

海浪实况分析与预报信息化处理

张学宏, 尼建军, 邓 冰, 毛可修

(海军海洋水文气象中心, 北京 100073)

摘 要: 我们利用现有的数学方法和计算机技术, 对传统的海浪实况分析和预报方式进行了重大的改造, 对等值线的分析、绘制、平滑和删除、船舶报资料的解码等技术方法, 进行了相关的探索和研究。本文主要介绍等值线追踪法的应用、混合函数平滑法的应用和船舶报资料处理等内容, 并简要介绍了在实际应用中我们对关键难点的处理办法。等值线绘制的实现, 解决了实现海浪实况分析和预报信息化、业务化的难题。

关键词: 等值线; 海浪实况; 平滑; 海浪预报; 船舶报

中图分类号: P731 文献标识码: A 文章编号: 1003 - 0239 (2005)3 - 0054 - 10

1 现状分析及业务化意义

随着计算机技术和通信技术迅猛发展, 海上军事、经济活动的大量增加, 实现海浪信息化、数字化是一个现实又迫切的需求。海浪实况分析和预报对于海上经济活动甚至军事活动都会有直接影响, 如海上海洋油气开采和运输、油轮的离靠井架、海上旅游、海洋渔业等活动。通过海浪实况分析和预报, 可以使从事海上交通运输的舰船对航行海域和航线做出选择, 对可能出现的大浪海域进行规避, 以免大浪对舰船或人员带来的危险。我海军能够多次跨越大洋, 顺利地进行军事、国事访问, 进行长时间的全球航行, 都离不开海浪实况分析和较准确的预报工作。

目前, 国内有许多单位开展海浪实况分析和预报业务, 但是在实现业务化、信息化和数字化方面的工作开展得较少, 大多没有解决实况分析和预报无纸化的难题, 与美国、日本等发达的海洋大国差距较大。国家海洋环境预报中心和部分地方海洋预报台站每天通过电视媒体发布 24 小时海浪预报, 并通过 internet 网络发布相关海洋预报产品, 包括海浪实况分析等, 但是制作手段较为复杂。

目前海浪实况分析和预报手段比较原始, 须在图纸上进行手工分析, 与以人机对话方式实现气象综合信息的信息化、数字化和业务化的 MICAPS 系统相比, 显得较为落后。从另一个方面而言, 以原始手段进行海浪实况分析和预报, 需要大量的图纸, 在经济资源上是一个极大的浪费。因此, 在计算机技术高速发展的今天, 实现海浪信息化、数字化和业务化, 是一个迫切而现实的需要, 对于海洋经济和军事活动具有重要意义。

我们从事海浪实况分析和预报的时间已经很长了, 并在实现海浪实况分析和预报信

收稿日期: 2004-07-19; 修订日期: 2005-07-21

作者简介: 张学宏 (1971-), 男, 工程师, 中国海洋大学海洋环境工程专业在读硕士。主要从事海洋环境保障和资料处理工作。

息化方面作了大量的探索和研究,并取得了一定的成果,基本实现了海浪实况和预报的信息化、业务化。下面就信息化处理方面的难点、重点等作相应的介绍。

2 实况分析与预报信息化的实现

海浪实况分析与预报借鉴 MICAPS 系统的优点,实现业务化、信息化,其中关键技术是实现等值线的绘制、平滑及删除处理、船舶报报文的解析包括资料的排重排异质控处理,船舶报资料的网格化处理等。等值线的绘制涉及到等值线的平滑、修(校)正等数学方法和计算机技术。而实现等值线的自动绘制,就需要对船舶报资料进行网格化处理,利用等值线追踪方法来实现。本文主要介绍等值线的平滑、等值线修(校)正和删除、等值线追踪法的实现和船舶报资料处理等四个方面的内容。

2.1 海浪等值线绘制原则

(1) 将区域中的资料数值相同的点连成一条光滑的曲线。

(2) 等值线不能相交。

(3) 海浪等值线的起点和终点可以在陆地边界也可以是地图边界,也可以在海洋区域范围内闭合。

2.2 等值线平滑

等值线的平滑方法有很多,如五点平滑法、九点平滑法、贝塞尔曲线法(魏凤英, 1999)和混合函数法(Forrest, A. R., 1969)等方法。我们在实现等值线的平滑处理中分析了各种方法的优缺点并发现混合函数平滑法不但可以经过所有的样本点,而且对等值线平滑更能满足海浪等值线平滑的实际需求,这些是前三种方法所不具备的。贝塞尔曲线平滑法曲线不完全经过样本点,对预报的精度或浪区定位产生较大误差,而五点、九点平滑方程法对于端点的处理较为复杂。

现将混合函数平滑法介绍如下:

假设一条曲线有 n 个样本点: (X_1, Y_1) 、……、 (X_n, Y_n) , 混合函数为:

$$B_i(u) = \frac{(u+1)(u)(u-1) \dots (u-(i-3))(u-(i-1)) \dots (u-(n-2))}{(i-1)(i-2)(i-3) \dots (1)(-1) \dots (i-n)}$$

其中, i 为样本点序数, n 为样本点数, 当 $u=i-2$ 时 $B(u)=1$, 在其他整数值处为零。

2.2.1 等值线平滑的实现

在海浪实况分析和预报中,考虑 4 个样本点的情况,构造 4 个混和函数:

$$B_1(u) = \frac{u(u-1)(u-2)}{(-1)(-2)(-3)}; \quad B_2(u) = \frac{(u+1)(u-1)(u-2)}{(1)(-1)(-2)}$$

$$B_3(u) = \frac{(u+1)(u)(u-2)}{(2)(1)(-1)}; \quad B_4(u) = \frac{(u+1)u(u-1)}{(3)(2)(1)}$$

利用这些混和函数即四个样本点，构造通过四个样本点的曲线，其公式为：

$$x = x_1 B_1(u) + x_2 B_2(u) + x_3 B_3(u) + x_4 B_4(u)$$

$$y = y_1 B_1(u) + y_2 B_2(u) + y_3 B_3(u) + y_4 B_4(u)$$

在四个混和函数中，在样本点上 u 取值为：-1、0、1、2，而在相邻样本点之间，实现曲线的平滑，就需要将线段内插，用内插线段来逼近样本点之间的线段。如果每一相邻样本点间线段由三段线段逼近，则 u 的取值分别为：0、1/3、2/3、1（见图 1）。

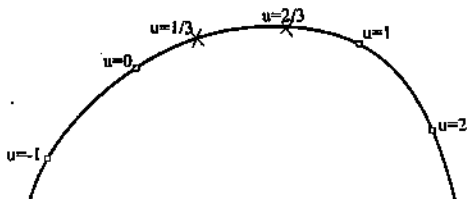


图 1 内插选点图例

这样曲线上的每相邻两个样本点间的线段都由三条线段来逼近，每一部分线段都需要同样的混合函数值，即需要混和函数在 u 等于 0、1/3、2/3、1 处的值。将这些点的坐标求出来，绘制线条，便可以实现平滑处理了。

2.2.2 闭合曲线的平滑处理

闭合曲线的起点和终点之间线段的平滑处理方法是将起始点、第二个点、倒数第二个点和终点四个点进行平滑处理，即将终点、始点间的线段进行平滑，这样保持整条曲线的平滑度和线条走势。

2.2.3 开曲线的平滑处理

对于开曲线，对开始的第一条线段和最后的一条线段如何进行平滑处理是一个关键，如果处理不好，曲线将会出现很大的波动，达不到理想的平滑效果。在实际操作中，我们选取了在两个端点各加一个值（点）的办法，这两个点分别与起点和终点重合，然后用内插的方法进行计算并处理两段线段，这样的结果在使用中比较理想，保证线条的平滑度。在绘制等值线时区分闭合等值线和开等值线，目的是为了图形的填充和美观，同时，根据等值线的绘制原则，等值线始终终止于陆地（地图）边界。

2.3 等值线修（校）正、删除处理

等值线绘制完成之后，用户需要结合实际情况和需要，对等值线进行合理的修（校）正或删除处理。

用户一旦应用等值线的修（校）正功能之后，系统会自动选取等值线的特征点，特征点用小方框标识，形成“特征点对象”，这些特征点对象对于用户人工分析的等值线就是用户在屏幕上点击形成的点，而对于系统自动分析绘制的等值线，就是用追踪法所追出的点，所有这些点都不含有平滑处理中内插生成的点。用户需要对哪一条等值线进行修（校）正，就可以通过鼠标点击该等值线上任一个“特征点对象”，对象一旦点中，系统使用“特征点对象”的坐标属性自动识别该点所在的等值线，之后用户可以在地图上

任意选取等值线需要重新穿越的点位, 系统会及时修正且平滑等值线, 并将修正点移至新的点位, 该操作可重复进行, 直至用户满意即可。

等值线的删除, 顾名思义, 是用户对在屏幕上显示的等值线进行相关的去除处理, 将等值线直接从屏幕上删掉。该功能的原理是, 用户一旦使用该功能, 系统亦会自动地显示等值线特征点, 这时特征点用填充过的圆标识, 形成“特征点对象”。用户可以通过鼠标移动, 将鼠标移动到需要删除等值线的特征点上, 系统会将该特征点对象用一个较大的填充圆标识, 表示该条等值线已经选中, 用户若要删除该条等值线, 可以直接点击该特征点对象, 等值线就会立即从屏幕上消失, 等值线现在只是从屏幕上消失, 而该等值线形成的数据必须从等值线数据序列中去除, 需从计算机内存中删掉, 避免调用该时次的分析图数据时, 再次显示该条等值线。为了达到这一目的, 用户在后台处理过程中用到递归方法, 将该条等值线的数据去掉, 形成该时次新的等值线序列, 最终实现删除等值线的目的, 因此, 等值线一旦删除, 系统是不能再恢复的。

2.4 自动分析绘制等值线

随着计算机计算速度的快速提高, 大数据量的等值线自动绘制分析成为可能。在海浪实况分析中, 只要实现了船舶报资料网格化处理形成网格资料, 就可用该方法实现等值线的自动绘制。而海浪数值预报输出结果本身就是矩形网格化数据, 要实现海浪数值预报结果的可视化, 可以直接应用该方法实现等值线的自动分析绘制, 并可以对浪区实施填充。

下面简要介绍等值线追踪法的原理及我们在实际应用中的处理办法。

2.4.1 等值线起始点的确定

用等值线追踪法绘制等值线, 就是通过计算机自动寻求一块区域内符合等值线绘制原则的等值点, 将这些等值点进行自动的平滑处理并连线, 形成平滑的等值线, 因此寻找等值线的起始点是一个很重要的步骤。

先在网格区域上找寻起点。设等值线值为 Z_k , 如设浪高为 1m、2m、4m 等。在实际应用中为了保证等值线能够从棱边上穿越, 首先对网格点上的数据与给定的等值线值进行比对, 如果两者相等, 可以将该格点数值加一个微量数值, 既不会改变等值线的性质又可以较易判别等值线的走向。找某条给定等值线的第一个点即起点的原理是从左到右从上到下, 按网格点上的要素值进行搜寻, 查找满足 $Z_k - 1 < Z_k < Z_{k+1}$ 的棱边 (网格点), 如找到满足该条件的棱边, 通过线性插值计算, 求出这个点的横纵坐标值并存储该棱边下端或右端格点的坐标 (X_0, Y_0) , 至此等值线的起始点已定。

2.4.2 等值线追踪寻找等值点

等值线的起始点给定之后, 用等值线追踪法搜寻该等值线上其它等值点。

以与 (X_0, Y_0) 点连接的其他三条棱边为对象, 开始搜寻下一个点。设棱边为 AB (见图 2)。

每个网格有四条棱边, 设棱边上两端点的要素值为 $T(a)$ 、 $T(b)$ 、 A 、 B 为点的坐标为

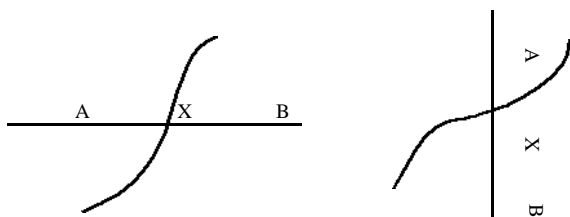


图 2 等值线穿越棱边示意图

(X_a, Y_a) 、 (X_b, Y_b) , 等值线是否穿越棱边, 就是判断在棱边上是否有 Z_k 值, 判据:

$$(T(a) - Z_k) \times (T(b) - Z_k) \leq 0$$

若该式成立, 则在这一棱边上有 Z_k 值, 否则, 继续该网格下一棱边的搜索, 通常等值线穿越该网格的两条棱边即穿入和穿出, 同一条等值线可以穿越同一网格的四条棱边, 但不可能同时穿越(见图 3)。

一旦等值线穿越某一棱边, 用下式求该棱边上等值点的坐标。当等值线穿越水平棱边时, 该等值点的坐标为:

$$(T(a) - T(b)) / (X_b - X_a) = (Z_k - T(a)) / (X - X_a)$$

$$X = X_a + [(Z_k - T(a)) / (T(b) - T(a))] \times (X_b - X_a)$$

$$Y = Y_b = Y_a$$

当等值线穿越竖直棱边时, 该等值点的坐标为:

$$(T(b) - T(a)) / (Y_b - Y_a) = (Z_k - T(a)) / (Y - Y_a)$$

$$Y = Y_a + [(Z_k - T(a)) / (T(b) - T(a))] \times (Y_b - Y_a)$$

$$X = X_b = X_a$$

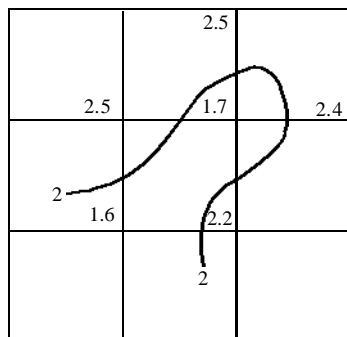


图 3 等值线穿越四条棱边示意图

2.4.3 等值线穿出和穿入确定

等值线的出口和入口是进行等值线跟踪的关键, 出口和入口直接关系到判断等值线要穿越那一个网格。

等值线在矩形网格上的出口和入口有四种可能(见图 4)。

定义一个变量, 当 $r=1$ 时, 规定从垂直边穿越, 当 $r=0$ 时, 从水平边穿越; 当 $r=1$

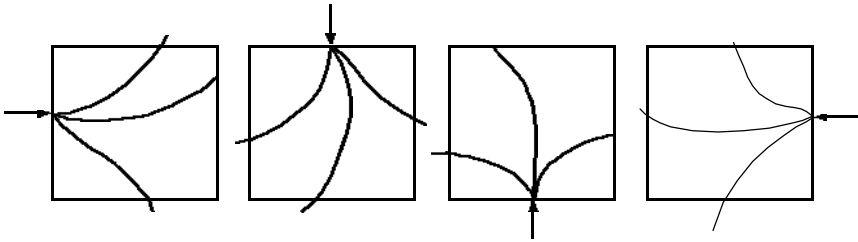


图4 等值线可能走向

时, 再判断是左边还是右边, 若起始点的坐标为 (X_k, Y_k) , $X_k - X > 0$, 则为左棱边, $X_k - X < 0$, 则为右棱边; 当 $r=0$ 时, $Y_k - Y > 0$, 为下棱边, $Y_k - Y < 0$, 为上棱边, 其中 (X, Y) 为下一点的坐标。若入口棱边已定, 则再求出口棱边, 即等值线的出口, 一旦出口棱边已知, 则重复上述步骤, 继续含出口棱边的下一网格的跟踪与搜索, 最终实现等值线的输出。

2.4.4 等值线终点的判断

等值线终点的判断, 就是确定等值线是闭合曲线还是开曲线, 等值线是终止于地图边界还是陆地边界。因此等值线终点的判断就是陆地边界和地图边界的识别。地图边界的识别较为容易, 只要等值线追踪到边界之后, 该条等值线就告结束, 而地图边界的识别较麻烦, 需要用户预先对地图边界进行数据处理。根据网格的分辨率和等值线的绘制原则, 系统运行时调用用户预先定义的陆地边界信息, 当系统搜索到一个等值点时, 就要判断该点是否与陆地的信息点重合或接近, 如果接近, 则该等值线的终点就确定, 表示该等值线是开等值线, 等值线的终点用陆地的边缘点替代, 否则, 系统继续下一点的搜索, 若搜索到的点与起始点重合或接近重合(考虑到系统的计算误差, 允许有微小差量), 那么该等值线便是闭合等值线。

2.5 船舶报资料处理

2.5.1 船舶报解码

原始船舶报报文是按照国际统一格式进行编码的, 所有的数据信息包括时间、船舶号、测点位置、观测资料如海洋水文、海洋气象等信息已被转化为数学符号或字符, 因此报文难免存在缺码、误码等错误信息。为了进行海浪实况分析和预报应用, 我们就必须对原始船舶报资料进行解码处理, 海浪实况分析和预报需要的数据信息包括时间、经纬度、水温、气温、风速、风向、浪高、涌高和涌向等相关要素。提取这些信息, 必须按船舶报报文格式进行数据解码, 并识别缺码, 排除误码, 提取海浪实况分析和预报所需要的有关海洋水文信息, 进行简单的排重、排异等质量控制, 形成系统所需要的海洋水文数据文件才能应用于海浪实况填图、分析。

船舶报资料与气象资料的不同之处在于气象资料基本是网站资料, 测点位置基本是固定的, 而船舶报资料则是海洋上的商用船只或民用船只根据观测规范在航渡期间观测

的,因此,船舶报资料是随机的,测站是离散的。在海浪实况分析和预报中,如实现等值线的自动绘制,就要进行离散资料的网格化处理(王继志等,2000年)。

2.5.2 船舶报资料网格化处理

根据海浪实际分析的需要,确定网格分辨率。根据海浪测点的浪(涌)高值,进行内插,将浪高值插到矩形网格上,实现离散资料网格化。

每一测点浪高值对所在网格格点的影响大小,考虑以网格域内某格点的对角点与测站之间成对角线的矩形面积的大小给与权重系数。权重系数的确定原则是,距离网格点近的测站要素权重重大,远的就小。对给定每一网格交点,搜索周围4个网格域内的测点个数,计算各测点与该格点的权重系数,求出该格点上的浪高值。

如图5,定义 B_1 为测站CZ与格点D1的权重系数, a_1 代表测站与格点D1之间的小矩形的面积, A 代表该测站所在网格域的面积,则测站与D1的权重系数为 $B_1 = \frac{a_1}{A}$ 。假设D1周围四个网格内有 n 个测站, h_i 为某测站的浪高值。则该格点上的浪高值为: $H = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n B_i h_i$,其中 $i=1, 2, \dots, n$ 。

通过计算,可以算出各网格点上的浪高值。

陆地边界的处理,根据图形网格点的定义,给出边界网格点位置,在实现资料网格化处理时,通过给定的边界权重系数进行资料处理,避免资料插值到陆地上,保证资料的合法、合理与完整性。

3 实际业务应用

在我们的海浪实际业务工作中,基本实现了人机对话绘制等值线、计算机自动分析绘制等值线、等值线平滑处理、等值线修(校)正、船舶报资料解码处理、船舶报离散资料网格化等功能,这些功能的实现,基本上解决了海浪实况分析和预报信息化的难题。而人机对话方式是根据实际海洋物理特性的需要分析实况、海浪预报及等值线的处理等。

3.1 等值线自动分析应用

计算机实现了等值线自动分析后,必须通过人机对话形式对等值线进行修改,对不合理的线条还可以直接删除,最后形成产品。图6是船舶报资料经过网格化处理后进行海浪实况自动分析的图例,该图经过船舶报资料网格化处理后,系统自动分析等值线并对浪区进行颜色填充。然后通过人机对话方式,对等值线进行相应的处理。图中等值线的分析是合理的,等值线平滑也能够满足用户需求。

图7和图8是等值线自动分析在海浪数值预报系统中应用的产品图。在海浪数值预

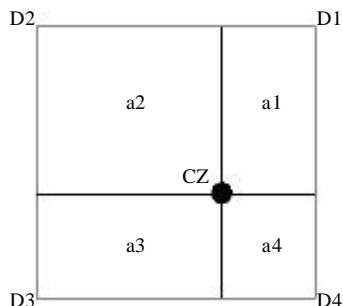


图5 测站与格点间权重系数示意图

报中主要预报 3 个要素: 浪高、浪向和周期, 这些要素的预报结果都是网格化的, 因此, 对于浪高和周期可以直接进行等值线自动分析, 而浪向则直接用箭头表示即可。本文选择了 2004 年 6 月份的部分产品, 主要是 6 月份海上有台风, 浪高较大, 等值线较为密集, 可以验证等值线自动分析的合理性及等值线的平滑程度。如图 7、8 所示, 经过人机对话方



图 6 海浪实况等值线自动分析实例

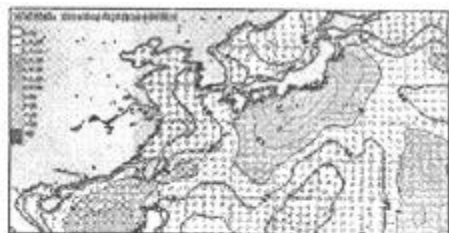
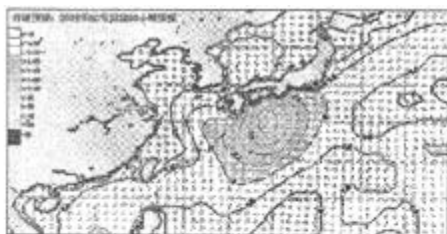


图 7 等值线自动分析应用于海浪数值预报(浪高)

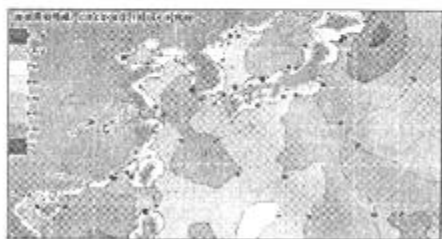


图 8 等值线自动分析应用于海浪数值预报(浪周期)

式修正后形成的等值线平滑美观, 能够满足用户的需求和业务需要。

在浪高的自动分析中, 对于边界的处理效果较理想, 而在周期的自动分析中, 边界处理还存在问题, 这需要在程序实现中加以改进。

3.2 等值线修(校)正、删除应用

等值线绘制完成之后, 需要通过用户对其进行修改, 然后才能形成产品。因此, 等值线的修正和删除是海浪业务信息化必备的功能之一。

图 9 和图 10 是等值线删除前后的对比图。在图 9 中, 处于浪区中心位置的线条应该是闭合的, 而在图中显示的却是开线条, 这是明显不符合海浪等值线分析原则的, 因此, 用户可以直接删除该条等值线, 删除后的效果如图 10 所示。

图 11 和图 12 是等值线修正前后的对比图。在图 11 中, 外围等值线绘制到了陆地上(日本), 这与海浪等值线绘制原则相违背的, 用户若想保留该等值线, 可以应用等值线

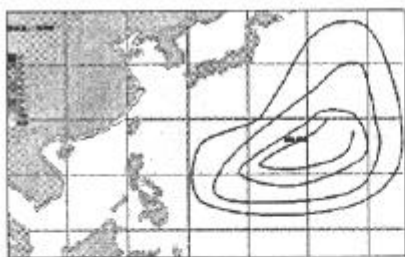


图 9 等值线删除前

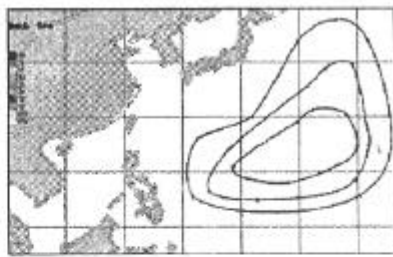


图 10 等值线删除后



图 11 等值线修正前

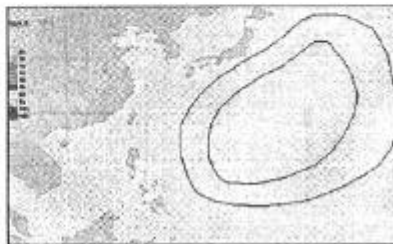


图 12 等值线修正后

的修(校)正功能,对等值线进行合理的修改,直到用户满意为止。

4 结语

以等值线自动分析为基础,辅以人机对话手段,进行海浪等值线的分析绘制,形成产品,既可以打印的形式也可以通过网络数字形式发布产品,实现海浪实况分析与预报业务信息化。海浪实况分析与预报业务信息化的实现,基本能够满足我们日常海浪保障的业务需求,该产品不但在经济上节约开支,而且减少人力资源的应用,同时可以根据需要,及早查看海上的实况资料,对于海上的舰船活动提供了及时的海浪保障。

参考文献：

- [1] 王继志, 杨元琴. 现代天气工程学 [M]. 气象出版社, 2000.
- [2] 魏凤英. 现代气候统计诊断与预测技术 [M]. 气象出版社, 1999.
- [3] 王继志, 汤桂生, 杨元琴. 微机图形显示系统原理 [M]. 1991.
- [4] 徐德伦, 于定勇. 随即海浪理论 [M]. 高等教育出版社, 2001.
- [5] 左军成. 海洋水文环境要素的分析原理和预报 [M]. 中国海洋大学讲义, 2003.
- [6] Forrest A R. "Curves for Computer Graphics" in Pertinent Concepts in Computer Graphics. Univ of Ill Press, 1969.
- [7] 丁嘉种, 曹宝根, 张海燕, 译. Windows3.1 图形编程技术. 电子工业出版社, 1995.

THE MESSAGIZATION HANDLING IN SEA WAVE SCENE-ANALYSIS AND FORECAST

ZHANG Xue-hong, NI Jian-jun, DENG Bing, MAO Ke-xiu

(Navy Marine Hydro-meteorological Center, Beijing 100073 China)

Abstract : We utilized the mathematics approach and computer technology to carry out great reconstruction for the traditional means of wave scene-analysis and forecast. We carried out relational explore and investigation on the methods and technology in analyzing, drawing, smoothing and deleting of isoline, decoding shipdata etc. In the context, we introduce mainly the contents on how to apply the isoline trace technique, how to apply the mix-function technique and how to decode shipdata as so long, and briefly introduce the means how to solve the key difficulty in practicality. The realization of isoline protract resolved the problem on messagization and professional work in sea wave scene-analysis and forecast.

Key words : Isoline ; Sea Wave Scene-Analysis ; Smoothness ; Sea Wave Forecast ; Shipdata