

深中通道项目桥梁设计方案及主要技术难点

吴玲正

(广东省公路建设有限公司, 广东 广州 510623)

摘要:深中通道地处粤港澳大湾区核心位置,跨越珠江口伶仃洋水域连接起深圳、广州和中山,是一座集“隧、岛、桥、水下枢纽互通”于一体的世界级跨海交通基础设施工程。项目桥梁工程规模宏大、建设条件复杂、结构物类型众多、技术难度高,同时国内外鲜有成熟案例可供参考,因此建设难度很大。为实现高标准建设,使其成为屹立于大湾区口门的平安百年品质工程,需在源头即设计层面进行把控,通过深度理解项目建设条件和品质要求,梳理项目的重难点并提出有针对性的解决方案,最终获得高质量的设计成果,为后续高品质的工程项目建设实施打好基础。

关键词:深中通道;桥梁工程;海中悬索桥;斜拉桥

深中通道的桥梁工程全长约 17.034 km,规模宏大,包括伶仃洋大桥、中山大桥、泄洪区非通航孔桥、浅滩区非通航孔桥和陆域引桥,涵盖超大跨径悬索桥、大跨径斜拉桥、大型钢梁连续梁桥和预应力混凝土连续梁桥以及小箱梁桥等众多类型结构物,技术难度大。桥址区受到航空限高、海事通航、水利防洪、环保、台风、潮汐和不均匀地质等诸多条件制约,建设条件复杂。项目地处粤港澳大湾区核心位置,是跨越珠江口的战略性通道,同时也是跨海超级工程,社会关注度高,桥梁工程又是项目建设的亮点和看点,需要高标准地开展建设,因此该项目桥梁工程的建设面临很大挑战。为了从源头上控制好项目品质,该项目在建设前期严谨、审慎地开展了桥型方案研究比选和设计工作,为项目后续的建设实施打下了坚实的基础。

1 建设条件

全桥跨越了珠江口多条高等级主航道及主要泄洪通道,同时受到深圳机场航空限高影响,建设条件复杂。桥位处最大海水深度约 12 m,同时西侧存在长距离的浅滩区,水深仅 1~2 m,受半日潮影响(平均潮差为 0.85~1.70 m),潮退滩露。浅滩区临近南沙湿地自然保护区,环保要求高。此外,桥位处于台风影响区,正面袭击热带气旋年平均有 23 个,最大中心风速曾达 40 m/s,影响时段每年可达 5 个月(6—10 月)之久。桥位区软土分布范围广、厚度大,淤泥层普遍厚达

20~30 m,稳定性极差。场区基岩主要为花岗岩及花岗闪长岩,岩面东高西低,风化差异显著,风化层厚度大,且厚薄不均,地基均匀性总体较差,属抗震不利地段。

2 桥梁设计方案

2.1 伶仃洋大桥

(1) 总体布置及结构体系。伶仃洋大桥跨径布置为(500+1 666+500) m,矢跨比为 1/9.65,主缆横向间距为 42.1 m。采用三跨吊全漂浮体系悬索桥,在主塔处设横向抗风支座、纵向限位阻尼、过渡墩处设置竖向支座、横向抗风支座。伶仃洋大桥主桥立面图如图 1 所示。

(2) 加劲梁采用流线形整体钢箱,梁高 4 m、宽 49.7 m,采用实腹式横隔板,间距为 3.2 m。桥面板重车道处厚 18 mm,其余厚 16 mm。标准横断面图如图 2 所示。箱梁外侧设置风嘴及水平稳定板,以满足颤振稳定性要求,同时避免涡振振动风险。

(3) 索塔采用门式塔造形,基础采用 56 根 D3.0 m 钻孔灌注桩,按嵌岩桩设计。承台采用分体圆形,厚 8 m,通过下横梁连接成整体,以增强抗船撞性能。受航空限高(275 m)制约,塔顶高程设为 270 m。塔柱采用八角形截面,形成晶体切面的建筑外形,视觉上简洁、现代。沿塔高方向依次设置了上、中、下 3 道横梁,

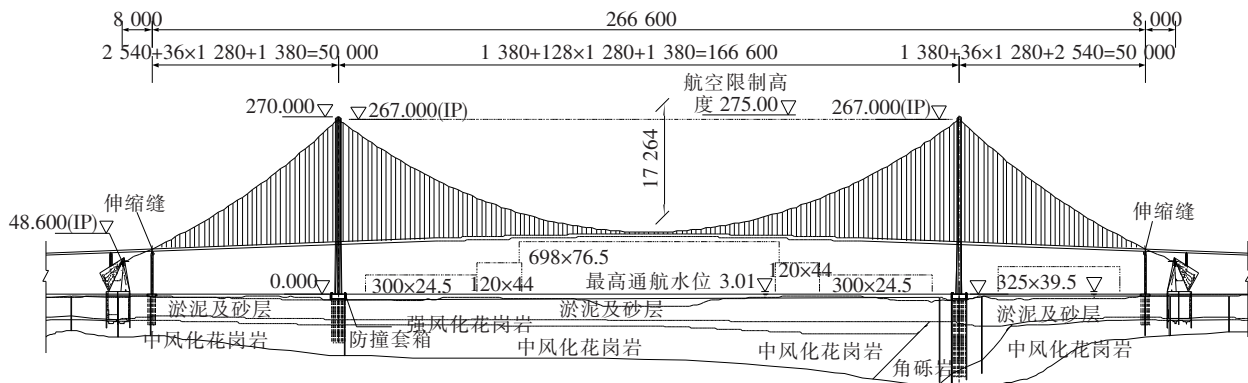


图 1 伶仃洋大桥设计方案效果图(除标高单位为 m 外,其余:cm)

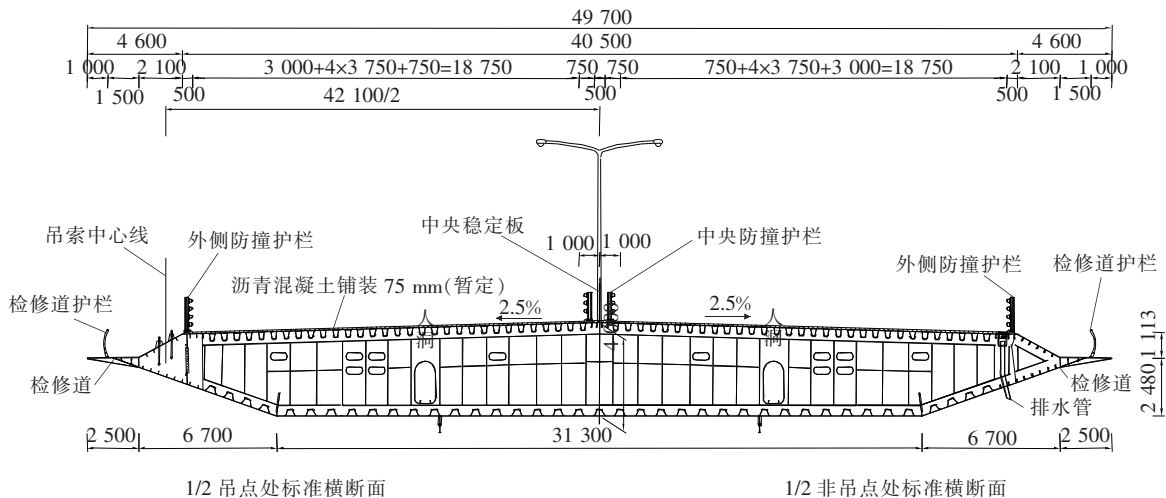


图 2 伶仃洋大桥主梁标准横断面(单位:mm)

尺寸逐级增大,形成向上收分的稳定感。横梁采用领结形设计,使得塔柱风格和谐统一。上、中横梁均为预应力混凝土构件,下横梁按普通钢筋混凝土构件设计,设部分预应力作为储备。塔冠为主索鞍鞍室和塔顶横向平台,采用不锈钢结构,鞍罩与通道分离,横向平台可供检修通行及观光。

(4) 锚碇采用分体式锚体,外形设为晶体切面建筑元素。锚碇基础采用直径 65 m 的 8 字形地连墙基础,墙厚 1.5 m,嵌入中风化岩层中不小于 5 m。设计推荐采用钢管桩和钢板桩结构圆形筑岛,筑岛直径 150 m。东锚淤泥层厚 8.3~12.3 m,西锚淤泥层厚 14.1~15.5 m,采用水泥搅拌桩进行地基处理。锚碇基坑外采用抛石护堤防护。

(5) 主缆设计采用预制平行钢丝索股(PPWS),吊索采用镀锌钢丝绳,梁端限位拉索采用平行钢丝拉索。主索鞍为常规鞍体结构,散索鞍采用摆轴式结构,都采用铸焊结合的结构形式,鞍槽用铸钢铸造,底座由钢板焊成。铸钢件采用 ZG340—550H 高强材质。主缆采用多股成品索锚固系统锚固。

2.2 中山大桥

(1) 总体布置及结构体系。中山大桥采用整幅式钢箱斜拉桥方案,跨径组成为(110+185+580+185+110) m,边中跨比为 0.509,采用半漂浮结构体系。边跨设置辅助墩,大桥的立面布置见图 3。

(2) 加劲梁采用流线形扁平钢箱梁,梁高 4 m,采用双边腹板构造,与 H 形塔索面布置对应。箱内采用桁架式横隔板,不设纵隔板,截面用料省,通透性好,方便后期检查维护。梁段标准长度 18 m,最大吊重约 501 t,采用桥面吊机安装。梁段间工地接缝除顶板 U 肋采用高强度螺栓连接外,其余均采用焊接。中山大桥主梁标准横断面图见图 4。

(3) 索塔采用门式塔造形,与伶仃洋大桥主塔外形风格保持一致,形成前后呼应、和而不同的姊妹桥格局。基础采用 28 根 D3 m 钻孔灌注桩,按嵌岩桩设计。

(4) 斜拉索采用 $\phi 7$ 高强镀锌钢丝束斜拉索,标准强度为 1 960 MPa。斜拉索在主塔上的锚固采用钢锚梁锚固,传力明确,同时有效加快塔柱施工进度,后期

便于维护检查、换索。拉索横向间距为 41.5 m,东、西主塔每侧各有 15 对斜拉索,梁上索距为 18 m。斜拉索在主梁上采用锚拉板形式锚固,传力途径明确,构造简单,后期方便检查维护。

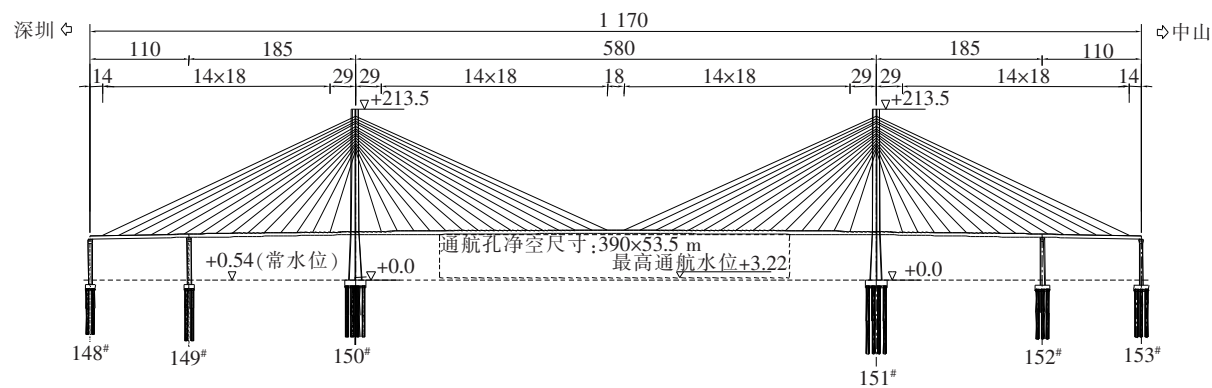


图3 中山大桥设计方案立面布置(单位:m)

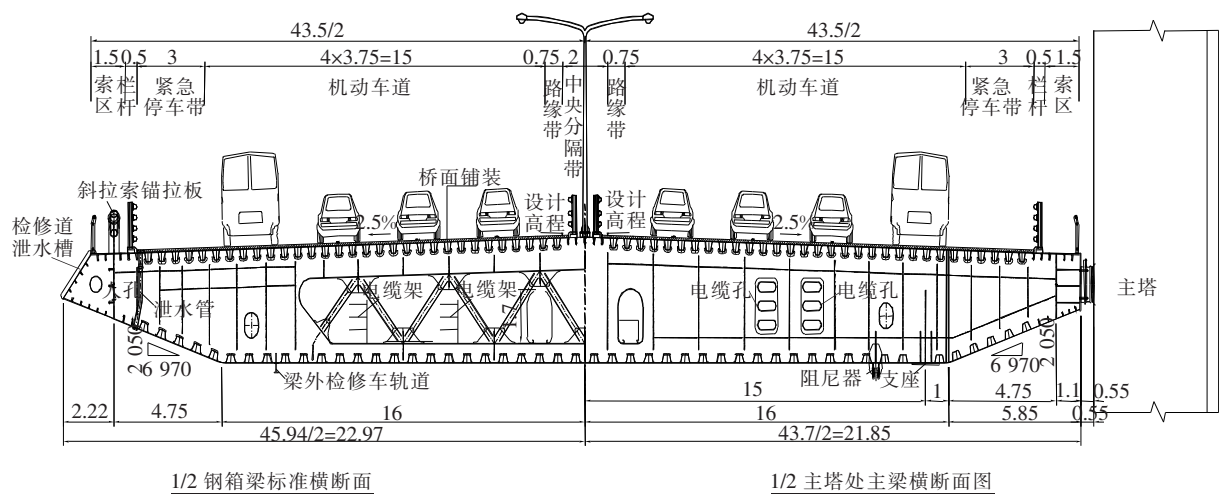


图4 中山大桥主梁标准横断面(单位:m)

2.3 非通航孔桥及陆域引桥

(1) 泄洪区非通航孔桥

上部结构主梁采用分幅式单箱三室钢箱梁,梁高 4 m,顶板宽 20 m,底板宽 9.5 m。钢梁边跨跨中、次边墩和中墩墩顶底板及加劲肋、次边墩和中墩墩顶中腹板及加劲肋采用 Q420D,其余部位采用 Q345D。钢箱梁整体在工厂预制,通过船机设备运至现场并架设。首节钢箱梁长 133.5 m、重约 1 500 t。下部结构采用整体式大挑臂 T 形墩,盖梁长 30 m、高 5 m;墩身截面为六边形,宽为 8~12.2 m、厚为 4 m;承台为 10.5 m×16.5 m×5 m(纵×横×竖),配 6 根 2.5 m 桩。

(2) 浅滩区非通航孔桥

上部结构主梁采用分幅式单箱双室预应力混凝土箱梁,梁高 3.5 m,顶板宽 20 m,底板宽 9.578 m,悬臂长 3.5 m。受运架设备吊重及吊具几何参数限制,在万顷沙互通影响区部分变宽剧烈的主梁采用了钢箱梁

方案,共 18 片。箱梁在岸上预制厂整孔预制,通过船机设备运至现场,整孔吊装就位,再进行先简支后结构连续的体系转换。桥墩与泄洪区非通航孔桥的建筑外形风格一致,盖梁顶宽 33 m、高 6 m。墩宽 9.2~10.6 m,厚 4 m;承台为 17 m×10.75 m×4.5 m(纵×横×竖),配 6 根 D2.5 m 桩。

(3) 陆域引桥

陆域引桥全长 1 600 m,分幅布置,部分区段受横门互通影响,单幅桥面宽度为 16.25~34.65 m。引桥跨径为 40 m,采用预制混凝土小箱梁(梁高 2.2 m),先简支后结构连续。桥墩采用大挑臂墩,基础采用 D1.8 m、D1.5 m 的钻孔灌注群桩基础。

3 主要技术难点

项目桥梁工程技术难点主要集中在伶仃洋大桥和

非通航孔桥。

3.1 伶仃洋大桥

(1) 大桥位于珠江口伶仃洋开口水域,属于超强台风频发区,跨径超大、桥面超高,抗风安全问题突出,主梁抗风断面选型是设计的难点。通过组织多家权威机构平行开展风洞模型试验,反复比选主梁气动外形和气动措施,最终提出了“整体钢箱梁+水平导流板+上下稳定板+高透风率栏杆”组合的新型气动控制技术,将 1 500 m 以上超大跨径宽幅式整体钢箱的颤振临界风速提升至 88 m/s,极大地拓展了该类梁型的使用范围。

(2) 西塔处于风化深槽上,需要穿越 60~80 m 的断裂破碎带,桩长达到了 108~136 m,对于实施阶段钻孔成桩提出了挑战,实际施工时需要通过精细化的钻孔工艺和优质的护壁泥浆来确保成桩质量。

(3) 由于主桥是全离岸结构,两个大型锚碇处于海中,考虑潮汐影响水深达到 6~8 m,海床面以下存在 15 m 以上厚度的淤泥层,地质条件复杂。为实现锚碇地连墙基础的实施条件,设计提出了钢管—钢板桩围堰筑岛方案。在深层软基上确保围堰结构及岛体的稳定具有一定挑战,后续施工主要以施工监控为抓手,通过监测数据来把控施工节奏,确保施工全过程风险可控。

(4) 悬索桥主缆防腐是世界性难题,考虑到该项目处于高温高湿的亚热带地区,同时在路网中具有重要性,需高度重视。从国际技术发展动态来看,主要是提高主缆钢丝自身的防腐性,如采用大直径高强主缆钢丝等。

3.2 非通航孔桥

(1) 泄洪区非通航孔桥受防洪要求制约,承台需要埋入海床。在临近西人工岛区段,平均水深为 10 m 以上,最大水深 13.5 m,如何顺利实现水下基坑开挖、止水、承台钢筋网绑扎及混凝土浇筑等面临很大挑战。后续施工主要通过打设加强刚度的帽形钢板桩来形成止水围堰,围堰内设置围檩及水平撑来共同抵抗水压力。

(2) 与伶仃洋大桥两端对接的四孔泄洪区非通航孔桥桥面标高较高(最高近 70 m),由于受到锚碇筑岛、主缆位置的限制,无法使用船机设备架梁,只能采用支架架梁。考虑到此处还存在 15 m 以上厚度的淤泥层,为确保高空支架的安全性需加强施工监测。

(3) 浅滩区非通航孔桥部分区段水深较浅,平均水深 1 m 左右,受半日潮影响,多数时间潮退滩露,船

机设备很难驶入,栈桥、施工平台等临时工程的建设有一定难度。后续施工主要是选择水深条件较好的位置搭设起始栈桥和物料码头,主要通过钓鱼法在已搭设的栈桥上逐步推进架设。

(4) 万顷沙互通立交的匝道下穿主线桥,工作面在空间上存在交织,由于都是水上作业且工期较紧,架梁船机设备的使用与下部结构施工存在矛盾。施工时需要通过良好的工序衔接来解决上述难题。

4 结语

截至 2020 年年底,桥梁下部结构大部分已出水,水中栈桥及锚碇围堰成功抵御了 2018 年超强台风“山竹”的正面袭击,西塔超长桩基均顺利成桩,东西锚碇基础均已完成基坑开挖,非通航孔桥深水埋置式承台完成过半,新型主缆钢丝已通过 800 t 小批量试生产鉴定,伶仃洋大桥钢箱梁已准备制造,等。上述成果的取得正是建设前期的精心准备和细致策划的成果,由于设计成果针对难点问题均提出了详细、明确的解决方案,因此确保设计方案具备可实施性,同时安全风险、工期可控,造价合理,这些扎实的研究成果在为该项目建设保驾护航的同时也可对未来类似项目的前期策划提供有价值的参考。

参考文献:

- [1] 中交公路规划设计院有限公司. 深圳至中山跨江通道桥梁(A合同段)施工图设计[Z],2017.
- [2] 中铁大桥勘测设计院集团有限公司. 深圳至中山跨江通道桥梁(B合同段)施工图设计[Z],2017.
- [3] 同济大学,西南交通大学. 深圳至中山跨江通道项目伶仃洋大桥抗风性能研究报告[R],2018.
- [4] 中交第二航务工程局有限公司. 深圳至中山跨江通道项目施工方案关键技术专题研究[R],2015.
- [5] 中交第二航务工程局有限公司. 深中通道工程项目 S04 合同段锚碇筑岛围堰施工技术方案[Z],2018.
- [6] 王璇. 深中通道中山大桥总体设计[J]. 交通科技,2019(1).
- [7] 李荣. 双壁钢围堰支撑体系优化设计研究[J]. 中外公路,2018(1).
- [8] 王志刚,余顺新,陈亚莉. 桥梁快速建造技术[J]. 中外公路,2018(4).
- [9] 王会永. 双壁钢板桩围堰施工技术与工程运用[J]. 中外公路,2019(1).
- [10] 陈凯,王晓宁,许波,等. 大跨混凝土梁式桥合理化构造研究[J]. 中外公路,2019(2).