

曹娥江流域水利工程对生态环境影响的研究

窦贻俭 杨 戊

(南京大学城市与资源学系 南京 210008)

摘 要 讨论了曹娥江流域水利工程对陆生、水生生态环境的影响,特别是对水环境容量的影响。研究成果为全面评估水利工程的作用,水利工程的兴利除害提供科学依据。

关键词 曹娥江 水利工程 生态环境 水环境容量

分类号 X828; TV 697.25

1 引 言

曹娥江流域位于浙江省钱塘江南侧,流域面积 6064km²,山丘面积占 86%,平原与盆地分布在曹娥镇以下和沿江两岸与嵊县盆地(图 1)。

该流域上游地区,特别是新昌县城以上,工业较少,但人口密度并不低,除部分山区外,大部分地区都超过 300 人/km²。由于人类活动的影响,该流域自然生态系统已逐步被人工生态系统所代替。

2 水利工程状况

50 年代初期仅有零星山塘和少数小(二)型水库,基本没有机电灌排站,堤防标准低而质量差,旱、洪、涝灾害频繁,50 年代后开始全面规划,综合整治,新昌、嵊县两县的水利工程建设情况见表 1。

表 1 新昌、嵊县 1949 年~ 1980 年水利工程建设情况

Table 1. Situation of water resources projects in Xinchang and Sheng county in 1949~ 1980

地名	大型水库 (座)	中型水库 (座)	小(一)型 (座)	小(二)型 (座)	山塘 (座)	小水电 (座)	防洪堤 (km)	机电排灌 (kW)
新昌	1	1	11	89	5214	230	59.2	8269
嵊县	1	4	18	107	9955	216	154.5	22446

据统计新昌县 1949 年~ 1988 年,水库库容为 $2.45 \times 10^8 \text{m}^3$,形成水库群,控制集水面积 708km²,占全县总面积的 57%。灌溉面积,50 年代初期仅为 667hm²,旱涝保收面积约 200hm²,易洪涝面积达 2000hm²;到 1988 年,有效灌溉面积增加到 1.16 万 hm²;旱涝保收地达

本文于 1995 年 3 月 1 日收到,1995 年 8 月 28 日收到修改稿。

* 国家自然科学基金资助项目。

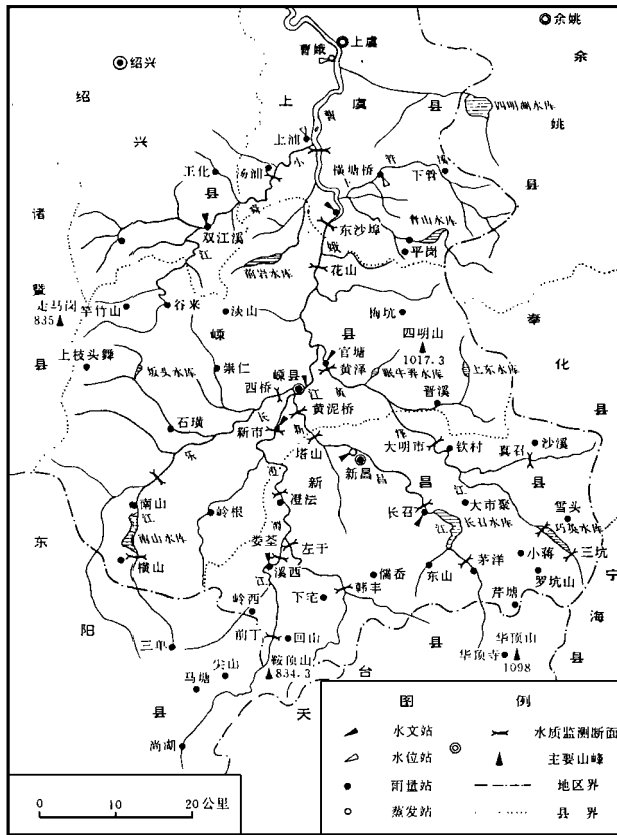


图 1 曹娥江水系及水质监测图

Fig. 1. Map of Cao River and water-quality monitoring

8000hm², 机电灌溉面积为 2840hm², 易洪、易涝面积则减少到 527hm²。

据新昌县统计, 截至 1988 年, 全县共建水电站 230 座, 装机容量达 3.32 万 kW, 年发电量 2266.4 万 kW/h。

3 水利工程对水文规律的影响

3.1 对径流量的影响

曹娥江干、支流上游水利工程控制了全流域集水面积 35.8%, 其中新昌江水利设施控制集水面积高达 71.5%, 长乐江 31%, 澄潭江 23.7%, 黄泽江 18.7%。据嵊县水文站实测资料分析, 建库后比建库前, 年平均流量略有减少, 建库前为 56.59m³/s, 建库后为 49.2m³/s。年内径流分配趋向均化, 据新昌水文站实测统计, 各月平均径流量建库前 (28 年资料统计) 为 3.65~ 20.3m³/s; 建库后 (10 年统计) 为 4.0~ 16.3m³/s; 新昌江汛期 (4 月~ 9 月), 建库后比建库前减少 8%, 非汛期 (10 月~ 3 月), 建库后比建库前增加了 4.3%; 长乐江 (西球站统计) 亦有类似的规律, 汛期建库后减少 12.5%, 而非汛期建库后则增加了 18.6%。其它支流与曹娥江干流均表现出相同的变化规律。

3.2 对含沙量的影响

曹娥江各支流, 属山区河流, 河流平均含沙量 $0.2 \sim 0.5 \text{ kg/m}^3$, 年侵蚀模数 $200 \sim 400 \text{ t/km}^2$, 水库群兴建后, 拦蓄了部分河流汛期的泥沙, 河流悬移质含沙量及输沙率特征均发生一系列变化, 其中新昌江(新昌水文站)尤为突出(表2)。

表2 新昌江流域水利工程建设前后悬移质输沙特征

Table 2. Characteristics of suspended materials transportation before and after the building of water resources projects in Xinchang River basin

时 段	月平均含沙率 (kg/s)												平均 输沙 率 (kg/s)	平均 输沙 量 (t)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12		
建库前 1964年~ 1972年	0.094	0.25	1.02	0.48	1.35	5.25	2.04	8.06	7.50	0.34	0.73	0.314	2.14	6.76
建库前 1972年~ 1977年	0.095	0.486	0.184	1.82	6.23	12.95	13.19	10.37	6.99	3.84	0.43	0.95	4.83	15.2
建库后 1978年~ 1980年	0.015	0.22	0.38	0.51	0.41	0.32	1.96	0.80	0.33	0	0	0	0.41	1.30

水库群兴建后, 大量泥沙淤积于库区, 使库下河道中悬移质输沙率、输沙量年内分配发生较大变化。新昌江年输沙量减少 $3.5 \sim 13.0 \text{ t}$, 年平均输沙率只占建库前的 $1/5 \sim 1/10$; 月平均输沙率也趋于均化, 而且绝对值都比较小, 其中10月~12月输沙率接近于零。

4 水利工程对流域生态系统的影响

4.1 对陆生生态系统的影响

水库群兴建后, 除了在库区直接改变了小气候, 对库区周围植被起着保护和促进生物总量增殖的作用外, 更明显的是对农田生态系统的影响。

新昌、嵊县两县, 从50年代至今, 耕地面积增减基本持平。1949年两县共有耕地 4.69 万 hm^2 , 其中水田 3.71 万 hm^2 ; 到1988年, 耕地 4.74 万 hm^2 , 其中水田 3.83 万 hm^2 , 旱地 0.92 万 hm^2 , 增减不大。但有效灌溉面积变化很大, 目前两县保证灌溉面积已达 3.89 万 hm^2 , 占耕地总面积的82%以上。而历史上有效灌溉率低, 新昌县1949年, 靠天的旱涝保收田仅 200 hm^2 , 到1988年, 旱涝保收田已超过 8000 hm^2 。嵊县水利工程兴建后, 水库蓄水量1988年比1949年增加了38倍。农田生态系统的结构和功能均发生较大的变化。水稻种植, 由50年代的一熟制, 改成了两熟或三熟制, 嵊县水田三熟制面积达 1.48 万 hm^2 , 占水田面积的55.8%。农田复种指数也由50年代的194%, 提高到245.9%。

根据新昌县农田生态系统的特征值计算与比较(表3), 80年代农田生态系统, 单位面积生物量比50年代增加了70%, 每公顷生物量达到 26.79 t ; 粮食单产80年代达到 7.84 t/hm^2 , 1988年单产达到 9.38 t/hm^2 , 比50年代净增 4.88 t/hm^2 ; 光能利用率达到2.3%, 提高了72%。

4.2 对水生生态系统的影响

新昌县因建库增加了水面约 1600 hm^2 , 汛期因地表径流携带营养物质入库, 为淡水养殖提供了物质基础。1988年水产品产量 $60 \sim 70 \text{ t}$, 是建库前的5倍。库下(长沼水库)河道则出现相

反的现象,如发电水流改道,河道清理整治等,使天然鱼产量大减;加之河道挖沙,工业污染,均不利水生生物的生长,影响水生生态系统的稳定性。上浦闸建成后,给水生生态系统带来的不利影响更为明显,建闸前,经常可大量捕捞不少优良鱼种,建闸几年后已几乎绝迹。

表 3 新昌县农田生态系统特征值比较

Table 3. Comparison of characteristic values of agricultural ecosystem in Xinchang County

时 段	单位面积 生物量 (t/hm ²)	粮食总产 (t)	粮食单产 (t/hm ²)	复种指数 (%)	光能利用率 (%)	生产优势度 C	稳定性指数 S
1949 年 ~ 1959 年	15.74	6574.7	4.09	194	1.34	0.436	0.787
1960 年 ~ 1969 年	19.02	74039.4	4.61	227	1.63	0.429	0.961
1970 年 ~ 1979 年	23.93	107626.7	6.70	256	2.05	0.406	0.971
1980 年 ~ 1989 年	26.79	125889.2	7.84	248	2.30	0.430	0.951

5 水利工程对水环境容量的影响

5.1 水环境功能区

水环境容量的大小,由水环境功能目标,水体污染状况,自净能力等方面的因素决定。水环境功能是指地面水体,其水文、物理、化学、生物等特性所能满足人类生活、生产方面的某种用途。曹娥江流域水环境功能区划分,是根据流域经济特征、发展趋势、区域分异、使用现状,地面水体使用目的和目标确定的(表 4)。各功能区经济特征和污染负荷如表 5 所示。

5.2 对水环境容量的影响

影响水环境容量的因素有:功能区目标、自净能力、背景值与现状、排污点位置及方式、水文条件等。水环境容量计算模式可表示为(通式)

$$W = (C_N - C_0)Q + \frac{1}{k} \frac{L}{u} C_N Q \quad (1)$$

该流域污染源均相对集中在新昌、嵊县等城镇,对全流域说,这些污染源可理解为各个单点排放,其计算式为

$$W_1 = C_N (Q + q_i) - C_0 Q + C_N (Q + q_i) [1 - \exp(-k \frac{L}{U})] \quad (2)$$

式中 C_N 为按功能区要求的水质标准, mg/t; C_0 为水环境背景值或功能区上游来水浓度, mg/L; L 为河段区长度, km; U 为平均流速, m/s; Q 为河水流量, m³/s; q_i 为污水流量, m³/s; k 为自净系数, 1/d。

研究中,根据实测确定了 Q 、 U 及自净系数 k 值 (0.2~0.4), 全流域以新昌江为代表,选用 k 值为 0.3 1/d, 进行计算, q_i 值根据统计资料确定。研究中分别计算了各功能区的理想环境容量、现状水环境容量、允许使用的水环境容量; 同时比较了单点、多点水环境容量。经分析,水利工程对水环境容量的影响,各种表示方式都有相似的规律。该流域以有机污染为主,故采用有机污染综合指标 (COD), 进行单点理想环境容量计算。

表4 曹娥江流域水环境功能区划分

Table 4. Divisions of the functional district of water environment protection along Caoe River

流域功能区	指定功能水质目标 (mg/L)	水质现状			允许纳污量 (kg/d)	可达性评价	对策意见
		综合评价	制约因子	浓度 (mg/L)			
新昌江	长沼以下 II 高锰酸盐 4	II	高锰酸盐 指数	2.25	2310	能达到功 能区目标	
	长沼~ 县城 III 高锰酸盐 6	II	高锰酸盐 指数	3.19	4500	能达到功 能区目标	
	县城~ 黄泥桥 IV 高锰酸盐 8	V	高锰酸盐 指数	9.24 13.48	- 2411	不能达 到目标	削减排污量调 整功能区目标
	黄泥桥~ 下南田 III 高锰酸盐 6	IV	高锰酸盐 指数	6.72 8.69	- 1518	不能达 到目标	调整功能 区目标
长乐江	开源 以上 II						
	开源~ 东桥 III 高锰酸盐 6	II	高锰酸盐 指数 BOD	2.87 4.75	8122	达到目标	
澄潭江	入境~ 棠村 II 高锰酸盐 4	II	高锰酸盐 指数	2.8	3078	能达到功 能区目标	
	棠村~ 东桥 III 高锰酸盐 6	II	高锰酸盐	2.06	14080	能达到目标	
黄泽江	巧英~ 黄泽 II	I		1.78	3014	能达到功 能区目标	
	黄泽~ 艇湖 II 高锰酸盐 4	I	高锰酸盐 指数	2.14	3019	能达到目标	
曹娥江干流	嵊县~ 梓树村 IV 高锰酸盐 8	III	高锰酸盐 指数	4.14	18960	能达到功 能区目标	注意全 流域协 调发展
	梓树村~ 上浦 III 高锰酸盐 6	II	高锰酸盐 指数	3.75	14904	能达到目标	

5.2.1 对水环境容量总量的影响

全流域COD水环境容量, 建库前为122.46t/d, 建库后减为114t/d, 各功能区全年单点COD水环境容量减少3%~12%。每天COD容量减少了8.46kg, 变化率为-6.9% (表6)。

5.2.2 对水环境容量季节分配的影响

水环境容量的季节分配与径流分配有同样的趋势, 工程兴建后趋于均化。根据新昌江长沼水库的兴建, 对库下31km河段水环境容量的影响 (表7), 可以清楚地看出, 建库后, 在平水期(4月~6月), COD容量减少了15%~22%; 枯水期(10月~3月), COD容量普遍增加了13%~57%; 库下各功能区, 长沼~新昌段功能区, 枯水期建库后COD容量增加57.8%, 新昌下游, 黄泥桥~下南田段功能区, 增加了13.2%。水环境容量在平枯水期间差异, 建库前后有明显的变化。建库前, 平枯水期的COD容量相差较大, 一般在2倍以上; 而建库后, COD容量的年内分配趋向均化, 平枯间的容量差距缩小, 均在1.5倍以下。这种季

节间容量差别缩小的趋势, 对改善水环境质量具有重要的作用。

表 5 曹娥江流域各环境功能区经济特征与污染负荷

Table 5. Economic characteristic and pollution of every environmental function district in Caoe River basin

流 域 区	面积 (km ²)	人口	工农业 总产值 (万元)	工业 产值 (万元)	经济 密度 (万元/km ²)	工业 密度 (万元/hm ²)	污水 总量 (万 t/a)	污水 密度 (万 t/km ²)	
新昌江流域	长 诏 以 上	159.67	26769	2488	1731	15.58	10.84	51.92	0.33
	长 诏~ 新 昌	89.72	34927	4198	3179	46.79	35.43	100.46	1.12
	新昌~ 黄泥桥	81.02	73780	42273	40906	5213.76	504.89	1292.6	15.9
	黄泥桥~ 下南田	25.44	17661	2025	1372	79.60	53.93	43.36	1.70
	合 计	335.85	153137	50984	47188	143.27	132.61	1488.4	4.18
澄潭江流域	469.84	176192	15575	10466	33.16	22.28	330.74	0.70	
长乐江	开 源 以 上	134.76	33807	3582	1032	26.58	7.66	32.60	0.24
	开 源~ 东 桥	231.12	150398	36962	30860	159.93	133.18	921.65	3.99
黄泽江	巧英~ 黄 泽	490.46	111217	11378	7457	23.20	15.23	235.97	0.52
	黄泽~ 艇 湖	48.83	35296	7863	6684	160.62	136.88	211.21	4.33
曹娥江干流	城关东桥 ~ 梓树	141.72	95105	56651	54102	399.74	381.75	1709.6	12.1
	梓 树 以 下	125.99	104484	6269	4450	49.76	35.32	140.62	1.12

表 6 曹娥江流域水利工程对水环境容量的影响 (以单点 COD 理想环境容量值计算)

单位: kg/d

Table 6. Effect of water resources projects on the capacity of hydro-environment in Caoe River (cal-culated according to the ideal environmental value of single-point COD)

水 系	功能区	建库前	建库后	环境容量 变化值	环境容量 变化率%
新 昌 江	长诏以上	4424	4424		
	长诏~ 新昌	6030	5731	- 299	- 4.96
	新昌~ 黄泥桥	6749	6537	- 212	- 3.14
	黄泥桥~ 下南田	4123	3905	- 218	- 5.29
			21326	20597	- 729
长 乐 江	开源以上	3380	3380		
	开源~ 东桥	10532	10156	- 376	- 3.57
		13912	13536	- 376	- 2.7
澄 潭 江	棠村以上	3277	3277		
	棠村~ 东桥	15414	14558	- 856	- 5.6
		18691	17835	- 856	- 4.58

续表 6

水 系	功能区	建库前	建库后	环境容量 变化值	环境容量 变化率%
黄 泽 江 曹 娥	黄泽以上	3088	3088		
	黄泽~ 艇湖	3462	3462		
		6550	6550		
江 干 流	嵊县~ 梓树	33084	28968	- 4116	- 12.44
	梓树村以下	28901	26536	- 2365	- 8.18
		61985	55504	- 6481	- 10.46

表 7 长沼水库对新昌江不同季节水环境容量的影响 (以单点 COD 理想环境容量值计算) 单位: kg/d

Table 7. Effect of Changzhao Reservoir on the capacity of hydro-environment of Xinchang river in different seasons (calculated according to the ideal environmental capacity value of single point COD)

功 能 区	水 期	建库前	建库后	环境容量 变化值	环境容量 变化率%
长沼以上	平	2609	2609		
	枯	477	477		
长沼~ 新昌	平	6605	5132	- 1473	- 22.3
	枯	3045	4805	1765	57.8
新昌~ 黄泥桥	平	6911	5854	- 1057	- 15.3
	枯	3214	4393	1179	36.7
黄泥桥~ 下南田	平	4355	3530	- 825	- 18.9
	枯	2028	2295	267	13.2

6 小 结

曹娥江流域水利工程的兴建, 使该流域集水面积控制了 30% 以上, 建库后年径流量略有减少, 一般减 3%~ 5%; 汛期径流量减少, 非汛期则有所增加, 河道含沙量, 普遍是建库后减少, 其中新昌江天然河道年输沙率, 仅是建库前的 1/5~ 1/10, 月均输沙率、月均输沙量都有相同的规律, 趋向均化; 非汛期的 10 月~ 12 月, 月均输沙率, 建库后接近零。

对农田生态系统具有良好影响, 农田光能利用率提高, 1988 年, 新昌农田生态系统光能利用率高达 2.3%; 生产优势度, 复合系统的稳定性均有改善, 农田生态系统趋向良性循环。对水生生态系统, 存在正负两方面效应, 库区因水面增大, 有利新的水生生态系统的建立, 提高水产品产量; 对库坝以下天然河道水生生态系统存在不利影响, 天然鱼产量下降; 系统稳定性削弱。

流域水利工程的兴建, 减少了河道水环境容量, 自净能力降低, 但对水环境容量的季节分配, 趋向均化, 汛期一般减少 15%~ 22%, 非汛期则增加, 一般增加 13%~ 57%, 对改善水环境质量有一定的作用。

参 考 文 献

- 1 何水平, 毛发新 试论曹娥江上游低山丘陵区的水土流失及其治理 地理学报 1989, 4 (2):
- 2 夏青, 孙艳, 许振成等 水环境保护功能区划分 北京: 海洋出版社, 1989 3~ 14, 84~ 95
- 3 窦贻俭, 刘育民 水环境功能分区的研究 南京大学学报 (地理学). 1984, 78~ 83
- 4 中国科学院三峡工程生态与环境科研组 长江三峡工程对生态与环境的影响及对策研究 北京: 科学出版社, 1988 33~ 56, 279~ 332
- 5 邢嘉明, 唐以剑, 徐吉康等, 京津区域生态地理环境研究 北京: 气象出版社, 1988 102~ 115
- 6 方子云 水资源保护工作手册 南京: 河海大学出版社, 1988 501~ 529
- 7 陈诚坤 水环境保护功能区划分 环境导报 1991, (6): 15~ 17

Effect of Water Resource Projects along Caoe River Basin on Ecological Environments

Dou Yijian and Yang Wu

(Department of Urban and Resources Science, Nanjing University, Nanjing 210008)

Abstract: Caoe River basin is one of the richest river basins in water resources along the shore of East China Sea, and is one of the rivers with the most frequent flood disasters. This paper is focused on the effects of water-resource projects on terrestrial and aquatic environment, especially on the carrying capacity of water environment. It has evaluated the importance of these water-resource projects in utilization of the nature water resources. It also pointed out how to prevent the side-effect of those projects. It provides important data for scientific research in the following aspects: (1) The water-resource projects influence the distribution of runoff in space and time and balance the runoff among different seasons. The suspension load, sediment discharge, and sediment flux have all been reduced by 10% to 20% in the downriver of the reservoir. (2) These projects have protected the natural botanical zone around the reservoir, changed the local climate, and improved ecological structure and functions of the local farmland. They also influenced the growth of aquatic organism which increases the productions of fishing and other aquatic products. (3) These water-resource projects have both positive and negative effects on the carrying capacity of water environment. They increased the carrying capacity during drought season while decreasing it during flood season. The tendency of balancing the carrying capacity of water environment among different seasons plays an important part in improving environmental quality.

Key words: Caoe River; water resource projects; eco-environment; carrying capacity of water environment