



港珠澳大桥主体工程 桥区航道布置及航标设计方案

苏建华, 张建峰

(中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 上海 200120)

摘要: 港珠澳大桥主体工程桥区航道布置及航标设计方案, 采用水上引导标志和桥梁助航标志、视觉航标和无线电航标相结合的方式, 建设航标遥测遥控系统, 在港珠澳大桥水域建立综合立体的助航网络系统, 提供全天候导助航服务, 保障船舶航行安全和大桥安全。

关键词: 跨海大桥; 桥区航道; 航标; 遥测遥控

中图分类号: U 644.4

文献标志码: A

文章编号: 1002-4972(2012)12-0083-06

Waterway layout and navigational aids design scheme for Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge

SU Jian-hua, ZHANG Jian-feng

(Shanghai Waterway Engineering Design and Consulting Co., Ltd., Shanghai 200120, China)

Abstract: This paper introduces the design scheme of waterway layout and navigational aids for Hong Kong-Zhuhai-Macao Bridge. It is proposed to establish an integrated 3D network system of navigational aids along the bridge waters by combining the use of buoys and bridge navigational marks, visual beacons and radio ones, as well as by establishing the telemetering and remote control system for aids to navigation, with the aim of providing all-weather navigation aid service and ensuring the safety of both navigation ships and the bridge.

Key words: bridge over sea; waterways in bridge area; aids to navigation; telemetering and telecommunication

港珠澳大桥跨越珠江口伶仃洋海域, 是连接香港、珠海、澳门的大型跨海通道, 按六车道高速公路标准建设, 主要工程内容包括海中桥隧工程、港珠澳三地口岸及三地连接线。海中桥隧工程起自香港大屿山散石湾, 东接香港口岸, 经香港水域, 穿(跨)越珠江口铜鼓航道、伶仃西航道、青州航道、九洲航道, 止于珠海/澳门口岸人工岛, 总长约35.6 km, 其中香港段长约6 km, 粤港澳三地共同建设的主体工程长约29.6 km。主体工程采用桥隧组合方案, 穿越伶仃西航道和铜鼓航道段约6.7 km采用隧道方案, 其余路段约22.9 km采用桥梁方案。为实现桥隧转换和设置通风井, 隧道两端各设置一个海中人工岛, 东人工岛距铜鼓航道1.56 km, 形似椭圆形“蚝贝”, 岛

长625 m, 面积0.103 km²; 西人工岛距伶仃西航道2.02 km, 椭圆形, 岛长625 m, 面积0.098 km²。

由于港珠澳大桥建设改变了珠江口水域通航环境, 必须设置桥区航道及航标, 引导船舶按规定的桥孔安全通过大桥, 保障桥区船舶的通航安全和大桥安全。以下主要阐述港珠澳大桥主体工程桥区航道布置及航标设计方案, 其中岛隧区航标设置与一般外海航道工程相差不大, 本文不作介绍。

1 桥区航道布置

1.1 大桥水域航道概况^[1]

港珠澳大桥跨越青州航道、江海直达船航道、九洲港航道, 各航道建设规模见表1, 附近海域航道平面布置见图1。

收稿日期: 2012-10-10

作者简介: 苏建华(1977—), 女, 工程师, 从事港航工程研究和设计。

表1 航道建设规模

航道名称	建设规模	远期规划
青州航道	满足3 000吨级杂货船乘潮双向通航	满足1万吨级杂货船乘潮双向通航
江海直达船航道	满足3 000吨级杂货船乘潮双向通航	满足5 000吨级杂货船乘潮双向通航
九洲航道	满足3 000吨级杂货船乘潮双向通航	兼顾1万吨级高速客轮乘潮单向通航

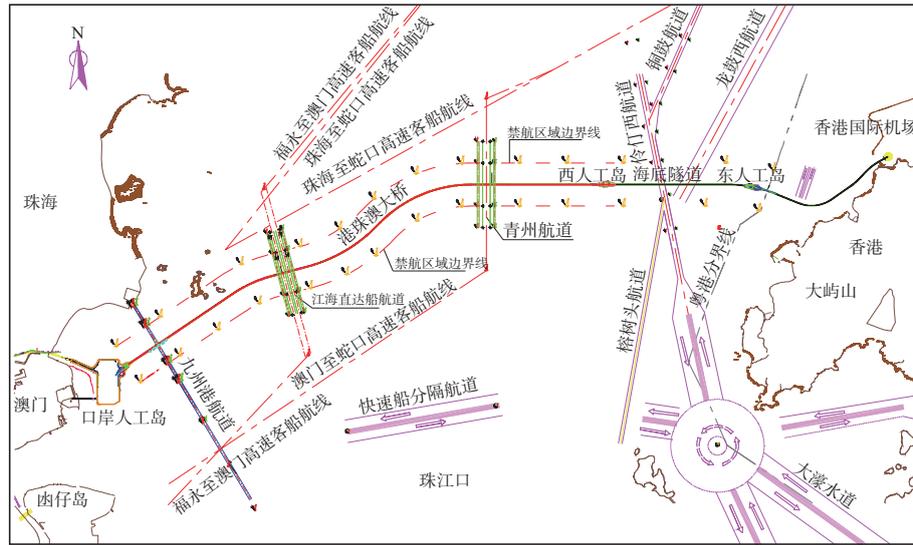


图1 航道及航标平面布置

1.2 桥梁总体布置

1.2.1 通航孔布置

3座航道桥（青州、江海直达船、九洲）均设有主通航孔和副通航孔，通航孔参数见表2。青州航道桥设有1主2副通航孔，主通航孔跨度458 m，通航净宽318 m，单孔双向通航；副通航孔跨度236 m，通航净宽85 m，双孔单向通航。江海直

达船航道桥设有2主2副通航孔，主通航孔跨度258 m，通航净宽173 m，双孔单向通航；副通航孔跨度129 m，通航净宽85 m，双孔单向通航。九洲航道桥设有1主2副通航孔，主通航孔跨度268 m，通航净宽210 m，单孔双向通航；副通航孔跨度127.5 m，通航净宽85 m，双孔单向通航。

表2 航道桥通航孔参数

航道桥	通航孔类型	通航孔数量	通航方式	跨径/m	通航净宽/m	通航净高/m	船舶吨级/t	设计最高通航水位/m	设计最低通航水位/m
青州航道桥	主通航孔	1	单孔双向	236+458+236	318	42.0	10 000	3.52 (1985国家高程基面)	-1.18 (1985国家高程基面)
	副通航孔	2	双孔单向		85	20.0	500		
江海直达船航道桥	主通航孔	2	单孔双向	129+2×258+129	173	24.5	5 000	当地历史最高潮位	当地理论最低潮面
	副通航孔	2	双孔单向		85	20.0	500		
九洲航道桥	主通航孔	1	单孔双向	127.5+268+127.5	210	40.0	3 000	当地历史最高潮位	当地理论最低潮面
	副通航孔	2	双孔单向		85	20.0	500		

1.2.2 非通航孔桥布置

江海直达船航道以西，水深3~4 m，以85 m跨径为主；江海直达船以东水深5~10 m，为减小阻水率，以110 m跨径为主。为使江海直达船通航孔两侧景观协调，在通航孔东西二端对称布置10孔110 m跨非通航孔。

1.3 桥区航道布置

桥区航道是指垂直大桥方向一定距离内的航道，本文按大桥两侧各1 n mile 范围。桥下航道指大桥通航孔区域的航道，其长度不应小于大桥横断面最大结构宽度，各航道桥主通航孔桥墩最大结构宽度分别为：青州航道桥87 m，江海直达船

航道桥35 m, 九洲航道桥48 m, 考虑适当富余, 各航道桥桥下航道长度取值为: 青州航道桥100 m, 江海直达船和九洲航道桥均为60 m。桥下航道桥梁通航净宽取1.5倍航道有效宽度, 桥区航道其余范围宽度应不小于航道有效宽度。

青州航道、江海直达船航道水深条件较好, 利用自然水深通航, 为充分利用航道桥通航净空、避免后续航道扩建时的移标, 桥区航道宽度(含桥下航道)均按通航净宽, 即取1.5倍航道有效宽度, 青州航道桥主通航孔双向航道有效宽度取318 m, 江海直达船航道桥主通航孔单向航道有效宽度取173 m。九洲航道为人工航道, 航道底宽100 m, 设计底高程-4.5 m, 为减少现阶段不必要的疏浚工程量, 桥下航道桥梁通航净宽取1.5倍航道有效宽度, 取150 m(拓宽段长度为60 m); 桥区航道其余范围宽度同航道有效宽度, 取100 m。远期单向通航1万吨级高速客轮时, 再进一步拓宽加深。

青州航道水深约5 m, 江海直达船航道水深约4 m, 3 000吨级船舶满载吃水6 m, 考虑一定富裕水深, 通航水深约7 m, 对应的乘潮水位分别为: 青州航道2.0 m, 江海直达船航道3 m。九洲航道设计底高程-4.5 m, 对应的乘潮水位3 m。

跨越青州水道的通航孔采用单孔双向通航, 净高在设计最高通航水位以上不小于42 m, 净宽不小于318 m; 桥梁西侧沿岸布置江海直达船通航孔, 净高在设计最高通航水位以上不小于24.5 m, 按单孔双向通航考虑净宽不小于173 m; 为方便渔船进出, 利用主通航孔的边孔设置小船单向通航孔, 净高在设计最高通航水位以上不小于20 m, 净宽不小于85 m。

2 航标平面布设

采用水上引导标志和桥梁助航标志、视觉航标和无线航标相结合的方式, 在港珠澳大桥水域建立综合立体的助航网络系统, 提供全天候导助航服务, 保障船舶航行安全和大桥安全。航标布设分为3部分: 1) 通航孔航道水上引导标志, 标示出航道的左右侧面界限, 引导船舶安全通过大桥^[2]。2) 通航孔桥梁助航标志, 结合桥梁设置。3) 非通航孔水上禁航标志与人工岛警示标志, 标

示大桥及东、西人工岛保护区范围。

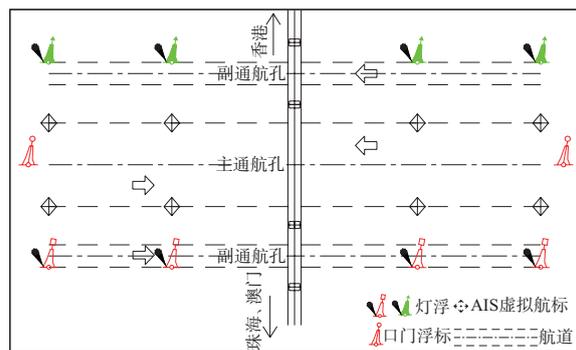
2.1 航标现状

伶仃航道为人工航道, 拟建大桥南侧的标志有: 马友石灯船(设有雷达应答器)、广州港A1~A3, A5灯浮; 北侧的标志有: 广州港A7, A8, 1#, 2#灯浮等, 深圳铜鼓1#, 2#灯浮等。青洲航道为自然水深航道, 目前设有青洲1#, 2#灯浮。九洲航道为人工航道, 设有灯浮10座、导标1对、雷达应答器1座。

2.2 水上引导标志

在通航孔桥区航道设置水上引导标志, 引导船舶安全通过大桥水域。

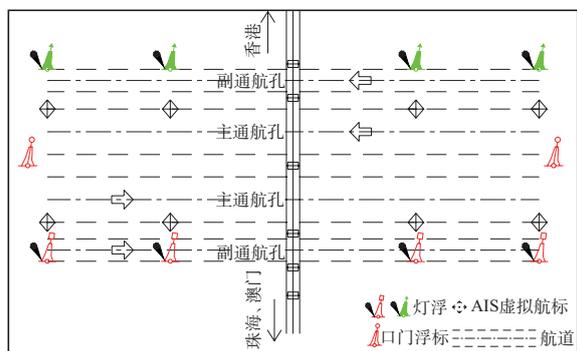
青州航道桥主通航孔单孔双向通航, 两侧各有1个单向通航的副通航孔。为便于船舶快速找到桥区航道, 在大桥两侧距通航孔2 n mile处各设1座口门引导标志, 性质为水域安全标, 布设在航路中央, 并加装AIS航标。在副通航孔两侧布设灯浮标, 标示用于通航小船的副通航孔航道侧面界限, 在主通航孔两侧布设AIS虚拟航标, 标示用于通航大型船舶的主通航孔航道侧面界限。共设口门引导标志灯浮标2座、侧面灯浮标8座、AIS虚拟标8座, 灯浮标设标宽度779 m, 虚拟航标宽度318 m, 同侧设标间距0.5 n mile, 见图2。



注: 将2座口门引导标志向大桥方向做了移动, 实际位置距大桥2 n mile。

图2 青州航道引导标志配布

江海直达船航道桥主通航孔双孔单向通航, 两侧各有1个单向通航的副通航孔。标志布设与青州航道桥类似, 共设口门引导标志灯浮标2座、侧面灯浮标8座、AIS虚拟标8座, 灯浮标设标宽度730 m, 虚拟航标宽度431 m, 同侧设标间距0.5 n mile, 见图3。



注：将2座口门引导标志向大桥方向做了移动，实际位置距大桥2 n mile。

图3 江海直达船航道引导标志配布

九洲航道桥主通航孔单孔双向通航，两侧各有1个单向通航的副通航孔，主通航孔为人工航道，副通航孔利用自然水深通航500吨级以下船舶。在主通航孔两侧设置航道侧面标志，为避免浮标过多，副通航孔不设置水上引导灯浮标，按照桥梁助航标志通行。

共设侧面灯浮标8座，设标宽度170m，同侧设标间距0.5 n mile，见图4。

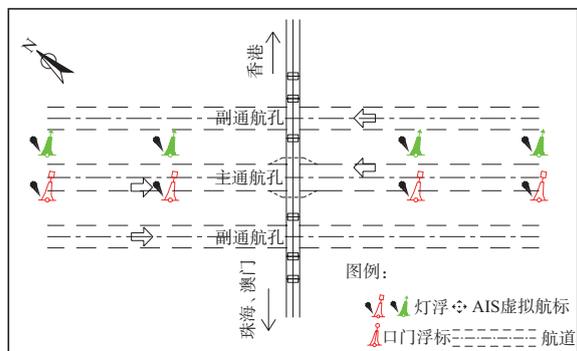


图4 九洲航道引导标志配布

2.3 桥梁助航标志

桥梁助航标志包括视觉航标和无线电航标^[3]，配布见图5~7。其中，视觉航标包括双向通航桥孔中央标志、单向通航桥孔标志、通航桥孔左侧标志、通航桥孔右侧标志、桥孔禁航标志、桥墩警示标志。桥墩警示标志设置在通航孔桥墩的承台上，其余标志设置在大桥人行道外侧面面向船舶方向。

青州航道桥设双向通航桥孔中央标志2座，单向通航桥孔标志2座，通航孔左、右侧标志各2座，通航桥孔禁航标志2座，桥墩警示标志8座，

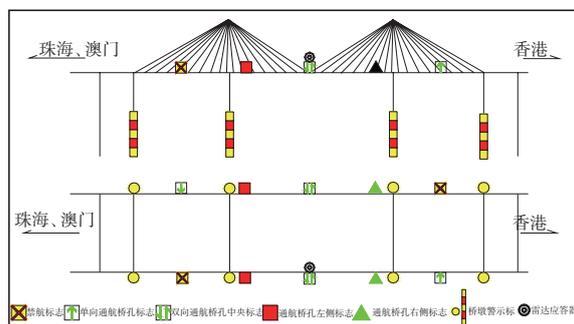


图5 青州航道桥桥梁助航标志配布

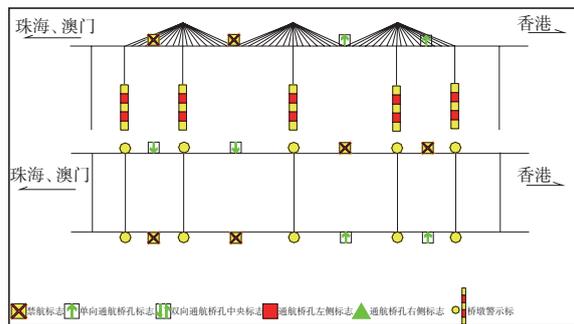


图6 江海直达船航道桥桥梁助航标志配布

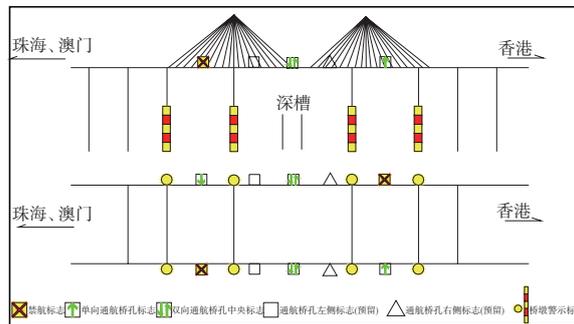


图7 九洲航道桥桥梁助航标志配布

主通航孔左、右侧标志的设标宽度即通航净空宽度318 m，与水上引导标志设标宽度一致。江海直达船航道桥设单向通航桥孔标志4座，通航桥孔禁航标志4座，桥墩警示标志10座。九洲航道桥主通航孔设计为3 000吨级船舶双向航道，10 000吨级船舶单向航道，主通航孔两侧各设1座副通航孔，满足500吨级船舶单向通航。但现阶段受航道水深限制，主通航孔只能通航3 000吨级船舶，因此设双向通航桥孔中央标志2座，单向通航桥孔标志2座，通航桥孔禁航标志2座，桥墩警示标志8座，暂不设置通航桥孔左右侧面标志，但设置标志安装预埋件，以满足航道远期建设时设置侧面标志的需要，侧面标间距为主通航孔通航净空宽度210 m。

无线电航标应结合大桥水域已有无线电航标、根据需要, 与视觉航标一并设置, 以利于安装维护和发挥效能。大桥水域现有马友石灯船上设有雷达应答器、九洲航道1#灯浮标上也设有雷达应答器。为使船舶在能见度不良时识别航道桥通航孔, 在青州航道桥主通航孔南侧的双向通航中央标志上加装雷达应答器。由于江海直达船航道桥主通航孔为双孔单向通航, 没有双向通航孔中央标志, 雷达应答器设置方式无法与青州航道桥相统一, 且已在水上设有AIS航标, 因此, 不设置雷达应答器。通航孔桥梁上不设置AIS航标。

2.4 非通航孔水上禁航标志、人工岛警示标志

大桥非通航孔及西人工岛区域大桥轴线上下游各0.5 n mile 划定为桥岛保护区, 在界线处设

禁航标志, 设标间距2 km, 共设23座灯浮。东人工岛上下游两侧各0.5 n mile划定为岛保护区, 在界线4角点设警示标志, 为水中构筑物性质, 共设4座灯浮, 警示过往船舶, 保护人工岛。

2.5 航标配布汇总

水上引导标志灯质灯色为: 青州航道桥口门标等明暗4 s, 侧面标左红右绿^[4]闪(2)6 s同步闪; 江海直达船航道桥口门标长闪10 s, 侧面标左红右绿闪(3)10 s同步闪。非通航孔水上禁航标志为禁航区专用标志, 灯质为黄色M(P)12 s同步闪^[4]。人工岛警示标志为水中构筑物专用标志, 灯质为黄色M(C)12 s同步闪^[4]。桥梁助航标志标示参数见表3。

港珠澳大桥主体工程航标配布见表4和图1。

表3 桥梁助航标志标示参数

航标性质	日间标示	夜间标示
双向通航桥孔中央标志	边长2.7 m正方形, 白色底纹上标绘两平行上下绿色箭头下绿色箭头	绿色定光, 显示两平行上下箭头
单向通航桥孔标志	除江海直达船航道主通航孔为2.7 m正方形外, 其余均为1.4 m正方形, 白色底, 绿色向上箭头	绿定光向上箭头
通航桥孔左侧标志	红色, 边长2.7 m实心正方形	九州航道桥:左红右绿同步单闪4 s; 青州航道桥:左红右绿同步闪(2)6 s
通航桥孔右侧标志	3.2 m尖端向上的实心绿色正三角形	
桥墩警示标志	6 m柱形灯桩, 桩身红黄相间	黄光, 连续同步快闪
桥孔禁航标志	除江海直达船航道主通航孔为2.7 m正方形外, 其余均为1.4 m正方形, 黄色底, 红色“X”形	红色定光“X”

3 航标结构与设备选型

水上引导标志选用 ϕ 2.4 m的高分子材料灯浮标(浅水型), 航道口门标志选用 ϕ 3.0 m的高分子材料灯浮标。非通航孔禁航区标志、东人工岛水中构筑物专用标志均选用 ϕ 2.4 m的钢质灯浮标。灯浮标上安装一体化LED航标灯、雷达反射器等设备。

桥墩警示标志为灯桩式结构, 选用环保高分子材料或轻型铝合金材料, 桩身高度6 m, 直径0.8 m, 配置LED一体化灯器, 灯光射程为5 nm。其余桥梁标志牌尺寸为: 主通航孔三角形标牌(右侧标志)的边长为3.2 m, 正方形标牌的边长为2.7 m; 所有副通航孔标牌均为边长1.4 m的正方形。标牌采用不锈钢面板, 选用LED光源。

LED面光源可以提高通航孔桥梁助航标志的可识别性, 并明显区别于繁杂的背景光, 在船舶

进入通航孔水域时, 利于船舶驾驶人员的识别。

4 航标遥测遥控系统

航标遥测遥控系统功能包括: 收集航标工作和运行状态数据信息并进行分析处理, 监控终端能够接收来自中心站的遥控指令并对航标进行相应控制, 当航标异常时自动发送报警信息, 通过中心站发布航标设备工作状态信息^[5], 为维护管理部门提供维修计划, 为主管部门决策提供有关统计数据。该系统可及时确定航标故障、提高正常工作率、降低维护费用、促进航标现代化管理、提高服务质量。

系统由1个中心、1个分中心站和108个航标遥测遥控终端(RTU)组成, 中心站设在广州航标处, 分中心站设在桥区航标维护基地。终端RTU是系统的基础数据采集平台, 分为浮标用RTU

表4 航标配布

名称	设标区域	标名	性质	设标宽度	设标间距 /n mile	结构	数量/座	备注
非通航孔与人工岛标志	桥区	港珠澳禁1#~23#	禁航区专用标志	距桥轴线 0.5 n mile	约2 km	φ 2.4 m灯浮标	23	其中深水区 6座
	岛隧区	东人工岛1#~4#	水中构筑物专用标志	距东人工岛 0.5 n mlie				
通航孔水上引导标志	青州航道桥	青州1#~8#	航道侧面标	779 m	0.5	φ 2.4 m灯浮标	8	同步闪
		QINZHOU1#~8#	虚拟航标	318 m	0.5		8	
		青州南口门、北口门	安全水域标		1	φ 3.0 m灯浮标	2	上设AIS航标
	江海直达航道桥	江海直达1#~8#	航道侧面标	730 m	0.5	φ 2.4 m灯浮标	8	同步闪
		江海直达1#~8#	虚拟航标	431 m	0.5		8	
		江海直达南口门、北口门	安全水域标		1	φ 3.0 m灯浮标	2	上设AIS航标
九洲航道桥	九洲6#~13#	航道侧面标	170 m	0.5	φ 2.4 m灯浮标	8	其中调整、利用现有浮标5座	
各通航孔桥墩			桥墩警示标			6 m柱形桩身	26	
各副通航孔			单向通航孔标志		1.4 m正方形, 白色底, 绿色向上箭头		6	3座航道桥
			桥孔禁航标志		1.4 m正方形, 黄色底, 红色“X”形		6	
通航孔桥梁助航标志	主通航孔		双向通航桥孔中央标志		2.7 m正方形, 白色底纹上标绘两平行上下绿色箭头下绿色箭头		4	青州、九洲航道桥
			通航孔左侧标志		红色, 2.7 m实心正方形		2	青州航道桥
		通航孔右侧标志		3.2 m尖端向上的实心绿色正三角形		2		
		桥孔禁航标志		2.7 m正方形, 黄色底, 红色“X”形		2	江海直达航道桥	
		单向通航孔标志		2.7 m正方形, 白色底, 绿色向上箭头		2	桥	
			雷达应答器		单波段		1	青州航道桥
合计	共设航标126座, 其中灯浮标55座、桥梁助航标志50座(桥墩警示灯桩26座、边长1.4 m正方形标志12座, 边长2.7 m正方形标志10座, 边长3.2 m三角形标志2座), AIS航标4座、AIS虚拟航标16座、雷达应答器1座							

(带GPS定位功能)和固定标用RTU两种。终端数据通过无线网络直接传输到中心站和分中心站,中心站和分中心站对辖区航标状况进行实时监控和实时报警。系统组网方式采用CDMA,对CDMA不能覆盖的航标采用卫星传输航标信息。系统采用轮询上报、事件上报、遥控通信3种工作模式。

5 结语

港珠澳大桥是世界级的特大型跨海大桥,横跨的珠江口水域是我国沿海航线最密集、船舶密度最大、通航船舶种类最多的水域之一,通航环境非常复杂。本文结合大桥水域通航现状与规划、大桥总体布置,对桥区航道进行了合理布置,采用水上引导标志和桥梁助航标志、视觉航标和无线电航标相结合的方式,建设航标遥测遥控系统,在港珠澳大桥水域建立综合立体的助航

网络系统。

致谢:感谢中交上海航道勘察设计研究院有限公司徐元教授级高工的热情指导。

参考文献:

- [1] 中交上海航道勘察设计研究院有限公司. 港珠澳大桥主体工程航标工程深化设计[R]. 上海: 中交上海航道勘察设计研究院有限公司, 2011.
- [2] GB 4696—1999 中国海区水上助航标志[S].
- [3] GB 24418—2009 中国海区可航行水域桥梁助航标志[S].
- [4] GB 12708—1991 航标灯光信号颜色[S].
- [5] JT/T 788—2010 海区航标遥测遥控系统技术规范[S].
- [6] GB 16161—1996 中国海区水上助航标志形状显示规定[S].
- [7] 交通运输部. 海区航标设置管理办法[R]. 北京: 交通运输部, 1996.

(本文编辑 武亚庆)