

文章编号: 1004-4574 (2008) 01-0097-07

深圳市 1980 - 2005 年河网变化对水灾的影响

周洪建^{1,2}, 王静爱^{1,2}, 史培军^{3,4,5}, 潘东华², 高 路², 贾慧聪²

(1. 北京师范大学 地理学与遥感科学学院, 北京 100875; 2. 北京师范大学 区域地理研究重点实验室, 北京 100875; 3. 北京师范大学 环境演变与自然灾害教育部重点实验室, 北京 100875; 4. 民政部 / 教育部减灾与应急管理研究院, 北京 100875; 5. 地表过程与资源生态国家重点实验室 (北京师范大学), 北京 100875)

摘要:深圳近 30 年来的快速城市化使河流水系发生了较大变化, 从而对城市水灾致灾 - 成灾机制产生影响, 水灾发生频次增加。在地形图、河道普查数据、航空相片和遥感影像等多源数据支持下, 探讨了深圳市 1980 - 2005 年河网水系的时空变化规律及其成因。结果表明: (1) 近 30 年来河网水系结构简单化、主干化趋势明显, 总长度减少 355.4 km, 总条数减少 378 条, 河网密度从 0.84 km/km² 降低到 0.65 km/km², 河网支流发展受到了较大的限制; 流域所处位置和是否为直接入海, 导致各流域河网变化特征出现较大差异。(2) 河网水系在一定程度上“放大”或“缩小”了水灾致灾的可能性, 因此在目前城市化带来的暴雨产水量增加的情况下, 城市发展中应充分尊重自然河网的时空分布规律, 合理规划河网, 保障其生态服务功能, 使之成为快速城市化地区降低水灾风险的有效措施。研究结果为不同区域恢复河网水系及定量表达其变化特征提供了方法上的借鉴和实证案例, 亦可为城市化过程中合理规划河网水系, 最大限度规避水灾风险提供依据。

关键词: 河网水系; 城市化; 水灾; 深圳

中图分类号: P426.616; TV82

文献标识码: A

Influence of river Network change in 1980 - 2005 on flood hazard in Shenzhen City, China

ZHOU Hong-jian^{1,2}, WANG Jing-ai^{1,2}, SHI Pei-jun^{3,4,5}, PAN Dong-hua², GAO Lu², JIA Hui-cong²

(1. School of Geography and Remote Sensing Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Key Laboratory of Regional Geography, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 3. Key Laboratory of Environment Change and Natural Disaster, Ministry of Education of China Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 4. Academy of Disaster Reduction and Emergency Management, Ministry of Civil Affairs & Ministry of Education, the people's Republic of China, Beijing 100875, China; 5. State Key Laboratory of Earth Surface Processes and Resources Ecology (Beijing Normal University), Beijing 100875, China)

Abstract: Shenzhen is one of the special economic zones in China. It has developed rapidly from rural land to an industrial city since the mid-1980s. With the process of urbanization, flood has become a threat to the security of the city area. Based on relief map data and rivers general investigation data for Shenzhen region, the spatiotemporal change of river network system in the region and its cause were studied. The result shows that: (1) the river network structure reflects the trends from comprehension to simplicity. The total length of rivers shortened 355.4 km, accounting for 17%, and the river numbers decreased 378, accounting for 44%. The growth of branches was restricted severely. Both the location of the sub-drainage basin and whether the river is flowing into the sea directly

收稿日期: 2007 - 11 - 20; 修订日期: 2007 - 12 - 28

基金项目: 国家杰出青年科学基金项目 (40425008); 国家自然科学基金资助项目 (40671003)

作者简介: 周洪建 (1980 -), 男, 博士研究生, 主要从事自然灾害与土地利用 / 覆盖变化研究。

通讯作者: 王静爱, 女, 教授。E-mail: sqq@bnu.edu.cn

were main reasons that resulted in the differences of the river network change among all 9 sub-basins (2) The river network could "magnify" or "dwindle" the probability of the flood cause Admitting natural spatiotemporal distribution rule of river network, planning for the river net reasonably and ensuring the ecological service functions of river network were the efficient measures to reduce the disaster in the rapid urbanization regions The paper provide a method to recover the river network in different periods and an empirical case to quantitatively express the impacts of rapid urbanization on the river network change and it also can give reference to river network planning in the urbanization process and the regional urban flood disaster reduction

Keywords: river network; urbanization; flood; Shenzhen

河网水系作为区域水循环过程的重要组成部分,是由自然因素与人类活动共同作用形成的。城市化是最为典型的土地利用变化过程之一,其对城市区域的水循环机制产生较大影响,包括城市河网水系、降雨-径流过程等都将发生改变,呈现与自然状况下迥然的差异^[1-3]。这一变化将使得自然系统变得更加不稳定,极端事件(如洪涝等)发生的概率增加,加之城市化过程伴随的人口与财富的聚集,造成的可能损失将大大增加。因此,对快速城市化地区的河网水系变化,尤其是对城市水灾的影响进行研究,对于城市地区水灾防御、综合减灾等均有着极为重要的意义。

关于河网水系与人类活动关系的研究表明人类活动通过机械工程方式,包括修建水渠、大坝、改道和涵洞等对河网产生直接影响^[4-5];发生在流域下游或全流域的河网变化的间接效应是通过土地利用的变更来实现的,包括砍伐森林、高强度的农业化、森林火灾等,而城市化的影响使得河网变化最为显著^[6-7];城市化成为改变水系结构的重要因素,高度城市化地区河网结构趋于简单化、非主干河道减少^[8];城市化不同发展程度对水系有不同的影响规律,水系缩减的主体部分同城市扩展同步^[9];城市化对河网调蓄能力的影响大于对河流结构的影响,且随着城市化水平的提高,河网调蓄能力下降^[10];不同城市区域河网状态不同,通过将城市河网分为若干子区,运用动态分析方法对各子区河网进行描述性分析和原因调查,可提出各子区河网调整方案和管理办法,进而提高城市河网水系的安全性^[11]。城市水灾研究多数集中于城市下垫面变化导致径流变化^[12],对洪峰流量^[13]和水文过程产生影响^[14-16],而较少考虑河网变化对水灾的影响。

本文选择近 30a来发生了巨大土地利用变化^[12]的深圳市为研究区,在河网水系、土地利用、气象、水文、土壤等数据的基础上,探讨了河网水系的时空变化规律,在此基础上分析了河网变化对水灾的影响。

1 数据与方法

1.1 数据来源

获取河网水系、土地利用等流域下垫面数据以及气象数据是进行流域河网水系及其生态效应研究的基础(表 1)。由于数据时间的限制,1968年地形图提取得到的河网水系数据代表城市化前(为便于与遥感影像数据结合,记作 1980年)的状况,1986地形图数据代表初期(1988年)的状况;2003河道普查数据代表目前(2005年)的状况。

表 1 数据来源

Table 1 Data source

类型	时间	来源	基本作用
地形图数据	1968年(1:5万)、 1986年(1:10万)	国家测绘局	河网水系信息提取
河道普查数据	2003年	深圳市水利规划设计院	
深圳土壤数据	1980年代前期	深圳市自然资源与经济 开发图集	SCS模型中土壤信息输入
气象数据	1978 - 2005年	深圳市气象台	降水量的变化趋势分析
水灾数据	1980 - 2005年	参考文献	水灾风险概率的计算
DEM数据(90m)	2000年	深圳规划局	流域范围信息提取

1.2 研究方法

参照 Strahler水系分级方案^[17],在 RS, GIS相关技术的支持下,提取深圳市九大流域 (由 DEM 数据生成)的河流干流和 1,2,3级支流 (图 1)。

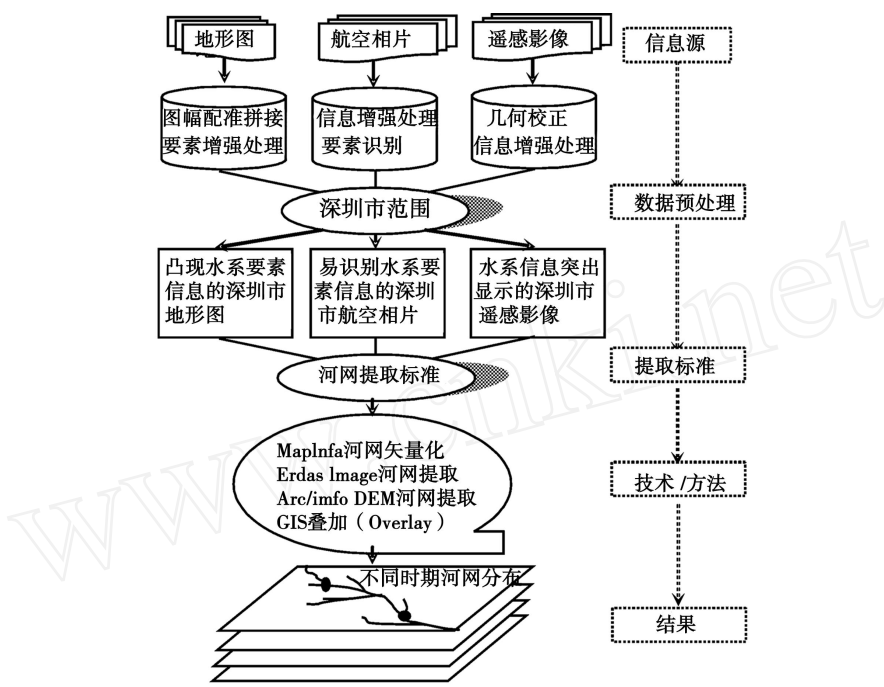


图 1 河网水系提取流程

Fig 1 Flowchart of river network extraction

通过构建河网密度 (R_d) (式 (1))、河频率 (R_f)^[10] (式 (2))、河网结构复杂度 (R_c)^[10] (式 (3))和河网发展系数 (R_z) (式 (4))等指标表达不同时期各流域河网水系及其变化特征。用城镇用地 (高密度、中低密度城镇用地)比例 (R_U) (式 (5))表征各流域城镇用地及其变化特征。将深圳市划分为 7967个 500m ×500m 网格单元,表达河网水系变化与城镇用地的空间关系。

$$R = \frac{L}{A} = \frac{n l}{n a} = l \tag{1}$$

$$R_f = \frac{m}{S_f} \tag{2}$$

$$R_c = N_o (L / L_m) \tag{3}$$

$$R_z = \frac{L_j}{L_m} \tag{4}$$

$$R_U = \frac{S_{UR}}{S} \tag{5}$$

其中, l 为平均河长, a 为平均相邻面积, A 为流域总面积, L 为河流总长度, n 为河流总条数; m 为某一面积内的河流条数, S_f 为某一区域的面积; N_o 为河流等级数, L_m 为主干河长, L_j 为第 j 级支流的长度; S_{UR} 为流域内城镇用地的面积, S 为流域的总面积。

2 结果分析

2.1 河网水系变化分析

近 30a来,深圳市河网水系简单化趋势显著,总长度减少 355.4 km (相当于 1980年总长度的 17%),总条数减少 378条 (相当于 1980年总条数的 44%),河网密度从 0.84 km/km²降低到 0.65 km/km²,部分地区出现暗渠,总长度达 61.7 km (图 2)。1980年河网水系呈现出明显的树状结构,主干河道及其三级支流结构

清晰;1988年树状结构依然存在,但支流明显减少,河流主干化趋势初步显现;2005年在保持树状基本结构的同时,暗渠开始出现,河道主干化更加明显。

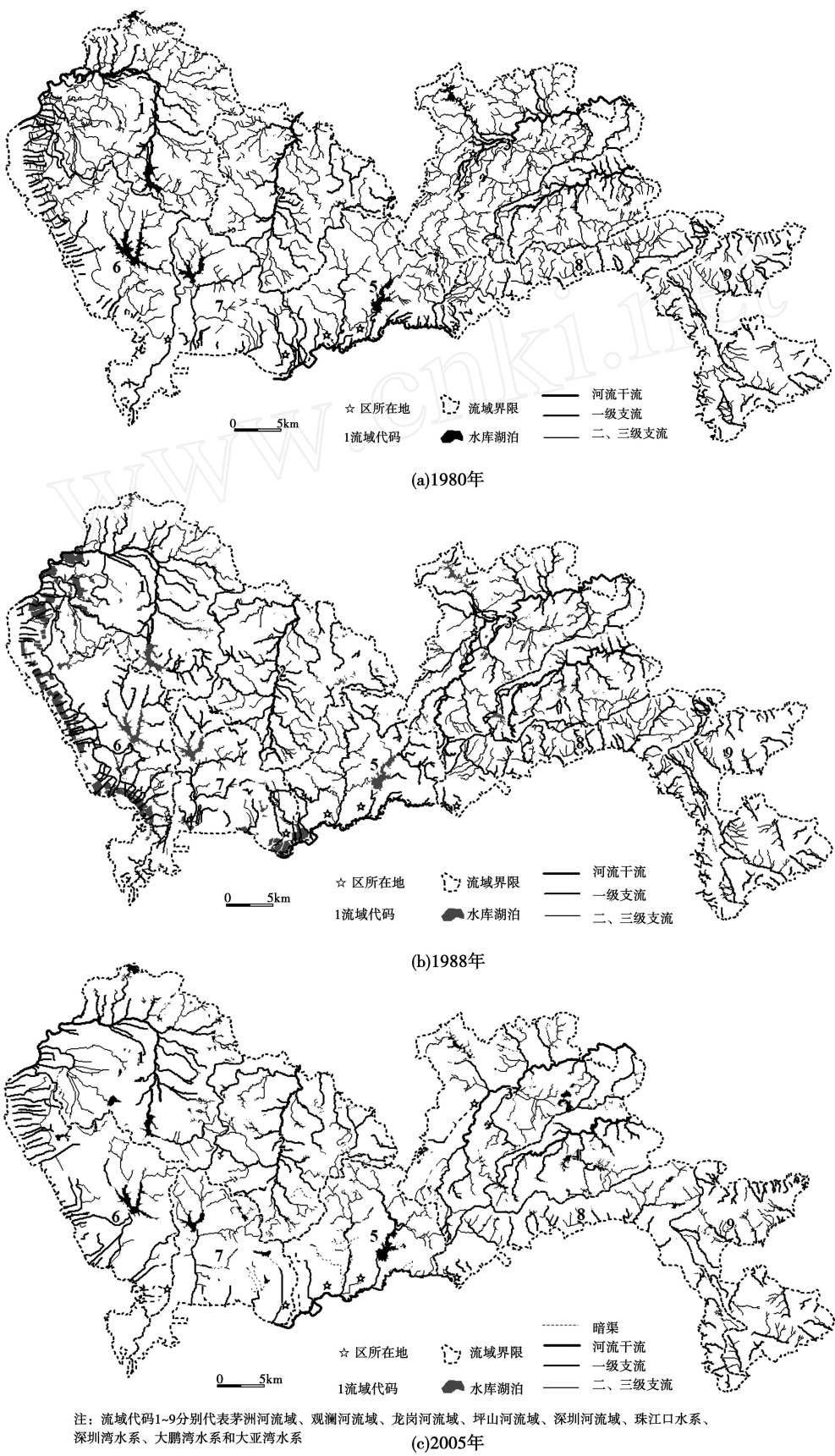


图 2 深圳市 9个流域河网水系变化

Fig 2 River network change of 9 drainage basins in Shenzhen City

各流域河网水系及其变化特征差异显著。河网密度、河频率分别作为表征流域河流长度、数量发育的重要指标,从表 2 看出,各流域河流的长度、数量发育具有较好的同步性,相关系数为 0.79 (检验水平为 0.001),河流短小化趋势不明显;流域 5、7 的河网密度、河频率变化趋势与其他流域差异较大,表现出增大的趋势,可能与处于特区内有关,其他流域则波动中减小。河网结构复杂度表明,直接入海的流域 (6~9) 河网结构明显简单于其他流域 (1~5),且相差倍数较大;流域 5、7 河网结构复杂度先减后增,总体增大,其他流域总体减小。以各流域内的三级支流为例,数据表明其发展受到抑制,河网发展系数迅速降低,在 1~4 流域表现最为典型;流域 5、7 变化趋势相反,先减后增,可能与其所处的城市发展阶段有关。

综上,深圳市河网属于典型的树枝状水系,近 30a 来河流长度、条数减小趋势明显,河网结构趋于简单化和主干化,河网支流发展受到抑制,减少趋势明显。各流域河网水系特征及其变化趋势分析表明,河流在特区的位置和是否直接入海决定了其变化规律:(1)处于特区内的流域各项河网变化特征指标均表现出先降后增,总体增大的趋势;特区外的流域则波动减小。这可能与其所处的城市发展阶段有关。(2)直接入海流域河网结构简单,河网特征变化幅度小。

表 2 深圳市 9 个流域河网水系特征

Table 2 Characters of river network of 9 drainage basins in Shenzhen City

指标 代码	河网密度, R_d			河频率, R_f			河网结构复杂度, R_c			河网发展系数, R_z		
	1980	1988	2005	1980	1988	2005	1980	1988	2005	1980	1988	2005
1	0.77	0.80	0.71	0.30	0.15	0.15	23.45	31.91	25.14	1.63	0.66	0.15
2	0.98	0.71	0.69	0.39	0.25	0.17	57.79	29.89	42.14	3.92	0.35	0.60
3	0.83	1.04	0.66	0.28	0.28	0.13	32.63	25.62	26.12	3.84	0.83	0.66
4	1.18	1.03	0.56	0.63	0.47	0.12	35.58	20.21	14.31	2.34	0.49	0.00
5	0.80	0.70	0.79	0.23	0.15	0.22	18.38	17.74	30.67	0.43	0.29	0.76
6	0.52	0.70	0.56	0.34	0.21	0.16	5.42	3.80	3.66	0.06	0.00	0.00
7	0.43	0.41	0.48	0.19	0.17	0.17	5.74	4.22	9.93	0.15	0.05	0.72
8	1.09	1.10	0.52	0.59	0.68	0.28	9.58	6.75	5.06	1.21	0.27	0.08
9	1.11	1.04	0.84	0.71	0.66	0.46	6.37	5.21	4.81	0.34	0.15	0.16

注:代码 1~9 的含义同图 2; 1980, 1988, 2005 为年份。

2.2 城市河网水系变化对水灾的影响

深圳市河网水系变化大,城市洪水水文效应明显,水灾日益严重;但据深圳市气象站提供的 1975 - 2005 年的年降雨数据得到的降雨序列的趋势线 (图 3) 表明深圳市降雨量的变化没有明显的增大或减小趋势,降雨不是水灾频次变化的主要原因。因此,本文在已有的对于布吉河流域土地利用变化导致的径流系数变化^[18]的基础上,探讨布吉河流域 1980 - 2005 年河网水系变化对水灾的影响。

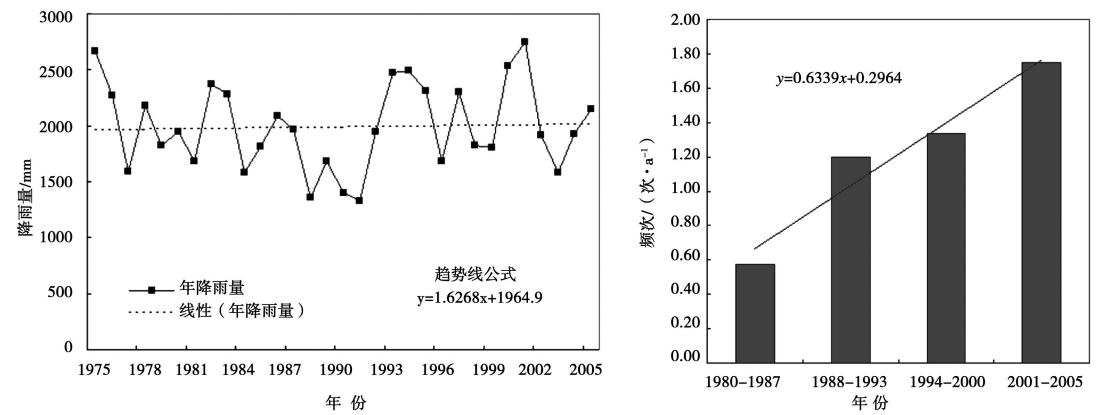


图 3 深圳市年降雨量与水灾频次变化

Fig 3 Change of yearly rainfall and flood frequency in Shenzhen City

应用 SCS模型^[19],选择频率为 90%,50%,10%的 3种降雨,对 1980,1988,2005年布吉河流域径流进行了模拟计算^[18],得到不同频率下的产水量(表 3)。结果表明:(1)同一降雨强度下,随着时间的推移(1980-1988-2005年),土地利用变化导致不透水层面积不断增加,产水量增大,水灾致灾可能性提高;在假设河道属性(如河道糙度、河道剖面)不变的情况下,认为单位长度河流的调蓄能力不变,故河网可调蓄水量随着河网密度的升高而增大,降低而减小,结果表明,1980-2005年河网调蓄量先增后减,总体减小;水灾致灾可能性随暴雨产水量的增加而增大,随河网调蓄能力的增大而减小,在假设其关系均为线性的情况下,得到致灾可能性先减后增,总体增加。(2)随着降雨强度的增加,水灾致灾可能性随时间变化的幅度缩小,从降雨频率为 90%的 1.6,降低到降雨频率为 50%的 0.6,再到降雨频率为 10%的 0.2。由此可见,随着暴雨强度的增大,城市化对水灾风险的影响程度有所降低;暴雨总产水量决定了水灾致灾可能性的总体水平,河网作为调节系统对水灾致灾可能性的波动产生影响。

表 3 布吉河流域不同暴雨频率产水量与可调蓄水量对比 (1980,1988,2005年)

Table 3 Comparison between water production under different rainstorm frequencies and adjustable water storage

名称	指标代码	90%				50%				10%			
		1980	1988	2005	1980-2005	1980	1988	2005	1980-2005	1980	1988	2005	1980-2005
产水量	$W/10^6\text{m}^3$	2.2	2.5	5.0	2.8	17.9	19.1	25.2	7.4	167.2	171.0	182.6	15.4
		1.0	1.1	2.3	1.3	1.0	1.1	1.4	0.4	1.0	1.0	1.1	0.1
河网密度	$D/(km\cdot km^{-2})$	0.8	1.0	0.7	-0.1	0.8	1.0	0.7	-0.1	0.8	1.0	0.7	-0.1
		1.0	1.3	0.9	-0.1	1.0	1.3	0.9	-0.1	1.0	1.3	0.9	-0.1
致灾可能性	F	1.0	0.8	2.6	1.6	1.0	0.8	1.6	0.6	1.0	0.8	1.2	0.2

注:表中 90%,50%,10%为降雨频率;1980,1988,2005为年份; W 、 D 的第 2行数字和 F 均为相对值(1980年为 1.0), F 的计算公式为 $F=W/D$,即水灾致灾可能性与产水量成正比,与河网密度成反比。

2.3 城市水灾风险管理对策

在 2006年达沃斯国际减灾会议上,有关专家提出当前风险管理工作的实质可概括为管理不可避免的,避免不可管理的;同时提出要把生态系统的保育和恢复重建能力作为缓解区域灾害风险的重要基础设施,予以重点加强建设;在进行生态系统保育和恢复与重建过程中,要遵循自然生态系统时空分布规律。

在综合考虑水灾管理的诸多环节和原则的基础上,结合研究区实际情况,本文提出深圳市水灾风险管理对策如下:(1)城市化所带来的产水量增加在当前阶段已不可避免,必然导致水灾致灾风险的提高,但通过上文的分析发现,河网作为城市洪水的重要调蓄系统,在城市水灾中起着“放大”或“缩小”致灾可能性的功能,因此加强城市化发展规划过程中对河网的保护力度,合理规划城市河网水系,留出足够的“洪水用地”,成为当前区域快速城市化过程中急需采取的重要措施之一。(2)城市河网水系生态系统的保育和恢复重建要尽量尊重河网水系的自然时空分布规律,保障河网水系生态服务功能的正常发挥。(3)大力推广政策性洪水保险,加强人们风险意识和保险意识,加大政府的扶持和投资力度,做到政府、社会、企业和市民多方面风险分担。(4)推进水灾风险管理研究,积极应用推广成功的区域减灾范式和最新研究成果,提高地方政府管理者的专业素质和管理水平,加强专业人员的输送和培养。

3 结论与讨论

本文基于地形图、河道普查数据,得到深圳市不同时期河网水系图,通过构建河网结构特征指标,探讨了河网的时空变化规律及其原因,在此基础上以布吉河流域为例,通过 SCS模型计算得出的产水量变化,分析了近 30a来不同暴雨频率下(10%,50%,90%)水灾致灾可能性的变化。主要结论如下:

(1)基于地形图、航空像片和遥感影像等多源数据,提取不同时期河网水系的方法可行,操作简便,为区域自然河网水系恢复提供方法借鉴。

(2)近 30a来,深圳市河网水系结构简单化、主干化趋势明显;各流域河网变化特征差异大,主要取决于流域与特区的位置关系和是否为直接入海流域 2大因素。

(3)河网水系变化在一定程度上“放大”或“缩小”了水灾致灾可能性,因此在当前尚不能完全控制暴雨

产水量持续增加的情况下,城市发展中应尽量尊重河网水系的自然时空分布规律,合理规划城市河网,保障其生态服务功能的正常发挥。

河网水系的调蓄能力还与河网水系的等级有关,如何定量表达不同等级的河网的调蓄能力,提高对调蓄能力表达的精度需要进一步研究。同时,本文只对不同时期的水灾致灾可能性进行了对比分析,如何定量表达各时期的水灾风险,还需不断丰富灾害损失和历史灾情数据。

参考文献:

- [1] Goudie A. The human impacts on the natural environment [M]. 3rd Cambridge, Massachusetts: The MIT Press, 1990.
- [2] Hollis G E. The effects of urbanization on floods of different recurrence interval [J]. Water Resources Research, 1975, 11: 431 - 435.
- [3] Kibler D E. Urban storm water Hydrology [M]. Washington: American Geophysical Union, 1982.
- [4] Marsh G P. Man and nature or physical geography as modified by human action [M]. New York: Charles Scribner, 1864.
- [5] Thomas Jr, William L. Man's role in changing the face of the earth [M]. Chicago: University of Chicago Press, 1956.
- [6] Wolman M G. A cycle of sedimentation and erosion in urban river channels [J]. Geografiska Annaler, 1967, (49A): 385 - 395.
- [7] Graf W L. The rate law in fluvial geomorphology [J]. American Journal of Science, 1977, 277 (2): 178 - 191.
- [8] 杨凯,袁雯,赵军,等. 感潮河网地区水系结构特征及城市化响应 [J]. 地理学报, 2004, 59 (4): 557 - 564.
- [9] 孟飞,刘敏,吴健平,等. 高强度人类活动下河网水系时空变化分析——以浦东新区为例 [J]. 资源科学, 2005, 27 (6): 156 - 161.
- [10] 袁雯,杨凯,唐敏,等. 平原河网地区河流结构特征及其对调蓄能力的影响 [J]. 地理研究, 2005, 24 (5): 717 - 724.
- [11] Anne Chin, Kenneth J. Gregory. Managing urban river channel adjustments [J]. Geomorphology, 2005, 69 (1 - 4): 28 - 45.
- [12] 史培军,袁艺,陈晋. 深圳市土地利用变化对流域径流的影响 [J]. 生态学报, 2001, 21 (7): 1041 - 1050.
- [13] 程晓陶,冯智瑶. 城市化与现代社会中的水害演变——从日本经历看今日深圳 [J]. 自然灾害学报, 1994, 3 (2): 41 - 48.
- [14] Ng H Y F, Marsalek J. Simulation of the effects of urbanization on basin stream flow [J]. Water Resources Bulletin, 1989, 25 (1): 117 - 124.
- [15] Brun S E, Band L E. Simulating runoff behavior in an urbanizing watershed [J]. Computers, Environment and Urban System, 2000, 24 (1): 5 - 22.
- [16] Toby N C, Arthur S T. The impact of land use-land cover change due to urbanization on surface microclimate and hydrology: A satellite perspective [J]. Global and Planetary Change, 2000, 25 (1): 49 - 65.
- [17] Strahler A N. Hypsometric Analysis of Erosional Topography [J]. Geol Soc Amer Bull 1952, 63 (11): 1117 - 1142.
- [18] Pei-jun Shi, Yi Yuan, Jing Zheng. The effect of land use/cover change on surface runoff in Shenzhen region, China [J]. CATENA, 2007, 69 (1): 31 - 35.
- [19] 袁作新. 流域水文模型 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1990.