

天津近海潮汐特征分析

李希彬^{1,2}, 张秋丰^{1,2}, 姚志刚³, 叶风娟^{1,2}, 李玉杰^{1,2}

(1. 国家海洋局天津海洋环境监测中心站, 天津 300451; 2. 天津市海洋环境监测预报中心, 天津 300451;
3. 中国海洋大学 海洋环境学院, 山东 青岛 266100)

摘 要:对塘沽海洋环境监测站从1950~2008年, 59年的潮汐资料进行调和分析, 分析了其分潮调和常数的变化曲线, 并利用FFT谱分析方法对其调和常数的变化周期和原因进行了分析; 之后应用FFT谱分析方法对去除天文潮后的余水位进行分解, 分析了近50多年来年平均余水位的多层次周期分布, 进而利用最小二乘法进行线性分析, 分析了天津近海平均海平面的变化趋势。结果表明, 天津沿岸潮汐M2分潮振幅变化存在20年、4~6年、2~3年的周期, 且明显受到改革开放后工程建设的影响; 余水位变化包含着20年、5~6年、2~3年、1年等不同周期的时间尺度变化, 天津近海海平面呈逐渐上升趋势, 上升幅度约为3.4 mm/a, 主要受海平面上升和地面沉降两部分因素影响。

关键词:天津; 潮汐; 调和分析; 谱分析; 海平面

中图分类号:P731 **文献标识码:**A **文章编号:**1003-0239(2011)02-0041-08

1 资料介绍

潮汐是海洋活动中最为显著的动力现象, 与人们的生产、生活及军事活动都有着密切的关系, 也是影响海上交通运输、海洋工程施工、海港安全作业以及航道设计维护的重要因素, 它很早就引起了人类的重视。随着对海洋的开发和利用不断深化, 人类对海洋的依赖性也越来越大, 潮汐的观测、分析和利用, 一直是人类关注的重点领域, 更是科学考察研究的热门课题。

塘沽作为京、津的海上门户, 位于渤海湾畔, 隶属于中国四大直辖市之一的天津市, 从1949年3月15日开始, 天津市港务局在六米码头建井验潮, 并从1950年1月1日起正式验潮, 1986年7月1日~1994年8月4日, 由塘沽海洋站在天津新港20段与21段码头交汇处建临时验潮站, 1994年8月5日至今, 塘沽海洋站在天津港东突堤工作船码头(38°59'N, 117°47'E), 建永久性验

潮站。从1950年1月1日起开始记录验潮数据, 距今已有59年的验潮历史, 有多年的系统、连续、高精度的潮位资料, 中间验潮井虽有搬迁, 但搬迁位置始终位于天津港内, 且相距不远, 潮汐性质变化不大, 本文认为这59年的潮汐数据基本可以代表天津近海59年的潮汐变化过程, 对科研和工程开发均具有较高的利用价值。

目前已经有许多关于近海潮汐特征分析和研究的方法, 欧素英等^[1]曾经用小波变换的方法研究了广东近海的海平面周期变化, 进而研究了广东沿海的海平面变化趋势; 杨清书等^[2]用低通数字滤波的方法研究了海平面的变化趋势; 王晓东等^[3]用单站潮汐预报的谱分析方法对厦门和东山的潮汐资料进行分析; 范文静等^[4]对塘沽海洋站水位变化及其极值与海面风的相关关系进行了研究; 但关于天津近海的潮汐资料周期性变化的分析和海平面趋势变化方面的成果较少, 本文的目的即通过对天津近海59年左右的潮位观测数据的分析研

究,以期能够对天津近海的潮及其变化特征有更进一步的认识,同时对海平面的长期变化趋势进行研究,来揭示近59年来渤海海域的海平面变化趋势。

2 潮位资料分析

首先,本文对塘沽海洋站1950~2008年,共59年的潮汐资料进行统计分析,统计结果显示:塘沽海洋环境监测站观测的潮汐类型数大约为0.6,属于不规则半日潮海区,其年最高高潮位为581 cm,出现在1992年9月1日,最低潮位-108 cm,出现在1957年12月18日出现,年平均高潮位为374 cm,年平均低潮位为134 cm,年平均潮差为240 cm,年最大潮差为437 cm,出现在1980年10月。

2.1 调和分析

已有的研究表明,渤海湾是一个潮汐能量明显占优的海区,其潮汐信号以经由渤海海峡传入的协振潮为主,而由本海区引潮力所导致的强迫潮基本可以忽略不计。因此,对塘沽海洋站海平面长期变化的研究必须包括对该站位潮波信号的时间演变过程的研究。

通过对塘沽海洋站59年的时间序列潮汐数据进行逐年的调和分析^[5-6],可以得到一个其调和常数的时间序列,本文选取了该站位最主要的六个分潮来进行分析,分别是半日分潮M2和S2,全日分潮K1和O1以及浅水分潮M4和MS4,结果见图1~12:

其中:

(1) 半日分潮M2和S2分潮的振幅以及两者的迟角之间均存在较相似的变化趋势,其中,M2和S2分潮的振幅从1960~1970年之后至2000年,大体呈逐渐增大的趋势,2000年之后,其振幅逐渐减小,中间有小的震荡,M2分潮振幅最大值出现在1964年,为117 cm,最小值出现在2003年,为97 cm,S2振幅最大值出现在1969年,为35.2 cm,最小值出现在1999年,M2和S2分潮的迟角从50年代开始,大体呈现逐渐增大的趋势,至70~80年增至最大,其中,M2分潮迟角最大值出现在1981年,为93.2°,S2分潮迟角最大值出现在1978年,为168.9°。1980年之后,M2和S2分潮的迟角呈逐渐减小的趋势,M2和S2分潮迟角最小值分别为81.7°和152.6°,均出现在2000年;

(2) 全日分潮K1和O1分潮振幅和迟角,均



图1 M2分潮振幅变化图

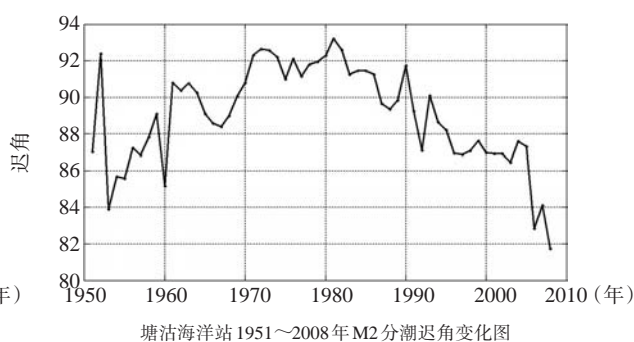


图2 M2分潮迟角变化图



图3 S2分潮振幅变化图

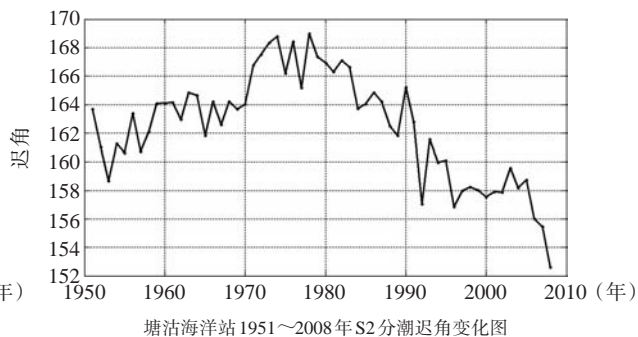
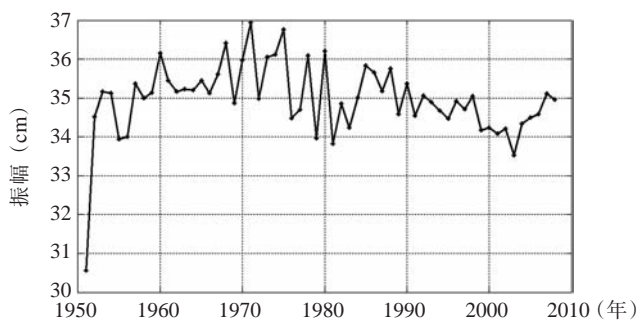
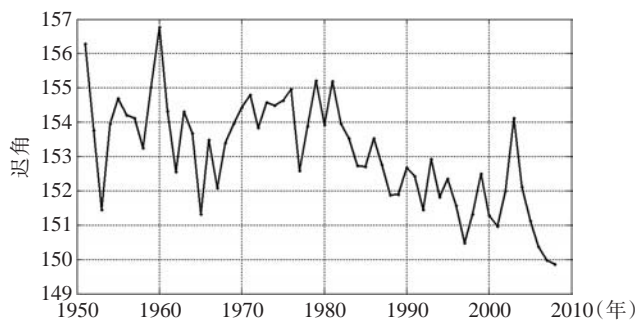


图4 S2分潮迟角变化图



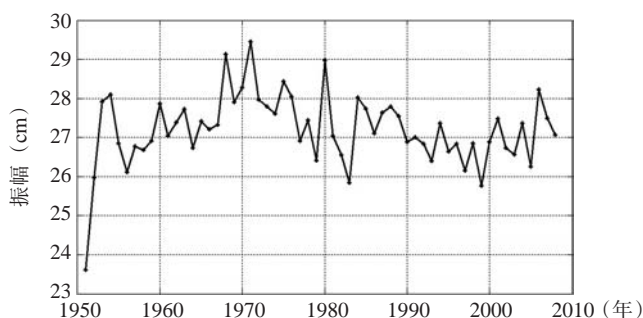
塘沽海洋站 1951~2008 年 K1 分潮振幅变化图

图5 K1分潮振幅变化图



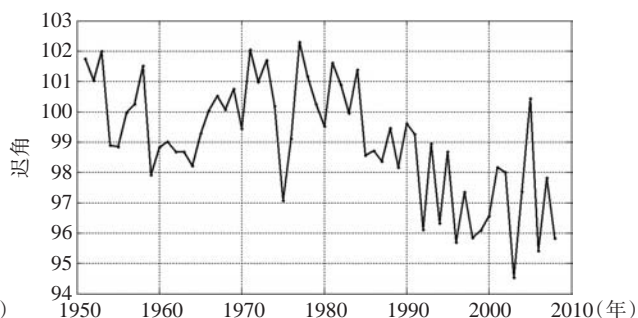
塘沽海洋站 1951~2008 年 K1 分潮迟角变化图

图6 K1分潮迟角变化图



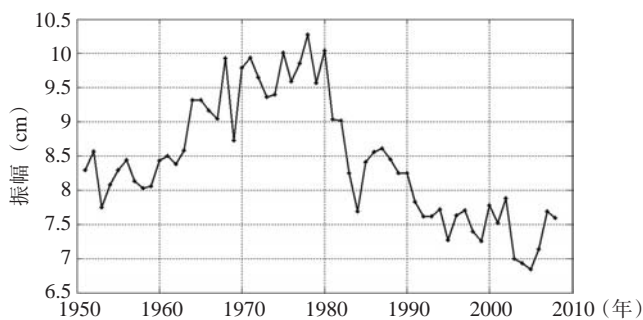
塘沽海洋站 1951~2008 年 O1 分潮振幅变化图

图7 O1分潮振幅变化图



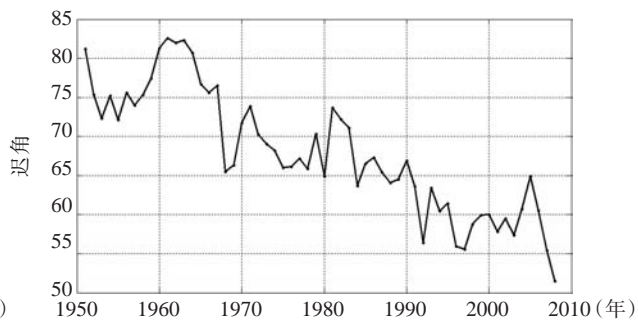
塘沽海洋站 1951~2008 年 O1 分潮迟角变化图

图8 O1分潮迟角变化图



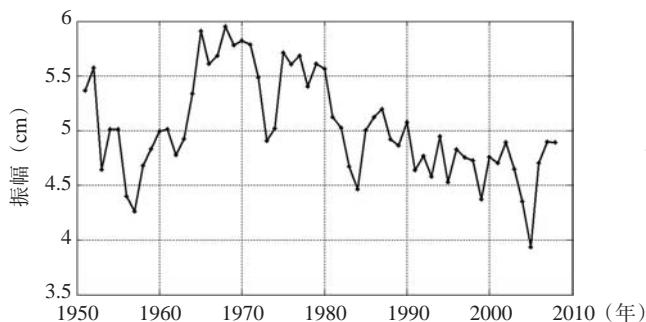
塘沽海洋站 1951~2008 年 M4 分潮振幅变化图

图9 M4分潮振幅变化图



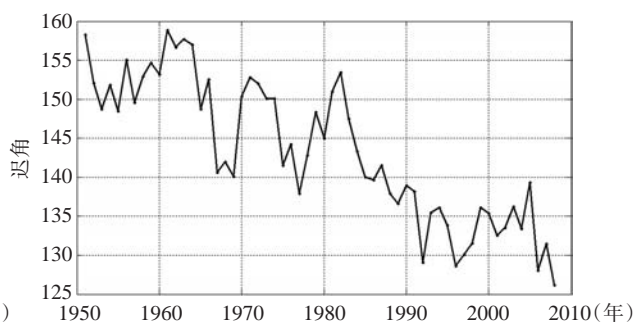
塘沽海洋站 1951~2008 年 M4 分潮迟角变化图

图10 M4分潮迟角变化图



塘沽海洋站 1951~2008 年 MS4 分潮振幅变化图

图11 MS4分潮振幅变化图



塘沽海洋站 1951~2008 年 MS4 分潮迟角变化图

图12 MS4分潮迟角变化图

呈现大约1年期的震荡趋势,其中,K1分潮振幅维持在35 cm左右,最大值36.9 cm,出现在1971年,O1分潮振幅维持在27 cm左右,最大值29.5 cm,同样出现在1971年;K1和O1分潮迟角在1980年前均维持震荡趋势,K1分潮迟角维持在 154° 左右,O1分潮迟角维持在 100° 左右,其中,K1分潮迟角最大值出现在1960年,为 156.8° ,O1分潮迟角最大值出现在1977年,为 102.3° ,1980年后两者均呈震荡减小的趋势,K1分潮最小值出现在2008年,为 149.9° ,O1分潮最小值出现在2003年,为 94.5° ;

(3) 浅水分潮M4和MS4分潮的振幅以及两者的迟角均相似变化趋势,两个浅水分潮的振幅从1950年开始,至1980年间,均呈现震荡增加的趋势,1980年后,呈现震荡减小的趋势,其中,M4分潮振幅最大值出现在1978年,为10.3 cm,最小值出现在2005年,为6.8 cm,MS4分潮振幅最大值出现在1968年,为5.95 cm,最小值出现在2005年,为3.9 cm,M4和MS4分潮的迟角从1950年开始,呈震荡减小的趋势,M4和MS4分潮迟角的最大值均出现在1961年,分别为 82.6° 和 158.9° ,最小值均出现在2008年,分别为 51.5° 和 126.2° 。

对潮汐能量的计算表明,M2分潮的势能(以调和常数中振幅的平方表示势能)占全部分潮能量总和的70%左右,并且其振幅随时间的变化幅度也接近20 cm,远大于其他分潮。因此,本文选取M2分潮作为代表,通过谱分析方法对其年振幅随时间变化的变化特征进行进一步的分析,结果见

图13。

如图所示,M2分潮的振幅主要存在20年、4~6年,2~3年左右的周期。因为数据长度只有59年,而谱分析一般要对原始fft的结果进行频域平均以提高可信度,这导致20年周期的谱不仅包含了该周期附近信号的能量,还反映了其他周期大于20年的低频信号的能量,因此在20年左右的周期附近其谱分析的结果出现了最大值,其中就包括由于升交点向西移动而导致的18.61年的长周期变化,以及海平面的其他低频和长期变化。此外,信号中还包括明显的4~6年以及2~3年周期的变化,这个周期与ENSO现象2~7年的变化周期相似,一定程度上反映了全球大气强迫的周期变化对潮汐信号的影响^[1-2]。另外,渤海湾的潮波信号也明显的受黄河以及海河入海径流量变化的影响,王海龙等^[7]曾指出,黄河径流量分别存在着2~3年和4~5年左右变化周期,径流量的这种周期变化必然会导致天津近海潮波信号发生相应变化;黄河、海河等冲淤带来的岸线和地形的变化也会引起潮波信号的变异,另外天津近海近年来,大范围的围海造地也会引起潮波信号的变化,从而导致其潮汐分潮振幅和迟角的变化,运用最小二乘法拟合方法计算得出:1980年前,M2分潮的振幅呈逐渐增加的趋势,速度约为0.068 cm/a,而1980年之后,M2分潮的振幅呈迅速减小的趋势,减小的速度约为0.345 cm/a,同时,随着围海造地和港口建设的进行,大面积滩涂被填,港口航道疏浚开发,对浅水分潮影响也较大,1980年

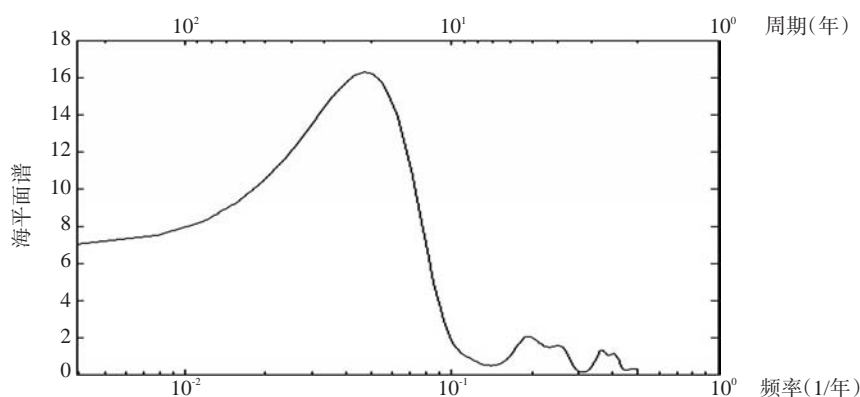


图13 M2分潮振幅变化谱

前, 浅水分潮 M4 和 MS4 的振幅均呈增加的趋势, 增加的速度分别为 0.075 cm/a 和 0.029 cm/a, 而 1980 年之后, 两个浅水分潮的振幅均呈现减小的趋势, 减小的速度分别为 0.058 cm/a 和 0.015 cm/a, 以上变化其中固然部分反映了上文谱分析得出的周期性变化的影响, 但也与改革开放之后, 天津近海的人为建设有密切关系, 围海造地使天津近海的地理环境出现很大变化, 造成天津近海的潮汐特征也出现了较大改变。

2.2 余水位分析

前文已经指出, 天津近海海平面的变化主要由外海传入的潮波所导致。另外, 其他外界强迫如局地的大气强迫也会引起余水位的异常变化, 其变化幅度有时甚至接近或者超过 0.5 m, 因此, 有必要对这些余水位异常增减水及其时间变化进行分析研究。借助调和分析的结果, 我们可以从原始观测中剔除掉潮波所导致的海平面变化, 得到其他非潮因素所导致的海平面变化的时间序列, 即余水位, 结果见图 14。

如图所示, 天津近海余水位最大值为 26.7 cm, 出现在 2006 年 11 月, 最小值为 -44.2 cm, 出现在 1967 年 5 月。从图中我们可以看到余水位的时间序列存在着明显的变化, 有大的周期性的起伏, 也存在着小幅的震荡, 为了更好的分析天津近海余水位的周期性变化, 我们对上述余水位时间序列进行能谱分析, 结果见图 15。

与图 13 类似, 周期为 20 年左右的谱中反映了其他极低频信号的能量以及海平面的长期变化, 我们予以忽略。从图 15 上看, 天津近海余水位的变化周期主要包括 5~6 年、2~3 年, 1 年等不同周期的时间尺度变化, 其中 5~6 年左右周期信号比较强, 次之为 1 年左右和 2~3 年的周期。余水位变化主要取决于外界大气强迫, 尤其是风场和气压场, 而余水位中 5~6 年的周期正是在一定程度上反映了 ENSO 等外界大气强迫的变化, 大气强迫的变化会导致风场和气压场发生相应变化, 从而对该海区的余水位的变化产生影响, 此外, 太阳黑子的周期性变化也可能是影响天津近海余水位变化的因素之一。余水位中还存在着明显的 1 年左右的变化周期, 该周期反映了季风跃迁的影响, 夏季盛行的偏南季风导致中国近海北高南低, 冬

季正好相反。而 2~3 年的周期反映了与该海区附近河流径流量变化的影响, 如前文所指出的, 黄河等存在着 2~3 年的变化周期, 因而在余水位中可以看到径流量周期变化对海平面的影响。另外, 极地海冰和陆冰的长期变化以及气候的长期变化也会导致海平面产生变化。

2.3 海平面变化分析

海平面的变化直接影响制约沿海地区人民生活和社会经济的发展, 海平面的上升将进一步影响到这些地区的安全和经济发展。虽然海平面上升是一个相对缓慢的过程, 但长期积累的结果足以对沿海经济发展、城市安危和人民生活环境带来多方面的不利影响, 这种影响比任何一种自然灾害都要广泛和深入。因此对海平面变化趋势的研究和预测, 具有十分重要的意义^[8]。

一般来说, 年平均海平面时间序列会随年际变化表现出某种趋势性, 即认为平均海平面 y 与时间 t 有如下关系: $y(t)=a+bt$ 。利用年均水位变化序列, 通过最小二乘法拟合来确定天津近海的海平面变化率, 结果见图 16。

从图中可以看出, 天津近海的平均海平面是在缓慢上升的, 经过计算得到天津近海平均海平面上升的速度约为 3.4 mm/a, 这种上升的变化, 主要是由两部分因素组成的。一方面是由于海平面的上升; 另一方面说明天津港地区的地面在逐渐下沉, 特别是在 1986 年验潮站搬迁之后, 位于吹填区域的新建码头, 局部的下沉量大应当是合理的。1986 年以前的海平面变化情况是比较平稳的, 1986 年以后则变化比较剧烈, 正是说明了上述变化情况。分别对 1950~1986 年和 1986~2008 年的潮汐数据进行平均和拟合, 发现: 1950~1986 年的平均海平面为 225.422 cm, 平均海平面上升的速度基本为 1.4 mm/a, 而 1986~2008 年的平均海平面则达到了 236.923 cm, 平均海平面上升的速度基本为 4.7 mm/a, 相比 1950~1986 年, 平均海平面高出 11.501 cm, 平均海平面上升的速度高出 3.3 mm/a, 也说明了天津港地区处于逐渐沉降中, 当然, 以上结论是在只有天津港一个水准点的水准资料的情况下做出的, 若要论证整个天津近海地区的下沉情况, 还需要对周边大面积地区的水准测量结果进行综合比较才能得出结论。

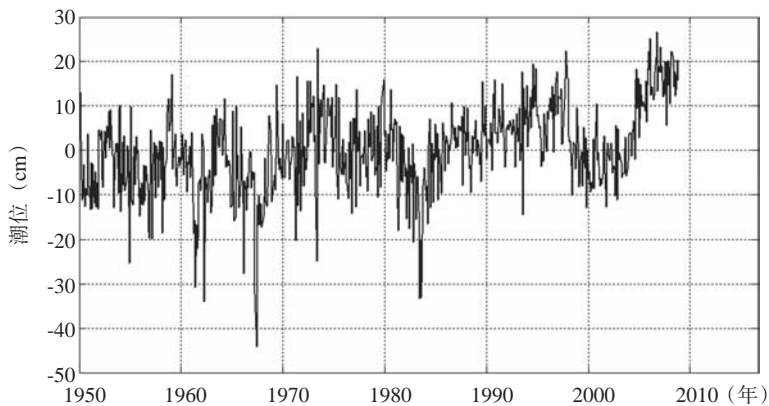


图 14 余水位月均序列表

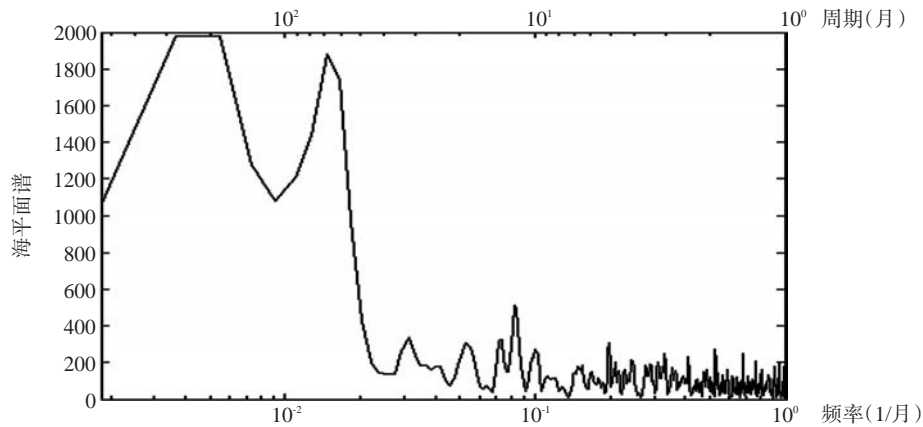


图 15 余水位变化谱

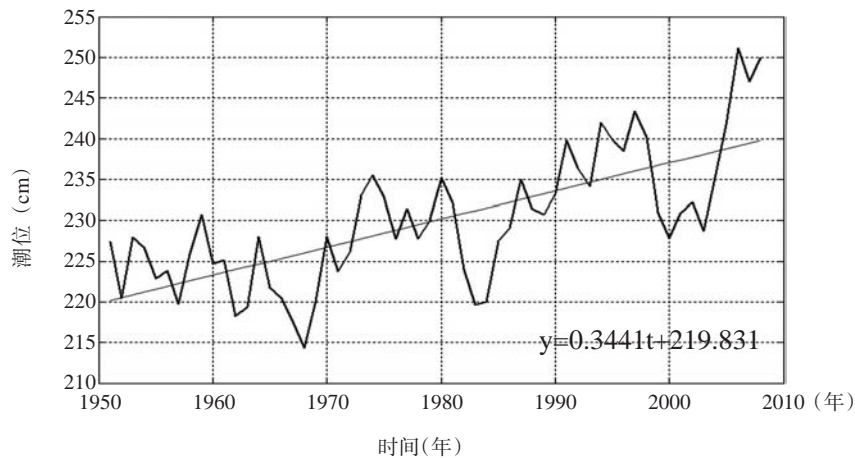


图 16 天津近海海平面变化趋势

3 结论

综合以上分析，可以得到以下结论：

- (1) 通过对塘沽海洋站每年的潮汐数据进行
- 调和分析，得到关于分潮调和常数的时间序列，分析了各主要调和常数的变化趋势，并对主要影响天津近海的M2分潮的振幅进行FFT谱分析，分析其能量变化周期及产生原因；
- (2) 用谱分析的方法研究了天津近海余水位

在时域-频域中的周期分布,很好的揭示了天津余水位的周期变化特征,发现其变化周期主要包含20年、5~6年、1年等时间尺度,其中,以5~6年的时间变化为主,之后分析了产生这些变化周期的可能因素;

(4) 针对近年来较为关注的海平面问题,本文采用最小二乘法拟合的方法,线性拟合了天津近海的海平面变化率,结果显示天津近海海平面呈逐年升高的趋势,上升的速度约为3.4 mm/a,并就天津港的平均海平面上升现象从海平面上升和地面沉降两方面进行了分析。

参考文献:

- [1] 欧素英,陈子燊.小波变换在相对海平面变换研究中的应用[J].地理科学,2004,24(3):358-364.
 - [2] 杨清书,吴超羽.低通数字滤波在确定海平面变化趋势中的应用[J].海洋通报,1996,15(1):7-14.
 - [3] 王晓东,蒋国荣,王英俊.单站潮汐的谱分析预报[J].海洋预报,2008,25(3):53-59.
 - [4] 范文静,张爱军.塘沽海洋站水位变化及其极值与海面风的相关关系研究[J].海洋通报,2006,25(4):29-35.
 - [5] 黄祖珂,黄磊.潮汐原理与计算[M].青岛:中国海洋大学出版社,2005:12-88.
 - [6] 王长海.潮汐调和分析的一种模式[J].海洋预报,1995,12(4):71-76.
 - [7] 王海龙,李国胜.近50年来黄河入海水沙通量变化的多尺度分析[P].自然科学进展,2006,16(12):1639-1644.
 - [8] 左军成,陈宗镛,周天华.中国沿岸相对海面变化的本征分析和预测[J].海洋与湖沼,1995,26(3):331-337.
- [1] 欧素英,陈子燊.小波变换在相对海平面变换研究中的应用[J].