图标示汉沽区大神堂村南距海岸线 2000 m、潮间带宽 1800 m, 由于向陆侵蚀, 1960 年大神堂村南距海岸仅剩百米, 至 1983 年此处潮间带宽度已增加到 3500 m; 汉沽区蔡家堡、蛭头沽两村 1907 年距岸线约 200 m、潮间带宽度分别为 2000 m 和 1400 m, 1960 年距岸线亦仅剩百米, 蔡家堡村西南方建于日伪时期的碉堡已被海水围抱、距岸边约 40 ~ 50 m, 至 1983 年潮间带宽度亦分别增加到 3400 m 和 3500 m。由于解放后改造盐田和防潮侵蚀陆续加固了海堤, 大神堂村东南部还打入数排木桩护岸, 大大改变了自然海岸的形态, 海岸线侵蚀后退现象消失, 但潮间带仍在不断淤涨中; 近 20 年间此段中部海沿村南和大神堂村东因修建虾池使海岸线人为向海方向推进数百米, 且多为土堤, 抗风浪能力较差。

由海河口以南的塘沽区道沟子向南为相对稳定型岸段, 此段岸线较平直、潮间带浅滩发育并有分带性。一般春、秋季分带明显, 夏季风浪大时冲刷带常遭破坏、沉积物有粗化现象、粉砂范围扩大、当刮东南风且涨潮时浅滩上有浮泥活动, 夏末秋初风浪减小、冲刷带逐渐扩大明显, 秋一冬季节滩面不断加积, 冬季结冰后岸滩基本稳定, 解冻后滩面多有淤泥堆积。1960 年海岸线西距第 I 道贝壳堤一般仅 100 ~ 200 m, 说明此段岸线向海推进的速度很慢, 基本处于相对稳定状态。近年来亦因修建虾池和沿海工程使此段岸线人为东移: 1997 年建成的海防公路道沟子至高沙岭北段也是坚固的海堤、岸线东移 700 ~ 1200 m, 高沙岭村东部的海滨浴场建在海防路东侧、为挡风浪、此段海堤修在公路东侧约 500 m 处、原海岸线东移近 1500 m, 白水头村附近海防公路向海一侧开辟大片虾池、岸线东移约 750 m, 独流减河以南的大部分岸段早已围海成陆海岸线向海移动最宽处可达 1200 m。

塘沽区青坨子向南至道沟子为淤积型岸段; 流经天津市的两大水系—海河、蓟运河均在此段入海, 两河年均入海输沙量约 600 万吨。由于河口呈喇叭状、受潮水顶托大量泥沙堆积在河口附近形成水下三角洲并逐渐向海内及两侧淤进, 是河口两侧滩面及近海区的主要物源。20 世纪 20 年代海河口水下浅滩平均宽度 5 400 m、至 20 世纪 30 年代平均宽度已达 6 300 m, 十年间淤涨了 900 m; 塘沽建港后, 由于新港向海内延伸而修建的南、北防波堤与岸线形成垂直防波堤外侧而造成一静水区, 为泥沙淤积提供了优良场所, 为解决港口淤积、疏浚航道, 天津新港每年清淤须挖泥约 700 万 m³, 排放到外航道-8m 线附近, 在潮流的作用下向西北推移到湾顶滩面淤积, 也阻挡了蓟运

* 交稿日期: 2004-06-26

基金项目: 中国地质调查局地质调查项目 (200112400003)

作者简介: 王兰化 (1963-), 男, 高级工程师, 从事水文地质、工程地质、环境地质调查与研究, 电话 022-23670182

^①天津市地质调查研究所, 天津市潮间带地区工程地质调查报告, 1990 年 10 月。

河入海泥沙向南扩散；1958年后海河口和蓟运河口相继建闸，入海径流量受到人为控制，但汛期排洪仍有一定的下泄泥沙，加之此岸段涨潮流速大于落潮流速、涨潮含沙量大于落潮含沙量，仍然造成淤积；但近些年来由于连续干旱、入海径流量、输沙量骤减，造成河道及闸下淤积、潮流作用增强，引起河口外浅滩发生变化、使蓟运河口外水下三角洲南侧的拦门沙逐年缩小。

天津市海岸堤防基本是人工修建的石质或土质堤岸，自然状态的海岸线已面目全非，人工堤岸虽增强了抵御风暴潮和巨浪的能力，但当遇异常气象事件形成特大风暴潮时仍然成灾，在20世纪50年代前人工堤岸尚不完备时灾情更重；1895年4月28、29日风暴潮袭击天津沿海并连降特大暴雨，几乎毁掉了河口的全部建筑物，塘沽淹没房屋近千家，沿海浪高七米、高潮越过新河、船只被冲走、塘沽北塘间铁路被冲断、从大沽到歧口沿海建筑物基址被冲的荡然无存，海河水下三角洲产生海底滑坡，岸边产生坍塌，海档全部冲没；1938年8月11日海啸、风暴潮再袭天津，潮水上涨、潮位达3.286 m，汉沽大神堂地区被水淹没，渤海湾西岸大港区沿海贝壳堤几被冲蚀殆尽，并冲毁津歧公路，高潮水侵入内陆达20~30 km，淹没了北大港的盐沼和泻湖，并直逼距海岸40 km的黄骅县城。解放后多次加固整修海堤，在发生的九次较大风暴潮中仅两次成灾：1985年8月19日风暴潮使塘沽海堤多处决口，海水侵入塘沽、积水最深2 m，新港、新港船厂亦被淹、损失近亿元；1992年9月1日风暴潮潮位高达5.98 m，天津沿海被水淹没多处，受灾严重，损失达3.9亿元。

20世纪气温回升，人类经济活动日趋频繁，城市和村镇面积不断扩大，贝壳堤、牡蛎礁均遭破坏。1963年以前洪水多次光顾天津、南部平原区广泛分布的泻湖、洼淀普遍积水，湖底逐渐淤高、淤积最厚处可达1~1.5 m，长期淤积的结果使部分泻湖退化而成盐沼。1963年后华北地区连续40年无大水，由于连年干旱，积水洼地面积逐渐缩小，除前七里海、团泊洼和北大港已改建为平原水库外、其他湿地几乎全部干涸消失。2002年湿地调查时、除北大港水库低洼处尚有部分积水外，团泊洼水库、七里海水库亦已干涸见底，为维持湿地景观、2002年8月上、中旬水库管理部门引入部分外调水后才使团泊洼水库和七里海水库恢复部分水面。由于连续干旱，为解决工农业生产水源，自20世纪70年代开始天津市城乡均开凿大量机井抽取地下水以解燃眉之急，过量开采地下水加速了地面沉降，在集中开采区地面沉降更为严重，已形成碟形洼地，汉沽、塘沽城区部分地面已与海面持平，局部地区则低于海平面为负标高，沿海地质环境正在逐渐恶化^①。

2. 影响海岸带地区安全的主要灾害

2.1 地面沉降

地面沉降已成为海岸带地区的主要地质灾害，在一定程度上制约着国民经济的发展，并已造成了巨大的经济损失。

过量开采地下水是引起地面沉降的主要原因，地面沉降所造成的最大危害就是损失地面标高。如海河泄洪能力大大降低；建筑增加填土方量；井管上升影响正常使用造成市政排水困难等等，另外还表现在海平面不断的相对上升、海河水系的减退以至消失，以及它们所引起的多种次生灾害^[1]，特别是滨海地区更加重了风暴潮对沿海地区的威胁。

2.2 渤海湾风暴潮

滨海地区地面标高本来很低，仅2~3 m，再加上地面沉降的影响，使沿海地区受到风暴潮的灾害威胁更为严重。天津滨海地区在1450年至1950年的500年中，风暴潮侵袭达140次之多，其中造成灾害的共67次，平均7年一次。解放后塘沽共发生风暴潮7次，潮位一般在5 m以上，潮水深入内地可达40 km（表1）^[2]。

由此可见，渤海湾地区是风暴潮的多发区和严重区。这种潮灾一年四季都有可能发生，尤以初春、秋末、盛夏三个时段为多。初春、秋末是冷暖空气在中纬度区交锋激烈的时节，易产生北高南低的气压形势，进而生成气旋，造成渤海强东风，引起较强的增水过程。盛夏台风活动频繁，一旦台风北上，影响渤海湾很容易产生风暴潮。当风暴潮由于地形影响或与受影响海区的天文潮叠加，它就会冲垮海堤造成极其严重的灾害。

^①王兰化, 张士金, 等. 环渤海地区(天津部分)地下水资源与环境地质调查评价报告, 2003年12月.

表 1 近百年塘沽风暴潮表
Table 1 rainstorm current in a century of Tanggu

时 间	潮位 (m)	说 明
1895 年 4 月 28~29 日	5.0	海河口陆地被淹
1911 年 8 月 30 日	5.6	北炮台被淹
1917 年 8 月	5.0	大沽附近村庄进水
1938 年 8 月 11 日	5.1	塘沽房屋进水、大沽水深 1.0m 汉沽房屋进水六级东北风。
1965 年 11 月 7 日	4.72 ~ 5.1	暴风雨、新港码头进水、塘沽潮位 5.1m、岐口 5.5m、大神堂 5.0m。
1972 年 7 月 27 日	5.0	塘沽潮位。
1977 年 7 月 31 日	4.88	塘沽潮位。
1985 年 8 月 2 日	5.0	塘沽潮位。东南风 2-3 级、潮水溢出海河闸顶。
1985 年 8 月 19 日	5.12	塘沽潮位。塘沽海堤多处缺口、码头及东沽水深 1-2 米、新港船厂被淹损失几千万元。
1992 年 9 月 1 日	5.98	天津沿海严重受灾，损失 3.9 亿元。

3.海岸带变迁趋势分析和警示性预测

海岸带地面有效高程、海面缓慢上升、地面沉降、沉积物的垂向加积和异常气象灾害事件是影响天津市沿海低平原海岸稳定和制约 21 世纪经济社会可持续发展的主要因素。

3.1 海岸带变迁趋势分析

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、津南区东部地区多为 0 m 标高，汉沽城区附近 9 km²、塘沽城区上海道一河北路一带面积 8 km²地面高程已低于海面^①，汉沽城区东北京沈铁路以东部分地域地面高程已达-1m，为全市陆地标高最低者。

气候变暖、气温回升引起的全球性海面上升已成公认的事实。根据《2003 年中国海平面公报》，未来三至十年内，我国沿海海平面将继续保持上升趋势。在沿海地区中，与 2000 年平均海平面相比，2003 年天津沿海海平面上升幅度最大，高达 25 mm；天津沿海海平面 2006 年和 2013 年将比 2000 年分别高 29 mm 和 57 mm。专家指出，从全球范围看，近 50 年来我国沿海海平面平均上升速率为 2.5 mm/a，略高于全球海平面上升速率。

天津市东部沿海泥质海岸带地面下沉的原因既有自然因素也有人为因素。自然因素包括：构造下沉引起的沉降、约为每年 1.7 ~ 2.0 mm；软弱土层(指全新世第二段第一海相层)自然压密和土层在荷载长期作用下产生的次固结变形等压缩变形量，每年约为 10 ~ 20 mm；偶发的强烈地震灾害事件因地应力变化而在部分地区造成的地形变震陷值，如 1976 年唐山地震在塘沽新港地区造成的震陷值约为 100 ~ 294 mm。人为因素主要是不合理开采地下水、地热和油气资源使地下水位持续下降而产生的地面沉降，它伴随着开采量的增加而发展、又随着开采量的减少而减缓；另外，大型建筑物的荷载及深基坑降水开挖也会加速临近地区地面沉降，但其影响时间较短、一般为 5 ~ 15 年，范围也小，其最终沉降量平均值约为 50.47 ~ 135.89 mm^②。

由于上、中游层层筑坝截流，使进津河流客水逐年减少，造成河道及河口严重淤积，再加连年干旱、至今已 40 年无洪水入境，物源不足使天津市沿海地区沉积速率大大降低，渤海湾沿海低地现代沉积速率仅为 0.1-0.35cm/a^[3]。

如上述，天津市沿海低平原地面有效高程不足 3 m、部分地区已低于海面。地面继续下沉，河道、河口及潮间带均被淤积，陆域水体和湿地日渐消退，防洪能力降低，海面缓慢上升等，这一切都说明天津市东部泥质海岸带正面临着地质环境逐渐恶化的严重挑战。人工防潮堤已成为抵御风暴潮袭击、维护沿海生态环境和经济发展的唯一屏障，沿海人工防潮堤必须严加防护。但在人类经济

^①天津市环境地质研究所，天津市滨海新区地面沉降研究，1998 年。

^②天津市地质环境总站，天津市地面沉降防治对策勘查报告，1994 年。

活动日益频繁的今天,围垦滩涂、向海洋要地已成为沿海地区解决土地资源不足的有效途径。天津市为发展海洋经济的需要已于 2003 年启动全国最大的城市围海造地扩展工程。本次滩涂开发工程位于海河入海口以南,毗邻南疆港和南疆散货物流中心,一期计划吹泥造地 20 km²,用以建设滨海工业区。造地范围:北以海河大沽沙航道南治导线为界向南延伸 3.8 km、西起海防路向东部伸入海湾 6.6km、与天津港南疆码头现有东边界持平,至 2005 年此段海岸线又将人为向海移动 6.6km。另外,在汉沽区西南蛭头沽村东滩涂上也正在实施围海造地工程,计划造地 2 km²、用于航母军事主题公园的建设,2003 年完工后,此段海岸向海移动距离约 1 km。按天津市规划方案近期还要在独流减河以北建设“海上新城”,在塘沽区北塘镇沿海建设永定新河河口化工港区。除独流减河以南岸线暂时维持现状外、独流减河以北的岸线滩涂都要开发利用,并在 2010 年前逐步实施。

3.2 海岸带警示性预测

不考虑突发的地质灾害事件,仅就影响国计民生的异常气象灾害事件—特大风暴潮袭击而言,能否成灾与防潮堤的稳固性和堤顶有效高程密切相关。塘沽区海河南至独流减河间海防路堤段堤顶高程为 5.5 m,其余防潮堤堤顶均在 5.0 m 左右。1993 ~ 2001 年汉沽区堤段平均沉降量 33 mm / a、塘沽区堤段 15 mm / a、大港区堤段 18 mm / a,推算至 2050 年汉沽区段防潮堤标高损失将达 1.617 m,堤顶有效高程仅存 3.40 m,基本丧失了抵御较大风暴潮的能力,可视为重度危险堤段;大港区堤段标高损失为 0.882 m、堤顶有效高程为 3.95 m;塘沽区北部堤段标高损失为 0.735 m、塘沽区北部防潮堤堤顶保有有效高程 4.25 m、南部海防路堤顶保有有效高程 4.75 m,尚有抵御较大风暴潮的能力,可视为一般危险堤段。另外,按海平面平均上升速率为 2.5 mm / a 计,至 2050 年海面还将上升 0.12 m,这亦是影响海岸安全的又一不利因素。根据李建芬、王宏等^[3]在渤海湾西岸利用²¹⁰Pb、¹³⁷Cs 测年进行的现代沉积速率研究认为,渤海湾西岸现代沉积具有强烈活动、快速堆积与封闭平静、缓慢堆积的多样性特征,沿海低地现代沉积速率仅为 0.1 ~ 0.35 cm/a,而现代潮间带上部近百年来的平均沉积速率达 1 ~ 3 cm/a、甚至更高。说明沿海低平原(盐沼地区)现代沉积速率偏低,难以抵消地面下沉、海平面上升等对海岸带地区所造成的影响。为保海岸安全,应将沿海 2 km 范围内划为地下水禁采区,同时还应随时加固、加高防潮堤,以提高抵御特大风暴潮袭击的能力。另外,天津市东部沿海低平原内洼地、湖泊、河道、河口均遭严重淤积,大大降低了蓄洪、泄洪能力,若遇较大洪水入境因河流尾间宣泄不畅极易成灾,故疏浚河道等防洪措施亦应提到议事日程上来。

本文作者采用 MODFLID 拟三维渗流与垂直一维压缩的复合模型对天津市汉沽区及其周边 3 600 km² 的地下水和地面沉降进行了模拟预测。从三套预测方案结果来看,采用第一套现状开采量进行预测,地下水开采量已超过地下水资源量,地下水开采量无保证,至 2020 年第 II 含水组水位漏斗中心超过 110m,第 III 含水组水位超过 90m,地面沉降速率达 21.7mm;第二套减采方案,考虑了地下水开采资源量,至 2020 年,第 II、III 含水组水位均未超过 60m,而且 III 组在城区出现了反漏斗,地面沉降完全得到控制;依据第三套增采预测方案,即假设自 2002 年起,模型计算区新增需水量均取自地下水,至 2020 年,第 II 含水组水位漏斗中心水位超过 150 m,第 III 含水组水位超过 120 m,地面沉降年压缩速率达 57 mm。

4. 对策和措施

防治海岸带地区地质灾害工作应以先进的科学技术为指导,坚持以防为主,防、治结合及开源、节流并举的方针,结合本地区社会经济发展实际,针对地面沉降使生态环境面临的突出问题,应统筹规划,采取一系列行之有效的控沉措施^①。

(1) 开辟新水源是控沉工作的关键措施之一。但南水北调工程实现之前,开源的方向应是地下咸水的开发利用,海水淡化,城市污水处理及应用,北部西龙虎峪、武清、宁河北岳龙等水源地的开发利用。

(2) 天津市地下咸水资源相当丰富,大有开发前景,而且淡化技术已经相当成熟。但需要指出的是,开发利用咸水同样会引起环境地质问题。因此,在开发利用之前应进行地质环境论证。

(3) 节流是重要措施之一^[4]。工业节水要继续提倡一水多用,循环用水,提高重复利用率。农业节水要提高农业的利用率,调整种植结构,创建一批节水型农业。开发利用海水资源是解决天

^①天津市规划和国土资源局,天津市地质灾害防治规划(2001年-2015年),2003年。

天津市淡水资源紧缺和改善滨海新区脆弱生态环境的一条重要途径，2000 年现状海水替代淡水为 $0.30 \times 10^8 \text{m}^3$ ，规划 2010 年为 $0.57 \times 10^8 \text{m}^3$ ，2020 和 2030 年分别达到 0.75×10^8 、 $0.93 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

(4) 实现污水资源化。目前天津市污水利用量为 7.13 亿米³，通过加强和完善城市工业及生活污水处理系统，建设城市中水道供水系统，加强城市污水的处理利用，提高污水处理率、达标率及回用率等措施，预计 2010 年污水利用量可达到 $9.75 \times 10^8 \text{米}^3$ ，从而增加了可利用的水资源。

(5) 要从根本上解决天津市海岸带地区水资源紧缺与环境恶化的矛盾，有赖于外流域调水，实施南水北调工程。根据天津市 2010 年水资源规划要求，2010 年需水量为 $51.12 \times 10^8 \text{m}^3$ ，而天津市通过各种节水措施后（包括引滦水）其可供水量仅为 $37.01 \times 10^8 \text{m}^3$ ，缺水 $14.11 \times 10^8 \text{m}^3$ 。如南水北调中线工程 2010 年前通水后，向天津供水 $10 \times 10^8 \text{m}^3$ ，实际收水 $8.6 \times 10^8 \text{m}^3$ ，则调水后可供水量为 $45.64 \times 10^8 \text{m}^3$ ，将大大缓解水资源供需矛盾；如 2010 年能建成东线二期工程，向天津供水 $5 \times 10^8 \text{m}^3$ ，实际收水按 4×10^8 吨计，可供水量为 $49.64 \times 10^8 \text{m}^3$ ，水资源短缺的问题将基本得到解决。

主要参考文献

- [1] 王若柏, 孙东平, 等. 天津地区地面沉降及其对地理环境的影响. 地理学报, 1994, 49 (4) .
- [2] 马振兴, 渤海风暴潮灾害及其原因分析. 天津市地质学会志第 6 卷第 3 期. 1998 年
- [3] 李建芬、王宏等 渤海湾西岸²¹⁰Pb_{ex}、¹³⁷Cs测年与现代沉积速率 地质调查与研究 2003, 26-2
- [4] 吴铁钧, 孙文承, 等. 天津市地质环境图集/天津市地质矿产局编制. 北京: 地质出版社, 2004. 4 ISBN 7-116-04068-4

The Influence of Land Subsidence and Upward Movement of Sea Level on the Zone of Tianjin Seacoast

WANG Lan-hua ZHANG shi-jin

(Tianjin Institute of geological survey and research, Tianjin 300191)

Abstract : The article was analysed present situation and effect element on surface subsidence of the Tianjin Seacoast zone, Thinking about since twenty centuries , because of different natural element and mankind's maneuver effect , The area of town and villages is continuously broadens , Conchylum embankment 、 The damage is all suffered by oyster reef ; The area of The damp sharps fall , Excessively extracing groundwater speeduped surface subsidence , the part of the earth surface of Hangu 、 Tanggu keeps balance against the sea level on, The parts of area piece are lower than the sea level in the interest of carries on the back the elevation , The littoral geology environment among deteriorateing one by one 。 The article analysis and predict to the moisture-proof embankment security of Tianjin seacoast zone, May be supplys the reference for program and control of the government department.

Key words : Surface subsidence ; upward movement of Sea level; zone of Seacoast、 Moisture-proof embankment 、 Imitation and prediction