

DOI:10.16198/j.cnki.1009-640X.2019.04.002

魏炳乾,黄磊,袁海石,等.竖缝式与仿自然结合鱼道水力特性及其优化[J].水利水运工程学报,2019(4):9-16.(WEI Bingqian, HUANG Lei, YUAN Haishi, et al. Hydraulic characteristics and optimization of fishway combined with vertical slot and nature-like section[J]. Hydro-Science and Engineering, 2019(4): 9-16. (in Chinese))

竖缝式与仿自然结合鱼道水力特性及其优化

魏炳乾¹,黄 磊¹,袁海石²,李林博³,荆海晓¹

(1. 西安理工大学省部共建西北旱区生态水利国家重点实验室,陕西 西安 710048; 2. 国电电力青海万立水电开发有限公司,青海 西宁 810007; 3. 陕西水环境工程勘测设计研究院,陕西 西安 710018)

摘要:仿自然鱼道和结构型鱼道结合布置而成的鱼道,既具有仿自然鱼道和结构式鱼道的优点,又能满足苛刻的地形条件。针对地盘子鱼道,在设计及优化方案下分别建立比尺为1:10的整体模型,通过实测两种方案下模型水流的水位、流速及流态,论证了设计方案的合理性及优化方案的优化效果。结果表明:竖缝式和仿自然式结合布置的鱼道内水流流态良好,结构段和仿自然段采用较大底坡比进行衔接对衔接段流态并无不利影响;各溢流槽和竖缝平均流速基本保持在0.7~1.2 m/s,大流速区主要分布在衔接段及鱼道进口附近;与设计方案相比,优化方案中过鱼设施结构段S52~S57断面竖缝宽度增大25%,池室消能率最大降低50%;仿自然鱼道段进口处水深由1.0 m增加至1.3 m,F63~F68断面流速最大降低52%,有效保障了过鱼条件。研究结果可为设计和建设复杂场地过鱼设施提供参考。

关 键 词:水力学;鱼道;过鱼设施;物理模型;水流流态;水力特性

中图分类号:TV135.9; S956.3 **文献标志码:**A **文章编号:**1009-640X(2019)04-0009-08

鱼道是帮助洄游性鱼类越过闸、坝或天然障碍物的一种过鱼设施^[1]。设计合理的鱼道能让鱼类快速发现并迅速通过,避免鱼类在进口或鱼道内长时间滞留而延误洄游^[2-4]。目前修建的鱼道主要有结构型鱼道和仿自然鱼道两类。结构型鱼道主要采用混凝土等硬性材料制作,结构单一,针对特定种类的洄游鱼类,过鱼效果较为理想;仿自然鱼道利用自然地形、卵石等模拟天然河流,与结构型鱼道相比,其水流形态更为鱼类熟悉,具有更广的过鱼范围和更高的过鱼效率^[5-6]。

关于两种类型的鱼道,国内外研究者都做了较多探索,Komura等^[7]研究了障碍物位置的改变对鱼道水流流态的影响;Bombac等^[8]借助PCFLOW 2D模型探讨了垂直竖缝鱼道内水位、流量、缝宽等不同因素对水流流态的影响;Tran等^[9]利用二维浅水方程计算了具有各种淹没阻水设施的仿自然通道内的水力学特性,认为二维计算可以为仿自然鱼道的建设提供更加精细的计算结果,可用于鱼道的设计;刘志雄等^[10]分析讨论了不同竖缝宽度及池室长度下的流速分布及流速衰减情况,对不同工况下水流流态进行了分析;刘本芹等^[11]研究了竖缝式鱼道池室长宽比小于1.0时的隔板布置及水力特性,提出了减小隔板前局部水位壅高及提高竖缝流速沿程均匀性的设计原则;何雨朦等^[12]对比研究了对缝排列和错缝排列两种类型的蛮石斜坡型仿自然鱼道,结果表明对缝排列比错缝排列具有更加合理的鱼道水力学特性;林宁亚等^[13]结合工程实际研究了交错蛮石墙式仿自然鱼道的水力特性,为仿自然鱼道实际工程应用提供了参考。

受地形条件限制,常需要将仿自然鱼道和结构型鱼道相结合来布置过鱼设施。但是目前关于鱼道的研究主要集中在对单一底坡条件下鱼道池室水流结构的研究上,对于底坡发生变化且断面存在突变的不同型

收稿日期:2018-11-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51479163)

作者简介:魏炳乾(1963—),男,陕西兴平人,教授,博士,主要从事河流工程泥沙、山洪灾害方面研究。

E-mail: weibingqian@xaut.edu.cn 通信作者:黄 磊(E-mail: 1770083461@qq.com)

式鱼道衔接接时鱼道水流特性的研究相对缺乏,如何针对不同形式鱼道的衔接段进行结构优化以改善鱼道内水流在该段的流态、流速及池室消能率等,尚未见有相关研究报道,也未形成针对相应实际工程的指导意见。结合青海省地盘子鱼道,本文采用整体物理模型试验对初步设计方案和优化方案中的水位、流速、流态等水流条件进行研究,论证了设计方案的合理性及优化方案的优化效果,以期为类似工程提供借鉴参考。

1 工程概况

地盘子水电站是位于青海省祁连县扎马什乡的一座引水式电站,库区河道内鱼类资源丰富,并分布有青海省省级保护鱼类祁连裸鲤。根据规划,地盘子水电站下游拟建黄藏寺水利枢纽,考虑到该水利枢纽的建成将可能造成河道连通性的进一步破坏,拟建鱼道以保护地盘子电站库区及黄藏寺库区的渔业资源,满足鱼类的越冬、育肥以及洄游繁殖要求。地盘子鱼道整体示意见图1。

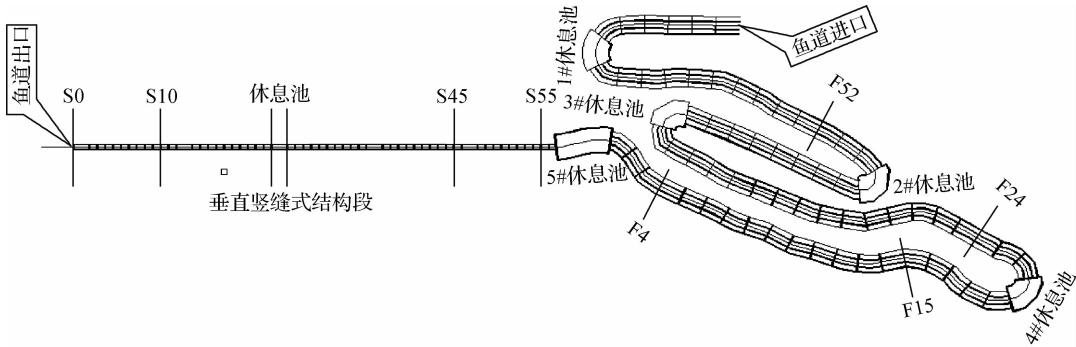


图1 地盘子鱼道整体示意

Fig. 1 Integrated model for Dipanzi fishway

初步设计的鱼道上游为垂直竖缝式结构段(以下简称结构段),长184.00 m,包含51个池室以及4个平底休息池,其平面布置如图2(a)所示;池室底部铺设0.2 m厚砾石,底坡1/53.57,相邻池间落差0.056 m,总落差2.860 m;鱼道下游为交错石块式仿自然段,总长644.81 m(中心线展开长度),设置64个池室,池室采用如图2(b)所示的梯形断面;池室底部铺设0.5 m厚砾石;池室底坡1/128.57,相邻池间落差0.070 m,总落差4.410 m,仿自然通道内水头每提升1 m设一平底休息池,休息池长12 m,宽10 m。垂直竖缝式鱼道和仿自然通道由5#休息池连接,长18 m,宽10 m。鱼道上游出口水位2 682.00 m,设计运行水深2.20 m,下游进口水位2 673.50 m,设计水深1.00 m;鱼道设计过流流量为0.67 m³/s。由于尚无鱼道目标鱼种祁连裸鲤游泳能力的研究资料,其游泳能力参考与其生活在同一区域的、在生活习性和体型上都接近的拉萨裸裂尻鱼的试验结果。由于设计水头较低,过鱼设施设计流速取1.00 m/s,祁连裸鲤突进流速取1.20 m/s,考虑到鲤鱼科鱼类的游泳能力^[14-15],鱼道整体流速控制在0.20~1.20 m/s。

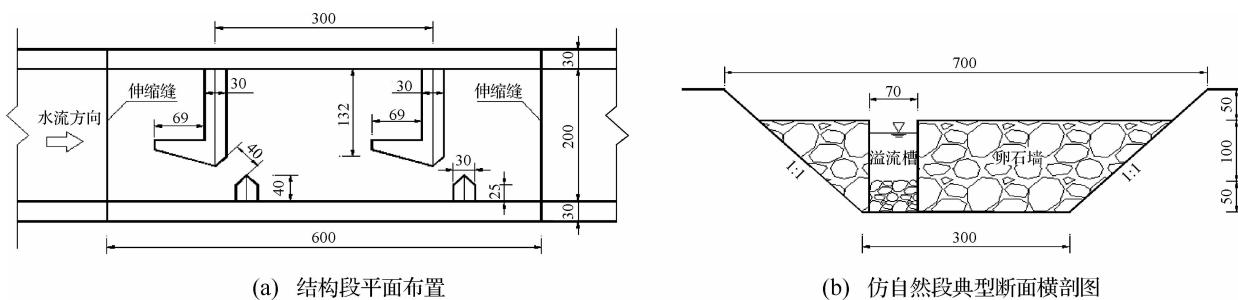


图2 鱼道结构段平面布置及仿自然段典型断面(单位:mm)

Fig. 2 Plane layout of fishway structural section and typical section of imitated natural section (unit: mm)

2 物理模型试验

原型流动受到多种力的作用,要做到模型与原型的所有力都相似十分困难,故应根据相应的试验目的和要求,保证主要作用力相似即可。考虑到鱼道水流为明流,重力起主要作用,故物理模型采用重力相似准则进行设计。根据试验场地及供水能力等因素,拟定模型几何比尺为1:10,相应的流量比尺为 $\lambda_Q = \lambda_L^{2.5} = 316.23$,流速比尺为 $\lambda_V = \lambda_L^{0.5} = 3.16$,糙率比尺为 $\lambda_n = \lambda_L^{1/6} = 1.468$ 。过鱼设施直道段和仿自然段原型综合糙率分别为0.018和0.030,由糙率比尺可知,直道段和仿自然段模型糙率应分别为0.012和0.020。模型试验中,鱼道直道段采用有机玻璃制作,仿自然段采用混凝土抹面,糙率分别为0.009和0.014。通过在直道段底部铺碎石、仿自然段底部铺石边墙镶嵌交错石块进行加糙处理,实测直道段和仿自然段模型糙率分别为0.011~0.012和0.019~0.021,满足试验要求。

试验测定了57个结构段竖缝和68个仿自然段隔板溢流槽的水流运动要素。鱼道沿程各池室水深和水面线采用水位测针测定,测量精度为±0.1 mm,由于溢流槽实际宽度较大,故测定每个溢流槽水面线时,选取溢流槽进、出口的左、中、右共计6个点进行测量。鱼道溢流槽中心处流速采用旋桨流速仪测量,测量时旋桨流速仪测针每提升15 mm测1次数据,每次测量3组数据,取平均值作为最终流速值。

3 设计方案中的鱼道水流结构

3.1 设计方案的流速与水面线

模型试验结果表明,由于设计方案中结构段鱼道和仿自然段鱼道底坡差异较大,鱼道各竖缝和溢流槽平均流速以5#休息池为界呈现明显的分段特点,如图3(a)所示。由于5#休息池上游结构段断面形态规则,故从鱼道进水口开始,断面平均流速沿程缓慢增大。S52断面以上各断面,竖缝平均流速为0.83~0.93 m/s;S52断面以下各断面,竖缝处平均流速均大于1.00 m/s,且沿程增长较快,直至结构段最末端断面,其平均流速达到了1.25 m/s,超过了目标鱼种的突进流速。

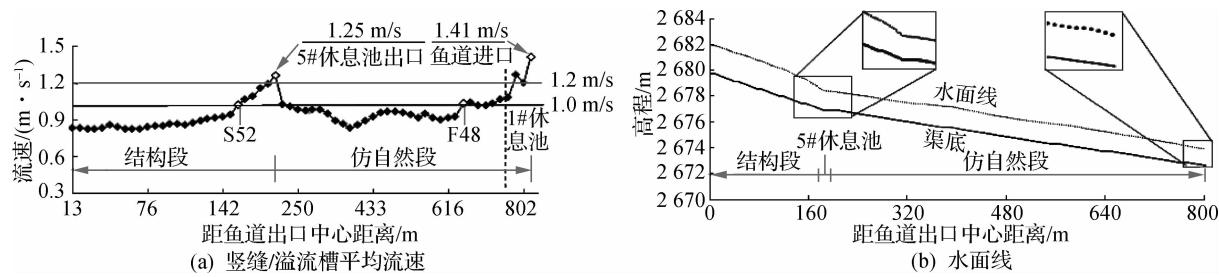


图3 设计方案鱼道流速及水面线沿程变化

Fig. 3 Fishway velocity and water surface line variation of design scheme

仿自然段上游部分断面平均流速超过1.00 m/s。这是因为结构段水流进入5#休息池时流速偏大,进而对与5#休息池相连接的下游溢流槽的断面平均流速产生了一定影响,导致断面平均流速超过设计值,但均小于1.20 m/s的突进流速。随着流态的沿程调整,仿自然鱼道内流速分布趋于平稳,F48断面上游各溢流槽的断面平均流速均小于设计流速。从F48断面开始,仿自然段内各溢流槽平均流速开始超过设计值并缓慢增加,至1#休息池下游,各溢流槽断面平均流速增速加快,这是由于在鱼道进口附近,水深迅速趋近进口水深,而1#休息池和鱼道进口水位相差较大,导致槽内水深沿程减少较快,以致鱼道进口断面的平均流速达到了1.41 m/s。

设计方案中鱼道的水面线沿程变化如图3(b)所示。由于仿自然段溢流槽具有一定宽度且水面在槽内

存在比降和波动,故溢流槽中心处的水面高程取溢流槽前后测点水面高程的平均值。由图 3(b)可知,水面线整体呈下降趋势,在结构段末端和仿自然段鱼道进口处,水面线出现明显跌落,这与该区域流速增长较快是对应的。

3.2 设计方案的池室消能率

池室消能率反映鱼道池室内单位水体平均消耗的水流功率,通常将之作为考察竖缝式鱼道过鱼能力的指标。池室消能率过大或过小都不利于过鱼。Larinier 等^[16]的研究指出,竖缝式鱼道各级池室的消能率不宜超过 150 W/m^3 ,文献[17]要求鲤科鱼类的最大允许消能率为 80 W/m^3 。池室消能率 [E] 按下式计算:

$$[E] = \rho g Q \frac{\Delta h}{V}$$

式中: V 为池室水体体积 (m^3); Q 为流量 (m^3/s); ρ 为水密度 (kg/m^3); g 为重力加速度 (m/s^2), Δh 为相邻池室水位差 (m)。

图 4 为鱼道结构段各级池室消能率沿程变化。由图 4 可知,S53 断面的上游各池室的消能率小于 80 W/m^3 ; S53 断面下游各池室消能率均超过了设计允许值,且增长较快,至结构段最末端断面,消能率增大至 155.6 W/m^3 ,不能满足过鱼要求。S53 断面下游各池室消能率变化规律与图 3(a)中竖缝平均流速沿程变化规律相似,这是因为该段池室隔板前后水位相差较大,且在结构段末端水位迅速趋近于 5#休息池进口水位过程中,该差值亦沿程迅速增大,从而导致 S53 断面下游竖缝平均流速以及池室消能率均迅速超过了设计允许值。

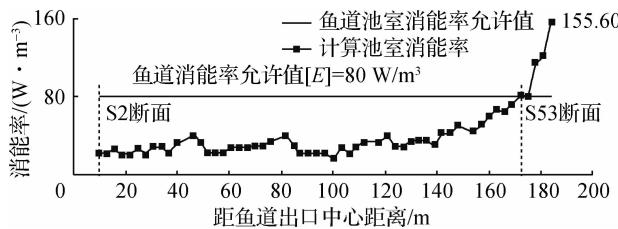


图 4 结构段竖缝沿程各级池室消能率

Fig. 4 Energy dissipation rate in fishway pool along longitudinal direction

3.3 设计方案的鱼道水流流态

设计方案的过鱼设施各段水流流态平顺。试验绘制了鱼道沿程池室水流动力轴线,图 5 仅给出部分典型池室的水动力轴线。由图 5 可见,结构段鱼道水动力轴线平顺;仿自然段各池室尽管结构不同,但主流明确。鱼道沿程各池室和休息池内均存在低流速回流区,为洄游鱼类提供了休憩场所。进一步计算发现鱼道各断面的弗劳德数均小于 1,表明整个鱼道内部水流均为缓流。

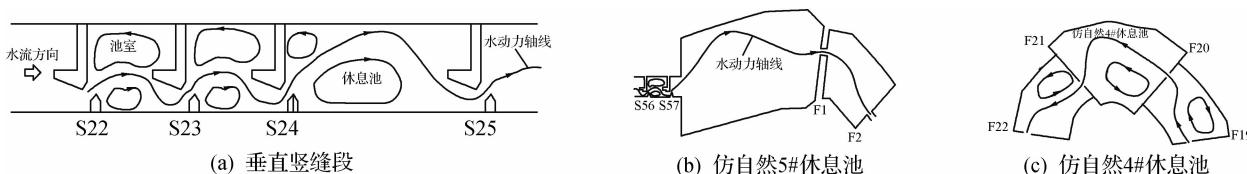


图 5 典型池室水动力轴线

Fig. 5 Hydrodynamic axis of typical fishway pool

模型试验结果表明,设计方案的过鱼设施各部分水流流态良好,各竖缝或溢流槽平均流速整体上满足过鱼要求。但在结构段末端(S52—S57)竖缝和仿自然段末端(F63—F68)溢流槽的平均流速受其下游边界影响而偏大;结构段与 5#休息池衔接处上游部分池室水面线存在较大跌落,池室消能率超过设计允许值,故需要对原设计进行局部优化,以满足目标鱼类的过鱼要求。

4 优化方案的鱼道水流结构

4.1 优化方案设计

拟定优化方案时采用对比试验对局部区域进行优化,同时利用计算机仿真模拟分析了局部结构改变对鱼道整体水流结构的影响。对比试验和模拟结果表明:①结构段末端 S52—S57 竖缝断面平均流速、消能率等水力参数随隔板导角的增大而增大,导角维持 45°为宜;竖缝宽度增大至 50 cm 时(原为 40 cm),各水力参数明显改善,继续增大竖缝宽度会导致 S47—S52 断面各水力参数增大;②降低仿自然段溢流槽底铺石厚度对减小槽内流速有明显作用,这是由于溢流槽底部铺石厚度降低后,溢流槽前后水位几乎无变化,但水流流经溢流槽时过流面积相应增大所致。

最终确定的优化方案为:①直道段底部铺石厚度不变,其下游部分断面的竖缝宽度增至 50 cm(模型上为 50 mm),去掉结构段 S57 断面的隔墩,同时直道段最末端增加 1 个简易隔板 S57',修改简图见图 6;②仿自然段各池室底部铺石厚度不变,1#至 5#休息池之间,溢流槽底部铺石厚度减小至 10 cm((图 7(a)模型上为 10 mm);1#休息池进口至鱼道进口断面(含溢流槽)底部铺石 40 cm(图 7(b)模型上为 40 mm);1#休息池底部铺石厚度维持 50 cm 不变(模型上为 50 mm),与进出口溢流槽底部铺石采用 1:1 坡比进行过渡;③鱼道进口水深调整为 1.3 m(原为 1.0 m)。

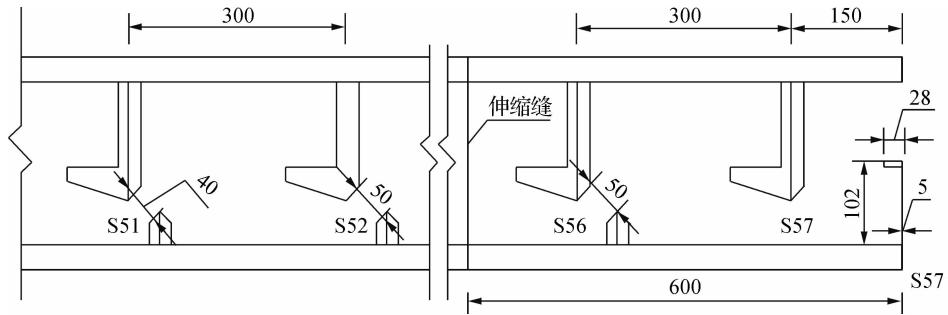


图 6 结构段优化方案(单位:mm)

Fig. 6 Structural segment optimization scheme (unit: mm)

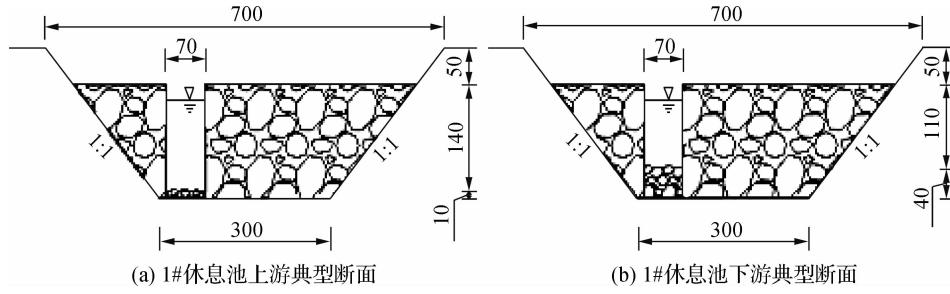


图 7 优化方案典型断面横剖面示意(单位:mm)

Fig. 7 Typical transverse cross-section of optimization scheme (unit: mm)

4.2 优化方案实测流速与水面线结果分析

图 8 为优化方案鱼道流速沿程变化。可以看出,结构段各竖缝断面平均流速在 1.00 m/s 附近波动,最大断面平均流速为 1.17 m/s,调整后结构段末端 S52—S57'断面,由于竖缝宽度增大,竖缝平均流速明显低于设计方案,S52 上游部分竖缝断面平均流速略有提高,这是由于 S52 断面下游竖缝宽度增大,结构段末端

隔板壅水能力减弱,进而引起 S52 上游部分竖缝水深减小所致,但均小于祁连裸鲤的突进流速 1.20 m/s。

仿自然段各溢流槽平均流速均小于鱼道设计流速。1#休息池上游各溢流槽底部铺石厚度减至 10 mm,各溢流槽平均流速均有所降低;在 1#休息池下游,鱼道进口水面抬高,使得进口附近溢流槽断面平均流速大幅减小,其中鱼道进口断面(F68)流速由 1.41 m/s 降至 0.742 m/s,降幅达 52%。

优化方案中结构段末端 S52 至 S57'竖缝及仿自然段 1#休息池下游各溢流槽水面高程沿程变化如图 9 所示。结构段 S52—S57'竖缝处水面高程(图 9(a))较设计方案有所降低且水面比降有所增大,这是由于优化方案中流量不变而该段竖缝宽度增大所致;鱼道进口水位抬升后,仿自然段 1#休息池下游各溢流槽水面高程明显增加(图 9(b))。另外,鱼道进口水位抬升至 1.3 m 时,其回水上溯至 F48 断面附近,回水范围内各溢流槽平均流速均有降低,且相邻溢流槽内流速变化更小,这对过鱼有利。

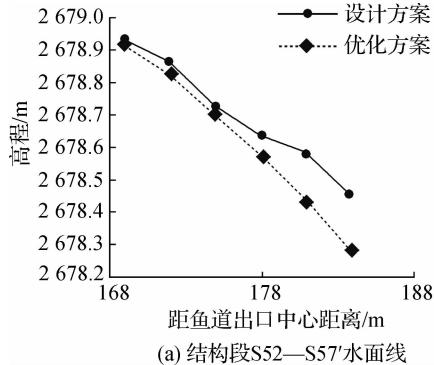


图 9 优化方案结构段末端及仿自然段 1#休息池下游水面线

Fig. 9 Water surface line of structural section end and downstream of 1# rest pool of imitated natural section of optimization scheme

4.3 优化方案的池室消能率结果与分析

优化方案结构段 S47 断面下游各池室消能率沿程变化如图 10 所示。由图 10 可知,结构段末端结构调整后,S53—S57 断面之间的池室消能率较设计方案明显减小,其中结构段最末端断面的池室消能率减小至设计方案的 50%。

S47—S52 断面之间池室消能率略有提高,这是由于 S52 下游隔板竖缝宽度增大,导致 S47—S52 上游隔板前后水位差增大引起的,但均未超过消能率允许值,能满足目标鱼种的洄游要求。

5 结语

针对地盘子鱼道工程,基于设计方案与优化方案分别建立了 1:10 的整体物理模型,对两种方案的鱼道

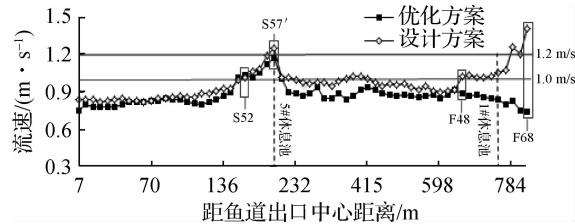


图 8 优化方案断面平均流速

Fig. 8 Mean velocity of transverse cross-section of optimization scheme

of optimization scheme

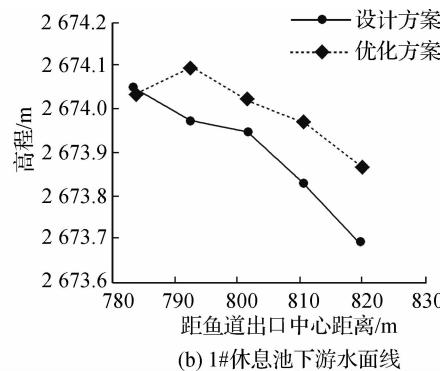


图 9 优化方案结构段末端及仿自然段 1#休息池下游水面线

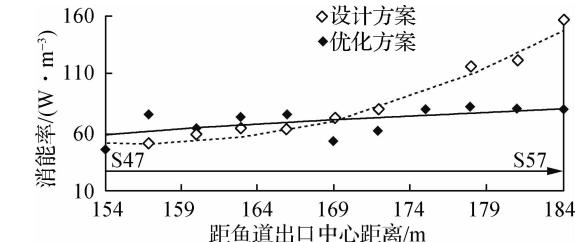


图 10 结构段末端池室消能率

Fig. 10 Energy dissipation rate of adjacent fishway pool of structural section end

水流特性进行了对比研究,得出了以下主要结论:

- (1) 竖缝式和仿自然式相结合的鱼道内水流流态良好,结构段和仿自然段分段采用较大底坡比(3:1)进行衔接对衔接段水流流态并无不利影响。
- (2) 过鱼设施内各溢流槽和竖缝平均流速基本保持在0.70~1.20 m/s,大流速区主要分布在衔接段及鱼道进口附近。
- (3) 相比于设计方案,优化方案中过鱼设施结构段末端部分竖缝宽度增大25%,池室消能率最大降低50%;仿自然鱼道段进口处水深由1.0 m增至1.3 m,F63—F68断面流速最大降低52%,同时回水上溯至F48断面附近,有效保障了过鱼条件。

参 考 文 献:

- [1] 陈凯麒,常仲农,曹晓红,等.我国鱼道的建设现状与展望[J].水利学报,2012,43(2):182-188. (CHEN Kaiqi, CHANG Zhongnong, CAO Xiaohong, et al. Status and prospect of fish pass construction in China[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2012, 43(2): 182-188. (in Chinese))
- [2] LIU M, RAJARATNAM N, ZHU D. Mean flow and turbulence structure in vertical slot fishways[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2006, 132(8): 765-777.
- [3] MURAOKA K, NAKANISHI S, KAYABA Y. Boulder arrangement on a rocky ramp fishway based on the swimming behavior of fish[J]. Limnologica, 2017, 62: 188-193.
- [4] 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,2014,31(1):42-46,52. (WANG Meng, YUE Hansheng, SHI Deliang, et al. Model experiment on the layout of nature-like fishway's entrance and exit [J]. Journal of Yangtze River Scientific Research Institute, 2014, 31(1): 42-46, 52. (in Chinese))
- [5] 李盛青,丁晓文,刘道明.仿自然过鱼通道综述[J].人民长江,2014,45(21):70-73,96. (LI Shengqing, DING Xiaowen, LIU Daoming. Overview of nature-simulating fishway[J]. Yangtze River, 2014, 45(21): 70-73, 96. (in Chinese))
- [6] 王桂华,夏自强,吴瑤,等.鱼道规划设计与建设的生态学方法研究[J].水利与建筑工程学报,2007,5(4):7-12. (WANG Guihua, XIA Ziqiang, WU Yao, et al. Study on designing and building of fishways by using ecological way[J]. Journal of Water Resources and Architectural Engineering[J], 2007, 5(4): 7-12. (in Chinese))
- [7] KOMURA S, KAZUSA S, HARA T. Naturally shaped fishway of the Nagara River estuary bar-rage[C]//Proceedings of the 2nd International Symposium on Habitat Hydraulic, Quebec, Canada. June 1-5, 1996: B855-B860.
- [8] BOMBĀČ M, ČETINA M, NOVAK G. Study on flow characteristics in vertical slot fishways regarding slot layout optimization [J]. Ecological Engineering, 2017, 107: 126-136.
- [9] TRAN T D, CHORDA J, LAURENS P. Modelling nature-like fishway flow around unsubmerged obstacles using a 2D shallow water model[J]. Environmental Fluid Mechanics, 2016, 16(2): 413-428.
- [10] 刘志雄,刘东,周赤.异侧竖缝式鱼道水力特性研究[J].人民长江,2011,42(15):66-78. (LIU Zhixiong, LIU Dong, ZHOU Chi. Study on hydraulic characteristics of different side vertical slit fishway[J]. Yangtze River, 2011, 42(15): 66-78. (in Chinese))
- [11] 刘本芹,黄岳,宣国祥.小长宽比鱼道池室水力学试验研究[J].水利水运工程学报,2015(6):101-106. (LIU Benqin, HUANG Yue, XUAN Guoxiang. Hydraulic model tests of fishway with small-sized pond[J]. Hydro-Science and Engineering, 2015(6): 101-106. (in Chinese))
- [12] 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 Yumeng, AN Ruidong, LI Jia, et al. Hydraulic characteristics of nature-like fishways of rock-ramp type [J]. Journal of Hydroelectric Engineering, 2016, 35(10): 40-47. (in Chinese))
- [13] 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 Ningya, AN Ruidong, LI Jia, et al. Study on hydraulic characteristics of nature-like fishway of interlaced stonewall shape [J]. Water Resource and Power, 2017, 35(12): 82-85, 9. (in Chinese))
- [14] 高东红.三维鱼道水力特性及鱼体上溯行进能力数值模拟研究[D].大连:大连理工大学,2015. (GAO Donghong.

Numerical simulation of hydraulic characteristics and upward-propagation ability of three dimensional fish channel[D]. Dalian: Dalian University of Technology, 2015. (in Chinese))

- [15] 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):1-9. (XU Jinchao, WANG Xiaogang, XUAN Guoxiang, et al. Physical model test study on nature-like fishways[J]. Advances in Water Science, 2017(6): 1-9. (in Chinese))
- [16] LARINIER M, TRAVADE F, PORCHER J P. Fishways: biological basis, design criteria and monitoring[M]. Bull: Food and Agriculture Organization of the United Nations, DVWK, 2002.
- [17] SL 609—2013 水利水电工程鱼道设计导则[S]. (SL 609—2013 Guideline for fishway in water conservancy and hydropower project[S]. (in Chinese))

Hydraulic characteristics and optimization of fishway combined with vertical slot and nature-like section

WEI Bingqian¹, HUANG Lei¹, YUAN Haishi², LI Linbo³, JING Haixiao¹

(1. State Key Laboratory of Eco-hydraulics in Northwest Arid Region of China, Xi'an 710048, China; 2. Qinghai Wanli Hydropower Development Co. of State Power, Xining 810007, China; 3. Shaanxi Water Environmental Engineering Investigation, Design & Research Institute, Xi'an 710018, China)

Abstract: The fish passage facilities in combination with a nature-like fishway and a structural fishway have the advantages of the nature-like fishway and the structural fishway, and can also meet the harsh terrain conditions. In this paper, based on the design scheme and the optimization scheme, the overall model of 1: 10 scale is respectively established for the Dipanzi fishway. The rationality of the design scheme and the optimized effects of the optimization scheme are demonstrated by measuring the water level, flow velocity and pattern of the two schemes. The model test analysis results show that the flow pattern in the fish passage facility with vertical slots and natural imitation is good, and there are no adverse impacts on the flow pattern in the joint section when the structure section and the nature-like section are connected by a larger bottom slope ratio; the average flow velocity of the overflow slots and vertical seams is basically kept within 0.7 and 1.2 m/s, and the high flow velocity area is mainly distributed near the connection section and the entrance of the fishway. Compared with the design scheme, the width of the vertical slots of the section S52 – S57 of the structural section of the fish passage facility in the optimized scheme increases by 25%, and the energy dissipation rate of the fishway pool chamber decreases by 50%. The water depth at the entrance of the nature-like fishway section increases from 1.0 m to 1.3 m, while the maximum flow velocity along the F63 – F68 section is reduced by 52%, which effectively guarantees the conditions for fish passage. The experimental research results can provide references for the design and construction of the fish passage facilities on the complex sites.

Key words: hydraulics; fishway; fish passage facility; physical model; flow pattern; hydraulic characteristics