



仿生态鱼道与工程型鱼道的关键性差异分析

李 恒

(南京江北新区生态环境和水务局, 江苏 南京 210031)

摘要: 水利枢纽建设导致河流连通性受损, 威胁水生生物生存, 鱼道是恢复河流生态连通性的重要手段, 主要分为工程型鱼道和仿生态鱼道。通过对比分析两类鱼道的基本形式, 从建筑材料、构造特征、环境适应性、水流流态及过鱼效果等方面揭示其表观差异, 并基于国内外案例数据, 定量研究关键设计参数(坡度、提升高度、水深、宽度、宽深比、流速)的差异; 结合伊泰普水利枢纽案例, 总结仿生态鱼道关键参数取值范围。结果表明: 仿生态鱼道以天然材料为主, 构造粗糙, 水流多样性强, 适用于多鱼类洄游, 其底坡缓于 1:20, 提升高度多低于 10 m, 宽深比大于 4, 水深较浅(多小于 1 m); 工程型鱼道以钢筋混凝土为材料, 结构规则, 适用于特定鱼类, 坡度多大于 1:20, 提升高度 10~60 m, 宽深比小于 2。

关键词: 仿生态鱼道; 工程型鱼道; 直观差异; 设计要素对比

中图分类号: U643.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)09-0205-07

Key differences between nature-like and engineering fishways

LI Heng

(Nanjing Jiangbei New Area Ecological Environment and Water Bureau, Nanjing 210031, China)

Abstract: The construction of water conservancy projects impairs river connectivity, threatening aquatic organisms. Fishways are crucial for restoring river ecological connectivity, mainly divided into engineering fishways and nature-like fishways. This paper compares the basic types of the two fishways, revealing their apparent differences in construction materials, structural characteristics, environmental adaptability, flow patterns, and fish-passing effects. According to the domestic and foreign case data, this paper quantitatively analyzes differences in key design parameters (slope, elevation height, water depth, width, width-depth ratio, velocity). On the basis of the Itaipu Hydropower Station case, this paper summarizes the range of key parameters for nature-like fishways. The results show that nature-like fishways, using natural materials with rough structures and diverse flows, are suitable for multi-species fish migration, with slope gentler than 1:20, elevation height mostly below 10m, width-depth ratio over 4, and shallow water depth (mostly less than 1 m). Engineering fishways, made of reinforced concrete with regular structures, are suitable for specific fish, with slope mostly steeper than 1:20, elevation height of 10~60 m, and width-depth ratio less than 2.

Keywords: nature-like fishway; engineering fishway; apparent difference; main design parameters difference

水利枢纽的建设一定程度上阻断了河流的连通性, 破坏了河流生态环境中生物种群之间的物质与能量交换, 河流中生境的改变使得原本生活在水中的水生动植物无法适应新的生活环境而数

量剧减, 最直接的影响是鱼类种群数量的减少, 个别物种甚至达到了灭绝的边缘。因此, 恢复河流生态连通性, 为水生生物的觅食、洄游、繁殖等提供专有的通道非常必要^[1]。为了加强对鱼类

收稿日期: 2024-12-26

作者简介: 李恒 (1988—), 女, 硕士, 从事水力学方向的研究。

的保护,保护鱼类栖息地和恢复河流的生态健康,实现水利经济建设与生态环境建设之间的可持续发展,国内外学者提出了多种生态补偿和工程补偿的措施,其中得到广泛发展的就是鱼道。鱼道是保护鱼类洄游,恢复河流生态系统连通性的有效方法;鱼道可以分为工程型鱼道和仿生态鱼道。

欧美仿生态鱼道的发展已经跨越了探索阶段处于发展阶段。芬兰过鱼设施中有 80% 以上是采用仿生态鱼道形式,收到了良好的过鱼效果。巴西 Itaipu 鱼道及德国 Harkortsee 水电站鱼道,都是仿生态鱼道典型成功案例。Komura^[2]、Acharya 等^[3]通过漂石模拟、模型试验研究不同形状加糙元件的布置对水流流态的影响,同时提出在空间条件允许的情况下,仿生态鱼道比其他传统鱼道更适合中低水头的水利枢纽。德国自 1996 年起就先后对仿生态鱼道的设计方法提出了相关的设计导则^[4]。澳大利亚对岩石斜坡式鱼道的特征也做过系统的研究^[5]。

中国仿生态鱼道研究也处于发展阶段,近年来的研究和应用主要集中在特定工程的方案优化设计和水流影响分析上。孙双科等^[6]总结分析仿生态鱼道的设计理念、类型、构造布置特点等;周殷婷^[7]提出典型性裸石、植物模板式、石块与植物模板组合式等多种仿自然鱼道设计方案,试验研究得出,最适合触须白鱼类上溯的是石块与隔板形植物模板组合式天然鱼道;王猛等^[8]结合某工程仿生态鱼道水力学整体模型试验,研究电站不同运行方式下的某鱼道进、出口流态,流速分布等水力参数,提供了推荐方案;何雨朦等^[9]、

林宁亚等^[10]对蛮石型自然态鱼道的蛮石排列方式进行研究,对比不同排列方式下鱼道内的流场结构,对仿自然鱼道的结构形式进行有益的探索。

纵观国内外仿生态鱼道的发展,研究仅从材料、构造、布置方式等对水流的影响方面进行定性的分析^[11],或是对具体工程进行试验研究^[12],对仿生态鱼道设计指标的定量研究却鲜有涉及,如仿生态鱼道的适用水头、适宜坡度、池室宽度及深度范围等参数取值。本文拟通过大量仿生态鱼道与工程鱼道案例分析对比,从鱼道材料特性、几何特性、水流多样性、水力特征要素等方面,总结出仿生态鱼道设计的关键设计要素,给出各要素的取值范围,为仿生态鱼道的设计研究提供参考。

1 仿生态鱼道与工程型鱼道基本形式

1.1 仿生态鱼道基本形式

仿生态鱼道可以分为底斜坡、旁道水路、鱼坡 3 种不同类型,见图 1。底斜坡是一种表面粗糙、跨越整个河宽、能克服河底高度差、具有平缓底坡的表面粗糙的稳定堰,可以使得水生生物沿溯河和降河两个方向自由通过;旁道水路是模仿自然河流外观、呈现水道形式的通道,它可以使大多数的水生动物通过;鱼坡是一种整合入堰的建筑物,仅覆盖部分河宽,坡度较缓,它可以使所有的水生生物种类向上下游双向通过。底斜坡是覆盖整个河宽,而鱼坡则是覆盖部分河宽,是在原有堰的基础上建造而成。

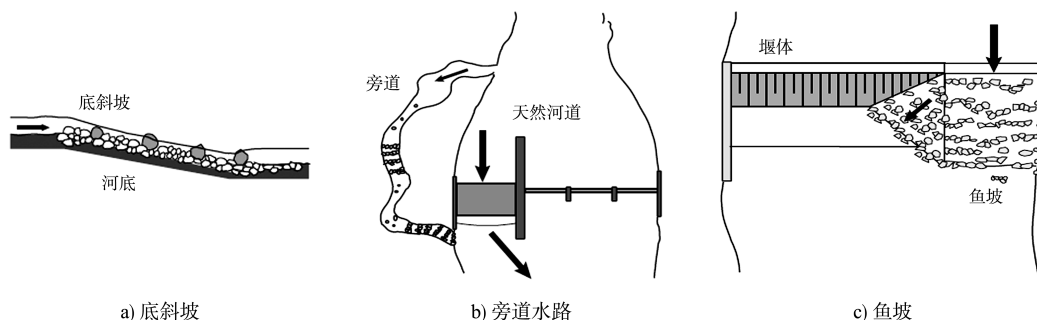


图 1 仿生态鱼道典型形式

Fig. 1 Typical form of nature-like fishways

1.2 工程型鱼道基本形式

与仿生态鱼道相对应的是工程型鱼道，即用钢筋混凝土作为主要建筑材料，修建的鱼道池室形状相对规则。工程型鱼道按照其结构形式可分池室鱼道、槽式鱼道和竖缝式鱼道，见图 2。池室鱼道由一连串连接上下游的水池组成，各水池间用堰连接，又称池堰式鱼道，鱼类通过一个爆发速度游过或跳过堰，然后在池室中休息，再接着通过下一个堰，以此类推。槽式鱼道最具代表性的是丹尼尔式鱼道，其槽壁和槽底设有间距甚密

的阻板和底坎，一般适用于游泳能力较强劲的鱼类和水位差不大的枢纽。竖缝式鱼道是利用横隔板将鱼道上下游的总水位差分多个梯级，并用水垫、沿程摩阻及水流对冲、扩散进行消能，适应水位差相对较大。其结构简单、过鱼效果较好，一般这种鱼道能适应较复杂流态的大、中型鱼类通过。另外，在中国应用较为成功的鱼道形式是组合式鱼道，如长洲水利枢纽鱼道为池室和竖缝式鱼道组合形式，每天可过鱼 15 万尾，种类可达 30 种以上。

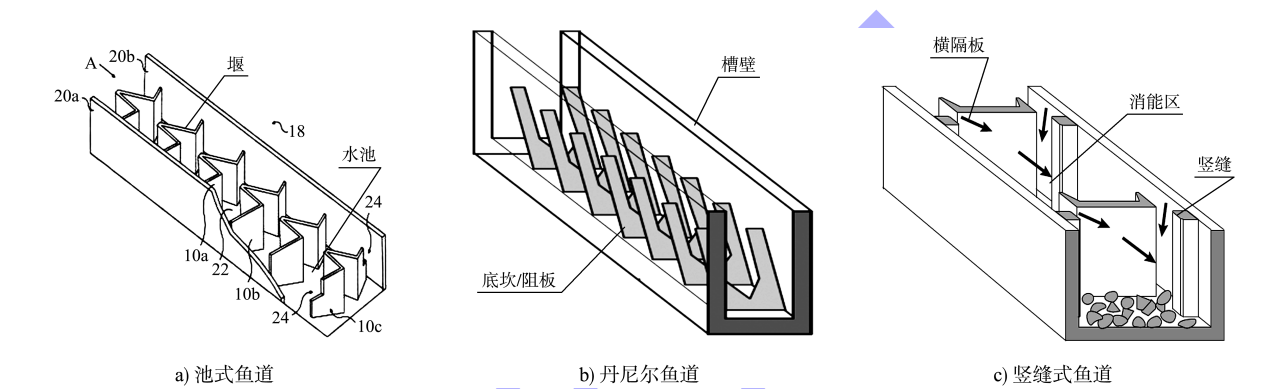


图 2 工程型鱼道典型形式
Fig.2 Typical form of engineering fishways

2 仿生态鱼道和工程型鱼道的关键性差异分析

2.1 仿生态鱼道与工程型鱼道的差异分析

仿生态鱼道和工程型鱼道表观差异见表 1。二者最显而易见的区别在于建筑材料、底部及边坡

构造、环境条件、水流多样性、过鱼对象种类、适用条件等，这些差异性可以给仿生态鱼道设计者提供直观的概念。

表 1 仿生态鱼道和工程型鱼道表观差异

Tab.1 Apparent difference between nature-like fishways and engineering fishways

鱼道类型	建筑材料	底部及边壁构造	环境条件	水流流态
仿生态鱼道	大小不等的各类蛮石、石块、砂砾、水草、柳枝等。仿生态鱼道建筑材料就地取材,具有环保性	采用蛮石嵌入式、填石松散式、蛮石槛式构造;边壁粗糙。粗糙的边壁是保证小鱼、鱼苗、无脊椎底栖动物通过鱼道的先决条件	融入周围的景色,灌木树荫为鱼儿提供隐蔽处,有助于鱼类洄游。周围树木有利于边坡稳定	深潭、浅滩形成急流或溪流,产生多样水流。粗糙的建筑材料及构造形成水流的多样性
工程型鱼道	水泥和钢筋混凝土	边壁采用混凝土加固而成,结构光滑	对环境的改善作用不明显	水流结构相对单一

鱼道类型	过鱼种类	过鱼效果	适用条件	优化方向
仿生态鱼道	适用于多种类不同游泳能力的鱼类上溯。多样水流适应多种鱼类的上溯要求	如传统竖缝式鱼道,水力条件可控,能满足特定洄游习性鱼类需求,像鲤科鱼类,过鱼效率较高,但对鱼类生态行为模拟不足,过鱼种类有限	适用于生态保护要求高、鱼类种类多样的区域	仿生态鱼道则要在保证生态功能的同时,降低建设和维护成本
工程型鱼道	能满足特定鱼类洄游需求,过鱼种类相对集中,但对生态多样性照顾不足,过鱼种类不够丰富	仿生态鱼道,模拟天然河流生态,水流流态丰富,利于多种鱼类洄游,过鱼种类多样,但过鱼效率相对不稳定	适用于地形较规则、目标过鱼种类明确的项目	工程型鱼道可优化结构,提升生态友好性

2.2 仿生态鱼道与工程型鱼道的水力参数差异

仿生态鱼道和工程型鱼道的主要设计参数见表 2，涉及底坡坡度、提升高度、水深、流速、宽

深比等因素。为了定量获得仿生态鱼道与工程鱼道关键参数的差异，方便仿生态鱼道设计，对两种鱼道的参数取值进行对比。

表 2 仿生态鱼道与工程型鱼道主要设计参数比较
Tab. 2 Main design parameters difference between nature-like fishways and engineering fishways

鱼道类型	鱼道地点	河流名称	坡度	提升高度/m	最大流速/ ($\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$)	宽度/ m	水深/ m	宽深比
-	邕宁水利枢纽鱼道	中国邕江	1:50	6.1	1	2	-	-
仿生态 鱼道	① 比绍夫斯韦达	多林溪	1:20	1.0	1.3~2.2	4~6	0.3~0.6	11.1
	① 马克斯勒磨坊底槛	芒法尔河	1:26	1.7	-	约 15	2.9~4.3	4.2
	① 大魏尔(底斜坡)	洛依萨赫河	1:10~1:15	2.7	-	72	-	-
	② 瓦勒尔贝凯溪	瓦勒尔贝凯溪	1:45	2.9	1.3~1.9	2.5	0.3~0.8	4.5
	② 金绍旁道水路	莱希河	平均 1:100	6.5	-	2.5~4.0	平均 0.35	9.3
	② 塞弗特氏磨坊	斯托贝尔	1:25	3.3	1.8	2.4	0.2~0.5	6.9
	② 某工程	-	-	7	0.8	5~10	1.0~2.5	4.3
	② 安古航电枢纽	中国大渡河	-	28.7	1.2	10	2.0	5.0
	③ 埃塞尔斯布吕克	埃尔茨河 ^[13]	1:20	1.2	1.5	2.5~3.5	0.2~0.4	10
	③ 斯皮伦堡堰	鲁尔河	1:25	2.6	-	10	0.6~1.0	12.5
工程型 鱼道	③ 德尔门霍斯特	德尔姆溪	1:41.5	0.8	1.3~1.4	2.4~4.5	0.3~0.7	6.9
	④ 北汉坝	克拉克马斯河 ^[14]	1:18	60	1.22	3.05	1.83	1.7
	⑥ 鬼门峡	弗雷塞河	1:18	-	-	2.76	1.8	1.5
	⑥ 湘江长沙综合枢纽	中国湘江 ^[15]	1:69	39.7	1.0	4.5	3.0	3.3
	⑥ 广西鱼梁航电枢纽	中国右江 ^[16]	1:60	11.8	0.83(设计)	3	2.5	1.5
	④ 广西长洲水利枢纽	中国西江	1:80	15.32	0.8	5	3.0	1.2
	⑥ 江西石虎塘枢纽	中国赣江	1:60	9.34	0.8	3	2.0	1.7
	⑤ 土洛马电站	土洛马河	1:25	16~20	1.1	3.0 4.5 4.5	0.9 1.5 2.3	3.3 3.0 2.0
	⑥ 帕尔顿坝	德苏特斯河	1:16	57.5	-	3.05	1.83	1.7
	④ 威尔斯坝	哥伦比亚河	1:10	-	-	3.6	2.1	1.7
	④ 邦纳维尔坝	哥伦比亚河	1:16	18.9	-	11 12	1.8	6.1 6.7
	⑤ 河口堰	利根川	-	-	1.37	7.5	1.3	5.8
	⑤ 麦克纳利坝	哥伦比亚河	1:20	25	-	9	1.8	5.0
	⑤ 汤格兰德坝	提兹河	1:7.5	-	-	3.6	1.8	2.0

注：①为底斜坡，②为旁道水路，③为鱼坡，④为池室，⑤为槽式，⑥为竖缝式。

1) 底坡坡度。仿生态鱼道的底坡设计范围在 1:20~1:100，见图 3，其坡度依据地形设计，多出现不同的地段不同坡度的情况；工程型鱼道大多情况下全程只采用一种坡度，国外底坡范围在 1:10~1:25，国内工程坡度在 1:60 左右，这是由于国内过鱼种类游泳能力较弱。仿生态鱼道的

底坡要比工程型鱼道底坡的坡度缓，仿生态鱼道底坡的坡度小于 1:20，工程型鱼道底坡的坡度多大于 1:20。

2) 提升高度。鱼道的坡度和长度对鱼类上溯的成功与否有重要影响。仿生态鱼道相对于工程型鱼道坡度较缓，相同鱼道长度下提升高度较低。

对于高水头枢纽，长度较长，施工量大，不太适宜建生态鱼道。仿生态鱼道主要是水生植被、石料、砂砾等消能，消能效果差，工程型鱼道多为钢筋混凝土结构，能够抵御更大的水流冲击和压力。因此，仿生态鱼道的提升高度大多在 10 m 以下，工程型鱼道在 10~60 m，见图 4。

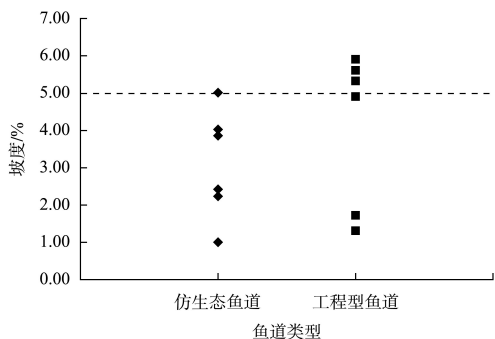


图 3 底坡的坡度差异
Fig. 3 Difference in bottom slope

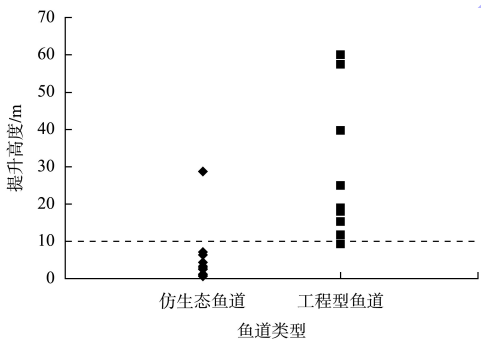


图 4 提升高度差异
Fig. 4 Difference in elevation height

3) 水深。两种鱼道水深对比见图 5，仿生态鱼道的水深相对较低，大部分水深范围小于 1 m，且都小于 2 m；工程型鱼道的水深范围在 1.0~3.0 m，其中 75% 的水深大于 1.8 m；因此，仿生态鱼道的水深较工程型鱼道水深浅，仿生态鱼道的水深在 1~2 m，工程型鱼道的水深一般大于 1.8 m。

4) 宽度。仿生态鱼道 3 种类型中，斜底坡和鱼坡分别是跨越整个河宽和整合入堰、覆盖部分河宽的构造，因此这两种类型的鱼道宽度变化范围较大，根据所处河流的宽度及地形地势情况，鱼道宽度范围由几米到几十米；旁道水路的鱼道宽度变化则规律得多，一般在 2~4 m，见图 6。工

程型鱼道的宽度，根据过鱼需要而设计，有大于 75% 的鱼道宽度范围在 3~6 m，少数鱼道宽度大于 6 m，最大达到 12 m。仿生态鱼道的宽度，根据所建鱼道的类型确定，鱼坡或是底斜坡，其宽度根据所处河流的宽度而定。考虑施工和经济方面的原因，旁道水路鱼道宽度主要在 2~6 m；而工程型鱼道的宽度范围大多在 3~6 m。

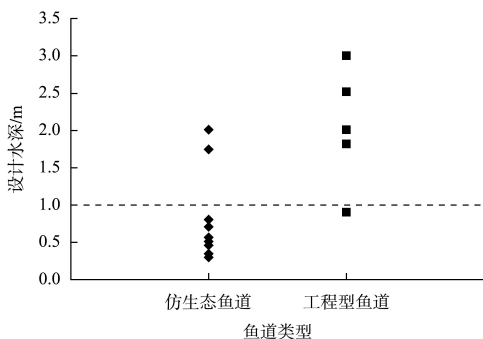


图 5 设计水深差异
Fig. 5 Difference in design water depth

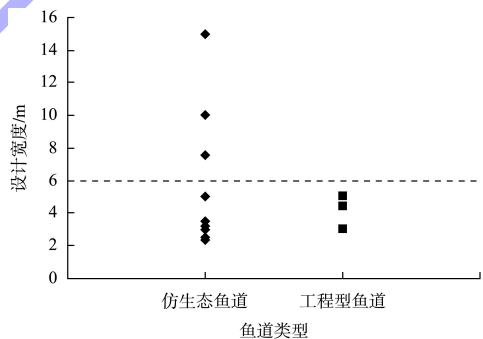


图 6 设计宽度差异
Fig. 6 Difference in design width

5) 宽深比。由 3)、4) 分析，基于宽度和水深方面的变化规律以及两种鱼道外观方面的考虑，提出了无量纲的宽深比，仿生态鱼道由于宽度和水深的沿程变化，使宽深比处在一个变化范围内，仿生态鱼道的宽深比均大于 4，其中大于 5 的占 80%，见图 7。工程型鱼道的宽深比 80% 以上的小于 1.7。一般情况下天然河流的宽度要远大于深度，天然情况下的河流宽深比很大，鱼道中的水流条件和下游河道中的水流流态相似或者接近有利于鱼类的成功上溯。仿生态鱼道的设计重要理念就是产生鱼类熟悉的流态，鉴于占地面积以及

经济等多方面的考虑,仿生态鱼道的宽深比一般大于4,工程型鱼道的宽深比一般小于2。

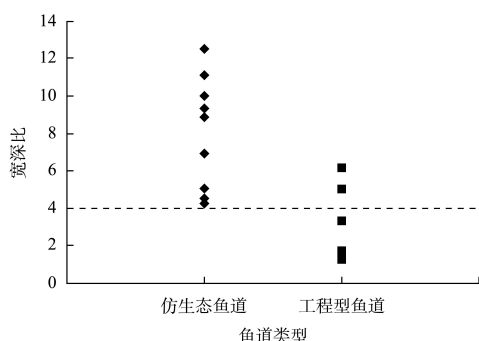


图7 宽深比差异

Fig. 7 Difference in width-depth ratio

6) 流速。鱼道池室内的水流流速是根据过鱼对象的习性而定的。无论是仿生态鱼道还是工程型鱼道,池室的最大流速一般在1.3~2.2 m/s,见图8。相对来说,仿生态鱼道的流速的变化范围更大些,这是由于类似险滩、深潭的地形增加了水流流态的多样性,使得特定的空间内最大流速更大,最小流速更小,流速分布更具差异性。

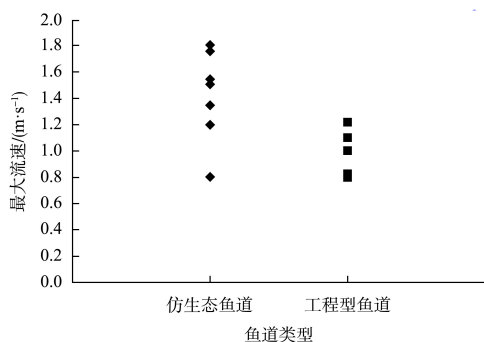


图8 流速差异

Fig. 8 Difference in velocity

2.3 仿生态鱼道典型案例分析

伊泰普水利枢纽鱼道提升高度最大为120 m,全长达10 km,工程型鱼道长4 km,边墙采用混凝土衬砌;仿生态鱼道长6 km,侧边均采用块石的护坡形式,以创造接近自然河道的生态环境。鱼道根据生态学家的要求设计了全鱼道中流速不超过3 m/s、水深0.8~1.5 m、过水断面不小于4 m²;并通过计算和模型试验确定了11.4 m³/s的洄游流量;同时为了满足各鱼类的通过,将一些

闸门设计为向下开启。断面一般采用了梯形断面,底宽4~12 m,两岸边坡1:1~1:1.5;鱼道底坡3.10%~6.25%,底部为非平滑状态,以获得鱼类喜爱的水流流态,有3个休息池,最小水深有3 m。

伊泰普水利枢纽鱼道是在原有枢纽的基础上补建鱼道的典型案例,通过检测及生态学家对过鱼情况的评估可以看出该过鱼设施是有效的,在近年捕捞的126种鱼中,其中有36种具有洄游性。

伊泰普水利枢纽鱼道中仿生态段,水力参数的设计中,坡度具有多样性1:20~1:30,水深多样性0.8~1.5 m,宽深比大于5,建筑材料采用石头护坡设计,以上参数以及无量纲指标宽深比都与前文分析较为吻合,新指标宽深比是水利设计中不可忽略的参数,具有一定的研究价值。

3 结语

1) 仿生态鱼道与工程型鱼道的主要差别体现在两个方面:①表观差异,如仿生态鱼道的建筑材料环保、池室内部结构粗糙、环境仿自然、水流呈现出多样性、适应通过鱼类范围广,但适用水头小,占地面积大,在条件允许时可优先选用;②设计参数差异,如坡度、提升高度、宽度、深度、宽浅比等不同于工程型鱼道。

2) 仿生态鱼道关键设计参数具有如下特征:底坡的坡度较缓,坡度一般小于5%;断面多为宽浅形式,宽深比一般大于4;应用于总水头较小的工程,通常在10 m以下;池室的宽度,一般为2~6 m,深度多在1 m左右。

3) 鉴于中国现有过鱼资料的仿生态鱼道数量很少,本文仿生态鱼道参考数据多为欧美资料,得出的参数取值范围有一定限制,这些参数的取值规律可为我国仿生态鱼道的设计提供一定的参考。

参考文献:

- [1] BOK A, ROSSOUW J, ROOSEBOOM A. Guidelines for the planning, design and operation of fishways South Africa[R]. Gezina: Water Research Commission, 2007.

- [2] KOMURA S. Naturally shaped fishway of the Nagara River estuary barrage[C]//LECLERE M. Proceedings of the 2nd International Symposium on Habitat Hydraulics (volume B). Quebec: INRS-Eau, 1996: 855-860.
- [3] ACHARYA M, KELLS J, KATOPODIS C. Some Hydraulic Design Aspects of Nature-Like Fishways [C]//American Society of Civil Engineers. Proceedings of Joint Conference on Water Resource Engineering and Water Resources Planning and Management 2000: Building Partnerships. Reston: ASCE, 2000: 104-110.
- [4] Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau. Fish passes-design, dimensions and monitoring [M]. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2002.
- [5] KAPITZKE R. Fish passage planning and design-culvert fishway planning and design guidelines-part H-rock ramp fishways for open channels [R]. Queensland: James Cook University, 2010.
- [6] 孙双科, 张国强. 环境友好的近自然型鱼道[J]. 中国水利水电科学研究院学报, 2012(1): 41-47.
SUN S K, ZHANG G Q. Environment-friendly fishway in close-to-nature types [J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2012 (1): 41-47.
- [7] 周殷婷. 触须白鱼类选择性鱼道设计及试验研究[D]. 长沙: 湖南农业大学, 2012.
ZHOU Y T. Design and experimental research on selectivity fishway of Barbel [D]. Changsha: Hunan Agricultural University, 2012.
- [8] 王猛, 岳汉生, 史德亮, 等. 仿自然型鱼道进出口布置试验研究[J]. 长江科学院院报, 2014(1): 42-46, 52.
WANG M, YUE H S, SHI D L, et al. Model experiment on the layout of nature-like fishway's entrance and exit[J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2014(1): 42-46, 52.
- [9] 何雨朦, 安瑞冬, 李嘉, 等. 蛮石斜坡型仿自然鱼道水力学特性研究[J]. 水力发电学报, 2016, 35(10): 40-47.
HE Y M, AN R D, LI J, et al. Hydraulic characteristics of nature-like fishways of rock-ramp type [J]. Journal of hydroelectric engineering, 2016, 35(10): 40-47.
- [10] 林宁亚, 安瑞冬, 李嘉, 等. 交错蛮石墙式仿自然鱼道水力学特性研究[J]. 水电能源科学, 2017, 35(12): 82-85, 9.
LIN N Y, AN R D, LI J, et al. Study on hydraulic characteristics of nature-like fishway of interlaced stonewall shape[J]. Water resources and power, 2017, 35(12): 82-85, 9.
- [11] 吕巍, 王晓刚. 浅议我国鱼道运行管理存在的问题及对策: 以洮水洋塘鱼道为例[J]. 水生态学杂志, 2013, 34(4): 7-9.
LYU W, WANG X G. Problems and countermeasures in operation management of fishways in China: taking Yangtang Fishway as an Example [J]. Journal of hydroecology, 2013, 34(4): 7-9.
- [12] 徐进超, 王晓刚, 宣国祥, 等. 仿自然鱼道整体物理模型试验研究[J]. 水科学进展, 2017(6): 879-887.
XU J C, WANG X G, XUAN G X, et al. Physical model test study on nature-like fishways[J]. Advances in water science, 2017(6): 879-887.
- [13] 曹庆磊, 杨文俊, 周良景. 国内外过鱼设施研究综述[J]. 长江科学院院报, 2010, 27(5): 39-43.
CAO Q L, YANG W J, ZHOU L J. Review on study of passing facilities for fishes at home and abroad [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2010, 27(5): 39-43.
- [14] 李强. 长沙综合枢纽工程鱼道布置浅析[J]. 湖南水利水电, 2012(2): 13-16.
LI Q. Analysis of fish passageway arrangement in Changsha comprehensive hydraulic project [J]. Hunan water resources and hydropower, 2012(2): 13-16.
- [15] 宣国祥, 黄岳. 广西右江鱼梁航运枢纽工程鱼道水工水力学模型试验研究[R]. 南京: 南京水利科学研究院, 2009.
XUAN G X, HUANG Y. Experimental study on hydraulic hydraulics model of Guangxi [R]. Nanjing: Nanjing Hydraulic Research Institute, 2009.
- [16] 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.
WANG X Y, GUO J. Brief review on research and construction of fish-ways at home and abroad[J]. Journal of China Institute of Water Resources and Hydropower Research, 2005, 3(3): 222-228.