

# 云南水富港扩能工程总体布局设计要点

魏伟, 刘耕, 肖丹

(四川省交通勘察设计研究院有限公司, 四川成都 610017)

**摘要:** 针对山区河流水流条件复杂、陆域纵深狭窄、港口布局受限的问题, 提出可行的解决方案, 采取相应工程措施, 实现港区“铁、公、水”联运功能; 并针对水域布置的关键问题, 通过物理模型试验, 优化平面布置, 改善通航条件。运营期验证表明, 码头泊位前水流平缓、流态稳定, 船舶装卸作业可靠度较高, 技术路线和研究方法合理可行。

**关键词:** 山区河流; 港口布局; 关键问题

中图分类号: U 651

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)S1-0113-06

## Key points of overall layout design of Yunnan Shuifu Port capacity expansion project

WEI Wei, LIU Geng, XIAO Dan

(Sichuan Communication Surveying & Design Institute Co., Ltd., Chengdu 610017, China)

**Abstract:** Regarding the complex flow conditions in mountainous rivers, narrow land depth and limited port layout, feasible solutions are put forward and corresponding engineering measures are taken to realize the combined transport function of “railway, highway and water” in the port area. In view of the key problems of water area layout, the plane layout is optimized through physical model test to improve navigation conditions. The verification during the operation period shows that the water flow in the front of the wharf berth is gentle, the flow regime is stable, the reliability of ship loading and unloading operation is high, and the technical route and research method are reasonable and feasible.

**Keywords:** mountain river; overall layout; key problem

水富港扩能工程位于云南省水富县城区、金沙江右岸, 上距向家坝电站 3.5 km, 下距四川省宜宾市 30 km, 内昆铁路、国道 213 紧邻港区。水富港是云南省北大门唯一的出海通道和金沙江下游翻坝转运的最后一站, 有“万里长江第一港”之称, 是云南省对接长江黄金水道、融入经济支撑带的枢纽港。水富港向北连接重庆、武汉、上海 3 大长江航运中心, 对接成渝经济区、长江流域经济带及上海自贸区; 向南连接昭通、昆明以及东南亚、南亚等市场经济体, 融入中国-东盟自由贸易区、孟中印缅经济走廊。本文通过分析工程所在地的边界条件, 探讨山区河流在复杂水、陆域条件下, 港口总体布局的设计重点及关键事

项, 供类似工程参考借鉴。

### 1 工程概况

水富港扩能工程由进港专用道路、港口物流园区和港口作业区 3 部分组成。G85 高速公路通过隧道工程连接进港专用道路, 直通水富港区; 进港专用道路是水富港主要的集疏运通道, 将水富港与国家高速公路网络连接, 向南直通昭通、昆明等地, 向北直达重庆、武汉等地。港口物流园区占地面积 11.7 万  $m^2$ , 沿横江以西、内昆铁路以东布局, 将内昆铁路支线及货物转运站纳入物流园区, 充分发挥铁路支线的运输能力, 实现港区“铁、公、水”联运功能。港口作业区紧邻水

收稿日期: 2022-06-13

作者简介: 魏伟(1980—), 男, 教授级高工, 从事港口与航道工程设计研究。

富城区,沿金沙江和横江布局,包括中嘴和中心作业区。中嘴作业区位于内昆铁路桥下游金沙江右岸,功能定位为散货作业区,占地面积 $8.7\text{万}\text{m}^2$ ,堆场面积 $3.4\text{万}\text{m}^2$ ,散货年吞吐量 $320\text{万}\text{t}$ ,3个 $1\text{000}$ 吨级、中洪水期兼靠 $3\text{000}$ 吨级泊位<sup>[1]</sup>;中心作业区位于内昆铁路桥上游金沙江右岸,功能定位为件杂货、集装箱作业区,占地面积 $5.7\text{万}\text{m}^2$ ,堆场面积 $1.8\text{万}\text{m}^2$ ,集装箱年吞吐量 $6\text{万}\text{TEU}$ ,件杂货年吞吐量 $76\text{万}\text{t}$ ,4个 $1\text{000}$ 吨级、中洪水期兼靠 $3\text{000}$ 吨级泊位,其中件杂货泊位2个、集装箱泊位2个<sup>[2]</sup>。目前,水富港扩能工程进港专用道路、港口物流园区、中嘴作业区已建成投产,中心作业区正在建设中,港口总体规划目标基本实现,水富港扩能工程总体布局见图1。



图1 水富港扩能工程总体布局

水富港扩能工程紧邻城区,影响总体布局的主要因素包括:1)港口与城市协调发展;2)港口功能分区有效衔接;3)水域布置科学合理。如何实现水富港的建设目标,克服复杂水、陆域边界条件,合理进行总体布置是设计过程中的难点。

## 2 设计要点

### 2.1 港口与城市协调发展

水富城区沿金沙江和横江呈阶梯状发展,江侧至后沿台地高差近 $150\text{m}$ ,城市主干道重庆路宽

$25\text{m}$ ,通过既有 $10\text{m}$ 宽隧道与G85高速相连。规划的港口岸线位于城市边缘、内昆铁路桥上、下游两侧,后方陆域纵深狭窄。深水岸线资源的唯一性基本确定了前沿水域的布局,陆域纵深的拓展势必导致与城市发展的矛盾,如何平衡两者之间的关系是总体布局中的关键问题。归纳起来主要表现在两个方面:一是港口建设用地与城市发展的矛盾;二是港口集疏运通道对城市交通的影响。

首先,根据水富港建设规模和目标,统筹港口建设用地面积指标,从征地拆迁、社会影响、城市环境、投资规模等多方面论证陆域纵深拓展的可行性,通过经济、技术指标分析,找到港口总体布局、建设用地规模与城市协调发展的平衡点,既要做到相对独立,又要利用城市管网系统,完善港区供电、给排水、消防等配套工程。水富港装卸区、堆场区、后方物流园区沿金沙江和横江一级台地布局,通过对一级台地的局部征拆,港口布局和城市发展空间上相对独立,并通过噪声分析和环境影响评估,采取工程措施,减少相互干扰,既体现港口集约化、规模化效益,又做到港城协调发展。

其次,水富城区通过既有 $10\text{m}$ 宽隧道连接主要的进出城通道G85高速。水富港建设以后,现有隧道标准、规模和通过能力不能满足城市交通和港区物流的通行需要。为有效缓解城市交通压力,确保港区集疏运通道流畅,总体布局采用新建隧道+进港专用道路的方式,港区集疏运通道与城市交通完全独立,有效进行客货分流,减少港口运营对城市交通的干扰。新建隧道起于G85高速水富互通出口,与既有隧道平行布设,隧道长 $664\text{m}$ ,宽 $10\text{m}$ ,双车道通行;隧道出口 $65\text{m}$ 处接进港专用道路,终点位于港区物流园区;路线全长 $2\text{365}\text{m}$ ,桥梁长度为 $1\text{505}\text{m}$ ,道路长度为 $860\text{m}$ ,桥梁最大转弯半径 $650\text{m}$ ,最小转弯半径 $200\text{m}$ ,平均纵坡 $2.1\%$ ;采用一级公路标准,设计时速 $60\text{km}$ ,路基宽度 $21\text{m}$ ,双向四车道通行,行车道宽度 $3.75\text{m}$ 。

## 2.2 港口功能分区有效衔接

### 2.2.1 铁路支线与物流园区的衔接

物流园区中部为某粮食仓库地块, 为实现“铁、公、水”联运功能, 其中原有的内昆铁路支线征拆后并入园区使用。铁路支线与主线并行, 轨顶高程 299.00 m, 不具备改造条件, 铁路支线的高程系统是区域内高程衔接的核心因素。维持轨顶高程不变, 将铁路支线地块改造成能进行直取作业的集装箱堆场。整个场区内沿横江上、下游地形高程 295~310 m, 以铁路货场为中心, 上游侧高程系统的设计与联络线道路纵坡一致, 一级平台(294.50 m)主要布置拆装箱库、件杂货仓库及相应的配套辅助区, 并通过 24 m 主通道和 16 m 辅通道连接进港专用道路; 下游侧通过两级平台(299.00 m 和 294.50 m)衔接中嘴作业区后沿。整个物流园区沿横江侧布局, 分区域布置的同时, 通过进港专用道路及园区内循环通道将物流园区与前沿装卸区有效衔接为一个整体。

### 2.2.2 物流园区与中嘴作业区的衔接

物流园区与中嘴作业区之间的双江大桥是连接云南水富港和四川小岸坝的主通道, 桥区地形高程 306~310 m, 将物流园区和中嘴作业区完全隔开, 成为平顺衔接的瓶颈。为确保物流园区与中嘴作业区连片使用, 对该区域进行了大范围开

挖, 平均开挖深度 18 m, 使物流园区与中嘴作业区平顺衔接。前后沿高程由 294.50 m 过渡至 290.44 m, 纵坡 2%; 同时由于开挖高度较大, 为保障两岸交通, 对区域内双江大桥引桥进行改造, 引桥区域跨越物流园区堆场, 桥跨布置 1×25 m 简支 T 梁+3×40 m 简支 T 梁, 桥梁全长 152 m, 桥宽 10.5~13.5 m。起止点桥台均采用桩柱式, 下部结构采用柱式桥墩、桩基础。通过上述工程措施, 充分利用水富港有限的陆域资源, 提高了港口集约化、规模化效应。

### 2.2.3 进港专用道路与翻坝大桥的衔接

根据货物流量、流向关系, 散货货种主要为翻坝转运, 翻坝运输大桥已建成通车, 进港专用道路与翻坝转运大桥未实现连接, 因此有必要布设匝道连接线, 跨越进港专用道路, 连接翻坝大桥。桥跨布置 1×13.5 m 现浇空心板+1×25 m 简支现浇梁+2×(3×20 m)普通钢筋砼连续梁+11×25 m 简支 T 梁, 桥梁全长为 437 m, 桥宽 8.5~12 m; 下部结构采用柱式桥墩、桩基础, 起止点桥台均采用桩柱式。完善翻坝转运匝道连接线后, 集疏运通道的流量、流向关系清晰, 通过进港专用道路完成集装箱、件杂货的集散, 通过翻坝转运匝道连接线实现散货集散, 各货种在港区内有效分流, 减少装卸作业干扰。水富港扩能工程物流园区平面布置见图 2<sup>[3]</sup>。

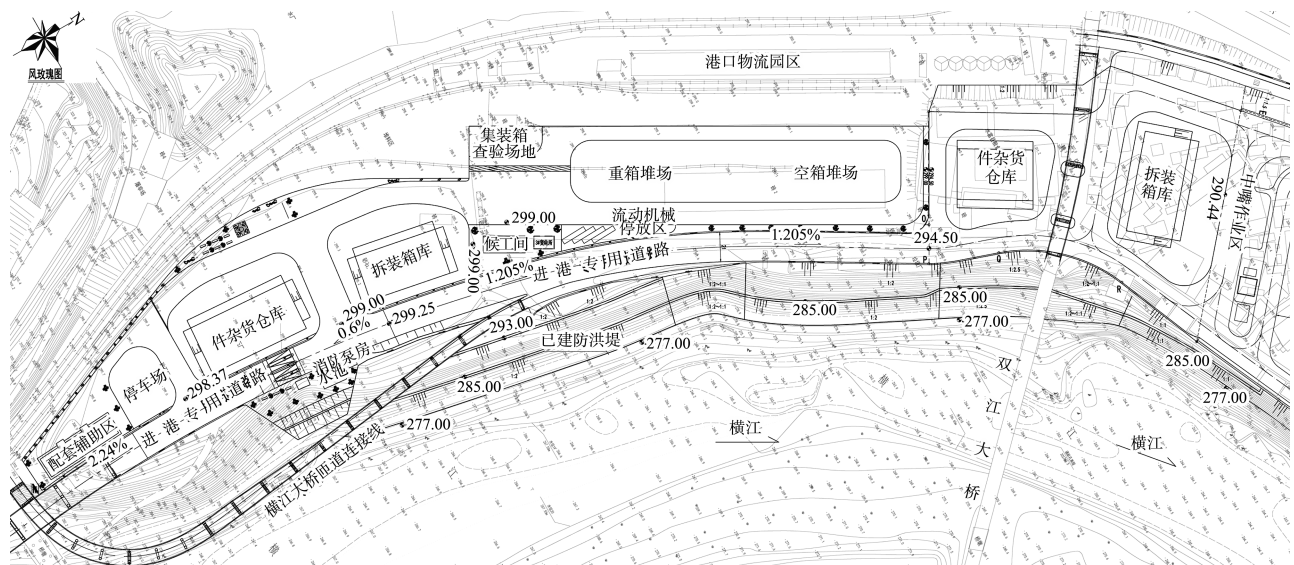


图 2 水富港扩能工程物流园区平面布置



## 2.3 水域布置科学合理

### 2.3.1 河势及通航条件

1) 工程河段为典型的山区河流, 河段走势微弯, 河槽窄深, 断面呈不对称 U 或 V 形。枯水期河槽沿左侧分布, 水深达 10 m, 宽仅 100 m, 右岸基岩边滩出露江面, 滩上石梁密布, 斜向河心。汛期内昆铁路桥桥墩阻水挑流作用明显, 桥区水流湍急, 流态紊乱。

2) 工程河段距离向家坝升船机引航道约 3 km, 上、下行船舶通过前沿水域进入桥区航道, 由中间通航孔过桥, 江面宽度 100~150 m, 船舶来往密度大。

3) 工程水域位于金沙江与横江交汇口, 水流条件受两江不同汇流组合的影响较大, 同时叠加向家坝水电站日调节恒定流和非恒定流的影响, 导致水流条件复杂。

### 2.3.2 水域布置

1) 水域主尺度。码头前沿采用直立式框架结构, 设计船型 1 000 吨级、中洪水期兼靠 3 000 吨级

干散货船。根据《河港工程总体设计规范》<sup>[4]</sup> 计算确定泊位长度  $L=233\text{ m}$ , 码头长度  $L_m=296\text{ m}$ , 码头前沿设计水深  $D_m=3.5\text{ m}$ , 设计河底高程  $H=260.36\text{ m}^{[5]}$ 。

2) 平面布置。工程河段靠近两江汇合口, 河道狭窄, 河床右岸岩石出露, 码头泊位前沿线布置于等高线 265 m 附近, 河道通航水域宽度由原来 120 m 增加至 170 m。拓宽通航水域的同时, 须进行大面积港池开挖, 开挖平均深度约 6 m, 港池开挖方量约 25 万  $\text{m}^3$ 。

泊位上游有拟建的内昆铁路桥, 根据《河港工程总体设计规范》, 为保证下游码头与桥梁安全间距不小于 2 倍设计船长 ( $L=67\text{ m}$ ) 的要求, 在内昆铁路桥下游 135 m 处布置 3 个 1 000 吨级散货泊位, 中洪水期兼靠 3 000 吨级船舶。码头前沿采用透空框架梁板式结构, 平台高程为 286.00 m, 平台长 296 m, 宽 75 m, 回旋水域布置在泊位前方, 长 167.5 m, 宽 100.5 m, 水域布置见图 3。

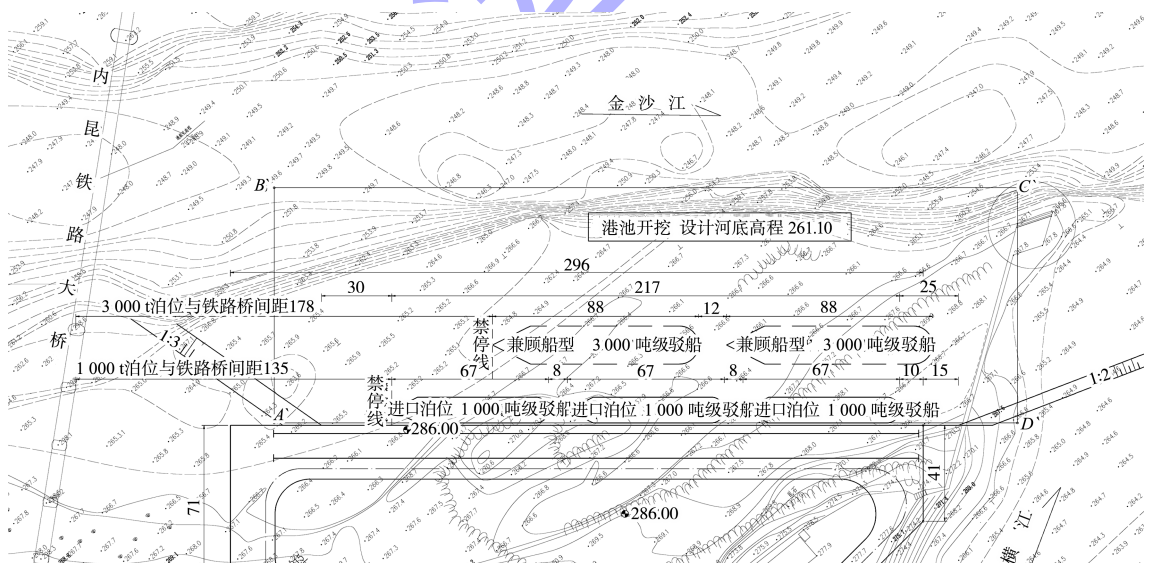


图 3 水富港扩能工程中嘴作业区水域布置 (单位: m)

## 3 物理模型试验

### 3.1 研究重点

1) 为减少对通航环境的影响, 满足水域布置的需要, 平面上拓宽水域范围, 断面上对码头前沿进行了大面积港池开挖, 原有河势条件改变较大, 重点研究水域布置对水流条件、河道过水断

面及通航环境的影响。

2) 运用物理模型验证不同工况下水流条件对船舶进、出港及靠泊作业的影响, 优化码头前沿水域布置, 提高船舶进出港及装卸作业的可靠度。物理模型试验结合向家坝水电站实际运行方式, 按正态、几何比尺 1:100 设计, 分析不同工况下金

沙江来水和横江汇流叠加对工程建设的影响, 模拟研究工程河段的通航水流条件, 验证、优化水域布置方案。

### 3.2 过水断面几何变化特征

为分析中嘴码头水域布置对河道水流条件的影响, 选取  $Q = 16\ 800$ 、 $21\ 800$ 、 $25\ 100\ \text{m}^3/\text{s}$  共 3 级流量计算码头修建后过水断面变化情况, 当工程河段遭遇  $P = 50\%$ 、 $20\%$ 、 $10\%$  洪水时, 码头上部断面过水宽度缩窄率分别为  $13.16\%$ 、 $14.04\%$  和  $14.32\%$ , 过水面积减小率分别为  $2.86\%$ 、 $4.62\%$  和  $5.38\%$ ; 码头中部断面过水宽度缩窄率分别为  $5.02\%$ 、 $17.43\%$  和  $18.17\%$ , 过水面积减小率分别为  $-2.76\%$ 、 $0.96\%$  和  $2.55\%$ 。水域布置占用的有效过水面积较小, 阻水影响不大, 对工

程河段通航水流条件影响较小。

### 3.3 建港后通航水流条件

模型试验实测各级流量及工况组合下, 建港前后港区河段水流变化特征值见表 1<sup>[6]</sup>。通过对试验数据的分析可知,  $Q_{\text{金}} < 8\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$  时, 水域布置对港区河段通航条件影响不大; 在汛期  $Q_{\text{金}} > 8\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$  时, 对港区河段通航条件有不利影响, 主要表现在铁路桥—码头河段的流速、比降有一定增加, 且随着流量增大, 影响增加。受码头上游附近铁路桥通航孔位置的限制, 天然情况下船舶上行通过桥区河段的最高流量在  $8\ 000 \sim 11\ 000\ \text{m}^3/\text{s}$ , 码头的修建对港区河段主航道通航的实际影响程度有限。

表 1 港区河段流速变化特征值

流量/ $(\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1})$	最大流速/ $(\text{m} \cdot \text{s}^{-1})$	铁路桥(0-60 m)	码头上(0+00 m)	码头中(0+150 m)	码头下(0+300 m)	横江河口(0+550 m)
$Q_{\text{金}} = 8\ 000$ $Q_{\text{横}} = 300$	工程前	3.17	3.07	3.28	3.29	3.13
	工程后	3.13	3.14	3.34	3.35	3.20
	差值	-0.04	0.07	0.06	0.06	0.07
$Q_{\text{金}} = 11\ 000$ $Q_{\text{横}} = 300$	工程前	3.77	3.65	3.91	3.87	3.84
	工程后	3.70	3.76	4.00	3.95	3.93
	差值	-0.07	0.11	0.09	0.08	0.09
$Q_{\text{金}} = 16\ 800$ $Q_{\text{横}} = 400$	工程前	4.64	4.50	4.96	4.75	4.88
	工程后	4.48	4.67	5.10	4.88	4.98
	差值	-0.16	0.17	0.14	0.13	0.10
$Q_{\text{金}} = 8\ 000$ $Q_{\text{横}} = 3\ 100$	工程前	2.76	2.66	2.88	2.78	2.78
	工程后	2.74	2.67	2.88	2.78	2.79
	差值	-0.02	0.01	0.00	0.00	0.01
$Q_{\text{金}} = 11\ 000$ $Q_{\text{横}} = 4\ 350$	工程前	3.17	3.09	3.45	3.37	3.27
	工程后	3.14	3.11	3.46	3.38	3.29
	差值	-0.03	0.02	0.01	0.01	0.02
$Q_{\text{金}} = 14\ 000$ $Q_{\text{横}} = 2\ 800$	工程前	3.69	3.69	4.16	4.05	3.56
	工程后	3.63	3.73	4.19	4.07	3.59
	差值	-0.06	0.04	0.03	0.02	0.03
$Q_{\text{金}} = 16\ 000$ $Q_{\text{横}} = 2\ 560$	工程前	4.22	4.06	4.50	4.42	3.83
	工程后	4.13	4.12	4.55	4.46	3.86
	差值	-0.09	0.06	0.05	0.04	0.03

### 3.4 日调节通航水位变化

实测向家坝电站日调节通航水位, 得到各工况下水富港区河段水位变化特征见表 2。日调节 1-1、1-6、1-9 等 3 个工况下, 码头水位日变幅未超过  $3\ \text{m}$ ; 日调节 2-1、2-6、2-8 等 3 个

工况下, 码头水位日变幅未超过  $4\ \text{m}$ 。工况 2-1 最小下泄流量  $1\ 200\ \text{m}^3/\text{s}$ , 中嘴码头最低水位  $265.18\ \text{m}$ , 码头前沿河底设计高程为  $260.36\ \text{m}$ , 水深  $4.82\ \text{m}$ , 大于  $3.5\ \text{m}$  设计水深, 满足最低通航水位要求。

表2 向家坝日调节码头水位变化特征值

日调节工况	最高水位/m	最低水位/m	日均水位/m	日变幅/m	最大水位变幅/m			
					10 min	15 min	30 min	60 min
1-1	268.06	265.59	266.54	2.47	0.25	0.33	0.58	0.84
1-6	270.51	268.05	269.00	2.46	0.20	0.29	0.51	0.76
1-9	271.28	268.64	270.32	2.64	0.24	0.33	0.55	0.81
2-1	268.84	265.18	266.46	3.66	0.26	0.36	0.63	1.08
2-6	270.81	267.08	268.83	3.73	0.25	0.36	0.62	0.94
2-8	271.09	267.28	269.63	3.81	0.37	0.44	0.61	0.90

### 3.5 物模小结

1) 前沿港池进行了大范围开挖, 中枯水期水流平缓, 汛期随着流量增加, 流速相应增大, 水流流向相对码头前沿左偏 20°左右, 缓水区宽度逐渐减小, 其中 1#泊位受影响最大, 2#、3#泊位依次减小。保持码头前沿下游端点位置不变, 将码头泊位前沿线向右岸逆时针旋转 3°~5°, 进一步改善中上部水域的通航条件, 减小汛期水流条件的影响。

2) 试验表明, 中枯水流量时, 码头对河段主航道基本没有影响; 汛期洪水流量时, 河段水面比降、流速略有增大。受内昆铁路桥限制, 最高通航流量在 8 000~11 000 m<sup>3</sup>/s, 与建码头前相比, 没有明显变化, 对主航道通航条件影响较小。

3) 根据向家坝电站运行方式拟定 6 个不同的日调节工况进行模拟试验, 工程河段水位最大日变幅 2.46~3.81 m, 最大 1 h 变幅 0.76~1.08 m, 最大 30 min 变幅 0.51~0.63 m, 最大 10 min 变幅 0.20~0.37 m。码头采用直立式框架结构, 码头前沿框架设 6 个系缆柱层, 能够满足各级水位船舶系靠泊作业要求。

## 4 运营期验证

水富港进港专用道路、中嘴作业区及港口物流园区于 2018 年底相继建成投产, 港口各功能分区有效衔接, 实现“铁、公、水”联运, 2021 年完成吞吐量 300 余万 t。码头中、洪水期泊位前沿水流平缓, 流态稳定, 船舶装卸作业可靠度较高; 运营期装卸船舶均能顺利进出港, 对主航道影响较小, 上、下游通航环境安全得到保障。

## 5 结论

1) 紧邻城市的港口布局要找到港口与城市发

展的平衡点, 尽量做到空间上相对独立, 通道上互不干扰, 实现港口规模化、集约化效应的同时与城市协调发展。

2) 多货种的综合性港口应根据货物流量、流向, 做好交通组织设计, 确保集疏运通道流畅, 各功能分区有效衔接。

3) 山区河流特别是水深流急、流态紊乱、通航条件复杂河段, 码头水域的布置应重点考虑减小水流流速对船舶装卸作业, 以及船舶进出港对上、下游通航环境的影响。

4) 复杂河段的水域布置可采用数学模型计算、物理模型试验等方法综合比较分析论证。

### 参考文献:

- [1] 四川省交通勘察设计研究院有限公司. 云南水富港扩能工程(一期)初步设计[R]. 成都: 四川省交通勘察设计研究院有限公司, 2015.
- [2] 四川省交通勘察设计研究院有限公司. 云南水富港扩能工程(二期)初步设计[R]. 成都: 四川省交通勘察设计研究院有限公司, 2017.
- [3] 四川省交通勘察设计研究院有限公司. 云南水富港扩能工程物流园区施工图设计[R]. 成都: 四川省交通勘察设计研究院有限公司, 2019.
- [4] 中交第二航务工程勘察设计院有限公司. 河港总体设计规范: JTS 166—2020[S]. 北京: 人民交通出版社股份有限公司, 2020.
- [5] 四川省交通勘察设计研究院有限公司. 云南水富港扩能工程(一期)施工图设计[R]. 成都: 四川省交通勘察设计研究院有限公司, 2018.
- [6] 西南水运工程科学研究所. 云南水富港扩能工程中嘴作业区码头工程通航模型试验研究报告[R]. 重庆: 西南水运工程科学研究所, 2016.