

# 21 世纪初长江入海流量变化及其对长江口水质、生态环境的影响 \*

## CHANGE OF RIVER DISCHARGE INTO SEA EARLY IN 21TH CENTURY AND ITS EFFECTS ON WATER QUALITY AND ECOSYSTEM IN THE CHANGJIANG RIVER ESTUARY

茅志昌

(河口海岸国家重点实验室,华东师范大学河口海岸研究所 上海 200062)

长江年平均入海水量近  $10 \times 10^{11} \text{ m}^3$ , 占全国水资源的 35 %<sup>[1]</sup>。长江口为中等强度的潮汐河口, 进潮量枯季小潮为  $13 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 洪季大潮达  $53 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。长江入海流量的丰枯及其变化过程除了受其流域的大气环流、地质、植被等自然因素制约外, 同时还受到人

类改造自然活动的影响, 下世纪初主要有三峡水利枢纽工程、南水北调和沿江引水等。

---

\* 国家自然科学基金重点资助项目 49736220 号。

收稿日期: 2000-09-26; 修回日期: 2000-11-06

1 人类活动对入海流量的影响

1.1 三峡工程

三峡水库位于长江干流上、中游的交界处,坝址在宜昌上游 40 km 处的三斗坪,距河口约 1 800 km,属峡谷河道型水库,总库容  $393 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,调节库容  $16.5 \times 10^8 \text{ m}^3$ ,系一季调节水库。水库坝址处控制流域

面积  $10 \times 10^5 \text{ km}^2$ ,多年平均流量  $14\,300 \text{ m}^3/\text{s}$ ,多年平均径流量  $453 \times 10^9 \text{ m}^3$ ,水库正常蓄水位 175 m。每年 5 月末至 6 月初,水库水位降至防洪限制水位 145 m,6~9 月水库在此低水位运行,10 月水库开始蓄水,水位逐渐上升至 175 m,枯水年份蓄水延续到 11 月(见图)。1~5 月水库增加下泄流量约  $1\,000 \sim 2\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ (表 1)。

表 1 三峡水库 175 m 方案入、出库流量增减值 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

| 典型水文年              | 月 份  |         |         |    |         |         |         |         |
|--------------------|------|---------|---------|----|---------|---------|---------|---------|
|                    | 6~9  | 10      | 11      | 12 | 1       | 2       | 3       | 4       |
| 枯水年<br>(1959~1960) | 入、出库 | - 5 415 | - 2 968 | 0  | + 1 535 | + 1 980 | + 1 751 | + 1 000 |
| 平水年<br>(1950~1951) | 流量   | - 8 417 | 0       | 0  | + 1 271 | + 1 788 | + 1 821 | - 197   |
| 丰水年<br>(1949~1950) | 相等   | - 8 417 | 0       | 0  | + 443   | + 1 000 | + 843   | - 128   |

注:“+、-”号分别表示增加、减少值。

本文讨论三峡水库调节流量后对河口径流量影响时,是以三峡工程设计中采用的枯、平、丰水典型年

作为依据,并以大通流量作为基准来衡量(表 2)。

表 2 典型水文年大通站月平均流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

| 典型水文年             | 月 份    |        |        |        |        |        |        |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                   | 10     | 11     | 12     | 1      | 2      | 3      | 4      |
| 枯水<br>(1959~1960) | 16 800 | 16 300 | 11 800 | 9 200  | 8 090  | 14 300 | 20 700 |
| 平水<br>(1950~1951) | 41 500 | 29 600 | 13 600 | 9 430  | 9 000  | 13 300 | 27 500 |
| 丰水<br>(1949~1950) | 49 900 | 39 900 | 24 400 | 17 400 | 19 400 | 14 400 | 24 800 |

按 175 m 方案作为枯水代表年的 1959~1960 年,大通小于  $18\,000 \text{ m}^3/\text{s}$  的流量在 9 月下旬开始,10 月大通减少  $5\,400 \text{ m}^3/\text{s}$  后,提前出现小于  $18\,000 \text{ m}^3/\text{s}$  的天数为 27 d;作为平水年份的

1950~1951 年,1950 年 10 月月平均流量为  $41\,500 \text{ m}^3/\text{s}$ ,减少  $8\,417 \text{ m}^3/\text{s}$  后,尚有  $29\,000 \text{ m}^3/\text{s}$  以上的流量;丰水年的 1949 年 10 月平均流量近  $50\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ ,减少  $8\,417 \text{ m}^3/\text{s}$  后,尚有  $37\,000 \text{ m}^3/\text{s}$  以上的流量。根据茅志昌等 1987 年的研究成果,当大通流量在  $30\,000 \text{ m}^3/\text{s}$  以上时,外海咸水对吴淞站盐度值无甚影响。大通流量偏丰,进入北支的淡水量相应增加,遏制了北支盐水进入南支。所以,枯水年 10~11 月水库蓄水后对入海流量的减少非常明显,平、丰水年 10 月蓄水后尚有  $29\,000 \text{ m}^3/\text{s}$  以上的流量,对吴淞口以上的南支河段水质基本上无影响。

1.2 南水北调

南水北调是一项跨流域的大规模调水工程,是

根据我国水土资源分布不均衡的特点,优化水资源配置,适应生产力布局的战略性基础设施。调水方案分为东线、中线和西线。

东线方案引江地点在江苏江都,工程分二期,一期引水为  $600 \text{ m}^3/\text{s}$ ,二期达到  $1\,000 \text{ m}^3/\text{s}$ 。引水路径基本沿京杭大运河逐级提水北送,向华北平原东部供水,涉及苏、皖、鲁、冀、津 5 省市,终点天津。近几年,华北尤其是天津市用水频频告急,中央有关部门决定,加快东线调水工程的实施。

中线工程先以汉江丹江口水库引水,必要时再从长江干流三峡水库区或坝下引水。从丹江口水库引水约  $100 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{a}$ ,供水范围主要是华北平原的西、中部,涉及京、津、冀、豫、鄂 5 省市。

西线方案取水点在三峡坝址上游,把长江水引入黄河,供水范围初定为青海、甘肃、宁夏、陕西、内蒙古和山西 6 省区。

此次初步确定的“南水北调”东、中、西 3 条线路,形成与长江、黄河、淮河、海河相互联接的“四横三纵”总体格局。东、中、西 3 条线规划年调水量  $380 \sim 480 \times 10^8 \text{ m}^3$ , 接近在黄淮海平原和西北地区增加一条黄河的水量。

### 1.3 沿江引水

除上述工程对河口入海径流产生影响外,大通以下沿江引水工程对入海径流的影响也非常明显。沿江引水包括城市供水及支流引水,因为沿江城市的废水也是直排长江,引、排水量相消。

大通以下沿江支流引水量,安徽省合计为  $310 \text{ m}^3/\text{s}$ ,江苏省约  $790 \text{ m}^3/\text{s}$ 。特别在枯水年份,沿江引水量相当可观。1978 年长江流域枯水,太湖流域大旱,1979 年又遇春旱,大通实测最低流量为  $4620 \text{ m}^3/\text{s}$ ,太湖及支流水位低于长江水位。据不完全统计,1978 年江苏平均引水近  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ ,1979 年春,大通以下平均引水接近  $600 \text{ m}^3/\text{s}$ 。

由此可知,21 世纪初叶长江水量将有较大的人为改变,这种改变必将对河口水域的咸潮入侵强度、渔业产量、土壤盐渍化等产生明显影响,应引起有关部门的重视,加强研究,寻找对策,防患于未然。

## 2 咸潮入侵强度增加

如前所述,大通以下东线调水  $1000 \text{ m}^3/\text{s}$ ,沿江引水  $1200 \text{ m}^3/\text{s}$ ,共计  $2200 \text{ m}^3/\text{s}$ ,同时三峡水库在 1~4 月增加下泄流量  $1000 \text{ m}^3/\text{s} \sim 2000 \text{ m}^3/\text{s}$ 。这两者的综合效应如何处理,本文遵循两个原则,第一,以大通流量作为基准来衡量,即水库增减的下泄量也就是大通站增减的下泄量;第二,根据大量资料分析,长江口盐度上升超过某一指标值对应的大通站前 4 d 流量,与盐度下降至同一指标值所对应的大通站前 4 d 流量并不等量。若将前者称为“升盐流量”,后者称为“降盐流量”,则降盐流量约为升盐流量的 1 倍,这表明了在流量下降过程中减少某一流量,与流量在上升过程中增加同一流量,对该河段盐度值升降的影响是不等效的<sup>[2]</sup>。这一现象的发现,对于较为客观地估计三峡水库在枯季增加下泄量对降盐所起的作用有重要指导意义。下面的计算结果,作者考虑了这一不等效因素。

### 2.1 调水后吴淞站可能出现的最大氯度增加率

大通站月平均流量 ( $\bar{Q}$ ) 与吴淞站同月最大氯度值 ( $\sigma_{\max}$ ) 呈指数型关系:

$$\sigma_{\max} = 789 \text{EXP}(12.319/\bar{Q}) \quad (1)$$

(1) 式运用的范围是大通流量在  $7000 \sim 16000 \text{ m}^3/\text{s}$ 。计算结果如表 3 所示。

表 3 调水后吴淞站最大氯度增加率 (%)

| 典型水文年 | 月 份 |    |    |    |    |    |
|-------|-----|----|----|----|----|----|
|       | 10  | 11 | 12 | 1  | 2  | 3  |
| 枯水年   | 42  | 19 | 0  | 37 | 32 | 12 |
| 平水年   | 0   | 0  | 0  | 38 | 34 | 7  |
| 丰水年   | 0   | 0  | 0  | 11 | 7  | 16 |

显然,枯水年影响最为显著;平水年 1~3 月与枯水年接近,这是因为三峡工程设计中采用的典型年份,1~3 月的流量与枯水年相近的缘故,实际情况未必都如此;丰水年增加率虽然在  $7\% \sim 16\%$ ,但由于比值的分母很小,实际影响甚微。

### 2.2 盐水入侵距离上移

长江口盐水入侵长度与大通站流量和中浚站潮差关系密切。用两组无量纲  $L_i/\bar{L}_0 - \frac{\bar{H}}{\bar{H}_i} \frac{\bar{Q}}{\bar{Q}_i}$  表示。

$\bar{L}_0, L_i$ ——分别为徐六泾及盐水入侵上界至南槽 4 号灯浮的距离 (km)

$\bar{H}, H$ ——分别为中浚站的多年平均潮差和观测期间的潮差 (m)

$\bar{Q}, \bar{Q}_i$ ——分别为大通站的多年平均流量和观测前 4 d 的流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ )

经计算,1959~1960 枯水年流量改变后,大汛期,10 月等盐线 0.5、5.0 分别增加上溯距离 12.7 km;11 月分别增加 8.6 km;12 和 3 月分别增加上移距离 9.4;11.6 和 6.3 km。

### 2.3 加剧北支盐水倒灌

北支盐水倒灌南支主要发生在流量较小的枯水期的大潮汛。据近几年的观测资料分析,大通月均流量在  $16000 \text{ m}^3/\text{s}$  以下,北支高盐水倒灌南支明显,当大通流量连续低于  $10000 \text{ m}^3/\text{s}$  时,北支高盐水大量进入南支,对南支和南北港的水质变咸产生极为明显的影响。

1987 年 2 月 16~17 日,大通流量只有  $7300 \text{ m}^3/\text{s}$  左右,两潮净进入南支盐量为  $1.48 \times 10^8 \text{ t}$ <sup>①</sup>。1999 年 3 月中旬,大通流量在  $10000 \text{ m}^3/\text{s}$  以下,北支上口盐度在 24.07~26.45 之间,接近长江口门处的含盐度。

北支盐水大量倒灌南支,宝钢水库和陈行水库首当其害,直接影响到宝钢集团公司工业用水和上海部分城区的居民用水水质。大通流量与北支盐水倒灌量之间的定量关系尚需研究,但若在枯水年的枯季减少

① 黄觉新等,1988,长江口南支(徐六泾-宝钢水库)水域盐水入侵规律研究。

1 000 ~ 2 000 m<sup>3</sup>/s 流量,将加剧北支盐水倒灌南支却是不争的事实。

## 2.4 增加连续取不到合格水的天数。

经大量实测资料分析,长江口吴淞测站最长连续取不到合格水的天数<sup>②</sup>

(D)与大通枯季(11月至翌年4月)平均流量(Q<sub>1</sub>)、年最小日均流量(Q<sub>2</sub>)相关:

$$D = 0.338 \text{EXP}(A/Q_2) \quad A = 3.57 \times 10^{-8} \quad (2)$$

根据表2典型水文年的月均流量,计算结果列于表4。

表4 大通站流量改变前后最长连续取不到合格水的天数

| 典型水文年 | 流量改变前 | 流量改变后 |
|-------|-------|-------|
| 枯水年   | 16    | 82    |
| 平水年   | 5     | 12    |
| 丰水年   | 1     | 2     |

枯水年份,虽然考虑到三峡水库增加下泄流量的效应,但吴淞口最长连续取不到合格水的天数仍为调水前的5倍之多,这是因为流量与盐度两者关系呈指数型,当大通流量在14 000 m<sup>3</sup>/s以下时,若再减少流量,盐度将急剧上升。

## 3 对河口渔场生态环境的影响

长江河口20×10<sup>8</sup> m<sup>2</sup>具有丰富的水产资源,其中刀鱼、烤子鱼、安氏白虾、中华绒螯蟹产量较高。刀鱼、烤子鱼等鱼类在每年3月从近海迴游到河口咸淡水

混合区交配繁殖,中华绒螯蟹对其繁殖场的盐度变化非常敏感。长江河口盐度的变化制约着鱼类的迴游路径和生长繁殖。长江入海流量的减少,导致盐水上溯,盐度增加,改变了原先的生态环境,对渔业水产资源、产量的影响需进一步研究。

## 4 对长江口土壤盐渍化的影响。

长江三角洲的盐渍土主要分布在河口沿江和沿海地段。由于受咸潮渗漏补给作用,河口区地下水矿化度较高,导致土壤盐渍化程度也较高。经研究,大通站流量改变1 000 m<sup>3</sup>/s,水位将变化20 cm左右,而大通站水位每变化1.0 m,长江口的三条港、堡镇、高桥的水位相应变化幅度为0.074 m。枯季入海流量减少,咸潮入侵强度必然增强,这对沿江地区地下水的淡化和土壤脱盐带来不利影响。据估计,其影响范围可达2 000 km<sup>2</sup>[3]。

## 参考文献

- 黎安田主编.长江流域的水与可持续发展.北京:中国水利水电出版社,1999.37~38
- 罗秉征,沈焕庭著.三峡工程与河口生态环境.北京:科学出版社,1994.39~58
- 中国科学院三峡工程生态与环境科研项目领导小组编.长江三峡工程对生态与环境影响及其对策研究论文集.北京:科学出版社,1997.454~463

(本文编辑:李本川)

② 若1 d 24 h内有20 h以上的氯度大于250 mg/L,则这一天作为取不到合格水天数统计。