

# 天文潮分析及预报实用系统

赵有皓      王祥玲      张君伦

( 河海大学港口航道及海岸工程学院    南京    210098 )

**摘 要** 较为详实地介绍了天文潮分析及预报实用系统开发的总体设计、自动分潮优化潮汐调和分析及预报的原理、系统的详细设计、系统的开发工具以及系统的特点等方面的内容. 系统的运行情况表明, 该系统具有运算速度快、精度高、可操作性强等特点, 且该实用系统的开发对专业性很强的科研成果向实用性方向转换具有一定的实际意义.

**关键词** 天文潮 ;调和与分析 ;潮汐预报 ;自动分潮优化

**中图号** P731.3

在海洋及海岸工程的研究和设计中, 常常需要对天文潮进行分析及预报, 从而得到工程必要的数据; 在沿海的风暴潮防灾研究中, 对天文潮进行分析及预报更是必不可少. 由此可见, 天文潮分析及预报对沿海地区的建设和发展起着相当重要的作用. 目前我国沿海各潮位站对天文潮的分析及预报尚无系统性较强的实用系统, 若要进行分析预报, 就现已开发的运算程序而言, 使用人员需有很强的专业知识才能操作. 因此, 开发一个功能强、操作方便、可靠性高的天文潮分析及预报实用系统是很有必要的.

天文潮分析及预报实用系统是笔者在 Windows95 下开发的应用软件, 在计算方面, 采用了分潮自动优化潮汐调和分析及预报模式. 在此模式下进行预报具有运行速度快、预报精度高等特点. 在数据处理方面, 系统具有较强的数据编辑功能, 潮位过程线的图形显示、各类潮汐表打印、数据备份和数据恢复、工程设计水位及乘潮水位统计等功能. 在操作方面, 系统为用户提供了友好的图形用户界面和相应的实时操作提示, 使系统使用者很容易地完成繁杂的天文潮分析及预报等工作.

## 1 系统的总体设计

### 1.1 设计要求

本实用系统可对我国沿海十个省(市)水利部门的任意一个站的潮位进行天文潮分析及预报. 分析预报时, 用户需要提供完整的一年实测潮位资料. 在对该数据进行分析后, 便可得到相应的调和常数、预报的正点潮位和高低潮等结果. 计算结果将存放在不同类型的文件中, 由系统统一管理. 此外, 系统对不同类型的文件均能实现一系列数据处理功能.

### 1.2 总体功能

按照系统总体设计要求, 首先要规划我国沿海十个省(市)各潮位站的有关信息, 再利用这些信息建立潮位站与该站的文件的相互关联. 在建立关联以后, 系统使用者可方便地选择某一具体的潮位站和潮位文件, 然后根据需要进行分析预报和其它操作. 因此, 系统总体上要提供的功能有:

- a. 创建实测潮位资料文件;
- b. 编辑检查实测潮位资料, 为分析预报提供正确有效的数据记录;
- c. 对一年的连续实测潮位资料进行调和与分析, 使用经分潮优化后的分潮系列的调和常数预报任意时刻的正点潮位, 并推算出相应的高、低潮;
- d. 查询分析预报结果的各类信息;
- e. 以图形方式显示或打印各类潮位过程线;
- f. 将预报的正点潮位及高低潮建立关联并打印相应的潮汐表;

- g. 海岸工程设计水位、乘潮水位和深度基面等信息的非调和统计；
- h. 数据备份和数据恢复等等.

1.3 总体框图

为实现系统的总体功能,将系统规划为七个模块,即选择具体潮位站文件、资料编辑、信息查询、分析预报、画潮位过程线、打印潮汐表、数据管理.系统总体结构框图见图 1.

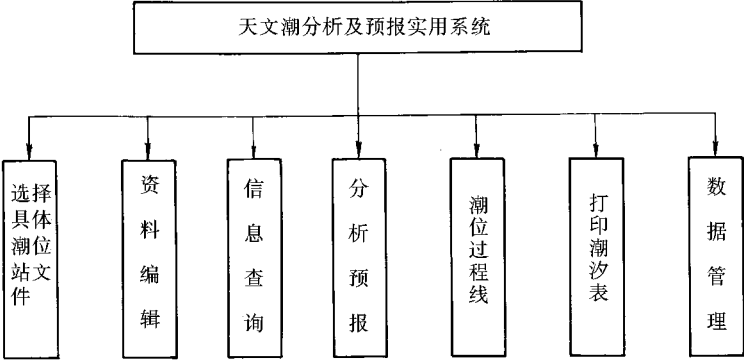


图 1 天文潮分析及预报实用系统总体结构框图

Fig.1 General construction of the practical system of tidal analysis and prediction

2 天文潮分析及预报原理

2.1 潮汐调和分析

由潮汐理论知,海洋中的潮汐主要由月球和太阳对地球上海水的引潮力所致<sup>[1]</sup>.潮汐的调和分析就是利用潮汐静力理论关于潮汐变化的周期性,用实际观测资料的潮高和潮时来纠正理论缺陷.由引潮力展开得到的每一个分量都有一个分潮与之相对应,对于某一固定地点的潮位,是许多角速度已知的余弦项叠加的结果,即假想天体在天赤道面上绕地球作匀速圆周运动而产生的,具体的数学表达式为

$$h_p(t) = A_0 + \sum_{q=1}^Q f_q H_q \cos[\sigma_q t + (v_0 + u)_q - g_q] \tag{1}$$

式中: $A_0$ ——从某基准面算起的平均海平面高度; $f_q$ ——分潮的交点因子; $u$ ——分潮交点订正角; $v_0$ ——分潮相角; $\sigma_q$ ——分潮角速度; $v_0 + u$ ——分潮的天文初相角; $t$ ——时间; $q$ ——分潮的序号; $Q$ ——总的分潮数; $H_q$ ——分潮的振幅; $g_q$ ——分潮的专用迟角.

分潮的交点因子及天文的初相角由实测潮位资料的时间来确定,分潮相角和周期由基本天文变量的线性组合来求得.分潮的振幅和迟角叫做调和常数,它们反映了海洋对这一频率外力的响应,而这种响应决定于海洋本身的动力学性质.调和常数具有极大的稳定性,对于某一潮位站可近似地认为是常数<sup>[2]</sup>.对实测资料进行潮汐分析便可求得调和常数.

现有的潮汐分析方法很多,基于最小二乘法原理得出的方法具有最大的灵活性.因此,本系统按此原理对一年左右的潮汐资料作分析,以求各分潮的调和常数.

最小二乘法原理,是使每个实测潮位值与其对应的预报潮位值  $h_p(n\tau)$  的残差平方  $\delta_n^2$  之和为最小,即

$$D = \sum_{n=0}^N \delta_n^2 = \sum_{n=0}^N [h_o(n\tau) - h_p(n\tau)]^2 = \text{最小}$$

由此建立方程组并计算出方程各项的系数,应用三角递推关系或迭代法快速计算方程的右端项,最后采用高斯法求解矩阵方程,便可求得各分潮的调和常数.

2.2 分潮优化

理论分析的天文潮分潮数目有几百个,其中的大部分振幅都很小,对潮汐预报的贡献不大.相反,分潮数目过多,截断误差的累计反而给预报精度带来负面影响.因而,对一个潮位站来说,从大量的分潮中选择那些振幅比较大、对预报有重要作用的分潮来处理,是提高精度、减少计算量的有效的途径.本系统自动从 300 多个分潮中选择那些振幅大于某给定指标的分潮,此指标是在对大多数测站的实践之后,取为 0.3 cm.起初根据资料样本的折叠频率加以确定的 300 多个分潮,经优化后,有效的分潮的数目大多在 1~200 个左右.这样

优化后,不仅提高了预报的精度,而且也加快了计算的速度.

2.3  潮汐推算

潮汐推算用已求得的调和常数,引入推算日期的天文变量,根据潮高表达式(1)进行推算,得各正点潮位,再由正点潮位采用求极值的方法——“压缩区间两分法”——推求逐日的高潮和低潮.

3  系统的详细分析

3.1  潮位站及相应资料的系统规划

本系统是对我国沿海十个省市中任意一个潮位站的实测潮位资料进行调和分析 and 潮汐预报的,其所有功能都是对某个具体潮位站来实现的.目前系统开发者对我国沿海水利系统有资料的 44 个潮位站作了规划,具体的潮位站分布情况见图 2.

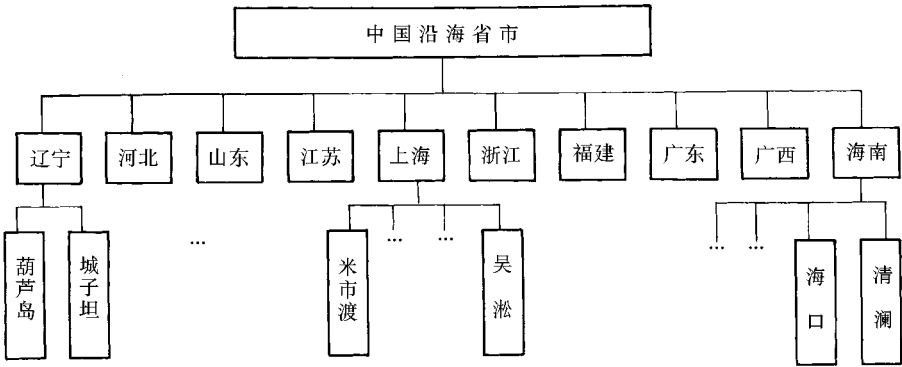


图 2  我国沿海各潮位站分布情况

Fig.2  Distribution of tidal stations in coastal areas of China

由于潮位站分布的省市较多,而且各站点的各类资料也较多,因此要系统化地管理这些站点及相应的数据是比较复杂的.系统开发者将各潮位站的有关信息存放在一个文本文件中,在文件里确定一定的关联,以便系统读取信息后进行管理.该文件中存放的内容有:各潮位站资料在计算机中存放的路径、潮位站所在的省(市)名、存放该省(市)文件的子目录、该省(市)中潮位站的个数、潮位站名、存放该潮位站文件的子目录及该潮位站的经纬度等内容.当系统使用有关信息时,便可从该文件中读取.

对某一个具体的潮位站进行调和分析及预报时,生成的结果文件有:调和分析的结果文件(\*.res),使用计算所得的调和常数进行预报的正点潮位的文件(\*.pre),以及高低潮的结果文件(\*.hlt).

本实用系统除了可进行天文潮分析及预报外,还具有较强的数据编辑功能.系统可任意创建不同年份的实测潮位资料,故对于某一具体潮位站而言,系统所要处理的文件类型就有四种:新建文件、实测资料文件、分析结果文件、预报结果文件.在建立潮位站与文件类型的关联后,系统可方便地对某一具体潮位站的一个具体文件进行数据编辑与数据处理操作.

3.2  潮汐调和分析及预报

天文潮分析及预报是本实用系统的核心部分.根据自动分潮优化潮汐调和分析及预报的有关方法,系统开发者使用 Visual C++ 5.0 来开发该模块程序.该模块可分为调和分析 and 潮汐预报两大部分.在调和分析中,首先对一年的实测潮位资料进行处理,然后利用最小二乘法求解方程,得到调和常数,生成调和分析结果文件(\*.res).在潮汐预报中,系统用调和常数和预报日期的天文参量来预报任意时刻的正点潮位,生成相应的结果文件(\*.pre),再对预报所得的正点潮位值,采用“压缩区间两分法”来推求高、低潮,从而生成高、低潮结果文件(\*.hlt).该模块程序的计算流程图见图 3.

3.3  数据编辑与数据处理

本实用系统为用户提供方便的数据编辑和数据处理功能.在本系统内可方便地进行资料编辑、资料查询、计算结果浏览、各类潮位过程线的图形显示、打印潮汐表和潮位过程线等操作.其中,打印潮汐表较为复杂,下面对此详细说明.

本系统可随时联机打印任意一段时间的潮汐表,系统开发者首先按潮汐表的实用性和美观性的要求进

行设计,将潮汐表中的站名、经纬度等相关信息,以及潮汐表的日期及该段日期中每天 24 h 的正点潮高、每天的两次高潮和两次低潮放在相应的位置上.由于正点潮位数据和高、低潮数据分别处于不同的文件之中,因此,在打印潮汐表之前,首先要建立两个相应文件的关联,然后再建立两个文件内数据对要打印日期的关联.当这些关联都建立好后,系统就可以将相应的数据打印出来.

潮汐表的打印与其它报表的打印不同,一方面是没有现成的工具来实现制作,另一方面是潮汐表结构复杂、信息量较大.因此,打印一张潮汐表需要通过编制大量的打印控制程序来实现.但是,该潮汐表与其它潮汐表相比有很多优点,例如:所要打印的潮汐表日期范围可任意选择;打印方便,随时都可联机打印;潮汐表布局合理;有一定的直观性和实用价值.

4 系统开发的工具

开发此系统时,考虑到分析及预报要求运算速度快、运行稳定并考虑到 Visual C++ 5.0 具有功能强、运行速度快、编制的系统的可靠性高等特点<sup>[3]</sup>,因而选用 Visual C++ 5.0 软件来开发能直接满足要求.而系统的数据编辑和数据处理等模块程序,则采用 Visual Basic 5.0 软件来开发,因 Visual Basic 5.0 开发的图形界面有效果好、效率高、运行速度快等特点,而且 Visual Basic 5.0 几乎能实现 Windows95 下所有的功能,因此功能也相当强<sup>[4]</sup>.用这两种软件所开发的系统均能在 Windows95 及 Windows NT 下运行,而且能很容易地将此系统移植到网络上,从而为今后该预报系统实现网络化打下了一定的基础.

5 系统的特点

5.1 预报计算速度快、精度高

本系统使用 Visual C++ 5.0 来编写自动分潮优化潮汐调和分析及预报程序,与用 FORTRAN 编写的程序相比,除了在计算速度上有很大的提高外,分析预报的精度较之国内目前常用的方法有明显的提高.表 1 显示的是厦门潮位站调和分析精度比较的情况,不难发现表中小于  $\pm 0.1\text{ m}$  的回报的准确性提高了 20% 以上,而对于其它的测站也有类似的结果.可见本系统选用该方法进行预报是具有一定先进性的.

表 1 调和分析精度比较(厦门潮位站)

Table 1 Comparison of precision of harmonious analysis(Xiamen tidal station)

| 误差( + )                          |        |        | 误差( - ) |        |        |
|----------------------------------|--------|--------|---------|--------|--------|
| 范围/m                             | 出现次数   |        | 范围/m    | 出现次数   |        |
|                                  | 国内常用方法 | 分潮优化方法 |         | 国内常用方法 | 分潮优化方法 |
| > 0.1                            | 2650   | 1411   | < - 0.1 | 2143   | 1425   |
| > 0.2                            | 1188   | 344    | < - 0.2 | 771    | 306    |
| > 0.3                            | 490    | 80     | < - 0.3 | 240    | 52     |
| > 0.4                            | 164    | 35     | < - 0.4 | 64     | 8      |
| > 0.5                            | 63     | 16     | < - 0.5 | 17     | 0      |
| > 0.8                            | 13     | 0      | < - 0.7 | 3      | 0      |
| > 1.0                            | 3      | 0      |         |        |        |
| 最大误差/m                           | 1.17   | 0.68   |         | - 0.83 | - 0.44 |
| $\pm 0.1\text{ m}$ 以内<br>回报准确性/% | 45.30  | 67.6   |         |        |        |

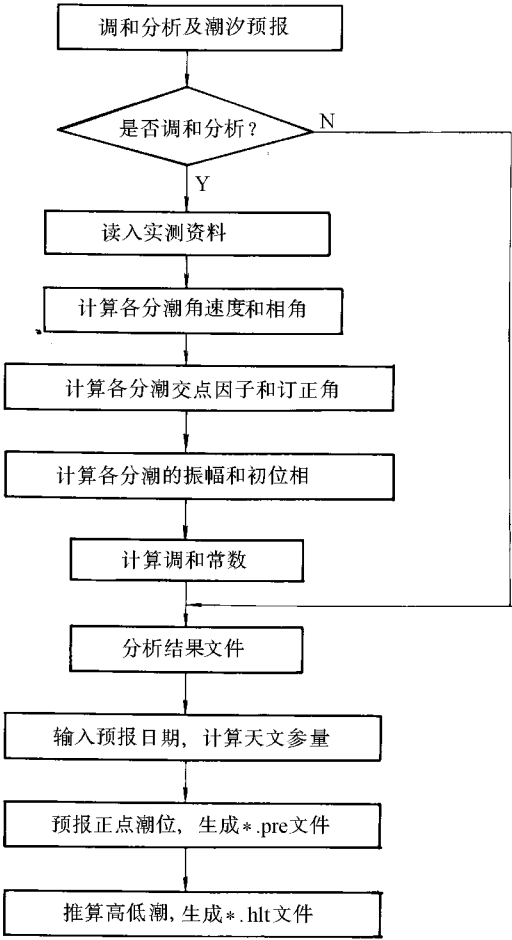


图 3 调和分析及潮汐预报计算流程图

Fig.3 The calculation of harmonious analysis and tidal prediction

注:总观测次数 8760,资料日期为 1994 年 6 月 1 日 0:00~1995 年 5 月 31 日 23:00.

5.2 数据处理和数据管理的功能强

本实用系统不仅能快速、准确地进行调和分析的潮汐预报,而且能提供很强的数据处理功能.通过资料编辑可方便地对实测潮位资料进行校核,为调和分析提供正确有效的数据记录.通过潮位曲线图形显示,可浏览任意一天的潮位变化趋势,检查实测潮位资料是否有错,随时随意打印任意一天的潮位过程线和任意期间的潮汐表.

本系统还为使用者提供数据管理功能,避免对数据的人为破坏,从而对数据的安全性和有效性起着一定的保护作用.此外,系统使用者可通过系统提供的“帮助”功能,查看各种操作的主要功能及相应的使用说明.

6 结 束 语

本实用系统通过对我国沿海 10 个省市 44 个潮位站进行天文潮分析及预报,结果表明,该系统具有功能强、计算速度快、操作便利等优点,可广泛应用于沿海各省市的防汛部门、各潮位站及有关的科研单位,具有一定的实用和推广价值.

参 考 文 献

1 陈宗镛.潮汐学.北京:科学出版社,1980.9~13  
2 方国洪,郑文振,陈宗镛等.潮汐和潮流的分析和预报.北京:海洋出版社,1986.67~100  
3 Michael J Yoang 著.掌握 Microsoft Visual C++ 编程.熊璋等译.北京:电子工业出版社,1994.1~2  
4 康奈尔 C 著. Visual Basic 4 for Windows 95 手册.黄玲佳等译.北京:科学出版社龙门书局,1996.1~3

A Practical System of Astronomical Tidal Analysis and Prediction

Zhao Youhao      Wang Xiangling      Zhang Junlun

( College of Harbour ,Waterway and Coastal Engineering ,Hohai Univ. ,Nanjing 210098 )

**Abstract** Some main points about the development of a practical system of tidal analysis and prediction are given in detail in this paper ,including the main design of the system ,automatical tide selection and optimization ,the theory of analysis and predication ,detailed design of the system ,the tools of system development ,and special features of the system. The performance of the system indicates that it is fast ,accurate ,reliable ,efficient and convenient ,especially when it is used in predicating tide in coastal areas of China. The development of the system is of special practical significance for converting important theoretical results into practical use.

**Key words** astronomical tide ,harmonious analysis ; tidal predication ; automatical tide selection and optimization