

伦敦城市洪水风险管理的启示

许怡¹, 吴永祥^{1,2}, 王高旭¹, 施睿¹

(1. 南京水利科学研究院水文水资源研究所, 江苏 南京, 210029;
2. 水文水资源与水利工程科学国家重点实验室, 江苏 南京 210098)

摘要: 伦敦作为世界最大城市之一, 面临多重防洪压力。随着时代的发展, 伦敦城市的防洪理念也逐渐从传统的以防洪工程为主导的抵御和控制洪水向注重预防和灾后恢复的综合性洪水风险管理转变, 取得了良好的效果。从伦敦城市的洪水类型和特点入手, 介绍英国现行的洪水风险管理组织体系, 同时从预防型措施、抵御型措施、缓解型措施、应对型措施以及恢复型措施五方面对伦敦的城市洪水风险管理措施进行总结和分析。其中重视城市规划、能够抵御千年一遇风暴潮的泰晤士河口防洪工程体系、生态排水与地下排水相结合的排水排涝体系, 准确的防洪预警预报体系以及较为完善的洪水保险及救援救灾系统等方面都有许多可取之处, 可以为我国的城市防洪提供借鉴。

关键词: 城市防洪; 洪水风险管理; 防洪措施; 伦敦

中图分类号: TV877

文献标志码: A

文章编号: 1006-7647(2019)04-0013-06

Enlightenments of urban flood risk management in London // XU Yi¹, WU Yongxiang^{1,2}, WANG Gaoxu¹, SHI Rui¹
(1. *Hydrology and Water Resources Department, Nanjing Hydraulic Research Institute, Nanjing 210029, China*; 2. *State Key Laboratory of Hydrology-Water Resources and Hydraulic Engineering, Nanjing 210098, China*)

Abstract: As one of the largest cities in the world, London faces multiple flood pressures. With the development of the times, the concept of flood control in London has gradually shifted from the traditional flood control-oriented defense to the comprehensive flood risk management focused on flood prevention and recovery, which has achieved satisfactory effects. This study started from the types and characteristics of floods in London and then the current flood risk management organization system in the UK was acquainted. Risk management measures in London were analyzed and summarized from five aspects, including preventive measures, resilience measures, mitigation measures, preparatory measures and recovery measures. Among them, the city planning, the Thames estuary flood control project system which is capable of resisting the millennium storm surge, the underground drainage system with ecological drainage measures, the accurate flood warning and forecasting system, and the perfect flood insurance and rescue systems can provide reference for urban flood management in China.

Key words: urban flood control; flood risk management; flood control measurements; London

气候变化、人口增长以及社会发展加剧了城市洪涝灾害风险。政府间气候变化专门委员会(IPCC)第5次评估报告显示全球气候变暖的趋势明显, 2003—2012年平均气温比1850—1900年平均气温上升0.78℃, 气候变化的影响可能要比原先的认识更加严重^[1]。气候变化导致的海平面上升以及极端暴雨天气的频发会对城市的防洪产生更大的压力。同时随着城市化的进程, 城市人口的增长和规模的扩张, 一旦发生洪灾, 造成的人身财产损失会更加严重, 洪水风险增大^[2]。

伦敦作为世界上最大的城市之一, 无论在城市规模、人口及经济发展状况都居世界前列, 由于位于河口低洼平原区, 受到来自河流、海洋以及暴雨等多重洪水的威胁, 历史上有过多次大洪水的经历, 未来的城市防洪压力也呈现上升趋势。在应对城市洪水上, 伦敦也经历了从传统的以防洪工程为主的抵御型洪水管理向注重预防和恢复的综合性洪水风险管理转变, 取得了良好的效果。

现行洪水风险管理主要由政府主导, 防洪措施类型也较多, 在灾害管理分类上, 罗伯特^[3]提出的

基金项目: 中国工程院重大咨询研究项目(2015-ZD-07-01)

作者简介: 许怡(1990—), 女, 博士研究生, 主要从事水资源管理研究。E-mail: xuyi@nhri.cn

通信作者: 吴永祥(1965—), 男, 教授级高级工程师, 主要从事水资源管理研究。E-mail: yxwu@nhri.cn

应急管理 PPRR 模型将应对灾害的措施分为 4 个方面:灾前预防 (prevention)、灾前准备 (preparation)、灾害反应 (response) 以及灾后恢复 (recovery)。秦波等^[4]采用 PPRR 模型框架建立了全流程、综合性的城市洪涝灾害管理体系;Hegger 等^[5]针对洪水灾害的特点,将洪水灾害的风险管理体系分为 5 块,即预防洪水 (flood risk prevention)、抵御洪水 (flood defence)、缓解洪水 (flood risk mitigation)、应对洪水 (flood preparation) 以及灾后恢复 (flood recovery),较为全面地涵盖了洪水风险管理中的各项措施,欧盟的星洪计划 (star flood project) 采用这种方法对各成员国的防洪管理进行了较为客观准确的评价^[6]。本文在分析伦敦洪水特点及组织管理体系的基础上,也从这 5 个方面出发,对伦敦各类洪水风险管理措施进行总结和分析,以期为我国的城市洪水风险管理提供参考。

1 伦敦城市洪水风险

伦敦位于英格兰东南部的泰晤士河口平原区,距河口 88 km,属温带海洋性气候,降水年内分配较为均匀,年降水量约为 600 mm,年均日照时数约 1 600 h。伦敦主要的洪水类型有来自海上的风暴潮,泰晤士河及其支流产生的河流洪水,以及由于长时间高强度暴雨引起的城市内涝。此外还有下水道超载导致的局部地区的污水洪水,地下水位上涨导致的地下水洪水以及水库大坝等损坏造成的水库洪水等。洪水发生时,很多情况下是多种类型的洪水同时存在,因此防洪压力很大。伦敦近几十年来比较大的洪水有 1953 年的北海大洪水,北海的高水位潮汐与低压风暴相结合产生了较大的风暴潮,由于缺乏高标准的防潮工程体系,伦敦及其他地区有超过 1 600 km 的海岸线遭到破坏,淹没面积超过 1 000 km²,300 多人死亡,3 万多人撤离,这次大洪水直接催生了泰晤士防潮闸的建立^[7]。2007 年夏天英国大部分地区突降暴雨,许多地区受灾严重。大伦敦地区没有造成严重的人员伤亡,但暴雨强度大持续时间久,希斯罗机场取消了 141 个航班,部分铁路被山体滑坡封闭,伦敦地铁遭到严重破坏,25 个车站直接关闭^[8]。这次暴雨促使政府在 2010 年颁布了“2010 年洪水和水管理法案 (Flood and Water Management Act 2010)”,赋予地方政府更多的防洪权限和责任,同时要求加大生态防洪工程建设。2014 年北海的高潮汐水位以及连续的暴雨导致的综合性洪水使得英国大部分地区受灾。大伦敦地区政府迅速反应,但是沿海部分堤坝遭遇了溃坝,造成了大面积的停电,因此提高河口沿岸的防潮标准势在必行^[9]。根据英国环

境署模拟的洪水风险,伦敦及其周边的大部分地区都会受到多重洪水的威胁,其中洪水风险最大的区域主要集中在泰晤士河沿岸 (图 1)。

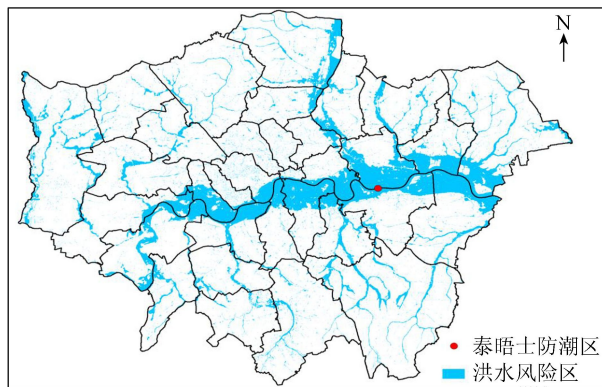


图 1 大伦敦地区洪水风险模拟

2 洪水管理组织体系

英国的洪水风险管理主要分为国家、区域及地方 3 级,在国家层面上,主要有 3 个部门负责洪水风险管理相关工作,一是国家环境、食品及农村事务部 (Department for Environment, Food and Rural Affairs),主要负责确定和指导洪水和海岸侵蚀风险管理 (FCERM) 的政策方向,同时也在应对洪水紧急情况时发挥主导作用^[10];二是社区及地方政府部 (Department for Communities and Local Government),主要负责空间规划类政策的制定、监督与实施,同时主导洪水灾后恢复工作^[11];三是内阁办公室 (Cabinet Office),主要负责制定紧急灾害事件的应急规划和恢复规划。除了这 3 个部门,如交通部 (Department of Transport)、卫生部 (Department of Health)、能源和气候变化部 (Department of Energy and Climate Change) 等部门也会在洪水风险管理中有所涉及^[12]。

在区域层面上,主要由区域洪水及海岸委员会 (Regional Flood and Coastal Committees)、区域恢复论坛 (Local Resilience Forum)^[13]、水务公司 (Water Companies)、内部排水委员会 (Internal Drainage Boards),分别负责各区域内的洪水评估、风险管理协调、供水与污水处理以及区域内低洼地区的水位管理等工作。

在地方层面上,各自治区 (unitary authorities)、郡 (county)、区 (district)、以及教区和镇 (parish and town) 的地方政府会成立地方的防洪机构和规划机构,伦敦由于其政治地位的特殊性,只分为大伦敦地区 (Great London) 以及 32 个区 (London Boroughs),每一个区都是一个独立的自治区。防洪机构负责辖区内的各类地表、地下水体日常管理、洪水风险评估

以及各类防洪政策规划的具体实施,规划机构负责辖区内的土地利用以及规划相关的洪水风险评估工作。

3 洪水风险管理措施

3.1 预防型措施

预防型措施主要是通过空间规划以及多功能的土地利用等方式尽量减少居民及重要财产暴露在洪水易发区域,以此来降低洪水可能造成的损失。

英国政府在2012年发布了国家规划政策框架(National planning policy framework, NPPF),并在2014年发布了一系列与之配套的规划实践指南(Practice planning guidance),用以指导各级行政区的土地利用规划。其中洪水风险和海岸变化(Flood risk and coastal change, FRCC)指南对于城市规划中的洪水风险评价做了具体的指导。将城市土地根据发生洪灾的可能性和后果由低到高分为4个区域:1区(Flood Zone 1)为低概率区域,洪水概率低于0.1%;2区(Flood Zone 2)为中概率区域,河流型洪水概率在1%~0.1%之间,海岸型洪水概率在0.5%~0.1%之间;3a区(Flood Zone 3a)为高概率区,河流型洪水概率大于1%,海岸型洪水概率大于0.5%;3b区(Flood Zone 3b)为功能性洪泛区,属于经常会淹到的地区^[14]。同时将需要规划的建筑物按照重要性以及脆弱性(vulnerability)分为5类:基础设施(essential infrastructure),如交通道路、发电站、输水设施等;高度脆弱建筑物(highly vulnerable),如警察局、消防站、通讯设备、避难所、

地下住宅等;较脆弱建筑物(more vulnerable),如医院、学校、住宅、监狱、垃圾填埋场等;低脆弱建筑物(less vulnerable),如商店、餐馆、办公楼、农业、林业、矿业、污水处理厂等;适水建筑物(water-compatible development),如闸、坝、堤防、泵站、航运、渔业及国防设施等。在实际的土地规划过程中,将建筑物的分类与地块的洪水风险分区进行匹配,如表1^[15]所示。

表1 洪水风险管理的类型

洪水风险分区	基础设施	高脆弱建筑物	较脆弱建筑物	低脆弱建筑物	适水建筑物
1区	适合	适合	适合	适合	适合
2区	适合	需要额外评估	适合	适合	适合
3a区	需要额外评估	不适合	需要额外评估	适合	适合
3b区	需要额外评估	不适合	不适合	不适合	适合

3.2 抵御型措施

通常抵御型防洪措施包括防潮闸、防洪堤坝、防洪墙等工程,目的在于将洪水和人隔离开来。伦敦的抵御型措施主要靠泰晤士河口防潮体系(图2)。伦敦位于泰晤士河口平原,历史上有多次较大的来自海上的潮汐洪水。为了阻挡来自北海的风暴潮,泰晤士河口的防潮体系可以防御千年一遇的洪水,主要包括8个防潮闸,36个水闸,400多个小型可移动防潮设施以及超过330 km的防洪堤坝和防洪墙^[16]。

其中对于伦敦防潮最重要的就是泰晤士防潮闸(Thames Barrier)。该闸修建于1974年,全长578 m,共10孔,由11座大型防水桥墩分开;中间4孔为主航道,每孔净宽61 m;南岸2孔为副航道;北岸4孔不通航,每孔净宽均为31.5 m。通常闸门的弧形面板停



图2 泰晤士防潮体系^[16]

在闸底板凹槽内,闸门里板与闸底板顶面齐平,不影响正常的通航及周边生态环境,挡潮时,将闸门上转90°,面板从凹槽中滑起,露出水面到竖直位置^[17]。

图3为1982—2018年泰晤士防潮闸汛期开闭情况。由图3可以看出,从1982年运行以来,泰晤士防潮闸关闭过182次(截至2018年2月),其中95次用于防御来自海洋的风暴潮,87次抵御综合性洪水(泰晤士河流洪水及风暴潮同时发生)^[18],产生了几十亿英镑的防洪效益;21世纪以来,防潮闸关闭的次数明显要高于前期,也能一定程度反映出气候变化和人类活动等因素可能会在未来造成较大的防洪压力。

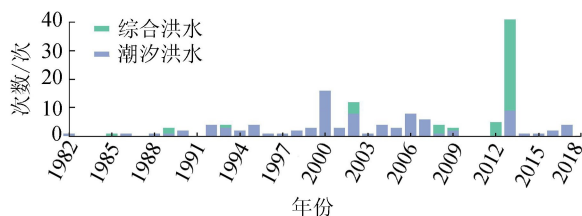


图3 泰晤士防潮闸汛期开闭情况

3.3 缓解型措施

通过适当地排水、截留、蓄滞等措施减缓洪水的发生强度也是洪水风险管理中的重要一环。伦敦现在使用的下水道系统始建于19世纪的维多利亚时期(图4(a)),当时设计标准为400万人口,已经远远不能满足伦敦现在和未来的城市需求。由于管道采用雨污合流制,即使少量的雨水也会导致污水从泰晤士河沿岸的排放口排出造成水体污染,如果遇到更大的降雨,超负荷的下水道系统会引起城市内涝甚至会引发污水从地表溢出,形成城市地表的污



(a) 维多利亚时代下水道^[20]



(b) 已建成的Lee Tunnel^[20]

图4 伦敦的下水道

水洪水。为了满足现在及未来的下水道容量需求,减少向泰晤士河内直接的污水排放、同时防止和减少污水上涌产生的污水洪水淤积,保护泰晤士河沿岸的生态环境,伦敦政府联合其他相关企业启动了泰晤士深隧工程(Thames Tideway Tunnel)^[19]。工程由英国最大的水务公司Thames Water负责投资开发和运行维护,Tideway公司负责建设。深隧全长25 km,内径大于7 m,埋在泰晤士河下面,是伦敦最深的隧道,最深处可达地下65 m。

泰晤士深隧工程于2016年开工建设,预计完成时间为2023年。建成后,可以有效地减少污水直接入河,94%以上的混合污水将被拦截,统一输送到贝克顿污水处理厂(Beckton Sewage Treatment Works)进行处理,同时也可以有效地缓解城市内涝,污水洪水将基本消失^[20]。目前主隧道已经全面开挖,部分二级隧道也开始动工。东北部的Lee Tunnel于2010年开工,2016年运行,将在其他隧道建完后进行连接(图4(b))。

除了大型的地下排水工程,地表的蓄、滞、渗、排等可持续排水系统(sustainable drainage systems, SuDS)也能发挥很大的作用。2015年英国建筑工业研究与情报协会(CIRIA)发布的《SuDS手册》^[21]中指出,SuDS的理念主要是提高下渗和滞蓄雨水的的能力以及减缓流速,具体的措施包括雨水收集、渗水坑、过滤带、洼地、池塘、透水路面还有草带(坡)模拟自然排水模式减缓流速等(图5)。可持续排水系统不仅仅可以解决水量的问题,还能够净化水质、提供更适宜的人居环境,也能够还原和改善自然环境,是一项长期的多效益的生态工程。

3.4 应对型措施

应对型防洪措施主要包括洪水预测、洪水预报预警系统、以及洪水发生时的紧急预案及各种应对措施。2007年的大洪水让政府意识到准确的洪水预报的重要性,气象局与环境署联合开发洪水预报模型,运用遥感、雷达等多种监测手段,使用超级计算机进行高分辨率的模拟计算,大大提高了洪水模拟预测的准确性^[22]。同时伦敦很早就开展了洪水风险图的编制工作,根据洪水的类型分为河道和沿海洪水风险图、城市内涝风险图以及水库洪水风险图等。在洪水的预警预报系统中不同等级的警告标准是根据以往的洪水信息以及洪水风险图中的不同洪水源的风险等级来确定的,将实时监测到的水位和雨量信息与之匹配,发出相应的预警信息^[23]。通过警报器、电话、短信、广播、电视、互联网等形式传递给居民。居民也可以在环境署网站上随时查询实时相关信息,做好预防准备工作。



图5 可持续排水系统的应用

3.5 恢复型措施

恢复型措施主要包括洪水保险、政府紧急财政支持以及各地方和社区等的灾后重建工作。对于遭受洪水的家庭来说,保险可以在危机时刻提供重要帮助。由于洪水的不确定性较大,后果往往较为严重,涉及面很广,导致洪水保险并不简单。如果完全推向市场,保险可能会非常昂贵,许多家庭和小企业会负担不起;如果完全由国家运营,将会面临巨大的财政压力。因此英国政府和英国保险协会(ABI)之间采用了合作的模式。20世纪60年代起政府和保险公司之间就达成了“绅士协议(gentleman's agreement)”,政府不承担保险风险,但是需要负责降低洪水风险,投资防洪工程并建立有效的防洪体系,并向保险公司提供洪灾风险评估、灾害预警、气象研究等相关公共品。只有在政府履行了这些职责的地区,保险公司才提供巨灾保险。保险公司负责给居民及小型企业提供洪灾财产保险,业主可以自愿在市场上选择保险公司投保。许多银行在居民因购买房屋向其申请抵押贷款时,要求必须购买洪水保险。在2000年英国大洪水之后,许多保险公司由于巨额赔付而亏损,政府和英国保险协会在2000年签订了一份“提供洪水保险的原则声明(Statement of Principles on the Provision of Flood Insurance)”,ABI成员同意继续以现有的费率向具有高洪水风险的家庭提供保险,但是政府必须承诺加大对防洪的投资,降低洪水风险。该协议在2008年又进行了修订并续签5年^[24]。2013年底,原有的协议即将面临到期,而且对于居民来说,仍然面临保费过高的问题,尤其是随着洪水风险图和洪水模型等的发展,洪水风险区域等级的划分,高风险的家庭将会面临更高的保险费用。对于保险公司来说,虽然居住在低

洪水风险区域的家庭会对保费起到一定的补偿作用,但仍然较难维持高风险地区的洪水理赔,如果没有新的解决方案,超过20万的家庭将无法受到洪水保险。在这样的背景以及2014年英国新水法的支持下,洪水再保险基金应运而生。再保险基金向提供洪水保险的保险公司每年征收1.8亿英镑,如果遇到洪水风险,还会向保险公司收取相应费用,用于再保险基金的日常运营和在灾害发生后向保险公司赔付^[25]。洪水再保险协议年限为25年,每5年对于保费和补贴等项目的金额进行修订,最终目的是将洪水保险市场逐渐过渡成为一个根据洪水风险高低进行定价并且人人能够负担得起的保险^[26]。

除了洪水保险外,英国政府的紧急财政援助也会给灾后的重建工作迅速提供资金支持。它是以前环境部长 Lord Bellwin 的名字命名,1983年引入,2014年进行了修订。在遇到重大自然灾害如洪水情况时,中央向地方政府提供特别的经济援助。该项经费由地方政府提出申请,必须是短期内迅速采取的应急措施费用,如道路清理、除涝排水、灾民转移、紧急的医疗卫生服务等,对于周期较长的灾后恢复与维护则不提供资金支持^[27]。

4 对我国城市洪水管理的启示

近年来,我国的城市洪水风险管理^[28]也处在转型阶段,在大型防洪工程措施的基础上,逐渐重视软性工程如海绵城市建设、洪水预警预报等缓解型和应对型措施等方面的发展。通过对英国伦敦各类防洪措施的深入了解和研究,对我国的城市洪水管理主要有以下几点启示:

a. 从预防型措施来看,重视城市土地利用规划工作,合理分区,采用建筑物及土地洪水风险分级

制,重要建筑和居民能够尽可能远离洪泛区。虽然洪水无法完全避免,但是可以提前规避风险,避免较为严重的人员伤亡和财产损失。

b. 对于抵御型的防洪措施,需要因地制宜,针对当地的洪水特点,考虑经济承受范围内,也要考虑未来发展的情况。在全球气候变化的背景下,对于可能造成严重后果的海洋风暴潮洪水,应尽量提高防洪标准,如泰晤士河口的防潮体系可以抵御千年一遇的风暴潮。对于河流洪水及暴雨洪水,在设堤建坝的基础上,可以多结合缓解型措施,效果更好。

c. 我国已经开始推进缓解型的防洪措施。海绵城市理念已经在多个城市进行试点,要求城市能够充分利用自然手段合理地洪水进行蓄、滞、排、渗。但是在生态防洪的基础上还需要注重和城市原有的地下排水系统相匹配,建立较为科学的能够最大化利用的地上地下综合排水系统。

d. 洪水风险图、洪水预报预测等应对型防洪措施在洪水来临时能够发挥巨大作用。随着监测技术和计算机技术的发展,英国洪水的预测更多地基于可靠的满足一定精度要求的洪水模拟模型,目前我国洪水预测模型还需要进一步提高和完善,提高预报预警的准确度,为洪水灾害的到来做好准备工作,将洪水造成的损失降到最低。

e. 恢复型防洪措施在我国主要还是政府为主导,国家财政面临巨大压力,受灾群众在灾后也无法获取快速有效的赔偿,可以借鉴英国的洪水保险制度,政府与商业保险公司共同运行,不仅可以保障居民财产安全,也能有效地减少国家救灾投入,可以将更多的资金投入灾害预防和保障中去。

参考文献:

[1] IPCC. Climate change 2014: impacts, adaptation and vulnerability: part a: global and section aspects [M]. Cambridge: Cambridge University Press, 2014.

[2] 刘曾美,冯斯安,蓝福鹏,等. 基于流域洪水危险分析的社工坑整治方案 [J]. 水资源保护, 2018, 34 (6): 38-43. (LIU Zengmei, FENG Sian, LAN Fupeng, et al. Regulation scheme of Shengong River based on watershed flood hazard analysis [J]. Water Resources Protection, 2018, 34 (6): 38-43. (in Chinese))

[3] 罗伯特·希斯. 危机管理 [M]. 2 版. 王成, 译. 北京: 中信出版社, 2004.

[4] 秦波, 田卉. 城市洪涝灾害应急管理体系建设研究 [J]. 现代城市研究, 2012 (1): 29-33. (QIN Bo, TIAN Hui. A study on the urban emergence management system for flooding and water-logging [J]. Modern Urban Research, 2012 (1): 29-33. (in Chinese))

[5] HEGGER D L T, DRIESSEN P P J, DIEPERINK C, et al. Assessing stability and dynamics in flood risk governance [J]. Water Resources Management, 2014, 28 (12): 4127-4142.

[6] HEGGER D L T, DRIESSEN P P J, BAKKER M H N, et al. A view on more resilient flood risk governance: key conclusions of the STAR-FLOOD project [R]. Utrecht: STAR-FLOOD consortium, 2014.

[7] RICHARD C. Disaster victims to be remembered on floods tragedy anniversary [N]. Ipswich Star, 2018-01-04.

[8] BANNERMAN L. Flash floods and torrents of rain hit first exodus of summer [N]. The Times, 2007-07-21.

[9] THORNE C. Geographies of UK flooding in 2013-2014. [J]. The Geographical Journal, 2015, 180 (4): 297-309.

[10] Department for Environment, Food and Rural Affairs. Flood risk assessment: Local Planning Authorities [DB/OL]. [2018-10-28]. <https://www.gov.uk/flood-risk-assessment-local-planning-authorities>.

[11] Department for Communities and Local Government. National Planning Policy Framework. [DB/OL]. [2018-10-28]. https://assets.publishing.service.gov.uk/government/uploads/system/uploads/attachment_data/file/740441/National_Planning_Policy_Framework_web_accessible_version.pdf.

[12] ALEXANDER M, PRIEST S, MICOU A P, et al. Analysing and evaluating flood risk governance in England: enhancing societal resilience through comprehensive and aligned flood risk governance [R]. Middlesex: STAR-FLOOD Consortium, Flood Hazard Research Centre, Middlesex University, 2018.

[13] OLDHAM K, ASTBURY K. Evolution of disaster risk governance in Greater Manchester: a case study from the UK [J]. Procedia Engineering, 2018, 212: 7-14.

[14] 李莎莎, 翟国方, 吴云清. 英国城市洪水风险管理的基本经验 [J]. 国际城市规划, 2011, 26 (4): 32-36. (LI Shasha, ZHAI Guofang, WU Yunqing. Urban Flood Risk Management in the UK [J]. Urban Planning International, 2011, 26 (4): 32-36. (in Chinese))

[15] Department for Communities and Local Government. Planning Policy Statement 25. [DB/OL]. [2018-10-28]. www.communities.gov.uk/documents/planningandbuilding/pdf/.

[16] LAVERY S, DONOVAN B. Flood Risk management in the Thames Estuary looking ahead 100 years [J]. Philosophical Transactions Mathematical Physical & Engineering Sciences, 2005, 363: 1455-1474.

[17] HERSCHY R W. THAMES B. Encyclopedia of hydrology and lakes [M]. Berlin: Springer Netherlands, 1998.

[18] Environment Agency. Thames Barrier closures [DB/OL]. [2018-10-28]. <https://www.gov.uk/guidance/the-thames-barrier>.

(下转第 26 页)