T/CECS G XXXX：20XX

中国工程建设标准化协会标准

公路桥梁防船撞设施设计规程

Design Guidelines for Anti-Collision Facilities of Highway Bridges

（征求意见稿）

征求意见稿

中国工程建设标准化协会　发布

征求意见稿

中国工程建设标准化协会标准

公路桥梁防船撞设施设计规程

Design Guidelines for Anti-Collision Facilities of Highway Bridges

T/CECS G XXXX：20XX

主编单位：招商局重庆交通科研设计院有限公司

批准单位：中国工程建设标准化协会

施行日期：20XX 年 XX 月 XX 日

征求意见稿

人民交通出版社股份有限公司

20XX　北　京

前　　言

根据中国工程建设标准化协会《关于印发<2018年第一批协会标准制订、修订计划>的通知》（建标协字〔2018〕015号）的要求，编制组经深入调查研究，认真总结实践经验，参考国内外先进标准，并在广泛征求意见的基础上，制定本标准。

本文件共分为8章，主要技术内容包括：总则、术语和符号、材料、总体设计、结构设计、计算分析、桥梁防船撞监测预警系统设计、检查与维护等。

本标准的某些内容可能直接或间接涉及专利，本标准的发布机构不承担识别这些专利的责任。

本标准由中国工程建设标准化协会公路分会归口管理，由招商局重庆交通科研设计院有限公司负责具体技术内容的解释。执行过程中，如有意见或建议，请反馈给中国工程建设标准化协会公路分会（地址：北京市海淀区西土城路8号；邮编：100088；电话：010-62079839；传真：010-62079983；电子邮箱：shc@rioh.cn），或招商局重庆交通科研设计院有限公司（重庆市南岸区学府大道33号，邮政编码：400067，传真：023-62653483，邮箱：yuanpei@cmhk.com）。

主 编 单 位：招商局重庆交通科研设计院有限公司

参 编 单 位：

主　　编：

主要参编人员：

主　　审：

参与审查人员：

参 加 人 员：

征求意见稿

目　次

1 总则 1
2 术语和符号 2
2.1 术语 2
2.2 符号 3
3 材料 4
3.1 钢材 4
3.2 混凝土 4
3.3 复合材料 5
3.4 耗能芯材 6
3.5 高分子阻尼元件 6
3.6 植筋胶 7
3.7 防腐材料 8
4 总体设计 9
4.1 一般规定 9
4.2 防撞设施分类 10
4.3 防撞设施适用范围 15
4.4 防撞设施总体布置 16
4.5 防撞设施外观要求 17
5 结构设计 19
5.1 一般规定 19
5.2 独立式防撞设施 20
5.3 附着式防撞设施 21
5.4 一体式防撞设施 23
6 计算分析 24
6.1 一般规定 24
6.2 独立式防撞设施 24
6.3 附着式防撞设施 25
7 桥梁防船撞监测预警系统设计 26

征求意见稿

7.1 一般规定 26
7.2 系统构成及分类 26
7.3 系统功能要求 28
7.4 系统信息要求 30
8 检查与维护 31
8.1 一般规定 31
8.2 防撞设施 32
8.3 防船撞监测预警系统 33
附录 A 防撞设施模型冲击试验方法 34
附录 B 防撞设施数值仿真分析方法 35
B.1 碰撞模型 35
B.2 材料模型 37
B.3 边界与接触 38
B.4 结果分析 38

征求意见稿

1 总则

1.0.1 为规范和指导公路桥梁防船撞设施的设计，遵循安全可靠、适用耐久、技术先进、经济合理、环境协调的原则，制定本标准。

1.0.2 本标准适用于通航水域中公路桥梁防船撞设施的设计，其他类型桥梁可参考使用本标准。

条文说明

目前，交通运输部行业标准《公路桥梁抗撞设计规范》（JTG/T 3360-02-2020）以及《公路桥梁防船撞装置通用技术条件》（JT/T 1414-2022）分别对桥梁的主体结构防撞设计、公路桥梁防船撞装置的分类、结构形式及型号、基本要求等进行了规定。但针对不同的桥梁，应如何选取适合的防撞设施，如何对防撞设施进行结构设计，目前没有相关标准对此进行指导。

1.0.3 在正常设计、生产、安装、运营和养护条件下，钢结构防撞设施主体结构设计使用年限不低于15年，复合材料防撞设施主体结构设计使用年限不低于20年，混凝土防撞设施主体结构设计使用年限不低于25年。

条文说明

参考《公路桥涵设计通用规范》及《公路斜拉桥设计规范》等现行规范对桥梁附属设施使用年限的规定。综合考虑防撞设施材料类型，提出了防撞设施的设计使用年限。

1.0.4 防撞设施设计应统筹考虑施工安装及运营养护的需求。

条文说明

防撞设施在设计中需要考虑施工的可行性和合理性，还要注重运营养护的便利性，实现可视、可达、可检、可修。

1.0.5 防撞设施设计除应符合本标准外，尚应符合国家、行业现行有关标准的规定。

征求意见稿

2 术语和符号

2.1 术语

2.1.1 船舶撞击力 vessel impact force

船舶与桥梁构件发生碰撞时产生的作用力。

2.1.2 设防代表船型 design vessel of collision

用于桥梁防船撞设施设计时选定的代表船舶类型。

2.1.3 设防船撞力 design force of vessel collision

用于桥梁防船撞设施设计时选定的代表船舶撞击力代表值。

2.1.4 公路桥梁防船撞装置 anti-vessel-collision devices for highway bridges

用于防止船舶直接碰撞桥梁墩台并在船桥碰撞时缓冲耗能、降低船撞力、兼具警示作用的装置。

2.1.5 耗能芯材 energy-dissipating core material

填充于防船撞装置内部，用于耗散碰撞能量的材料。

2.1.6 复合材料防船撞装置 composite material anti-vessel-collision device

主材为复合材料的防船撞装置，内部可填充耗能芯材。

2.1.7 钢结构防船撞装置 steel anti-vessel-collision device

主材为钢结构的防船撞装置，内部可填充耗能芯材。

2.1.8 固定式防船撞装置 fixed anti-vessel-collision device

固定于桥墩（台）的防船撞装置。

2.1.9 浮动式防船撞装置 floating anti-vessel-collision device

随水位变化，沿桥墩（台）上下浮动的防船撞装置。

2.1.10 抗力差 resistance deficiency ratio

桥墩（台）自身抗撞能力与设防代表船舶撞击力之间的差值与设防代表船舶撞击力之比。

征求意见稿

2.2 符号

2.2.1 作用和作用效应有关符号

DWT——船舶载重吨位；

F——设防船撞力，按船型分为轮船撞击力设计值、驳船撞击力设计值；

M——满载排水量；

V——船舶撞击速度；

V_T——航道内的船舶典型通航速度；

V_{MIN}——最小撞击速度（不小于年平均水流速度）；

F_d——桥梁构件抗撞能力；

S_{ad}——桥梁构件在考虑船撞作用的偶然组合下作用效应设计值；

G ——桥梁结构永久作用标准值；

2.2.2 几何参数有关符号

LOA——设防代表船舶长度；

x——船舶距桥墩的距离；

x_c——船舶距航道边缘的距离；

x_L ——离船舶航道中心线 3 *LOA* 的距离；

ΔH ——被撞体厚度（m）；

H_s——船艏高度（m）；

2.2.3 计算系数及其他有关符号

a——轮船撞击力系数；

η——几何尺寸的修正系数；

γ——撞击角度的修正系数；

C_M——附连水质量系数；

β——统计系数；

θ——船舶轴线与碰撞面法线夹角；

征求意见稿

3 材料

3.1 钢材

3.1.1 钢筋混凝土结构防撞设施所采用的普通钢筋类别、设计强度、标准强度和弹性模量，应按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362-2018）的规定采用。

3.1.2 钢结构防船撞设施所采用的钢板、型材、螺栓、焊接材料、不锈钢等技术要求、物理性能指标及耐久性设计要求，应按现行《公路钢结构桥梁设计规范》（JTG D64-2015）的规定采用。

条文说明

（1）防撞设施主体结构钢材建议采用 Q235B，材质应符合《碳素结构钢》（GB/T 700-2006）的要求。

（2）防撞设施及附属加固设施结构受力处钢材建议采用 Q355C，材质应符合《低合金高强度结构钢》（GB/T 1591-2018）的要求。

（3）304 不锈钢要符合《承压设备用钢板和钢带 第 7 部分：不锈钢和耐热钢》（GB/T 713.7-2023）的相关要求。

（4）固定式防撞设施固定建议采用 304/316 不锈钢螺栓、螺母，符合《紧固件机械性能 不锈钢螺栓、螺钉和螺柱》（GB/T 3098.6-2023）的相关要求。

（5）防撞套箱连接建议采用内法兰盘，连接建议采用高强镀锌螺栓（8.8 级 M36×150）、螺母应符合《紧固件 六角头螺栓 全螺纹》（GB/T 5783-2025）的要求。

3.2 混凝土

3.2.1 用于防撞设施构件混凝土的强度、弹性模量和耐久性设计要求等，应按现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362-2018）的规定采用。

征求意见稿

3.2.2 混凝土强度等级不应低于 C30。

条文说明

现行《公路钢筋混凝土及预应力混凝土桥涵设计规范》（JTG 3362-2018）规定采用 HRB400、HRB500、HRBF400、RRB400 级钢筋时，混凝土强度不低于 C30，实际工程中多使用 HRB400 钢筋。

3.3 复合材料

3.3.1 复合材料宜采用玻璃纤维增强制品，其基体树脂宜采用乙烯基树脂。

条文说明

复合材料基体树脂种类繁多，乙烯基树脂、聚氨酯树脂、环氧树脂、不饱和树脂等，但为了保证防撞设施的耐久性及力学性能，兼顾考虑经济性，建议采用乙烯基树脂，其物理性能应符合《纤维增强复合材料建设工程应用技术规范》（GB 50608-2020）的有关规定；综合经济性考虑纤维增强材料建议采用无碱玻璃纤维布。复合材料主要用于防撞设施制作或者用于钢结构防撞设施表面防腐。

3.3.2 复合材料的物理机械性能应符合表 3.1 的要求。

表 3.1 复合材料物理机械性能要求

指标类型	指标
拉伸强度（MPa）	≥300
压缩强度（MPa）	≥200
弯曲强度（MPa）	≥300
剪切强度（MPa）	≥50
拉伸模量（GPa）	≥18
树脂浇注体断裂伸长率（%）	≥5
吸水率（%）	≤1
巴氏硬度（HBa）	≥45

条文说明

复合材料断裂伸长率较低，本条中对其树脂浇注体的伸长率做出相关规定。

参考检测标准：《纤维增强塑料拉伸性能试验方法》（GB/T 1447-2005）；《纤维增强塑料压缩性能试验方法》（GB/T 1448-2005）；《纤维增强塑料弯曲性能试验方法》（GB/T 1449-2005）；《纤维增强塑料冲压式剪切强度试验方法》

征求意见稿

（GB/T 1450.2-2005）；《玻璃纤维增强塑料树脂含量试验方法》（GB/T 2577-2005）；《增强塑料巴柯尔硬度试验方法》（GB/T 3854-2017）；《纤维增强塑料吸水性试验方法》（GB/T 1462-2005）。

3.4 耗能芯材

3.4.1 耗能芯材宜采用聚氨酯闭孔泡沫或泡沫混凝土。

3.4.2 聚氨酯闭孔泡沫的物理机械性能应符合表 3.2 的要求。

表 3.2 聚氨酯泡沫物理机械性能要求

指标类型	指标
剪切强度（MPa）	≥0.15
平压强度（MPa）	≥0.15
平压弹性模量（MPa）	≥3.0
吸水率（%）	≤2.5

3.4.3 泡沫混凝土的物理机械性能应符合表 3.3 的要求。

表 3.3 泡沫混凝土物理机械性能要求

指标类型	指标
密度（kg/m^3）	200-245
抗压强度（MPa）	≥0.4
比吸能（kJ/m^3）	≥230

条文说明

耗能芯材选取闭孔材料主要是考虑防撞设施在撞击工况下防沉的需求，故对吸水率有上限要求。同时，防撞设施需配重以满足吃水及自身浮态稳定性要求，内填配重缓冲消能材料需满足力学性能要求，具备缓冲消能性能。

3.5 高分子阻尼元件

3.5.1 浮动式防撞设施与桥墩墩身接触处可采用高分子阻尼元件，与桥墩接触面安装聚四氟乙烯滑板。

征求意见稿

3.5.2 高分子阻尼元件物理性能应符合表 3.4 的要求。

表 3.4 高分子阻尼元件物理机械性能要求

项目		指标
硬度（邵尔 A）/度		≤84
拉伸强度/MPa		≥16
拉断伸长率/%		≥300
压缩永久变形（70℃×22h,25%）/%		≤30
臭氧老化[50×10^{-8}：20%，(40±2）℃×48h]		无裂纹
橡胶与骨架粘合剥离强度 a/（kN/m）		≥7
热空气老化（70℃×96h）	拉伸强度变化率/%	≤20
	拉断伸长率变化率/%	≤20
	硬度（邵尔 A）/度	最多允许增加 8
注： a 橡胶与骨架黏合剥离强度仅适用于含骨架的橡胶护舷。		

条文说明

高分子阻尼元件材质主要参考《橡胶护舷》（HG/T 2866-2016）的要求。

3.5.3 聚四氟乙烯滑板物理性能应符合表 3.5 的要求。

表 3.5 聚四氟乙烯滑板物理机械性能要求

指标类型	指标
拉伸强度（MPa）	≥30
断裂伸长率（%）	≥300

条文说明

聚四氟乙烯滑板材质主要参考《桥梁支座用高分子材料滑板》（JT/T 901-2023）的要求，保证高分子阻尼元件的强度及耐磨度，耐磨板为磨损耗材，防撞设施运行过程中发现磨损较大时应及时更换。

3.6 植筋胶

3.6.1 植筋胶建议选用优质 A 级胶。

条文说明

《混凝土结构加固设计规范》（GB 50367-2013）规定，承重结构用的胶粘剂，宜按其基本性能分为 A 级胶和 B 级胶；对重要结构、悬挑构件、承受动力作用的结构、构件，应采用 A 级胶；对一般结构可采用 A 级胶或 B 级胶。

征求意见稿

3.6.2 植筋胶物理性能应符合表 3.6 的要求。

表 3.6 植筋胶物理机械性能要求

序号	性能项目			性能要求
1	胶体性能	劈裂抗拉强度（MPa）		≥8.5
		抗弯强度（MPa）		≥50
		抗压强度（MPa）		≥60
2	耐环境作用	耐湿热老化能力	50℃、95%RH 中老化 90d 后钢对钢拉伸抗剪强度降低率，%	≤12
		耐热老化能力	（80±2）℃老化 30d 后钢对钢拉伸抗剪强度降低率，%	≤5
		耐冻融能力	在–25℃35℃冻融循环温度下循环 8h，经 50 次后钢对钢拉伸抗剪试验	≤5

条文说明

固定式防撞设施与桥墩通过锚栓连接，锚栓建议采用 304/316 不锈钢螺栓、螺母，性能等级 A2-50/70，通过植筋胶固定螺栓。

3.7 防腐材料

3.7.1 防腐涂料体系建议采用底层富锌漆+中间层环氧玻璃磷片防锈漆+面层厚浆型环氧玻璃鳞片涂料。

3.7.2 防腐涂料体系厚度应符合表 3.7 的要求，涂层设计使用年限为 20 年。

表 3.7 防腐涂料体系厚度要求

部位	涂料品种	涂层厚度（μm）
底层	富锌漆	75
中间层	环氧玻璃鳞片防锈漆	350
面层	厚浆型环氧玻璃鳞片涂料	250

条文说明

涂层设计使用年限主要参照《水运工程结构耐久性设计标准》（JTS 153-2015）中相关规定。

征求意见稿

4 总体设计

4.1 一般规定

4.1.1 防船撞设施用于增强桥梁主体结构抵抗更大撞击的能力或用于桥梁主体结构的局部防撞。

4.1.2 防船撞设施的设计应达到降低船舶撞击力使桥梁主体承受的船撞力下降到可以接受的水平。设计原则应根据公路桥梁重要性、通航环境、气象水文条件和所处阶段等因素综合确定。

条文说明

桥梁重要性、通航环境、气象水文条件、所处阶段等均是确定防船撞原则时需要考虑的因素。所处阶段主要是基于桥梁建设期和运营期抗撞能力不同的考虑。

4.1.3 防撞设施的结构构造及几何外形，应有利于改变船舶航向，大幅度消耗船撞动能，在保证桥梁安全的前提下对船舶的撞击损失尽可能小。

4.1.4 防撞设施的设计、建设应与桥梁主体结构同期开展。对于在役桥梁，应根据桥梁抗撞性能专项评估报告开展防撞设施设计。

4.1.5 防撞设施的选型应综合考虑适用性、耐久性、可维护性、可修复性和经济性等因素。除考虑其碰撞耗能等性能外，还应充分考虑其长期服役性能。

4.1.6 I、II、III 级航道设计范围包含船撞专题评估出的设防范围内的桥墩及桥梁结构。IV 级及以下航道设计范围包含航道边缘 3 倍代表船长范围内的桥墩及桥梁结构。

条文说明

设防范围根据评估报告结论选取。IV 级及以下航道的桥梁有专题评估的，以经专家评审通过的评估报告结论为准，无专题评估的选 3 倍代表船长范围内的桥墩进行设防。

征求意见稿

4.1.7 防撞设施竖向设计范围包含最高通航水位和最低通航水位之间的桥梁结构。同时，设计时应考虑不同水位下，船舶满载和空载的最不利情况。

条文说明

设计时应考虑所有具备撞击风险的桥梁结构，分别为最低水位下满载工况和最高水位空载工况。

4.1.8 防船撞设施设计时不能侵占航道空间；尽量保证偏航船舶不直接撞击桥梁结构；通过合理的设计结构、选择材料，尽量减少船舶的损伤；防撞设施功能可靠，制造、安装经济方便。

条文说明

防船撞设施设计时原则上不能侵占航道空间，对于航道空间本身就不满足现行航道等级的情况，征求属地航道管理部门同意后开展专项设计。

4.1.9 对于通航净空不足或船舶超高导致的船舶与桥梁上部结构碰撞场景，防撞设施设计应进行专项论证。

4.2 防撞设施分类

4.2.1 常用的防撞设施主要分为独立式、附着式、一体式三大类。

条文说明

防撞设施分类方法很多，本标准选取最常规且接受度最广的一种分类方式。

4.2.2 独立式防撞设施包括：独立式防撞墩、独立防撞格栅、独立转筒防撞装置、隔离式防撞拦截装置等。

条文说明

（1）独立式防撞墩，一般设置在桥墩的上游和下游，防撞墩可分为柔性和刚性两种。柔性防撞墩一般采用钢管桩或钢管混凝土桩，通过横梁连接，这种防撞设施会发生较大变形，对船舶破坏较小。刚性防撞墩一般采用预应力混凝土桩或钻孔灌注桩，通过整体防撞承台连接，主要靠船艏变形来吸收撞击能量。

征求意见稿

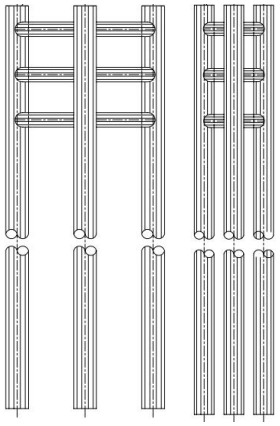
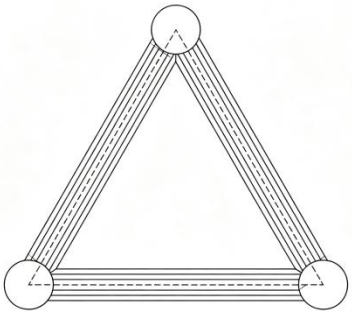


图 4.1 独立式柔性防撞墩



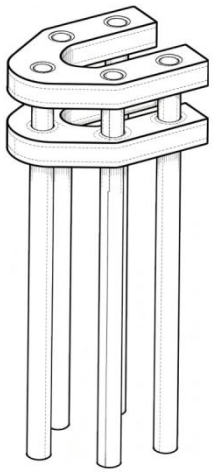


图 4.2 独立式刚性防撞墩

（2）独立式防撞格栅，针对拱脚的防护结构，采用多根混凝土桩围绕拱脚布置，通过一道或多道横梁将其串联，横梁上可布置固定式柔性防撞护舷。

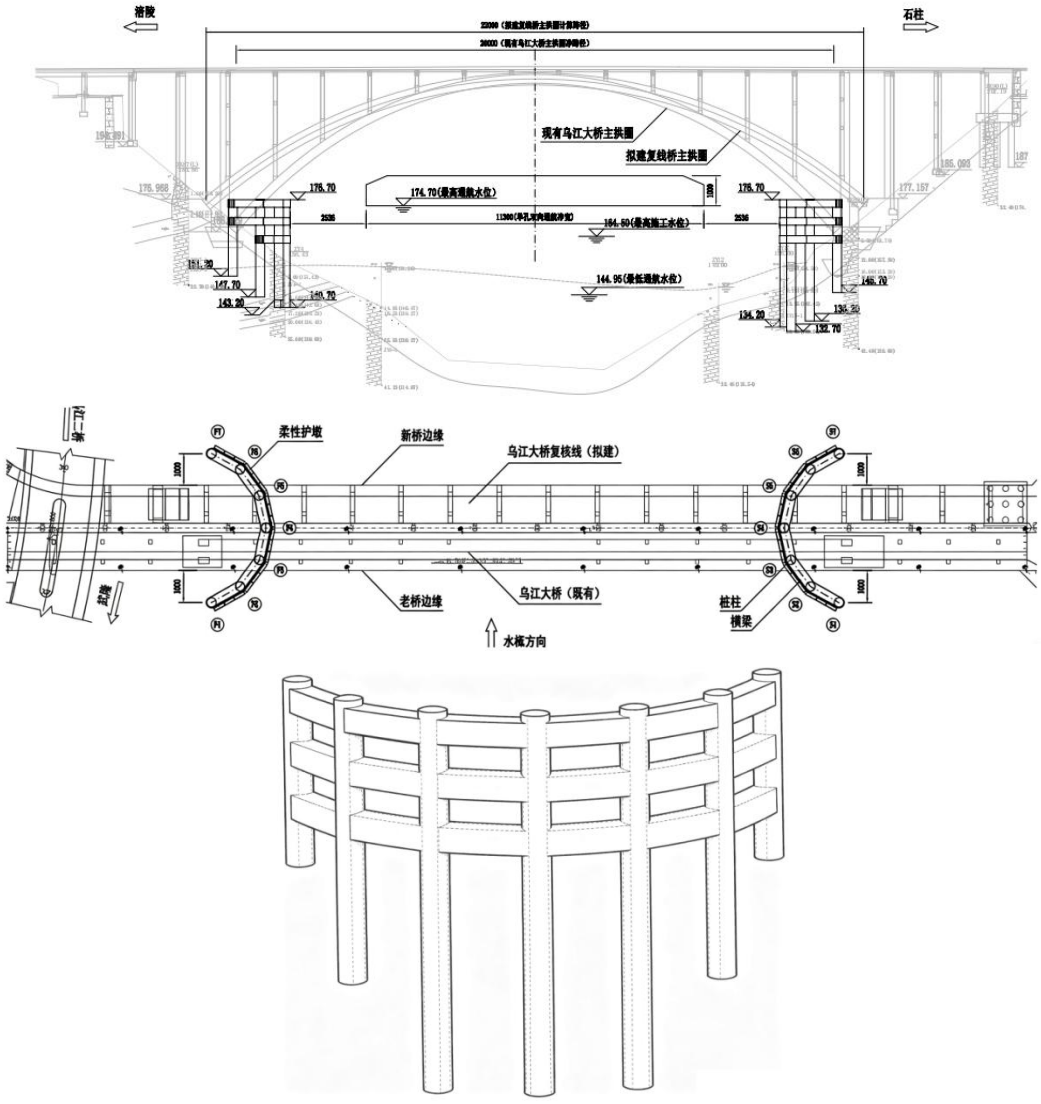


图 4.3 独立式防撞格栅

（3）独立转筒防撞装置，一般设置在桥墩的上游和下游，装置由支承桩、连接框架、可自由转动的防撞转筒组成，属于柔性耗能型防撞设施。防撞转筒多采用高弹复合材料或钢质浮筒结构，船舶撞击时转筒可发生转动，将正向撞击力转化为侧向导向力，引导船舶转向偏离桥墩；该类设施可通过转筒转动、结构变形共同耗散撞击能量，对船舶损伤较小，同时大幅折减作用于桥墩的撞击荷载。

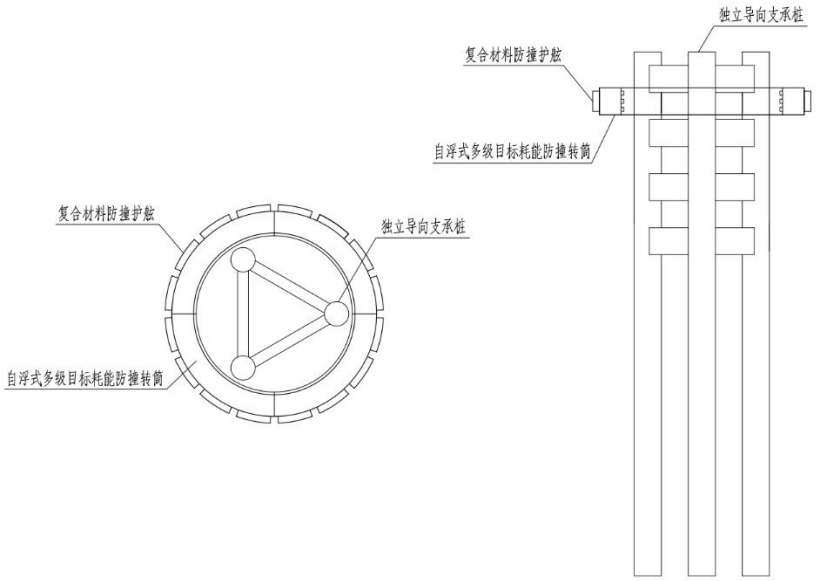


图 4.4 独立转筒防撞装置

（4）隔离式防撞拦截装置，由锚碇、浮筒、高分子缆绳、锚链、防撞消能组件串联构成，主要通过走锚耗能。即将多根锚链的一端通过锚碇系统锚固于江底，另一端与浮筒连接，可在锚链上连接多个防撞消能组件，形成一个耗能单元。多个浮筒通过高分子缆绳串联，在水面一定高度形成船舶拦阻网。

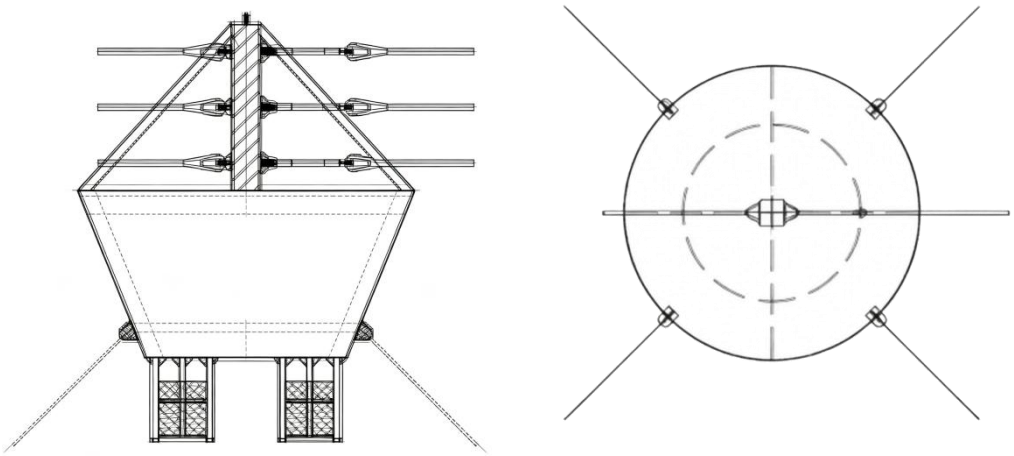


图 4.5 柔性拦截系统单个元件示意图

4.2.3 附着式防撞设施分为固定式防撞设施和浮动式防撞设施。

1）固定式防撞设施，可分为固定式复合材料防撞设施、固定式钢+复合材料防撞设施，设置在桥墩或承台可能的撞击位置，需要根据水位确定布置数量。

2）浮动式防撞设施，可分为浮动式钢套箱、浮动式复合材料套箱、浮动式钢+复合材料套箱、浮动式 UHPC+钢套箱，设置在桥墩外侧，可随水位变动自由浮动。

条文说明

（1）固定式复合材料防撞设施主要由复合材料外壳、耗能构件和连接件组成。内部构造形式可采用正交格构腹板、多层错位格构腹板、六边形格构腹板、圆形格构腹板等形式。

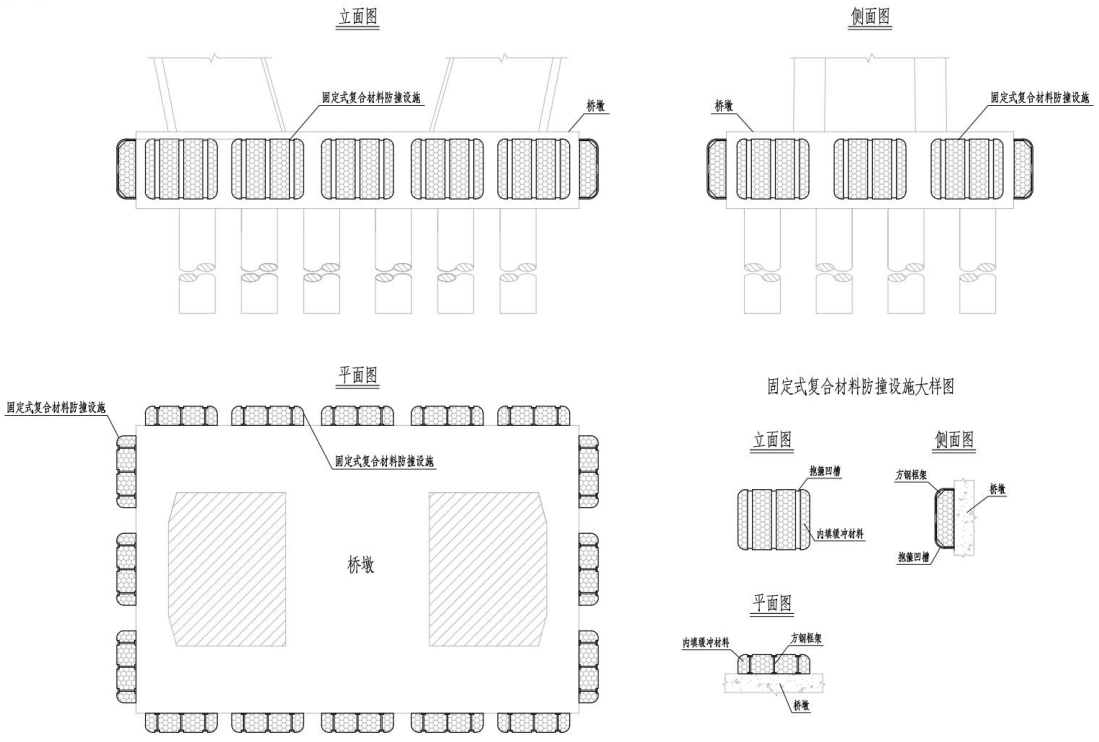


图 4.6 固定式复合材料防撞设施示意图

（2）固定式钢+复合材料防撞设施主要由主体钢结构、耗能构件、复合材料防护层和连接件组成。主体钢结构可采用箱型板梁结构、劲性骨架结构或钢夹层结构等类型。

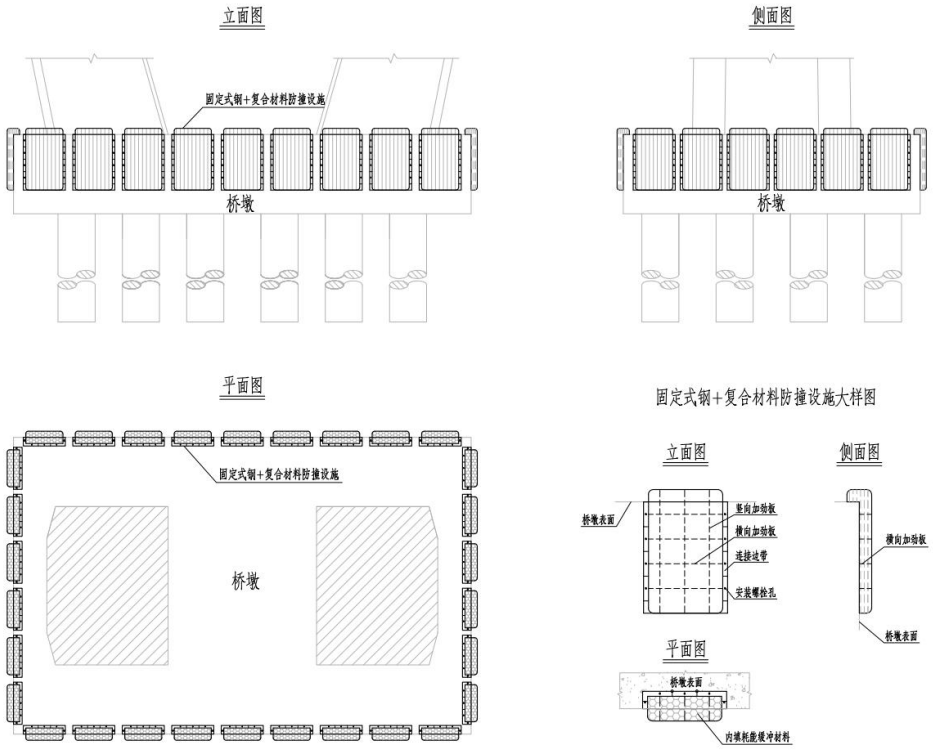


图 4.7 固定式钢+复合材料防撞设施示意图

（3）浮动式复合材料防撞设施主要由复合材料外壳、内部耗能构件和摩擦板或滑动滚轮组成，可设消能元件，摩擦板可设于消能元件上，也可直接设于复合材料外壳与桥墩直接接触的位置。浮动式复合材料防撞设施内部构造形式可采用格构板、六边形、八边形和圆形蜂窝元件等。

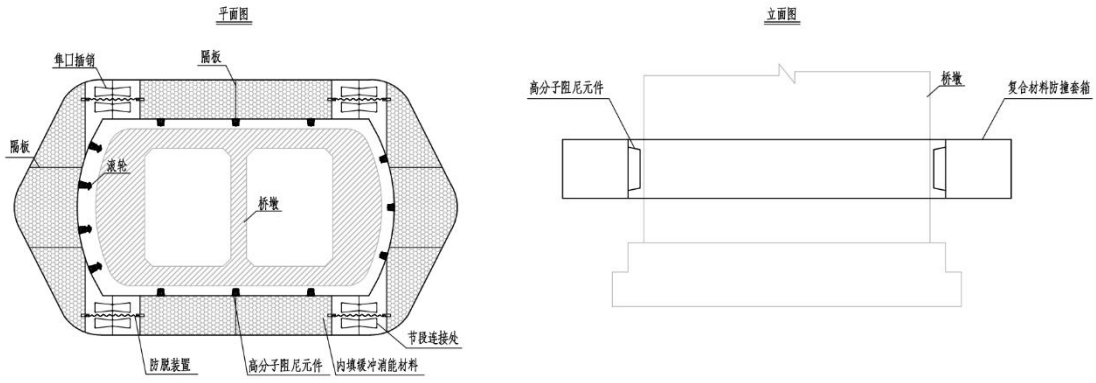


图 4.8 浮动式复合材料防撞设施示意图

（4）浮动式钢+复合材料防撞设施主要由主体钢结构、消能元件、复合材料防护层和滑动滚轮组成，内部可填充耗能芯材。主体钢结构可采用箱型板梁结构、劲性骨架结构或钢夹层结构等类型。

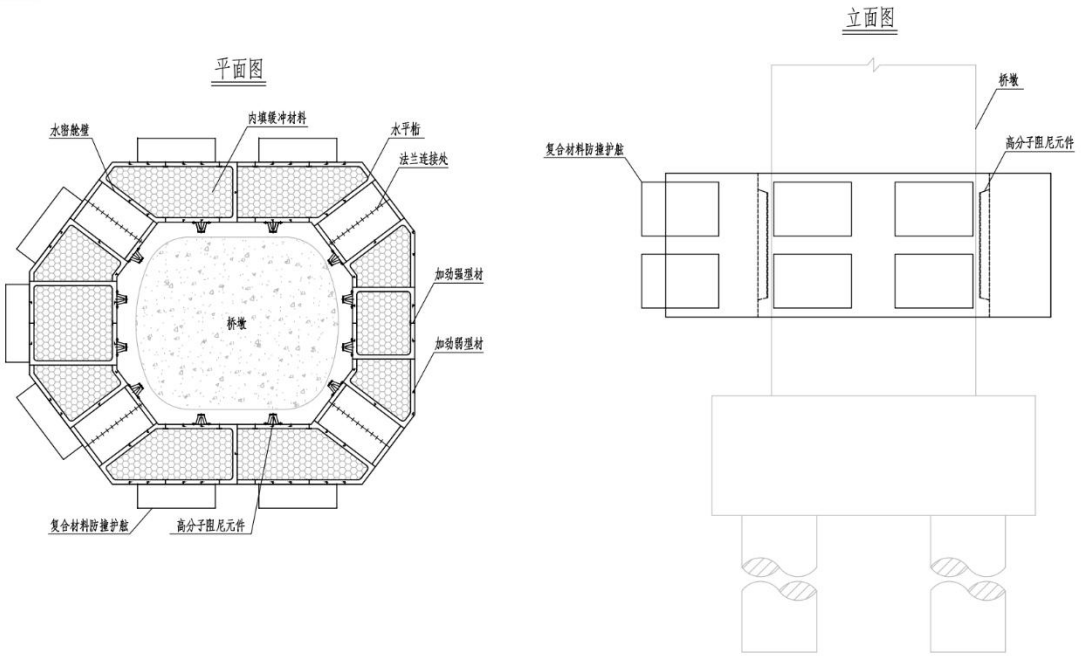


图 4.9 浮动式钢+复合材料防撞设施示意图

（5）浮动式 UHPC+钢套箱主要由 UHPC 外壳、钢耗能元件和滑动滚轮组成，内部可填充耗能芯材。

4.2.4 一体式防撞设施主要包括人工岛。

条文说明

人工岛主要指在桥墩的周围构筑一个小岛以防止船舶碰撞到桥墩。岛通常用沙或石作芯，并用厚的块石铺砌外层加以保护，以防波浪、水流和冰的作用。人工岛的轮廓一般采用流线型，且顺水流方向较长，四周都有较平缓的斜坡。斜坡的斜率可以是恒定的，有时为了减小对船体桁材的破坏，斜坡率可以随水深而减小。

4.3 防撞设施适用范围

4.3.1 对桥墩（台）抗力差超过 60%的，宜采用独立式防撞设施。如钢筋混凝土防撞格栅或钢筋混凝土独立防撞墩等。

条文说明

桥墩（台）抗力差是指桥墩（台）自身抗撞能力与设防代表船舶撞击力之间的差值比例。计算公式如下：

$$\Delta = \frac{F - F_d}{F}$$

式中： Δ—— 抗力差

F—— 设防船撞力；

F_d—— 桥梁构件抗撞能力；

4.3.2 对桥墩（台）抗力差未超过 40%的，宜采用附着式防撞设施。如防撞套箱或防撞护舷等。

4.3.3 对桥墩（台）抗力差介于 40%~60%之间的，宜采用附着式防撞设施与结构自身加固相结合的方案。如在原桥结构增设横系梁、空心墩注浆、扩大承台等方式的基础上增设柔性防撞设施。

4.3.4 对横向抗力较弱的上承式拱桥，宜采用独立式防撞设施。

4.4 防撞设施总体布置

4.4.1 防撞设施平面尺寸布置。1000 吨级船舶防撞设施平面厚度不宜小于 1.0m；3000 吨级船舶防撞设施平面厚度不宜小于 1.5m；5000 吨级船舶防撞设施平面厚度不宜小于 2.0m。

4.4.2 防撞设施竖向尺寸布置。1000 吨级船舶防撞设施竖向高度不宜小于 2.0m；3000 吨级船舶防撞设施竖向高度不宜小于 2.5m；5000 吨级船舶防撞设施竖向高度不宜小于 4.0m。

条文说明

防撞设施平面厚度指最窄处平面尺寸，防撞设施竖向高度指防撞设施主体结构竖向高度。布置示意图如下。

征求意见稿

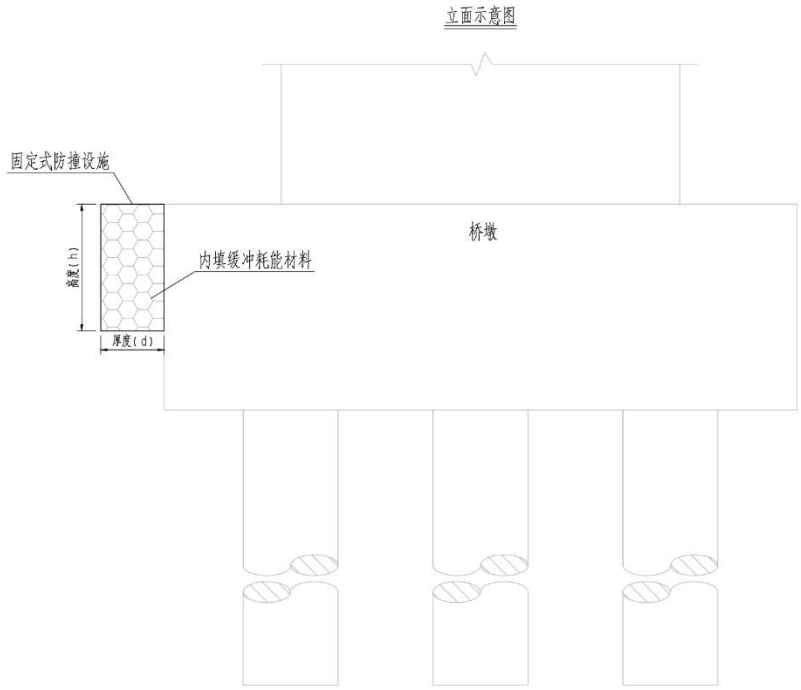


图 4.10 固定式防撞设施尺寸布置示意图

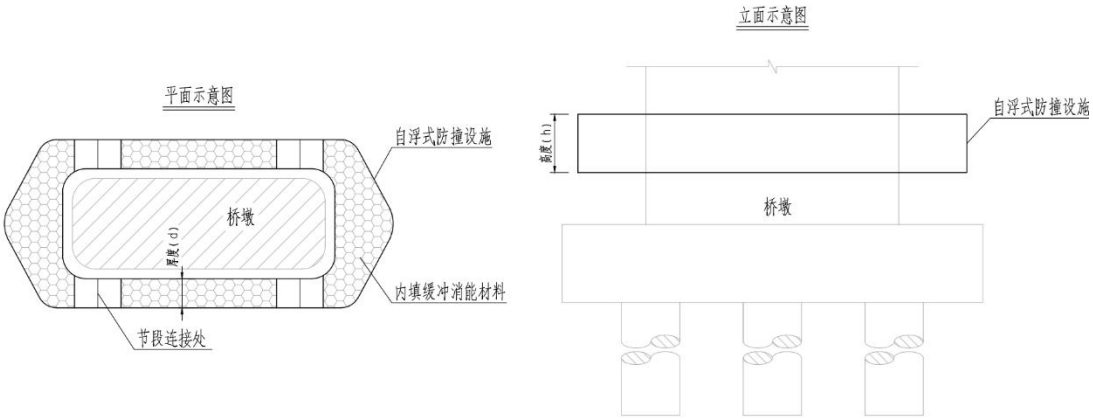


图 4.11 浮动式防撞设施尺寸布置示意图

4.5 防撞设施外观要求

4.5.1 防船撞设施整体颜色应为交通警示色，表面光洁、分类整齐、色彩醒目，应设有清晰、牢固的警示标志，必要时宜设置水尺标志。

4.5.2 防船撞设施的表面应完整、无裂缝，并满足下列要求：

1）钢结构不应有明显的脱落、凹痕、龟裂、划伤、污迹、分层、发白、皱皮、鼓泡、返锈等；焊缝应平直均匀，不应有缺陷；表面涂层无漏涂、平整光滑、颜色均匀一致；

2）复合材料无明显气泡，无杂质混入，无纤维外露，无裂纹、划痕、瑕疵及白化分层等缺陷。

4.5.3 除满足本标准规定外，尚应满足航道、海事部门对外观的要求。

条文说明

《长江干线桥区和航道整治建筑物助航标志》中关于桥墩承台警示标有相关要求的，按相关要求执行。颜色色号统一采用 RAL 工业国际标准色卡。

征求意见稿

5 结构设计

5.1 一般规定

5.1.1 防撞设施应降低船舶撞击力，部分（或完全）避免桥梁遭受船舶撞击而产生损伤的情形出现。

5.1.2 防撞设施的采用，应使桥梁主体承受的船撞力下降到可以接受的水平。

5.1.3 防撞设施的结构构造及几何外形，应有利于改变船舶航向，大幅度消耗船撞动能，在保证桥梁安全的前提下对船舶的撞击损伤尽可能小。

条文说明

船舶撞击后航向改变，可使船舶一部分动能保留在船上，减少撞击过程中的能量转化，减少桥梁承受的撞击能量，有利于保护桥梁和船舶。

5.1.4 对于主体结构已具有整体抗撞能力的桥梁，可采用局部防撞设施对可能撞损的部位进行局部防护。

条文说明

桥梁整体抗撞能力满足抗船撞要求，但局部结构仍可能存在撞损而不易维修的情况，进而影响桥梁的耐久性和后续抗撞能力，需采用局部防船撞设施。

5.1.5 防船撞设施除考虑碰撞耗能等性能外，尚应充分考虑长期服役性能，包括耐久性、抗浮、防沉、防倾及可维护性。

5.1.6 防撞设施与桥梁主体结构之间的传力路径应明确、可靠。正常使用工况下，防撞设施宜避免影响桥梁主体结构受力状态；船撞工况下，防撞设施的破坏模式应可控，不应引起主体结构的连续性破坏。

条文说明

防撞设施与主体结构的连接部位是传力的关键环节。冲击试验与数值模拟研究表明，当连接构造先于消能构件失效时，防撞设施的整体防撞效能将大幅降低，失效脱落的构件还可能危及桥区通航安全。因此，连接部位应具有不低于消能构件的可靠度水平，其损伤模式应为可检测、可修复的延性破坏。

5.1.7 防船撞设施宜采用模块化设计，节段划分应便于制造、运输、安装、维修与更换。

征求意见稿

5.2 独立式防撞设施

5.2.1 采用独立式防撞设施时应充分考虑需保护桥梁的结构特点、环境特征、防撞保护要求。

5.2.2 隔离式防撞拦截装置应考虑桥区水域历年水文特性，确保拦截装置具有良好服役性能，并在安全距离内截停失控船舶。

条文说明

拦截式防撞拦截装置主要由拦截主缆、浮筒、锚链、锚碇及消能组件串联构成，依靠走锚摩擦与缆索变形吸收并耗散失控船舶的撞击动能。拦截主缆宜选用超高分子量聚乙烯纤维缆或高强钢丝绳，其破断荷载应根据设防船舶吨位、撞击速度与拦截距离确定；浮筒宜采用闭孔、耐腐蚀、抗老化材料制作，并宜分区设置水密舱，必要时配置防沉配重；锚碇可采用大体积混凝土沉块或桩锚形式。装置布设后，应通过数值模拟或现场实船拦阻试验验证其在设防工况下的截停能力与拦截距离。

5.2.3 独立式防撞墩可分为柔性防撞墩与刚性防撞墩。柔性防撞墩宜采用钢管桩或钢管混凝土桩通过横梁连接成群桩体系；刚性防撞墩宜采用钢筋混凝土结构或钢管混凝土结构。墩身截面尺寸与桩数应根据设防船撞力经计算确定。

条文说明

柔性防撞墩利用桩身的大变形与群桩体系的整体变形耗散撞击能量，撞击力峰值较低，损伤后可通过补桩、加固等方式恢复防护能力，适用于中等吨位设防船舶；刚性防撞墩依靠自身强度与刚度抵挡船舶撞击，适用于设防船舶吨位大或对防撞墩位移敏感的桥位。两种形式在长江、珠江流域及跨海桥梁工程中均有成熟应用，设计时应结合水深、地质、施工与造价条件综合比选。

5.2.4 独立式防撞设施的桩基与墩身应计入船舶撞击产生的水平力、弯矩与扭矩，并应考虑船撞引起的局部冲刷以及撞击后的残余承载力。桩基验算应符合现行《公路桥涵地基与基础设计规范》（JTG 3363-2019）的规定。

5.2.5 独立式防撞设施的布置应确保其在设防船撞力作用下的变形、位移与转动不触及、不损伤被保护的桥梁墩台与基础；防撞设施与被保护墩台之间的净距应根据变形验算确定并留有安全余量。

征求意见稿

5.2.6 独立式防撞设施的迎撞面宜根据设防需要设置柔性耗能元件，以降低撞击力峰值、保护墩身结构，耗能元件应便于撞击后检查与更换。

5.3 附着式防撞设施

5.3.1 浮动式防撞套箱折减后的船撞力不应大于桥梁墩台（构件）的抗船撞能力。

5.3.2 浮动式防撞套箱与桥墩之间应预留足够距离，确保上下浮动顺畅，顶面与水平面夹角不超过 2°。

条文说明

浮动式防撞套箱应考虑套箱倾斜，漂浮物堆积等不利情况导致的套箱上下浮动困难，故套箱与桥墩之间应预留足够的距离。

5.3.3 浮动式防撞套箱整体刚度宜为设防代表船型船艏刚度的 0.4-0.6 倍。

条文说明

根据国家重点研发计划《既有城市桥梁车/船撞击安全预警与防撞保护技术及示范》中基于刚度匹配的桥梁被动防护设计理论与防撞系统研究，明确防撞设施刚度与船艏刚度比宜为 $0.4\leq\lambda\leq0.6$，此时防撞设施的船撞力折减率可达到 25%～40%，整体破坏变形率可控制在 15%～25%。

5.3.4 浮动式防撞套箱水密性应可靠，不得出现漏水、渗水的现象。

5.3.5 固定式防撞护舷/护板折减后的船撞力不应大于桥梁墩台（构件）的抗船撞能力。

5.3.6 固定式防撞护舷/护板应设计可靠的锚固构造措施，宜采用双螺母构造措施。

条文说明

根据实际工程应用反馈的信息，有固定式防撞设施由于螺母松脱导致防撞设施整体脱落的情况发生，故设计时应考虑螺母防松脱措施。

5.3.7 固定式防撞护舷/护板应考虑浮力的不利影响，必要时应考虑加强螺栓连接、增加装置配重、开透水孔等方式减轻浮力的不利影响。

条文说明

固定式护舷/护板按重力作用进行螺栓抗剪设计远远不够，护舷/护板全部淹没到水中，产生的浮力可达重力的 5 倍，此时应考虑加强螺栓连接、增加装置配重、开透水孔等方式减轻浮力的不利影响。

征求意见稿

5.3.8 附着式防撞设施的耗能元件可采用橡胶护舷、橡胶-钢丝绳复合防撞圈、蜂窝格构、闭孔耗能芯材等形式。耗能元件的压缩变形特性、吸能量与复位性能应通过试验验证，并应与整体防撞性能计算相匹配。

条文说明

橡胶-钢丝绳复合防撞圈由钢丝绳盘绕成圈、外包橡胶制成，兼具高耗能、大变形与可复位特性，在湛江海湾大桥等工程中已有应用。蜂窝格构与闭孔耗能芯材通过材料屈曲压实与胞元变形耗散撞击能量，且闭孔结构吸水率低，长期浸水服役性能稳定。耗能元件选型时，应结合设防船撞力、允许撞深及维护更换条件综合确定，其性能指标应符合本标准第 3 章的相关规定。

5.3.9 浮动式防撞套箱节段之间应采用可靠的连接构造，宜采用内法兰连接，并应设置防松脱措施。节段连接的强度与刚度不应低于套箱本体相应部位。

条文说明

节段连接部位是浮动式防撞套箱的薄弱环节，模型冲击试验与碰撞数值模拟均表明，节段先行脱开将导致套箱整体耗能能力显著下降。内法兰连接可避免连接件外凸划伤船体、增大水流阻力，并便于受损节段的局部更换。连接螺栓宜采用高强螺栓，并采取双螺母、防松垫圈等防松脱措施，撞击后应及时检查、复拧。

5.3.10 浮动式防撞套箱应进行浮态设计，合理配置吃水与压载，在设计最高与最低通航水位范围内保持正浮；迎撞消能部位应始终覆盖设防代表船舶的船艏撞击高度范围。

条文说明

浮态设计直接关系套箱的防护有效性：若套箱干舷或吃水与设防船型撞击高度不匹配，可能出现船舶骑越套箱或从套箱下方撞击墩身的情况。压载宜采用固定压载或对称布置的压载舱，防止套箱倾斜；忠州长江大桥等库区桥梁水位变幅大，套箱随水位沿墩身升降，更应保证浮态的稳定性。对漂浮物较多的河段，套箱与墩身间的环形通道应便于漂浮物排出，避免卡阻。

5.3.11 浮动式防撞套箱与桥墩接触面之间宜设置滑动摩擦板或滚动摩擦装置，适应水位变化引起的套箱竖向浮动，减小套箱与墩身之间的磨损。

条文说明

套箱随水位升降沿墩身竖向浮动，接触面摩擦阻力过大将造成套箱卡阻、局部磨损与浮态异常，严重时使套箱偏离有效迎撞位置。工程中常采用聚四氟乙烯滑板、滑动滚

轮等措施降低摩擦阻力，设计中尚应计入摩擦作用对连接件及局部构造的疲劳影响。

5.3.12 附着式防撞设施应设置检修通道、人孔、系泊与吊装设施，满足日常检查、维修与节段更换的要求。

5.4 一体式防撞设施

5.4.1 一体式防撞设施（人工岛）适用于设防船舶吨位大、水域开阔、地质条件良好且对航道尺度影响可控的桥位，应经技术经济比选后采用。

条文说明

人工岛通过在桥墩周围构筑实体岛体，迫使失控船舶在岛坡搁浅截停，将撞击能量转化为船舶爬升与岛体边坡变形，使墩身免受直接撞击。美国阳光大道桥（Sunshine Skyway Bridge）重建时在桥塔周围设置了护面块体的人工岛，是人工岛防撞的代表性工程。人工岛一次建造费用较高，且对桥区水流形态、河床冲淤和航道净宽有一定影响，宜结合桥位条件经技术经济比选后采用。

5.4.2 人工岛岛体可采用抛石、砂料或袋装砂填筑，外围坡面应设置块石或人工块体护坡。护面结构应能抵御波浪、水流、冰压力及船舶撞击的联合作用，并应满足抗震稳定性要求。

5.4.3 人工岛的平面尺度与顶面高程应根据设防代表船舶的吨级、吃水、撞击速度及桥区水位综合确定，确保失控船舶在岛坡上有效搁浅截停；岛体坡脚与桥梁墩台之间应预留安全距离。

条文说明

人工岛的防护有效性取决于失控船舶在岛坡上的搁浅截停能力，与岛体坡度、护面摩擦特性、船舶球鼻艏形状及撞击速度密切相关。设计时宜通过数值模拟或物理模型试验验证岛体平面尺度与顶面高程，防止高水位、高速度工况下船舶局部爬越岛体；坡脚与墩台之间预留安全距离，可避免船舶撞击后的残余动能直接传递至墩身或承台。

5.4.4 人工岛设计应评估其对桥区水流形态、河床冲淤、航道净宽及通航安全的影响，必要时应同步开展通航安全评估与防洪评价。

5.4.5 人工岛应设置警示灯桩、警示标等助航与警示设施；岛上宜预留检修通道，满足日常巡查与维护要求。

征求意见稿

6 计算分析

6.1 一般规定

6.1.1 经防撞设施折减后的船撞力应小于结构自身抗力。

6.1.2 防撞设施的计算应采用动力数值模拟方法，宜进行构件层面的冲击试验验证。防撞设施模型冲击试验方法见附录 A。

条文说明

附着式防撞设施的计算可采用两阶段，方案阶段宜采用质点弹簧模型进行刚度设计，并初步估算桥梁撞击响应，初设与施工图阶段宜采用动力数值模拟方法。设计完成以后，还需通过构件层面的冲击试验对性能进行验证。试验宜采用整体试件进行。若试验能力有限，可选用代表性耗能独立单元试件进行试验。采用缩尺模型时，缩尺比不可过小，冲击能量的选取需与试件尺寸匹配。

6.1.3 计算应考虑偏航角度的影响，分别验算横桥向撞击作用和顺桥向撞击作用。

6.1.4 独立式防撞设施计算分析时应采用全结构计算分析模型，并考虑土-基础的相互作用，同时还应考虑运营期存在的基础冲刷情况。

6.1.5 跨海桥梁防撞设施尚应进行波浪力作用下的疲劳计算以及风荷载作用下的验算。

条文说明

跨海大桥防撞设施在正常运营状态下，受到波浪及风荷载的影响，疲劳问题较为突出，应进行相关计算分析。

6.2 独立式防撞设施

6.2.1 独立防撞格栅、独立防撞墩按钢筋混凝土结构进行计算分析。

条文说明

针对独立式防撞设施，由于船舶不能直接撞击桥墩，即撞击力仅作用于防撞设施上，其设计依据遵循混凝土结构的性能规定，参照相关规范即可。

6.2.2 转筒式防撞装置结构计算分析时应考虑钢护筒的作用。

条文说明

转筒式防撞装置一般采用钢护筒进行成桩，钢护筒也参与了结构受力，故结构计算

征求意见稿

分析时应考虑钢护筒的作用。

6.2.3 防撞拦截装置计算分析时应针对浮筒自浮稳定性、拦截系统有效性开展验算分析。计算分析时应详细收集桥区历史环境特征，极端服役工况下浮筒横摇幅度宜不超过 20°。

6.3 附着式防撞设施

6.3.1 浮动式防撞套箱应进行整体分析和局部分析，附着式防撞设施数值仿真分析方法见附录 B。

6.3.2 浮动式防撞套箱局部分析包括连接接头、连接螺栓等受力分析。

6.3.3 固定式防撞护舷/护板应进行整体分析和局部分析。

6.3.4 固定式防撞护舷/护板局部分析应包括锚固件、植筋深度等分析。

条文说明

附着式防撞设施的设计较为复杂，由于撞击力经过防撞设施后还会传递至桥梁本体，因此需要将其控制到可接受水平。应遵循基于能量的方法，国内外总体上有 3 种设计标准：（1）大部分碰撞动能由船艏吸收，此时防撞设施能力 F(x)>船撞力 P，如图 6.1②所示；（2）碰撞动能由船艏和防撞设施共同耗散，此时防撞设施能力 F(x)≈船撞力 P，如图 6.1①所示；（3）大部分碰撞动能由防撞设施通过压溃变形吸收，此时防撞设施能力 F(x)<船撞力 P。近年来防撞理念强调同时保护船、桥，因此设计标准（3）更符合未来发展。

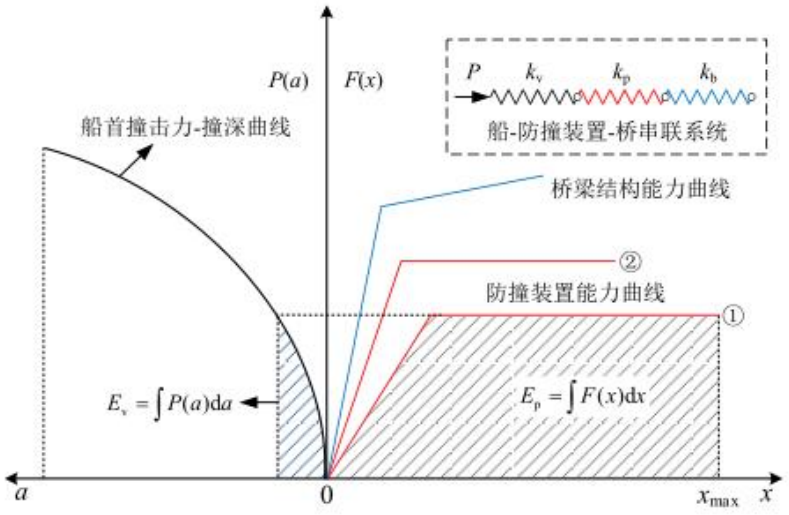


图 6.1 船-防撞设施-桥的串联系统

征求意见稿

7 桥梁防船撞监测预警系统设计

7.1 一般规定

7.1.1 对于以下桥梁，宜设置桥梁防船撞监测预警系统：

1）新建桥梁，通航密度大、船舶大型化或船撞重要性等级为 C1 级；

2）在役桥梁经评估存在以下情况之一：

a）抗撞能力不满足设防要求，且采用结构加固或增设防撞设施在技术上不可行或经济性明显不佳；

b）抗撞能力虽满足要求，但桥区通航环境已发生重大变化（如航道等级提升、船舶吨位显著增大、航迹线偏移等），导致碰撞风险显著增加；

c）运营期间已发生多次船舶超高、偏航等险情或船撞事故。

条文说明

本条规定了新建桥梁和在役桥梁的监测预警系统设置条件。

桥梁船撞重要性等级按照《公路桥梁抗撞设计规范》（JTG/T 3360-02-2020）表 4.2.2 相关规定选取。

7.1.2 系统应与桥区水上通航管理规定、桥梁运行管理系统相协调，并预留与海事、航道等管理部门的接口。

7.1.3 系统设计应适应桥区年水位变幅条件。监测设备的安装高程应覆盖全水位变幅区间，监测预警区域及预警阈值应根据实时水位动态调整。

7.1.4 系统设计应遵循安全、可靠、经济、适用、先进的原则。

7.2 系统构成及分类

7.2.1 系统应由监测子系统、传输子系统、分析子系统和预警子系统组成，宜采用层次化设计，由感知层、传输层、分析层、发布层构成，构成示意见图 7.1。

征求意见稿

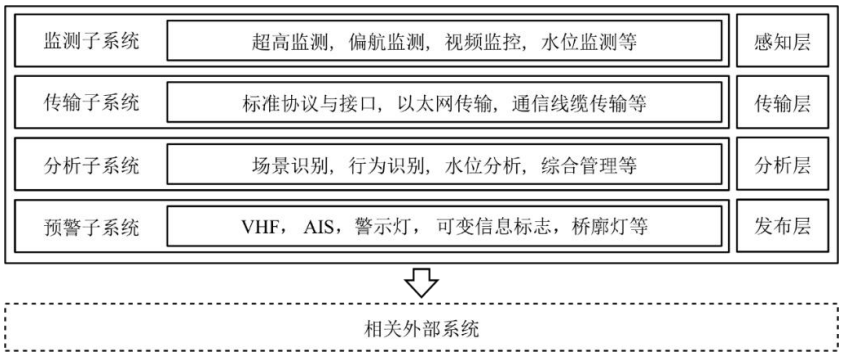


图 7.1 防船撞监测预警系统构成示意

条文说明

本条明确了防船撞监测预警系统的基本组成框架，划分为监测、传输、分析、预警四个子系统，形成完整的数据采集—传输—处理—发布闭环。

监测子系统：负责采集船舶航行动态、水位、环境等原始数据，是系统的基础信息来源。

传输子系统：实现监测数据与预警信息的可靠传输，宜采用有线与无线相结合的方式。

分析子系统：对监测数据进行处理、融合与判断，识别超高、偏航等风险行为，并依据预设模型生成预警等级。

预警子系统：根据分析结果向船舶或管理部门发布预警信息，支持多种发布手段。

该四层架构与《公路桥梁防船撞监测预警系统技术规范》中的系统架构保持一致，有利于系统的标准化设计、设备选型及后续维护升级。

7.2.2 系统应按照预警功能分为：

1）超高监测预警系统；

2）偏航监测预警系统；

3）超高和偏航监测预警系统。

条文说明

超高监测预警系统：应具备船舶超高监测与预警功能，通过检测子系统的设备实时监测目标对象的高度数据，与预设安全阈值进行比对，当高度超过限值时触发预警。

偏航监测预警系统：应具备船舶偏航监测与预警功能，通过监测子系统的设备追踪目标对象的位置，结合电子围栏实现船舶偏航的监测及预警。

征求意见稿

超高和偏航监测预警系统：集成上述两类系统功能，可同时实现船舶超高与偏航的双重监测预警，适用于船舶超高与偏航均需严格管控的复杂场景，能够提供一体化的安全监测解决方案。

7.2.3 桥梁应按以下情形分类设置系统：

1）监测预警区域内存在船舶水面以上高度高出超高监测预警界限风险的桥梁，设置超高预警系统；

2）桥梁通航净宽不满足航道等级对应标准要求或经评估存在偏航碰撞桥梁风险时，设置偏航预警系统；

3）同时存在 1 和 2 的情况时，设置超高和偏航预警系统。

7.3 系统功能要求

7.3.1 系统应沿航道方向在桥梁上下游水域划分监测预警区域。监测预警区域由外至内宜包括预警I区、预警II区和预警III区，划分示意见图 7.2。

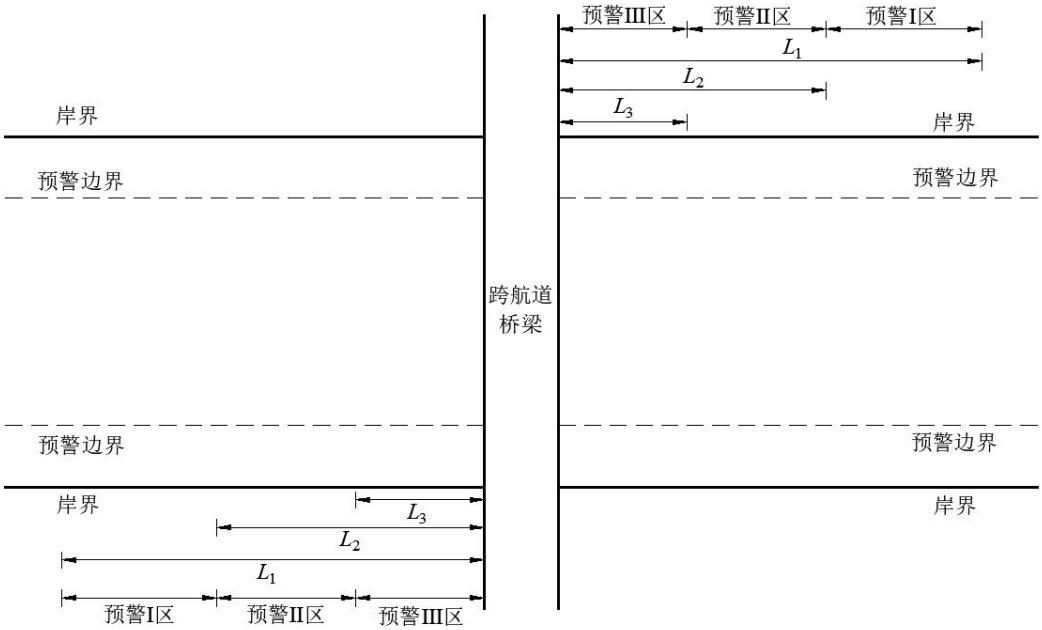


图 7.2 监测预警区域划分示意

条文说明

预警区域应结合桥梁布置及通航净空，航道、航路及通航孔布置，通航船舶尺度、密度及航速，水流流速，上下游跨河、临河建筑物，桥梁管养单位及水上交通安全管理部门相关要求等综合确定。

预警II区和预警III区的最小范围应满足表 7.1 的要求，预警I区的范围可根据桥梁通航信息的发布需求确定。

表 7.1 船舶监测预警区域范围

单位：m

预警范围	I-1 级	I-2 级	I-3 级	I-4 级	I-5 级	I-6 级	II 级	III 级	IV 级	V 级及以下
L_2	1630				1270		1080	960	670	380
L_3	900	600	520	460	440	390	360	340	270	220

7.3.2 监测子系统应具备在监测预警区域采集视频图像、船舶特征信息及桥址水位的功能。

7.3.3 传输子系统应具备在监测、分析、预警子系统间传输数据和指令的功能。

7.3.4 分析子系统应具备对监测数据的融合分析能力，识别船舶超高、偏航等预警类别生成相应的控制指令，并下达至预警子系统。

7.3.5 预警子系统应能接收并执行分析子系统的控制指令，通过语音播报、预警声音、预警灯光、预警文字、预警短报文等方式，向目标船舶及相关方发布提示或预警信息。

7.3.6 对于桥区年水位变幅较大的水文环境，超高监测预警应考虑不同水位下通航净空高度的变化，预警界限应依据设计最高通航水位和最低通航水位分别校核。

7.3.7 偏航监测预警的航道边界应根据桥区航迹线调查结果和航道等级综合确定，并考虑桥区航道变迁的影响。

7.3.8 监测设备选型：

1）超高监测：选用激光雷达、微波雷达、激光对射探测器、激光交叉扫描探测装置、红外热成像装置或其组合形式，应具备自动校准功能或满足定期校准要求。

2）偏航监测：应配置 AIS 基站，并宜根据应用场景及设备技术指标选用激光雷达、微波雷达、视频图像采集设备或其组合形式。

3）水位监测：应根据桥梁位置水文特性、安装条件及便于维护来布设，宜采用浮子式水位计、压力式水位计、超声波水位计、电子水尺和雷达水位计等设备实现信息采集。

7.3.9 预警信息发布设备宜包括 VHF、电笛、警示灯、可变信息标志、桥柱灯等，不应造成声光污染。

征求意见稿

7.4 系统信息要求

7.4.1 系统应建立统一的监测信息数据库。

7.4.2 系统信息保存期限应不小于 90 天，超高监测预警或偏航监测预警事件信息的保存期限应不小于 1 年。

7.4.3 监测预警信息的使用主体应包括桥梁运营管理单位、海事管理部门、航道管理部门及船舶驾驶人员。

7.4.4 预警信息宜采用多种方式并行发布，包括 VHF 语音播报、AIS 短报文推送、现场声光报警、系统平台通知及可变信息标志等。

7.4.5 预警信息的发布应根据预警等级采取差异化方式：

1）船舶进入预警I区时，系统应实时提供桥梁通航信息，向目标船舶发布提示信息。

2）船舶进入预警II区和预警III区时，系统应监测船舶超高、偏航等行为，宜监测船舶航行速度，按需触发预警子系统，向目标船舶发布预警信息。

3）已触发预警的船舶进入预警III区时和碰撞后，系统应向船舶监管和指挥系统、桥梁运行与管理系统等发布提示信息。

征求意见稿

8 检查与维护

8.1 一般规定

8.1.1 在运营期内，应定期（每年枯水期）对防撞设施进行常规检查及维护，检查其表面是否有划痕、凹陷、破损、剥离，涂装是否有脱落，螺栓、钢带等主要连接部位是否松动或受损等，并对附着的杂物进行清理。

8.1.2 在运营期内，应定期（每两年）对防撞设施进行专项检查，包括吃水深度测量、倾斜度测量、表面硬度检测、螺栓锈蚀程度等。

条文说明

防撞设施吃水深度、倾斜度等自身运营状态也可以通过安装智能传感器进行远程监测。

8.1.3 洪水期、雨季、台风期应重点关注防撞设施运营情况。

条文说明

调研发现，防撞设施运营期发生损坏多发生于洪水期、雨季、台风季期间。因此，在洪水期、雨季、台风期发生后，应重点检查防撞设施外观表面损伤情况，若破损、开裂和剥离较小，及时对缺陷处进行修补处理；若破损和开裂较大影响防撞设施正常运营等情况时，需及时更换受损构件，保证防撞工程对大桥和船舶的保护作用。

8.1.4 发生船舶碰撞桥梁的事故后，应立即对防撞设施进行现场检查评估，必要时进行维修或更换。

8.1.5 防撞设施的检查与维护应建立台账制度。检查记录应包括检查时间、检查部位、病害类型、范围与程度、影像资料及处置措施，并宜采用信息化手段实现动态管理。

条文说明

检查维护台账是防撞设施全寿命周期管理的基础。调研表明，运营期较长的防撞设施普遍存在检查记录零散、病害难以追溯的问题。建立信息化台账后，可与桥梁养护管理系统及防船撞监测预警系统的数据对接，实现病害发展趋势分析与维护决策支持。

8.1.6 检查中发现的病害，应根据其对结构安全与防护性能的影响程度分级处置：不影响结构安全和正常使用的表观病害，可纳入日常维护计划处理；影响防护性能的病害，应及时维修；危及结构安全或航道安全的病害，应立即处置，并评估对桥梁整体安全的

征求意见稿

影响。

8.2 防撞设施

8.2.1 定期检查独立式防撞墩（格栅）的混凝土裂缝、剥落、露筋及钢构件锈蚀情况；转筒式防撞装置尚应检查转筒转动的灵活性与支承桩、连接框架的完好性。

8.2.2 船舶撞击后，应及时检查独立式防撞设施的整体变形、倾斜与位移，必要时进行几何复测，并评估其残余防撞能力，确定修复或加固方案。

8.2.3 隔离式防撞拦截装置应定期检查拦截主缆的断丝与磨损、浮筒破损与进水、锚链锈蚀与走锚位移以及消能组件的状态，发现异常应及时维修或更换。

8.2.4 独立式防撞设施基础附近应定期监测河床局部冲刷，冲刷深度接近设计值或影响基础稳定时，应及时采取防护加固措施。

条文说明

独立式防撞设施远离桥梁主体结构，日常巡查中易被忽视，应明确纳入桥梁定期检查范围。柔性防撞墩桩身撞弯后，可通过桩位与倾斜复测判断损伤程度；拦截装置长期承受水流与漂浮物作用，缆索磨损、浮筒进水为主要失效模式，应重点检查；基础局部冲刷是威胁独立式防撞设施安全的重大隐患，可采用多波束测深等手段定期获取基础附近河床地形。

8.2.5 对于附着式防撞设施，应定期检查螺栓（螺母）是否松动，一旦发现松动应立即紧固。

8.2.6 浮动式防撞设施应保证防撞设施与桥墩接触部位不卡住，可正常上下浮动。

8.2.7 定期检查防撞设施本体是否存在开裂、接头脱落、凹陷等，对于浮动式防撞设施，必要时应通过人孔进入防撞设施内部检查非水密舱内部情况。

8.2.8 定期检查钢构件防腐涂层与复合材料护面的老化状况，锈蚀部位应及时除锈补涂；复合材料出现白化、分层等病害时，应及时评估修补。

8.2.9 附着式防撞设施消能元件等耗能部件经撞击或长期服役出现永久变形、老化或失效时，应及时更换，更换部件的性能不应低于原设计要求。

条文说明

征求意见稿

橡胶类耗能元件存在自然老化过程，在紫外线、干湿交替等长期作用下性能逐步衰减；冲击试验与工程经验均表明，老化后的橡胶护舷耗能能力明显下降。耗能部件应按“可检可换”的原则管理，结合定期检查评估其状态，必要时成组更换，避免新旧元件耗能性能差异导致受力不均。

8.3 防船撞监测预警系统

8.3.1 系统维护应包括定期维护、专项维护和应急维护。

8.3.2 极端天气（如大雾、大风、暴雨）前后应及时检查系统的有效性，并做好记录。

8.3.3 系统年均故障停机时间应不大于 24 小时/年，平均修复时间应不大于 12 小时。

条文说明

具体要求应符合《公路桥梁防船撞监测预警系统技术规范》附录 B 的规定。

8.3.4 对于多尘、湿气大等影响主动预警系统监测设备正常运行或设备进水加速设备老化等情况，应加强除尘、除湿工作。

8.3.5 当防船撞主动预警系统出现信号异常、图像模糊、数据丢包等一般性故障时，应及时进行调试校准处理。

8.3.6 当防船撞主动预警系统核心感知、研判、交互模块发生失效、损毁时，应及时更换终端设备或者重新调试重构系统功能。

征求意见稿

附录 A 防撞设施模型冲击试验方法

A.1 防船撞设施防护性能试验宜采用整体试件进行。试验条件不允许时，可选用代表性耗能独立单元构件进行试验。

A.2 采用缩尺试验时，缩尺比不可过小，且应与撞击能量匹配。

A.3 冲击试验设备可采用落锤、摆锤或水平冲击试验车，试验冲击锤质量与刚度的选取应充分反映实际构件的变形情况。

A.4 试验设备应具备采集撞击力、加速度、位移等功能，采集频率不应低于 10kHz，且应同频采集。

A.5 试验时应将构件沿撞击压缩方向固定到需防护的墩柱试件上，应测试有、无防撞设施保护下的对比数据。

A.6 测试应记录撞击力、压缩位移量等关键试验结果，绘制防撞设施性能曲线。

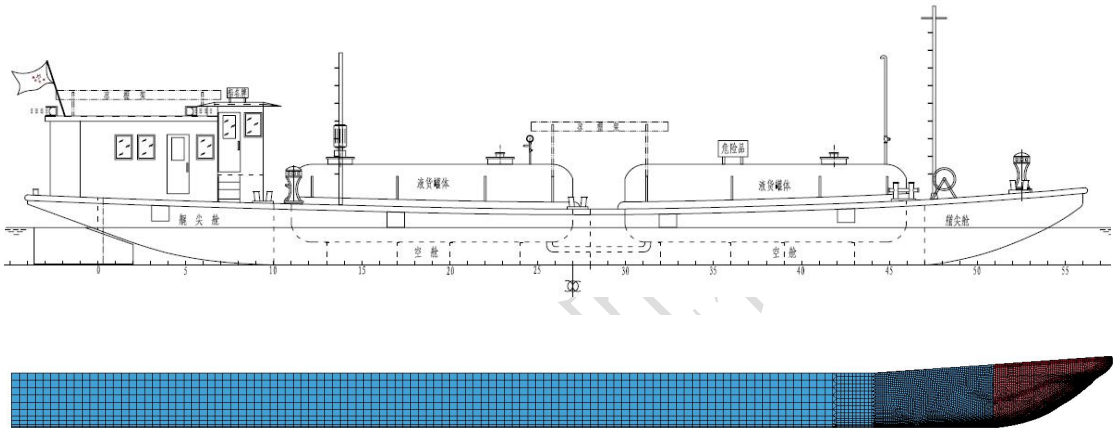
征求意见稿

附录 B 防撞设施数值仿真分析方法

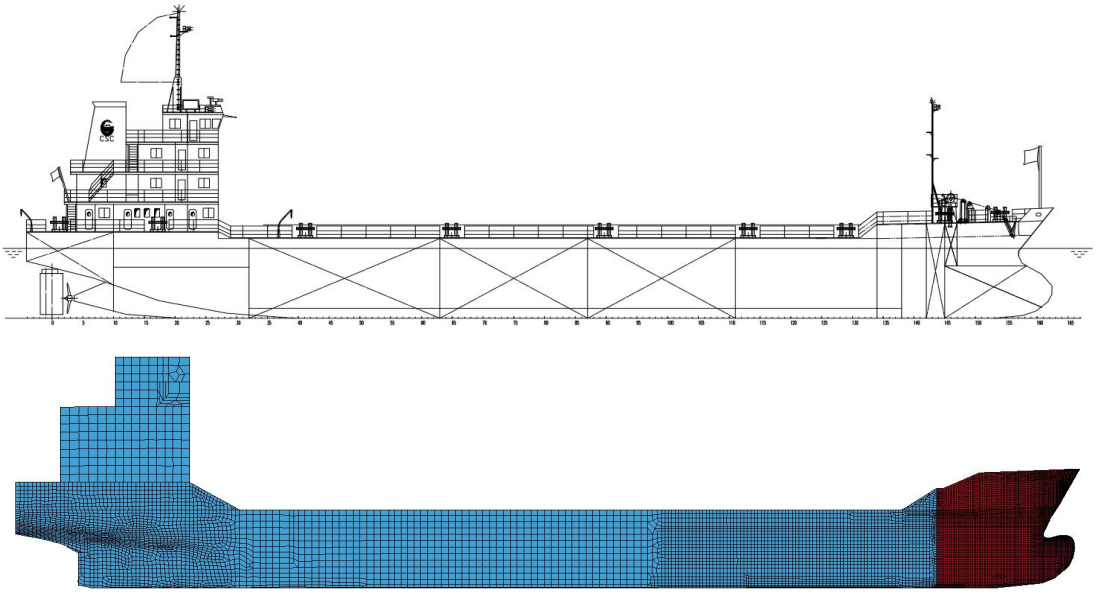
B.1 碰撞模型

B.1.1 桥梁、防撞设施和船舶数值模拟宜采用高分辨率有限元模型，几何尺寸、材料和边界条件应与实际结构相符。

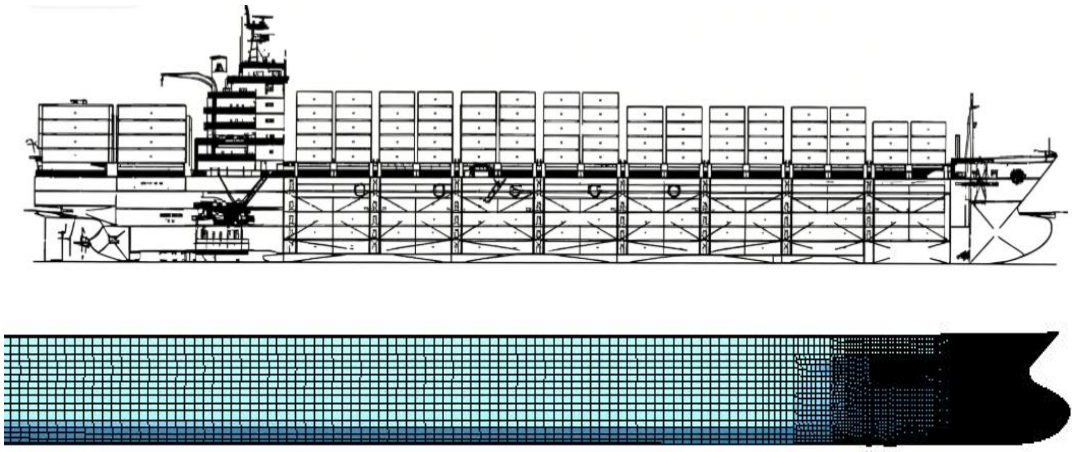
B.1.2 船舶模型的建立需分别考虑库区中的驳船、轮船与集装箱船，处于直接碰撞区的船艏宜采用精细网格，网格尺寸宜在 200mm。远离碰撞区的船身宜采用渐变的粗网格过渡，网格尺寸可在 500~1000mm，见图 B.1 所示。



（a） 驳船



（b） 轮船



（c）集装箱船

图 B.1 船舶有限元模型

B.1.3 桥梁宜建立全桥有限元模型，见图 B.2。条件受限时，可采用简化的单墩模型代替全桥模型简化计算，但需考虑上部结构的等效约束，见图 B.3。

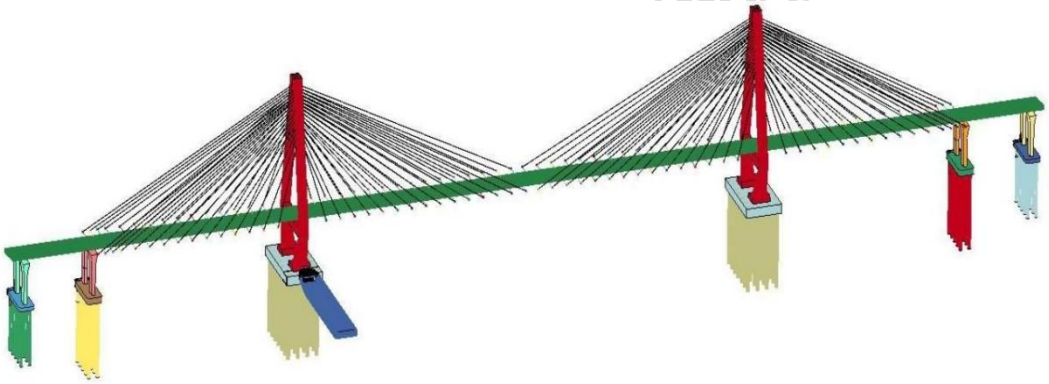


图 B.2 全桥有限元模型

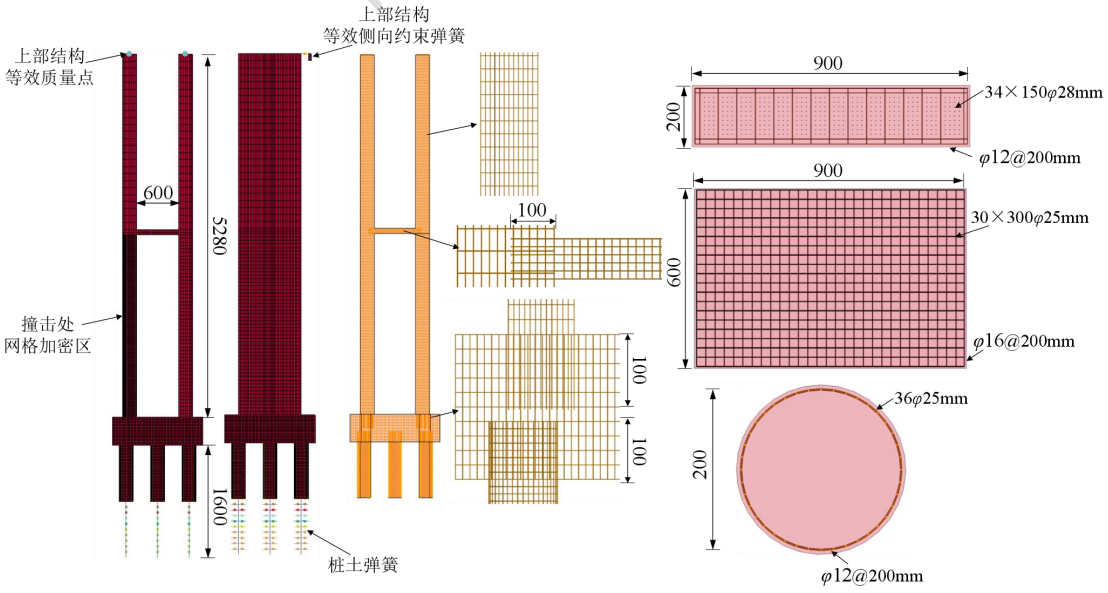


图 B.3 简化单墩模型

B.1.4 防撞设施模型碰撞接触区网格尺寸宜在 100~200mm，节段间栓焊连接可采用共节点进行简化，并与桥墩、船舶设置初始间距，见图 B.4。

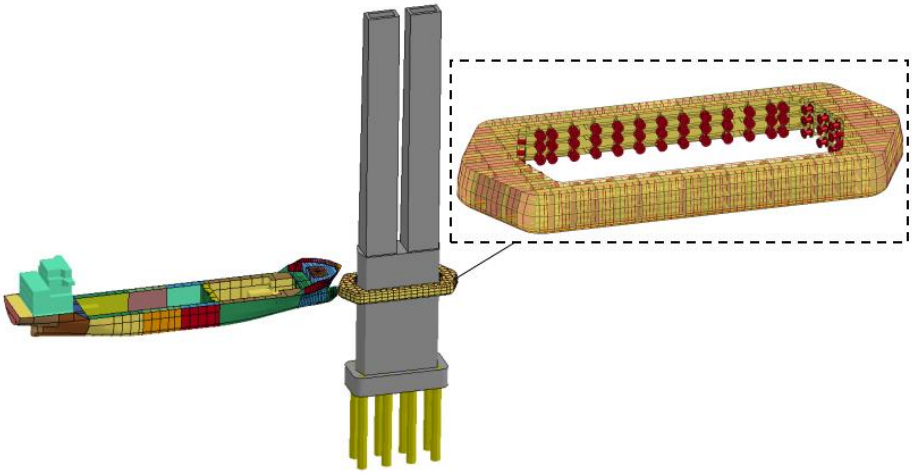


图 B.4 碰撞系统模型

B.2 材料模型

B.2.1 船舶钢材种类为 Q235，船艏部分宜采用弹塑性材料本构模型*MAT_PLASTIC_KINEMATIC（*MAT_03）模拟。该模型通过 Cowper-Symonds 方程考虑应变率效应，其屈服应力与应变率关系可表示为：

$$\sigma_y = \left[1+\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{C}\right)^{\frac{1}{P}}\right]\sigma_0$$

式中：σ_y为动态屈服强度；σ_0为静态屈服强度；$\dot{\varepsilon}$为应变率；C和P为应变率常数。船身由于远离碰撞接触区，几乎不会发生塑性变形及屈曲，定义为刚体材料模型*MAT_RIGID（*MAT_20）。材料密度、弹性模量、泊松比的取值与船艏参数一致，船用钢材料参数见表 B.1 所示。

表 B.1 船用钢材料参数

类型	密度	弹性模量	泊松比	硬化模量	屈服应力	失效应变
	ρ（kg/m^3）	E（GPa）	μ	E_t（GPa）	σ_0（MPa）	ε_f
船艏	7850	206	0.3	1.19	235	0.34
船身	根据需要调整 [a]	206	0.3	——	——	——

注：a. 船身密度根据不同船舶载重需求进行质量调整，本标准船舶质量均采用满载排水量。

B.2.2 应选取合适的材料模型来模拟防船撞设施，钢材材料模型与船艏材料一致，复合材料宜采用基于Chang-chang失效准则的损伤模型*MAT_ENHANCED_COMPOSITE_DA

MAGE（*MAT_54/55）模拟，并考虑各层纤维铺设角度，复合材料参数见表B.2所示。

表 B.2 复合材料参数

试件厚度	*RO*	*E*	μ	*G*	XC =YC	XT =YT	S_c	DFAILM	DFAILS	DFAILT	DFAILC
	kg/m^3	GPa		MPa							
3 mm	1800	22	0.07	4320	100	433 /435	61	0.03	0.05	0.03	-0.03
5 mm	1800	22	0.07	4320	137	462 /480	70	0.03	0.05	0.03	-0.03

表中：*RO* 为密度，*E* 为弹性模量，μ为泊松比，*G* 为剪切模量，*XT/C* 为轴向拉/压强度，*YT/C* 为横向拉/压强度。*DFAIL-M/T/C* 为基体与纤维的拉/压失效应变，*DFAILS* 为基体剪切失效应变。当考虑顶底板拉压，壁板弯曲时，*XT* 第一个值表示拉伸强度，第二个值表示弯曲强度。

B.2.3 防船撞设施中内部消能元件与耗能芯材的本构模型参数，应根据拟静力压溃试验与低速冲击试验数据综合确定。

B.3 边界与接触

B.3.1 基础与土的相互作用，宜采用六弹簧分别模拟侧向与竖向刚度。

B.3.2 船艏内部、防撞设施内部应定义自接触；船、防撞设施、桥墩之间应定义面面接触；软-硬材料间宜定义侵蚀接触，防止负体积与穿透。

B.4 结果分析

B.4.1 应提取撞击力、撞深、撞击位移等响应结果进行分析，并与无防护时比较，撞击力宜采用冲量曲线斜率降低率作为评价指标，其余响应结果宜采用峰值降低率作为评价指标。

征求意见稿