



三峡枢纽航运扩能后续待闸锚地 规划建设研究

朱旺峰，李佳恒，陈 轩，肖玉华
(长江三峡通航管理局，湖北 宜昌 443000)

摘要：针对三峡枢纽航运扩能后续待闸锚地建设问题，基于通过能力分析、运量预测、过闸规划船型等前期成果，通过经验公式和排队论方法分别对枢纽上下游待闸锚地所需泊位数进行分析测算，同时研究分析两坝间待闸锚地容量需求。三峡坝上、葛洲坝下锚地需满足 96 艘船舶待闸，两坝间上下行待闸锚地均需满足 28 艘船舶待闸。结合三峡枢纽河段锚地设置现状、未来通航交通组织需求，研究提出了待闸锚地规划建设方案，旨在为三峡枢纽航运扩能后续待闸锚地规划建设提供方案参考，更好满足船舶待闸需求，发挥枢纽航运效益。

关键词：三峡枢纽；待闸锚地；容量需求；规划建设

中图分类号：U 61

文献标志码：A

文章编号：1002-4972(2023)03-0105-04

Planning and construction of anchorages for Three Gorges Hydro-junction after shipping capacity expansion

ZHU Wangfeng, LI Jiaheng, CHEN Xuan, XIAO Yuhua

(Three Gorges Navigation Authority, Yichang 443000, China)

Abstract: This paper focuses on the construction of anchorages for the Three Gorges Hydro-junction after its shipping capacity expansion. It draws on carrying capacity analysis, traffic volume prediction, planning of ship types passing through the ship locks, and other previous achievements and employs the empirical formula and the queuing theory to analyze and calculate the number of berths required at the anchorages in the upstream and downstream of the hydro-junction. Furthermore, the paper analyzes the capacity demand on the anchorages between the two dams. The anchorages in the upstream of the Three Gorges Dam and the downstream of the Gezhouba Dam need to meet the anchor demand of 96 ships. The upbound and downbound anchorages between the two dams both need to meet the anchor demand of 28 ships. The paper further proposes an anchorage planning and construction scheme according to the current anchorage deployment situation and future navigation traffic organization demand of the Three Gorges Hydro-junction reach. The purpose is to provide a reference for the planning and construction of anchorages for the Three Gorges Hydro-junction after its shipping capacity expansion so that the hydro-junction can better meet the anchor demand of ships and bring into full play its shipping benefits.

Keywords: Three Gorges Hydro-junction; anchorage; capacity demand; planning and construction

自 2003 年三峡船闸通航以来，三峡枢纽航运效益逐步发挥，过闸货运量持续快速增长，2011 年三峡船闸单向通过量超 5 000 万 t，提前

19 a 达到设计通过能力。随着西部大开发战略的实施和区域城市经济社会的发展，三峡枢纽货运量持续增长，但受通过能力制约，枢纽年通过量

收稿日期：2022-06-13

作者简介：朱旺峰（1987—），男，硕士，工程师，从事水运建设项目前期管理工作。

增速趋于缓慢。为充分发挥三峡枢纽航运效益，“十一五”期以来，三峡通航管理部门在不断完善基础设施的同时，以提升枢纽通过能力为核心，多措并举不断挖潜枢纽通航能力，提高通航管理效率和管理水平，更好地适应了长江黄金水道建设和发展要求。2021 年三峡枢纽通过量达 1.5 亿 t，远超设计通过能力，当前，三峡枢纽船闸处于超负荷运行状态，船舶待闸现象突出。

待闸锚地作为航运配套设施的重要组成部分，对于保障通航安全、航道畅通和船闸高效运行具有重要作用。本文在三峡枢纽航运扩能前期研究成果基础上，研究提出待闸锚地容量需求及规划建设方案，旨在为待闸锚地规划建设提供方案参考，更好发挥航运效益。

表 1 三峡—葛洲坝枢纽配套待闸锚地基本情况

区位	锚地名称	位置	容量/艘
三峡 坝上	庙河(危险品)	长江上游航道里程 61.0~61.2 km 处左岸侧柳林碛(处)溪口内	10
	杉木溪(危险品)	长江上游航道里程约 58.3~58.6 km 处右岸侧杉木溪水域	10
	兰陵溪(危险品)	长江上游航道里程约 57.3~57.6 km 处右岸侧兰陵溪水域内	22
	沙湾	长江上游航道里程 56.0 km 处右岸侧沙湾水域	53
	仙人桥	长江上游航道里程 54.5~56.0 km 处右岸侧仙人桥水域	24
	曲溪	长江上游航道里程 54.5km 处右岸侧曲溪水域	35(应急停泊)
	端方溪	长江上游航道里程 58.0 km 处左岸侧端方溪水域	6
	百岁溪	长江上游航道里程 54.0 km 处左岸侧百岁溪水域	6
	老太平溪	长江上游航道里程 53.0 km 处左岸侧老太平溪水域	6
	靖江溪	长江上游航道里程 50.7km 处左岸侧靖江溪水域	6
	银杏沱	长江上游航道里程 52.6km 处右岸侧水域	9
合计		-	187(危险品船 42、普通货船 145)
两坝间	乐天溪	乐天溪上锚地在长江上游航道里程 36.9~39.1 km 处左岸侧水域范围内； 乐天溪下锚地在长江上游航道里程 36.1~36.9 km 处左岸侧水域范围内	50
	平善坝	长江上游航道里程 15.7~19.5 km 左岸，水域长 4.0 km	23(危险品船 3)
合计		-	73(危险品船 3、普通货船 70)
葛洲 坝下	临江坪	长江中游航道里程 608.0~618.0 km, 长 10.0 km	190
	陈家河(危险品)	长江中游航道里程 606.0~608.0 km, 长 2.0 km	30
合计		-	220(危险品船 30、普通货船 190)

2 锚地容量需求分析

2.1 容量需求静态分析

三峡枢纽航运扩能后，为最大化发挥三峡枢纽航运效率，三峡—葛洲坝过坝调度实行先计划、后安检的组织模式，根据船舶的申报信息进行过闸计划编制，提前将船舶按照过闸计划先后调度至锚地待闸，船舶抵达锚地后进行安检，采取随

1 锚地现状

三峡—葛洲坝枢纽配套待闸锚地可分为普通货船锚地、危险品锚地，主要分布在三峡坝上、两坝间和葛洲坝坝下水域，锚地设计之初设计代表船型多为 3 000 吨级。目前，三峡坝上共有 11 处锚地，其中庙河、杉木溪、兰陵溪 3 处危险品锚地可供 42 艘危险品船舶待闸，沙湾、仙人桥、曲溪、端方溪、百岁溪、老太平溪、靖江溪、银杏沱 8 处锚地可供 145 艘普货船待闸。两坝间有乐天溪、平善坝 2 处锚地，可供 70 艘普货船、3 艘危险品船待闸。葛洲坝坝下主要有临江坪、陈家河锚地，可供 190 艘普货船、30 艘危险品船待闸，锚地基本情况见表 1。

到随检模式，船舶安检合格后随调度指令依次航行至靠船墩水域待闸。锚地容量需求直接相关因素为单位时间的待闸船舶数量和船舶待闸锚泊时间。

综合分析《船闸总体设计规范》对船闸通过量相关指标的定义，测算泊位需求量与船舶待闸时长成倍数关系^[1-2]，则有：

$$N = \frac{Q\beta}{365G\alpha} \cdot T \cdot 10^4 \quad (1)$$

式中: N 为泊位需求量; Q 为年过闸货运量(万 t); β 为运量不平衡系数, 取 1.15; G 为过闸船舶平均吨位(t); α 为过闸船舶装载系数, 取 0.8; T 为需考虑的过闸船舶待闸锚泊时间(d)。

考虑锚地容量需满足远期 2050 年预测运量下过闸船舶待闸需求, 根据前期研究成果, 2050 年三峡枢纽过闸货运量 $Q=2.58$ 亿 t; 根据规划船型构成, 由中位数法测算过闸船舶平均吨位 $G=6353$ t; 考虑船闸运行工况、船舶抵达规律及计划编制经验, 综合权衡船舶待闸时间 T 按 1 d 计算。

测算得出, $N=160$, 单向锚地泊位需求为 80 个。综合考虑上下行运量不均衡性及升船机分流作用, 规划设计时取 20% 余量, 因此, 单向锚地泊位需求为 96 个, 即三峡坝上、葛洲坝坝下锚地需满足 96 艘船舶待闸。

2.2 基于排队论的泊位需求分析

排队理论研究认为三峡—葛洲坝枢纽船舶到达锚地是随机的, 符合泊松分布规律, 待闸船舶按照先后秩序过闸, 且过闸的时间符合负指数分布^[3-4]。

1) 船舶到达规律。 t 时间段内到达 n 艘船舶的概率分布函数 $P_n(t)$ 为:

$$P_n(t) = \frac{(\lambda t)^n}{n!} e^{-\lambda t} \quad (n=0, 1, 2, \dots, t>0) \quad (2)$$

式中: λ 为单位时间内到达的船舶数, 即平均到达率, $\lambda=80$ 艘/d。

2) 过闸服务的时间。船舶接受过闸服务时间的概率分布函数 $P_s(t)$ 为:

$$P_s(t) = 1 - e^{-\mu t} \quad (t>0) \quad (3)$$

式中: μ 为单位时间内过一线船闸的船舶数, 即船舶接受过闸服务的平均服务率。

根据前期研究, 三峡、葛洲坝各新建两线船闸, 闸室有效尺寸均为 280 m×40 m×8 m(长×宽×门槛最小水深), 三峡既有船闸日运行 16.3 闸次, 新建船闸日运行 16.6 闸次, 选取设计代表船型尺度为 130 m×22 m×5.5 m(总长×型宽×设计吃水)。通过对设计代表船型和船闸平面尺度分析, 同时考

虑未来船舶大型化发展、船舶到达的随机性, 未来每闸次平均船舶数约为 4 艘。测算得 $\mu=132$ 艘/d。

3) 概化模型。结合未来三峡—葛洲坝枢纽船舶待闸特征, 可将模型概化为 M/M/1 排队论模型^[5]。

①正常情况下待闸需求。记系统的服务强度为 ρ , 锚地内待闸船舶多于 k 艘的概率为 P , 则:

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \quad (4)$$

$$P = \rho^{k+1} \quad (5)$$

计算得 $\rho < 1$, 系统处于平稳状态。通常在 95% 概率船舶抵达锚地后有泊位停泊条件下, 即可满足待闸需求。测算得 $k=5$ 艘, 即 5 个泊位能够满足正常情况下船舶锚地待闸需求。

②船闸检修情况下待闸需求。三峡枢纽航运扩能后, 三峡—葛洲坝枢纽船闸检修多采取单线同步检修模式。当有一线船闸检修时, 枢纽通过能力将减小。综合分析三峡船闸换向运行效率的降低以及升船机的分流作用, 枢纽通过能力不低于 70%, 此时, 船舶接受过闸服务的平均服务率 $\mu=92$ 艘/d, 系统服务强度 $\rho < 1$, 处于平稳状态。测算得出, 21 个泊位可满足船舶待闸需求。

考虑船舶待闸实际, 要满足调度组织效率最大化, 需在锚地储备 2 闸次待闸船舶(三峡两线船闸加升船机共 18 艘)。因此, 基于排队论测算, 船闸检修情况下需 39 个锚地泊位。

4) 泊位需求分析。综合 2.1、2.2 分析得出, 配套待闸锚地需满足枢纽上下游 96 艘船舶的待闸需求。根据船舶发展比例预测, 按深吃水船舶(吃水大于 4.3 m)占比 40%、危险品船舶占比 10% 测算, 三峡坝上、葛洲坝坝下锚地共需泊位 96 个, 其中深吃水船舶泊位 38 个, 危险品船舶泊位 10 个。

2.3 两坝间泊位数量分析

三峡枢纽航运扩能后, 两坝间航道由于受风、雾、流量等因素影响, 船舶的应急待闸需求仍然存在。在两坝间应急停航情况下, 通过锚地储备一定量船舶, 可有效保障船舶安全, 提高复航后船舶过闸效率。研究分析认为, 两坝间锚地容量

按船闸正常运行时两坝间航行船舶最大量考虑。

正常通航情况下, 两坝间航段距离 38 km, 船舶平均航速约 9 km/h, 船舶出闸后需在两坝间行驶 4.2 h。为保障两坝间复航后船舶运行效率, 锚地需满足 4.2 h 通过船闸的船舶待闸需求, 即可保障复航后通航效率最大化。

综合考虑船舶过闸实际及船舶发展趋势, 危险品船舶需满足单向 1 闸次 4 艘待闸需求, 深吃水船舶占比按 40% 测算。根据前期研究, 未来葛洲坝船闸日均运行 18.3 闸次, 分析测算得出, 两坝间上下行锚地均需 28 个泊位, 其中危险品船舶泊位 4 个, 深吃水船舶泊位 11 个。

3 锚地规划建设方案

3.1 锚位水深需求

根据《河港工程总体设计规范》, 锚地水域设计水深 D 测算为:

$$D = T + Z + \Delta Z \quad (6)$$

式中: T 为船舶设计吃水, 取 5.5 m; Z 为龙骨下最小富余深度, 取 0.6 m; ΔZ 为其他富余深度, 取 0.5 m。测算得 $D=6.6$ m。

3.2 规划思路

三峡枢纽航运扩能后, 枢纽通过能力倍增, 配套锚地主要用于船舶安检待闸、应急停泊。研究分析认为现有待闸锚地容量远远满足吃水 4.3 m 以下船舶的待闸需求, 仅需对部分锚地进行改造满足深吃水船舶待闸需求。由于危险品船舶的尺度未发生较大变化, 现有锚地可满足危险品船舶

的待闸需求。因此, 锚地建设需根据设计代表船型的锚泊要求, 完善或新增部分锚泊设施, 提高维护水深。综合比选现有的待闸方式, 考虑到锚地水域环境以及深吃水船舶靠泊安全性、稳定性, 坝上锚地锚泊方式以靠船墩为主, 两坝间及坝下锚地以抛锚为主。

3.3 总体规划方案

1) 三峡坝上。综合考虑船舶进闸的便利性、左右岸待闸的均衡性、锚地水域的可利用性等因素, 改造沙湾、老太平溪、靖江溪 3 处丁靠锚地为靠船墩锚地, 分别建设靠船墩 8、6、6 个, 共提供万吨级泊位 40 个。对老太平溪、靖江溪锚泊水域浅点进行疏浚, 提高锚地维护水深至 6.6 m, 配套建设锚位标牌、岸电、监控摄像头等设施。

三峡坝上锚地靠船墩建设可采取单个锚泊点设置 2 座靠船墩、靠 4 艘万吨级船舶的靠泊方式。经系缆力测算和结构比选, 靠船墩采用直立式框架结构, 平面尺寸 28 m×23 m, 基础采用钻孔灌注桩, 设置不同水位的系缆平台, 每级系缆平台配置 550 kN 系船柱和 SA500H 型橡胶护舷。

2) 两坝间。两坝间升级改造乐天溪、平善坝锚地, 对部分锚泊水域炸礁, 提高锚地维护水深至 6.6 m, 重新规划锚地泊位满足不同船舶待闸需求, 配套建设锚位标牌。

3) 葛洲坝坝下。升级临江坪锚地, 疏浚提高锚地维护水深至 6.6 m, 规划泊位 100 个(其中, 深吃水船舶泊位 40 个), 配套建设锚位标牌、岸电、监控摄像头等设施。总体布局方案见图 1。

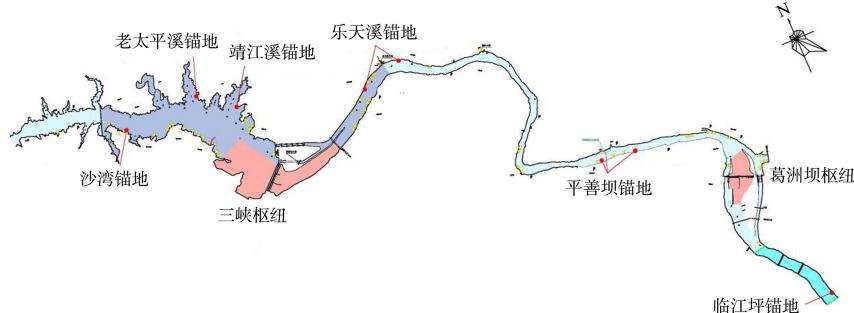


图 1 待闸锚地规划布局

(下转第 178 页)