秦淮河流域城市化进程对城市内涝风险变化的影响

杨红卫[1]，陈 璇[1]，高 斌[2]

（1. 南京市水利规划设计院股份有限公司，江苏 南京 210022；2. 南京大学，江苏 南京 210093）

摘要：秦淮河流域大部分区域位于南京市，随着城镇化快速发展，不透水面大幅增加，会导致区域洪水风险增加。但是随着经济能力的快速发展，区域排涝能力大幅增强，会在一定程度上降低洪水风险。以溧水河为例，通过 MIKE11 和 MIKE21 模型耦合模拟秦淮河流域洪水过程和淹没状态，分析下垫面和排涝能力变化对洪水风险的影响。结果表明：50 年一遇设计暴雨情况下，排涝能力不变时，秦淮河流域 1995—2005 年下垫面变化淹没面积增加 1.65%，2005—2015 年下垫面变化会导致淹没面积增加 2.08%。当排涝能力同样变化时，1995—2005 年变化情景下，淹没面积减少 4.56%，2005—2015 年变化情景下，淹没面积减少 8.43%。排涝能力变化对区域洪水淹没影响大于下垫面变化。

关键词：秦淮河；下垫面；排涝动力；洪涝

中图分类号：TV211 **文献标识码**：B **文章编号**：1007-7839(2020)10-0050-08

Influence of urbanization process on urban waterlogging risk change in Qinhuai River basin

YANG Hongwei[1], CHEN Xuan[1], GAO Bin[2]

(1. *Nanjing Water Planning and Designing Institute Co., Ltd.*, *Nanjing* 210022, *China*;
2. *Nanjing University*, *Nanjing* 210093, *China*)

Abstract: Most areas of Qinhuai River Basin are located in Nanjing City. With the rapid development of urbanization, impermeable water surface increases greatly, which will lead to the increase of regional flood risk. However, with the rapid development of economic capacity, the regional waterlogging capacity is greatly enhanced, which will reduce the flood risk to a certain extent. Taking Lishui River as an example, the flood process and inundation state of Qinhuai River basin were simulated by MIKE 11 and MIKE21 models to analyze the impact of changes in underlying surface and drainage capacity on flood risk. The results showed that, under the design rainstorm once in 50 years, when the drainage capacity remained unchanged, the submerged area of the Qinhuai River basin would increase by 1.65% from 1995 to 2005, and increase by 2.08% from 2005 to 2015. When the drainage capacity changed similarly, the flooded area decreased by 4.56% under the changing scenarios from 1995 to 2005, and decreased by 8.43% under the changing scenarios from 2005 to 2015. Therefore, the influence of drainage capacity on regional flooding was greater than that of underlying surface.

Key words: Qinhuai River; underlying surface; drainage power; flood

收稿日期：2020-08-11

基金项目：江苏省水利科技项目(2017014)

作者简介：杨红卫(1973—)，男，高级工程师，硕士，研究方向为水文及水资源。E-mail：18734884@qq.com

秦淮河流域位于江苏省西南部,范围涉及南京、句容两市,近些年来随着流域内社会经济的发展,下垫面土地利用发生巨大变化,硬质化地面、不透水面积在不断扩大,沟塘等小的调蓄水体面积不断缩小,这些变化造成了流域内水文特性的随之改变,从近几年流域洪水特点来看,暴雨洪水径流量有增加趋势,洪峰峰现时间有提前趋势,流域的洪涝风险随之增加。同时,地区社会经济的发展也促使了大量水利工程的上马,对于区域洪涝风险而言,这无疑是提高了本地区防灾减灾的能力,区域风险会随着水利工程的建设不断下降。多因素的综合影响,使得秦淮河流域的风险分析变得困难,各因素的影响程度也难于定量分析。

近几年来随着科学技术水平的进步,城市洪涝风险的定量化研究也取得了长足进步。李智等[1]以南京市涂家营沟为例,应用 SWMM 模型模拟现状情况下涂家营沟流域不同重现期降雨时的洪涝淹没深度、淹没面积以及淹没时间。曾照洋等[2]将 SWMM 一维管网模型及 LISFLOOD - FP 二维水动力模型进行耦合,对东莞市典型区域进行暴雨内涝模拟。王小标等[3]选取流域 1985—2015 年 landsat 影像,采用基于 K 均值聚类水体指数法分析了秦淮河流域和城市区水面时空变化及其驱动因素。钱虹等[4]采用小波分析法和 Mann - Kendall 非参数检验方法,分析了 1961—2013 年秦淮河流域汛期气温和降水序列的趋势和周期变化特征以及 2000—2013 年流域汛期气温、降水及径流的变化趋势。

本文采用 MIKE11、MIKE21 耦合模型,以秦淮河上游主要支流——溧水河流域为例,定量研究下垫面变化和排涝能力变化对城市洪涝风险的影响,以期通过本研究为秦淮河流域城市发展与城市防洪减灾能力建设提供参考。

1　研究区概况

溧水河地处秦淮河上游,南起一、三干河交汇口,北至西北村,承接一、二、三干河等支流汇水,流域面积约 893 km^2。溧水河上段有一、三干河两支流,分别承中山水库、西横山水库来水;而后在左岸江宁区有横溪河汇入,承赵村水库来水,右岸有二干河汇入,承接方便水库和卧龙水库来水。在下段右岸江宁区有句容南河汇入,至西北村和句容河交汇后注入秦淮河干流。

流域内主要的圩区有秣陵联圩、禄口联圩、东阳圩、周岗圩、柘塘圩、团结圩、五圩等。其中秣陵联圩、禄口联圩属江宁区范围,近年来城市建设速度较快。

2　研究方法

本项目采用 MIKE 系列软件中的 MIKE FLOOD 模块进行一维、二维模型耦合计算[5]。其中溧水河流域主要干流及水库溢洪道在一维模型中搭建,可能淹没区使用二维模型描述,然后将一维、二维模型在 MIKE FLOOD 中进行耦合。

一维模型主要针对溧水河干流河道建模,包括溧水河干流、横溪河、三干河、一干河、二干河、句容南河等,模型参数的取用参照前文秦淮河流域水文水动力模型中的成果。二维水动力学模型采用 MIKE21 建模,用于计算溧水河流域内可能淹没区域的洪水演进过程。

3　下垫面变化对洪涝风险影响分析

溧水河洪涝灾害风险主要为外洪风险以及暴雨内涝风险。本文重点研究水系变迁及下垫面变化对圩区内涝风险的影响。

本文依据溧水河流域的城市化历程,选取 1995 年、2005 年、2015 年 3 个时期空间分辨率均为 30 m的遥感影像图,基于遥感影像专业处理软件(ERDAS)对遥感影像进行解译分析,将溧水河流域土地类型分为水面、水田、旱地、建成区和山林 5 个类别。

首先以 1995 年下垫面及水利工程为背景工况,通过改变模型下垫面组成分析下垫面变化对圩区成灾面积的影响。计算情景如下:

情景 1:50 年一遇设计暴雨 +1995 年下垫面组成 +1995 年排涝动力;

情景 2:50 年一遇设计暴雨 +2005 年下垫面组成 +1995 年排涝动力;

情景 3:50 年一遇设计暴雨 +2015 年下垫面组成 +1995 年排涝动力。

通过二维模型模拟溧水河流域内圩区淹没范围,结果如表 1。

从总体结果看,按照 1995 年的排涝能力,近 20 年来随着下垫面及水面率的变化,溧水河流域遭遇 50 年一遇设计暴雨时,对应的总淹没面积增加,1995—2005 年增长率为 1.65%,2005—2015 年增长率为 2.08%。

考虑到溧水河流域内各圩区社会经济发展不

表 1 溧水河流域各情景下遭遇 50 年一遇暴雨淹没面积

淹没水深/m	淹没面积/km²			淹没面积增长率/%	
	1995 年	2005 年	2015 年	1995—2005 年	2005—2015 年
0.5	87.58	87.43	87.08	-0.17	-0.57
1.0	11.58	13.30	14.07	14.83	21.44
1.5	1.07	1.04	1.13	-2.28	6.29
2.0	0.45	0.26	0.22	-40.86	-50.31
2.5	0.08	0.38	0.34	396.44	346.45
合计	100.75	102.42	102.84	1.65	2.08

协调,如禄口联圩、秣陵联圩属于江宁开发区、空港新城范围,近些年城市化进程较快,下垫面及水面率变化较大,而东阳圩、周岗圩发展缓慢,基本保持了原有的农业圩状态,下垫面及水面率变化相对较小,本次统计禄口联圩、秣陵联圩、东阳圩和周岗圩 4 个典型圩区的淹没范围,对比研究不同城市化进程下的区域风险变化规律,各圩区遭遇 50 年一遇设计暴雨时的淹没面积统计结果见表2。

当不同年代溧水河土地利用发生改变时,可以发现不同圩区内洪水淹没面积都有所增加,这与溧水河流域内快速城镇化发展,区域不透水面积不断增加,改变了流域内水文过程有关。不透水面的增多使得流域内在降雨事件中下渗能力减弱,从而导致了径流量增加,洪水淹没面积也有一定增加[5-6]。对比各圩区不同年代水面率统计结果见表3。

由表3可以看出随着城市化进程的加快,近

表 2 各圩区不同情景下淹没面积

圩区	淹没水深/m	淹没面积/km²			淹没面积增长率/%	
		1995 年	2005 年	2015 年	1995—2005 年	2005—2015 年
禄口联圩	0.5	10.96	11.19	11.10	2.06	1.24
	1.0	1.55	2.30	2.66	47.92	71.46
	1.5	0.08	0.09	0.10	7.55	16.71
	2.0	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
	2.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合计	12.61	13.59	13.87	7.75	10.00
秣陵联圩	0.5	11.85	11.53	11.33	-2.74	-4.37
	1.0	1.59	2.53	2.89	58.75	81.21
	1.5	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
	2.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合计	13.45	14.07	14.23	4.55	5.77

(续表 2)

圩区	淹没水深/m	淹没面积/km²			淹没面积增长率/%	
		1995 年	2005 年	2015 年	1995—2005 年	2005—2015 年
东阳圩	0.5	22.83	22.80	22.81	-0.15	-0.10
	1.0	1.91	1.92	1.95	0.96	2.04
	1.5	0.72	0.72	0.74	0.33	3.07
	2.0	0.07	0.11	0.07	43.22	-9.84
	2.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合计	25.53	25.55	25.56	0.07	0.12
周岗圩	0.5	14.44	14.46	14.46	0.15	0.13
	1.0	0.87	0.87	0.86	-0.53	-0.78
	1.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合计	15.31	15.33	15.32	0.11	0.08

表 3　各圩区不同年代水面率统计结果

圩区	水面率/%			水面率衰减率/%	
	1995 年	2005 年	2015 年	1995—2005 年	2005—2015 年
东阳圩	8.51	8.51	8.50	0.00	0.17
禄口联圩	8.86	6.84	6.02	22.81	32.00
秣陵联圩	8.13	6.71	6.34	17.42	22.08
周岗圩	7.28	7.28	6.85	-0.10	5.88

20 年来禄口联圩和秣陵联圩水面率减少明显，相对于 1995 年，禄口联圩水面减少了 32%，秣陵联圩水面减少了 22.08%，在这种情况下，当圩区遭遇 50 年一遇设计暴雨时，2015 年水面率下禄口联圩淹没范围对比 1995 年增加 10%，秣陵联圩淹没范围增加 5.77%；农业圩东阳圩近 20 年来水面率变化较小，相应的当圩区遭遇 50 年一遇设计暴雨时，2015 年水面率下东阳圩淹没范围对比 1995 年增加 0.17%；周岗圩 2005—2015 年期间水面率变化较大，相对于 1995 年，禄口联圩水面减少了 5.88%，在这种情况下，当圩区遭遇 50 年一遇设计暴雨时，2015 年水面率下周岗圩淹没范围对比 1995 年增加 5.88%。

综上所述，近年来随着溧水河流域水面率的减少，在遭遇相同量级洪水的情况下，圩区若维持 1995 年时的排涝能力，洪涝成灾风险增大，受灾后受淹面积变大，淹没水深增大；相较于城市化进程较慢的圩区，城市化发展快的圩区水面率衰减速率更快，洪涝成灾风险增速更快。

4　下垫面及排涝动力共同作用对洪水淹没的影响

根据前文分析可知，由于溧水河流域内圩区水面率的减少，下垫面危险性在增加，但是同时由于

流域内社会经济的发展,圩区防灾减灾的能力在提高,这主要体现在圩区排涝泵站的建设,排涝能力的提高,因此对本区域内涝风险的评价需要综合考虑下垫面改变及排涝能力的变化等因素的影响。这里进一步增加二维模型的模拟情景,具体如下:

情景 1:50 年一遇设计暴雨 +1995 年下垫面组成 +1995 年排涝动力;

情景 2:50 年一遇设计暴雨 +2005 年下垫面组成 +2005 年排涝动力;

情景 3:50 年一遇设计暴雨 +2015 年下垫面组成 +2015 年排涝动力。

通过模型模拟,得出不同情景下的各圩区遭遇 50 年一遇设计暴雨时的淹没情况见表 4。

的区域风险变化规律,各圩区遭遇 50 年一遇设计暴雨时的淹没面积统计结果见表 6。

从计算结果看,溧水河流域遭遇 50 年一遇设计暴雨时,城市化进程较快的禄口联圩和秣陵联圩淹没面积逐年减少,而且淹没面积的减少率均比较大,2005 年禄口联圩淹没面积相较于 1995 年减少了 5.58%,2015 年淹没面积相较于 1995 年减少了 4.14%;2005 年秣陵联圩淹没面积相较于 1995 年减少了 20.25%,2015 年淹没面积相较于 1995 年减少了 14.51%。相对而言,城市化进行较慢的周岗圩淹没范围基本没有变化,东阳圩 2005 年淹没面积降幅较小,为 2.54%,2015 年由于排涝动力的增加,相较于 1995 年,淹没面积减少了 8.58%。进一步

表 4 溧水河各情景下遭遇 50 年一遇暴雨淹没面积

淹没水深/m	淹没面积/km²			淹没面积增长率/%	
	1995 年	2005 年	2015 年	1995—2005 年	2005—2015 年
0.5	87.58	85.81	86.90	-2.02	-0.77
1.0	11.58	9.27	5.15	-19.95	-55.52
1.5	1.07	0.87	0.19	-18.57	-81.81
2.0	0.45	0.09	0.01	-80.18	-97.69
2.5	0.08	0.12	0.00	58.21	-100.00
合计	100.75	96.16	92.26	-4.56	-8.43

从总体结果看,溧水河流域遭遇 50 年一遇设计暴雨时,流域内涝受淹范围逐渐减小,1995 年内涝受淹面积为 100.75 km^2,2005 年内涝受淹面积为 96.16 km^2,淹没面积减少了 4.56%,2015 年内涝受淹面积为 92.26 km^2,淹没面积减少了 8.43%。近年来溧水河流域圩区水面率逐渐下降,增加了圩区受涝成灾风险。但同时由于溧水河流域社会经济的发展,圩区排涝动力不断增大,1995 年溧水河流域总排涝能力约为 150.9 m^3/s,至 2005 年排涝能力达到了 211.7 m^3/s,增幅达 40.3%,至2015 年排涝能力达到了 304.5 m^3/s,排涝能力翻了一倍,排涝能力的增加大大提高了圩区的防洪减灾能力。从结果看,排涝能力的增大有效弥补了水面率下降造成的内涝风险提高的问题。溧水河流域各圩区排涝动力见表 5。

统计禄口联圩、秣陵联圩、东阳圩和周岗圩4 个典型圩区的淹没范围,对比研究不同城市化进程下

比较各情景下建成区的淹没面积,统计结果见表 7。

从结果看,溧水河流域遭遇 50 年一遇设计暴雨时,流域内涝受淹范围虽然逐渐减小,但是由于建成区的面积不断扩大,因此建成区受涝面积确实在增加,尤其以 2005—2015 年这段时间增速最快。

统计禄口联圩、秣陵联圩、东阳圩和周岗圩4 个典型圩区的建成区淹没范围,结果见表 8。从结果看各圩区随着建成区的扩大,建成区受淹面积也逐渐增大,其中禄口联圩和秣陵联圩 2 个经济发展最快的区域建成区受淹面积增加最多,东阳圩 2005—2015 年期间建成区受淹面积也有较明显的增加。各圩区不同情景下建成区淹没面积见表 8。

总体看来,城市化发展较快的区域虽然水面率在减少,但由于排涝动力的增速较快,整体的防洪减灾能力在提高,内涝风险在降低,城市化发展较慢的区域内涝风险也在逐渐降低,但整体的防洪减灾能力不及城市化高速增长地区。同时,可以看到

表 5　溧水河流域各圩区排涝动力

圩区	排涝流量/($m^3 \cdot s^{-1}$)			排涝流量增长率/%	
	1995 年	2005 年	2015 年	1995—2005 年	2005—2015 年
朝阳圩	11.0	13.0	42.8	18.18	289.45
东阳圩	31.5	32.5	39.5	3.18	25.40
禄口、秣陵联圩	32.2	66.7	78.9	107.28	145.43
团结圩	5.5	9.3	22.3	69.37	307.00
五圩南大圩	25.3	29.9	31.8	17.84	25.34
长兴铁家泉家圩	6.3	6.3	12.5	0.00	97.88
柘塘圩	7.2	12.0	28.8	66.62	301.11
周岗圩	31.9	42.1	47.9	31.97	50.00
合计	150.9	211.7	304.5	40.30	101.83

表 6　各圩区不同情景下淹没面积

圩区	淹没水深/m	淹没面积/km^2			淹没面积增长率/%	
		1995 年	2005 年	2015 年	1995—2005 年	2005—2015 年
禄口联圩	0.5	10.96	10.78	10.78	-1.64	-1.71
	1.0	1.55	1.03	1.22	-33.76	-21.51
	1.5	0.08	0.08	0.08	1.00	-0.39
	2.0	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
	2.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合计	12.61	11.90	12.09	-5.58	-4.14
秣陵联圩	0.5	11.85	10.64	11.20	-10.21	-5.54
	1.0	1.59	0.08	0.30	-94.93	-81.23
	1.5	0.01	0.01	0.01	0.00	0.00
	2.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合计	13.45	10.73	11.50	-20.25	-14.51
东阳圩	0.5	22.83	22.48	22.04	-1.55	-3.47
	1.0	1.91	1.83	1.25	-4.02	-34.37
	1.5	0.72	0.57	0.05	-20.12	-92.96
	2.0	0.07	0.00	0.00	-100.00	-100.00
	2.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合计	25.53	24.89	23.34	-2.54	-8.58

（续表 6）

圩区	淹没水深/m	淹没面积/km²			淹没面积增长率/%	
		1995 年	2005 年	2015 年	1995—2005 年	2005—2015 年
周岗圩	0.5	14.44	14.46	14.49	0.15	0.33
	1.0	0.87	0.87	0.86	-0.53	-1.01
	1.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合计	15.31	15.33	15.35	0.11	0.25

表 7 溧水河流域各情景下遭遇 50 年一遇暴雨建成区淹没面积

淹没水深/m	淹没面积/km²			淹没面积增长率/%	
	1995 年	2005 年	2015 年	1995—2005 年	2005—2015 年
0.5	2.51	5.02	14.24	100.12	467.31
1.0	0.19	0.45	0.66	136.46	246.56
1.5	0.06	0.02	0.03	-59.31	-49.58
2.0	0.00	0.01	0.00	3170.90	89.39
2.5	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00
合计	2.76	5.52	14.94	99.81	440.97

表 8 各圩区不同情景下建成区淹没面积

圩区	淹没水深/m	淹没面积/km²			淹没面积增长率/%	
		1995 年	2005 年	2015 年	1995—2005 年	2005—2015 年
禄口联圩	0.5	0.26	1.29	2.51	403.92	877.71
	1.0	0.02	0.12	0.27	523.41	1293.04
	1.5	0.01	0.00	0.01	-46.80	18.16
	2.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合计	0.28	1.42	2.79	402.85	888.59
秣陵联圩	0.5	0.22	1.41	2.66	549.27	1125.64
	1.0	0.01	0.01	0.02	146.70	320.72
	1.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合计	0.22	1.42	2.68	538.93	1104.96

(续表 8)

圩区	淹没水深/m	淹没面积/km²			淹没面积增长率/%	
		1995 年	2005 年	2015 年	1995—2005 年	2005—2015 年
东阳圩	0.5	0.67	0.69	2.31	2.79	243.70
	1.0	0.08	0.11	0.06	37.72	-28.89
	1.5	0.05	0.00	0.00	-91.43	-100.00
	2.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合计	0.81	0.81	2.36	0.22	193.25
周岗圩	0.5	0.17	0.27	0.94	56.44	452.89
	1.0	0.01	0.01	0.04	60.60	492.16
	1.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	2.5	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
	合计	0.18	0.28	0.98	56.60	454.45

城市化发展快的区域建成区面积有明显增大,受灾后的经济损失也会随之增大,承载体的易损性也就更大,对防洪减灾体系的要求也不断提高。

值得注意的是,排涝能力的增加在降低圩内洪水淹没范围的同时,也对圩外的洪水防控造成了较大压力[7-8]。因此在城镇化发展过程中,增强圩垸排涝能力的同时,也要注意协调圩垸外洪防控,才能保证流域整体防洪安全。

5　结　语

(1)通过耦合秦淮河地区的 MIKE11 和 MIKE21 模型,模拟了秦淮河流域典型地区在典型场次洪水下的淹没面积,通过淹没范围的验证可以发现模型模拟结果较好,可以应用于秦淮河流域的防洪减灾工作中。

(2)随着城镇化发展,城镇用地面积比例增加,秦淮河流域典型地区洪水淹没面积增大,洪涝风险增加。

(3)随着排涝工程的建设和排涝能力增强,秦淮河流域典型地区圩区内涝风险降低。在土地利用变化和排涝能力因素的共同影响下,该地区内涝风险降低,但是同时也要注意协调外洪防控,以降低流域整体洪涝风险。

参考文献:

[1]　李智, 刘玉菲, 任星芮男, 等. 基于 SWMM 的城市洪涝风险管理研究[J]. 水利水电技术, 2019(11):35-42.

[2]　曾照洋, 王兆礼, 吴旭树, 等. 基于 SWMM 和 LISFLOOD 模型的暴雨内涝模拟研究[J]. 水力发电学报, 2017(5):68-77.

[3]　王小标, 谢顺平, 都金康, 等. 近 30 年秦淮河流域水面变化及其驱动因素分析[J]. 遥感信息, 2017, 32(5):34-43.

[4]　钱虹, 栾承梅, 吴炳娟, 等. 秦淮河流域汛期气候变化及其对径流的潜在影响[J]. 科学技术与工程, 2015, 15(5):5-10.

[5]　初祁, 彭定志, 徐宗学, 等. 基于 MIKE 11 和 MIKE 21 的城市暴雨洪涝灾害风险分析[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2014(5):446-451.

[6]　王艳君, 吕宏军, 施雅风, 等. 城市化流域的土地利用变化对水文过程的影响——以秦淮河流域为例[J]. 自然资源学报, 2009, 24(1):30-36.

[7]　GAO Y, YUAN Y, WANG H, et al. Examining the effects of urban agglomeration polders on flood events in Qinhuai River basin, China with HEC - HMS model [J]. Water Science & Technology, 2017, 75(9):2130-2138.

[8]　FANG Guohua, YUAN Yu, GAO Yuqin, et al. Assessing the Effects of Urbanization on Flood Events with Urban Agglomeration Polders Type of Flood Control Pattern Using the HEC - HMS Model in the Qinhuai River Basin, China[J]. Water, 2018, 10(8):1003-1018.