

台湾海峡通道工程的地震安全性问题

On the Seismic Safety Problem of the Taiwan Strait Passage Project

魏富胜/WEI Fu- sheng, 许忠淮/XU Zhong- huai, 郭履灿/GUO Lu- can

中国地震局地球物理研究所, 北京 100081

Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China

[摘要] 台湾海峡的地质构造背景及 GPS 网站的地壳运动速度观测数据表明, 中国大陆福建沿海、台湾海峡与台湾岛北部地壳的水平运动基本保持了整体趋势; 800 余年的地震资料显示了台湾海峡及其附近地区的潜在地震危险性分布; 中国地震动参数区划研究表明了台湾海峡北段的地震危险性较低。从防止地震影响角度考虑, 选择拟议中的北线作为台湾海峡通道建设线路较为安全。

[关键词] 台湾海峡通道; GPS; 地震; 地震危险性

[中图分类号] P315.9, TU352.1

[文献标识码] A

[文章编号] 1000- 7857(2006)08- 0016- 03

Abstract: The regional tectonic background and recent GPS observation indicate that the Fujian coastal region of China mainland, the region of the Taiwan Strait and northern Taiwan island all show a generally homogenous horizontal motion with weak deformation. The historical earthquake records more than 800 years and modern instrumental data reveal that there is potential seismic risk in and around the Taiwan Strait region. Studies on the National Seismic Zoning Map of China (2001) demonstrate that the expected seismic risk in the northern part of the Taiwan Strait is lower than that in the middle and southern parts. The suggested northern route of the Taiwan Strait passage project seems to be relatively safe seismically.

Key Words: Taiwan Strait passage project; GPS; earthquake; seismic risk

CLC Numbers: P315.9, TU352.1

Document Code: A

Article ID: 1000- 7857(2006)08- 0016- 03

1 引言

宝岛台湾与中国大陆自古以来神圣不可分割。台湾海峡北界西起福建的平潭岛, 东至台湾岛北端的富贵角; 南界西自福建东山岛, 东至台湾岛南端的岬寮鼻岬; 呈东北- 西南向, 与沿岸山脉走向大致相同。南北延伸约 380 km, 东西平均宽约 140 km。

2005 年 1 月 13 日, 中国交通部长张春贤在国务院新闻发布会上宣布, 国家高速公路网规划中有一条“北京- 台北”的线路, 将来“三通”以后, 大陆的 8.5 万 km 高速公路计划用隧道或其他工程与台湾的道路网络相连接。

台湾海峡建设通道将把中国大陆和台湾岛永久地连结起来。自 20 世纪, 中国大陆、台湾及海外的华人学者为实现台湾海峡建设通道的设想, 相继开展了多学科的探讨, 积累了大量相关资料, 内容涵盖台湾海峡的地理环境、地质构造背景、地震危险性、通道选址、隧道技术、工程投资、资金管理、建设方式等诸多领域。从 1998- 2005 年, 国内已经举行过 5 次关于建设台湾海峡隧道的研讨会。2005 年 7 月, 国际能源环境与灾害大会(INCEED 2005)特设“台湾海峡隧道工程(TST)”技术专题, 广泛展示了台海通道工程预研的多学科进展^[1]。台湾海峡通道的建议线路有 4 条, 即北线、南线和 2 条中线方案。其中北线从大陆福建省的平潭县到台湾岛的新竹市, 距离最短, 直线距离约 130 km, 海峡水深普遍在 70 m 之内。提出的通道方式也有隧道、桥隧结合、路桥等建设方案^[2]。

本文探讨的是台湾海峡及其附近地区的地壳运动、地震活动

与海峡通道工程的地震安全性问题。

2 台湾海峡地区的地质构造背景与地壳运动变形

台湾海峡位于欧亚大陆板块的东南边缘, 是东海大陆架的一部分, 处于菲律宾板块和欧亚板块碰撞带中的前沿后侧。台湾东北部菲律宾板块自南向北俯冲, 中南部菲律宾板块与欧亚板块挤压碰撞, 并向欧亚板块仰冲, 使台湾中央山脉高高隆起。台湾海峡地区则处于弧后拉张状态, 形成台湾西部边缘拗陷和海峡新生代拗陷(图 1)。这两大板块相互碰撞, 使得处于被撞击的欧亚大陆

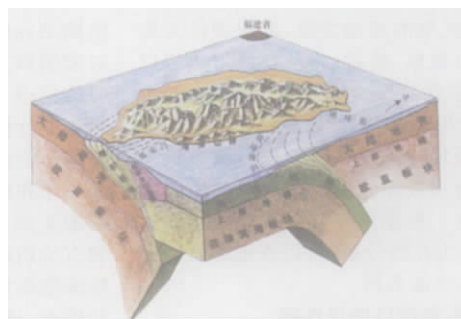


图 1 台湾地区板块碰撞及俯冲示意图^[3]

Fig. 1 A schematic map of plate collision and subduction in the Taiwan region^[3]

收稿日期: 2006- 01- 20

作者简介: 魏富胜, 男, 北京海淀区民族大学南路 5 号中国地震局地球物理研究所, 副研究员, 主要从事地震学研究;

E- Mail: weifusheng@sohu.co

东缘地壳发生隆起,同时产生张裂,又继之以不断的升降。在隆起带东部的纵向隆起成为今日台湾岛上的主要山脉,隆起带西部为台湾岛西岸平原及其以西海滨,由一些断裂了的陆壳不断下降而形成许多盆地。抬升出海面的为现在台湾西部的各沉积盆地,其海下部分的所有诸盆地构成台湾海峡^[2]。

利用福建沿海 GPS 网与台湾-吕宋 GPS 网站 1994-1999 年期间的地壳运动速度观测数据,以及 2 个网站数据处理中共用的 IGS 永久站数据,若以福建沿海几何中心为参考基准点,各测点的位移速率见图 2。地壳运动速度场表明^[4],大陆福建沿海、台湾海峡与台湾岛北端地壳的水平运动完全一致,基本保持了欧亚板块东南部向东南运动的整体趋势。台湾岛(岛的北端除外)存在沿北西向西向朝向大陆方向的运动,速度方向平均约北 50°W、速率约为 39 mm/a。但是,运动速率大的主要是台湾岛的东海岸和南端部,而中部和北部的运动速率不大。东海岸山脉中部最大速率为 61 mm/a,向西逐渐减小,到台湾海峡减小至 1.4 mm/a,趋近于福建沿海的运动速率。可见,台湾地区水平运动速度场的空间分布是不均匀的,台湾岛的东部和南部变化最大,而台湾岛北部和台湾海峡变化则不大。这说明福建沿海、台湾海峡与台湾岛北部之间的地壳结构具有整体性,与台湾岛南部相比,构造稳定性较好。

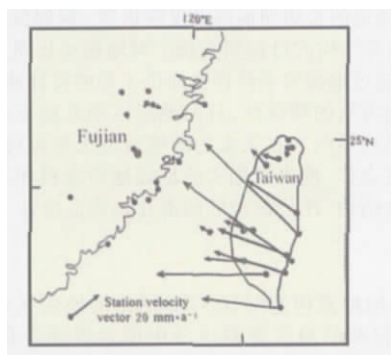


图 2 台海地区 GPS 地壳运动速率示意图

注:以福建沿海^[4]几何中心为参考基准点

Fig. 2 GPS velocities deduced from 1994 to

1999 observations

The Geometrical center of the Fujian coastal

region is taken as a reference point^[4]

GPS 测量的应变数据(表 1)表明,台湾岛以压应变为主,主压应变率与主张应变率之比为 6.3:1,主压应变方向为北西 53°。台湾岛东海岸存在强烈的压缩应变,主压应变速率 $3.436 \times 10^{-7}/a$,向西逐渐减小,到福建沿海减小到 $1.861 \times 10^{-8}/a$ 。台湾岛从西向东压应变率逐渐增加,到东海岸达到最大,表明台湾岛西低东高的地形及岛上山脉的形成都是该地区应变场长期作用的结果,而福建沿海的变形却小得多。

表 1 福建、台湾、台湾地区的应变参数^[4]

Tbl. 1 GPS strain in the region around the Taiwan Strait^[4]

地区	ϵ_1	ϵ_2	$\gamma_{\max}$	A
福建沿海	-1.861	0.518	2.378	N47°W
台湾	-8.524	2.542	11.065	N46°W
台湾	-26.373	4.155	30.528	N53°W

注: ϵ_1 为主压应变率; ϵ_2 为主张应变率; 单位: $10^{-8}/a$; $\gamma_{\max}$ 为最大剪应变率; A 为主压应变率的方位角

ϵ_1 is principal compressive strain; ϵ_2 is principal tensional strain; $\gamma_{\max}$ is maximum shear strain, Unit: $10^{-8}/a$; A denotes the azimuth of ϵ_1

在台海地区,欧亚板块向东南方向运动,菲律宾海板块向北西方向运动。用测震学得到的近年来 7 级强震震源机制的平均主压应力方向(北西 57.5°)与大地测量学获得的台湾地区的主压应变北西 53°的方向是一致的(二者仅相差约 5°)。这表明该应力或应变场成为台海地区地壳运动、地形变化与大地震频发的主要驱动力。

从地质构造及现今地壳运动的整体稳定性考虑,选择拟议中的北线作为台海通道建设线路较为安全。

3 台湾海峡及两岸地区的地震活动

台湾海峡地处中国大陆东南沿海与台湾岛之间,位于环太平洋地震带上。历史上海峡及两侧地区多次发生强烈地震,造成重大损失。

为了认识台湾海峡及附近地区的地震活动性,我们搜集了该地区有史以来文献记载的地震活动史料和中国大陆地震观测站的地震记录^[5-7],整理编辑了台海地区地震目录。这 9 964 条地震资料反映了该地区地震活动的基本特征。受不同年代地震观测条件所限,地震记载难免缺漏,但它集中了目前所能搜集到的全部地震资料。图 3 是这些地震的震中分布,显示了台湾海峡地区地震活动的全貌。



图 3 台湾海峡地区震中分布图

注: 1185-2005, $ML \geq 1.0$; 实心圆为 $M \geq 6.0$ 级; 两岸间的 4 条连接虚线是建议的通道位置。

Fig. 3 An earthquake epicenter map for the

Taiwan Strait region

All earthquakes in the figure are of $ML \geq 1.0$; Solid circles denote $M \geq 6.0$ earthquakes; 4 dash lines striding the strait represent the suggested routes for the planned passageway

这套目录包括 2005 年 6 月底之前的可记录地震。根据台湾海峡通道建设的可能要求,地理空间选取为东经 117°-122°;北纬 22°-26°。目录中 1974 年以前为 4.7 级以上的中强震,其后为 $ML \geq 1.0$ 级的地震。该地区最早的一次地震记载是 820 年前的 1185 年 6 月 15 日厦门南面(118.0°E, 24.3°N)的 6.5 级地震。

台湾地区地震活动十分强烈,是西太平洋地震带上地震活动最强烈的地段之一。为了考察近 50 年来(1955 年及其以后)的中强地震活动,图 4 显示了 4.0 级以上的地震,6.0 级以上用实心圆表示。该地区近 50 年共发生 4 级以上地震 2 576 次,其中主要分布在台湾岛及其以东近海的高发区域。近 50 年来,台湾岛东部沿海及近海的地震活动虽然频度高、震级大,但震源深,对地面破坏较小。岛上西北部及其沿海附近的地震活动明显少于东岸及沿海,6 级以上地震大多是在 50 年前发生的,震中分布不如东部密集。但在台湾岛中西部,发育着包括沿南投县、台中县呈近南北向的车笼埔断层,及其南邻的大尖山断层和触口断层等在内的多条活动断层,形成一个强震高发区。由于震源较浅,易造成严重破坏。如 1999 年 9 月 21 日集集(120.82°E, 23.93°N)7.6 级地震造成了严重灾害。岛中部发生强震的频度低于东西两侧。海峡西北部

的大陆东南沿海陆地的地震活动则较为平静,50年只发生10余次中强地震,地震灾害不显著。海峡西部的强震集中分布在近海域或边缘,如1604年12月29日福建泉州海外(119.0°E, 24.7°N)7.5级地震,发生在海峡西部的滨海地区。

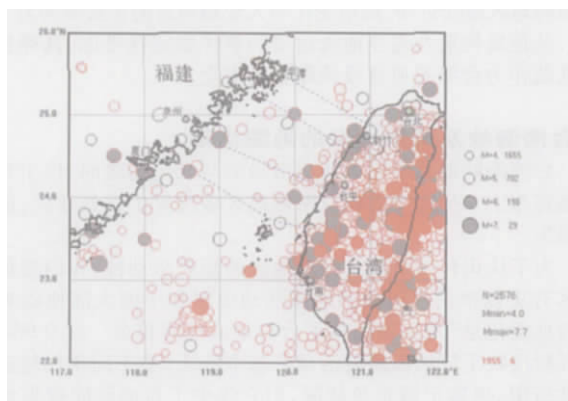


图4 台湾海峡地区中强地震分布图

注: 1185-2005, $ML \geq 4.0$; 实心圆为 $M \geq 6.0$ 级; 红色是近50年来发生的地震。

Fig. 4 Middle and strong earthquakes in and around the Taiwan Strait region

All earthquakes in the figure are of $ML \geq 4.0$; Solid circles denote $M \geq 6.0$ earthquakes; Red marks the events for the past 50 years (after 1955)

海峡内6级以上强震分布呈现出沿东西两侧滨海附近分布的特点,与两侧的地貌走向一致。两岸间的海峡中部很少发生强震,中强震也稀少。在台湾海峡南部地区,通常有些中强地震活动,但亦有强震发生,如1994年9月16日台湾海峡南部(118.75°E, 22.67°N)7.4级地震。在台湾海峡北部海域,特别是邻近东海地区,地震活动较弱,偶尔有中强地震发生。海峡北部的地震活动性低于南部。台湾海峡中所发生的地震,为板内地震型,浅源,震源深度主要分布在20 km以内。

台湾海峡地震活动两侧沿岸强于中部,北段弱于南段。这不排除受限于历史上记录条件的影响,导致距离海岸越远处的地震记录越少的因素,但近50年来的地震观测仍表明了海峡地震活动的这种整体特征。从地震活动的资料分析,海峡北部的地震活动性较低。大陆沿海的平潭附近较为平静,没有发生中强地震,对岸新竹以北的地区地震活动也较少。拟议的北线上没有发生过6级地震(图4)。因此,从潜在地震危险性的角度出发,4条线路比较,应首选北线的方案。大地形变测量的结果也支持这一结论,而且北线的长度最短。

4 台海通道工程与潜在地震危险性

地震资料是认识地震时空分布特征、评价地震环境、合理划分潜在震源区的重要依据之一。地震的破坏非常复杂。地壳断裂错动、滑坡和崩塌、地基失效和强烈地震动等,都是产生严重地震灾害的重要因素,工程设计中必须采取减灾措施。台湾海峡通道工程一旦遭遇地震破坏,将会造成巨大的社会影响和重大的经济损失。

多年来,中国地震局完成了大量工程场地的地震危险性评定和近百个城市的地震小区划,为核电站、大坝、海洋平台、大桥等重要工程结构的抗震设防和城市的抗震防灾规划提供了科学依据,在重大建设工程抗震设防方面积累了丰富的科学经验和技术资料。

2001年编制完成的《中国地震动参数区划图》^[9],以有效峰值加速度(EPA)和有效峰值速度(EPV)2个地震动参数表达了地震危险性的地理分布。地震动参数区划图给出了50年超越概率10%的峰值加速度区划图和反应谱特征周期值区划图。地震动参数区划研究指出,东南沿海地震带未来50~100年活动水平趋势

为应力积累阶段。台湾岛纵谷以西地区,包括台湾海峡东部及台湾岛大部分地区,主要构造活动带为台湾西部、台南、台中、新竹、桃园一带的北北东向活动盆地,带内活动断裂由北北东和北东东向断层组成。沿该构造带共发生了6次7级以上的地震,在研究的4次地震震源断层中,有3次为北东东向,1次北北东向,沿此构造带划分了一系列7~7.5级的潜在震源区。此外,在该构造带向西南延伸的海域中,存在一条地形陡变带,于1994年9月16日发生了7.4级地震,是一条潜在震源区展布带。区划图在本区域共划分出7.5级潜在震源区5个、7级潜在震源区3个、6.5级潜在震源区5个。

台海地区的地震动峰值加速度区划研究^[9]表明,海峡北段的预期最大地震震级为6.3级,地动加速度为0.3 g($g=980 \text{ cm/s}^2$);而新竹以南从苗栗直到台南县的这一南北地段的预期最大震级为6.6级,地动加速度为0.4 g,这表明新竹以北附近地区的地震危险性相对较低。已有的区划图并未给出台湾海峡本地的区划结果,今后需要专门对海峡地区开展地震区划工作。

开展海峡通道工程场地的地震安全性评价,需要深入细致地研究场地的历史地震分布及地震活动性参数、本地区的地震动衰减关系等,给出针对海峡通道工程的设计地震动参数与地震动时程,获取工程场地的长周期地震动反应谱等。例如台海通道工程的大跨度高架桥等结构的自振周期长,对地震动长周期成分响应比较强烈,只能通过地震安全性评价提供工程的设计地震动参数。

基于台湾海峡的特殊性,目前地震区划基础资料尚不足。本文的研究仅是初步的。在未来的海峡通道工程可行性预研中,两岸专家应紧密合作,搜集更翔实的地震地质资料和实地考察地基的岩性及泥沙结构,评价该地区的潜在地震危险性。

5 结论

台湾海峡的地质构造背景、GPS网站的地壳运动速度观测数据、800余年记载的地震资料以及中国地震动参数区划研究结果,都表明了台湾海峡北段的地震危险性相对较低。由于北线的距离最短,可以降低工程投资。我们建议,未来的台湾海峡通道建设线路应该选择在较为安全的海峡北段,即首选北线。

台湾海峡通道建设工程举世无双、地质条件复杂、抗震设防要求极高,所以如何最大限度地减轻地震、海啸、风浪等自然灾害对通道建设乃至运行管理的影响,需要开展更深入细致的多学科系统的预先研究,进行充分的科学论证。

参考文献(References)

- [1] HILARY I, INYANG. The Journal of Abstracts of Presentations at the International Conference on Energy Environment and Disasters(INCEED2005)[J]. Charlotte, USA. 2005: 156-160.
- [2] 彭阜南, 孙煜华, 戚筱俊, 等. 台湾海峡的地形、地质概况及隧道工程探讨[C]//台湾海峡隧道论证学术研讨会论文集. 北京: 清华大学出版社, 2000: 45-60.
- [3] 李雅心. 台湾——西太平洋的咽喉[J]. 中国国家地理, 2005(4): 56.
- [4] 李延兴, 胡新康, 李智, 等. 台海地区的地壳运动与变形[J]. 地震学报, 2002, 24(5): 487-495.
- [5] 国家地震局震害防御司编. 中国历史强震目录(公元前23世纪-公元1911年)[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1995.
- [6] 中国地震局震害防御司编. 中国近代地震目录(公元1912-1990年, $M_s \geq 4.7$)[M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1999.
- [7] 顾功叙主编. 中国地震目录(公元1970-1979年)[M]. 北京: 地震出版社, 1983.
- [8] 胡聿贤主编, 何永年主审. 国家标准 GB18306—2001 中国地震动参数区划[S]. 北京: 中国标准出版社, 1999.
- [9] GAO M. New national seismic zoning map of China [R]//1999-2002 China National Report on Seismology and Physics of the Earth's Interior for the 23rd General Assembly of IUGG. Sapporo, Japan, June 30- July 11, 2003. (责任编辑 肖庆山)