



龙溪口航电枢纽仿自然生态鱼道施工技术

洋 强¹, 宋名先¹, 吕纪军²

(1. 中国水利水电第五工程局有限公司, 四川 成都 610066;
2. 四川港航建设工程有限公司, 四川 成都 610023)

摘要: 龙溪口航电枢纽的建设切断了原有河道鱼类迁徙通道。为保证枢纽上下游生态连通性, 基于物理学、生态学原理布置仿自然生态鱼道, 为河道鱼类提供良好的回溯通道。龙溪口航电枢纽工程仿自然生态鱼道具有超长、多弯折、藕节开挖难度大、施工强度高、工期紧等多个难点, 鉴于仿自然生态鱼道水流控制、鱼类回溯水生态环境模拟要求高, 通过模拟天然河床实况开挖、多种测量设备精准控制开挖体形、布置拟生态深潭休息室, 创新应用喷混一体化、浆砌石砌筑一体化等多种新型施工工艺, 提高鱼道施工精度及效率, 为鱼类迁徙创造良好的水流环境, 促进岷江流域生态环境循环稳定。

关键词: 鱼道; 藕节型; 仿自然生态; 一体化; 精准控制

中图分类号: U643.2

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)10-0080-03

Construction technology of imitated natural ecological fishway for Longxikou Navigation-power Junction

YANG Qiang¹, SONG Mingxian¹, LYU Jijun²

(1. Sinohydro Bureau 5 Co., Ltd., Chengdu 610066, China;

2. Sichuan Port and Channel Construction Engineering Co., Ltd., Chengdu 610023, China)

Abstract: The construction of the Longxikou Navigation-power Junction cuts off the original channel of river fish migration. To ensure the ecological connectivity of the upstream and downstream of the junction, we arrange the imitated natural ecological fishway based on the principles of physics and ecology to provide a good backtracking channel for fish. The imitated natural ecological fishway of the Longxikou Navigation-power Junction project has many difficulties, such as ultra-long length, multi-bending, difficult excavation of lotus joints, high construction intensity, and tight construction period. The requirements for water flow control of the imitated natural ecological fishway and water ecological environment simulation of fish backtracking are high. Thus, the actual excavation of natural riverbeds is simulated, the excavation shapes with various measuring equipment are accurately controlled, and the ecological deep pool lounge is employed. Meanwhile, various new construction technologies are innovatively applied, including spray mixing integration and slurry masonry integration. Finally, the fishway construction accuracy and efficiency are improved to create a good water flow environment for fish migration and promote the ecological environment circulation stability of the Minjiang River Basin.

Keywords: fishway; lotus joint type; imitated natural ecology; integration; precise control

1 工程概况

岷江龙溪口航电枢纽工程位于乐山市犍为县新民镇境内, 枢纽开发任务是以航运为主、航电

结合, 兼顾防洪、供水、环保等综合利用。工程等别为二等, 工程规模为大(2)型, 船闸级别为Ⅲ级。

收稿日期: 2023-06-07

作者简介: 洋强 (1992—), 男, 助理工程师, 从事大体积土石方精准开挖、大体积混凝土防裂领域研究。

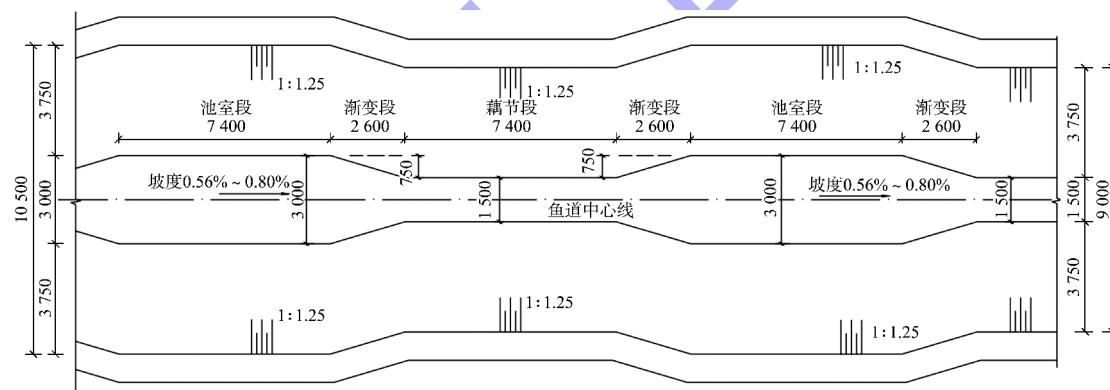
龙溪口航电枢纽仿自然生态鱼道位于地面发电厂房右侧, 跨越左岸接头重力坝, 主要包含闸室、渠道、深潭休息室、观测房及补水辅助设施等结构。针对龙溪口航电枢纽仿自然生态鱼道超长、多弯折、藕节型结构的特殊工况, 鱼道施工存在水流流态控制难度大、多体形变化边坡开挖测量放线工作繁琐、传统支护干喷法容易造成扬尘、浆砌石施工效率低等问题。因此为保证岷江流域水生态环境, 在施工过程中对仿自然生态鱼道关键技术研究应用至关重要。

2 仿自然生态鱼道结构布置

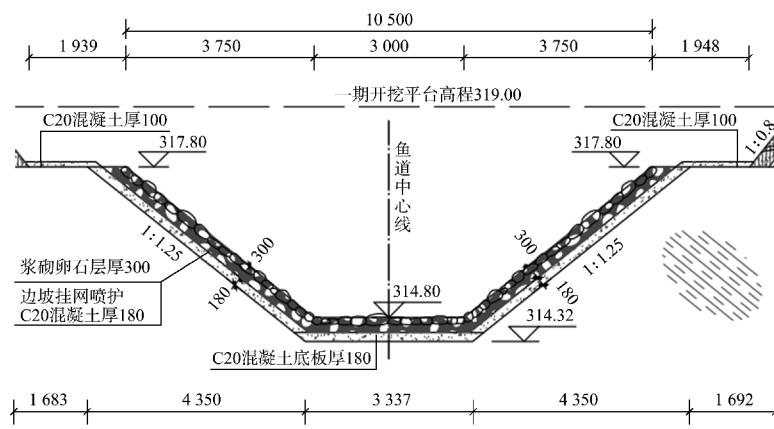
通过鱼类生态学试验验证龙溪口航电枢纽仿自然生态鱼道设计方案, 围绕鱼道渠道进行深度设计, 同时优化鱼道关键设计参数, 全方位、多角度保证鱼类顺利通行鱼道^[1]。同时从工程情况、过鱼目标、过鱼对象、运行水位组合以及鱼道形

式选择、结构尺寸等方面进行充分设计与分析, 并建立物理模型试验对其水流条件进行进一步优化^[2], 结合施工过程质量控制体现仿自然生态施工的优越性。

龙溪口航电枢纽仿自然生态鱼道整体结构为藕节梯形, 总长 2 533.50 m, 池底宽 3.0 m, 藕节底宽 1.5 m, 两侧坡比 1:1.25, 高 3.0 m, 藕节与池室采用渐变段连接, 仿自然生态鱼道典型平面布置见图 1a)。梯形结构断面的底板垫层为厚 180 mm 的 C20 混凝土, 边坡挂网喷护厚 180 mm 的 C20 混凝土, 底板及边坡面层均为厚 300 mm 浆砌卵石层。鱼道内池室间距 6.5 m, 隔墩为浆砌卵石结构, 厚 800 mm。鱼道深潭休息室、扭面渐变段采用浆砌卵石结构, 进口直立边墙段、坝体上下游侧连接直立挡墙段均采用混凝土结构, 仿自然生态鱼道结构典型断面见图 1b)。



a) 典型平面布置



b) 典型断面

图 1 仿自然生态鱼道平面和断面布置 (高程: m; 尺寸: mm)

3 仿生态鱼道施工关键技术

3.1 渠道开挖坡度精准控制

基于龙溪口航电枢纽超长、多弯折、藕节型结构的特殊工况，尽可能模拟天然河流的水流流态，提高过鱼效率，有效修复河道生态^[3]。鱼道各段结构开挖坡度不尽相同、超挖处理难度较大，尤其是池室段、渐变段、藕节段连续施工，现场施工难度大，故开挖体形精准控制成为渠道开挖关键环节。现场渠道开挖体形主要控制措施如下。

1) 无人机地理信息航测。渠道开挖前期，通过无人机航测获取鱼道基础地理信息并生成模型，伴随开挖过程不断更新开挖模型，依托模型直观展现并分析体形数据变化。

2) 全球定位系统(GPS)+载波相位差分技术(RTK)放样。深入结合 GPS+RTK 放样，对比采集基准站的载波相求差解算坐标及测量出卫星到测量信号接收点之间距离，针对开挖过程中开口线、坡脚线进行精准测量，精细化控制现场开挖。

3) 智能全站仪测量+建筑信息模型(BIM)技术。应用智能全站仪，通过输入关键开挖参数自动测量开挖体形，采用单向、对向和中点法三角高程测量 3 种方法进行精密三角高程测量。通过软件与硬件的整合，将 BIM 与智能全站仪进行集成应用，利用 BIM 模型中的三维空间坐标数据驱动智能型全站仪进行测量放样、点位复核。

4) 激光测距。通过红外线激光技术控制鱼道渠道开挖过程的横向距离精准测量，有效保证开挖宽度。

3.2 混凝土搅拌和喷射一体化

传统干喷作业存在效率低、容易造成扬尘、空气质量差等问题，因此针对超长鱼道的喷混作业，为保证现场施工效率，同时保持良好的作业环境，采用喷射混凝土搅拌和喷射一体化施工工艺。

现场施工过程中，通过混凝土搅拌机、喷射机有机组合，置于移动封闭操作间内，操作间预

留砂石料、水泥入料口，方便操作间外上料，掺料、搅拌均处于移动封闭操作间内，并通过操作间内设除尘设备降尘；混凝土喷射机、混凝土搅拌机通过法兰转盘有机组合，利用法兰转盘水平、竖向运转带动混凝土搅拌机拌制完成的混合料自卸进入混凝土喷射机^[4]。

通过混凝土搅拌和喷射一体化施工，一方面保留了干喷作业机动灵活、对作业人员技术要求低、设备回弹多余喷射混凝土回收率高等优点，另一方面大幅提高现场施工效率、保证密闭空间施工隔绝外界环境，保护了现场施工环境。现场应用效果良好，经济、社会效益显著。

3.3 浆砌石原料施工和砌筑一体化

鱼道渠道整体面层、鱼道隔墙均采用浆砌石原料施工和砌筑一体化工艺，同时浆砌卵石层施工质量及效率对鱼道水流控制具有重要意义。

在现场施工过程中，采用浆砌石原料施工和砌筑一体化装置，主要包括支撑及滑移平台，其中部设有石料出料口；支撑及滑移平台的上部设有石料储料斗和砂浆储料斗；石料储料斗底部的出料口位于石料出料口的上方，石料储料斗的出料口处设有仓门开闭装置；砂浆储料斗的底部出口通过管道控制阀连接有砂浆输送管道，砂浆输送管道设于支撑及滑移平台的后部；砂浆输送管道的底部设有开口以便于砂浆漏出^[5]。

在鱼道的浆砌石原料施工和砌筑一体化施工过程中，有效实现了护坡浆砌石原材料施工、半成品运输及砌筑施工的机械化，通过自动卸料装置有效替代传统人工砌筑料转运，节约人力成本，提升施工效率。此外，针对石料振捣、浆砌石表面收面增加二次收面工序，大幅提升浆砌石的砌筑质量。目前，在龙溪口航电枢纽仿自然生态鱼道的浆砌石施工过程中，浆砌石原料施工和砌筑一体化工艺的推广应用大幅提升了现场施工效率，充分保证了工期，节约施工成本。

(下转第 93 页)