

江苏海岸港口特征潮位计算与分析

吴德安 ,严以新 ,童朝锋

(河海大学水文水资源与水利工程科学国家重点实验室 ,江苏 南京 210098)

摘要 利用潮汐调和分析程序对江苏海岸 6 个港口 2001 年 4 ~ 6 月份的高低潮位资料进行调和分析 ,得出了 11 个分潮的调和常数、平均海平面和特征潮位 ,并进行了一致性验证 .利用预报程序预报了 2000 ~ 2005 年的时序潮位和高、低潮位 ,所得结果与潮汐表预报潮位基本一致 .利用预报结果计算了工程设计高、低潮位 ,时序潮位累积频率 99% 对应的潮位与低潮位序列数据累积频率 90% 对应的潮位一致 .根据特征潮位数据拟合出了各验潮站特征潮位间的关系表达式 .

关键词 江苏海岸 ;调和分析 ;潮汐预报 ;平均海平面 ;特征潮位

中图分类号 :P731.23 文献标识码 :A 文章编号 :1000-1980(2007)04-0471-06

江苏海岸北起苏鲁交界的绣针河口 ,南抵长江口北岸 ,大陆海岸线全长约 954 km .江苏海岸线大致可分成 3 个岸段 ,即北部的海州湾和废黄河三角洲岸段 ,中部的射阳河口至 港岸段 ,南部的辐射沙洲岸段 .江苏沿海主要受两大潮波系统支配 .在江苏沿海南面 ,太平洋潮波经东海以前进波的形式 ,继续由南向北推进 ,而在江苏沿海北部 ,由于受南黄海西部旋转潮波系统的制约 ,其波峰线由北向南传播 .这两股运动方向大致相反的潮波在 港至庄家沙一带海域辐合^[1-3] .辐合潮波能量集中 ,振幅、潮差增大 ,落潮时 ,自 港向外海呈放射状辐散 .这个辐合潮波系统塑造了水下浅滩 ,使浅滩成为辐射状沙洲及水下沙脊^[3] .在射阳河口、新洋港、梁垛闸及 港一带 ,由于水深较浅 ,浅海分潮显著 ,测量结果表明 , M_4 分潮振幅 H_{M_4} 与 M_2 分潮振幅 H_{M_2} 的比值 $H_{M_4}/H_{M_2} > 0.1$ ^[3] .江苏海岸主要设置连云港、滨海港、燕尾港、射阳河口、新洋港、陈家坞、 港、小洋港、吕四等验潮站 ,这些验潮站潮高的起算面——潮高基准面与海图深度基准面一致^[4] .本文利用射阳河口、新洋港、陈家坞、 港、小洋港、吕四 6 个验潮站的潮位资料 ,对沿岸港口潮位特征进行分析 .

1 验潮站测量潮位的调和分析及其对比验证

利用调和分析程序对江苏海岸 6 个港口 2001 年 4 ~ 6 月份的高、低潮位资料进行了调和分析^[5] ,得出了 M_2 S_2 N_2 K_2 K_1 O_1 P_1 Q_1 M_4 M_6 和 M_{S_4} 这 11 个分潮的调和常数和平均海平面 Z_0 .主要分潮 M_2 和 K_1 的调和分析结果与模拟计算结果的相互验证见表 1 .

表 1 部分站位调和常数计算值^[1]和实测值的比较

Table 1 Comparison of calculated results of harmonious constants with measured data for some tidal stations

站 名	站 位		M ₂ 分潮						K ₁ 分潮					
	东经	北纬	实测		计算		计算 - 实测		实测		计算		计算 - 实测	
			振幅/m	迟角/(°)	振幅/m	迟角/(°)	振幅/m	迟角/(°)	振幅/m	迟角/(°)	振幅/m	迟角/(°)	振幅/m	迟角/(°)
射阳河口	120°30'	33°49'	0.90	290.0	0.921	297.0	0.021	4.0	0.230	44.0	0.216	44.1	- 0.014	0.1
陈家坞	121°13'	33°06'	1.57	342.0	1.569	351.0	- 0.001	3.0	0.190	81.0	0.188	79.8	- 0.002	- 1.2
小洋港	120°56'	32°36'	2.54	9.0	2.559	15.0	0.019	6.0	0.210	123.0	0.206	122.5	- 0.004	- 0.5

1.1 验潮站平均海平面和潮汐性质

平均海平面均起算点为潮高基准面 .实际上 ,只有通过长期验潮才能比较准确地确定平均海平面 .根据调和分析程序计算得到的江苏省辐射沙洲海域 6 个验潮站的平均海平面如表 2 所示 .比较和验证结果(表 2)

收稿日期 2006-11-28

基金项目 国家自然科学基金重点资助项目(50339010) ;国家自然科学基金资助项目(40476039)

作者简介 吴德安(1968 —) ,男 ,江苏徐州人 ,博士 ,主要从事海岸动力及其数值模拟研究 .

表明,调和分析计算得到的平均海平面与2001年潮汐表提供的平均海平面较为一致,其中吕四港的差别较大,绝对误差也仅为4.5 cm.通过对连云港、大丰港、吕四港1995年7月~1996年6月连续1年的水位分析资料的内插处理,得到以黄海平均海平面为起算面的各站位当地平均海平面^[6]:连云港1.0 cm,射阳河口2.0 cm,大丰港3.6 cm,陈家坞4.1 cm,小洋港5.1 cm,吕四港6.0 cm.利用Surfer软件中的Kriging插值程序对上述各值进行内插,得到其余站位相对于黄海平均海平面的平均海平面,如表2所示.插值计算结果表明,相对于黄海平均海平面的当地平均海平面是由北向南逐渐增大的,江苏省辐射沙洲海域以黄海平均海平面为基准面的平均海平面平均值为4.0 cm左右.由表2可知,潮汐性质值^[4]及 $2g_{M_2}-g_{M_4}$ (g_{M_2} 、 g_{M_4} 分别为 M_2 、 M_4 分潮的迟角)的计算精度也较高,可见上述各港口潮位站具有正规半日潮性质.

表2 验潮站平均海平面、潮汐特征值的计算与验证

Table 2 Computation and validation of mean sea level and tidal characteristics of some tide stations										
站名	调和分析得到的平均海平面/cm	2001年潮汐表提供的平均海平面/cm	平均海平面的相对误差/%	相对于黄海海平面的平均海平面/cm	本文计算的潮汐性质值	2001年潮汐表提供的潮汐性质值	潮汐性质值的相对误差/%	本文计算的 $2g_{M_2}-g_{M_4}$ 值/(°)	2001年潮汐表提供的 $2g_{M_2}-g_{M_4}$ 值/(°)	$2g_{M_2}-g_{M_4}$ 值的相对误差/%
射阳河口	169.8	171.0	-0.7	2.0	0.316	0.310	1.9	90.9	96.0	-5.3
新洋港	199.5	200.0	-0.0	2.5	0.325	0.330	-1.5	89.2	87.0	2.5
陈家坞	299.8	300.0	-0.0	4.1	0.217	0.220	-1.4	122.3	124.0	-1.4
港	298.0	301.0	-0.1	4.7	0.068	0.080	-15.0	41.2	40.0	3.0
小洋港	448.8	449.0	0.0	5.1	0.131	0.130	0.8	46.0	44.0	4.5
吕四港	314.5	310.0	1.5	6.0	0.180	0.180	0.0	183.9	190.0	-3.2

1.2 平均大潮升和平均小潮升的计算与验证

潮升是规则半日潮港和不规则半日潮港的潮位特征值.平均大潮升是指大潮期间(在朔或望附近)的平均高潮高,平均小潮升是指小潮期间(上、下弦附近)的平均高潮高^[4].一般情况下,潮高起算面和海图深度基准面一致,这时上述平均大潮升就等于大潮平均高潮位,平均小潮升就等于小潮平均高潮位.根据调和分析结果计算得到的平均大潮升(即平均大潮升1)和平均小潮升(即平均小潮升1)如表3所示.表3中的平均大潮升2和平均小潮升2为2001年潮汐表和海图数据^[4].对比结果表明,调和分析结果与潮汐表以及海图数据吻合较好,最大相对误差仅为3.7%.

表3 平均大潮升和平均小潮升的计算与验证

Table 3 Comparison and validation of mean rise of spring tides and neap tides								
站名	站 位		平均大潮升1/cm	平均大潮升2/cm	平均大潮升1与平均大潮升2的相对误差/%	平均小潮升1/cm	平均小潮升2/cm	平均小潮升1与平均小潮升2的相对误差/%
	东经	北纬						
射阳河口	120°30′	33°49′	284.0	290.0	-2.1	236.4	240.0	-1.5
新洋港外	120°28′	33°37′	344.6	340.0	1.4	264.5	260.0	1.7
新洋港	120°45′	33°40′	324.5	331.0	-2.0	272.2	264.0	3.1
陈家坞	121°13′	33°06′	516.8	521.0	-0.8	396.5	401.0	-1.1
港	120°52′	32°44′	573.1	595.0	-3.7	466.7	463.0	0.7
小洋港	120°56′	32°36′	805.3	815.0	-1.2	604.1	610.0	-1.0
吕四港	121°35′	32°08′	569.3	557.0	2.2	410.9	408.0	0.7

2 工程设计潮位的确定

2.1 潮位预报及验证

将各站位调和分析结果输入预报程序,得到各验潮站2000~2005年的时序潮位和高低潮位的前报和后报结果.检验结果表明,该程序预报结果与潮汐表的预报数据基本一致.射阳河口2001年5月的高低潮潮时预报值 $T_{预报}$ 、高低潮潮位预报值 $H_{预报}$ 和高低潮潮时资料值 $T_{资料}$ 、高低潮潮位资料值 $H_{资料}$ 的对比验证如图1、2所示.由图1、2可知,验证结果较为理想.相应的拟合关系式分别为 $T_{预报}=0.9996T_{资料}+0.003$ (相关系数 $R=1.0$), $H_{预报}=0.9999H_{资料}$ (相关系数 $R=0.9997$)单位为cm.其余港口站位的验证结果也令人满意.

陈家坞验潮站预报潮位与1998年4号站位(东经121°5′6″,北纬32°59′43″)实测水深变化过程的对比如图3所示.4号站位于东大港水道的北部中心水道,与陈家坞验潮站相距较近.由图3可知,陈家坞测站的预

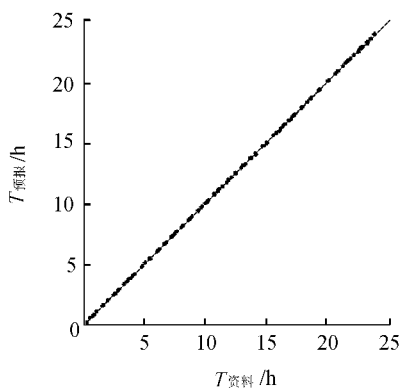


图 1 射阳河口 2001 年 5 月高低潮时的对比验证

Fig.1 Comparison of predicted result with observed data at the time of high and low tides for May 2001 at Sheyang Estuary

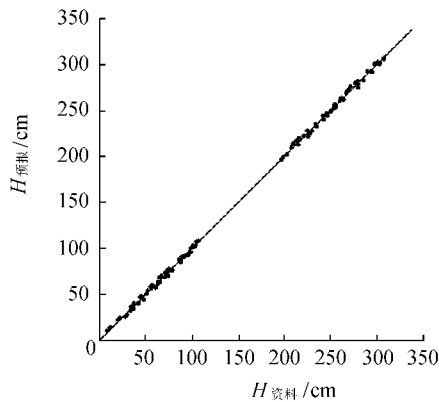


图 2 射阳河口 2001 年 5 月高低潮位的对比验证

Fig.2 Comparison of predicted result with observed data of high and low tide levels for May 2001 at Sheyang Estuary

报潮位和 4 号站位的实际相对测量水深变化趋势基本一致. 由于水深现场测量其他因素的影响, 水深变化过程曲线并不太光滑.

设计高、低潮位是指水工建筑物与海港工程正常工作条件下的高、低水位. 一般根据潮位历时累积频率曲线(即 $P-H$ 曲线)来确定设计高、低潮位. 方法有 2 种:(a)根据 JTJ213—98《海港水文规范》要求^[7], 制作 $P-H$ 曲线所采用的数据应为全年或多年逐日每小时潮位观测记录资料. 由于不具备长时间序列观测记录资料, 本文采用上述预报结果. $P-H$ 曲线的制作方法是: 找出资料中的最高和最低潮位, 由高向低排列后确定变幅, 本文确定的变幅为 1 cm, 计算潮位 H_W 各级累积频率 P ; 以潮位 H_W 为纵坐标、累积频率 P 为横坐标绘制 $P-H_W$ 曲线. 一般近海建筑物采用潮位历时累积频率为 1% 的潮位作为设计高潮位, 采用累积频率为 98% 的潮位作为设计低潮位.(b)根据潮峰和潮谷历时累积频率曲线确定设计高、低潮位. $P-H$ 曲线的制作方法是: 与潮位历时累积频率曲线的制作方法类似, 区别在于分别用潮峰(高潮位)和潮谷(低潮位)值进行统计. 采用潮峰 H_H (高潮位)累积频率为 10% 的潮位作为设计高潮位, 采用潮谷 H_L (低潮位)累积频率为 90% 的潮位作为设计低潮位.

设计高、低潮位计算结果如表 4 所示. 各年与连续 6 年的计算结果比较一致. 由表 4 可知: 以潮谷(低潮) H_L 累积频率为 90% 的潮位作为设计低潮位与以 H_W 累积频率为 99% 的潮位作为设计低潮位误差很小, 而与 H_W 累积频率为 98% 的潮位相差较大, 但同一站位的差值是一致的.

2.2 可能最高潮位的计算

利用上述各站位 11 个分潮的调和常数, 根据文献[8-9]编制程序并计算了理论可能最高、最低潮面. 理论可能最低潮面的计算结果与潮高基准面基本接近, 计算所得理论可能最低潮位: 射阳河口为 3.4 cm, 陈家坞为 10.0 cm, 小洋港为 -5.4 cm, 吕四为 7.8 cm. 由于 港位于两股潮流体系的辐合区, 理论可能最低潮位计算值偏离海图深度基准面较大, 达 40 cm 左右.

2.3 验潮站各基准面及特征潮位间的关系

潮升、理论深度基准面采用潮汐表^[4]中的标准值, 其余数据采用以上计算结果或其平均值. 以潮高基准面为起算面的验潮站各基准面、特征潮位如表 5 所示.

由表 5 可知, 各特征潮位在小洋港出现峰值(港设计低潮位稍大). 其主要原因是小洋港位于狭长的河道内并且是 2 个不同方向的潮波汇合处. 这一特征已被实际观测资料和理论推算结果所证实^[10].

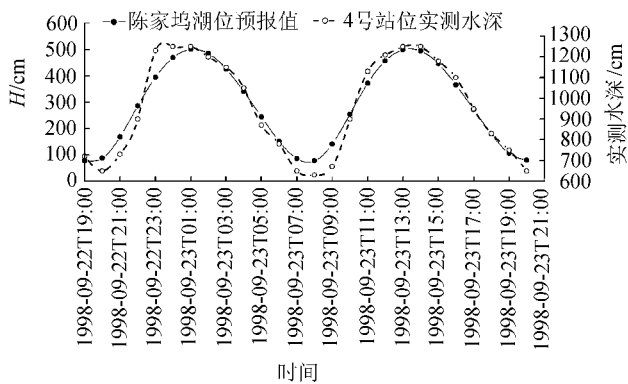


图 3 陈家坞潮位预报值与 4 号站实测水深变化趋势的对比

Fig.3 Comparison of predicted tidal level at Chenjiawu Station with observed data at station No.4

表4 设计高、低潮位计算结果

Table 4 Computed result for high and low tidal level design

								cm
站名	潮位资料时段	H_W 累积频率为1%的潮位	H_H 累积频率为10%的潮位	H_L 累积频率为90%的潮位	H_W 累积频率为99%的潮位	H_W 累积频率为98%的潮位	H_W 累积频率为98%的潮位 - H_W 累积频率为99%的潮位	
射阳河口	2000	294.0	291.0	25.0	25.7	35.0	9.3	
	2001	295.0	293.0	25.0	25.0	35.0	10.0	
	2002	295.0	293.0	25.0	26.0	36.0	10.0	
	2000~2005	295.0	291.0	26.0	25.7	36.0	10.3	
新洋港	2000	339.0	339.0	51.0	51.0	60.0	9.0	
	2001	339.0	339.0	51.0	51.0	60.0	9.0	
	2002	338.0	339.0	51.0	50.0	59.0	9.0	
	2000~2005	339.0	339.0	51.0	51.0	60.0	9.0	
陈家坞	2000	523.0	524.0	56.0	56.0	70.0	14.0	
	2001	525.0	524.0	55.0	53.2	72.0	18.8	
	2002	525.0	522.0	56.0	55.0	72.0	17.0	
	2000~2005	525.0	522.0	56.0	56.0	71.2	15.2	
港	2000	601.0	600.0	64.0	64.0	71.0	7.0	
	2001	600.0	600.0	65.0	65.0	72.0	7.0	
	2002	595.0	598.0	67.0	68.0	75.0	7.0	
	2000~2005	600.0	600.0	65.0	65.3	73.0	7.7	
小洋港	2000	816.0	822.0	60.0	62.0	85.0	23.0	
	2001	815.0	816.0	64.0	64.0	87.6	23.6	
	2002	817.0	816.0	65.0	63.2	90.2	27.0	
	2000~2005	816.0	816.0	65.0	63.0	87.6	24.6	
吕四	2000	560.0	560.0	46.0	48.0	62.0	14.0	
	2001	561.0	561.0	50.5	50.0	63.4	13.4	
	2002	561.0	559.0	50.0	47.0	64.2	17.2	
	2000~2005	560.0	559.0	48.2	48.4	63.4	15.0	

表5 相对于各站潮高基准面的基面与特征潮位

Table 5 Datum plane and characteristic tidal level referred to tidal datum level of different tidal stations

站名	理论可能最高潮位	设计高潮位	大潮升	平均高潮位	小潮升	当地平均海平面	平均低潮位	设计低潮位	理论可能最低潮位	潮高基准面
射阳河口	311.7	293.3	290.0	260.2	240.0	171.0	79.4	25.3	3.4	0
新洋港	359.3	339.0	331.0	298.3	264.0	200.0	88.6	51.0	38.5	0
陈家坞	562.5	524.0	521.0	456.7	401.0	300.0	142.8	56.0	10.0	0
港	607.6	599.0	595.0	530.9	463.0	301.0	87.8	65.3	40.9	0
小洋港	875.9	816.0	815.0	704.7	610.0	449.0	192.9	63.3	-5.4	0
吕四	613.9	561.0	557.0	497.4	408.0	310.0	151.8	48.7	7.8	0

2.4 特征潮位的数量关系

为了进一步明确上述特征潮位间的相互关系,对其进行了拟合分析,分析结果如图4所示,其中:

图4(a)表示上述验潮站理论可能最高潮位 H_{lg} 与设计高潮位 H_{sg} 之间的对应关系,其拟合关系式为

$$H_{lg} = 1.0854H_{sg} - 5.3 \quad (R = 1.0)$$

图4(b)表示理论可能最高潮位 H_{lg} 与平均大潮升 H_{dcs} 之间的对应关系,其拟合关系式为

$$H_{lg} = 1.0762H_{dcs} + 3.6 \quad (R = 1.0)$$

图4(c)表示设计高潮位 H_{sg} 与平均大潮升 H_{dcs} 之间的对应关系,其拟合关系式为

$$H_{sg} = 0.9919H_{dcs} + 8.1 \quad (R = 1.0)$$

图4(d)表示设计高潮位 H_{sg} 与平均高潮位 H_{pg} 之间的对应关系,其拟合关系式为

$$H_{sg} = 1.1646H_{pg} - 11.4 \quad (R = 1.0)$$

图4(e)表示设计高潮位 H_{sg} 与平均小潮升 H_{xcs} 之间的对应关系,其拟合关系式为

$$H_{sg} = 1.3892H_{xcs} - 35.3 \quad (R = 1.0)$$

图4(f)表示平均大潮升 H_{dcs} 与平均小潮升 H_{xcs} 之间的对应关系,其拟合关系式为

$$H_{\text{des}} = 1.4008H_{\text{xcs}} - 43.7 \quad (R = 1.0)$$

(6)

以上各式特征潮位都是以潮高基准面为起算面进行计算的,单位为 cm。

图 4 (g) 表示相对于当地平均海平面的设计高潮位 H_{sgp} 与相对于当地平均海平面的平均大潮升 H_{dcsp} 之间的对应关系,其拟合关系式为

$$H_{\text{sgp}} = 0.9836H_{\text{dcsp}} + 7.6 \quad (R = 1.0)$$

(7)

图 4 (h) 表示相对于当地平均海平面的设计低潮位 H_{sdp} 与相对于当地平均海平面的理论可能低潮位 H_{ldp} 之间的对应关系,其拟合关系式为

$$H_{\text{sdp}} = 0.8214H_{\text{ldp}} - 14.7 \quad (R = 0.996)$$

(8)

图 4 (g) 与图 4 (h) 拟合关系式各量是以各站当地平均海平面为基准起算面进行计算的,平均海平面以上为正值,平均海平面以下为负值。

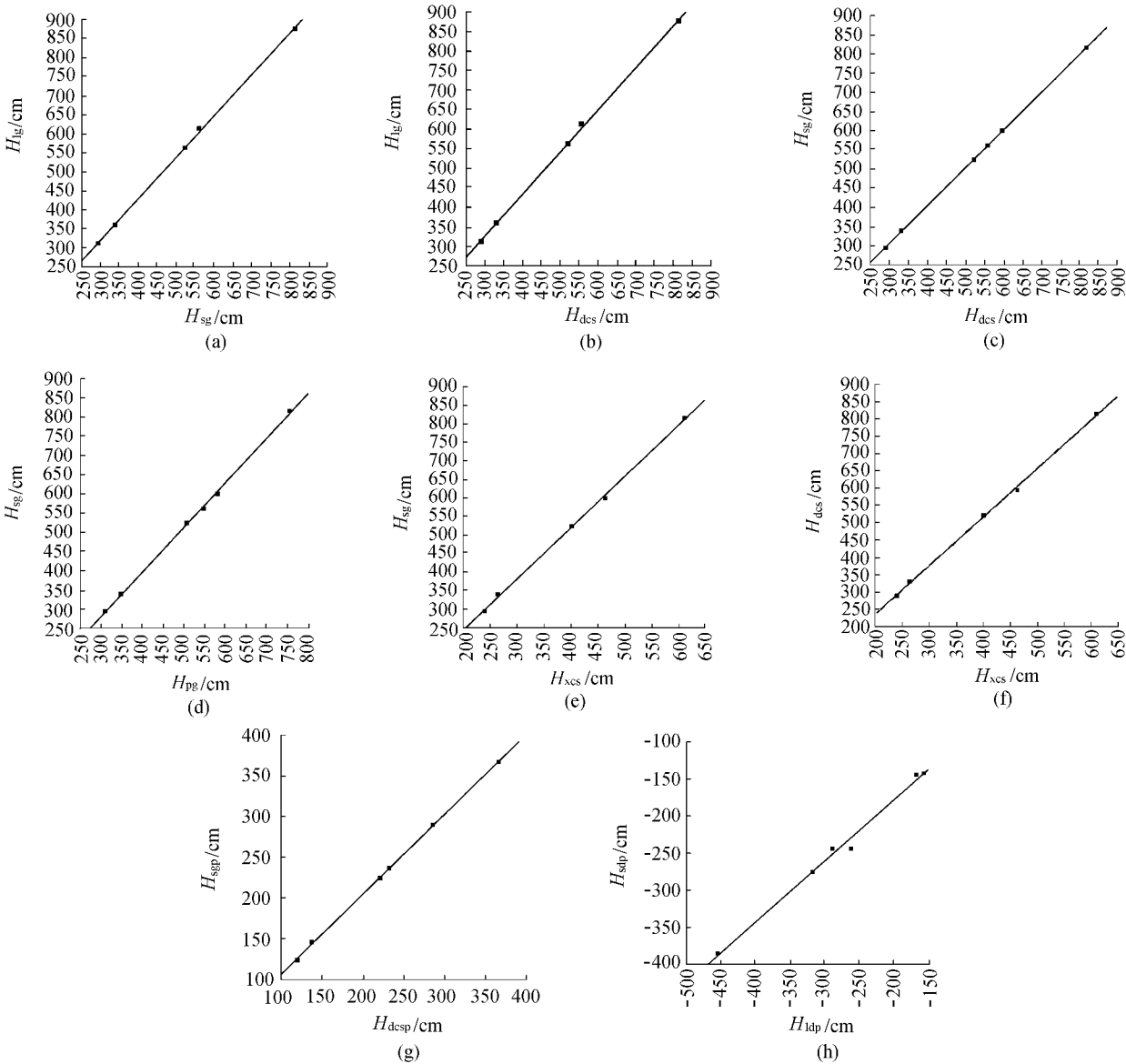


图 4 特征潮位之间的对应关系

Fig.4 Relationship between characteristic tidal levels

3 小 结

根据江苏省海岸 6 个港口验潮站 2001 年 4~6 月份的高、低潮位资料,调和分析得到了 11 个分潮的调和常数和平均海平面值,并进行了潮汐性质、平均大潮升、平均小潮升的计算和验证。

根据各站位 2000~2005 年的潮位预报结果,进行了工程设计高潮位、设计低潮位的计算与分析.结果表明,各年与连续 6 年的计算结果一致;采用潮谷 H_L (低潮)累积频率为 90% 的潮位作为设计低潮位与采用 H_W 累积频率为 99% 的潮位作为设计低潮位误差很小,而与 H_W 累积频率为 98% 的潮位相差较大.

计算分析了各站理论可能最高潮位和理论可能最低潮位.根据计算结果和实测资料给出了各站理论可能最高潮位、设计高潮(水)位、平均大潮升、平均高潮位、平均小潮升、当地平均海平面、平均低潮位、设计低潮(水)位、理论可能最低潮位、潮高基准面值,并进行了分析.

通过对 6 个站位特征潮位计算结果的分析,给出了特征潮位间的拟合关式.为保证总体拟合关系式的计算精度,拟合过程中舍去了偏离拟合直线稍大的数据.

参考文献:

- [1] 林瑋, 閻国年, 宋志尧. 东中国海潮波系统与海岸演变模拟研究[M]. 北京: 科学出版社, 2000: 1-99.
- [2] 宋志尧, 严以新, 薛鸿超, 等. 南黄海辐射沙洲形成发育水动力机制研究: II. 潮流运动立面特征[J]. 中国科学: D 辑, 1998, 28(5): 411-417.
- [3] 任美镔. 江苏海岸带和海涂资源综合调查[R]. 北京: 海洋出版社, 1986.
- [4] 国家海洋信息中心. 2001 年潮汐表[K]. 北京: 海洋出版社, 2000: 316-495.
- [5] 吴德安, 严以新, 李瑞杰. 江苏辐射沙洲海域理论最低低潮面的计算[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2006, 34(5): 572-577.
- [6] 国家海洋局第一海洋研究所. 江苏省大丰港规划研究报告[R]. 青岛: 国家海洋局第一海洋研究所, 1997.
- [7] 中华人民共和国交通部. JTJ213—98 海港水文规范[S]. 北京: 人民交通出版社, 2000.
- [8] 沈焕庭. 长江口物质通量[M]. 北京: 海洋出版社, 2000: 316-495.
- [9] 王志豪. 中国海平面与高程基准面[C]//第一届潮汐与海平面学术讨论会论文集. 天津: 国家海洋局海洋科技情报研究所, 1986: 25-132.
- [10] 黄易畅, 汤毓祥. 江苏沿海潮汐状况初步分析[J]. 海洋科学, 1981(2): 66-69.

Calculation and analysis of characteristic tidal levels for main harbors along Jiangsu coast

WU De-an, YAN Yi-xin, TONG Chao-feng

(State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering,
Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract The tidal data of April-June 2001 of 6 harbors along Jiangsu coast were analyzed by use of G·Godin's tidal level analysis and prediction program revised by Foreman. The harmonious constants of 11 tidal constituents, mean sea level, and characteristic tidal level were obtained and validated. The time series data of tidal levels and high and low tidal levels for 2000-2005 were predicted, and the results were in good agreement with those obtained by the tide table. Then, the high and low tidal levels for engineering design were calculated based on the predicted results, and the tidal level corresponding to the cumulative frequency 99% of hourly-varied data series of tidal levels accorded with that corresponding to the cumulative frequency 90% of the data of low tidal level. Furthermore, the relationship between characteristic tidal levels of different tidal stations was obtained by fitting with the data of characteristic tidal level.

Key words Jiangsu coast; harmonious analysis; tide forecast; mean sea level; characteristic tidal level