

海螺岛跨海大桥“廊桥一体”方案研究

王鑫¹,王帅¹,张桐¹,惠斌¹,杨京生¹,周晓革²,孟瑞明¹,吕志成¹

(1.北京市市政工程设计研究总院有限公司,北京市 100082; 2.秦皇岛秦正旅游房地产开发有限公司,河北 秦皇岛 066000)

摘要:以海螺岛跨海大桥项目为背景,介绍了该项目的情况,基于此对管线跨海方案进行判断和比选,并对所选方案进一步分析和完善,最终做出“廊桥一体”跨海方案并得以实施。在项目进行的过程中,面对前所未遇的条件,设计人员反复研究、大胆创新,最终做出适合的原创桥型,并获得专利授权。该方案对于管线布置开放而包容,在管线跨海的应用中有其独特的优势。

关键词:跨海大桥;廊桥一体;预制管廊桥;管线过桥

中图分类号: U442.5

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2023)10-0057-05

0 引言

中国面积在 500 m² 以上的岛屿有 7 372 个,总面积 72 800 多 km²,其中有人居住的岛屿为 450 个。近年来,随着我国国力与科技实力的逐渐强大,吹填工艺已达到世界领先水平,人工造岛技术更是发展迅速。对于近海特别是旅游资源丰富的岛屿,在周边环境允许的情况下,建设通岛桥能大大提高岛内生活的便利性。随着我国经济发展和旅游业的持续升温,人工岛或许会越来越多,而通岛桥的设计也有很大的发展前景^[1]。

1 项目概况

海螺岛位于秦皇岛市金梦海湾南侧、汤河入海口处的海域,是围填海形成的人工岛屿,围海造陆面积为 47.82 万 m²,现状照片如图 1 所示。跨海大桥全长 1.53 km,面积约 3.8 万 m²,作为海螺岛连接陆地的唯一交通通道,也是保障岛内生产、生活水源和能源补给的输送通道。负责岛内供给的管线有电力、通信、给水、再生水、污水、热力、燃气等,与桥梁一样亟需贯通。

2 研究与创新路线

2.1 管线跨海方案初步判断

桥梁跨海属于常规结构形式,但管线跨海案例目前较少,这是制约该项目的关键因素之一。根据现



图1 秦皇岛市海螺岛现状照片

有的施工技术,管线所用的过河方案主要有随桥敷设、管廊桥、明挖管廊、暗挖管廊、顶管管廊、盾构管廊等^[2]。考虑到海洋与河流的区别,对这几种管线跨越方案分析如下:

(1)结合海浪影响、环境污染、水深与结构埋深等原因,明挖方案基本不可行。

(2)该区域海底的中上部土层以砂层为主,下伏基岩主要为花岗岩,暗挖方案不适合。

(3)圆形顶管、矩形顶管、盾构隧道这几种方案在技术上可行,制约实施的主要因素是方案造价过高。

(4)管线随桥敷设方案,在造价方面优势明显,而且施工过程简单,能有效避免水中施工的风险及不利因素,但该方案限制条件较多,需满足相关运营要求方可采用。

(5)架设管廊桥方案,工艺成熟、施工简便、造价不高,适用于对景观无特殊要求的区域。

综合比较,管线随桥敷设与架设管廊桥这两种方案均具有可行性,需对其进行方案深化后进一步比选。

收稿日期: 2023-06-10

作者简介: 王鑫(1982—),男,学士,教授级高级工程师,从事桥梁、隧道、综合管廊、深基坑、管线穿越等设计及咨询工作。

2.2 廊桥一体方案制定

通岛桥连接岛屿与内陆,负责岛内供给的管线(电力、通信、给水、再生水、污水、热力、燃气等)其特点是管线种类多、体量大,布设远比常规管线过桥布设方式复杂。对几种管线过桥方案进行布置与比选^[1]:

(1) 预制管廊方案

如图2所示的断面及图3的模型。机动车道采用预制小箱梁结构,两侧的人行及非机动车道采用预制管廊结构,将管线布置于廊内,实现了管线与桥梁结构分离,运营安全、检修方便。钢筋混凝土管廊箱室自带保温功能,对管线抗冻十分有利,同时也阻挡了海洋环境对管线的腐蚀作用。但管廊箱室体量较大,预制结构运输吊装难度较高。

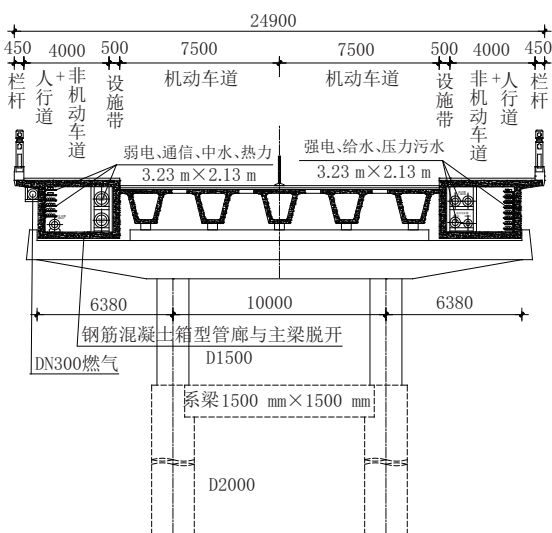


图2 预制管廊方案断面图(单位:mm)

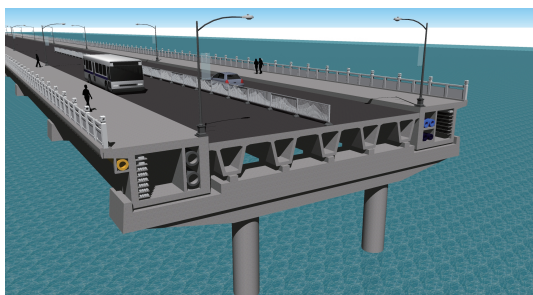


图3 预制管廊方案模型示意图

(2) 吊架方案

图4所示为吊架方案横断面图,将电力电信管线布置于步道下,燃气吊于远端悬臂下,其余压力管线布置于桥中悬臂吊架下,管线吊架跨越方案工程案例照片如图5所示。这种布置结构轻巧、检修方便、造价较低,但管线布置较分散,后期检修、换管不方便。钢结构吊架暴露在海洋环境中,需要经常刷防腐漆,养护成本较高。管线暴露在空气中不利于抗冻

及防腐,需额外增加管线外保温及防腐措施,方案该耐久性不佳。

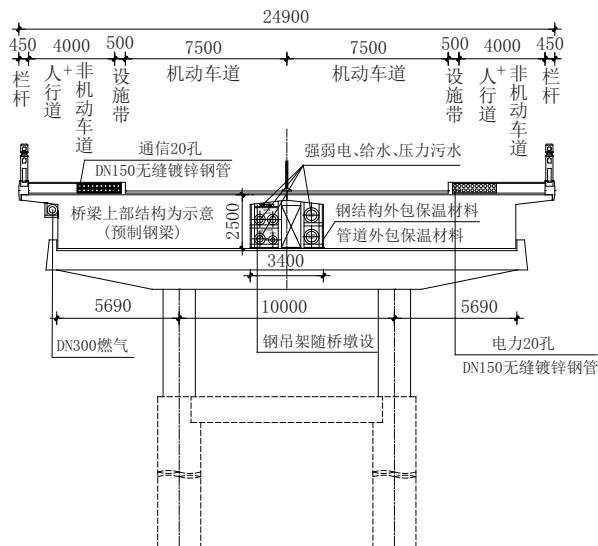


图4 吊架方案横断面图(单位:mm)

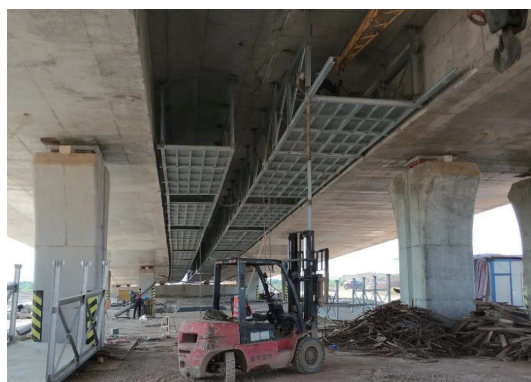


图5 管线吊架跨越方案工程案例

(3) 预制管廊+桥侧人行道方案

图6所示为预制管廊+桥侧人行道方案断面图。

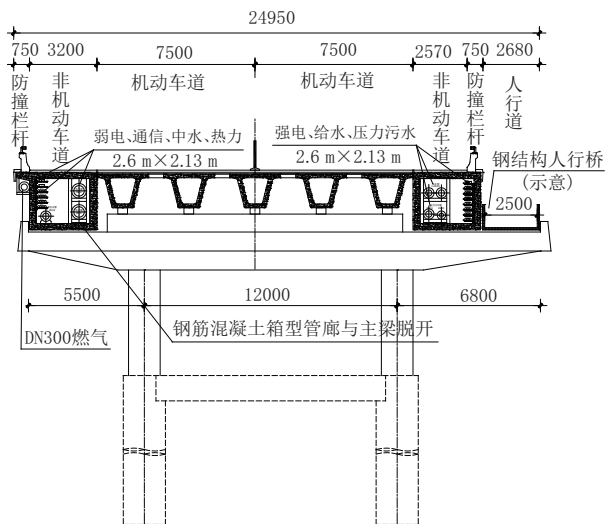


图6 预制管廊+桥侧人行道方案断面图(单位:mm)

如图6的断面及图7的工程案例。该方案将人行道采用钢结构人行桥布置于桥侧,功能清晰、造型新颖景观好。但钢结构人行桥后期养护成本较高,人

行舒适度也不如桥面步道,且人行道布置于桥梁一侧,与道路衔接需增加过街设施。图 7 所示为澳大利亚 Andurah Traffic Bridge,将人行道布置于桥侧下方,其建成时间为 2017 年,长度是 230 m。



图 7 澳大利亚 Andurah Traffic Bridge

这 3 种方案中,吊架方案造价低于另外两个预制管廊方案,在建设阶段有较大经济性优势。但吊架方案的抗冻性及耐久性较差,后期养护费用较高;吊架稳定性也不佳,难以承受大体量的压力管线。综合考虑功能、耐久性、可实施性及景观等主要因素,最终选用预制管廊方案,采用廊桥一体的架设方式。

2.3 管廊梁型选取

预制管廊方案选定后,如何制定合适的梁型成为了接下来工作的重点。根据已有的预制管廊及桥梁项目经验,提出以下几种可行的方案。

(1) 普通混凝土整体式预制箱梁

管廊梁体采用普通混凝土整体式预制箱梁,如图 8 所示,造价不高、结构整体性好、施工方便、保温及防腐性能也比较好,但 30 m 预制梁吊装重量达到 300~400 t,运输及吊装难度较大。

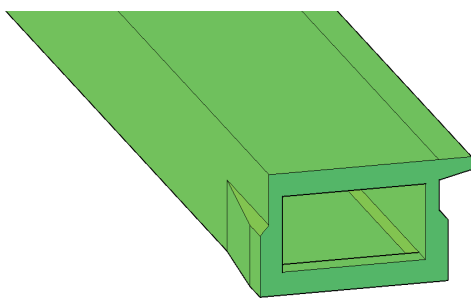


图 8 预应力混凝土预制管廊断面

(2) 高性能材料整体式预制箱梁

UHPC 高性能混凝土,因其卓越的抗拉及抗压性能,相比同体量普通混凝土预制梁可降低重量 1/3 以上,且防腐性能较好,是理想的预制管廊的材料。但其造价较高,难以大规模采用。钢壳混凝土性能优于普通预制混凝土结构,能有效降低结构自重,造价增加也不太多,但其外包钢板存在海洋环境下的耐久性问题。

(3) 钢筋混凝土组合结构整体式预制箱梁

受启发于城市立交常用的钢筋混凝土组合箱梁,预制管廊的底板及腹板采用耐久性较好的耐候钢,顶板采用混凝土桥面板,整体为箱型断面。为减少竖向加劲板的设置数量,腹板采用波形钢腹板,整体吊装重量约 180 t。该方案虽能兼顾造价与吊装重量,但钢结构保温性能差,耐久性也不如混凝土结构。钢筋混凝土组合预制管廊效果图如图 9 所示。

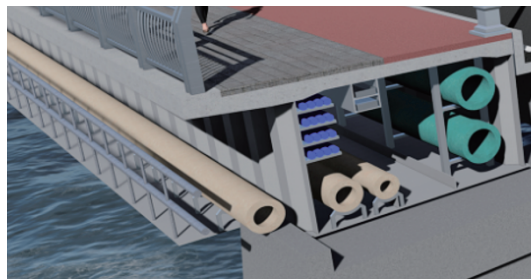


图 9 钢筋混凝土组合预制管廊

(4) 拼板式预制箱梁

预制管廊工法中有一种拼板式预制方案,将管廊拆分成多个预制板,吊装就位后再现浇连接段形成整体截面^[3],如图 10 所示。管廊标准断面按 30 m 计,拆分后可将单板控制在 100~200 t,采用常规机械即可运输及架设。但该方案需要将预制板吊装就位后在桥上现浇湿接段形成整体断面,并分多次张拉钢束,这对于海上施工来说难度较大,且施工周期较长。

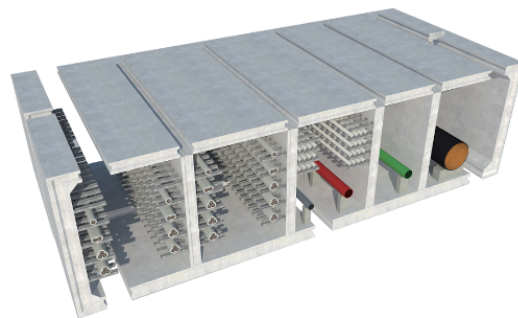


图 10 拼板式预制装配管廊

考虑到实施难度,梁体整体预制式方案更具可行性,而采用普通混凝土预制梁造价最低。为减少结构吊装重,可通过张拉预应力来减少板厚,并通过优化廊内管线及空间布置来减少箱室净尺寸,最终将吊装重量控制在 300 t 左右,使后续运输及吊装方案可行^[4]。

2.4 管线布置分析

选定了方案及梁型后,还需要分析各过桥管线的性质及特点,确保各管线均能合理布设、顺利实施,且满足运营期间的安全及管养方便。该桥上共有

电力、通信、给水、再生水、污水、热力、燃气管线。出于桥梁安全性考虑,《城市桥梁设计规范(2019版)》(CJJ 11—2011)3.0.19规定:不得在桥上敷设污水管、压力大于0.4 MPa的燃气管和其他可燃、有毒或腐蚀性的液、气体管。条件许可时,在桥上敷设的电信电缆、热力管、给水管、电压不高于10 kV 配电电缆、压力不大于0.4 MPa 燃气管必须采取有效的安全防护措施。需在满足规范的前提下在合适的位置布设各管线。

(1) 电力、电信

电力管线为10 kV 配电电缆,通信管线包含移动、联通、电信,采用光纤敷设。电力及通信管线在廊内可利用支架敷设在结构侧墙。

(2) 给水、再生水

给水与再生水均为常规带压管线,在廊内可利用支墩敷设在结构底板。

(3) 污水

《城市桥梁设计规范(2019版)》(CJJ 11—2011)3.0.19规定:不得在桥上敷设污水管。3.0.19条文说明中表示:对于超过本条规定的管线,如因特殊需要在桥上或地下通道内通过,应作可行性、安全性专题论证,并报请主管部门批准。本桥污水管线为岛上排污使用,设计为带压管线,管材采用衬塑复合钢管,利用托臂敷设在侧墙或利用支墩敷设在底板。在项目设计过程中,甲方需对设计提出的污水管线过桥方案委托专门的安评单位编制专项安全可行性报告,并通过评审后方可实施。

(4) 热力

过桥热力管线为 $2 \times \text{DN}500$,桥上布设一处大推力固定支墩,其余支墩为滑动墩及导向墩。大推力支墩采用H型钢固定支架,单个支点传给结构的最大顺桥向水平推力190 kN,全跨水平推力达到1 060 kN,需要用该水平推力对所在跨的桥梁下部结构抗进行抗弯、抗剪复核,还需要根据各支点传给预制管廊板的弯矩对结构进行局部抗弯能力复核及加强。其余滑动墩及导向墩作用力相对较小,但也需逐个复核。

(5) 燃气

本项目过桥燃气管压力为0.4 MPa,可在桥上敷设。因燃气管线具有一定危险性,不适宜与其他管线共舱,应单独敷设,且尽量布置在不封闭的空间。结合已有工程案例及进一步分析,做出以下几种方案进行比选。

a. 燃气管线布置于桥面步道外侧,增加一道护

栏作为防护措施。这种方案安装及检修方便。但需多设置一排栏杆,并占用一部分人行道宽度(见图11)。

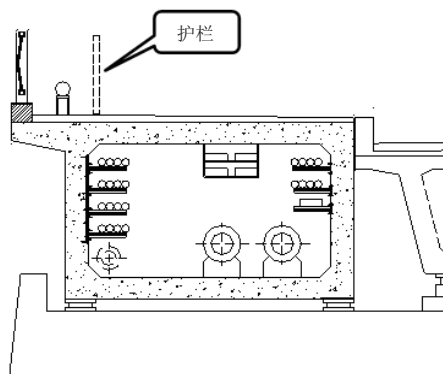


图11 燃气管线布置于桥面步道外侧

b. 燃气管线布置于管廊悬臂下。如图12所示,燃气单独布置比较安全,且综合造价低、管线隐蔽、外形美观。但布置在桥面以下,后期检修不便,吊架自身也需经常维护。

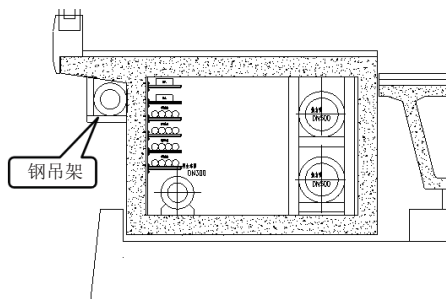


图12 燃气管线布置于管廊悬臂下方方案

c. 燃气管线布置于管廊侧面,设置检修平台。如图13所示,燃气单独布置比较安全,且检修方便。但此方案增加造价较多,钢结构检修平台影响桥梁整体景观,且存在耐久性问题。

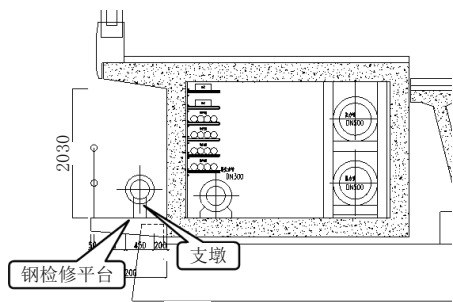


图13 燃气管线布置于管廊侧,设置检修平台方案

d. 燃气管线布置于钢箱型空心地袱内(见图14)。这种方案安全性较好,安装及检修方便、管线隐蔽、外型美观。但栏杆地袱需采用钢结构单独设计及施工,增加了造价,且同样存在耐久性问题。

e. 燃气管线采用海底定向钻施工。该方案燃气管线单独布置比较安全,对桥梁布置及整体景观无

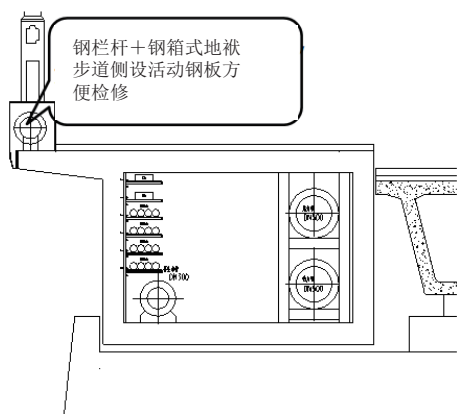


图 14 燃气管线布置于钢箱型空心地袱内方案

影响,造价不高、施工快,但后期检修不便。

以上几种方案均有类似的成功应用项目案例。方案一养护、检修方便,而方案二的景观及功能性最好,综合考虑采用方案一。

(6) 管线分舱

考虑到管线相互之间的影响与运营期间的安全,与各管线的产权单位共同沟通后确定管线分舱布置,即电力/通信/给水/再生水共舱,污水/热力共舱,燃气单独布置在桥面步道一侧。

3 结 语

在海洋环境下,随桥管线的敷设方式直接影响建成后管线和桥梁的运营安全。在海螺岛跨海大桥项目中,设计团队经过反复论证,创新提出了廊桥一体的设计方案,并获得专利授权。采用桥梁上部结构预制小箱梁结合预制管廊的方案,将管线布置于廊内,避免了明敷方式管线易受腐蚀、易受冻难题,同时方便管线及结构维护、保障桥梁运营安全。本桥型针对海螺岛项目的特点开展设计,为同类跨河或跨海项目提供技术参考。

参考文献:

- [1] 王鑫,蒋大振,王维伟,等.跨海通岛桥梁设计要点浅析[J].工业建筑,2021(增刊):453-458.
- [2] 王鑫,赵洋,蒋林林,等.综合管廊结构过河方案探讨[J].市政技术,2020(5):221-225.
- [3] 王鑫,崔毅,崔宇,等.预制装配式综合管廊在北京地区的应用[J].特种结构,2019(增刊):71-75.
- [4] 周生建,王鑫,王明伟,等.管廊桥混凝土主梁精细化分析[J].公路,2022(3):107-111.
- [5] 周生建,王维伟,王明伟,等.BIM 技术在桥梁有限元分析中的应用[J].特种结构,2022(5):101-106.

(上接第 35 页)

参考文献:

- [1] CJJ 37—2012,城市道路工程设计规范[S].
- [2] 张雨化.道路勘测设计[M].北京:人民交通出版社.2002.
- [3] 大连市统计局.大连统计年鉴[M].北京:中国统计出版社,2021.
- [4] 李伟.我国城市智能交通管理问题研究[D].济南:山东财经大学,2018.