

海洋水文物理模拟实验发展简况

吴永成

(中国科学院海洋研究所)

模拟实验是研究海洋水文物理现象的重要方法之一。从二十世纪开始以来,海洋水文物理学在理论研究和实际应用方面,都取得了前所未有的成就。在这个领域里,接二连三地发现了许多新现象和提出许多新理论,标志着人类认识海洋达到了新的高峰。在这些新成就取得过程中,模拟实验发挥了显著的作用。

在实验室内研究海洋水文物理现象是依据相似理论,把海洋水文物理现象再现于模拟设备中,通过对模型中现象重复的观察,并与实际海洋现象进行比较,从而可以找出相对应的海洋现象发生发展规律。目前,在海洋水文物理现象的模拟实验中,应用的模型有两种:一是物理模型,另一是数值模型。其中物理模型又可分为流体模型和电模型。

利用模型实验来研究海洋水文物理现象大约始于本世纪二十年代。初始阶段仅有物理模型,在高速度、大容量的电子计算机广泛采用后,又发展出数值模型。截至目前为止,已经取得的海洋水文物理现象的模拟实验结果,大多数是在物理模型上完成的。不过,近年来由于一些数值实验结果已经能够起到物理模型的作用,同时把它与物理模型实验相比,具有改变初始条件和边界条件容易、不受比尺影响、实验周期较短等优点,所以一些海洋水文学问题已经开始广泛应用数值模型了。但是,数值模型实验受建立方程组和输入计算机的数据限制较大,通常给不出物理模型实验所提供的那样详细的细节资料。因此,对于较复杂的海洋水文物理现象的研究,往往是两种模型并用,互相取长补短,提高实验成果精度。

在海洋水文物理现象模拟实验的早期,较多的实验是研究港湾工程和造船工业提出的波

浪问题。当时所用的实验水槽系矩形,于槽的一端装有波浪发生器。限于波浪发生器只能产生规则波,所以研究工作局限在波浪的基本性质方面,如:波浪在传播过程中的衰减、在浅水区的变形、近岸浪的反射和破碎等。到六十年代初,程序控制不规则波浪发生器制造出来了,由于该设备的程序控制讯号是依据某种天然海浪谱设计的,故受该讯号控制的波浪发生器便产生所希望的某种不规则波浪。从大量的实验结果来看,应用这种设备进行实验更符合天然真实情况,实验结果精度也有很大提高。

1938年,荷兰 Delft 水工研究所首先建成风浪实验水槽,开始风浪实验研究,不过当时的研究局限于海洋工程问题。关于风浪特性的系统研究是在1945年以后才逐渐开展起来的,许多国家为了开展这方面研究建成不同形状的风浪水槽。从外形上分共有三种:一是矩形。多数风浪水槽是这种形状。它的特点是可以用来进行风浪一般特性研究,也可以从事水工结构物的断面试验。缺点是风区长度有限,吹起的波高较小。二是圆环形。只有苏联乌克兰科学院海洋水文物理所的风浪水槽是这种形状。由于这种水槽是一环形,故风区没有起点和终点之分,可以视成风区无限长。缺点是不能进行海洋工程项目实验。三是矩形和椭圆形相结合形。日本学者吸收了矩形和圆环形两种水槽的优点设计的。此种水槽利用椭圆形水槽加长风区,吹起大浪,然后借助导板导入矩形水槽中,供进行工程项目等实验。各国学者在风浪的模型实验中,对风浪的生成、发展、消衰机制和风浪对海洋水工结构物的作用力等许多课题进行了研究,并取得了不少有价值的成果。

从二十年代起,一些国家还先后开展了近

岸区域的风增水模拟实验研究。如英国开展了泰晤士河湾风暴增水及削减措施的研究；苏联应用芬兰湾模型研究了列宁格勒水灾成因等。1976年起，美国学者开始研究切萨比克湾的风暴潮特性，企图通过实验找出工程防护措施。

法国从事潮汐现象模型实验最早。五十年代他们在固定的英吉利海峡流体模型上研究了潮波的传播特性，同时他们还利用旋转模型研究了地转偏转力，即柯氏力对潮波传播的影响。近年来，美国和加拿大分别应用旧金山湾和三角洲的固定流体模型和诺森柏兰湾的固定流体模型开展了潮位变化和潮汐传播等问题的研究。从六十年代后期开始，法、荷、美、西德等国还先后开始用数学模型研究大洋潮汐特性、潮汐河口盐水楔异重流的扩散等问题。在应用数值模型实验中，把潮流按二维计算，流速值取垂直线上的平均值。关于考虑流速垂直分布不均匀性的三维计算方法，尚处在研究中。

关于大洋环流的模拟实验，也开始较早。半个世纪前，Krümmel就应用固定流体模型研究过由于信风横向不均匀性引起的赤道逆流问题。日本学者在研究日本的太平洋沿岸洋流的模型实验中，发现了黑潮和亲潮的一些特性。到五十年代，美国学者Vou Arx应用旋转模型模拟出大洋环流涡动的某些特性。以后，Stommel等人在旋转模型上进行环流实验，又证实了大洋环流西部增强的理论。由于大洋环流的范围大，水又深，固定模型实验只能给出初步近似值，为了使实验更接近实际，必须使用考虑到柯氏力的旋转模型。但应指出，由于必须严格保证旋转模型的垂直性和消除震动等性能，这给旋转台的制造带来巨大困难，所以有人采用在固定模型上加若干个旋转小柱体，借此给水体一个旋转力来模拟柯氏力的作用。采用这种方法取消了旋转模型对实验比尺的限制，是其非常可取的优点。

近年来，海洋的污染问题日趋引起人们的重视。针对不同的海洋污染问题，各国相继开展了核试验后放射性污染物质的扩散和工业废水排入海洋后扩散和传播等问题的实验研究。

日本港湾技术研究所最近进行的东京湾潮流引起的物质扩散的流体模型实验就是这方面的较大实验之一。北欧国家近年开展了波罗的海的物理化学场的模型实验也是属于这方面的研究。

此外近十几年来，各国在内波、津浪、海冰、河口和港湾泥沙运动的实验研究方面，也做了大量工作。其中加拿大海洋研究所和苏联南北极研究所利用冷却水池，开展了北冰洋冰山形态学和冰山形成过程的模拟研究是很有意义的工作。

再有一些国家根据深潜的需要，近年来建造专供模拟深海环境的专门设备，从事深海中各种问题的研究。美国海军于1973年建成的设备可以模拟的海洋深度达到686米。

五十年代以后，在海洋水文物理模拟实验研究中，采用最新的自动控制技术大量地更新旧设备和修建新设备，同时对实验的测量系统也进行改造，引进大量新技术，如电子学的、电学的、光学的和电子光学的测量系统。如果说在此以前的测量是满足于了解现象的平均值（平均流速，平均水位，平均波高和平均周期等）的话，那么到五十年代以后，随着研究的深入，向测量系统提出的要求是，必须记录出现象变化的瞬时值，其中包括脉动流速、涡旋的瞬时变化情况、液体质点运动的轨迹形式等。目前在模拟实验中采用比较多的先进仪器有：激光-多普勒流速仪、超声波流速仪、高速电影摄影机、全息照象机等。这些新测量系统具有没有惯性或惯性很小、自振频率高、测量方便准确，有的还可以远距离测量等优点。在模型实验中，大量采用新的测量仪器完全可以测量出一些现象的微小变化，从而使研究海洋水文物理现象的内结构比以前更有可能而且方便了。

模拟实验在海洋水文物理学研究中的重要性，日益被人们所重视，特别是模拟实验可以在模型上复演古代地质的不同年代，以及予演人们设想的未来出现的海洋现象，这使研究领域更加扩大。我们相信模拟实验在今后的海洋水文物理学研究中，将会发挥更大的作用。