

DOI:10.16799/j.cnki.csdqyfh.2024.07.002

从咨询的视角看两大超级工程的异同

宋华茂

[上海市政工程设计研究总院(集团)有限公司,上海市 200092]

摘要:港珠澳大桥和深中通道作为两个类似的大型桥、岛、隧组合的跨海通道工程,均由中外团队组成联合体进行全方位、全过程的设计与施工咨询。在咨询过程中,联合体团队各成员克服困难,取长补短,利用各自在行业内的经验,充分发挥专家的个人能力,为两大超级工程的建设献计献策,共同谱写了跨海建设的新篇章。通过回顾咨询工作的历程和内容,从咨询的视角解读两大超级工程的异同。

关键词:港珠澳大桥;深中通道;咨询;联合体

中图分类号: U445.7

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2024)07-0008-06

0 引言

在现今炙手可热的粤港澳大湾区(见图1),珠江入海口,伶仃洋上,建成通车的港珠澳大桥蜿蜒起伏,而距其38 km的深中通道也已展现全貌。两个均由桥岛隧组合的超级工程交相辉映,让每一位建设亲历者都深感自豪。



图1 珠江口地理位置图

上海市政工程设计总院(集团)有限公司作为两大工程的咨询联合体的牵头单位,全程参与了项目的设计和施工,本文就从咨询的视角来谈谈这两大超级工程的异同。

1 管理模式

2009年6月,当港珠澳大桥咨询团队紧随设计团队进驻珠海时,当时的建设业主还被称为“港珠澳大桥前期工作协调小组办公室”。

收稿日期: 2023-12-30

作者简介: 宋华茂(1970—),男,硕士,高级工程师,从事桥梁工程设计工作。

港珠澳大桥是一国两制条件下,粤港澳首次合作建设的特大型交通基础设施。2003年8月,国务院批准开展该项目前期工作,同意成立由香港特区政府作为召集人,粤港澳三方组成的“港珠澳大桥前期工作协调小组”,负责协调前期工作有关事宜。

2004年3月,前期工作协调小组办公室成立;2006年12月,国务院批准成立由国家发改委牵头的“港珠澳大桥专责小组”,负责重大问题的协调。

2009年10月28日,国务院常务会议正式批准港珠澳大桥工程可行性研究报告,标志着港珠澳大桥前期工作顺利完成,工程正式进入实施阶段。2010年7月,港珠澳大桥管理局成立,承担港珠澳大桥主体部分的建设、运营、维护和管理组织实施等工作^[1]。

类似地,对于深中通道项目,广东省人民政府于2010年9月成立了深中通道领导小组和前期工作办公室,并开始进行工程可行性研究。

由于深中通道的建设地域均处于广东省内,相关的协调工作量要简单很多,主要对桥位方案和桥轴线方案进行了比选论证。2013年召开了工可研究预评审会,2015年12月获得了国家发改委的批复。随后开展了国际方案竞赛和设计招标,转入实施阶段,由深中通道管理中心进行建设管理。

2 标准规模

港珠澳大桥涉及两岸三地,虽然港澳已经回归,但建设标准都沿袭了以前的英国标准或者欧洲标准,包括交通法规,其中车辆驾驶靠左行的规定,就跟内地不同。

经前期协调确定,港珠澳大桥在三地口岸之间的

区段,采用内地法规,车辆靠右行驶。显然,深中通道不会碰到这样的问题,因为它的执行标准和法规只有一地。

标准涉及的另一问题就是设计使用寿命的不同。内地从东海大桥开始,包括后续的标准规范均明确,特大桥的设计寿命为 100 a。所以,虽然在初步设计阶段也曾研究过是否需要提高寿命要求,但深中通道最终还是采用了 100 a 的标准。

但是对于港珠澳大桥,由于香港方执行的是英国标准,设计寿命为 120 a。也是经过多次协商决策,在“就高不就低”的原则下,明确港珠澳大桥的设计使用寿命为 120 a^[2]。

而这不仅仅是一个数字的变化,由于规范体系的系统性,其就会自然关系到荷载的取值保证率,材料的变异系数,耐久性措施的提升等。

从车道规模来说,港珠澳大桥是双向 6 车道,而深中通道采用了双向 8 车道的宽度。虽然也仅是一个数字的变化,但对结构而言,港珠澳的钢结构桥梁采用整幅断面,而深中通道采用分幅断面则更合理;港珠澳的隧道采用钢筋混凝土结构可以实现,深中通道则采用了钢壳混凝土组合结构。

珠江口是个航运繁忙的区域,深中通道涉及的航道包括两大水道——矾石水道、伶仃水道,还有靠近深圳的大铲水道,机场支航道,靠近南沙的龙穴南水道和横门东水道(见图 2)。下游的港珠澳大桥则要穿越现状和规划铜鼓航道、伶仃西航道,以及青州航道、江海直达航道和九洲航道(见图 3)。



图 2 深中通道线位图



图 3 港珠澳大桥线位图

深中通道受到深圳宝安机场的航空限高,港珠澳大桥则受到香港大屿山机场的限高,因此两个通道的东侧航道处均无法设置高塔大跨径桥梁,采用桥隧组合方案是经济合理的选择。

3 建筑美学

港珠澳大桥连接两岸三地,建设伊始就备受关注,通航孔桥、非通航桥的桥型方案自然也成为比较的重点。初步设计阶段,设计单位对各种方案进行了比较,也召开了多次景观方面的专家论证会,邀请了包括何镜堂院士、项海帆院士等专家,共同为港珠澳大桥的桥型选择出谋划策。其中一两座桥,更是在施工图阶段还进行了方案调整和优化。

建立全桥的景观设计理念为“珠联璧合”,考虑中西、古今、粤港澳等文化交融的特点,形成 3 座航道桥的景观造型理念为:以海洋文化元素为基础的“扬帆顺行”理念,人与自然和谐共生的“海豚”海洋生物形象和文化元素,以及寓意粤港澳三地结同缘、结同心的极具中华文化特色的“中国结”文化元素^[3]。

靠近珠澳口岸人工岛的是九洲航道桥(见图 4),也是在情侣路上可以清晰所见的一座桥。选择风帆型桥塔,也是寓意扬帆起航的愿景。

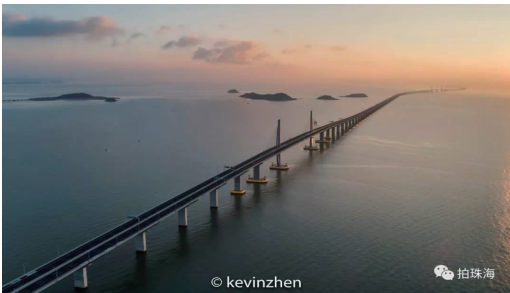


图 4 九洲航道桥之实景

江海直达航道桥是一座三塔斜拉桥(见图 5),采用了海豚型独柱塔,也是表达人类与环境和諧共处的美好愿望。而在大桥的施工过程中,的确采取了很多措施减少生态影响,实现了“白海豚不搬家”。



图 5 江海直达船航道桥之实景

跨度最大的一座斜拉桥,青州航道桥,位于整个海域的较中央,门形桥塔的横梁采用了中国结的形式,正寓意了两岸三地携手同心,共赴未来(见图6)。

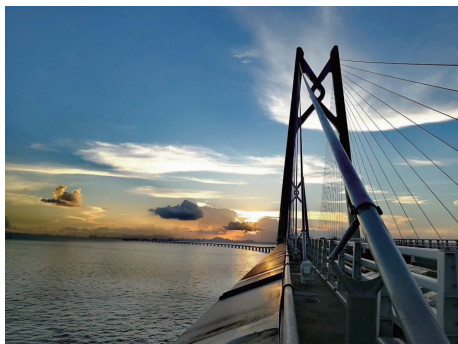


图6 青州航道桥之实景

东、西人工岛结合蚝贝设计主题,采用椭圆形岛型的岛形,简洁明快,利于水流疏导。并针对隧道敞开段“光过渡结构”采用由疏至密、赋予节奏变化、层层叠加的造型,达到光线渐变的效果,同时满足景观要求(见图7、图8)。

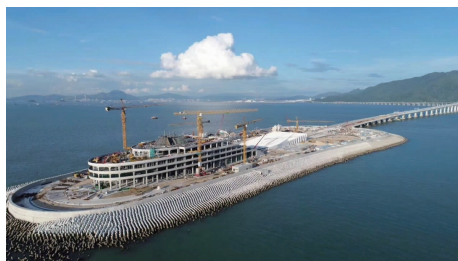


图7 港珠澳大桥东人工岛之实景

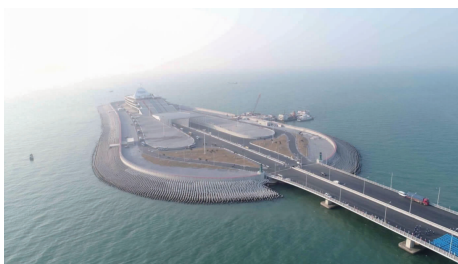


图8 港珠澳大桥西人工岛之实景

深中通道,在设计招标之前,开展了方案设计的国际竞赛,吸引了国内外多家知名设计咨询公司参与^[4]。竞赛分为两个阶段,两阶段的第一名方案均由丹麦COWI公司提供,其美学顾问为D&W Architecture。

第一名方案设计的美学主题是“天空——一个梦想”,其设计灵感来自飘逸、优雅的传统风筝,整个连线就像放飞风筝的长长的线,西人工岛就像风筝一样,面向东方太阳升起的地方,象征着追求超群、卓越,实现强大中国的梦想。

伶仃洋大桥的跨径超过1 600 m,采用独柱塔空间缆悬索桥(见图9);为了协调,中山大桥采用了单

根中央缆形式的悬索桥,亦采用独柱塔型;海上非通航孔引桥采用Y形桥墩,产生强烈的序列感(见图10)。图11为深中通道桥岛全景图。



图9 主航道伶仃洋大桥之实景



图10 非通航孔桥之实景



图11 深中通道桥岛全景图

从竞赛结果来看,前三名不约而同地采用了超大跨径空间缆悬索桥,其中第一、三名采用独柱塔,第二名采用的是A形塔。遗憾的是,在随后的实施过程中,伶仃洋大桥采用了传统的门型塔、整幅箱梁、平行主缆。但是优胜方案所确立的建筑美学框架被延续下来,西人工岛的平面造型基本承袭了竞赛第一名的“风筝”形状,桥梁设计所采用的两座大跨桥梁主塔呼应、引桥整幅式桥墩、墩塔构件晶体切面外观均是对优胜方案的继承。

4 难度挑战

在东海大桥、杭州湾大桥、青岛海湾大桥等一系列跨海通道的建设基础上,港珠澳大桥在桥梁工程方面的难度与挑战并不大,两个较大的不同在于:一是要求承台设置于海床面以下以减小整个工程的阻水率;二是主引桥大面积采用了正交异性钢桥面结

构桥梁,桥面铺装的研究也不容忽视^[2]。

预制承台置于海床面以下,承台与桩的连接技术成为关键,各施工标段的承包商也是各显神通。有的用传统的双壁钢围堰施工,有的用人工岛施工时的钢圆筒做围堰,有的则采用充气胶囊进行承台与桩基之间的止水施工。不管哪种方法,施工难度和工程造价均要有显著的增加。

钢桥面的铺装更多的是借鉴邻近香港常用的体系——浇注式沥青混合料(见图12)。该技术源于德国,在英国、日本应用较为广泛,逐步形成了MA(Mastic Asphalt)与GA(Gussasphalt)两种类型,都具有矿粉含量高、沥青用量高、拌和温度高等“三高”特点,流动成型,不需要碾压,只需要简单地摊铺整平即可完成施工。



图12 港珠澳大桥钢桥面铺装结构图

基于以前的研究,港珠澳大桥对浇筑式沥青进行了新的试验,提出下层GMA类型沥青。即:采用MA的级配,GA的生产工艺,以达到性能稳定、拌和时间短、施工效率高的要求。

当然,港珠澳大桥更大的挑战是在隧道工程:外海环境下的深埋长大沉管隧道的设计与施工。

沉管段隧道长度接近6 km,最大埋深在河床面以下29 m,断面采用两孔一管廊型式,宽度40 m(见图13)。隧道节段制作长度22.5 m,8个节段组装成一个180 m长的浮运安装管节。

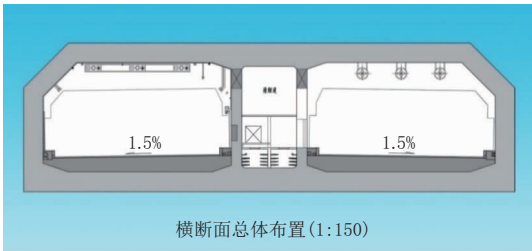


图13 港珠澳沉管隧道断面图

由于碰到了基槽回淤和边坡塌方的变故,E15管节曾经两度被拖回了船坞。沉管的合龙是一个关键节点,最终采用的是整体吊装式方案(见图14、图15)。

显然,单从技术角度而言,深中通道的难度与挑战要更大,主要表现在以下方面:

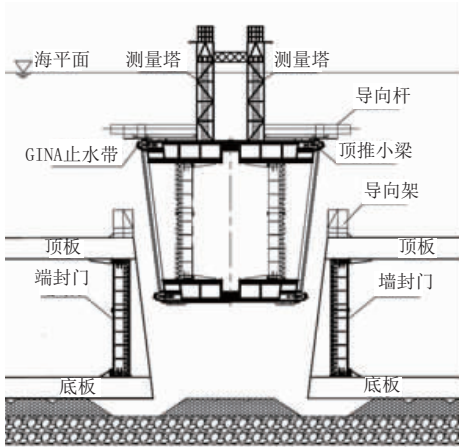


图14 合龙段示意图



(1)双向8车道的规模,让沉管隧道的宽度仅在功能上将比港珠澳的沉管隧道加大6 m左右,导致最终采用钢壳混凝土结构,标准宽度达46 m^[5](见图16)。

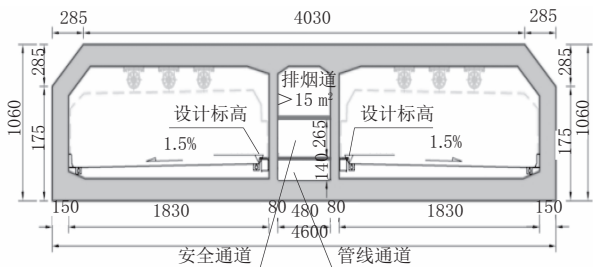


图16 深中通道沉管隧道断面图(单位:cm)

(2)而深中通道沉管隧道的合龙将采用预制推出方案(见图17)。

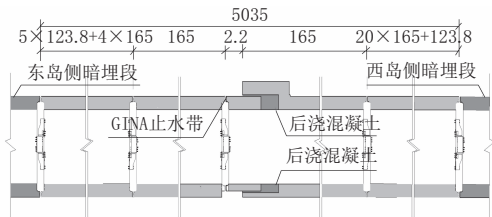
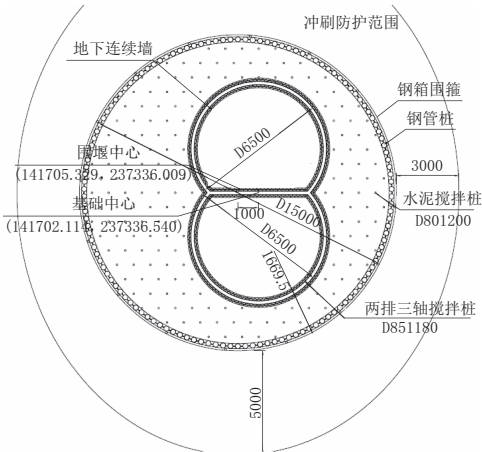
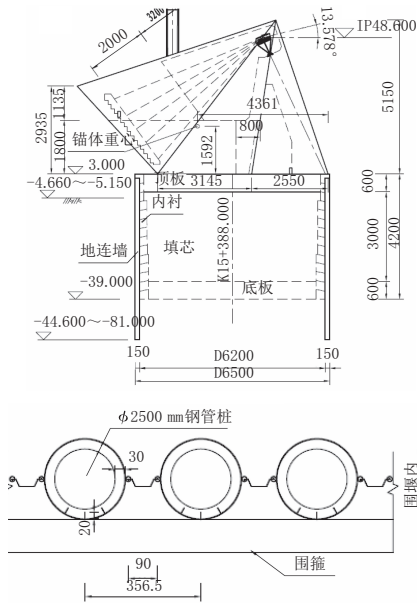


图17 深中通道沉管隧道合龙段施工方案图(单位:cm)

(3)海中建造超大跨径悬索桥,两个锚碇的设计与施工在国内亦是首次。经论证,采用锁口钢管桩围堰进行筑岛施工,利用地下连续墙作为锚碇基坑围护结构(见图18)。



(a)围堰平面图



(b)锚碇立面图

图 18 伶仃洋大桥海中锚碇施工示意图(单位:mm)

(4)东人工岛除完成桥隧转换外,还与机场互通立交重合,“水下互通”的建设,提出了不小的挑战。局部变宽段隧道断面达到 55 m 以上,结构处理更为困难;另外,超长海底隧道及地下互通立交运营安全及防灾也面临新的挑战(见图 19)。



图 19 深中通道东人工岛立交布置图

和港珠澳大桥不同,深中通道桥梁的车行道钢桥面铺装采用了另外一种体系——双层环氧结构,总厚度为 6.5 cm(见图 20)。

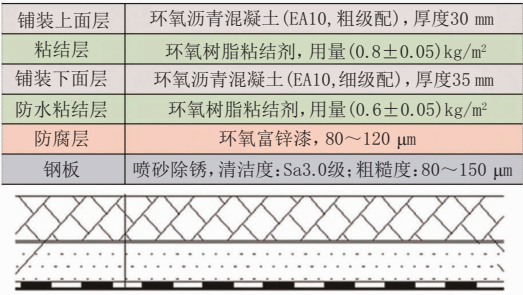


图 20 深中通道钢桥面铺装图

5 咨询服务

作为两大超级工程的咨询人,咨询工作始终贯彻“独立、科学、公正、严谨、细致、审慎、全面”的原则,充分借鉴具有类似规模和技术特点的跨海通道建设的经验,建立完善的咨询工作体系,对两个项目进行全过程、全方位的独立咨询。

港珠澳大桥咨询:联合体由上海市政工程设计研究总院作为主办人,成员单位包括林同棧国际集团、荷兰隧道工程咨询公司、广州地铁设计研究院有限公司。联合体在珠海设立了现场咨询项目部,咨询团队的组织架构如图 21 所示。项目部由项目咨询总负责人邵长宇设计大师负责全面管理工作^[6]。

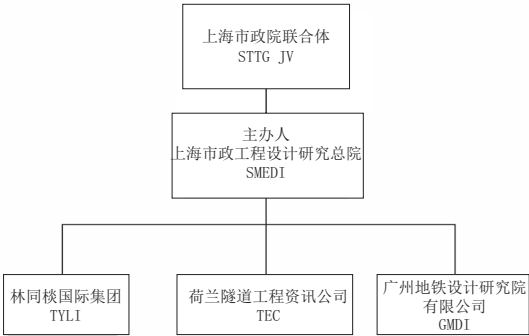


图 21 咨询团队组织架构总图

咨询联合体根据该项目的特点,建立了包括文件接收、工作分配、成果审核、文件发出等一系列管理文件的内部质量管理和质量保证措施。

从 2009 年 6 月进场咨询,到 2018 年 2 月交工验收,在 8 a 年多的咨询过程中,历经初步设计、技术设计、招标阶段、施工图设计,以及施工阶段。咨询联合体及时跟进了工程进度并开展了全方位、大量的咨询工作,提出了独立、客观、合理、有效的审查意见,充分体现了作为业主顾问应有的专业水准^[6]。

除了对所有基础资料、设计文件、专题研究的咨询审查外,咨询团队还为业主及承包商提供了技术培训(见图 22),施工阶段进行现场巡查(见图 23),每月提交巡查月报。

深中通道的咨询:联合体牵头人仍为上海市政



图 22 咨询团队培训课之实景



图 23 咨询团队现场巡查之实景

工程设计研究总院(集团)有限公司,成员单位包括:丹麦科威公司 COWI A/S、中铁隧道勘测设计院有限公司和中交第一公路勘察设计研究院有限公司。咨询工作主要分两个阶段开展。

初步设计阶段咨询重点工作包括以下方面:

- (1)本项目设计标准、设计依据的确定;
- (2)本项目基础资料,包括勘察、测量、专题研究、模型试验等方面成果资料的完整性、适应性方面的论证与确定;
- (3)对总体设计进行咨询;对结构方案比选的全面性、深度、合理性进行咨询,提交审查意见和优选意见;
- (4)结构设计的计算、分析与优化咨询工作;
- (5)全面充分地把握本项目的复杂性及其潜在的风险性,从大临设施、主体结构、人工岛及其上部建(构)筑物、环境保护、建设工期等诸多方面综合考虑,并咨询、审查设计文件,以确定本工程的合理造价(工程量);
- (6)综合考虑本项目的建设难度和自然环境条件,从桥梁基础、桥跨结构、隧道沉管寄放、浮运安装、基槽开挖与铺填、人工岛填筑等施工过程以及营运期间的防灾、减灾等诸多方面考虑并确定预防措施和设防标准等级,切实保障本项目在建设和营运期的安全;

咨询文件主要包括:桥、隧、岛、大临设施在内的

土建、交通、机电与监控等在内的接口技术与协调,确保初步设计完整性。

施工图设计阶段咨询关键工作包括:

- (1)审查初步设计文件批复意见及行业主管部门以及三地政府批文执行情况;审查各专题研究成果采纳吸收与基础资料选用的合理性与充分性;
- (2)重点审查构造细节、工艺工法的可行性、安全性与合理性;审查结构的可检性、可换性、可靠性、耐久性;审查接口的完备性;审查营运及维护方面的舒适性、安全性;
- (3)审查大临设施、建材供应与运输条件的适应性;
- (4)对桥、岛、隧的结构体系和构造的合理性、科学性进行审查,对结构安全性(抗风、抗震、抗船撞)等进行同深度验算、对施工阶段考虑施工荷载情形下的受力进行同深度验算、对可持续性设计进行审查、对施工工艺的合理性和风险可控性进行审查;
- (5)审查岛、桥、隧各分项美学设计的协调性、主题性和整体性;

(6)审查整个项目交通工程及附属设施的功能性、完备性;

(7)对桥、隧、岛在施工及运营阶段进行风险分析及评估,提出风险控制对策。

6 结 语

港珠澳大桥已通车运营近 5 a,并在 2023 年 4 月完成了竣工验收。深中通道也已在今年 6 月 30 日开通试运营。深中通道也已在今年 6 月 30 日开通试运营。在这两项超级工程的建设中,咨询团队充分发挥自主性,并结合自身经验,为项目的顺利进展提供了很多有效的意见。两大项目既有共同点,也有不同点。而不同的地方,往往就是需要攻关的难点,就是需要创新的地方。咨询团队和参建各方一起,努力创新,为建设世界级跨海通道的项目献计献策。

参考文献:

- [1] 张劲文,朱永灵.复杂性管理:港珠澳大桥主体工程管理思想与实践创新[J].系统管理学报,2018,27(1):186-191.
- [2] 孟凡超,刘明虎,吴伟胜等.港珠澳大桥设计理念及桥梁创新技术[J].中国工程科学,2015,17(1):27-35,41.
- [3] 孟凡超,刘明虎,张革军等.港珠澳大桥景观设计[J].世界桥梁,2022,50(6):14-20.
- [4] 陈伟乐,宋神友,周兴林.深中通道方案设计国际竞赛[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2020.
- [5] 陈伟乐,宋神友,周兴林.深中通道建筑及结构设计[M].北京:人民交通出版社股份有限公司,2022.
- [6] 戴建国,王毅.中外联合咨询大型桥隧项目的历程与体会[C]//中国公路学会桥梁和结构工程分会 2014 年全国桥梁学术会议论文集.北京:中国公路学会桥梁和结构工程分会,2014.