

三峡水库开县水位调节坝鱼道工程设计

高大水^{1,2}, 叶俊荣^{1,2}, 朱光平³, 彭琦^{1,2}

(1. 国家大坝安全工程技术研究中心, 湖北 武汉 430010; 2. 长江勘测规划设计研究有限责任公司, 湖北 武汉 430010; 3. 重庆澎溪河流域生态环境综合整治有限公司, 重庆 405400)

摘要:三峡水库开县水位调节坝工程的兴建, 给流域内洄游性鱼类的繁殖带来不利影响, 为此, 拟修建鱼道作为沟通鱼类洄游的一项重要补救措施。首先论述了国内外现有鱼道工程的运行效果及先进技术, 并结合水位调节坝工程特点, 确定采用竖缝式鱼道型式。系统介绍了鱼道设计条件拟定、鱼道布置、池室设计、进口及诱鱼补水设计、出口结构、过鱼观测室设计及鱼道水工模型试验等情况, 提出了较为系统的鱼道设计方案。

关键词:鱼道; 透鱼; 调节坝工程; 三峡水库

中图法分类号: TV697

文献标志码: A

DOI:10.16232/j.cnki.1001-4179.2015.22.012

三峡水库正常水位为 173.22 m (吴淞高程 175 m), 每年汛期 6~9 月库水位要降到汛限水位 143.22 m (吴淞高程 145 m) 运行, 在库区形成 30 m 高差的消落区。三峡库区开县境内为人口密集的开阔平坝地形, 形成消落区面积达 45.0 km², 消落高度达 21.52 m, 其中距县城 4.5 km 的乌杨桥以上面积 24 km², 最大消落深度 18.5 m, 是三峡库区面积最大、影响人口最多的消落区。当三峡水库每年汛期降低至汛限水位运行时, 大面积的消落区将暴露在烈日的曝晒下, 各种残留物和沉渣发生腐烂, 孳生病菌、寄生虫和蚊蝇等, 有诱发传染病、瘟疫的可能, 对开县新县城及其周边 30 多万人的身体健康、居住、生产、投资及旅游等环境造成严重不利影响。为此, 在开县新县城下游 4.5 km 处兴修了三峡水库开县消落区生态环境综合治理水位调节坝工程 (以下简称“调节坝工程”)。工程建成后, 可使开县新县城区域的消落高度由 15.5~18.5 m 降为 5.0 m 左右, 结合生态建设工程, 可治理消落区 20.94 km², 占该坝址以上消落区面积的 87%。

调节坝工程位于开县丰乐镇乌杨桥、小江澎溪河段, 上距开县新县城 4.5 km, 坝址以上控制流域面积 3 198.6 km²。主体工程为闸坝, 闸坝布置从左至右分别为: 非溢流坝、鱼道、溢流坝、泄水闸、土石坝, 闸坝轴

线总长 507.00 m。其中, 泄水闸最大过闸流量为 8 438 m³/s, 共 10 孔, 单孔净宽 10 m, 闸室总宽度 153 m; 溢流坝堰顶高程 168.50 m, 共 5 孔, 单孔净宽 10 m, 坝段长为 58 m, 保持下泄生态流量不小于 20 m³/s。

调节坝工程兴建后, 使部分鱼类生活的水生态环境发生了变化, 给流域内洄游性鱼类的繁殖带来不利影响。其中有 10 处鱼类产卵场位于调节坝工程上游, 主要产卵鱼类有鲤鱼、鲫鱼、白甲鱼、青波鱼、圆口铜鱼等, 其中有国家珍稀鱼类白甲鱼, 产卵期多为 3~5 月。随着三峡水库蓄水水位的提高, 三峡水库库区鱼类上溯至各支流的可能性加大, 因此, 要求在调节坝工程修建鱼道建筑物, 以作为沟通鱼类洄游的一项重要补救措施^[1]。本文将对鱼道的设计工作作一简要介绍。

1 国内外鱼道技术调研

世界上最早的鱼道在 17 世纪建成, 但现代概念上的鱼道建筑物, 是 20 世纪随着现代水利工程蓬勃发展对鱼类资源影响日益突出的情况下发展起来的。至 20 世纪 60 年代, 美国、加拿大两国有过鱼建筑物 200 座以上, 主要采用鱼道型式, 还有少量的机械提升设备; 欧洲各国各种过鱼建筑物 100 座以上; 日本约有 35 座, 主要采用鱼道; 苏联有 15 座以上。其中比较著

名的鱼道有美国的邦纳维尔坝鱼道、加拿大的鬼门峡鱼道以及英国的汤格兰德坝鱼道等^[2-5]。1999 年美国在弗吉尼亚州詹姆斯河 Boshier 大坝上建造了垂直竖缝式鱼道,使得自 1823 年以来鱼类不能徊游的问题得以解决。1999 年共过鱼 6 万余尾,近 20 种鱼类,2000 年共过鱼 11 万余尾,近 20 种鱼类。1970 年在澳大利亚的菲茨罗伊 (Fitzroy River) 河的拦河坝建起了池堰式鱼道,由于过鱼效果较差,1987 年对其进行了改造,但过鱼效果仍未见改观。1994 年,将原来的池堰式鱼道改造为垂直竖缝式鱼道,结果过鱼量和过鱼种类都比以前有较大提高。因此,澳大利亚有关政府部门决定,逐渐将更多池堰式鱼道改造成垂直竖缝式鱼道^[5]。

我国鱼道修建较晚,1958 年富春江七里垅水电站首次提出修建鱼道,至 20 世纪 70 年代先后修建了一些鱼道,多数是建在沿海的防潮闸旁和江、湖间的闸、坝上,故底坡较缓,提升高度也不大,一般约 10 m 左右,共 40 余座,但多数鱼道过鱼效果不理想。例如浙江省富春江七里垅电站的鱼道,自建成后就从未有鱼、虾、蟹通过,不得不废弃^[2-3]。我国修建最为成功的鱼道是湖南洋塘水轮泵水电站鱼道。该鱼道于 1980 年建成,布置在枢纽的左岸,总长度 317 m,平均坡度 1:67,鱼道上下游水头差 4.5 m,为组合式隔板鱼道(孔口和堰组合),在电站尾水管顶部设有完整的厂房集鱼系统和补水系统,厂房集鱼系统设有 19 个进鱼孔。据当时观测资料显示,通过鱼道的有银鲴、草鱼、鲤鱼、鳊鱼等,每小时平均过鱼量达 2 623 尾,年平均过鱼量达 58 万尾^[2-3]。2009 年 10 月建成的广西长洲水利枢纽工程鱼道,是目前国内建成的第一座大型鱼道,为满足中华鲟、鲟鱼、七丝鲚、鳙鱼、花鳊、白肌银鱼等珍稀鱼类徊游、肥育而修建。鱼道采用横隔板式,从下至上布置有进口、池室、休息池、观测室、挡洪闸和鱼道出口,全长 1 443.3 m。鱼道池室为分离式结构,由两侧边墙和底板组成。池室宽 5 m,长 6 m,水深 3 m,底坡 1:80,鱼道全程共设 198 级池室,9 个休息池。经过观测,目前共发现有 18 种鱼类从鱼道中通过,通过数量约 3 798 尾/d,以刺眼鲮、瓦氏黄颡鱼、鲮鱼为优势种群,但鱼道设计针对的珍稀鱼类目前尚未能观测到^[6]。

2 调节坝工程鱼道的设计

2.1 鱼道设计条件拟定

(1) 确定鱼道主要过鱼对象为白甲鱼、鲤鱼、鲫鱼、青波鱼、圆口铜鱼等。其中有国家珍稀鱼类白甲鱼,平均体长为 37.1 cm,平均体重 1.14 kg,常见个体

为 0.25 ~ 2 kg,最大个体达 6.5 kg。

(2) 鱼道设计流速应满足白甲鱼、鲤鱼、鲫鱼、青波鱼、圆口铜鱼等小型鱼类的通过要求。根据文献[2-3],确定鱼道设计流速为 0.8 ~ 1.2 m/s。

(3) 鱼道主要过鱼时间为每年 5 ~ 9 月。每年 10 ~ 4 月三峡水库水位已蓄到 168.5 m 高程以上,调节坝工程水位与三峡水库水位同步运行,所有闸门全开,鱼类可直接通过泄水闸。

(4) 鱼道主要过鱼季节时上游水位为 168.5 ~ 169.0 m,下游水位为 154.5 ~ 163.0 m,最大设计水位差 14.5 m。

2.2 鱼道布置

根据调节坝工程的布置、过鱼类别及上下游水头差,经研究,调节坝的鱼道主要参照湖南洋塘水轮泵水电站鱼道和其他较为先进的竖缝式鱼道来设计。鱼道沿左岸岸坡“之”字形布置,向下游逐步下降。鱼道总长度为 451 m,底坡为 1:30,进口底板高程 152.5 m,出口底板高程为 166.5 m。鱼道由进口、池室段、休息室、观测室、出口等部分组成,见图 1。鱼道布置在岸边,靠近河床部分存在泥沙淤积问题,设计中将鱼道池壁顶高定为 159.3 m,高于河滩 158.0 m 高程。

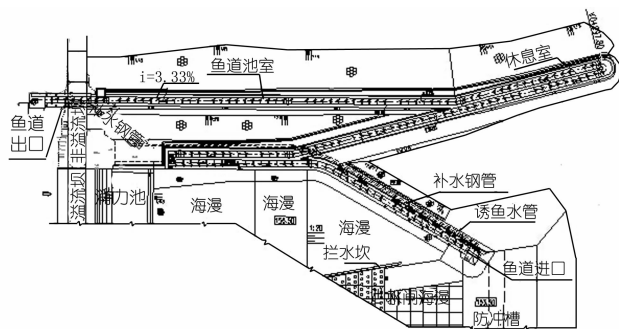


图 1 调节坝工程鱼道布置

2.3 池室设计

根据文献[2-3],确定鱼道池室宽度 B 为 2.5 m。鱼道进口高程 152.5 m,此处鱼道按 2 m 水深考虑。鱼道池室采用矩形断面渠道结构,沿左岸逐步上升,渠深 3.0 m。池室长 3.0 m,宽 2.5 m,设计水深 2.0 m,隔板高 2.5 m,底坡 1/30。10 个池室设 1 个休息池,休息池长度 6 m,平底。鱼道侧墙及底板采用浆砌石结构,易于就地取材,能大幅度降低工程造价,鱼道隔板采用钢筋混凝土,隔板形式为底孔与竖缝相结合形式。

鱼道隔板块数按下式计算。

$$n = k \frac{gH}{v^2} \quad (1)$$

式中, H 为鱼道上下游设计水位差,取 14.5 m; v 为鱼道

设计流速,按 1.2 m/s 计算; g 为重力加速度, 9.8 m/s^2 ; k 为系数, $k = 2\psi^2$, ψ 为隔板流速系数,取 $0.85 \sim 0.90$, 此处 $\psi = 0.85$, 则 $k = 1.4$, $n = 136$ 。

根据文献[2-3],过鱼水深一般为 $1.5 \sim 2.5 \text{ m}$, 本工程取 2.0 m ;鱼道池室长度取 $L = (1.0 \sim 1.2) \times B$, 本文取为 $1.2 \times 2.5 = 3.0 \text{ m}$;鱼道每隔 10 块隔板设置一个休息池,其长度为池室长度的 2 倍,为平底池,故鱼道全长 451.0 m 。鱼道池室隔板采用底孔与竖缝相结合形式,见图 2。

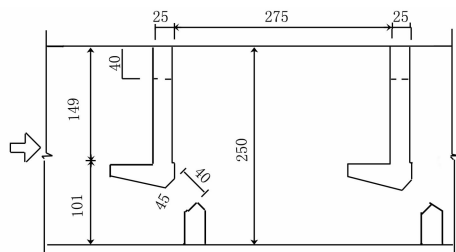


图 2 调节坝工程鱼道池室结构(尺寸单位:cm)

2.4 进口及诱鱼补水设计

鱼道进口初步考虑设在溢流坝下游防冲槽左侧岸边,溢流坝下泄生态流量约 $20 \text{ m}^3/\text{s}$,防冲槽处会形成一个较大的水塘。鱼道进口底板高程为 152.5 m ,略低于防冲槽底,左侧池壁顶部高程 159 m 。在靠近溢流坝消力池侧布置 6 个孔口尺寸 $0.5 \text{ m} \times 0.5 \text{ m}$ 、高程 $154.0 \sim 155.10 \text{ m}$ 的辅助进鱼口,用于水位稍高时进鱼。在鱼道进口处设诱鱼水流,增大鱼道进口水量,吸引鱼群。诱鱼补水管管径 60 cm ,补水流量约 $0.4 \text{ m}^3/\text{s}$ 。沿进口段 40 m 范围分 7 个分水管从 157.0 m 高程空中出流落入进水口水面,并形成声响吸引鱼群。

同时,在溢流坝下游海漫上设置一道混凝土拦水墙,使得溢流坝下泄水流流向鱼道出口。在下游处于低水位时,溢流坝和鱼道总有水流流过,鱼道进口水流紧靠溢流坝水流,有利于鱼群沿水流上溯。溢流坝下泄水流流速较大,鱼群不容易沿该水流上溯到消力池,只能进入到流速合适的鱼道进口。

2.5 出口结构

鱼道沿左岸穿过非溢流坝进入上游库区,出口位于左岸边的静水区,以利鱼群顺利游出鱼道,出口底板高程为 166.5 m ,渠顶高程为 169.5 m ,出口段长 10 m ,设置一道检修闸门。

2.6 过鱼观测室设计

观测室设在高于三峡水库正常蓄水位的泄水闸启闭机房内(启闭机房高程 184.5 m),采用摄像头等电子设备进行观测。

2.7 水工模型试证

调节坝工程鱼道水工模型试验按重力相似准则设

计制作局部模型,模型几何比尺 $1:10$ 。模型模拟范围如下:鱼道进口及拐弯段上游共 34 个鱼道隔板,鱼道进口、防冲槽及周围地形等。其中,鱼道及竖缝均采用有机玻璃制作;鱼道进口、防冲槽及周围地形采用纯水泥砂浆制作。调节坝工程鱼道水力学模型见图 3。



图 3 调节坝工程鱼道池室结构

试验结果表明,鱼道进口出流较平顺,当上下游水位变化时,鱼道池室内流态及流场分布无明显变化;鱼道各池室内水深分布较均匀;下游水位 154.5 m 时,鱼道竖缝孔口流速范围为 $0.90 \sim 1.46 \text{ m/s}$;下游水位 156.5 m 时,流速范围为 $0.19 \sim 1.29 \text{ m/s}$,流速大部分符合设计要求,少量超标,但是超标位置仅限局部范围,对鱼群上溯影响不大;鱼道进口闸门处流速范围为 $0.37 \sim 0.84 \text{ m/s}$,比较适合鱼群进出。

3 结语

(1) 三峡水库开县水位调节坝工程的兴建,给流域内洄游性鱼类的繁殖带来了不利影响,随着国家对生态文明建设越来越重视,修建鱼道作为鱼类洄游通道是必要的。

(2) 该工程采用的竖缝式鱼道已在世界范围内很多工程中成功应用,既可适用于过大型鱼类的鱼道,也可适用过小型鱼类(四大家鱼)的鱼道。

(3) 鱼道进口设计十分重要,鱼类能找到鱼道进口是其成功过坝的最重要环节之一,鱼道进口应布置在有鱼类通过的流水部位,必要时可采用补水增加水流流量和水流声音等诱鱼措施。

参考文献:

- [1] 长江勘测规划设计研究院. 三峡水库开县消落区生态环境综合治理水位调节坝工程初步设计报告[R]. 武汉:长江勘测规划设计研究院,2006.
- [2] 南京水利科学研究所. 鱼道[M]. 北京:水利电力出版社,1982.

Study on dike construction technology by bagged – sand in Yangtze River estuary

PENG Liangquan¹, LI Lingchang², HUANG Jianhe¹

(1. Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430010, China; 2. Bureau of Planning, Changjiang Water Resources Commission, Wuhan 430010, China)

Abstract: In the combination with the engineering practice of dike construction by bagged – sand in Yangtze River estuary, the stability of the bagged – sand dike is demonstrated in terms of the reinforcement mechanism, failure mode, calculating methods etc. The reliability of the bagged – sand cofferdam is analyzed from the perspective of bagged – sand material's selection and anti – aging tests etc. The future research issues are put forward from the aspects of coordination between the bagged – sand cofferdam design and relative technical code as well as the durability. The theoretical and practical basis is provided for wide application of bagged – sand cofferdam.

Key words: Yangtze River estuary; bagged – sand cofferdam; safety; reliability

(上接第 53 页)

Research on design and application of generator circuit breaker of Three Gorges Project

LIANG Bo

(Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430010, China)

Abstract: The power station at the right bank of Three Gorges Project is the world's first hydro – power project to use generator circuit breaker (GCB) in the main circuit of the 700 MW hydraulic turbine generator. The rated current and short – circuit breaking current of the GCB are 26 kA and 160 kA respectively. To ensure the successful application of large – scale GCB in Three Gorges Project, a series of engineering design and researches were conducted to solve practical engineering problems such as the characteristic parameter selection, equipment layout, transportation and installation in the plant. The problems of GCB practical application in the project, and the corresponding research and the countermeasures are introduced. The problem discussion and conclusions can provide reference for the design of similar hydropower stations.

Key words: generator circuit breaker; DC component; calculation of parameters; engineering application; Three Gorges Project

(上接第 56 页)

[3] 华东水利学院. 水工设计手册——泄水与过坝建筑物[M]. 北京: 水利电力出版社, 1982.

[4] 王兴勇, 郭军. 国内外鱼道研究与建设[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2005, 3(3): 222 – 228.

[5] 宋德敬, 姜辉. 老龙口水利枢纽工程中鱼道的设计研究[J]. 海洋

水产研究, 2008, 29(1): 92 – 97.

[6] 农静. 长洲水利枢纽工程鱼道设计[J]. 红水河, 2008, 27(5): 50 – 54.

(编辑: 郑毅)

Fishway design of a water – level regulation dam in Kaixian County of Three Gorges Reservoir

GAO Dashui^{1,2}, YE Junrong^{1,2}, ZHU Guangping³, PENG Qi^{1,2}

(1. National Dam Safety Research Center, Wuhan 430010, China; 2. Changjiang Institute of Survey, Planning, Design and Research, Wuhan 430010, China; 3. Chongqing Pengxi River Ecological and Environmental Management Corporation, Chongqing 405400, China)

Abstract: The construction of a water – level regulation dam in Kaixian County, backwater area of Three Gorges Reservoir, would bring about unfavorable impacts on the breeding of migration fishes in the watershed, so the construction of fishway was planned to mitigate the impacts. We first summarize the experiences and operation effects of several built fishways in China and abroad, and then recommended vertical slot fishway according to the characteristics of the water – level regulation dam. The detail design contents were presented, such as determination of design conditions, layout, design of fish pools, design of entrance and water supplement for fish luring, outlet design, watching room for fish passing as well as the hydraulic model test. Based on these results, a relative systematic solution of fishway was proposed.

Key words: fishway; fish lure; Three Gorges Reservoir; water – level regulation dam