

Bridges and Highways in the
Coastal Environment

跨海桥梁和滨海公路 水文与防腐



高冬光 编著



人民交通出版社
China Communications Press

跨海桥梁和滨海公路水文与防腐

Bridges and Highways in the Coastal Environment

高冬光 编著

人民交通出版社

内 容 提 要

全书共十章,首先说明海洋环境及各种海洋环境因素的性质、特点,进而在总结国内外跨海桥梁、滨海公路建设经验的基础上,从分析各种海洋环境因素对桥梁及滨海公路的作用出发,阐述对我国跨海桥梁及滨海公路有关设计标准的建议和计算方法、我国通航海轮桥梁的设计标准、海洋环境因素对桥梁及公路等建筑物动力作用的计算方法,并对潮汐水流桥梁墩台冲刷研究和计算进行深入分析,提出计算方法和建议;同时,从适应海洋环境出发,阐明滨海公路及其防护工程的设计要求、计算方法及实例;最后,对海洋环境中桥梁及公路的腐蚀和防护技术进行讨论,给出桥梁防腐设计实例,以供参考。

本书可供从事跨海桥梁、滨海公路、海港工程、沿海城市建设、铁路工程等专业人员参考,也可供上述专业高校师生参考使用。

图书在版编目(CIP)数据

跨海桥梁和滨海公路水文与防腐/高冬光编著.--
北京:人民交通出版社,2012.2
ISBN 978-7-114-09599-3

I. ①跨… II. ①高… III. ①跨海峡桥—桥梁工程—
防腐②海滨—道路工程—防腐 IV. ①U448.19②U41

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 004373 号

书 名: 跨海桥梁和滨海公路水文与防腐

著 作 者: 高冬光

责任编辑: 王文华 (wwh@ccpress.com.cn)

出版发行: 人民交通出版社

地 址: (100011) 北京市朝阳区安定门外外馆斜街 3 号

网 址: <http://www.ccpress.com.cn>

销售电话: (010) 59757969, 59757973

总 经 销: 人民交通出版社发行部

经 销: 各地新华书店

印 刷: 北京鑫正大印刷有限公司

开 本: 787×1092 1/16

印 张: 17.25

字 数: 410 千

版 次: 2012 年 2 月 第 1 版

印 次: 2012 年 2 月 第 1 次印刷

书 号: ISBN 978-7-114-09599-3

定 价: 38.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本社负责调换)

前 言

十年来,东海大桥、杭州湾大桥、青岛海湾大桥、舟山连岛等多座跨海大桥工程相继建成,港珠澳大桥正在建设,琼州海峡通道工程正在进行可行性研究。国家高速公路网布局方案中的渤海海峡、台湾海峡等规模更大的跨海通道工程,不同程度地进行着前期探索、研究工作。这些成就表明我国跨海长大桥梁工程技术取得了重大发展。

跨海桥梁是一项复杂的海洋工程系统,既包括跨越深海的大跨度、高桥塔、桥下净空很高的通航桥孔,又包括孔径很多、桥面高程较低的非通航孔,以及与海岸相连接的引桥,还包括海岸上的桥台、桥头引道、连接线和海中的人工岛等。人工岛可作为桥梁和海底隧道的接合部(如港珠澳大桥),也可作为海中长大桥梁建设和运营期间的海中平台(如杭州湾大桥)。

跨海大桥是我国沿海或滨海公路网上的一个节点,跨海大桥公路连接线是跨海桥梁工程的组成部分,也是沿海地区和岛屿内的主要道路。

跨海桥梁、滨海公路连接着陆地、海洋及岛屿,除个别深海的桥孔外,一般桥孔大多位于海岸带内,海洋、海岸带复杂多变的各种环境因素,都直接作用于跨海桥梁及滨海公路。

海洋环境、海洋灾害对桥梁和公路影响很大,各种海洋环境因素异常复杂、急剧变化,风、浪、潮能量巨大,观测及研究比较困难;我国沿海交通大发展至今才有 20 年左右,跨海桥梁及滨海公路的特殊环境问题及相应对策,正在逐步受到重视,尚无成熟经验和规范可循。即使在海岸线很长,滨海公路和桥梁众多的美国,直到 2008 年政府才发表了较全面的有关技术通报《海岸带环境中的公路》^[1]。这说明海洋环境中公路和桥梁面临的特殊课题,是我国,也是世界各国共同面临的新课题。

1993 年初,我作为原西安公路学院(现长安大学)教师,负责汕头市澄海区滨海高速公路几座潮汐河口大桥的桥位勘测设计水文调查、分析、计算工作;同时,巡视了学校正在进行的南澳岛环岛公路勘测设计现场。

2003 年,在交通部科学研究院组织的海南省公路水毁防治研讨会上,得知南澳环岛公路每逢台风来临,迎风路段都有严重水毁。其实,这种现象我国沿海各地也有存在。这是大自然对我们的警示:设计中海洋环境特点认识不足,缺少适当工程对策,留下了隐患。现实问题唤起了我的反思,感到研究海洋环境特点及规律,探索路桥工程对策,力求“天人合一”,已成为时代摆在我们面前的、必须面对和尽快解决的新课题。

2005 年至 2011 年初,我参与了中交公路规划设计院主持的桥梁全寿命设计课题和有关跨海桥梁多项科研课题的咨询工作,涉及海洋水文、海洋环境因素(风、浪、潮)对桥梁的作用,潮汐水流对桥梁的冲刷,桥墩海洋深水基础,风险评估等领域,几年来给我提供了认识跨海桥梁的条件;2010 年应约参加长安大学王亚玲教授组织的河北省环渤海地区滨海路桥的现场调

查,对滨海公路及桥梁有了更多感性认识。这些都为我逐步认识海洋环境对路桥工程的作用及相应对策,提供了机会,甚感幸运。

感谢中交公路规划设计院院长张喜刚(教授级高工、桥梁技术中心主任)、副院长徐国平(教授级高工、桥梁技术中心副主任)、刘高博士(桥梁技术中心副主任)等领导和黄李骥博士、吴宏波博士等几年来在我身边一起工作的年轻朋友们,还有王亚玲教授等各位对我的尊重、帮助和照顾。

为适应当今沿海交通建设急速发展的迫切需要,现将多年来作者积累的认识和体会,与跨海桥梁和滨海公路的建设者分享,以期抛砖引玉,唤起同行对这些问题的关注,期待迎来更大的发展;同时,也是我从事桥梁水文事业 50 周年之际,奉献给读者的一份学习汇报。

对于书中出现的疏漏及不足之处,衷心期待与读者进行学术交流,提出批评指正,不盛感谢。邮箱 gaodongguang@163.com。

高冬光

2011 年 6 月,于长安大学

海洋水文术语

海湾(bay) 连接海洋,带有一个潮汐进口的水体

日潮(diurnal tide) 周期大约 24h 的潮汐

退潮(ebb or ebb tide) 从海湾、潮汐河口流向海洋的水流

河口潮汐段(estuary) 感受潮汐的河口河段

涨潮(flood or flood tide) 从海洋流向海湾或河口的潮汐水流

沿岸泥沙运动、沿岸泥沙输移(littoral transport or drift) 波浪产生的沿海岸方向的泥沙运动

波浪爬高(run-up, wave) 波浪遇到海滩或海堤等建筑物,沿迎水面的水面爬升高度(自静水面水位算起)

半日潮(semi-diurnal tide) 周期大约 12h 的潮汐

波浪增水(set-up, wave) 风暴潮引起的净水面以上的水位升高

风暴潮(storm surge) 由风和大气压强变化引起的海岸洪水现象,风暴潮的计算是由总的风暴潮水位(台风风暴潮水位)减去天文潮水位

潮差(tidal cycle) 潮汐最高和最低水位差

潮汐周期(tidal period) 一个完整潮汐循环的历时,当潮汐周期等于一个潮汐日(24.84h)时,表现为日潮的性质;当一个潮汐日中出现两个完整的潮汐周期时,出现半日潮的性质

潮汐棱柱(tidal prism) 海湾、汉道或河口段从低潮到高潮水位变化的范围内的水体体积

潮差(tidal range) 最高和最低潮水位的差值

潮汐水道(tidal waterways) 受潮汐影响的水道的总称,包括潮汐汉道、潮汐河口、桥梁跨越大陆和岛屿、跨越岛与岛之间的水道、汉道到海湾、海湾到海湾之间的水道等的总称

潮汐(tides, astronomical) 受月亮和太阳引力或其他天体引力产生的地球海面高程周期性的变化称潮汐或天文潮

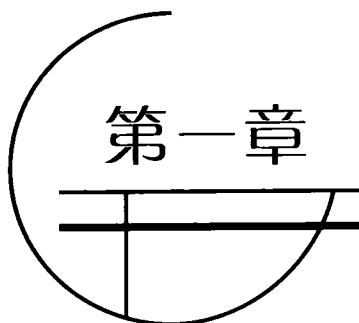
海啸(tsunami) 由地震或海底滑坡等扰动引起的海洋水体的长周期波

桥梁水道孔径(waterway opening) 在桥梁设计水位上量度的桥下水道宽度在垂直水流方向的投影长度,又称桥梁孔径、桥孔长度

目 录

第一章 海洋环境中的公路和桥梁	1
第一节 沿海发展、海洋开发与跨海桥梁及滨海公路	1
第二节 跨海桥梁、滨海公路是复杂的海洋工程系统	1
第三节 海岸带和跨海桥梁、滨海公路	4
第四节 海岸带中不同位置的跨海桥梁及滨海公路	12
第五节 国内外已建、在建的长大型跨海桥梁	15
第二章 海洋环境因素	17
第一节 海水的化学性质	18
第二节 海水的物理性质	19
第三节 海冰	20
第四节 海水运动	22
第五节 我国高程基准面和特征潮位	30
第六节 风	32
第七节 波浪	39
第八节 思考和建议	49
第三章 海洋环境因素设计值	50
第一节 设计频率标准	50
第二节 设计潮(水)位	56
第三节 设计波浪	64
第四节 思考和建议	96
第四章 通航海轮桥梁通航标准	97
第一节 通航海轮的桥位选择和通航孔设置	97
第二节 海轮最高通航水位和通航净高	98
第三节 海轮代表船型	101
第四节 通航海轮桥梁净空宽度	108
第五节 内河通航桥下净空	111
第六节 通航安全保障	114
第五章 波浪对桥梁结构的动力作用	116
第一节 桥面最低高程	116
第二节 波浪对桥梁上部结构的作用	119
第三节 波浪对桥墩墩柱和桩基的动力作用	124

第六章 海洋环境对桥台、滨海路基及护岸的动力作用	146
第一节 波浪对桥台和滨海路堤等直墙式结构的作用	146
第二节 波浪对斜坡式建筑物的作用	155
第三节 海流和海冰对建筑物的作用	160
第七章 潮汐水流对桥梁墩台的冲刷	163
第一节 概述	163
第二节 潮汐水流和泥沙对冲刷的影响	165
第三节 泥沙运动基本原理	168
第四节 感潮河口及海峡桥墩冲刷的试验研究	176
第五节 桥梁一般冲刷深度	186
第六节 桥墩局部冲刷	192
第七节 桥台冲刷	206
第八章 滨海公路	211
第一节 概述	211
第二节 滨海路堤设计高程	212
第三节 斜坡式滨海路堤设计	215
第四节 直墙式滨海路堤设计	221
第九章 防护工程	226
第一节 概述	226
第二节 边坡防护	227
第三节 海岸侵蚀及滨海公路防护	233
第十章 海洋环境对桥梁的腐蚀和防护	239
第一节 海洋环境对桥梁的腐蚀	239
第二节 钢筋混凝土桥梁的腐蚀防护	248
第三节 钢桥的腐蚀防护	252
第四节 桥梁防腐设计实例	257
参考文献	264



第一章

海洋环境中的公路和桥梁

第一节 沿海发展、海洋开发与跨海桥梁及滨海公路

我国是一个海洋大国,陆地海岸线长达 1.8 万 km。拥有大小岛屿 6 400 多个(其中,东海约占岛屿总数的 60%,南海约占 30%,黄海、渤海约占 10%),海洋国土面积 300 万 km²,相当于 20 个山东省或 84 个台湾地区的面积。岛屿岸线总长 1.4 万多公里,全国海岸线总长度达 3.2 万 km。

我国人口众多,是欧洲、美国和日本人口的总和。我国人均耕地面积只是世界人均耕地面积的 1/3;人均矿产占有率还不到世界人均水平的 1/2。可是,我国广阔的海洋拥有丰富的资源,如生物资源、矿产资源、空间资源、海水能资源和滨海旅游资源等,都有待开发。因此,21 世纪是我国海洋开发的世纪。

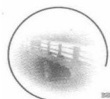
中华民族自古以来就是聚居在大河流域和河口地区,明代就有海上丝绸之路、郑和下西洋;近代中国经济、社会发展、口岸建设更是与海洋交通发展密切相关。当今,进入世界经济一体化的新时代,随着我国改革开放的深入发展,迎来了我国沿海地区的大发展,长三角、珠三角、港珠澳、环渤海等地区经济高速发展,滨海、海岛旅游全面开发,刚刚进入 2010 年,国家发布把海南岛(除台湾外的我国第二大岛)建成“国际旅游岛”的决策,对沿海、近海地区和岛上的交通建设,提出了高速发展的新要求。台湾海峡两岸交流频繁,对两岸道路交通发展提出了更高的要求,建设台湾海峡大桥的设想已经提出。近十年中,已建成多座跨海湾、跨河口、连接岛屿与大陆的跨海桥;琼州海峡大桥通道已进入前期研究,跨渤海湾大桥通道也在规划、探讨之中。

我国海疆辽阔、岛屿众多,保持它们与大陆交通畅通,对其经济发展、人民生活和国防安全意义重大。

这些大桥只是沿海、岛屿交通发展的节点,而连接这些节点的是沿海、岛屿地区广阔密布的公路网。在复杂、恶劣的海洋环境作用下,滨海公路、海岛公路的畅通,对经济、民生和国防安全都是至关重要的。

第二节 跨海桥梁、滨海公路是复杂的海洋工程系统

跨海桥梁,是一项复杂的海洋工程系统,既包括跨越深海的大跨度、桥下通航净空很高的



通航桥孔(图 1-2-1)和人工岛(图 1-2-2)等离岸工程,又包括受潮汐、波浪水位控制、桥面高程并不很高的非通航桥孔和连接海岸的引桥,非通航桥孔和引桥一般每孔跨度不很大,但孔数很多,非通航孔和引桥总长度很大,都是近岸工程(图 1-2-1 和图 1-2-3 是杭州湾大桥通航孔和非通航孔的效果图和桥位图);另外,还包括海岸上的桥台、引道、连接线等海岸工程(图 1-2-4)。跨海大桥还往往与海底隧道相结合,构成桥—岛—隧的集群工程(例如,港珠澳大桥、上海长江隧桥等)。跨海桥梁是从海岸到深海连成一体的海洋工程系统。



图 1-2-1 杭州湾大桥通航孔与非通航孔



图 1-2-2 跨海桥梁与海底隧道连接的人工岛方案图

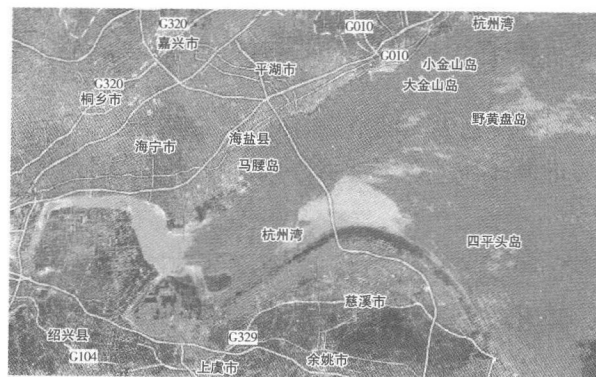


图 1-2-3 杭州湾大桥桥位

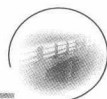


图 1-2-4 跨海桥的引桥与桥头引道方案示意图

例如,港珠澳大桥初步设计方案,总长 49.968km,包括共计 35.578km 的桥梁、6km 的海底隧道及两端桥隧连接的两个人工岛、澳门及珠海口岸人工岛和分别连接澳门及珠海的桥梁,还有港珠澳三地桥头海岸上作为滨海公路的公路连接线(图 1-2-5、图 1-2-6)。

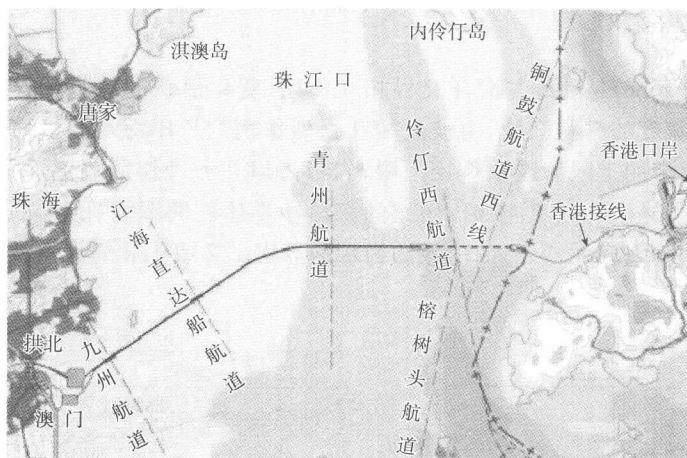


图 1-2-5 港珠澳大桥桥位图

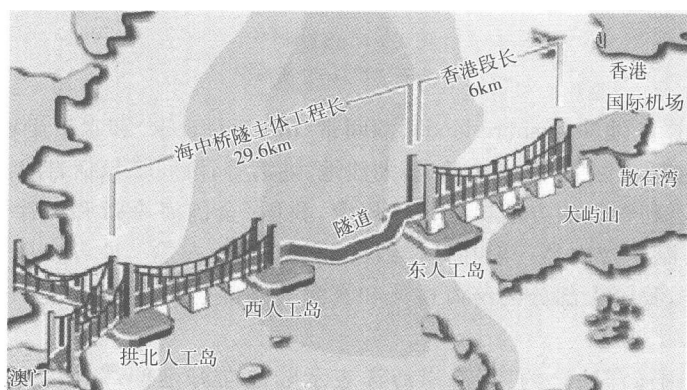


图 1-2-6 港珠澳大桥构成示意图



滨海公路(海岸带环境作用下的公路)不仅连接跨海桥梁,更重要的它还是沿海地区和岛屿内的主要道路,全国滨海公路总里程长达数万公里,是我国公路网的重要组成部分。

大桥近岸海滩上的引桥和非通航孔桥以及沿海岸的桥头引道、连接线等,特别是还有全国约3万余公里沿海岸线的公路、海岛公路及其他桥梁等,都位于海岸带的范围之内,长期处于台风、波浪、潮汐、风暴潮、海啸、海流、海冰、饱含氯离子的空气等海洋环境中,经受着各种海洋环境因素和海岸因素的共同作用,在海洋灾害发生的同时,也将引起滨海公路及桥梁的灾害;另外,海洋环境中饱含氯离子的空气、含盐的海水对钢材、混凝土等材料及结构物,存在长期的腐蚀作用,对于桥梁和道路的耐久性,具有决定性的影响。

第三节 海岸带和跨海桥梁、滨海公路

一、海岸线、海岸带与海岸海洋

海洋和陆地相互交汇的界线,称海岸线(coastline)。海岸线是平均大潮高潮的痕迹线所形成的水陆分界线。

海岸带(coastal zone)是陆地与海洋交界相互作用、变化活跃的地带;海岸带是海岸线向陆、海两侧扩展至一定宽度的带状区域,由彼此相互强烈作用的近岸海域和滨海陆地组成。根据自然地理学概念,海岸带的上限为波浪作用上限,岩石海岸在海蚀崖的顶部,平缓沙质海岸为沙滩的顶部,以及风浪、风暴潮的越流能够作用到的海岸沙丘后侧的潟湖(lagoon)洼地。海岸带的下界,是指波浪开始扰动海底泥沙之处,一般约为水深等于 $1/2$ 或 $1/3$ 的平均波长处(图 1-3-1)。

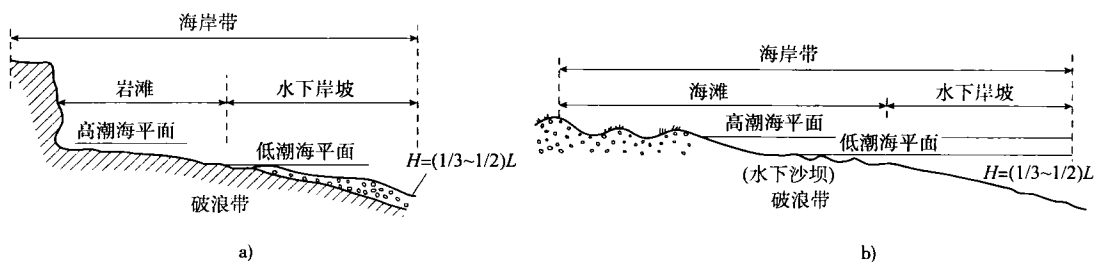


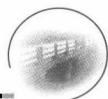
图 1-3-1 海岸带^[2]

a) 岩石海岸; b) 沙质海岸

海岸带包括沿岸陆地(longshore land)、潮间带(intertide zone)和水下岸坡(submarine coastal slope)。沿岸陆地包括海蚀崖、海岸沙丘、潟湖洼地、港湾等;潮间带包括岩滩、海滩、潮滩等。

另外,各国从便利管理的方面做了具体规定,我国《全国海岸带和海涂资源综合调查简明规程》(1986)规定:海岸带内界一般在海岸线的陆侧 10km 左右,外界在向海延伸至 10~15m 等深线附近。这样,我国大部分的跨海桥梁和滨海公路都是在海岸带范围内,主要受海岸带环境的影响。

1982 年《联合国海洋法公约》用海岸海洋表示陆地向海延伸部分以上的海域。海岸海洋海底包括海岸带的水下岸坡、大陆架、大陆坡、大陆隆(图 1-3-2)。



海洋的渔业及其他生物资源、开发的石油资源、港口及海峡航运通道都在海岸海洋的范围之内,跨海桥梁及滨海公路也是这样,因此海岸海洋越来越受世人重视,也是国际间海洋领土争端集中的地带。

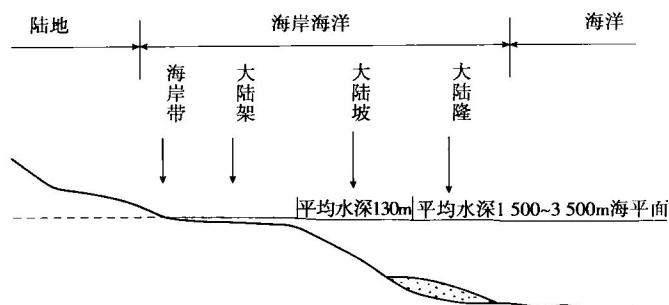


图 1-3-2 海岸海洋^[2-3]

二、海岸带环境中的滨海公路及桥梁(图 1-3-3~图 1-3-7)

按我国上述规定,海岸线内侧 10km 内的公路及大多海岛公路都属滨海公路。跨海桥梁的桥台、引道、引桥、非通航孔桥甚至通航孔也大都都在海岸带和海岸海洋的范围内,如东海大桥(水深 8~12m)、潮汐河口的桥梁,又如杭州湾大桥、港珠澳大桥、连接岛屿与大陆如海沧大桥、岛屿与岛屿之间的桥梁如舟山连岛工程,都是滨海桥梁;海港港区内的道路及桥梁如青岛海湾大桥,以及各地海岸公路、环岛公路、港湾公路及其桥梁,也都是海岸带内的公路和桥梁。



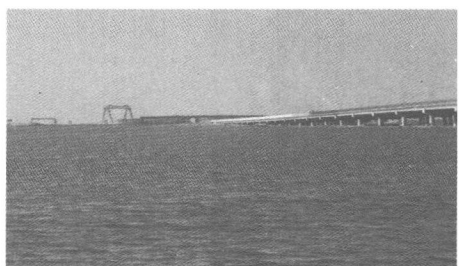
a)



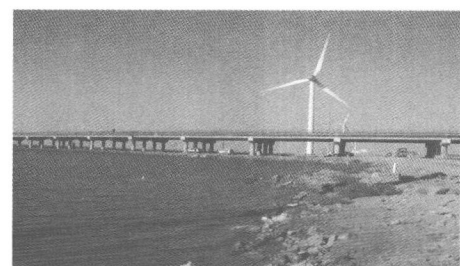
b)

图 1-3-3 海岸线后退对滨海公路和海岛公路边坡的威胁^[4-5]

图 1-3-4~图 1-3-7 是在建的环渤海地区黄骅港、曹妃甸及秦皇岛的滨海桥梁、栈桥、河口桥梁及填海公路的照片。图 1-3-8 是海南岛环岛高速公路照片。



a)



b)

图 1-3-4 建设中的沧州市黄骅港填海公路、滨海桥梁及风力发电

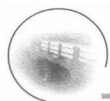


图 1-3-5 秦皇岛市滨海桥梁下游筑橡胶坝,阻挡涨潮海水进入桥下,减轻结构腐蚀

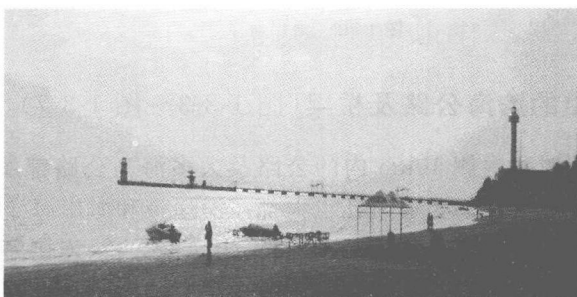


图 1-3-6 秦皇岛海滨栈桥远景

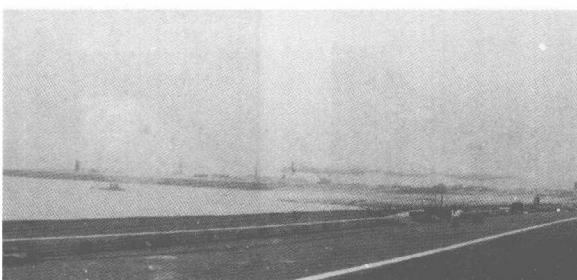
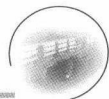


图 1-3-7 唐山市曹妃甸填海建设滨海大道



图 1-3-8 海南岛环岛高速公路



三、滨海公路及桥梁的特点

位于海岸带范围内的公路及桥梁,直接承受着复杂、严峻的海岸带或海洋环境作用(图 1-2-1~图 1-2-6,图 1-3-3~图 1-3-7),与内陆公路及桥梁相比,自然环境条件更为复杂、严峻、恶劣。桥梁、公路在结构形式、材料防腐、软土地基处理、防风振、防地震、施工技术等各方面,必须进行特殊处理。滨海公路和跨海桥梁与内陆公路及桥梁相比,应具有能适应海洋或海岸带环境的特点。

1. 海岸带环境的特点

(1)海岸带是海洋、陆地和大气三方面交汇的地带,三者间交互作用十分复杂、剧烈。太阳辐射的热能,到达海面,产生气压差,形成海风,海风又驱使海面形成波浪和海流,转换成动能。

一个中等强度的台风从海洋吸收的能量相当于 10 多亿吨 TNT 当量。波浪到达海岸后出现浅海水效应,波长变短,波高显著增大,引起海岸地貌的急剧变化;同时,伴随风暴潮带来的洪水,引发滑坡、泥石流等大规模的自然灾害(图 1-3-9、图 1-3-10)。



a)



b)

图 1 3-9 台风及洪水引起的自然灾害

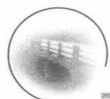
a)“莫拉克”台风引起的泥石流埋没公路、桥涵及房屋(台湾);b)引发洪水冲断桥梁(高屏溪双园大桥,台湾,2009 年 8 月)



图 1-3-10 波浪毁坏的海岸公路(美国)^[5]

(2)海岸带与内陆地区比较,特有的水文因素主要是具有海浪、潮汐和海流以及台风风暴潮。海浪是海岸带演变的主要动力因素之一,也是海岸带公路和桥梁的主要动力荷载。

月亮及太阳引潮力产生全球的潮汐现象,大洋中潮差只有 0.50m 左右,而海岸带的潮差可高达 2~15m 以上。潮位和潮流随时间在变化着。它们时刻作用于海岸带及其水域内的建筑物。



(3) 海岸带的地形、地貌变化速度快、周期短。

一场大的风暴, 可将水下岸坡的地形变得“面目全非”。河海口的拦门沙形式的水下地形, 随河水洪枯变化和海蚀海积作用, 也会很快地变化。图 1-3-11 是一次厄尔尼诺事件前后的河口拦门沙地形及水流变化。

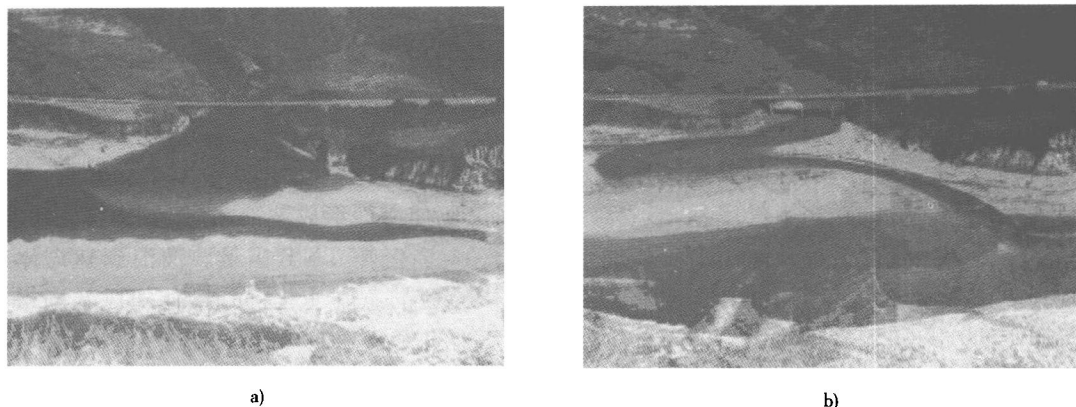


图 1-3-11 一次厄尔尼诺(El Nino)事件前后河口拦门沙的变化
a) 事件前; b) 事件后

海岸带是地球活动和全球气候变化的敏感窗口, 预计 2100 年海平面比现在上升 50~60cm, 加上沿海平原和三角洲地区持续地面沉降的趋势, 势必海岸带后退, 海水侵入, 将加剧风暴潮及洪水灾害。

2. 海岸带环境对滨海路桥的作用和滨海路桥的特点

由于所在地区自然环境的不同, 跨海桥梁的上下部结构和滨海公路经受的自然环境因素作用, 较内陆地区要复杂、严峻、恶劣得多。

各种海洋环境因素对桥梁等建筑物的作用如图 1-3-12 所示。

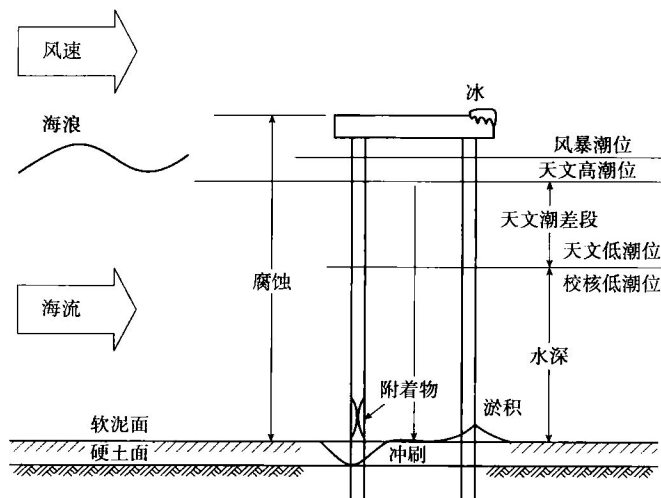
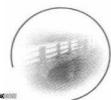


图 1-3-12 海洋环境因素对桥梁等建筑物的作用示意图^[6]

1) 海水、空气和冰冻等环境因素对桥梁及公路的腐蚀



海水和富含氯离子等的空气对建筑物的腐蚀,是跨海桥梁和滨海公路等各种海工建筑物最普遍的灾害。

在全寿命期内,跨海桥梁和滨海公路置身于海水及饱和盐分的海洋空气之中,桥梁墩台、基础下部结构都处于很深的海水浸泡中,经受多种盐类特别是氯离子长期作用,对各种工程材料具有严重的腐蚀,直接影响着工程的耐久性。

渤海等地沿岸很多地区是传统的天然盐场,盐池的盐含量高达 25%;近年来大城市的钢铁厂、化工厂,迁到海滨,例如唐山曹妃甸、沧州黄骅港等,空气中可能还含有氧离子以外的其他化学离子,引起滨海建筑物腐蚀。

渤海及黄海北部冬季冰冻发生,建筑物缝隙水的冻胀,加剧了混凝土的开裂、脱落,加速钢材锈蚀;流冰撞击桥墩及路基边坡,引起桥梁振动、墩台损伤、边坡破坏。

图 1-3-13 所示为渤海海滨 20 世纪 70 年代建成的港区老桥,建成仅 40 余年,桩墩加了斜撑,盖梁及桥面多处混凝土开裂、脱皮,露出钢筋,钢筋锈蚀严重,现已成为禁止通行的危桥。图 1-3-14 海岸附近建成才 3 年的新桥桥墩,因海水及空气氯离子及水汽作用,已发生了盖梁钢筋锈蚀和混凝土脱皮现象。



图 1-3-13 河北沧州滨海老桥(20 世纪 70 年代建成)盖梁和桥面边梁的腐蚀开裂、保护层脱落、露筋,桥梁已成危桥
(高冬光,2010 年 11 月)

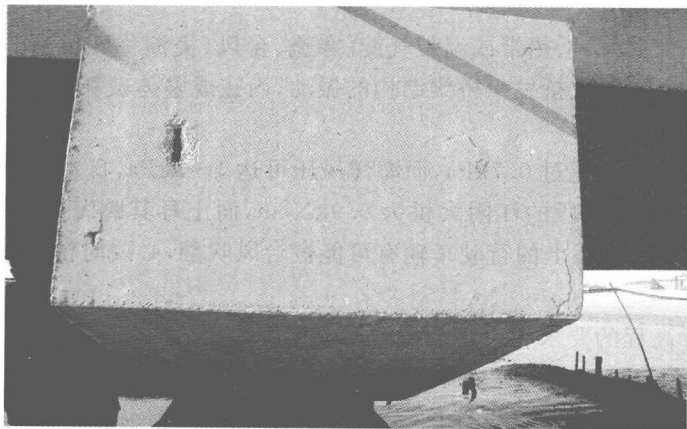


图 1-3-14 滨海桥梁建成 3 年后,因空气腐蚀出现盖梁脱皮、钢筋保护层脱落(高冬光,2010 年 11 月)