

北京： 气候变化下的城市洪涝灾害应对方案

中国气候风险和适应合作项目



项目概况

名称 中国气候风险与适应项目 Climate Risk and Resilience in China (CRR)

项目委托方 德国联邦经济合作与发展部 (BMZ)

公私合作伙伴关系项目执行方

德国国际合作机构 (GIZ)、瑞士再保险 (Swiss Re)

重点领域

中国城市及城乡结合地区的气候风险和气候适应能力

联系我们

祁岚, 项目主任 (GIZ)

lan.qi@giz.de

任映映, 技术顾问 (GIZ)

yingying.ren@giz.de

出版方

中国气候风险与适应项目

德国国际合作机构 (GIZ)

德国国际合作机构驻华代表处

中国北京朝阳区麦子店街37号

盛福大厦1100室

邮编 100125

电话 +86 10 8527 5180

传真 +86 10 8527 5185

作者

刘家宏, 中国水利水电科学研究院

梅超, 中国水利水电科学研究院

设计排版

章佩琳

封面图片

©unsplash

免责声明

GIZ及其作者在出版时, 认为其表达的信息和此文中的内容是完善和正确的。但GIZ及其作者并不保证本文件中内容的准确性或完整性, 对差错、疏忽概不负责。制图仅供信息参考, 不代表对国界和区域边界的国际认可。GIZ对所提供地图的时事性、正确性或完整性不承担任何责任。对直接或间接因使用此文造成的损害不承担任何责任。对此文中提到的外部网站的内容, 由相应的提供方负责。GIZ本项目代表德国联邦经济合作与发展部 (BMZ) ©北京, 2021年8月



北京 (©unsplash)

案例介绍

北京是中国的首都，也是中国北方最大的城市，位于华北平原西北部，燕山山脉东侧，城市总面积为16410.54km²，常住人口2153万，城镇化率约为86.6%。北京市属典型的暖温带半湿润大陆性季风气候，多年平均年降水量约为626mm，其中约有60%以上集中在汛期（6-9月）。近年来，北京市多次遭受极端暴雨引发的严重洪涝灾害。自2013年以来，北京市在城市洪涝应对方面采取了一系列措施，并在城市洪涝灾害综合应对方面积累了一些成功经验，本案例对此进行介绍。

1. 气候变化下的北京极端降雨与洪涝灾害

1.1 气候变化下北京降雨演变事实

以全球升温为主要特征的气候变化改变了全球及区域水循环，在部分区域表现出水循环速度加快、降雨结构和极端降雨增加的趋势。近年来，北京地区降雨特征发生了较为显著的变化，在宏观上表现为汛期降雨量呈下降趋势，下降速率约为每10年8.2mm^[1]，但这并不意味着极端暴雨的直接减少。数据分析表明，北京地区降雨结构发生了较大变化，主要表现为短历时强降雨事件增加、降雨的不确定性加大，次降雨量超过或接近200mm的特大暴雨时有发生，增加了城市暴雨的致灾性。

1.2 北京极端降雨引发的洪涝灾害

近20年来，北京市经常在汛期发生暴雨洪涝，其中部分洪涝事件造成了较大影响和损失。表1列举了其中的6次典型洪涝灾害事件。通过总结影响较大的洪涝灾害事件，我们可以发现：造成严重洪涝灾害的降雨除了

降雨量较大以外，另一重要特点是降雨强度大；短时强降雨使得城市积水难以及时排除，使交通中断（如图1），从而进一步影响了城市经济社会正常运转，并造成直接或间接经济损失。



图1a. 北京市部分暴雨洪涝导致的交通中断场景



图1b. 北京市部分暴雨洪涝导致的交通中断场景

表1 北京市近20年重要洪涝灾害事件^[2]

时间	暴雨情况	受灾情况
2004年7月10日	暴雨超二十年一遇，最大10分钟降雨量22mm，最大1小时降雨量90mm	严重积水路段达41处，其中立交桥8处，西环线交通中断，地下商场等进水90余处
2006年7月31日	首都国际机场地区1小时降雨量达115mm	机场高速迎宾桥下积水达80cm，机场高速中断3h
2007年8月1日	北三环安华桥一带1小时降雨量达91mm	城区最大积水深达2m，北三环双向交通中断
2011年6月23日	城区平均降雨达73mm，最大降雨量215mm	全市29处立交桥下道路积水中断，800余辆汽车被淹
2012年7月21日	全市平均降雨达170mm，城区平均降雨量215mm，最大降雨量达460mm	160万人受灾，63处道路积水交通中断，10660间房屋倒塌，直接经济损失116.4亿元
2016年7月20日	全市平均降雨达210.7mm，城区平均降雨274mm。	164条公交线路采取甩站、绕行、停驶等措施；首都机场取消航班212架次

2. 北京应对城市洪涝灾害的主要措施

2.1 应对理念与原则

应对理念：最大程度减少洪涝灾害对人民生命财产的损害。

基本原则：

- (1) 预防为主，防灾抗灾救灾相结合原则；
- (2) 常态减灾与非常态救灾相结合原则；
- (3) 全面规划、流域统筹、突出重点、综合治理原则；
- (4) 工程措施与非工程措施并重原则；
- (5) 防涝减灾、生态文明建设和雨水资源利用相结合原则。

2.2 总体应对方案

2.2.1 总体布局

北京市的整体地势为西北高东南低，在中心城区（大致为五环以内）主要有四条河流通过，分别是清河、坝河、通惠河和凉水河。北京市中心城区以上述四条河的河道为主干排水通道，结合西郊雨水调蓄工程及城区地下排水管网、雨水泵站、调蓄池和深隧排水工程，规划形成了北京中心城区排水防涝系统，总体上构成“西蓄东排、南北分洪、两廊深滞”的防洪排涝总布局。其中西部和东部深隧正在规划论证过程中。在上述总布局下，结合对立交桥、涵洞和易涝点等重点部位的改造，加之社区海绵城市建设与绿色设施调蓄，结合城市洪涝预报预警等非工程措施，北京市中心城区洪涝防治在总体上取得了较好的效果^[9]。北京市中心城区洪涝防治总体工程布局如图2所示。

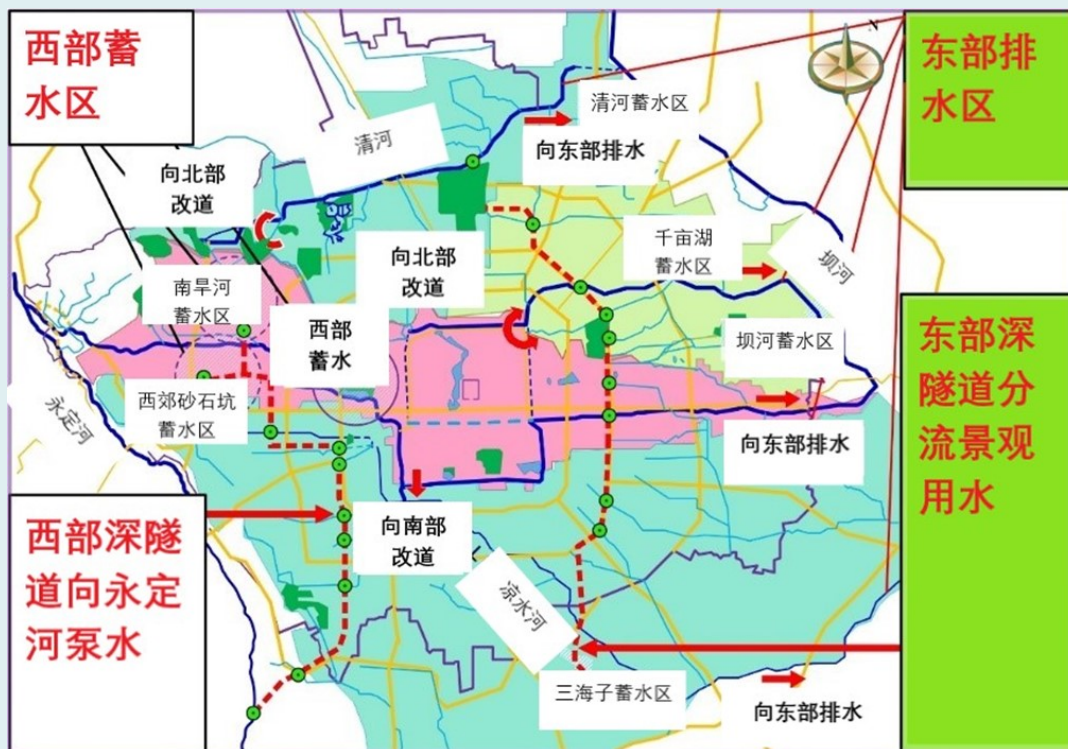


图2 北京市中心城区洪涝防治总体工程布局

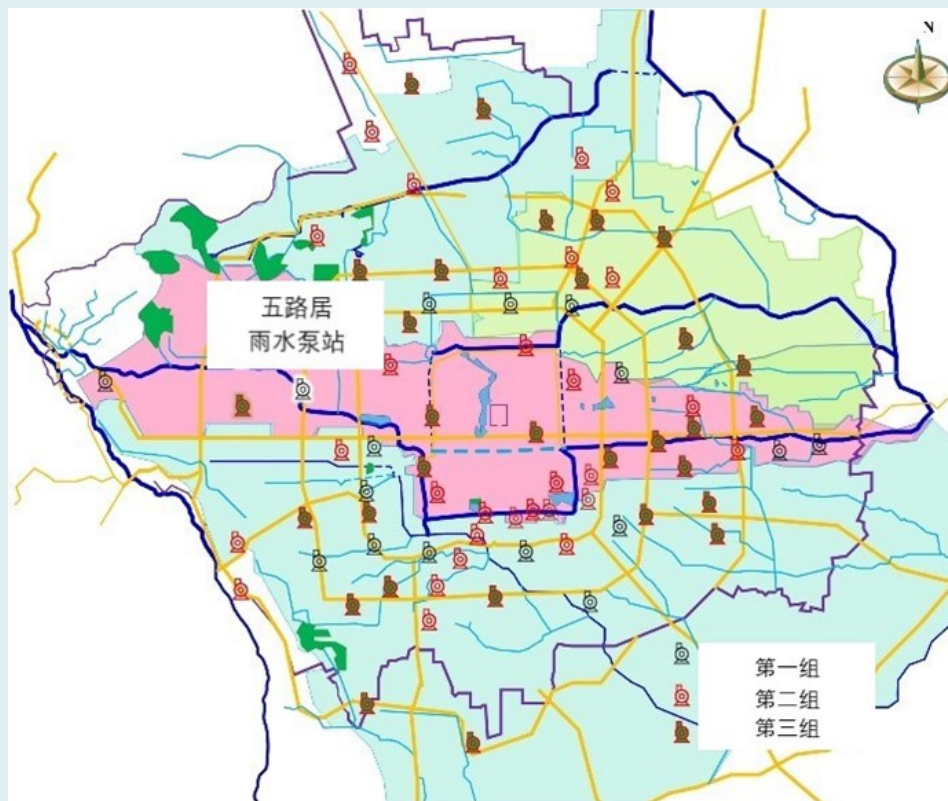


图3 北京中心城区雨水泵站位置示意图

2.2.2 雨水泵站升级改造

根据北京市洪涝防治经验，低洼道路、立交桥和道路涵洞等是城市洪涝中的易涝点，是在洪涝中容易引起车辆损坏、人员伤亡等的地点，主要依靠泵站排水和其附带调蓄池蓄滞雨水、减轻灾害。北京现有雨水泵站192座，总排水能力为每小时236万 m^3 ，大多是随着道路或立交桥建设在不同时期修建的，设计标准各不相同。90座雨水泵站在中心城区，其中4个泵站（4%）的设计降雨量仅为一年一遇，81个泵站（90%）的设计降雨量为2年或3年一遇，5个泵站（6%）的设计降雨量为5年一遇。然而，近年来，每小时降雨量超过70mm的暴雨发生频率增加，大多数雨水泵站都不堪重负。此外，径流系数随着硬化地表面积的扩大而增加；近

十年来，城市地表径流系数由0.55提高到0.63，增幅达15%，这进一步增加了城市洪涝积水量。为保障城市安全，北京市于2013年启动了“北京市中心城区雨水泵站改造及雨水收集三年行动计划”。该计划对中心城区不符合要求的77座立交桥泵站进行升级改造，主要措施包括对雨水收集系统进行改造，扩建水泵抽水能力（总抽水能力由每小时37.4万 m^3 扩大到每小时71.8万 m^3 ），新建了60个调蓄池（新增21万 m^3 库容）和部分排水管道。雨水泵站升级改造行动计划的目的是使中心城区主干道路在重现期为10年的暴雨下保持畅通。此外，中心城区还在绿地、公园、停车场下新建了配套调蓄池，以收集雨水进行循环利用^[3]。图3为北京中心城区改造雨水泵站位置示意图。

2.2.3 中小河流治理工程

北京市全市域（含中心城区和郊区）共有中小河流425条，长6448km。这些河流是北京市排涝的“主动脉”，一旦溃决或者受到阻塞，将引发更大范围的洪涝淹没灾害。未治理的中小河流通常受到污染和破坏，无法有效排水。为解决这一问题，北京市于2013年公布了《北京市水利工程实施与建设规划》，组织对1460km的洪灾风险高、基础设施薄弱、人口多的河道进行疏浚整治，主要措施包括疏浚淤泥、拆除违法的阻水建筑、将河道与周围地下排水管道进行合理连接以及加固河道堤防等。实施上述措施后，中小河流的防洪标准由5年一遇提高到10年一遇或20年一遇。中小河流可以通过渗透、贮存、截留和排水四种途径发挥防洪排涝作用，具体方式要取决于当地城乡布局、经济条件和社会环境。对于城区河道，还需要处理好排污和排涝的关系，避免由降雨冲刷和排涝带走城区径流污染。对于山区河流，要重点保护沿河村庄和道路，充分尊重当地自然景观，疏导洪水^[3]。此外，河道治理还包括河道自身的六项任务：（1）污染控制；（2）水体连接；（3）南水北调工程和地下水补给；（4）蓄滞洪区建设；（5）平原区水土保持和绿化；（6）绿地建设与旅游开发。图4展示了北京中小河流某河段整治前后对比情况。

2.2.4 西郊雨水调蓄工程

北京市中心城区的洪水有很大一部分是从西部地势较高的山区产生并流入中心城区的。北京市防洪排涝总布局中提出要“西蓄东排、南北分洪”，就是要在洪水进入城区之前，在西部蓄住一部分，通过河道向南边和北边分别排掉一部分，剩余部分洪水才进入中心城区，并通过四条主干河道向东部下游排走。在上述总体布局中，实施“西蓄”策略的具体措施就是建设西郊雨水调蓄工程。西郊雨水调蓄工程位于北京市西五环田村山南路北侧，占地约1000亩。其前身系开采建筑砂石的场所，90年代砂石开采停止后废弃为倾倒建筑渣土和生活废品的区域，形成了西郊砂石坑。由于原西郊砂石坑为“砂石-坑塘”结构，透水性好，地势低洼，2014年开始，北京将其规划建设为雨水调蓄工程，2017年建成。建成后的西郊调蓄工程可以收纳永引渠山区及西郊砂石坑周边27km²范围内的100年一遇降雨所产生的700万m³洪水^{[3][4]}。

西郊雨水调蓄工程除了调蓄暴雨洪水的功能之外，还具有可控回补地下水及生态、景观、休闲等功能，很好地改善了该地区的生态环境。工程园内有8个湖区、6块梯田花海等景观，绿化景观占整个园区面积的83%，10万多株植物在园内营造“三季有花、四季常青”的景象。2019年9月，该工程园区正式对公众免费开放，希望打造开放便民水利工程与市民共享生态环境的新模式（图5）。



图4 北京中小河流某河段整治前后对比

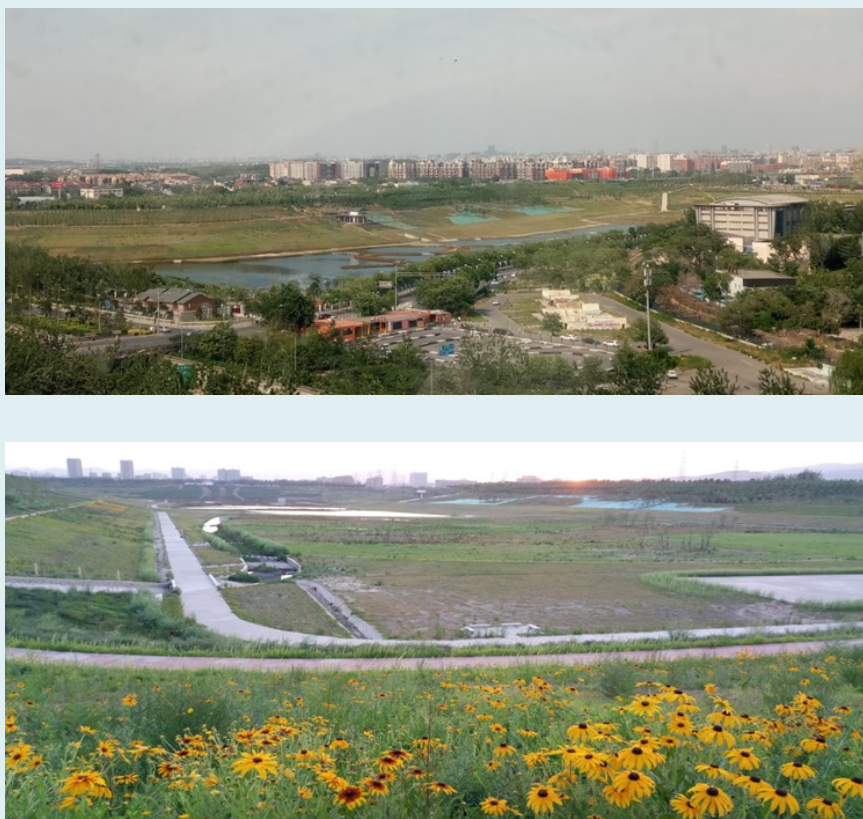


图5 西郊雨水调蓄工程建设前后对比

2.2.5 城市洪涝灾害预警与应急管理制度

近年来，暴雨带来了巨大的人员伤亡和经济损失。除工程设施方面的不足外，洪涝灾害还暴露出防汛设施薄弱、应急设备和储备不足、统计报告滞后、预警覆盖面窄、指挥系统不完善和人民群众对洪水灾害认识淡薄等非工程性问题。在总结多年防洪经验后，北京市建立了“1+7+5+16”洪涝灾害预警与应急管理体系^[3]。

“1”是指加强防汛指挥效能，成立北京市防汛指挥部，在应急管理部的支持下工作，统一组织整个抗洪行动，由一名副市长负责担任总指挥。防汛指挥部除进行必要的人员和制度建设外，还建立了北京市防汛排涝决策支持系统。该系统利用信息技术，对北京市的

洪涝进行预警和预报，并为防汛指挥提供方案推演、洪水模拟等决策支持服务。

“7”是指在住建、交通、地下系统、地质灾害、旅游景区、新闻等具体领域设立七个分管单位，进行防洪管理和综合配套管理，在防汛指挥部统一调度下协同应对。住建部门负责保障所有建筑物、建设中的建筑物和一般地下设施安全渡过洪涝灾害期；交通部门负责保证暴雨期间道路和城市轨道的安全；地下系统主要负责水、电、气、供热等重要供电线路的保护和应急管理；地质灾害管理部门负责地质灾害易发区和采空区等易成灾区域的洪涝防治工作；旅游景点管理部门负责旅游景点的

防洪工作；新闻部门通过媒体宣传提高公众对城市洪涝灾害的认识，并普及相关的自救教育。

“5”是指加强五条城市外围较大河流的保护与建设。北京市成立了永定河流域、潮白河流域、北运河流域、清河流域、济河流域五个分指挥部，组织督导防汛抢险救灾工作。

“16”就是在北京十六个区实行防汛行政首长负责制，由区县级防汛指挥部组织、监督全区县范围内的各项防汛救灾工作。

北京市建立了气象部门会商制度和汛期新闻发布制度，以规范汛期洪涝预警发布工作。此外，北京市还建立了流域协作系统：一方面，同一流域单位的区县进行协作，共同应对洪涝灾害；另一方面，对于防洪重点目标，政府、各行业和运营单位在规划、团队协作、安全措施、救灾等方面进行协作。

北京市完善了监督工作和责任追究制度，不履行职责的官员将被追究责任。在“统一指挥、统一调度、统一决策”的总原则指导下，加强监督，采取自查自纠等措施，检查责任制、计划、团队协作、应急物资、安全措施、宣传、培训、演练等落实情况。开展不同类型、不同形式、不同地区的洪水演习，加强应急防范，提高预警信息发布效率，制定具有可操作性的抗洪预案。保障应急物资安全，保障必要的基础设施建设。

在防汛救灾中，北京市应用了互联网、物联网和智能水网技术，建立了完备的城市排水基础设施建设自动化远程监测系统。通过对城市道路、街区、湖泊等水体进行严密的水文监测，并对雨水排水管道进行监测，防汛指挥部门可以实时了解城市暴雨洪涝灾害情况，并基于监测设施建设防汛决策支持系统，为暴雨洪涝应急管理和指挥调度奠定基础，极大地提高调度指挥的效率和科学性。

2.3 典型应对措施具体案例

莲花桥是北京西三环中路上的立交桥，位于海淀区，是莲花池西（东）路与西三环中路的交汇处，是通往北京西站的重要通道。莲花桥区域汇水总面积约11.2万 m^2 。该桥在2004年、2007年、2011年和2012年等的汛期暴雨中均遭受淹没积水；其中，在2012年，此处最深的积水达2m多深，导致交通中断，对区域交通造成较大影响。莲花桥区域积水在北京立交桥积水中具有一定的典型性。

莲花桥区域积水的主要原因是：此处地势较低，在极端暴雨时，周边莲花小区、莲花桥北部等区域雨水全都流入该区域；但其泵站设计抽水能力仅为每秒4.1 m^3 ，积水速度和积水量远超过泵站的抽排能力，因此造成严重洪涝积水。在实施“北京市区雨水泵站改造及雨水收集三年行动计划”时，北京市对莲花桥区域的泵站及其附属排水设施进行了整体改造，提高了该区域洪涝应对能力。改造示意图如图6和7所示，具体改造方案为：

(1) 在莲花桥桥区南侧绿地内新建4座调蓄水池。1#、2#调蓄池位于西南角绿地内，有效水深均为4.6m，有效容积共6079.3 m^3 。3#、4#调蓄池位于东南角绿地内，有效水深均为3.0m，有效容积共5562.8 m^3 。四座调蓄池总容积11642.1 m^3 。

(2) 新建一座排涝泵站，流量每秒26 m^3 。当下游河道水位超过20年一遇洪水位高程，水不能自流排出时，水将通过排涝泵站排入莲花池。

(3) 完善西三环路莲花桥桥区主路及辅路雨水口收水系统，将雨水口改为联合式雨水口，新建雨水口共计601座；同时新建雨水口管，将附近的排水管道平均直径从500mm增加到1000mm。

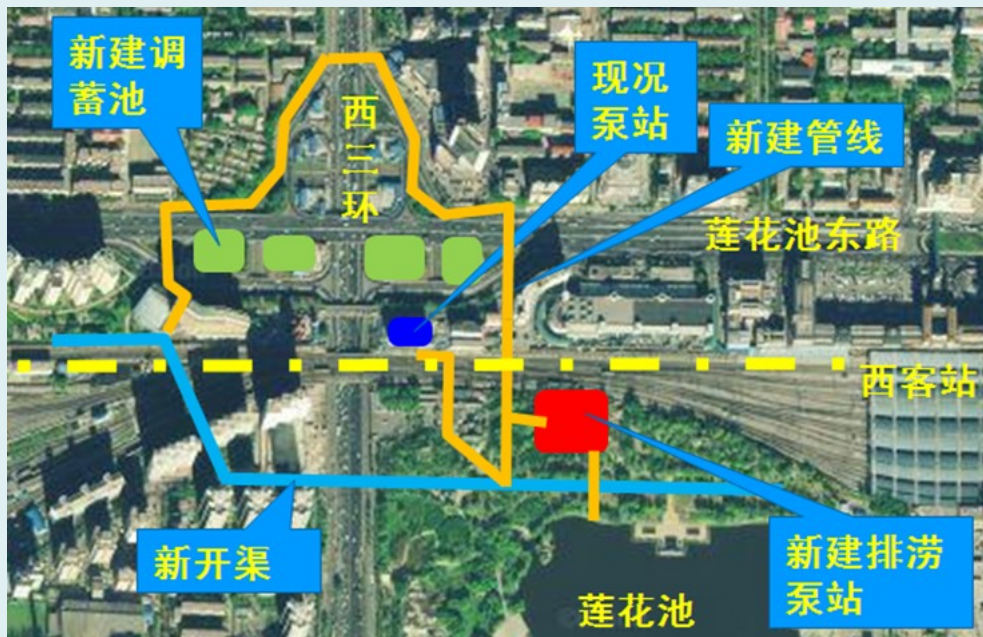


图6 莲花桥区域排水防涝改造布置示意图

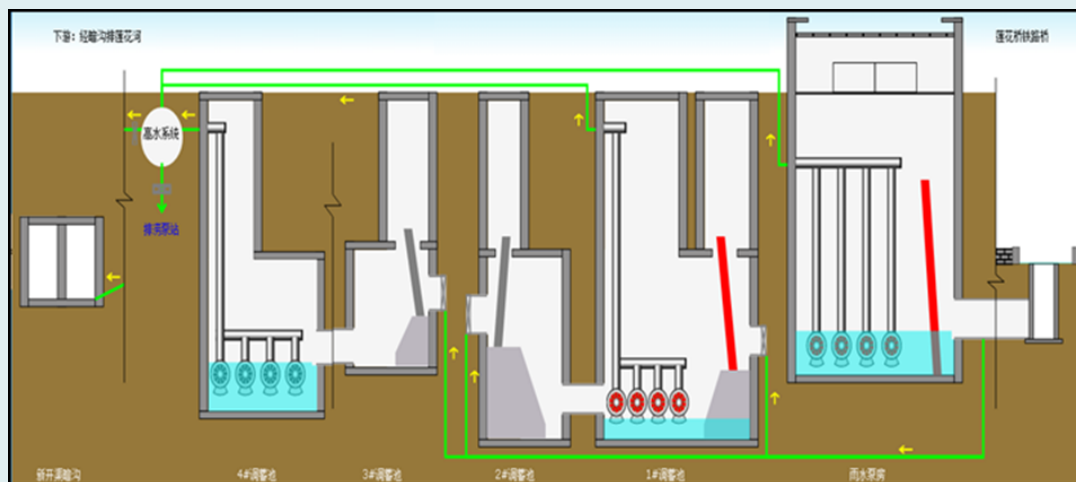


图7 莲花桥区域“泵站+调蓄池”系统运行示意图

2016年7月20日，莲花桥区域站点监测降雨量为78.9mm；为避免洪涝积水，“泵站+调蓄池”系统及时开启运行，泵站累计抽水量3685.5m³，调蓄池蓄水量2204.0m³，共计排水量5889.5m³。数据测算表明，2204

m³蓄水量相当于莲花池桥区积水80cm深度水量，也就是说，如果不经泵站排水和调蓄池调蓄，本次降雨可能造成莲花桥区域平均80cm深的积水，进而带来交通中断等严重后果。经过对排水系统的系统改造，北京已经基本

消除了雨季的道路淹没现象。

3. 有关投融资机制和运作方式

3.1 应对措施的成本与投融资机制

由于全市域内的防洪排涝投资是一个持续、动态的过程，因此很难准确地估算成本。此处以中心城区防洪排涝规划的地上、地下方案对比的投资概算为例，粗略地说明有关应对措施的成本。

同中国其他城市一样，城市洪涝防治是一项公益事业，主要由政府财政收入进行投资（表2）。以北京市为例，北京市在防汛排涝中的工程建设费用全部由市级财政承担，而工程维护费由市级财政承担70%，属地政府财政承担30%。需要说明的是，过去政府的财政收入中，有一部分是向市场主体（企业）收取的“防洪费”，但该费用目前已停止征收。

汛期防洪排涝设施的维护是一项专业事务。北京市采用“政府购买服务”的方式，向北京城市排水集团有限责任公司（以下简称北京排水集团）按年度购买该服务，相关费用由政府财政全额支付。由于降雨年际变化较大，不同年份的费用差异可能较大。在实际支付中，北京市政府会聘请第三方审计公司对北京排水集团上报费用的合理性和明细进行审计，以确保政府购买服务在经济上是划算的。目前，北京市还未针对洪涝灾害制定巨灾保险方案，也尚未采用PPP模式等多途径的融资方式。

3.2 利益相关方的合作方式

在防汛排涝投资、建设和管理中，涉及的利益相关方主要是政府、企业和个人。作为一种公益性质的设施投资和建设，防洪排涝建设通常没有明确的直接受益人，受益者为包括政府、企业和个人在内的全体利益相关者。城市防洪排涝建设的利益相关方如表3所示。

3.3 有关措施维护的运作方式

(1) 实施防洪排涝统一调度指挥。在应对洪涝灾害方面，北京市水务局实行对防洪排涝工程的统一管理职责，市政府还设置了北京市防汛指挥部，成员包括水务、城建、应急、气象等多个部门，实现对洪涝应对的统一指挥，行使预警发布、防汛会商、抢险调度等职能，确保统一调度指挥。

表2 北京中心城区防洪排涝（滞蓄区建设）规划投资概算

滞蓄区数量 (处)	滞蓄水量 (万方)	地上调蓄方案(亿元)			地下调蓄方案(亿元)		
		工程投资	拆迁占地费	总投资	工程投资	拆迁占地费	总投资
41	1639.62	24.60	354.00	378.60	114.77	70.80	185.57

(2) **对中小河流实施“一河一策”。**在中心城区，对于凉水河、坝河、通惠河和清河，分别设置了相应的管理部门；各管理部门根据不同河流的特点，制定相应的应对预案，根据北京市水务局的授权，实施对相应河流的全面管理。

(3) **对排水泵站实行“一泵一案”。**对于城区内的192座“泵站+调蓄池”系统，进行统一规划，每一座“泵站+调蓄池”系统都单独制定建设、管理和调度方案，每一座泵站都制定了针对不同设计重现期暴雨的调度预案，以确保所有泵站发挥最大效益。

(4) **采用信息技术支持防汛决策。**北京市建设了城市洪涝预警和决策支持系统，在其支持下，北京市防汛指挥部可以实现对市域内洪涝的统一应对。该系统大大提升了应对效率，提升了决策的科学化水平。

(5) **打造设施维护的专业化企业。**北京市重点支持建设北京排水集团这家国有企业。该企业是由政府投资，按照市场化原则组建的专业化企业。政府通过向

其购买服务，实现对泵站、闸坝、调蓄池和管网等排水基础设施的日常维护和汛期管理。

4. 实施后取得的主要成效及收益

4.1 主要成效：基于事件的对比

2012年7月21日，北京市突降暴雨，城区平均降雨量达215mm，市域内最大观测降雨量达460mm，1h雨量普遍达40-80mm，持续时间达3-4小时。本次特大暴雨造成北京市全市大面积受灾，交通几乎瘫痪，受灾总人口约77.76万人，紧急转移安置9.59万人；倒塌房屋728间、严重损坏房屋4.4万间、一般损坏房屋12.19万间；农作物受灾面积5.75万 hm^2 ；直接经济损失116.4亿元。

2016年7月19日，北京市出现强降雨天气，此次降雨持续时间长、总量大、范围广，降雨总量超过了2012年“7·21”北京特大暴雨。全市平均降雨210.7mm，城区274mm，形成水资源总量33亿 m^3 。尽管本次降雨总量比2012年“7·

表3 城市防洪排涝建设的利益相关方

利益相关方	具体单位/个人	职责或义务
政府（公共机构）	市发展改革委、财政局、水务局、住房和城乡建设局、气象局、规划和自然资源委员会、市政园林绿化局、生态环境局、自然资源局、民政局、新闻办公室；各区人民政府	防洪排涝相关规划建设、工程投资、应急抢险等，并在平时通过新闻宣传、属地化管理等方式提升社会对防汛排涝事务的关注
企业（法人）	规划设计类、工程建设类、投资运营类、建材料、园林园艺类、水处理类、科学研究类等企业和单位；北京城市排水集团有限责任公司等特许经营企业	除缴纳一定的“防洪费”外，还可以参与到工程建设、工程维护、设备购买等的招标竞争中来，通过向政府提供服务赚取利润
公民	城市全体居民	公民个人在日常消费中缴税成为政府的财政收入，被政府划出一部分，作为防汛排涝的投资；此外，公民还有依法遵守暴雨、洪涝预警的义务

21”事件还要大，但是强降雨并没有造成较大的损失；特别是在立交桥积水方面，由于及时启动泵站和调蓄池调蓄雨水，中心城区立交桥未见大面积积水，交通没有长时间中断。同时，由于积累了丰富的应对经验，气象部门准确地预报了降雨，防汛部门在降雨前就制定了严密的应对方案，本次极端暴雨洪涝灾害没有造成人员伤亡。

对比上述两场极端降雨洪涝灾害可以发现，通过实施“北京市区雨水泵站改造及雨水收集三年行动计划”和《北京市水利工程实施与建设规划》等计划并及时总结应对经验，北京市在城市洪涝灾害应对体制机制、防洪排涝预案、人员物资调配、水利工程调度等方面都有了较大的提升和进步；极端暴雨造成的城市洪涝灾害对城市经济社会正常运转的影响在显著减弱，受灾范围、受灾人口显著减少，洪涝灾害造成的直接经济损失显著降低。

4.2 雨水资源利用收益

以2016年7月20日降雨为例，本次降雨，北京排水集团雨水泵站共运行70座，总抽水量120341.3m³，调蓄池总蓄水量17855m³；这些雨水大部分都被用在补充生态用水、河道景观用水、市政绿化用水等方面。据初步估算，在平水年份，北京市中心城区的192座泵站及其调蓄池设施每年约可调蓄雨水30万m³。这些雨水被调蓄池调蓄后用于补水，以原水（未经处理的天然水）水价为0.5元/m³计算，每年约可节约15万元用于补水的费用。

4.3 其他间接和综合收益

实施防汛排涝工程治理和管理，还具有多种间接和综合收益，尽管它们不可一一具体量化，但也是收益的重要部分。这部分收益主要包括：

- (1) 减少了人员伤亡，提升了城市居民的幸福感和
- (2) 减少了对社会经济活动的扰动，间接支持了经济发展；
- (3) 工程建设拉动了市场投资，促进了经济发展；
- (4) 提升了城市居民对政府的好感度，维护社会和谐

稳定；

(5) 提升了城市品质，增加了城市美誉度，提升了旅游吸引力。

5. 本案例的亮点和启示

5.1 北京应对极端暴雨洪涝的经验和亮点

(1) 从全局角度统筹应对城市洪涝。城市洪涝涉及到城市的许多方面，需要统筹谋划，从全局的角度考虑城市洪涝应对布局。从空间布局上，北京市结合自身地势和洪水形成规律，制定了“西蓄东排，南北分洪”的防洪排涝总体布局，将洪水分散消纳，减少洪水“入城”，从而确保中心城区的安全；在应对机制上，北京市以防汛指挥部为依托，整合多个行政力量的力量，实现对城市洪涝的全方位应对，而且制定了严密的预案、工作方案和责任追究体系。这些做法使得城市洪涝的应对不再是某一个局部、某一个部门的事情，而是需要依靠各部门形成合力、共同分担、统筹应对的公共事务。城市自身的应对能力也在这个过程中得到了极大增强。

(2) 针对问题制定个性化应对方案。在不同的主体上，城市洪涝的表现形式不同。比如，对于河道，其主要问题是洪涝漫堤和决堤；对于立交桥，其主要问题是积水难以及时排除而导致道路中断。为此，北京市在认真梳理城市洪涝问题的基础上，针对不同类型的问题，制定了个性化的应对方案。针对中小河流洪水，制定“一河一策”，为中心城区四条主干河道分别设立相应的管理部门，授权其根据实际情况开展针对性管理。对于立交桥积水洪涝，采用“泵站+调蓄池”的策略，针对不同类型的立交桥，制定“一桥一案”，有针对性地开展改造、提升、管理和调度。上述针对性措施以问题为导向，力求逐个解决城市洪涝问题，起到了很好的实施效果。

(3) 充分依靠科学技术提升应对能力。城市洪涝应对是一项专业的行动，必须依靠专业知识，各个环节都需要科学技术支撑，以提高城市洪涝应对能力。在城市洪涝防治规划方面，北京市通过对全部暴雨洪水资料的科学分析，制定了科学的应对策略；在城市洪涝预报预警方面，北京市开展了高性能的临近降雨数值预报，并应用大数据分析、物联网监测等新技术，以实现城市洪

涝更科学的预测；在城市洪涝调度指挥方面，建设了北京市防汛排涝决策支持系统，采用信息化手段，实现对城市洪涝调度科学决策。

5.2 本案例对极端暴雨洪涝灾害应对的启示

(1) 城市极端暴雨洪涝灾害需要综合应对。极端暴雨造成的洪涝灾害对社会的影响是全方位的，应对城市极端暴雨洪涝灾害也需要整合多方面的力量。同时，城市洪涝灾害应对手段也是综合和多样化的，即可以采用工程措施，也可以采用非工程措施。还应注重不同措施实施后的综合效果，如采用生态措施应对洪涝，不仅可以减少洪涝灾害，还可以起到保护生态、增加市民舒适感等多方面作用。

(2) 高度重视气候变化导致的降雨变化。全球气候变化、气温升高改变了水文循环，使得降雨特性发生了显著变化。尽管这在有的地区可能表现为总降雨量减少，但同时其降雨结构可能发生了重要变化，例如短历时极端暴雨频率增加，而这种变化可能会导致更加严重的城市洪涝灾害。此外，城市化和城市建设本身可能导致局部的、区域的、短时的气候变异，这种变异与大背景下的气候变化叠加，可能带来更加复杂的降雨结构性变化。因此，对于气候变化可能带来的降雨变化，应该充分重视并深入研究，以求在城市洪涝应对中占据主动。

(3) 提升全社会应对城市洪涝的风险意识。降雨具有极大的不确定性，因此城市洪涝灾害也具有极大的不确定性。在应对方面，巨大的投入往往不一定带来巨额的收益，而一旦投入不足，则可能导致巨大的损失。面对城市洪涝灾害的不确定性，其应对理念需要从减少灾害损失向减轻灾害风险转变，并高度重视后者切实采取综合防范措施，将常态减灾作为基础性工作，坚持防灾抗灾救灾过程的有机统一，前后衔接，未雨绸缪，常抓不懈，增强全社会抵御和应对灾害的能力。

(4) 未来可考虑将巨灾保险等风险转移手段纳入政府规划及考量。目前，北京市还未针对洪涝灾害制定巨灾保险方案，也尚未采用PPP模式等多途径的融资方

式。巨灾保险可改变政府财政单一的灾害损失补偿模式，构建政府、市场、社会共同参与的公共救助体系新机制。同时，保险行业通过积累大灾理赔数据和服务经验，可为政府及其职能部门提供精准的防灾减灾信息，提高全社会应对重大自然灾害的意识和能力。

参考文献

- [1] 宋晓猛, 张建云, 刘九夫, 杨淼. 北京地区降水结构时空演变特征. 水利学报, 2015, 46(05):525-535.
- [2] 宋晓猛, 张建云, 贺瑞敏, 邹贤菊, 张春桦. 北京城市洪涝问题与成因分析. 水科学进展, 2019, 30(02):3-15.
- [3] Huang, Guangwei, and Zhenjiang Shen. *Urban Planning and Water-Related Disaster Management*. 2018, Switzerland: Springer Nature.
- [4] 北京市规划委员会, 北京市水务局, 北京市城市规划设计研究院, 北京市水利规划设计研究院. 北京市中心城排防水涝系统规划. 2015, 北京:北京市规划委员会.

