

美国河口研究近期进展

恽 才 兴

(华东师范大学河口海岸研究所)

河口对人类活动有着重要的影响,世界上三分之二左右的大城市集中分布在河口及近地区。美国有三分之一的人口与河口紧密相连。随着沿海地区港口、城市、工农业的发展和人们对海岸资源需求量的增加,河口研究涉及的范围和内容也愈来愈广泛深入。为了进一步有计划地开发我国沿海资源和促进国际间河口研究的学术交流,近年来,我曾先后参加美国第六、七届国际河口研究会议并进行为期一个半月的海岸考察,现就访问考察所得对美国河口研究的近期进展作简要评述。

一、研究概况

除五大湖地区外,美国共有 297 个河口地区。在以往综合调查研究、开发利用和治理的基础上,由联邦政府和各州政府主持,开展对各类河口的生物、物理特性,资源利用状况,存在问题及潜在能力,管理研究重点,以及用户需求等方面进行战略性的评价,并对特殊河口中的特殊问题加以侧重研究。如美国西海岸有 37 个河口,其中以旧金山湾、哥伦比亚河口及西雅图的普吉特海峡(Puget Sound)研究最为详细。研究表明,普吉特海峡属典型的都市河口,工业化、大城市及港口建设已使河口环境受到严重污染,水体及沉积物中的有毒物质促使水生生物发生异常。东海岸的纽约湾也有类似情况。因此河口研究把环境污染及其对水生生物的影响列为重点。哥伦比亚河口长约 48 km, 12 m 深水航道可直达波特兰市,围绕港口和航道建设,重点研究河口泥沙运动、盐水入侵、疏浚后引起生态环境变化等课题。墨西哥湾沿岸有 46 个河口,其中密西西比三角洲的发育对海湾中部沿岸资源及环境有深远影响。过去侧重研究密西西比三角洲沉积过程、密西西比河口整治及综合利用等,1962 年密西西比河下游分洪工程建成以来,占入海总流量 30% 的阿却法拉耶河口迅速形成了新三角洲,这种被称作“现代海岸地质中的非常事件”,除直接干扰密西西比三角洲的正常发育过程外,还对邻近海岸沼泽的演化及生物化学过程发生剧烈的影响。因此,密西西比河口研究的重点转入对阿却法拉耶河口新三角洲发育及其对邻近海域影响的研究。大西洋沿岸 98 个河口,切萨皮克湾和特拉华湾规模最大,河口环流及盐淡水混合对污染物的排放输移、生态系统和生物资源的变化关系极为密切,因此,多年来许多海洋动力学家对上述两个河口的物理过程研究得比较详细。阿拉斯加共有 116 个河口,由于石油资源及水产资源开发的需要,调查研究也已全面展开。

美国的河口研究,若从密西西比河口开始治理算起已有 108 年历史,1947 年大西洋河口研究学会成立以来,一些大西洋地区的河口学家开始注意河口资料 and 信息的搜集工

作。1971 年至今,全美河口研究联合会每两年举行一次国际性学术讨论会,着重探讨河口研究中的最新成果和发展趋向。在 1700 多个会员中,他们分别来自高等院校、专业研究机构和工程部门,如美国陆军工程师团(U.S. Army Corps of Engineers)的科学家们重点介绍海岸防护、港口航道建设及河口整治等工程问题;美国海军科学院(U. S. Naval Academy)侧重总结深水军港建设中的经验;美国国家海洋大气局(NOAA)六十年代末侧重河口污染研究,近年来转向河口及近岸地区的风情和水文要素预报;一些专业研究所和大学中的研究机构围绕河口各种过程及生态系统进行研究。在这些会员中,河口动力学家及河口生物学家居多,他们正围绕河口地区的资源和环境在探讨各种新课题。

二、研究深度

美国河口研究已进入有计划的管理阶段,为了揭示河口体系中的内在规律,科学家们正通过大量的调查研究,提高对河口特性的认识。

1. 对河口(Estuary)含义的理解逐步深化

美国早期把河口简单地理解为受潮汐影响的下游河段。1963 年,美国著名河口物理学家普里查德(D. W. Pritchard)和卡梅伦(Cameron)把河口概念定义为受淡水显著稀释的半封闭海域,使研究对象扩展至一切形式的海湾、海峡、潮汐通道、峡湾和泻湖。就研究重点而言,最初放在河海相互作用和盐淡水混合等动力的机理上,近几年则进一步研究河口的各种过程及其相互关系,分析河口生态系统和环境变化,这在历届河口会议的主题上也有所反映^[1],如 1973 年第二届会议的主题是“河口研究近期进展”,1975、1977、1979、1981 年会议的主题分别为“河口过程”、“河口相互作用”、“河口的前景”及“各类河口比较”等,1983 年第七届会议的主题是把河口作为一个“滤波器”来考虑,重点分析各种过程相互作用下的产物。1985 年第八届会议将把“河口的变异性”列为主题。从上述这些会议的主题中充分说明了河口是一个极其复杂的体系。

2. 侧重低频长周期和大尺度环流的观测研究

大量观测资料表明,河口及近岸浅水地区,除潮汐涨落及盐淡水混合形成的短周期局部环流外,由于河流入海径流的变化,底部摩擦和气象因素的影响,常常出现低频长周期和大尺度的环流。环流的周期一般在 10 天以上,环流的流速值最大可达 0.75 m/s,尺度范围可以占据整个河口。如通过对切萨皮克湾 13 个测站连续 20—38 天的观测资料分析,发现河口与大陆架水体交换频繁,湾内存在气压影响产生的余流,并揭示了盐淡水混合机理。为此,美国国家海洋局于 1981 年 8 月至 1983 年 12 月在切萨皮克湾内布设测站进行长达 2.5 年的环流测量,并建立了风和余流的相关关系。纽约附近的长岛海峡,通过 4 个测站 23 天的连续观测,发现风和气压可以引起河口水面发生强迫振动或自由振动,从而改变了河口流速场。西雅图附近发现风暴引起的增水进入峡湾。加拿大圣劳伦斯河口于 1979 年经过 10 个站同步连续 4 个月的测量,揭示了河口存在横向流及沿岸流,其涡动周期为 80 天,涡动直径达 45 km。这些河口物理现象在短时间的观测资料中是难以发现的,但它却包含着河口输移过程的实质,对它开展深入研究,不仅可以提高潮流预报的精度,为近海石油资源、渔业资源的开发、航运和环境管理提供信息,而且可以揭示河口地

质过程、化学过程和生物过程的内在机理。

3. 发展河口沉积动力学

河口水体中往往含有大量悬浮物质,除泥沙外,还有不少有机体、营养物和污染物质。这些物质的输移、扩散沉降和再悬浮的特性,涉及港口航道的淤积,污染物的排放与管理,以及水生生物的食物供应状况。近年来美国对细颗粒泥沙运动的研究,除侧重分析河口最大浑浊带及浮泥形成的机理外,在微观方面,用现场摄影和扫描电镜相结合的方法观察絮状集合体的絮凝沉降过程,从而发现细颗粒泥沙沉降受水温、含盐度、含沙量、水流紊动、泥沙成分五个因素影响,并研究暴雨后河口浑浊射流的流速及床沙再悬浮的底流速。在应用研究方面,开展浅水地区沉积动力学的研究,如通过风暴沉积层分析泥沙的再悬浮和再沉积问题;观测水生植物消浪和拦截泥沙的效应;对砂质岸滩开始用颗粒形状三角图判别石英沙的移动方向。在淤泥质河口,细颗粒泥沙运动有明显的分层趋向,如垂向断面上常呈现浑水-泥浆-浮泥-固结淤泥等不连续面,因此可以利用高分辨率的回声测深仪判断可靠的航行水深,并根据泥沙的水力学性质选用合适的疏浚方法^[2]。

4. 注意灾变事件及人类活动对河口的影响

自然界的作用和人类对河口的开发利用是改变河口的两大因素。如1972年6月21日—30日历时十天的热带风暴所携带进入切萨皮克湾的泥沙量相当于以前25年的总和;南卡罗来纳哥伦比亚附近自30年代修筑一系列堤坝和水利工程后,由于注入库珀河的水量和沙量骤增,致使口门查尔斯顿港每年疏浚维护费用增加近20倍;南佛罗里达州沿海于1960—1971年间开挖了一条296 km长的运河,盐沼淡化及疏浚泥土堆放使幼鱼等浮游动物栖息环境受到改变;加利福尼亚海岸湿地因受洪水影响而使大叶藻及无脊椎动物大批死亡。上述一些实例可以证明人类活动在改变自然过程中蕴藏着巨大的潜力,而自然界的灾变事件,如飓风、洪水、干旱等对河口环境的改变也有深远的影响。

5. 开展环境预报及生态系统的研究

由于美国河口地区开发利用程度较高,为了保护自然资源和生态平衡,不少科学家对环境研究极为重视。如赫德森-拉里坦河口是美国开发较早地区,水体污染比较严重。有人预测几百年以后,纽约湾及其邻近海域的水产资源不仅将丧失殆尽,而且水体将变得污浊不堪。为此,有关部门已组织力量开展环境预报研究,并通过污染扩散模型研究及发展海洋生态系统应用测量,来获取定量数据,以供决策部门及早采取措施控制污染物的排放;密歇湖西北部的绿湾受福克斯河下游造纸厂等的污水排放,通过溶解物质及微粒物质扩散输移模拟,已分析出该地区水体营养成分的破坏程度;哥伦比亚河口、密西西比河口、切萨皮克湾及纽约湾等为进一步发展深水港,对于疏浚泥土的处理及抛放地点极为慎重,这涉及到底部有毒物质或某些重金属元素对水生生物的危害,严重的可导致食物网的破坏。为了保持食物链的相互协调,许多河口都设有动植物保护区。美国沿海近一亿亩沼泽地之所以列为保护重点,其目的在于为各种水生生物和野生动物提供良好的滋育繁殖场所和栖息地。在第六、七届河口研究会议上,不少科学家发表了有关盐沼动植物区系生态比较,动植物之间的相互作用,海岸湿地营养盐的评定及元素迁移,浮游动植物及底栖生物的生活习性等专题论述^[3]。

三、新技术的应用

随着电子技术和计算机技术的飞速发展,美国在河口研究中所使用的现场观测仪器和实验分析手段也越来越先进,其中有关测量计算河口物理过程和地质过程的新技术有下列三个方面:

1. 遥感与遥测技术相结合

在河口海岸调查研究中有关卫星遥感技术及其应用已报道很多。已见成效的有:海岸植被及其生物群落制图、监测海岸带人为或自然的变化、追踪悬浮物质及污染物质的输移和扩散、海岸地貌制图、侦察海岸淡水泉、叶绿素及营养富集的上升流等。至于河口定量研究,则大多数采用遥感与遥测相结合的方法。所用的遥测系统为定点锚系流速仪,配以 CDT(一种可以同时测量水温、含盐度和水深的仪器)及恩特拉(Aanderaa)气象站。该设备每 10 分钟同步记录一次,观测延续时间可长达数个月和数年,可以同时获得流速、流向、风速、风向、气压、气温、水温、水压、水的导电和时间 10 个要素的资料,为河口气象和潮流预报提供精确的数据。自 1983 年在纽约及哥伦比亚河口按装两个原型实时潮位遥测系统以来,已大大提高了疏浚效率。此外,在马萨诸塞州科德角利用遥感遥测联合观测的方法,确定沿岸底沙的输移量,效果很好。沙波的形态及移动速度由连续航空摄影判别,用浅层剖面仪测量沙波尺寸,流速仪及波浪仪测定沙波移动的底部剪切力,所得到的半经验-半理论公式可以推广至其他有潮河口和海岸地区应用。

2. 沉积物中同位素的测定

沉积物的同位素测定分放射性同位素及稳定同位素两种。前者侧重确定沉积物来源、沉积年代和输移方向,后者则用以识别海洋生态系统中有有机物质的循环,因此人们常常把沉积物中的同位素看作天然示踪剂。由于铅(Pb)和镉(Cd)等示踪金属元素在河流中绝大部分呈分子束状态,通过 Pb 和 Cd 百分含量的分析,不仅确定了密西西比河入海泥沙主要沉积在近岸 30 km 范围内,而且显示出近百年来河口污染物质增加。通过 Pb^{210} 放射性同位素测定,显示密西西比河口沉积速率每年在 3 cm 以上。又如切萨皮克湾示踪元素铁、铜、铅、锌的含量测定,揭示河口最大浑浊带的动力和沉积过程要胜于化学过程,盐淡水交汇将使颗粒较细的悬浮有机质和这些金属物质发生沉积。近年来,不少学者开始用稳定同位素 ^{13}C 和 ^{15}N 作为天然示踪物来确定食物网中碳和有机质的流动迁移过程,并通过建立海洋食物网营养结构模型,借以评定河口生态系统的平衡状况和推断河口沉积物的来源。

3. 发展数值模型

数值模型是河口物理过程研究的重要手段,其近期效用主要用以补充搜集环流资料,分析切变流、涡动及其他局部水流异常,为先期规划沿海航行及预测灾变事件可能造成的损失提供情报。长期目的在于提供近岸泥沙输移模式及分析组合波的影响。目前美国已建立的河口数值模型有:涉及墨西哥湾及大西洋沿岸的飓风及暴风浪数值预报模型,切萨皮克湾风情及波浪预报模型,赫德森河口潮位、潮流、盐度三维数值模型,河口及陆架地区环流模型,盐水入侵及盐淡水混合模型,暴雨后淡水径流下泄模型,油溢扩散模型,层流

边界层模型,大湖区生态系统数值模型,水质污染对生态系统影响特征数值模型等。此外还利用数值模型与现场综合测量相结合的方法搞清了浅水河口潮汐传播的机理。

四、经济效益和管理水平

由于美国的河口研究工作与生产实际问题紧密结合,因此不少研究成果已在国民经济建设中生效,主要表现有下列几方面:

1. 密西西比三角洲综合开发利用

密西西比三角洲经过一百多年的研究和治理,已发展成为美国中南部重要的综合经济区。三角洲的农业因地制宜,农、林、渔、牧全面发展。三角洲后缘高爽的丘陵台地以森林、牧场为主。河漫滩平原按地势高低分别种植棉花、甘蔗和水稻。滨海沼泽及泻湖发展水产养殖和野生动物资源。古河道及牛轭湖作为淡水养殖和旅游休养基地。密西西比河口水道口门及海湾用来建设港口、航道和开发石油。美国第二大港新奥尔良与第五大港巴吞鲁日之间的密西西比河两岸已形成 128.72 km 的石油化工走廊。为保障三角洲地区的工农业生产和自然资源,河流两岸的护岸工程及防洪控制工程已于六十年代完成,水体污染及城市地基沉降也得到了基本控制。

2. 沿海湿地林草丰茂,水产资源富集

美国重视河口生态系统和资源的保护,沿海 6474.80 万公顷的湿地是水生生物和野生动物繁殖索饵的良好场所,有些地区河口水面的经济价值高于同面积最好耕地的二倍。单就密西西比三角洲而言,滨海 20—25 km 范围内的 16187.20 公顷沼泽地为美国提供 20—40% 鱼虾、贝类等海产食品,纽约附近长岛大南湾泻湖养殖的蛤蜊,占美国市场供应量的 50%。通过食物链和盐沼营养盐循环研究,不少地区还利用大米草提供有机质在潮滩上发展牡蛎养殖。

3. 沿海水运业发达

通过对河口物理过程和地质过程的深入研究,在掌握河口水文泥沙运动和河床演变规律的基础上,许多河口及海湾已开发具有 12 m 以上的深水航道和大港,如美国第一大港位于赫德森河口,第二大港新奥尔良位于密西西比河口,巴尔的摩港位于切萨皮克湾,西海岸的西雅图、旧金山、帕特兰、圣地亚哥也都利用河口港湾建筑了深水港。为发展内河航运,在美国南部和东部沿海沼泽地开挖了一条墨西哥—美国—加拿大国际运河。

4. 污染物排放得到控制和合理处理

美国沿海工业化和城市化程度较高,环境污染是面临的重大课题。1969 年以来美国国家海洋大气局在美国内政部及联邦政府水污染管理部门指导下,开展河口污染的研究,目前已建立了海洋污染信息系统,并利用这些信息为污染物排放的控制和管理提供指导性意见。

合理的开发利用来自有计划的管理,这些管理包括观测资料和研究成果的系统积累、抛泥地选择和微处理机的应用等。如密西西比河口东侧开挖新的通海航道后,盐水入侵的预估就是根据庞恰特雷恩(Pontchartrain)湖多年来盐度变化观测资料推测的,在切萨皮克湾利用 11 年的溶解氧循环观测资料分析动植物群落、营养盐和水质的变化。为了防

止疏浚泥土污染物的扩散,除对抛泥地选择慎重研究外,还对疏浚脏物再悬浮和移动以及河口体系的吸收能力进行预报。为提高经济效益,美国已开始利用微处理机对河口海岸进行管理。

五、发 展 趋 势

近年来,随着河口研究的不断深入和沿海自然资源开发需求量的增加,一些新兴的边缘学科相继诞生。

1. 渔业海洋学

现代渔业海洋学的研究内容主要是力图阐明影响渔业生产的机理,如环境恶化对栖息地的影响,河口食物网的能源基础,水生生物资源数量和分布与环境之间的关系等。美国河口渔业研究的重点集中在阿拉斯加及东南部沼泽地带,阿拉斯加北岸近海陆架地区盛产王蟹及绿鳕。调查表明,陆架环流及河口入海流量的年际变化对生物幼体分布影响较大。东南部及墨西哥湾沿岸滨海沼泽是美国的商品鱼基地,河口养殖研究极为普遍,差不多每个河口研究机构都有自己的水产养殖实验室及实验场。

2. 生物地球化学

生物地球化学是河口沉积化学与河口生物化学的有机结合,属河口过程的微观研究范畴。研究的对象侧重于环境化学方面的生物调节,其调节作用通过元素循环来实现,如多环芳烃(碳氢化合物)的含量对海岸带生物资源及人类健康的影响,盐沼中氮和磷的循环与固定,氧化还原条件和 PH 值对水生生物营养吸收及生长发育的影响等,有关这方面的论述近年来已逐渐增多。

3. 河口生态系统管理学

鉴于人们对河口资源及生命物质的高度重视,一门综合性的河口环境科学-河口生态系统管理学已经诞生^[4],其研究内容包括河口物理过程、地质过程、化学过程、生物过程及人类活动之间的相互作用和影响、生物循环中的初级生产力、能量流及能量贮存、食物及食物链、生物群落的富集。继承和变异、生物网的自然平衡、环境保护和管理等。

自然界在不断变化发展,人类社会在与自然作斗争的过程中不断前进,在现代化技术武装的今天,预计河口研究的深度和广度在不远的将来将会有新的飞跃。

参 考 文 献

- [1] L. Harold Stevenson, August, 1981. A short history of the estuarine research federation, 9—12.
- [2] Victor S. Kennedy, 1982. Estuarine comparisons, 571—646.
- [3] L. Harold Stevenson, Sep. 1983, Abstracts to the seventh biennial conference, Estuaries, 6(3).
- [4] John R. Clark, 1977. Coastal ecosystem management, 5—49.