

中国/台湾海峡地区灾害风险评估 减灾规划

George Pararas-Carayannis
国际海啸学会主席

摘要

中国东部沿海地区，特别是台湾海峡地区沿岸快速发展的沿海大型城市越来越容易受到潜在自然灾害的影响，这些灾害包括地震、海啸、台风、风暴潮和洪水等。上海、广东、福建和浙江，以及台湾等各省市均会受到这些一般灾害的威胁。加强海峡两岸的联系，共同减轻此类灾害的影响，对该地区经济持续稳定增长极其重要。在海峡两岸沿海地区进行重要的基础设施建设以支持区域发展和人口增长需要长期的规划，并不断的对指导原则进行修正，这将帮助减轻灾难对这一重要经济区域的影响。减轻未来灾害产生的影响，需要一套全面的，多学科领域的规划方法，使得我们能够首先发现灾害，从而对灾害的影响做出评估，确定可能受到灾害影响的地理范围，预测灾害重复发生的频率，设计出未来社会经济影响的可能情境，解决易受影响地区土地使用的冲突问题，最终制定出减轻灾害影响准备工作的综合方案。本文对台湾海峡地区潜在的地震、海啸、台风、风暴潮以及洪水等灾害风险进行了分析和评估。另外，本文还概述了有关持续性适应性的措施和战略，用以帮助在未来最大限度地降低灾害可能造成的人员伤亡和财产损失。最后，本文提出了制定综合灾害计划的方针的建议—该计划将通过鼓励和推动海峡两岸不仅在防灾减灾领域，还包括在教育、科技等多个其他领域间的合作，进一步加强两岸地区的联系。

1. 简介

中国东部沿海北至朝鲜半岛，南至越南一线的海岸线长达1800公里，包括6, 500个海岛，十分容易受到各种灾害的影响。该地区共有8个沿海省份，2个特大城市，多个中等和小型城市以及一个自治区，总人口约为5亿，超过中国总人口数的40%，预计未来人口还将继续以较高速率增长。当前已建成的重要基础设施未能对风险进行充分评估，或者面对未来极端灾害事件的影响时，无论在静力学或是动力学稳定性方面均无法满足更加严格的工程要求。当前的分析给出了对历史数据的简单概况，对历史发生的地震、海啸、台风和风暴潮等灾害进行了讨论，大致指出了区域性以及台湾海峡地区当地防御灾害的弱点。为了说明未来在减轻潜在灾害方面存在的挑战，本文概述了海峡两岸的福建省地震带和台湾地震带这2个明显的地震带的地质和地理特征，2个地震带间的挤压和碰撞运动可能引发极具破坏性的地震和海啸灾难。另外，本文简要介绍了近来发生的台风灾害，未来可能发生事件的情境，以及风暴潮可能引发低洼地带发生洪水灾害的动力学机制。最后，本文对工程师和规划者未来可能面对的一些最大可能发生的事件进行了说明，并概述了制定正确的土地使用、适当的建筑规范、工程规范必要标准的方法，并提出了可用于减轻未来不同灾害产生影响，促进海峡地区沿海城市持续发展的战略。（图1）。



Fig. 1. 中国 / 台湾海峡地区

2. 中国中部地区、沿海地区以及台湾海峡地区的地震构造。

以下对中国中部和沿海地区地震构造的概述提供了有关台湾海峡地区复杂、长期的地球动力学进展背景知识，并提出了该地区发生地震、海啸以及其他相关灾害的可能性。

2.1 中国的地震构造演化

古生代以前，主要是由欧亚大陆板块控制着中国的地质活动。然而，到了新生代中期，中国的地质活动开始主要受到太平洋和印度洋板块之间的相互作用的影响(Hellinger et al, 1985)。时常发生于中亚和东亚地震活动使得印度洋板块向北挤压碰撞欧亚板块（每年50毫米）。

这种板块的挤压作用一开始于约5500万年前—抬升了亚洲高原，产生了世界最大的造山带喜马拉雅山脉，以及青藏高原，其平均海拔高度为16, 000英尺，是地球上最高最大的高原（图2）。

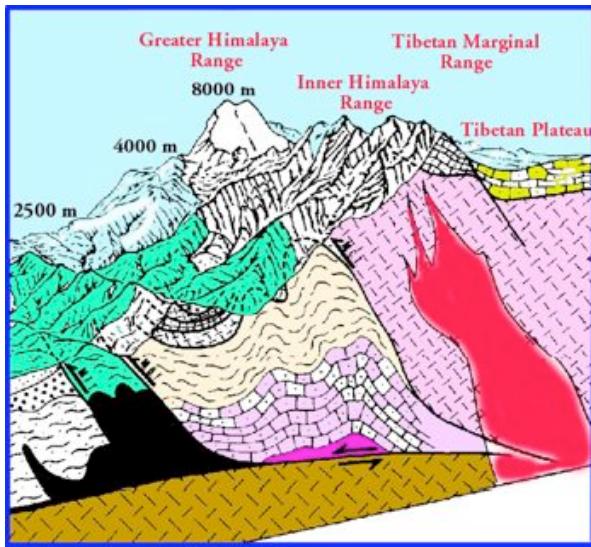


Fig 2. 喜马拉雅山脉和青藏高原的抬升

这种活跃的碰撞运动是持续导致印度和西藏以及整个周边地区发生大规模地震的原因。由于印度板块持续向北移动，不断侵入亚洲板块下端多达1200公里，使得喜马拉雅上北部地区沿着巨大的走滑断裂带（strike slip faults），例如阿尔金断裂带（Altyn Tagh），从侧面向东和东南方向移动，向中国中部移动，进一步引起挤压运动和地壳运动。随着碰撞的持续，数百公里的地壳块体朝着中国的东部和东南部移动。中国大体的地震活动正是在始新世早期(~50 Ma)这样的碰撞运动中形成的。(Ye et al. 1985).

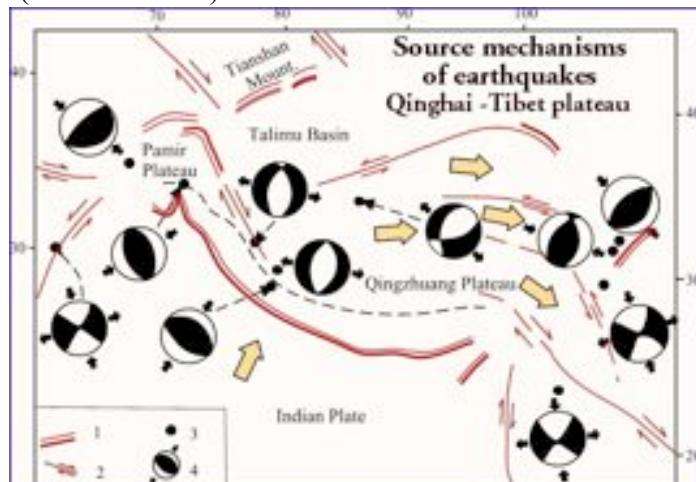


图3. 青藏高原地震发生的源头机制解释
(经Zheng Sihua修订, 1992)

图3表示青藏高原地区以及向中国东部和东南部发展的地震活动的发生源头机制。

同样，早期地震构造演化的主要特征也是几个微型大陆在整个显生宙中逐渐合并(Zhang et al., 1984; Hendrix and Davis, 2001)。碰撞和随之而来的合并和扩展运动等已经在中国产生了64个主要的构造带，这些构造带可再细分为几个构造“地区” (Zhang et al., 1984; Yin and Nie, 1996)。当前发生于中国的大部分地震都产生于大陆板块连接带，这一地区还在持续发生着一

些地质变化。2008年5月12日发生的毁灭性的四川大地震正是此类持续地质变化的最新例证(图. 4, 5) (Pararas-Carayannis, 2008d).

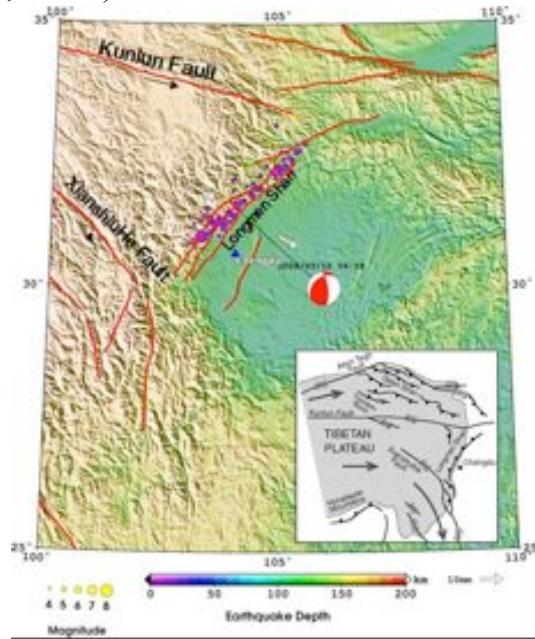


图 4. 龙门山断裂带的形成

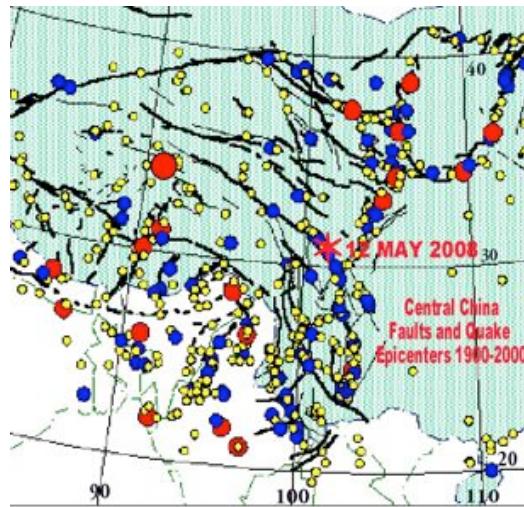


图. 5. 中国中部断裂带和地震震中 1900 - 2000.

2.2 中国沿海地区、台湾海峡地区地震构造演化。

中国的沿海地区经历了复杂的变化，这是台湾海峡地区当前地震构造形成的主要原因。印度—欧亚板块的碰撞构造和大西洋板块的俯冲运动等均造成黄河沿岸和南海地区的地质结构变化和多个密集地震带的形成。由于古地中海的张力作用，使得现在的中国沿海地区穿越了几个断裂带，这些地震带中常常发生严重的地震灾害，并且预计在未来还将再次发生地震(图. 6).

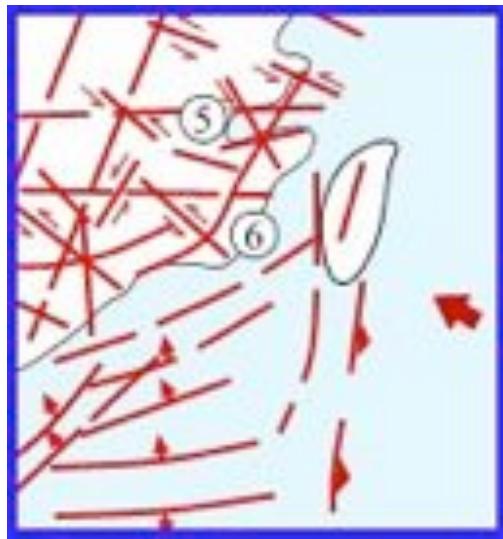


图 6. 南海北部及周边地区大陆边缘的共轭断裂带系统 (conjugate fault systems) 的简明图
(after Ma et al., 1998)

特别地，自白垩纪晚期以来，多幕及多阶段的构造事件形成了南海北部大陆边缘的反复多变的共轭剪切系统 (conjugate shear systems) (Qiu & Zhou, ?)。如今邻接台湾海峡沿海地区的广州—福建沿海地震带由一个共轭剪切系统在西北偏西向东南偏东方向的挤压作用下形成，形成时间不超过5Ma年。这个地震带的西部从浙江省延伸至广东省。同样地，如图6所示，这个地震带纵横交错着一个共轭系统，其间受到东西向挤压作用，并且存在多个横推断层，未来可能在这一地区发生严重的地震灾害。例如，广州—福建地震带的存在正是该地区过去大型地震发生的主要原因。

但是，大型地震并不仅仅发生于该地震带的沿线地区。中国东海岸和台湾地区发生的大型地震相信是在过去引发海啸的主要原因，对台湾海峡沿海地区也产生了影响。然而不幸的是，当前可用的历史资料十分有限。对历史上发生的地震和海啸以及未来潜在的风险进行全面评估的第一步应当建立在对历史记录仔细研究的基础上。下文仅是对中国沿海和台湾海峡地区过去历史上曾发生的地震和海啸灾害的简要概述。

2.3 台湾的地震构造演化

因为同时存在板块俯冲和板块会聚作用，台湾海峡东部地区的地震构造变得越来越复杂。台湾位于欧亚大陆板块和菲律宾海构造板块会聚的边界上。早期的构造板块会聚使得欧亚板块明显地向东俯冲至菲律宾海板块的吕宋岛弧之下。但是，这一剪力运动随着时间推移继续向西移动，形成了一个宽广的形变区域，包括俯冲、碰撞以及板块消失等，而非离散清晰的板块边界 (Pararas-Carayannis, 1999)。因此，由于大陆地壳有着明显的浮力，很难形成俯冲，构造过程并不像普遍认为的那样沿着单一的板块边界或俯冲区域发生。(图. 7)。显然，在弧—陆碰撞的不同阶段，广泛分部的剪切系统得以不断发展。(图. 8)。

当前，菲律宾海板块向北朝着欧亚板块下端移动与琉球群岛和吕宋岛弧—沟体系紧密相关，

表现为板块间的俯冲、会聚和旋转，但显著的是吕宋岛火山岛弧与亚洲大陆边缘的碰撞运动 (Pararas-Carayannis, 1999)。琉球群岛弧位于香港东面，台湾东北面，而吕宋岛弧体系则位于香港东南面和台湾的南面。两个火山岛弧都同时向台湾岛方向移动，这个长达100公里的宽广的变形带从台湾岛近海区域的西面向东面延伸。在台湾海峡东岸，地震构造带基本呈南北走向。

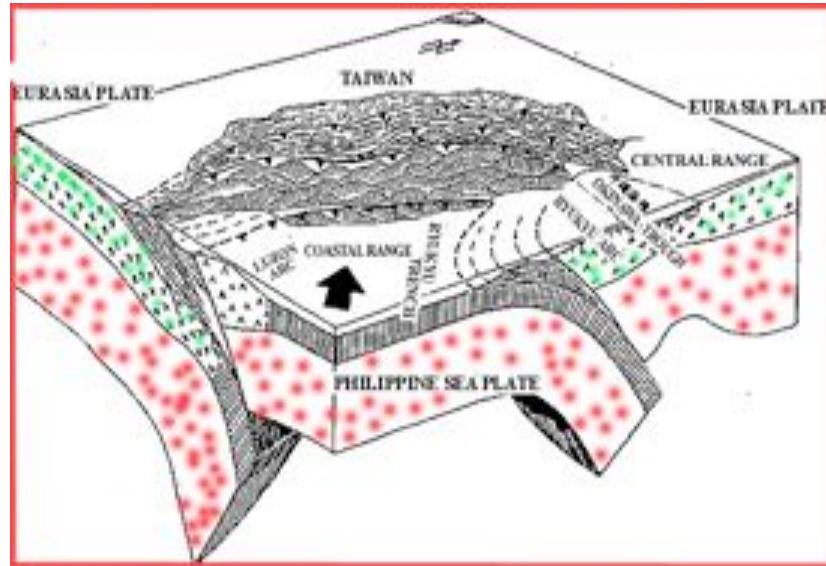


图. 7. 菲律宾海板块沿着琉球群岛海沟向北俯冲至欧亚板块的琉球群岛弧之下。

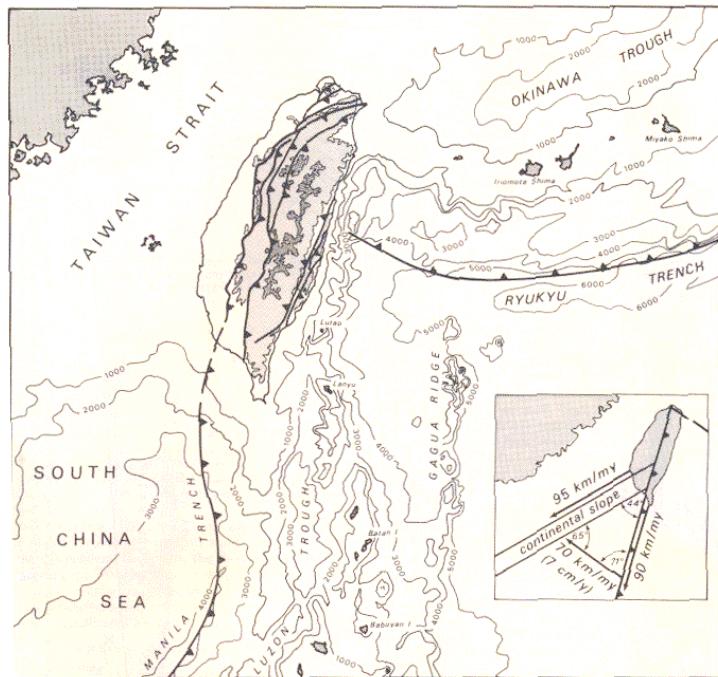


图. 8. 弧-陆碰撞。台湾海峡东岸台湾地区的三重碰撞联结点。

3.0 中国/台湾海峡地区地震和海啸的风险评估

中国/台湾，海峡两岸地区的地震和海啸风险分析需要对该地区的地震活动以及以往发生的所有灾害数据进行研究。以下是对中国东部沿海地区发生的严重海啸地震以及台湾海峡沿岸地区发生的影响最重的地震的简要概述。(图 9). 更加详细的研究需要进行全面的风险分析。

3.1 中国东部沿海和台湾海峡地区沿岸地区历史上发生的地震和海啸。

历史记录显示从公元前1831年至公元1980年间，中国共发生4, 117次里氏4.75级以上地震。从公元前47年至公元1921年间，估计共有约15次地震在中国东部沿海地区引发了海啸 (Pararas-Carayannis, 2007, 2008a, b, c). 台湾海峡地区所发生的地震的另一个特点是大部分地震都属于浅层地震，因此，部分发生于地壳断裂带沿线的地震往往有可能引发海啸。

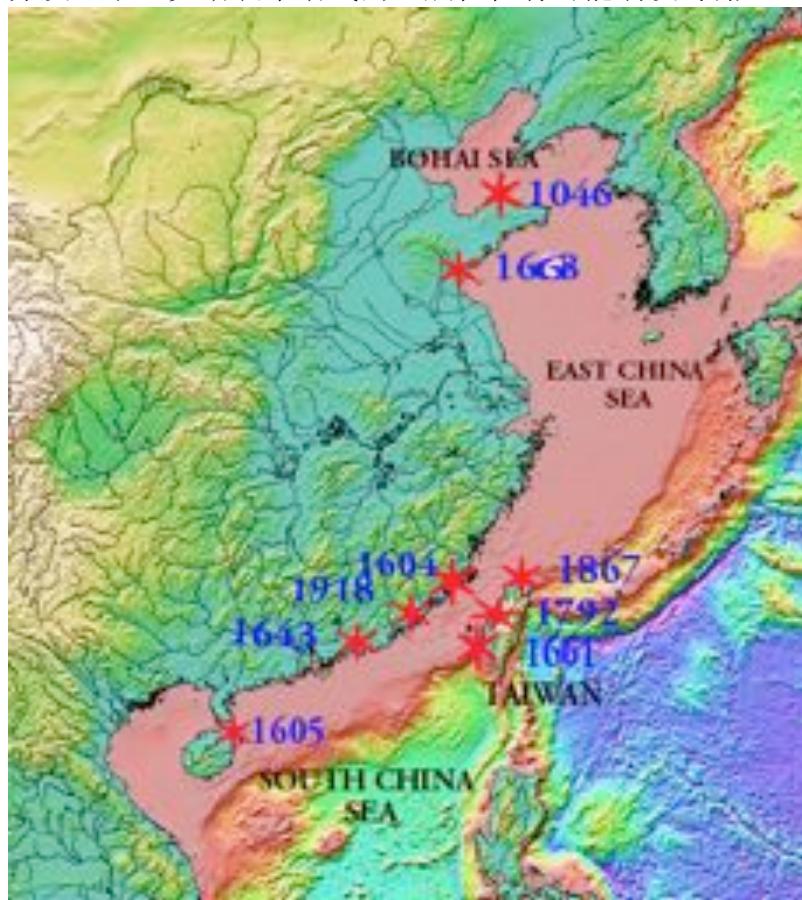


图. 9. 中国东部沿海和台湾海峡地区历史上发生的海啸地震的震中。

其中，在文献中记载的三次海啸有可能属于风暴潮。但是，图9中的数据也可能并不完整，与其他文献中记录的历史事件也存在冲突。造成10000人或10000人以上人员死亡的

严重海啸分别发生于1045, 1329, 1458, 1536, 1776以及1782等年份，但是无法找到有关这些海啸的具体资料。不过，关于这些事件历史数据的日期也可能存在错误。例如，资料记载1046年发生于渤海的海啸可能与1045年记录的海啸是同一次灾难。类似地，没有资料可显示1329, 1458, 1536, 1776或者1782等年份的海啸发生于何处。日期方面的错误需要进一步的调查，并且也需要正确地将中国农历转换成当前的天文历。

近年来发生的海啸灾难数据显得比较可靠，至少有3次对中国东部沿海地区发生的海啸的详细记录。第1次是1969年7月18日发生于渤海的里氏7.4级地震引起的海啸，据报道称这次海啸造成了河北省唐山附近沿海地区一定程度的损失(Pararas-Carayannis, 2008a, 2009)。第2次于1992年1月1日至2日发生于海南岛南端，造成了部分破坏 (Zhou & Adams, 1986)。这次海啸得到了充分的观测与仪器记录。例如，榆林验潮仪记录到的海啸高度为0.78米，而三亚港记录的海啸高度为0.5到0.8米。第三次海啸于1994年发生于台湾海峡，但是没有相关损失的报道。以下介绍了一些更早些时候发生的海啸灾难。

3.1.1 1604年12月9日发生的地震和海啸

台湾海峡地区最严重的海啸地震发生于1604年12月29日（图10）。按照文献中描述的此次地震的最高强度 (Zhou & Adams, 1986; Pararas-Carayannis, 2007)，这是一次大规模灾难性的地震灾害，必然对福建省和整个台湾海峡地区造成了严重影响，其震中位于泉州近海地区，靠近沿海的广州—福建地震带。对这次早期地震没有更加具体的资料可供查阅。但是，根据历史记录，我们可以看到这次地震造成了大范围的影响，包括“大地开裂”，“河流移动”以及大量船只沉没等。很显然，古老的描述表明这次海啸的强度足以击沉船只。这次海啸生成区域很可能在9级和10级强度的地震可能波及的近海地区。

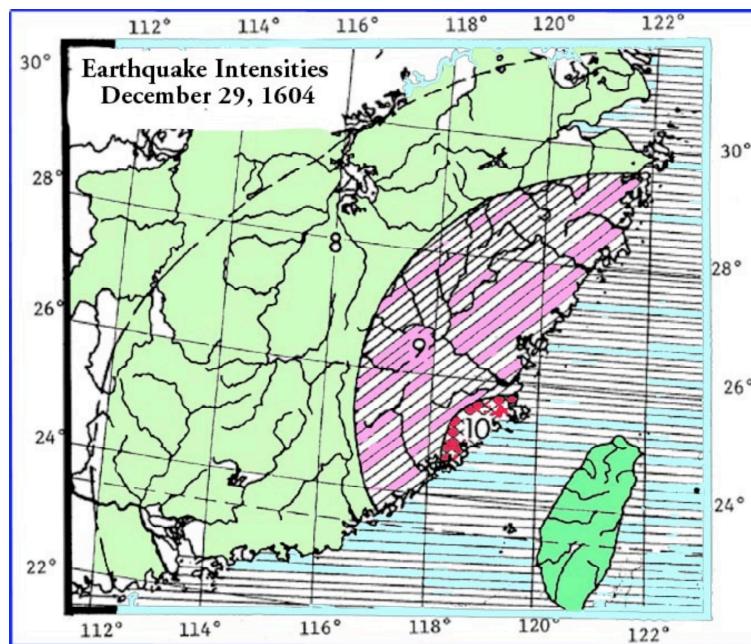


图. 10. 1604年12月29日地震强度。在10级或者9级地震区域很可能产生了一次海啸 (修正图 - Nat. Bur. Seismology, 1981).

3.1.2 1668年7月25日发生的地震和海啸

这是一次海啸地震，主要影响了山东省莒县，而不是福建 (Zhou & Adams, 1986; Pararas-Carayannis, 2007). 这次海啸发生于山东省莒县和登城之间的断裂区，目前这一区域由于受到持续地壳伸展的挤推作用而不断抬升 (图11)。由于挤推和沿海抬升作用，这次地震引发了一次巨大的海啸，必须经过风险分析才能更好的加以记录。

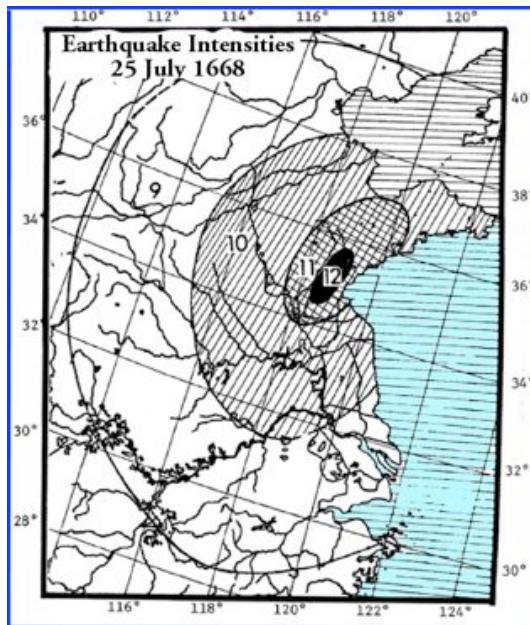


图. 11. 1604年12月29日地震强度。在10级和11级地震区域可能引发了一次海啸 (修正图, Nat. Bur. Seismology, 1981).

3.1.3 1918年2月13日发生的地震和海啸

这次大型地震发生于广东省Nano (?) 附近，造成了大范围的破坏。与1604年12月29日的地震相同，1918年这次地震也发生于福建—广东沿海的同一地震带上，但位置更加偏北 (图. 12)，具体的震中位于政和—海丰附近，地壳出现了逆时针旋转 (Nat. Bur. Seismology, 1981a, Zhou & Adams, 1986).

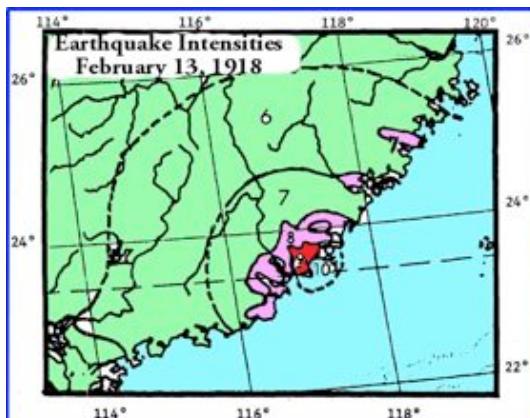


图. 12. 1918年2月13日地震强度。9级和10级地震区域引发了可能一次海啸 (修正图 - Nat. Bur. Seismology, 1981).

3.1.3 渤海地区发生的地震和海啸

1969年7月18日发生于渤海的里氏7.4级浅层地震引发了一次小规模海啸，高出正常潮位1到2米。这次海啸造成了河北省唐山市附近地区一定程度的损失，但没有具体损失记录。同样，也找不到关于地震发生时潮位的高度以及所记录的1到2米海啸发生于高潮还是低潮的详细资料(Pararas-Carayannis, 2008a). 这次地震发生于华北北部的张家口—渤海地震构造带上。这一地区已发生过多次地震与海啸(图. 13).

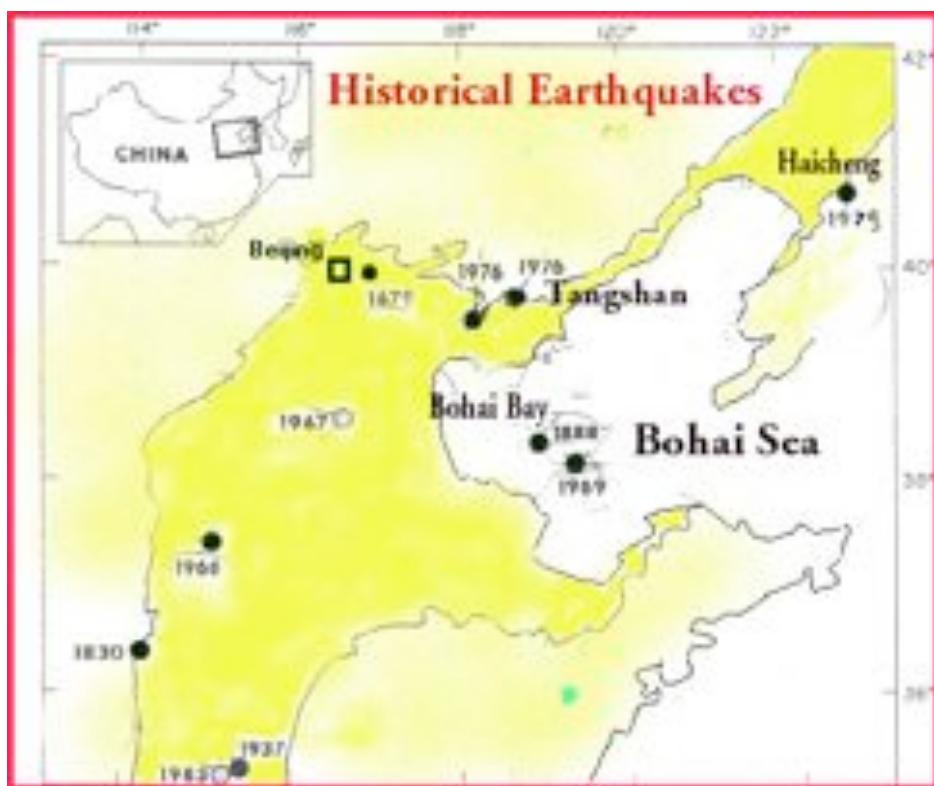


图. 13. 渤海地区发生的地震和海啸 (Pararas-Carayannis, 2009)

接下来发生于渤海湾地区的1975年海城地震以及1976年唐山地震都极具破坏力 (Pararas-Carayannis, 2007, 2009). 1976年发生于河北省唐山市的两次地震造成了现代史上巨大的人员伤亡。文献中对这两次地震的影响进行了充分的描述，但没有提及是否引发了海啸。但是，唐山地震中的地震强度，余震分布以及所观测到的地壳运动等均表明渤海湾沿海地区均受到不同程度的影响，因此很有可能引发了当地的海啸，但是没有找到相关报道。虽然没有报道，但我们还是相信1976年7月26日的唐山大地震同样引发了渤海湾的海啸（图14）。显然，地震在陆地上造成的破坏程度远远超过了海啸产生的影响。

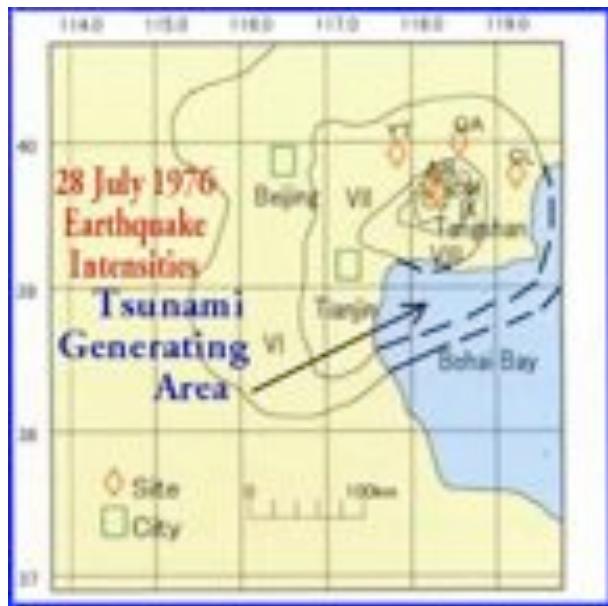


图14. 1976年7月28日发生于渤海湾的地震和海啸 (Pararas-Carayannis, 2009).

3.1.4 1999年9月20日发生于台湾的地震

1999年9月20日袭击台湾的里氏7.7级地震是该地区可能发生严重地震灾害的一个例证 (Pararas-Carayannis, 1999). 图15表示的是20年间（1997—1997）台湾东部和西部，包括海峡两岸地区在内的发生的大量地震活动以及1999年9月20日灾难性地震的震中位置。

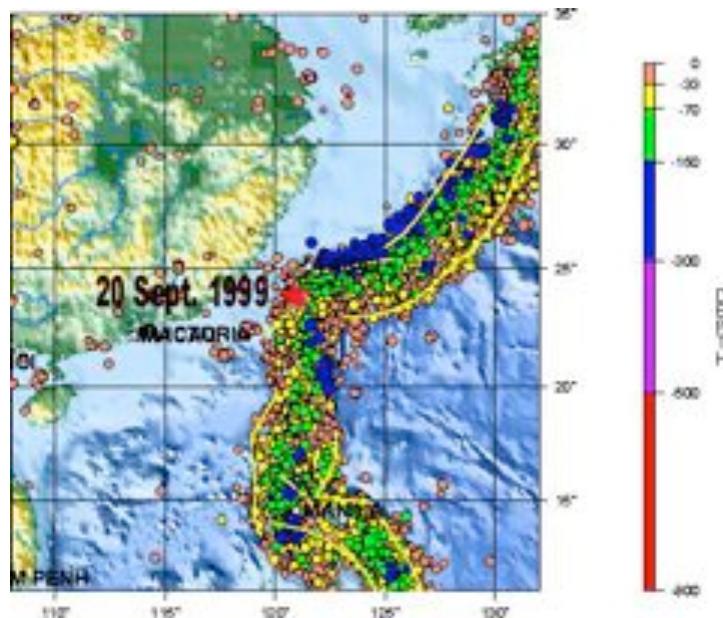


图 15. 1977年至1997年间发生于台湾和台湾海峡两岸地区的地震活动。1999年9月20日地震的震中位置 (USGS国家地震数据中心修正图).

3.1.5 1972年8月9日发生的地震和海啸

这次地震发生于台湾嘉义附近(见图9)，虽然强度不强，但却造成了很大的破坏。历史记录中描述到：“河水被掀起几米高”，田地“下陷”，并且“洪水淹没低洼地带” (Gu et al., 1983, Zhou & Adams, 1986).

4.0 近年来发生于台湾海峡地区的台风、风暴潮和洪水灾害

全世界将近三分之一的热带气旋都生成于西太平洋地区。热带气旋高峰期为8月到10月。每年，台湾海峡地区都会遭受多次严重风暴、台风以及由台风引发的洪水袭击。福建、广东、浙江以及台湾各省均遭受过严重的大风和洪水破坏。近年来发生于台湾海峡地区的几个台风极具破坏力，给当地地区造成了重大的人员伤亡。例如，最近影响该地区最严重的破坏性风暴系统生成异常年份为2000年。图16显示了该年的热带风暴路径。2005年9月和10月，台风“泰利”(Talim)，“卡努”(Khanun)以及“达维”(Damrey)等夺走了130多人的生命，同时还破坏了福建省福州市的铁路、航空以及船运服务。福建、浙江以及广东三省沿海地区撤离总人数达到730,000人。

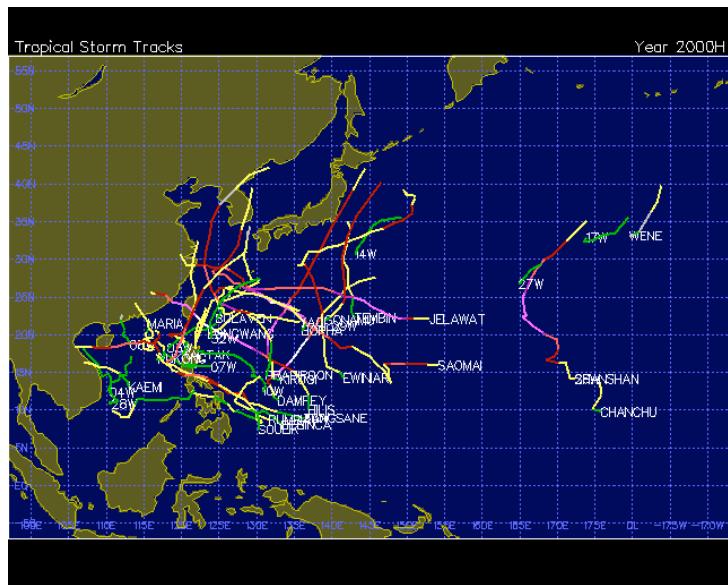


图16. 2000年热带风暴路径

下面简要说明了部分近年来发生于台湾海峡地区的风暴系统——表明了每年季节性重复发生这些与天气相关的破坏性灾难的情况。

4.1 台风 "碧利斯 (Bilis) " – 2000年8月的台风“碧利斯”是影响台湾海峡地区最严重的超强台风之一，近中心平均最大风速达到57米/秒（205公里/小时）。图17显示了碧利斯的移动路径和近中心最大风速的变化情况。

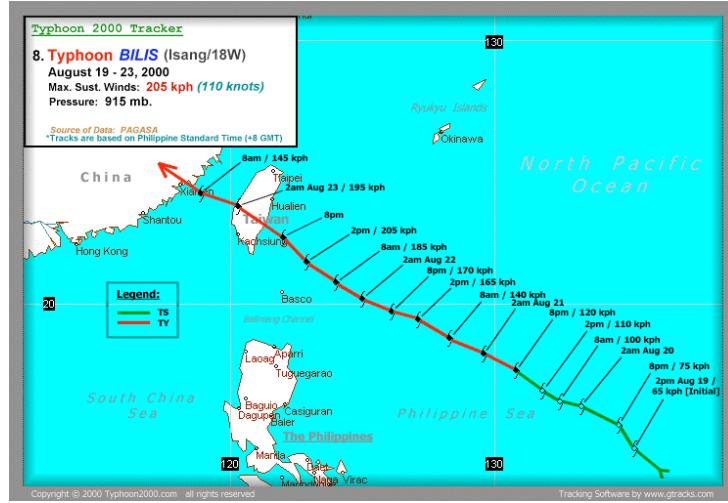


图17. 2000年8月19日至23日台风碧利斯移动路径

4.2 台风 "龙王 (Longwang) " – 2005年10月初袭击了台湾之后，台风“龙王”继续向福建省方向移动，引发了大洪水，部分地区的水深达到2米。在福建，该强烈风暴影响了62个市县的370万人口，摧毁房屋5500多间，毁坏农田面积约98,000公顷，夺走了65人的生命。台风“龙王”在福州市区以及在黄河和长江主要支流沿岸引发了大范围的洪涝灾害。



图18. 2005年10月3日台风“龙王”袭击福建省福州市后，福州市中心遭洪水淹没的情景。(路透社图片)。

4.3 台风"格美 (Kaemi) " – 2006年7月25日，台风“格美”在福建省晋江市登陆，同时也在台湾引发了暴雨和洪水等灾害（图19）。在中国至少有32人死亡，另外还有60人失踪。台风“格美”登陆时，其风速超过每小时75英里，受台风影响的地区降雨量达到2到4英寸，并引发了严重的洪水。

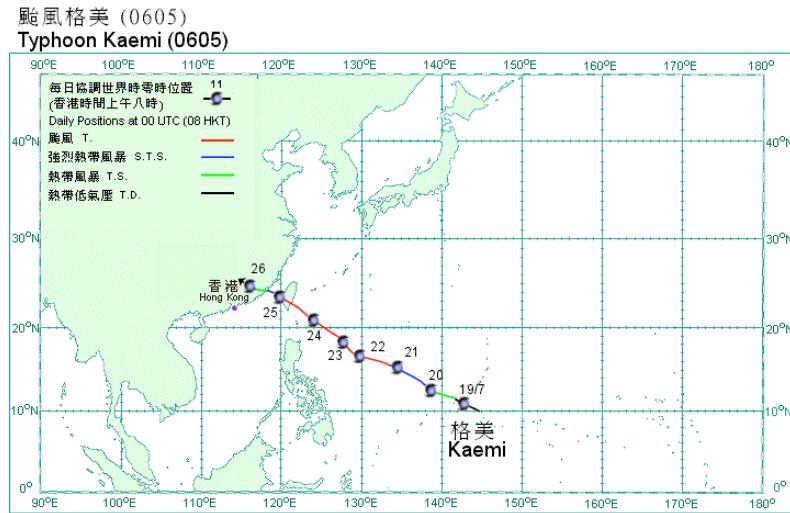


图19. 台风格美的移动路径以及在台湾和海峡地区的登陆点。

4.4 台风 "桑美 (Saomai) " – 2006年8月10日，台风桑美猛烈袭击了浙江省的海边小镇马站。台风桑美是近50年来袭击中国的最强烈的台风，超过130万人被迫转移。桑美在浙江省、江西省以及福建省的龙岩市（**宁德？**）造成了严重的破坏，最大风速超过每小时135英里。

4.5 台风 "圣帕 (Sepat) " – 2007年8月18日，超强台风“圣帕”以高达每小时184公里的风速袭击了台湾和海峡地区，在一天后在中国东部沿海再次登陆后迅速减弱。除了福建外，广东和浙江两省也受到了不同程度的影响。

4.6 台风"罗莎 (Krosa) " – 2007年10月，台风“罗莎”以每小时180公里的风速袭击了台湾，之后继续向浙江省温岭市方向移动。浙江和福建两省共有超过100万人从沿海地区撤离。福建集结了近37000多艘船只。

4.7 台风 "海鸥 (Kalmaegi) " – 2008年7月18日，台风海鸥导致至少20人死亡，并在台湾岛引发严重的洪水、山体滑坡等灾害，农作物损失巨大。中国政府在福建和浙江两省撤离了500, 000多人，近80, 000艘渔船被迫回港避风。大陆与台湾之间的航运服务也被迫停止。

4.8 台风 "凤凰 (Fung Wong) " – 2008年7月28日，强台风“凤凰”袭击了台北市，登陆时近中心最大风速达到每小时190公里，之后在福清市东瀚镇再次登陆，此时的风速为每小时119公里。该台风快速扫过福建省，引发了暴雨和严重的洪水灾害。

4.9 台风 "森拉克 (Sinlaku) " – 2008年9月13日，2级台风"森拉克"在台湾登陆，之后转向东

北方向移动，重新进入南海，开始缓慢向日本方向移动。该台风在台湾宜兰县登陆时使得当地的航空和铁路运输一度中断。台风森拉克是当年影响中国大陆的第13个热带风暴，福建和浙江两省共有260, 000人（460000?）被迫从沿海低洼地带撤离。台风森拉克接近Nanfangaou时，巨浪袭击了沿岸地区。森拉克以每小时126公里的最大风速侵袭了浙江沿岸，引发了严重的洪水。浙江近230, 000人从沿海撤离，30, 000艘渔船回港避风。该风暴的影响甚至远至东部的上海市，使得上海黄埔江的水位上涨至警戒水位。

4.10 台风"蔷薇 (Jangmi) " – 2008年9月28日,台风“蔷薇”在台湾东北部沿海登陆，之后继续向福建和浙江沿海靠近，导致大量人员转移，学校停课，工厂停业。幸运的是，蔷薇逐渐减弱成为了热带风暴。

5.0 地震、海啸和海洋灾害风险，以及台湾海峡两岸易受灾害影响的地区。

海峡两岸是中国和台湾人口最密集，经济最发达的地区。过去，地震灾害曾对该地区造成巨大的影响。海洋灾害，例如海啸或台风引发的风暴潮等也对该地区的沿岸人口和经济有着严重的危害。以下简要概述了可能促使海啸以及其他海洋和天气灾害（例如风暴潮）发生及影响扩大的直接和间接因素。

正如之前所述，由于中国沿海地区地震构造带的复杂性和活跃性，中国总的来说越来越容易受到地震和海啸的影响，近来也频频发生具有严重破坏性的地震。海峡两岸地区的地震灾害是该地区面临的一个主要风险，必须仔细的加以研究，以便全面的评估未来可能产生的影响和地震重复发生的频率。另外，还必须对大地震以及厚覆盖土层的地层叠加，**en-echelon bookshelf failures**，或者海底滑坡触发等其他相关机制引发的海啸风险进行评估。为了评估此类潜在海啸机制，必须对海峡两岸地区的结构演化和构造演化采用分析法进行重新研究以及进一步地加以评估。同样地，台风及其引发的风暴潮洪水也是该地区的主要威胁，也必须加以深入研究。历史记录表明，海峡两岸是最容易受到台风及其引发的风暴潮洪水影响的地区之一。

5.1 地震和海啸危害和易受影响的区域——海峡两岸地区发生海啸灾难的可能性。

一些形变地震灾害很可能在当地引发毁灭性的海啸。台湾海峡下部沿台湾东部的地壳应变方向似乎主要受到南北向张力的影响，而非东西向挤压力的影响 (Pararas-Carayannis, 1999). 历史记录表明，台湾海峡两岸地区常常发生毁灭性地震灾害。海峡地区地震活动活跃，可能产生强度超过6.0级的地震。1994年9月16日发生于台湾海峡的强烈地震就是最近的一个例证。发生于台南盆地西部的澎湖地震（体波震级mb=6.5）是一个震源相当浅的浅层地震（深度为13公里），其震源机制表明海床移动方向与常规断裂带一致，其轴线沿南北方向。强度超过6级的地震可能引发海啸，而强度超过7级并且具有较大垂直分量的地震则很可能引发更加剧烈的海啸(Pararas-Carayannis, 1999).

5.2 由相关机制引发的海啸

除了少数例子外，该地区的多数地震都会引起侧行走滑的地壳运动。这类地震不会引发海啸。但是，此类地震引起的强烈震动可能引发海底滑坡或其他并发事件，这些都可能在当地引

发毁灭性的海啸。

显然，地质变化在地壳下层演化过程中扮演着重要的角色，控制着古河道发展的程度以及古代河流系统和河道的变化，虽然现在已经被沉淀物掩埋，但仍继续向海峡两岸地区延伸 (Xu et al. 1996)。海峡两岸地区的主要河流沉积了大量沉积物，这些沉积物在河床产生了不稳定边坡，将成为滑坡海啸的潜在诱因。与强烈地震有关的构造运动—以及构造运动产生的挤压力—将与包含大量沉积物的被淹没的河流体系相互作用，因而产生大规模的沉积物运动—甚至在相对平缓的等深坡度上也将产生沉积物运动 (Pararas-Carayannis, 2009)。这类运动将引发当地的海啸。更深层的稳定沉积层的叠加和*en-echelon bookshelf type of failures* 将成为引发强烈海啸的相关机制。此类相关机制对在该地区任何地方引发毁灭性的海啸有着巨大的推动作用，尤其是在更加靠近广州—福建沿海地震带的密集地震区或沿着海峡两岸地区东岸的南北走向地震构造带的地区中。

5.3 远距离海啸

远距离海峡似乎不会对海峡两岸地区产生重大威胁，主要是因为台湾岛和弧形列岛的屏障作用。但是，马尼拉海沟或琉球群岛的地震引发的海啸将很可能对海峡两岸地区产生一定的影响。例如，1771年4月24日，在琉球群动最南端（当时属于日本Satsuma Samurais控制下的石垣岛以南地区）附近海域发生了一次大地震（估计7.4级），引发了一次巨大的海啸（记录表明最高海浪高度达50到85米）。这次海啸吞没了附近群岛，并对更远的Miyako群岛造成了破坏 (Pararas-Carayannis, 1999)。海浪将巨大的珊瑚块掀起，其中一个珊瑚块被海浪推至距离海岸2.5公里处。琉球群岛约有11000人在这次海啸中丧生，但是文献中找不到这次海啸对台湾、海峡两岸地区或中国沿海任何其他地区产生影响的描述。

日本海产生的海啸不会对黄河或中国东海沿岸地区产生重大影响。例如，当1983年5月26日发生于日本海的地震引发一场毁灭性海啸时，海啸的威力并未波及到黄河和中国东海地区。(图. 20)。虽然海啸影响到了上海附近的中国沿海地区，并且可能还影响到黄河和东海沿岸的其他沿海地区，但其产生的影响并不十分明显。上海附近的一个验朝站记录到的海啸高度仅为42厘米。

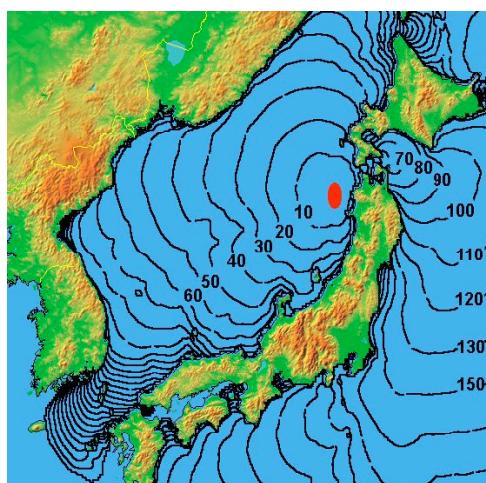


图20. 1983年5月26日发生于日本海的地震和海啸。海啸的威力并未波及中国东海。

5.4 水深的影响

由于近海地区水深较浅，因此海峡两岸地区以及中国东部沿海其他地区的沿岸特别容易受到海啸和其他海洋灾害的影响。浙江和福建两省的邻近大陆架相对较浅，平均水深仅有几米，最深处约100米。东海的长江以南地区，平均水深约为40米，但最深处约为300米。由于较浅的水深再加上平缓的水底坡度，海底滑坡（由地震或其他扰动引起）引发的海啸常常只在局部地区发生。

5.5 天文潮汐和大气潮汐的影响

同样地，天文潮差的明显变化可使得沿岸地区更加容易受到灾害影响，尤其是当处于高潮位时发生海啸或热带风暴、台风在高潮位时登陆。该地区的潮汐属于日周潮，中国海近月潮的最高潮位约为3米。然而，在浙江和福建北部沿海，大潮时潮位最高可达5.7米。在靠近杭州的近海地区，大潮潮位可达8米。水深较浅以及当地沿海的地形不同可能是天文潮力作用不同引发较高潮位的原因。必须对基频同步变动加以研究，以解释中国东部沿海和台湾海峡地区沿岸特有的地方差异。另外，进一步的分析也可帮助我们了解台风风暴潮袭击福建省和海峡两岸其他地区时所观测到的异常严重的洪水灾害和大潮潮位。

5.6 海峡两岸地区容易受到灾害影响的核电站和油井平台

台风及其引起的海洋灾害风险和洪水灾害是影响该地区更加频繁的季节性灾害，需要仔细的加以重新评估。黄河以及南海地区分布着为数众多的油井平台，中国东部沿海地区至少有7个已建成或在建的核电站（图21）。其中两个已经运营的核电站位于福建省，接近广州—福建地震带，并且靠近沿海地区，容易遭到台风风暴潮引发的洪水袭击，应该对这些设施以及该地区运营中的油井平台可能遭到类似1604年地震影响的安全性，以及是否已充分提升核电站冷却系统性能以应对极端异常台风风暴潮的影响进行再次审视。



图21 中国的核电站分布以及位于福建省已建成投入使用的核电站。

5.7 预计将出现的风力以及可能的风暴潮和洪水灾害

通过第4部分的简要概述，本文指出台风、热带风暴以及风暴潮等灾害构成了台湾海峡地区严重的、频繁发生的季节性灾害。在减轻此类灾害影响方面，我们面临的其中一个巨大挑战是如何预测受到气象、海洋以及天文等多方面因素综合作用，并且在台风登陆沿海地区之时引发的洪水灾害。这样的预测结果对于向公众发出预警以及对于沿海建筑结构的规划和设计等方面非常重要。

大型沿海建筑设施越来越高的建造要求，在获得由台风或热带风暴引发的风暴潮的预测方面有着保守的标准。因此，目前已研究出许多数值模式和技术为工程项目提供预报和预测。虽然，现代的技术和卫星云图可较早地发现热带风暴并热带风暴的移动路径进行跟踪，但是热带风暴系统的影响还并不总能完全预测。

在台风经过期间，可造成沿海地区水位剧烈变化的具体因素包括：风暴强度，风暴范围，路径，在海面上的持续时间，大气压力变化，移动速度，风雨情况，近海地区水深，天文潮汐，最初上涨水位，海面波浪以及由于风摩擦作用引起的波浪等 (Pararas-Carayannis, 1975)。预测风暴潮的能力主要依靠采用分析和数学模型，对风和海洋的相互作用做出估计。对台风靠近沿海地区引起的海浪进行预测是一个更加难以解决的问题，原因在于台风是一个三维的天气系统，其风速、风向以及气压等动力学条件时刻发生着变化，虽然如何解决这个问题不属于本文讨论范围，但是还是有必要对其做个简要说明。

近年来已经开发出许多复杂的数学模型，用于对能量流，开阔海岸的水位上涨以及飓风/台风经过时引发的洪水做出三维预测。大部分模型包括了对完整风暴生成过程的模拟近似以及对风场的近似，并采用了Bathystrophic风暴潮理论 (Pararas-Carayannis, 1975, 2006.)。但是，无论如何复杂，所有模式都受到了许多初始场条件和假设的限制，这些初始场条件和假设必须依靠分析热带风暴时刻变化的动力学条件—综合考虑作用于水面上的直接向岸和沿岸的风压分量的作用，地球自转作用（即Bathystrophic作用）以及不同的压力或摩擦力作用 (Pararas-Carayannis, 1975, 1992, 2004, 2006).

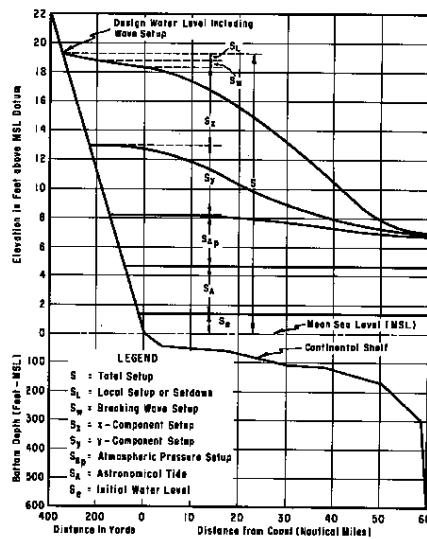


图. 22 在沿岸地区形成飓风/台风风暴潮的不同诱因 (Pararas-Carayannis, 1975).

最新的数值模式采用了三维方法，运用更快更搞笑的计算机，以及来自卫星的更加准确的天气数据，因此很有可能得到更加准确的预测。然而，此处所述的预测飓风/台风风暴潮的基础原则在本质上仍然没有发生改变。

图22用图示方法表示促使开阔海岸台风风暴潮高度逐渐升高并且引发洪水的各种因子(Pararas-Carayannis 1975). 但是，沿海的地貌也可对水位上升产生影响。

6.0 台湾海峡地区减灾规划

在阻止自然灾害发生方面，人类无能为力，灾害将继续造成台湾海峡地区的人员伤亡，财产损失，以及整个地区的社会和经济结构的破坏。随着灾害易发地区人口的持续增长，损失还将进一步扩大。但是，虽然无法阻止灾害发生，但经过适当的风险评估和规划之后，可以明显地降低灾害造成的生命和财产损失(Pararas-Carayannis, 1986, 1988,

不可忽视对自然灾害进行正确风险评估的需要。我们不仅需要很好的了解该地区发生的灾害现象的物理特性，还需要全面了解每个容易受到灾害影响的地区的自然、社会、经济以及文化因素。文献中已经对此类规划所采用的具体方法做了说明(Pararas-Carayannis, 2007)。通过正确的规划、建造、工程、土地使用以及有效地对公众进行教育并采取预防措施，是可以避免或最大限度降低灾害造成的人员伤亡和财产破坏的。建筑结构可根据抗灾要求设计。海峡两岸地区的许多建筑和住宅可以在无需花费太多成本的情况下进行加固，以抵抗地震、台风或海啸的侵袭。建筑规范可进一步提升。

不管灾害发生的频率有多高或者可用于预警的时间有多长，我们都必须预先做好潜在风险评估和减灾规划。评估各个特定区域的具体易损性的良好前提是充分确定潜在的灾害，建立起以往灾害的历史数据库，划定可能受到最严重灾害影响的地理分布，以及做好减轻不利影响，保护生命财产免受损失的计划准备。可能海峡两岸地区已经完成了部分灾害和部分区域的灾害风险评估。但是，必须不断地重新审视这些评估以确保评估的充分性。以下是对应用于风险评估和减轻威胁台湾海峡地区最严重自然灾害影响的一些一般概念和基本原理的简要概述。

6.1 海峡两岸地区灾害风险的确定

科技的进步为我们提供了明显降低灾害损失的方法。但是，为了有效利用所需的技术，首先必须确定可能影响海峡两岸地区的灾害。任何给定的地区可能受到一种或多种自然灾害的影响。台湾海峡地区中，一些区域可能更容易受到地震和海啸的影响，而另一些区域则可能更容易受到台风那个和风暴潮洪水的袭击，还有一些区域可能受到山体滑坡或其他地方性灾害的威胁。确定每个具体区域的最严重的灾害和相关危害是在台湾海峡地区开展风险评估研究的首要任务。对不同潜在灾害进行风险评估研究，需要采用不同的方法。但是，在评估该地区所有灾害的影响过程中存在着一些共同的因素。

6.2 建立历史灾难数据库

在确定了可能威胁台湾海峡地区的灾害之后，进行灾害风险评估研究的下一步工作应当是收

集以往对该地区造成破坏的所有历史灾害的数据 (Pararas-Carayannis, 1986)。如果记录保存完好，则数据收集工作将很容易完成。我们可通过查找各种新闻档案和公共记录档案建立历史灾害数据库。如果无法找到这样的历史资料，那么可从其他间接渠道获取资料，间接途径包括研究政府官员或早期居民重要通信记录等。在缺少历史资料的情况下，以往的灾害事件可通过研究一个区域的地质地层，使用放射性碳元素以及其他同位素测龄技术或树木年代学技术建立以往灾害的发生场景及其严重性的方法确定以往的灾害事件。例如，通过研究过去的地震活动，地质学家往往可以推测出什么因素支配着地震动力学条件并做出预测。**每次地震通常会沿着断裂带轨迹形成一种核化抵消作用，这种抵消作用以及形成的拉力尺度将可用于预测，虽然不一定能预测沿着断裂带开裂方向的下一次地震的确切发生时间，但至少可以预测出下一次地震的强度和位置** (Pararas-Carayannis, 2007).

对历史数据资料进行全面系统性地收集整理而成的数据库是进行灾害风险分析必不可少的工具，这个数据库还可应用于预警系统进行作业分析和潜在灾害威胁实时评估。历史灾害数据库最终可广泛应用于沿海区划管理，工程设计标准，教学以及灾害预防等领域。互联网通信软件也可帮助实现对历史灾害数据的交互式检索，实现数据全球共享，应用于防灾减灾的国际项目中。

6.3 台湾海峡地区灾害发生的频率

评估台湾海峡地区风险和制定减灾规划最重要的参数是确定灾害重复发生的频率。假设该地区拥有足够完整的历史记录，并且具有多年的直接观测记录，则有可能近似地预测灾害再次发生的时间。但是，如果历史记录有限，则统计方法的作用将不显著。

问题在于大规模毁灭性灾害可能在任何一个地点都罕有发生，因此当地往往缺乏可用于预测风险，制作灾害区划的数据资料。缺少历史资料并不意味着没有危险。因此，对地震、海啸或洪水等罕见灾害的预测通常以统计学的方式予以表示，但结果存在很大的不确定性。例如，如果一次统计预测表示在曾经发生过地震活动的某个地区“未来50年内将有90%的可能性发生一次地震”，这并不能表明所预测的地震不会发生在明天，或者所预测地震不会出现在50年之后 (Chinnery and North, 1975)。同样地，洪水通常根据统计方法预测为50年一遇，百年一遇或者200年一遇的灾害——而事实可能证明这种预测是完全错误的。显然，对于策划者、政策制定者以及负责公共安全的政府官员来说，缺少合理时间框架的罕见灾害的统计预测往往起不到任何作用。但是，对飓风或热带风暴这类季节性灾害进行统计分析却能够更容易的预测这些灾害，而且也可以做到相当准确。总的来说，如果具有一个完善的历史资料数据库，我们就有可能研究出台湾海峡地区灾害重复发生的统计可能性。

6.3 适当的土地用途规划

在制定台湾海峡地区可行的灾害防备计划过程中，必须审视所有环境危害以保护公共安全，设定、设计、建造以及确定重要基础设施的安全和可靠性，尤其是在沿海地区。例如，在评估地震危害时，应当根据地理分布、已确定的地震发生频率和预计地震重复发生的可能性等因素确定地震活动区域。风险评估应当包括对预测最大峰值加速度 (peak ground accelerations) (水平和垂直) 的评估和制定适当的建筑规范。在区分预测年发生频率或季节性发生频率之间

的差异—例如那些与大气扰动相关的发生频率—以及预测如地震或海啸等更长周期的极端灾害事件时，应仔细地对灾害重复发生频率做出估计。(Pararas-Carayannis, 2002).

6.4 灾害风险区划

初步阶段完成之后，现在必须对灾害风险分析进行转化，从技术和科学的高度降低为简单形式，供有效地吸收和利用。风险分析必须进一步地简化为容易理解的形式。因此，可利用的历史、统计或模式研究的最终成果必须在区划图的构成中反映出灾害风险的三维立体变化。我们可以为可能影响海峡两岸地区的所有自然灾害绘制区划图。体现灾害风险程度变化情况的区划图产品是规划程序和正确进行土地管理的宝贵工具(Pararas-Carayannis, 2002)。按照这样的区划，可避免开发高风险地区，或者在高风险地区进行低密度开发，安全区域可用作公众避险场所和公众撤离安置点。同样地，出于安全考虑，我们将能够很容易地确定任何地点的总风险以及灾害发生的可能性。

6.5 风险的变化情况和可接受程度

确定海峡两岸地区风险的变化情况是规划和防范未来灾害的一个关键因素。例如，根据历史的地震或台风活动，可绘制出各个地区所存在的风险的适当的风险地图。再比如，有4个区域通常代表与预期地震破坏相一致的地震活动风险区域。

根据此类区划，可将各地区划分为不具备发生地震破坏合理预期的地区；可能遭受较小破坏的地区；可能遭受中度破坏的地区；以及可能发生毁灭性地震的地区。台风区划图可显示出台风的正常路径，季节性发生频率和时间先后发生次序，以及过去遭受台风影响的地区和风暴潮洪水的水位高度(Pararas-Carayannis, 2002).

6.6 海峡两岸地区灾害风险微分区划

虽然危害区划对总体风险评估十分有用，但灾害在海峡两岸地区沿岸造成破坏的局地性要求区划将当地的具体条件纳入考虑范畴。如果公共官员和规划者能够了解可能出现的自然和经济破坏以及不同的灾害情境和可能影响建筑和商业的灾害相关后果，那么他们就能够制定出更好的灾害响应和恢复计划。同样，结构工程师也需要更准确的分析和有关灾害微分区划图的更详细的信息以帮助他们设计出能够经受灾害影响和其他结构性静力和动力负荷的建筑结构。这类详细的区划图对灾害规划和减轻灾害方面非常重要。例如，在对海峡两岸地区特定区域内的具体地震风险进行评估时，必须对震源的强度和地点做出假设。接着将该地区具有相同物理性质的地质材料归为一类。这样，假设的地震对每种地质类别所产生的影响可按照灾害的类型分为故障、地面摇动的具体类型，地面开裂，洪水，滑坡以及可能液化等做出预测。通过这样的区划图，工程地质学家可估计地震期间地面运动加剧的可能性，从而工程师可以设计出合适的新建筑结构或者对原有建筑进行加固更新(Pararas-Carayannis, 2002).

6.7 确保海峡两岸地区频繁发生季节性灾害的安全

台湾海峡地区是受自然灾害影响最严重的地区，尤其是台风和暴雨灾害。目前正在建设一个气象灾害防护体系，用以保护福建和台湾地区。虽然在改善陆上天气监测服务方面已经取得了明显的进展，但是还需要通过增加气象观测站数量，数据传输和通信系统，以及更加先进的天气预报和预警系统，进一步提升海峡两岸地区的海洋气候监测、分析和预测能力。

6.8 确保公共安全

土地用途分析中最重要的是公共安全以及通过正确规划和土地利用确保公共安全的方法。有关公共安全的发展政策和决策必须以对各个地区具体的所有环境危害影响的综合灾害风险评估为依据。政府部门有责任制定土地使用规定，这一规定应当对公共安全起到巨大作用。正确的土地使用政策必须禁止在灾害评估研究确定为容易受灾害影响，可能使得部分人口面临危险的地区进行城市开发。另外，政府部门必须制定撤离程序，张贴告示，向公众提供正确的指导。投资位于风险地区的财产所有人和经商业者也将接受培训，学习主动保护其投资应采取的措施。

6.9 通过预防来减轻灾害

海峡两岸地区的公共安全将持续受到各种灾害的威胁。容易受到灾害影响的主要原因可能是对灾害错误的认识以及缺乏正确的规划和防备。因此，与降低人员伤亡和财产损失同等重要的是每个受威胁地区的人们对潜在灾害的认知能力。公众的灾害认知能力以对现象的技术性理解为基础，其行为反映来源于公众对政府能够提供安全、及时的灾害预警以及推动灾后重建的了解和信心。因此，一旦完成了一项灾害风险评估研究，制定一项适当的教育计划以提高公众的灾害意识和安全准则是政府民防当局的重要职能。

极其重要的一点是，应急管理计划应当成为该地区所有有关部门的一项持之以恒的任务，各部门应当经常召开会议，对灾害方案加以审查，讨论如何防范潜在的危险或者如何减轻灾害的影响。这样的部门间合作非常重要，可以通过管理层间经常召开会议以及鼓励个人之间良好交流等方式促进加深这种合作。另外，通过听证会，鼓励市民和有关个人对社区关注的可能发生的紧急事件进行审查和评估。在灾害发生期间维护整理全面的记录是修正计划缺陷、减轻未来灾害影响的另一项非常重要的任务。因此，必须明确确定和建立信息公开职能。

灾害规划和减轻灾害影响的最终目标是保护公众的生命财产安全。因此，还必须通过有关部门建立内部预警流程，牢记其职责是通过有效的预警系统，利用一切可用的公共信息、通信以及媒体手段最大范围地向公众发出警报。

7.0 结论

台湾海峡是一个人口密集，经济高度发达的地区。地震、海啸、台风以及其他相关灾难等自然灾害对该地区可能造成重大的影响。地震灾害频频发生。海啸虽然不构成太大威胁，但未来存在发生近距离毁灭性海啸的可能性，由于几个大型城市座落于沿海地区，并且沿海地区已建成和在建的基础设施众多，随着低洼沿海地区近年来的不断发展，预计未来海啸将对该地区造成更加严重的影响。包括厚沉积层叠加，山地滑坡，气水合物沉积的扰动/分离以及大量沉积

物流动等相关机制的综合作用也可能在台湾海峡地区引发近距离海啸。未来，在台湾海峡两岸发生的与强烈地震有关的构造运动将和如今已被淹没的包含大量沉积物的古河流体系相互作用，将可能造成大量的沉积物运动。更深层的固结沉积层的叠加和en-echelon bookshelf type of failures 将成为引发更剧烈海啸的相关机制，尤其是在密集地震带集中的地区，地震活动更强烈，沉降活动也更加显著。因此，沉积物的积聚以及具有不同剪切力、密度以及硬度的沉积物的多层次立体分布都增加了海啸发生的可能性。

大量的气水合物由于地震地面运动而产生分离，尤其是在近海油井平台附近，将导致发生大规模滑坡以及沉积物大规模流动。由于台风及其引发的海洋灾害每年季节性重复发生，对海峡地区有着巨大的威胁。天气灾害在海峡两岸地区产生的风险需要我们仔细的加以评估。

8.0 参考文献

Chinnery, M. A., and North, R. G., 1975. "The Frequency of Very Large Earthquakes", Science, Vol. 190, 1975, p. 1197-1198.

Hendrix, M.S., and Davis, G.A., 2001, Paleozoic and Mesozoic tectonic evolution of central Asia: from continental assembly to intracontinental deformation: Boulder, Colo., Geological Society of America, vi, 447 p.

Hellinger, S.J., Shedlock, K.M., Sclater, J.G. and H. Ye, 1985. The Cenozoic evolution of the north China basin, Tectonics 4 (1985) 343–358.

Ma Zongjin, Zhong Jiasheng, and Wang Yipeng. The 3-D deformation and movement episodes and neotectonic domains in the Qinghai-Tibet plateau (In Chinese). Acta Geological Sinica, 1998, 72(3): p.211-227

National Bureau of Seismology, 1981. China Seismic Intensity Report, Published by National Bureau of Seismology (in Chinese).

Pararas-Carayannis, G., 1975. Verification Study of a Bathystrophic Storm Surge Model. U.S. Army, Corps of Engineers - Coastal Engineering Research Center, Washington, D.C., Technical Memorandum No. 50, May 1975.

Pararas-Carayannis, G. 1986. "The Effects of Tsunami on Society". Violent Forces in Nature, Ch. 11, Lamond Publications, 1986, p. 157-169. Impact of Science on Society, Vol. 32, No.1, 1982, p 71-78

Pararas-Carayannis, G., 1988. Risk Assessment of the Tsunami Hazard. Proceedings of the International Symposium on Natural and Man-Made Hazards, Rimouski, Canada, August 3-9, 1986. In Natural and Man-Made Hazards, D. Reidal, Netherlands, pp.171-181, 1988.

Pararas-Carayannis, G. 1999. The Earthquake of 20 September 1999 in Taiwan
<http://www.drgeorgepc.com/Earthquake1999Taiwan.html>

Pararas-Carayannis, G. 2006. Hurricane Surge Prediction - Understanding the Destructive Flooding

Associated with Hurricanes. <http://www.drgeorgepc.com/HurricaneSurge.html>

Pararas-Carayannis, G. 2007. Disaster Risk Assessment - Overview of Basic Principles and Methodology. A report to the Disaster Center, Houston

Pararas-Carayannis, G., 2007. Historical Earthquakes in China. Webpage Article: <http://www.drgeorgepc.com/EarthquakesChina.html>

Pararas-Carayannis, G., 2008a, The Earthquake and Tsunami of July 18, 1969 in the Bohai Sea, China. Webpage Article: <http://drgeorgepc.com/Earthquake1969ChinaBohai.html>

Pararas-Carayannis, G., 2008b. The Earthquake of February 4, 1975 in Haicheng, China. Webpage Article: <http://drgeorgepc.com/Earthquake1975ChinaHaicheng.html>

Pararas-Carayannis, G., 2008c. The Tangshan Earthquake of July 28, 1976 in China. Webpage Article: <http://drgeorgepc.com/Earthquake1976ChinaTangshan.html>

Pararas-Carayannis, G. 2008d. The Earthquake of May 12, 2008 in the Sichuan Province of China. Website: <http://www.drgeorgepc.com/Earthquake2008ChinaSichuan.html>

Pararas-Carayannis, G. 2009. Assessment of Potential Tsunami Generation in China's Bohai Sea from Direct geotectonic and Collateral Source Mechanisms. Science of Tsunami Hazards, Vol. 28, No. 1, pages 35-66 (2009)

Qiu, Yuanxi & Di Zhou, ?. Development of Post-Late Cretaceous Conjugate Shear Systems in the Northern Continental Margin of the South China Sea.
jgchina.zsu.edu.cn/v32001/html/4qyx.htm

Ye, H., Shedlock, K.M., Hellinger, S.J. and J.G. Sclater, 1985. The north china basin: an example of a Cenozoic rifted intraplate basin, Tectonics 4 (1985) 153– 169.

Yin, A., and Nie, S., 1996. A Phanerozoic palinspastic reconstruction of China and its neighboring regions, in Yin, A., and Harrison, T. M., eds., The Tectonic evolution of Asia: Cambridge [England] ; New York, Cambridge University Press, p. 442-485.

Xu Qinghai, Wu Chen, Yang Xiaolan and Zhang Ningjia, 1996. Palaeochannels on the North China Plain: relationships between their development and tectonics. Studies of the Palaeochannels on the North China Plain, Geomorphology, Volume 18, Issue 1, December 1996, Pages 27-35.

Zhang, Z.M., Liou, J.G., and Coleman, R.G., 1984. An outline of the plate tectonics of China: Geological Society of America Bulletin, v. 95, p. 295-312.

Zheng Sihua, 1992. Depths of earthquake hypocenters in Tibetan plateau and their tectonic implications (in Chinese). China Earthquakes. 1992, 11(2): p. 99-106

Zhou, Qinghai, and W. M. Adams, 1986a. Database e of Tsunamigenic Earthquakes in China, presented at Pacific Congress on Marine Technology, 24-28 March, Honolulu, Hawaii; extended abstract in the Program.