

杭州湾跨海大桥引桥方案构思与设计

黄燕庆 王东晖 张燕飞

(中铁大桥勘测设计院有限公司 湖北武汉 430050)

摘要:杭州湾跨海大桥建设条件复杂,工程规模浩大,引桥占全桥总长95%左右,海上和滩涂区引桥上部结构分别采用跨度70m和50m预制箱梁,整孔预制架设。引桥下部结构大部分采用钢管桩基础和预制桥墩。

介绍桥址自然环境、跨海长桥设计原则及引桥方案构思和比选。

关键词:杭州湾跨海大桥 引桥 桥型方案 桥梁设计

1 工程概况

1.1 工程范围

杭州湾跨海大桥北岸起于嘉兴海盐,南岸止于宁波慈溪,全长36km,海域部分长约32km。根据桥位地形特点及航道条件,大桥由北至南划分为:北引桥、北航道桥、中引桥、南航道桥、南引桥5个区段。引桥总长34.2km,分陆地、滩涂

及海中3个区段。其中海中区引桥长18.7km,滩涂区引桥长11.3km,两岸陆地区引桥共长4.2km。大桥区段划分见图1。引桥覆盖范围占全桥总长的95.8%,是全桥设计的重点和难点。

大桥按双向6车道高速公路设计,设计时速100km/h,桥梁总宽33.0m。设计荷载为汽车-超20级,挂车-120验算。

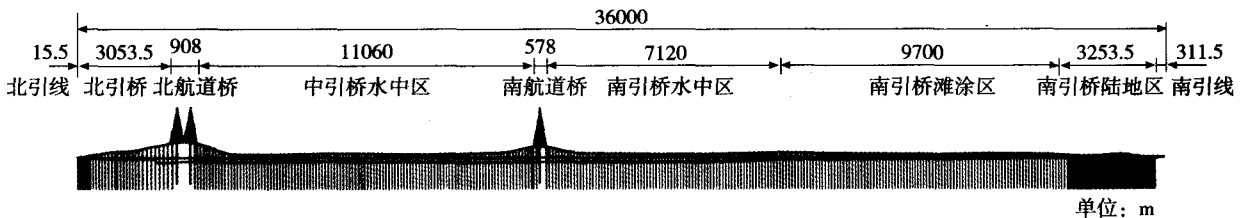


图1 大桥区段划分示意

1.2 建桥条件

杭州湾地处我国东部沿海,属典型的亚热带季风气候区,四季分明,季风显著,总的气候特征温和、湿润、多雨。该地区是灾害性天气多发地带,气象条件情况十分复杂,台风、龙卷风、雷暴及突发小范围灾害性天气时有发生,两岸(乍浦、慈溪)实测极大风速分别为31.9m/s、32.2m/s。

大桥两岸近海侧都有滩涂分布,北岸滩涂宽约1.5km,南岸滩涂宽近10km;海底地形平缓,水深一般为10~15m。桥位处地质为第四系沉积层,厚度为135~210m,总体呈北厚南薄的趋势。上部软土层厚20~45m,持力层埋藏较深。

桥位断面涨、落潮流向与岸线基本一致,流速呈南强北弱之态。根据历年观测资料,与桥位毗邻的乍浦潮位站实测最高潮位5.54m,最大潮差7.57m,平均潮差4.65m。年平均流速2.39m/s,施工期间实测到的最大流速:落潮4.18m/s,涨

潮5.16m/s。实测最大波高:北侧3.23m,南侧4.72m。设计最高潮位6.15m。设计垂线平均最大流速:4.68m/s(百年一遇)。局部最大冲刷高程为-34.70m。海中区域波浪以风浪为主,100年重现期最大设计波高 $H_{1\%}=6.31\text{m}$ 。

2 方案构思

2.1 总体设计思路

(1)本桥设计除满足功能要求和桥梁设计的基本准则外,根据海上施工环境恶劣和工程规模浩大的特点,为减少海上作业,有利于快速施工,减少施工风险,引桥结构按工厂化、预制化、大型化的原则设计。

(2)海水实测氯离子含量在5.54~15.91g/l之间,为pH值大于8的弱碱性Cl-Na型咸水,海潮流速较大,海水含砂量较大,海域中还富含海蛎子等海洋生物,对钢和混凝土结构有较强的腐蚀作用。结构设计充分重视海洋环境对结构的腐

蚀,采用耐腐蚀性好的材料和采取必要的防腐蚀措施,以确保工程的设计使用寿命。

(3)海上引桥施工采用大型打桩和吊装设备,跨径布置根据设备能力和技术经济综合比较确定。

(4)为适应工厂化生产要求,海上引桥跨度及结构形式尽可能统一。

(5)充分重视桥梁景观,力求造型美观,比例协调,与周围环境和谐,并重视对水环境和自然景观的保护。

2.2 桥型方案构思

根据大桥不同区域的特点,本着因地制宜的原则,针对海中区、滩涂区和陆地区等不同的建设条件,进行不同的桥型方案构思。

2.2.1 海中区引桥

海中区引桥长达18.7km,占全桥比重大,其桥型的合理性对整个工程的工期及造价起决定性的作用。采用常规的桥梁结构及施工方法无法满足跨海大桥要求,海上引桥设计主要基于以下因素考虑:

(1)尽可能采用跨径适中、造价低廉、耐腐蚀性好的预应力混凝土结构。

(2)根据水工模型试验的成果,海中区应选择50m及以上跨度的桥梁,以尽量减少对环境的影响。

(3)桥址区海域宽阔,风大潮急,基础及上部均应以大型预制构件为主,采用大型设备施工。

2.2.2 滩涂区引桥

两岸滩涂区引桥施工受海潮涨落影响很大,施工需通过栈桥从岸边向水上推进。南岸滩涂区引桥太长,满足工期要求成为设计的控制因素。采用较小孔径、箱梁整孔预制、用重型设备梁上运架,可满足工期要求,技术上可行。

2.2.3 陆地区引桥

两岸陆地区引桥方案以中小跨度的混凝土桥为主,通过经济技术比较确定桥梁的跨度,并考虑跨海堤要求及与两岸滩涂区引桥协调。

3 桥型方案比较

3.1 海中区桥型方案比较

3.1.1 跨径的选择及比较

考虑水上运架设备的能力和土工试验的结

论,本区段主要比较了50m及以上跨度的预应力混凝土连续梁方案,初步设计中对50,60,70,80m跨度的预应力混凝土连续梁及跨度150m钢箱梁方案进行了综合比较(见表1):

表1 桥型方案综合比较

跨度/m	主要缺点	主要优点	
混凝土梁	50	基础数量多;对水流影响较大;架梁次数多,架梁工期长;经济性较差	施工难度小;耐久性好,后期养护费用低
	60	基础数量较多	施工难度较小;耐久性好,后期养护费用低;经济性好
	70	基础数量稍多	施工难度适中;耐久性好,后期养护费用低;经济性好
钢箱梁	80	吊装重量大,施工难度大,经济性差	基础数量较少,耐久性好,后期养护费用低
	150	耐久性好,后期养护费用高,经济性差	基础数量少,架梁次数少,架梁工期短

经综合比较,跨度60m和70m预应力混凝土连续梁方案经济性较好整孔预制架设施工所需的大吨位吊船技术成熟,风险小,70m梁基础比60m梁方案减少15%,有利于降低海上施工风险,确定采用70m跨径方案。

3.1.2 上部结构施工方案比较

(1)节段预制拼装。勿需使用大型起吊、运输设备以及大吨位下河码头,但节段预制逐孔拼装施工速度相对较慢,需数量较多的架桥机及相应的运输驳,海上作业量大。

(2)整孔预制吊装。需要大型起吊、运输设备以及大吨位下河码头,对机具设备能力要求高,其优点是效率高、速度快,吊装顺序可根据下部结构施工进度自由安排,海上作业点少。

经综合比较,本区段桥梁上部结构采用整孔预制吊装、先简支后连续的施工方案。

3.1.3 下部结构方案比较

(1)基础型式。本区域可考虑的基础型式有钻孔桩、预应力管桩及钢管桩。钻孔桩施工要搭设平台,工序多,周期长,事故率较高,海上引桥应尽量避免采用钻孔桩基础。预应力管桩在经济上虽优于钢管桩,但由于桩太长,打桩船吊

重难于满足要求,海上接桩十分困难,并且超长预应力管桩容易开裂,因此,本桥不宜采用。基于以上原因,本区域引桥均采用钢管桩基础。

(2) 承台。对预制承台和现浇承台方案进行了比较。预制承台施工速度快,混凝土质量好;但对桩基施工精度要求较高,斜桩较多时承台就位困难。现浇承台施工方案成熟可靠,对桩基施工位置偏差的适应性较好。

(3) 桥墩。本区域桥墩数量多,采用现浇墩身,工点多,所需水上船机设备多,施工周期长。本区域水深条件适于大型水上船舶作业,预制墩身方案可实现工厂化生产,施工速度快,但需处理好湿接头防腐蚀问题。

3.2 滩涂区桥型方案比较

由于大型水上设备无法进入滩涂区,两岸滩涂区均采用钻孔桩基础,现浇承台和墩身,钢栈桥配合施工的方案。北侧滩涂区引桥较短,上部结构采用移动模架方案施工。南岸滩涂区引桥特别长,建设条件复杂,控制总工期,上部结构桥型方案和施工方案是研究的重点。

3.2.1 跨径的选择及比较

南岸滩涂区桥梁的跨径主要考虑架梁方法、运架设备的能力和经济效益,设计对60、50、40m三种跨径的预应力混凝土箱梁方案进行了比较,经综合考虑,采用50m跨径的预应力混凝土连续梁方案。

3.2.2 上部结构施工方案比较

本区段桥梁较长,加上受环境的限制,保证架梁工期是决定施工方案的关键。滩涂区可供考虑的施工方案有节段预制拼装、移动模架施工和整孔预制架设等几种方案。前2种方案技术成熟,按常规办法施工有较好的经济性,但均不能满足工期要求,如增加栈桥运输能力,多开工点,则投入很大。

50m箱梁采用整孔预制,梁上运输和架桥孔架设的施工,具有架梁速度快、可满足工期要求的突出优点,但预制箱梁重达1350t,运输和架设远远超过目前世界上同类工法的运架重量;由于施工荷载大,主体结构要加强,工程数量有所增加。为此,同步研究了实现该工法施工所需的关键设备及采用该工法的经济性。通过国内外调研,确认实现上述方案技术上完全可行,经济

上相对合理。

4 桥型方案设计

4.1 海中区引桥设计

海中区引桥采用70m的预应力混凝土连续等高箱梁,双幅桥面布置,共261孔,基本联长420m。基础为钢管桩,桩径1500~1600mm,单幅桥基础根据不同区域的自然环境分别布置9或10根桩。桥墩采用预制混凝土空心墩。其主梁和下部结构见图2、图3。

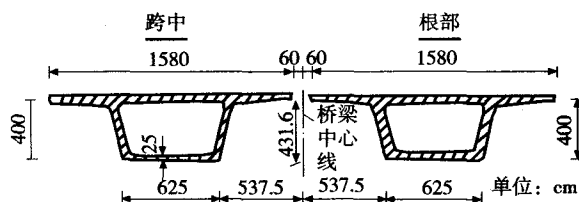


图2 海中区引桥主梁断面

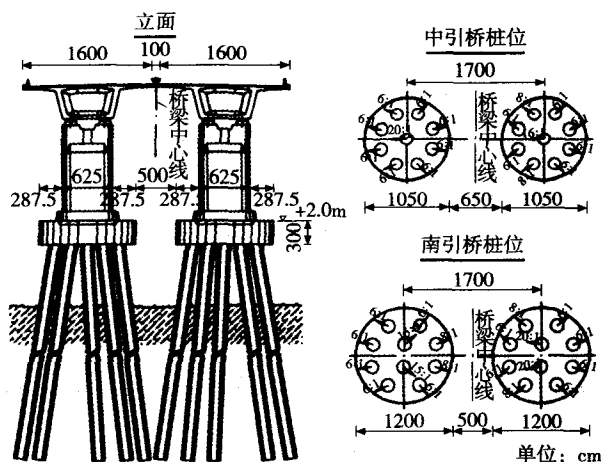


图3 海中区引桥下部结构

4.2 南滩涂区引桥设计

南岸滩涂区引桥采用50m预应力混凝土连续等高箱梁,共202孔,基本联长400m。基础采用钻孔桩,桩径1.5~2.0m,单幅桥基础根据不同区域的自然环境分别布置4- ϕ 1.5m、5- ϕ 1.5m和4- ϕ 2.0m钻孔桩。现浇承台和墩身。主梁和下部结构见图4、图5。

4.3 两岸陆地区引桥设计

两岸陆地区引桥大部分采用经济性较好、基本跨度为30m的预应力混凝土连续梁。与两岸滩涂区相接的部分陆地区引桥采用50m预应力混凝土连续梁。由于跨线、跨堤等需要,在相应位置分别采用50、60、80m预应力混凝土连续梁。

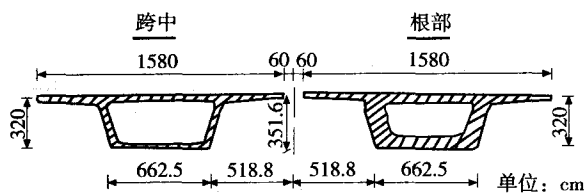


图4 滩涂区引桥主梁断面

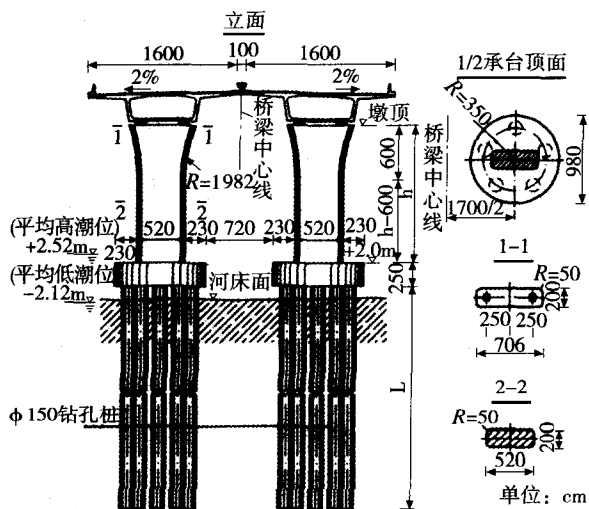


图5 滩涂区引桥下部结构

5 耐久性设计主要措施

(1) 采用海工耐久混凝土, 提高混凝土密实度及抗氯离子渗透能力。

(2) 适当提高混凝土中钢筋的保护层厚

度, 主梁钢筋净保护层厚度不小于40mm, 墩身保护层厚度不小于60mm, 承台保护层厚度不小于90mm, 钻孔桩保护层厚度不小于75mm。

(3) 对于浪溅区部位的墩身采用环氧涂层钢筋, 以确保结构的耐久性。

(4) 对预应力筋管道采用塑料波纹管、真空辅助压浆工艺, 确保孔道压浆密实, 防止在盐雾环境中预应力束发生应力腐蚀。对预制墩和箱梁湿接头及梁端封锚混凝土外表面浸渍硅烷保护。

(5) 对海中现浇承台、墩座及预应力管道压浆浆体等, 根据工艺试验确定掺加适量的钢筋阻锈剂。

(6) 对钢管桩采用“预留腐蚀余量+ 环氧粉末涂层+ 阴极保护”的联合防腐措施。

(7) 保留施工期钢护筒, 作为钻孔桩防腐的第1道防护屏障。

6 结语

杭州湾跨海大桥自2003年底开工以来, 引桥建设进展顺利, 钢管桩基础已全部完成, 海中区及滩涂区箱梁架设已完成过半, 达到了设计预期的目的。施工中充分体现了工厂化、预制化和大型化的优越性。大桥工程的顺利实施, 标志着我国在跨海长桥的设计、施工方面跨上了一个新台阶。

新闻

项海帆院士荣获美国Robert H Scanlan奖

2010年8月24日上午, 美国土木工程师协会(American Society of Civil Engineers)工程力学分会(Engineering Mechanics Institute)副理事长、美国密西西比大学工学院院长Alexander Cheng教授专程从美国赶来, 向项海帆院士颁发了美国土木工程师协会2010年Robert H Scanlan奖, 以表彰他长期来在工程力学理论和实践领域所作出的杰出贡献, 这是我国学者在国际上首次获得这一殊荣, 也是美国土木工程师协会首次将个人最高荣誉奖颁发给中国公民。

具有近160年历史的美国土木工程师协会是全球最大的土木工程协会, 拥有超过14万名国际

会员。该协会从2002年开始, 为了纪念杰出的工程力学专家、风工程创始人、桥梁空气动力学专家Robert H Scanlan教授, 专门设立了以他的名字命名的大奖, 以表彰全世界长期从事结构力学、风工程和空气动力学研究的学者一名。



Alexander Cheng教授(左)为项海帆院士颁奖