



# 水电站上游配套码头总体方案设计

朱本飞, 叶成华

(中国电建集团华东勘测设计研究院有限公司, 浙江 杭州 311122)

**摘要:** 水电站配套码头的设计常面临地形和地质复杂、布置空间受限、装卸作业水位落差较大等限制条件。针对复杂条件下水电站配套码头设计面临的问题, 以西部地区某水电站上游配套码头为例, 研究码头总体方案布置的关键问题。基于库区码头的功能定位, 提出多方案选址、基于功能的码头分区、控制开挖量、合理的对外交通等有关解决措施, 讨论基于趸船的集运鱼和清污船装卸工艺方案。结果可为类似工程提供借鉴。

**关键词:** 水电站; 配套码头; 集运渔船; 清污船; 库区码头

中图分类号: TV 74; U 656.1

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2021)01-0087-05

## Overall plan of upstream supporting terminals for hydropower stations

ZHU Ben-fei, YE Cheng-hua

(POWERCHINA Huadong Engineering Co., Ltd., Hangzhou 311122, China)

**Abstract:** The design of supporting terminals for hydropower stations often faces constraints such as complex terrain and geology, limited layout space, and large change in water level for loading and unloading operations. In view of the problems faced by the design of the supporting terminals of hydropower stations under complex conditions, taking the upstream supporting terminals of a hydropower station in the western region as an example, we probe into key issues concerning the overall plan layout of the terminals. Based on the functional positioning of the terminals in the reservoir area, we propose related solutions such as multi-site selection, function-based terminal zoning, control the amount of excavation works, and reasonable external traffic, and discuss the loading and unloading process schemes of barge-based fish collection and sewage ship. The result may serve as reference for similar projects.

**Keywords:** hydropower station; supporting terminal; collecting and transporting fish boat; decontamination ship; reservoir terminal

大型水电站配套码头广泛存在于西部地区各大水电站库区, 一直以来因工程规模相对较小而较少受到关注。这类码头的功能定位与传统的内河货物装卸码头有一定的差异。常规的内河货运码头以货物装卸为主要目的, 客运码头以满足旅游客运需求为目标, 而电站配套码头为满足水电站自身运营管理需要而建设, 因此大型水电站往往会在上、下游建设供各类运营船舶停靠和作业

的配套码头。这类码头的功能相对繁杂, 例如金沙江白鹤滩水电站在其上游左岸和右岸分别配套建设斜坡道形式的运鱼及安保码头和清漂码头, 分别供集鱼船、运鱼船、安保船、工作船和清漂船等停靠; 杨房沟水电站在其上游左侧金波料场附近建设专门的直立式船舶停靠平台, 以满足集运渔船、清漂船和工作船等船舶在水电站运行期间的停靠和作业。

收稿日期: 2020-04-27

作者简介: 朱本飞(1987—), 男, 博士, 高级工程师, 研究方向为港口总平面布置和装卸工艺设计、港口系统建模与仿真分析。

水电站配套码头设计常面临地形地质复杂、布置空间受限、装卸作业水位落差较大、停靠船舶等级小等限制条件。这些特征使得其在码头选址、平面布置、装卸工艺设计等方面具有不同于海港的复杂性：一方面，海港地形相对平缓，而电站配套码头常建在高山峡谷地带，地形陡峭，空间有限，码头平面布置相对困难；另一方面，由于水位受到水电站运营调度的控制，码头运营的水位落差较大，对船舶停靠和装卸作业构成较大的影响，因而装卸工艺系统设计受到约束。此外，此类码头的停靠船舶往往吨级较小而数量较多，实际运营中常存在船舶顶靠和并靠等情形，因而码头的泊位数量可根据需要灵活设置。

目前，对于大型水电站配套码头的研究比较少。在集运鱼系统方面，王猛等<sup>[1]</sup>分析了集运鱼系统研究进展及关键技术问题，朱海峰等<sup>[2]</sup>梳理了下游洄游鱼类通道设施的工程措施和技术；吴天祥等<sup>[3]</sup>介绍了采用流速和灯光诱鱼方式的集鱼船技术和相关设施与设备方案；对于过鱼设施，吕宏飞等<sup>[4]</sup>以丰满大坝的过鱼设施设计为例，研究了基于浮式趸船的坝前运鱼箱的垂直运输方案；张陆良等<sup>[5]</sup>针对双江口水电站的特征，分析鱼道、集运鱼系统、升鱼机、鱼闸 4 种过鱼措施方案，推荐采用轨道运输的升鱼机方案；还有文献研究水电站的库区运输模式<sup>[6-7]</sup>、泄洪对码头的影响<sup>[8-9]</sup>等。从以上分析可以看出，现有的研究较少关注到水电站配套码头的总体方案布置。

本文结合雅砻江某水电站上游配套码头工程实际情况，讨论在诸多复杂限制条件下的配套码头总体方案布置，探讨配套码头的平面布置和装卸工艺设计过程中的若干关键共性问题，并提出可行的工程措施和解决方案，可为类似工程的建设提供参考。

## 1 总体布置的技术问题

本水电站位于四川省凉山彝族自治州境内的雅砻江中游河段上，是中游河段梯级开发的骨干电站之一。水电站正常蓄水位为 2 094 m，低水位

2 088 m，装机 1 500 MW。水电站配套码头位于坝肩左岸上游侧的石料场终采平台。该石料场承担水电站的混凝土骨料料源开采任务。石料场终采平台距上坝址约 1.7 km。沿江长约 570 m，宽约 250 m。料场设计终采平台高程为 2 095.00 m，最大边坡高度为 252 m，坡面呈台阶斜坡状。基岩岩性为花岗闪长岩。

上游配套码头服务于该水电站的日常运营和管理维护。其主要功能包括：1) 满足鱼类增殖站培育的鱼苗放流、过鱼设施系统放鱼的功能，即集运鱼船、捕鱼船的停靠及装卸作业；2) 满足库区垃圾清理船舶的停靠和卸船作业要求；3) 满足库区日常巡视检查船舶的停靠及工作人员上下船的功能要求。因此，停靠该码头的船舶主要包括集运鱼船、多功能捕鱼船、清污船、工作船、快艇等。船舶尺寸较小。

码头在设计过程中面临的主要技术问题如下：

1) 如何选择合理的码头位置。配套码头的选址需要考虑诸多复杂性因素。①要满足集运鱼系统的作业需求，码头在确保水电站安全的情况下尽可能地靠近大坝，缩短集运鱼的作业时间。②码头选址要求在工程红线范围内。水电站建设之初的工程征地红线已经划定，后期再对红线进行调整的困难很大。③控制工程投资，减少开挖工程量。受地域条件限制，配套码头的布置空间非常有限，往往涉及到土石方开挖，因而选址应尽量控制工程量。④码头选址要避免后方陡边坡落石风险，同时避开冲沟。⑤码头选址不能影响水电站运行的安全，减小电站泄洪对码头的影响。此外，水电站配套码头往往与电站同步建设，因而码头选址应该考虑施工的便利性。码头周边应有合适的运输通道，确保施工过程中物资运输顺畅，且与水电站的建设应互不干扰。

2) 如何满足清污船的作业需求。本工程库区配置的清污船上的垃圾卸船设施的最大提升高度为 3.5 m，而码头水位落差为 6 m。当码头采用斜坡道的形式时，清污船可以随时靠泊作业。但斜坡道需要结合地形进行布置，且码头占地面积较

大。在直立式码头布置情况下, 清污船直接靠泊时, 又难以满足全天候的垃圾卸船作业需求。

3) 陆域布置条件受限。库区码头的陆域空间有限, 可利用区域小且呈不规则形状, 无大面积成片的成熟土地可利用。如何最大程度地利用已有面积实现码头功能, 减少不必要的土石方开挖, 以实现控制工程投资和码头功能最大化的平衡是一个值得思考的问题。此外, 库区码头建设需要考虑陆域后方陡边坡的治理, 以控制和尽量减小风险源。

4) 码头连接道路设置较困难。无论是建设期的码头施工组织, 还是运营期的码头交通运行等,

均要求码头具有较好地运输条件。电站配套码头往往处于山区, 附近道路交通情况复杂, 因而水电站施工常需要自建施工道路。码头施工和运营均面临着如何利用现有道路, 在尽可能控制工程投资的条件下, 满足施工期和运营期的交通运输的要求。

## 2 码头平面布置

### 2.1 布置方案

#### 2.1.1 水域布置

本配套码头位于石料场终采平台的上游侧(图1)。终采平台下游侧为预留的其他工程用地。

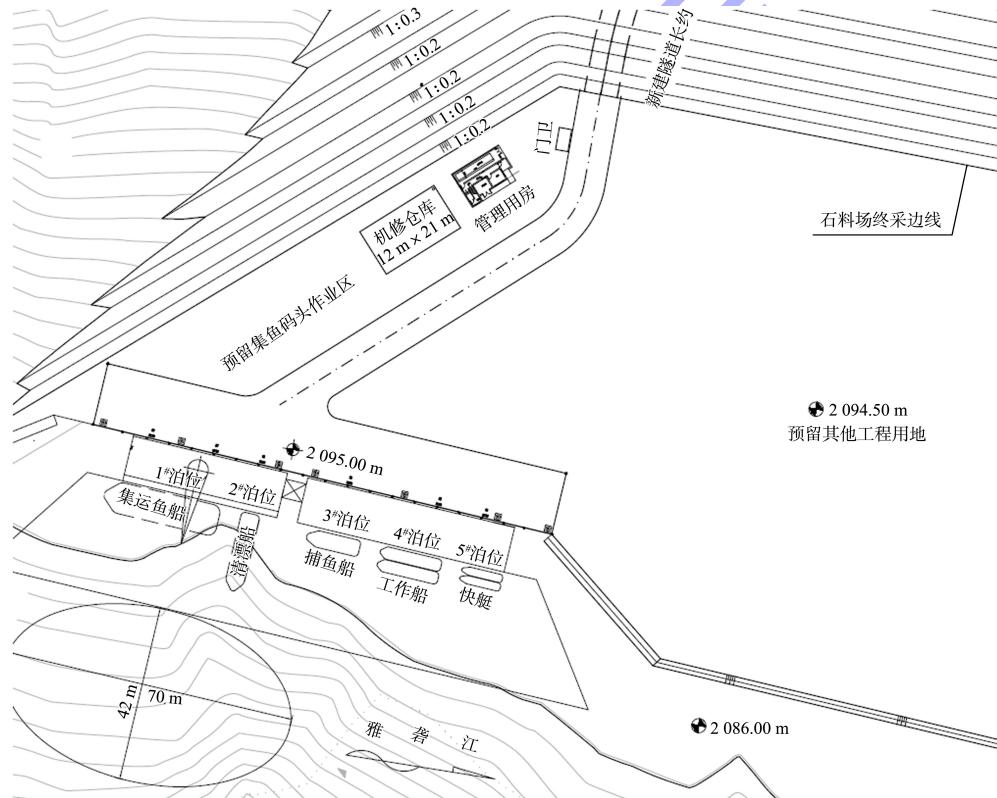


图1 水电站配套码头总体布置

根据《河港工程总体设计规范》的规定, 枢纽上游河段码头设计高水位可根据枢纽坝前正常蓄水位或设计挡水位时的沿程回水曲线确定, 并应计入河床可能淤积引起的水位抬高值。本码头距离大坝较近, 回水壅高可以忽略。由于河谷深沟型的地形, 该处因淤积引起的水位抬高也可忽略。因此, 码头设计高水位取水电站运行高水位2 094.00 m, 设计低水位为电站低水位2 088.00 m。基于码头安全运

行的需要, 同时考虑到料场的规划终采开挖高程面为2 094.50 m, 并结合下游侧预留用地的设计高程, 本码头面设计高程设为2 095.00 m。

综合考虑自然条件、船舶安全靠离泊、装卸工艺等因素, 泊位前沿线的布置与水流方向大致平行, 以尽量减少码头运营期间对流态及航道的影响。从码头上游至下游, 依次分为装卸作业区和人行区域, 分别布置1个集运鱼船泊位、1个清

污船泊位和 3 个船舶停靠泊位, 以满足集运鱼装卸作业、垃圾卸船作业, 以及船舶停靠和人员上下船作业。其中, 基于船舶装卸作业的要求, 清污船泊位为顶靠, 其他泊位为顺靠。

码头平台采用直立式连片布置, 全长 113 m, 宽 20 m。结合码头装卸工艺, 在码头前沿的装卸作业区和人行区域分别配置 2 艘趸船。装卸作业区的趸船的规格尺寸为长 38 m, 宽 11 m。人行区域的趸船尺寸为长 51 m, 宽 11 m。2 艘趸船之间采用长 5 m 的钢桥连接, 便于工作人员行走。结合料场终采开挖高程, 码头面高程定为 2 095.00 m, 前沿设计底高程为 2 086.00 m。停泊水域宽度取船舶总宽度加设计船型宽度, 顶靠泊位取船长加设计船宽加船首或船尾外端与接岸设施外端的长度。回旋水域为椭圆形区域, 顺水流方向长度为 70 m, 垂直水流方向长度为 42 m。由于该码头的特殊性, 船舶回旋区域及航行区域所处位置的泥面均为自然坡面。水电站蓄水后上游将形成库区, 码头正常运行时的水深条件良好, 船舶通航不存在航道障碍。

## 2.1.2 陆域布置

码头陆域按照功能主要分为生产作业区和辅助作业区。生产作业区为码头前沿区域, 满足集运鱼装卸、垃圾卸船、人员上下船的功能需求。辅助作业区布置在连接终采平台隧道的出口处, 建设 1 座 2 层管理房, 满足管理人员的办公、生活、值班、临时仓库需要。生产作业区与辅助作业区之间预留一定的集鱼码头作业场地。

本码头的流动车辆主要为生产作业区服务的运鱼车、垃圾运输车、小汽车以及小客车。由于工程的陆域仅占终采平台的小部分, 终采平台的连接道路可由其他工程一并考虑。终采码头的交通组织采取新建 460 m 的连接隧道和扩宽 100 m 的既有隧道相结合的方式实现。通过这 2 段隧道工程可以降低成本, 实现码头陆域与对外交通的有效衔接。

## 2.2 主要问题的应对措施

1) 合理确定码头位置。由于码头选址需考虑的因素较多, 通过评估 5 个备选位置, 最终选择

石料场终采平台作为最终选址。相对于其他位置, 该选址的优势主要体现在以下几个方面: ①终采平台位于水电站征地红线范围内, 不存在重新征地问题; ②终采平台的场地面积较大, 且平台高程与码头设计高程基本一致, 完全满足码头陆域布置要求; ③避免了其他选址带来的大规模土石方开挖和陡边坡治理; ④通过较短的连接隧道即可打通码头运输通道; ⑤该区域地质条件较好, 水工结构投资相对较省。相对于其他备选地址, 该选址的缺点是距离水电站大坝较远, 但该距离仍在正常范围, 完全满足集运鱼系统的作业要求。

2) 合理设置码头功能分区。基于配套码头生产作业的特殊性, 本工程不需要设置堆场和常规仓库, 仅需考虑码头前沿的装卸作业及满足管理人员值班所需的前沿生产作业区和辅助作业区。前沿装卸作业区主要满足货物装卸要求, 可能存在卸船垃圾撒落以及异味等问题, 而人行区域主要满足库区维护人员上、下船的要求, 对于环境要求相对较高。因此, 在码头前沿配备 2 条相对独立的趸船, 将 2 个功能区进行适当隔离, 实现货流和客流的分离, 既优化客流环境, 也避免货物装卸作业给人员上、下船带来的潜在风险。

3) 控制开挖量及合理选择连接道路以控制工程投资。控制水电站配套码头工程投资的关键在于水工结构、场地开挖和连接道路等方面。结合终采平台开挖断面, 码头采用贴坡挡土墙结构, 可有效减少开挖量。贴坡挡土墙由墙身和锚杆构成, 工程造价较低, 施工较简便。本码头直接利用石料场终采平台建设码头, 场地开挖量极少。利用扩建已有隧道与新建连接隧道的方式, 有效控制了工程总投资。

## 3 装卸工艺

### 3.1 装卸工艺方案

#### 3.1.1 集运鱼装卸工艺

本配套码头的主要功能之一是满足集运鱼系统的作业要求。集运鱼工艺方案拟采用固定式起重机和趸船配套的方案, 即“集运鱼船+趸船+固

定式起重机+运鱼车”方案。采用该组合方案基于2个原因: 1) 由于停靠平台设计水位差较大, 为方便各类船舶的停靠并满足清污船垃圾卸船作业需求, 同时基于业主的强烈要求, 拟在停靠平台前沿设置趸船; 2) 固定式起重机工作效率高、作业稳定性好、运转灵活、成本较低, 是内河及库区理想的装卸设备, 比较适用于船岸装卸作业。考虑到固定式起重机的作业幅度、停靠平台运营的安全等因素, 将固定式起重机安装在趸船上。

集运鱼的水平运输采用自持式运鱼车。车辆行驶到上游码头后, 通过趸船上的起重机将运鱼车上的运鱼箱从车上吊至集运鱼船上。集运鱼船将运鱼箱运输至合适的放流地点后, 将鱼类全部放出。反之, 集运鱼船将鱼运至码头, 再通过起重机将集运鱼船内的运鱼箱吊装至码头上的运鱼车上方, 打开运鱼箱的放鱼口将鱼类转移至运鱼车上。

### 3.1.2 清污船装卸工艺

满足清污船的垃圾卸船作业是配套码头的另一个主要功能。库区垃圾以生活垃圾和库周自然枯萎掉落的乔木为主, 可能存在极少量体积较大的林木。垃圾卸船工艺拟采用趸船上的垃圾提升设施进行二次传输为主, 同时借用固定式起重机兼顾大原木的吊装, 即“清污船+趸船+垃圾提升设施+垃圾运输车”和“清污船+趸船+固定式起重机+垃圾运输车”方案。

对于常规的水面漂浮物, 清污船将其收集后停靠至垃圾卸船泊位。借助清污船自带的垃圾上岸设施将垃圾输送至趸船上, 然后通过趸船的垃圾提升设施的二次传输, 进一步将垃圾转运至垃圾车内, 最后将垃圾运输至指定的地方。对于极少量的非常规林木垃圾, 借助趸船上的固定式起重机进行吊装, 将其吊装至停靠平台上的汽车再运走。

### 3.1.3 人员上下船工艺

工作船及快艇的停靠不涉及到大宗物资的装卸作业, 只有相关工作人员及旅客的上下船需求。人员上下船可以采用在码头前沿设踏步的形式来实现, 也可以在趸船上安装钢爬梯。由于本码头

已配置有趸船, 因而采取“趸船+钢爬梯”方案。在装卸区和人行区域的趸船上各设1座人行爬梯。爬梯可以随着水位的升降而调节高度, 以满足水位变化的要求。

## 3.2 主要问题的应对措施

由于码头的水位差变幅为6 m, 而库区配置的清污船的垃圾最大提升高度只有3.5 m, 且基于该工程所处地形地质等自然条件的限制, 码头难以采用斜坡道布置形式。在直立式码头结构的情况下, 码头前沿配置趸船, 并在趸船上设置垃圾二次提升设施。同时考虑到方便工作人员上下船, 在趸船上设置可升降的爬梯。这种基于“趸船+垃圾提升设施/钢爬梯”的工艺模式, 既满足垃圾卸船作业的功能需求, 又满足了人员安全上下船的要求。

## 4 结语

1) 水电站库区码头的选址需考虑的因素较多, 对码头工程造价的影响较大, 因此宜谨慎选址。本工程最终选址水电站石料场的终采平台, 较好地解决了码头场地面积限制、控制石方开挖量、港区连接道路、工程投资控制等问题。

2) 基于码头的需求, 合理设置功能分区。水电站配套码头的功能要求相对较多, 而码头作业又不频繁。因此, 宜根据功能的不同合理划分作业区域, 既要满足各种必须的功能, 又尽量实现客流和货流的相对独立, 保障码头日常运营维护的安全。

3) 水电站配套码头的对外交通宜尽量利用已有道路以控制投资。可结合码头所处地形, 必要时适当改造水电站施工临时隧道或永久隧道, 作为码头未来的永久运输道路。

4) 本工程采用基于趸船的装卸工艺方案, 成功地解决了较大水位差条件下的物料装卸作业和人员上下船的问题。这种以趸船为主要载体, 以其他装卸设备为依托, 即“趸船+固定式起重机/垃圾提升设施/钢爬梯”模式, 值得类似工程借鉴。