

# 渤海海峡通道建设中需要进一步思考的几个问题

洪开荣<sup>1,2</sup>

(1. 中国中铁隧道集团有限公司, 河南洛阳 471009; 2. 盾构及掘进技术国家重点实验室, 郑州 450001)

**[摘要]** 渤海海峡通道对于推动环渤海经济区,乃至我国东部的高层次发展具有重大作用,是一项战略性工程。本文基于老铁山水道段采用隧道方式修建的共识,进一步论证了整个通道的修建方式、工程纵断面、施工工法的选择与工程的整体筹划,提出了渤海海峡通道以全隧道方式、考虑填海造地的两地下站布局,采用敞开式tunnel boring machine(TBM)为主、钻爆法为辅的配套修建技术与工法。

**[关键词]** 海峡隧道;施工方法;施工筹划;竖井布置

**[中图分类号]** U456.3 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742-(2013)12-0080-05

## 1 前言

从山东蓬莱至辽宁旅顺,以海底隧道或隧道和桥梁相结合的方式,建设公路和铁路相结合的跨越渤海的直达快捷通道,将有缺口的C形交通变成四

通八达的D形交通,进而形成纵贯我国南北从黑龙江到海南十一省(市、自治区)的东部铁路、公路交通大动脉,这一快捷通道无论是对区域经济发展,还是对国家战略贡献,都具有重要的现实作用与深远的历史意义<sup>[1,2]</sup>(见图1,图2)。

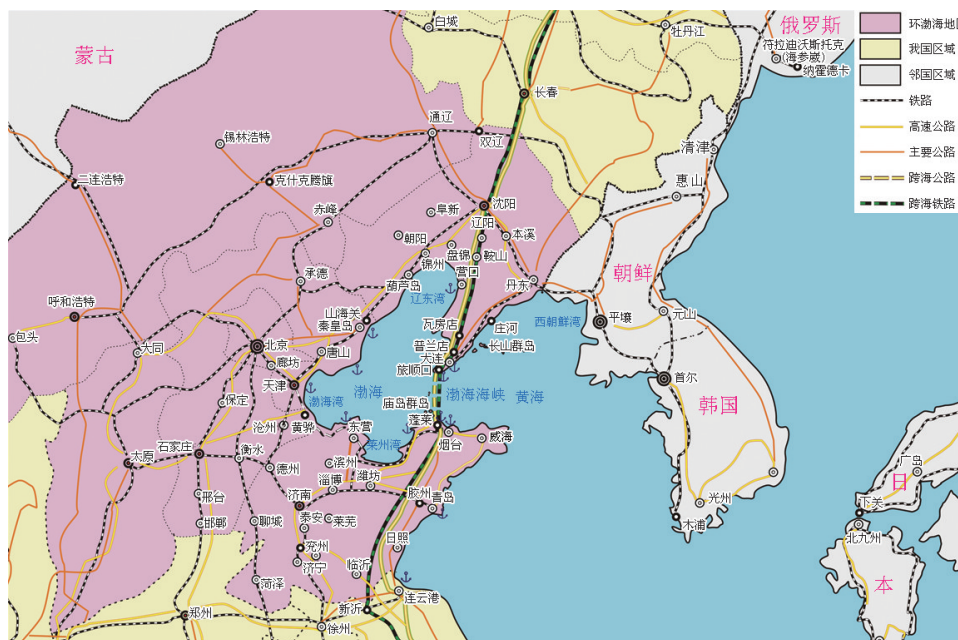


图1 山东与辽东局部区域路网

Fig.1 Road network in part of Shandong Province and Liaoning Province

[收稿日期] 2013-11-04

[作者简介] 洪开荣(1965-),男,湖南株洲市人,博士,教授,主要从事隧道及地下工程方面的研究工作;E-mail:ctg\_kr@vip.163.com

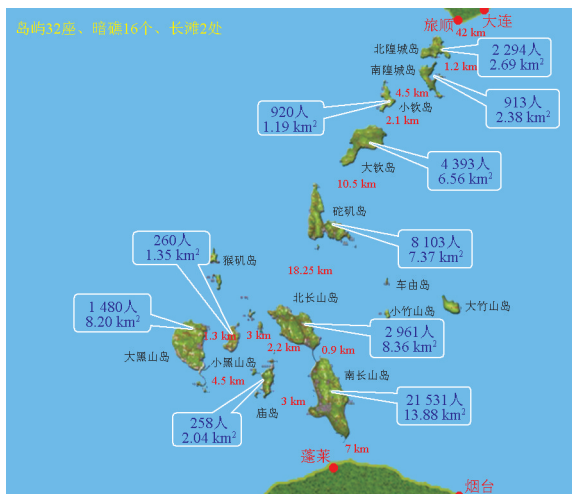


图2 渤海海峡岛屿与人口分布

Fig.2 Island and population distribution in Bohai Strait

渤海海峡分布有32个岛屿,且其大致沿南北方向呈一字形分布,而对于蓬莱—旅顺线位,场址附近没有活动断层,且未来发生5级地震的可能性不大,地层相对稳定,因此无论是从控制项目投资,还是降低工程建设难度,通道选择连岛方案都是有利的。

该通道控制性地段为旅顺—北隍城岛段的老铁山水道,老铁山水道宽42 km,水深在42~86 m,且为穿越渤海海峡通向其他内海与外海的主要航道,鉴于该航道的重要性与特殊性,此段采用隧道方式修建通道已形成共识。另外,目前国际上用于汽车直接通行的隧道最长的是24.51 km的挪威莱尔多隧道,因此该段不宜采用公路隧道方式修建,宜采用英法海底隧道的汽车通过穿梭列车背负式通过隧道方式<sup>[3]</sup>。

本文正是在基于上述结论性意见的基础上,就渤海海峡通道建设中的桥隧方案选择、工法选择与工程总体筹划、隧道的水处理、岛屿环境的改变及填海造地等问题进行了分析,并提出了建设性意见。

## 2 桥隧组合与全隧方案的分析与选择

跨海越江工程在技术上均可行的情况下,一般来讲全桥梁方案具有运营灾害可控、造价低、技术风险小、建设工期短等优势,而全隧道方案具有全天候运营、抗震与防战强、环境影响小等优势。但是桥梁方面的优势,会随着一些客观条件影响而发生变化,甚至有时会因一些外部因素制约而放弃,如航道的要求。

同时有研究表明,在石质较好,跨度足够大、水文(海况)条件困难的跨海工程修建水下隧道,其每延米(1延米=1 m)造价与每延米桥梁的造价大致相当,甚至还低于桥梁,如跨越英吉利海峡的英法海底隧道方案,据测算其造价只有桥梁方案的一半<sup>[4]</sup>。

根据有关部门的研究,渤海海峡区内出露地层为上元古界的“蓬莱群”,为一套浅变质岩系,上部为新生代的第三系和第四系地层,其下覆为花岗岩。

第四系地层在多数岛屿及海底均有分布,尤其在大钦岛、砣矶岛、大黑山岛、南长山岛较发育,由南向北逐渐增厚。在海底的第四系地层最大厚度初步估计达30 m左右。第四系地层按其成因分为残积层、坡积-洪积层、海积层。特别是坡积-洪积层厚度变化大,一般为20~40 m,有的厚达60多米,海峡第四系地层稳定性差。

新生代第三系地层为两期火山喷发的玄武岩,下部气孔构造发育,具备有斑晶,斑晶为伊丁石化橄榄石;上部为深灰黑色、致密、坚硬的玄武岩,偶见斑晶,斑晶为辉石和伊丁石橄榄石。主要分布于大黑山岛,最大厚度达70 m,主要表现为大孔隙结构。

同时渤海海峡的海底,由于受老铁山角和蓬莱角的扼制及岛屿的分割,构成水下沟脊横穿的崎岖地貌,海底地势自西向东,自南向北倾斜。渤海海峡共有14条水道,总的来说北部水道宽而深,南部水道窄而浅。主要的水道分布如图3所示。



图3 主要岛屿及水道分布

Fig.3 Main island and channel distribution

显然从水道和地质情况分析,渤海海峡通道从蓬莱—北隍城岛段,无论是桥梁方案,还是隧道方案均具有一定的技术难度。但相对来讲采用深埋方式,使隧道处于花岗岩地层,其技术难度要小很多,且初步估算其投资可能与桥梁方案接近。同时若在蓬莱—北隍城岛段采用桥梁方案,其必然会对航道和岛屿环境产生不良影响。

而从工程策划方面的工期来看,该通道工程的建设工期主要取决于北隍城岛—旅顺段老铁山水道段的水下隧道工程;从运营灾害风险控制方面来看,采用专用应急救援通道方式能够满足相关要求,因此渤海海峡宜采用全隧道方案修建(见图4)。

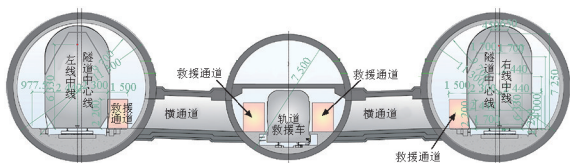


图4 渤海海峡隧道横断面图(单位:mm)

Fig.4 Cross section of Bohai Strait tunnel(unit:mm)

### 3 全隧道方案的工法选择与配套技术

据有关研究,渤海海峡通道建设的全部投资费用估计为2 000亿元,按照现代项目投融资(build-operate-transfer (BOT)/public-private-partnership (PPP))模式,假设该项目建设期10年,全部投资2 000亿元均摊在各个年度,即每年的投资费用200亿元;其特许运营期按30年计,每年的收入约为351.7亿元,项目总收入10 551亿元,因为运营期年收入(扣除必要的费用)大于建设期的年投入,在特许经营期限固定的情况下,如何科学地缩短建设工期,选择适宜的建设工法和系统性地搭建好配套技术就至关重要,其对该项目的意义极其重大。

从目前掌握的工程环境与地质资料来分析,由于采用深埋隧道方案,隧道大部分处于微风化花岗岩地层,修建渤海海峡隧道可供选择的工法仅有钻爆法与敞开式tunnel boring machine(TBM)法,钻爆法具有地质适应性强、能满足不同断面的建设要求,在较好的地层中月平均进度可达到200 m左右(单线铁路隧道);敞开式TBM法在合适地层中,其施工速度快、隧道成型好、扰动围岩小,在适应的地层中月平均进度可达到600 m以上(单线铁路隧道),因此渤海海峡隧道应以敞开式TBM法为主、钻

爆法为辅的工法进行施工。钻爆法主要用于解决局部地段敞开式TBM适应性不匹配的问题,以及用于地下站场、施工与通风竖井、横通道的施工。

近年来我国敞开式TBM施工技术取得了长足的发展,在兰渝铁路28.24 km的西秦岭隧道建设中,应用19 inch(1 inch $\approx$ 2.54 cm)滚刀的敞开式TBM发挥了重要作用,特别是研究出了与之配套的同步衬砌、长距离皮带出碴创新技术(见图5、图6)的应用,极大地提高了隧道的月成洞速度。下一步要根据渤海海湾隧道TBM从竖井始发的条件,要研究竖井连续出碴技术,以及其与洞内、场外皮带衔接不间断运转问题。按照我国现有施工技术水平与能力,渤海海峡隧道纯施工时间可能只需6年。



图5 TBM掘进长距离皮带出碴

Fig.5 Mucking by long-distance belt conveyor in TBM tunneling



图6 TBM掘进同步衬砌

Fig.6 Synchronic lining in TBM tunneling

### 4 隧道纵断面布置与工程筹划

在确定了线位、隧道布置与施工工法后,隧道的纵断面就成为了矛盾。渤海海峡隧道的纵断面

应重点考虑3个方面的因素。

1)结合工程地质与水文地质条件,考虑运营功能上的需要以及工程的经济性。分析上述地质条件,渤海海峡隧道采用深埋方式,既能降低其修建技术难度,又能对地下水的控制提供好的保障条件。水下隧道对地下水处置比较经济的方式是通过控制隧道近周围岩的渗透性,采用控量排水的方式,使隧道二次衬砌不受外水压力的作用,或最大限度的降低二次衬砌承受的外水压力;且在深埋情况下采用圆形断面的隧道结构,既有利于结构的受力,又有利于大幅度减少钢筋用量,从而降低工程投资、提高隧道的耐久性。根据通道连接的现有岛屿条件与人员环境,结合欧洲阿尔卑斯山隧道的经验,宜设两个地下站场,一个设在北长山岛下,一个设在大钦岛下。同时因为施工竖井规模大,从工程经济性与应尽快实现隧道施工的要求分析,竖井应尽可能的降低深度。

2)要考虑运营期的通风节能与隧道排水的问题。原铁道部科技研究开发计划“长大隧道通风关键技术研究”项目组,2007年8月对乌鞘岭隧道内的空气环境卫生状况进行了实测,认为对于电力牵引铁路隧道,在隧道长度大于20 km时有必要设置机械通风,因此隧道通风段长不应过长。另外隧道的排水是另一个重要问题,据了解日本青函隧道,现在日排水量达到30 000 m<sup>3</sup>以上,因此渤海海峡隧道在纵坡上应考虑利用岛屿钻排水孔,实现低扬程就近机排,其具有明显的经济效益。

3)要考虑工程施工的总体安排以及海上隧道弃碴的利用。海底隧道施工必须考虑弃碴的利用,如利用弃碴生产混凝土结构所需的碎石、砂,变废为宝;或者考虑在合适的地形地貌区域利用弃碴填海造地,初步估算渤海海峡隧道的弃碴量可能达到 $3.3 \times 10^7$  m<sup>3</sup>,若按填高10 m计算,则可造地3.3 km<sup>2</sup>,很显然不宜在一处海岛弃碴填海造地。

综上所述,建议渤海海峡全隧道方案按“五竖井、两地下站”的方式布置,即在北长山岛和大钦岛设地下车站,并设施工竖井;在北隍城岛设施工竖井兼通风竖井;在旅顺、蓬莱端线路近海处各设一座通风竖井,在砣矶岛设一排水孔,如图7所示。同时分别考虑在北长山岛、大钦岛和北隍城岛利用弃碴填海造地。

为此该通道的工程策划安排如下:在蓬莱、旅

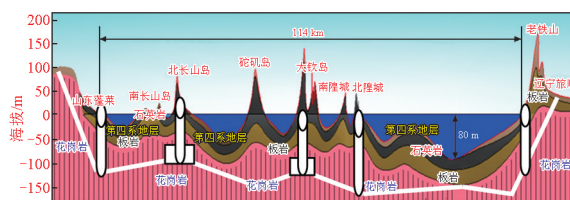


图7 渤海海峡隧道纵断面布置

Fig.7 Longitudinal profile of Bohai Strait tunnel

顺端隧道口各安排3台敞开式TBM(上下行线各一台、中间服务隧道一台)分别向海中掘进;在北长山岛安排3台敞开式TBM(布置同上)向砣矶岛方向掘进;在北隍城岛安排3台敞开式TBM(布置同上)向旅顺方向掘进;在大钦岛安排3台敞开式TBM(布置同上)先向北隍城岛方向掘进,掘进到达北隍城岛风井后调出,视工程整体进展情况,可安排再次在大钦岛下井向砣矶岛方向掘进,或作为备用设备待命,这样施工组织就较为周全与灵活。

## 5 结语

本文基于老铁山水道段采用隧道方式修建的共识,从整个通道的修建方式、工程纵断面、工法的选择与工程的整体筹划进行了分析,并得到了以下初步结论。

1)从环境保护、工程的安全性及经济性分析,渤海海峡通道宜采用全隧道方案,但不合适建公路隧道,并且我国现有的隧道设计施工能力完全能够满足建设要求。

2)采用“以敞开式TBM为主、钻爆法为辅”的工法修建渤海海峡隧道,在技术上是最好的选择,再加上长距离皮带运出碴、同步衬砌技术配套,有利于投资效益的发挥。

3)在纵向布置上,建议设“两座地下车站、五座竖井”,既能满足多方面的需求,又能充分利用弃碴填海造地,可达到通道纯建设期只需6年的目标。

## 参考文献

- [1] 王梦恕,宋克志. 渤海湾跨海通道建设的紧迫性及现实条件和初步方案[J]. 北京交通大学学报,2013,37(1):1-10.
- [2] 魏礼群,柳新华. 渤海海峡跨海通道若干重大问题研究[M]. 2版. 北京:经济科学出版社,2009.
- [3] 谭忠盛,王梦恕,罗时祥. 琼州海峡铁路隧道方案初步比选分析[J]. 中国工程科学,2009,11(7):39-44.
- [4] 孙羹尧. 桥隧方案比较会议[J]. 桥梁与隧道,2013,10:20-24.

# Several issues to be further considered in construction of Bohai Strait crossing passage

Hong Kairong<sup>1,2</sup>

(1. China Railway Tunnel Group Co. Ltd., Luoyang, Henan 471009, China; 2. State Key Laboratory for Shield and Boring Technology, Zhengzhou 450001, China)

**[Abstract]** Bohai Strait crossing passage is a strategic project, which has a significant role in boosting the development of Bohai surrounding economic zone and East China. In the paper, the construction mode, longitudinal profile, construction methods and planning of Bohai Strait crossing passage is further studied on basis of the common concept of tunnel crossing Laotieshan waterway. It is proposed that the form of full tunnel with two underground stations built in backfilled ground in the sea should be adopted for Bohai Strait crossing passage and that the tunnel should be constructed by open tunnel boring machine (TBM) method, with drill and blast as the assisting method.

**[Key words]** strait tunnel; construction method; construction planning; shaft arrangement