

# 用回归分析方法推算乘潮 潮位累积频率\*

高文达 谭志伟

(广东省航运规划设计院)

## 摘 要

乘潮作业的港口、船坞、航道,需要了解某一持续时间(例如两小时)的高潮潮位,这里以 $H_2$ 表示。在工程规划设计里,要求知道 $H_2$ 的累积频率,这项工作费时很多。而求取高潮位(即潮峰,以 $H_0$ 表示)累积频率则是容易之事。一种节省时间的方法就是推求 $H_2$ 与 $H_0$ 之间的回归方程,然后,根据方程推算 $H_2$ 的累积频率。结果是令人满意的。

## 一、引 言

《交通部港口工程技术规范第二篇第一册海港水文》(以下简称《规范》),要求海岸的港口船厂及航道等港航工程必须统计高潮位累积频率及乘潮潮位累积频率。统计乘潮潮位时,要先确定所需的乘潮时间 $t$ ,在工程上,通常要求 $t=2$ 小时。所以本文以乘潮时间2小时的乘潮潮位为例,进行计算。为简便起见,在下文里,高潮位以 $H_0$ 表示,其累积频率称为 $H_0$ 累积频率。乘潮时间2小时的乘潮潮位以 $H_2$ 表示,其累积频率称为 $H_2$ 累积频率。统计 $H_0$ 及 $H_2$ 的累积频率按规范分别要求有二十年高低潮记录及至少一年的潮位连续记录。

现行的统计乘潮潮位累积率的方法甚繁。首先要根据潮位记录点绘逐时的潮位,绘制潮位过程曲线图,然后在图上截取与所需乘潮时间相应的乘潮潮位,在本文例子里为 $H_2$ ,在半月潮地区,每日有两个 $H_2$ ,把历年逐日的 $H_2$ 量出来以后,便按通常统计 $H_0$ 累积频率的方法直接统计 $H_2$ 的累积频率(具体方法见《规范》第二章第8条)。这种方法,从点绘潮位过程线图起,到算出 $H_2$ 累积频率,都是直接计算的,我们称之为“直接方法”。此方法的缺点是工作量大、费时多、容易出错。

在分析每日的潮位记录时,发现 $H_2$ 虽然每日不同,但是在同一地点, $H_0$ 与 $H_2$ 存在一定的关系。我们用回归分析方法建立了 $H_0$ 与 $H_2$ 之间的回归方程,可以根据 $H_0$ 算出 $H_2$ ,进而算出 $H_2$ 累积频率。

## 二、计 算 方 法

以甲港(海港)及乙港(河口港)为例,用回归分析方法计算 $H_2$ 累积频率,并将结果与直

本文于1984年10月7日收到。

\*广东省航运规划设计院水文组的同志曾参与部分工作。

接方法计算的结果相对比。

首先, 分别以甲、乙两港的实测潮位中任选一个月, 点绘逐时潮位过程线, 截取 $H_2$ , 并取相对应的 $H_0$ , 计算相关系数及 $H_2$ 倚 $H_0$ 的回归方程。在回归分析中, 可从一个月或半个月连续观测的潮位中取 $H_2$ 及 $H_0$ , 亦可从中挑选16~20对 $H_2$ 及 $H_0$ , 但不管怎样选取, 均必须包括大中小潮的各级潮位在内。

根据回归方程, 按规范第8条的方法算出 $H_0$ 累积频率。这样便可从某一指定累积频率的 $H_0$ 计算出同一累积频率的 $H_2$ , 也就是能算出 $H_2$ 的累积频率。按直接方法统计 $H_2$ 累积频率, 要将全部记录(一年或多年)点绘成潮位过程线图。回归分析方法虽然也要点绘潮位过程线图, 但点绘一个月即可, 目的是求出 $H_2$ 倚 $H_0$ 的回归方程,  $H_2$ 累积频率是间接求得的。

我们随机地选取甲港1957年11月及乙港1973年6月的潮位, 为了简明, 又分别从中挑选20对及18对 $H_2$ 、 $H_0$ , 做回归分析。计算过程及结果见表1、表2。

表1 甲港 $H_2$ 、 $H_0$ 回归分析计算

序 号	$H_0$	$H_2$	$K_{H_0} = \frac{H_0}{\bar{H}_0}$	$K_{H_2} = \frac{H_2}{\bar{H}_2}$	$(K_{H_0} - 1)^2$	$(K_{H_2} - 1)^2$	$\frac{(K_{H_0} - 1)}{(K_{H_2} - 1)}$
1	486	464	1.27	1.26	0.0729	0.0676	0.0702
2	472	451	1.23	1.22	0.0529	0.0484	0.0506
3	460	438	1.20	1.19	0.0400	0.0361	0.0380
4	451	432	1.17	1.17	0.0289	0.0289	0.0289
5	442	422	1.15	1.14	0.0225	0.0196	0.0210
6	437	417	1.14	1.13	0.0196	0.0169	0.0182
7	429	410	1.12	1.11	0.0144	0.0121	0.0132
8	414	399	1.08	1.08	0.0064	0.0064	0.0064
9	397	381	1.03	1.03	0.0009	0.0009	0.0009
10	384	373	1.00	1.01	0	0.0001	0
11	377	369	0.98	1.00	0.0004	0	0
12	368	356	0.96	0.96	0.0016	0.0016	0.0016
13	350	336	0.91	0.91	0.0081	0.0081	0.0081
14	342	326	0.89	0.88	0.0121	0.0144	0.0132
15	336	326	0.88	0.88	0.0144	0.0144	0.0144
16	322	313	0.84	0.85	0.0256	0.0225	0.0240
17	313	299	0.82	0.81	0.0324	0.0361	0.0342
18	303	295	0.79	0.80	0.0441	0.0400	0.0420
19	298	287	0.78	0.78	0.0484	0.0484	0.0484
20	293	286	0.75	0.78	0.0576	0.0484	0.0528
总和 $\Sigma$	7674	7380			0.5032	0.4709	0.4861
平 均	384	369					

$$n=20 \quad \bar{H}_0 = \frac{\Sigma H_0}{n} \quad \bar{H}_2 = \frac{\Sigma H_2}{n}$$

## (一) 均方差

$$\sigma_{H_0} = \bar{H}_0 \sqrt{\frac{\sum (K_{H_0} - 1)^2}{n-1}} = 384 \sqrt{\frac{0.5032}{19}} = 62.5$$

$$\sigma_{H_2} = \bar{H}_2 \sqrt{\frac{\sum (H_{H_2} - 1)^2}{n-1}} = 369 \sqrt{\frac{0.4709}{19}} = 58.1$$

## (二) 相关系数

$$r = \frac{\sum (K_{H_0} - 1)(K_{H_2} - 1)}{\sqrt{\sum (K_{H_0} - 1)^2 \sum (K_{H_2} - 1)^2}} = \frac{0.4861}{\sqrt{0.5032 \times 0.4709}} = 0.998$$

## (三) 回归系数

$$R_{H_0/H_2} = r \frac{\sigma_{H_0}}{\sigma_{H_2}} = 0.959$$

## (四) 回归方程

$$H_2 - \bar{H}_2 = R_{H_0/H_2} (H_0 - \bar{H}_0)$$

$$H_2 = 1 + 0.959 H_0$$

## (五) 回归线误差

$$S_{H_2} = \sigma_{H_2} \sqrt{1 - r^2} = 4$$

## (六) 相关系数的机误

$$E_r = \pm 0.6745 \frac{1 - r^2}{\sqrt{n}} = \pm 0.0006$$

## (七) 系列间独立性检查

$$t = \sqrt{n-2} \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} = 66.98$$

表2 乙港 $H_2$ 、 $H_0$ 回归分析计算

序 号	$H_0$	$H_2$	$K_{H_0} = \frac{H_0}{\bar{H}_0}$	$K_{H_2} = \frac{H_2}{\bar{H}_2}$	$(K_{H_0} - 1)^2$	$(K_{H_2} - 1)^2$	$\frac{(K_{H_0} - 1)}{(K_{H_2} - 1)}$
1	347	335	1.428	1.444	0.183	0.197	0.190
2	337	321	1.387	1.384	0.150	0.147	0.149
3	319	303	1.313	1.306	0.098	0.094	0.096
4	292	275	1.202	1.185	0.041	0.034	0.037
5	284	269	1.169	1.159	0.028	0.025	0.027
6	275	260	1.132	1.121	0.017	0.015	0.016
7	265	252	1.090	1.086	0.008	0.007	0.008
8	253	243	1.041	1.047	0.002	0.002	0.002
9	245	238	1.008	1.026	0	0.001	0
10	234	228	0.963	0.983	0.001	0	0.001

续表 2

序 号	$H_0$	$H_2$	$K_{H_0} = \frac{H_0}{\bar{H}_0}$	$K_{H_2} = \frac{H_2}{\bar{H}_2}$	$(K_{H_0}-1)^2$	$(K_{H_2}-1)^2$	$\frac{(K_{H_0}-1)}{(K_{H_2}-1)}$
11	226	218	0.930	0.940	0.005	0.004	0.004
12	214	206	0.881	0.888	0.014	0.012	0.013
13	207	196	0.852	0.845	0.022	0.024	0.023
14	197	185	0.811	0.797	0.036	0.041	0.038
15	188	179	0.774	0.772	0.051	0.052	0.052
16	176	168	0.724	0.724	0.076	0.076	0.076
17	162	153	0.667	0.659	0.111	0.116	0.114
18	151	143	0.621	0.616	0.144	0.147	0.146
总和 $\Sigma$	4372	4172			0.987	0.994	0.992
平 均	243	232					

$$n=18 \quad \bar{H}_0 = \frac{\Sigma H_0}{n} \quad \bar{H}_2 = \frac{\Sigma H_2}{n}$$

## (一) 均方差

$$\sigma_{H_0} = \bar{H}_0 \sqrt{\frac{\Sigma (K_{H_0}-1)^2}{n-1}} = 243 \sqrt{\frac{0.987}{17}} = 58.56$$

$$\sigma_{H_2} = \bar{H}_2 \sqrt{\frac{\Sigma (K_{H_2}-1)^2}{n-1}} = 232 \sqrt{\frac{0.994}{17}} = 56.14$$

## (二) 相关系数

$$r = \frac{\Sigma (K_{H_0}-1)(K_{H_2}-1)}{\sqrt{\Sigma (K_{H_0}-1)^2 \Sigma (K_{H_2}-1)^2}} = 0.997$$

## (三) 回归系数

$$R_{H_2/H_0} = r \frac{\sigma_{H_2}}{\sigma_{H_0}} = 0.958$$

## (四) 回归方程

$$H_2 - \bar{H}_2 = R_{H_2/H_0} (H_0 - \bar{H}_0)$$

$$H_2 = 0.958 H_0 - 1$$

## (五) 回归线的误差

$$S_{H_2} = \sigma_{H_2} \sqrt{1-r^2} = 4.3$$

## (六) 相关系数的机误

注: 文中  $H_0$ 、 $H_2$ 、 $\bar{H}_0$ 、 $\bar{H}_2$ 、 $\sigma_{H_0}$ 、 $\sigma_{H_2}$ 、 $S_{H_2}$  的单位均为厘米。

$$E_r = \pm 0.6745 \frac{1-r^2}{\sqrt{n}} = \pm 0.0009$$

### (七) 系列间独立性检查

$$t = \sqrt{n-2} \frac{r}{\sqrt{1-r^2}} = 51.5$$

如果取一整个月的潮位作回归分析,方法与表1、表2的一样,只是数据多一些,对半日潮港可多达60对 $H_2$ 、 $H_0$ 。为了少占篇幅,这里就不列举了。

在回归分析中,两个变量的相关系数 $r$ 越接近1,关系越好,因而可从一个变量推求另一个变量。甲、乙两港的 $H_2$ 与 $H_0$ 的相关系数都在0.99以上,说明 $H_2$ 与 $H_0$ 存在某一种内在的极密切的关系,可以通过回归方程,从 $H_0$ 推求 $H_2$ 。

## 三、潮位选取的任意性及验证

表1、表2的例中,潮位是任意从一个月资料中选取的。可能会有这样的问题:选取一年中那一个月的潮位作回归分析,效果最佳?随意选取一个月的潮位对结果( $H_2$ 累积频率)影响如何?为此作者用甲港1957年、乙港1973年每一个月的潮位作回归分析,结果如表3、表4。另外,用不同月份潮位得到的回归方程从相同的 $H_0$ 累积频率推算 $H_2$ 累积频率,以作验证对比,结果如表5、表6。

表5、表6最后一行是按直接方法计算的结果,其他各行是不同月份回归方程计算的结果。从这两个表中,可以得出结论:

1. 回归分析方法计算的结果与直接方法的结果十分接近。如果以直接方法得到的结果作为标准。那么,回归分析方法的结果与之相差的绝对值。大多数为1~2厘米,个别的为

表3 甲港各月潮位的回归分析结果

潮位选取月份	相关系数 $r$	回 归 方 程
1	0.999	$H_2 = 4 + 0.952H_0$
2	0.998	$H_2 = 11 + 0.932H_0$
3	0.998	$H_2 = 8 + 0.939H_0$
4	0.999	$H_2 = 6 + 0.943H_0$
5	0.999	$H_2 = 4 + 0.947H_0$
6	0.999	$H_2 = 4 + 0.949H_0$
7	0.998	$H_2 = 4 + 0.947H_0$
8	0.997	$H_2 = 6 + 0.940H_0$
9	0.998	$H_2 = 10 + 0.935H_0$
10	0.998	$H_2 = 10 + 0.935H_0$
11	0.998	$H_2 = 8 + 0.942H_0$
12	0.998	$H_2 = 4 + 0.953H_0$

表4 乙港各月潮位的回归分析结果

潮位选取月份	相关系数 $r$	回 归 方 程
1	0.998	$H_2 = 0.966H_0 - 4$
2	0.995	$H_2 = 0.979H_0 - 6$
3	0.995	$H_2 = 0.954H_0 - 1$
4	0.998	$H_2 = 0.941H_0 + 2$
5	0.997	$H_2 = 0.938H_0 + 3$
6	0.999	$H_2 = 0.951H_0 + 1$
7	0.999	$H_2 = 0.944H_0$
8	0.998	$H_2 = 0.930H_0 + 4$
9	0.996	$H_2 = 0.919H_0 + 6$
10	0.995	$H_2 = 0.967H_0 - 3$
11	0.997	$H_2 = 0.952H_0 + 1$
12	0.997	$H_2 = 0.947H_0 + 1$

3 厘米, 只有极个别的为 4 厘米, 完全满足工程上的精度要求。

2. 潮位月份的选取可以是任意的。甲、乙两港 1~12 月各个月的回归方程, 在形式上有些不同, 但用来计算  $H_2$  累积频率, 所得的结果无重大差异。这充分说明, 任意取一个月的潮位作回归分析就可以, 这样就给工作带来极大的方便。

3. 前面已提到, 为了简化计算, 甚至可以从一个月潮位中, 只挑选 18~20 对包括大中小潮各级潮位在內的  $H_2$  与  $H_0$ , 表 5、表 6 中带 \* 号的方程即是这样计算的, 由这两方程所得到的乘潮潮位累积频率与用直接方法的结果也十分接近。不过从一个月潮位中挑选  $H_2$ 、 $H_0$ , 总会受到主观因素影响, 不如随机地选一个月潮位来得客观。

4. 甲、乙两港不论用那一个月份的潮位作回归分析,  $H_2$  与  $H_0$  的相关系数都在 0.99 以上, 说明  $H_2$  与  $H_0$  存在内在的密切关系, 因此用回归分析方法推算乘潮潮位累积频率对绝大部分海港、船厂、航道工程应是适用的。

表 5 甲港回归分析方法与直接方法计算结果对比

月 份	回 归 分 析 方 法 结 果 $H_2$ 累积率(%) 回归方程											
		1	2	5	10	30	50	70	90	95	98	99
1	$H_2 = 4 + 0.952H_0$	443	437	426	415	371	337	307	275	252	232	223
2	$H_2 = 11 + 0.932H_0$	442	435	424	414	371	337	307	277	254	235	225
3	$H_2 = 8 + 0.939H_0$	442	435	424	414	370	337	307	276	253	233	224
4	$H_2 = 6 + 0.943H_0$	442	435	424	413	370	336	306	275	252	232	223
5	$H_2 = 4 + 0.947H_0$	442	435	424	413	370	335	305	274	251	231	222
6	$H_2 = 4 + 0.949H_0$	442	436	424	414	370	336	306	274	252	232	222
7	$H_2 = 4 + 0.947H_0$	442	435	424	413	370	335	305	274	251	231	222
8	$H_2 = 6 + 0.940H_0$	440	434	422	412	369	335	305	274	251	232	222
9	$H_2 = 10 + 0.935H_0$	442	435	424	414	371	337	307	276	254	234	225
10	$H_2 = 10 + 0.935H_0$	442	435	424	414	371	337	307	276	254	234	225
11	$H_2 = 8 + 0.942H_0$	443	437	425	415	372	338	307	276	254	234	225
	$H_2 = 1 + 0.959H_0 *$	444	437	426	415	371	337	306	274	251	231	222
12	$H_2 = 4 + 0.953H_0$	444	438	426	416	372	338	307	276	253	233	223
按直接方法计算结果		443	436	425	413	371	337	306	274	254	234	225

注: 11 月份有两个方程, 其中带 \* 号的是从 11 月份潮位中选取 20 对  $H_0 \sim H_2$  作回归分析的结果, 亦即表 1 的结果。

表 6 乙港回归分析方法与直接方法计算结果对比

回归分析方法结果		累积率(%)										
月份	回归方程	1	2	5	10	30	50	70	90	95	98	99
1	$H_2 = 0.966H_0 - 4$	317	299	278	264	228	204	184	154	142	130	122
2	$H_2 = 0.979H_0 - 6$	319	301	280	266	229	204	185	154	142	130	121
3	$H_2 = 0.954H_0 - 1$	316	299	278	264	228	204	185	155	143	132	123
4	$H_2 = 0.941H_0 + 2$	314	297	277	264	228	204	185	153	144	133	124
5	$H_2 = 0.938H_0 + 3$	315	298	277	264	228	205	186	157	145	133	125
6	$H_2 = 0.951H_0 + 1$	317	300	279	265	229	205	186	157	145	133	125
	$H_2 = 0.958H_0 - 1^*$	317	300	279	265	229	205	186	156	144	132	124
7	$H_2 = 0.944H_0$	313	296	276	262	227	203	184	155	142	131	123
8	$H_2 = 0.936H_0 + 4$	313	296	276	262	227	204	185	156	144	133	125
9	$H_2 = 0.919H_0 + 6$	312	296	275	262	227	204	186	157	145	133	125
10	$H_2 = 0.967H_0 - 3$	318	301	279	266	229	205	185	156	143	131	123
11	$H_2 = 0.952H_0 + 1$	317	300	279	266	229	206	187	157	145	133	125
12	$H_2 = 0.947H_0 + 1$	315	298	278	264	228	205	186	156	144	133	124
按直接方法计算结果		316	300	278	263	229	205	186	156	144	131	124

注：6 月份有两个方程，其中带 \* 号的是从 6 月份潮位中选取 18 对  $H_0 \sim H_2$  作回归分析的结果，亦即表 2 的结果。

## 四、结 论

乘潮潮位累积率可用回归分析方法求得。条件是先算出回归方程及  $H_0$  累积频率。

$H_0$  累积频率是港航工程上确定高程的重要资料。按规范高潮位是指一日两次或一次的潮峰，任何水文站或海洋站的潮位月报表都有记载，可直接用来统计。统计  $H_0$  累积频率这项工作比较容易，工作量不大。工作量大的的是用直接方法统计乘潮潮位累积频率，它大在要求点绘潮位过程线图及从图上截取乘潮潮位。作者作过测定：用直接方法统计乘潮潮位累积频率的工作量大约是高潮位累积频率的十二至十五倍；用回归分析方法推算乘潮潮位累积频率的工作量只是直接方法的十分之一，而用这两种方法所得到的结果极为接近。回归分析方法由于工作量少，核对容易，不容易出错。

另外，有些地方，只有高低潮位（潮峰、潮谷）的记录。各省水文总站刊布的水文年鉴也只有潮峰、潮谷值，而不刊布逐时潮位记录。如果按直接方法就增加许多麻烦和工作量，甚至仍然无法统计。

对于过去只有峰、谷观测值的港口，可以补充短期的潮位观测，例如半个月至一个月便可，用回归分析方法求得该港的乘潮潮位累积频率，满足工程上的要求。这也可以说是回归分析方法的优点之一。

如果乘潮时间是 3 小时或别的时限，用回归分析计算乘潮潮位累积频率的方法也是一样的。有些工程需要求出某个持续时间的低潮位，这时作回归分析的数据是某一持续时间的低潮位及其相应的潮谷。

广东省航运规划设计院水文组已将这个方法应用于工程实践上，有些工程已建成投产，情况良好。说明这个方法行之有效。

## COMPUTATING THE ACCUMULATED FREQUENCY OF THE HIGHER TIDE ABOVE A PERSISTENT HEIGHT BY REGRESSION ANALYSIS

Gao Wenda

Tan Zhiwei

*(Design and Project Bureau of Water Transportation of  
Guangong Province)*

### Abstract

In order for harbors, docks and channels to have enough depths to operate, the higher tide above a height held a duration, e.g. two hours (denoted by  $H_2$ ) should be known. In the design and project of an engineering, the accumulated frequency of  $H_2$  is required, which takes much time. On the other hand, it is easy to obtain the accumulated frequency of high tide (crest tide), denoted by  $H_0$ . Therefore, an economical way is deriving the regression equation between  $H_2$  and  $H_0$  and computing the accumulated frequency of  $H_2$  from the derived equation. The results are satisfactory.