综 述

升鱼机的发展及相关技术问题探讨

乔 娟[1],石小涛[2,3],乔 晔[3],王从锋[2],刘德富[2],张立仁[1],刘 伟[2]

(1. 三峡大学科技学院,湖北 宜昌 443002; 2. 三峡大学三峡库区生态环境教育部工程研究中心,湖北 宜昌 443002;
3. 水利部水工程生态效应与生态修复重点实验室,武汉 430079)

The Development of Fish Lift and Discussion on Its Relevant Technical Problems

QIAO Juan[1], SHI Xiao-tao[2,3], QIAO Ye[3], WANG Cong-feng[2], LIU De-fu[2], ZHANG Li-ren[1], LIU Wei[2]

(1. College of Science and Technology of China Three Gorges University, Yichang 443002, P. R. China;
2. Engineering Research Center of Eco-environment in Three Gorges Reservoir Region, Ministry of Education, China Three Gorges University, Yichang 443002, P. R. China;
3. Key Laboratory of Ecological Impacts of Hydraulic-Projects and Restoration of Aquatic Ecosystem, Ministry of Water Resources, Wuhan 430079, P. R. China)

摘要: 回顾和总结了过鱼建筑物升鱼机的发展过程,阐述了我国水利工程建设中过鱼设施建设的必要性及升鱼机的发展前景,列举并总结了国内外典型升鱼机的代表实例。在此基础上提出了关于升鱼机未来发展的几点建议,包括升鱼机的建设可参照升船机进行类型扩展,升鱼机结构构造上的改进及应用需注意的关键技术问题,升船机与升鱼机结合使用方面的建议,得出了升鱼机在我国高坝过鱼工作中具备一定应用前景的结论。

关键词: 升鱼机;过鱼设施;鱼类保护;改进;水利工程

中图分类号: S956 **文献标志码:** A **文章编号:** 1674-3075(2013)04-0080-05

水利工程建设过程中,以鱼类资源保护和河流生态系统修复为目的的过鱼建筑物建设受到了广泛的关注(Ebel et al, 1973;高勇和常剑波,2004;曹庆磊等,2010)。目前,水利工程中的过鱼设施主要有鱼道、升鱼机、鱼闸、集运鱼船等;此外,还可见沿江和沿海的水闸门上开设过鱼窗或过鱼闸门来实施“灌江纳苗”的过鱼方法(华东水利学院,1987)。各种类型的过鱼设施均有一定的应用条件,在特定的水资源利用过程中体现出特有的优势,如升鱼机被认为在高坝过鱼过程中作用显著,而鱼道一般应用于低水头的大坝过鱼,本文主要针对升鱼机的现状和关键技术进行了探讨。

收稿日期: 2013-04-16

基金项目: 国家自然科学基金(50979049, 51009082, 51210105017);水利部公益性行业科研专项(201201030);水利部水工程生态效应与生态修复重点实验室开放基金。

通讯作者: 石小涛,1981年生,男,博士,主要从事水生动物生态学研究。E-mail:sxtshanghai@163.com

作者简介: 乔娟,1979年生,女,讲师,研究方向为地质灾害理论与防治。E-mail:76718871@qq.com

1 升鱼机的发展现状及在我国的应用前景

1.1 升鱼机的发展历程

升鱼机也可以理解为升降机式鱼道,其工作原理类似于升船机,主要通过诱鱼设施将鱼类诱进金属网笼或水槽式的承鱼箱,再通过垂直升降或倾斜式升降的方法实现承鱼箱的翻坝,从而实现鱼类上行或下行的目的(图1)。

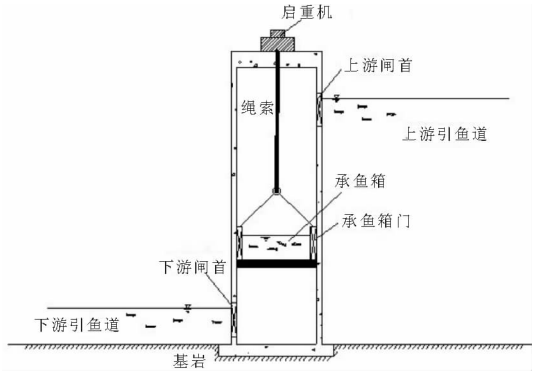

图1 升鱼机运行示意

Fig. 1 Diagram of fish lift's operation

升鱼机起源于美国和加拿大。1924 年美国华盛顿洲白鲑河修建了 1 座试验性升鱼机,1933 年欧洲第一次记载的升鱼机是芬兰阿博福乐斯,同一时期北美华盛顿洲的贝克耳坝修建了一个利用吊斗系统过鱼的升鱼机,之后美国又建造了朗德布特坝(提升高度 132 m)、下贝克坝(提升高度 87 m)、泥山坝(提升高度 90 m)、格陵彼得坝(提升高度 106 m)升鱼机,2000 年后又建造了圣克拉拉升鱼机;1936 年日本在庄川小牧坝(提升高度 73 m)及祖山坝(提升高度 63 m)设置了升鱼机,小牧坝上的升鱼机取得相当好的效果,但经营不到 10 年即报废;1952 年在原苏联的顿河流域也兴建了齐姆良升鱼机,之后又在伏尔加河上修建了伏尔加格勒升鱼机、萨拉托夫升鱼机、克拉斯诺达尔升鱼机等;加拿大也建有克利夫益坝升鱼机(提升高度 90 m)。因发达国家的水利工程及过鱼设施的建设起步较早,水能开发已基本结束,故近年来关于升鱼机新建工程的报道较少(曹庆磊等,2010;刘洪波,2010;白音包力皋等,2011)。

升鱼机在国内外发展程度不一,鱼类保护的效果也不同。在国外,升鱼机作为一种过鱼设施已有成功的经验,并发挥了一定的鱼类保护作用,如美国的 Greeneville 坝升鱼机在 1999 年过鱼数量达到最高峰,全年共过鱼 17 787 尾,其中 4 – 6 月通过的重点保护鱼类 2 540 尾;葡萄牙的 Touvedo 坝升鱼机 1998 年期间共完成 7 种鱼、1 194 尾个体的过坝工作(Kieffer et al, 2009)。各种升鱼机多见于高坝过鱼,但升鱼机在低坝过鱼过程中配合运鱼车也能起到鱼类过坝的保护效果,如 Hadley Falls 升鱼机在美国 Connecticut 河的鱼类保护中发挥了重要作用,2010 年仅美洲鲥(*Alosa sapidissima*)就通过了 16.44 万尾;国外在高坝过鱼应用中特别注意鱼体在升鱼机中的停留时间,以防应激造成鱼体损伤。在我国,过鱼设施的建设于最近 10 年再次受到重视,但升鱼机的建设尚未见报道。升鱼机对我国水电开发过程中鱼类保护可发挥重要作用。

1.2　国外升鱼机建设的几个典型实例

1.2.1　朗德布特坝升鱼机 – 提升高度最大的升鱼机　朗德布特坝升鱼机位于美国,提升高度 132 m,为目前世界上提升高度最大的升鱼机,该工程升鱼机系统相当于现如今的缆车结构。该升鱼机系统布置了 1 条由电站尾水下游至坝体、再至水库上游对岸连通的索道系统,其上设置了可移动的活动装鱼斗车(华东水利学院,1987)。

1.2.2　集鱼 – 卡车式升鱼机 – 加拿大卡辟兰诺河的克利夫兰坝升鱼机　卡辟兰诺河平均维持产卵的银大麻哈鱼(*Oncorhynchus keta*)达 4 000 尾,虹鳟(*Oncorhynchus mykiss*)几百尾。为了集鱼,在该流域克利夫兰坝下修建了与河流斜交的拦栅坝,以引导鱼类进入设于河左岸的鱼道进口。鱼类通过鱼道后会进入设置于上游水库最高水位以上的岸坡贮鱼池。捞鱼池与贮鱼池相连,其内设置有斗罐池,可将所集鱼倾倒至运鱼斗罐,运鱼斗罐再靠电动绞盘上升,最后将鱼卸于运鱼卡车,再输送至上游水库中,一次运鱼过程需 2 h。该升鱼机相当于鱼道与卡车的组合,严格来说算不上是升鱼机(曹庆磊等,2010;白音包力皋等,2011)。

1.2.3　伏尔加格勒升鱼机 – 前苏联过鱼效果较好的升鱼机　1961 年,前苏联在伏尔加河上游建成了伏尔加格勒水电站,为防止截断鲑和鲟等鱼类的洄游通道,修建了伏尔加格勒升鱼机。该升鱼机为双线升鱼机,每线升鱼机建筑物主要由上下游开敞式集鱼道、竖井、升鱼机操纵台组成。下游集鱼道与升鱼竖井相连,结构内均设置了可垂直及水平方向移动的驱鱼栅,升鱼竖井对应的上下游进出口均设有闸门,以便过鱼时竖井内的充、放水操作,另外竖井的上下游也相应地设置了充水管及排水管。该升鱼机的下游集鱼槽布置在该水电站尾水管出口处,设计者的意图是利用水电站尾水管出口处的水流来诱鱼,为防止鱼类被吸入尾水管,在水管出口也相应地布置了拦鱼栅。实践证明该升鱼机的双线布置可提供更多机会实现鱼的上溯;此外,根据该升鱼机的布置,笔者认为该升鱼机系统属于升鱼机与鱼闸的结合体。

1.3　升鱼机在我国水利工程建设中的应用前景

我国水法和渔业法等对水利工程的配套过鱼设施建设有了明文规定,各界人士对大坝过鱼提出了较高的要求(高勇和常剑波,2004;赵谊等,2011)。目前我国是世界上水电在建规模最大和水电发展速度最快的国家,我国水电资源开发的方针为“梯级、滚动、流域、综合”,并在东部地区大力发展抽水蓄能电站建设。在我国规划的 12 大水电基地中,自西向东排列为:雅鲁藏布江可开发电能达 6 800 万 kW;怒江 13 个梯级,总装机容量 2 200 万 kW;澜沧江 15 个梯级,总装机容量 2 560 万 kW;金沙江 21 个梯级,总装机容量 7 520 万 kW;雅砻江 21 个梯级,总装机容量 2 850 万 kW;大渡河 17 个梯级,总装机容量 2 182 万 kW。以上几个流域的地势总落

差近3 000 m,其中的梯级电站开发多为利用中、高坝水头落差,同一工程水库水位变化较大。综合比较各种过鱼设施,升鱼机较适用于中高水头的水利工程,其优点在于建设费用低、总体积小、对上游水位变化的敏感度低、鱼类过坝体力消耗小、适用于底层鱼类过坝等(华东水利学院,1987),缺点是运行成本较高;同时,升鱼机配合运鱼车在国外低坝过鱼特别是在梯级水电站的低坝过鱼过程中发挥了一定作用,可为我国梯级水电开发中鱼类的保护提供借鉴。因此,综合考虑到水头落差、运行与使用上的限制、造价合理性等因素,升鱼机是各高坝及低坝过鱼重要的备选方案,这也意味着在我国未来的水利工程建设中,升鱼机可能迎来一个发展高峰期。

目前,我国关于升鱼机设计的报道有贵州省北盘江流域的马马崖一级水利枢纽,其最大升鱼高度为77.05 m。马马崖一级水利工程的兴建阻断了48种鱼类的洄游,其中包括《中国濒危动物红皮书·鱼类》中提及的易危鱼类叶结鱼(*Tor zonatus*)、乌原鲤(*Procypris merus*)和长臀鮠(*Cranoglanis bouderius*)等;该工程的升鱼机集鱼箱运输设计方案为2级垂直机械提升与水平轨道运输相结合的方式,主体结构由进口(下游)拦鱼、导鱼电栅、集鱼及补水系统、集鱼箱、轨道、控制管理站和出口(上游)拦鱼设施等组成;其集鱼及补水系统布置在靠近左岸的水电站尾水管出口上部,集鱼池的上游一侧布置有集鱼箱,集鱼箱后设单独补水孔,以水流方式吸引鱼类。集鱼箱被吊至上游库区后,起吊设备将集鱼箱放至水中,集鱼箱底部受到水的压力后开启,放出鱼后空集鱼箱再通过原路线返回,完成整个升鱼过程。但该方案仅是马马崖水利工程的过鱼设计方案之一,最后结合该工程的坝址上下游江段为典型狭谷、河道深切特点,其枢纽布置推荐选用了集运鱼系统过鱼方案(赵谊等,2011)。总之,升鱼机尚未在我国的水电可持续发展过程中发挥鱼类保护作用,进一步发展的空间巨大。

2 升鱼机发展的几点建议

大部分升鱼机建筑物为机械式提升,即升鱼过程的中间环节均包括通过起重机提升集鱼箱来实现,区别是集鱼箱运行的轨道水平或倾斜。升鱼机下游的集鱼方法以水流诱鱼居多,故在工程枢纽布置时,多将升鱼机的集鱼建筑物布置在水电站尾水管出口附近,以借助电站尾水诱鱼。但设计及应用时应注意,此诱鱼方法存在不稳定因素,即有可能鱼类会被吸引至电站尾水处而不进入集鱼池;故如何能够诱导鱼类沿着预设方案过坝洄游也是一个亟待解决的问题。结合以上问题,现对升鱼机的类型及结构发展等方面提出几点建议。

2.1 升鱼机类型的扩展

在水工建筑物中,升鱼机与升船机的工作原理相似,而目前关于升鱼机的报道基本上是提升式的,如前图1所示,其可以类比升船机扩展为如下几种类型:

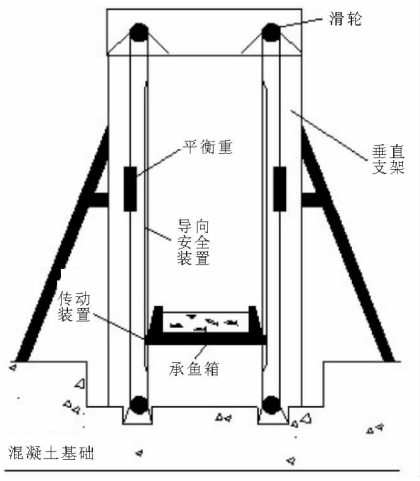

图2 平衡重式升鱼机

Fig. 2 Fish lift with counter weight

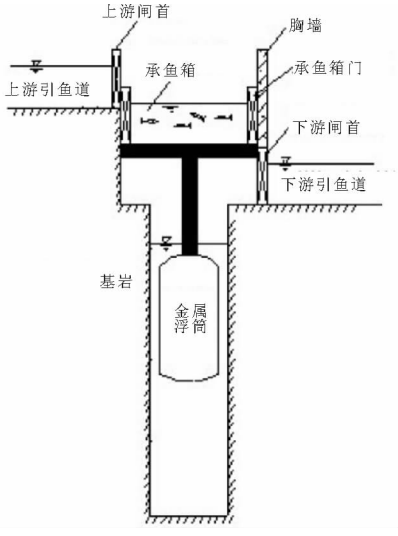

图3 浮筒式升鱼机

Fig. 3 Fish lift with floats

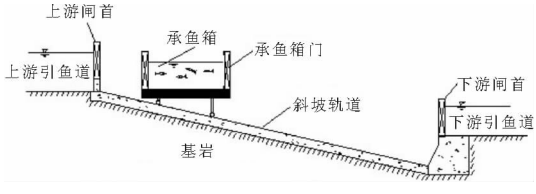

图4 斜坡式升鱼机

Fig. 4 Fish lift with inclined plane

2.1.1　平衡重式升鱼机　其运行原理同电梯(图2),即利用平衡重来平衡承船箱重量以节省提升力,电动机械提升力仅用来克服不平衡重及动力系统的阻力和惯性力,鱼类“乘电梯”过坝,可设计成干运和湿运 2 种。这种结构造价稍高,但具有过坝历时短、通过能力大、运行安全可靠、耗电能较少、操作方便等优点,尤其值得关注。

2.1.2　浮筒式升鱼机　利用浮力来实现运船过坝(图 3),即将金属浮筒置于可按使用要求充放水而调整水位的竖井中,利用浮筒的浮力来平衡承鱼箱总重量,电动机械提升力仅用来克服运动系统的阻力和惯性力。其优点为工作可靠、支承平衡系统简单,但要考虑竖井尺寸及地质条件等的限制。

2.1.3　斜坡式升鱼机　需在枢纽上下游间铺设斜坡轨道,承鱼箱可通过上游牵引或自行运行(类似卡车)的方式在轨道上行驶(图 4)。但该过鱼方案受到地形条件、提升高度等的限制。以往工程建造升鱼机的主要缺点可归纳为机械设备易发生故障、运行及维修费用较高、不能连续过鱼、且单次过鱼量少等(Santos et al,2002;曹庆磊等,2010;白音包力皋等,2011);而上述 3 种升鱼机运行原理明确,可在一定程度上改正以上缺点,在工程应用中可根据具体的地形、地质条件等进行选用。

2.2　升鱼机建筑物结构组成的改进

综合以往的升鱼机实例,为达到良好的集鱼、升鱼及驱鱼效果,现代工程建设的升鱼机建筑物应包含以下几部分。

(1)承鱼箱。为减少鱼类过坝受伤,应以湿运水槽式结构为主,平衡重式、浮筒式及斜坡式升鱼机应在承鱼箱的上、下游位置设置可开、关的过鱼门。

(2)集鱼探测装置。该结构可用于自动探测集鱼量的多少,如水下监测探头等,以保证升鱼机过鱼的效率,可布置于集鱼箱、引鱼道及集鱼池结构内。

(3)垂直支架或斜坡道。用以运送承鱼箱,根据具体的升鱼机类型配套选用。

(4)补水及排水系统。用于承鱼箱的充、放水。

(5)上、下游闸首结构。对于平衡重式、浮筒式及斜坡式升鱼机,需在建筑物上、下游与承鱼箱上的过鱼门对应位置处设置,如图 1 – 图 4 所示。

(6)机械传动机构、事故制动装置、电气控制系统。具体根据升鱼机的类型选用。

(7)移动驱鱼装置。为使鱼类能够按设计路线前进,可在集鱼道、集鱼池及承鱼箱内设置移动式的驱鱼栅或声、光、电等驱鱼设施。

(8)上、下游集鱼池或引鱼道。应根据水利工程的具体枢纽布置方案设计。

(9)诱鱼设施。为达到良好的集鱼效果,保证升鱼机的应用效果,应在集鱼池或引鱼道中单一地或综合地采用声、光、水流、诱鱼剂、改变局部水温等诱鱼措施。在本文介绍的升鱼机工程实例中,其诱鱼方法主要为水流(Kieffer et al,2009;石小涛等,2011);而声、光、诱鱼剂等人工诱鱼方法在国内相关文献中也有报道(欧阳敏和贺建华,2006;路波等,2012);其中水流诱鱼除例子中提及的利用水电站发电尾水外,也可在集鱼池或引鱼道中布置类似花洒式的喷水装置或水轮原动机等制造水流的来实现。现实生活中,在灯光、声音、诱鱼剂诱鱼方面,不同的鱼种对光强、光色、音频、音量、气味及食物等的喜好表现也不相同。另有文献报道,河流水温不同,某些鱼类的集鱼效果也不相同,如欧洲鳗鲡(*Anguilla anguilla*)集鱼效果最佳水温为 23℃(赵谊等,2011);故也可以考虑利用改温局部水温的方法诱鱼等。综合以上分析,在升鱼机的诱鱼方案设计中,应根据具体的过坝目标鱼类开展其基础行为与生理行为的试验研究,使多种诱鱼方法相结合,并优化结构布置,以期达到较好的诱鱼效果,使升鱼机能够发挥实效。

2.3　升鱼机与升船机结合使用

一般鱼类的洄游期较短,且季节性较强,因此过鱼设施的年内利用率相对较低。对于修建有通航建筑物的水利工程,也可不单独修过鱼建筑物,而实现过船与过鱼功能相结合,国内外已有将船闸与鱼闸相结合使用的实例(曹庆磊等,2010;刘洪波,2010;白音包力皋等,2011)。故在修建有升船机的水利工程也可通过合理安排升船机的运行调度,并在升船机的上、下游引航道上布置诱鱼和驱鱼设施,以实现过船与过鱼功能相结合。

3　结语

未来 20 年,我国水利事业仍将处于发展的高峰期。在水利建设过程中需加强生态环境的保护,其中鱼类的保护值得关注。各种过鱼设施中,升鱼机有其独特的定位和功能,尤其在中、高水头及梯级水工建筑物的建设和运行管理等方面,对鱼类的过坝及保护工作可以发挥重要作用。我国升鱼机的研究尚处于起步阶段,但其应用前景广阔。未来升鱼机在我国水利工程中的发展与践行需要水利工作者、生物学家及环境学家等共同完成。

参考文献

白音包力皋,郭军,吴一红. 2011. 国外典型过鱼设施建设及其运行情况[J]. 中国水利水电科学研究院学报,9(2):116-120.

曹庆磊,杨文俊,周良景. 2010. 国内外过鱼设施研究综述[J]. 长江科学院院报,27(5):39-42.

高勇,常剑波. 2004. 过鱼设施对鱼类资源保护的意义[R]. 中国海洋湖沼学会鱼类学分会,中国动物学会鱼类学分会学术研讨会:43-44.

华东水利学院. 1987. 水工设计手册(第6卷):泄水与过坝建筑物[M]. 北京:水利电力出版社.

刘洪波. 2010. 国外鱼道建设的启示[J]. 安徽农业科学,38(14):7566-7567.

路波,石小涛,刘德富,等. 2012. 瓦氏黄颡鱼对黑白底质颜色偏好和藏匿行为研究[J]. 水生态学杂志,33(5):36-40.

欧阳敏,贺建华. 2006. 黄颡鱼诱食剂开发与研究Ⅱ:河道诱食试验[J]. 江西农业学报,(5):142-144.

石小涛,陈求稳,黄应平,等. 2011. 鱼类通过鱼道内水流速度障碍能力的评估方法[J]. 生态学报,31(22):6967-6972.

赵谊,孙显春,蔡大咏. 2011. 马马崖一级水电站过鱼措施研究[J]. 水电勘测设计,(3):25-28.

Ebel W J, Park D L, Johnsen R C. 1973. Effects of transportation on survival and homing of Snake River Chinook salmon and steelhead trout[J]. Fishery Bulletin,71: 549-563.

Kieffer J D, Arsenault L M, Litvak M K. 2009. Behaviour and performance of juvenile short nose sturgeon *Acipenser brevirostrum* at different water velocities[J]. Journal of Fish Biology, 74(3): 674-682.

Santos J M, Ferreira M T, Godinho F N, et al. 2002. Performance of fish lift recently built at the Touvedo Dam on the lima River[J]. Journal of Applied Ichthyology, 18:118-123.

(责任编辑 万月华)