文物保护区内航道工程方案优化与影响评估——以上海油墩港航道崧泽遗址段为例

曹永勇[1]，周松泽[2]，顾宽海[2]

（1. 上海城投（集团）有限公司，上海 200020；2. 中交第三航务工程勘察设计院有限公司，上海 200125）

摘要：针对上海油墩港航道整治工程中涉及的全国重点文物保护单位崧泽遗址问题，开展了深入探讨。研究聚焦于文物保护区内航道工程方案的优化以及优化方案对文物影响的评估，提出了保持现有航道宽度、通过浚深形成矩形航道断面的优化方案，并进一步运用理论计算、数值模拟以及文物影响“三阶段评估”等方法，构建了“技术方案-通航安全-文物保护”三位一体的优化模型，通过该模型对优化方案的可行性进行了系统论证。结果表明，优化方案航道断面系数由 7.3 减少至 6.8，流速由 0.24 m/s 增加至 0.30 m/s，满足航道通航安全的要求；优化方案考虑采用静压施工，控制扬尘、施工噪音，也能满足文物保护的要求，其研究思路可为类似文物保护区内的工程建设提供了可借鉴的技术路径和评估方法。

关键词：内河航道；文物保护；通航安全分析；文物影响评估

中图分类号：U612.32　　**文献标志码：**A　　**文章编号：**1002-4972(2026)09-0132-08

Optimization and impact assessment of channel engineering schemes in cultural relics protection areas: a case study of Songze Site section of Youdungang waterway in Shanghai

CAO Yongyong[1], ZHOU Songze[2], GU Kuanhai[2]

(1. Shanghai Chengtou Group Corporation, Shanghai 200020, China;
2. CCCC Third Harbor Consultants Co., Ltd., Shanghai 200125, China)

Abstract: This study conducts an in-depth analysis of the Songze Site, a nationally protected cultural relics site, which is involved in the waterway improvement project of Youdungang in Shanghai. The research focuses on the optimization of waterway engineering schemes within the relics protection area and the corresponding impact evaluation on cultural relics. An optimal solution is proposed to maintain the original waterway width and form a rectangular channel cross-section through dredging. By applying theoretical calculations, numerical simulations, and a three-phase cultural relics impact assessment, the study establishes an integrated optimization model that incorporates technical design, navigation safety, and cultural relics preservation. The model systematically verifies the feasibility of the optimized engineering scheme. The results show that the cross-sectional coefficient of the optimized waterway decreases from 7.3 to 6.8, while the flow velocity increases from 0.24 m/s to 0.30 m/s, meeting navigation safety requirements. The optimized scheme applies static pressure construction technology to control dust and noise, while also complying with cultural relics protection standards. This research approach provides a technical pathway and evaluation method for engineering projects in similar cultural relics protection zones.

Keywords: inland waterway; cultural relics protection; navigation safety analysis; cultural relics impact assessment

收稿日期：2025-12-26　　**录用日期：**2026-03-11

作者简介：曹永勇（1987—），男，博士，教授级高级工程师，从事内河航道整治工程的科研、建设及管理等工作。

水运工程

党的十八大以来，历史文化遗产保护力度持续加强，文物保护利用与管理水平不断提升。随着全国内河航运事业的不断发展，航道整治工程的建设变得越发迫切。而在航道整治工程中，如若涉及文物保护尤其是国家级文物保护时，如何处理好工程建设与文物保护之间的相互关系成为工程中的重要课题。

在国内外工程建设与遗产保护领域，类似的冲突与协调案例已受到广泛关注。国外方面，欧洲许多国家在基础设施建设中对文化遗产的保护积累了丰富经验，强调将遗产保护纳入项目前期规划阶段，通过多学科联合论证平衡工程需求与文化价值保护；国内方面，近年来随着文物保护法规的不断完善，各类涉及文物保护区的工程也逐步形成了“先考古、后建设”的基本流程，针对不同工程类型探索出了避让、原址保护、方案优化等多种协调路径。各类涉及文物保护区的工程也逐步形成了“先考古、后建设”的基本流程，针对不同工程类型探索出了避让、原址保护、方案优化等多种协调路径[1]。但内河航道工程因线路走向受原有水系限制，往往难以完全避让文物保护区，现有研究针对此类线性工程的方案优化与文物影响系统性评估的专项研究仍相对较少，亟须结合具体工程案例总结成熟的技术方法与评估体系。

本文基于上述研究背景，以上海油墩港航道崧泽遗址段工程为研究对象。崧泽遗址作为新石器时代重要的文化遗产，其地下文物层对振动、水流扰动等极为敏感，而油墩港作为区域重要的内河航道，其通航能力提升需求迫切。当前工程设计中面临的核心矛盾在于传统航道拓宽方案可能直接破坏遗址本体，而单纯的疏浚加深又可能引发河床稳定性问题，影响通航安全。因此，本文的研究目的在于通过理论分析与数值模拟相结合的方法，探索一种既能满足航道通航标准，又能最大限度降低对文物遗址影响的工程方案，并建立相应的影响评估指标体系，其研究思路旨在为今后类似工程提供借鉴。

1　国家关于工程建设项目涉及文物保护的相关政策

工程建设中涉及文物保护的政策，国家当前的核心原则是“保护第一”和“最小干预”。所有相关活动都必须以《中华人民共和国文物保护法》[2]《中华人民共和国文物保护法实施条例》[3]为根本遵循。

根据文物保护法，任何工程建设项目在以下区域内进行，都必须遵守严格的规定。

保护范围内：不得进行其他建设工程或爆破、钻探、挖掘等作业。因特殊情况必须进行的，必须保证文物安全，并履行严格的报批程序。

建设控制地带内：可以进行建设工程，但不得破坏文物保护单位的历史风貌。工程设计方案必须事先经相应的文物行政部门同意。

工程设计方案应根据文物保护单位的级别报相应的文物行政部门批准，对于涉及“全国重点文物保护单位”的工程建设应由省文物局审核后，报国家文物局批准。

2　上海油墩港航道整治工程涉及遗址概况

上海油墩港航道整治工程范围内主要涉及崧泽遗址等文物保护单位，该遗址位于上海市青浦区崧泽村，被命名为崧泽文化，是新石器时代遗址，2013 年该遗址公布为全国重点文物保护单位，其保护范围分为两个层级，一是重点保护区域即为遗址保护范围，二是重点保护区域外对建设项目加以限制的区域即为建设控制地带[4]。

该遗址位于油墩港航道中部附近，遗址保护范围长约 550 m，建设控制地带长约 1 380 m，根据文物保护的相关政策，工程建设项目在遗址保护范围内进行时，必须保证文物安全；在建设控制地带内进行时，不得破坏文物保护单位的历史风貌。因此，在制定油墩港航道整治工程文物保

护区内设计方案时不仅要满足通航安全的要求，还要满足文物保护的要求。

油墩港航道与崧泽遗址的相对关系见图 1。

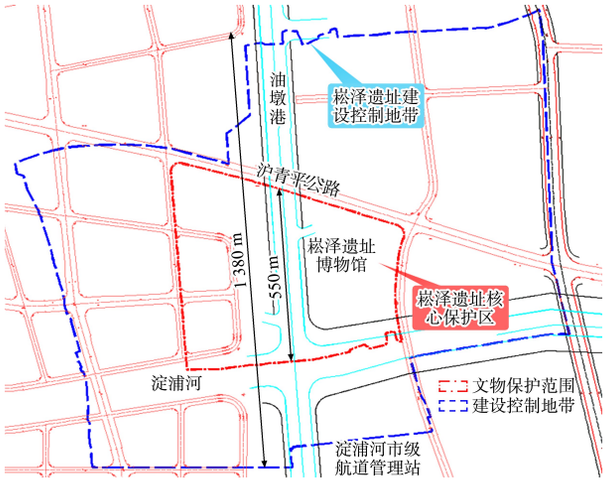

图 1　油墩港航道与崧泽遗址相对关系

Fig. 1　Relative relationship between Youdungang waterway and the Songze Site

3　航道工程方案设计与优化

3.1　原方案

根据现状地形资料，崧泽遗址处油墩港航道现状驳岸线间距为 47~53.6 m，航道中部深槽水深约−1.4 m，−0.5 m 以下水深变化较为平缓，同时，−0.5 m 深槽宽度超过 30 m，其现状航道宽度、水深大致可满足Ⅵ级限制性双线航道要求，但均不满足Ⅲ级限制性航道双线通航的尺度要求。若该航道不进行整治，将形成瓶颈，无法达到航道整治目的。

为达到航道整治目的，工程原方案拟采用按规划整治 70 m 面宽要求向两侧拓宽的复合式断面方案，向岸侧最大拓宽约 12 m。驳岸结构采用常规的桩基 L 形挡墙结构，墙身为钢筋混凝土 L 形挡墙，挡墙底板下设双排钢筋混凝土方桩。墙前泥面以边坡 1∶3 接至航道底边线，航道底宽按 50 m、底高程按照−2.0 m 疏浚施工。原方案断面见图 2。

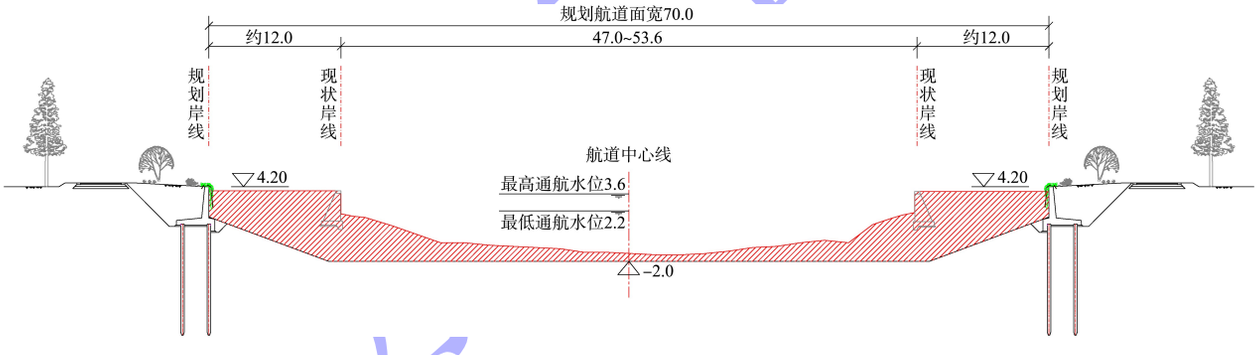

图 2　原方案断面(单位：m)

Fig. 2　Original scheme cross-section(unit:m)

3.2　优化方案

工程原方案向岸侧最大拓宽约 12 m，现状驳岸开挖、新建驳岸施工均位于遗址区域内，工程建设不仅会对遗址的历史风貌造成一定影响，而且对可能存在的地下埋藏文物造成破坏，因此为了更好地落实文物保护要求，亟须对原方案作优化调整。

1）保护第一原则。主要建构筑物尽可能避开遗址保护范围与遗址控制地带。

2）最小干预原则。主要建构筑物无法避开时，应采取低影响设计方案，降低工程建设对古文化遗址保护区域内的历史风貌的影响。

3）满足工程使用要求。方案设计既要考虑对古文化遗址的保护，又要考虑工程的使用要求，做到两者兼顾。

根据上述原则，提出不改变历史风貌、不拓宽航道，维持现状航道面宽以及设计浚深航道的优化方案，该方案拟对现状护岸采用直立式高桩承台结构进行加固，加固后形成矩形航道断面，航道最窄处宽约 45 m，底高程浚深至−3.0 m。该方案与原方案相比航道面宽由 70 m 缩窄至 45 m，可能会对船舶的通航安全产生一定影响，设计提

出了“在上下游设置临时靠泊点，设置交通安全警示标志并加强运行管理”的措施，同时围绕船舶航行阻力、通航水流条件等多方面分析研究，进一步论证其可行性，优化方案断面见图 3。

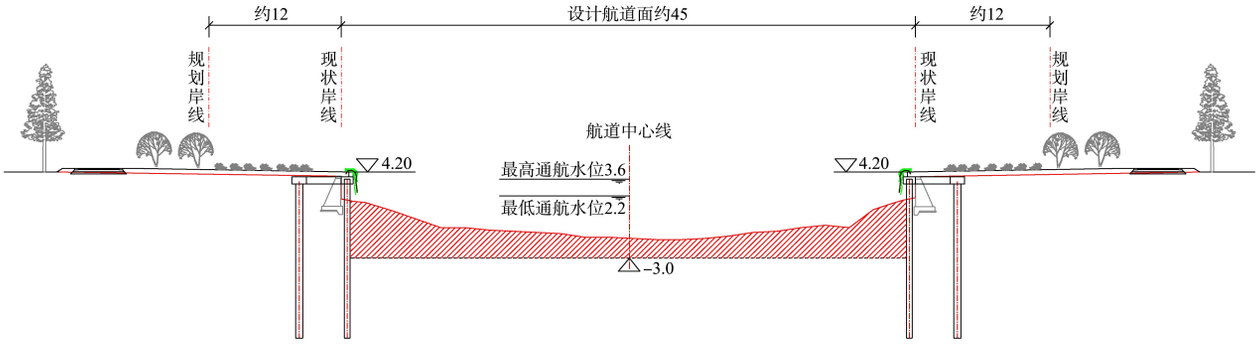

图 3　优化方案断面(单位：m)

Fig. 3　Optimized scheme cross-section(unit:m)

3.3　比选分析

3.3.1　通航尺度分析

根据 GB 50139—2014《内河通航标准》及 DG/TJ 08-2116—2020《内河航道工程设计标准》[5]，Ⅲ级限制性航道直线段双线航道底宽应根据船舶或船队航迹带宽度进行计算，并考虑船舶或船队外舷至航道边缘的安全距离。经计算，工程直线段双线航道底宽计算结果见表 1。

上海油墩港航道崧泽遗址段优化方案面宽最窄处约为 45 m，根据船舶交会航行所需航道底宽计算表 1，优化方案可满足除 90 TEU 内河集装箱船双线航行以外的其他设计船型的交汇通航需求，原方案及优化方案通航尺度分析见图 4。

表 1　船舶交会航行所需航道底宽

Tab. 1　Required bottom width of waterway for ships meeting navigation

上行船型	下行船型	航道底宽/m
90 TEU 内河集装箱船	90 TEU 内河集装箱船	48.4
90 TEU 内河集装箱船	1 200 t 干散货船	44.8
90 TEU 内河集装箱船	60 TEU 内河集装箱船	44.8
1 200 t 干散货船	1 200 t 干散货船	41.7
1 200 t 干散货船	60 TEU 内河集装箱船	41.4

为了保障 90 TEU 船舶在崧泽遗址段的双线交汇通航安全，建议远期根据 90 TEU 船舶流量情况，在上下游设置临时靠泊点，以满足文保区段 90 TEU 船舶单向通航管控时的临时候泊需求；同时设置“禁止 90 TEU 船舶交会+减速慢行标志”，并采用信息化等方式，指引船舶有序临时停靠及通航。

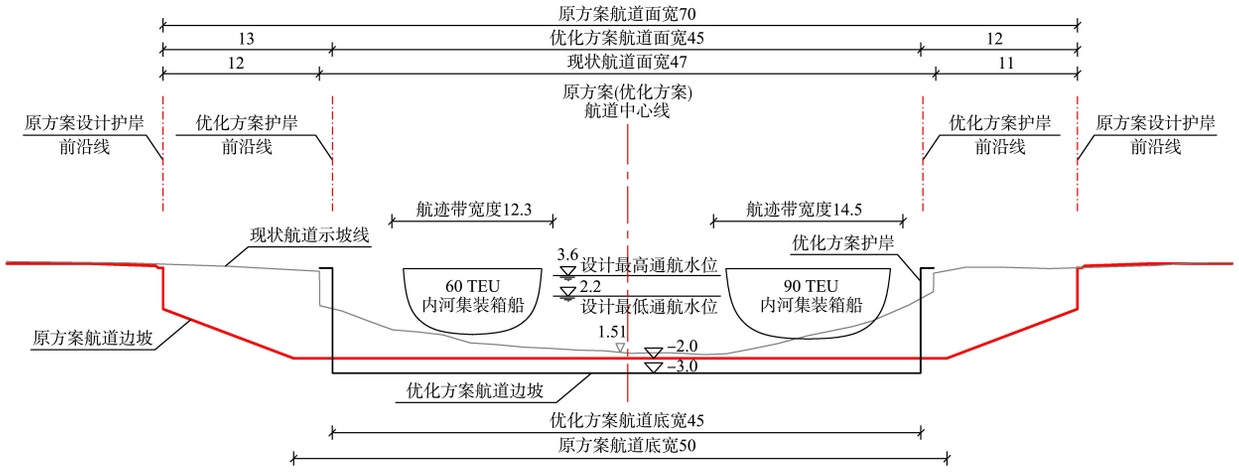

图 4　原方案及优化方案通航尺度分析(单位：m)

Fig. 4　Navigation dimension analysis of original scheme and optimized scheme(unit:m)

3.3.2　船舶航行阻力分析

考虑到 45 m 宽矩形航道断面与规划的 70 m 梯形断面相比，航道面宽缩窄较大，进一步从航道断面系数角度对船舶航行阻力进行分析[6]。

该航段定性为内河限制性航道，航道断面系数计算公式为：

$$n = A/A_s \tag{1}$$

式中：A 为过流断面面积，m^2；A_s 为设计通航船舶或船队设计吃水时的舯横剖面浸水面积，m^2。

航道断面系数计算结果见表 2。根据计算结果，在通航低水位(2.2 m)下，原方案与优化方案的航道断面系数均满足规范中限制性航道的断面系数不应小于 6 的要求。

表 2　航道断面系数验算

Tab. 2　Verifying coefficient of channel section

船型	原方案断面系数	优化方案断面系数
60 TEU 内河集装箱船	9.7	9.1
90 TEU 内河集装箱船	7.3	6.8

优化方案虽然航道面宽缩窄至 45 m，但通过浚深航道的方式增加过流断面，航道断面系数减少有限，因此，在满足规范双线航道直线段最小航道底宽要求的前提条件下，通过挖深航道，船舶航行阻力并不会因为航道面宽的缩窄而大幅增大。

3.3.3　通航水流条件分析

为了进一步明确航道缩窄对局部区段流速、流态的影响，选用 MIKE21FM 的水动力模块模拟二维水流，模型计算范围为上海油墩港航道崧泽遗址段上下游约 7 km 的河道范围。河道地形结合油墩港河道原方案与优化方案，共设计 2 组计算地形。

经计算，原方案河道自上而下流态平稳，流速等值线分布较为均匀，河道中心流速较大，最大流速约为 0.24 m/s，靠近河岸流速越小；优化方案由于河道面宽缩窄，水流沿岸线发生偏移，河道面宽变小导致局部流速增加，局部流速增加至约 0.30 m/s，原方案、优化方案最大流速等值线分布见图 5。

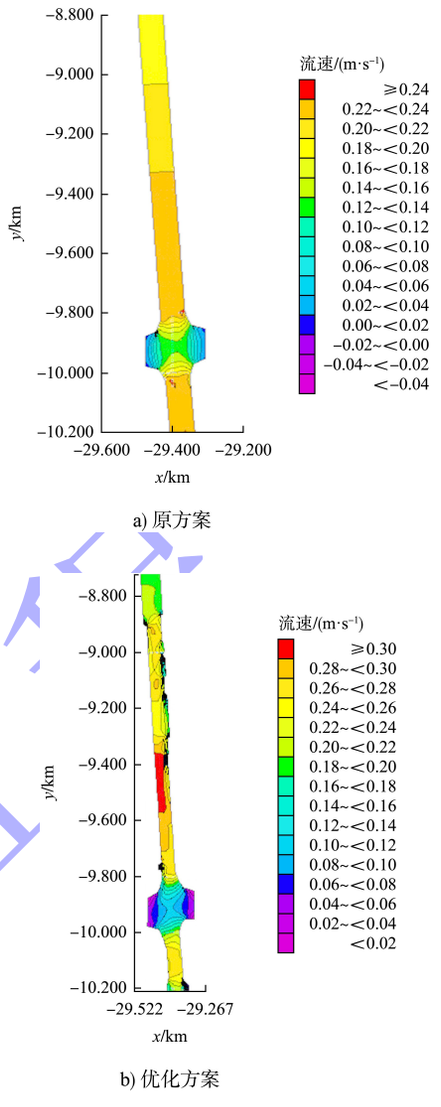

图 5　崧泽遗址段河道最大流速等值线分布

Fig. 5　Contour distribution of maximum flow velocity in the Songze Site reach

根据模型计算，相较于原方案，上海油墩港航道崧泽遗址段优化方案的最大流速由 0.24 m/s 增至约 0.30 m/s，满足规范对通航水流条件的要求(纵向流速≤2.0 m/s、横向流速≤0.5 m/s)，总体而言，因航道缩窄引起的流速增大对过往船舶的通航安全影响较小。

综上分析，油墩港航道整治工程崧泽遗址段优化方案可满足航道通航安全的要求，优化方案合理可行。

4　文物保护影响综合评估

2015 年 6 月 30 日，国家文物局印发《关于做

好当前基本建设考古工作保障重大建设项目顺利实施的通知》[7]，提出对关系国计民生的重大建设项目，尽早组织开展沿线和建设区域内考古调查和文物影响评估，为工程建设方案提出优化建议。

为避免油墩港航道整治工程建设对崧泽遗址区域造成不利影响，应对优化方案开展文物影响评估，评估方法主要依据《世界文化遗产影响评估指南》[8] 以及国内类似项目的文物影响评估研究[9]。

4.1　方案阶段影响评估

护岸工程优化方案采用直立式高桩承台结构，该方案在现有护岸的基础上，设置钢板桩结构+后方钢管桩结构，对原有护岸进行加固。板桩顶部设置 L 形导梁，前后导梁采用横撑进行连接，护岸工程优化方案断面见图 6。

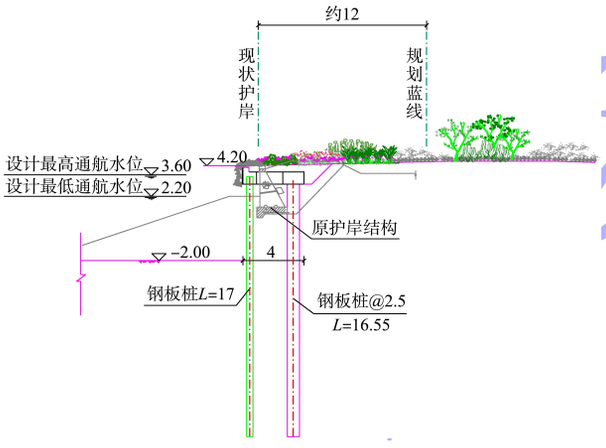

图 6　护岸工程优化方案断面（单位：m）
Fig. 6　Cross-section of the optimized revetment scheme (unit: m)

1）钢板桩结构在原护岸结构外侧，因此，本次护岸工程钢板桩结构对崧泽遗址没有改变。

2）钢管桩通过锤击、振动或静压等方式沉入土中，对崧泽遗址土壤层可能会造成一定破坏，但工程通过结构方案优化，将高桩承台结构宽度控制在 4 m 范围以内，后方钢管桩紧贴原护岸结构后沿，且不超过原护岸结构施工开挖线，因此钢管桩结构对崧泽遗址地下埋藏文物基本没有改变。

3）导梁和横撑位于地下约 1.3 m，原护岸结构施工开挖线范围以内，此处存在地下埋藏文物的可能性较小，因此，导梁和横撑对崧泽遗址地下埋藏文物基本无影响。

4.2　实施阶段影响评估

1）施工扬尘影响。施工过程中对崧泽遗址环境带来一定的影响，扬尘物质吸附污染气体，降尘可使出土文物变色、褪色、酥碱，增大了文物污染的概率。因此，施工扬尘会对崧泽遗址产生的影响适中。

施工阶段可通过采取设置洗车池、防尘网、土壤密封运送等措施减小施工扬尘影响。

2）施工噪声影响。油墩港航道整治项目涉及工程量较大，需要动用较多大型机械设备，产生的噪声会对崧泽遗址环境产生轻微影响。

施工阶段可通过采取先进的机械设备，如预制施工、钢管桩静压施工等方式[10]，降低施工过程中对崧泽遗址产生的振动、噪声等影响。

3）施工工作面及施工临时堆载影响。油墩港航道整治项目涉及大量施工工作面及施工堆载，会对遗址周边土壤施加荷载作用，从而引发周边土壤的移动、变形，一旦超过允许限值，将会影响遗址的安全，对崧泽遗址影响适中。

施工阶段可通过将施工工作面及施工临时堆载设置在现状已硬化地面或遗址外，避免对崧泽遗址土壤基层产生挤压或其他破坏，影响地下埋藏文物的安全。

4.3　运营阶段影响评估

1）环境影响。油墩港航道整治项目是基于通航能力提升的改扩建工程，航道整治完成后船舶交通量有所增加，但主要航行均位于水上，对崧泽遗址及其周边环境影响较小。

2）通航影响。油墩港航道整治工程涉及崧泽遗址段采用维持现状航道面宽、浚深航道的优化方案，未对航道进行拓宽，水流局部流速增加，

但由于护岸工程优化方案在现有护岸前沿设置钢板桩，通航产生的波浪冲刷及水流冲刷对崧泽遗址的影响轻微。

综上分析，油墩港航道整治工程崧泽遗址段优化方案基本不会对遗址产生改变，优化方案合理可行。

5 结论

1）提出“维持现状航道面宽、优化航道断面形态”的工程思路，并进一步采用理论计算、数值模拟等方法，从通航尺度、船舶航行阻力、通航水流条件等方面进一步论证优化方案对通航安全的影响，研究表明，缩窄型矩形航道断面可满足通航安全要求。

2）提出“三阶段评估法”，全面有效地评估了优化方案对文物保护的影响，研究表明，通过“在现有护岸的基础上采用钢板桩+钢管桩组合结构静压施工，控制扬尘、施工噪声”等措施，优化方案也能满足文物保护的要求。

3）优化方案避免了因航道拓宽对遗址的直接占用，较好地解决了航道工程建设与文物保护的矛盾问题，研究思路具有一定的示范意义，但该方案仅针对崧泽遗址这一特定类型的古文化遗址进行，其适用性可能受到遗址类型、地质条件、周边环境等多种因素的限制，未来可在其他类型文物保护区(如石窟寺、古墓葬)进行类似的方案研究与验证，进一步丰富和完善航道工程与文物保护协调发展的技术路径和评估方法，确保在不同文物保护场景下均能实现工程建设与文化遗产保护的双赢。

参考文献：

[1] 中共中央办公厅 国务院办公厅印发《关于在城乡建设中加强历史文化保护传承的意见》[J]. 自然资源通讯, 2021(17): 10-13.
The General Office of the Communist Party of China Central Committee and the General Office of the State Council issued the *opinions on strengthening the protection and inheritance of historical culture in urban and rural construction* [J]. National land & resources information, 2021(17): 10-13.

[2] 中华人民共和国文物保护法(2024 年最新修订)[M]. 北京: 中国法治出版社, 2024.
Law of the People's Republic of China on the protection of cultural relics[M]. Beijing: China Legal Publishing House, 2024.

[3] 中华人民共和国文物保护法实施条例[M]. 北京: 中国法制出版社, 2017.
Implementation regulations of the cultural relics protection law of the People's Republic of China[M]. Beijing: China Legal Publishing House, 2017.

[4] 束有春. 关于文物保护单位“两线”划定工作的实践与思考[J]. 东南文化, 2010(2): 19-22.
SHU Y C. Practice and thoughts about the delimitation of the two lines of the cultural heritage conservation units [J]. Southeast culture, 2010(2): 19-22.

[5] 内河航道工程设计标准: DG/TJ 08—2116—2020[S]. 上海: 同济大学出版社, 2021.
Standard for design of inland waterway engineering: DG/TJ 08-2116-2020[S]. Shanghai: Tongji University Press, 2021.

[6] 林仁智, 陆杨, 诸裕良, 等. 基于万吨级船舶阻力变化的大型人工水道断面尺度研究[J]. 水道港口, 2024, 45(1): 43-50.
LIN R Z, LU Y, ZHU Y L, et al. Research on the section scale of large artificial waterways based on the resistance change of 10 000 ton ships[J]. Journal of waterway and harbor, 2024, 45(1): 43-50.

[7] 国家文物局. 关于做好当前基本建设考古工作保障重大建设项目顺利实施的通知[EB/OL]. (2015-06-30)[2025-06-20] http: //www. ncha. gov. cn/ art/2015/7/14/ art_2318_36983. html.
National Cultural Heritage Administration. Notice on ensuring the smooth implementation of major construction

projects through current archaeological work in basic construction[EB/OL]. (2015-06-30)[2025-06-20]http://www.ncha.gov.cn/art/2015/7/14/art_2318_36983.html.

[8] 联合国教科文组织. 世界遗产背景下的影响评估指南和工具包[EB/OL]. (2025-07-19)[2025-10-20]. https://www.whitr-ap.org/index.php?classid=1461&newsid=3988&t=show.
UNESCO. Guidelines and toolkit for impact assessment in the context of world heritage[EB/OL]. (2025-07-19)[2025-10-20]. https://www.whitr-ap.org/index.php?classid=1461&newsid=3988&t=show.

[9] 徐露晨, 丁芳, 韩俊杰. 建设项目涉及跨运河遗产的文物影响评估实践研究[J]. 建筑与文化, 2025(4): 220-223.
XU L C, DING F, HAN J J. A practical study on heritage impact assessment for construction projects involving the grand canal [J]. Architecture & culture, 2025(4): 220-223.

[10] 张吉坤, 寇海磊, 刘新胜, 等. 桩基施工振动对周围环境的影响及防治[J]. 价值工程, 2010, 29(7): 87-88.
ZHANG J K, KOU H L, LIU X S, et al. Influence and prevention of the pile foundation construction vibration to the surrounding environment[J]. Value engineering, 2010, 29(7): 87-88.

(本文编辑　赵娟)

(上接第 111 页)

[12] 蒋孜伟. 山区船舶推进特性及消滩水力指标研究[D]. 重庆: 重庆交通大学, 2022.
JIANG Z W. Study on ship propulsion characteristics and rapids abating hydraulic index in mountainous area[D]. Chongqing: Chongqing Jiaotong University, 2022.

[13] 许光祥, 段周平, 胡小庆. 急滩消滩指标的分析与运用[J]. 水运工程, 2015(7): 108-113.
XU G X, DUAN Z P, HU X Q. Analysis and application of rapids abating indicators[J]. Port & waterway engineering, 2015(7): 108-113.

[14] 许光祥, 蒋孜伟, 王松宁, 等. 山区航道机动船消滩水力指标的无因次表达及计算[J]. 工程科学与技术, 2022(5): 72-81.
XU G X, JIANG Z W, WANG S N, et al. Dimensionless expression and calculation of rapids abating hydraulic index for motor ship in mountainous waterway[J]. Advanced engineering sciences, 2022(5): 72-81.

[15] 曹民雄, 马爱兴, 王秀红, 等. 内河航道横流对船舶航行的影响[J]. 交通运输工程学报, 2008, 8(1): 61-67.
CAO M X, MA A X, WANG X H, et al. Influence of cross current on ship navigation in inland waterway[J]. Journal of traffic and transportation engineering, 2008, 8(1): 61-67.

(本文编辑　赵娟)

声　明

近期不断发现有人冒用《水运工程》编辑部名义进行非法活动，他们建立伪网站，利用代理投稿、审稿等手段进行诈骗活动。《水运工程》编辑部郑重声明，从未委托第三方为本编辑部约稿、投稿、审稿。《水运工程》编辑部唯一投稿网址：www.sygc.com.cn，敬请广大读者和作者周知并相互转告。

《水运工程》编辑部