



长江干线南京段航道设计最低通航水位研究

史卿

(长江南京航道局, 江苏南京 210011)

摘要: 设计最低通航水位是决定航道通航条件、保障船舶通航安全的重要技术参数, 应根据河道水文条件变化情况及时进行调整。基于南京水位站 1986—2024 年观测资料, 进行长江干线南京段多年月平均水位变幅与多年平均潮差关系的研究, 论证了南京段的感潮河段区段属性, 采用综合历时曲线法和保证率频率法分别推求, 比选得到设计最低通航水位。研究表明, 南京段属于内河感潮水域的常年径流段, 南京段水位主要受径流影响, 计取相对较低的综合历时曲线法计算值 0.55 m 为设计最低通航水位, 符合近期航道条件改善的实际, 有利于提升枯水期航道通过能力, 满足沿江经济社会发展对充分利用航道资源禀赋、促进交通物流降本提质增效的需求。研究成果可为南京段航道养护和相关工程设计提供参考依据。

关键词: 设计最低通航水位; 常年径流段; 长江干线; 航道; 南京段

中图分类号: U612.3

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2026)03-0123-07

Study on designed lowest navigable water level of Nanjing section of Yangtze River main trunk waterway

SHI Qing

(Changjiang Nanjing Waterway Bureau, Nanjing 210011, China)

Abstract: The designed lowest navigable water level is an important technical parameter to determine the navigable conditions of the waterway in dry season and ensure the navigation safety of ships. It should be adjusted in time according to the changes of hydrological conditions of the river waterway. Based on the observation data of Nanjing water level station from 1986 to 2024, this paper studies the relationship between the multi-year monthly average water level variation and the multi-year average tidal range in the Nanjing section of Yangtze River main trunk, and demonstrates the tidal reach attribute of the Nanjing section. By employing the comprehensive duration curve method and the assurance rate frequency method for separate derivation and comparison, the designed lowest navigable water level is obtained. The research shows that the Nanjing section belongs to the perennial runoff section of the tidal waters of inland rivers and the water level in Nanjing is mainly affected by runoff. Taking the relatively low comprehensive duration curve method calculation value of 0.55 m as the designed lowest navigable water level, is in line with the recent improvement of waterway conditions and conducive to enhancing the capacity of the waterway during the dry season, meeting the needs of the economy and society development along the Yangtze River to fully utilize the endowment of waterway resources and promote cost reduction and quality improvement of transportation and logistics. The research results provide a reference basis for waterway maintenance of the Nanjing section and the design of related engineering projects.

Keywords: designed lowest navigable water level; perennial runoff section; Yangtze River main trunk; waterway; Nanjing section

收稿日期: 2025-06-25 录用日期: 2025-07-25

作者简介: 史卿(1987—), 男, 高级工程师, 从事航道航标维护管理工作。

内河航道设计通航水位分为设计最高通航水位与设计最低通航水位。其中,设计最低通航水位是允许代表船舶或船队正常通航的最低水位,也是确定航道标准尺度的起算水位。作为航道工程规划、设计、施工和管理的基本依据,设计最低通航水位具有决定枯水期航道通航条件、保障船舶通航安全的重要作用。根据 GB 50139—2014《内河通航标准》、JTS 145—2015《港口与航道水文规范》等国家规范标准,通航水位应根据河道水文条件变化情况,及时进行调整。

三峡枢纽自 2003 年开始蓄水运行,至今已超过 22 a。加之近年来交通强国、长江经济带、长三角区域一体化发展等重大战略相继实施,以及《南京港总体规划(2024—2035年)》《南京区域性航运物流中心发展专项规划(2024—2035年)》等重要纲领性文件获批落地,这些因素共同推动了长江干线南京段港口、航道等交通基础设施的规划建设。目前,长江南京以上河段航道水深 10.5 m,可通航 1 万~3 万吨级海船;长江南京以下河段 12.5 m 深水航道已建成贯通,可常年通航 5 万吨级海船,航道条件持续改善。至 2024 年底,南京港沿江共有生产性泊位 188 个,其中 5 万吨级及以上泊位 14 个,1 万吨级及以上泊位 58 个。一方面,受自然因素和人类活动影响,南京段水域水文条件发生一定变化;另一方面,在航道深水化、船舶大型化的趋势下,南京地区沿江经济社会对充分利用航道条件、提升航道通过能力的需求愈发迫切。

一些学者和技术人员已经开展了关于长江航道设计最低通航水位的相关研究。陈晓云^[1]通过计算分析南京以下河段各站设计最低通航水位,提出设计最低通航水位宜统一采用海港方法计算并根据水文条件变化作必要调整。吴玲莉等^[2]论述南京和江阴是设计通航水位选择规范方法时两个重要的分界点,并按照不同规范的方法分别计算长江下游感潮河段航道设计通航水位。闻云呈等^[3-4]认为,长江下游南浏河段受径流和潮汐共同

作用,确定合理的设计最低通航水位是对主航道进行整治开发的保证,计算分析航道设计参数可为潮位的合理利用、提高航道通过能力提供技术支撑。李英海等^[5]构建基于长短时记忆神经网络的断面水位模拟模型,模拟不同补水方案长江中下游典型断面水位变化过程。李聪等^[6]基于三峡水库蓄水后长江中游河床处于冲淤调整中,计算各站的航道设计水位,研究蓄水前后设计水位值的变化规律及影响因素。冯小香等^[7]推算长江中游宜昌—武汉河段的设计最低通航流量,预测主要水文站的水位变化趋势,预报三峡蓄水后 20、30 a 宜昌—武汉河段的设计最低通航水位。彭林勇^[8]认为,随着水文环境的变化,低水位对船舶通航安全和效率的影响愈发明显,有必要构建低水位应急预案和保障体系。

但是,现有的研究成果存在一些问题,例如多为围绕长江南京以下长河段进行,对于南京段的针对性不强;研究资料基于数十年前,未结合近年长江实施的诸多大型水利枢纽、航道治理工程,没有考虑河流动力条件发生的明显变化。

本文基于南京水位站 1986—2024 年观测资料,进行长江干线南京段多年月平均水位变幅与多年平均潮差关系的研究,论证南京段的感潮河段区段属性,采用综合历时曲线法和保证率频率法分别推求,比选得到设计最低通航水位,旨在为南京段航道养护和相关工程设计提供参考依据。

1 航道概况与水位特征

1.1 航道基本参数

长江干线南京段(简称南京段)上起慈湖河口,下迄新河口,全长 97.7 km。该河段位于长江下游,属于冲积平原河流,水流平缓、河道开阔,江面宽度在 1 km 以上,最宽超过 4 km。江中有多处洲滩,形成分汊型河道格局,见图 1。多年来,该河段河势稳定,航道条件优良^[9]。马鞍山—南京河段正在实施长江下游江心洲—乌江河段航道整治二期工程。

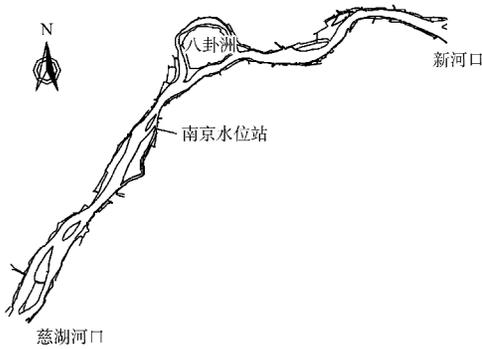


图1 长江干线南京段河势

Fig.1 River regime of Nanjing section of Yangtze River main trunk

南京段航道等级为 I 级。航道尺度方面，现状最小航道养护尺寸标准为：新生圩以上河段 9.0 m×500 m×1 050 m(水深×宽度×弯曲半径)，新生圩以下河段 12.5 m×500 m×1 500 m。航道设计通航水位方面，根据长江航道部门关于长江干线各区段设计最低通航水位的先期研究成果，南京段设计最低通航水位为 0.58 m(航行基准面以上)，设计最高通航水位尚无确值。

1.2 水位特征

1.2.1 水文条件

长江的潮区界通常位于安徽省大通镇附近，潮流界位于江苏省江阴附近，枯水期径流减弱，潮流界上溯至镇江—扬州一带。潮流界、潮区界会因径流量和潮汐强度的变化而上下迁移^[10]。近年来，长江流域内三峡枢纽、南水北调以及长江南京以下深水航道等重大工程成为新的影响因素，使河流动力与边界条件变化过程变得更加复杂。

南京段处于大通与江阴之间，系感潮河段。水位呈不规则半日潮规律，每日两涨两落，两次

高潮位与低潮位均不相等，且涨潮、落潮历时存在差异，二者平均历时分别约为 4、8 h。一般每年 6—9 月为洪水期，12 月—次年 3 月为枯水期，其余月份为中水期，同一水文年内洪、枯水期落差较大。

南京水位取用位于南京市下关滨江右岸畔的南京水位站数据，该站始建于 1912 年，是南京段唯一的、具有代表性的站点，本文的计算论证均基于该站观测资料进行。根据 1987—2024 年水位资料，最高水位值为 2020 年 7 月 22—23 日的 8.34 m，最低水位值为 1989 年 2 月 16 日的 0.08 m，多年平均水位值为 3.30 m，见图 2。

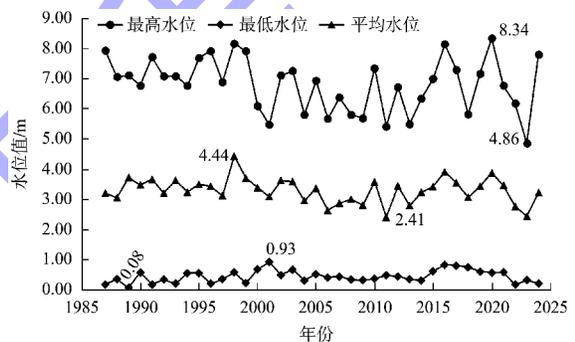


图2 水位极值与平均值过程线

Fig.2 Hydrograph of extreme and average water levels

1.2.2 感潮河段区段属性

内河感潮河段水域受径流和潮汐双重影响，南京段洪水期径流量大，对潮流的顶托作用强，表现为水位高、潮差小；枯水期径流量小，对潮汐动力的削弱衰减作用降低，潮流表征更明显，表现为水位低、潮差大；中水期径流、潮汐因素此消彼长，水位、潮差居于洪、枯水期之间，见表 1。

表 1 不同时段水位特征值

Tab.1 Characteristic value of water level in different periods

	洪水期			中水期		枯水期	
	最高水位值	高水位平均值	平均潮差	平均水位值	平均潮差	最低水位值	低水位平均值
	8.34	5.26	0.50	3.18	0.70	0.08	1.37
							0.96

为确定感潮河段的属性，即确定水位变化主要取决于径流或潮流的控制，可依据揭示不同水位变化机理的两个参数：多年月平均水位变幅

ΔZ_1 与多年平均潮差 ΔZ_2 。 ΔZ_1 反映径流动力的控制程度， ΔZ_2 反映潮流动力的控制程度^[11]。而 JTS 145—2015《港口与航道水文规范》第 3 章规

定, $\Delta Z_1/\Delta Z_2 \geq 1$ 为潮汐影响不明显河段, $\Delta Z_1/\Delta Z_2 < 1$ 为潮汐影响明显河段。潮汐影响不明显河段还可进一步细分为常年径流段、季节性潮流段和常年潮流段 3 个区段, 具体为: 当 $\Delta Z_1/\Delta Z_2 > 5$, 为常年径流段, 位于枯水潮流界以上; 当 $\Delta Z_1/\Delta Z_2 < 5$, 为常年潮流段, 位于洪水潮流界以下; 当 $1 \leq \Delta Z_1/\Delta Z_2 \leq 5$, 为季节性潮流段, 位于枯水潮流界与洪水潮流界之间。

统计历年月平均水位变幅与平均潮差, 见图 3, 可知月平均水位变幅的年际变化较大, 最大差值为 3.75 m, 且变化趋势与图 2 的最高水位值过程线大致相仿, 典型年份为 2020、1998 年, 洪水期水位分别达到历史最高值 8.34 m、次高值 8.17 m, 并在相对较长的时间内维持高位运行, 致使当年的月平均水位变幅也较大, 说明其主要受径流量的年际分配差异影响。而平均潮差的年际变化较小, 整体呈现缓慢增大的过程, 最大差值为 0.53 m, 这是因为三峡枢纽运行后, 坝下河道出现了长距离的河床冲刷, 河道槽蓄量增加^[12], 使下游感潮河段纳潮量有所增加。

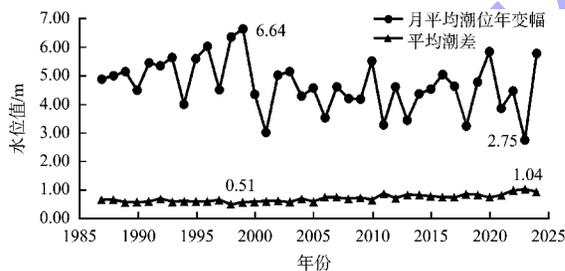


图 3 历年月平均水位变幅与平均潮差

Fig. 3 Monthly average water level variation amplitude and average tidal range over years

再计算历年月平均水位变幅 ΔZ_1 与平均潮差比值 ΔZ_2 的比值, 见表 2。 $\Delta Z_1/\Delta Z_2$ 值均大于 1, 表明南京段属于潮汐影响不明显河段, 位于枯水潮流界以上, 南京水位主要受径流影响, 且多年平均值为 6.53, 最大值为 12.47, 主要呈现常年径流段特性。值得注意的是, 在 2001、2023 年等小水文年, 由于径流量年内季节性分配、上游来水量偏少等, 径流的顶托作用减弱, 潮流上溯距离增加, 出现了当年月平均水位变幅与平均潮差

比值减小的情况, 最小比值为 2.64 (2023 年), 表现为季节性潮流段特性, 低枯水位条件下潮流特征更显著。

表 2 历年月平均水位变幅与平均潮差比值

Tab. 2 Ratio of average monthly water level amplitude to average tidal rang over years

年份	$\Delta Z_1/\Delta Z_2$	年份	$\Delta Z_1/\Delta Z_2$
1987	7.28	2006	4.66
1988	7.48	2007	6.07
1989	8.86	2008	6.01
1990	7.61	2009	5.57
1991	8.93	2010	8.36
1992	7.64	2011	3.70
1993	9.40	2012	6.33
1994	6.47	2013	4.07
1995	9.18	2014	5.20
1996	9.87	2015	5.68
1997	6.83	2016	6.56
1998	12.47	2017	6.11
1999	11.45	2018	3.72
2000	7.25	2019	5.64
2001	4.87	2020	7.70
2002	7.97	2021	4.66
2003	8.73	2022	4.47
2004	6.13	2023	2.64
2005	7.62	2024	6.09

长期来看, 三峡枢纽调节径流, 发挥削峰防洪、蓄丰补枯作用, 以及上、下游相邻河段航道整治等工程建设、调度运行对南京段水动力的影响作用仍将持续, 需要关注特殊水文年, 尤其是小水文年低枯水位条件下, 潮汐的影响程度增大, 水位特征趋于季节性潮流段。

2 设计最低通航水位计算

长江下游为天然河流, 根据有关规范要求, 对于不受潮汐影响和潮汐影响不明显的河段, 设计最低通航水位应采用综合历时曲线法或保证率频率法计算确定。确定长江干线天然河段通航水位采用的基本站水位资料应考虑干流及支流已建枢纽引起的流量变化和河床冲淤影响, 并应取用具有良好一致性且不少于 20 a 的近期连续资料系列。因此, 在已经论证南京段属于潮汐影响不

明显河段的基础上，取用1987—2024年近38 a水位资料，通过两种方法分别计算推求设计最低通航水位，并进行综合比选取值。

2.1 综合历时曲线法

I级航道的设计最低通航水位多年历时保证率取98%，即统计年限内高于或等于某一水位的天数占总天数的百分比为98%。综合历时曲线的统计绘制步骤为：1)取统计年份的逐日低水位为样本，按10 cm为一级进行分级；2)统计样本在不同级别中出现的次数，由高至低逐级统计样本累积出现次数，计算各级别的保证率；3)以水位为纵坐标、保证率为横坐标，绘制综合历时曲线，见图4。在绘制的综合历时曲线上摘取保证率98%对应的水位值，得到设计最低通航水位为0.55 m。

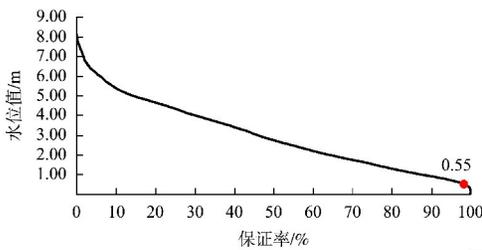


图4 综合历时曲线

Fig. 4 Comprehensive duration curve

2.2 保证率频率法

I级航道的设计最低通航水位年保证率取99%，即统计年限中各年内高于或等于某一水位的天数占全年天数的百分比为99%。采用频率分析法计算时，频率大于50%的低水位的频率和重现期按式(1)计算：

$$T_R = \frac{1}{1 - P} \quad (1)$$

式中： T_R 为水文要素重现期，a； P 为水文要素频率，%。设计最低通航水位的重现期取10 a，算得频率 P 为90%。

保证率频率法计算步骤如下。

1) 将每年逐日平均水位资料，分别绘制各年的日平均水位历时曲线。

2) 分别从各年的历时曲线上选取保证率99%的水位值，见表3。

表3 历年保证率99%特征水位
Tab. 3 Characteristic water level with assurance rate of 99% over years

年份	特征水位/m	年份	特征水位/m
1987	0.51	2006	0.94
1988	0.82	2007	0.76
1989	0.93	2008	0.7
1990	1.1	2009	0.85
1991	1.09	2010	0.87
1992	0.7	2011	0.96
1993	0.66	2012	1.02
1994	1.05	2013	0.91
1995	1.06	2014	0.78
1996	0.53	2015	1.02
1997	0.96	2016	1.68
1998	1.11	2017	1.18
1999	0.56	2018	1.3
2000	1.12	2019	1.14
2001	1.34	2020	1.19
2002	0.79	2021	0.96
2003	1.16	2022	0.69
2004	0.58	2023	0.65
2005	0.96	2024	0.79

3) 将选取的水位作为水文特征变量样本，采用图解适线法，进行经验频率计算。连续系列频率曲线统计参数按式(2)~(4)计算：

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2)$$

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{(n-1)^2}} \quad (3)$$

$$C_s = \frac{n \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^3}{(n-1)(n-2)\bar{X}^3 C_v^3} \quad (4)$$

式中： \bar{X} 为统计计算系列的平均值； X_i 为连续系列内水文特征值； n 为水文计算系列总项数，即年数； C_v 为离差系数； C_s 为偏态系数。

4) 计算不同经验频率对应的高水位值，分别假定 $C_s = 2C_v$ 、 $C_s = 3C_v$ 、 $C_s = 4C_v$ 的倍比值，绘制皮尔逊Ⅲ型曲线。经拟合适配后，选定与经验点据拟合最佳的频率曲线($C_s = 2C_v$)，见图5。在拟合的皮尔逊Ⅲ型曲线上摘取频率90%对应的水位值，得到设计最低通航水位为0.64 m。

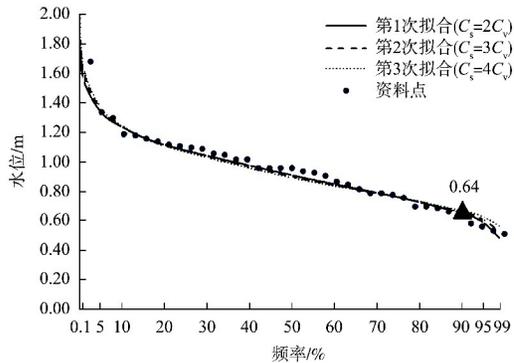


图5 皮尔逊III型曲线拟合分析

Fig. 5 Fitting analysis of Pearson type III curve

2.3 综合比选

通过综合历时曲线法、保证率频率法两种方法，推求得到的设计最低通航水位分别为 0.55 和 0.64 m，相差 0.09 m。参考先期的研究成果，南京段设计最低通航水位为 0.58 m，介于二者之间。与多年最低水位平均值 0.45 m 相比，二者分别高 0.10 和 0.19 m。

相较而言，前者不仅充分考虑航道通航安全，而且符合近期坝下河道河床冲刷和实施航道治理后航道条件改善的实际情况，在先期研究成果的基础上作适当优化调整，能够为枯水期船舶航行提供相对富余的水位条件，有助于船舶增加载货量，有利于提升枯水期航道通过能力，满足沿江经济社会发展对充分利用航道资源禀赋、促进交通物流降本提质增效的需求。故而最终选取综合历时曲线法的计算值，设计最低通航水位为 0.55 m。

3 结语

1) 南京段位于枯水潮流界以上，属于潮汐影响不明显河段中的常年径流段，南京水位以径流作用为主，年际间潮差变化较小。在小水文年，潮汐的影响程度增大，低枯水位条件下水位特征趋于季节性潮流段。

2) 取用 1986—2024 年南京水位站资料，采用综合历时曲线法和保证率频率法计算，选取相对较低的综合历时曲线法计算值 0.55 m 为设计最

低通航水位。该水位兼顾枯水期航道通航安全和航道通过能力的提升，有利于充分利用航道资源禀赋。

3) 未来应加强水情监测，关注三峡枢纽运行、相邻河段航道整治工程对长江下游，尤其是南京段的远期影响。根据水文条件和河床冲淤变化，及时调整通航水位，并做好极端低水位条件下的航道保通保畅应对措施。

参考文献：

- [1] 陈晓云. 长江南京以下深水航道设计最低通航水位初析[J]. 水运工程, 2013(3): 140-143, 157.
CHEN X Y. On design lowest navigable water level of deep-water channel in Yangtze River reach below Nanjing[J]. Port & waterway engineering, 2013(3): 140-143, 157.
- [2] 吴玲莉, 张玮, 高龙琨, 等. 长江下游感潮河段设计通航水位计算方法比较[J]. 水利水电科技进展, 2005, 25(4): 36-38.
WU L L, ZHANG W, GAO L K, et al. Comparison of calculation methods for navigable stage design of tidal reach of the lower Yangtze River [J]. Advances in science and technology of water resources, 2005, 25(4): 36-38.
- [3] 闻云呈, 夏云峰, 蔡翠苏, 等. 长江下游南京至浏河口河段沿程设计最低通航水位分析[J]. 水运工程, 2012(3): 99-103.
WEN Y C, XIA Y F, CAI C S, et al. Design lowest navigation water level of river reach from Nanjing to Liu river estuary on lower Yangtze River [J]. Port & waterway engineering, 2012(3): 99-103.
- [4] 闻云呈, 夏云峰, 张世钊. 长江南京以下深水航道建设一期工程航道设计参数和乘潮水位利用探讨[J]. 水道港口, 2016, 37(2): 159-165.
WEN Y C, XIA Y F, ZHANG S Z. Investigation on channel design parameters of deepwater channel phase I project of the Yangtze River downstream Nanjing [J]. Journal of waterway and harbor, 2016, 37(2): 159-165.

- [5] 李英海, 姜庆琛, 王永强, 等. 三峡水库应急抗旱补水调度对下游水位的影响及效益评估[J]. 水力发电学报, 2024, 43(12): 64-76.
LI Y H, JIANG Q C, WANG Y Q, et al. Study on the impact of emergent drought-relief water replenishment scheduling of Three Gorges Reservoir on downstream water level and its benefit evaluation [J]. Journal of hydroelectric engineering, 2024, 43(12): 64-76.
- [6] 李聪, 邓金运, 韩剑桥. 三峡水库蓄水后长江中游航道设计水位变化研究[J]. 水运工程, 2015(2): 95-100.
LI C, DENG J Y, HAN J Q. Variation of design navigable water level in middle reach of the Yangtze River after impoundment of Three Gorges reservoir [J]. Port & waterway engineering, 2015(2): 95-100.
- [7] 冯小香, 张明. 三峡蓄水后长江中游设计最低通航水位预报[J]. 水道港口, 2017, 38(1): 49-53.
FENG X X, ZHANG M. Prediction of the design lowest navigable stage in the middle reaches of Yangtze River after Three Gorges Reservoir impoundment [J]. Journal of waterway and harbor, 2017, 38(1): 49-53.
- [8] 彭林勇. 低水位条件下的船舶通航管理技术研究[J]. 中国水运, 2024(24): 22-24.
PENG L Y. Research on ship navigation management technology under low water level conditions [J]. China water transport, 2024(24): 22-24.
- [9] 史卿. 南京长江大桥第六孔航道布置优化研究[J]. 水道港口, 2018, 39(4): 445-450.
SHI Q. Waterway layout optimization of sixth navigable bridge of Nanjing Yangtze River Bridge [J]. Journal of waterway and harbor, 2018, 39(4): 445-450.
- [10] 朱巧云, 杨海飞, 钱传俊. 径潮流变化对长江潮流界位置的影响研究[J]. 海洋通报, 2021, 40(5): 502-511.
ZHU Q Y, YANG H F, QIAN C J. A study of river-ocean's impacts on tidal current limit in the Changjiang River [J]. Marine science bulletin, 2021, 40(5): 502-511.
- [11] 吴玲莉. 感潮河段设计水位方法确定与水位预报研究[D]. 南京: 河海大学, 2006.
WU L L. Research on calculation methods of the designed navigable stage and water stage forecasting in tidal river [D]. Nanjing: Hohai University, 2006.
- [12] 许全喜, 董炳江, 袁晶, 等. 三峡工程运用后长江中下游河道冲刷特征及其影响[J]. 湖泊科学, 2023, 35(2): 650-661.
XU Q X, DONG B J, YUAN J, et al. Scouring effect of the middle and lower reaches of the Yangtze River and its impact after the impoundment of the Three Gorges Project [J]. Journal of lake sciences, 2023, 35(2): 650-661.

(本文编辑 王传瑜)

(上接第 64 页)

- [10] 刘鸿文. 材料力学 I[M]. 5 版. 北京: 高等教育出版社, 2010: 1-53.
LIU H W, Material mechanics I[M]. 5th ed. Beijing: Higher Education Press, 2010: 1-53.
- [11] 压力管道规范 工业管道 第 2 部分: 材料: GB/T 20801. 2—2020[S]. 北京: 中国标准出版社, 2020.
Pressure piping code: industrial piping part 2: materials: GB/T 20801. 2-2020 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2020.
- [12] 化工装置管道机械设计规范: HG/T 20645—2022[S]. 北京: 北京科学技术出版社有限公司, 2022.
Design standard of piping mechanics for chemical plant: HG/T 20645-2022 [S]. Beijing: Beijing Science and Technology Publishing Co., Ltd., 2022.

(本文编辑 王传瑜)