

台湾海峡隧道工程的若干工程地质问题与选线方案探讨

叶银灿¹ 潘国富¹ 彭阜南¹ 李起彤²

(¹ 国家海洋局第二海洋研究所 杭州 310012)

(² 江苏省地震工程研究院 南京 210014)

提要 对台湾海峡的地质状况进行了分析, 作者认为, 台湾海峡的工程地质条件复杂, 地震、活动断裂、岩土体稳定性、海底底床活动性等是隧道工程将遇到的主要工程地质问题。隧道的线路选择应进行全面、深入的技术、经济比较。平潭至新竹和厦门经澎湖至嘉义海滨是两个可选的隧道线路方案。

关键词 台湾海峡, 隧道, 工程地质, 地震, 活动断裂

全长 51 km、耗资 100 亿英镑的英吉利海峡隧道, 已于 1994 年 5 月 7 日正式开通, 是迄今世界上最长的海底隧道, 给英法两国和欧州带来的影响是深远的, 它将日益显示其巨大的社会效益和经济效益^[1]。英吉利海峡隧道工程的成功告诉我们, 建设台湾海峡隧道亦不是梦想。台湾海峡两岸的最近距离约为 130 km, 加上隧道在两岸的延伸段, 其长度将是英吉利海峡隧道的 3 倍, 将需要数千亿人民币的资金。台湾海峡的工程地质条件复杂, 活动断裂发育, 又是中强震、强震多发区, 给工程带来诸多技术难题。与英吉利海峡隧道工程相比, 台湾海峡隧道工程将有更大的风险和更具挑战性。该项工程的启动必须进行广泛的可行性论证和多方案研究。

本文就台湾海峡的工程地质问题提出初步认识, 并对隧道的线路方案进行探讨。

1 台湾海峡的地质概况

台湾海峡界于福建、台湾两省之间, 属东海大陆架的一部分, 呈 NE 向展布, 纵长 375 km, 最窄处宽约 130 km。除澎湖水道外, 台湾海峡水深皆在 80 m 以内, 但水深与海底地形变化较大。海底地貌比较复杂, 有坡度较大的水下岸坡、水下三角洲、深水盆地、盆间台地、水下浅滩、海底峡谷等。区内海底侵蚀与堆积现象分区明显, 有许多大小不同的岛屿、暗礁发育, 灾害地质现象较为普遍。

在大地构造上, 从西向东为: 福建沿海的浙闽隆起区、台湾海峡断陷盆地区与台湾隆褶区。浙闽隆起区是古生代至中生代的褶皱系, 以长乐-南澳断裂为

界又可分为西边的闽粤沿海火山岩带和东边的闽粤沿海变质带。台湾海峡断陷盆地区(包括台湾海峡大部分与台湾岛西部)又可进一步分为台西盆地、台西南盆地、东沙澎湖隆起区等构造单元^[3,4]。台湾隆褶区位于台湾岛东部。图 1 是区内的几条地质剖面^[2,5,9]。

台湾岛弧是全球最年青的造山带之一, 受台湾造山带的强大影响, 其地震活动频繁。海域及两岸沿海皆有活动断裂发育。地震和活动断裂是台湾海峡隧道工程的主要工程地质问题之一。

除福建、台湾两侧沿岸及澎湖列岛等区域外, 未来海峡隧道将主要通过新生代沉积岩, 且大部分可能为上新统和第四系下部地层。福建近岸属闽粤沿海变质带。海峡东面的台湾西海岸主要属砂质、砂泥质平原海岸, 表层由巨厚的中新世和上新世到更新世早期的砂岩、页岩等组成。澎湖列岛区域上部 300 多米是玄武岩层夹砂、泥岩或灰岩, 其中白沙岛 TL-1 号井钻探发现 7~57 m 深度间皆为玄武岩, 最晚至更新世, 亦有认为是第三纪产物。海峡盆地中沉积有巨厚的新生代地层^[6]。

2 台湾海峡隧道工程的主要工程地质问题

台湾海峡工程动力地质作用问题, 例如地震活

第一作者: 叶银灿, 出生于 1943 年, 研究员, 从事海洋工程与海洋地质灾害方面研究。E-mail: yeyc@mail.hz.zj.cn

收稿日期: 2002-03-06; 修回日期: 2002-03-20

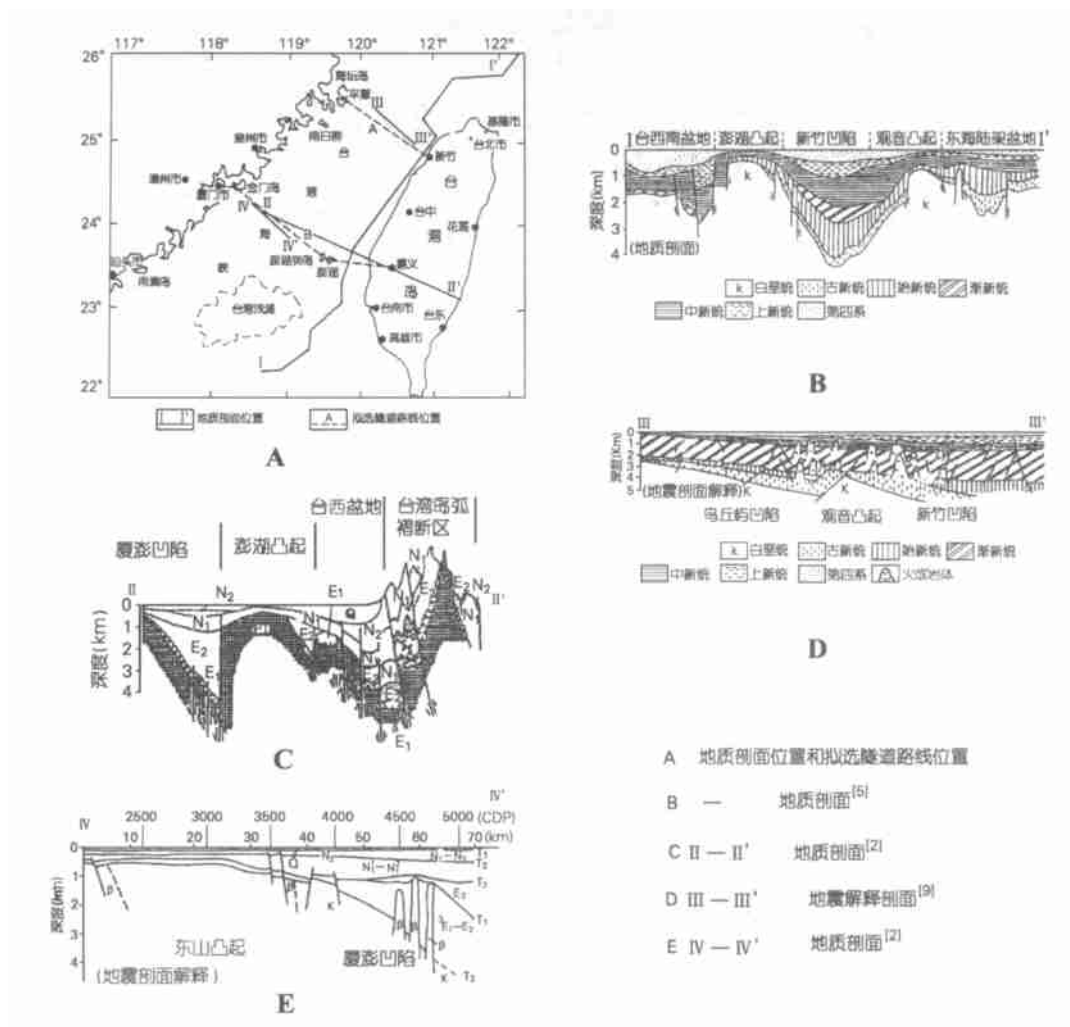


图1 地质剖面^[2,5,9]

Fig.1 Geological profiles

动、活动断裂、岩土体的稳定性、海底底床活动性以及
与海岸环境有关的工程地质问题等,都必须进行专门
研究。

2.1 地震

2.1.1 台湾海峡及邻近地区的构造地质背景

台湾岛是世界上最年青的喜马拉雅褶皱带之一。菲
律宾海板块沿台湾纵谷断裂向北北西方向挤压俯冲,
致使台湾中央山脉高高隆起,而台湾海峡地区则处于
弧后拉张状态,形成了台湾西部边缘坳陷和海峡新生
代坳陷。

2.1.2 台湾海峡及邻近地区的地震活动 台

湾地震带是西太平洋地震带的一部分,是西太平洋地
震带上地震活动最强烈的地段之一,在本世纪曾发生
2次8级大地震^[12]。台湾岛上地震很频繁,仅靠近海
峡的台西地区,7级以上地震就发生过6次。但台湾
海峡东部海域几乎无强震($M \geq 7$)发生,仅有1次7.3
级地震(图2)^[13]。

台湾海峡西侧是东南沿海地震带,可分为外带和
内带。外带沿东南沿海海域展布,强震集中分布在
大陆边缘。1604年12月29日曾发生泉州海外8级大
地震(震级后修定为7.5级)。内带地震活动多为中强
地震活动,最大地震为6.75级^[14]。

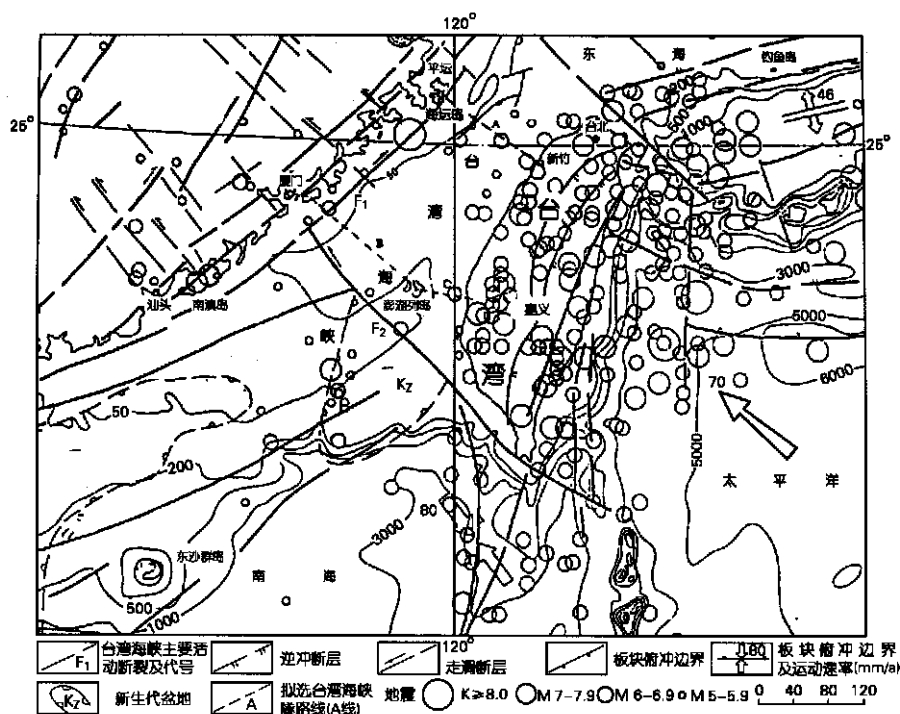


图2 台湾海峡及邻近地区地震构造

Fig.2 Regional seismotectonic map of Taiwan strait and its adjacent areas

海峡地区地震活动特点是西强东弱、南强北弱。如海峡西部滨海地区, 1604年发生了福建泉州海外7.5级地震, 1918年2月13日发生了广东南澳7.3级地震。而海峡东部滨海地区, 仅有一些中强地震发生。台湾海峡南部地区通常有些中强地震活动, 偶尔也有强震发生。台湾海峡北部海域, 偶有中强地震发生。

2.2 活动断裂

通常认为自晚更新世(约10万a)以来有活动表现的断裂是活动断裂^[11]。在台湾海峡地区主要有2条, 一条是粤闽滨海断裂(F_1), 另一条是南海东缘断裂(F_2), 主要特征如下:

2.2.1 粤闽滨海断裂(F_1) 粤闽滨海断裂走向北东, 是一条规模巨大的滨海断裂, 在汕头附近该断裂可分为广东段和福建段。断裂具右旋运动性质, 常被NW向左旋断裂错断。在台湾海峡地区(汕头~福州)该断裂长约440 km, 宽约40 km(图2)。沿粤闽滨海断裂, 历史上曾发生过多次中强及强震。1604年12

月29日, 在福建泉州海外发生了8级大地震, 在泉州、莆田、晋江、惠安等地区影响烈度高达VIII~IX度。发现晚更新世-全新世沉积受到了粤闽滨海断裂的影响。所以, 该断裂是一条活动断裂, 且是发震断裂。此外, 从总的趋势看, 滨海断裂福建段越向北延, 其活动性越小。到闽江口以北, 滨海断裂已不是活动断裂。

2.2.2 南海东缘断裂(F_2) 南海东缘断裂亦称“澎湖~七星岩断裂”, 延伸于厦门至台湾岛西南海域, 长约460 km(图2)。南海东缘断裂走向NW, 是一条左旋逆走滑断裂。该断裂有中强震发生, 推测是一条海域活动断裂。

2.3 岩土体稳定性

岩土体的稳定性问题经常遇到的是斜坡稳定性问题, 表现为滑坡、崩塌和泥石流等工程动力地质作用现象。斜坡的变形破坏常伴随着地震或人类工程活动发生, 其危害极大。

2.3.1 海底土体稳定性 海底土体的滑动可

以在坡度 $2 \sim 3^\circ$ 甚至更小的海底条件下发生,与重力、浊流、差异固结、剩余孔隙压力的变化及波浪产生的底压等因素有关^[7]。

近岸岛屿间水道、港湾地区,具备滑坡产生的物质和环境条件。在闽江口水下三角洲以及近岸的水道边坡和港湾,存在着高速沉积的环境,形成了呈带状分布的现代泥质沉积区。该带北宽南窄,最宽处达 $60 \sim 70 \text{ km}$ 。沉积厚度大,处于欠固结状态,具一定坡度,容易发生滑坡等土体破坏现象。

在台中浅滩的部分地区,亦分布有高速沉积的泥质堆积体,是潜在的土体滑动区。

2.3.2 海岸地带的岩土体稳定性 台湾西部是沿海平原,近期海岸地壳形变表现为沉降,速率在 $10 \sim 30 \text{ mm/a}$ 。海岸可分为3段,北段(台中以北)为砂质海岸,中段(台中至台南)为泥质海岸,南段为沙坝泻湖的砂泥质海岸。台西海岸未见滑坡、崩塌等现象。福建沿海一带丘陵广布,海岸以基岩岸为主,海岸地壳形变表现为上升,速率在 $1 \sim 2 \text{ mm/a}$ ^[10]。

2.4 海底峡谷和冲刷沟槽

海底底床形态按照水流作用的方向,底床形态分为纵向和横向两大类。纵向的底床形态又可分为沙带、沙脊、冲刷沟槽等。横向的底床形态分为波痕、沙波等。底床形态在水动力的作用下不断地变化和运移,对工程的建设,危害甚大,尤其是峡谷和冲槽。

澎湖水道位于澎湖列岛东南面,台湾岛南部西侧,最大水深可达 185 m 。整个水道呈三角形分布,两侧坡度较陡。水道顶端伸入台中浅滩,出口略平而宽,然后转入陆坡。

台湾浅滩、澎湖玄武岩台地以及水下三角洲外缘均有水下谷地发育,但水深和发育规模远比澎湖水道要小。

3 台湾海峡隧道选线方案分析

3.1 选线原则

隧道的线路选择是隧道工程可行性论证中的关键课题之一,关系到该项工程能否以较低的投入获得最佳的工程效益,它与工程的成败密切相关。从隧道选线的原则来讲,至少需考虑以下问题。

首先,台湾海峡隧道是连接我国大陆和台湾的大通道。因此,两岸隧道端点的选择,应尽可能靠近交通枢纽,依托有一定规模的中心城市,使海峡隧道不仅成为贯通两岸的大通道,而且直接与我国的交通主干

网络连接,辐射全国,从而获得巨大的社会效益和经济效益。

其次,台湾海峡的工程地质条件复杂。选定的隧道线路应尽可能避开强震多发区和活动断裂的交汇处。隧道通过的地层(本文称勘察的“目标层”)理想条件是海底以下的埋深适宜(100 m 以内),地层的厚度较大(大于 20 m),沿隧道线路上空间展布连续稳定;岩石的可钻性好;构造裂隙与破碎带少,隔水性能好。“目标层”的选择直接关系到隧道的方案选定、施工的难易程度、周期与造价。

第三,隧道工程耗资巨大,按英吉利海峡隧道的费用估算,每公里的造价约在3亿美元以上。缩短隧道线路长度,意味着减少巨额投资。台湾海峡以福建平潭至台湾新竹连线和厦门至台湾嘉义市海滨间的海域,两岸间跨度相对较窄,宽度在 $130 \sim 200 \text{ km}$,是可以考虑的选线区域。

3.2 隧道选线方案分析

初步拟定台湾海峡隧道工程线路有以下两个方案:

3.2.1 北线方案(A线) 从福建省海坛岛平潭至台湾省新竹。距离短,海域路由约 130 km ;工程地质条件相对较好;因此工程投资相对较小。线路两端分别靠近台北市和福州市,利于发挥工程效益。可先期连接大陆与海坛岛(隧道或桥梁),带动这一区域沿海经济的发展。

3.2.2 南线方案(B线) 从福建省厦门经金门、澎湖至台湾省嘉义海滨。虽然工程线路长,投资较大,但可先期用较小投资连接厦门与金门、澎湖与台湾本岛,产生效益。本方案西端即为厦门经济特区,东端靠近高雄。并将厦门~金门~澎湖~台湾连接起来,在联通大陆与台湾的同时,将大大促进金门、澎湖等岛屿的开发。但工程地质条件相对复杂,澎湖与台湾之间有水深大于 120 m 的海底峡谷及线路东端的地震活动强烈(烈度达IX度)等。各方案的基本要素及主要工程地质条件列于表1。

4 结语

从发展的战略高度考虑,建设台湾海峡隧道是势所必然,相信这一昔日的梦想终将成为现实。

在现阶段,着手组织和进行该项目的预可行性研究显得十分必要。从工程地质的角度考虑,以下一些工作可以争取尽早启动:

表 1 各选线方案的基本要素及主要工程地质条件

Tab.1 Basic factors and engineering geology conditions of different schemes

选线 方案	起止地点	海域线路长度	最大水深	主要工程地质条件		
				福建侧海岸	海域	台湾侧海岸
A 线	平潭 ~ 新竹	大陆至平潭 5 km, 平潭至新竹 130 km	80 m	中生代(J-K)火山岩与燕山期花岗岩, 已变质。局部上覆第四系, 厚度较小。 地震基本烈度为Ⅶ度, 断裂较发育。	发育水下坎坡、深水槽(水深小于 80 m)。从西向东经过浙闽隆起、马祖凸起、乌丘屿凹陷、观音凸起、新竹凹陷等构造单元。第四系沉积、第三系砂页岩厚度很大。 粤闽滨海断裂活动性较 B 线弱。	全新统和更新统上部为砾石、红土、粘土及砂; 更新统下部为砂岩、页岩, 厚度很大。 地震基本烈度Ⅶ度, 有断裂发育。
B 线	厦门 ~ 金门 ~ 澎湖 ~ 嘉义海滨	厦门至金门 20 km, 金门至澎湖 155 km, 澎湖至嘉义海滨 60 km	金门至澎湖间 60 m, 澎湖至嘉义间 124 m	前泥盆系变质岩, T ₃ -J ₃ 的砂岩和泥岩, 燕山期花岗岩, 均已变质。第四系分布不均, 厚度小, 主要为砂砾、粘土、砂质粘土等。 地震基本烈度Ⅶ度, 断裂发育。	发育水下三角洲, 玄武岩台地及礁滩, 海底峡谷(最深大于 120 m)等复杂地貌单元。 自西向东经过浙闽隆起、东山凸起、厦澎凹陷。东沙澎湖隆起等构造单元。凹陷中第四系很厚, 下伏第三系为砂页岩。澎湖凸起区第四系厚度不大, 浅部有玄武岩层发育(喷发最迟至更新世中期)。粤闽滨海断裂活动性强。	全新统和更新统上部以冲洪积层为主, 更新统下部为砂岩、页岩和泥岩, 厚度很大。 地震活动强烈, 基本烈度达Ⅷ度。

(1) 台湾海峡及两岸小比例尺的水深、地形测绘;
(2) 进行浅、中层的地球物理探测, 重点调查第四纪、上第三系地质, 可选择若干线路方案进行;(3) 地震、活动断裂和灾害地质的调查研究;(4) 岩土工程性质试验研究;(5) 工程地震的测试、试验研究。

参考文献

1 吴之明. 英吉利海峡隧道工程的经验教训与 21 世纪工程——台湾海峡隧道构想, 科技导报, 1997, 104(2): 12~16
2 中国科学院南海海洋研究所, 福建海洋研究所. 台湾海峡西部石油地质地球物理调查研究. 北京: 海洋出版社, 1989. 51~93
3 金翔龙主编. 东海海洋地质. 北京: 海洋出版社, 1992. 127~143
4 俞何兴、陈汝勤. 台湾海域之沉积盆地. (台湾) 国立编译馆, 1996. 157~172
5 黄镇国等. 台湾板块构造与环境演变. 北京: 海洋出版社, 1995. 12~65

6 彭阜南等. 台湾海峡两岸地质对比和演化, 东海海洋, 1992, 10(2): 43~61
7 叶银灿等. 浙江北部岛屿海域土体稳定性研究, 东海海洋, 1996, 14(1): 1~18
8 郑承忠. 福建沿海暨台湾海峡地质灾害初探, 台湾海峡, 1994, 13(4): 404~411
9 姚伯初、周昌范. 台湾海峡地区新生代的构造演化, 海洋地质与第四纪地质, 1992, 12(4): 1~10
10 林惠来、陈峰. 福建海岸类型的基本特征. 台湾海峡及其两岸地质地震研讨会论文集. 北京: 海洋出版社, 1991. 77~82
11 李起彤. 活断层及其工程评价. 北京: 地震出版社, 1991. 94~113
12 顾功叙主编. 中国地震目录(公元前 1831~公元 1969 年). 北京: 科学出版社, 1983. 63~65
13 《中国地震简目》汇编组. 中国地震简目. 北京: 地震出版社, 1988. 11~12
14 国家地震局. 中国地震烈度区划图(附说明书). 北京: 地震出版社, 1990.

研究报告 *REPORTS*

ENGINEERING GEOLOGICAL PROBLEMS OF THE TAIWAN STRAIT TUNNEL PROJECT AND PRELIMINARY STUDY ON THE ROUTE PLAN

YE Yir-can¹ PAN Guo-fu¹ PENG Fu-nan¹ LI Qi-tong²

(*Second Institute of Oceanography, SOA, Hangzhou, 310012*)

(*Institute of Earthquake Engineering for Jiangsu Province, Nanjing, 210014*)

Received : Mar., 6, 2002

Key Words : Taiwan Strait, Tunnel, Engineering Geology, Earthquakes, Active Faults

Abstract :

Engineering geological conditions are rather complicated in the Taiwan Strait. The major engineering geological problems to be encountered by the proposed Taiwan Strait Tunnel (TST) Project are earthquakes, active faults, stability of rock and soil masses, bedform activities, etc., and those problems are studied here preliminarily. Tunnel route selection should be carried out based upon comprehensive technical and financial analyses. Two routes are proposed and discussed: One is from Pingtan to Hsinchu, and the other is from Xiamen to Jiayi through Kingmen and Penghu Islands.

(本文编辑李本川)