

国内外海洋环境预报述评 (一)

杜碧兰 韩忠南

(国家海洋局海洋环境预报中心)

一、海洋环境预报工作的重要性

众所周知,海洋占整个地球表面的三分之二,如此浩瀚的“水世界”不能不对人类活动产生巨大的影响。自古以来,了解海洋、征服海洋和开发海洋是人类的宿愿。但由于当时社会生产力和技术水平的限制,人类对海洋的开发利用主要还限于传统的海洋捕捞、制盐和海上运输。只是到二十世纪六十年代以后,随着社会生产力的迅速发展,加之世界人口的激增和陆地资源的消耗,人们才转向海洋资源的全面开发。现代海洋开发已包括海底石油开采、海水养殖、海底采矿、海洋能源开发以及海水综合利用等新兴产业。可以预料,随着对海洋资源开发利用能力的不断增长,人类未来几乎可从海洋获得陆地上所能获得的一切。海洋经济在我国国民经济中同样会占有越来越重要的地位,一个开发利用海洋的高潮必将迅速到来。

海洋开发事业的蓬勃发展不能不对海洋环境科学提出许多新要求,除了要更多更细地调查研究海洋环境和保护海洋环境外,还要求及时准确地提供海洋环境预报服务。海洋环境预报的主体是海洋水文气象预报,此外还有海洋污染、地震警报和预报以及各种专业预报等。常见的水文气象要素,如大风、海雾、气温、海水温度、盐度、海浪、海流、海冰、潮汐、潮流和风暴潮等,都与人类开发利用海洋的活动息息相关。准确地提供这些要素预报,不但可以保障海上工作人员、运输工具和各种海洋工程设施的安全,而且还可以提高开发利用海洋的经济及社会效益。近年来,由于海洋水文气象预报服务的广泛开展,重大海损事故已有所减少。而基于海洋水文气象预报的船舶最佳航线选择,更显著地提高了海运经济效益。另外,海上钻井、深水采矿和远洋捕捞等,对海洋预报的需求也日益迫切。总之,海洋环境预报是开发利用海洋不可缺少的重要条件,是确保海上活动安全和提高经济及社会效益的有力保障。

二、海洋预报技术的重要进展

海洋预报这门学科,随着物理学、流体力学、统计学和计算技术的不断进步以及电子计算机的广泛使用,正在迅速发展。二十世纪六十年代以后,海洋预报学科已进入一个全面发展的新阶段,在许多环境要素的预报技术方面取得了重要的进展。

海浪预报

海浪预报方法研究始于二次世界大战以后。早期的海浪预报是建立在天气学的基础之上的,根据预报得出的风级粗略地推算浪级,可以说是海上天气预报的副产品。随着海浪观测资料的积累,出现了一系列应用数理统计预报波浪的方法,其中比较成功的要算美国斯维尔德鲁普(Sverdrup)和芒克(Munk)提出的有效波预报方法,该预报方法虽然简便易行,但它的主要缺陷是不能正确反映海面状况的详细情况,而且在使用过程中往往有较大的局限性。为了改进海浪预报方法,提高预报精度,自五十年代中期开始,许多学者转向海浪数值预报方法的研究。他们从被认为是最有发展前途的波谱方法入手,经过反复研究和试验,已逐步进入实用阶段。1955年皮尔逊(Pierson)首先提出,应用波谱分析预报大洋风浪的数值方法,他在纽曼(Neuman, 1953)和朗格特——希金斯(Longuet-Higgins, 1952)研究成果的基础上,建立了称为PNJ法的海浪预报方法。1962年贝尔(Bear)根据PNJ法编制了电子计算机应用预报程序。此后,泰克(Tick)、贝尔(1966)和井上(1967)又分别提出了各具特色的数值模式。1968年布兰特(Brantt)把哈塞尔门(Hasselmann, 1962, 1963)关于波——波相互作用的理论研究成果引进了他的数值预报模式。现在美国海军舰队数值海洋中心所采用的大洋波谱模式(SOW)就是由皮尔逊、泰克、贝尔和井上模式组合构成的。在英国,1961年达比希尔(Darbyshire)提出了一种以已知谱为依据的海浪数值预报方法;1971年尤因(Ewing)又对布兰特的预报模式作了改进。在法国,1955年就开始应用所谓“角谱密度”(DSA)的概念从事海浪预报。五十年代后期,又经吉尔西(Gelci)等人不断改进,现已发展为“DSA—5型”预报模式。日本从1971年开始研究海浪数值预报方法。日本气象厅海洋部所使用的模式包括“风模式”和“浪模式”两部分。所谓“风模式”,就是应用包括客观分析和预报的地面气压和海面气温计算海上风场,其理论依据是布莱卡达(Blackadar, 1965)和卡登(Cardone, 1969)等人提出的大气边界层理论模式。该模式把近地面大气层分为厄克曼层和地表层两层,分别按厄克曼理论和边界层理论处理。“浪模式”是根据由五个能量输送过程构成的能量平衡方程式求解的,其中描述波浪成长过程的两项(根据Phillips共振理论的线性成长和根据Miles不稳定理论的指数成长);描述波浪消散过程的有三项(波浪破碎、内摩擦及逆风衰减)。应该提出,近年来,在应用海浪数值预报的同时,对特殊天气系统和局地水域采用统计学方法预报波浪仍然是行之有效的。比如,有人利用风速分析风浪,绘出了罗马尼亚黑海沿岸波高、波长、周期、波速和风速之间的关系曲线,用于风浪的计算和预报;Kikuchi根据日本近海的观测,分析了台风涌浪、风浪及其变化,还比较了受台风影响的各地区的风浪和涌浪的特征高度,发现台风临近时,风浪在1~2天内增到最大,而台风过后,风浪在一天内降到最小。他提出了预报最大波高的图表方法,以台风中心气压和离台风中心的距离,预报最大波高。

海流预报

目前用于海流预报的最简单而实际的方法是利用气压(海面)梯度计算风海流。为此,

考虑不同风因子绘制出用于计算的列线图。利用这些列线图,可以迅速地计算出大洋各地区的风海流。近年来,苏联提出根据风的资料作流速短期预报的公式。James也设计了一种计算风海流的图表,选用的变量为风速、风时和风区。他还为个别海区,如湾流和马尾藻海,设计了用水温垂直梯度计算地转流的图表。苏联学者提出,在海面以下25~50米和100~500米各层的流速变化是气压场变化导致的,它可能比惯性流大1.5倍。他们把流速资料和气压场展开成自然正交分量的系数,对大西洋和西北太平洋几个特定地区,拟定出流向流速的预报方程式,可以预报1~5天局部海区25~1200米层的非周期性海流。Hackert提出了波罗的海的海流模式,在风与海流统计关系基础上给出了海流的长期预报。目前,研究海流动力学理论的文章很多,但直接用于预报业务的动力数值预报模式却很少。1980年苏联萨尔基扬(Саркисян)等提出了考虑热平流的三维流体动力模式。模式可实现短期的海温和大面积的海流数值预报,并用北大西洋实测资料进行了验证。

潮汐预报

海洋水位有周期性变化和非周期性变化两种形式,前者就是潮汐现象,后者称为风暴潮。潮汐预报是海洋预报中开展最早的一项业务,预报方法也比较成熟。迄今为止,各国采用的潮汐预报方法大多属于调和法。所谓调和法是建立在潮汐运动由天体引潮力引起的理论基础上的,方法是把水位连续观测资料作调和分析,求得各分潮的调和常数,利用这些调和常数可以预报出各地的潮高。1965年芒克和卡特赖特(Cartwright)提出了一种推算潮位的新方法——响应法。这个方法有较严密的理论依据。响应法除考虑引潮势外,还引入了由于太阳辐射产生的辐射潮,并能在实际分析时将辐射潮同引潮力区分开。响应法还考虑了潮位变化的非线性效应。但从目前情况来看,该方法预报效果并不比调合法有明显改进,而计算量却远远超过了调和法。不过从长远看,响应法理论依据严谨,还是有发展前途的。近十年来,潮汐的数值计算方法也发展起来了,不仅可以计算潮汐,还可作风暴潮、海流以及污染扩散和输送的分析预报。潮汐动力数值方法最先是由德国汉森(Hansen)提出来的。苏联和美国在此基础上作了进一步发展。美国舰队数值海洋中心的流体动力学数值模式(即“HN”模式),已在某些海洋工程中得到应用。美国的“HN”模式有两种:一种是单层模式,另一种是多层模式。单层模式最适用于半封闭的浅水海湾和河口区域应用,但也可用于三面开放边界的任何沿岸海区。多层流体动力学模式是在单层模式的基础上发展起来的,其逐层垂直积分的基本方程与单层模式相类似。它是通过把单层模式中的函数分为三个单独程序来实现的。由于使用编码技术,它比先前使用的方法更有效、更具有普遍性。

风暴潮预报

风暴潮按其成因可分为台风(飓风)潮和温带风暴潮两类。风暴潮预报方法较多,但归纳起来,不外乎数理统计法和动力数值预报两大类,苏联对白海的风暴潮做了大量的研究,考虑潮汐特征,提出了通过风和气压的预报来预报阿尔汉格尔斯克高低潮水位的一些关系式。当有沿Dviana河口主轴的风速预报时,可以提前12小时预报风暴潮。为推算白海的风暴潮,还设计了由地面气压场推算风场的计算程序,而且也应用于其它海岸。另一种方法是借

助随机相关理论和平稳过程,预报非周期的水位变化。多年来一直在研究列宁格勒风增水问题的米哈依洛夫,分析波罗的海几个站的水位资料和1967年10月18日大汛期的北部海流资料后指出:气压系统引起长孤立波的成长是造成该地区海水泛滥的主要原因。分析1953—1966年芬兰湾的水位资料,还发现水位上升和长波的变化、风的两个分量变化曲线相吻合。低气压也会引起荷兰西南海岸出现风暴潮激起的长波。波罗的海东南沿岸的水位预报,是以气压场和水位变化的相关为依据的,此间,气压场必须分解为自然正交函数。分析日本北部的太平洋和鄂霍茨克海沿岸的逐时水位资料时发现,气旋中心的静压力能使水位升高,北风和东北风激起的沿岸流使海面倾斜也会造成沿岸水位的上升。此外,浅海的水深、地形、海岸形状、浮冰和径流量也是形成风暴潮的重要因子。五十年代末,一些学者相继提出了风暴潮动力数值预报法,以后又作了不少改进。1957年费里曼(Freeman)提出“深转法”,这是适用于大陆架上有着平直海岸的海区的一种风暴潮预报方法。该法假定飓风平行海岸移动,引起海水搬运,由于地转效应(科氏力作用),海水搬运方向在北半球不断右偏,又由于水深向陆地方向不断变浅,导致海岸带增水。但由于深转法要求条件苛刻,对不规则海岸或登陆型飓风均不适用,因而该法在应用上有许多局限性。另一种传统的风暴潮理论计算是二维流体动力计算法,这是根据海区特征和气象状况,建立二维全流方程,加上初始和边界条件,方程便有定解。1954年,汉森就是根据这种方法利用电子计算机作风暴潮数值计算的。日本的风暴潮数值计算也采用类似的方法。六十年代,美国杰列斯扬斯基(Jelesnianski)提出SPLASH模式,该模式虽然也是基于二维流体动力方程,但与众不同的是他采用了一个理想化的海区,当一个模式化了的飓风移近该海区时,计算出该海区的风暴潮。为了能使计算结果符合实际情况,还必须对飓风进行“订正”。1972年杰氏发表了登陆型飓风潮的计算,1974年又发表了非登陆型飓风潮计算。但到此为止,杰氏模式又改用双曲线坐标,由此得出的预报方程可用于弯曲形状的海岸,1975年奥沃兰德(Overland)加以改进,使其可用于小海湾。尼克森(Nickerson, 1971)考虑温带风暴潮的天气特征,把杰氏模式的应用扩大到温带风暴潮预报。在风暴潮动力数值计算中,除应用差分法外,还对有限元法的应用作了有益的尝试。

关于非周期水位的月、季和年预报对封闭式海区来说是相当重要的,苏联对里海和咸海的水位变化做了大量的研究工作,确认水位变化是径流量的函数。为了做逐月水位预报,将地面气压场展开成切比舍夫多项式,水位展开成自然正交分量,求得两者之间的相关。他们还在分析历史和现代资料的基础上,预报了2000年里海海水所占的面积。

海温预报

目前海温预报在预报时效方面有短期、中期和长期三种;在层次方面有表层、次表层、底层以及温跃层和垂直分布等。预报方法可分为统计方法、数值方法以及两者相结合的动力统计方法。使用最广泛的是统计预报方法,数值预报方法尚处于试验阶段,对动力统计预报方法也只是进行过某些探索。常用的统计分析方法有周期分析法,平稳时间序列分析法,回归分析法以及切比舍夫多项式和经验正交函数分解法等。由于冬、春季热量分配不同,各季节海水温度预报所考虑的预报因子往往有所差异。夏半年的水温预报,以热量收支为依据,对

间接表示平流特征的大气压力场和初始的温度场采用某种分析方法进行分解后,用多元相关求取其预报方程式。冬季水温预报基于以水、气温差表示的热平衡方程式,计算热消耗,应用历史资料估计水温的递减率,预报对流混合层深度,从而预报出冬季水温状况。目前苏联利用北半球气压场距平的自然分量与北大西洋表面水温距平的自然分量进行了相关分析,成功地预报出海温的季节变化。

海温数值预报是从其形成机制入手,根据动力学和热力学规律建立预报方程,按一定的边界条件和初始条件,采用差分法或有限元法解方程,从而建立预报海温的数值模式。由于难以确定涡动粘滞系数的时空变化和正确选取海面边界条件,目前数值预报方法尚未投入业务使用,但这种试验一直在进行着,例如,六十年代中期,美国的阿德姆(Adem),从热量平衡出发,曾提出一个预报月平均水温的数值模式。该模式主要考虑了海洋辐射热收入、垂直湍动热量交换及蒸发耗热,但没有考虑水平热量输送和底层垂直热交换。七十年代初,阿德姆又作了改进,在原方程中除考虑热对流过程外,又考虑了海流在水平和垂直方向上引起的热量输送。在作了某些简化后,对方程从海面到某个深度进行了积分,求得了大洋的层化方程式。阿德姆还采用参数化的热函数、厄克曼漂流公式以及后向差分法,最后得出了可用于实际计算的含有热平流项的公式。

关于海温的长期和超长期变化规律也在研究海、气相互作用的基础上逐渐被揭示,例如研究表明,北太平洋海温变化与北美气温之间存在着相关,它们都具有两年和4~5年的变化周期。

海冰预报

海冰预报涉及到海洋的热力过程和动力过程。海水预报一般包括初冰期、沿岸冰形成、冰量、冰厚、冰的破碎、冰的飘移和密集度、冰的覆盖面积、冰边缘线位置、融冰期和终冰期预报等。在预报时效方面也有短期、长期和超长期预报之分。从各国海冰预报业务来看,仍以数理统计方法为主,数值预报尚处于不断试验和不断完善阶段。苏联的海冰预报方法比较先进,目前已广泛利用大范围的水文气象场作为自变量因子,进行切比舍夫多项式分解,求得分解系数及其组合,然后建立预报方程式。初冰月预报公式的最简单形式是以不同形式气温与水温之差来表示的,为了考虑大范围天气系统的影响,近年来加进了气压等级指标或气压场的切比舍夫多项式标准化系数的代数和。冰量预报与冰盖的初始状况、春夏期间冰的消融以及漂移有关。一般冰量是作为切比舍夫多项式系数的代数和、气温和水温的函数来确定的。冰的厚度预报则要考虑气温、冰上雪盖层的厚度和密度、冰下水体的温度和盐度、冰下海流的流速、风速、辐射、冰的物理性质及海洋深度等。影响融冰强度的因素很多,动力学方面有海洋水位变化、海流、波浪、风、冰的破坏及外迁等;热力学方面有辐射平衡、来自大气的热量收入,来自水中的热量收入,与大气的热量交换以及降水等。因此,融冰期预报要根据各海区的实际情况,选出几种主要因素作预报。关于流冰预报,一般包括流冰速度和方向两个量值的预报。影响流冰的主要因素是风和海流,在实践中,往往利用气压梯度值来预报流冰速度;而在确定漂流方向时,则要考虑风向、风速、流向、流速、冰的厚度、科氏力效应以及切向摩擦效应等。

在海冰预报技术方面,美国和加拿大常引进苏联的研究成果。近年来,美国一些科学家也对北冰洋海冰做了研究,目的在于提出海冰生长和厚冰内温度变化的数值计算模式。在流冰及其密集度的理论研究方面,有的应用了不稳定状态的流冰运动方程式,考虑了地球自转、海冰与空气及海水之间的摩擦,以及流冰之间的相互作用,有的讨论了湍流对流冰平均速度的影响等。

三、国外海洋预报业务现状

海洋预报业务的发展,不但取决于海洋开发和军事活动的需要,而且还取决于与预报有关的科学技术的发展水平。六十年代以来,由于海洋学、气象学迅速发展以及在预报业务中引进卫星遥感技术和大型电子计算机,海洋预报获得了长足的进步。据联合国教科文组织海委会技术文件报道,目前世界上主要的海洋国家,美国、苏联、日本、中国、加拿大、英国、法国、西德、澳大利亚、荷兰、丹麦、新西兰、芬兰、挪威、波兰、印度等都已建立了日常的海洋预报业务。一些发达国家还建立了海洋学分析预报中心,在海洋环境监测、资料传输、处理和预报等领域里引进了最新技术装备,形成了本国的海洋环境预报系统。与此同时,国际上也在组建全球性的海洋监测和服务协调组织,把海洋预报服务推进到一个崭新的阶段。在上述十多个国家中,以美国、苏联和日本的预报实力为最强,它们在海洋环境预报方面居于世界领先地位。

美国的海洋环境预报服务系统是军民相结合的体制,而且军口拥有更先进的技术装备和为数更多的海洋资料。海洋预报服务工作主要由商务部国家海洋大气局(NOAA)和美国海军海洋局(NOO)所属舰队数值海洋中心(FNOC)共同承担。美国政府部门的天气和海洋预报服务系统实行三级建制,即国家中心、州级预报台和地方服务台,并统归国家天气局领导。国家中心是居于业务指导地位的全国性业务机构。国家气象中心依靠先进的通讯设施、大量的气象和海洋信息、巨型电子计算机,担负着几乎全部天气和海洋分析,预报产品的制作任务,然后通过高速通讯线路把这些产品传送到各专业服务机构和气象台,从而使这些单位从繁重的资料收集、填图、分析等重复劳动中解脱出来,以便集中力量做好预报服务工作。美国海军海洋局所属舰队数值海洋中心等单位承担海洋调查、监测、通讯、资料收集、处理和预报工作,与民口相比,在这些方面更具有优势力量,它掌握了全球各大洋和主要海区的各种海洋资料,尤其是表层以下的深层温、盐、流和底质资料。海军数值海洋中心位于芒特雷,拥有庞大的历史海洋资料和实时资料的数据库(包括大量卫星资料),采用大型电子计算机(7000万次/秒以上),实施各大洋和主要海区的表层和次表层海洋要素预报,并负责向军内外有关单位传送海洋产品。海军东部海洋中心位于弗吉尼亚州的诺福克,主要负责大西洋及毗邻的北冰洋水域,重点是湾流区和纽芬兰水域。西部海洋中心,位于夏威夷的珍珠港,分管东太平洋。海军海洋指挥中心位于关岛,分管西太平洋。美国海洋环境预报服务主要是在民口和军口两大部门密切配合而又明确分工的情况下发展起来的。国家天气局下属中心和台站主要承担海洋气象(飓风、海雾、能见度和海上其它天气现象等)、潮汐、海浪、海面水温、风暴潮、海水涌升现象、海冰等预报业务;而海军各海洋中心则主要承担

海洋次表层和深层的温、盐、密、声、海洋锋面和涡旋、混合对流层深度,海浪谱和有效波高及表层流等分析、预报项目。美国海洋服务机构公开提供的海洋学产品共16种48项,兹列举如下:

1、海面水温分析和预报	23项
2、海水次表层温度分析	2项
3、海面水温及海冰分析	1项
4、海水主要深度层及表层水温分析	2项
5、主要深度层水温预报	1项
6、海洋锋面及涡旋分析	2项
7、海洋学分析	1项
8、混合对流层分析	1项
9、极地冰盖和冰山飘移	3项
10、五大湖河冰	1项
11、海浪谱预报	1项
12、海浪有效波高	6项
13、海浪及落潮流	1项
14、大洋表层流预报	1项
15、海平面预报	1项
16、湾流公报	1项

另外,美国还有若干私人公司承担船舶最佳航线、海洋油气勘探开发作业及海洋工程方面的服务工作。

苏联的海洋环境预报工作主要由苏联水文气象和自然环境管理委员会所属研究所及各地区性管理局承担。其中,苏联莫斯科水文气象中心承担世界大洋和南极海域的各种海洋预报,另外也兼作黑海和亚速海的海洋预报。主要预报项目有:大风、能见度、海浪、海冰、表面及深层水温、跃层、盐度、密度、风暴潮、非周期性海流等。南、北极研究所主要负责北极诸海的海洋预报,重点放在北极诸海的冰海航行保证方面。苏联国立海洋研究所列宁格勒分所承担波罗的海的部分海洋预报工作,其中对列宁格勒风增水的研究和预报实践都比较成功。远东水文气象研究所提供北太平洋的海浪和表面水温的预报。水文气象与自然环境管理委员会的西北区域管理局主要负责波罗的海及芬兰湾的冰情分析;勘察加区域管理局主要负责白令海及鄂霍次克海表面海温、海浪和冰情的分析、预报;而摩尔曼斯克区域管理局则对巴伦支海的海温、海浪和海冰的分析、预报承担责任。苏联渔业部的下属研究和管理机构也有相应的预报部门,为水产捕捞船队提供服务。苏联各有关部门日常公开提供的海洋水文分析和预报产品有5类20项:

1、海面水温分析及预报	10项
2、海面水温、海浪和冰情分析	1项
3、海面水温、底层水温和冰情分析	1项
4、海浪分析和预报	6项
5、海冰分析和预报	2项

此外,苏联水文气象中心和国立海洋研究所列宁格勒分所七十年代以来还开展了船舶最

佳航线服务工作。

日本的海洋预报服务工作由气象厅、水产厅和海上保安厅共同承担。气象厅海洋部设在东京。下属四个海洋台，分别位于函馆、神户、长崎和舞鹤。气象厅基于海洋浮标、调查船、商船、渔船、沿海台站和岛屿站以及气象卫星提供的海洋和气象观测数据，制作西北太平洋和日本近海的旬、月平均海面温度、次表层（100、200米层）温度及表面流分析。自1951年以来，每年3月和5月，气象厅发布当年夏季日本近海的表面温度长期预报和海况展望。气象厅还根据船舶观测资料和静止卫星“向日葵”号提供的红外图片，制作鄂霍次克海和日本近海的冰情分析图，并用气象无线电传真每周对外发布两次。气象厅还为航运发布警报及西北太平洋的海上天气情况，这些报告是利用各种通讯方式，如摩尔斯电码、气象无线传真、无线电广播和电视广播等发送的。他们将近海划分为12个海区，由每一海区的主要气象台为航运部门广播所负责海区的气象预报和警报。另外，根据协议，大约有70个渔业无线电台向指定海域内的渔船广播从最近的气象台得到的海洋气象预报。气象厅还制作西北太平洋及邻近边缘海的海况海浪分析和24小时预报图，这些图在选择船舶最佳航线提供了依据。此外，海上保安厅水路部每年还编制出版《潮汐表》，提供潮汐分析和预报结果。日本公开提供的海洋分析和预报产品共6类19项：

1、海面水温分析	9项
2、海面水温、次表层（100米和200米）水温及表层流的分析	2项
3、次表层（100米）水温分析	1项
4、表层流分析	1项
5、海浪分析和预报	2项
6、海冰分析和预报	4项

（未完待续）