

11-18

近代历史海图与港口航道工程 U645

汪家君

(杭州大学, 杭州 310028)

U675.81

A

摘要 本文讨论了中国海区近代历史海图的基本情况及其特殊性, 近代历史海图数学基础的转换; 浙江海区近代历史海图的平面坐标改正和深度基准面改正。这些内容专供港口航道工程的科技人员参考应用。

关键词 近代历史海图 港口航道工程 平面坐标 深度基准面

1 中国海区近代历史海图的基本情况及其特殊性

近代历史海图记载了海洋空间的历史信息, 反映了近代历史时期的海洋自然环境和社会经济的面貌, 是十分珍贵的历史文献。

近代海上航运贸易和军事活动的需要, 促进了航道事业的迅速发展。为了海上航行的安全和经济, 十分需要有精确可靠详细的海图来保证, 其中记载大量航海要素的专门为航海服务的航海图在近代历史时期得到世界各国的特别重视, 因此在近代历史时期内测绘出版的海图, 尤其是航海图及其相关的史料相当丰富。

近代历史海图不仅在数量上相当丰富, 而且在质量上产生了质的飞跃。近代科学技术的发展, 使近代历史海图的图载内容得到极大的丰富, 诸如水文气象、潮汐潮流、底质、地磁等与航海密切相关的要素在近代历史海图上都有比较详尽的记载; 近代测绘技术的进步, 使近代历史海图建立在严密的数学基础上, 其测绘精度得到很大的提高, 诸如海区水深、沿岸地形、港湾岛屿、航道锚地、航行目标、助航设备、航行障碍物等的空间位置和性质在近代历史海图上都有准确可靠的记录; 同时在表示方式、图面整饰、印刷质量等方面都有新的进展。

近代历史时期测绘出版的海图, 以实测资料为依据和以近代制图理论为基础编制而成, 它们所提供的海洋空间的历史信息是比较丰富可靠的, 已经成为许多学科领域研究和应用的重要素材。诸如河口海岸演变的研究、港口航道的选择和整治、海岸工程的规划设计、水下障碍物的探测和排除、地图史料研究以及历史海洋地理领域的各种研究, 无不需近代历史海图作为基础资料。其中在港口航道工程中的应用更为普遍广泛, 港湾的冲淤、航道的变迁、航行障碍物的变化, 无不需应用近代历史海图及其相关技术史料, 从中取得历史的科学依据,

收稿日期: 1995-03-17

为当今的港口航道建设服务。

中国海区的近代历史海图及其相关史料也是比较丰富的。自 19 世纪初期至 20 世纪 50 年代约 150 年间, 测绘编制出版的中国海区近代历史海图计 700 幅以上。它们之中包括有晚清时期刊印的海防图和各种航海图集; 英、法、美、日、俄等国测绘出版的中国海区的航海图; 各历史阶段我国海道测量部门测绘出版的航海图; 海关、交通、水利部门测绘出版的各种航海图、江河航道图和湖泊水深图。这些海图及其相关史料构成了我国近代历史海图研究的对象。

中国海区近代历史海图产生的历史背景及其组成是十分特殊的。晚清时期我国海图的测绘出版被当时的世界列强长期垄断和控制, 各国按照本国的规范、图式和体制, 在各自控制的势力范围内测绘出版各种形式、各种规格、各种基准和各种比例尺的海图。民国时期, 我国海图的测绘出版虽然开始趋于统一, 但仍然出自海军、交通、海关、水利等许多部门。因此, 中国海区的近代历史海图, 不论在数学基础上, 还是在总体规划上; 不论在表示内容上, 还是在表示方式上, 都自成体系。不同国家、不同部门、不同时期测绘出版的近代历史海图存在很大的差异, 尤其在数学基础方面更是纷繁杂乱, 不仅平面坐标、深度基准面、高程基准面、制图投影、比例尺、度量单位以及表示方式等与现行海图不相一致, 而且各历史海图之间, 甚至同一海区的各近代历史海图之间也不相一致。

在港口航道工程中对近代历史海图的实际应用, 通常是通过历史海图与现行海图之间或各历史阶段的历史海图之间的比较研究来实现的, 而由于历史原因形成的中国海区近代历史海图的上述技术状况, 将使这种比较研究无法进行或不能精确可靠地进行。为了使历史海图与现行海图以及各历史海图之间具有可靠的可比性, 在近代历史海图研究领域中, 尤其在港口航道工程应用的方面形成了具有中国特色的一项重要研究内容——中国海区近代历史海图数学基础的转换。对于经常使用近代历史海图的港口航道工程科技人员应该十分关注这个问题, 以求应用近代历史海图所获得的各项成果建立在可靠的基础上。

2 近代历史海图数学基础的转换

中国海区近代历史海图的特殊性以及港口航道工程采用比较研究的方法应用近代历史海图, 这就要求在应用近代历史海图之前, 必须对其作必要的各种技术处理。各种技术处理中最基本的内容就是近代历史海图数学基础的转换。经过数学基础的转换, 使近代历史海图的数学基础与现行海图取得一致, 或者进行比较研究的两种或几种近代历史海图的数学基础取得一致, 并具有一定的精度, 以保证它们之间进行比较研究的可能与可靠。

近代历史海图数学基础的转换主要有 6 个方面: 平面坐标; 深度基准面; 高程基准面; 制图投影; 比例尺; 度量单位。其中平面坐标和深度基准面的转换是历史海图最重要的转换, 也是港口航道工程科技人员经常遇到和最为关切的内容, 现分别讨论如下。

2.1 平面坐标的转换

中国海区近代历史海图的平面控制是比较复杂的, 不同时期不同国家和不同部门测绘出版的各海区的海图分别采用过不同的大地坐标系, 还有为数不少的海图采用独立坐标系, 这就造成了各近代历史海图平面坐标的互不联系、互不一致。也就是说海图上(实地上)同一

点的经纬度不相同；经纬度相同的点在海图上（实地上）并不表示是同一点。为了求得它们的统一，因而也就产生了近代历史海图平面坐标的转换问题。

近代历史海图平面坐标转换的实质就是求取不同大地坐标系之间、大地坐标系与独立坐标系之间以及独立坐标系之间各平面坐标的差值（平面坐标改正数）。平面坐标改正数可以应用微分公式计算获得，并且精确可靠。由于计算时所需的许多原始数据难以获得，因而在工程上很少应用。现介绍 4 种适用于港口航道工程科技人员的实用方法。

2.1.1 借用陆图（地形图）平面坐标改正数法

陆地测量部门，尤其大地测量部门，对陆图的平面坐标改正数的研究和计算进行了大量系统的工作，并且积累了许多不同坐标系之间的改正数资料。这些资料的沿海部分可以直接或间接地运用到相邻海区近代历史海图平面坐标转换中来。如果沿海部分的陆图平面坐标改正数位处海域，那么就可以直接作为该海域的平面坐标改正数。若需要改正的海域，在陆图改正数的范围之外，但相距不远，那么可采用外插法得到改正数。如果相距较远，那么外插法得到的改正数的精度就会降低或者不宜借用。

2.1.2 航标表法

海图上的航标如灯塔、灯桩、立杆等的位置是经过精确测量的，它的图上位置也是十分可靠的。航标的名称、经纬度、灯质、灯高、射程以及其它相关情况和数据，不但在海图上有明确的表示，而且有专门的航标表加以详细记载。航标表作为基本的航海资料之一，由海图出版部门定期编汇出版。航标表上记载的航标位置（经纬度）的精度可达到 0.1 秒级或秒级，这样的精度是能够满足近代历史海图平面坐标转换的要求的。

在需要进行比较的两幅同一海区的海图上，总可以找到一个或几个同名航标，如果能够找到与海图同期的航标表，查找到同名航标的经纬度，那么同一航标的经纬度差值，就是该两幅图的平面坐标改正数。这种方法称之为航标表法。

航标表法简单易行，精度保证，同时可以避免图上量算所产生的误差。航标表法的实施，首先要找到与海图同期的航标表；其次要找到两幅海图上共有的同名航标；最后还要特别注意确定两幅图上的同名航标确实是同一航标，也就是说同名航标必须是同位航标。

当航标表无法获得时，或者在航标表上找不到所需要的航标时，则可以采用下面即将介绍的图上量算法，将航标作为一个量测点量取其经纬度，但精度逊于航标表记载的。

2.1.3 图上量算法

两幅进行比较研究的近代历史海图，若它们都有经纬线网或图廓上有经纬度的细分，则可采用图上量算法。该方法就是选择两幅图上的同一点并分别量取其经纬度，则它们的差值即为平面坐标改正数。

实施该方法时最重要的是要选择好量测点。首先量测点在两幅图上都有明确可靠的图上位置，如航标、控制点、山顶；其次两幅图上的量测点必须确认是同一点，海图上同名不同位的情况是存在的，不可盲目认为地名相同的点（同名点）就是同一点（同位点）。

为了提高该方法获得的平面坐标改正数的精度，一方面要提高图上量算的技术，减小量算误差；另一方面要尽可能选择较大比例尺的海图进行量算；再一方面要尽可能多地选择若干组同位点，将它们的量算结果相互校核，以检查量算差错或因同名而不同位产生的差错，最后取其平均值以提高精度。

图上量算法是广泛采用的方法,实施简单,量算方便,其精度虽然不及航标表法,但一般可以量测至 0.1 秒级至秒级。

2.1.4 测图控制点法

有些近代历史海图没有经纬线网或图廓上的经纬度细分,这就不能采用图上量算法了。这些海图一般采用独立坐标系,并常常图载该图的测图控制点的经纬度,一个或几个不等,其精度可达 0.1 秒级或秒级,少数可达 0.01 秒级。两幅同一海区的海图上相同测图控制点经纬度的差值,就是它们的平面坐标改正数。此法计算简单,并可以达到与航标表法相同的精度,因此也是获得平面坐标改正数的常用方法。

对于某一幅具体的近代历史海图而言,则应根据精度要求以及实际的可能选择其中最适宜的方法。为了保证平面坐标转换的可靠性以及提高平面坐标改正数精度,在实际工作中,常常选择几种方法同时进行,获得数个平面坐标改正数,以作相互校核,并择其可靠者取平均值作为最后采用的平面坐标改正数。

2.2 深度基准面的转换

中国海区近代历史海图的深度基准面,由于技术和历史的原因是十分复杂的。我国历史采用过的深度基准面,迄今统计达 15 种之多,其中以平均大潮低潮面、略最低低潮面(印度大潮低潮面)和可能最低低潮面 3 种较为广泛使用。自 1956 年以后,我国统一采用了弗拉基米尔法计算的理论最低低潮面,即理论深度基准面作为我国沿岸海区的深度基准面。

深度基准面是海图图载水深及其相关要素的起算面,是港口航道工程科技人员密切关注经常使用的基准面。显然,只有两幅图的深度基准面相同的情况下,图载水深及其相关要素才能相互比较。这样,各种不同深度基准面的转换也就成了在港口航道工程中经常遇到并应予解决的问题。该问题的实质就是求取各种不同深度基准面的差值,即深度基准面改正数。

现介绍 6 种适用于港口航道工程科技人员获得深度基准面改正数的实用方法。

2.2.1 潮信资料法

海图上通常都记载有潮信资料,一般用潮信表列出,其中平均海面值指的是由海图深度基准面起算的多年平均海面的高度。显而易见,两幅图的平均海面之差值,即为它们的深度基准面的差值,也就是深度基准面改正数。应该采用图上几个验潮站的平均海面值,以求得几个深度基准面改正数,相互校核,并取其平均值作为最后的改正数,以提高精度。

2.2.2 固定点位法

这种方法就是利用海图上固定点位的水深值(或干出高度,以下同)的变化来推算深度基准面改正数。海图上的水深值都是由深度基准面起算。若能排除引起水深变化的其它因素后,那么余下的水深值的变化就是由于深度基准面不一致所造成的。因此,水深的变化值就是深度基准面改正数。

为了排除其它因素对水深变化的影响,所选择的固定点位应满足以下条件。

- a) 所选择的固定点位在进行比较的海图上都有明确可靠的位置,并确认为同一固定点。
- b) 所选择的固定点位的水深值,在进行比较的两幅海图的测量时间区间内,不受或很少受水下地形变迁的影响。如暗礁,就不易受冲淤的影响而改变其深度。
- c) 所选择的固定点位在进行比较的海图上都有明确可靠的水深注记。

为了提高精度和便于校核,应尽可能地多选择一些满足上述条件的固定点位。当求出各

固定点位的改正数相差不大时,取其平均值作为最后的改正数,否则应认真分析原因,舍去不太可靠的固定点位上求得的改正数。

2.2.3 水准比较法

利用近代历史海图上记载的深度基准面与陆地水准点的关系值,再根据陆地水准点之间的高差,可以推算出深度基准面改正数。这方法只有在特定条件下才可应用。首先要查找深度基准面与陆地水准点的关系,其次要查找陆上各水准点之间的关系。对于年代久远的历史海图来说,查找这些关系是比较困难的,但是一旦获得这些关系后,用这些原始数据求得的深度基准面改正数的精度是很高的。

2.2.4 公式计算法

利用深度基准面的计算公式来求取各种深度基准面值,它们的差值即为深度基准面改正数。

现列举一些常见的深度基准面计算公式。

a) 平均低低潮面

$$L = H_{M_2} + (H_{K_1} + H_{O_1}) \cos 45^\circ$$

b) 可能最低低潮面

$$L = 1.2 (H_{M_2} + H_{S_2} + H_{K_2})$$

c) 略最低低潮面 (印度大潮低潮面)

$$L = H_{M_2} + H_{S_2} + H_{K_1} + H_{O_1}$$

d) 平均低潮面

$$L = H_{M_2}$$

e) 平均大潮低潮面

$$L = H_{M_2} + H_{S_2}$$

f) 英国海军部深度基准面

$$L = 1.1 (H_{M_2} + H_{S_2})$$

上述各计算公式中:

L ——深度基准面在平均海面下的值;

H_{M_2} ——主要太阴半日分潮 M_2 的平均振幅;

H_{S_2} ——主要太阳半日分潮 S_2 的平均振幅;

H_{K_2} ——主要太阳半日分潮 K_2 的平均振幅;

H_{K_1} ——主要太阳半日分潮 K_1 的平均振幅;

H_{O_1} ——主要太阴半日分潮 O_1 的平均振幅;

2.2.5 回归分析法

应用数理统计的方法可求得各深度基准面之间的回归方程,再进一步导出改正数方程,有了这样的改正数方程,只要知道某一深度基准面值,即可得到另一深度基准面改正数。这是一种值得探讨和采用的方法。

2.2.6 改正数场法

以上诸方法总是针对某一具体历史海图而采取的。由此获得的改正数积累多了, 就可以根据各改正数的地理位置, 将其标绘在图上并勾绘出等值线, 调绘成一幅改正数分布场图。不同深度基准面之间的组合, 可以得到很多幅不同的改正数分布场图。这是一份很好的基础资料。

3 浙江海区近代历史海图的平面坐标改正和深度基准面改正

根据上节介绍的方法, 对浙江海区近代历史海图的平面坐标和深度基准面进行改正, 现将获得的若干成果列出, 对港口航道工程科技人员来说, 是一份具有实用价值的基础技术资料。

表 1 浙江海区近代历史海图 (民国时期) 的平面坐标改正数

序号	图 名	经度改正数 ΔL (秒)	标准差 (秒)	纬度改正数 ΔB (秒)	标准差 (秒)	图上距离 Δx (mm)	图上距离 Δy (mm)
1	台山列岛至台州列岛	+4.5	± 0.3	-2.2	± 0.5	-0.3	+0.5
2	温州湾至台州列岛	+4.9	± 0.2	-2.1	± 0.1	-0.6	+1.3
3	甌江	+5.4	± 0.2	-1.8	± 0.2	-0.7	+1.9
4	乐清湾	+5.1	± 0.3	-2.5	± 0.5	-1.6	+2.7
5	东瓜屿至三盘门	+5.0	± 0.1	-2.2	± 0.2	-1.6	+3.4
6	甌江附近	+4.8	± 0.4	-2.5	± 0.2	-2.1	+3.2
7	甌江口至温州湾	+5.5	± 0.2	-2.5	± 0.2	-3.0	+6.0
8	台州列岛至非山列岛	+6.2	± 0.2	-0.1	± 0.1	0.0	+0.7
9	台州列岛至鱼山列岛	+6.5	± 0.3	-0.5	± 0.3	-0.1	+1.7
10	台州列岛及附近	+6.5	± 0.1	-0.3	± 0.3	-0.2	+4.1
11	台州列岛	+6.5	± 0.2	-0.5	± 0.2	-1.0	+7.1
12	台州湾及甌江	+6.2	± 0.1	-0.1	± 0.2	-0.1	+4.2
13	鱼山列岛至非山列岛	+5.5	± 0.2	+0.4	± 0.2	+0.1	+1.5
14	三门湾暨石油港	+6.3	± 0.4	+0.2	± 0.1	+0.1	+2.8
15	石油港	+6.3	± 0.4	+0.2	± 0.1	+0.4	+8.4
16	非山列岛至嵎泗列岛	+7.5	± 0.4	-0.9	± 0.2	-0.1	+0.8
17	杭州湾及附近	+8.2	± 0.2	-1.3	± 0.3	-0.3	+1.5
18	非山列岛至甌江	+8.0	± 0.1	-1.0	± 0.1	-0.3	+2.1
19	杭州湾东南至甌江附近	+8.3	± 0.1	-0.9	± 0.1	-0.6	+4.4
20	宁波甌江分图	+7.8	± 0.1	-0.6	± 0.1	-1.5	+17.4
21	东福山至南汇嘴	+7.5	± 0.4	-0.9	± 0.2	-0.2	+1.3
22	嵎泗列岛	+8.2	± 0.1	-1.2	± 0.1	-0.9	+5.5

3.1 浙江海区民国时期近代历史海图的平面坐标改正数

选择浙江海区民国时期的海图 22 幅,分别独立地对每幅图进行平面坐标转换至 1954 年北京坐标系,并获得它们的平面坐标改正数如表 1 所列^[1]。

3.2 浙江海区近代历史海图的深度基准面改正数

浙江海区近代历史海图的各种深度基准面转换至现行的理论深度基准面的深度基准面改正数,可采用表 2 所列的深度基准面改正数方程计算^[2]。

表 2 中的 L_0 ,为理论深度基准面在平均海面下的值。浙江海区半日潮区的 L_0 ,可用下列回归方程计算。后式为前式的简化式,适用于半日潮性质显著的海域。两式计算获得的 L_0 的

表 2 浙江海区历史深度基准面改正数方程

历史深度基准面名称	历史深度基准面改正数方程 (cm)	相关系数	标准差 (cm)
略最低低潮面	$\Delta L_1 = 0.1551L_0 - 22.5$	0.990 1	± 8.0
平均大潮低潮面	$\Delta L_2 = 0.2249L_0 + 9.2$	0.989 7	± 7.5
可能最低低潮面	$\Delta L_3 = 0.0035L_0 + 10.3$	0.990 4	± 9.3

表 3 略最低低潮面改正至理论深度基准面的改正数

序号	地 点	潮汐性质 $\frac{H_{K_1} + H_{O_1}}{H_{M_2}}$	深度基准面改正数 ΔL_1 (m)					最后取值 $\overline{\Delta L_1}$ (m)
			潮信资料法	固定点位法	公式计算法	回归分析法	改正数场法	
1	滩浒山	0.28	-0.1	—	+0.06	+0.19	+0.2	+0.1
2	大戢山	0.38	-0.1	—	+0.18	+0.14	+0.1	+0.1
3	角腥脑	0.48	+0.2	—	+0.22	+0.12	+0.1	+0.2
4	长涂港	0.37	+0.3	—	+0.23	+0.12	+0.1	+0.2
5	菜花山	0.52	0.0	—	+0.16	+0.05	+0.1	+0.1
6	桃花岛	0.42	-0.1	—	+0.02	+0.10	+0.1	+0.0
7	南韭山	0.36	+0.2	—	+0.14	+0.18	+0.2	+0.2

表 4 平均大潮低潮面改正至理论深度基准面的改正数

序号	地 点	潮汐性质 $\frac{H_{K_1} + H_{O_1}}{H_{M_2}}$	深度基准面改正数 ΔL_2 (m)					最后取值 $\overline{\Delta L_2}$ (m)
			潮信资料法	固定点位法	公式计算法	回归分析法	改正数场法	
1	象山浦头	0.42	+0.6	—	+0.67	+0.77	+0.7	+0.7
2	上大陈	0.31	+0.7	+0.5	+0.81	+0.76	+0.8	+0.7
3	坎 门	0.29	+0.6	—	+0.79	+0.84	+0.8	+0.8
4	龙 洞	0.22	+1.0	—	+0.98	+0.92	+0.9	+1.0
5	大二盘山	0.30	+0.8	—	+0.95	+0.89	+0.9	+0.9

标准差均为 $\pm 9\text{cm}$ 。式中符号意义与上节同。

$$L_m = -9.75 + 1.646\ 7H_{M_1} - 0.388\ 4H_{S_1} + 1.566\ 0H_{K_1} + 1.057\ 1H_{O_1} \quad (\text{cm})$$

$$L_m = 33.87 + 1.665\ 8H_{M_1} \quad (\text{cm})$$

表 3 和表 4 列举了一些验潮站采用各种方法获得的深度基准面改正数。分别适用于这些验潮站附近海域的深度基准面转换。

参考文献

- 1 汪家祚. 近代历史海图研究. 测绘出版社, 1992
- 2 汪家祚. 浙江海区近代历史海图研究及其价值. 海洋通报, 1992, 11 (2): 64~67

MODERN HISTORIC CHART AND PORT AND WATERWAY ENGINEERING

Wang Jiajun

Hangzhou University, Hangzhou 311028

Abstract In this paper introduced and described are the status of modern historic charts concerning the waters off China coast and their particularity. The transformation on mathematical basis of modern historic chart, the correction of the horizontal coordinate and depth data on the charts for the waters off Zhejiang coast are elaborated. The knowledge on these charts and the problems associated will be of practical value for technicians specializing in port and waterway engineering.

Key Words modern historic chart; port and waterway engineering; horizontal coordinate; depth data; China waters