



基于加快畅通国家高等级航道要求的通航建筑物适应性评价^{*}

孙 鹏^{1,2}, 简艳春^{1,2}, 刘展铄^{1,2}, 左天立^{1,2}

(1. 交通运输部规划研究院, 北京 100028; 2. 综合交通规划数字化实验室, 北京 100028)

摘要: 从畅通国家高等级航道的要求出发, 系统梳理了通航建筑物的建设现状特点, 提出以通行 1 000 吨级以上船舶枢纽比率、通过能力平均利用率为主要指标, 以梯级枢纽年通航率、复线通航率等为参考指标, 结合其他定性视角, 分别评价我国主要干流、支流和长三角国家高等级航道通航建筑物现状适应性。结果表明: 目前国家高等级航道通航建筑物通达情况得到了较大改善, 但仍存在建设滞后、干流船闸通过能力不足、支流船闸通航标准偏低、服务水平总体不高的问题。建议“十四五”要加快建设步伐, 保障国家高等级航道通行能力、服务水平和可靠性, 原则上各梯级枢纽应按 1 000 吨级以上标准预留复线通航建筑物。

关键词: 水路运输; 适应性评价; 国家高等级航道; 通航建筑物; 通过能力

中图分类号: U 641

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2023)04-0009-05

Adaptability evaluation of navigable structures based on construction of national high-grade waterway system

SUN Peng^{1,2}, JIAN Yanchun^{1,2}, LIU Zhanshuo^{1,2}, ZUO Tianli^{1,2}

(1. Transport Planning and Research Institute, Ministry of Transport, Beijing 100028, China;
2. Laboratory for Traffic & Transport Planning Digitalization, Beijing 100028, China)

Abstract: Based on the requirements of building a national high-grade waterway system, the characteristics of the current situation of China's navigation structures are systematically sorted out. To evaluate the adaptability of the current situation of national high-grade waterway navigation structures in China's main trunk streams, tributaries and the Yangtze River Delta, this paper proposes to take the proportion of hydro-junctions which can pass ships of more than 1,000-ton and the average utilization rate of passing capacity of navigation structures as the main indicators, and take the average annual navigation hours, the proportion of double-track navigation structures, and average waiting time of ships as reference indicators. The analysis shows that navigable structures of the national high-grade waterways have been greatly improved, but there are still problems such as lagging construction, insufficient capacity of main stream locks, low navigation grades of tributary locks, and generally low service levels. It is recommended to speed up the pace of construction in 14th Five-Year Plan, and in the long run, in order to ensure the capacity, service level and reliability of the national high-grade waterways, in principle, each hydro-junctions should reserve double-track navigation structures according to the standard of 1,000-ton and above.

Keywords: waterway transportation; adaptability evaluation; national high-grade waterway; navigation structure; navigation capacity

收稿日期: 2022-07-29

*基金项目: 国家社科基金重大项目(20ZDA086); 交通运输部战略规划与政策研究项目(2022-22-02)

作者简介: 孙鹏(1984—), 男, 高级工程师, 从事综合交通规划研究工作。

通讯作者: 简艳春(1975—), 男, 正高级工程师, 从事水运规划、综合交通规划研究工作。E-mail: jianyc@tpri.org.cn

我国内河水运资源丰富，大江大河横贯东西，主要支流汇集南北，水网地区河道密布，内河通航里程 12.7 万 km。《国家综合立体交通网规划纲要》^[1]提出 2035 年打造“四纵四横两网” 2.5 万 km 国家高等级航道，《内河航运发展纲要》^[2]进一步明确提出以 1 000 吨级航道为骨干，加快建设横贯东西、连接南北、通达海港的国家高等级航道，目前我国已基本建成国家高等级航道约 1.6 万 km，建设任务十分艰巨，《“十四五”现代综合交通运输体系发展规划》^[3]明确要求加强内河高等级航道扩能升级与畅通攻坚建设。

通航建筑物是国家高等级航道的关键节点，直接关系到航道的畅通，影响经济的运行。改革开放以来，我国内河水运发展取得了长足进步，通航建筑物建设成效十分显著，为推动区域经济发展、保障能源原材料运输、降低物流成本做出了重要贡献，但仍是制约国家高等级航道建设的主要环节。本文从打造国家高等级航道体系的目标出发，系统梳理了通航建筑物建设现状特点，重点从通航标准、通过能力、通航服务可靠性、服务水平等角度，总体评价我国国家高等级航道现有通航建筑物的适应性，并提出针对性建议。

1 现状特点

初步统计，国家高等级航道沿线现有通航建筑物 230 多座，占全国总量近 25%，涉及梯级枢纽近 170 个（表 1），主要有以下特点。

1) 广泛分布在各大水系。长江主要支流、西江航运干线及主要支流大部分流经山区和丘陵地带，梯级开发是水资源综合利用的重要途径，也是航道建设的主要手段之一，现分别有通航建筑物 79、36 座，各占我国主要高等级航道通航建筑物总数的 34%、16%。京杭运河、淮河与长三角高等级航道网连为一体，经济发达，水运需求旺盛，出于防洪、灌溉、排涝、航运等需要基本成为闸控河道，通航建筑物分布最为密集，共有 115 座，占主要高等级航道通航建筑物总数的 50%。该地区通航建筑物建设积极性较高，建设条件相对较好。

表 1 主要高等级航道通航建筑物分布

高等级航道	现有通航建筑物数量/座	涉及梯级枢纽数量/个
长江干支流	长江干线	6
	长江主要支流	73
西江航运干线及支流	西江航运干线	11
	珠江水系主要支流	25
京杭运河、淮河及长三角	京杭运河	45
	淮河干流	6
	长三角	64
合计	230	169

注：1. 同一枢纽建有两线通航建筑物时计为 2 座。2. 长江支流航道主要统计了金沙江、岷江、嘉陵江、乌江、汉江、湘江、赣江、信江等；珠江水系支流主要统计了右江、北盘江红水河、柳黔江、北江等；京杭运河及淮河支流纳入长三角水网统计。3. 主要为既有通航建筑物，含少量在建项目。

2) 通达性明显改善。干流航道方面，长江干线、西江航运干线、京杭运河、淮河干流梯级枢纽均已建设高标准通航建筑物，为水运大通道奠定了坚实基础；支流航道方面，历史上碍航闸坝造成较大影响^[4]，2014 年《航道法》出台，明确要求通航建筑物应当与主体工程同步规划、同步设计、同步建设、同步验收、同步投入使用，也为推动解决历史遗留的闸坝断航问题增添了重要动力。近年来，沙颍河基本实现全线复航；嘉陵江亭子口升船机以及乌江构皮滩、思林、沙沱升船机相继投入运行；右江百色水利枢纽通航设施开工建设；红水河龙滩升船机前期工作加快推进，闸坝通航的重点从“通不通”向“好不好”转变。

3) 货物通过量快速增长。以最具代表性的长江、西江航运干线和京杭运河为例，长江三峡船闸 2003 年通航，2011 年货物通过量达到设计通过能力，此后仍保持年均 3.5% 增速，2021 年达到 1.46 亿 t。西江航运干线长洲枢纽 2015 年建成三、四线船闸以来，年均货物通过量增长超过 15%，2021 年达到 1.52 亿 t。京杭运河苏北段大部分梯级枢纽年货物通过量达到 1.5 亿 t 以上。

4) 建设和运行主体多元化。我国内河通航建筑物分别由交通运输、水利水电、市政等其他系统建设和管理（表 2），其中水利水电系统数量最大，21 世纪以来由交通运输部门建设和管理的通航建筑物明显增加。由于历史原因和制度因素，

除长江三峡、葛洲坝通航以及京杭运河船闸主要由交通运输部门管理外, 其他航道通航建筑物管

理呈多元化态势, 未能在流域范围内实现整体性管理, 呈现不同程度的“碎片化”特征^[5]。

表2 高等级航道通航建筑物运行管理主体分类

管理部门	航道	主要特点
	长江三峡和葛洲坝	长江干线航运管理为中央事权, 由交通运输部长江航务管理局(派出机构)直接管理, 统一管理两个梯级及河段
交通部门	京杭运河	平原水网地区, 枢纽无发电收益, 船闸通行十分繁忙, 大部分由交通运输部门管理。在船闸最密集的苏北段, 江苏省交通运输厅成立了专门机构统一管理沿线船闸
	湘江、岷江等	通航河段主要为交通部门牵头建设的航电枢纽
多部门	西江航运干线、右江、嘉陵江、汉江、赣江、信江、沙颍河等	同一条航道上既有交通部门投资建设的航电(航运)枢纽, 也有水利水电枢纽, 相应通航建筑物各自分别管理
水利水电部门	其他支流高等级航道	大部分为水利水电枢纽

2 适应性评价

2.1 评价重点与指标

我国内河高等级航道仍处在大规模建设阶段, 首要问题仍是畅通, 提高服务水平和可靠性是更长远的发展要求, 研究将通航标准和通过能力作为适应性评价的重点, 同时兼顾通航服务的可靠性和服务水平, 提出航道通航建筑物适应性主要评价指标和参考性指标。

2.1.1 通航标准适应性

国家高等级航道的基本标准是Ⅲ级, 通行1 000吨级以上船舶^[6], 因此将高等级航道可通行1 000吨级以上船舶枢纽的比率(R_{kt}^j)作为主要评价指标:

$$R_{kt}^j = \sum_{i \in I_{kt}^j} N_i / \sum_{i \in I} N_i \times 100\% \quad (1)$$

式中: R_{kt}^j 为第 j 条航道, 通行1 000吨级以上船舶枢纽比率; I 为梯级枢纽集合; I_{kt}^j 为第 j 条航道, 通行1 000吨级以上船舶枢纽集合; i 为 I 集合中的第 i 个枢纽; N_i 为枢纽 i 满足条件的枢纽状态, 取0或1。

干流高等级航道规划标准大部分为Ⅰ、Ⅱ级, 因此增加干流通航建筑物达标率(R_{bz}^j)作为主要评价指标:

$$R_{bz}^j = \sum_{i \in I_{bz}^j} N_i / \sum_{i \in I_j} N_i \times 100\% \quad (2)$$

式中: R_{bz}^j 为第 j 条干流航道通航建筑物达标率;

I_j 为第 j 条干流航道中梯级枢纽集合; I_{bz}^j 为第 j 条干流航道中, 通航标准达到相应规划等级的梯级枢纽集合; N_i 为枢纽 i 满足条件的枢纽状态, 取0或1。

2.1.2 通过能力适应性

通航建筑物是决定航道通过能力的控制性节点, 因此将梯级枢纽通航建筑物设计通过能力的平均利用率(D_{tg}^j)作为主要评价指标:

$$D_{tg}^j = \sum_{i \in I_j} V_{zh}^i / \sum_{i \in I_j} C_i \times 100\% \quad (3)$$

式中: D_{tg}^j 为第 j 条干流枢纽设计通过能力平均利用率; I_j 为第 j 条干流航道中梯级枢纽集合; V_{zh}^i 为枢纽 i 主要货流方向货物通过量; C_i 为第 i 个枢纽设计单向通过能力。

2.1.3 通航服务可靠性

从近期看, 将通航建筑物实际运行的年通航率(R_{kk}^j)作为参考性指标:

$$R_{kk}^j = \sum_{i \in I_j} (H_i / 8 760) \times C_i / \sum_{i \in I_j} C_i \times 100\% \quad (4)$$

式中: R_{kk}^j 为第 j 条干流通航建筑物实际运行年平均通航率; H_i 为枢纽 i 的年实际通航小时数; I_j 为第 j 条干流航道中枢纽集合; C_i 为第 i 个枢纽设计通过能力。

从长远发展看, 通航建筑物往往需要定期维护、甚至停航大修, 建设复线设施不仅是扩大通过能力的需要, 也关系到水路运输的可靠性, 因

此将通航枢纽复线率(R_{fx}^j)也作参考性指标:

$$R_{fx}^j = \sum_{i \in I_{fx}^j} N_i / \sum_{i \in I_j} N_i \times 100\% \quad (5)$$

式中: R_{fx}^j 为第 j 条干流航道枢纽复线通航率; I_j 为第 j 条干流航道中枢集合; I_{fx}^j 为第 j 条干流航道中建有两线及以上通航建筑物的枢纽集合; N 为枢纽 i 满足条件的枢纽状态, 取 0 或 1。

2.1.4 通航管理和服务水平

可从信息化管理、梯级枢纽联合调度、船民满意度等方面进行定性评价。部分专家借鉴公路服务水平概念, 将船闸服务水平、待闸时间与通过能力挂钩^[7], 总体上仍处于探索阶段, 但对于相关统计完善的枢纽, 可将待闸时间(T_{dz}^j)作为参考性指标:

$$T_{dz}^j = \sum_{i \in I_j} (T_i V_i / \sum_{i \in I_j} V_i) \times 100\% \quad (6)$$

式中: T_{dz}^j 为第 j 条航道枢纽待闸时间; I_j 为第 j 条航道中枢集合; V_i 为枢纽 i 货物通过量。

2.2 通航标准适应性

从干流航道看, 我国长江干线、西江航运干线、京杭运河、淮河干流各梯级枢纽通航设施绝大部分已达到 1 000 吨级及以上, 其中相当部分可通行 2 000 吨级及以上船舶。同时, 上述干流高等级航道规划标准大部分为 I、II 级, 对照规划标准, 西江航运干线、淮河干流仍有部分梯级枢纽通航建筑物等级偏低, 难以满足长远发展的要求(图 1)。

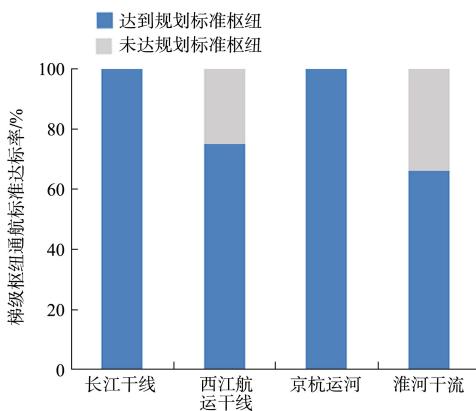


图 1 主要干流高等级航道梯级枢纽通航标准达标率

从支流航道看, 通航建筑物标准总体偏低。珠江水系近十几年来右江、北江新建通航建筑物基本维持了 1 000 吨级及以上标准, 但仍有 42% 的梯级枢纽未达到 1 000 吨级通航标准, 主要分布在北盘江红水河和东江等。长江水系主要支流高等级航道梯级枢纽仍有 60% 以上未达到 1 000 吨级通航标准, 主要为嘉陵江、乌江以及沅水和汉江上游河段等。上述河流梯级开发相对较早, 以往规划控制标准较低, 有的梯级受地形条件限制, 建设复线十分困难。长三角水网高等级航道也有近 40% 通航建筑物未达到 1 000 吨级通航标准(图 2)。

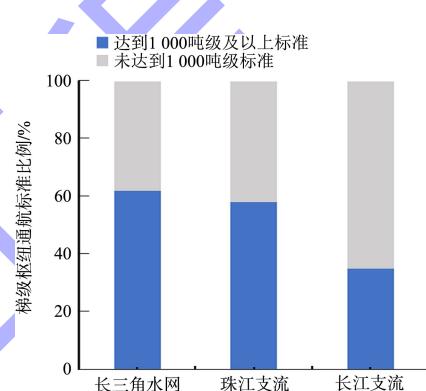


图 2 主要支流及长三角高等级航道梯级枢纽通航标准比例构成

2.3 通过能力适应性

从干流航道看, 长江干线、西江航运干线、淮河干流、京杭运河主要梯级通过能力普遍紧张, 难以适应经济社会和运输发展。长江三峡船闸已连续 11 a 超设计能力运行^[8], 坡区船舶积压常态化; 西江航运干线各船闸设计能力平均利用率超过 80%, 最繁忙的长洲枢纽已接近设计能力; 淮河干流各船闸设计能力平均利用率超过 90%, 其中蚌埠枢纽实际通过量已超过两线船闸总设计能力; 京杭运河苏北段船闸设计能力平均利用率约 120%(图 3)。从主要支流看, 大部分航道尚未高标贯通或贯通时间较短, 船闸通过能力较为充裕。从长三角高等级航道看, 合裕线、沙颍河等部分船闸能力紧张, 其他航道船闸通过能力充裕。

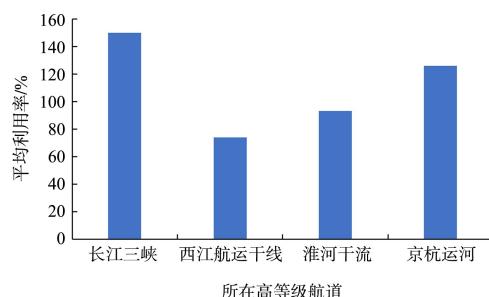


图3 主要干流航道通航建筑物设计能力平均利用率

2.4 通航服务可靠性

从实际通航率看,我国大部分船闸运行管理情况较好,繁忙船闸往往24 h开放,以长江三峡船闸为例,实际通航率超过96%,高于设计水平,但也存在个别通航建筑物建成后未正常运行的情况。从通航枢纽复线率看,长江干线航道建设以整治和疏浚为主,仅在上游建有三峡和葛洲坝2个梯级枢纽,均建有三线通航建筑物;西江航运干线、京杭运河、淮河干流航道除个别梯级外,也基本实现复线通航。其他支流高等级航道通航设施复线率约17%,复线设施主要分布在长三角水网和湘江、北江等少数航道(图4)。

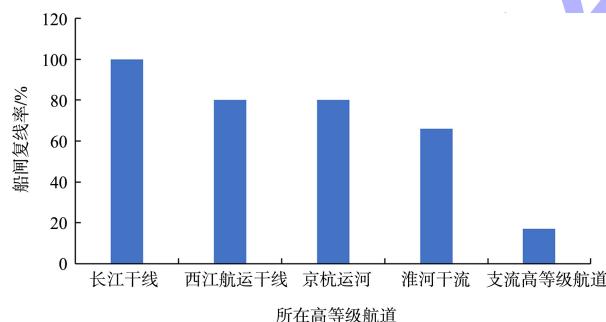


图4 主要高等级航道梯级枢纽复线通航率

2.5 通航管理和服务水平

从运行管理情况看,绝大部分高等级航道船闸实现了信息化管理,但也存在个别单位运行技术力量薄弱,对通航建筑物养护、管理不规范,开放时间短、信息不公开甚至随意停航现象。从联合调度情况看,除京杭运河等少数航道外,同一航道上下游通航建筑物业主分属水利、水电、交通、市政、国资等多部门,缺乏统筹安排,还存在停航检修时间安排不协调的问题。从过闸船舶平均待闸时间看,部分船闸存在长时间待闸现

象,如三峡船闸过闸船舶平均待闸时间已达110 h,严重影响航运效益和经济运行。

3 “十四五”措施建议

“十四五”期为切实抓好通航建筑物建设,确保国家高等级航道规划目标顺利实现,建议采取以下措施。

1) 严格规划管控。吸取历史教训,结合新一轮内河航道规划修订和实施,科学拟定航道发展规划技术等级,从严控制新建通航建筑物通航标准。为保障国家高等级航道通行能力、服务水平和可靠性,原则上各梯级枢纽应按1 000吨级以上标准预留复线通航建筑物。对位于高山峡谷或城市化地区、通航建筑物改扩建线位和土地资源紧张的河段,应提前做好预留线位研究,纳入当地国土空间规划严格管控。为加强干支衔接,充分发挥内河水运优势,建议各省市在规划建设区域性重要航道时,其通航建筑物尽可能兼顾1 000吨级船舶通行。

2) 加快建设步伐。加快推进未达标支流高等级航道航电枢纽和通航建筑物的建设,拓展国家高等级航道服务范围。进一步完善长江三峡枢纽翻坝转运体系,积极推动深化三峡枢纽水运新通道前期论证,研究推进西江航运干线长洲枢纽船闸扩能,加快推动京杭运河苏北段分流航道建设,适时推进其他支流高等级航道能力紧张的通航建筑物改扩建。

3) 推进联合调度。加快通航建筑物信息化建设,提升运行管理水平。建立健全跨地区、跨部门通航建筑物联合调度机制,解决运行时间、停航检修时间不统一的问题,依托信息化手段,优化过闸船舶联合调度,缩短全线过闸时间,提高梯级船闸运行整体效率。

4 结论

1) 我国国家高等级航道沿线现有通航建筑物230多座,占全国内河通航建筑物总量近25%,广泛分布在各大水系,建设和运行管理主体多元化。国家高等级航道仍处在大规模建设阶段,通航建筑物仍是其薄弱环节。

(下转第50页)