

大地震与陆地下沉灾害综述^{*}

张宝红

(中国地震局地壳应力研究所, 北京 100085)

摘要: 从早期传说、水下遗迹、历史记载、现代测量等多个方面对中外历史上的大地震造成的陆地下沉灾害进行了综述, 说明大地震与陆地下沉有非常密切的联系; 并指出这种灾害现象有以下几个主要特点: ①下沉主要发生在地震过程中; ②下沉最严重的地区位于震中区; ③越大的地震下沉区规模越大, 可达上千乃至上万平方公里。根据这些特点判断, 这种下沉应该属于地壳构造运动。

关键词: 历史地震; 现代地震; 陆地下沉灾害; 综述

中图分类号: P315.9 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-811X(2010)01-0119-05

2004年12月24日发生的印尼苏门答腊大地震引发了巨大的海啸, 造成20多万人丧生。海啸过后, 人们发现震中地区原本的大片陆地沉入海下^[1]。古今中外大地震引发的陆地下沉灾害还很多。

古希腊的Pythagoras学派曾提出, 部分陆地会由于地震而沉没, 例如希腊的赫利斯和布利斯城镇就是这样沉没的; 古罗马人Strabo(公元前63年-约公元20年)在其著作中写道: “象布雷、比松那那样的城镇以及其它一些地方, 就是由于地震而沉没在海中的”^[2]。丹麦学者Steno(1638-1687)提出的意大利托斯卡纳地区的岩层变动模型曾经广泛流行, 按照这个模型, 该地区岩层变动的主要原因是“地下火”和地下水联合作用使地下形成空洞, 然后岩层塌陷^[3]。现代地质学的奠基人Lyell也认为, 一些陆地的突然下沉可能是地下洞穴发生坍塌的结果^[4]。

虽然早期的学者对地球的结构和运动认识有限, 但是所有这些都说明人们注意到地震与陆地下沉的联系由来已久。

在本文中, 我们从早期传说、水下遗迹、历史记载、现代测量等多个方面对中外历史上的大地震造成陆地下沉进行了比较系统的回顾, 说明大地震与陆地下沉的联系十分密切; 归纳了这种灾害现象的共同特点, 并得出结论: 这种陆地下沉属于地壳构造运动。

1 古老的传说

南宋(公元1127-1279年)末年, 为躲避元兵的侵犯, 皇帝南逃。据说在现今福建与广东交界的东山(旧名铜山)岛外修建了海岛行宫, 称东京。民间流传“沉东京, 浮南澳”^[5]。南澳位于广东境内, 是比邻福建的一个海岛。按照《南澳县志》^[6]记载, 东京城是在一次地震中沉入海底的。

令人疑惑的是, 关于这次地震, 历史记载语焉不详, 无法确定发生在什么时候。汕头大学文学院的隗芾教授指出: 有关宋代皇帝南逃的经过, 后代史书记载得非常详细; 如果真有宋行宫在海中沉没这样的事件, 史书中不应该没有记载; “沉东京, 浮南澳”的传说可能只是一个“历史文化现象”。

我们很自然地联想到亚特兰第斯(大西洋城)的传说。关于亚特兰第斯的一种以讹传讹的说法是, 它原来是一个高度文明的大陆, 一万多年前因一次大地震而沉入海底, 这个海就是南中国海。实际上, 这个传说应该是起源于古希腊的大哲学家柏拉图(Plato 公元前427-347年)在其《对话》之一《蒂迈欧》中讲的故事^[7]。

根据柏拉图所讲的故事, 还在他那个年代, 亚特兰第斯的存在就是9000年前的事了。故事后来被演绎成这样: 海神波赛冬(Poseidon)的长子亚特拉斯(Atlas)统治着海岛中央的部分, 因而这个

* 收稿日期: 2009-09-04

基金项目: 地震科学联合基金资助(1040037); 中国地震局地壳应力研究所基本科研业务专项资助(ZDJ2007-1)

作者简介: 张宝红(1959-), 女, 副编审, 主要从事地震科技情报研究和编辑工作. E-mail: zhbh0312@163.com

海岛被称为亚特兰第斯 (Atlantis)。一代又一代, 海岛上的人们过着简单而有道德操守的生活, 但是后来被贪婪和权力腐化了。宙斯 (Zeus) 看到这一切, 就召集众神, 决定处罚堕落的人们。于是, 伴随剧烈的地震, 亚特兰第斯沉入了海底。

2 水下考古的发现

抛开传说, 我们关心的一个问题是: 历史上到底是否曾经发生陆地因地震而沉入海底的事件? 20 世纪末法国水下考古学家 Franck Goddio^① 率领的考古队的一系列惊人的发现, 为我们提供了一些重要的线索。这些发现仍然与古希腊有关。

公元前 332 年, Aristotle 的学生 Alexander 征服了埃及, 建立了一个港口城市——亚历山大港 (Alexandria)。在其后的数百年间, 亚历山大港一度成为埃及最重要的地中海贸易口岸, 以其商业和财富著称于世, 人口达到 50 万。它曾经是埃及的文化和科学中心, 其闻名遐迩的大图书馆汇集了 70 万册档案文献, 各国的来访学者络绎不绝。但是后来, 人们推测一定是发生了地震、海啸或洪水, 使这个城市的建筑和雕塑, 伴随无数财富和传说, 一同沉入海底, 直到 1992 年被 Goddio 的水下考古队发现。1996 年, Goddio 公布了他的考古队发现的亚历山大港的水下遗迹。

之后, 2000 年 6 月 3 日, Goddio 与埃及的考古专家一起宣布, 又发现了另外的水下古城。新发现的古城位于埃及的阿布基尔海湾中, 距离现今的海岸 6.5 km。目前人们认定, 新发现的两座古城分别为古埃及显赫一时的古城美诺西斯 (Menouthis) 和伊拉克利翁 (Herakleion)。它们的名字曾出现在各种古希腊文献中。实际上, 早在亚历山大港建立之前很久, 伊拉克利翁就是埃及通往地中海的贸易口岸。

根据 Holly Davis^② 的描述, 新发现的古城已经位于海面以下 6m 多, 上面覆盖了约 50cm 的泥土。从残留的遗迹看, 当时的人们是匆忙离开的, 来不及携带财宝和金币。根据金币的最晚制造年代, 考古学家推断, 灾难是公元 740 年以后降临这个城市的。

一些地质学家和地球物理学家被邀请参与了对这个灾难的调查, 其中包括美国斯坦福大学的 Amos Nur。大家确认古城至少突然下沉了 5 m。

Nur 提出, 倾倒的石柱方向趋于一致, 这说明可能是地震造成的。尽管人们还不能排除滑坡的可能性, 但是一致认为地震或洪水更可能是罪魁祸首。最终的结论有赖于对遗址更多的挖掘和发现。

在互联网上搜索一下, 我们发现, 秘鲁近海海底、直布罗陀海峡外侧的大西洋海底、百慕大三角地带的海底、黎巴嫩南部的地中海海域、古巴近海和中国台湾近海的海底, 也都有报导发现了古城遗址。2004 年印尼苏门答腊地震的海啸, 给印度沿海地区也造成了灾害, 同时有报导说, 那里令人意外地显露出一个海底古建筑的遗迹。

所有这些都说明陆地可能沉入海底。这些都不是地质历史年代“沧海桑田”的变迁, 而是在相对较短时期内发生的事件。但是我们并不确切地知道它们是否与地震有直接联系。它们也可能是由于其它原因或逐渐地沉入海底的。

3 1605 年琼州 7 $\frac{1}{2}$ 级地震

一个地震学界公认的陆地因地震而沉入海底的例子是位于中国海南岛东北一带的海边——发生在 1605 年 7 月 13 日 (明万历三十三年五月二十八日) 琼州 7 $\frac{1}{2}$ 级地震。当代地震研究对这个事件的关注

是由日本学者庆松光雄 (1953) 引发的。庆松光雄对比了中国广西、广东和海南等地县志的有关记载, 澄清了各地记载的万历年间的大地震实际上是同一次地震。庆松光雄指出, 根据破坏情况, 这次大地震的震中应该位于海南岛的琼山附近^[8]。

最早对琼州大地震的大规模陆地下沉情况进行全面调查的是陈恩民和黄咏茵^[9]。他们不仅重新查阅了有关的县志, 而且收集了众多家、族谱的记载, 还进行了实地考察。后来姚梅尹^[10]、杨玉林和时振梁^[11] 以及郭钦华和丁原章^[12] 都对历史记载进行了进一步的调查分析。徐起浩^[13] 则对地震地区近数百年来下沉的情况进行了更深入、全面的考察。关于这次地震, 琼山县志的记载如下: “亥时地大震, 自东北起, 声响如雷, 公署民房崩倒殆尽, 城中压死者数千, 地裂水沙涌出, 南湖水深三尺, 田地陷没者不可胜纪。调塘等都田沉成海, 计若干顷。二十九日午时复大震, 以后不

① FRANCK GODDIO SOCIETY Homepage. Franck Goddio and his team [EB/OL]. <http://www.underwaterdiscovery.org/>

② Holly Davis. The Mysteries Archive Hidden Mysteries: Menouthis and Herakleion [EB/OL]. <http://www.hiddenmysteries.org/mysteries/reports/menouthis.html>

时震响不止。县东五十里演顺都新溪港(今名东寨港)与文昌交界,沉陷数十村。”。

陈恩民和黄咏茵^[9]首先在琼州海峡南侧东寨港等地,找到了此次地震的废墟,包括沉没海底的坟场、村庄、盐场的遗迹。地震下沉区现今是一片浅海地带,农历初一、十五退潮时,海水退去二三十米,沉陷在海底的遗迹就显露出来。据他们估计,至今该地区的沉陷幅度一般为4~5 m,最大则超过7 m。

徐起浩^[13]两次考察了地震下沉特别明显的东寨港,给出了十分详细的被海水浸没的人类建筑遗迹分布。这应该是由有人类居住的近数百年来 的下沉造成的。由于这种下沉,当地海岸逐年以0.5~1 m 的幅度后退,海上的罗亭坡、北港等小 岛逐渐变小而港湾变大,居民不得不一点点从海 边向内陆迁移。当地的海堤每隔数年就要整修、 加高,北港岛的海堤每次整修都要向岛内陆地后 退达数十米。陆地下沉还导致沿岸的一些水井的 水逐渐变咸,最终成为废井。一些玄武岩基海岸 呈现了构造下沉地区的典型地貌:海蚀崖。

4 历史记载的大地震陆地下沉

4.1 中国历史上的大地震

郭建等^[14]编写的《中国特大地震研究(一)》对地震研究具有特殊的重要意义。该书系统论述了中国历史上的8级以上地震,共计18个。地震研究人员不仅收集了有关这些地震的历史记载,而且进行了实地考察;不仅讨论了地震发生时的种种现象,而且分析了地质构造背景。我们尤其关心的是,很多历史记载都有关于陆地下沉的描述。

1303 年山西洪洞 8 级地震:“山崩地陷”。

1556 年陕西华县 8 $\frac{1}{4}$ 级地震:“‘自县治至西城陷丈余’的故址,至今仍清晰可辨。县城东南的五指山陷入平地,毁削无存”。

1668 年山东郯城 8 $\frac{1}{2}$ 级地震:“山崩地陷”、“李家庄一镇并陷,凡数千家”、“洪宁县地陷如池”、“(滕县)城东地陷”。

1679 年河北三河-平谷 8 级地震:“地且沉,……。西行三十余里及柳河屯,则地脉中断,落二尺许;渐西北至东务里,则东南界落五尺许;又北至潘各庄,则正南界落一丈许”。

1695 年山西临汾 7 $\frac{3}{4}$ 级地震:“地皆沉陷”、

“地陷山崩”。

1739 年宁夏平罗 8 级地震:“满城城垣低陷,东、南、北三门俱不能出入,只有西门低陷尚少,仅可行走”、“(满城、汉城)今地形更加低陷”、“新渠、宝丰地土低陷数尺”。

1833 年云南嵩明 8 级地震:“地震沟在嵩明极震区普遍可见,……地震陡坎常与地震沟相连接,一般陡坎高度可达3.5~4.0米”、“最大垂直错距达8.5米”、“罗邦、董官营等村地陷成塘”。

1920 年宁夏海原 8.5 级地震:“地陷成河,可以行筏”。

1902 年新疆阿图什 8 $\frac{1}{4}$ 级地震:“大震时的滑坡或塌陷,主要位于极震区内”。

1906 年新疆玛纳斯 8 级地震:“地震形变带主要为地震、崩滑、滑坡、塌陷何地震沟槽等现象。形变带全长约65公里,宽4~5公里”。

1931 年新疆富蕴 8 级地震:“(可可托海)盆地 下陷,……阶状断裂,长3~7公里,深1米以上, 形成‘水渠’”、“(吐尔洪)盆地 下陷成沼”。

我们看到,有陆地下沉记录的大地震占了很大的比例。同时,需要指出,没有关于这种现象 的记载并不意味着没有陆地下沉。

4.2 其它国家的一些历史震例

限于篇幅,这里无法将全世界历史上的所有大地震一一加以论述。Hodgson^[15]列举了历史上美洲发生的一些大地震的现象,现将有关文字摘录下来。

1663 年加拿大魁北克 7.0 级地震:在没有湖的地方出现了湖,山峦沉陷下去,瀑布和河流消失得无影无踪。很多地方发生了地裂,裂隙深不可测。倒伏的树木凌乱地一堆堆,看上去就象一片森林刚被犁过。

1811 年新马德里 8.6 级地震:大部分显著的震害,限于密西西比河及其支流和沿岸的洼地。……许多以前树木丛生的地方沉陷下去,形成了沼泽或变成了湖泊,从而永远处于水下。

1959 年美国蒙塔那州赫布根湖 7.3 级地震:湖水深度测量和精确的水准测量已经证实这一地区的下沉。湖底平均下沉约6 m 多。

1960 年智利 8.9 级地震:……绝大部分沿岸地区的变化是土地下沉,……大片土地向下陷落一、二米。例如,伐尔的维亚城是一个靠河的港口,离海几公里,整个河道下沉,使海水淹没上游土地。毛林城附近和契洛埃岛上大片土地也都淹在水中。

1811 年的新马德里 8.6 级地震，曾经引起地震学家们的特别关注。关于这个地震，Bolt^[16] 写道：地震后的一个显著特征是形成“沉陷地”，一个约 240 km 长，60 km 宽的地区下沉了 1 ~ 3 m。密西西比河水冲进沉陷地区，形成新的湖泊、沼泽和支流。田纳西的里尔富特湖就是这时形成的。它 12 km 长，3 km 宽，至今仍然存在。Bolt 还提到了 1819 年印度的库奇兰恩 7.8 级地震和 1923 年日本的关东 8.2 级地震，也都有显著的陆地下沉现象。

5 现代观测的大地震陆地下沉

我们对历史地震陆地下沉的论述一直是考古的、文字的、定性的、局部的。观测技术的进步，使人类对地震现象的认识越来越清晰和完整。这里再列举一些现世的、图像的、定量的、全面的陆地下沉的典型震例。

20 世纪中后期，中国发生了一系列强烈地震。其中，1966 年邢台 6.8 级地震、1975 年海城 7.3 级地震和 1976 年唐山 7.8 级地震，都发生在人口比较稠密、经济比较发达的地区，有比较规范的水准测量。众所周知，这些地震的震中区都出现了大范围的、明显的地面下沉^[17-19]。邱泽华等^[20]最近发表的对唐山地震下沉区航片的判读结果，更清晰地显示了下沉区实际上受一条大断层的控制(图 1)。该断层在地震中发生了类似正断层的活动。地震勘探结果显示，该断层至少延伸到 2 km 的深度。



图 1 航空摄影拍下的唐山地震陆地下沉(局部)

1999 年世界上接连发生的土耳其伊兹米特 7.4 级地震^①和台湾集集 7.6 级大地震都引发了大面积的陆地下沉^[21](图 2，图 3)。



图 2 伊兹米特地震的陆地下沉一例

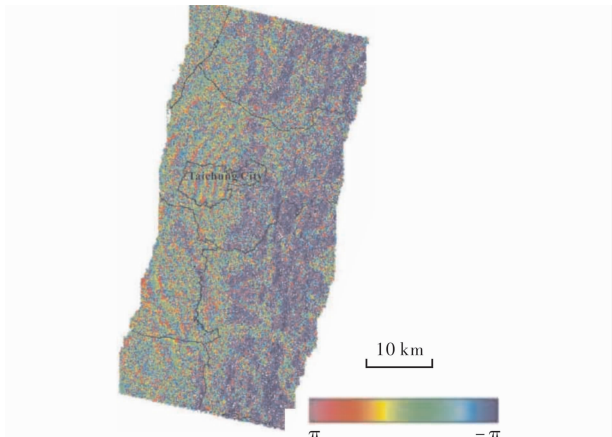


图 3 台湾集集地震前后地面变形的 InSAR 图像

2004 年 12 月 24 日发生的印尼苏门答腊 8.7 级地震，是近数十年来最引人瞩目的破坏性大地震。美国地调局(USGS)的网页专门介绍了印尼苏门答腊地震的陆地下沉情况^②。图 4 清楚地表明了震中地区的陆地下沉。



图 4 苏门答腊 8.7 级地震的陆地下沉一例

① Atilla Ansal, Jean - Pierre Bardet, Jonathan Bray. Initial Geotechnical Observations of the August 17, 1999, Izmit Earthquake(A Report of the Turkey - US Geotechnical Reconnaissance Team) [EB/OL]. [1999 - 09 - 03].
② USGS. Tsunamis and Earthquakes——The 26 December 2004 Indian Ocean Tsunami: Initial Findings from Sumatra [EB/OL]. [2005 - 05 - 31].
http: //walrus. wr. usgs. gov/tsunami/sumatra05/subsidence. html.

6 结语

关于地震造成陆地下沉的例子还很多。从这些灾害事例中我们可以总结出如下几个主要特点。

- (1) 下沉过程与地震同时发生；
- (2) 下沉区位于地震发生区(余震分布区)；
- (3) 下沉区规模大，面积达到上千乃至上万平方公里。

根据上述特点分析这样大规模的陆地下沉应该受构造控制。例如琼州大地震的下沉区，即位于“雷琼拗陷”中^[22]。

总而言之，对大地震能够引起大面积陆地下沉的灾害事实应引起重视。

参考文献：

[1] Mikio Tobita, Hisashi Suito, Tetsuro Imakiire, et al. Outline of vertical displacement of the 2004 and 2005 Sumatra earthquakes revealed by satellite radar imagery [J]. Earth Planets Space, 2006, 58: 1-4.

[2] 小林英夫. 地质学发展史[M]. 刘兴义, 刘肇生译. 北京: 地质出版社, 1983: 16.

[3] Lyell, C. 地质学原理(第一册)[M]. 徐韦曼译. 北京: 科学出版社, 1959: 20.

[4] Howell B F. 地震学史[M]. 柳百琪译. 北京: 地震出版社, 1998: 5.

[5] 陈敏. 央视拍《南澳岛寻宝》“沉东京浮南澳”传说引关注[N]. 汕头都市报, 2006-12-16.

[6] 南澳县地方志编纂委员会编. 南澳县志[M]. 北京: 中华书局出版, 2000.

[7] 柏拉图. 《对话》七篇[M]. 戴子钦译. 辽宁: 辽宁教育出版

社, 1998: 162.

[8] 庆松光雄. 1605 年(明·万历 39 年)海南岛大地震[J]. 地震(日), 1953, 6(2): 1-6.

[9] 陈恩民, 黄咏茵. 1605 年海南岛琼州大地震及其发震构造的初步探讨[J]. 地震地质, 1979, 1(4): 37-44.

[10] 姚梅尹. 1605 年琼山地震考[J]. 华南地震, 1984, 4(3): 32-37.

[11] 杨玉林, 时振梁. 1605 年琼山地震的历史记载[C]//海南岛北部地震研究文集. 北京: 地震出版社, 1988: 246-248.

[12] 郭钦华, 丁原章. 1605 年琼山地震的烈度问题[C]//海南岛北部地震研究文集. 北京: 地震出版社, 1988: 249-258.

[13] 徐起浩. 琼北东寨港地区的近期下沉[J]. 海洋科学, 1986, 10(1): 24-28.

[14] 郭增建, 马宗晋, 林伟凡, 等. 中国特大地震研究(一)[M]. 北京: 地震出版社, 1988.

[15] Hodgson J H. 漫谈地震[M]. 中国科学院技术情报研究所译. 北京: 中国工业出版社, 1966: 36.

[16] Bolt B A. 地震九讲[M]. 马杏垣译. 北京: 地震出版社, 2000: 9.

[17] 陈绍绪. 前兆观测[C]//河北省地震局, 一九六六年邢台地震. 北京: 地震出版社, 1986: 158-167.

[18] 卢造勋. 辽南地区的深部构造异常与海城 7.3 级地震[M]//马宗晋. 大陆多震层研究. 北京: 地震出版社, 1992: 110-120.

[19] 张祖胜. 地形变背景与异常分析[M]//国家地震局编辑组. 一九七六年唐山地震. 北京: 地震出版社, 1982: 131-170.

[20] 邱泽华, 马瑾, 刘国玺. 新发现的唐山地震大断层[J]. 地震地质, 2005, 27(4): 669-677.

[21] Chang C P, Wang, C T, Chang, T Y, et al. Application of SAR interferometry to a large thrust deformation: the 1999 M-w = 7.6 Chichi earthquake in central Taiwan [J]. Geophysical Journal International, 2004, 159: 9-16.

[22] 张虎男, 赵希涛. 雷琼地区新构造运动特征[J]. 地质科学, 1984, 19(3): 276-286.

An Overview on Great Earthquakes and Land Subsidence Disasters

Zhang Baohong

(Institute of Crustal Dynamics, China Earthquake Administration, Beijing 100085, China)

Abstract: Early legends, underwater relics, historical documents and modern measurements of land subsidence due to great earthquakes in history at home and abroad are reviewed. It is indicated that land subsidence is closely related to great earthquakes. Such kind of subsidence disaster is of flowing characteristics. The first, land subsidence occurs mainly during the seismic process. The second, the most severe subsidence takes place in epicentral area. And the third, the greater the earthquake is, the larger the subsidence area will be, which can be as large as thousands of square kilometers. From these characteristics, it is thought that this kind of subsidence is due to crustal tectonic movement.

Key words: historical earthquake; modern earthquake; land subsidence disaster; overview