

一个进一步优化的渤海海底隧道建设方案*

姚中杰¹ 杨鸿章²

(1 山东工商学院半岛经济研究院, 山东 烟台 264005)

(2 山东工商学院工商管理学院, 山东 烟台 264005)

摘要 在隧道建设的桥梁方案、桥隧结合方案、全隧道方案等既有方案各有利弊、选择难以定夺的困惑下,提出一个进一步优化的“蛙泳式”的设计方案,将最大限度地集成各方案的优点、规避其弊端,使通道项目既充分利用了渤海口的各种有利条件,又能够最大限度地保护环境、降低成本、提高安全性。该方案将为项目的可行性提供又一坚实证据,对决策者最终下定“开建”决心具有重要参考价值。

关键词 跨海通道工程;海底隧道;渤海口;方案

引言

在渤海跨海通道项目的研究中,有关的概念、重要的地理地质数据需要搞清楚,尤其是“渤海海峡”这一名词亟待厘清,因为它涉及到从烟台至大连之间这条陆路化通道未来的准确称谓问题。目前,至少已有“渤海海峡跨海通道”、“渤海湾跨海通道”、“烟大渤海跨海通道”、“蓬—旅跨海通道”等不同称呼。在历时25年的研究中,“通道”的建设方式一直是学者们感兴趣的课题,诸如桥梁、隧道、桥隧结合等,其中,桥梁也分为多种建法,如斜拉、悬索、桁梁、海面漂浮等;隧道也分多种如海底深埋、海底伏贴、海底沉管等。但无论哪一种方案,都面临着现实或潜在的极大挑战。研究工作的当务之急是给出一个相对风险最小、最为合理的建设方案。

1 关于“渤海海峡”概念的厘清

“海峡”这一概念,其较为权威的释义是指在两块陆地之间,两端连接海或洋的、比较狭窄的水域,它通常位于两块大陆或大陆与其邻近岛屿以及两个

岛屿之间。在关于渤海跨海通道的研究中,专家们也许并没有在意已经约定俗成的“渤海海峡”这一称谓的不妥。但按照海峡的定义及其有关的规范标准来衡量,称之为“海峡”其实是不准确的(类似不严谨的“海峡”称谓可以说并不在少数,如庙岛海峡、巴士海峡、墨西哥湾的尤卡坦海峡等)。海峡是有最基本的长、宽尺寸的,而所谓的渤海海峡,并未如琼州海峡、台湾海峡等一样有关这方面的完整数据量化界定(参见表1),而只是“黄渤海分界线”有确切的界定和计量,这根本不能成为“渤海海峡”概念在学术上成立的理由和依据。如果默认这样的界定,那么相对海岸上的任意两点之间的海域皆可称作“海峡”了。科学研究就是要“吹毛求疵、严谨求证”,否则,名不正而言不顺,往往导致后续相关工作或研究“跑偏”。因此,从早已“约定俗成”以及黄、渤海交界海域两岸的实际情况看,“渤海海峡”的正名,亟需海洋、地质等相关部门就其海陆“四至”给出权威的划定和相关测量数据。

渤海跨海通道研究中,对于学界另一个不容忽视的问题是,关于“隍城水道、小钦水道、大钦水道”等相关的海洋地理数据也在“打架”,有的说是其中两个水道间的水深接近于0 m,而另外的数据则说航道

收稿日期:2016-04-28

* 中国行政体制改革研究基金项目“加快渤海海峡跨海通道论证推进国家决策研究”(2015CSOARJJKT018)资助

作者简介:姚中杰(1965—),男,研究生,主要从事经济管理、可持续发展、三农问题等研究。E-mail: sdyzhj@163.com

水深30~45 m。类似的如渤海某些特定区域的水深、海沟分布等重要参考数据,也存在较大出入。如果这些重要的基础数据都搞不准,也就难怪通道的立项决

策如此徘徊不前了。而对于研究者们来说,需要实地考察弄清楚的是这三条水道是否存在?其深度到底是多少?

表1 中外部分海峡区位及有关数据

Table 1 Strait location and related data at home and abroad

名称 Name	区位 Location	数据指标 Data index
英吉利海峡 English Channel	位于大不列颠岛与欧洲大陆之间,西南沟通大西洋、东北连接北海 Located between Great Britain Island and European continent, connecting Atlantic Ocean in the southwest and North Sea in the northeast	长约600 km,最宽处为220 km,最窄处33 km,面积约9万 km ² About 600 km long, 220 km at the widest point and 33 km at the narrowest point, with an area of about 90000 square km
马六甲海峡 Malacca Strait	在马来半岛与苏门答腊岛之间,西北端通安达曼海,东南端连接南海 Located between Malay Peninsula and Sumatra Island, connecting the Andaman Sea in the northwest and the South China Sea in the southeast	全长约1080 km,西北部最宽达370 km,东南部最窄处只有37 km About 1080 km long, 370 km at the widest point in the northwest and 37 km at the narrowest point in the southeast
直布罗陀海峡 Gibraltar Strait	位于西班牙最南部与非洲西北部之间,连接地中海和大西洋 Located between Spain most south and northwest Africa, connecting the Mediterranean and the Atlantic	长约90 km,最窄处14 km,西口最宽处达43 km;最浅处301 m,最深处1181 m,平均深度约375 m About 90 km long, 43 km at the widest point in the western entrance and 14 km at the narrowest point; with 301 m at the shallowest point, 1181 m at the deepest point and an average depth of 375 m
台湾海峡 Taiwan Strait	位于亚欧大陆与中国台湾岛之间,呈北东—南西走向,东北接东海、西南连南海 Located between Eurasian Continent and China's Taiwan Island in the northeast-southwest direction, connecting the East China Sea in the northeast and the South China Sea in the southwest	长370 km,北口宽200 km;南口宽410 km;最窄处130 km。最深处1000 m,平均深度50 m,总面积8万 km ² About 370 km long, 200 km wide in the north entrance; 410 km wide in the south entrance and 130 km at the narrowest point with 1000 m at the deepest point, an average depth of 50 m and an area of 80000 square km
琼州海峡 Qiongzhou Strait	位于中国雷州半岛和海南岛之间,呈东西向延伸,西接北部湾,东连南海北部 Located between China's Leizhou Peninsula and Hainan Island in the east-west direction, connecting Beibu Gulf in the west and the South China Sea in the east	长约80 km,宽20~40 km,最窄处18 km,面积0.24万 km ² ,最大深度114 m,平均水深44 m About 80 km long, 20~40 km wide and 18 km at the narrowest point with 114 m at the deepest point, an average depth of 44 m and an area of 2400 square km
渤海海峡 Bohai Strait	位于中国山东半岛与辽东半岛之间,连接黄海与渤海 Located between China's Shandong Peninsula and Liaodong Peninsula, connecting the Yellow Sea and the Bohai Sea	仅有“最窄处106 km”这一数据 106 km wide at the narrowest point

注:根据有关资料整理。

Note: According to the relevant information.

2 关于蛙泳式隧道设计方案

2.1 方案的提出

跨海通道项目1.0版“南桥北隧”这个最初方案,设想的是公路、铁路两用^[1],但后来的研究表明,桥梁通道与外部环境的相互作用巨大,弊大于利,基本可以断定是行不通的^[2]。如,除了恶劣气象状况下停运或发生意外等潜在风险外,在遭遇地

震、外力攻击等导致大桥垮塌的情况下,作为在地表特定空间内“做加法”工程的桥体本身就会成为阻断航道的障碍物。

2.0版的全隧道方案,即老铁山与北隍城岛之间的这个“深水段、航道段、超宽段”海域,采用“隧道”穿越方式是最为可行的选择,也是一致公认的在诸如抗震能力、全天候运行、空间利用、环境保护等很多方面具有突出优势的合理方案。既然如此,那么对于建设隧道难度更低的南段,排除“桥梁”而

选择“隧道”也就顺理成章了。这也是 2.0 版合理性的理由之一。但 2.0 版并非十全十美,它存在因“海底”这一特定空间而带来的诸如突水、施工、救援、通风等若干不利因素^[3],因此它不仅需要理论上、更需要现实上可靠的安全保证。有鉴于此,近期有关的研究机构或政府部门在推荐方案的选择上,再度关注和青睐第一方案。如,基于勘察设计建设、运营成本,风险防范,安全保障,灾害逃生救援等关键问题上的反复论证、比选,2015年3月,在国家发改委基础产业司召开的渤海海峡跨海通道座谈会上,渤海海峡跨海通道战略规划研究课题组向国家发改委、交通运输部规划司等部门汇报了该通道的

经济性,建议通道由铁路和公路通道组成,北段公路和铁路分建隧道,南段公路和铁路合建桥梁,公路投资需要 4223.9 亿元,铁路投资需要 2637.6 亿元,合计总投资为 6861.5 亿元。总之,跨海桥梁与隧道均具有其特点(表 2),至今仍处于纠结状态的 1.0 版与 2.0 版两种方案,依然存在较大的分歧,究竟选定哪一个尚无定论^[4]。如何打破僵局?本研究设想的 3.0 版“蛙泳式”隧道设计方案,旨在最大限度地趋利避害,使渤海跨海通道在建设、施工、运营、安全、救援保障、海洋环境保护、成本收益等若干方面得到统筹考虑。

表 2 跨海桥梁与隧道优势、劣势比较

Table 2 Strength and weakness of cross-sea bridge and tunnel

优势 Strength	技术成熟和经验丰富,工程建设相对容易;可多工作面平行施工,工期较短,工程造价较低;可以公路、铁路两用,通行量大,景观视野宽,驾驶舒适 With mature technology and rich experience, engineering construction is easier; with parallel construction of multi-working faces, construction period is shorter and project cost is lower; with highway-railroad dual-use, the traffic passes is larger, landscape is wider and driving is more comfortable
桥梁 Bridge	完全暴露于几无遮拦的海面之上,与外部环境之间的相互影响较大,雨雾冰雪风浪等气象灾害对桥梁的建设、运营易发生不可控、不可预期的灾难性影响;难以达到设计车速和全天候运行;海上施工作业受恶劣气象影响较大;海洋湿冷环境对基础设施侵蚀较重,维护成本高、难度大;遭遇地质灾害、军事袭击等潜在威胁时,抗损毁力低
劣势 Weakness	The construction and operation of bridge is seriously influence duncontrollably and unpredictably by the complete exposure to sea surface, the bigger interaction with external environment and the meteorological disasters such as rain, snow and ice storms; hard to achieve designed vehicle speed and all-weather operation; marine construction working is influenced more seriously by the terrible weathers; corroded by the sea environment, infrastructure maintenance is more expensive and difficult; faced with potential threats such as geologic hazards and military attacks, detrimental resistance is low
优势 Strength	几乎不占地表空间,不与外部环境产生相互作用,不受外界不良状况的干扰;施工、运营可全天候不间断进行;与地面路网衔接线无须太长;沿线空间拆迁量较少;具有较强的耐损抗灾能力;养护成本较低;通达安全、快捷、准时 Occupy little surface space, without interaction and disturbance of external environment; construction and operation can take place continuously in all weather; connection road with traffic network is shorter; removal quantity is lesser; incident ability is higher; maintenance cost is lower; arrival is safer, faster and on time
隧道 Tunnel	环境封闭,需不间断通风换气;勘探、开凿等难度大,投入多,总造价较高;海底地质情况复杂,突水、爆岩等风险较大;工作面狭窄、潮湿闷热、不见阳光等施工条件较差;发生意外时救援、逃生等局限性较大;驮背过隧道需要专门的接驳场地
劣势 Weakness	With enclosed environment, continuous ventilation is necessary; prospection and tunneling are more difficult and expensive; with complicated seabed geological condition, the risks of water inrush and rock blasting are higher; the construction condition of working face, such as narrow, heat, humidity, lack of sunlight and etc. is worse; escape-rescue in accident is limited; piggyback transport needs special transship field

注:根据有关资料整理。

Note: According to the relevant information.

2.2 设计思路

蛙泳是一种模仿青蛙游泳动作的泳姿,其基本特点是,运动员潜入泳池后双臂每拨水一次,头部就要冒出水面呼吸一次,如此交替。对于超过 30 min 的长距离的隧道旅行而言,过客总要承受一种压抑、焦虑的心理过程。鉴于渤海口一线超长距离、复杂海底地质、海洋气象灾害频发等诸多问题的约束,模拟蛙泳动作,设想隧道的建设方式,可采取隧—陆—

隧交替的蛙泳式隧道方案,即一陆两隧(一明两暗)或两陆三隧(两明三暗)的跨海通道模式,充分利用岛礁有利条件,增加岛陆线路长度,降低成本,提高安全等级。这种方式,既不同于南桥北隧,也不同于完全的海底隧道。具体地说,就是在根据地质勘探结论确定海底隧道的线路走向后,以庙岛群岛相关岛屿及其临近的明、暗礁为依托,建设一个或两个长 5~8 km、宽 0.3 km 的人工岛,以岛陆上封闭式(或

半地下式)明隧道两端连接海底暗隧道的方式,建设跨海通道(如图1所示)。

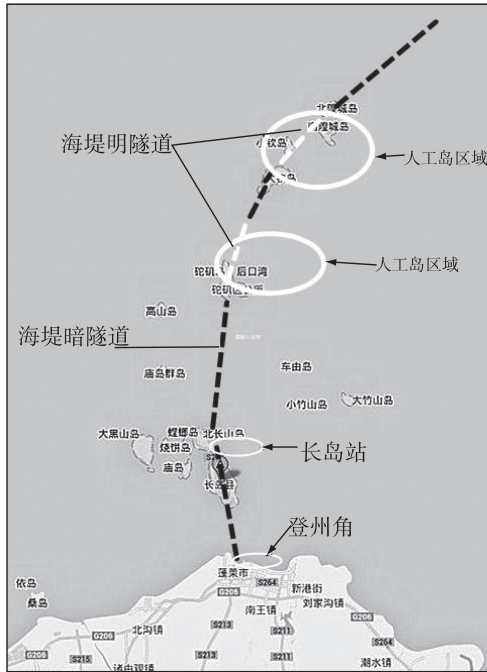


图1 蛙泳式隧道示意图

Fig.1 Breaststroke type tunnel diagram

人工岛的建造位置,如果按照1个设计,大致可以选择在北隍城岛与大钦岛之间的海岛及海域;如果按照2个设计,则可以在砣矶岛附近增加一个。人工岛的具体位置和个数,最终应以地质勘查结果和隧道线路确定后的实际需要来决定;其具体长度、宽度、海拔高度、形状等可根据两端所连接的海底隧道出入最大纵向坡度、三条隧道的间距和隧道灾害救援、接驳、通风排水、旅游观光等服务功能之需要以及海洋环境状况、各岛礁的实际情况等进行设计(如图2所示)。

人工岛建设所需的土石料,一期工程可使用陆地来料抛填,在满足开挖海底隧道施工断面场地的需要之后,二期工程即可利用开凿隧道运出的渣石,继续填充和扩大面积,直至达到人工岛的设计要求。远期,如果要继续扩充或进一步提升人工岛的标准,可以利用隧道通车之便,通过专用工程列车从陆地运送填海土石。与船舶相比,铁路运输量大且快,造岛效率将大大提高。利用这种便利进行填海造陆,可以大规模扩大海岛的陆地面积,以利承载更多人口,改善居住条件,增加旅游服务场所的承载力,打造现实版的“海市蜃楼”旅游品牌。目前,龙口市投

资100亿元、面积为 35 km^2 的人工岛正在建设,这对于跨海隧道所需人工岛的建设是很好的借鉴,其施工技术、建设队伍、施工设备都是可以利用的。

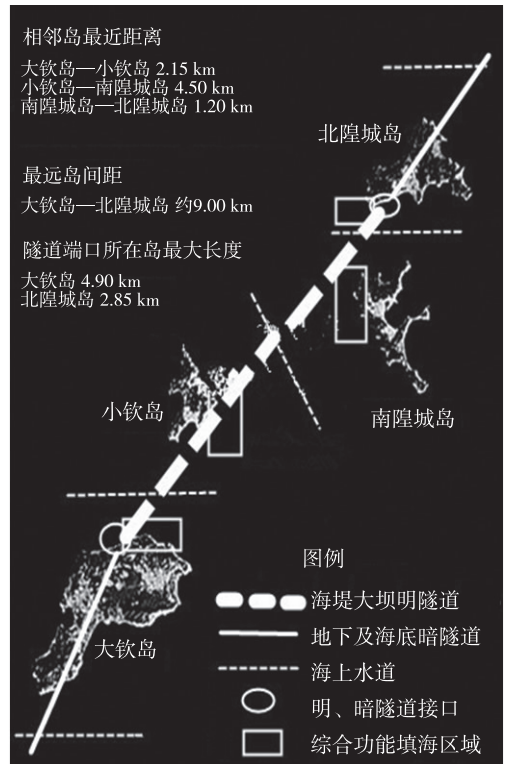


图2 人工岛所在区域岛屿方位及相关情况示意图

Fig.2 Location and distance diagram of islands related with man-made island

以建设1个人工岛为例。根据初步研究结论,渤海口隧道沿线南段(从蓬莱角起点至人工岛),海底隧道长约60 km,沿线海域平均水深为20 m左右,在避让三条深度在77~119 m海沟的前提下,海底隧道可选择浅埋的方式开凿,埋深一般可不超过海底以下60 m,这有利于降低地压、水压,还可以避免随深度增加而升高的隧道内的气温,提高隧道的安全性并降低工程造价。同时,在南长山岛设立地下车站,在北隍城岛设立竖井,作为施工工作面和隧道通风之用;北段(从老铁山至人工岛)海底隧道长约45 km,沿线海域平均水深60 m,有一条最深超过160 m的海沟,应采取建设位于海底之下100 m的深埋隧道方案^[5]。北段建设海底隧道是南桥北隧和全隧道两种方案都要面对的,也是整个跨海通道工程的难点所在(如图3所示)。目前,世界上尚无海底部分长度超过欧洲隧道(37 km)的跨海通道工程,因此,长距离的通风、排水和地质灾害应急等问题没有经验可借鉴。

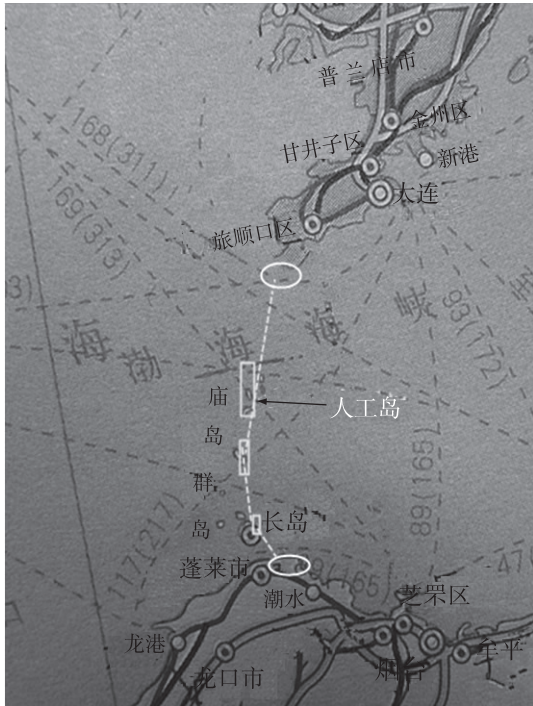


图3 人工岛在跨海通道线路中的位置示意图

Fig.3 Man-made island location in the cross-sea channel line

这种利用人工岛上的明隧道加以连接,使海底隧道线路一次或二次冒出地表的蛙泳式隧道,整体上仍属于全隧道方案。从总长度上看,渤海通道相当于两个欧洲隧道工程。该方案由于采用人工岛上登陆路段的设计,其独特优势表现在:可增加更为宽敞便利的施工工作面;有利于运营后隧道内部的通风泄压;能够大大降低施工、运营风险,提高海底隧道段的安全保障性能、增强综合服务功能;有利于在发生地震、火灾、突水塌方等意外或突发灾害时,提供便捷、充足的逃生、救援场地;封闭或半地下的明隧道部分,不会像跨海桥梁那样受到外部灾害气象不可抗拒性的影响,能够确保整个通道的全天候畅通,也不会对海洋、海岛的自然环境造成破坏或干扰;即使计入造岛成本,与同等长度的海底隧道相比,岛上明隧道路段的工程部分所节省的建设成本,也仍可降低整个跨海通道工程的总造价。从总体上说,人工岛兼有旅游点、中继站、安全避难所、接驳点的综合功能。

简而言之,蛙泳式方案就是在以总体海底隧道穿越海峡的框架下,以人工岛为依托,建设一段海岛铁路,两端与海底隧道相衔接。由此可以增加通道的综合服务功能,提高隧道的安全性,同时降低跨海通道项目的总造价。

3 跨海通道优化方案前瞻

(1)作为蛙泳式隧道方案的工程主体部分,人工岛一期的海堤建设,要满足海上铁路铺轨通车的条件;二期要跟进扩大填海面积,满足综合服务功能如救援逃生、接泊、灾害处置驿站的需要;三期进一步填海造地,以满足旅游休闲、产业发展、港口建设、人居、海上航运救助、海防保卫等需要;远期,依托区间列车的极大便利和大运输量特点,要大规模从陆地运进土石进行填海造地,建设长岛县副中心城镇。

(2)人工岛建设,应该设计部分区域的两侧贯通水道,以利于海水交换和海洋生物的活动,同时可以建设一段桥梁,桥下空间可提供渔民海上渔业生产活动通行便利,但不以货运航道使用和设计为标准,大船禁止通行。

(3)不能以建设桥梁代替人工岛,二者功能和作用是大不相同的。人工岛除了作为通道的作用外,更重要的是“安全岛”的作用,而桥梁只是单纯的通路。人工岛上的路段可采用半地下式封闭的隧道设计,以保证与外界环境互不影响,并确保全天候通行,这是跨海桥梁所无法代替的。对于所依托的海岛,主要是借用其地下空间作为海上铁路与海底隧道的接合引线,在岛屿地表上占用的地皮则很少,几乎不影响海岛环境。

4 结论

“蛙泳式”海底隧道的总体设计思路,有望解开一直困扰工程技术上的海上桥梁“高度”与海底隧道“深埋”之悬殊落差如何“接合”的引线长度局限性的难题。此方案在至关重要的海底隧道安全风险防范上,也是切实可行的较好选择。这一模式,对于所有长距离隧道(包括城市地下、穿越山岭、水底等)建设均有普遍适用的参考价值。

参考文献

- [1] 魏礼群,柳新华.渤海海峡跨海通道研究.北京:经济科学出版社,2009. Wei L Q, Liu X H. Research on several key problems for Bohai trans-strait channel. Beijing: Economy Science Press, 2009
- [2] 姚中杰.基于风险要素分析的蓬—旅跨海通道建设研究.经济视野,2013(24):383-385. Yao Z J. A study of Penglai-Dalian cross-sea channel construction based on risk factor analysis.

- Economic Horizon, 2013(24): 383-385
- [3] 宋克志, 姜爱国, 王梦恕. 渤海海峡跨海通道“南桥北隧”方案初步研究. 隧道建设, 2011(5): 536-542. Song K Z, Jiang A G, Wang M S. Preliminary research on south bridge and north tunnel scheme of Bohai Strait cross-sea channel. Tunnel Construction, 2011(5): 536-542
- [4] 刘良忠, 柳新华. 海洋强国战略与跨海通道建设. 北京: 经济科学出版社, 2012. Liu L Z, Liu X H. Greatmaritime power strategy and cross-sea channel construction. Beijing: Economy Science Press, 2012
- [5] 丁东. 渤海海峡跨海通道的自然条件. 海洋地质动态, 1994(2): 4-6. Ding D. The natural condition of Bohai Strait cross-sea channel. Marine Geology Letters, 1994(2): 4-6

AN OPTIMIZED CONSTRUCTION SCHEME OF BOHAI SUBMARINE TUNNEL

Yao Zhongjie¹ Yang Hongzhang²

(1 *Institute of Peninsula Economic Research, Shandong Institute of Business and Technology, Yantai, Shandong 264005, China*)

(2 *School of Business Administration, Shandong Institute of Business and Technology, Yantai, Shandong 264005, China*)

Abstract Based on the strength and weakness of bridge scheme, bridge-tunnel scheme and tunnel scheme, an optimized construction scheme named breaststroke type is put forward. Integrating advantages of other schemes and avoiding their disadvantages, the scheme not only makes full use of various advantage conditions of Bohai, but also protects environment, reduces cost and enhances safety farthest. It provides a solid evidence to the feasibility of tunnel project and has important reference value for decision maker's construction decision.

Key words Cross-sea channel engineering; Submarine tunnel; Bohai port; Scheme