

城市雨水管理

城市山洪风险分析及规划应对

林俊雄¹, 朱建国¹, 李澄¹, 孔赞¹, 江心², 操家顺³

(1. 江苏省城市规划设计研究院, 江苏 南京 210036; 2. 江苏省城镇供水安全保障中心, 江苏 南京 210036; 3. 河海大学 环境学院, 江苏 南京 210098)

摘要: 近年来随着我国城市化进程的快速推进,城市山体资源被无序开发,大量河道、山塘、洼地未被重视而肆意破坏。以苏州高新区为例,在山洪风险分析的基础上,规划对风险较高区域采取水系优化、山塘及城市洼地修复、雨水管道及山体截洪沟建设、公共海绵设施布局等山洪综合防治措施,以缓解山洪和城市内涝风险。在规划过程中利用雨洪管理模型对规划方案进行评估,进一步提高了规划的合理性和科学性。

关键词: 海绵城市; 城市双修; 山洪风险; 模型验证

中图分类号: TU992 **文献标识码:** C **文章编号:** 1000-4602(2018)23-0124-06

Risk Analysis and Planning Response of Urban Flash Flood

LIN Jun-xiong¹, ZHU Jian-guo¹, LI Cheng¹, KONG Yun¹, JIANG Xin², CAO Jia-shun³

(1. Jiangsu Institute of Urban Planning and Design, Nanjing 210036, China; 2. Security Support Center for Urban Water Supply of Jiangsu Province, Nanjing 210036, China; 3. College of Environment, Hohai University, Nanjing 210098, China)

Abstract: In recent years, with the rapid development of urbanization process in China, urban mountain resources have been disorderly constructed, and a large number of rivers, ponds and low-lying lands have been neglected and vandalized. Taking Suzhou High-tech Zone as an example, comprehensive prevention measures such as water system optimization, the protection and renovation of ponds and low-lying lands, construction of storm sewer and mountain interception ditch, and the layout planning of public sponge facilities were carried out in high risk area based on risk analysis of flash flood, which meant to alleviate flash flood and urban waterlogging risk. During the planning process, stormwater management model was used to evaluate the planning scheme, which further improved rationality and scientificity of the planning.

Key words: sponge city; urban renovation and ecological restoration; risk of flash flood; model validation

近年来随着我国城市建设的快速推进,山体资源被无序开发,山塘被肆意破坏,直接加剧了城市山丘周边的山洪和内涝风险^[1]。为增强城市防灾减

灾能力、保障城市水安全,住建部先后出台了海绵城市建设的相关指南、意见和通知^[1,2]。2015年,住建部又提出要全面开展“城市双修”,进行生态修复和

城市修补,有计划有步骤地修复被破坏的山体、河流、湿地、植被,让城市再现绿水青山,这和海绵城市保护优先、自然循环、生态为主的基本思路是高度契合的。

近年来苏州高新区的山体山塘、城市坑塘未被重视而遭到大面积破坏,山体蓄滞空间大大削弱,在影响城市生态系统及景观构建的同时,对区域山洪和内涝防治带来了巨大压力。为此,笔者借助 GIS 空间分析方法对高新区进行山洪风险分析,并以风险较高的阳山片区为例,规划通过水系优化、山塘及城市洼地修复、雨水管道及截洪沟建设和公共海绵设施布局等策略,来缓解该区域的山洪风险,同时采用雨洪管理模型对规划方案的合理性进行评估,以期为其城市山丘区的山洪风险应对提供参考。

1 城市山洪风险分析

1.1 方法及思路

进行山洪风险分析能够了解区域山洪灾害发生的风险程度,有益于应对措施针对性布置和策略制定^[3]。山洪灾害风险分析主要包括研究区山洪

危险性评价和易损性评价,目前广泛认可山洪风险(R) = 危险度(H) × 易损度(V)^[4]。本研究采用层次分析法(AHP),构建多影响因子比较判断矩阵并确定各因子的权重系数,综合确定高新区的山洪风险分布。

1.2 危险性因子分析

参考洪水灾害危险性评价指标,选择高程、坡度、河网和山体缓冲区为评价因子,进行山洪危险性分析。地势较低、相对平缓区域较易发生山洪灾害^[5],高新区的高程及坡度分析如图1(a)和(b)所示。城市河网分布与山洪风险具有一定的相关性,距离河道、湖泊、水库等越近,山洪危险程度就越高^[5]。采用 GIS 缓冲区分析方法,根据与河湖水系的距离进行河网缓冲区分析,并划分为5个风险等级,如图1(c)所示。山体周边地区直面山洪风险,常为重灾区,距离山体越近,山洪危险程度就越高^[5]。采用 GIS 缓冲区分析方法,根据与山体的距离进行山体缓冲区分析,并划分为5个风险等级,如图1(d)所示。

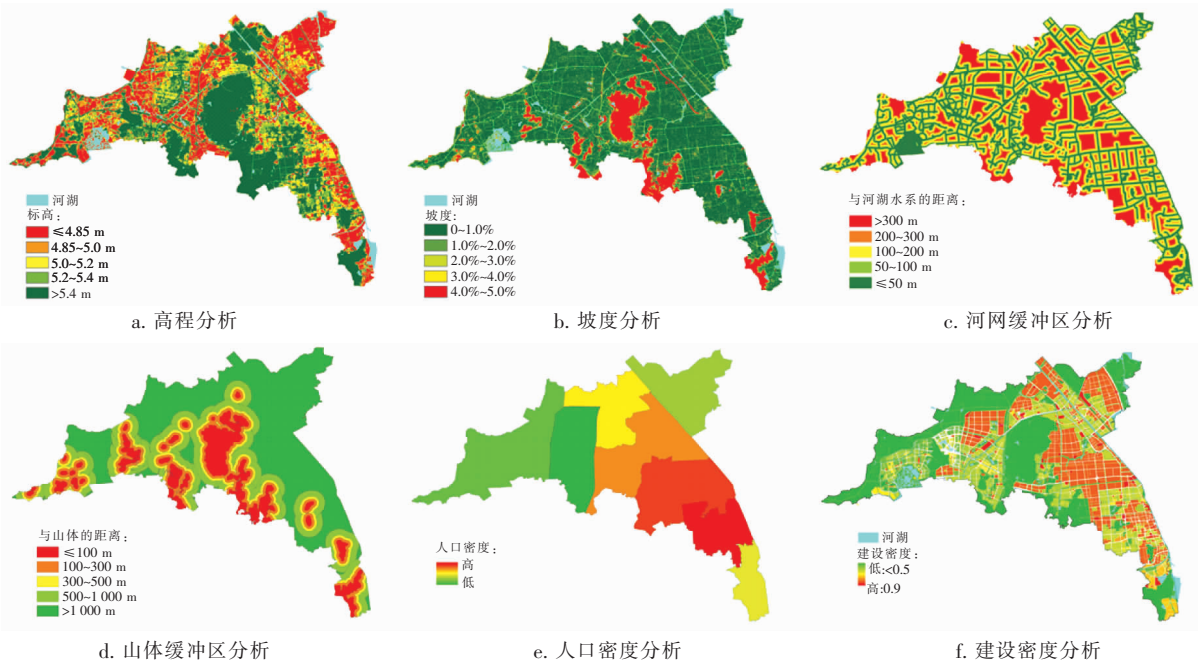


图1 苏州高新区的危险性因子和易损性因子分析

Fig. 1 Analysis of hazard factor and vulnerability factor of Suzhou High-tech Zone

1.3 易损性因子分析

承灾体的承受能力即社会经济易损性的大小,对山洪灾害造成的损失和危害具有重大影响^[6]。能够反映地区社会易损性的因素有人口分布、经济

程度、建设密度、GDP等。考虑到人口密度和建设密度(不透水面积比,即道路和建筑密度)一定程度上能够反映地区经济、政治、文化的发展差异,且数据资料详实、可靠,故选择这两者作为易损性基础因

子,高新区人口密度及建设密度分析如图1(e)和(f)所示。

1.4 山洪风险分析

在山洪灾害风险分析中,危险性是前提,易损性是基础,风险是结果^[3]。基于以上山洪危险性和易损性分析,应用AHP方法,采用1~9的比例标度法对每一层的指标就其重要性进行两两比较;建立矩阵模型,借助Yaahp软件计算每一层的权重系数,并进行一致性检验。将各因子按对山洪风险性影响的高低,赋予5、4、3、2、1分值,分别代表风险性高、较高、中、较低、低。最后,按如下公式计算各栅格单元的山洪危险度:

$$X = 0.1583X_1 + 0.1583X_2 + 0.0753X_3 + 0.4083X_4 + 0.1200X_5 + 0.0800X_6 \quad (1)$$

式中: X_1 、 X_2 、 X_3 、 X_4 、 X_5 、 X_6 分别表示高程、坡度、河网、山体、人口密度、建设密度因子。

高新区的山洪风险分析结果见图2。可知,山洪风险分布集中在阳山、狮山等山体周边区域。

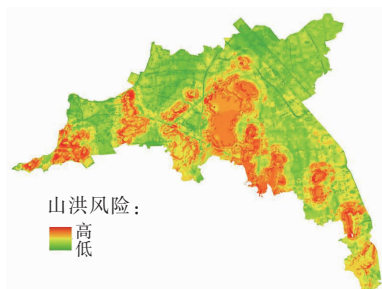


图2 苏州高新区的山洪风险分析

Fig. 2 Urban flash flood risk analysis of Suzhou High-tech Zone

2 城市山洪风险应对策略与规划

以风险较高的阳山片区为例,规划采取水系优化、山塘及城市洼地修复、雨水管道及截洪沟建设、公共海绵设施布局等山洪综合防治方法,以期缓解该区域的山洪风险。

2.1 水系优化

阳山片区现有水系网状格局基本成型,但局部仍存在河道断头、被侵占、功能退化等问题。规划以现状水系为基础,通过水系沟通、改道及拓宽3种方式进行水系优化,以利于水系综合功能的发挥和城市山洪风险的缓解。

2.1.1 水系沟通

断头和水流不畅河道,易造成水体黑臭和洪水

内涝隐患。规划沟通现状断头河道,使内部河道连成网,提高水体调蓄能力,阳山片区水系沟通相关工程规划如表1和图3所示。

表1 水系沟通规划一览

Tab. 1 List of water system connecting engineering planning

序号	河道名称	规划河口宽/m	河道长度/m	河底高程/m	新开河段长度/m	新开河段土方/ 10^4 m^3
1	白马涧河道	5~25	4 245	0.5	2 350	5.41
2	余杭桥浜	5	1 500	0.5	400	0.92
3	徐家桥浜	5	735	0.5	260	0.60
4	石祥浜	10~15	1 215	0.5	560	2.58
...

注: 由于规划沟通水系数量较多,仅列出一部分。

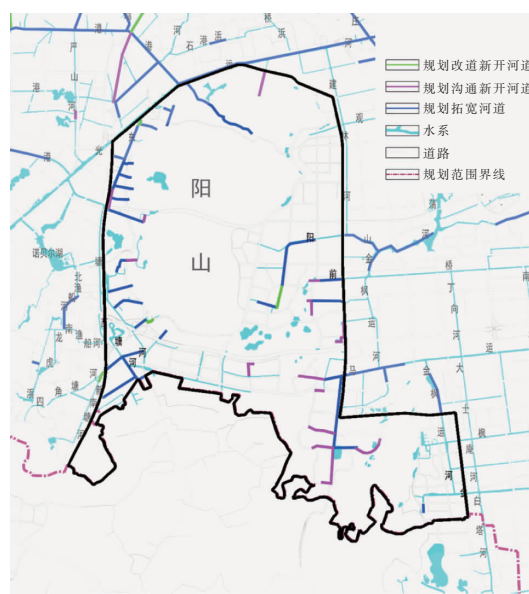


图3 阳山片区的水系优化示意

Fig. 3 Water system optimization planning of Yangshan District

2.1.2 水系改道和拓宽

在城市开发建设过程中,部分河道的位置、走向与规划用地布局不能完全适应,规划对部分河道走向进行调整,提高建设区域的排水防涝能力,水系改道工程规划如表2和图3所示。

综合考虑河道防洪排涝功能需求,对各河道断面进行校核,结合周边用地条件,规划对不能满足功能要求的河段进行局部拓宽,相关水系拓宽工程规划如表3及图3所示。

表 2 水系改道规划一览

Tab.2 List of water system diversion engineering planning

序号	河道名称	规划河口宽/m	河道长度/m	河底高程/m	改道河段长度/m	改道河段土方/10 ⁴ m ³
1	道堂浜	15	460	0.5	185	1.28
2	新南塘河	10~20	2 810	0.5	255	1.99
3	旺山桥港	15	3 763	0.5	400	2.76

表 3 水系拓宽规划一览

Tab.3 List of water system widen engineering planning

序号	河道名称	规划河口宽/m	河道长度/m	底高程/m	拓宽河段长度/m	拓宽河段土方量/10 ⁴ m ³
1	树山河	15	1 735	0.5	1 735	6.38
2	旺家富浜	15	535	0.5	385	1.77
3	桃树浜	20	920	0.5	745	1.37
4	查家浜	15	725	0.5	615	1.13
...
注: 由于规划拓宽水系数量较多,仅列出一部分。						

2.2 山塘及城市洼地修复

2.2.1 洼地识别及分类

结合山洪风险分析,使用 ArcGIS 空间分析,通过区域雨水径流流向识别、水流汇集分析、填洼处理和挖填分析,对阳山片区中高风险区域进行山塘和城市洼地识别。同时根据各洼地特征,将各山塘和城市洼地分为农林区域、山丘区域、新建区域(原农村)、新建区域(原坑塘)和已建区域(未建圩区)等 5 种类型,如图 4 所示。

表 4 阳山片区的城市洼地识别及处理措施

Tab.4 List of low-lying lands analysis and measures in Yangshan District

序号	面积/hm ²	洼地深度/m	现状用地性质	规划用地性质	洼地类型	是否为积水点	保护或修复措施
1	7.5	1~2	已批待建、在建用地	商业用地	新建区域(原农村)	否	抬高地坪(地块不低于 5.5 m,道路不低于 5.4 m);进行海绵化建设(如雨水花园等);局部打造为公共海绵设施
2	3.4	1~2	农林用地	白地	农林区域	否	保留,并设置蓄滞区(如生态湿地),打造城市绿肺
3	1.0	1~2	广场用地	商业+文化设施用地+山体	新建区域(原农村)	否	抬高地坪(地块不低于 5.5 m,道路不低于 5.4 m);进行海绵化建设(如雨水花园等)
4	0.2	3~5	山体	山体	山塘	否	建设山体调蓄池;完善泄洪沟设置
...
注: 由于洼地较多,仅列出一部分。							

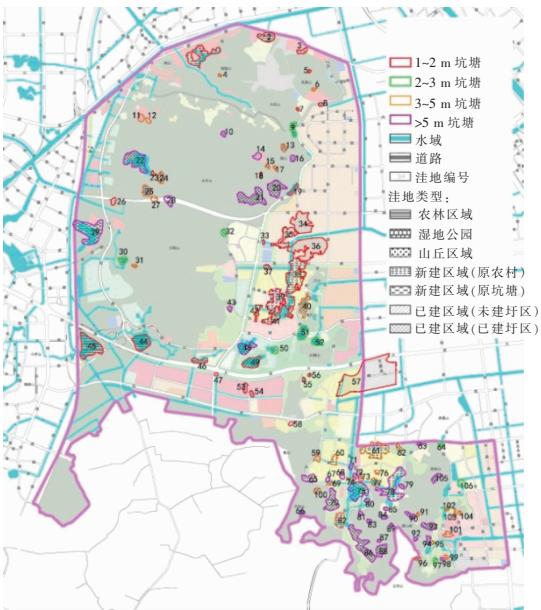


图 4 阳山片区的洼地分析分类

Fig.4 Low-lying lands analysis in Yangshan District

2.2.2 山塘及城市洼地修复策略

① 城市洼地修复与应对策略

对规模较大、已规划为建设用地的城市洼地区域,规划结合用地性质、现状建成情况和排水排涝分区等因素,进行差异化整治,如表 4 所示。已批待建商业用地,规划以水景的形式保留适当面积的水面,并与周边水体进行连接;现状广场用地、规划为文化设施的用地,规划保留并改造为下沉式绿地,作为应急调蓄设施;原为山下洼地、规划为住宅的用地,规划增加地块内部水面、增强地块间水系连接,并严格采用海绵城市建设措施。

② 山塘修复策略

通过以上洼地识别方法,规划采取如下措施对山塘进行保护和修复,以提高山体的“蓄、滞”能力:对河道起段(截洪沟)局部拓宽,提高山洪滞蓄空间,延缓洪峰;对低洼区域,结合原有的洼塘,以池、塘形式恢复原有水面;对山塘聚集区,恢复部分原有坑塘,建设应急行泄通道进行串接;对处于汇流线上的山塘,结合汇流分析进行修复,并适当扩大挖深。

2.3 雨水管道及山体截洪沟建设

阳山片区截洪沟建设如图 5 所示。

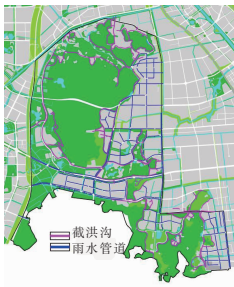


图 5 阳山片区的山体截洪沟布置

Fig. 5 Mountain interception ditch arrangement in Yangshan District

目前,阳山片区周边雨水管网建设已完全,本规划中保持现状。但山体截洪沟设置尚未健全,仍有部分地区出现山洪排除不及时而受淹的现象。为了减少山洪造成的危害,规划结合以上山塘及城市洼

地修复方案、周边地形坡度、道路及用地情况,在现有山体截洪沟的基础上建设截洪沟,使之连通至附近水体,如水塘、湖泊、河渠和市政雨水管网中。具体截洪沟的断面、底宽、挖深等参数参照《给水排水设计手册》中城镇防洪截洪沟布置及水力计算相关内容设计。

2.4 公共海绵设施布局

公共海绵设施是指依托城市水体和绿地等公共空间,可为周边用地或圩区提供滞蓄、净化功能的大型公共设施,如人工湿地、下沉式绿地和生物滞留设施等,能否合理规划布局影响着海绵城市建设的成效。规划结合洼地分析,规划在高密度建设用地区域,且规划中仍为农林用地、湖泊水域、公园广场和风景游赏用地,建设公共海绵设施,见图 6 和表 5。

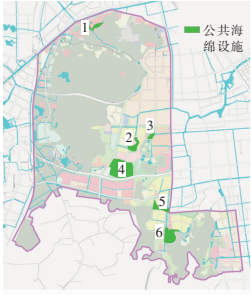


图 6 阳山片区的公共海绵设施布局

Fig. 6 Public sponge facilities arrangement in Yangshan District

表 5 阳山片区的公共海绵设施规划

Tab. 5 List of public sponge facilities arrangement planning in Yangshan District

编号	面积/hm ²	洼地深度/m	现状用地性质	规划用地性质	洼地类型	保护或修复措施
1	5.4	1~2	水域+农林	水域+农林	农林区域(原坑塘)	打造为公共海绵设施,建设湿地和生物滞留池
2	7.6	1~2	水域+农林	水域+农林	农林区域(原坑塘)	打造为公共海绵设施,建设湿地和生物滞留池
3	2.8	1~2	农林用地	农林+水域	农林区域	打造为公共海绵设施,建设湿地和生物滞留池
4	42.6	2~3	农林用地	农林+水域	农林区域	打造为公共海绵设施,建设湿地
5	6.5	1~2	农林用地	农林	农林区域	打造为公共海绵设施,建设生物滞留池
6	17.3	2~3	水域+农林	水域+农林	农林区域(原坑塘)	打造为公共海绵设施,建设湿地

3 模型验证

以阳山片区为例,使用 PCSWMM 雨洪管理模型,对区域水系优化、山塘及城市洼地修复、雨水管道及截洪沟建设、公共海绵设施布局等规划前后的排水管网重现期和内涝风险进行评估,用以验证规

划策略的可行性和科学性。在排水管网重现期评估模型中,设定降雨重现期为 1 年、2 年、3 年和 5 年一遇,历时为 2 h;内涝风险评估选用 50 年一遇、历时为 24 h 的降雨。

模拟结果发现,在不改变区域竖向和雨水管径

等条件下,采用以上山洪风险应对措施后,阳山片区的排水管网重现期及内涝风险情况大有改观。其中,管网重现期为 1 年一遇及以下的管段占比由 30.0% 降至 21.9%;内涝风险较高和高的面积由

157.5 hm² 降至 52.4 hm²。具体模拟结果如表 6 所示。由此可见,通过采取以上城市山洪风险综合防治措施,可在一定程度上降低山体周边区域的山洪和城市内涝风险。

表 6 阳山片区规划前后的管网重现期及内涝风险评估指标

Tab. 6 List of pipe network return period and urban waterlogging risk assessment before and after planning in Yangshan District

管网重现期评估					内涝风险评估				
重现期	现状		规划		内涝风险	现状		规划	
	长度/m	比例/%	长度/m	比例/%		长度/m	比例/%	长度/m	比例/%
1 年一遇及以下	23 804	30.0	17 351	21.9	低风险区	55.6	1.5	44.4	1.2
2 年一遇	25 740	32.5	23 662	29.9	中风险区	30.8	0.8	25.1	0.7
3 年一遇	23 891	30.1	28 399	35.8	较高风险区	109.6	3.0	35.6	0.9
5 年一遇及以上	5 819	7.3	9 842	12.4	高风险区	47.9	1.3	16.8	0.4

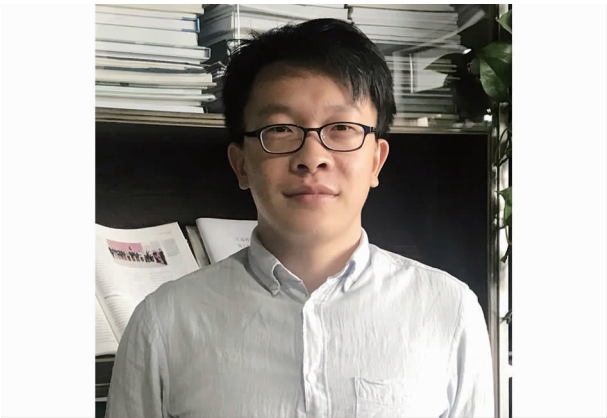
4 结论

近年来城市山体的无序开发和破坏,造成了山体山塘和水系坑塘的严重破坏,加重了周边区域的山洪风险和内涝风险。在山洪风险分析的基础上,规划对风险较高区域进行水系优化、山塘及城市洼地修复、雨水管网及山体截洪沟建设、公共海绵设施布局等,经雨洪管理模型验证可提高区域的山洪风险应对能力,在一定程度上降低山体周边区域的山洪和城市内涝风险。

参考文献:

[1] 车伍,赵杨,李俊奇,等. 海绵城市建设指南解读之基本概念与综合目标[J]. 中国给水排水,2015,31(8):1-5.
Che Wu, Zhao Yang, Li Junqi, et al. Explanation of *Sponge City Development Technical Guide*: basic concepts and comprehensive goals [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(8): 1-5 (in Chinese).
[2] 任心欣,汤伟真. 海绵城市年径流总量控制率等指标应用初探[J]. 中国给水排水,2015,31(13):105-109.
Ren Xinxin, Tang Weizhen. Application of capture ratio of total annual runoff volume in spongy city [J]. China Water & Wastewater, 2015, 31(13): 105-109 (in Chinese).
[3] 许小华,何雯. 基于 DEM 的山洪灾害风险区划分研究[J]. 中国农村水利水电,2015,(10):83-86.
Xu Xiaohua, He Wen. Study on division of flood disasters risk areas by DEM [J]. China Rural Water and Hydropower, 2015, (10): 83-86 (in Chinese).
[4] 关贤军,徐波,尤建新. 城市灾害风险的基本构成要素

[J]. 灾害学,2008,23(1):128-131.
Guan Xianjun, Xu Bo, You Jianxin. Basic factors of urban disaster risk [J]. Journal of Catastrophology, 2008, 23(1): 128-131 (in Chinese).
[5] 唐川,朱静. 基于 GIS 的山洪灾害风险区划[J]. 地理学报,2005,60(1):87-94.
Tang Chuan, Zhu Jing. A GIS based regional torrent risk zonation [J]. Acta Geographica Sinica, 2005, 60(1): 87-94 (in Chinese).
[6] 张骞. 基于 GIS 的北京地区山洪灾害风险区划研究[D]. 北京:首都师范大学,2014.
Zhang Qian. Study on Risk Zoning of Flash Flood in Beijing Based on GIS [D]. Beijing: Capital Normal University, 2014 (in Chinese).



作者简介:林俊雄(1988-),男,福建泉州人,硕士,工程师,主要从事水污染防治、给水排水、海绵城市规划及方案设计等方面的工作。

E-mail: ljx9973@126.com

收稿日期:2018-05-24