



深中通道桥区助航标志设计方案^{*}

李晓宇, 胡 鹏, 徐爱彬

(中交水运规划设计院有限公司, 北京 100007)

摘要: 深圳至中山跨江通道(简称“深中通道”)地处珠江中游核心区域, 其跨越的珠江口是我国水上运输最繁忙、船舶密度最大的水域之一, 其桥梁段总长约 17 km, 采用大跨径方式跨越伶仃航道、龙穴南水道和横门东水道等多条重要航道, 项目建成后成为永久跨海建筑物, 改变了桥区水域原有的通航环境, 需要充分发挥桥区航标的助航效能, 保障桥梁和船舶航行安全。目前国内现行规范针对桥梁助航标志主要是原则性要求, 对于大型跨海桥梁桥区通航环境复杂、标志设计及安装限制条件诸多的情况, 原则性要求显然缺乏实践指导意义。以深中通道桥区航标的设计方案为例, 针对大型跨海桥梁主桥段和非通航孔桥段不同的助航需求, 分析影响桥区助航标志设计的主要因素, 提出大型跨海桥梁助航标志设计过程中存在的主要问题以及相应的解决方案, 通过桥梁助航标志和水上助航标志的有效衔接最大程度发挥助航效能, 并为行业规范的修订及其他大型跨海桥梁桥区助航标志的设计提供借鉴和参考。

关键词: 深中通道; 桥区助航标志; 大型跨海桥梁

中图分类号: U644.3; TV691

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2025)12-0210-07

Navigation aids design for bridges of Shenzhen-Zhongshan Channel

LI Xiaoyu, HU Peng, XU Aibin

(CCCC Water Transportation Consultants Co., Ltd., Beijing 100007, China)

Abstract: Shenzhen-Zhongshan Channel is located in the core area of the middle reaches of the Pearl River. The Pearl River Estuary it crosses is one of the busiest waterways water areas with the largest ship density in China. The bridge section of the channel, with a total length of approximately 17 km, adopts a long-span design to cross several important navigational channels including the Lingding Channel, Longxue South Channel, and Hengmen East Channel. After the project is completed, it will become a permanent cross-sea structure, changing the original navigational environment of the bridge area waters. It is necessary to give full play to the navigation aids in the bridge area to ensure the navigation safety of bridges and ships. At present, the current domestic and international standards mainly impose principled requirements for bridge navigation aids, which are evidently lacking in practical guidance for the complex navigational environment and numerous design and installation constraints of large-scale cross-sea bridges. This paper takes the design scheme of the navigation aids in the bridge area of the Shenzhen-Zhongshan Channel as an example. Focusing on the different navigational needs of the main bridge section and the non-navigable bridge sections of large-scale cross-sea bridges, it analyzes the main factors affecting the design of navigation aids in the bridge area, and proposes the main issues and corresponding solutions in the design process of navigation aids for large-scale cross-sea bridges. The navigation efficiency is maximized through the effective connection between bridge navigation aids and water navigation aids. At the same time, it provides reference and guidance for the revision of industry standards and the design of navigation aids for other large-scale cross-sea bridges.

Keywords: Shenzhen-Zhongshan Channel; navigation aids design for bridges; large-scale cross-sea bridge

收稿日期: 2025-03-03 录用日期: 2025-03-18

*基金项目: 广东省科技计划项目(2017B020221003)

作者简介: 李晓宇(1986—), 女, 硕士, 高级工程师, 从事水运工程通导专业设计、研究工作。

桥区水域是事故多发地带, 船舶通航存在多种风险^[1], 科学、合理地设置桥区助航标志以引导船舶安全通航, 是保障桥区水域水上交通安全的重要措施。深中通道跨越的珠江口是我国水上运输最繁忙、船舶密度最大的水域之一, 是珠三角地区广州港、中山港、虎门港等船舶进出的必经之地^[2], 工程建成后成为永久跨海建筑物, 改变了桥区水域原有的通航环境, 对所在水域船舶的通航造成一定影响, 需要发挥桥区航标的助航效能。目前国内外关于桥梁助航标志有相关的设计标准, 其中国际航标协会发布的 *The Marking of Fixed Bridges and Other Structures over Navigable Waters*^[3] 对桥梁标志的种类、功能、形状及灯质提出原则性要求, 国内现行标准 GB 24418—2020《中国海区可航行水域桥梁助航标志》^[4] 在此基础上增加了不同航道等级对应的标志外形的最小尺寸的要求, 但对于大型跨海桥梁桥区助航标志的设计还需考虑船舶航行规则、通航轨迹、标志牌安装条件以及视觉盲区等诸多因素, 目前现行规范仍缺乏实践指导意义。本文以深中通道桥区助航标

志的设计方案为例, 针对大型跨海桥梁助航标志设计过程中存在的主要问题, 提出相应的解决方案, 旨在为其他大型跨海桥梁桥区助航标志的设计提供借鉴和参考。

1 工程概况

深圳至中山跨江通道(简称“深中通道”)地处珠江中游核心区域, 位于虎门大桥下游约 30 km、港珠澳大桥上游约 40 km。项目路线起于深圳市广深沿江高速机场互通立交东人工岛, 采用特长海底隧道向西穿越珠江口, 经中滩西人工岛隧桥转换后, 采用超大跨径桥梁方式跨越伶仃航道、龙穴南水道及横门东水道, 于中山市马鞍岛登陆^[5], 见图 1。项目全长约 24 km, 其中主线桥梁总长 17.034 km, 包括 2 座跨海大桥。其中深中大桥采用 580 m+1 666 m+580 m 三跨吊全漂浮体系, 是世界上大跨径的全离岸海中钢箱梁悬索桥, 设置 2 个通航孔; 中山大桥采用 110 m+185 m+580 m+185 m+110 m 五跨连续的整幅钢箱梁斜拉桥, 设置 1 个通航孔。

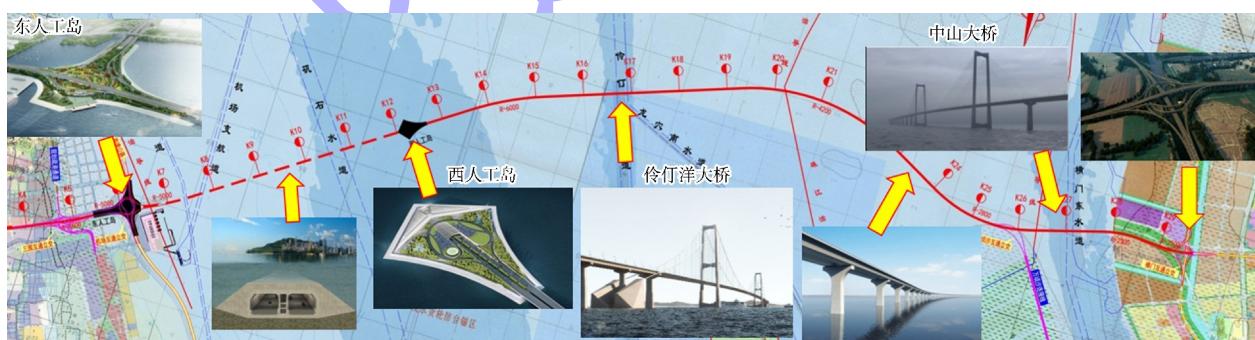


图 1 深中通道线路

Fig. 1 Shenzhen-Zhongshan Channel route

2 桥区航标配布方案

桥区航标的配布按照桥梁结构分为主桥段、泄洪段、浅滩段及岛桥结合段(或陆域引桥段), 其中泄洪段、浅滩段及岛桥结合段(或陆域引桥段)统称为非通航孔桥段。其中, 根据标志的安装形式, 主桥段航标被分为桥梁固定助航标志和通

航孔桥区水上助航标志两部分。

2.1 主桥段航标配布

2.1.1 桥梁固定助航标志配布

为引导船舶在桥区水域安全通航, 在桥梁通航孔桥体上对应航道中心线处上、下游两侧各设置 1 座通航桥孔最佳通过点标志, 以标识通航桥

孔的中心线位置；在桥体对应航道边线处上、下游两侧各设置 1 对通航桥孔侧面标志，以标识航道两侧边界；在通航孔两侧桥墩上、下游两侧各设置 1 座桥墩警示标志。此外，在能见度较低时，为提高船舶对通航孔的识别能力，在每座桥梁主通航孔下游侧通航桥孔最佳通过点标志安装处各配置 1 座 AIS(自动识别系统，automatic identification system) 航标，以提示主通航孔最佳通过点位置。

深中大桥主通航孔通航的伶仃航道目前通航宽度为 385 m，而主通航孔净空尺度相对富余，考虑主通航孔跨距和桥面较高，通视效果较好，取消通航桥孔左、右侧标志，采用设置桥区水上助航标志的方式标识桥区航道两侧边界。

此外根据《航区划分规则(2021)》^[6]，项目所在水域为内河 A 级航区，桥区通航船舶船型繁多，结合管理部门的监管意见，分别在深中大桥西侧副通航孔和中山大桥通航桥孔设置通航净高标尺^[7]。

2.1.2 通航孔桥区水上助航标志配布

1) 深中大桥。深中大桥设置 2 个通航孔，主通航孔跨越伶仃航道，西侧副通航孔跨越龙穴南水道，航道均已配置侧面标，通航多年已经与船舶航行习惯相适应。其中伶仃航道在桥区上、下游各 2 n mile 范围内已有广州港 27#~广州港 36# 共 5 对侧面标，且主通航孔通航净空尺寸相对通航航道的尺寸富余很多，船舶航行通过桥区的通视条件较好，所以主通航孔桥区水上助航标志的配布以尽量不改变航道原有侧面标为原则，利用伶仃航道原有侧面标不作调整。

龙穴南水道在桥区上、下游各 1 n mile 的水域范围内已有龙穴南 1#~龙穴南 6# 共 3 对航道侧面标。龙穴南水道桥区下游约 2 km 处与伶仃航道交汇，龙穴南水道下游与伶仃航道相距较近，增设灯浮标容易混淆，且伶仃航道侧面标外为小船通航水域，不宜设置标志，所以桥区水上助航标志利用龙穴南水道原有侧面标，不另作调整。

2) 中山大桥。中山大桥设置 1 个通航孔，通航孔跨越横门东水道。2023 年中山航道事务中心对航道全线航标进行了调整，调整后航道在桥区

上、下游各 1 n mile 的水域范围内设有 10# 和 11# 共 2 座航道侧面标，考虑横门东水道水深条件较好且船舶航行规则成熟，桥区水上助航标志利用横门东水道原有侧面标，不另作调整。

2.2 非通航孔桥段航标配布

项目所在珠江口水域船舶密度较大，桥区非通航孔桥段存在船舶违规穿越风险和安全隐患。经统计，2023 年深中通道截面共通行船舶 30.782 2 万艘次，日均通航船舶约 843.3 艘次，其中上行 16.638 4 万艘次，下行 14.143 8 万艘次。伶仃航道日均通航船舶约 407.7 艘次；矾石水道南侧日均通航船舶约 185.6 艘次；横门东水道日均通航船舶约 199.4 艘次。深中通道附近水域船舶轨迹情况见图 2。

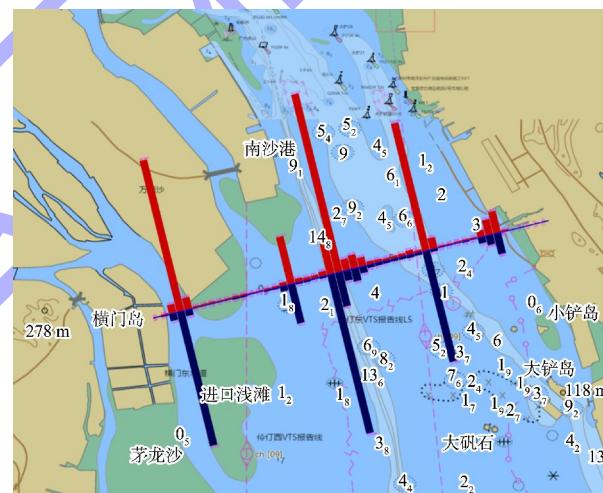


图 2 深中通道截面船舶通航情况

Fig. 2 Ship navigation conditions at cross-section of Shenzhen-Zhongshan Channel

项目建成后，特别是航道两侧临近水域，船舶误入非通航桥孔的风险较大，为保障运营期非通航孔桥梁段的安全，在桥区禁航区水域边界处连续设置灯浮^[8]，灯浮采用专用标特性以标识禁航水域范围，避免船舶误入禁航水域发生事故。广东海事局发布的《珠江口水域水上交通安全特别监管区管理规定(试行)》^[9]“第二十四条 除应急处置、执行公务，以及依法经海事管理机构许可的水上水下作业和活动外，船舶、设施不得进入深中通道、黄茅海跨海通道非通航桥孔桥梁轴线两侧各

1 km 以内水域。”由此, 以距深中通道桥区轴线上、下游两侧 1.0 km 为禁航水域。

根据 JTS/T 181-4—2023《沿海导助航工程设计规范》^[10]“5.2.16.3 桥梁两侧可设置专用标志标示桥区水域, 相邻标志间距宜为 1~2 n mile, 通航环境复杂时可适当减小。”非通航孔段禁航标志设标间距以不大于 2 km 为原则, 对于临近航道两侧水域考虑船舶误入禁航水域的风险较大, 适当加密禁航标志的设标间距。其中伶仃洋大桥段非通航孔段共设置禁航标志 18 座, 中山大桥非通航孔段共设置禁航标志 10 座。

3 标志牌尺寸设计及影响因素

3.1 桥梁上部标志牌尺寸设计

3.1.1 设计影响因素

1) 桥孔通航能力。深中大桥西侧副通航孔和中山大桥通航孔的通航能力 1 000~5 000 吨级, 通航桥孔最佳通过点标志直径 $d \geq 2.0$ m, 通航孔左侧标志边长 $a \geq 2.0$ m, 通航孔右侧标志边长 $b \geq 2.4$ m; 深中大桥主通航孔通航能力 5 000 吨级以上, 通航桥孔最佳通过点标志直径 $d \geq 2.7$ m, 通航孔左侧标志边长 $a \geq 2.7$ m, 通航孔右侧标志边长 $b \geq 3.2$ m, 桥孔禁航标志边长 $c \geq 2.7$ m。

2) 安装限制条件。标志牌设置于桥梁外侧风

嘴处, 标志牌下沿需避开检修车并留有一定的活动距离, 上沿处以不超过桥面栏杆高度为宜, 避免影响桥上行车或行人的观景需求。

3) 气象能见度条件。标志牌尺寸的选取既要满足通航船舶的可视距离要求, 也要考虑所在水域气象能见度条件的限制^[11]。已建港珠澳大桥项目位于该工程下游约 40 km 处, 通航孔桥包括青州航道桥、江海直达船航道桥和九州航道桥, 其中主通航孔采用正方形标志牌(边长 2.7 m), 副通航孔采用正方形标志牌(边长 1.4 m)^[12], 在实际应用中显形效果不理想。

3.1.2 设计尺寸的选取

结合现行规范要求、标志牌实际的使用反馈, 以及项目两座桥梁净空高度较高的实际情况, 项目桥区通航孔标牌尺寸选取在规范要求的最小值基础上适当放大。在标准气象能见度条件下以日间显形距离为参照, 伶仃洋大桥主通航孔标志牌显形距离取 3.0 n mile、副通航孔标志牌显形距离取 2.0 n mile, 中山大桥通航孔标志牌显形距离取 2.0 n mile, 各通航孔标志牌尺寸见表 1。

其中深中大桥西侧副通航孔通航航道与桥梁轴线法向夹角 30°, 标牌安装需考虑水平倾角, 在满足安装限制条件下正方形标志牌边长最大为 2.5 m, 计算日间显形距离可达 1.9 n mile。

表 1 桥梁通航孔固定助航标志设置
Tab. 1 Navigation aids for navigable holes of bridge

桥区	通航孔设置	通航净空高×宽/ (m×m)	跨越航道情况			标志设置	标志日间可显形距离/ n mile
			名称	航道等级	与桥梁轴向夹角		
深中大桥	主通航孔 (单孔多航道通航)	76.5×698; 44×120; 24.5×390	伶仃航道	现状 10 万吨级, 宽 385 m, 深-17.0 m; 远期 30 万吨级	基本正交	直径 4.0 m 通航孔最佳通过点标志 2 座; AIS 航标 1 座; 高 8.0 m 桥墩警示标志 4 座	3.0
		39.5×325		目前 3 000 吨级, 宽 120 m, 深 6.5 m; 远期 5 000 吨级		直径 2.5 m 通航孔最佳通过点标志 2 座; 边长 2.5 m 通航孔左侧标志 2 座; 边长 2.9 m 通航孔右侧标志 2 座; 高 8.0 m 桥 墩警示标志 2 座	
中山大桥	通航孔 (单孔双向通航)	53.5×390	横门东水道	现状 3 000 吨级, 宽 120 m, 深 6.0 m; 远期 5 000 吨级	基本正交	直径 3.0 m 通航孔最佳通过点标志 2 座; 边长 3.6 m 通航孔左侧标志 2 座; 边长 3.0 m 通航孔右侧标志 2 座; AIS 航标 1 座; 高 8.0 m 桥墩警示标志 4 座	2.2

3.2 桥墩警示标志设计

借鉴港珠澳大桥项目的经验, 桥墩警示标志采用圆柱形灯桩的形式, 设置在通航桥孔两侧的桥墩上。

3.2.1 设计影响因素

1) 地理视距要求。结合航道远期规划通航的代表船型, 伶仃航道通航船舶眼高取值 25 m, 龙穴南水道通航船舶眼高取值 10 m, 横门东水道通航眼高取值 15 m。

根据灯桩高度需满足地理视距的极限高程公式^[13]:

$$h_0 = \left(\frac{D_s}{3895} - \sqrt{e} \right)^2 \quad (1)$$

式中: h_0 为满足地理视距需要的极限高程, m; D_s 为观察距离, m; e 为观察者眼高, m。

按照上述眼高计算得到各航道代表船型观察者眼高的地理视距 D_e 分别为: 伶仃航道 D_e 约 10.5 n mile; 龙穴南水道 D_e 约 6.7 n mile; 横门东水道 D_e 约 8.2 n mile。

以航标灯射程 4.0 n mile 为参照复核灯桩地理视距, 各航道大船代表船型眼高地理视距均大于 4.0 n mile。考虑工程水域通航船型较为复杂, 小船眼高取值 2 m, 计算灯桩极限高度为 0.24 m, 最小高度为 2.15 m。

2) 自然条件影响。结合灯桩设置处自然条件, 灯桩设备应在最高通航水位以上避免长期涉水。伶仃航道水域最高通航水位为 3.01 m, 横门东水道最高通航水位为 3.22 m, 中山大桥主塔在灯桩下方设置 1 座高 3.3 m 混凝土墩台; 伶仃洋大桥西侧过渡墩在灯桩下方设置 1 座高 4.5 m 混凝土墩台, 主塔在灯桩下方设置 1 座高 4.5 m 混凝土墩台, 此外, 灯器设置高度需考虑工程水域台风天最大浪高可能会对灯器造成损坏, 根据赤湾站波浪观测数据, 50 a 极高波高最大值为 3.32 m, 大于前述灯桩最小高度 2.15 m, 综合取值灯器安装高度不低于 7.50 m。

由此计算可得中山大桥主塔桥墩警示标灯桩桩身最小高度为 4.20 m; 伶仃洋大桥西侧过渡墩桥墩警示标灯桩桩身最小高度为 3.00 m;

伶仃洋大桥主塔桥墩警示标灯桩桩身最小高度为 3.00 m。

3) 灯桩显形距离。桥墩警示标主要作用为提醒进入桥区水域船舶注意避碰桥墩, 因此考虑其显形距离需满足桥区水域范围。

根据显形宽度公式:

$$B_c = 0.00029D_m \quad (2)$$

$$B_x = 0.00029D_m/c \quad (3)$$

式中: B_c 为标身初显宽度, m; B_x 为标身显形宽度, m; D_m 为可观察距离, m; c 为显形系数。

灯桩桩身按照矩形取显形系数 0.5, 按照航道远期预测船型的长度 5 倍计算观察距离, 计算在观察距离最远端灯桩可初显宽度分别为 0.78、0.35 m, 可显形宽度为 1.56、0.70 m。

3.2.2 设计尺寸的选取

综上, 灯桩桩身高度取值 8.00 m, 灯桩最小直径取值 1.0 m。桥墩警示标安装效果见图 3。



图 3 桥墩警示标安装效果

Fig. 3 Installation effect of bridge pier warning mark

4 存在的问题及解决方案

4.1 标志牌结构和基础安装占用空间大且不美观

桥梁助航标志牌安装在桥面两侧, 而大型桥梁标志牌尺寸一般不小于 3 m, 采用落地式安装方式占用空间大, 且会对从桥面向外景观产生一定遮挡, 影响桥梁整体美观度。结构优化后对标志牌采用悬挂式安装方式, 结合桥梁结构特点可在

桥梁检修通道栏杆外侧风嘴处或者预留挑出平台上安装。标志牌版面上沿以尽量不超过桥面栏杆为宜, 下沿与桥梁检修车留有一定安全距离, 标志牌背面支架成笼状, 既提供支撑固定作用又可提供标志牌维护通道, 配电箱设置于支架内部, 有效提高空间利用率。

4.2 桥面高度造成航标灯的观察盲区

夜间桥区主要由桥梁上部标志牌、航道侧面标、桥墩警示标志配置的航标灯组成视觉助航引导。但由于桥梁高度较高, 其上部标志牌配置的航标灯在近桥处会产生盲区, 需要在安装时设置相应的垂直倾角来控制盲区范围。

以深中大桥主通航孔航标灯为例, 按照灯器 50% 峰值光强处的垂直发散角 $\geq 8^\circ$, 航标灯灯高 90 m, 眼高 10 m, 计算可得主通航孔桥梁上部标志牌的航标灯盲区为距离桥梁上、下游约 570 m 范围内。其中桥梁上游侧, 伶仃航道最近一对航道侧面标为广州港 33#、34# 灯浮, 距离桥梁约 1 422 m; 桥梁下游侧, 伶仃航道最近一对航道侧面标为广州港 31#、32# 灯浮, 距离桥梁约 397 m。综合考虑, 航标灯安装时垂直倾角取 5° , 对应盲区范围调整至桥梁上、下游约 350 m 范围内, 近桥处可采用航道侧面标辅助引导船舶通过桥区水域。

4.3 桥梁结构造成无线电航标的信号盲区

在伶仃洋大桥主通航孔下游侧最佳通过点标志处、中山大桥通航孔下游侧最佳通过点标志处各设置 1 座 AIS 航标, 桥面宽度对桥梁另一侧信号会产生一定影响, 可能产生“灯下黑”信号盲区。AIS 航标安装高度按照其设置处标志牌上沿高程计算, 深中大桥主通航孔上游侧可能产生“灯下黑”信号盲区为上游侧距桥 1.7 km 范围内, 中山大桥通航孔上游侧可能产生“灯下黑”信号盲区为上游侧距桥 1.4 km 范围内。但考虑信号在 VHF(甚高频, very high frequency) 频段具有一定绕射能力, 可以在一定程度上改善信号盲区的问题。此外, 通过采用独立天线并架高安装的方式, 可以缩小可能产生的“灯下黑”信号盲区范围。计算显示, 天线高度多架高 1 m, 相应“灯下黑”范围缩小约 450 m。

AIS 航标安装高度不小于标志牌版面上沿, 下

方设置支架, 尽量避免金属材质物体遮挡, 采用独立天线架高 1~2 m 安装, 见图 4, 安装时根据实际情况调整天线高度, 以尽量减少桥梁另一侧信号盲区范围。

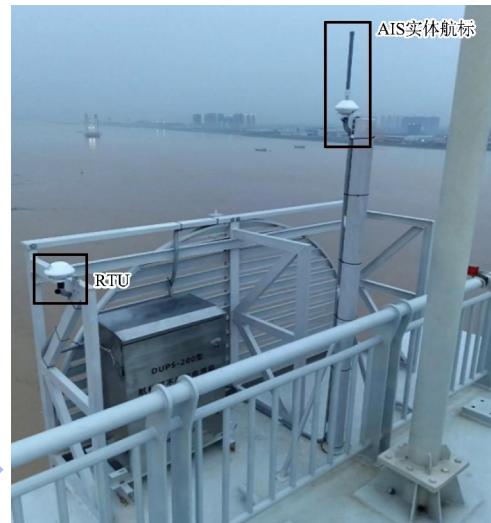


图 4 AIS 航标安装效果
Fig. 4 Installation effect of AIS navigation mark

5 结语

1) 大型跨海桥梁桥区助航标志的设计需结合桥梁主桥段和非通航孔桥段的助航需求分别考虑, 在主桥段通航孔设置助航标志引导船舶安全通过桥区水域, 在非通航孔桥段设置助航标志提示船舶避免误入非通航水域。

2) 主桥段通航孔助航标志采用桥梁固定助航标志和桥区水上助航标志相结合的方式, 两种标志合理衔接才能充分发挥助航效能。桥梁固定助航标志的设计需要考虑桥孔通航能力、地理视距要求、安装限制条件以及气象能见度等自然条件因素的影响, 桥区水上助航标志的设计需要结合航道现有航标统筹考虑。

3) 对于大型跨海桥梁助航标志设计中存在的标志牌安装占地过大、航标灯视觉盲区、无线电航标信号盲区等问题, 可以分别通过优化标志牌结构、设置航标灯安装倾角、架高无线电航标天线的方式进行优化, 最大程度地发挥桥区助航标志的助航效能。

4) 深中通道所在的珠江口水域通航条件复杂, 其桥梁段通航净空跨距大、桥面高, 跨越的

航道通航船舶密度大、船型丰富,深中通道桥区助航标志的设计方案对于其他大型跨海桥梁具有典型的参考意义。然而桥区水域船舶通航安全问题涉及桥梁、航道、风险评价、水动力及泥沙等诸多领域^[14],后续有必要针对深中通道运营期通航安全做专题研究,结合研究成果对桥区助航标志的配布进行动态优化,为桥区船舶通航提供清晰、科学、全面的助航引导。

参考文献:

- [1] 赵玲丽.桥区安全通航保障技术研究[D].舟山:浙江海洋大学,2017.
ZHAO L L. Research on safety navigation support technology in bridge area[D]. Zhoushan: Zhejiang Ocean University, 2017.
- [2] 交通运输部规划研究院.深圳至中山跨江通道项目通航安全影响论证报告[R].北京:交通运输部规划研究院,2015.
Planning and Research Institute of the Ministry of Transport. Navigation safety impact assessment report for the Shenzhen-Zhongshan cross-river channel project[R]. Beijing: Planning and Research Institute of the Ministry of Transport, 2015.
- [3] The marking of fixed bridges and other structures over navigable waters: R0113 (O-113) [S]. Pairs: The IALA Engineering Committee, 2011.
- [4] 中国海区可航行水域桥梁助航标志: GB 24418—2020[S].北京:中国标准出版社,2020.
Aids to navigation on the bridge over maritime navigable waters, China: GB 24418-2020 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2020.
- [5] 中交公路规划设计院有限公司.深圳至中山跨江通道(A合同段)初步设计[R].北京:中交公路规划设计院有限公司,2017.
CCCC Highway Consultants Co., Ltd. Preliminary design of the Shenzhen-Zhongshan cross-river channel (contract section A) [R]. Beijing: CCCC Highway Consultants Co., Ltd., 2017.
- [6] 航区划分规则(2021)[S].北京:中华人民共和国海事局,2021.
Rules for the division of navigation areas (2021) [S]. Beijing: Maritime Safety Administration of the People's Republic of China, 2021.
- [7] 内河交通安全标志: GB 13851—2022[S].北京:中国标准出版社,2022.
Traffic safety signs on inlandwaterways: GB 13851-2022 [S]. Beijing: Standards Press of China, 2022.
- [8] 李星,邱伟.大型跨海桥梁航标设置[J].中国水运,2011(7):44-45.
LI X, QIU W. Navigation mark setting of large-scale cross-sea bridge [J]. China water transport, 2011 (7): 44-45.
- [9] 广东海事局辖区船舶安全航行规定[S].广东:广东海事局,2023.
Regulations for safe navigation of ships in the jurisdiction of Guangdong Maritime Safety Administration[S]. Guangdong: Guangdong Maritime Safety Administration, 2023.
- [10] 沿海导助航工程设计规范: JTS/T 181-4—2023[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2023.
Design code for maritime aids to navigation engineering: JTS/T 181-4-2023 [S]. Beijing: China Communications Press Co., Ltd., 2023.
- [11] 阳建云.东海大桥桥涵标设计[J].水运工程,2006(5):79-83.
YANG J Y. Donghai bridge marks design [J]. Port & waterway engineering, 2006(5): 79-83.
- [12] 苏建华,张建峰.港珠澳大桥主体工程桥区航道布置及航标设计方案[J].水运工程,2012(12):83-88.
SU J H, ZHANG J F. Waterway layout and navigational aids design scheme for Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge [J]. Port & waterway engineering, 2012(12): 83-88.
- [13] 航道工程设计规范: JTS 181—2016[S].北京:人民交通出版社股份有限公司,2017.
Design code for waterway engineering: JTS 181-2016[S]. Beijing: China Communications Press, Co., Ltd., 2017.
- [14] 孔宪卫.桥区水域船舶通航安全研究[D].天津:天津大学,2020.
KONG X W. Study on safety of ship navigation in the waterway of bridge area [D]. Tianjin: Tianjin University, 2020.

(本文编辑 赵娟)