

文章编号: 1002-0268 (2005) 12-0101-04

跨海大桥特殊技术问题探讨

苏权科

(港珠澳大桥前期工作协调小组办公室, 广东 广州 510101)

摘要: 针对海洋环境下台风、潮、流和波浪力的影响, 对船舶防撞、结构的耐久性、设计方案与施工方案的互动性等海上桥梁设计、施工中特殊的技术问题进行了分析和探讨, 论述了对大型跨海工程规划、建设、运营及维护管理统筹考虑的方法思路, 提出应充分重视设计方案与施工方案的有效结合, 并提出对现行标准、规范进一步补充完善的建议。

关键词: 跨海大桥; 设计; 施工; 关键技术

中图分类号: U448.25

文献标识码: A

An Analysis of Special Techniques for Sea-crossing Bridge

SU Quan-ke

(Advance Work Coordination Group Project Office of Hongkong-Zhuhai-Macao Bridge, Guangdong Guangzhou 510101, China)

Abstract: Based on construction experience and specialized research achievements of domestic and international sea-crossing large bridges, an analysis is made for special techniques of bridge design and construction under marine environment, such as: typhoon's influence, tide, flow and wave, anti-collision facilities, structure durability, interaction of design proposal and construction proposal. Train of thoughts is concluded for integrated arrangement on sea-crossing project's design, construction, operation and maintenance, the significance of design proposal and construction proposal's combination. Recommendations are made of the improvement of current technical specification.

Key words: Sea-crossing; Design; Construction; Key technique

1 台风对大桥设计、施工及运营安全的影响

跨海大桥一般位于江河出海口或海峡、海湾, 甚至通往岛屿的外海海域, 其特有的地形、地理位置和典型的海洋性季风气候, 致使该地区天气气候复杂多变, 致灾台风登陆影响十分频繁。现行设计规范中各类结构抗风设计依据无法涵盖和解决风扰动或湍流特征对大跨度柔性构筑物的影响等问题。为了保证桥梁结构安全, 控制桥梁建设规模与投资, 必须实施: (1) 现场气象观测, 确定合适的设计风参数; (2) 结构模型抗风试验 (风洞试验)。在国际上, 类似工程

项目的气象观测必须先行, 如日本的明石海峡大桥前期气象观测做了 13a, 西班牙的直布罗陀海峡大桥前期气象观测做了 17a。在国内, 杭州湾大桥、苏通大桥、润扬大桥前期气象观测工作也提前了 3~5a。

由于大风、热带气旋以及台风的影响, 常规的施工方法、施工设备在海洋环境下往往不能适用。大桥建成后, 恶劣的气候尽管不会使大桥本身结构造成破坏, 但对行使的车辆仍然存在威胁, 对设计标准较低的部分交通安全设施也会造成破坏, 不得不在一定条件下限制通行 (比如 8 级以上大风封闭交通等)。

外海海域风急浪大, 在夏季台风期间极易引起巨

收稿日期: 2005-09-12

作者简介: 苏权科 (1962-), 男, 工学硕士, 高级工程师, 研究方向为公路工程. (qkst@vip.sina.com)

浪。波浪力对大桥结构的作用有时会达到其他水平荷载相同的数量级,甚至超过。合理确定波浪力的大小,有利于基础设计和建设方案的选择,控制建设规模,进而控制工程造价。因此,需要在桥位现场进行至少为期1年的波型、波高、波向、波周期和风向风速同步观测,为工程提供设计参数,为波浪整体数学模型和物理模型提供验证资料。

大桥建设对海区水环境的影响主要表现为:(1)桥墩阻水以及桥轴线与水流向之间夹角会影响过流能力,桥址附近水域的潮流流速可能整体减小,导致泄流能力降低,涨潮流量减小,可能对部分水利设施和防洪堤坝产生影响。(2)大桥建设对海区流场的影响可能导致航道的变化(摆动,回淤等)。(3)桥墩及防撞设施增加了阻水面积(可达8%~12%),影响湾口纳潮和输沙能力,可能对周围港口形成淤积。

2 船舶撞击力标准与防撞措施

目前,国际上对5万t以下的船舶的防撞处理很有经验,但对10~30万t的超大型船舶的防撞处理措施,可供借鉴的经验和资料很少。通航孔桥墩防撞船舶为30万t级DWT时,桥墩防撞力达到470MN。采用消能设施消能以后,桥墩自身抗撞还高达400MN,其防撞标准非常高,不仅技术上难度大,造价也会十分昂贵。

防撞设施的设计需要根据桥墩的自身抗撞能力、桥墩的位置、桥墩的外形、水流的速度、水位变化情况、通航船舶的类型、碰撞速度等因素进行。对大桥所有桥墩采取防撞技术上可行,但经济上无法承受,应针对航道附近容易遭受撞击的桥墩采取防撞保护措施。位于航道中心较近的桥墩,受船舶撞击可能性较大,抗撞力要求高。在距各个航道中心线3倍设计船长范围内的主墩、边墩需要考虑防撞保护问题。

采用桥梁防撞设施的目的是防止桥梁因船舶撞击力超过桥墩的设计承受能力而损伤或破坏,同时减少撞击船舶的损伤。采用不同型式的防撞设施,可以阻止船舶撞击力传到桥墩,或者通过缓冲消能延长船舶的碰撞时间,减小船舶撞击力,保护桥梁安全。

较大吨位防撞设计一般采用自身抗撞同时适当缓冲消能的方法。仅采用大规模的消能措施对15~30万t级船舶撞击进行消能存在困难,应尽量提高桥墩基础抗撞力,在基础周围安装消能设施,保护桥墩基础与撞击船舶。

(1) 为了便于安装消能结构,需要对主墩的外形、尺度进行优化。

(2) 采用抛砂石护底防撞方案时,需要详细论证:对海床稳定性影响、护底坡度延伸对航道宽度影响、利用河道开挖物填充桥墩周围可能性、升高海床对阻止船舶的实际效果评估等。

(3) 人工岛防撞功能可靠,维护费用低,但由于人工岛区域大,建造费用较高,同时由于人工岛对水流的影响需要专门研究。

日本明石海峡(Akashi-Kaikyo)大桥和中国东海大桥防撞消能设施简图见图1和图2。

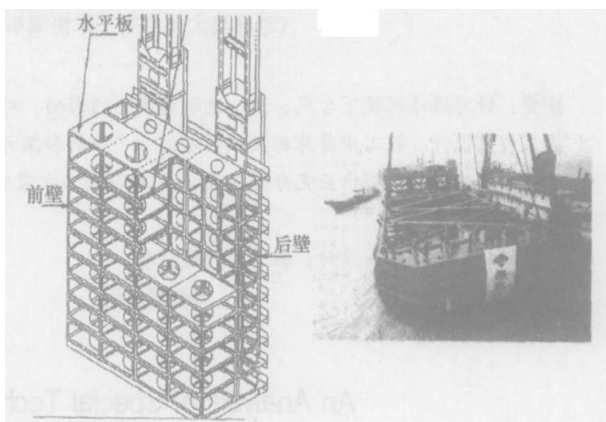


图1 日本明石海峡(Akashi-Kaikyo)大桥主墩防撞结构

图2 东海大桥防撞消能设施

大桥在施工期和建成后需要采取的安全保障措施包括桥墩防撞措施、配套建设安全保障设施、制定安全法规和管理法规和加强大桥及附近水域的船舶交通管理。

由于非通航孔桥墩数量多,受违章或其他失控小型船舶撞击可能性大,应加强桥区小型船舶通航管理。

3 海上桥梁结构的耐久性问题

结构耐久性关系到桥梁的设计使用寿命,取决于以下3个方面:永久性结构的抗疲劳寿命;永久性结构的抗腐蚀及其保护措施;桥梁养护维修管理。

桥梁结构抗腐蚀措施包括结构性防腐和外层保护防腐两种类型,外层保护防腐又可分为一次性防护和多次性防护。大部分情况下两种类型的防腐措施结合使用,根据结构物设计使用寿命,基础采用一次性防护,上下部构造采用10~30a多次性防护。

(1) 水中基础钢结构和混凝土结构

水中永久性基础钢结构包括:钢管桩、钢沉井、钢壳围堰(兼永久防撞)等,防腐措施有以下几种:采用耐腐蚀钢,喷涂环氧及油漆,外加电流阴极防护以及牺牲阳极防护等。其中,耐腐蚀钢成本较高,但施工简单方便,可靠度较高,目前生产厂家不多;喷

涂环氧及油漆成本较低，施工工艺复杂，在施工及运营过程防止不破损难度较大，而一旦破损则局部腐蚀会加剧，从而可靠度降低；阴极保护是一种较长久和可靠的方法，但需要配置一套控制系统，并且连通电源；牺牲阳极工艺最简单，只需要在钢结构上按计算的间距附挂一定体积的锌块即可，而锌块消耗完后需及时更换，在海中不是很方便。

水中混凝土大部分为钢筋混凝土结构，如桩基础、混凝土沉井、地下连续墙、承台等。防护的重点是海水透过混凝土侵蚀到钢筋，钢筋腐蚀后体积变大，胀裂混凝土，进一步腐蚀钢筋直至结构破坏。目前较常用的保护措施有以下几种：①采用防渗防裂混凝土；②加大保护层厚度；③使用环氧涂层钢筋或不锈钢筋；④采用外加电流阴极防护法保护钢筋；⑤用防腐涂料涂装混凝土外表面等。

以上方法各有利弊，须根据具体情况综合研究设计。对较大面积的混凝土结构，采用阴极防护结合其他一至两种措施效果较好。长期在水下的结构，简单防护即可，但处在水位变动区和浪溅区的混凝土结构，尤其要加强防护。

(2) 混凝土下部结构和上部结构

下部结构包括墩、台、柱、系梁等，其底部正好处于水位变动区和浪溅区，必须从混凝土和钢筋两个方面采取措施防护，即在以上 5 种防护方法中组合使用。下部结构处于大气中的部分，基本上采用第 2 种方法，或者第 5 种方法多次防护。

对于混凝土桥梁上部，应首选预应力混凝土结构，以使在任何状态下不出现受力裂缝。为防止表面产生微裂缝，可从混凝土配合比、浇注工艺、养护措施等方面下功夫。配合桥梁景观设计，采用彩色防腐涂装。

(3) 钢塔、钢箱梁、钢构架及缆索等金属构件

钢塔、钢箱梁外部及钢构架一般采用多层油漆系统防护，内部采用抽湿系统控制空气湿度来达到防护的目的。缆索的防护有多种较成熟的方法，包括缠丝、涂装、聚乙烯塑料（PE）护套、抽真空等等。

4 现行标准、规范的适用性问题

鉴于国内大规模跨海通道建设历时不久，对跨海大桥这样结构体系复杂、建设规模、施工环境条件发生重大变化的超大型项目，现行技术规范的要求必然存在许多与海上施工实际情况不符或不能涵盖的地方，必须借鉴国内外类似桥梁工程及海港、海洋工程等经验，在综合各相关行业标准、规范的基础上，编

制适合于特定跨海大桥项目的专用设计、施工规范。如苏通大桥编制了专门设计指南，杭州湾大桥在试验研究的基础上，编制了海中混凝土结构的耐久性设计与施工技术条例、杭州湾大桥施工技术规范、质量检验评定标准等。在此基础上，将逐步形成比较完善的行业规范及相应的国家标准。

5 设计方案与施工方案的互动性

跨海桥梁的设计应力求安全可靠、经济合理、可操作性强，既能达到使用功能和寿命要求，又能体现社会文化、旅游景观价值，在一定程度上反映国内外桥梁建设的先进水平。而设计方案的优劣，又会受到当前技术工艺、材料以及施工设备水平的制约。好的设计方案，一定要考虑施工的可行性；施工技术和设备能力的突破，反过来又可以促进设计观念的改进。在桥梁的线位走向和建设标准确定以后，举行一次设计方案与施工组织联合征集活动，可以达到以下目的：

(1) 根据特定的建设条件和工程特点，寻求较优且可行的桥型设计与施工方案。

(2) 集聚现阶段跨海桥梁的最新技术成果和设计施工水平。

(3) 了解目前各设计、施工单位的技术、组织、管理水平和综合能力，为工程实施开阔思路。

(4) 为设计、施工招标提供依据，加快项目建设的步伐。

6 海上施工技术问题

(1) 海上远距离测量及施工控制

跨海大桥桥区海域宽阔，海洋环境条件复杂多变，大桥施工测量受到的制约因素多，海上桩基定位和跨海长距离高程基准传递的难度大，必须借助目前世界上最先进的测量技术和精密工程测量理论解决以下关键技术：①建立独立的大桥测量坐标系统，解决投影变形问题。②采用 GPS 定位技术，并结合桥区附近重力资料确定的高精度局部大地水准面进行跨海高程传递。③建立 GPS 连续运行多功能网络差分定位系统，满足大桥前期施工和后期变形检测的需要。

(2) 材料和设备

海上施工，材料和设备所占的比重远远大于内陆施工。由于恶劣的气候和海洋环境，对材料和设备的性能也提出了更高的要求。

除一般建桥材料以外，还需要防锈蚀的镀层钢筋、防渗混凝土、防裂的低水化热水泥以及添加部分

合金的耐腐蚀钢材等。

海上施工控制性的设备主要是大型打桩船、数千吨级的起吊船、陆上和海上大吨位运输设备以及架梁设备。国内现有的此类设备屈指可数,尚需根据具体工程的需要进一步研制、改造或者从国外订购。同时,还需要大量的施工临时及周转设备和材料。

(3) 施工方法和工艺

根据以往海上施工经验,在地质条件许可的情况下,一般孔径的基础多用打入桩。因为打入桩不需要搭设太多的海上施工平台,安全方面较有保障。同时打入桩的能效要比钻孔高出几倍,可以大规模制造、运输和施打,但海上大吨位、大限高打桩船的费用昂贵,打桩船的定位和精度控制难度较大。

由于海上作业条件限制,施工方案应尽可能采用大规模工厂化、装配化、机械化的方式施工,将大量的复杂的海上作业转移到陆地上完成,以保证工程质量,提高作业效率,降低施工风险。比如预制混凝土套箱、预制安装墩身、主梁海上整体吊装等。国外在地质条件许可的情况下,还大量采用预制沉箱基础。

钢管桩打入后,根据地质情况和设计要求,必要时还须运用特定的设备和技术,进行嵌岩处理。

(4) 施工组织安排

基础工程可尽量采用打入桩或预制沉箱,上部构造及下部构造宜采用在工厂集中预制、在海上成批吊运安装的方法施工。为减少水上基础数量,跨径应尽量大些。但受吊装能力的制约,在海上整体吊装跨径50~70m的整孔预制箱梁较为经济(吊装吨位在2100~2500t之间)。按照国外的做法,如果吊装船机的吨位能够达到,100~150m整跨预制吊装方案也可比选。

预制场规划、大型运输及吊装设备技术要求等问题需尽早解决,包括陆上预制、船坞预制、栈桥、运输航道、距离、预制场规模、生产能力、纵横向移动设备及起吊能力、路面要求、行走速度、码头泊位等。

研究风、浪、流、潮位、气温等条件与不同施工作业的适应性,周密计划和安排施工时段和周期,合理调配机械和劳动力,保证总体工期目标。

(5) 用水问题

从国内东海大桥、杭州湾等跨海大桥的情况看,用架设管道送水、用船运水及海水净化等方法都有尝试,但成本普遍较大。如果海中钻孔造浆、拌制混凝土、循环冷却等均需淡水,则淡水用量极大。若天气不好时,运输船不能航行或不能靠岸,海中平台或岛

上工作人员吃饭喝水都无法保证,施工更无法进行,有时会连续影响很多天,对工人的身体和施工进度均产生严重影响。所以,需要根据具体情况,提前着手综合研究解决。比如,用海水作为混凝土冷却循环水工艺以及用海水造浆钻孔技术的研究等。

(6) 海上施工安全问题

海上施工不仅受到该地区热带气旋、暴雨、雷击、短时雷雨大风等致灾天气以及复杂多变的水流和潮流的影响,而且还受到周边地区机场航空限高和非常繁忙的海上交通运输的威胁,其复杂的建设环境加之重型、大型构件吊装工作量大,高空和水中作业多,在对大桥结构设计和施工技术提出更高要求的同时,给大桥施工安全管理和工期控制带来许多无法预测的困难。围绕大桥施工安全,在设计思路、施工方法、施工设备以及如何建立一套完善的安全事故防范及应急处理机制等方面,需要深入研究。

7 结语

(1) 跨海大桥工程规模宏大,造价高,对当地社会经济发展有着深远的影响。首先应立足于采用最经济的方案和最成熟的工艺建成。同时,考虑到一项大型工程全寿命周期的使用管理和海洋环境复杂的建设条件,仍需针对规划、建设、运营以及维护管理中可能遇到的问题,进行科学周密地研究论证,以提高建设的水平和效益,降低工期和费用。

(2) 海上桥梁的设计,需要方法和理念上的创新,充分重视设计方案与施工方案的有效结合,尽量避免工程对区域其他相关产业发展的影响和制约。

(3) 随着国家十一五公路规划的实施和沿海地区经济快速发展,我国正在迈入大规模跨海桥梁建设的新阶段,急需结合国内外跨海工程建设的经验和研究成果,总结形成系统的行业规范及相应的国家标准。

参考文献:

- [1] 项海帆. 世界桥梁发展中的主要技术创新 [J]. 广西交通科技, 2003 (5).
- [2] 于政权. 70m 预应力混凝土箱梁高位预制法施工 [J]. 桥梁建设, 2003 (增刊).
- [3] 林一宁, 陈爱萍. 跨海大桥的预制构件法施工 [J]. 世界桥梁, 2002 (4).
- [4] 王春生, 徐岳, 郝宪武. 广东伶仃洋跨海大桥非通航孔桥桥型方案设计 [J]. 桥梁建设, 1999 (2).
- [5] 左明福. 厄勒海峡大桥的设计与施工 [J]. 中国港湾建设, 2001 (1).
- [6] 李素琼, 邓家泉, 敖大光. 伶仃洋跨海大桥总体布置河工模型试验研究 [J]. 人民珠江, 1997 (3).