**调和分析方法简介**

实际潮汐的分潮从其来源看可分为以下四种：天文分潮、气象分潮、天文-气象分潮和浅水分潮。

从分潮的频率分布来看，分潮在频率上的分布是极不均匀的，而是分成族、群和亚群。在Doodson展开中，按Doodson数区分潮族，按区分群，按区分亚群。在潮族中一般分为长周期分潮族、全日分潮族、半日分潮族、三分日分潮族直到十二分日分潮族，共13个潮族。在每一个潮族中，具有不同数量的群和亚群。

在亚群中的各个分潮的角速度是非常接近的，彼此之间只有微小的差异。因此，在资料长度有限的情况下，亚群中的各个分潮是无法区分的。因此，在实际的潮汐分析中，往往将一个亚群合成一个分潮，此时这一分潮的振幅和迟角不再是常数，而是随着升交点的黄经十分缓慢地变化，一般在较短的时间内可近似看作不变。这样的分潮实质上是准调和的，但习惯上仍叫做调和分潮。

实际水位可以看作是很多个调和分潮迭加的结果，但是在实际分析中只能选取其中有限个较主要的分潮。假设我们选取了个分潮，对于任一点的潮位表达式为：

，

其中，为余水位，为交点因子，为交点订正角，为分潮的调和常数（振幅和迟角）。

**1 分潮角速度的计算**



其中：为分潮的角速度，为Doodson数，

 （单位：度/平太阳时）

**2 分潮初相位的计算**

年月日时刻（实际计算中是观测数据的起始时间）的天文初相角：



其中：

为Doodson数，



式中为1900年至年的闰年数，；为从年1月1日开始计算的累积日期序数，1月1日的日期序数为0，为时间（单位：小时）。以上各式中的单位是度。

表1 部分分潮的Doodson数、分潮角速度和交点因子与订正角

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| 分潮符号 | Doodson数 | | | | | |  | 分潮角速度  单位：度/平太阳时 | 交点因子与订正角 | |
|  |  |  |  |  |  |  |  |
|  | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0410686 | 1 | 0 |
|  | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0.0821373 | 1 | 0 |
|  | 0 | 1 | 0 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0.5443747 |  |  |
|  | 0 | 2 | -2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.0158958 |  |  |
|  | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1.0980331 |  |  |
|  | 1 | -2 | 0 | 1 | 0 | 0 | -1 | 13.3986609 |  |  |
|  | 1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 0 | -1 | 13.9430356 |  |  |
|  | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 14.4920521 |  |  |
|  | 1 | 1 | -2 | 0 | 0 | 0 | -1 | 14.9589314 |  |  |
|  | 1 | 1 | -1 | 0 | 0 | 0 | 2 | 15.0000000 | 1 | 0 |
|  | 1 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 15.0410686 |  |  |
|  | 1 | 2 | 0 | -1 | 0 | 0 | 1 | 15.5854434 |  |  |
|  | 1 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 16.1391017 |  |  |
|  | 2 | -1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 28.4397295 |  |  |
|  | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 28.9841042 |  |  |
|  | 2 | 1 | 0 | -1 | 0 | 0 | 2 | 29.5284789 |  |  |
|  | 2 | 2 | -2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30.0000000 | 1 | 0 |
|  | 2 | 2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 30.0821373 |  |  |
|  | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 57.9682085 |  |  |
|  | 4 | 2 | -2 | 0 | 0 | 0 | 0 | 58.9841043 |  |  |
|  | 6 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 86.9523127 |  |  |

表中交点因子及交点订正角的含义说明：例如，表中分潮的交点因子是分潮的交点因子的三次方，分潮的交点订正角是分潮的交点订正角的三倍。

**3 和的计算**

由于****和随时间变化非常缓慢，一般情况下取资料序列的中间时刻计算。各分潮的、的具体计算公式如下：



、、和Doodson数见下表。

表2 、、列表

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| -2 | -1 |  | 0.0023 |  |  | 0.0002 |  | 0.0037 |  |  |  |
| -2 | 0 |  | 0.0432 |  |  |  |  | 0.1496 |  |  |  |
| -2 | 1 |  | 0.0028 |  |  |  |  | 0.0296 |  |  |  |
| 0 | -2 | 0.0008 |  | 0.0058 | 0.0008 | 0.0001 |  |  | 0.0005 |  |  |
| 0 | -1 | -0.0657 |  | 0.1885 | 0.0112 | 0.0198 | 0.0294 |  | 0.0373 | 0.0366 | 0.0128 |
| 0 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 0 | 1 | -0.0649 | 0.4143 |  |  | 0.1356 | 0.1980 | 0.6398 |  |  | 0.2980 |
| 0 | 2 |  | 0.0387 |  |  | 0.0029 | 0.0047 | 0.1342 |  |  | 0.0324 |
| 0 | 3 |  | -0.0008 |  |  |  |  | 0.0086 |  |  |  |
| 2 | -1 |  |  | 0.0002 |  |  |  |  |  | 0.0047 |  |
| 2 | 0 | -0.0534 |  | -0.0064 | -0.0015 |  | 0.0152 |  | 0.0006 | 0.2505 |  |
| 2 | 1 | -0.0218 |  | -0.0010 | 0.0003 |  | 0.0098 |  | 0.0002 | 0.1102 |  |
| 2 | 2 | -0.0059 |  |  |  |  | 0.0057 |  |  | 0.0156 |  |

对于、、、、、、、、、分潮的和依照上式计算，其他分潮由这些分潮组合计算，但分潮的和由以下公式计算得出：





**4 最小二乘法提取分潮调和常数**

在进行潮汐调和分析时，对某一确定的分潮：



可化为如下形式：



　　其中，、、、、均为已知或可通过简单计算得出。对应个分潮，则有：



如果在个时刻，有个潮高观测值，那么，就可以建立如下由个方程构成的方程组：



方程组中对应，对应，它们和共同构成了方程组中的全部未知量。潮汐调和分析的目的正是求出与，从而求出各个分潮的调和常数和。

为了表示的方便，将方程组写成如下形式：



其中，即所选分潮数的两倍，与为待求解的未知数。

为了尽量减小噪声对分析结果的影响，使调和常数尽可能接近真值，在实际潮汐分析中，总是希望使用更多的观测数据。因此，方程的数量一般远大于未知数的数量。对于这样的矛盾方程组，可以用最小二乘法来求解。

最小二乘法的思想是，寻求一组解，使拟合值与实际值之差的平方和，即下式的值达到最小。



根据多元函数微分的理论，这要求相对于各未知数的偏导数均为0，即：



这样就可得到关于分潮调和常数的线性方程组，进而可提取出分潮的调和常数。