

东海大桥主通航孔斜拉桥索塔的施工技术

毕桂平¹,殷峰¹,高振锋²,陶立峰²

(1.上海同盛大桥建设有限公司,上海市 201306;2.上海建工集团,上海市 200050)

摘要:对国内已经建成的首座跨海大桥—东海大桥主通航孔斜拉桥主塔的施工技术进行了详细介绍,在100年设计基准期的前提下、面临恶劣海况的条件,为了确保跨海桥梁结构耐久性,采用了高性能混凝土。海上斜拉桥主塔施工,无论在施工技术,还是在施工管理上都是一次新的尝试和探索,此项工作十分重要和有意义,这将对我国21世纪跨海工程大跨度桥梁塔柱的施工提供宝贵经验。

关键词:斜拉桥索塔;高性能混凝土;海上施工

中图分类号:U448.27 **文献标识码:**A **文章编号:**1009-7716(2006)05-0095-04

1 概述

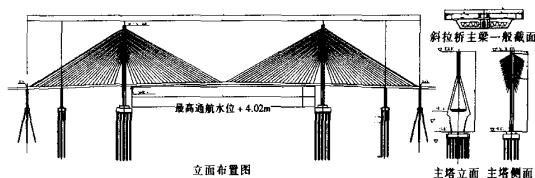
东海大桥工程是正在建设的上海国际航运中心集装箱深水港的重要配套工程,起于上海芦潮港,向南跨越辽阔海面至崎岖列岛的大乌龟岛登陆,沿大乌龟岛、颍珠山岛至小洋山岛港区一期交接点,全长约32.5 km。东海大桥海上段共设4处通航孔,其中主通航孔距芦潮岸新大堤的桥线距离约为16.5 km,需满足5000吨级船舶通航及部分万吨级船舶在一定水位条件下通航。主通航孔在设计最高通航水位+4.02 m以上,设计净空高度40 m。通航孔范围内梁底高程在运营情况下不得低于44.02 m。

桥面宽度按六车道+紧急停车带的高速公路标准设计,全宽除考虑行车使用功能要求外,将斜拉索的锚固与管线要求综合考虑确定桥面宽度,全宽33 m。主通航孔采用单孔双向通航布置,通航净宽 ≥ 321 m,考虑到主墩基础及防撞设施的宽度影响,主孔跨径应在400 m以上,最适宜的桥型方案为斜拉桥。结合主、边跨合理比值及斜拉索布置和主梁构造等结构设计特点,主孔跨径最终选定为420 m的双塔单索面钢-混凝土箱形叠合梁斜拉桥,为世界上首次使用。跨径布置为73 m+132 m+420 m+132 m+73 m,全长830 m。

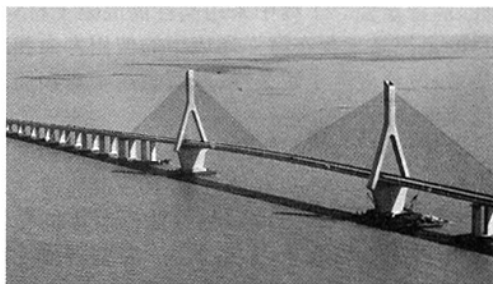
主塔墩采用群桩基础,每墩设38根 $\Phi 2.5$ m钻孔桩,桩长为110 m,每根桩混凝土用量约600 m³,主通航孔每只承台混凝土量达8 300 m³。承台顶设5.0 m高塔座与塔根相联。

斜拉桥主塔为钢筋混凝土结构,塔身上段采用适应单索面布置的倒Y形构造,下段采用实腹宽肩式塔身。塔高150 m,其中桥面以上塔高110 m。塔身截面中塔柱为单箱单室,其余截面为单箱

双室。主塔纵向尺寸为8 m,横向尺寸上塔柱7 m,中塔柱4.2 m,下塔柱从37 m渐变为28 m。中、上塔柱内为检修方便,设有人梯。详见图1和图2。



(a)主通航孔立面、侧面图



(b)主通航孔航拍图

图1 主通航孔桥布置图

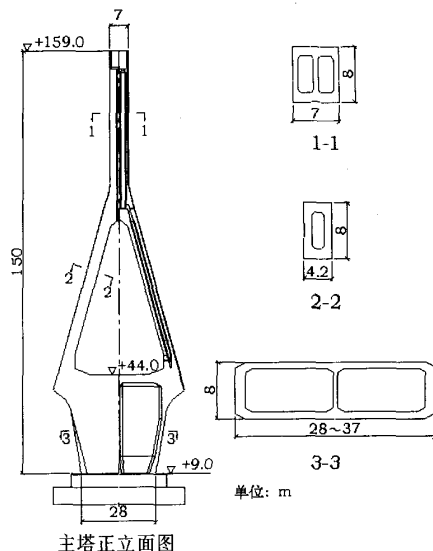


图2 主塔布置图

收稿日期:2006-07-10

作者简介:毕桂平(1975-),男,湖北谷城人,工程师,从事工程建设管理工作。

在外海建造大型桥梁,由于它远离陆地,交通困难,海域水文气象变化快,可持续施工日期短,地质变化大,对于整体结构的耐久性也有严格的要求。为了克服这些困难,达到质量高,工期短,成本低的目标,对主通航孔斜拉桥主塔的施工技术进行了详细研究和实践。

2 混凝土配合比的选择

由于索塔处于浪溅区和盐雾区,对塔身混凝土抗腐蚀性要求很高,同时,混凝土的设计强度等级为 C50。综合这些因素,采用了高性能混凝土。

高性能混凝土是通过加火山灰质材料微硅粉、磨细矿渣或粉煤灰,使氯离子在混凝土中的渗透速度降低、混凝土电阻率增加,从而延迟钢筋锈蚀的开始,并降低钢筋锈蚀开始后的锈蚀速度。其中,超细材料微硅粉在混凝土中能够有效降低空隙尺寸和阻断毛细孔,因此能够大幅度降低混凝土的渗透性,大大降低碳化和氯离子渗透对钢筋的危害。因此,高性能混凝土不仅具有优良的护筋性能,同时具有良好的综合耐久性、高强度、高工作性、高稳定性。工程中采用高性能混凝土材料,其目的是提高工程在海洋环境中的使用寿命和工程质量,改善混凝土耐久性,减缓氯离子对钢筋的锈蚀速率。

设计混凝土的塌落度为 180 ± 30 mm,初凝时间为 8 h。龄期为 2 d 时,强度达 30 ~ 35%,7 d 达 70 ~ 80%,28d 超过 100%。高性能混凝土的粘性较大,较之普通混凝土,不易泵送。针对混凝土耐久性在海面以上不同高度的不同要求,中、上塔柱混凝土的配合比做了调整,减少掺和料用量,增加水泥用量,初凝时间增加到 10 h。配合比见表 1 和表 2。

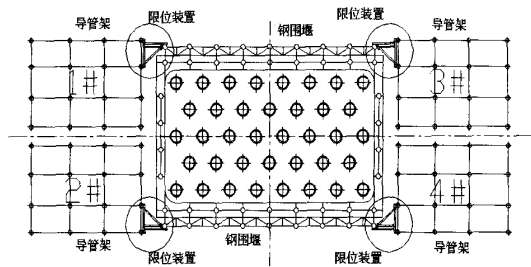
表 1 下塔柱及下横梁混凝土配合比							
原材料	水	水泥	掺和料	矿粉	砂	石	外加剂
1 m ³ 用量(kg)	150	140	185	140	705	1 080	6.51

表 2 中、上塔柱混凝土配合比							
原材料	水	水泥	掺和料	矿粉	砂	石	外加剂
1 m ³ 用量(kg)	170	250	160	90	700	1 025	8.00

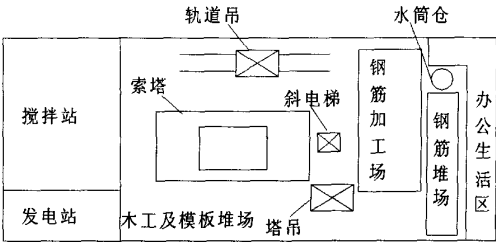
3 施工关键技术

搭设海上施工平台是施工基础及上部结构的第一关键步骤。根据基础结构形式、海域条件以及从桩基到承台的全部施工工艺,采取了导管架和蜂窝式整体双壁钢套箱相结合的平台形式,为基础施工创造了一个小的陆地施工环境,确保工程质量、安全的,减少了自然界的干扰,增加了有效

的施工时间,加快了施工进度。实践证明该平台满足了施工的需要。海上施工平台布置如图 3。



(a) 结构布置平面图



(b) 施工平台布置图

图 3 主墩施工平台

塔柱施工的分段情况为:下塔柱 7 节,下横梁实体段一次浇注,中塔柱 12 节,交汇段 3 节,上塔柱 11 节,标准段每节高度为 4.5 m。

3.1 脚手架和横撑

脚手架按照基础情况主要有着地(包括基础为下横梁)脚手架和附着脚手架。附着脚手架是利用塔身上固定模板时所用对拉螺栓的螺栓孔,把三角托架(其构造型式如图 4)或槽钢栓接到塔身上,这些托架或槽钢就作为脚手架的基础。脚手架抗风措施:(1)脚手管间距、剪刀撑、连墙杆间距的设置比规范要求均有所加密;(2)塔身各侧面的脚手架连接成整体;(3)安全立网会增大迎风面积,故不设,补偿办法是安全平网的竖向间距比规范加密。全塔外脚手架布置如图 5。

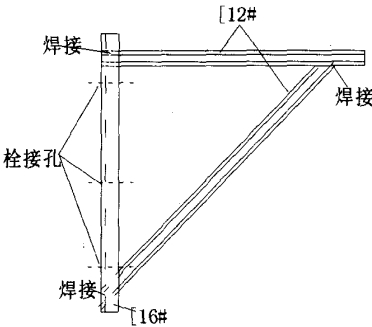


图 4 三角托架结构示意图

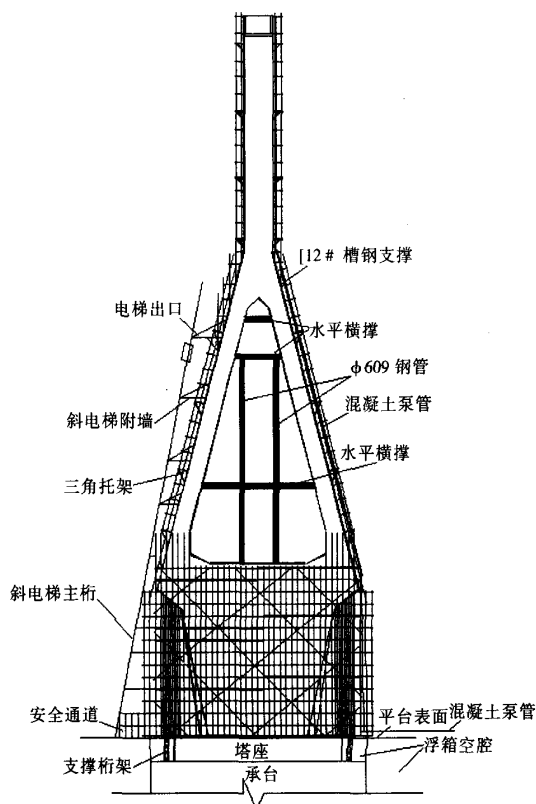


图5 全塔外脚手架布置示意图

3.1.1 下塔柱

塔内搭设脚手架,为着地支撑。下横梁下方的下塔柱顺桥侧每侧开有2个人孔,用来取出塔内脚手架。开始使用斜电梯后,下塔柱顺桥面塔外脚手架全部拆除,以方便0#块临时支撑的施工。在塔外脚手架拆除之前,塔内脚手架必须全部拆除。由于横桥面一侧安装电梯,另一侧固定混凝土泵管,都要用到脚手架,故横桥向塔外着地脚手架不拆。

3.1.2 下横梁

下横梁是大体积实体,其支撑分两部分,一部分是横桥向塔外脚手架,因为要支撑外模,经计算,加密立杆,同时,在浮箱内用桁架顶撑,传力至承台;另一部分为塔内底模支撑。底模支撑主要是由工字钢和槽钢组成的梁格体系。

3.1.3 中塔柱

原方案是采用爬架,但有三个缺点:(1)天气恶劣,不安全;(2)塔身斜率大,提升难度大、速度慢且不安全;(3)成本高。因此,用附着式脚手架代替爬架。综合考虑载荷和塔身斜率,每三个步距重新设置一层托架。由于塔身倾斜,考虑到临边栏杆,斜电梯上出口以下的施工平台是倾斜的;但斜电梯上出口以上部分为安全通道,需设置成水平

的,因此,增加了附着槽钢支撑的竖直脚手架,与斜脚手架共同搭设水平通道。此外,还有一种附着脚手架,通过三角托架附着于斜模板外侧,用于延伸混凝土泵管和固定外侧模对拉螺栓。塔内脚手架支撑于平台。

3.1.4 交汇段

交汇段第一节混凝土方量不大,在进行竖向支撑时,先直接把工字钢焊在中塔柱最后一节尚未拆除的外模的加劲肋上,然后,在工字钢上焊接角钢,这些角钢同脚手架一起支撑交汇段第一节混凝土的重量。

3.1.5 上塔柱

采用三角托架式脚手架。

3.1.6 中塔柱水平横撑

经计算,若两幅塔柱之间不加横撑,由于塔柱斜率较大,中塔柱根部截面将大范围进入塑性状态,以承受远大于混凝土抗拉设计强度的拉应力,因此,在两幅塔柱之间设置三道横撑,每道设两根,沿顺桥向对称布置。最上部横撑位于交汇段下方,余下按高度方向按一定间距布置。横撑采用格构柱形式,为2[32#,间距为60 cm,缀条为L45×45×5角钢。在下横梁上格构柱的投影范围设置四根Φ609钢管,向上延伸至第二道支撑,Φ609钢管上的牛腿和横撑焊接,以减小横撑的长细比,增强稳定性。按照设计要求,第一、二道支撑不施加预顶力,第三道支撑用千斤顶施加350 t力。顶之前,两塔柱靠近了约5 cm,顶后,比设计还靠近1.5 cm。可见,尽管加了横撑,两塔柱向内倾斜变形还是比较明显的。横撑在交汇段第二节达到设计强度后拆除。

3.2 钢筋和模板

3.2.1 劲性骨架

为了使钢筋、模板、斜拉索导管的空间位置准确、稳定、可靠,在上塔柱、中塔柱和下塔柱设置劲性骨架。下塔柱劲性骨架通过塔座预埋件锚固,然后向上各塔柱通高布置。劲性骨架为角钢组成的格构柱,在工厂定制,分段高度同每个施工节段一致。劲性骨架在截面上均匀布置,其中下塔柱截面共布置8处,分布在箱形截面顺桥向的三个壁;中塔柱每个塔柱截面布置4处,位于四个角;上塔柱截面布置4处,在四个角。

3.2.2 钢筋

绑扎钢筋前,先用两根角钢把相邻的劲性骨架焊连,焊接位置在劲性骨架顶部,增加整体刚度,形成钢筋支架。施工顺序:先通过直螺纹套筒旋接竖向主筋,然后在主筋上画出箍筋位置并绑

扎箍筋,最后绑扎插筋。

3.2.3 模板

模板分两类:一是标准模,可以反复使用,大部分塔身是这种模板;二是收分边模,数量较少,用于外形复杂的部位。外模采用 6 mm 钢模,提供足够的刚度,以确保外观质量;内模为七夹板木模,面板厚 18 mm。每节为三层模板。模板之间粘贴双面胶以防止漏浆。

采用翻模,塔身混凝土强度达到 70% 以上后,拆掉下面两层模板,在平台上涂脱模剂后,翻用作新节段的模板,而不拆最上面的模板,将其作为导向模,起到支撑新节段模板的作用。用导链拆模,利用劲性骨架作为导链的支撑点。

模板固定系统包括导向模和内、外模之间的对拉。对拉螺杆采用 $\Phi 26$ 高强螺栓,对拉后,与钢筋焊连。为保证不破坏外表美观,对拉螺杆紧贴模板内侧采用“H”螺栓,拆模后,拧出“H”螺栓,然后用同强度水泥砂浆填好“H”螺栓留下的孔洞。以后,栓接三角托架、槽钢、连墙杆、横撑预埋板、塔吊附墙预埋板时可凿出启用。

3.3 混凝土施工

混凝土搅拌站为计算机控制,自动拌和,拌和时间要求为 120 s。搅拌过程中,工作人员每隔半小时取样,检查塌落度。

浇筑新节段前,凿除浮浆,露出粗骨料,并用水冲洗。浇筑过程中采取措施防止工人踩踏钢筋笼。安排专人负责泵管的拆接,以控制落料点的位置,从而保证在已浇注的混凝土初凝之前就被新浇注的混凝土覆盖。

根据气温情况确定混凝土的养护措施。气温较低时,对于塔柱,在外模外侧喷发泡塑料,并保证 2~3 d 不拆模;对于下横梁顶部,收水结束后,立即在混凝土表面覆盖清洁的塑料薄膜,初凝后再覆以双层麻袋,并浇水保湿,同时监测内部温度场,外围养护同塔柱。气温较高时,拆模时间不少于 4 d,拆模后,立即在混凝土表面涂养生液,抑制高温引起的水分散失。

3.4 测量定位

3.4.1 平面控制

(1)平面首级控制:根据《东海大桥测量控制交底文件》,可以利用的共有 3 个首级控制点和 5 个首级加密控制点,其中首级控制点,位于小洋山上;首级加密控制点,分别位于桥轴线附近试桩平台上以及小乌龟岛、大乌龟岛上,这些点都可直接用来作为施工放样的首级平面控制以及承台上控制点加密的基准点。

(2)平面临时加密控制:由于首级控制点和首级加密控制点并不能完全满足施工放样的需要,因此必须要在平台上布设加密控制点,从而更好地满足施工放样的需要。

3.4.2 高程控制

(1)高程首级控制:全桥高程首级控制点有两点,位于上海芦潮港基岩上。这两点作为全桥水准的首级基点。

(2)高程首级加密控制:为了满足承台以上部分施工的需要,委托上海测绘院施测一条全桥三等水准路线,作为高程首级加密控制,为施工高程放样传递和加密水准点提供依据。

(3)高程临时加密控制:上海测绘院提供的三等水准点并不能完全满足施工的需要,这就要求必须进行高程临时控制点的加密。因此按照三等水准测量要求进行施测进行加密。

由于在施工主塔时,东海大桥全桥的平面和高程控制网都已经由上海市测绘院通过非通航孔区段已完工承台进行了布设,并传递到了登陆的岛上。故主塔的施工按照所给出的控制点进行平面和高程控制。

随着主塔施工高度增加,控制点(包括平面和高程)向上移动二次,最初在平台上,后移至下横梁,最后到交汇段。控制点的设置:利用塔身预埋件,焊接形成控制点点位架,控制点距塔身 50 cm。

模板定位采用天顶法。在各模板外侧角部焊接一根 50 cm 长的钢筋,用经纬仪观察其末端位置,据此调整模板。

索套管空间定位采用平台-塔顶二次定位法。首先在塔柱顶面预埋若干铁板,并测量其标高,这些铁板为辅助桁架的支撑点。预先计算出索套管锚固端和出口中心的坐标。在平台上,找一块足够大的钢板并使其水平放置。假想钢板为桁架支点水平面,在钢板上画出顺桥向桥向中心线,并定出锚固端中心 Y 坐标(顺桥向),进一步确定出口端中心 Y 坐标,然后定出两端的 X 坐标(横桥向),最后确定 Z 向位置。经复核无误后,把索套管与辅助桁架焊连。结合面凿毛后,把作为辅助桁架支撑板的小铁板焊接在预埋钢筋上,在铁板上画出记号,要保证所有铁板处于同一高程,并画出顺桥向位置的记号,然后测出铁板标高,根据此标高值切割辅助桁架支撑腿(槽钢)的多余长度,以确保索套管高程的精确。最后只要控制辅助桁架中心和塔身中心重合。控制过程和模板定位类似,在辅助桁架的纵桥向和横桥向各焊一根定长钢筋(长度经计算得出),用 2 台经纬仪观(下转 135 页)

大敦村的做法是:(1)由村委投资分三期进行统一建设。第一期公寓住宅 16 幢共 160 套,第二期公寓住宅 200 套,第三期联体式住宅 150 套;(2)每套公寓面积 $100 \sim 130 \text{ m}^2$,每间联体式住宅的宅基地面积 100 m^2 ;(3)村委计划分期投资完成中心村的全部基础设施建设;(4)委托第三建筑有限公司进行工程质量监督,以保证工程质量,让村民放心;(5)采取物业式管理,居住安全舒适。

7 加强中心村管理,引导农民做好中心村建设

第一,加强宣传。宣传健康生活方式,宣传美好人居环境,宣传法律法规,农村建房也要报批,没规划不准建房。

第二,要控制住农村住房建设混乱的源头。规划可以一步到位,但由于资金所限,有些农户建房难以一步到位。如何解决这个矛盾呢?建议的办法是,老房子只准拆除,不准在原地未经规划就翻建,要建必须到规划好的中心村,或在规划区范围内规划过的原地上兴建。抓住了这一条,就能控制住农村住房建设混乱的源头。通过时间的推移,不仅使现有的老房子基本上能够自然而然地被淘汰,而且经济损失并不大,这是因为,一方面,由于不限定老房拆建期限,农民可以更加有效地利用原有住房的价值;另一方面,建新房完全根据农民自身经济条件,由农民自己决定何时去建,减少了强行拆房给农户带来的经济上的损失和负担,实现了经济效益、社会效益、环境效益几方面的统一。

第三,应高标准建设中心村。中心村规划是高标准,住房规划一般是小康型的两层楼房,所需建设资金相对较多。由于农户收入水平的差异,部分农户一时难以筹集到较多的建设资金怎么办?我们应当坚持高标准的准则,宁缓不俗,宁慢也不降低标准,分步实施,逐步到位。比如,少数有困难的农户可以按建两层楼房的要求打牢楼基,先建一层,待条件允许时,再建第二层。高标准建设,还应该将基础设施、公用设施甚至院墙等包括进去。村子的道路红线,要适当放宽,应有超前的眼光。沿路两侧的建筑一般不建院墙,农民住宅的围墙提倡建空透式围墙、矮墙或绿篱。

第四,加强物业管理,创建良好的人居环境。中心村建好以后,相当于一个较大规模的居住区或楼盘。这时可参照城市里的居住区管理办法,加强物业管理(包括:房屋管理、物业共用设施设备管理、环境清洁卫生管理、绿化管理、安全管理等),为居民创建一个让人放心、舒心的人居环境。

腐要求的不同,调整配合比,相应放宽电通量的要求。

(5)索套管的安装利用二次定位,先在平台上定好索套管和辅助桁架相对位置,然后在塔顶确定辅助桁架的位置。

实践证明,主塔施工各项实测项目,如塔柱底偏位、倾斜度、预埋件位置等,均满足了规范要求。

4 结语

海上斜拉桥索塔施工的主要矛盾是海洋环境对工程进展的影响,因此,通过合理的管理和技术措施解决这个矛盾是工程顺利进行的关键。在解决这些问题过程中,该工程在技术和管理上都有许多可借鉴之处,包括以下几点:

(1)在施工计划编制、人员组织、材料采购计划、工作船舶使用等方面充分考虑海洋施工环境大风大浪、运输能力有限、施工场地有限、不确定因素多的特点。

(2)施工的临时固定充分利用固定模板所用的对拉螺栓,包括:脚手架连墙杆、斜电梯附墙、中塔柱水平横撑、塔身附着脚手架基础三脚架等。

(3)劲性骨架在固定钢筋骨架、拆模、支撑内模等方面的运用。

(4)为提高泵送性,考虑到浪溅区和盐雾区防

参考文献

- [1]FHWA.High Performance Concrete(HPC) for Bridges[J].Promotion Materials
- [2]C.Goodspeed,et al.High Performance Concrete (HPC) Defined for Highway Structures[J].Concrete International,1996(2)
- [3]A.Neville & P. C. Aitcin.High Performance Concrete-An Overview[J].Materials and Structures,1998(31):111-117.
- [4]上海建工集团东海大桥工程项目经理部.东海大桥工程总体施工组织设计[Z]. 2003.
- [5]吴中伟.高性能混凝土及其矿物掺合料[J].建筑技术,1999,13(3).
- [6]林宝玉,吴绍康.混凝土工程新材料设计与施工[M].北京:水利电力出版社,1998.
- [7]金伟良,赵羽习.混凝土结构耐久性研究的回顾与发展[J].浙江大学学报,2002(4).
- [8]JTG F80/1-2004 公路工程质量检验评定标准(第一册 土建工程)[S].北京:人民交通出版社,2004.