

长江三峡工程对长江口外流场的影响*

乐肯堂

(中国科学院海洋研究所)

长江三峡枢纽工程是综合开发利用长江水利资源的一项举世瞩目的大工程,建成后将对我国社会主义建设带来巨大的经济效益。但是,也必须考虑到它对长江下游流域以至河口及其邻近海域的生态环境带来的影响。因此,必须在工程建设之前进行深入研究。

根据“三峡工程对长江河口区生态与环境的影响和对策”这一课题的要求,本文就三峡工程对长江口区流场的影响作一初步分析。

一、三峡工程对大通站流量变化的影响

为了考察三峡工程对大通站月平均径流量变化的影响,我们对宜昌站和大通站 1935—1985 年的月平均流量资料进行回归分析,并以此为基础对大通站流量的变化,用两种不同的方法进行估算并讨论。

1. 根据线性回归方程进行估算 我们得线性回归方程如下:

$$Q_{\text{大通}} = 11684.4 + 1.2267Q_{\text{宜昌}} \quad (1)$$

其中 $Q_{\text{大通}}$ 和 $Q_{\text{宜昌}}$ 分别表示大通站和宜昌站的月平均径流量 (m^3/s)。对应于方程(1)的有关统计量为相关系数 $R = 0.840256$, 回归平方和 $U = 6.5957 \times 10^{10}$, 剩余平方和 $q = 2.74625 \times 10^{10}$, 剩余标准离差 $S = 8194.32$, 以及 $F = 982.3$ 。根据回归分析理论, 设 $\alpha = 0.01$, 由于在回归分析时取用了 412 组资料, 查相关系数检验表得, $r = 0.128$, 故 $R = 0.840256 \gg r$ 。另一方面, 查 F 分布表得, $F_{\alpha}(1, 410) = 6.63$, 故知 $F = 982.3 \gg F_{\alpha}(1, 410)$, 由此可见, 线性回归方程(1)是显著的, 可以用于估算大通站月平均径流量的变化。

设三峡工程建成后, 宜昌站调节的月平均径流量变化为 $\Delta Q_{\text{宜昌}}$, 与此相应的大通站月平均径流量的变化为 $\Delta Q_{\text{大通}}$, 根据方程(1)我们得:

$$\Delta Q_{\text{大通}} = 1.2267\Delta Q_{\text{宜昌}} \quad (2)$$

在表 1 中, 根据“三峡水利工程初步设计报告”提出的水库建成后的多种调节方案, 给出了按方程(2)计算得到的大通站在多种方案下流量的改变量。从表 1 可以看出, 宜昌站流量调节后, 大通站流量发生的变化幅度比宜昌站还要大。对于 150m 方案来说, 可使大通站月平均流量最大改变 20% 以上 ($-3398\text{m}^3/\text{s}$)。而对 180m 方案来说, 甚至可使大通站

* 中国科学院海洋研究所调查研究报告第 2055 号。本文定稿于 1987 年 9 月。
收稿日期: 1989 年 11 月 4 日。

月平均径流量减小 52.3%(以 1959—1960 年为例)以上;这是一个非常大的改变。显然这样的流量变化对于生态环境的影响必须予以充分的估计。

2. 根据非线性回归方程及时间序列分析方法进行预测 上面的估算可为我们提供关于工程建成后,由于人工调节流量使大通站流量发生改变的量的概念。但是,回归分析

表 1 宜昌站调节流量与大通站流量变化的关系 (m^3/s)

月 份	150m 方案(枯水年,1959年—1960年)			150m 方案(平水年,1950—1951年)		
	调节流量 $\Delta Q_{宜昌}$	改变流量 $\Delta Q_{大通}$	$\frac{\Delta Q_{大通}}{Q_{大通}}(\%)$	调节流量 $\Delta Q_{宜昌}$	改变流量 $\Delta Q_{大通}$	$\frac{\Delta Q_{大通}}{Q_{大通}}(\%)$
10	-2 770	-3 398	20.2	-2 770	-3 398	20.2
11	0	0		0	0	
12	0	0		0	0	
1	+656	+805	8.8	+514	+631	6.9
2	+1 166	+1 430	17.7	+1 059	+1 299	16.1
3	+1 089	+1 336	9.3	+1 167	+1 432	10.0
4	+645	+791	3.8	-988	-1 212	5.9
5	0	0		+1 016	+1 246	4.0
6	0	0		0	0	
7	0	0		0	0	
8	0	0		0	0	
9	0	0		0	0	
月 份	150m 方案(丰水年,1949年—1950年)			180m 方案(枯水年,平水年,丰水年)		
	调节流量 $\Delta Q_{宜昌}$	改变流量 $\Delta Q_{大通}$	$\frac{\Delta Q_{大通}}{Q_{大通}}(\%)$	调节流量 $\Delta Q_{宜昌}$	改变流量 $\Delta Q_{大通}$	$\frac{\Delta Q_{大通}}{Q_{大通}}(\%)$
10	-3 014	-3 697	7.4	-7 000	-8 587	20.7—52.3
11	0	0				
12	0	0				
1	0	0				
2	+140	+178	0.9			
3	-1 862	-2 284	15.9			
4	-3	-4	0.02			
5	+2 770	-3 398	10.6			
6	0	0				
7	0	0				
8	0	0				
9	0	0				

表明,式(1)并不是根据现有资料得到的较佳回归方程。因此,我们对上述资料进行非线性回归分析,求得如下回归方程:

$$Q_{大通} = 4.8619Q_{宜昌}^{0.8888} + 5000 \quad (3)$$

对应于方程(3)的各项统计量为 $R = 0.874857$, $U = 9.54427 \times 10^{10}$, $q = 2.9258 \times 10^{10}$, $S = 8457.87$, $F = 1334.2$ 。比较方程(1)与(3)的统计量可以看出,方程(3)优于方程(1)。我们将以此为基础,对三峡工程建成后大通站的流量变化进行预测。

(1)预测模式: 根据具有季节性周期变化的随机过程理论,以宜昌站和大通站的径流量历史资料为基础,建立预测模式。具体方法如下:

a. 根据宜昌站 1878—1977 年的 100 年逐月平均径流量资料,以每年 12 个月作为一个周期,共得 100 个周期的资料作为资料矩阵。

b. 求出第一个周期和最后一个周期的平均径流量,并以此为基础估计初始斜率及趋势水平。

c. 求各时段的流量季节变化增量以及各周期内季节增量的平均值。然后对各增量进行规范化处理,这样便求出了如下预测模型的趋势水平、斜率和季节增量的估值:

$$\hat{Q}_i(\tau) = a_i + b_i\tau + \delta_{i+\tau} \quad (\tau = 1, 2, \dots, 12) \quad (4)$$

其中 a_i 是在时段 i 的趋势水平, b_i 为斜率, $\delta_{i+\tau}$ 为时段 $i + \tau$ 的季节增量。

(2) 预测结果: 获得了式(4)的 a_i , b_i 和 $\delta_{i+\tau}$ 的估值后,式(4)可用作预测方程。预测分两个阶段: 首先在不考虑人为调节流量的情况下,分别预测宜昌站和大通站的流量; 然后根据表 1 的设计方案,对宜昌站的预测流量作为人为调节后再预测大通站流量。

计算中,以宜昌站的月平均径流量(1878—1977 年)为基础进行时间序列分析,得到三个平滑指数均为 0.05,基本参数为 $a_i = 13870.9$, $b_i = 3.19$,其均方拟合误差为 3903.28。在表 2—5 中,分别给出了 150m 方案平水年(表 2)、枯水年(表 3)、丰水年(表 4)及 180m 方案(表 5)的预测结果,给出了按表 1 方案推算的工程建成后的大通站流量与自然状态下大通站的推测流量之差。表中的“1 年后”,“5 年后”和“10 年后”三栏分别是三峡工程竣工后的第一年、第五年和第十年大通站径流量的推算值。

从表 2—5 可以看出,三峡工程建成后,人工调节流量的结果对大通站各月平均流量的影响有如下特征:

a. 对于 150m 方案的枯水年,第一年对大通站的流量几乎没有什么影响,第二年至第十年,除了 10 月份平均流量减少 151.47—187.90m³/s 外,其他各月略有增加(最多为 1%)。

b. 对于 150m 方案的平水年和丰水年以及 180m 方案,出现多数月份的平均流量呈减少现象(只有少数月份呈增大现象),尽管按比例来说,减少的量至多为 5—6% (但其最大差值,按 150m 方案,在三月份可达 837.41m³/s; 在 10 月份可达 684.73m³/s; 而按 180m 方案,10 月份可减少 1176.11m³/s),但这样的减少量对河口区的生态系统的影响可能很大。

c. 由于人工调节流量的结果,不仅使 5—10 月份的各月流量的变幅减小,而且使枯水期历时加长,从而使洪水月份的流量也出现减少。

表 2 150m 方案水平年大通站流量预测表

年份	项目	1 年 后			5 年 后			10 年 后		
		I	II	I-II	I	II	I-II	I	II	I-II
1		12 732.6	13 091.5	-358.9	12 794.8	13 185.4	-390.6	12 812.3	13 211.7	-399.4
2		12 059.9	12 396.4	-336.5	12 125.0	12 494.5	-369.5	12 143.4	12 522.0	-378.6
3		12 425.2	13 214.3	-789.1	12 487.4	13 314.2	-826.8	12 504.9	13 342.3	-837.4
4		16 787.5	17 279.3	-491.8	16 853.1	17 377.4	-524.3	16 871.6	17 405.0	-533.4
5		2 5466.0	25 790.9	-324.9	25 529.2	25 885.5	-356.3	25 547.1	25 912.2	-365.1
6		34 397.6	34 795.5	-397.9	34 459.8	34 888.6	-428.8	34 477.4	34 914.9	-437.5
7		49 987.4	50 377.1	-389.7	50 048.2	50 468.5	-420.3	50 065.4	50 494.3	-428.9
8		46 902.0	47 308.9	-406.9	46 965.2	47 403.1	-437.9	46 983.0	47 429.8	-446.8
9		45 439.6	45 861.5	-421.9	45 504.9	45 958.6	-453.7	45 523.3	45 986.2	-462.9
10		35 193.7	35 835.0	-641.3	35 263.3	35 938.3	-675.0	35 282.9	35 967.6	-684.7
11		22 641.2]	23 127.2	-486.0	2 2717.5	23 240.3	-522.8	22 739.1	23 272.5	-533.4
12		15 412.5	15 946.6	-534.1	15 496.2	16 070.0	-573.8	15 519.8	16 105.2	-585.4
	总计	329 445.2	335 025.2	-5580.0	330 245.6	336 224.4	-5979.2	330 470.2	336 564.7	-6 094.5

注: 表 2—5 中 I 表示自然状态(不建坝)下的大通站推算流量; II 表示按表 1 方案推算的工程建成后的大通站流量; I—II 是以上二者之差。表中单位均为 m^3/s 。

表 3 150m 方案枯水年大通站流量预测表

年份 项目	1 年后			5 年后			10 年后		
	I	II	I-II	I	II	I-II	I	II	I-II
	月份								
1	13 026.5	13 027.1	-0.6	13 270.6	13 167.1	103.5	13 296.4	13 203.5	92.9
2	12 330.6	12 331.2	-0.6	12 616.7	12 475.5	141.2	12 643.7	12 513.5	130.2
3	13 149.4	13 149.9	-0.5	13 421.0	13 294.8	126.2	13 448.5	13 333.7	114.8
4	17 217.6	17 218.2	-0.6	17 437.8	17 358.4	79.4	17 465.0	17 396.6	68.4
5	25 733.1	25 733.6	-0.5	25 890.8	25 867.2	23.6	25 917.1	25 904.1	13.0
6	34 740.2	34 740.7	-0.5	34 891.4	34 870.6	20.8	34 917.3	34 907.0	10.3
7	50 325.3	50 325.8	-0.5	50 469.1	50 451.0	18.1	50 494.4	50 486.6	7.8
8	47 256.0	47 256.5	-0.5	47 401.5	47 384.9	16.6	47 427.8	47 421.9	5.9
9	45 808.4	45 808.8	-0.4	45 954.9	45 939.9	15.0	45 982.1	45 978.1	4.0
10	35 780.0	35 780.5	-0.5	35 742.2	35 918.4	-176.2	35 771.1	35 959.0	-187.9
11	23 068.4	23 068.9	-0.5	23 242.3	23 218.6	23.7	23 274.1	23 263.2	10.9
12	15 884.0	15 884.5	-0.5	16 069.7	16 046.3	23.4	16 104.4	16 095.0	9.4
总计	334 319.5	334 325.2	-6.2	336 408.0	335 992.7	315.3	336 741.9	336 462.2	279.7

表 4 150m 方案丰水年大通站流量预测表

年份	1 年 后			5 年 后			10 年 后		
	I	II	I-II	I	II	I-II	I	II	I-II
1	12 965.2	13 093.4	-128.2	13 028.6	13 183.0	-154.4	13 046.5	13 208.7	-162.2
2	12 273.2	12 398.3	-125.1	12 339.6	12 492.0	-152.4	12 358.4	12 518.4	-160.0
3	12 922.6	13 216.2	-293.6	12 990.5	13 311.8	-321.3	13 009.8	13 338.7	-328.9
4	17 146.7	17 281.1	-134.4	17 213.3	17 375.0	-161.7	17 232.2	17 401.5	-169.3
5	25 860.6	25 792.6	68.0	25 924.9	25 883.2	41.7	25 943.1	25 908.8	34.3
6	34 655.3	34 797.1	-141.8	34 718.7	34 886.4	-167.7	34 736.7	34 911.6	-174.9
7	52 039.2	52 379.2	-340.0	50 301.2	50 466.4	-165.2	50 318.8	50 491.1	-172.3
8	47 163.6	47 310.4	-146.8	47 228.0	47 400.9	-172.9	47 246.2	47 426.5	-180.3
9	45 710.0	45 863.0	-153.0	45 776.5	45 956.4	-179.9	45 795.3	45 982.8	-187.5
10	35 465.2	35 836.6	-371.4	35 536.1	35 935.9	-399.8	35 556.1	35 964.1	-408.0
11	22 958.7	23 128.9	-170.2	23 036.4	23 237.8	-201.4	23 058.4	23 268.7	-210.3
12	15 760.5	15 948.4	-187.9	15 845.4	16 067.3	-221.9	15 869.5	16 101.0	-231.5
总计	334 920.8	337 045.2	-2124.4	333 939.2	336 196.1	-2256.9	334 171.0	336 521.9	-2350.9

表 5 180m 方案大通站流量预测表

年份	项目	1 年后			5 年后			10 年后		
		I	II	I-II	I	II	I-II	I	II	I-II
1		12 546.6	13 092.2	-545.6	12 615.2	13 183.5	-568.3	12 634.5	13 215.4	-580.9
2		11 818.9	12 397.1	-578.2	11 890.8	12 497.7	-606.9	11 911.0	12 525.9	-614.9
3		12 618.8	13 215.0	-596.2	12 692.1	13 317.5	-625.4	12 712.7	13 346.2	-633.5
4		16 689.5	17 280.0	-590.5	16 761.4	17 380.5	-619.1	16 781.6	17 408.8	-627.2
5		25 216.6	25 791.5	-574.9	25 285.8	25 888.5	-602.7	25 305.3	25 915.8	-610.5
6		34 224.9	34 786.1	-561.2	34 293.1	34 891.5	-598.4	34 312.3	34 918.5	-606.2
7		49 816.0	50 278.3	-462.3	49 882.5	50 471.4	-618.9	49 901.3	50 497.7	-596.4
8		46 721.3	47 309.4	-588.1	46 790.4	47 405.9	-615.5	46 809.9	47 433.3	-623.4
9		45 250.3	45 862.0	-611.7	45 321.7	45 961.5	-639.8	45 341.8	45 989.8	-648.0
10		34 697.7	35 835.6	-1137.9	34 773.8	35 941.4	-1167.6	34 795.3	35 971.4	-1176.1
11		22 430.1	23 127.8	-697.7	22 513.7	23 243.7	-730.0	22 537.3	23 276.7	-739.4
12		15 177.6	15 947.2	-764.6	15 269.3	16 073.7	-804.4	15 195.2	16 109.7	-914.5
	总计	3272 08.3	335 032.2	-7823.9	328 059.8	336 256.8	-8197.0	328 238.2	336 609.2	-8371.0

d. 对年平均流量的预测表明,在 10 年之后,大通站平均流量几乎没有什么变化。

3. 两种方案的比较 比较上述两种方法所得的结果可知,两者是不一致的,造成这种不一致的原因是由方法本身决定的。根据线性回归直接进行估算的方法,没有考虑到宜昌站和大通站流量本身变化的规律,因此根据这一方法所作的流量变化估算,只表明了宜昌站流量受到人工调节后,当月的大通站流量将会出现的可能改变量。这一估算结果(表 1)表明,在某些年月,由于人工控制的结果,可使大通站的流量改变 $\pm 50\%$, 甚至更多。这样的变化对于生态系统将带来重要影响,必须予以重视。另一方面,根据时间序列预测模式所作的预测(表 2—5),主要考虑了过程本身的长期变化结果。这样的预测手段,对预测由于长时间人工调节后所产生的积累效应是重要的。根据这一预测模式所得的结果表明,人工调节宜昌站流量的结果,不仅使大通站当月的月平均流量发生变化,而且随着时间的推移,在以后各年中将会使大通站各月的流量都发生改变。尽管根据这一模式所得大通站流量的改变量在某些情况下并不大,但是大通站流量长期呈减少的趋势,对生态系统可能会带来很大的影响,这一点必须予以考虑。

其次,上述两种方法都有一定的适应范围及误差。所以上述估算或预测的具体结果还有待于用更多的资料验证,并进一步对模式进行改进,以便使估算和预测结果更为可靠。

二、三峡工程对长江口区流场的影响

研究表明(乐肯堂等,1987;乐肯堂,1986;1984¹⁾;毛汉礼等,1963),长江冲淡水扩展范围、盐舌分布性状、舌轴走向及冲淡水中主流的性质与大通站的月平均径流量有密切的相关关系²⁾,这就为本区流场变化的预测提供了指标。尤其是当大通站的月平均径流量超过“临界径流量”(约为 $36\ 000\text{—}40\ 000\text{m}^3/\text{s}$) 时,不仅冲淡水的盐舌将向东北方向转向,而且还可能出现“双型分布”或“三型分布”,同时冲淡水主流将具有惯性射流的性质,从而使长江口区的流场分布将具有不同于其他河口区的特有性状(乐肯堂,1986;1984¹⁾)。前几节分析结果表明,三峡工程建成后,对于平水年和丰水年,各月的月平均径流量将呈系统性减少,这势必引起流场性质和结构发生变化。现在分别就三峡工程对口门外潮流、余流和冲淡水区海流结构的影响作一简要分析。

1. 三峡工程对口门外潮流的影响 在表 6, 7 中给出了 1980—1981 年中美海洋沉积作用联合考察的河口区实测潮流分析资料。

从表 6, 7 可以看出,北港口(E8101 站)在中潮的情况下,洪季和枯季落潮流流速相差 -48.3cm/s , 流向仅差 2° ; 涨潮流流速相差 -68.3cm/s , 流向相差 -23° 。南槽口(E8111 站),在中潮的情况下,洪季和枯季落潮流的流速相差 32.6cm/s , 流向相差 -6° ;

1) 乐肯堂,1984 年,长江冲淡水洪水期盐度分布和海流结构的初步分析,渤海、黄海、东海调查研究报告,中国科学院海洋研究所编,151—163(内部资料)。

2) 沈焕庭等(1980)曾指出,长江口引水船处月平均盐度与大通站月平均流量具有良好的负相关(相关系数约为 -0.91),回归方程为 $S = 27.07e^{-0.0000234Q}$ (其中 S 为盐度; Q 为径流量, m^3/s) (交流资料《长江口盐水入侵的初步研究》)。

涨潮流的流速相差 29.5cm/s , 流向相差 -5° 。由此可见, 在大通站月平均流量减小 $16\,200\text{m}^3/\text{s}$ 的情况下, 北港口落潮流速增加 48.30cm/s , 涨潮流速增加 68.30cm/s ; 南槽口落潮流速减小 32.60cm/s , 涨潮流速则减小 29.50cm/s 。据本文第二种方法的预测结果, 150m 方案时, 按枯水年调节流量, 它对涨落潮流流速的影响大约为 $5\text{—}13\text{cm/s}$; 而按平水年调节, 10 年内可使涨落潮流速改变约 $12\text{—}16\text{cm/s}$; 如按丰水年方案调节, 则可使涨落潮流改变 $5\text{—}16\text{cm/s}$ 。 180m 方案时可使涨落潮流改变约 $15\text{—}35\text{cm/s}$ 。

2. 三峡工程对口门处余流的影响 为了分析三峡工程建成后对长江口门处余流分布的影响, 先根据中美联合考察资料(表 8,9) 分析长江口门处洪、枯季的余流变化。从表 8,9 可看出, 北港口(E8102 站)小潮时洪、枯两季的表层流速之差为 12cm/s , 流向差为 -5° ; 中层流速差为 36cm/s , 流向差为 35° ; 底层流速差为 7cm/s , 流向差为 10° 。南槽口(E8111 站)中潮时, 表层流速相差 -8cm/s , 流向相差 17° ; 中层流速相差 -3cm/s , 流向差 51° ; 底层流速相差 5cm/s , 流向相差 36° 。由此可见, 大通站月平均流量的变化对北港口中层流速的影响较大。按表 1 的四种方案, 工程建成后, 在现在的河口形状的条件下, 对北港口中层来说, 在 150m 方案时, 如按枯水年调节流量, 流速变化约为 4cm/s ; 如按平水年调节, 大约可改变 $15\text{—}18\text{cm/s}$; 如按丰水年调节, 大约可改变 10cm/s ; 而如按 180m 方案调节, 则可改变约 30cm/s 。

3. 三峡工程对长江冲淡水区海流结构的影响 为了便于分析三峡工程对长江冲淡水区海流结构的影响, 我们重新计算了大通站 40 年资料(1935—1937 年, 1947—1948 年, 1950—1983 年, 1985 年)的多年月平均流量和季平均流量(见表 10), 并计算了推算的大通站水库调节后的季节平均流量与其自然流量之差(表 2—5)。

根据乐肯堂等(1987)的研究, 从长江冲淡水区的流动类型来看, 长江径流入海后, 由于长江月平均径流量(大通站)的不同, 冲淡水中主流的性质及其路径会发生很大的变化。一般来说, 当长江月平均径流量超过其临界径流量时, 其主流将表现为射流, 而其路径将会转向东北; 当月平均径流量小于其临界径流量时, 冲淡水本身的流场将具有地转的性质, 因而其路径将朝向东南。但从前面对月平均径流量所作的预测结果看来, 三峡工程人工节流方案对洪水月份(6—9 月)和枯水月份(12—2 月)的流动型式的影响不很大, 但对枯季到洪季(3—5 月)和洪季到枯季(10—11 月)这两个过渡季节, 将会有较大的影响。从季节平均流量的变化来分析, 应当说两者的差别不大, 也就是说各季的流动型式不会因三峡工程人工调节流量而发生很大的变化。因为从多年季节平均流量来看, 夏季比冬季大 $32\,413.8\text{m}^3/\text{s}$, 春季比夏季少 $19\,892.1\text{m}^3/\text{s}$, 而夏季比秋季大 $10\,969.8\text{m}^3/\text{s}$ 。而表 1—5 的计算结果表明, 对于 150m 方案, 人工调节流量与自然流量之差为 $1\,000\text{—}4\,000\text{m}^3/\text{s}$ 的量级, 它与上述季平均流量间的差异量相比是较小的。而在 180m 方案时, 10 月的节流可使大通站流量减少约 $9\,000\text{m}^3/\text{s}$, 这是一个相当大的值, 将使冲淡水中的流型由秋季型转变成冬季型, 这样一种情况对生态系统的平衡可能会带来重大影响。

另一方面, 表 2—5 表明, 若按 150m 方案的平水年、丰水年和 180m 方案调节流量, 随着时间的推移, 将会使长江流量每月都出现减少的趋势。这种每月径流量都减少的积累效应, 也有可能对生态系统的平衡带来持续的影响。

表6 洪季长江口门附近垂直平均潮流

位置	站号	观测		类型	落潮流		涨潮流		$V_{落}/V_{涨}$	大通站流量
		年	月		流向	流速	流向	流速		
北港	P8001	1980	6	大潮	107	132.0	293	87.6	1.5	38 400
	P8002	1980	6	大潮	82	129.8	297	105.3	1.3	
	P8008	1980	6	中潮	102	134.0	306	101.9	1.3	
	E8101	1981	8	中潮	127	86.2	287	34.3	2.5	40 700
	E8102	1981	8	小潮	104	96.8	310	46.3	2.1	
	E8103	1981	8	小潮	118	85.2	280	63.6	1.3	
北槽	P8010	1980	6	中潮	99	122.6	286	108.4	1.2	38 400
南槽	P8003	1980	6	中潮	103	96.7	316	99.8	0.97	38 400
	E8111	1981	8	中潮	111	107.3	310	98.2	1.1	40 700

注：表6—9中参数单位：流速 (cm/s)，流向(°)，流量 (m³/s)。

表7 枯季长江口门附近垂直平均潮流

位置	站号	观测		类型	落潮流		涨潮流		$V_{落}/V_{涨}$	大通站流量
		年	月		流向	流速	流向	流速		
北港	E8101	1981	11	中潮	125	138.5	304	102.6	1.4	24 500
	E8102	1981	11	大潮	108	113.3	285	80.2	1.4	
	E8102	1981	11	小潮	98	82.6	304	44.8	1.8	
南槽	E8111	1981	11	中潮	117	74.7	315	68.7	1.1	24 500

表 8 汛期长江口门附近实测余流

位置	站号	观测		类型	表层		中层		底层	
		年	月		流向	流速	流向	流速	流向	流速
北港	P8001	1980	6	大潮	102	77.0	—	50.0	107	48.0
	E8102	1981	8	小潮	94	70.0	90	50.0	119	20.0
	E8103	1981	8	小潮	123	53.0	161	19.0	183	10.0
北槽	P8010	1980	6	中潮	126	13.0	—	—	113	12.0
南槽	P8003	1980	6	中潮	80	41.0	—	—	97	13.0
	E8111	1981	8	中潮	142	27.0	44	17.0	10	15.0

表 9 枯季长江口门附近实测余流

位置	站号	观测		类型	表层		中层		底层	
		年	月		流向	流速	流向	流速	流向	流速
北港	E8102	1981	11	大潮	104	70.0	94	36.0	108	17.0
	E8102	1981	11	小潮	99	58.0	55	14.0	109	3.0
南槽	E8101	1981	11	中潮	122	50.0	109	30.0	110	20.0
	E8111	1981	11	中潮	125	35.0	353	20.0	334	10.0

表 10 大通站多年的月平均流量和季平均流量 (m³/s)

季节	春季					夏季				秋季				冬季	
	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	1	2			
月份															
月平均流量	15 438.8	23 440.0	34 894.5	40 378.2	48 572.5	44 498.8	41 170.5	34 958.5	24 411.2	14 682.8	10 284.5	11 288.0			
季平均流量	24 591.1					44 483.2				33 513.4				12 068.4	

三、讨 论

(1) 为了用宜昌站的径流量资料较准确地预测大通站的径流量, 必须建立较为可靠的经验关系式。为此我们根据所收集到的资料建立了各种类型的回归方程(见表 11)。从中选出相关系数和 F 比最高的一个回归方程[即前述方程(3), 表 11 中的方程(2)]作为预测的基础。由于在方程(3)中没有考虑决定大通站径流量变化的其他因子(尤其是降水), 又受手头资料(宜昌站只收集到 1977 年)的限制, 还不能认为方程(3)是目前能够给出的最佳方程。要尽可能收集更多的资料来建立比方程(1)和方程(3)更为可靠的回归方程。

(2) 第一节中提供的工程建成后大通站径流量的预测模式, 仅考虑了径流量的季节性周期变化和多年趋势变化。事实上, 在预测模式中, 还应加上流量的多年周期变化的部分。同时, 所选用的建模方案还可以应用拟合效果更好的 Box-Jenkins 模型, 以使预测结果更加可靠。另外, 一般说来, 用时间序列资料建模, 预测头几年的效果较佳, 预测年限越长, 误差必然越大。故第一节中提出的工程建成三年之后的预测结果, 在量值上已包含较大的误差, 但从流量变化趋势的角度看, 这一结果还是值得受到重视的。

表 11 各种回归分析结果的比较

序号	回归方程	相关系数 R	回归平方和 U	剩余平方和 q	剩余标准离 差 S	F 比
1	$Q_{\text{大通}} = 54.9379 Q_{\text{宜昌}}^{0.6594}$	0.872292	0.81752×10^{11}	0.256901×10^{11}	7 925.4	1 301.53
2	$Q_{\text{大通}} = 4.8619 Q_{\text{宜昌}}^{0.8988} + 5000$	0.874857	0.954427×10^{11}	0.29258×10^{11}	8 457.87	1 334.20
3	$Q_{\text{大通}} = 13 046.9 e^{bQ_{\text{宜昌}}}$	0.835413	0.10649×10^{12}	0.460928×10^{11}	10 615.9	944.925
4	$Q_{\text{大通}} = 51 187.1 e^{-5806.59/Q_{\text{宜昌}}}$	0.826842	0.578657×10^{11}	0.267744×10^{11}	80 90.93	883.942
5	$Q_{\text{大通}} = -126 311 + 16752.6 \ln Q_{\text{宜昌}}$	0.862311	0.694648×10^{11}	0.239547×10^{11}	7 653.03	1 186.04
6	$1/Q_{\text{大通}} = a + 0.2903/Q_{\text{宜昌}}$	0.865555	0.741566×10^{11}	0.248264×10^{11}	7 791.04	1 221.68
7	$Q_{\text{大通}} = 11 684.4 + 1.2267 Q_{\text{宜昌}}$	0.840256	0.65957×10^{11}	0.274625×10^{11}	8 194.23	982.3

注: 表中 a, b 两个常数均小于 0.0001。

(3) 第一节中所作的预测, 只是关于月平均流量的预测, 既没有考虑洪峰的过程, 也没有考虑更短周期的流量变化。同时, 在自然界中, 洪水年、枯水年与平水年是交替出现的, 而在作预测模式时, 这就很难做到, 故该节关于流量变化的预测结果还不能认为是唯一的依据。

(4) 三峡工程的节流方案不仅控制了流量, 同时也控制了沙量, 在一定情况下, 对生态环境而言, 沙量的变化可能比流量的变化更为重要, 因此, 在考虑工程方案时, 对于输沙量变化的预测应给予更大的注意。

参 考 文 献

毛汉礼、甘子钧、蓝淑芳, 1963, 长江冲淡水及其混合问题的初步探讨, 海洋与湖沼, 5:(3): 183—206。

乐肯堂,1986,关于长江冲淡水路径的若干问题,海洋科学集刊,27: 221—228。

乐肯堂、于振娟、张法高,1987,长江口外海流结构及其季节变化的初步研究,海洋科学集刊,本集。

IMPACTS OF THE THREE GORGES PROJECT ON THE CURRENT FIELD OFF THE CHANGJIANG RIVER MOUTH*

Le Kentang

(Institute of Oceanology, Academia Sinica)

ABSTRACT

Based on the historical runoff data of the Changjiang River and the current data from anchor stations within the Changjiang Estuary and its adjacent area since 1950s, some predictive models are established to predict discharges of the Changjiang River at Station Datong from the regulated discharges of the Changjiang River at Station Yichang according to the Three Gorges Project, and on the basis of which impacts of the Three Gorges Project on tidal currents and residual currents off the Changjiang River mouth are also analyzed. The results show that after the discharge at Station Yichang is regulated, the discharge at Station Datong will be markedly changed and the changed discharge could reach as much as 50 per cent or more in certain months of certain years, which will have a significant influence on the ecosystem. And a secular trend of the discharge reduction at Station Datong will have even greater influence on the ecosystem.

* Contribution No. 2055 from the Institute of Oceanology, Academia Sinica.