

钱塘江水利枢纽对鲢鱼繁殖生态 及资源的影响及其渔业对策*

朱 栋 良

(中国水产科学研究院淡水渔业研究中心, 无锡 214081)

提 要 研究中发现钱塘江梯级水电站改变了原有的生态环境, 尤其是新安江水库和湖南镇水库的周年库水替换次数分别为 0.6 和 1.3, 发电站泄出的 10°C 冷水, 破坏了暖水性鲢鱼生殖下限水温 24.5°C 的自然环境。并查明导致钱塘江鲢鱼绝迹的其他因素——流量、流速等变化。本文为阐明建立梯级水电站后, 江河生态变化的自然特征和保护有关的自然鱼类资源提供佐证。并认为引入冷水性或广温性鱼类是增殖这类水域鱼类资源的有效途径。

关键词 水利枢纽, 鲢鱼, 繁殖生态, 周年库水替换次数, 泄出冷水

水利工程具有蓄洪防涝, 保障人类生命财产安全的首要功能, 它还保证了农业灌溉, 供电和航运产生了巨大的经济效益和社会效益。但影响所及的某些严重的副作用, 也不容忽视⁽¹⁾。为使各地在兴建水利工程时能更好地兼顾相关事业(例如渔业), 发挥综合效益, 现将本研究整理成文供各方参考。

中国产的鲢鱼 *Macrura reevesii* 是名贵的暖水性溯河经济鱼类, 历史悠久。长江、钱塘江及西江均有。但是, 钱塘江鲢鱼从年产 17.5 万公斤到 1985 年未获 1 尾^{[14](2-5)}, 仅经历 51 年。研究发现, 这是由于中上游建立梯级水电站, 改变了钱塘江水域原有的生态环境, 尤其是发电泄 10°C 低温水, 破坏了坝下鲢鱼产卵群体的自然繁殖水温等所造成的⁽⁶⁾。现将此类自然特征的变化规律作系统阐述^{[3,4,8-10,12,14,15](2-4)}。

- * 1979 年参加本工作的还有邱顺林(长江水产研究所)、周汉书。本文曾于 1991 年 11 月 6—10 日在北京召开的中国水产学会第五次全国会员代表大会暨学术年会上交流。

收稿年月: 1991 年 11 月; 1992 年 5 月修改。

- (1) 西拉方·普卡斯旺, (滕永坤、陆家机译), 1987. 亚洲水库渔业管理, 49—50. 上海水产大学。
- (2) 朱栋良, 1985. 钱塘江水利枢纽对鲢鱼资源及繁殖生态的影响。杭州水产科技—“三江水产资源开发利用学术研讨会专辑”, 23—35. 38, 80.
- (3) ——, 1988. 钱塘江水利枢纽对鲢鱼繁殖生态、资源的影响及对策。国际统计生态学及其在渔业中应用专题暨第二届全国数理生态学及其应用学术讨论会论文集, 76—81.
- (4) 朱栋良等, 1983. 钱塘江水工建筑对鲢鱼产卵场影响的初步研究。中国水产科学研究院选编的水利工程与渔业资料, 105—119.
- (5) Zhu Dong-liang, 1989. Impact of water control projects on riverine ecosystems and fishery resources. Switzerland, A Selection of Projects submitted to The Rolex Awards for Enterprise 18,99.

梯级坝的建立

钱塘江全长 494 公里。解放后，该江中上游水电站迅速建立。该水系和水库位置示意参见图 1。

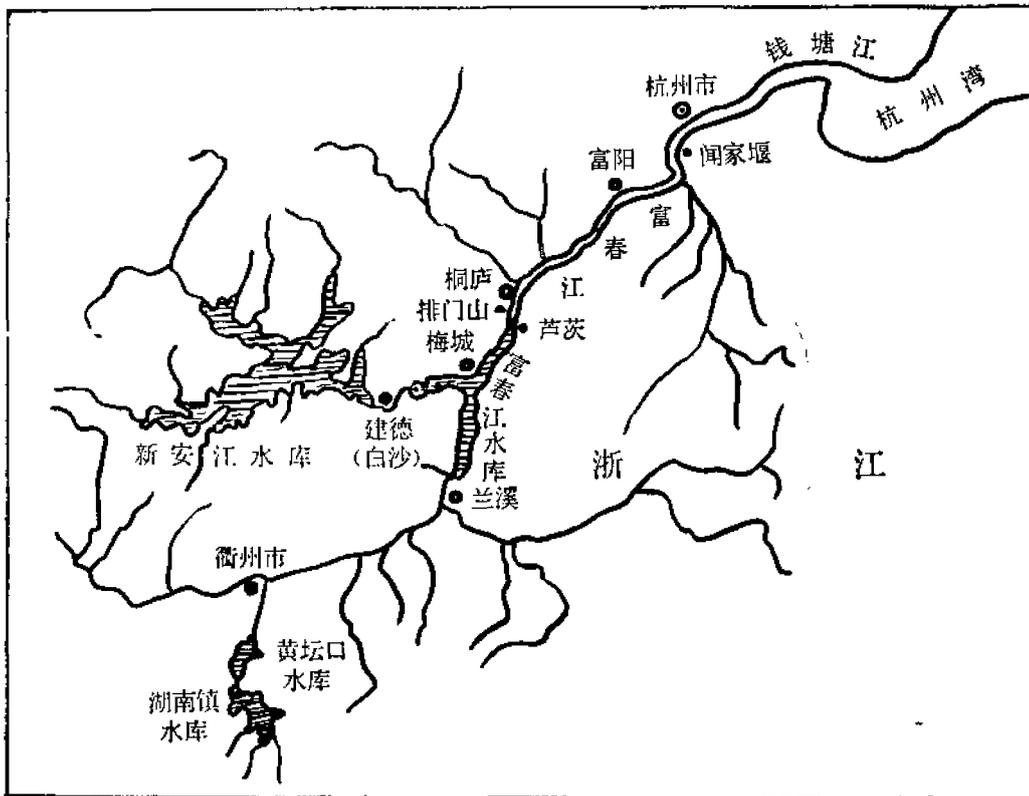


图 1 钱塘江梯级坝和原排门山江段鲢鱼产卵场示意图

Fig. 1 An illustrative sketch of steps hydroelectric stations of Qiantang

River and spawning ground of *Macrura reevesii* of Paimenshan River Sector

新安江大坝位于浙江省建德县，1959 年 10 月建成，最大坝高 105 米，坝上建有 9 孔溢洪道，总库容 178.4 亿立方米。水电站第一台机组于 1960 年 4 月发电，现有 9 台机组，发电泄水量在 200~1000 秒立方米。

富春江大坝位于浙江省桐庐县，1968 年 12 月合拢蓄水，最大坝高 47.7 米，坝上设有 17 孔溢洪道，库容 4.4 亿立方米。水电站第一台机组于 1968 年 12 月 25 日投产，1977 年 5 台机组投产，每台发电最大泄水量为 500 秒立方米。

此外，上游先后建立黄坛口水库，湖南镇水库和支流上星罗棋布的地方小水电，总蓄水超过 20 亿立方米。

建坝后鲥鱼产卵群体的繁殖生态变化

(一) 富春江大坝阻割鲥鱼的洄游通道

以往历年春末夏初, 鲥鱼由东海进入钱塘江上溯到排门山一带生殖。建坝前上游兰溪县 1957 年产鲥年产 2000 公斤、衢县年产 150 公斤, 富春江坝建成, 鲥鱼上溯受阻。

(二) 鲥鱼繁殖期入海淡水量的变化

1. 繁殖期的入海淡水量减少

(1) 新安江 统计坝下 2.5 公里的罗桐埠 1948—1976 年(部分缺)的流量资料, 表明建坝前 5—7 月的平均流量占全年的 54.5%, 建坝后降到 27.3%, 减少 27.1% 水量入富春江。

(2) 富春江 全年水源的三分之二来自兰溪上游, 三分之一来自新安江。富春江坝为钱塘江中游的末级拦洪坝, 统计芦茨埠 1950—1968 年(部分缺)和富春江电站 1969—1976 年的流量资料, 表明建坝后 5—7 月总平均流量比建新安江坝前减少 6.9%(七分之一)水量入海。这不利诱鲥上溯。

2. 流量波动剧烈 富春江坝下洪水期泄洪时流量曾高达 11900 秒立米, 不发电时几乎为零。

(三) 梯级削洪影响产卵场的流速

1. 芦茨埠发洪的水位变化 梯级水库具多级拦洪蓄水功能, 故在 4—6 月代表中上游洪水的芦茨埠的洪水强度已由建坝前平均每次上涨 4.08 米, 至建坝后减少到 1 米。这将影响产卵场的流速。

2. 产卵场的实测流速 产卵场有深潭急流, 也有浅滩缓流。鲥鱼出现产卵高峰时的流速在 0.6—1 米/秒。建坝前发洪时产卵流速 1.07—1.5 米/秒, 涨落 3—4 天, 或更长时间。1979 年我们实测平均流速 0.44 米/秒, 变幅在 0.16—1.14 米/秒, 仅二天超过 1 米/秒, 这不包括傍晚至清晨停机不发电, 故比实际流速偏高。产卵场流速的减小不利于刺激鲥鱼性腺发育成熟, 也不利于性成熟的喜流性的鲥鱼在傍晚 18—20 点生殖高峰时间进行繁殖活动及半浮性的鲥鱼受精卵需在流水中孵化出苗。这是影响之三。

(四) 繁殖期新安江排泄低恒温水使产卵场水温下降

鱼类为变温动物, 其体温随环境温度变化而变化。鱼类的性成熟、产卵排精、孵化出苗和鱼苗的正常发育受水温制约, 鲥鱼正常生殖水温在 24.5—32°C。坝下产卵场的水温受库内泄水影响, 库内水温取决于气温和源流诸因素, 而水库深层水温变化却与库的本身特点, 即库容、入库水量等有关, 一般划分为分层型和混合型。分层型出现在库大流缓的水库, 高坝深库中的库水产生层留部分和滞留部分, 由于受气温和光照的影响, 使水温产生垂直方向的密度梯度变化, 导致不同季节上下水温循环有别, 形成分层, 尤其在夏季, 分

层明显,上层为密度小的暖水,深层为密度大的低恒温水,即从垂直面可划分为较暖的表水层、降温的温跃层和低恒温的深水层。混合型水库是因为库内流急掺混强,库水在库内滞留时间短,这类水库,在一年中库水的垂直水温变化趋于一致。据国外对水库流态理论研究⁽⁶⁾,水库流态决定水库水温的分布结构,则影响发电下泄水的温度。它可通过库水替换次数 α 和 β 值作判断: $\alpha = \frac{C}{W}$, $\beta = \frac{D}{W}$ 。

式中, α —库水周年替换次数;

β —库水一次洪水的替换次数;

C —年总入流量(亿立方米);

D —一次洪水入流量(亿立方米);

W —总库容(亿立方米)。

按现有资料分别揭示两种类型水库的水温结构,当 $\alpha < 10$ 时,库内水温为稳定的分层型;若 $\alpha > 20$,则为混合型。分层型水库如遇 $\beta > 1$ 的大洪水,可暂时转为混合型; $\beta < 0.5-1$ 的洪水,对分层无明显影响;而 $\beta \ll 1$ 的小洪水,则对分层几乎无影响。以下分别论述。

$$1. \text{ 新安江 } \alpha = \frac{105.1}{178.4} = 0.59$$

$$\beta = \frac{49.9}{178.4} = 0.28$$

式中,105.1为1959年至1980年的年平均总入流量;

49.9为1973年5月分的入流量,即建库后最大入流量的月分;

178.4为正常高水位下水库库容。

以上计算结果的数值表明新安江水库库大流缓,滞留明显,水温结构为稳定的分层型,即使在一次大洪水后,水温分层不受影响。在鲢鱼繁殖季节新安江库水温度的垂直变化见表1。从表面0米到15米的温差以7月分相差最大为 $(15 \pm 1)^\circ\text{C}$,5、6月分相差 $(8 \pm$

表1 1963年5—7月,新安江大坝点水温($^\circ\text{C}$)的垂直变化

Table 1 In May-July, 1963. The vertical change of the water temperature($^\circ\text{C}$) of the Xinan River Reservoir large dam place

月 日	水深 (米)									
	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45
5月1日	19.6	14.4	13.0	12.0	11.2	10.2	10.0	9.8	9.8	9.8
6月1日	20.8	21.4	16.6	12.0	11.2	10.5	10.0	9.8	9.8	9.6
7月1日	31.0	27.0	22.0	16.5	14.4	12.0	10.2	10.2	10.0	10.0

$1)^\circ\text{C}$, 25米以下均保持 $(10 \pm 0.5)^\circ\text{C}$ 。新安江发电取水下17—30米左右,正处于温跃层和深层的低恒温水之间。因此,在6—7月分,冷水通过涡轮机下泄。比较罗桐埠在建库

(6) 长江水源保护科学研究所等,1981。“大型水利工程环境影响”译文集。

前 1955—1959 年和建坝后 1963—1965 年的水温变化(图 2)。结果表明在 6—7 月, 建坝前坝下罗桐埠江段多年的月平均水温 26.2—30.8°C, 建坝后降到 13.9—15.1°C, 尤以 7 月分比建坝前降低 15.7°C, 下泄的冷水直接影响到富春江。

$$2. \text{富春江 } \alpha = \frac{307}{4.4} = 69.7$$

式中, 307 为 1969 年至 1976 年的平均年总入流量; 4.4 为正常高水位下水库库容。

由 α 值表明富春江水库是流急掺混强的混合型水库, 该库不泄冷水, 而今富春江坝下的水温升降主要受兰溪上游和新安江下泄冷水掺混后的变化而变化。统计芦茨站(富春江建坝后移至坝下, 即沙湾水文站) 1957—1980 年(部分缺)水温资料(图 3)。表明建新安

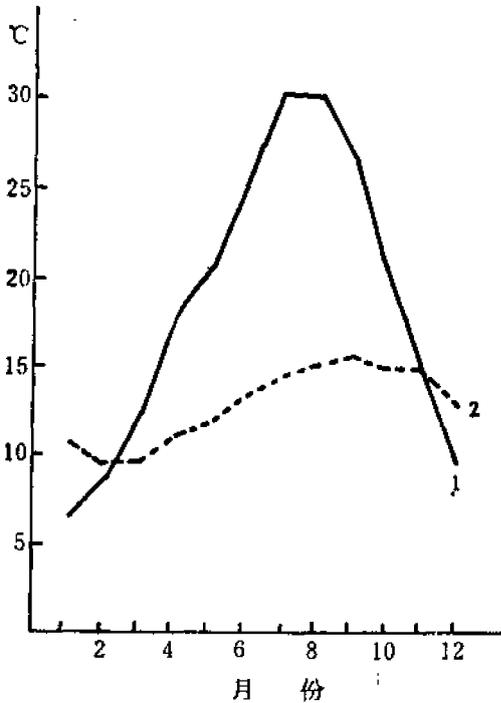


图 2 新安江电站建造前后罗桐埠的逐月平均水温

Fig. 2 The monthly average water temperature of Luotongfu before or after the construction of Xinan River Hydro-power Station

1—建坝前; 2—建坝后

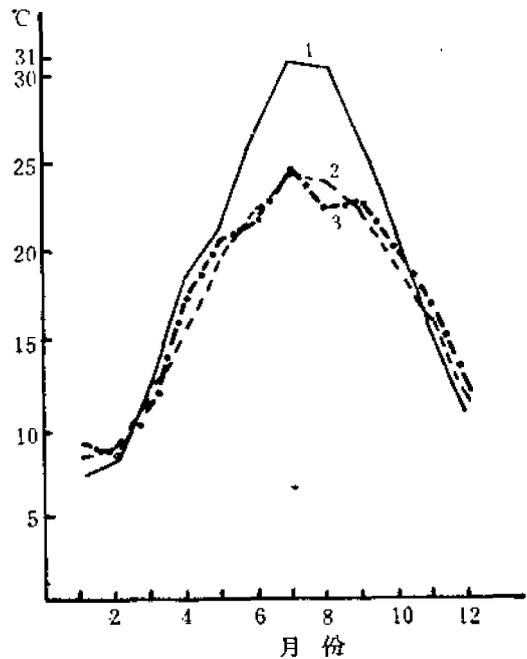


图 3 富春江电站建造前后芦茨站、沙湾水文站的逐月平均水温

Fig. 3 The monthly average water temperature of Lucu Station and Shawan Station before or after the construction of Fuchun River Dam

1—建新安江水库前; 2—建新安江至富春江水库之间; 3—建富春江水库后沙湾水文站

江水库前, 6—7 月分产卵场上游附近的月平均水温在 25—30°C, 但建坝后, 下降到 22—25°C, 这股降温的水流就影响到鲢鱼产卵场。

3. 产卵场的实测水温 1979年,我们调查测定坝上坝下水温列于表2,可见水温仍偏低的混舍水流经富春江电站下泄可影响到富阳、直至闻家堰。因此,产卵场的逐日平均

表2 1979年6—7月,富春江水库坝上、坝下各点实测水温(°C)变化

Table 2 In June-July, 1979, The actual measured water temperature(°C) in the places above or beneath dams in the Fuchun River Reservoirs

水 地 点	日 / 月		15	16	19	21	22	23	24	25	26	27	29	30	1	2	3	4	5	
	温(°C)		VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI	VI	VII	VII	VII	VII	VII	VII
闻家堰								27.3	26.6											
富阳					25.4			27.2	26.2											
窄溪						25.5		25.6	23.0			23.8								
桐君山						24.0	26.6		23.4	24.4	24.9		23.2		24.2					
放马洲					24.8															
排门山(下)	24.0	21.8			21.6	24.2				23.3	24.5	23.8	23.2	23.2	24.0	24.0				24.4
排门山(上)		21.2											22.8			23.6				
溜江滩					21.6						24.2									
塘字洲	21.3												23.2		23.0					
沙湾																				
七里浣坝下																	24.8			
七里浣坝上																	27.4			24.6
芦茨埠										27.0							27.4			25.2
子陵滩										27.0										
梅城																	31.4	30.0		26.6
白沙																	20.6	20.4		
兰溪																			32.6	30.7

水温则偏低,实测情况从表3可见,调查期产卵场日平均水温在20.8—25.4°C,6月分的

表3 1979年6—7月,排门山江段逐日平均水温(°C)

Table 3 In June-July, 1979, The daily average water temperature(°C) of the Paimenshan River Sector

日 期	6月13	14	15	16	17	19	20	21	22	25	26	27	28	29	30	7月1	2	3	5	6
水 温	20.8	21.7	23.2	23.6	23.0	22.5	24.0	22.6	24.2	23.2	24.5	23.8	24.6	23.7	23.0	23.5	24.0	24.2	24.4	25.4

月平均水温23.1°C与历史上同期22.3°C接近,显然排门山产卵场原鲢鱼正常产卵水温25—30°C遭破坏,这是影响之四。上述这些影响,使亲鲢性腺难于成熟,1979年测定雌鲢的成熟系数在10.00—20.83,性腺均是IV,未产卵。

建坝前后鲢鱼资源的变化

1. 生殖群体的组成变化 建坝前陆桂等调查⁽⁷⁾, 1958年的年龄组成为3—9龄、体长32—63.9厘米、体重0.95—4.95公斤;建坝后我们测定, 1979年的年龄仅3—4龄、体长40—52厘米、体重0.7—2.4公斤。年龄组限缩小, 规格小型化, 这些信号, 表明钱塘江鲢鱼资源在1979年已趋绝迹。

2. 产卵场的卵和苗的数量、分布密度变化 1963年6月7日—7月27日, 上海水产学院在桐君山捞卵, 平均实网71.8粒/小时, 总获量3920(卵+仔鲢);流动点在河湾—青江口平均实网18粒/小时, 总获量176(卵+仔鲢)。1979年6月11日—7月7日, 我们张网98次, 无论定点或流动点均未捞到鲢鱼卵和苗, 足见资源衰竭。

3. 建坝前后产量变化 确实, 钱塘江鲢鱼汛从有到无, 有一个波动过程, 其历史上全江产量, 建坝前最高产量1934年17.5万公斤;建坝后最高产量1962年约4万公斤。以后时高时低, 降到1979年只有262.5公斤, 1981年270.5公斤, 1982年60公斤, 1983年35公斤, 1984年只起水4条, 不足5公斤, 而1985年未获1条。产量兴衰之变在主要产鲢区桐庐县、窄溪渔业队和富阳一带是很明显地趋于同步性, 新安江建坝前, 如桐庐县年产鲢鱼在5000公斤上下波动, 最高产量1955年达9000公斤, 资源相对稳定。新安江建坝后的起初五年内产量无明显变化, 这仅是建坝前资源稳定的暂时持续;此后产量忽高忽低, 最低的1967年只有700公斤, 显示了鲢鱼资源受影响已不稳定;1977年后仅在几十公斤的极低产量中波动了数年, 直至最近几年未捕获过。

讨论和建议

1. 综观上述, 特别是对坝下水温的影响, 新安江的冷水及1977年富春江电站5台机组投产, 更使发电调峰的下泄底层水增多(当表层受强光吸热, 则该库的底层水温略低于表层, 见表2)。近年作者对上游湖南镇水库调查^{[7](8)}, 该库1979年12月30日第一台机组投产, 1980年10月22日四台机组投产, 水库最大坝高129米, 为华东电网最高坝。湖南镇大坝的建成, 在大坝上游被提高了上百米水位的汪洋碧波, 形成了一个4000多公顷水面的水库。

$$\text{今计算该库的 } \alpha, \quad \alpha = \frac{20.10}{15.82} = 1.3.$$

式中, 20.10为1979年至1984年的年平均总入流量;

15.82为正常高水位下水库库容。

以上数值表明发电从百米高坝深处涌出的也是冷水。1990年5月14日下午, 作者在离大坝1公里多的水电厂出水口实测水温为13.1°C(当地气温28°C), 冷水流经25公里左右到黄坛口坝下时测得的水温仍偏低, 作者于1991年8月16日下午在黄坛口水电厂

(7) 陆桂等, 1964。钱塘江鲢鱼的自然繁殖及人工繁殖, 上海水产学院论文集(单印本)。

(8) 华东电业管理局, 1985。一般概况表和湖南镇水电站。华东电网水电厂(站)运行手册; 2--21和91--115。

出水口实测水温为 21.2°C(当地气温 31°C), 这股新增的冷水入富春江, 进一步促使产卵场水温低于鲟鱼生殖下限 24.5°C。鲟鱼生殖群体的自然繁殖生态彻底破坏, 钱塘江鲟鱼业遭殃。

2. 水资源与水域内特定的自然鱼类均为再生资源, 并是统一体, 同属人类财富, 建立梯级水电站, 对渔业影响甚大, 而今通过发电泄冷水对暖水性的鲟鱼影响的专项调查研究, 认识了此类相关性, 可采取相应对策, 缩小影响, 发挥水库的最佳生态效益、社会效益和经济效益。因此, 在产暖水性或温水性鱼类的江河上构筑梯级坝, 前车可鉴, 特提出以下建议。

3. 建议

(1) 对已建或待建的水库与电站, 应大力发展或规划水库渔业, 并在库区和坝下引进广温性或冷水性鱼类新品种, 进行增殖, 网拦库湾或网箱精养试验, 并在冷水区附近因地制宜地开办冷水性鱼类特种养殖场, 进行冷水流水法养殖冷水性品种。如新安江水库建成后, 径流量由调洪发电需要而定, 因此, 形成坝下流速减慢, 终年较稳定, 汛期在坝下 3 公里回水区的流速仅为每秒 0.2 米; 水位落差也减小, 新安江坝下江段最低水位比建坝前高 1 米, 无枯水期; 尤其是坝下一定范围内形成特定的冷水区, 坝下 15 公里, 约 340 公顷水面的水温终年在 20°C 以下, 流量充足, 水草茂盛, 小鱼虾甚多, 具备了冷水性养殖品种得天独厚的生态条件, 网箱养殖虹鳟已获成功, 此外还可引进哲罗鱼、池沼公鱼、梭鲈和狗鱼等品种。

(2) 对于流上有名贵经济鱼类的主要产卵场, 而流域内支流众多的江河上, 不在于流上建泄冷水的水库, 重点开发支流上不泄冷水的小小电站。如江西赣江中游峡江江段的长江鲟鱼产卵场上不建泄冷水的电站, 以开发支流上不泄冷水的小水电站为佳, 这对保护回归“故乡”产卵的长江鲟鱼最大产卵场的繁殖生态有其深远意义和价值^[9]。虽说长江水系源远流长及长江鲟鱼的洄游情况复杂, 非钱塘江可比拟, 但保护原始产卵场皆为保护自然鱼类资源之上策。

(3) 对于流上建坝, 库水周年替换次数(α)的值, 有较大选择幅度者尽量取 $\alpha > 20$ 。例如长江三峡工程, 免建泄冷水的 200 米以上方案, 这对保护坝下多种鱼类的产卵场和资源是至关重要的。

参 考 文 献

- [1] 《中外文摘》, 1992。毛泽东与三峡工程。文汇报, (1月15日): 7。
- [2] 王葆纯, 1991。兴建三峡工程的条件已具备。光明日报, (No. 15368): 1。
- [3] 长江四大家鱼产卵场调查队, 1982。葛洲坝水利枢纽工程截流后长江四大家鱼产卵场调查。水产学报, 6(4): 287—306。
- [4] 刘乐和等, 1979。赣江鲟鱼产卵场调查。淡水渔业, (3): 6—10。
- [5] 刘国水等, 1988。三峡工程论证领导小组副组长兼技术总负责人潘家铮谈三峡工程。北京科技报, (9月7日): 3。
- [6] 朱栋良, 1984。钱塘江鲟鱼绝迹悲剧不应重演——对保护长江鲟鱼产卵场提出建议。文汇报, (6月8日): 1。
- [7] ——, 1991。钱塘江上梯级坝中最高的小水电站大坝——湖南镇水库大坝。科学养鱼, (1): 29。
- [8] 朱成德, 1986。挽救鲟鱼 刻不容缓。江苏水产科学, (2): 20—22。
- [9] 邱顺林等, 1982。鲟鱼人工受精及孵化的初步研究。淡水渔业, (6): 1—3。
- [10] 陈敬存, 1984。水利建设中渔业增殖技术研究的趋向和任务(一)。水库渔业, (3): 8。

- [11] 郑北鹰,1992。兴建三峡工程是我国人民的长期愿望。光明日报,(No. 15384):3。
- [12] 易伯鲁等,1964。长江家鱼产卵场的自然条件和促使产卵的主要外界因素。水生生物学集刊,(1):1-15。
- [13] 哈秋龄,1989。三峡工程利与弊(上、下)。北京科技报,(Nos. 1153,1155):3。
- [14] 栗运华,1987。新安江大坝对渔业生产影响的回顾和评价。水产科技情报,(2):11-13。
- [15] 曹文宣,1983。水利工程与鱼类资源的利用和保护。水库渔业,(1):13-14。

THE EFFECTS OF THE QIANTANGJIANG RIVER KEY WATER CONTROL PROJECT ON THE BREEDING ECOLOGY AND RESOURCES OF *MACRURA REEVESII* AND ITS FISHERY COUNTERMEASURES

Zhu Dongliang

(Freshwater Fisheries Research Center of CAFS, Wuxi 214081)

ABSTRACT In this paper the main reason of the extinction of *M. reevesii* was established. The fact is that the stepped hydropower stations have changed the original environmental conditions of Qiantangjiang River especially the conditions of Xin'anjiang River reservoir and Hunanzhen reservoir, from which the temperatures of annual reservoir water exchange values are 0.6 and 1.3 respectively and the sluiced cold water is 10°C, thus the natural environmental conditions of the limited water temperature for *Macrura reevesii* were destroyed.

The research of this project has provided a scientific basis for expounding the natural characteristics of *Macrura reevesii* as well as the countermeasures to the project. Introducing cold-water fish species or wide temperature character fish species would be an effective way of rebuilding the fishery resources.

KEYWORDS key water control project, breeding ecology, annual reservoir water exchange value, sluiced cold water, *Macrura reevesii*