

杭绍台铁路椒江特大桥防撞系统设计

张志国

(中国铁路设计集团有限公司, 天津 515561)

摘要: 大型船舶撞击带来的冲击荷载对高速铁路桥梁结构的安全性构成重大影响。椒江特大桥作为杭绍台高铁节点控制性工程, 由于水域条件复杂, 涉水桥墩众多带来的极大的船撞风险。大桥采用综合施策, 针对主墩、边墩及非通航孔桥墩特点, 分别采用了自浮式防撞设施、被动拦截设施及主动预警系统, 形成立体防撞体系, 有效保障高速铁路桥梁安全。

关键词: 船舶撞击; 防撞系统; 综合施策

中图分类号: U698 **文献标识码:** A **文章编号:** 1006—7973 (2022) 10—0105—03

1 研究背景

近年来, 由于船舶撞击铁路桥造成的事故对铁路安全运营构成极大挑战, 日益引起高度重视。2015 年 10 月 15 日 18 时, 粤佛山工 2038 船航经肇庆西江铁路大桥下通航孔时, 该船吸砂管龙门架触碰西江铁路大桥下航孔横梁, 造成大桥公、铁双向封闭, 广州铁路局 58 趟列车挤压。2022 年 4 月 21 日, 台州甬台温铁路灵江大桥 42 号桥墩遭受运沙船撞击, 肇事船舶沉没, 相关铁路运行受到不同程度影响。

杭绍台铁路椒江特大桥非常具有代表性, 一方面, 由于其位于台州市椒江大桥水域, 桥位周边航道情况复杂, 过往船舶具有较大不确定性, 另一方面, 大桥涉水桥墩众多, 主通航孔及引桥桥墩达 10 座, 具有较大的船撞风险。

2 工程概况与设计条件

2.1 工程概况

杭州至绍兴至台州铁路(以下简称“杭绍台铁路”)位于浙江省中东部, 北起杭州枢纽杭州东站, 经绍兴市越城、上虞、嵊州、新昌和台州市天台、临海、椒江、

路桥、温岭等县市区, 通过临海站联通既有甬台温铁路, 并于温岭站预留向南至温州方向延伸条件。

椒江特大桥于浙江台州市跨越椒江, 桥梁轴线的法线方向与水流流向的夹角为 10° 。大桥按照双向四车道设计, 由左岸引桥、主桥及右岸引桥三部分组成。主桥采用 $(72.8+4 \times 124+72.8)$ m 连续刚构 + $84+156+480+156+84$ m 连续钢桁斜拉桥。桥梁采用单孔双向通航方案, 主通航孔跨径为 480m。

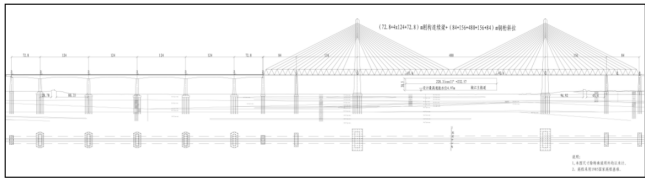


图 1 椒江特大桥布置图

2.2 设计条件

2.2.1 技术标准

铁路等级: 客运专线;
正线数目: 四线;
设计行车速度: 350km/h;
设计活载: ZK 活载;
最小曲线半径: 一般 7000m, 困难 5500m;

的发展, 成为我国航运业在国际竞争中突出重围的重要技术支撑。

参考文献:

[1] 严新平, 张金奋, 吴兵. 交通强国战略下水运安全挑战与展望 [J]. 长江技术经济, 2018, 000(003):39-43.
[2] 王莲芬. 网络分析法 (ANP) 的理论与算法 [J]. 系统工程理论与实践, 2001, 21(3):44-50..

[3] 孙宏才, 田平. 网络层次分析法 (ANP) 与科学决策 [C]// 决策科学理论与方法, 中国系统工程学会决策专业委员会第四届学术年会论文集, 北京, 2001:10-15.
[4] 兰芳. 基于 FISM-ANP-灰色聚类的软件项目开发风险评价研究 [D]. 电子科技大学. 2018. 18-21.
[5] 黄勇. 长江内河班轮运输航线优化设置 [D]. 上海交通大学, 2007. 17-18.
[6] 严新平, 柳晨光. 智能航运系统的发展现状与趋势 [J]. 现代交通与冶金材料, 2022(6):7-18.

最大坡度：20‰；

设计洪水频率标准: 1/300;

地震烈度：工程区地震动参数峰值加速度为 <0.05

 $\square_{\circ}$

2.2.2 设防代表船型

本工程桥梁位于椒江航道四号码头~红光码头航段,根据《台州港总体规划》,该航段现状等级为Ⅳ级,规划为Ⅳ级航道,3000吨级海轮可乘潮通航。结合《台州市航道及锚地规划(2006年-2020年)》规划船型,《通航海轮桥梁通航标准》(JTJ311-97)及椒江航道未来通航船舶的发展情况,分析确定设计代表船型如下表所示:

表 1 桥区航道代表船型尺度表

船舶吨位 DWT(t)	船舶类型	船长 L (m)	船宽 B (m)	满载吃水 (m)	空载水上高度 (m)
3000	杂货船	108	16	6	28
5000	散货船	125	18.5	7.4	10.5

2.3 通航水位

本工程所在河段为受潮汐影响明显河段，海门站位于工程附近，可采用海门站设计潮位作为模型潮位边界依据，推算桥位处潮位，本工程设计最高通航水位采用桥址处年最高潮位频率分析 5% 的水位，即 4.97m，设计最低通航水位取低潮累积频率为 90% 的潮位，为 -2.22m。

3 船舶撞击风险分析

3.1 桥梁船撞概率模型

美国 AASHTO 规范根据船舶相撞以及船舶搁浅事故的观测与分析,提出了碰撞概率的基本方法和理论。可对涉水通航桥墩的碰撞概率进行评估,从而确定设防等级及必要性。大桥各桥墩年撞损频率按以下公式计算:

$$AF = NP_A P_G P_C$$

其中: N-- 为可能撞损桥墩的分类船舶年通航量;

P_A -- 船舶偏航概率; P_G -- 船舶与桥墩撞击的几何概率;
 P_C -- 桥墩倒塌概率。

参照美国指导规范，船舶偏航概率 PA 按以下公式取值：

$$P_A = (B_R)R_B R_C R_{XC} R_D$$

3.2 涉水桥墩船舶碰撞概率

据调查,椒江航道船舶通航密度较高,周边码头众多,船舶流量平均每天 80 艘次,计算得到椒江年碰撞概率如表 1 所示。计算结果表明,椒江特大桥涉水桥墩

众多,碰撞概率分析,主通航孔及过渡墩均碰撞概率大于 1×10^{-4} , 高于大桥设防要求。

表 2 桥墩年碰撞概率

桥梁	桥墩	航 道		载重量 DWT	距离 X (m)	船长 L (m)	船舶宽度 B (m)	桥墩宽度 (m)	通航量 艘/年	AASHTO	
		桥墩 跨度	航道 净宽							年船撞概率 $\times 10^4$	合计
主墩	50#	480	82	3000	240	125	18.5	7	29200	514.89	1060.49
	49#	480	82	3000	240	125	18.5	7	29200	514.89	
过渡墩	48#	156	82	3000	396	125	18.5	2.5	29200	26.2	
非通航	47#	84	82	3000	438	125	18.5	2	29200	4.5	
孔	46#	72.8	82	3000	516	125	18.5	2	29200	0.01	

4 防船撞设施的设计

4.1 通航孔被动防撞设施

针对椒江特大桥的具体特点与要求,在48#桥墩墩身周围设置自浮式F-400钢覆复合材料防撞设施,49#、50#桥墩墩身周围设置自浮式F-450钢覆复合材料防撞设施。通过在桥墩周围设置自浮式钢覆复合材料防撞设施,部分削减船舶撞击力,保护桥梁结构安全,满足大桥桥墩的防撞要求。

自浮式钢覆复合材料防撞设施现场采用 M30 螺栓把各防撞节段在桥墩周侧连接成防撞圈, 防撞设施不与桥墩直接连接, 减少了作业施工成本。由于使用了螺栓连接, 当防撞设施需要更换时, 只需拧开螺栓进行更换即可。在船撞桥发生时, 防撞设施可通过缓冲削减撞击力, 卸载撞击能量。钢覆复合材料防撞设施属于柔性防撞设施, 能够最大限度地保障桥梁、船舶与船员的安全。

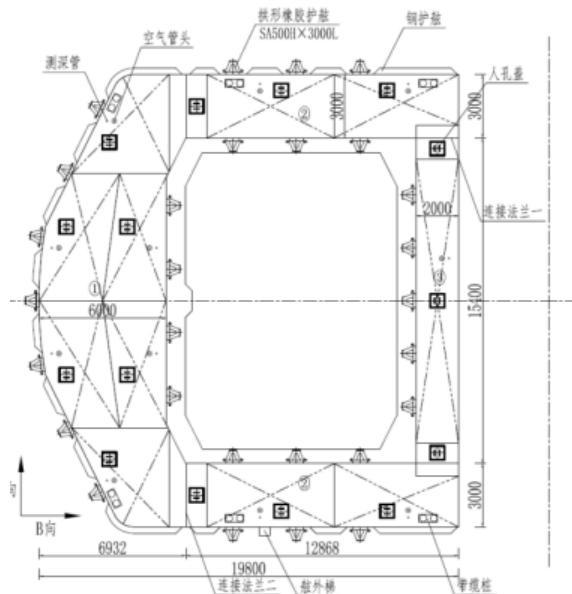
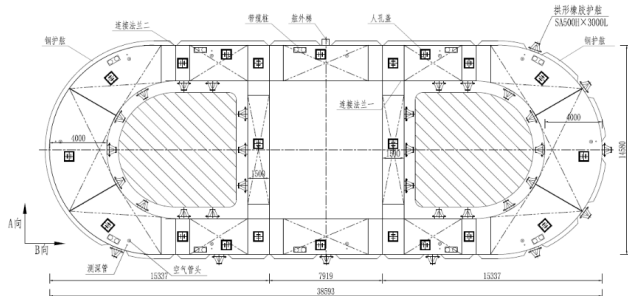
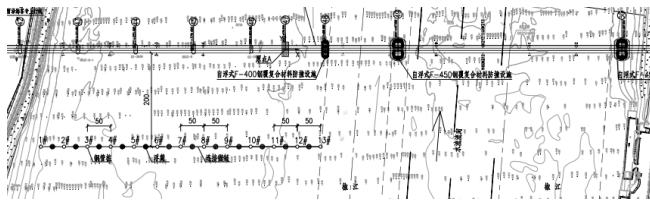


图 2 49、50#墩防撞设计方案



4.2 非通航孔被动拦截设施

考虑到大桥非通航孔桥墩众多，一旦船舶偏航撞击非通航孔桥墩会造成结构较大损伤，在椒江特大桥 42#至 48# 墩西侧、非通航孔上游，距桥梁 200m 处自北向南一次布置 13 根直径为 1.2m 钢管桩（1#~13#），钢管桩之间采用锚链连接，并在每两根钢管桩之间布置 1 座浮筒。桥梁拦阻系统将船舶与桥梁非通航区域隔离开来，对来往船舶起到警示作用，防止偏航船舶驶入桥梁非通航孔，预防船撞桥事故的发生。



4.3 主动预警系统

主动防撞监测系统 24h 全天候监测桥区航道内的过往船只,及时预警和发现违规船只,可最大限度地预防撞桥事故的发生。在 49# 墩顺桥向两侧设置雷达探测器,雷达监控范围 3 公里,在 49# 和 50# 墩顺桥向两侧设置高速智能球机,视频监控范围 1 公里。同时,在桥墩防撞设施上安装振动传感器,感知碰撞事故的发生。

5 结论

本文以杭绍台铁路椒江特大桥为研究对象,针对大桥桥墩数量众多,航道情况复杂等特点,采用现场调研结合概率模型分析的手段,确定了大桥防撞设施的设计方案。

(1) 通过碰撞概率模型分析表明,大桥的非通航桥墩数量众多,存在较高船舶碰撞概率,需要考虑整体设防。

(2) 根据通航孔桥墩、辅助通航孔桥墩和非通航孔桥墩的各自特点, 综合采用了自浮式钢覆复合材料防撞设施、被动拦截系统及主动预警系统, 形成主被动相结合的立体保护, 有效解决大桥船撞问题。

参考文献:

- [1] 梁文娟. 船舶碰撞的三维分析 [J]. 交通部上海船舶运输科学研究所学报, 1986, 3(1): 80-93.
- [2] 杨冰, 秦焜, 宋力, 杨黎明. 平潭跨海大桥防船撞拦阻系统阻拦效能实验研究. 实验力学, vol.30, No.4, 2015.

