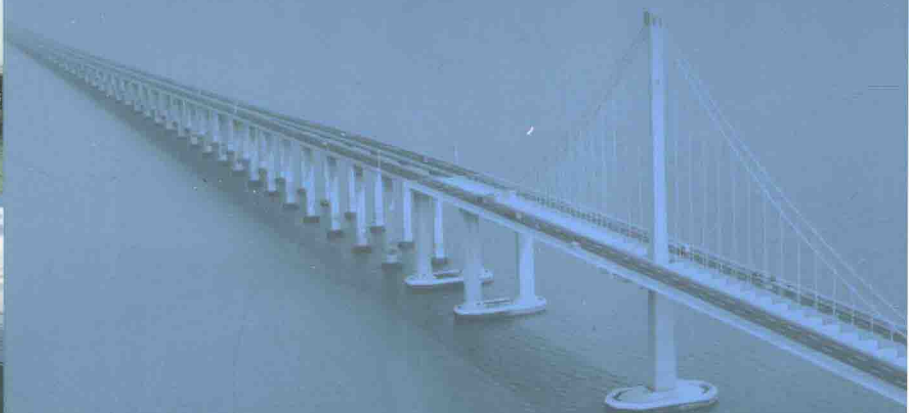


山东高速青岛胶州湾大桥建设丛书

海上非通航孔桥

徐强 主编

蔡建军 副主编
侯福金



人民交通出版社股份有限公司
China Communications Press Co., Ltd.

山东高速青岛胶州湾大桥建设丛书

海上非通航孔桥

■ 徐 强 主 编

■ 蔡建军 副主编
侯福金



人民交通出版社股份有限公司

内 容 提 要

胶州湾大桥海上非通航孔桥梁,其结构形式为跨径 50m 或 60m 预应力混凝土连续箱梁,其设计、施工及施工控制技术含量高,施工难度较大。本册详细介绍海上非通航连续梁桥设计与施工等相关技术内容。本册分两篇,第一篇共五章,主要介绍桥型概况、桥型方案研究与比选、结构分析总体说明;第二篇共五章,主要介绍现场施工中的组织管理及关键技术,如桩基础施工、承台施工、桥墩施工、预应力混凝土箱梁现浇施工、预应力混凝土箱梁整孔预制吊装施工等。

本书丰富了我国海上互通立交桥工程的建设技术资料库,可供跨海工程、桥梁工程技术人员和高等院校师生参考借鉴。

图书在版编目(CIP)数据

海上非通航孔桥 / 徐强主编. — 北京:人民交通出版社股份有限公司, 2016.12

(山东高速青岛胶州湾大桥建设丛书)

ISBN 978-7-114-13533-0

I. ①海… II. ①徐… III. ①跨海峡桥-桥梁工程-研究 IV. ①U448.19

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 309623 号

山东高速青岛胶州湾大桥建设丛书

书 名:海上非通航孔桥

著 作 者:徐 强

责任编辑:张征宇 刘永芬

出版发行:人民交通出版社股份有限公司

地 址:(100011)北京市朝阳区安定门外外馆斜街3号

网 址:<http://www.ccpres.com.cn>

销售电话:(010)59757973

总 经 销:人民交通出版社股份有限公司发行部

经 销:各地新华书店

印 刷:北京市密东印刷有限公司

开 本:787×1092 1/16

印 张:11.75

字 数:269 千

版 次:2017 年 2 月 第 1 版

印 次:2017 年 2 月 第 1 次印刷

书 号:ISBN 978-7-114-13533-0

定 价:40.00 元

(有印刷、装订质量问题的图书由本公司负责调换)

山东高速青岛胶州湾大桥建设丛书

编审委员会

主任:孙 亮

副主任:艾贻忠 姜振亭

委员:姜言泉 陈代级 钱 洪 于 潜 董淑喜

刘元良 刘殿君 杨振平 邵新鹏

编辑工作委员会

主任:姜言泉

副主任:邵新鹏

成 员 (按姓氏笔画排列):

于 坤	于天胜	于长河	马士杰	王 麒
王兆星	王存毅	王行耐	王明军	王晓昆
王晓乾	韦晓霞	刘国强	庄纪文	闫宗山
吴 健	宋吉刚	张 莉	季 辉	季锦章
周 斌	周焕涛	荆玉才	赵建刚	赵世超
段爱忠	徐 强	郭保林	崔 峰	商 晨
盖国晖	董君玲	彭 霞	程建新	翟文琦
蔡建军	鞠锦慧			

《海上非通航孔桥》编委会

主 编:徐 强

副 主 编:蔡建军 侯福金

编写人员(按姓氏笔画排列):

王 昊	王玉良	王亚堃	王贵明	田晓阳
齐平原	孙成新	吕春雷	朱光明	吴庆东
张 明	张 哲	李 明	李启乾	杨胜生
邹 刚	俄广迅	赵世超	荆希智	韩千钧
程秀江	靳奉涛	翟公宁	蔡玉田	蔡全曙
谭明伦	魏春涛			

序

山东高速青岛胶州湾大桥(以下简称胶州湾大桥)是我国北方冰冻海域特大桥梁工程,是青岛市规划的东西跨海通道“一路一桥一隧”中的“一桥”。大桥全长 41.58km,建成后将成为山东半岛蓝色经济区战略的重要交通枢纽,对进一步完善青岛市东西跨海交通联系,为城市的深度发展拓展出崭新的空间。

胶州湾大桥由青岛市人民政府采取特许经营权模式,进行公开招标。山东高速集团凭借良好的信誉、雄厚的资金和技术实力、丰富的建设管理经验,一举中标成为项目法人。

胶州湾大桥早在 1993 年 4 月就开始前期工作,经历了规划、预可、工可、初设、施工图设计和招投标等严格的建设程序,共历时 13 年零 8 个月。这期间,包括两院院士、长江学者在内的数百名中外专家、学者为大桥付出了心血和汗水。

胶州湾大桥开工建设以来,国家有关部委,山东省委、省政府以及青岛市委、市政府等各方面高度重视,要求建设者高标准、高质量建成精品工程。全体建设者露宿风餐、无私奉献、奋勇攻关,确保了工程质量、建设进度和施工安全,整个工程建设过程中,未出现一起质量、安全事故,没有发生一起违法违纪事件。

胶州湾大桥建设者始终坚持创新引领,攻克了许多特大型跨海大桥的技术难题,他们发明的“水下无封底混凝土套箱技术”为世界首创;“稀索斜拉桥索塔的耳板锚固方式”具有独创性;兼具防雾和景观功能的 LED 桥梁护栏节能灯为世界首创;应用 4D 技术和 4D 管理理念实现了项目管理的集成化和可视化管理;并且在结构耐久性的研究和长寿命评估方面,实现了大桥全寿命周期的过程控制。从而全面提高了胶州湾大桥的运营效率、降低了运营成本,延长结构的实际使用寿命,为海上桥梁的耐久性设计提供了数据基础和理论依据。

胶州湾大桥于 2011 年 6 月 30 日全线通车,它结构新颖,造型独特,气势恢弘,美观大气,像一条玉带飘荡在蔚蓝色的大海上。它也对冰冻海域的大型桥梁建设提供了一个可资借鉴的经验和样板。

鉴于胶州湾大桥在科技创新、工程美学价值、与自然环境的协调统一等各方面的成绩,很有必要编写这套丛书。而且就在本书即将付梓的时候,今年 6 月,在美国匹兹堡举行的世界桥梁大会上,胶州湾大桥荣获组委会颁发的“乔治·理查德森大奖”。这个奖项是专门授予那些在技术创新、工艺造型、工程质量、人才培养等方面都有卓越表现的大型桥梁工程。也为中国桥梁工作者赢得了荣誉。

借此机会,向胶州湾大桥所有的建设者表示祝贺!

胡希捷

2013 年 7 月 1 日

前 言

山东高速胶州湾大桥是我国在北方寒冷冰冻海域建设的首座特大型桥梁集群工程,是青岛市交通规划中东西岸跨海通道“一路、一桥、一隧”中的“一桥”,是国家高速公路网青岛至兰州高速公路的起点段。

胶州湾大桥非通航孔桥长度约 22.98km,占整个大桥工程投资的 65%左右,是整个大桥工程建设的重要、关键组成部分。经过方案比选,胶州湾大桥非通航孔桥上部结构跨径选择为 50m 跨径的现浇箱梁和 60m 跨径的预制箱梁,其中 50m 现浇箱梁采用滑模现浇施工方案,采用适合胶州湾大桥海域施工的移动模架造桥机;60m 跨径的预制箱梁采用整孔预制吊装,研发了整孔预制与海上吊装关键技术应用于施工;下部结构选用花瓶式桥墩,承台选择矩形带倒圆角的承台,在部分合同段研发应用了水下无封底混凝土套箱建造技术;桩基为钻孔灌注桩。

本书的出发点和落脚点是系统介绍海上非通航孔桥实施过程中的设计思路、设计方案、施工技术、科学研究等方面的经验,进一步丰富我国跨海桥梁建设技术资料库。

《海上非通航孔桥》分为两篇:第一篇为海上非通航孔桥设计,分别包括桥型概况、桥型方案研究与比选、非通航孔桥结构设计、结构分析、耐久性设计;第二篇为海上非通航孔桥施工,分别包括桩基施工、承台施工、桥墩施工、预应力混凝土箱梁现浇施工、预应力混凝土箱梁整孔预制与海上吊装关键技术。通过这两篇的内容,编者希望把海上非通航孔桥从设计到施工、现场管理,通过不同方面完整地介绍给读者。

限于编写时间及编写者水平,本书难免存在不当之处,恳请同行指正。

编 者

2016 年 7 月

目 录

第 1 篇 海上非通航孔桥设计

第 1 章 桥型概况	(3)
1.1 项目概况	(3)
1.2 工程范围	(3)
1.3 主要技术标准	(7)
1.4 地形、气候、水文	(8)
1.5 地质	(10)
第 2 章 桥型方案研究与比选	(12)
2.1 设计指导原则	(12)
2.2 设计构思	(13)
第 3 章 非通航孔桥结构设计	(34)
3.1 总体布置	(34)
3.2 下部结构	(34)
3.3 跨径 50m 上部结构	(39)
3.4 跨径 60m 上部结构	(39)
3.5 桥面系及附属设施	(50)
第 4 章 结构分析	(59)
4.1 下部结构计算分析	(59)
4.2 上部结构计算分析	(63)
第 5 章 耐久性设计	(92)
5.1 耐久性设计措施	(92)
5.2 混凝土防腐区域的划分	(92)
5.3 耐久性设计中采用的各种措施	(93)

第 2 篇 海上非通航孔桥施工

第 6 章 桩基施工	(97)
6.1 工程概况	(97)
6.2 平台施工	(97)
6.3 钻孔施工	(98)

第7章 承台施工	(117)
7.1 水文条件	(117)
7.2 承台施工	(118)
7.3 水下无封底混凝土套箱施工	(126)
第8章 桥墩施工	(128)
8.1 工程概况	(128)
8.2 墩身施工	(128)
第9章 预应力混凝土箱梁现浇施工	(135)
9.1 工程概况	(135)
9.2 移动模架施工	(135)
9.3 海水预压施工	(141)
9.4 钢筋绑扎、预应力管道和内模安装施工	(142)
第10章 预应力混凝土箱梁整孔预制与海上吊装关键技术	(153)
10.1 工程概况	(153)
10.2 预制场布置	(153)
10.3 箱梁整孔预制	(156)
10.4 “天一号”运吊一体化运输与架设	(168)
10.5 “奋进号”起重船架设	(173)
10.6 湿接头施工	(174)

第 1 篇

海上非通航孔桥设计

桥型概况

1.1 项目概况

青岛市处于山东省区域经济发展最重要的位置,有着优越的港口条件,但青岛侧目前已经没有足够的开发空间,而黄岛方面不仅具有充足的用地,更有良好的港口资源,因此青岛的进一步发展,重心向黄岛转移是大势所趋。为此青岛市的城市总体规划方案始终突出青、黄两岛之间的联系要求。为进一步发展经济,新一轮的总体规划方案扩充范围,提出构筑由青岛、黄岛、红岛组成的大青岛格局。胶州湾大桥是青岛市道路交通网络布局中胶州湾东西岸跨海通道的重要组成部分,也是山东省“五纵四横一环”公路网主框架的重要组成部分。本工程的建成将进一步完善青岛市东西跨海交通联系,促进青岛市经济战略西移,解决黄岛前湾港外贸集装箱的疏运,缓解青岛胶州湾高速公路日趋饱和的交通压力,在扩大青岛市城市主骨架,缩小青岛、红岛、黄岛三岛的时空距离,加强主城区与两翼副城区的联系,加快胶州半岛城市群的发展等方面,起到极大的促进作用。

胶州湾大桥建设的重要意义可概括如下:

- (1) 是加快青岛市城市交通网络的建设,完善国家高速公路路网和山东省公路路网的需要;
- (2) 是发挥青岛龙头作用,推动半岛城市群战略实施的需要;
- (3) 是将青岛建成现代国际化城市的需要;
- (4) 是提高青岛市城市化水平的需要;
- (5) 是提升青岛市产业结构水平、加快国家级开发区、保税区、高新技术产业试验区发展的需要;
- (6) 是分流环胶州湾高速公路车流量,缓解青岛市主城区交通拥堵的需要。

1.2 工程范围

胶州湾大桥于 2007 年 5 月 24 日正式开工,2011 年 6 月 30 日建成通车,大桥建成后成为山东半岛蓝色经济区及青岛市“环湾保护、拥湾发展”战略中的重要交通枢纽,缩短青岛至黄岛间路程近 30km,节省时间 20 分钟,进一步完善了青岛市东西跨海交通联系,为青岛城市的深度发展拓展出崭新的空间。胶州湾大桥建成后进一步奠定了青岛在山东半岛蓝色经

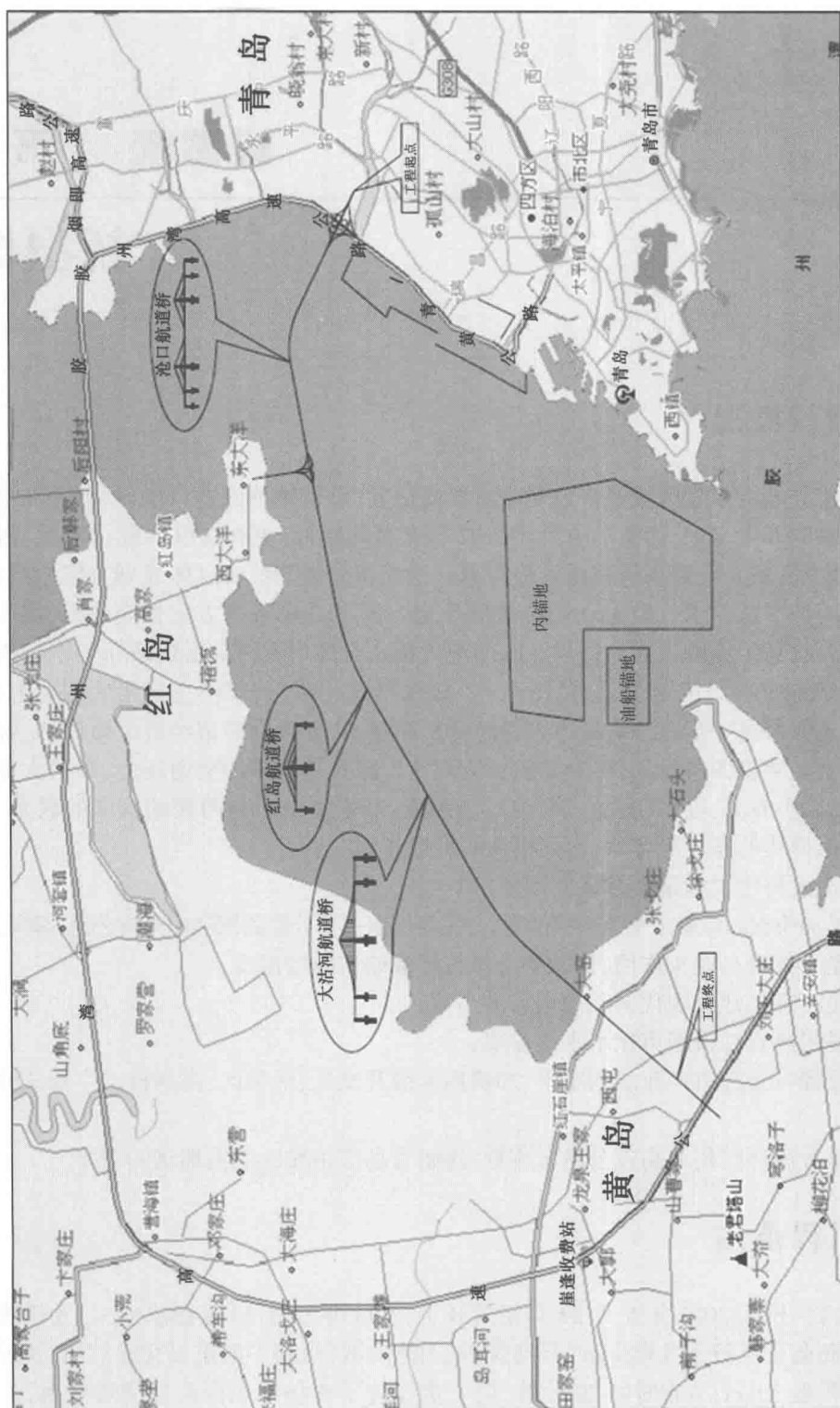


图 1.2-1 桥位总平面布置图

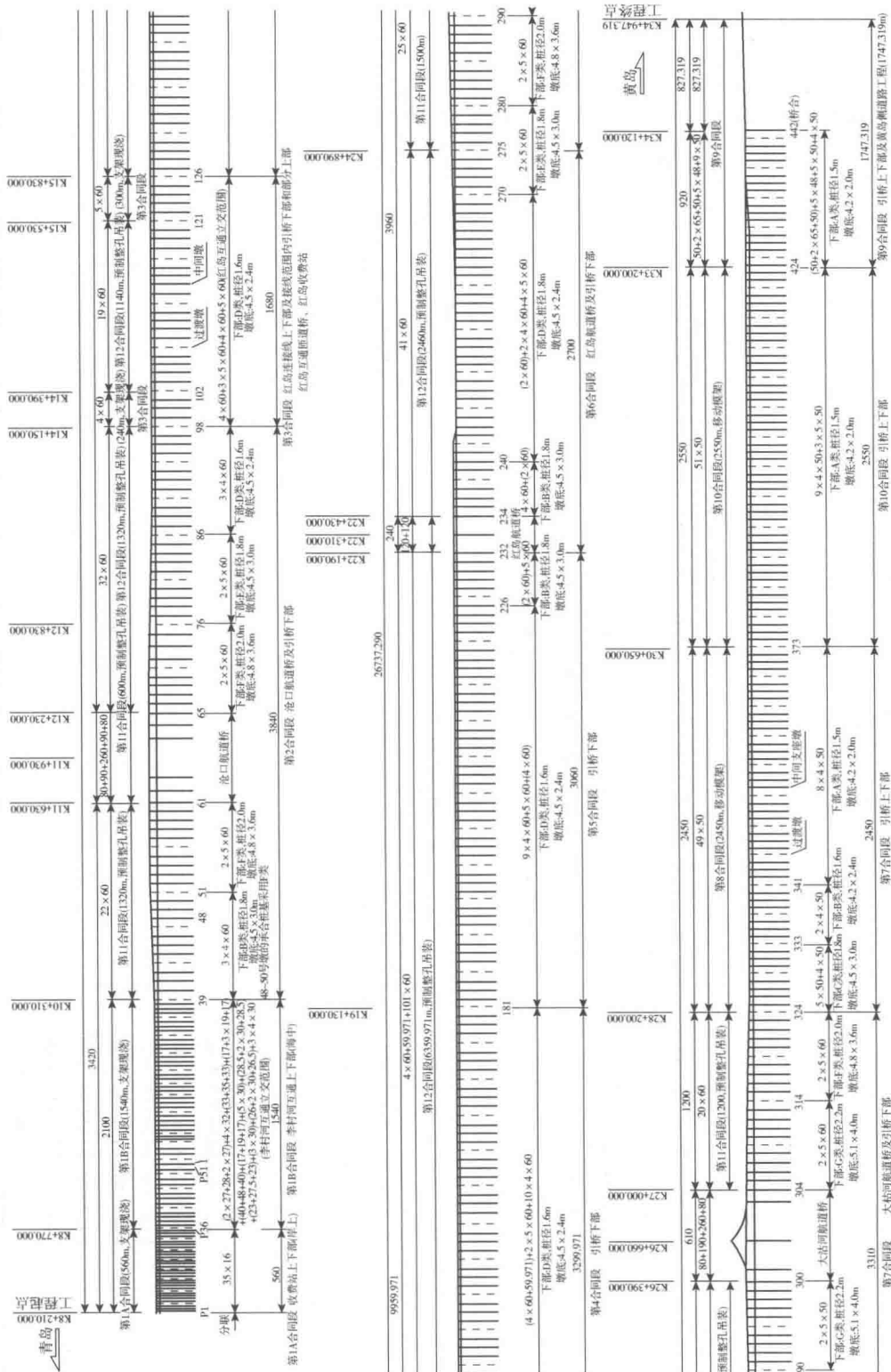


表 1.2-1

全桥合同段划分表

合同段编号	桩号范围	工程施工内容	长度	主要施工方法
1A	K8+210~K8+770	收费站桥上下部及 A、B、C 匝道桥, 李村河互通范围内路基土石方	560m	支架现浇
1B	K8+770~K10+310	李村河互通(除 A、B、C 匝道桥外)+非通航孔桥上下部	1540m	支架现浇
2	K10+310~K14+150(右幅) K10+310~K14+030(左幅)	沧口航道桥(600m)+非通航孔桥下部(54×60m) 沧口航道桥(600m)+非通航孔桥下部(52×60m)	3840m 3720m	下部(桩基、承台、墩柱)施工
3	K14+150~K15+830(右幅) K14+030~K16+010(左幅)	红岛连接线上部及主线范围内非通航孔桥下部(右幅 28×60m, 左幅 33×60m)和部分上部、红岛互通匝道桥、红岛收费站	1680m 1980m	支架现浇 下部(桩基、承台、墩柱)施工
4	K15+830~K19+130(右幅) K16+010~K19+130(左幅)	非通航孔桥下部(55×60m) 非通航孔桥下部(52×60m)	3300m 3120m	下部(桩基、承台、墩柱)施工
5	K19+130~K22+190	非通航孔桥下部(51×60m)	3060m	下部(桩基、承台、墩柱)施工
6	K22+190~K24+890	红岛航道桥(240m)+非通航孔桥(41×60m)下部	2700m	下部(桩基、承台、墩柱)施工
7	K24+890~K28+200	大沽河航道桥(610m)+非通航孔桥(45×60m)下部	3310m	下部(桩基、承台、墩柱)施工
8	K28+200~K30+650	非通航孔桥下部(49×50m)	2450m	移动模架
9	K33+200~K34+120~K34+947.319	黄岛侧 920m 非通航孔桥上下部+道路	桥梁: 920m 道路: 827.319m	移动模架
10	K30+650~K33+200	非通航孔桥上下部(51×50m)	2550m	移动模架
11	K10+310~K11+630 K12+230~K12+830 K24+890~K26+390 K27+000~K28+200	整孔预制吊装上部 60m	4620m	整孔吊装
12	K12+830~K14+150(右幅) K12+830~K14+030(左幅) K14+390~K15+530(右幅) K14+330~K15+770(左幅) K15+830~K22+190(右幅) K16+010~K22+190(左幅) K22+430~K24+890	整孔预制吊装上部 60m	11280m	整孔吊装

济区的龙头地位,为该区的发展起到了很好的以海带陆、以陆促海、内外联动的促进作用。

胶州湾大桥设计起于青岛侧胶州湾高速李村河大桥北 200m 处,北距环太原路立交 720m,设李村河互通立交与胶州湾高速相接;设计终于黄岛侧胶州湾高速东 1km 处,顺接济青南线设计起点;中间设立红岛互通与红岛连接线相接。主线全长约 26.737km,其中跨海大桥长 24.430km(K8+770~K34+120),青岛侧陆上接线桥梁长 0.560km,黄岛侧陆上接线桥梁长 0.920km,道路长 0.827km,红岛连接线长 1.3km。本项目包括沧口航道桥(K11+630~K12+230、长 600m)、红岛航道桥(K22+310~K22+430、长 240m)和大沽河航道桥(K26+390~K27+000、长 610m)、海上非通航孔桥和陆上引桥、黄岛两岸接线工程和红岛连接线,李村河互通、红岛互通(海中)以及收费站及管理设施,见图 1.2-1、图 1.2-2 和表 1.2-1。

1.3 主要技术标准

- (1)道路功能:城市道路兼有公路功能;
- (2)道路等级:城市快速路兼高速公路;
- (3)行车道数:双向六车道;
- (4)设计行车速度:80km/h;
- (5)行车道宽度:2×3×3.75m(六车道);
- (6)路基宽度:35m(六车道),具体见图 1.3-1;
- (7)最大纵坡:≤4%;
- (8)桥面横坡:2%;
- (9)平、纵曲线半径:

平曲线极限最小半径	250m
平曲线一般最小半径	400m
不设超高最小半径	2500m
一般最小凸形竖曲线半径	4500m
极限最小凸形竖曲线半径	3000m
一般最小凹形竖曲线半径	3000m
极限最小凹形竖曲线半径	2000m
- (10)设计荷载:城—A 级,公路—Ⅰ级;
- (11)地震基本烈度Ⅵ度,抗震设防标准见表 1.3-1;
- (12)通航及船撞力:横桥向 1.2MN,顺桥向 0.6MN。

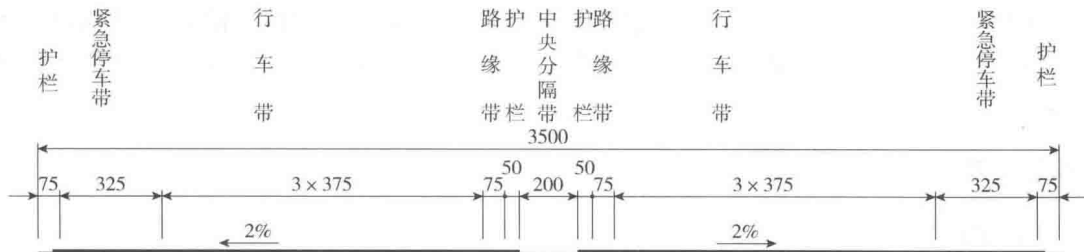


图 1.3-1 非通航孔桥桥梁宽度

抗震设防标准

表 1.3-1

设防地震概率水平	地震峰值加速度	结构性能要求	结构校核指标
P1:50 年 10% (重现期 475 年)	46.9 (cm/s ²)	主要结构接近或刚进入屈服	主要结构校核正常使用 极限状态
P2:50 年 3% (重现期 1642 年)	74.0 (cm/s ²)	主要结构变形应小于极限值	主要结构校核变形

1.4 地形、气候、水文

1.4.1 地形

青岛地区处胶东半岛西南部,东南濒临黄海,全市地形特征属低山丘陵地貌。胶州湾是一深入内陆的半封闭海湾,湾内水深域阔,东西宽 27.8km,南北长 33.3km,湾口开向东南,口门最窄处为 3.1km,岸线长 187km,海湾面积 382km²,其中零米以深面积 256km²,5m 以深面积 98km²,10m 以深面积 49.94km²,海湾平均水深约 7.0m,最大水深 64m。口朝东南,一条宽 3km,深 30~40m 的深水槽与黄海相通。

胶州湾海底地势总体上自北向南倾斜,腹大口小。其西北部有 7~8km 宽的潮间滩地和宽阔的浅水区。路线经过区位于海湾中北部,因沉积物淤积,地势较平坦,在水深小于 5~10m 的区域,形成大片浅水滩,地形坡度小于 13°。

1.4.2 气候

胶州湾畔濒临黄海,属季风气候区,气候季节变化较明显。冬半年(10 月至翌年的 3 月)呈大陆性气候特点,气候干燥、温度低;夏半年(4 月至 9 月)受东南季风影响,空气湿润,雨量充沛,日温差小,呈现海洋性气候特征。

气温:极端最高气温 38.9℃,极端最低气温-14.3℃,年平均气温 12.7℃,1 月平均气温-0.5℃,7 月平均气温 24.2℃。

降水:最多年降水量 1253.7mm,最少年降水量 308.3mm,平均年降水量 662.1mm,日最大降水量 223.0mm。

相对湿度:1 月平均 63%,7 月平均 88%,年平均 70.9%。

最大积雪深度:1 月份 21cm 深。

基本风速:36.9m/s。

工程区一年四季均有灾害性天气发生,主要灾害性天气有大风、冰雹、干旱、台风、寒潮、霜冻、浓雾和高温、暴雨、飏线、倒春寒等。对大桥施工和运营有影响的主要为大风和浓雾。

1.4.3 水文

(1) 水位

胶州湾属规则半日潮类型,根据青岛港多年资料统计,平均海平面 0.00m,最高高潮位