

文章编号 :1004-4574(2004)04- 0001- 07

## 中国水灾风险管理 ——平衡大都市区水灾致灾强度与脆弱性

史培军<sup>1,2</sup>,王静爱<sup>3,2</sup>,周俊华<sup>1</sup>,丁 燕<sup>2</sup>,葛 怡<sup>1</sup>,王 瑛<sup>2</sup>,杨明川<sup>2</sup>

(1. 北京师范大学资源学院,北京 100875; 2. 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;  
3. 北京师范大学地理学与遥感科学学院,北京 100875)

**摘要:**中国大都市区主要分布在大江大河的中下游地区,由于区域土地利用格局的巨大变化,特别是较多的水域和湿地因城市化而被占据,因此,一方面大都市区面临严重的洪水危险,另一方面为了使大都市区尽可能减轻洪水灾害,而加强了防洪能力建设。然而,近 50 年的减灾实践证明,洪水灾害却在波动中趋于上升,即大都市区对洪水的脆弱性在增大。在对中国大都市区洪水灾害的区域分析基础上,以广东省为例,构造了综合水灾致灾因子和承灾体为一体的风险评估模型体系,以此提出了平衡大都市区水灾致灾强度与脆弱性的基本土地利用模式,和“政府 - 企业(社区) - 保险公司”相结合的企业风险管理模式。

**关键词:**大都市区;水灾脆弱性;安全土地利用模式;综合风险管理模式;中国

中图分类号:X43 文献标识码:A

### Integrated risk management of flood disaster in China : To balance flood disaster magnitude and vulnerability in metropolitan regions

SHI Pei-jun<sup>1,2</sup>, WANG Jing'ai<sup>3,2</sup>, ZHOU Jun-hua<sup>1</sup>, DING Yan<sup>2</sup>, GE Yi<sup>1</sup>, WANG Ying<sup>2</sup>, YANG Ming-chuan<sup>2</sup>

(1. College of Resources Science and Technology, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Key Lab of Environmental Changes and Natural Disaster, Ministry of Education of China, Beijing Normal University, Beijing 100875, China;  
3. College of Geography and Remote Sensing, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

**Abstract :**Metropolitan regions of China are mainly located in the middle and lower reaches of major rivers, and a number of water areas and wetlands are occupied by cities due to the great changes of land use. So, they face very serious danger of flood and it is urgent to improve the flood prevention level to reduce the flood disaster in metropolises of China. However, the practices of disaster reduction during recent 5 decades in China show that flood disaster is increasing with fluctuating, that is, the vulnerability of metropolis is heightening. Based on the analysis of flood in metropolitan regions of China, this study establishes a risk assessment system combining flood hazard and human and economic systems of Guangdong Province, South China, as the case study area. And in addition, basic land use system and enterprise risk management system with the combination of government-enterprise (community)-insurance company are presented to balance flood disaster magnitude and vulnerability in metropolitan regions.

**Key words:**metropolitan regions; vulnerability of flood; security system of land use; integrated risk management system; China

收稿日期:2004-01-17; 修订日期:2004-05-09

基金项目:教育部跨世纪人才基金资助项目(1998-2003);IIASA-DPRI 资助项目

作者简介:史培军(1959-),男,陕西靖边人,教授,博士,主要从事自然灾害与环境演变研究。

发展中国家的城市化过程在加快,其城市人口密集的大都市区面临的各类灾害风险在提高,许多发展中国家的大都市区又恰恰分布在自然致灾因子的多发区<sup>[1]</sup>。因此,寻求解决大都市区灾害风险综合管理的有效途径是减轻这一地区灾害的重要任务。中国是世界上水灾频发且影响范围较为广泛的国家之一<sup>[2]</sup>,在水灾频发的大江大河中下游平原及三角洲地区,又恰逢人口密集、经济与社会发展较快的城市的广泛分布,形成几乎连片的大都市区<sup>[3]</sup>。改革开放 20 多年来,中国广大地区城市化进程加快,特别是处在大江大河下游地区的广大中国东部沿海地区,城市化的进程更加突出,形成明显的大都市区<sup>[4]</sup>。与此同时,在这一期间,这些地区的洪水灾害的发生频率明显增加<sup>[5]</sup>,特别是 1991 年长江淮河流域的大水灾<sup>[6,7]</sup>,1998 年长江流域、嫩江与松花江流域的大水灾<sup>[7]</sup>,都大范围地发生在城市密集的中国东部大都市区。因此,大都市区水灾的综合管理已引起中央政府和地方政府、以及各类保险公司的高度关注。本文主要是针对中国大都市区土地利用格局的快速变化对水灾加剧的影响,阐述了“平衡大都市区水灾致灾强度与脆弱性”的水灾综合管理的土地利用模式,并提出了“政府 - 企业(社区) - 保险公司”相结合的企业水灾风险管理模式。

## 1 中国大都市区的快速城市化进程

中国是一个发展中国家,改革开放以来,经济快速发展,引起城市化进程的加快。1980 - 2000 年,城市人口与总人口的比重已从 9.2 % 增加到 19.0 %,并预计到 2010 年和 2050 年,城市人口的比重将分别达到 39.0 % 和 49.0 %<sup>[8]</sup>。由于中国人口主要分布在东部地区,并且人口密度和城镇也与人口分布的格局基本相同<sup>[12]</sup>。因此,中国的大都市区也主要集中分布在我国的广大东部地区。

为了表明中国城镇化进程及其区域分异,利用 DMSP/OLSD 非辐射定标夜间灯光指数数据,测量了中国城市化的时空分布格局<sup>[9]</sup>。从中可以看出,大都市区表达城市化水平的相加灯光指数,明显高于周边地区。表 1 给出了中国 10 个大都市区 1992,1996,1998 年的相加灯光指数,从中可以看出,长江三角洲、京津唐地区、珠江三角洲地区是中国大都市区城市化程度最高的地区。表 2 给出了中国 10 个大都市区人口与经济的基本状况,从中可以看出,前述 3 个城市化程度最高的地区,GDP 也相应是最高的,特别是这些地区的人口密度、单位面积的 GDP 和工业产值亦是最高的。由此可以认为,中国大都市区正是中国经济发达的地区。因此,一旦遭遇自然灾害,所造成的损失也是非常大的。

表 1 中国 10 个大都市区相加灯光指数(1992,1996,1998 年)

Table 1 Index of lamplight of 10 metropolitan areas in China(1992,1996,1998)

| 序号 | 都市区      | 1992  | 1996  | 1998  |
|----|----------|-------|-------|-------|
| 1  | 长江三角洲都市区 | 0.362 | 0.410 | 0.495 |
| 2  | 京津唐都市区   | 0.360 | 0.401 | 0.483 |
| 3  | 珠江三角洲都市区 | 0.358 | 0.415 | 0.476 |
| 4  | 中原都市区    | 0.331 | 0.367 | 0.449 |
| 5  | 山东半岛都市区  | 0.303 | 0.337 | 0.423 |
| 6  | 辽宁中部都市区  | 0.282 | 0.313 | 0.357 |
| 7  | 哈大齐都市区   | 0.298 | 0.306 | 0.350 |
| 8  | 武汉都市区    | 0.234 | 0.270 | 0.347 |
| 9  | 湘中都市区    | 0.212 | 0.245 | 0.311 |
| 10 | 西南都市区    | 0.196 | 0.254 | 0.300 |

表 2 中国 10 个大都市区人口与经济的基本状况(2000 年)

Table 2 Basic conditions of population and economy of 10 metropolitan areas in China (2000)

| 序号 | 都市区      | 县(市)<br>/ 个 | 面积<br>/ km <sup>2</sup> | 人口<br>/ 万人 | GDP<br>/ 亿元 | 工业产值<br>/ 亿元 |
|----|----------|-------------|-------------------------|------------|-------------|--------------|
| 1  | 长江三角洲都市区 | 74          | 75700.6                 | 9336.7     | 11100       | 28000        |
| 2  | 京津唐都市区   | 56          | 47893.6                 | 4428.2     | 4750        | 7960         |
| 3  | 珠江三角洲都市区 | 45          | 72222.9                 | 3718.7     | 5090        | 9230         |
| 4  | 中原都市区    | 45          | 38535.4                 | 2897.0     | 2240        | 2560         |
| 5  | 山东半岛都市区  | 34          | 58419.5                 | 3490.4     | 4030        | 4640         |
| 6  | 辽宁中部都市区  | 39          | 78240.0                 | 3075.0     | 3410        | 4830         |
| 7  | 哈大齐都市区   | 18          | 68890.4                 | 1907.1     | 2030        | 2440         |
| 8  | 武汉都市区    | 32          | 68983.9                 | 3172.5     | 2830        | 2650         |
| 9  | 湘中都市区    | 31          | 51190.6                 | 2618.2     | 1720        | 4540         |
| 10 | 西南都市区    | 77          | 131219.7                | 6811.6     | 3470        | 4010         |

## 2 中国大都市区的水灾加剧过程

中国是一个多水灾的国家,水灾所造成的财产损失,是众多自然灾害所造成损失中最多的一种。中国水灾主要分布在广大东部地区大江大河的中下游地区(图1)。特别明显的是1978-1998年期间水灾明显多于1949-1966年期间,这表明改革开放20多年来,中国水灾呈现出增加的趋势,其中,前述中国10大都市区水灾次数增加更加明显<sup>[10]</sup>。

在10个大都市区内,除京津唐和中原都市区外,其余8个都市区水灾次数都有明显增加的趋势(图2,图中“\*”号表示数据不完备)。

对比图2与图3,我们可以看出,总体上表现为中

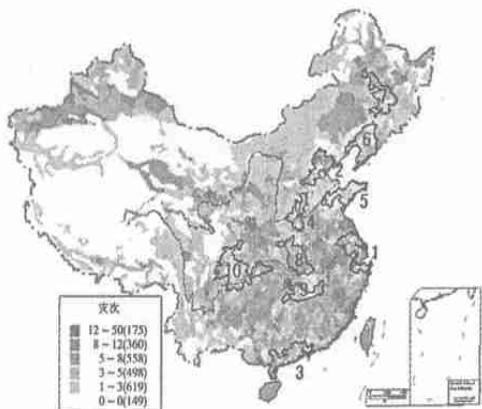


图1 中国主要大都市区洪水灾害次数频率(1949-2000年)

Fig. 1 Times of flood in major metropolitan regions of China

(1949-2000)

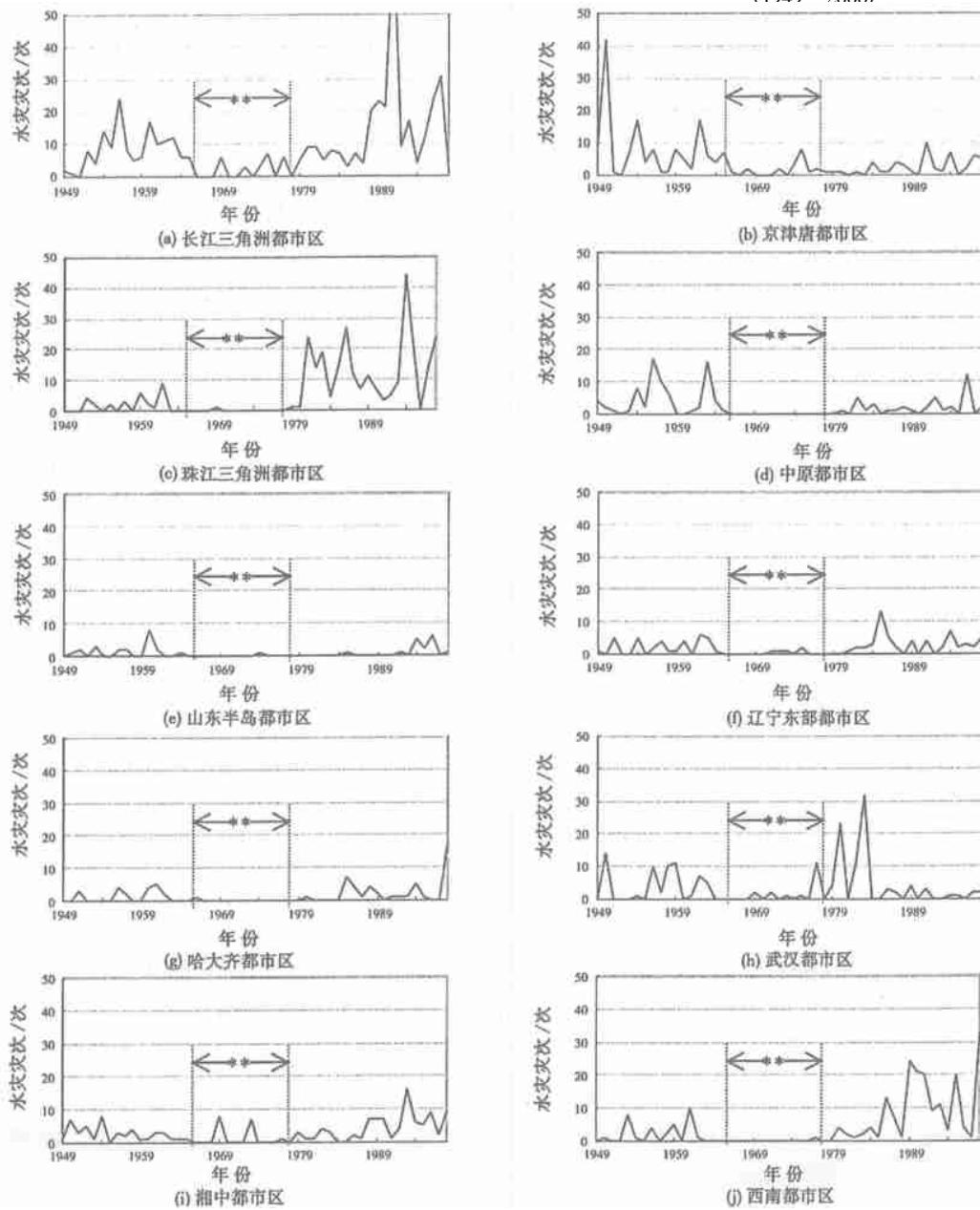


图2 各大都市区洪水灾害次数年际变化(1949-1998年)

Fig. 2 Flood-times in each metropolitan area in China(1949-1998)

国大都市水灾次次增加,与相应地区降水量的变化没有明显的相关关系,即表明这些大都市区水灾增加与土地利用变化、特别是湿地减少有密切的关系。长江三角洲、珠江三角洲、哈大齐、武汉、湘中5个大都市区,水灾加剧是湿地减少与降水略有增加有关;山东半岛、辽东半岛、西南都市区水灾增加主要是由于湿地减少造成的;而京津唐和中原地区的水灾减少,主要是降水量的减少和河流下游河道控制(对黄河下游来说这不是长远的科学措施)所左右。

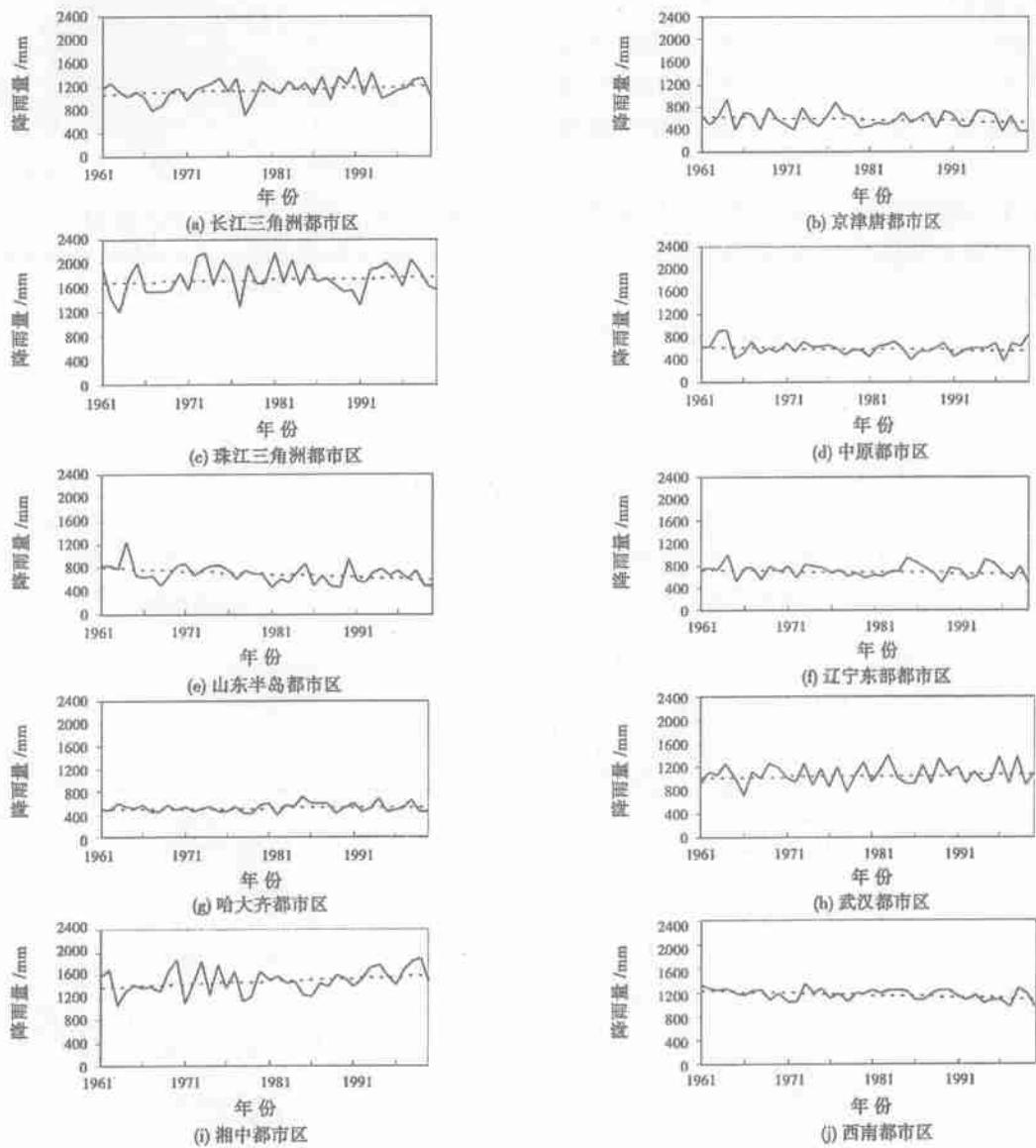


图3 各大都市区降水量变化(1960 - 2000年)

Fig. 3 Precipitation in each metropolitan area in China(1960 - 2000)

### 3 中国大都市区水灾风险综合评估——以珠江三角洲大都市区的广东省为例

大都市区水灾风险综合评估是大都市区水灾风险综合管理的基础。水灾致灾风险综合评估应包括由水灾孕灾环境、致灾因子与承灾体共同组成的“水灾系统”的评估<sup>[11]</sup>。据此,本文给出了未考虑地貌格局影响的广东省水灾风险综合评估结果。

在具体计算过程中,我们给出了下列一组计算公式,即综合风险值

$$R = \sqrt{R_0 \times R_1} \quad (1)$$

式中,  $R_0$  为致灾因子综合风险,  $R_1$  为承灾体的潜在易损性风险, 且有

$$R_0 = 0.6 \times R_y + 0.4 \times R_f$$

其中,  $R_y$  为对应一定量级台风暴雨的年超越概率风险,  $R_f$  为对应一定量级台风大风的年超越概率次数风险;

$$R_1 = (V_1 + V_2 + V_3) \quad (2)$$

其中,  $V_1, V_2, V_3$  分别为对应  $V_1, V_2, V_3$  的偏相关系数,  $V_1, V_2, V_3$  分别为一产占 GDP 比重、地均 GDP、人口密度的潜在易损性值;

$$F_S(\text{防灾损失安全保障系数}) = S_0 + b \times A_{\text{GDP}} \quad (F_S \geq 0) \quad (3)$$

式中,  $S_0$  为初始防灾减灾资金供给量, “ $b \times A_{\text{GDP}}$ ”为引致性防灾减灾供给量,  $A_{\text{GDP}}$  为人均 GDP;

$$C_F(\text{防灾减灾需求量}) = C_0 + s \times R_{\text{risk}} \quad (C_F \geq 0) \quad (4)$$

式中,  $C_0$  为初始防灾减灾投资需求量, “ $s \times R_{\text{risk}}$ ”为引致性防灾减灾投入需求量,  $s$  为防灾减灾需求倾向;

$$R_{\text{risk}}(\text{风险}) = R + t \times F_S \quad (5)$$

式中,  $R$  为不考虑防灾减灾投入时的区域灾害风险, 也称最大潜在风险,  $t$  为防灾减灾投资效益系数;

$$A_{\text{GDP}} = V_4 = \frac{\text{地均 GDP}}{\text{人口密度}} = K \times \frac{V_2}{V_3} \quad (6)$$

式中,  $K$  为一个大于 0 的常数。

上述式(1)~(6)形成的联立方程组, 在假设地区经济非常发达,  $F_S$  没有受到 GDP 的制约, 在此情景下,  $C_F = F_S$ , 此时的投资均衡点应该是投资需求曲线与投资效益曲线的交点, 即:

$$\begin{cases} R_1 = (V_1 + V_2 + V_3) \\ C_F = C_0 + s \times R_{\text{risk}} \\ R_{\text{risk}} = R + t \times C_F \\ R_{\text{risk}} = \sqrt{R_0} \times R_1 + t \times (C_0 + s \times R_{\text{risk}}) \\ R_{\text{risk}} = \frac{\sqrt{R_0} \times R_1 + t \times C_0}{1 - ts} \quad (s > 0) \end{cases} \quad (7)$$

式(7)中, 分子中的第一项  $\sqrt{R_0} \times R_1$  为不考虑防灾减灾措施下, 一个地区的水灾的综合风险; 在考虑防灾减灾措施下,  $s$  表示风险大小与防灾减灾投资需求之间的比例关系,  $s > 0$ , 说明风险值越高, 防灾减灾投资需求也相应的越多;  $C_0 < 0$ , 因为风险在人们所能承受的范围之内时, 人们不会进行防灾减灾方面的投资建设;  $t < 0$ , 表示防灾减灾投资与灾害风险之间的反相相关关系;  $t, C_0, s$  可以通过经验模型并结合专家的经验得到, 对于特定地区,  $R_0, R$  可以通过致灾因子历史资料和地方经济资料计算得到。在式(7)中, 若我们只讨论那些超过了人们承受范围的灾害风险, 不妨假设  $C_0 = 0$ ,

$$R_{\text{risk}} = \frac{\sqrt{R_0} \times R_1}{1 - ts}$$

因为  $t < 0, s > 0$ , 所以  $(1 - ts) > 1$ ,  $R_{\text{risk}} < \sqrt{R_0} \times R_1$ , 说明在考虑防灾减灾情况下, 实际灾害风险值小于最大潜在风险。当  $t = 0$  时,  $R_{\text{risk}} = \sqrt{R_0} \times R_1$ , 此时, 防灾减灾投资没有效益, 即风险的大小就是不考虑防灾减灾情况下的风险值。当  $s = 0$  时, 因为防灾减灾需求为 0, 即  $C_F = 0$ , 所以  $R_{\text{risk}} = R + t \times C_F = R$ , 这时风险也是不考虑防灾减灾情况下的风险值。由此可以认为, 当  $F_S = C_F$  时,  $R_{\text{risk}}$  的大小就是此地区减灾后的实际风险值。

图 4 正是基于上述计算所得到的广东省在考虑防灾减灾措施下的水灾风险综合评估的结果, 对比不考虑防灾减灾措施下的水灾风险综合评估结果(图 5), 我们可以看出, 大于或等于 0.3 以上的地区数由 19 个减少到 11 个(表 3), 显示出减灾措施在风险控制中心所起的作用, 即脆弱性在平衡水灾风险致灾强度中起着十分重要的作用。

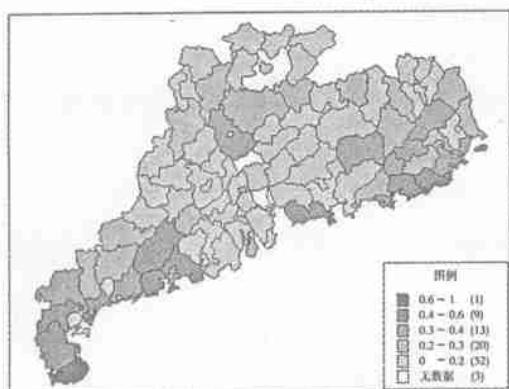


图4 考虑防灾能力广东省水灾综合风险

Fig. 4 Integrated flood risk with considering the prevention ability of Guangdong Province

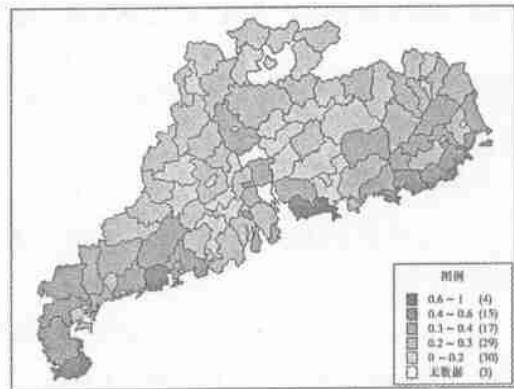


图5 不考虑防灾能力广东省水灾综合风险

Fig. 5 Integrated flood risk without considering the prevention ability of Guangdong Province

表3 不同风险水平下包括的县个数变化的统计

Table 3 Statistics of county number in different risk level

| 风险水平      | 不考虑防灾能力县的个数 | 考虑防灾能力县的个数 |
|-----------|-------------|------------|
| 0.6 ~ 1.0 | 4           | 1          |
| 0.5 ~ 0.6 | 4           | 5          |
| 0.4 ~ 0.5 | 11          | 4          |
| 0.3 ~ 0.4 | 17          | 13         |
| 0.2 ~ 0.3 | 29          | 20         |
| 0.1 ~ 0.2 | 26          | 33         |
| 0.0 ~ 0.1 | 4           | 19         |

## 4 平衡大都市水灾致灾强度与脆弱性的水灾风险管理对策

大都市水灾风险的综合管理,必须建立在考虑自然因素与社会经济因素在水灾风险形成中的综合影响。针对中国近年对大都市区水灾风险综合管理的实践,以及考虑中国大都市区目前所面临的水灾严峻形势,提出如下对策:

### (1) 通过调整大都市区土地利用结构,平衡引起水灾的水位高度

造成大都市区水灾的水位可以划分为自然水位( $h_1$ )和社会水位( $h_2$ )两部分,自然水位主要取决于流域地表景观格局,与降水量之间的综合作用,并具体表现为流域河流径流量的时空变化。社会水位则是由于人类在流域对通过土地利用的规模和空间格局,改变流域内水文状况而形成的,它常常叠加在自然水位之上。在大都市区,大多情况下自然水位与社会水位之和均大于自然水位。这也正是大都市区水灾与年剧增的主要原因。因此,必须通过调整区域土地利用格局,平衡大都市区造成水灾的水位高度。这就要求必须保留一定比例的湿地,以发挥流域湿地调蓄洪峰的功能,即给洪水以一定的用地面积。中国1991年和1998年大水灾后,所实施的“平垸行洪、退田还湖”土地利用调整,已见到明显效果,也证明了这一点<sup>[14]</sup>。

### (2) 通过协调大都市区流域上、中、下游之间的用水与水土保持矛盾,平衡引起水灾的生态系统

造成大都市区水灾洪水可以划分为自然洪水( $f_1$ )与外来洪水( $f_2$ )两部分。自然洪水就是大都市区降水量引起的径流,进而汇流后形成的洪水;外来洪水则是由于大都市区所处河流下游,上、中游洪水下泄而造成的洪水。由于流域内植被、土壤、地形及土地利用的差别,从而使流域径流系数的形成有了明显的变化。在中国主要的大江大河上中游,由于过度开垦或放牧,植被锐减,土壤侵蚀加剧,从而使河流洪水呈现与年剧增的趋势,这样就导致下游在同样的降水情况下,形成的洪峰更高,频率也增多。中国大都市区多处在河流下游,近年洪水增多与流域上、中游水土流失加剧有密切关系,其突出表现就是河床淤积加厚,河水上涨,形成所谓的“小水大灾”。为此,就必须协调流域上、中、下游的用水与水土保持的矛盾,做到生态建设费用共担、淡水资源利用共享的新机制,以此平衡流域生态系统以缓减控制水灾的生态系统退化。1991、1998年大水灾

后,所实施的“退耕还林还草”政策正是基于此提出来的,目前已得到广泛的推广,并见到明显效应。

(3)通过发挥大都市区水灾防御措施的作用,平衡水灾风险中政府(G)、企业或家庭(F)与保险公司(I)之间的投资利益

大都市区水灾的形成是自然与社会系统综合作用的产物。在中国大都市区多位于大河下游,经济相对发达。在政府实施一定的防洪堤坝建设标准的情况下(如50年一遇,100年一遇等),通过保险机制,可以发挥政府与企业或家户在风险控制中的作用。这样就可以使洪水风险在空间上得到转移,进而可以相对减轻大都市区的水灾灾情。在中国,目前在一些大都市区实施的“企业财产洪水保险计划”就是平衡了政府、企业或家户与保险公司在水灾风险控制中的利益的一种典型案例。

基于以上3个方面的分析,我们给出了平衡大都市区水灾致灾强度与脆弱性的水灾风险综合管理模式(图6)。

## 5 结论与讨论

(1)中国大都市区城市化进程与水灾加剧密不可分,近年大都市区水灾加剧主要是人类土地利用格局与自然流域水文网格局之间的不相协调造成的。

(2)大都市区水灾风险综合管理必须综合考虑自然水位和社会水位,通过调整土地利用格局(增加湿地和增加植被盖度),平衡大都市区造成水灾的水位高度和水灾致灾强度与脆弱性,协调大都市区政府、企业或家户与保险公司在水灾风险控制中的投资利益,建立区域水灾风险综合管理体系。

(3)水灾风险的综合管理是大都市区安全建设与经济发展的重要任务,要在充分分析论证水灾演进过程中,建立与“洪水共存”的区域可持续发展体系。

## 参考文献:

- [1] Shi Peijun. Natural hazards and disasters in China , Elements of Change[M]. Aspen Global Change Institute , Colorado , CISA ,1996 :244 - 246.
- [2] The Institution of Civil Engineers. Megacities: Reducing Vulnerability to Natural Disaster[M]. London :Thomas Telford ,1995.
- [3] 姚士谋.中国大都市的空间扩展[M].合肥:中国科学技术大学出版社,1997.
- [4] 周一星,曹广忠.改革开放20年来的中国城市化过程[J].城市规划,1999,23(12):8 - 13.
- [5] Shi Peijun , Wang Jing ai , Xie Yun. Climate change , natural disasters of agriculture and grain yields in china during the past 15 years[J]. J. Agric. Meteorol ,1993. 52(5) :923 - 934.
- [6] 史培军,顾朝林,陈田.1991年淮河流域洪涝灾情分析[J].地理学报,1992(5):385 - 393.
- [7] 顾朝林,陈田,史培军.1991年苏皖城市洪涝灾害成因分析[J].地理学报,1992(4):290 - 301.
- [8] 国家统计局城市社会经济调查总队.中国城市50年[M].北京:新华出版社,1999.
- [9] 陈晋,卓莉,史培军,等.基于DMSP/OLS数据的中国城市化过程研究-反映区域城市化水平的灯光指数的构建[J].遥感学报,2003,7(3):168 - 176.
- [10] 王静爱,王瑛,黄晓霞,等.18世纪中叶以来不同时段的中国水灾格局[J].自然灾害学报,2001,10(1):1 - 7.
- [11] 丁燕,史培军.台风灾害的模糊风险评估模型[J].自然灾害学报,2002,11(1):34 - 43.
- [12] 史培军.中国自然灾害系统地图集[M].北京:科学出版社,2003.
- [13] Shi Peijun , Wang Jing ai , Yang Mingchuan , Wang Ying , Ding Yan , Zhou Junhua. Integrated risk management of flood disaster in metropolitan regions of China (I) [A]. Proceedings of Second Annual IIASA-DPRI Meeting[C]. July 29 - 31 , 2002 , Vienna , Austria. 1 - 16.
- [14] Shi Peijun , Wang Jing ai , Zhou Junhua , Yuan Yi , Yang Mingchuan. Integrated risk management of flood disaster in metropolitan regions of China (II) [A]. Proceedings of 3rd Annual DPRF-IIASA Meeting[C]. Kyoto University , Japan , July 3 - 5 , 2003.

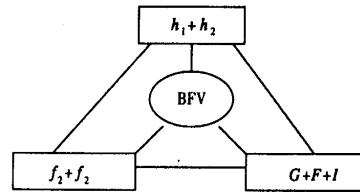


图6 大都市区水灾风险综合管理模式

——平衡(B)大都市区水灾(F)与脆弱性(V)

Fig. 6 Integrated risk management of flood disaster in metropolitan regions of China : to balance (B) flood disaster (F) magnitude and vulnerability (V) in metropolitan regions