

南京长江大桥第5孔开通上行通道可行性研究

林 强

(长江南京航道局, 江苏南京 210011)

摘要: 目前南京长江大桥上行通航孔通过能力不足, 充分利用大桥通航桥孔、增加开通上行通航孔, 对于改善桥区航段通航环境、保障大桥及船舶通航安全是十分必要的。根据南京长江大桥所处航段的航道自然条件, 通过分析不同年份河床演变及水流条件, 提出大桥第5孔开通上行通道的可行性及开通方案。结果表明, 南京长江大桥第5孔与现通航孔跨度相同, 大桥河段水深槽宽, 具备开通为通航孔的基础条件。建议近期只开通第5孔为大型船舶上行通航孔, 未来可根据船舶通航情况适时调整。

关键词: 南京长江大桥; 第5孔; 上行通道; 可行性; 水流条件

中图分类号: U 64

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2016)07-0077-06

Feasibility of upstream channel opening of the fifth navigable bridge in Nanjing Yangtze River bridge

LIN Qiang

(Changjiang Nanjing Waterway Bureau, Nanjing 210011, China)

Abstract: In view of the lack of navigation capacity of the upstream channel opening of Nanjing Yangtze River Bridge, it is necessary to improve the navigation environment and guarantee the safe operation of the bridge and ship by making full use of the bridge navigable bridge opening and increasing the navigable upstream opening hole. According to the natural channel conditions of the Nanjing Yangtze River Bridge section, and based on the bed evolution and flow conditions in different years, we propose the scheme and probe into the feasibility of opening the bridge upstream channel at the 5th opening hole. The results show that the 5th hole of the Nanjing Yangtze River Bridge has the same span as the current navigable hole, and the bridge section is characterized by the deep and wide channel, so it bears the basic condition for opening the navigable hole. It is suggested to just open the 5th hole as the upstream navigable hole, and in the future it can be adjusted according to the vessel traffic situation.

Keywords: Nanjing Yangtze River Bridge; the fifth navigable bridge; upstream channel; feasibility; flow condition

南京长江大桥是连通南京市下关区和浦口区、连接津浦铁路与沪宁铁路是长江上第1座由我国自行设计建造的双层式铁路、公路两用桥梁^[1]。

目前, 南京长江大桥机动船通航桥孔主要有2下1上共3个桥孔, 其中第6、8孔为机动船(队)下行通航桥孔, 第4孔为机动船(队)上行通

航桥孔。近年来, 随着内河水运在国民经济发展中的地位逐步凸显, 长江水运已进入高速发展期^[2-3]。南京长江大桥作为长江黄金水道的重要通航节点, 近年来船舶通航密度显著增大, 大桥仅有的4孔上行通航孔通航压力和风险不断加大。由于通过能力不足, 上行船舶经常出现船舶排队

收稿日期: 2016-02-05

作者简介: 林强 (1983—), 男, 工程师, 从事航道工程管理工作。

等候过桥的现象，部分船舶为赶时间违规从其它桥孔穿行，给桥梁及船舶航行安全带来了极大的隐患，同时一旦第4孔附近发生水上交通事故，就会导致上水船舶大量积压，对长江航运及船舶通航安全造成较大影响。

鉴于南京长江大桥上行通航孔通过能力不足造成的碍航特性，在条件许可的情况下，充分利用大桥通航桥孔，增加开通上行通航孔，对改善桥区航段通航环境、保障大桥及船舶通航安全十分必要，也是船舶通航密度增加、航道维护尺度提高的必然选择^[4-5]。

本文从南京长江大桥所处航段的航道自然条件出发，通过对不同年份河床演变及水流条件分析，提出大桥5孔开通上行通道的可行性及开通方案。

1 航道概况

1.1 河道

南京长江大桥位于长江下游南京河段南京大桥水道，南京河段上起下三山，下迄新河口，全长约77 km，自上而下由梅子洲汉道段、梅子洲汉道汇流段、八卦洲汉道段、龙潭弯道段组成。

南京大桥水道位于梅子洲汉道汇流段。该河段上起梅子洲尾，下至八卦洲头，河道平面形态单一顺直，长约8.4 km，平均河宽在1.5 km左右，平均水深约24 m，主流居中偏向右侧。该段历史上曾出现较大险情的崩岸，自1955年起对下关、浦口两岸进行了沉排、沉树护岸工程，20世纪80年代又进行了加固和延长，河势近期基本保持稳定。

1.2 航道现状

长江干线武汉长江大桥以下现行航道等级为I-(1)级，航道按一类航道维护，航标按一类航标配布，为充分发挥长江航运潜能，长江航道管理部门利用长江的自然特性分区段对长江干线航道进行分月维护，主航道维护尺度随河段及月份不同而相应有所变化。南京大桥水道中枯水期维护水

深为9.0 m，洪水期为10.5 m，保证率98%。

1.3 通航桥孔布置

南京大桥通航孔分为机动船下行通航桥孔、机动船上行通航桥孔和非机动船通航桥孔(图1)。

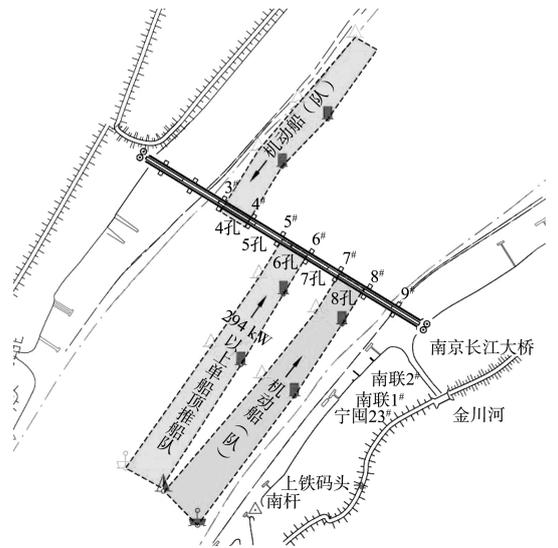


图1 南京长江大桥通航现状

1) 机动船下行通航桥孔。

第8孔为机动船(队)通航桥孔；第6孔可供294 kW(400 匹马力)以上单船，顶推船队选择通过；当南京水位4 m以上时，禁止船队(不含空载船队)夜间通过第6孔；南京水位达5.5 m以上时即使第6孔标志未撤消，也禁止一切船队从第6孔通过。

2) 机动船上行通航桥孔。

第4孔为机动船(队)通航桥孔。

3) 非机动船通航桥孔。

第3孔、第9孔上下行通航桥孔。

第3孔、第9孔特准不足200 kW(300 匹马力)的机动船和200 t以下驳船队上行通过，但须主动避让非机动船。

2 近期演变情况

2.1 深槽变化

梅子洲汉道汇流区已处于下关浦口束窄段，该段岸线在20世纪50年代进行沉排护岸以后基本稳定。汇流点总趋势是：1998年之前随上游九袱洲顶冲点的下移而逐渐下移，1998年后汇流点

呈上提下挫，幅度在 400 m 范围内。因近年来潜洲分流比的趋稳，左右摆幅较小。

该段 10 m 深槽与上下游（梅子洲汉道的左汊、八卦洲汉道的右汊）始终贯通，10 m 深槽宽约 1 000 m 左右，该段还存在 20 m 深槽，槽首分别延伸至左汊浦口的棉麻码头上游及潜洲右汊三汊河口附近，延伸至潜洲右汊的 20 m 槽首多年来变化相对较小，而处于潜洲左汊的 20 m 槽首 1959—1985 年间上提下挫的幅度很大，约 4.9 km；1985 年后整个 20 m 槽的平面形态呈基本稳定，虽然有一定程度的冲淤，但幅度较小；20 m 槽槽尾位于南京长江大桥以下，1985 年前呈一定的速度下延，在八卦洲洲头分水鱼嘴工程实施后，槽尾的下移速度趋缓，1997 年后与八卦洲右汊 20 m 槽连通。

2.2 桥区水域水流条件变化

为全面了解南京长江大桥第 5 孔水流条件，收集了 2010—2012 年中、洪水期表面流速流向资料，从实测的表面流速流向来分析（表 1），南京长江大桥桥区水流流向基本与桥轴线法向一致。由表 1 可见，由于主流区位于第 5 孔和第 6 孔范围内，第 5 孔和第 6 孔水流流速比其他桥孔略大。中高水期，第 5 孔水流流速为 1.14~2.79 m/s，水流流向与桥轴线法向夹角在 4°~8°；第 6 孔水流流速为 1.00~3.37 m/s，水流流向与桥轴线法向夹角在 5°~8°。枯水期夹角略大，随着水位的上升，水流流速逐渐增大，水流流向与桥轴线法向夹角逐渐减小。当水位达到 4 m 以上时，第 5 孔和第 6 孔范围内水流流速基本超过 2.0 m/s，有可能对部分小型船舶或船队上行造成一定困难。

表 1 南京长江大桥桥区水域水流条件

测量日期	测时水位/m	第 4 孔		第 5 孔		第 6 孔	
		流速/(m/s)	夹角/(°)	流速/(m/s)	夹角/(°)	流速/(m/s)	夹角/(°)
2010-05-05	3.90~4.00	1.59~1.61	4	2.00~2.01	4	1.99~2.00	4
2010-06-24	4.90~5.00	1.89~1.91	6	2.14~2.16	6	2.04~2.06	6
2010-07-21	6.90~7.00	2.01~2.03	3	2.77~2.79	6	3.35~3.37	6
2010-08-20	5.40~5.50	1.57~1.59	2	1.87~1.89	6	2.09~2.10	6
2010-09-15	5.20~5.30	1.59~1.61	5	1.93~1.95	7	2.07~2.09	8
2011-05-09	1.30~1.70	1.04~1.06	5	1.14~1.16	8	1.00~1.10	9
2011-06-16	4.30~4.40	1.67~1.69	6	1.96~1.98	7	1.87~1.98	7
2011-07-13	4.70~4.85	1.19~1.21	6	1.41~1.43	6	1.51~1.53	5
2011-08-12	3.50~3.70	1.19~1.21	6	1.34~1.36	7	1.57~1.59	7
2012-05-07	4.20~4.30	1.09~1.11	5	1.41~1.43	7	1.50~1.52	6
2012-06-18	5.25~5.35	1.93~1.94	5	2.05~2.06	5	1.95~1.96	6
2012-07-10	5.25~5.35	1.89~1.90	5	2.29~2.45	5	2.29~2.30	6

注：夹角指水流流向与桥轴线法向夹角。

3 第 5 孔开通上行通道可行性分析

1) 南京长江大桥第 5 孔与现通航孔跨度相同，具备开通为通航孔的基础条件。

南京长江大桥正桥共有 9 墩 10 孔（图 2），浦口岸（北岸侧）第 1 孔（桥孔顺序：自浦口岸桥头堡至第 1# 桥墩为第 1 孔，第 1# 桥墩至第 2# 桥墩为第 2 孔，其余自北向南顺序类推）为跨度 128 m 的简支桁梁，其余 9 孔为三联 3 m×160 m 的连续钢桁梁。第 5 孔位于第 4 孔机动船（队）上行通航

桥孔和第 6 孔 294 kW 以上单船和顶推船队下行通航桥孔之间，其跨度与第 4 孔和第 6 孔相同，均为 160 m，两侧桥墩均具备一定防撞能力，具备开通为通航孔的基础条件。

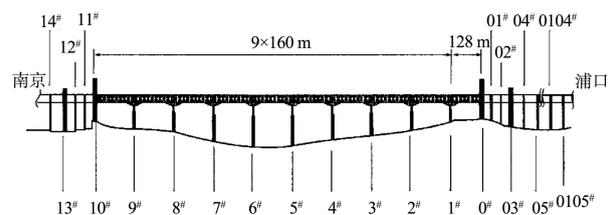


图 2 南京长江大桥桥跨布置

2) 大桥河段水深槽宽, 具备开通为通航孔的水深条件。

南京长江大桥位于下关浦口束窄段。根据河床演变分析可知, 该段岸线在 20 世纪 50 年代进行护岸以后基本稳定, 10 m 深槽与上、下游始终贯通, 年际间变化幅度较小, 深槽宽约 1 000 m, 左侧 10 m 等深线位于南京长江大桥第 3 孔附近, 变化范围也基本在第 3 孔附近, 第 5 孔范围内水深常年维持在 30 m 以上, 基本具备开通为通航孔的水深条件。

3) 第 5 孔范围内在高水期水流流速相对略大, 为开通通航孔的敏感因素。

根据实测的南京长江大桥枯、中、洪水期期的表面流速流向资料, 在不同水位期, 水流流向与桥轴线法向夹角在 $4^\circ \sim 8^\circ$, 枯水期夹角略大, 随着水位的上升, 水流流速逐渐增大, 水流流向与桥轴线法向夹角逐渐减小, 当水位达到 4 m 以上时, 第 5 孔范围内水流流速基本超过 2.0 m/s, 有可能对部分小型船舶或船队上行造成一定的困难, 成为影响第 5 孔开通为所有船舶混合通行通航孔的唯一限制因素, 宜开通为大功率大型单船通航孔。

4 开通方案研究

4.1 代表船型确定

据查询相关资料, 因为建成最早, 南京长江大桥无设计代表船型, 参照上游大胜关长江大桥、南京长江三桥的设计代表船型均为 5 000 吨级海轮, 本报告选择 5 000 吨级海轮作为第 5 孔开通的设计代表船型, 结合桥位河段船舶通航现状及大桥第 5 孔的水深条件, 若船舶桅杆高度满足通航净空高度的要求, 可通航 1 万吨级船型, 因此选择 1 万吨级海轮作为兼顾船型。船型尺度见表 2。

表 2 代表船型尺度 m

设计代表 船型	船型尺度				备注
	总长	型宽	型深	满载吃水	
5 000 吨级海轮	112	17.0	9.2	7.0	代表船型
1 万吨级海轮	135	20.5	11.4	8.5	兼顾船型

4.2 航道水深

按 GB 50139—2014《内河通航标准》有关规定, 航道水深是设计船型在设计最低通航水位时, 须保证的航道最小水深。可按下式计算:

$$H = T + \Delta H \quad (1)$$

式中: H 为航道水深(m); T 为船舶吃水(m), 根据航道条件和运输需求可取船舶、船队设计吃水或枯水期减载时的吃水; ΔH 为富裕水深(m), 按《中华人民共和国江苏海事局船舶航行安全富余水深管理规定》(2007-12-28)实施: 船舶淡吃水在 7 m 及以上不足 9.7 m 的, 富余水深不小于 0.7 m。

按上述规定计算, 设计代表船型 5 000 吨级海轮计算航道水深为 7.7 m; 兼顾船型 1 万吨级海轮计算航道水深为 9.2 m。结合该段航道综合考虑一定水位, 第 5 桥孔航道水深仍取目前航道维护水深, 即中枯水期实际维护水深为 9.0 m, 洪水期期为 10.5 m。

4.3 航道宽度

依据 GB 50139—2004《内河通航标准》第 5.2.2 条规定: 当水上过河建筑物轴线的法线方向与水流流向的夹角不大于 5° 时, 通航净宽可按标准附录 C 的方法计算。

附录 C.0.1 通航净宽计算公式如下:

$$B_{\text{单}} = B_f + \Delta B_m + P_d \quad (2)$$

$$B_{\text{双}} = 2B_f + b + \Delta B_m + P_d + P_u \quad (3)$$

$$B_f = B_s + L \sin \beta \quad (4)$$

式中: $B_{\text{单}}$ 为单向通航孔净宽(m); B_f 为船舶或船队航迹带宽度(m); ΔB_m 为船舶或船队与两侧桥墩间的富裕宽度(m), I ~ V 级航道可取 0.6 倍航迹带宽度; P_d 为下行船舶或船队偏航距(m), 可按表 4.4-2 取值; $B_{\text{双}}$ 为双向通航孔净宽(m); b 为上下行船舶或船队会船时的安全距离(m), 可取船舶或船队宽度; P_u 为上行船舶或船队的偏航距(m), 可取 0.85 倍下行偏航距; B_s 为船舶或船队宽度(m); L 为顶推船队或货船长度(m); β 为船舶或船队航行漂角($^\circ$), I ~ V 航道取 6° ;

根据第5孔桥区河段实测流速流向资料,表面流速取 3.0 m/s ,水流流向与桥轴线法线交角取 6° ,其横向流速 $v_x = 0.31\text{ m/s} > 0.3\text{ m/s}$,根据规范要求,需加宽,加宽值取 30 m ,计算 $5\ 000$ 吨级海轮和 1 万吨级海轮单向通航宽度分别为 86 m 和 96 m 。南京长江大桥第5孔跨度为 160 m ,去除桥墩宽度及紊流宽度,第5孔桥跨宽度可满足设计代表船型 $5\ 000$ 吨级海轮和 1 万吨级海轮单向通航要求。

综合大桥第5孔通航净空宽度及计算值,确定第5孔桥区范围单向航道有效宽度取 100 m 。

4.4 航道弯曲半径

航道最小弯曲半径 R 是指保证标准船队安全通过弯道的最小弯曲半径。从便利航行考虑,航道弯曲半径越大越好,南京长江大桥第5孔航道开通弯曲半径仍取不小于 $1\ 050\text{ m}$ 。

4.5 航道布置设计

船舶定线制遵循大船小船分流、避免航路交叉、各自靠右航行及过错责任原则。为改善南京长江大桥桥区航段通航环境,保障桥区船舶通航安全,桥区航道也宜实行大小船分流,即大、小船分孔航行,避免争抢一孔过桥,即与第6孔为 294 kW 以上单船和顶推船队下行通航桥孔、第8孔为机动船(队)下行通航桥孔对应,第5孔开通后,有2个通航孔为上行通航孔, 294 kW 以上单船和机动船(队)分孔航行。但第5孔开通后具体如何布置上、下行通航孔,给出以下2种方案。

1) 方案1。

①保持现有的下行通航桥孔不变,即仍然保持第6孔和第8孔为下行船舶通航,其中第6孔供 294 kW 以上单船、顶推船队选择通过;

②开通第5孔供上行大型船舶和重载海船通航,上行小型船舶仍从第4孔通过。

2) 方案2。

①目前通航规定考虑到下行第6、8孔的安全分隔,故将第7孔作为下行大、小船舶的分隔带,未开通为通航桥孔。但从相关资料分析可知,大

桥第7孔与第6孔跨度均为 160 m ,水流条件也基本一致。其同样具备开通为下行通航桥孔的可行性。为保证第5孔开通后上下行通航的安全分隔,方案2考虑取消第6孔为通航孔,将供 294 kW 以上单船、顶推船队选择通过的第6孔下行通航孔调整至第7孔,第8孔仍为机动船(队)下行通航桥孔。

②开通第5孔供上行大型船舶和重载海船通航,上行小型船舶仍从第4孔通过。

3) 方案比选。

上述2个方案中,开通第5孔供上行大型船舶和重载海船通航,上行船舶和下行船舶均有2个通航桥孔,既符合定线制大小船舶分流的原则,又大大提高了船舶通过桥区的通航效率,对船舶和桥区的航行安全大大有利,从理论上讲,2个方案都可行,但是其优缺点如下:

①若采取方案1,只需开通第5孔为上行通航孔,但开通后,第5孔和第6孔两个桥孔分别为上、下行通航孔,船舶在进出两桥孔过程中,在船舶会船时相距较近,尤其是在高水位期,水流流速较大,上行船舶速度相对较慢,而下行船舶自第6孔通行后,受流的作用,船舶再向右转向迟缓时,易与第5孔上行船舶会遇,甚至出现船舶交叉,从而对船舶通航安全造成一定影响。

②若采取方案2,开通第5孔、第7孔分别供上、下行大型船舶通过,中间有第6孔作为分隔带,将上、下行船舶分开,对船舶的通航安全有利;但该方案使第7孔原来作为下行大、小船舶的分隔带作用随之取消,同时,采取该方案对大桥航行规定调整较大,对习惯于该航段的船舶航法调整较大。

总体来看,从船舶通航安全、船舶驾驶人员实际操作角度来看,方案2优于方案1,但实施方案2对南京长江大桥现行航路航法改变较大,实施难度较大,建议近期试验性采取方案1,即只开通第5孔为大型船舶上行通航孔,若经过实际操

作,第5孔和第6孔上、下行互相影响较大,可再适时实施采取方案2。

5 结语

1) 目前南京长江大桥上行通航孔通过能力不足,充分利用大桥通航桥孔,增加开通上行通航孔,满足日益增长的船舶通航密度,改善桥区航段通航环境,保障大桥及船舶通航安全是十分必要的。

2) 南京长江大桥第5孔与现通航孔跨度相同,大桥河段水深槽宽,具备开通为通航孔的基础条件。但第5孔范围内在高水期水流流速相对略大,宜开通为大功率大型单船通航孔。

3) 提出2个航道布置方案。建议近期试验性采取方案1,即只开通第5孔为大型船舶上行通航

孔,若经过实际操作,第5孔和第6孔上、下行互相影响较大,可再适时实施采取方案2。

参考文献:

[1] 张建宁,李兆梅.南京长江大桥[J].档案与建设,2007(2):33.

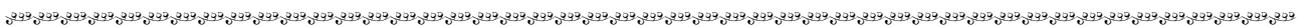
[2] 何远成,董千里.长江水运战略地位研究[J].交通企业管理,2008(12):36-37.

[3] 晏绪煌.长江水运建设的若干问题[J].中国水运,1998(9):6-7.

[4] 陈勇保,王瑞勤.关于南京长江大桥通航桥孔调整的必要性及可行性探讨[C]//中国航海学会.中国航海学会内河船舶驾驶专业委员会年会论文集,2010:17-18.

[5] 胡一民,周焯,陈斌.海船上行安全距离驶经南京长江大桥桥墩对策[J].中国航海,2013(3):11-16.

(本文编辑 郭雪珍)



(上接第76页)

3) 针对荆江河段岸坡特点,揭示了高滩守护工程岸坡渗流机理。一方面,复杂的二、多元地质条件导致了岸坡地下水较难排出;另一方面,三峡蓄水进一步加快了河段汛后退水速度,以及荆江河段强度较大频率较高的降水,进一步增加了岸坡地下水渗透比降。在各种因素综合作用下,荆江河段岸坡渗流破坏现象较易发生。

参考文献:

[1] 周应虎.江河大堤渗流破坏机理和控制措施研究[D].合肥:合肥工业大学,2006.

[2] 谢立全,于玉贞.渗流作用下的岸坡泥沙起动条件[J].清华大学学报:自然科学版,2006,46(9):1532-1537.

[3] 刘红星,夏金梧,王小波.长江中下游岸坡变形破坏的主要型式及处理[J].人民长江,2002,33(6):8-27.

[4] 谢礼明,李少雄,易发武.荆江河段岸坡破坏类型、影响因素及治理措施[J].人民长江,2009,40(20):4-7.

[5] 高志锋.浅析船舶尾轴流对护岸稳定性的影响及改善措施[J].中国水运,2013(10):156-160.

[6] 李文全.长江中下游采砂对航道演变及整治工程影响研究[D].武汉:武汉大学,2004.

[7] 赵龙,陈捷,陈冬,等.江苏省内河航道护岸常见病害及维修加固技术研究[J].中国水运,2015(4):238-239.

[8] 仲伟斌.长江航道整治建筑物坝体损毁原因及维修对策研究[J].交通科技,2014(3):196-199.

(本文编辑 郭雪珍)