

# 三峡工程对长江口及邻近海域 生态与环境的影响\*

刘瑞玉 罗秉征

(中国科学院海洋研究所)

长江口是我国最大的河口,河口地区通江达海,工、农业和交通业发达,是我国经济的重要枢纽与中心;河口两侧是著名的舟山渔场和吕四渔场,在我国海洋渔业生产上占有重要地位。

随着长江三角洲地区的进一步开发与经济发展,人类的社会活动对河口的影响日益严重,河口生态环境问题愈来愈突出。可见,河口生态环境本身就是一个非常严峻而重要的课题。

为给三峡水利枢纽工程(简称三峡工程)的可行性论证提供依据,我们就三峡工程对河口及邻近海域生态环境的影响进行了初步研究。自 1985 年 8 月至 1986 年 10 月进行了周年多学科的综合调查,调查范围为东经  $121^{\circ}10'$ — $124^{\circ}00'$ , 北纬  $30^{\circ}20'$ — $32^{\circ}00'$  的河口区水域,调查区设 48 个环境因子调查站,30 个游泳生物调查站,如图 1 所示(各专题根据各自需要又增减一些调查站)。本文系根据本调查研究的结果所进行的综述,各专题研究详见本集各文。

## 一、长江口及邻近海域环境条件

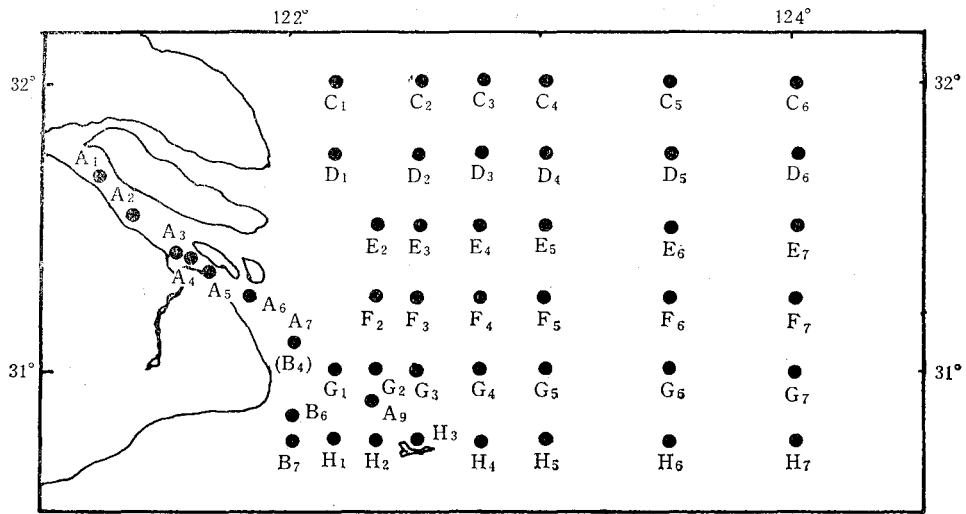
### (一) 水文、水化学和沉积环境

**1. 水文特征** 长江口是一个丰水、多沙、有规律分汉的三角洲河口,径流总量年平均为 9 240 亿立方米。入海径流有显著的季节变化,5 月至 10 月长江入海流量占全年的 71.7%;径流量年际变化也颇大。长江冲淡水与外海高盐水形成盐度锋面,其界面的分布大体与 30 等盐线一致。丰水期表层盐度锋变动范围很大,枯水期流量减少,长江冲淡水退缩到近岸。底层盐度锋位置比较稳定,全年变化不大。丰水期冲淡水舌主轴从河口伸向东南方向,而后约在东经  $122^{\circ}30'$  附近转向东北方向。调查表明,大通站流量小于  $24\ 000\text{m}^3/\text{s}$  时,冲淡水不出现转向现象。

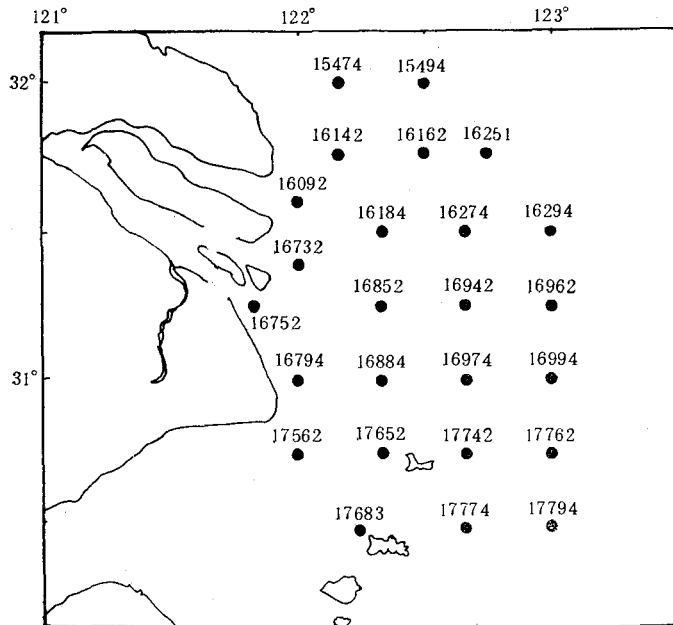
在调查海域东南部,台湾暖流高盐水终年沿海底深槽由东南向西北方向扩展,盐度在 33.5—34.0 之间。高盐水一般夏季最强,扩展范围最大;秋末冬初最弱。台湾暖流水在向北扩展过程中,其左前部与长江冲淡水相遇,在河口外与嵎山间形成了很强的沿岸盐度

\* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 2025 号。

收稿日期:1990 年 6 月 12 日。



a



b

图1 长江口及邻近海域环境与游泳生物调查站位图

a. 生物、水文和化学调查站位; b. 游泳生物试捕拖网站位

锋,并且在河口外海底深槽北侧和西侧形成虽较微弱但很明显的涌升现象。从春末到秋初,在河口自表层到底层都有高温水舌向外海扩展。秋末至翌年春初,径流水温明显低于近岸海水温度。河口低温水呈舌状指向东南方面。调查区西北部受黄海冷水的影响,水温较低;东南部受台湾暖流水影响,形成东南-西北向的高温水舌。在垂直方向,由于较强

的长江冲淡水大量流入以及海面增温的效应,海水温盐度呈层化状态。枯水期(4—6月)有跃层出现,冬季由于海面降温和蒸发的影响,垂直对流加强,温盐度一般呈垂直均匀状态。水文的变化给水化学、地质和生物等环境以及渔业资源及其分布特点以很大的影响。

据三峡工程设计方案,10月份增加蓄水,1—4月按发电要求调度增大放水,使长江入海径流的季节分配改变。按150m方案,10月份增加蓄水使长江下泄流量平均减少约 $2\,800\text{m}^3/\text{s}$ ,枯水年平均减少 $2\,770\text{m}^3/\text{s}$ ,丰水年平均减少 $3\,014\text{m}^3/\text{s}$ ;1—4月间下泄流量增加 $620\text{—}1\,260\text{m}^3/\text{s}$ ,平均约增加 $1\,000\text{m}^3/\text{s}$ 。假定宜昌以下其他来水等情况不变,那么10月三峡水库蓄水量在枯水、中水和丰水年将分别占大通流量的16.5%,6.7%和6.0%。按180m方案,10月三峡水库增加蓄水将使长江下泄流量减少 $7\,000\text{m}^3/\text{s}$ ,1—4月增大放水将使下泄流量增加 $2\,000\text{—}2\,500\text{m}^3/\text{s}$ ;10月减少流量在枯水、中水和丰水年将分别占大通流量的41.7%,17.9%和14.0%。

## 2. 水化学特征

(1) 营养盐含量和分布 强大的长江径流不断向河口及邻近海域输送营养盐类,成为有机生命生存和发展的物质基础。长江营养盐年入海量比我国其他河口显著地高,例如磷酸盐和总无机氮比黄河口高9—10倍。长江入海营养盐中硅酸盐含量最高,其次为硝酸盐和铵-氮。应当指出,近20多年来长江口无机氮的大量增加与人类的活动密切相关。

河口营养盐含量的分布与长江径流的消长有密切关系,营养盐分布的特点是从河口向海外递减。夏季高营养盐水舌从河口向东北方向延伸,与冲淡水分布趋势相似。冬季径流减少,冲淡水流向东南,高营养盐水舌也随之伸向东南,高浓度范围向河口方向退缩。春至秋季,营养盐垂直分布分层明显,近河口处营养盐表层浓度高于底层浓度;而相邻海域的浓度则底层高于表层,表明大量营养盐被浮游植物所利用。但营养盐从河口向近海转移过程中,其浓度也被海水所稀释,物理混合对营养盐的递减也起着重要的作用。

(2) 无机污染物的分布 大部分无机污染物在河口区的分布也是沿岸浓度高于外侧海域,反映了径流的影响。河水中大量悬浮物质(粘土矿物和有机物等)对痕量金属有较强的吸附能力,颗粒态物质浓度较高,入海后由于盐度、pH与水动力因素等作用而发生絮凝,部分金属离子随其沉降。一部分重金属污染物在河口通过悬浮体吸附而转移至海底,使海水得到自净。所有元素含量均未超出国家水质标准,仅铜接近污染程度。河口水域水质基本上未受到污染。

(3) 有机物的分布 总有机氮、有机碳、化学耗氧量和有机氯浓度的分布趋势也是河口高于其附近海域。有机物月平均入海量与长江月平均流量的变化一致。长江入海有机物以有机氮年入海量最高。有机氯在河口区含量较低,1986年8月测定有机氯和DDT最高含量分别为 $20.55\text{ng/L}$ 和 $2.63\text{ng/L}$ ,最低为 $2.53\text{ng/L}$ 和 $0.11\text{ng/L}$ 。

## 3. 沉积环境的基本特征

(1) 沉积特征 长江每年平均将4.7亿吨泥沙输入河口海域,形成了巨大的水下三角洲。河口水域悬浮体的浓度较高,季节变化显著,一般在 $10\text{—}50\text{mg/L}$ 之间。河口近海悬浮体含量小于 $10\text{mg/L}$ ,变化不大。与现代长江入海泥沙的沉积直接相关的浮泥,主

要分布在水深小于 25m 的海域,与海水悬浮体高浓度区的分布基本一致,并随季节和长江入海泥沙与径流的大小而变化。现代长江口外水下三角洲的前三角洲沉积物以细颗粒粘土质沉积物为主,直接由长江入海悬浮泥沙沉积而成。河口口门外为较细的粉砂质粘土,南北两侧为粘土质粉砂。根据沉积的分布和浮泥的变化,长江口和邻近海域可分为 4 个沉积区:高速沉积区,沉积速率 2—5.4cm/a,直接受长江入海径流和泥沙量变化的影响;低速沉积区,是入海泥沙扩散沉积的地区,沉积速率为 0.37—0.43cm/a;暂时沉积区和稳定或冲刷区,基本没有沉积或处于冲刷状态。

(2) 沉积重金属和洗涤剂 沉积物中重金属及洗涤剂(LAS)的含量分布与细粒沉积物分布密切相关,其沉积和富集除受盐度变化的一定影响外,还受水动力条件的影响。根据暂定污染评价标准衡量,有些测站已经超标。

## (二) 饵料生物数量分布特征

### 1. 初级生产力和浮游植物

(1) 初级生产力 日初级生产力季节变化明显。1985 年 8 月,日初级生产量最高[平均为 3 670.2mgC/(m<sup>2</sup>·d)],1 月最低[平均为 24.7mgC/(m<sup>2</sup>·d)];1986 年峰值出现在 6 月底[为 2 728.8mgC/(m<sup>2</sup>·d)],10 月后逐渐下降,调查区全年平均日初级生产量为 1 062mgC/m<sup>2</sup>。高值区主要分布在调查区中部和南部,6 月在南部小洋山和嵎泗一带初级生产量高达 18 105.3mgC/(m<sup>2</sup>·d),远高于我国其他海域。河口口门外高速沉积区因透明度低影响光合作用,故初级生产量相应较低。海、淡水交汇的锋区初级生产力显著增高。

(2) 浮游植物 浮游植物现存量(叶绿素 a 含量)以 8 月为最高(平均为 8.7mg/m<sup>3</sup>),6 月次之,11 月至翌年 4 月均较低(仅为 1—2mg/m<sup>3</sup>)。浮游植物高现存量一般分布在表层水盐度值为 10—25 的区域,分布范围与长江冲淡水基本一致。现存量的高低还与径流量的大小密切相关(现存量 = 0.015 × 径流量 - 0.942)。夏季前后(6—9 月)浮游植物的个体数也最多(平均为 2 × 10<sup>8</sup> 个/m<sup>3</sup>)。冬春季数量骤减。浮游植物个体数量的变化,基本上取决于广温低盐性的骨条藻(*Skeletonema costatum*)的生长情况。盐度值在 14—20 范围内,骨条藻的个体数约占总量的 95% 以上。丰水期在河口口门出现许多淡水种,如盘星藻(*Pediastrum* spp.)和栅藻(*Scenedesmus* spp.)等;随外海高盐水扩大常出现高温高盐种,如距端根管藻(*Rhizosolenia calcaravis*)和低温高盐种,如笔尖形根管藻(*Rh. styliformis*)等。这些不同生态性质的浮游植物的分布,清楚地表明了河口海域不同水系对浮游植物分布的影响。枯水期浮游植物密集区由河口向外海递减,数量分布趋于均匀,以暖温性和广布种为主,骨条藻数量大减。

2. 浮游动物 浮游动物生物量以夏、秋季丰水期最高,冬、春季枯水期较低。夏季广温低盐近岸种,如真刺唇角水蚤(*Labidocera euchaeta*)和暖水广布种,如中型莹虾(*Lucifer intermedius*)等大量出现,生物量骤增,7 月达到全年最高峰(平均为 720mg/m<sup>3</sup>)。秋季水温降低,上述类型种类的数量减少,生物量降低(平均为 457—560mg/m<sup>3</sup>)。冬、春季为全年最低的时期(平均不到 70mg/m<sup>3</sup>)。可见,浮游动物生物量的变化有明显的

季节性,其生物量的高低与长江径流量的大小密切相关。

浮游动物的生态类型有:淡水种,如中华华哲水蚤(*Sinocalanus sinensis*)等,主要分布于盐度在6以下的河口水域;半咸水种有火腿许水蚤(*Schmackeria poplesia*)等,一般分布在盐度为6—20的水域;此外还有低盐近岸种,如真刺唇角水蚤,和一些外海种。

**3. 鱼卵和仔鱼** 调查表明,长江口海域除1—2月份外均有浮性鱼卵和仔稚鱼出现,以5—8月数量最多。依其生态和分布特点有:淡水种,如麦穗鱼、银鲢鱼等,其仔鱼夏季出现在下游河道中;半咸水种,如凤鲚、鲻、梭鱼和银鱼等,分布在低盐水域;沿岸种,如鲢和石首鱼类等,主要分布在东经 $122^{\circ}30'$ 以西混浊水域;近海种,如鳀、鲐、带鱼等,主要分布在长江冲淡水与外海水的交汇区。

上述4种生态类型鱼卵和仔鱼的分布,除与各自的生态特性有关外,很大程度上与不同季节各水团的形成、消长、变化有着直接的联系。因而长江口海域具有复杂的生态结构和适合多种鱼类进行生殖和育幼的突出特点。

**4. 底栖生物** 河口及邻近海域底栖动物以沉积食性者为主,其分布格局与沉积物类型密切相关。数量较大的有软体动物的江户明樱蛤(*Moerella jedoensis*),多毛类的不倒翁虫(*Sternaspis scutata*),甲壳类的豆形短眼蟹(*Xenophthalmus pinnotheroides*)和棘皮动物的滩栖阳遂足(*Amphiura vadicola*)等。这些动物的分布通常局限于细颗粒沉积区内。

河口底栖动物的数量分布与沉积物组成和沉积速率有较大的关系,低生物量区分布于河口口门外的泥沙主要堆积区,沉积速率较高,多数底栖动物难以适应这种环境,因此,种类组成简单,生物量很低。水下三角洲外侧(东经 $122^{\circ}30'$ 以东)出现高生物量区,群落组成趋于复杂。

## 二、长江口及邻近海域渔业资源

### (一) 主要种群的生态特点

河口水域系淡水与海水交汇混合的地带,环境条件复杂多变,整个生命过程都能适应此种环境的种群较少,除典型的半咸水种外,多为季节性出现的临时栖息者,多在河口水域产卵、育幼和索饵。从种的生态特点来看,主要有4个类型。一是栖息在河口内的淡水种,如鲤科鱼类、长吻鮠、日本沼虾和秀丽白虾等。二是半咸水种,栖息在河口低盐水域内,这一水域受沿岸水的影响;其分布范围可随径流量的大小和冲淡水的范围而变,洄游移动范围不大;如凤鲚、前颌间银鱼、鲻、梭鱼、鲈、东方鲀属鱼种,安氏白虾和脊尾白虾等,为典型的河口种类。第三类型为过河口种类,它们能适应两种不同的生态环境,其中有溯河性鱼类,如刀鲚、鲥鱼和中华鲟等;降海性种类有鳊、松江鲈和中华绒螯蟹等。第四类型是栖息于沿岸水与外海水交汇的混合水域,在其锋区往往形成良好的渔场;其中主要经济种类是河口近海数量最大的渔捞对象,如带鱼、大黄鱼、小黄鱼、银鲳、海鳗、鳓、蓝圆鲹、葛氏长臂虾、周氏新对虾和三疣梭子蟹等。上述4个不同生态类型,既有相对独立的生活

区域,又是相互联系的统一体。

## (二) 渔场条件和主要渔业资源状况

鱼类及一些经济无脊椎动物的分布、洄游和集群与环境条件有着密切的关系。不同水团的消长和相互作用,是影响和制约种群行为的重要环境因素。长江口及附近海域主要有沿岸低盐水和台湾暖流水两种性质不同的水团。沿岸低盐水以长江冲淡水为主,盐度终年在 30 以下,它的消长受长江径流强弱的制约;夏半年各月经流势力递增,沿岸水范围扩大;冬半年径流势力逐月递减,冲淡水范围缩小。台湾暖流水具高盐高温特征。高盐的台湾暖流水与低盐长江冲淡水在河口附近海域交汇混合,形成一个大梯度的高、低盐水混合区,表、底层水的盐度值有相当大的差异。这一水域饵料生物和渔业资源丰富,是我国近海著名的渔场。

东海北部带鱼群系一般于 5 月洄游至长江口附近海域生殖,以海礁为主要产卵场。生殖盛期为 5—7 月,渔场水温 17—20℃,盐度为 33.5 左右。产卵后鱼群分散在河口至大沙渔场一带索饵。11—12 月大量鱼群在花鸟、嵎山海域集群,形成著名的带鱼冬汛渔场,是群众渔业捕捞带鱼的最大渔汛,总渔获量一般高达 30 万吨左右,居我国海洋渔业的首位。

长江口附近海域是大黄鱼主要分布区(包括产卵场、索饵场和越冬场)。大黄鱼属地方性种群,终生移动范围不大。产卵期在春(5—6 月)、秋(9—10 月)两季,产卵适温范围为 15—22℃,最适盐度为 17—28。喜在潮流急、水色混浊、盐度低而水平梯度大的水域产卵。舟山和吕四渔场历史年产量 10 万多吨,近年资源遭受严重破坏,年产量不足万吨。

长江口及吕四洋是小黄鱼主要产卵场之一,其生殖期在 3—4 月,适温范围为 11—14℃,盐度为 29—32.5。汛期的迟早与沿岸冲淡水的大小有关。历史产量很高,仅吕四渔场最高年产量达 7 万多吨,70 年代资源破坏,年产量降至 2 000 多吨,80 年代不足千吨。

分布在河口近海的其他经济鱼类如银鲳、鳓、海鳗、其他石首鱼和鲈、鲻类等,各种产量一般在 2—3 万吨左右。

河口渔业相对较小,主要捕捞对象有凤鲚,适低盐,生殖期主要在春季,5—7 月为其捕捞旺汛。刀鲚于春季向河口集群溯江产卵,孵化后的幼鱼返回河口附近水域育肥生长。银鱼在 3 月广布于河口南北支水域,水温在 9—13℃ 时形成旺汛。经济无脊椎动物主要有中华绒螯蟹及其幼体(俗称蟹苗),河口口门引水船附近为其主要产卵场,盐度范围为 1.8—17。在河口内是重要的蟹苗场和鳗苗场。此外,安氏白虾、脊尾白虾和秀丽白虾也有一定的产量。河口渔业年平均产量为 4 000 吨左右。

绝大多数海洋性生物种群与河口的环境条件有密切关系。河口对渔业资源的再生作用,远远超出了河口水域本身捕捞量的价值。另外,一些珍稀动物如中华鲟、白鲟的幼鱼也在河口觅食;河口又是过河口性种类洄游的道路。因此,研究河口环境条件的效应,对河口及邻近海域资源的保护、开发和利用有重要意义。

### (三) 游泳生物(包括游泳性底栖虾蟹类)数量的季节变化

调查区游泳生物数量以秋季最高,生物量为  $2\,256.5\text{kg}/\text{km}^2$ , 占全年生物量的 50%, 其中鱼类为 39%, 小黄鱼和银鲳居优势,其次为刀鲚、凤鲚;无脊椎动物为 11%, 三疣梭子蟹和枪乌贼占优势,其次为哈氏仿对虾、刀额仿对虾等虾类。夏季游泳生物数量居全年的第二位,生物量为  $1\,356.3\text{kg}/\text{km}^2$ , 占全年的 30%, 鱼类为 23%, 银鲳居首位,其次为带鱼和小黄鱼等;无脊椎动物为 7%, 仍以三疣梭子蟹为主。冬季生物量最低,为  $306.0\text{kg}/\text{km}^2$ , 占全年的 7%, 其中鱼类为 5%, 主要有长吻鮠、棘头梅童鱼和刀鲚、凤鲚等;无脊椎动物占 2%。主要有细点圆趾蟹、三疣梭子蟹和葛氏长臂虾等。春季水温回升,越冬个体陆续向河口水域洄游,分布密度和生物量复又升高,生物量为  $560.7\text{kg}/\text{km}^2$ , 占全年的 13%, 鱼类和无脊椎动物分别占 6% 和 7%, 主要种类变化不大。

鱼类生物量的高峰出现在 8 月和 11 月,这两个月绝大多数经济鱼类种群中幼鱼占有相当大的比例;冬季 2 月,银鲳和鳊的幼鱼比例也相当高,银鲳几乎全部为幼鱼。这说明大多数经济鱼类的幼鱼均在河口水域育幼和生长甚至越冬。

## 三、三峡工程对河口及邻近海域环境条件的影响

### (一) 对水文、水化学和沉积环境的影响

#### 1. 对水文的影响

(1) 长江冲淡水的变化 为定量说明长江冲淡水范围的变化,以 30 等盐线作为冲淡水的边界。从各月表层冲淡水的范围可看出,5—9 月丰水期,表层冲淡水势力强大,其面积占调查区总面积的 80% 以上,4 月和 10 月冲淡水面积平均约占 50%, 11 月约占 1/3, 12—3 月枯水期只占 1/4,其范围退缩到东经  $123^\circ$  以西。这充分说明长江径流量季节变化与冲淡水面积的密切关系。

表层冲淡水的面积与长江入海流量间大致呈直线相关 ( $A = 0.65Q - 0.15$ ), 计算结果表明, 10 月份水库蓄水将引起长江冲淡水面积的缩小,按 150m 方案计算将缩小  $1\,820\text{km}^2$ , 按 180m 方案计算缩小  $4\,550\text{km}^2$ 。

(2) 长江口温、盐度值的变化 根据资料统计,长江口引水船水文站的月平均盐度 ( $S_1$ ) 和嵎山附近水域月平均盐度 ( $S_2$ ) 与大通站月平均流量 ( $Q$ ) 呈负指数相关:

$$S_1 = 29.0\exp(-0.27667Q)$$

$$S_2 = 34.0\exp(-0.038421Q)$$

据上式计算表明, 10 月份三峡水库蓄水对河口水域的盐度值将产生不同程度的影响,丰水年影响较小,枯水年影响较大。如以枯水年(以 1959 年为例) 10 月按 150m 方案蓄水计算,引水船处月平均盐度将升高约 1, 嵎山水域月平均盐度将增高约 0.4; 按 180m 方案蓄水,引水船处月平均盐度升高 4, 嵎山水域月平均盐度升高约 1。冬季三峡水库增加放水量,长江入海流量增大,长江口的盐度会有所降低。

4—8月长江口近岸水温一般比远岸稍高,10—2月近岸水温比远岸稍低。10月份水库蓄水使长江下泄量减少,将使近岸海域水温有所升高;冬季下泄量增加,将使近岸水温有所降低。但由于长江口海区温度水平梯度小,三峡工程对长江口近海水温所产生的影响不会很大。

(3) 长江口近海盐度锋的变化 台湾暖流水与长江冲淡水相遇,在长江口和嵎山之间形成强度很大的沿岸盐度锋。为定量估算长江流量变化对此沿岸盐度锋的影响,分析了长江口引水船处与嵎山间的盐度差同大通站流量的关系,其盐度差可表征两地间的平均盐度梯度。

计算结果表明,嵎山与引水船处的盐度差随大通站流量的增减而增减。如在枯水年(1959年)10月份蓄水,按150m方案计算,将引起嵎山和引水船间的盐度差减小约1,按180m方案将减小约3。表明长江冲淡水舌南侧近岸的沿岸盐度锋的强度随长江入海流量的增大而加强,又随长江入海流量的减小而减弱。

(4) 长江口余流的变化 影响长江口盐度扩散的因子主要是长江径流、潮流和海流。风通过海流对盐度扩散产生影响。对长江口海区在上述因子影响下的盐度扩散的计算结果表明,低盐水舌夏季向东北方向伸展,盐舌伸展方向和余流方向一致;冬季低盐水舌指向南和东南,也同冬季余流方向一致,范围较夏季大为缩小。

计算结果还表明,在夏季长江入海流量减少1/5(相当于180m方案减少的流量)而其他条件不变的情况下,长江口内的余流减小6cm/s,河口外近岸海区余流减小3cm/s,东经122°10'以东海域的余流变化不大,但盐度有所升高,30等盐线西移约5.5km。

影响长江口近岸水域水文环境改变的主要因素是长江径流量的大小,但台湾暖流势力的强弱在一定程度上影响到河口水域的盐度场和锋面位置,其作用也不容忽视。

## 2. 对水化学的影响

(1) 营养盐的变化 根据营养盐入海流量与长江入海流量的相关关系估算,三峡工程两个蓄水方案对营养盐入海量有不同程度的影响。按150m方案,磷酸盐和硝酸盐将分别减少12%和34%,总无机氮和活性铁将分别减少4%和15%。180m方案对营养盐入海量的影响要比150m方案大。营养盐入海量的减少将使河口水域营养盐浓度降低;营养盐高浓度区随长江冲淡水面积的减少也相应向河口退缩。由于河口水域无机氮近20年有较大的升高,估计三峡工程引起的河口营养盐的变化,对浮游植物的繁衍不致产生很大影响。

(2) 无机污染物的变化 无机污染物( $Zn^{2+}$ ,  $Cu^{2+}$ ,  $Pb^{2+}$ ,  $Cd^{2+}$ ,  $Cr^{6+}$ 和溶解态As)入海流量与长江入海流量为正相关,表明各种溶解态污染物入海量受长江流量的控制。水库蓄水,无机污染物入海量将有所减少,但由于等盐线向河口靠近,各种污染物主要转移位置也将向河口移动。

水库建成后,下泄泥沙量将减少60—70%,细颗粒泥沙和胶体悬浮物也减少,影响重金属的吸附转移和凝絮沉降,从而降低海水的自净能力。据粗略估计,离子态Zn、Pb和Cd的最大转移量将分别下降到3%、5%和7%(1985年11月资料)。颗粒态重金属转移沉降也将减少,Hg转移量下降到25.7%, $Cr^{6+}$ 和颗粒态Cr分别下降到18%和29%(据1985年8月资料)。海水中重金属含量将增加,其中颗粒态重金属比例减少,溶解态

增加,但估计,除铜外,其他元素都不会因此而超标。

(3) 有机物入海量的变化 根据总有机氮(TON)、化学耗氧量(COD)、溶解有机碳(DOC)、颗粒有机碳(POC)入海流量与长江流量的相关分析,按两个方案对河口有机物入海量进行估算的结果表明,150m 方案,10 月份各有机物含量将有不同程度的减少,分别减少 12%(TON), 24%(COD), 10%(DOC) 和 12%(POC); 180m 方案将分别减少 27%, 31%, 25% 和 25%。TON 高浓度区也将随长江冲淡水范围的缩小而向河口靠近。

### 3. 对沉积环境的影响

(1) 入海泥沙量的变化 大通站年平均输沙量为 4.7 亿吨, 据长江流域规划办公室资料,三峡大坝建成后将有 67% 的泥沙沉积于库内,下泄水中悬浮体含量,特别是较粗的颗粒,大量减少,明显使下泄水体挟沙不足。据 1960—1974 年宜昌—汉口—大通站之间年输沙量的相关分析估算,宜昌沙量减少 67% 时,大通沙量约为 3 亿吨左右,减少了 1.7 亿吨,但据上海水利局估测可减少 0.63 亿吨,据此估算,建坝后大通站沙量可能在 3—4 亿吨之间变化,即为现在输沙量的 64—87%。

(2) 沉积环境的变化 悬沙量减少、粒径变粗将导致沉积环境的变化,首先表现在主要沉积区浮泥的沉积厚度将减薄,粒度变粗,范围缩小。经估算其厚度约减少 1—5cm,分布范围约缩小 5—15% 左右。

大通站 11—5 月输沙量仅占全年的 22%, 建坝后沙量将进一步减少,而 1—4 月水量有所增加,这将加重对口门附近的冲刷作用,使前三三角洲地区的冲刷范围及沉积物的粗化范围向外扩大。

建坝后丰水期的沉积量减少,冬季冲刷量增加,最终将出现高速沉积区范围缩小,铜沙浅滩以北低速沉积区的冲刷和粗化范围将扩大。

入海细粒悬浮泥沙减少将使河口近海水域自净能力降低。结合到颗粒上的有机物及污染物密度的增高,沉积物中某些营养成分含量将普遍提高。现处于南槽口外的有机质、重金属、铁、钛等元素和污染物的高含量区将向南和西南方向迁移。

## (二) 水环境和沉积环境的变化对生物群落及生产力的影响

1. 初级生产力和浮游植物的变化 根据调查资料估计,丰水期(5—10 月)初级生产量约占全年总生产量的 97%。10 月份入海的流量减少,冲淡水面积将缩小,盐度有所升高,适宜骨条藻繁殖(盐度低于 22)的水域面积也相应减小。据统计,丰水年(1980 年)10 月,盐度低于 22 的范围到东经  $122^{\circ}30'$ , 而枯水年(1978 年)10 月盐度低于 22 的水域到东经  $122^{\circ}15'$  以西,其范围较丰水年大约缩小  $800\text{km}^2$ , 这将对浮游植物总量和初级生产力带来不利影响。三峡水库如在枯水年再减少径流量,浮游植物的繁殖、生长及初级生产力将受到较大影响,生产量将显著降低。

2. 浮游动物数量分布的变化 浮游动物的数量和分布与长江冲淡水的消长密切相关,特别是淡水种和半咸水河口种的分布明显受盐度制约,其分布范围有一定局限性。低盐近岸种的分布范围虽稍大,但大于  $50\text{个}/\text{m}^3$  的密集区一般出现在盐度为 6—20 的河口

半咸水域。建坝后, 150m 方案, 河口口门处附近盐度升高 1, 对嵊山水域影响不大, 估计对半咸水浮游动物分布的影响也不会太大。但 180m 方案, 河口口门附近盐度将升高 4, 嵊山水域增高 1, 半咸水浮游动物的分布范围可能向河口退缩, 食植性浮游动物的繁殖和发展将受影响。

调查表明, 浮性鱼卵和仔鱼的分布与浮游动物相似, 也受长江冲淡水消长的影响。调查还表明鱼卵和仔鱼遍布整个调查区, 说明大多数鱼类在河口及其附近海域产卵育幼。河口附近海域全年都有进行生殖的鱼类, 生殖期因种类不同而有所差异, 但大多数在春、夏季, 一些种类在秋季, 有的种在春、秋两季, 也有的种从春季一直延续到秋季。三峡水库对径流的调节, 对早春和秋季生殖的鱼类的产卵场条件将有一定影响, 仔、稚鱼的分布动态将随冲淡水的大小而有一定变化。10 月份径流减少有可能削弱幼体的饵料基础, 从而影响资源的补充。

**3. 底栖动物的变化** 沉积环境的变化将引起底栖动物分布格局的变化。沉积速率降低和高速沉积区范围缩小, 一些不能适应原来高沉积速率环境的底栖动物将进入该水域定居。原高速沉积区的底栖动物群落多样性将显著提高, 河口水域低生物量区范围将缩小, 高生物量等值线分布区将向海岸方向扩展。低速沉积区的外缘受到冲刷后, 沉积物颗粒将变粗, 这对沉积食性的底栖动物十分不利, 它们可能被滤食性种所取代, 使底栖动物的组成简单化, 生物量可能有所减低。生物群落分布的原有格局将发生变化。

## 四、三峡工程对河口及邻近海域渔业资源的影响

### (一) 对河口渔业可能产生的影响

**1. 种群栖息范围的变化** 三峡水库 10 月份蓄水正是中华绒螯蟹亲体降海洄游期, 翌年 5 月, 亲蟹到达河口横沙、九段沙一带水域进行交配产卵(引水船水文站附近), 此时正是水库增加下泄量时期。根据对蟹苗数量与径流量的相关分析, 10—3 月为正相关。10 月份蓄水, 径流量减少, 不利于蟹的繁殖; 1—3 月放水, 径流量增加, 有利于其发育。5—6 月, 中华绒螯蟹幼体分布区主要在  $122^{\circ}30'$ — $123^{\circ}30'$  左右, 而不在  $122^{\circ}30'$  以西水域, 此时径流量的大小仅与早期幼体与河口的距离有关, 影响到它们返回河口的难易程度和数量多少; 6 月经流量大则增加其返回河口的困难。

10 月份流量减少, 冲淡水范围缩小, 河口半咸水种, 如凤鲚、刀鲚、前颌间银鱼、脊尾白虾、安氏白虾和狭额绒螯蟹等的主要分布范围可能向河口方向移动。

**2. 对河口渔业资源的可能影响** 根据长江口主要渔获量资料与环境因子(月平均流量、降水量和季度温度距平等)参数, 采用逐步多元回归, 初步分析了渔获量与上述环境因子的关系。中华绒螯蟹 5—6 月发育成蟹苗并形成生产蟹苗的汛期。从近年蟹苗数量有较大的波动来看, 三峡建坝对蟹苗数量的影响不会超过建坝前自然波动的幅度。前颌间银鱼每年 2 月中旬自海入江进行生殖洄游, 主要产卵场在江苏沙洲一带, 繁殖期主要为 3—4 月。凤鲚于 3—4 月向河口游集, 5—7 月为生殖盛期, 产卵场在河口内水域。上述两种经济鱼类渔获量与枯水期径流的大小有不同程度的相关。刀鲚早春开始溯河进行生

殖洄游,于春、夏产卵,产卵场在长江中,下游的通江湖泊和支流。刀鲚渔获量与各环境因子有较显著的相关 ( $r = 0.98$ ), 与 5 月径流正相关程度较大。

从多元分析的结果很难看出渔获量与各环境因子间规律性的联系, 这方面尚待进一步研究。前述一些种类的生殖习性一般都是在春季或早春溯江生殖, 而且与枯水期径流多具有较为密切的正相关, 依此推测, 1—4 月三峡水库增加下泄量, 将有利于主要种群的繁衍和资源的补充。

## (二) 对长江口近海渔场的影响

**1. 长江冲淡水对渔轮底拖网夏季渔场的影响** 渔轮底拖网作业主要捕捞近底层各种鱼类和无脊椎动物。鱼群较为密集的区域均出现于台湾暖流水和长江冲淡水与黄海水的交汇混合区, 中心渔场一般位于台湾暖流前锋附近。中心渔场除受台湾暖流的影响外, 也受长江冲淡水强弱的制约。径流强的年份中心渔场位置一般偏向东南; 径流弱的年份一般偏向西北。

**2. 长江冲淡水对嵎山冬汛带鱼渔场的影响** 位于长江口东南侧的嵎山冬汛带鱼渔场, 是我国群众渔业捕捞带鱼规模最大的渔场, 面积约 4 000 平方海里。嵎山冬汛带鱼渔场中心位置与夏汛一样, 一般在台湾暖流水的前锋附近。渔场的变动与台湾暖流水和长江冲淡水的强弱有密切关系。1975 年 11 月长江径流(流量为  $30\,400\text{m}^3/\text{s}$ ) 明显大于 1974 年 11 月(流量为  $19\,600\text{m}^3/\text{s}$ ), 结果 1975 年嵎山渔场明显偏外。

## (三) 对长江口近海渔业资源的影响

### 1. 长江径流量与单位努力量渔获量的相关分析

(1) 与渔轮拖网的单位努力量渔获量的关系 当年秋季长江口近海拖网的渔业资源指数(即单位努力量渔获量)的高低与长江 10 月份流量的大小有一定显著水平的正相关。总资源指数与流量的相关式为:

$$I_a = (0.00085Q + 57.212)\exp(-0.027t)$$

式中,  $I_a$  为总资源指数,  $Q$  为流量,  $t$  为时间(年) = 1, ..., 12。

带鱼资源指数与流量的相关式为:

$$I_b = (0.00115Q + 27.884)\exp(-0.039t)$$

式中,  $I_b$  为带鱼资源指数,  $Q$  与  $t$  同上式。

(2) 与冬汛带鱼的单位努力量渔获量的关系 当年嵎山冬汛带鱼单位努力量渔获量与 10 月份的流量呈负相关, 相关式为:

$$I_c = (70.898 - 0.0008Q)\exp(-0.016t)$$

$I_c$  为冬汛带鱼资源指数,  $Q$  为流量,  $t = 1, 2, \dots, 30$  年。

**2. 三峡工程对长江口近海渔业资源可能产生的影响** 前述 10 月份径流变化与当年秋季渔业资源指数的相关分析表明, 10 月份流量减少, 底拖网的总资源指数和带鱼资源指数将下降。根据三峡水库 150m 蓄水方案估算, 总资源指数与带鱼资源指数多年平均

约减少 5—8%；按 180m 方案估算，这两项资源指数多年平均约减少 9—15%。

对冬汛带鱼的捕捞来说，水库 10 月份蓄水将产生有利的影响，渔获量将有所提高。根据 150m 方案估算，冬汛带鱼渔获量可提高 4% 左右；按 180m 方案估算，其渔获量可提高 12% 左右。上述关于三峡水库于 10 月份蓄水后对近海渔业资源影响的分析，只是就当年而言，实际上只是对当年捕捞效果的影响。关于对渔业资源再生能力的影响尚待进一步研究。

## 五、结 语

长江口是一个相对独立的生态系统，长江径流是影响该系统的重要因子。它的改变可以引起河口及邻近海域环境条件的一系列变化，生物的繁殖、发育、生长以及种群的数量和分布等均会受到影响，从而可能导致河口生态系统结构与功能的改变。其演变将是潜在的和缓慢的，它是朝有利抑或有害方向发展和演变，短期内难以预测。

本课题阐明了长江流量与河口及邻近海域水文、水化学、沉积地质之间和它们与各生物群落数量之间的相互关系。但统计学上的相关并不一定反映生态系统中各成员与环境变量间相互作用的因果关系。只有对生物种群的动态及其数量变动的原因了解得十分清楚时，探讨生物与环境之间的相互关系才更有意义，对其因果关系的认识才更加确切。因此，查明这些过程和关系需要长期的资料积累和研究。

对长江口的生态环境问题，不能仅就三峡工程而论事，因为影响河口生态环境的因子甚多，诸如捕捞过度、交通运输、工农业发展、港口建设、水电工程和污水废物排放等等。因此，必须从总体出发，综合研究，制定出合理开发、利用的优化策略，并加以实施，才能保持河口水域生态系统的良性循环。

## 参 考 文 献

- 刘瑞玉等,1987,三峡工程对河口生物及渔业资源的影响,长江三峡工程对生态与环境影响及其对策研究论文集,科学出版社,403—446。
- 刘瑞玉、罗秉征,1988,三峡工程对河口及邻近海域生态与环境的影响,长江三峡工程对生态与环境的影响及对策研究,科学出版社,116—140。
- 张法高、杨光复、沈志良,1987,三峡工程对长江口水文、水化学和沉积环境的影响,长江三峡工程对生态与环境影响及其对策研究论文集,科学出版社,369—402。

## IMPACTS OF THE THREE GORGES PROJECT ON THE ECOLOGY AND ENVIRONMENT OF THE CHANGJIANG RIVER ESTUARY AND ADJACENT WATERS\*

Liu Ruiyu(J. Y. Liu) and Luo Bingzheng

(*Institute of Oceanology, Academia Sinica*)

### ABSTRACT

The Three Gorges Dam now under planning will drastically change the seasonal distribution pattern of the runoff (it will increase from January through April, and decrease in October). A multidisciplinary investigation has been conducted on the impact of its change on estuarine environment and distribution pattern of marine fishes and invertebrates. The relationship between the Changjiang (Yangtze) River runoff and the hydrographic, hydrochemical and sedimentary environments, the primary productivity, the species composition and abundance of phyto-and zoo-plankton, benthos and nekton in the Changjiang River Estuary and adjacent waters has been analysed. The influence of environmental factors including the Changjiang runoff on the biological community and stock size of economic species has also been discussed.

Results of monthly survey and data analysis showed that after completion, the Three Gorges Reservoir will store water in the rainy season to the levels of 150—180 meters and the distributional range of the brackish water in the Changjiang River Estuary will be changed from the original 4,550km<sup>2</sup> to 1,800km<sup>2</sup>, and the estuarine salinity will rise by 1—4. The 30 isohaline will shrink back to the mouth. The mean salinity gradient will rise simultaneously, the contents of nutrient salts and organic compounds in the water will decrease accordingly, and the high concentration area will also shrink back towards the estuary.

The change of oceanographic environment will change the species composition, the distribution pattern and abundance of living organisms; the biological productivity will also decrease.

Results of the analysis of fish and invertebrate samples and oceanographic data showed that the change of water level of the Three Gorges Reservoir will affect the stock of important fishes and invertebrates to various extents. Calculation showed that the stock index of marine fish will be reduced by about 5% to 15%. The location of the center of fishing grounds will also be changed somewhat. In the period from January to April, increasing runoff will benefit the reproduction and recruitment of fish population.

\* Contribution No. 2025 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.