

# 基于潮流数值模拟的设计潮位推算方法

王 震, 魏有兴, 张长宽

(河海大学交通学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 针对一些拟建工程位于潮位不易观测地区的情况, 提出了一种设计潮位的推算方法。首先, 通过潮流数值计算, 获得拟建工程地点一个月以上的短期潮位过程; 其次, 与临近的、具有长期实测资料的港口或验潮站的潮位进行同步相关分析, 建立回归方程; 最后, 采用《海港水文规范》中的方法推算港口或验潮站的设计潮位, 并将其由回归方程换算至拟建工程地点。通过算例的计算分析, 表明本文方法是合理的、可行的。

关键词: 海洋工程; 设计潮位; 潮流数学模型; 相关分析

中图分类号: P731.23 文献标识码: A 文章编号: 1001-6791(2007)04-0566-04

设计潮位是海洋工程设计中的重要条件之一, 它不仅直接影响着建筑物高程和船舶航行水域深度的确定, 而且也影响到建筑物类型的选择以及结构计算等。目前, 设计潮位的推算方法建立在拟建工程地点有实测潮位资料的基础上。《海港水文规范》规定, 当拟建工程地点有完整的一年或多年实测潮位资料时, 分别进行高潮和低潮累积频率统计, 确定设计高潮位和设计低潮位; 当拟建工程地点有不少于连续 20 年的年最高潮位和年最低潮位的实测资料时, 分别进行高潮和低潮的年极值频率分析, 确定极端高潮位和极端低潮位; 若实测潮位资料序列长度不足时, 设计潮位推算可采用一些近似计算方法, 如短期同步差比法, 相关分析法, 极值同步差比法和 K 值法等<sup>[1]</sup>。对于无实测潮位资料的地区, 设计潮位推算没有比较成熟的方法, 目前常用的方法是在拟建工程地点设立临时潮位观测站, 进行一个月以上的潮位观测, 获取短期潮位资料后, 再采用上述的近似计算方法推求设计潮位<sup>[2,3]</sup>。该方法有一定的实用性, 但需要在拟建工程地点进行潮位观测。

随着社会发展、技术进步, 为开发海洋资源而兴建的海洋工程, 如钻井平台、开敞式码头等, 离岸越来越远, 工程地点水深、浪大、流急。受气象、地形、水文、交通等条件的限制, 在离岸深水海域建立潮位观测站来观测潮位是相当困难的。因此, 已有的设计潮位推算方法在此情况下不适用, 研究新的设计潮位推算方法是十分必要的。

针对上述情况, 本文提出一种设计潮位的推算方法。通过算例的计算分析, 验证本文方法的合理性和可行性。

## 1 计算方法

### 1.1 潮流数学模型

建立计算域包含港口(或验潮站)和拟建工程在内的平面二维潮流数学模型, 利用港口已有的实测水文资料或验潮站的实测潮位资料, 对所建模型进行验证。在此基础上, 采用该潮流数学模型进行潮时达一个月以上的流场数值计算, 取出拟建工程地点的潮位过程, 以便与港口(或验潮站)的同步实测潮位建立相关关系。

(1) 基本方程 水流运动的基本方程包括水体连续性方程和动量守恒方程, 即

$$\frac{\partial H}{\partial t} + \frac{\partial(HU)}{\partial x} + \frac{\partial(HV)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

收稿日期: 2006-02-27; 修订日期: 2006-07-17

基金项目: 国家高技术研究发展计划(863)资助项目(2002AA601012-06)

作者简介: 王震(1963-), 男, 江苏泰州人, 副教授, 主要从事港口海岸及近海工程研究。E-mail: zwanghhu@163.com

$$\frac{\partial(HU)}{\partial t} + \frac{\partial(HUU)}{\partial x} + \frac{\partial(HVU)}{\partial y} = \frac{\tau_{sx} - \tau_{bx}}{\rho} - gH \frac{\partial(H + Z_b)}{\partial x} + fHV + \alpha H \left( \frac{\partial^2 U}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U}{\partial y^2} \right) \quad (2)$$

$$\frac{\partial(HV)}{\partial t} + \frac{\partial(HUV)}{\partial x} + \frac{\partial(HVV)}{\partial y} = \frac{\tau_{sy} - \tau_{by}}{\rho} - gH \frac{\partial(H + Z_b)}{\partial y} - fHU + \alpha H \left( \frac{\partial^2 V}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 V}{\partial y^2} \right) \quad (3)$$

式中  $t$  为时间;  $x$ 、 $y$  为空间水平坐标;  $H$  为全水深, 即水面到水底的距离;  $Z_b$  为床面高程;  $U$ 、 $V$  分别为垂线平均流速在  $x$ 、 $y$  方向的分量;  $f$  为地转参数,  $f = 2\omega \sin \varphi$ ,  $\omega$  为地转角速度,  $\varphi$  为计算水域的地理纬度;  $g$  为重力加速度;  $\tau_{bx}$ 、 $\tau_{by}$  为水底摩阻分量,  $(\tau_{bx}, \tau_{by}) = C_f \rho \sqrt{U^2 + V^2} (U, V)$ ,  $C_f$  为水底阻力系数;  $\tau_{sx}$ 、 $\tau_{sy}$  为水面风摩阻分量,  $(\tau_{sx}, \tau_{sy}) = C_W \rho \sqrt{W_x^2 + W_y^2} (W_x, W_y)$ ,  $C_W$  为风阻力系数,  $W_x$ 、 $W_y$  为水面风速在  $x$ 、 $y$  方向的分量;  $\alpha$  为水平涡动粘性系数。

(2) 定解条件 对于边界条件, 在水边界给定已知的潮位过程, 在岸边界取流速的法向分量为零。对于初始条件, 潮位取开始计算时刻的水边界潮位值, 流速取为零。

(3) 数值计算 采用控制体积法离散微分方程, 即离散式(1)~式(3)。在离散时, 时间上采用前差分; 空间上采用四边形交错网格。采用高斯消去法解线性代数方程组。

## 1.2 相关分析

如果两站之间距离相近, 潮汐现象相似, 可利用相关分析法从数量上分析和确定两站短期同步潮位间关系的密切程度, 建立回归方程以推求设计潮位。

设港口或验潮站每天的高(低)潮位为  $x$ , 拟建工程地点每天的高(低)潮位为  $y$ , 通常两站高(低)潮位之间的关系可用线性方程表示, 即

$$y = mx + b \quad (4)$$

$$\text{式中 } m = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}; b = \bar{y} - m\bar{x}; \bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i; \bar{y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i。$$

相关系数  $r$  反映两站高(低)潮位之间的相关程度, 按下式计算,

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \quad (5)$$

相关系数不应太小, 一般须  $|r| > 0.85$ 。

## 1.3 设计潮位推算

采用《海港水文规范》中的方法, 推算有长期实测潮位资料的港口或验潮站的设计潮位, 将其代入式(4), 可得拟建工程地点的设计潮位。

## 2 计算实例

连云港和日照港是我国沿海重要大港, 分别位于海洲湾湾口的南、北两端。连云港潮汐属非正规半日潮, 根据庙岭验潮站 1960–2003 年实测潮位资料(潮高以当地水尺零点起算, 水尺零点在平均海平面以下 2.90 m)的统计分析, 连云港设计潮位: 设计高潮位 5.41 m, 设计低潮位 0.58 m, 极端高潮位 6.53 m, 极端低潮位 -0.57 m<sup>[4]</sup>。日照港潮汐为正规半日潮, 根据石臼海洋站 1968–1980 年实测潮位资料(潮高以理论深度基准面起算, 理论深度基准面在平均海平面以下 2.73 m)的统计分析, 日照港设计潮位: 设计高潮位 4.73 m, 设计低潮位 0.59 m, 极端高潮位 5.85 m, 极端低潮位 -0.55 m<sup>[5]</sup>。

利用连云港已有的实测水文资料, 采用本文方法推求日照港设计潮位, 并与日照港工程设计采用的潮位值作比较, 以验证本文方法的合理性和可行性。

建立计算域包括连云港和日照港在内的平面二维潮流数学模型。模型范围,北起日照市的龙山嘴( $35^{\circ}28'00''N$ ),南至灌河口以南  $9.5\text{ km}$  处( $34^{\circ}24'00''N$ ),南北间距  $117.66\text{ km}$ ;西起大陆岸线,东至达山岛以东  $17.4\text{ km}$ ,即  $120^{\circ}06'00''E$ ,东西相距  $84.06\text{ km}$ ,计算面积  $9890.5\text{ km}^2$ 。整个计算域采用均匀网格,尺寸为  $120\text{ m} \times 120\text{ m}$ 。计算域开边界上的潮位过程,由东中国海潮波数学模型计算确定。利用连云港 2004 年夏季实测水文资料(庙岭煤码头、连岛油码头两个验潮站的实测潮位资料、位于连云港外航道三条垂线的测流资料及位于西墅湾两条垂线的测流资料),对模型进行验证。结果表明,无论大潮、中潮还是小潮,潮位(或流速)计算值与实测值比较接近,相差较小,模型可用于海洋工程的流场计算。之后,采用所建模型计算了 2004 年 7 月份的流场,获得石臼一个月的潮位过程。

根据庙岭煤码头 2004 年 7 月份的实测潮位资料和同期的石臼潮位数值计算数据,摘出两站逐日同步高潮位和低潮位(以平均海面为基准面),分别采用相关分析,建立高(低)潮回归方程,即

$$y_{\text{高潮}} = 0.8094x_{\text{高潮}} - 0.0819 \quad (6)$$

$$y_{\text{低潮}} = 0.7138x_{\text{低潮}} - 0.4431 \quad (7)$$

式中  $x$  为庙岭煤码头每天的高(低)潮位;  $y$  为石臼对应的高(低)潮位。

将庙岭煤码头高(低)潮位实测资料与石臼对应的高(低)潮位计算数据绘成相关图,见图 1 和图 2,由图可见,两站高(低)潮位相关关系比较密切。

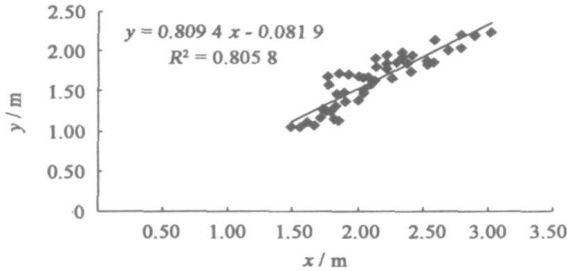


图 1 高潮位相关图

Fig. 1 Correlation of high tide level

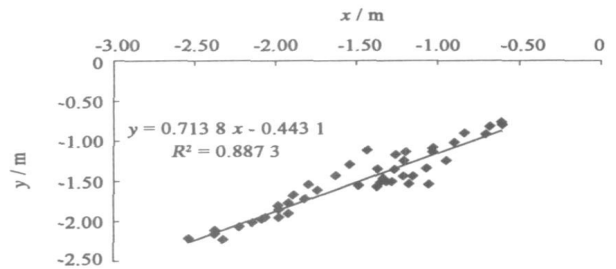


图 2 低潮位相关图

Fig. 2 Correlation of low tide level

将连云港的设计潮位分别代入式(6)和式(7),可得日照港的设计潮位,计算过程及结果列于表 1。表 2 是日照港设计潮位的计算结果与日照港工程设计采用潮位值的比较,由表 2 可以看出,①对于设计高潮位和设计低潮位,计算结果与日照港工程设计采用的潮位值相差约  $\pm 5\text{ cm}$ ,偏差小;②对于极端高潮位和极端低潮位,两者相差较大,达  $\pm 30\text{ cm}$  左右;③与日照港工程设计采用的潮位值相比,计算结果呈现“高潮值偏低,低潮值偏高”的特点。

在用本文方法推算日照港设计潮位时,分别利用了庙岭煤码头一个月(2004 年 7 月)的实测高(低)潮位和石臼同期的计算高(低)潮位进行相关分析,在这一个月的高(低)潮位中,没有把两站的一些高(低)潮位年极值包括在内。相关分析所用潮位资料的序列长度不足是极端高、低潮位计算值产生较大偏差的主要原因。随着相关分析所用潮位资料的序列长度增加,极端高、低潮位的计算精度会提高。

表 1 日照港设计潮位推算

Table 1 Calculation of design tide level of Rizhao port

潮位	设计高潮位/m	设计低潮位/m	极端高潮位/m	极端低潮位/m	
连云港	水尺零点	5.41	0.58	6.53	-0.57
	平均海面	2.51	-2.32	3.63	-3.47
日照港	平均海面	1.95	-2.10	2.86	-2.92
	理论深度基面	4.68	0.63	5.59	-0.19

表 2 日照港设计潮位的计算结果与采用值比较

Table 2 Comparison of the calculation results of design tide level of Rizhao port with the value used in the project design

潮位	设计高潮位/m	设计低潮位/m	极端高潮位/m	极端低潮位/m
计算结果	4.68	0.63	5.59	-0.19
采用值	4.73	0.59	5.85	-0.55
差值	-0.05	0.04	-0.26	0.36

### 3 结 论

(1) 潮位不易观测地区设计潮位推算的难点是无实测潮位资料, 本文通过潮流数学模型, 计算得到该地区的短期潮位过程, 解决了这个困难。而潮流数学模型的验证可利用临近的港口或验潮站已有的实测水文资料进行。

(2) 本文方法应用时, 拟建工程地点与被选用的港口或验潮站应符合“地理位置邻近、潮汐性质相似及受河流径流(包括汛期径流)的影响相似”的条件。

(3) 算例计算分析的结果表明, 方法是合理的、可行的, 在项目选址和工程可行性研究阶段, 可用于无实测潮位资料地区, 特别是潮位不易观测地区的设计潮位推算。

#### 参考文献:

- [1] 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, 1998.
- [2] 翁克勤. 海岛的设计潮位计算[J]. 水运工程, 1993(4): 15-18.
- [3] 张荣贞. 盐田港一期工程设计水位确定[J]. 水运工程, 1997(12): 9-11.
- [4] 国家海洋局上海海洋环境监测中心站. 连云港自然条件基础资料整编[R]. 上海: 上海海洋环境监测中心站, 2004.
- [5] 石臼港务局. 石臼港总体布局规划[R]. 日照: 石臼港务局, 1991.

## Calculation method for design tide levels based on numerical simulation of tidal current<sup>\*</sup>

WANG Zhen, WEI Yourxing, ZHANG Changkuan

(School of Traffic Engineering, Hohai University, Nanjing 210098, China)

**Abstract:** A method for calculating design tide levels is presented for the planned projects in the area where tide levels are hard to measure. Firstly, a short-time tide process at the planned project site, that it is more than a month, is obtained by means of the tidal current numerical calculation. Secondly, the synchronization correlation analyses are carried out. By comparing the tide levels at the site with those at a nearby harbour or tide station with long term measured data, the regression equations are established. Finally, the design tide levels at the harbour or tide station are calculated by using the method of Code of hydrology for Sea Harbour, and the design tide levels at the site are obtained through the regression equations. The results show that the method proposed in the paper is reasonable and feasible.

**Key words:** ocean engineering; design tide level; tidal current numerical model; correlation analysis

<sup>\*</sup> The study is financially supported by the National High Technology Research and Development Program of China(No. 2002AA601012-06).