

台湾海峡地震危险性初析与海峡隧道修建的可行性研究

李 珏,¹ 彭阜南², 杨美娥¹, 叶银灿²

(1. 国家地震局地质研究所, 北京 100029; 2. 国家海洋局第二海洋研究所, 杭州 310012)

[摘要] 欧亚和太平洋两板块沿大陆东缘相撞, 形成一系列岛弧, 台湾是其中之一。台湾海峡是弧陆碰撞带的前陆盆地, 其上部为平整的第四纪细粒深水沉积, 下部为上新世地层, 中有阶梯状断裂, 说明上新世以后构造运动有减弱之势。台岛的强震带释放了大量的板块逆冲挤压应力, 对海峡起着屏障和保护作用; 只在台岛南北两端外海 N-W 向类转换断层与滨海 N-E 向断裂的交汇地段才易发生强震。未来隧道拟选工区发生 ≥ 6 级地震的可能性很小, 加上烈度由地表向下衰减较快, 故海床下隧道所遭到的烈度将更小。从地震构造角度看, 修建隧道是可行的。

[关键词] 台湾海峡; 海峡隧道; 地震

[中图分类号] P315; U45 **[文献标识码]** A **[文章编号]** 1009-1742(2002)11-0012-07

前 言

横贯台湾海峡的隧道长度按最短线路计算, 至少在 130 km 以上, 其长度将是当今世界上已建成的英吉利海峡隧道长的 3 倍, 亦将是日本的青函隧道的 2 倍以上。尤其是其穿越地区的地质条件远比英吉利海峡复杂, 也较青函隧道为不利。台湾海峡位居台湾岛弧的前陆盆地, 是个地震常发地区, 台湾岛弧又位于有名的西太平洋地震带上, 是菲律宾海板块和欧亚板块相碰撞地带, 这样的地壳活动区, 能修建隧道吗? 人们非常担心。

然而人们早在上个世纪中叶, 就有修建台湾海峡隧道的建议, 那时笔者之一的彭阜南正在台大任助教, 就听到台湾学生在一次游行中提出“修条隧道到大陆去”^[1]。当时台大的教授, 著名的海洋地质先驱, 马延英教授就要他考虑去福建调查地质, 以研究台湾海峡两岸地质的异同, 进行对比^[2,3]。至今, 想修条海峡隧道联通台湾和大陆的话题, 还在台湾学者中流传着*。在大陆方面也有工程桥梁专

家在上世纪 90 年代一开始, 就向中央提出过修建隧道的建议**。90 年代后期, 清华大学学者又提出了这一设想^[4], 得到我们的附议, 特别是得到清华大学学校领导的支持, 成立了台湾海峡隧道论证中心小组, 并得到福建各界和领导的重视与支持, 也得到台湾学术界, 工程界人士的支持与赞同, 终于迎来了两岸学者和工程界专家共聚一堂的讨论会^[4]。2002 年 3 月 23—24 日, 两岸学者在厦门市召开了“台湾海峡桥隧建设学术研讨会”。会上台湾大学海洋研究所俞何兴教授作了“台湾海峡之海洋地质简介”; 国家海洋局二所彭阜南和叶银灿教授作了“台湾海峡隧道南线方案地质环境的初步分析”; 福建王洪涛研究员等作了“台湾海峡地震地质构造环境与桥隧工程方案可行性研究”; 其他学者多集中于探讨台海隧道的开发战略(清华吴之明教授), 或“厦门—金门大桥址工程地质环境”(福建高天均教授等); “闽南‘金三角’桥隧选线”(厦大蔡爱智教授); “桥梁隧道与台湾海峡两岸经济发展”(陈吉余院士等); “金厦大桥之兴建与经

[收稿日期] 2002-07-01

[作者简介] 李 珏 (1924-), 男, 湖北大悟县人, 中国工程院院士, 中国地震局地质研究所研究员

* 1998 年黄灿辉在台湾海峡隧道学术研讨会上发言。

** 唐寰澄, 国家重点科技研究项目(交通部分)跨海交通工程研究建议(1989)及 1990 国家计委给唐寰澄(琼州海峡工程筹备组总工程师)复信。

济意义”（台湾大学王鸿楷教授、台湾成功大学张益三教授和台湾其他学者）；金庆焕院士等提出了“厦门—金门大桥预选桥址海洋工程地质勘探初步方案”。但是由于人所共知的原因，对于隧道工程前期的一些调研工作远没有开始，只有一些以海洋地质或地震科学等基础科学为目的，或者以石油远景勘探等为目的的一些科学研究。因之，还没有人针对能不能修建海峡隧道作出正面回答。可是这个疑点一直在人们心目中存在着，对此，笔者想从已掌握的地震构造学、海洋地质学、地震学的有关资料，做出分析与探讨，以利进一步研究。

1 西太平洋岛弧和软流层的倾伏

从亚洲大陆东望，其东缘的岛弧就像是长裙的裙边，从北向南为千岛弧、日本岛弧、琉球岛弧、台湾岛弧、吕宋岛弧，一褶皱一褶皱，连绵不断（图 1），这是太平洋板块洋壳西移，与欧亚板块陆壳相碰撞的结果。西太平洋板块下的软流层向西环流，并作扇面展开，由于作用力大小差异和方向的变异，倾伏角度的改变，导致洋壳和陆壳在碰撞时岛弧的形成、岛弧的转折和间断；软流层倾伏角的大小，乃系碰撞作用力的大小所致。

2 转换断层和类转换断层

1968 年美国海洋测量局 Heirtzler 等人据海底玄武岩，磁异常条带做作出从洋中脊溢出向两侧推移，排列成绝对年龄由老到新的平面分布图像（图 2），反映出太平洋西部洋壳西进的速度参差不齐，形成转换断层。其断层线总体看分布均匀，走向稳定。洋壳西进和陆壳碰撞后，向西推进的力在陆壳上引起类似方向的老断层的复活；由于推进速度不一，有的左旋，有的右旋，特命之为类转换断层*，以与洋壳中的转换断层相区别。例如台湾本岛南北两端海外出现的 N-W 向深大断裂就是类转换断层（图 3）^[7~10]。

台湾岛的内部，因有花莲—台东纵谷板块碰撞带和中央山脉褶皱隆起带的存在，地应力在此聚集和释放，使岛的西缘和邻接的海峡内没有或少有类转换断层的存在。

台岛两端外侧的近北西向类转换断层，应是深大断裂带。它是其下软流层差异活动的产物；深度大，可达软流层；延伸长，可从洋壳拓展到陆壳，

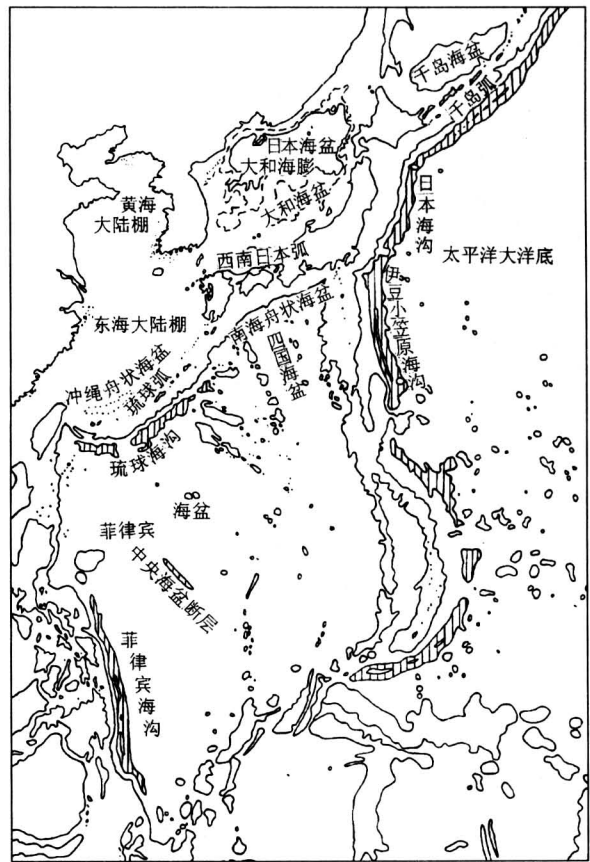


图 1 太平洋西部岛弧分布图^[5]

Fig.1 Distribution of island arcs in the western part of the Pacific

并深入其内有一定距离。由于长期错动的结果，断层破碎带具有一定宽度；活动可延续到现代。近地表处，疏松破碎，当洋壳挤压陆壳时，类转换断层则是最佳的储能场所；若还有其它方向的断裂带与之交汇，则更是强震易于发生的地点。

3 台湾海峡—台湾岛东西向地质剖面

福建、台湾海峡和台湾本岛花东纵谷以西，三者并连为一体，并向东微倾，它们系欧亚陆壳的一部分。其下软流层向东流^[11]，大地形变亦反映出这样的结果^[12]。这个向东倾的陆壳直延伸到岛屿的中

* 在福建南部东山岛的陈城 (22.75°N, 117.5°E) 海岸边，1986 年夏彭阜南和国家海洋局二所、三所同事亲自考察见有来自海外的 N-W 向逆冲剪切断层碎裂带全为碎屑状石英岩，一定距离外的海滩外则为一片深动力变质的花岗片麻岩，其中出现红柱石，方向性极强，当时未能给其在大地构造上定位，故印象深刻，可能是一条类转换断层带，其延长线沿台湾岛南端而过。

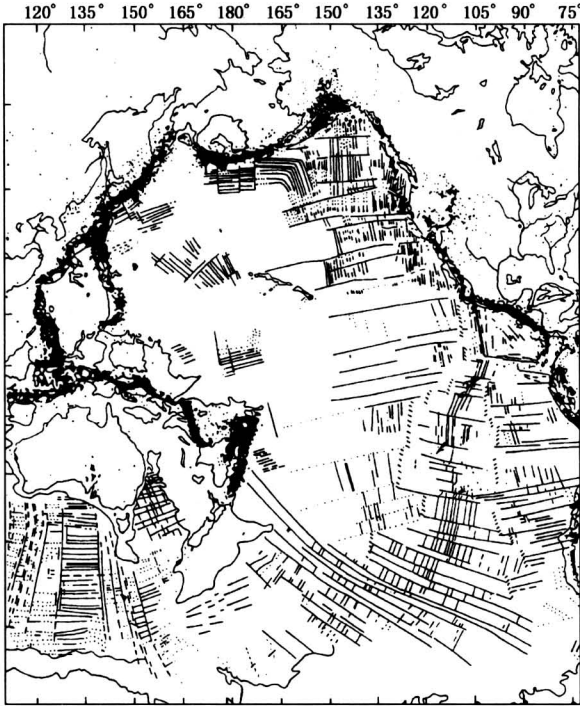


图 2 太平洋领域内磁异常分布图^[6]

Fig.2 Magnetic anomaly distribution in the field of the Pacific

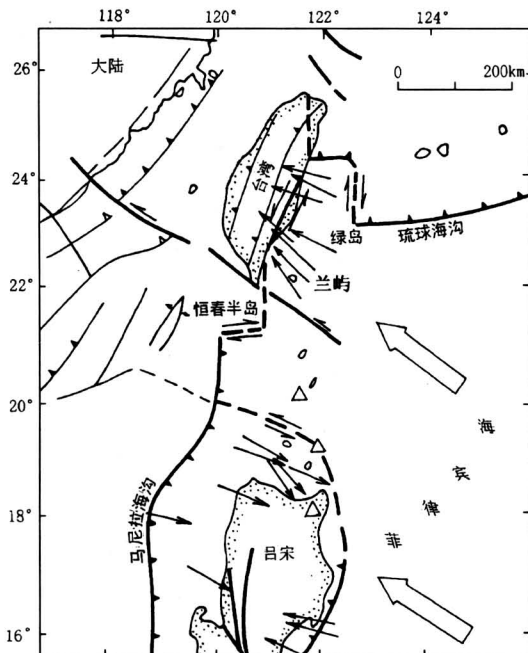


图 3 台湾海峡及邻区的类转换断层和深大断裂^[7~10]

Fig.3 The transform-like faults and abyssal faults in Taiwan Strait and its adjacent

部，遇到西进的洋壳，二者发生剧烈的碰撞，洋壳向西发生 30°角的仰冲，构成中央山脉东西两侧的强震发生带。在海洋地质学则称之为前沿冲断层带 (frontal thrust zone)^[13]。已知陆壳为中生代的碎屑沉积和火山岩组成^[8]，洋壳则是第三纪和第四纪的海洋相碎屑沉积^[7]。在海峡陆壳上堆积的第四纪沉积物，其特点是地层平整，为颗粒细小的深水沉积，厚达数百米^[14] (图 4 及图 5)。

4 台湾岛和台湾海峡的地震分布和特征

台湾岛存在着东西两大活动断层分布带，历史上发生的地震，基本上沿着这两大断裂带分布。东带是花东纵谷带，由于菲律宾海洋壳板块与欧亚大陆板块碰撞而生成的，两大板块碰撞时的地应力，大都沿着这一碰撞带释放^[15,16]，震源的深度大多属于浅源地震，但深度较西部带为深，引起的震害较小。

至于西部地震带则为台湾西部平原和山麓丘陵邻接的地带 (图 4)。当洋、陆板块碰撞时的主要应力集中在东带释放之后，一部分则集中在西部带，在促使板块基底上部的盖层产生滑移破裂引起强震^[15]。西部地震带生成的地震往往较东部为少，但震源极浅，因而破坏性较大。例如 1999 年 9 月 21 日集集大震，震级 7.3，震源深度 8 km，破坏性极大。

图 6 是 1964~1995 年之间，大于或等于 5.0 级的地震震中分布图^[17,18]。图中的台湾岛中部最大地震是 1999 年 9 月 21 日的集集 7.3 级震中^[16]。

台湾海峡地震活动特征：

菲律宾板块向西推进的动力，经过台湾东部带和西部带的释放，传到台湾海峡的剩余部分相对较弱，因而在历史上台湾海峡的地震，多属中小型地震 (图 7, 8)。研究这些中小型地震之后^[19,20]，发现大多数呈带状或窝状出现，推测这是与海峡中的较小活断裂相交有关。只有当滨海深大断裂在海峡南部东山、南沃附近和切过台湾岛南端的 NW 向类转换断层相交之处，和滨海大断裂在海峡北部和宁化—福州近东西向断裂和贯穿兴化湾的 NW 大断裂相交之处，可产生较大地震，震级可达 7 级，最大为 7.5 (泉州湾 1604 年)。而在南北端之间则极少有超过 6 级的地震，1994 年在海峡中线南部的 7.3 级地震，则系地幔上隆引起的^[21]。

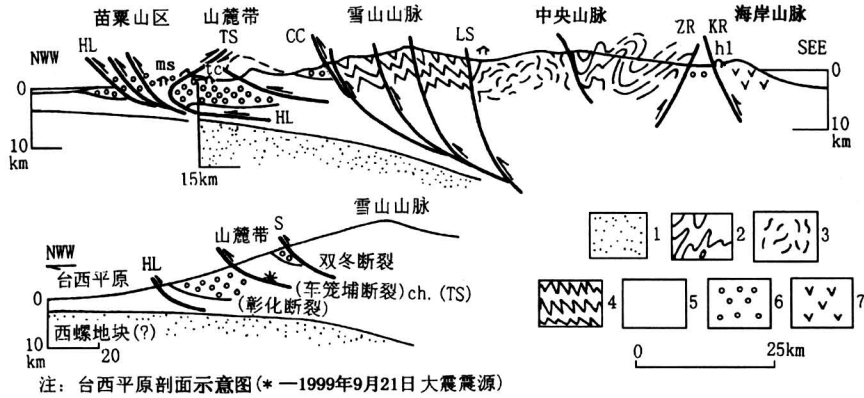


图 4 台湾地质剖面简图^[7,8]

Fig.4 Geologic section of Taiwan Island

1—前第三纪刚性基底；2—前第三纪滑动基底；3—2 的上部之粘板岩（已强烈变形破碎并蛇绿岩化）；4—1 的上部第三纪板岩及石英岩分离层；5—主要为中新世及上新世地层，分布在山麓区作迭瓦构造；6—更新世磨砾层及造山后沉积；7—第三系外来弧及俯冲杂岩；HL—新竹—林内断裂；TS—电子脚—狮潭断裂；CC—潮州—车程断裂；LS—梨山断裂；ZR—中央山脉断裂；KR—海岸山脉断裂；ms—苗栗；tc—台中；hl—花莲

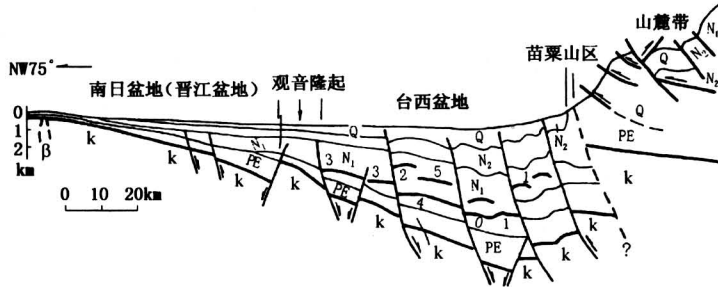


图 5 福建南日岛至台湾新竹—苗栗之间地质地震剖面图

Fig.5 Seismogeologic section in the range from Nanri Island, Fujian Province, to Hisnch-Miaoshu, Taiwan
1—挤压背斜；2—牵引背斜；3—断块；4—断鼻；5—砂岩上倾尖；k—白垩纪；PE—古新统一始新统；O—渐新统；N₁—中新统；N₂—上新统；Q—第四纪

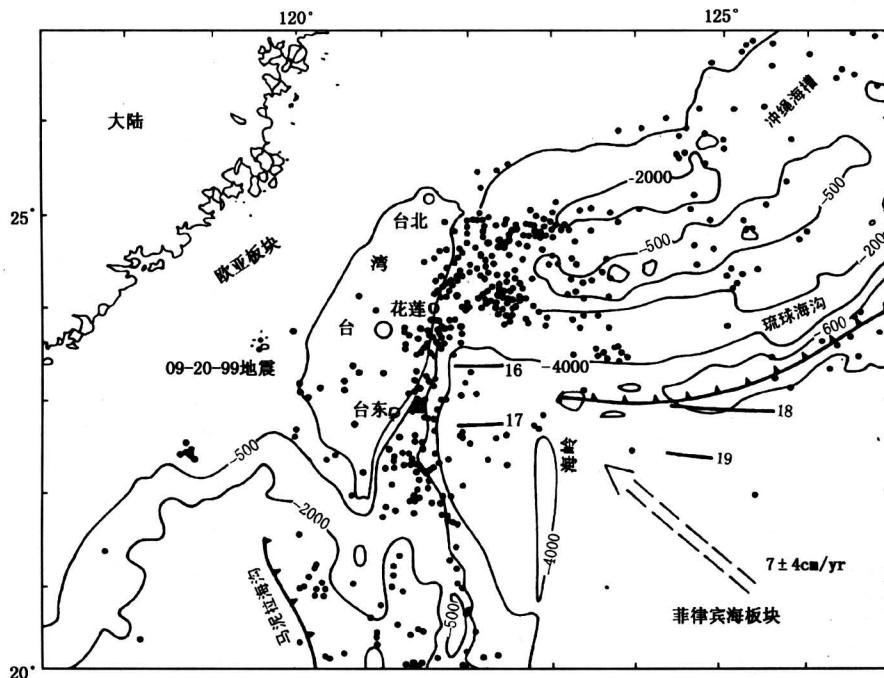


图 6 台湾 1964—1995 年 5 级及 5 级以上地震分布图^[14]

Fig.6 Distribution of earthquakes of magnitude 5 and higher in Taiwan in the period of 1964—1995

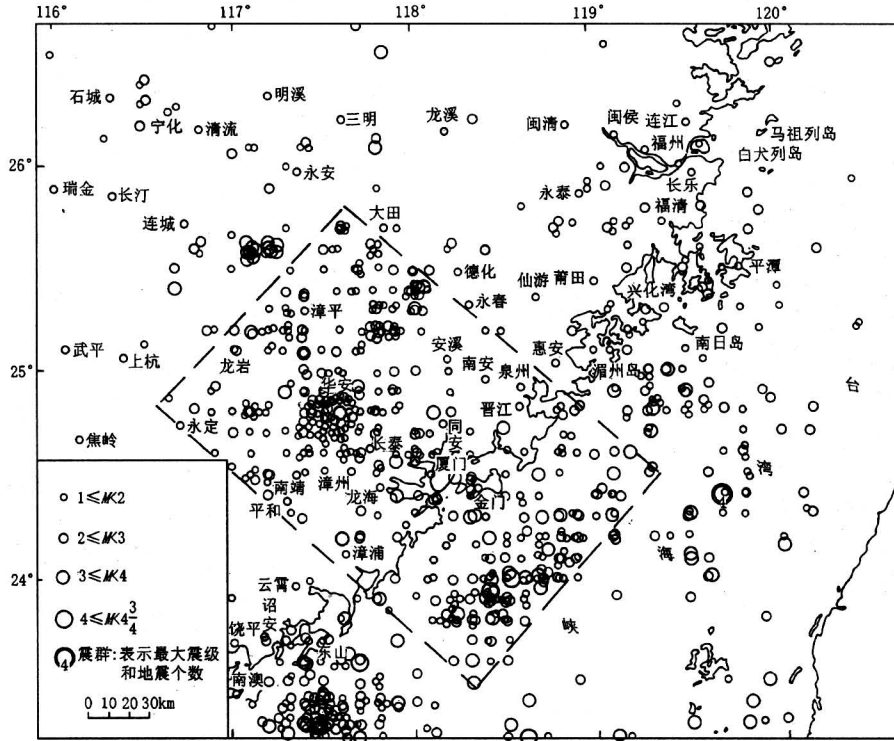
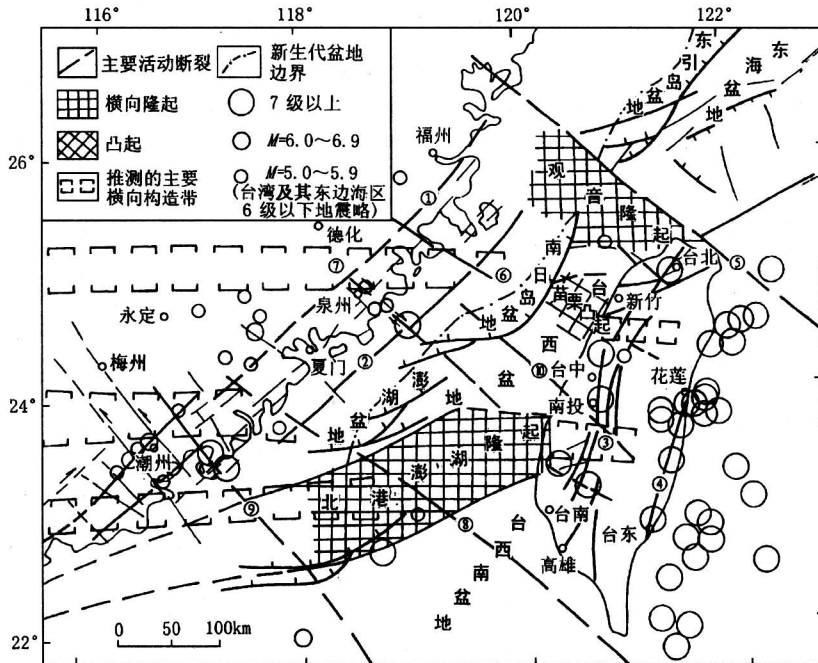


图 7 福建沿海弱震震中分布图^[19]

Fig.7 Epicenter distribution of weak earthquake in the coastal region of Fujian Province



①—福清东张—云霄断裂；②—浙闽滨海断裂；③—台西平原断裂；④—台东断裂；⑤—宁德—基隆断裂；⑥—沙县—南日岛断裂；⑦—永安—晋江断裂；⑧—龙海—七星岩断裂（巴士海峡断裂）；⑨—上杭—浅滩（西）断裂；⑩—泉州—台中断裂

图 8 台湾海峡及两岸活动构造纲要图^[22]

Fig.8 Active tectonic diagram of Taiwan Strait and its both side regions

对比台湾岛上的地震与台湾海峡地震的特点,发现岛上的强震主要受控于东部、西部两大活动断裂带;海峡的地震主要是台岛两大强震带特别是西部地震带的剩余效应。因此,前者发生强震,实际上是对后者起了屏障作用^[23]。

5 从地震和地质角度看修建海峡隧道的可行性

由于岛上的花东纵谷作为洋壳对陆壳的碰撞地带,形成南北向的东西两大强震发生带,这对海峡地震的发生,起了很好的屏障作用;东边来的挤压力在这两个带上聚集和释放了。海峡区作为陆壳,深部受到较小的水平压力而表部又受东西向的引张,反映在地震活动上同岛上有明显不同。

海峡两端因有近东西及 NW 向类转换断层的存在,应力在此集中,而对海峡内部也起着屏障作用。海峡内部近南北向断层同台岛两端类转换断层相交叉,形成了强震发生的适宜地段,如南沃附近 7.1 级的历史地震就是例证;而海峡内部没有强震,就是个反证。

令人担心的是北北东—北东向福建滨海深大断裂带和海峡南北两端的 EW 向及 NW 向类转换断层的交汇处。看来该处的位置,离海峡内可选隧道路线的区域,尚有一定距离。即使未来有较强地震,也不会对海峡隧道造成大的影响。

根据几十年的仪器记录,海峡内最大地震未超过 6 级,海底沉积物从 Q_3 以来,地层为厚 300 m 以上页岩夹砂页岩,层面平缓无褶皱,也没有大断层带存在,说明未受过 ≥ 6 级地震的影响。

由于海峡位于陆壳上,其地震属板内地震型,若海峡区内震级上限不超过 6 级,则发生地震一般也不会引起地面的位错,更何况将来的隧道,按以往工程经验,多建在地下一定的深处,约在海床下 40 m,即或发生地震,位错量也会更小。这同岛上强震发生带所见位错量是不可同日而语的。岛上强震发生带,作 30° 的倾斜,仰冲盘相对较薄,上面为自由空间,地震时振动强烈,因此集集地震,仰冲引起的位移量很大^[15]。这同陆壳内部,板内强震发生带,断层多属高角度,断层两盘都受地体围限^[23,24],两者是绝然不同的,故同等级的地震,其位错量相差巨大,后者仅是前者的几分之一^[23,24]。

隧道重点设防地区,应是其岛上的出入口,它

距离台岛西部强震带较近,可能会受到一定的影响;而大陆一侧的出入口,地震安全设防问题较易解决。为慎重计,现代技术不难查明海峡内部和隧道东西两端是否有强震发生地段^[25]的存在,以便进一步核实。在海峡隧道工程启动前,可以进行此项测试。

参考文献

- [1] 方晓阳. 1998 年台湾海峡隧道工程可行性研究[A]. 台湾海峡隧道论证学术研讨会论文集[C]. 北京:清华大学出版社, 2000
- [2] 彭阜南. 台湾海峡及两岸地质工作的回顾与展望[A]. 彭阜南, 陈运泰编. 台湾海峡及其两岸地质地震研讨会论文集[C]. 北京:海洋出版社, 1991
- [3] 陈琴. 序言[A]. 彭阜南, 陈运泰编. 台湾海峡及其两岸地质地震研讨会论文集[C]. 北京:海洋出版社, 1991
- [4] 清华大学 21 世纪发展研究院. 台湾海峡隧道论证学术研讨会论文集及所附新闻报道汇编[M]. 北京:清华大学出版社, 2000
- [5] Nasu N. Marine Geology[M]. Tokyo: Tokyo Univ Press, 1980
- [6] Kobayashi K. Earth Sciences Undersea[M], Tokyo: Tokyo Univ Press, 1977
- [7] Biq Chingchang, Shyu C T, Chen J C, et al. Taiwan: Geology, geophysics, and marine sediments, ocean basins and margins[A], Narin A E M, Stehli F G, Uyeda S. The Pacific Ocean[M]. vol. 7A, New York and London: Plenum Press, 1985
- [8] Biq Chingchang. Taiwan[A]. Moores E M, Fairbridge R W. Encyclopedia of European and Asian Regional geology[M]. London: Chapman & Hall, 1997. 711 ~ 717
- [9] 中国科学院南海海洋研究所, 福建海洋研究所, 台湾海峡课题组. 台湾海峡西部石油地质地球物理调查报告[R]. 北京:海洋出版社, 1989
- [10] 王洪涛, 范光禄, 郭振琪, 等. 板块碰撞与台湾海峡两岸“热—震”能态结构的研究[A]. 台湾海峡及其两岸地质地震论文集[C]. 北京:海洋出版社, 1991
- [11] 蒋家桢. 台湾海峡及其邻区岩石圈层下地幔流应力场[J]. 东海海洋, 1992, (2): 35~42
- [12] 刘光厦, 赵文俊, 吴岫云, 等. 台湾地区地壳厚度的研究——三维重力反演的初步结果[J]. 科学通报, 1990, 35(24): 1892~1895
- [13] Yu Hoshing, Chou Yingwei. Characteristics and development of the flexural forebulge and basal unconformity of western Taiwan Foreland Basin[J].

- Tectonophysics, 2001, 333: 277~291(tecto 6290)
- [14] 俞何兴,陈汝勤.台湾海峡之沉积盆地[M].编译馆主编,台湾:渤海堂文化公司印行,1996
- [15] Shin Tzaychyn. Some seismological aspects of the 1999 Chi-Chi earthquake in Taiwan[J], AOC (Terrestrial, Atmospheric and Oceanic Sciences), 2000, 11(3): 555~566
- [16] 刘聪桂,陈文山.变脸的大地[M].台北:台湾大学地质系,1999
- [17] Bonilla M G. A note on historic and quaternary faults in western Taiwan[A]. Open-File Report Version 1, US. Dept of the Interior USGS[C]. 1999. 99~447
- [18] National Earthquake Information Center (NEIC), USGS. Earthquake Bulletin: Taiwan and a supplement. 1999
- [19] 赵勇.漳州厦门地区新生代伸展构造与地震关系讨论[A]:彭阜南,陈运泰主编.台湾海峡及其两岸地质地
- 震研讨会论文集[C].北京:海洋出版社,1991
- [20] 卓秀榕,桂继光,林树,等.台湾海峡地震活动规律及断裂构造的地质学迹象[A].彭阜南,陈运泰主编.台湾海峡及其两岸地质地震研讨会论文集[C].北京:海洋出版社,1991
- [21] 郑天愉,刘鹏程.1994年9月16日台湾海峡地震及其构造背景研究.地球物理学报,1996,39(1):66~79
- [22] 马宗晋,徐杰,陈国光,等.中国大陆东部新构造期北西向活动断裂系的初步探讨[A].第四届世界华人地质科学研讨会论文集摘要[C].2002
- [23] 彭阜南.唐山地震见闻记(即唐山地震幕始末)[M].台湾中兴工程科技研究发展基金会出版,2000
- [24] 彭阜南,叶银灿,施斌,等.台湾海峡隧道地质与地震条件分析[J].高校地质学报,2001,7(2):175~188
- [25] 李坪,黄广思,杨美娥.中国强震发生带地震构造的几点思考[J].高校地质学报,2001,7(3):245~256

Preliminary Analysis of Seismic Risk in Taiwan Strait and Discussion on the Feasibility of Construction of Tunnel Across the Strait

Li Ping¹, Peng Funan², Yang Mei'e¹, Ye Yincan²

(1. Institute of Geology, China Seismological Bureau, Beijing 100029, China;

2. The Second Institute of Oceanography, State Oceanographic Bureau, Hangzhou 310012, China)

[Abstract] The collision between the Eurasian Continental Plate and the Pacific Plate along the eastern margin of Asian Continent produced a series of apron-frill-shaped island-arcs. The Taiwan Island-arc is only one of them. Its activity follows the general regularities of the plate motion but has regional characteristics. The Taiwan Islandarc is different from its adjacent Ryukyu and Luzon island-arcs and has transformlike fault occurring in it.

Fujian, Taiwan Strait, and Taiwan Island proper, located in a zone west of the Huadong Longitudinal Valley, are a part of the Eurasian continental crust and joined up as a whole body, dipping slightly to ward east at an angle of 29°~30°. The eastward flow of the asthenosphere led the body to strongly collide with the Philippine Sea Plate at the Huadong Longitudinal Valley and caused the Mesozoic clastic sediments and volcanic rocks in the upper continental crust to be strongly folded. They have westward overthrust and uplifted on the base of Eurasian Plate and hence a double-layer structure of Jurassic type was formed. The activity age of this series of NNE-trending westward overthrust faults is younger from east to west.

The western Taiwan Plain and the Taiwan strait represent the Pliocene-Quaternary foreland basins in the arc-continent collision zone. In the basins the Quaternary deep-water fine-grained sediments were accumulated and the deposits are evenly distributed. The lower part of these deposits unconformably overlie the Pliocene deposits, in which a series of mainly N-S-trending stepped faults is developed. It reflects a trend of weakening tectonic movement in the zone since the Pliocene.

(cont. on p.31)

长期的运行管理两部分。在市场经济条件下, 安全体系实质上就是安全法律体系。建议政府就“燃气产业法”立法, 规范各部门的职责。据此, 再制定各部门的安全技术和安全管理法规。

参考文献

- [1] Vergara W, Hay N E, Hall C W. Natural Gas, Its role and Potential in Economic Development[M]. Boulder San Francisco & Oxford: Westview Press, 1990
- [2] Pijachi M. Gas Fact, Gas Data Book[M]. American Gas Association, 1992
- [3] Usclat D. Strategy of Investment of gaz de France in China[A]. China Gas' 2000 [C], Chengdu, China, November 28 - 29, 2000
- [4] Боясанов Д Б, Ионин А А. Распределительные Системы Газоснабжения [М]. Москва: Стройиздат, 1977
- [5] Detourne C. Actual developments in the gas industry [R]. IGU Council Meeting, Buenos Aires. October 7. 1998
- [6] Фурман И Я. Дифференциация цен на газ в зависимости от режимов газоснабжения [J], Газовая Промышленность, 1997
- [7] Detourne C. Actual development in the gas industry[R]. IGU Council Meeting, Cheju Island Korea, October 13, 1999
- [8] Wilson G G. Parker R L. Distribution Book D - 1, System Design[M]. Arlington Virginia: The American Gas Association, 1990

Major Considerations in Development of City Gas in China

Li Youjia

(North China Municipal Engineering Design and Research Institute, Tianjin 300074, China)

[Abstract] As a result of the advent of natural gas in China, the city gas faces a good situation of great development at the beginning of the 21 st century. Over 400 cities are involved in the overall planning of natural gas supply, but many careful considerations should be made at present. This article makes the analysis and discussion of the major problems existed, in the hope of attracting universal attention to decrease the risks existed in the construction of projects.

[Key words] city gas; regularity of development; problems existed; suggestions

(cont. from p. 18)

Under the control of the described above general tectonic conditions, the seismicity in the strait is in some concert with that on the Taiwan Island proper. But crustal stress is largely released in the high seismic zone on the western margin of the Central Mountain Range, which has screen and prevention effects on the straits area. However, the zones in outer sea areas off both ends of the Taiwan Strait and Taiwan Island proper controlled by NW-trending transform-like faults are prone to strong earthquakes when the NE-trending seashore faults intersect the transform-like faults.

The Taiwan Strait are located on the Eurasian continental crust and its seismicity is of intraplate type. Large historic earthquakes of magnitude around 7 occurred on both northern and southern ends of the Taiwan Straits. Moreover, the Cenozoic deposits are evenly distributed in the intended engineering project area, where no active fault zone was found. It is estimated that the probability of occurrence of future $M \geq 6$ earthquake is quite lower. Thus, construction of the tunnel across the straits is feasible in seismotectonic aspect.

[Key words] Taiwan Strait; tunnel across strait; earthquake