

功果桥和苗尾水电站鱼类增殖放流站设计中的关键技术研究

施家月¹, 廖琦琛¹, 梁银铨², 吕 巍³, 汤优敏¹

(1. 中国水电顾问集团华东勘测设计研究院,浙江 杭州 310014;
2. 水利部中国科学院水工程生态研究所,湖北 武汉 430079; 3. 环境保护部环境工程评估中心,北京 100012)

摘要:鱼类人工增殖放流是水电工程建设中鱼类资源保护与恢复的有效手段,正逐步应用于我国大、中型水电工程项目的生态环境保护。以功果桥和苗尾水电站鱼类增殖站设计为例,概述了鱼类增殖站的工艺设计流程,初步探讨了增殖放流规模、亲鱼数量和各类培育设施参数的确定等关键技术问题,并对今后的研究方向提出了建议。

关键词:增殖放流站;设计;关键技术;功果桥水电站;苗尾水电站

中图分类号:S953 **文献标志码:**A **文章编号:**1674-3075(2009)06-0051-06

我国水能资源开发正处于迅速发展阶段,根据《可再生能源发展“十一五”规划》,到2010年,全国水电站装机容量达到1.9亿kW(国家发展和改革委员会,2008)。然而,水电工程大坝阻隔以及工程兴建后坝上、坝下水文形势的改变,不可避免地对开发河段鱼类的栖息、繁殖生境及其资源产生影响。人工增殖放流作为补偿水电开发造成鱼类资源衰退、保护珍稀濒危鱼类种群延续以及补充经济鱼类资源的一种重要手段,在水电工程建设的生态环境保护中越来越受到重视(危起伟等,2005; Aprahamian et al, 2003; Molony et al, 2003)。相比我国水电工程建设进程,水电站专门建设鱼类增殖放流站的工作起步较晚,进入运行的主要有20世纪80年代初建成的葛洲坝中华鲟人工繁殖研究所以及最近相继建成的向家坝、索风营、瀑布沟以及公伯峡等水电站鱼类增殖站等。

功果桥和苗尾水电站均位于云南省云龙县境内,功果桥水电站是澜沧江中下游河段规划梯级的第一级,苗尾水电站是规划中澜沧江上游河段开发的最后一个梯级电站,两电站首尾相接。根据环境保护部对已建功果桥水电站环境保护要求,功果桥水电站应与上游苗尾水电站在旧州业主营地内合建1座鱼类增殖站,以满足2个电站鱼类增殖放流的需要。目前,该鱼类增殖站已完成初步设计工作(中国水电顾问集团华东勘测设计研究院,2009)。

本文以功果桥与和苗尾水电站鱼类增殖放流站设计为例,结合对我国已建鱼类增殖站运行情况的初步调研,就鱼类增殖站设计中若干关键技术问题

进行初步探讨,旨在为我国水电工程鱼类增殖放流站设计提供技术依据。

1 增殖放流站设计中的关键技术问题

1.1 鱼类增殖放流站设计工艺流程

增殖放流站的主要工作任务为通过对开发河段野生亲本的捕捞、运输、驯养、人工繁殖和苗种培育,对放流苗种进行标志(或标记),建立遗传档案,并实施增殖放流。

根据鱼类增殖放流站工作任务,其设计工艺流程主要为增殖放流规模确定、亲鱼收集购置、亲鱼驯养培育、人工催产和授精、人工孵化、苗种培育和放流、放流效果监测、调整生产规模和方式。鱼类增殖站设计工艺流程见图1。

1.2 增殖放流规模的确定

我国目前尚无针对水电工程开发而制定的增殖放流规模确定标准和规范,水电工程建成后形成库区增殖放流规模可参照水利部(1994)发布的《水库渔业设施配套规范》(SL95-94)中放养规模的确定方法,但该规范主要针对库区渔业养殖,水电工程实施增殖放流属于补偿性放流。因此,增殖放流规模应远小于规范中确定的放养规模,需要依据放流对象的生物学特性及放流水体生态环境特点,在规范中确定放养规模的基础上进一步明确。

1.2.1 水库水面等级划分

1.2.1.1 养鱼面积的确定 水库养鱼面积与养鱼水位密切相关。一般情况下,设计养鱼水位为死水位至设计正常蓄水位之间2/3高程处的相应水位,与设计养鱼水位相对应的水面面积称为核定设计养鱼面积,新建水库的养鱼面积应采用核定设计养鱼面积,见图2。

收稿日期:2009-10-29

作者简介:施家月,1981年生,男,安徽庐江人,主要从事水利水电工程环境影响评价和环境保护设计工作。

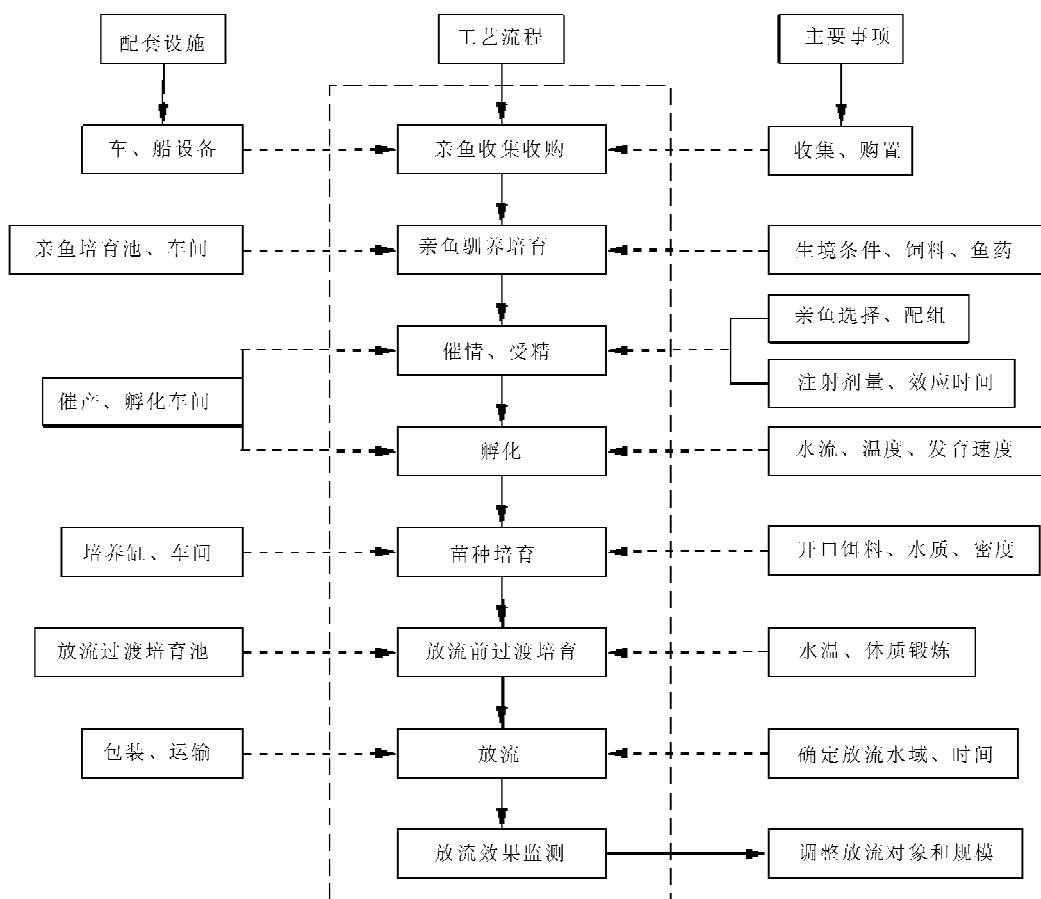
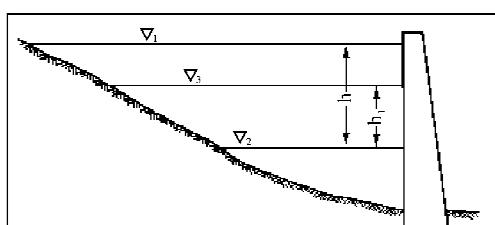


图1 鱼类增殖站设计工艺流程

Fig.1 The design process of fish hatchery structure



∇_1 —设计正常蓄水位, ∇_2 —死水位, ∇_3 —设计养鱼水位, h —死水位至设计正常蓄水位之间的高程, h_1 —死水位至设计养鱼水位之间的高程, $h_1 = 2/3 h$

图2 水库设计养鱼水位示意

Fig.2 The reservoir water design level of breeding fish

根据功果桥和苗尾水电站设计正常蓄水位和死水位, 2电站设计养鱼面积分别为 12 km^2 和 15 km^2 , 见表1所示。

表1 水库设计养鱼面积

Tab.1 The reservoir design area of breeding fish

水电站	正常蓄水 水位/m	死水位/ m	设计养 鱼水位/m	设计养鱼 面积/ km^2
功果桥	1 307.0	1 303.0	1 305.7	12
苗尾	1 408.0	1 398.0	1 404.7	15

1.2.1.2 水面等级划分 根据水库水面等级划分

(表2), 功果桥和苗尾水电站水面等级均为Ⅱ级。

表2 水库水面等级划分

Tab.2 The grade of reservoir surface

水面等级	I	II	III	IV
养鱼面积/ km^2	> 100	10 ~ 100	1 ~ 10	< 1

1.2.2 鱼种投放量确定

1.2.2.1 成鱼产量 水库养鱼的产量可根据表3进行估算, 功果桥和苗尾水电站建成后形成库区养鱼产量为 $150 \sim 300 \text{ kg}/\text{hm}^2$ 。

表3 水库养鱼产量估算

Tab.3 The estimate of fish output in reservoir

水面等级	I	II	III	IV
鱼产量/ $\text{kg} \cdot \text{hm}^{-2}$	75 ~ 150	150 ~ 300	300 ~ 600	> 600

1.2.2.2 鱼种投放 投放水库的鱼种体长一般为 $10 \sim 12 \text{ cm}$, 即 $35 \sim 40 \text{ 尾}/\text{kg}$, 鱼种投放量可按下式进行计算:

$$A = W/K$$

式中: A —水库鱼种投放量 (kg/hm^2); W —水库计划产鱼量 (kg/hm^2); K —鱼种放养效益 (Ⅱ级水面可取 8)。

通过以上公式,可分别计算功果桥水电站和苗尾水电站水库建成后鱼种投放量(按照库区渔业养殖计算值),见表4。2座水库年放养量合计为180万~200万尾。

表4 水库鱼种投放量计算

Tab. 4 The compute of fingerling in reservoir

水电站	成鱼产量/ kg·hm ⁻²	鱼种投放量/ kg·hm ⁻²	设计养鱼 面积/km ²	年投放量/ 万尾
功果桥	150	18.75	12	80~90
苗尾	150	18.75	15	100~110

1.2.3 增殖放流规模确定 计算出来的水库放养量是为了合理利用库区渔业资源、提高渔业产量。放养品种为具有良好生产性能、适应水库饵料生物基础的增殖对象,不要求一定能够形成繁殖的种群,故鱼种投放量比较大。而水电工程鱼类增殖放流属于补偿性放流,多为珍稀特有物种,对生境要求较高,其主要目标是为了促进形成自行繁衍的种群,增殖放流量需要依据放流对象的基础生物学特性和水库形成后生态环境条件以及鱼类自我繁衍能力进一步确定,一般不进行回捕。因此,增殖放流规模应远小于渔业养殖放流规模。我国水库的放养多以青鱼、草鱼、鲢、鳙四大家鱼为主。就放养水库渔获物统计分析的结果看,除四大家鱼外,其它天然鱼类产量多占水库渔产总量的10%~30%。因此,放流规模可在水库放养量的10%~30%根据实际情况灵活掌握。

根据功果桥和苗尾水电站增殖放流要求,工程近期放流对象主要为后背鲈鲤、灰裂腹鱼、澜沧裂腹鱼和光唇裂腹鱼4种鱼类。这些鱼类对流水环境依赖程度较高,水库形成后流水生境萎缩较为严重,适应生境有限;但均为产粘沉性卵的鱼类,库尾和支流仍具有其繁殖的条件,能够形成一定规模的自我繁殖种群。因此,放流规模不低于水库放养量的下限10%,即总放流量为18万~20万尾。一般水库放养为了提高成活率,往往投放鱼种规格为10~12cm,考虑到2座水库位于澜沧江中上游,肉食性鱼类比较少,且为新建水库,放流小规格鱼种也可能获得较高的成活率,确定2座水库总放流量为33万尾,其中10~12cm鱼种年放流7万尾,3~5cm鱼种年放流26万尾,根据建库前渔获物捕捞情况,各种鱼类放流量见表5。

1.3 亲鱼数量确定

雌性亲鱼理论需求量由平均产卵量、催产率、受精率、孵化率以及幼鱼成活率等因素来计算确定的,再根据雌雄性比,可计算出雄性亲鱼理论需求量。

计算公式如下:

$$\text{雌性亲鱼理论需求量} = \text{放流量} / (\text{平均产卵量} \times \text{催产率} \times \text{受精率} \times \text{孵化率} \times \text{幼鱼成活率})$$

$$\text{雄性亲鱼理论需求量} = \text{雌性亲鱼理论需求量} \times \text{雌雄性比}$$

表5 功果桥和苗尾水电站增殖放流规模

Tab. 5 The scale of Fish hatchery in Gongguoqiao & Miaowei hydropower station

种类	鱼种全长/cm	年放流量/万尾
光唇裂腹鱼	3~5	10
	10~12	2
澜沧裂腹鱼	3~5	8
	10~12	1
灰裂腹鱼	3~5	8
	10~12	1
后背鲈鲤	5~10	3
合计		33

雌性亲鱼的平均产卵量由鱼类生殖力决定,其多少与种类、年龄、个体大小、营养状况等不同种类亲鱼繁殖生物学特性相关;而催产率、受精率、孵化率以及幼鱼成活率等因素与鱼类繁育技术关系密切。影响鱼类催产率的因素主要包括鱼类的种类、亲鱼的成熟度、催产时水温等环境条件、催产方式、催产药物的种类和剂量等;影响鱼类受精率的因素主要包括雌雄亲鱼的比例、卵细胞的发育、精子的活力、水温等;影响鱼类孵化率的因素主要是水温、水体溶氧等环境条件;影响幼鱼培育成活率的主要因素包括水温、水体溶氧、食性转化期的开口饵料及驯食、养殖密度、病害防治等。

目前,由于功果桥和苗尾水电站鱼类增殖站的4种增殖放流对象繁育技术不成熟,因此只能根据鱼类繁殖生物学特性,借鉴相似鱼类人工繁殖的经验,初步设定催产率、受精率、孵化率和幼鱼成活率等设计参数。鱼类人工繁育初期一般催产率和受精率较低,孵化率和出膜率主要依赖管理,管理得当是可以获得理想效果;苗种培育比较理想的成活率70%~80%。为此,本增殖放流站设计暂时设定各种鱼类的催产率60%、受精率70%;孵化率75%、出苗率80%,幼鱼成活率42.19% (指由鱼苗培育到放流规格幼鱼3个阶段的总成活率,每个阶段成活率75%)。

鱼的种类不同,其平均怀卵量和平均产卵量也不同,而且产卵量受亲鱼成熟度和外界环境等条件的影响。据相关研究资料,近期放流对象光唇裂腹鱼、澜沧裂腹鱼、灰裂腹鱼以及后背鲈鲤平均产卵量分别为5万粒、1万粒、1万粒、1万粒。根据近期增

殖放流的数量、鱼类的平均怀卵量、平均产卵量、催产率、受精率、孵化率和幼鱼成活率,推算出达到放流规模所需要的各种成熟雌性亲鱼数量。自然产卵和受精雌雄亲鱼的性比为1:1.5,如采用人工授精方法,雌雄亲鱼的性比可以为1.5:1,自然水域鱼类分布的性比一般为1:1。本增殖站设计拟采用1:1的性比。由此可以推算出各种鱼类所需亲鱼理论需求量为466尾,具体见表6。

表6 各种鱼类的所需亲鱼理论需求量 尾
Tab.6 The theory requirement of parent fish

种类	雌亲鱼	雄亲鱼	亲鱼总数
后背鲈鲤	5	5	10
光唇裂腹鱼	90	90	180
澜沧裂腹鱼	69	69	138
灰裂腹鱼	69	69	138
小计	233	233	466

由于不可能所有后备亲鱼在培育过程中均能达到性成熟,并且这4种鱼的亲鱼培育需有个探索过程,所培育的后备亲鱼中只有部分亲鱼能用于催产;同时,在增殖站实际运行过程中,鱼类人工繁殖受到气候、水体理化条件、亲鱼培育、催产方法、孵化及培育方式等多种因素和多个环节的影响,往往会因为某一步骤的疏忽或技术掌握及熟练程度等影响,导致整个生产计划的落空。因此,为应对养殖风险以及特定技术风险,后备亲鱼的储备以及亲本的新老更替将是鱼类人工繁殖工作的一个重要环节,在实际操作中,驯养亲鱼数量也是远远大于理论值。增加亲鱼及后备亲鱼数量可有效降低上述风险,但当

重大意外或失误出现时,可在它处紧急调运鱼类亲本。后备亲鱼数量应根据增殖放流站前几年的试运行经验来确定。

1.4 各类培育鱼池规模及生产安排确定

根据鱼类增殖放流技术工作流程,增殖放流站主要建(构)筑物包括亲鱼培育池、催产孵化及开口苗培育车间、鱼苗和鱼种培育车间、室外鱼种培育池、防疫隔离池、活饵培育池、试验室以及展示室、综合办公以及科研设施以及其他配套建筑物。

由于不同养殖对象在生物学以及生态学方面存在较大的差异,结合各种鱼类的特点,同属一科的鱼类生活习性较为接近,可同池混养,其余鱼类应进行单养,鱼池使用方式可根据实际养殖情况和鱼类的生活习性自行调整。根据放流规模,并考虑鱼类个体、生活习性和繁殖特性以及鱼池放养密度等因素,计算得出所需各类鱼池面积,从而确定其规格尺寸。近期放流4种鱼类的鱼池设计规格、亲鱼和放流鱼种年度生产安排见表7~表10。各类鱼池设计规格超高均为0.2 m。

表7 鱼类增殖站受精卵生产量计算

Tab.7 The compute of germ cell output

放流 鱼类	雌亲鱼/尾均产卵 受精率/ 催产率/ 受精卵/ 万粒				
	尾	量/万粒	%	%	万粒
后背鲈鲤	5	5.0	70	60	10.50
光唇裂腹鱼	90	1.0	70	60	37.80
澜沧裂腹鱼	69	1.0	70	60	28.98
灰裂腹鱼	69	1.0	70	60	28.98
合计	233				106.26

表8 鱼类增殖站苗种生产量

Tab.8 The compute of fish seed output

放流鱼类	受精卵/ 万粒	稚鱼/ 万尾	1.5cm 鱼苗/ 万尾	3.0cm 鱼苗/ 万尾	3.0cm 放 流量/万尾	10~12cm	
						鱼苗/万尾	放流量/万尾
后背鲈鲤	10.50	6.30	4.73	3.54	2	1.16	1
光唇裂腹鱼	37.80	22.68	17.01	12.76	10	2.07	2
澜沧裂腹鱼	28.98	17.39	13.04	9.78	7	2.09	2
灰裂腹鱼	28.98	17.39	13.04	9.78	7	2.09	2
合计	106.26	63.76	47.82	35.86	26	7.40	7

表9 鱼类增殖站亲鱼生产安排

Tab.9 The plan of parent fish production

鱼池名称	规格	数量/个	面积/m ²	放养密度/kg·m ⁻²	放养量/kg
亲鱼培育池1	9 m×5 m×1.3 m	8	360	0.346	124.5
亲鱼培育池2	20 m×5 m×1.3 m	5	500	0.346	173.0
环形亲鱼池1	58 m×5 m×1.3 m	1	330	0.346	114.1
环形亲鱼池2	72 m×4 m×1.3 m	1	315	0.346	109.0
亲鱼池小计			1 505		520.6
后备亲鱼池	20 m×5 m×1.3 m	3	300	0.870	261.0

表 10 鱼类增殖站放流苗种生产安排
Tab. 10 The plan of fish seed restocking

阶段	鱼池名称	规格	数量/ 个	面积/ m ²	放养密度/ 尾·m ⁻²	使用 次数	放养量/ 万尾	产出量/ 万尾
培育至 1.5 cm	圆形开口苗培养缸	0.5 m × 0.5 m	30	24	2 130	2	10.20	7.65
	圆形开口苗培养缸	1 m × 0.7 m	40	126	2 130	2	53.56	40.17
	小计			150			63.76	47.82
培育至 3 cm	圆形开口苗培养缸	0.5 m × 0.5 m	30	24	800	1	1.17	0.87
	圆形开口苗培养缸	1 m × 0.7 m	40	126	800	1	6.12	4.59
	圆形鱼种培育池	1.5 m × 0.8 m	32	226	700	1	10.98	8.24
培育至 10~12 cm	鱼种培育池	8 m × 4 m × 1.5 m	19	608	320	1	29.55	22.16
	小计			984			47.82	35.86
	圆形鱼种培育池	1.5 m × 0.8 m	32	226	140	1	2.67	2.00
至 10~12 cm	鱼种培育池	8 m × 4 m × 1.5 m	19	608	100	1	7.19	5.39
	小计			834			9.86	7.40

由表 7~表 10 可以确定各类鱼池水体规格,同时考虑鱼类培育养殖经验,本增殖站理论上可产出 1.5 cm 鱼苗 47.82 万尾,继续培育可产出 3 cm 鱼苗 35.86 万尾,放流 26 万尾,其余继续培育,产出 10~12 cm 鱼苗 7.40 万尾,放流 7 万尾,其余用作后备亲鱼培育。

2 研究展望

2.1 合适的增殖放流规模确定方法

增殖放流规模的确定是增殖放流站建设规模的决定性因素之一,目前采用的方法是依据我国水库放养技术经验的基础上,结合水电工程建设后鱼类资源保护的需要而形成的一种经验型确定方法,主观因素影响大。迫切需要深入开展工程影响区鱼类基础生物学和生态学方面的研究,针对不同水电工程的技术参数和调度运行方式下水域生态环境特点及对鱼类资源的影响,研究探讨满足不同区域、不同特点水电工程鱼类资源保护需求的增殖放流规模确定方法。

2.2 开展相关的基础应用技术研究

增殖放流对象的基础生物学特性是鱼类增殖站设计的主要依据,由于水电工程建设主要集中于江河上游,水流湍急,交通闭塞,经济欠发达,相应的鱼类基础生物学研究相对较为薄弱,其增殖放流站的设计往往依据环境影响评价短暂的调查研究,结合相似品种的类比资料进行。因此,增殖放流站建设的针对性和有效性受到制约,建议在工程调研阶段开展增殖放流对象基础生物学及其驯养繁殖技术研究,为增殖放流站的设计、建设和运行奠定基础。

2.3 优化繁养设施工艺设计

增殖站设计中亲鱼数量确定仍是关键技术问题之一,目前仍以理论计算亲鱼数量作为增殖站设计依据,实际培育亲鱼数量有待增殖站实际运行作进一步验证和研究。

目前,大部分水电工程现场建设条件较差,用地较为紧张,增殖放流站建设规模与用地紧张的矛盾较为突出。因此,优化增殖放流站的工艺设计,充分发挥繁养设施的效能,在水电站的增殖放流站规划设计中至关重要,需要在深入开展增殖放流对象相关应用技术研究的基础上,借鉴国内外现有成熟技术,专业技术部门和设计建设部门应进行充分的沟通与协调。

参考文献:

- 国家发展和改革委员会. 2008. 可再生能源发展“十一五”规划.
危起伟, 杨德国, 吴湘香, 等. 2005. 世界鱼类资源增殖放流概况 [C]. 水电水利建设项目水环境与水生生态保护技术政策研讨会论文集.
中国水电顾问集团华东勘测设计研究院. 2009. 澜沧江功果桥、苗尾水电站鱼类增殖站初步设计报告 [R].
中华人民共和国水利部. 1994. 水库渔业设施配套规范 [S].
中华人民共和国行业标准 SL95~94.
Aprahamian M W, Martin Smith K, McGinnity P, et al. 2003. Restocking of salmonids – opportunities and limitations [J]. Fisheries Research, 62(2):211~227.
Molony B W, Lenanton R, Jackson G, et al. 2003. Stock enhancement as a fisheries management tool [J]. Reviews in Fish Biology and Fisheries, 13(4):409~432.

(责任编辑 万月华)

Key Techniques of Fish-Hatchery Designing in the Gongguoqiao & Miaowei Hydropower Station

SHI Jia-yue¹, LIAO Qi-chen¹, LIANG Yin-quan², LV Wei³, TANG You-ming¹

(1. Hydrochina Huadong Engineering Corporation, Hangzhou 310014, China;

2. Institute of Hydroecology, NWR and CAS, Wuhan 430079, China;

3. Appraisal Center for Environment & Engineering, Ministry of Environmental Protection 100012, China)

Abstract: Artificial – based fish multiplication and liberation is one of the most efficient ways for sustaining fish population, and is carrying out in the much more hydropower stations in China. In this paper, we took the Gongguoqiao & Miaowei hydropower station as an example, and aimed to briefly introduce the design process of fish hatchery. The key techniques including the multiplication and liberation size, the parent fish amounts, and the all kinds of breed facilities, were discussed, and the expected research direction was put forward.

Key words: Fish hatchery structure; Design; Key technic; Gongguoqiao & Miaowei hydropower station