

上海城市地貌环境的致灾性

戴雪荣¹, 师育新¹, 俞立中², 李良杰¹, 何小勤¹

(¹华东师范大学地理系, 上海 200062 ²华东师范大学河口与海岸国家重点实验室, 上海 200062)

摘要: 随着城市化和再城市化的快速发展, 上海城市地貌环境呈现出明显的致灾性。通过从地貌物质、地貌过程和地貌形态三方面进行了剖析, 认为地貌物质中含水沙层广泛发育和层数多是地貌灾害发生的重要因素, 其横向上的不连续性、成因和形成时间的差异性更为地貌灾害的发生埋下阴影; 地势低平及中心城区碟形洼地的存在使得洪水构成对上海城市安全的最大威胁; 高强度人类活动不仅改变城市自然地貌面(下垫面)的性质、特征和规模, 而且直接导致它的沉降变形, 从而使城市地貌环境更为脆弱和致灾机制的复杂化。特别是地貌形变过程的不可逆性, 已引起城市自然地理其它要素(如水文、气候等)的一系列变化和造成城市生态环境的恶化, 对城市规划建设起到明显的制约作用。上海只有重视城市地貌资源的合理利用和城市地貌环境的有效保护才能走上健康、持续的发展道路。

关 键 词: 城市地貌; 高强度人类活动; 城市安全; 致灾性; 长江三角洲; 上海

中图分类号: F293 Y45 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0690(2005)05-0636-05

上海地处中国长江三角洲滨海平原, 以深厚第四纪松散堆积为立地基础。在以现代化国际大都市为发展目标的今天, 城市高强度人类活动(特别是地下水资源、地下空间资源的开发)越来越显现出城市地貌环境的脆弱性(fragility)。它们在人为因素诱导下极易引发一系列城市地貌灾害, 被称为城市地貌环境的致灾性(catastrophability)^[1]。诚然, 对于绝大多数城市地貌灾害来说, 虽然人为因素很重要, 但也取决于内在的自然因素^[2]。丁锡祉在“城市生态地貌的研究”一文中指出, 地表形态、地貌发育阶段、地面组成物质对城市有明显的限制作用^[3]。由于城市地貌灾害的特殊性, 灾害造成的经济损失巨大, 也对城市发展和宏观环境改善产生制约作用。2003年7月上海轨道交通四号线(下称M4线)施工过程中突发的透水事故, 继而出现沉陷和水淹就是一个很好的例子, 引起政府的高度重视和社会各界的广泛关注。本文以此为例对上海城市地貌环境的致灾性进行初步剖析, 以期正确认识城市地貌环境在城市工程活动中的重要性, 防止城市地貌灾害的发生。这在长江三角洲乃至全国城市化快速发展的今天, 对于促进地貌学与

城市化(工业化)的紧密结合, 促进城市自然地理与人文地理的结合, 具有理论和现实意义。

1 地貌物质的致灾性

地貌物质的致灾性是泛指地球表层由于工程地质性质的某些缺陷而当人类工程活动超过其承受极限时表现出的灾害性特点。黄土、石灰岩、矿山开发及新构造发育地区的致灾性已为大家熟知。事实上, 长江三角洲平原地区的地貌物质致灾性也同样存在, 体现在不同类型或不同成因的沉积体本身。它们在人类活动影响下极易发生工程事故(或灾害)。其中最具代表性是含水沙层, 是发生流沙和透水的主要致灾因素。上海地区的含水沙层不仅分布广、横向差异显著, 而且层数也多, 出现在不同的深度。据统计, 市区地基(或地下工程)施工中可能发生流沙的面积约占53%。在地下, 流沙层是相对稳定的, 并承受一定的压力。一旦被揭穿, 沙层中的水就会源源不断地渗出, 并将松散的沙粒一起带出。含水沙层是在三角洲形成过程中由河流携带的泥沙在海陆相互作用下堆积而成的。由此看出, 这一致灾因子在该地区的普遍性。

收稿日期: 2004-09-13 修订日期: 2005-03-16

基金项目: 上海市科技发展基金资助项目(01ZG14016)。

作者简介: 戴雪荣(1961-), 男, 江苏吴县人, 博士, 副教授, 从事地貌与第四纪、全球变化、城市地貌与环境等教学与研究。E-mail: xrdla@gea.ecnu.edu.cn

上海市民用建筑设计院(1985). 上海市工程地质图集(内部资料)。

从图 1 看出, 近地表 0~ 50 m 通常是城市人类 (工程) 活动最为频繁的深度范围, 因而也是透水和流沙最易发生的深度段。据调查, M4 线透水事故发生在市区地基土层的第 7 层^[4]。这是一套层顶埋深为 28~ 35 m、厚度 4~ 8 m 的草黄-灰色粉砂沉积, 伏于暗绿-褐黄色硬粘土层 (第六层) 之下, 形成于晚更新世晚期的河口-滨海环境。其主要特点是含沙量很高, 含承压水, 为上海地区的第二砂层。横向上, 它分布较广、厚度变化大、物性差异明显。此处靠近黄浦江, 河流两侧本身还有呈带状分布、结构松散的沙性土, 上覆硬粘土等正常层位也常因河道摆动侵蚀而缺失, 沙性土中的水与黄浦江串通, 水压会随潮汐涨落而发生变化。这种复杂多变的沉积环境正是三角洲沉积的特点, 给地下工程的施工提出很高的要求。

除含水沙层外, 其它类型的沉积 (地基土) 同样具有致灾性特点, 如粘性土的蠕移和压缩、饱和沙土 (或砂质粉土) 的液化等。它们都可在一定条件下或在人类工程活动的诱导下产生缓慢或突发性灾害。上海总体上属软土, 将此类地貌物质作为城市立地基础本身就意味着要付出较高的代价。建筑工程师们曾形象地比喻, 在上海地下作业就好比在蛋糕上做文章。

地貌物质的致灾性还与其形成年代新老有关。年代越老 (或成陆越早) 其工程地质性质相对越稳定, 反之就越差。金山石化、浦东国际机场地处潮坪地带, 地貌年龄仅为 600 a^[8], 工程地质稳定性相对较差, 工程成本也就明显偏高。磁悬浮线位于浦东东部——上海最年轻的陆地上, 且其延伸方向与陆地生长方向一致, 不但工程地质稳定性差, 而

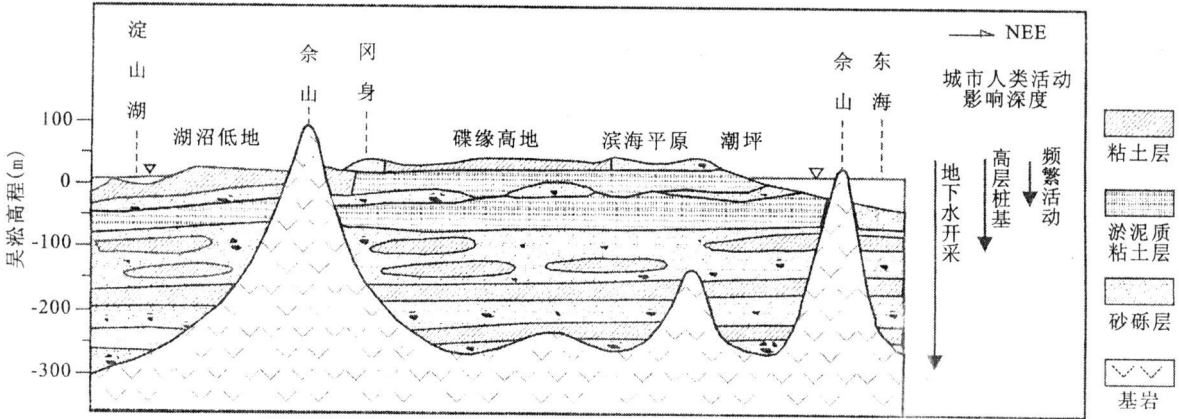


图 1 上海地区地貌-第四纪综合示意剖面及人类活动的地貌作用深度 (部分资料引自文献^[5, 6, 7])

Fig 1 Latitudinal profile of Quaternary deposits showing structure of Yangtze Delta and depth extents of different types of urban human activities in Shanghai (after^[5-7])

且横向差异显著, 无论在施工过程中还是建成之后都会承受很大的地貌灾害风险 (如不均匀沉降)。在建的洋山深水港跨海大桥除受风暴潮影响外也会面临类似的问题。它们的地貌环境问题会随着时间的推移而逐渐显现。

2 地貌过程的致灾性

地貌过程的致灾性首先表现为普遍存在而程度不同的地面沉降。它是透水 (流沙) 层上覆地面的一种快速下陷过程, 因而是一种继发性地貌灾害。这一过程取决于一组 (两种) 地貌物质, 下伏沙性层的含水性、透水 (流沙) 规模及其持续时间;

上覆地层的厚度、工程地质性质及负荷情况。特别是当施工深度大 (含水层承压偏高)、流沙层很厚和上覆地层承载力较低 (或已经负荷很大) 时很容易发生。这也是 M4 线施工过程中出现地面沉降的客观因素所在。地面沉降如发生在城市建成区就会造成严重后果和巨大经济损失。

诚然, 对于上海来讲最具致灾性的地貌过程莫过于地面沉降。在过程和机制方面它与地面沉降类似, 即同样是人为因素 (城市人类活动) 引发的, 同样是由于含水沙层中液态水的流失 (或开发) 所造成的地层压缩和下陷。所不同的是地面沉降范围广、涉及深度大、过程缓慢和影响持久 (具有不

可逆性);而地面沉陷是局部的、浅表性的、突发性的和可以修复的。上海地面沉降过程发生在地下厚逾 300 m 的第四纪沉积中(见图 1)。其中有多层硬粘土可作为良好的桩基持力层,但更多的是具有软塑-流塑性的粘土层和含水粉性-沙性层。特别是拥有五个具有良好开采价值的含水层,百余年地下水的开采已引起较大幅度的地面沉降,成为上海最为严重的城市地貌灾害。李从先等通过对长江三角洲南翼晚第四纪地层的研究证实,地面沉降发育与多个较厚海侵软泥层有关^[9]。据估计,自公元 1960 年代以来上海因地面沉降造成的经济损失高达 2 800 亿元人民币^[10]。此外,由此造成的负面环境效应及其经济损失更是难以估量。目前,随着上海浦东的开发,特别是大量高层建筑的兴建(如陆家嘴)已出现明显的沉降迹象,应得到高度重视。

需要指出,地面沉降虽然是环境地质学研究的内容,但也被中国学者解释为自然地貌应力平衡遭到破坏后的一种形变过程^[11]。这一解释比起美国学者 G. L. Bertoldi 的概括,即“地面沉降是由于地下支撑物的移动导致的地面标高损失”更进了一步。其重要性在于将地面沉降视为城市自然地理系统中的某个顶级要素——地貌的变化(即地貌形变)。而地貌的变化势必会引起其它自然地理要素(如气候、水文等)的相应变化。这正是上海城市地貌研究的核心内容和城市生态环境得以从根本上改善的基础。限于篇幅,作者将另文加以探讨。

3 地貌形态的致灾性

地貌形态的致灾性突出表现在两个方面,地势低平和地面沉降后形成的碟形洼地。它们是自然和人为因素共同影响或叠加的结果。自然方面,上海地处滨海平原,河网水系发育、感潮明显;地面标高随地貌类型不同而略有差异(见图 1),平均仅为 4.0m(吴淞高程,下同)。这一地貌形态特征是冰后期以来海陆相互作用(或成陆过程)达到平衡的结果,并主要由海平面(侵蚀基准面)高度决定的。横向上地面标高的起伏变化正是该时期海面升降变化的反映,从而影响到历史时期人类的迁徙活动^[12]。上海中心城区大约形成在距今 3 000~1 700 a B. P.^[8],流域性大洪水出现的几率已相对较小。洪水的威胁主要来自全球变化影响下的海面上升、风暴潮和天文大潮,海水会沿长江口、吴淞

口向黄浦江、苏州河涌入、倒灌。

然而,由于工业化和城市化,城市地下水被大量开采,自然地貌面负荷也越来越大,造成地面总体沉降变形(或标高损失)。中心城区仅从 1921 年到 1965 年地面沉降最大累积达 2.63 m,形成面积约 850 km² 的碟形洼地^[13-14],标高普遍低于 3.5 m。此后,尽管采取一定措施加以控制,但仍显示出沉降的总趋势^[6, 7, 15-17],碟形洼地进一步扩大。可以设想,如果碟形洼地不存在,那么此次 M4 线透水事故也许不会造成江水倒灌(当时黄浦江潮位与城区地面的落差仅为 0.5 m)。曾有人对 1998 年的流域性大洪水作过分析,认为地面沉降已经构成重要的致灾因子^[17, 18]。由此看出,由于碟形洼地的存在,上海中心城区将面临愈趋严重的洪涝威胁。一方面上游洪水过境和风暴潮的顶托;另一方面城区内部暴雨后由于无法自然排灌而积水成患^[19]。

为此,自 20 世纪 50 年代开始不得不在黄浦江、苏州河等干流和部分支流修建防汛墙(图 2),并经多次加固、加高和加长。城区内部还布设了许多排涝站。从黄浦公园潮位站近 50 年来历史最高潮位的节节攀升来看,目前外滩防汛墙“千年一遇”的设防标准会在较短时间内被打破。自然地貌面的沉降变形不仅造成桥梁、码头等水边工程设施的功能损失,同时也导致市区主干河道(黄浦江和苏州河)的淤积,构成地貌对河流沉积的持久性影响(图 2)。根据 1996 年对苏州河河道淤积厚度的测量结果^[20],从北新泾桥开始向下至外白渡桥,淤积厚度由薄变厚,再由厚变薄,与中心城区在地面沉降范围和幅度上(即碟形洼地)表现出惊人的一致。

由此看出, M4 线透水事故中的江水倒灌是局部的、突发性的、可修复的和损失有限的。然而,由于碟形洼地的存在致使江河水位相对被抬高的洪水威胁是区域性的、持续的和不可逆转的。

4 结论与建议

随着城市化和再城市化的快速发展,上海城市地貌环境的致灾性也将日益凸现,表现在地貌物质、地貌形态和地貌过程三个方面。地貌物质为第四纪松散堆积(即软土),粉性、粘性和沙性土互层,横向变化大,可导致透水、流沙、地面沉陷等灾害的频繁发生;由于地形平坦、标高低,再加上中

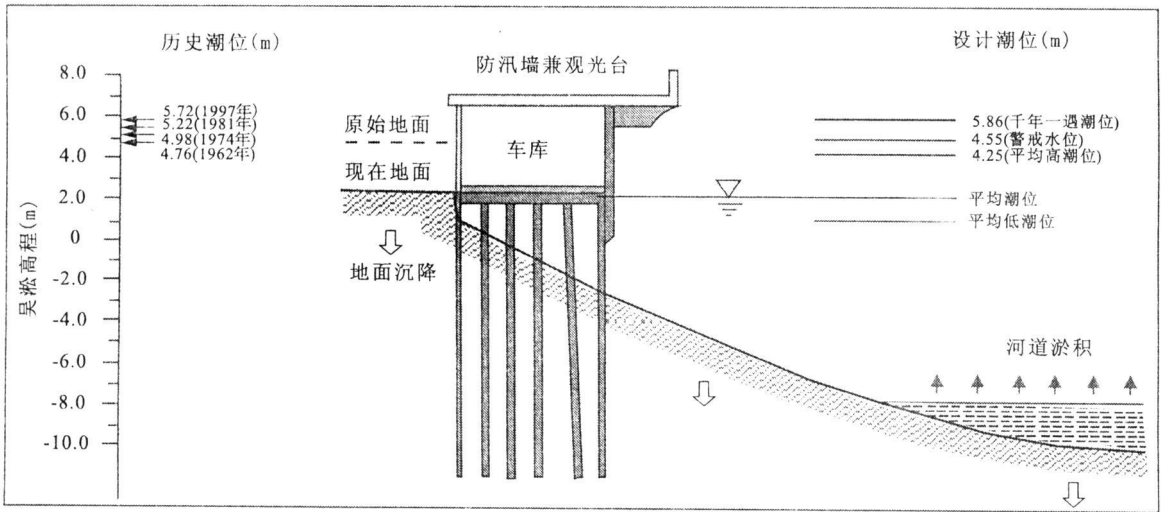


图 2 上海中心城区地面沉降、河道淤积、黄浦江潮位上升和防汛墙工程关系图 (部分资料引自文献^[15 17 21, 22])

Fig 2 Diagram of interrelationship among land subsidence, river sedimentation, tidal level uprising and flood prevention wall in Shanghai proper (after^[15 17 21, 22]).

心城区地形洼地的存在, 洪涝灾害已经构成对城市安全的严重威胁; 地貌过程方面, 最大的致灾性莫过于自然地貌面相对周边地区的沉降变形 (即地貌形变), 其本身是一种累积效应, 同时也已引起许多负面、持久的环境效应, 从根本上影响到大都市的生态环境建设。

上海轨道交通 M4 线施工过程中突发的透水事故从另一侧面折射出上海城市地貌环境的脆弱性。从渗水 (透水) 到地面沉陷再到江水倒灌, 灾害过程不但迅速, 而且一环紧扣一环。因此, 此类灾害具有突发性、连锁性和成因机制的复杂性三大特点。上海中心城区的地貌环境犹如一部精密的大机器, 在新一轮黄浦江沿岸景观带建设中应引起高度重视。

城市地貌灾害虽然发生在局部, 但经济损失严重, 教训深刻。对于地铁工程究竟如何开展环境影响和安全性评价也值得深思。在评价工作的具体操作上如何避免传统学科分类太细又缺乏相对综合的弊端。上海在城市化 (再城市化) 过程中也应发挥自然地理学的学科优势, 重视城市地貌系统的综合研究, 为城市规划和建设提供科学依据。重大工程建设项目有必要开展地貌灾害风险评估, 编制防治方案和建立必要的应急机制, 并纳入到城市减灾对策中去。

长江三角洲是中国经济发展最具活力和潜力的地区之一, 城市化过程飞速发展, 但城市人类活

动不能盲目超越地貌环境本身。城市地貌已经是关系到城市安全的大问题。

参考文献:

- [1] 刁承泰. 城市地貌学 [M]. 重庆: 西南师范大学出版社, 1999. 158
- [2] 徐 刚. 山地城市地貌环境问题研究 [J]. 中国环境科学, 1997, (3): 229~ 232
- [3] 丁锡祉. 城市生态地貌的研究 [J]. 地理科学, 1992, 12(1): 1~ 7
- [4] 柏 蓓, 张 凌, 王 进. 上海轨道 4 号线事故调查三大技术原因酿成灾难 [N]. 东方早报, 2003- 09- 21
- [5] 许世远, 黄仰松, 范安康. 上海地区地貌类型与地貌区划 [A]. 见: 严钦尚, 许世远. 长江三角洲现代沉积研究 [C]. 上海: 华东师范大学出版社, 1987. 320~ 328
- [6] 龚士良. 上海城市建设对地面沉降的影响 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 1998, 9(2): 108~ 111.
- [7] 严学新, 龚士良, 曾正强, 等. 上海城区建筑密度与地面沉降关系分析 [J]. 水文地质工程地质, 2002, (6): 21~ 25.
- [8] 张修桂. 上海浦东地区成陆过程辨析 [J]. 地理学报, 1998, (3): 228~ 236
- [9] 李从先, 范代读, 张家强, 等. 长江三角洲地区晚第四纪地层及潜在环境问题 [J]. 海洋地质与第四纪地质, 2000, 20(3): 1~ 7
- [10] 王 勇, 左 华. 上海市地面沉降的经济损失评估 [J]. 自然灾害学报, 1993, 2(1): 16~ 22
- [11] 刘淑珍, 钟祥浩. 人类活动与地貌演化 [A]. 见: 杨景春. 中国地貌特征与演化 [C]. 北京: 海洋出版社, 1993. 261~ 266
- [12] Stanely D J, Chen Z Y. Neolithic settlement distributions as a function of sea level-controlled topography in the Yangtze delta, China [J]. Geology, 1997, 24(12): 1083~ 1086.

[13] 严礼川. 我国城市地面沉降概况 [J]. 上海地质, 1992 (1): 40~ 48.

[14] 王兰生, 等. 城市发展中的地质环境演化与控制 [J]. 地质灾害与环境保护, 1997, (1): 90~ 107

[15] 张阿根, 魏子新. 上海地面沉降研究的过去、现在和未来 [J]. 水文地质工程地质, 2002 (5): 72~ 75

[16] 刘毅, 张先林, 万贵富, 等. 上海市近期地面沉降形势与对策建议 [J]. 中国地质灾害与防治学报, 1998, 9(2): 13~ 17.

[17] 魏子新, 曾正强. 上海市洪涝灾害的地面沉降因素及其长期影响 [J]. 上海地质, 2001, (2): 12~ 15

[18] 刘毅. 地面沉降加重了 1998 年中国大洪灾 [J]. 中国地质, 1999 (1): 30~ 32

[19] 刘树人, 周巧兰. 上海市暴雨积水灾害成因及防治对策研究 [J]. 现代城市研究, 2000 (2): 18.

[20] 许世远, 陈振楼. 苏州河底泥污染与整治 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 2003. 33.

[21] 沈恭. 上海勘察设计志 [M]. 上海: 上海社会科学院出版社, 1998 618~ 619

[22] 汪松年. 上海地区防汛形势和对策 [J]. 城市道桥与防洪, 2002 (2): 24~ 27

On the Catastrophabilities of Urban Geomorphi c Environment of Shanghai

DAI Xue-Rong¹, SHI Yu-Xin¹, YU Li-Zhong², LI Liang-Jie¹, HE Xiao-Qin¹

(1. Department of Geography, East China Normal University, Shanghai 200062; 2. State Key Laboratory of Estuary and Coastal Research, East China Normal University, Shanghai 200062)

Abstract With the rapid development of urbanization and re-urbanization, the urban geomorphic environment (UGE) of Shanghai has ever been featured with obvious catastrophabilities. The latest disastrous and representative case is the water-seeping incident happened on July 1st 2003 in constructing the No. 4 metro line (underground), which has caused a huge economic loss of 150×10^6 Yuan (RMB). In deed, this incident includes three continuous catastrophic stages—water seeping, land collapse and local flooding. It implies that the Shanghai's UGE has become sensitive, fragile, and therefore catastrophic under conditions of high pressure of human activities. Viewing from the geomorphic materials, geomorphic forms and geomorphic processes respectively, this paper discusses the catastrophabilities of UGE in Shanghai proper in relation to man-land interaction. From the geomorphic materials, the most catastrophic factor is the wide spread water-bearing sand-to-silt layers formed in different ages in Quaternary, which may cause water-seeping incidents under conditions of frequent engineering activities. They are well developed in this area and exist in different depths within the extent of the activities. From the geomorphic forms, Shanghai is an extremely flat land with low elevation as just emerged from the sea (the Yangtze delta). Since 1921 the central city has experienced strong land subsidence and formed a huge depression covering an area of 850 km². Flood, therefore, has become the biggest threatening to the city both at present and in the future. And from the geomorphic processes, the high pressure of human activities has caused not only the tremendous changes of character, feature and dimensions of the physical landform, but also the deformation of the land surface due to land subsidence. The former, as we known, has given rise to changes in many aspects of urban climate and hydrology. The latter has led to a more serious sedimentary accumulation in the water channels (e.g. the Suzhou Creek and the Huangpu River etc.). The fragile and catastrophic UGE (especially the irreversible land deformation) will exert influences on the future urbanization and re-urbanization of Shanghai. Facts tell us that the Shanghai's UGE must be protected effectively and used rationally to keep us on the way of healthy, sustainable urban development.

Key words urban geomorphology; high pressure of human activities; urban safety; catastrophability; the Yangtze Delta; Shanghai