

文章编号:1004-4574(2003)03-0006-08

土地利用变化对城市洪涝灾害的影响

袁 艺², 史培军^{1,2}, 刘颖慧², 邹 铭²

(1. 北京师范大学资源科学研究所, 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)

摘要:选择经历了快速城市化过程的深圳地区一典型小流域——布吉河流域,使用分布式水文模型就土地利用变化对城市化流域暴雨洪水汇流过程的影响进行了模拟。模拟结果表明,土地利用结构与格局的变化,使得暴雨洪水的最大洪峰流量和洪量加大,汇流时间变短。与 1998 年相比,2000 年在前期土壤较干的情况下,频率为 1%、2% 和 5% 的 3 种设计暴雨洪水的最大洪峰流量,其增大幅度分别为 20.2%、23.0% 和 28.9%。同时,土地利用状况对暴雨洪水的影响还与土壤前期湿润程度和暴雨强度有关:随着前期土壤由较干向较湿润变化和暴雨强度的增大,土地利用状况向城市化方向的发展对暴雨洪水的影响趋于减弱。深圳 1980 年以来洪涝灾害加剧的统计结果证实了这一模拟结果。

关键词:土地利用变化;城市洪涝灾害;深圳

中图分类号:P334⁺.92

文献标识码:A

Impact of land use change on urban flood disaster

YUAN Yi², SHI Pei-jun^{1,2}, LIU Ying-hui², ZOU Ming²

(1. Institute of Resources Science, Beijing Normal University, Beijing 100875, China; 2. Key Laboratory of Environmental Change and Natural Disaster, Ministry of Education of China, Beijing Normal University, Beijing 100875, China)

Abstract: Choosing Buji River Basin, a small typical river basin in Shenzhen region undertaking rapid urbanization process, the impact of land use change on the runoff concentration of storm flood is simulated by distributed hydrological model. The modeling result shows that land use structure and pattern change results in the increase of maximum flood peak and flood discharge and the decreases of runoff concentration time. While the soil antecedent moisture condition is dry, the increment of maximum flood peak of the rainfall frequency of 1%, 2% and 5% is 20.2 percent, 23.2 percent and 28.9 percent respectively from 1980 to 2000. Moreover, the effect of land use change on storm flood is restricted by soil antecedent moisture condition and rainfall intensity. The increase of rainfall intensity and the change of soil antecedent moisture condition changing from dry to wet decreases the influence of land use on the storm flood. The impact of land use change on the storm flood process is approved by the statistic result of flood disasters occurred in Shenzhen from 1980 to 2000.

Key words: land use change; urban flood disaster; Shenzhen

流域内城市化过程中土地利用/覆盖的巨大变化所引起的流域水流特性的改变是相当剧烈的:(1)随着城市的扩张,不透水面积大增,流域中原有雨水滞留能力锐减,径流系数大增;(2)城镇用地的大面积出现,

收稿日期:2003-04-10; 修订日期:2003-06-05

基金项目:国家重点基础研究项目(G2000018604)

作者简介:袁艺(1976-),女,江苏江都人,博士,主要从事环境演变与自然灾害的研究。

地表粗糙度下降,加上道路和排水系统的大量修建,使汇流速度大大加快,缩短了地面径流的汇流时间;(3)随着流域滞水能力的降低,汇流速度加快,洪水波形更容易受到短时间高降雨强度的影响,流域原有的坦化洪水波形的能力降低,使洪水波形较流域开发前变尖陡,洪峰流量明显增加^[1]。城市洪涝灾害问题成为城市安全的一大障碍,探求城市化地区土地利用对流域水文过程的影响是十分必要的,这一问题引起众多学者的关注^[2~4]。

使用美国农业部水土保持局研制的 SCS 模型,对纵穿深圳地区的布吉镇以及深圳经济的中心区域——罗湖区的布吉河流域(面积为 56.88km²)径流系数受土地利变化影响而发生的变化进行了估算。在降雨前期土壤较干的情况下,与 1980 年相比,2000 年暴雨频率为 90%、50% 和 10% 的径流系数增大幅度分别为 33.49%、20.65% 和 12.57%;在降雨前期土壤湿润程度一般的情况下,该指标分别为 16.63%、10.34% 和 6.19%;在降雨前期土壤较为湿润的情况下,该指标分别为 6.87%、4.33% 和 2.45%^[5~7]。土地利用结构与格局的变化,不仅影响流域径流系数,还明显影响着流域汇流过程。本文在已完成的相关工作的基础上,进一步模拟了土地利用结构与格局变化对流域汇流过程的影响,以此探讨城市化地区土地利用结构与格局变化的水灾效应,这对于城市地区防洪减灾有着重要的科学和实践意义。

1 分布式水文模型的建立

本文使用分布式水文模型对地表径流进行模拟,不考虑地表径流与地下径流的交换。在地表径流中,重点考虑下渗部分的计算,使用 SCS 模型对下渗部分进行估计。模型的基本控制方程如下^[8~9]:

根据质量守恒定律,确定了栅格的水量平衡方程:

$$(P_{ij})_{1-2} + 0.5\Delta t(C_{i,j1} + C_{i,j2}) - (F_{ij})_{1-2} - 0.5\Delta t(C_{i,j1} + C_{i,j2}) = (S_{i,j2} - S_{i,j1}) \quad (1)$$

式中: i 为第 i 个栅格单元; j 为第 j 个时段 Δt ;指数 1,2 表示 $\Delta t = (t_2 - t_1)$ 时段的起始和终止;1-2 表示时段 Δt 的平均量; $(P_{ij})_{1-2}$ 为第 j 个时段内栅格单元 i 的降雨量, m^3 ; $C_{i,j1}$ 和 $C_{i,j2}$ 为第 j 个时段开始和时段末,第 i 个栅格单元的邻近栅格单元的地表流入速度, m^3/s ; $(F_{ij})_{1-2}$ 为第 j 个时段内的下渗损失, m^3 ; $S_{i,j1}$ 和 $S_{i,j2}$ 为第 j 个时段开始和时段末,栅格单元 i 在地表的蓄水量,包括微地形造成的蓄水和河道蓄水, m^3 。

将栅格对于总输入的调蓄作用视为一个线形水库,运用线性水库的马斯京根方法,对地表栅格的流量进行演算:

$$Q_{i,j2} = [2\Delta t / (2k_{ij} + \Delta t)] [(I_{ij})_{1-2} / \Delta t] + [(2k_{ij} - \Delta t) / (2k_{ij} + \Delta t)] Q_{i,j1} \quad (2)$$

式中: $Q_{i,j1}$ 和 $Q_{i,j2}$ 为第 j 个时段开始和时段末,第 i 个栅格单元的地表出流速度, m^3/s ; k_{ij} 为第 j 个时段内第 i 个栅格单元的地表蓄量系数,等于水流通过栅格单元所需的时间, s ; $(I_{ij})_{1-2}$ 为第 j 个时段内第 i 个栅格单元的输入量, m^3 ,由下式计算:

$$(I_{ij})_{1-2} = (P_{ij})_{1-2} + 0.5\Delta t(C_{i,j1} + C_{i,j2}) - (F_{ij})_{1-2} \quad (3)$$

由于研究区缺乏实测数据,尤其是缺乏土壤水文特性方面的数据,同时考虑研究目标主要是反映土地利用变化对降雨径流过程的影响,使用美国农业部水土保持局研制的 SCS 模型对下渗进行估计^[10,11]:

$$F = \frac{(P - I_a) \cdot S}{(P - I_a) + S} = \frac{P_e \cdot S}{P_e + S} \quad (4)$$

式中: F 为到第 j 个时段末的累积下渗量, mm ; P_e 为满足初损后的净雨量, mm ; S 为土壤的可能最大滞留量, mm ; I_a 为径流发生前的初损, mm ;其中 I_a 不易求,模型制作者引入下式:

$$I_a = 0.2S$$

该式为一个经验公式,是实际资料的最好近似。模型制作者引入下式以确定 S :

$$S = \frac{25400}{N_c} - 254$$

其中 N_c 是一个无量纲参数, N_c 值是反映降雨前流域特征的一个综合参数,已将土壤前期湿润程度(简称 AMC,分为较干(AMCI)、一般(AMCII)、较湿(AMCIII)3 种情况)、坡度、土壤类型和土地利用现状等因素综合在一起,可以通过查算 SCS 模型的土壤前期湿润程度表、土壤分类表和 N_c 值查算表得到。

在上述模型中,需要确定的模型参数主要为 SCS 模型中由土地利用、土壤类型和土壤前期湿润程度确定的 N_c 值。根据 SCS 模型制作者提供的 N_c 值查算表^[12],充分考虑深圳地区的自然条件,参考有关研究者

在 SCS 模型应用中所确定的 N_c 值矩阵^[13-15]确定了深圳地区 N_c 值矩阵,表 1 为前期土壤湿度为一般情况下的 N_c 值。

表 1 深圳地区 SCS 模型 N_c 值 (AMCII)

Table 1 N_c value of SCS model in Shenzhen

土地利用	N_c 的土壤水文分类			
	A	B	C	D
高密度城市用地	90	93	94	95
低密度城市用地	60	74	83	87
耕地	67	78	85	89
林地	25	55	70	77
灌草地	36	60	74	80
果园	40	62	76	82
湿地	32	58	72	79
裸地	72	82	88	90
水体	98	98	98	98

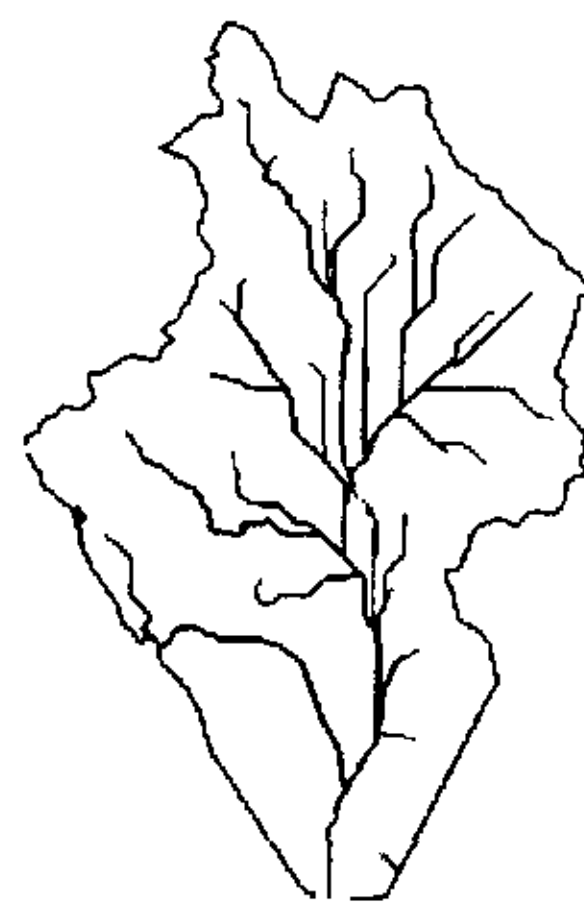


图 1 布吉河流域水系图

Fig.1 Stream system of Buji River Basin

影响水文特性不均匀性的众多因素中,地形是处于第一位的主导因子。地形数据在分布式水文模型中占有重要地位。由 DEM 自动获取水系和子流域特征是流域参数化方便而迅速的一种有效途径^[16-17]。本文首先对研究区 1:10000 的地形等高线数据进行拼接,得到矢量化 DEM。为了在模拟过程中与土地利用、土壤等栅格化数据进行叠加处理,使用 30m × 30m 的分辨率,处理得到栅格化的 DEM。使用 ARC/INFO 软件的 ArcGrid 模块,对栅格化的 DEM 数据,经过 DEM 凹陷区的处理和格网流向的确定,最终处理得到流域的水系结构(见图 1),以此作为栅格流量演算的基础。

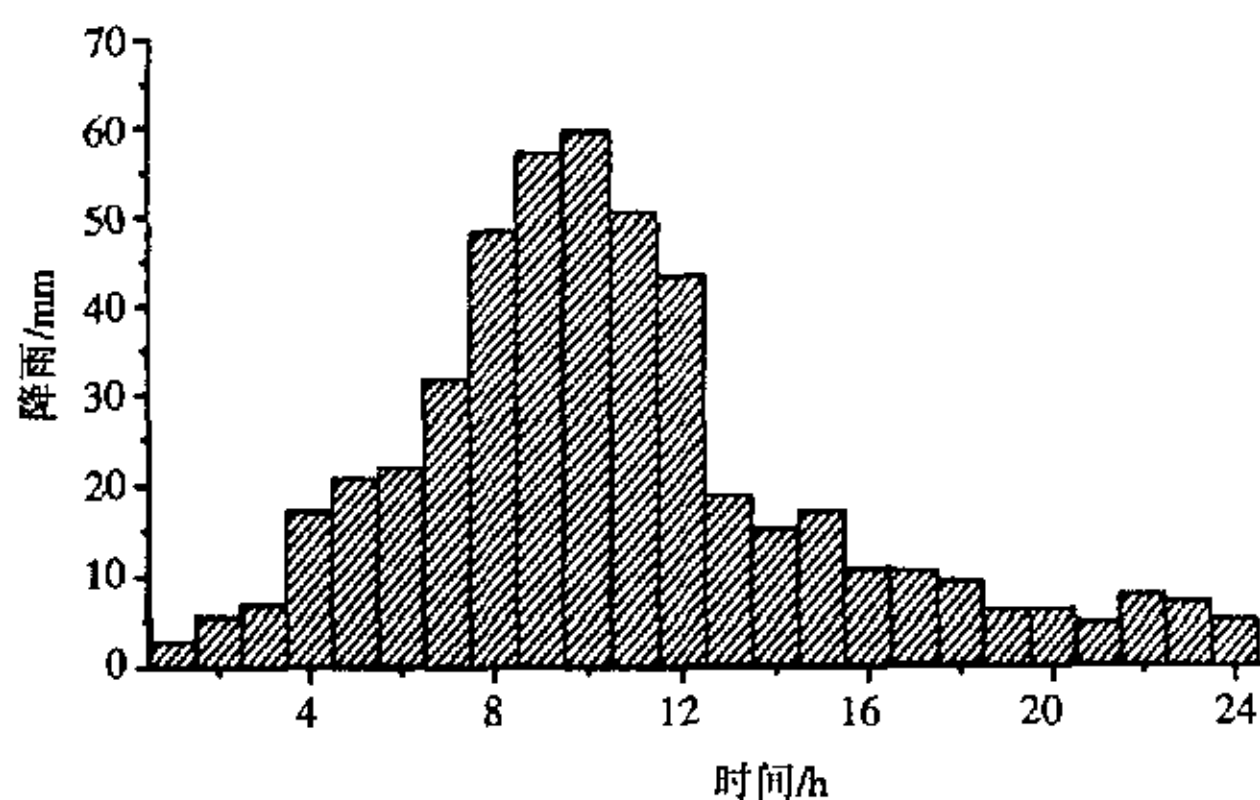


图 2 布吉河流域百年一遇暴雨过程图

Fig.2 Storm Process of the recurrence period of 100 years in Buji River Basin

2 布吉河流域暴雨洪水的情景模拟

根据深圳雨量站年最大 24h 暴雨量的统计结果,使用适线法计算得到布吉河流域年最大 24 小时暴雨量理论频率曲线。选择暴雨频率为 1% (平均 100 年一遇), 2% (平均 50 年一遇) 和 5% (平均 20 年一遇) 的 3 种暴雨, 根据深圳河流域年最大 24h 设计雨型 (暴雨时程分配) 确定了布吉河流域暴雨过程 (其中 100 年一遇暴雨过程见图 2)。对 3 种暴雨情况、4 种土地利用状况 (1980, 1988, 1994 和 2000 年)、3 种土壤前期湿润程度共 36 种组合情况进行了模拟。模拟的时间步长为 1h。

3 布吉河流域暴雨洪水模拟结果分析

3.1 模拟结果的验证

采用深圳市城市防洪规划^[18]中提供的设计洪水成果,对模拟结果进行了验证。考虑到防洪规划是针对 20 世纪 90 年代初期的流域下垫面情况进行规划的,将其与 1994 年土壤前期湿润程度一般情况下 3 种频率的暴雨洪水的模拟结果进行比较,具体选择布吉河流域布吉河口和布吉河笋岗两个控制断面的 24h 最大洪峰流量进行比较 (表 2)。表中的模拟相对误差基本上在 10% 以下,说明本研究的模拟结果基本可靠,模型可以用来对深圳这样缺乏水文数据的地区进行暴雨洪水的模拟,并进一步研究土地利用变化对暴雨洪

水的影响机制。

表2 设计暴雨洪水最大洪峰流量的验证
Table 2 Validation of the maximum flood peak discharge of designed storms

断面	方法	暴雨频率		
		1%	2%	5%
布吉河河口	防洪规划/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	756	654	517
	模拟结果/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	671	599	490
	相对误差/%	11.2	8.4	5.2
布吉河笋岗	防洪规划/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	606	526	419
	模拟结果/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)	544	489	408
	相对误差/%	11.4	7.3	2.6

3.2 模拟结果分析

模拟得到了3种暴雨情况、4个时期、3种土壤前期湿润程度共36种情况的流域出口断面的24h洪峰流量结果(见表3),其中前期土壤较干情况下的洪峰流量过程曲线见图3,以此讨论下垫面情况(包括土地利用变化以及土壤前期湿润程度变化)和暴雨强度对洪水的影响。

表3 设计暴雨洪水的最大洪峰流量和24小时洪量
Table 3 Maximum flood peak flow rate and discharge in 24h of designed storms

暴雨频率	年份	最大洪峰流量/($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$)				24h 洪量/ 10^4m^3			
		AMCI	AMCII	AMCIII	AMCI→ AMCIII	AMCI	AMCII	AMCIII	AMCI→ AMCIII
1%	1980	438.7	611.5	671.5	34.7%	1058.8	1491.7	1756.3	39.7%
	1988	515.2	645.5	690.2	25.4%	1167.6	1561.3	1802.0	35.2%
	1994	551.7	671.4	688.1	19.8%	1254.5	1606.6	1821.8	31.1%
	2000	549.7	670.1	682.2	19.4%	1270.2	1618.1	1828.4	30.5%
	1980→2000	20.2%	8.7%	1.6%	——	16.6%	7.8%	3.9%	——
2%	1980	366.5	533.5	605.7	39.5%	887.5	1302.9	1562.9	43.2%
	1988	440.2	567.1	619.9	29.0%	986.7	1370.1	1607.7	38.6%
	1994	478.0	599.0	619.9	22.9%	1069.5	1415.3	1626.5	34.2%
	2000	476.2	600.4	613.4	22.4%	1085.5	1425.1	1633.0	33.5%
	1980→2000	23.0%	11.1%	1.3%	——	18.2%	8.6%	4.3%	——
5%	1980	260.3	421.4	509.2	48.9%	648.0	1041.3	1296.4	50.0%
	1988	319.7	456.0	521.8	38.7%	739.0	1103.1	1335.3	44.7%
	1994	367.7	489.6	527.0	30.2%	816.1	1147.0	1354.6	39.8%
	2000	366.0	494.9	522.5	30.0%	830.3	1155.6	1358.9	38.9%
	1980→2000	28.9%	14.9%	2.6%	——	22.0%	9.9%	4.6%	——
5%→1%	1980	40.7%	31.1%	24.2%	——	38.8%	30.2%	26.2%	——
	1988	37.9%	29.4%	24.4%	——	36.7%	29.3%	25.9%	——
	1994	33.3%	27.1%	23.4%	——	34.9%	28.6%	25.6%	——
	2000	33.4%	26.1%	23.4%	——	34.6%	28.6%	25.7%	——

注:表中1%、2%、5%为降雨频率;1980→2000代表1980年变化为2000年的土地利用状况时最大洪峰流量(或24小时洪量)的相对变化量;AMCI→AMCIII代表前期土壤较干(AMCI)变化为较湿润(AMCIII)的情况时最大洪峰流量(或24小时洪量)的相对变化量;5%→1%代表频率为5%的暴雨变化为1%的暴雨时最大洪峰流量(或24小时洪量)的相对变化量。

首先比较最大洪峰流量出现的时间。3种频率暴雨的最大雨强均出现在第10个时刻。在前期土壤较干(AMCI)的情况下,3种暴雨洪水的最大洪峰流量在1980年出现在第12个时刻,相对最大雨强出现的时间滞后2h,在1988,1994和2000年,最大洪峰流量均出现在第11个时刻,滞后1h。在土壤前期湿润程度一般和较湿润(AMCII和AMCIII)的情况下,最大洪峰流量在1980年出现在第11个时刻,在1988,1994和2000年均出现在第10个时刻,由于模拟时间步长的限制,与暴雨过程相比,已经没有明显的滞后现象,即最大雨强出现的同时即出现最大洪峰。在土壤前期湿润程度一般和较湿润的情况下,4种土地利用状况的最

大洪峰流量出现时间相比前期土壤较干的情况均缩短了1h。

再来比较不同情况下最大洪峰流量的变化。在相同暴雨强度和土壤前期湿润程度下,与1980年相比,2000年最大洪峰流量有明显的增加,在前期土壤较干(AMCI)的情况下增加最为明显,频率为1%、2%和5%3种设计暴雨洪水的最大洪峰流量增加幅度分别为20.2%、23.0%和28.9%;随着土壤前期湿润程度的增加,最大洪峰流量的变幅迅速减少,在前期土壤较湿润(AMCIII)的情况下,3种设计暴雨洪水的最大洪峰流量增加幅度分别为1.6%、1.3%和2.6%。

在相同暴雨强度和土地利用状况下,随着前期土壤由较干向较湿润的情况变化,最大洪峰流量也有较大增幅。前期土壤较干(AMCI)的情况与较湿润(AMCIII)的情况相比,1980、1988、1994和2000年4个不同时期设计暴雨频率为1%的洪水的最大洪峰流量的变幅分别为34.7%、25.4%、19.8%和19.4%,暴雨频率为2%的相应变幅分别为39.5%、29.0%、22.9%、22.4%,暴雨频率为5%相应变幅分别为48.9%、38.7%、30.2%、30.0%。

通过以上分析,同样可以得到在相同土壤前期湿润程度和土地利用状况下,暴雨强度对洪水的影响。随着暴雨强度的加大,最大洪峰流量明显加大:在前期土壤较干(AMCI)的情况下,1980、1988、1994和2000年频率为1%的暴雨洪水相比频率为5%的暴雨洪水的最大洪峰流量增加幅度分别为40.7%、37.9%、33.3%和33.4%,在前期土壤较湿润(AMCIII)的情况下,4个时期的该指标分别为24.2%、24.4%、23.4%和23.4%。

研究最后统计了36种情况下的24h洪量,见表3。从表中结果可以得到暴雨强度、土壤前期湿润程度和土地利用状况对洪量的影响与对洪峰流量的影响一致的规律。随着暴雨强度的加大,前期土壤由较干向较湿润程度变化,向城市化方向发展的土地利用状况的变化,都将导致暴雨洪水的洪量增大。同样,每个因子对洪量变化的影响均受到其他两个因子的制约。

4 景观城市化过程的水文效应

深圳地区近年来由于城市化进程飞速,城市洪水水文效应明显,洪涝灾害日益严重。深圳地区遭遇洪水的次数明显增加。据统计,1980~1987年发生洪水4次,平均每年0.5次;1988~1993年,发生洪水6次,平均每年1.0次;1994~2000年,发生洪水8次,平均每年1.15次。同时洪涝灾害带来的人员伤亡和经济损失迅速增大:1981~1990年,共发生6次水灾,死亡人数13人,直接经济损失28370万元人民币,1991~2000年,共发生12次水灾,死亡人数54人,直接经济损失260378万元(见表4)。

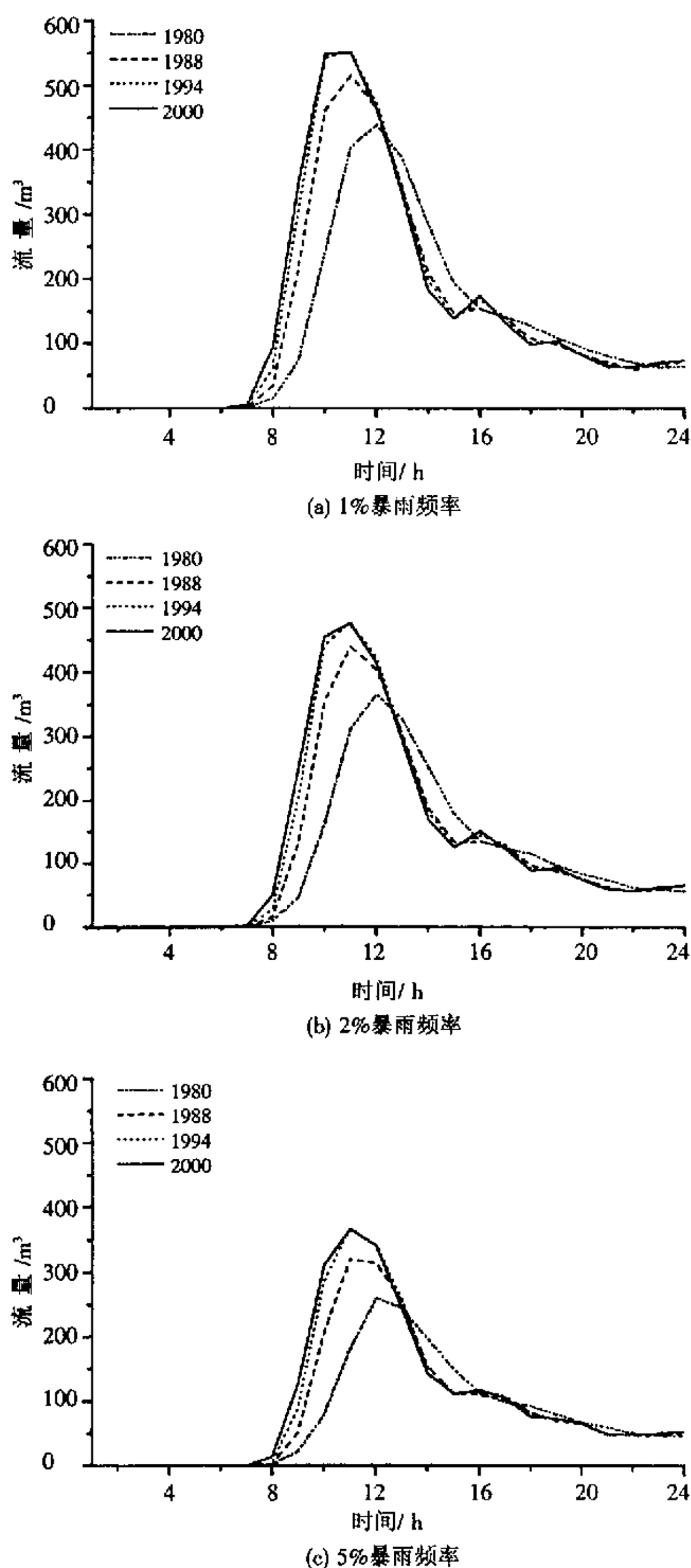


图3 设计暴雨洪水24h洪峰流量过程曲线(AMCI)

Fig.3 Flood peak discharge of 24 h of designed storms (AMCI)

表 4 深圳地区洪涝灾害统计表(1980~2000 年)

Table 4 Flood disasters occurred in Shenzhen from 1980 to 2000

年份	洪水编号	洪水成因	灾 情
1980	"7.28"	布吉河上游大暴雨,数小时暴雨量高达 200mm。	深圳东门老街受淹,新园招待所洪水入侵,水深达 1m。
1981	"7.20"	茅洲河流域特大暴雨,日降雨量 376mm。	江河泛滥,松岗区受淹,松岗墟镇街道水深约 1m,受淹历时 4 昼夜。当年该地区农业大减产。
1983	"9.9"	台风在深圳市登陆,带来暴雨和几十年少见的大海潮。	宝安西部海堤发生多处决口,沙井、福永一带受咸涝。造成 1924hm ² 鱼塘、基围受浸漫顶,660hm ² 稻田受淹,台风袭击期间有 7 人死亡,60 多人受伤,经济损失 9000 多万元。
1987	"5.20"	宝安西部特大暴雨,茅洲河上游光明农场一带,8h 内降雨 406mm;石岩水库一带,5h 内降雨 270mm。	山洪暴发,河流泛滥。有 29 个村庄受淹,5000 多间民屋进水,149 间房屋倒塌,2.4 万村民被洪水围困,受淹稻田菜地 3500 多 hm ² 万多亩,鱼塘 1300 多 hm ² 。造成 6 人死亡、16 人受伤。洪水直接经济损失 6370 多万元。
1988	"7.19"	"8805"号台风在深圳东面的惠来县登陆。	深圳河水位暴涨,加上涨潮顶脱,致使市区低洼地方受淹。宝安县观澜镇也发生暴雨山洪。
1989	"5.20"	受"8903"号台风外围影响,市区及宝安西部发生暴雨和特大暴雨。市区降雨 227mm,南山区降雨 377mm,宝安新安镇降雨 449mm。	市区、南山区、宝安县等地受淹,受淹村庄 58 个,房屋 7200 多间,工厂厂房 175 间,直接经济损失多达 13000 万元。
1992	"7.18"	7 月 18 日上午"9206"号台风在珠海登陆后立即折向深圳市。龙华高峰水库 8h 降雨 380mm,观澜镇降雨 246mm。	观澜河河水暴涨,河堤决口,观澜墟镇水深 2 米,松元、新田、桂花、福民、库坑等村庄一片汪洋,直接经济损失 5368 万元。
1992	"9.7"	在"9215"号热带风暴气流和北方冷空气共同影响下,深圳市部分地区发生暴雨和大暴雨,铁岗水库降雨 110mm,平湖镇降雨 124mm,葵涌镇降雨 104mm。	市内福田、岗厦、皇岗以及罗湖区的草埔、水贝都出现洪涝灾害。经济损失 10400 万元。
1993	"6.16"	布吉河上游发生大暴雨。5h 内降雨 256mm。布吉水文站 24h 雨量 334mm,3d 雨量为 370mm。	布吉镇、福田区部分地区受淹;宝安区黄田机场受淹,机场关闭 4h;广深铁路火车运行中断 11h40min。造成 11 人死亡,直接经济损失高达 73700 万元。
1993	"9.26"	受"9318"号强台风影响,从 26 日 8 时至 27 日 8 时,深圳水库降雨 339mm,水库尾一带降雨达 429mm,深圳河上游香港新界地带降雨高达 600mm。	市区部分地区受淹,受灾人口 13 万人,死亡 14 人,损毁房屋 6500 间,倒塌房屋 200 余间,直接经济损失 76400 万元。
1994	"7.22"	7 月 21 日 20 时至 22 日 20 时,24h 市内降雨 303mm。	市区深南路以南街道受淹,水深 40~90cm。受灾人口 7.8 万人,死亡 7 人,直接经济损失 20000 万元。
1994	"8.6"	市区发生特大暴雨,深圳水库日降雨量 360mm。	深圳水库水位超过防线水位 1m,迫使深圳水库排洪,火车站、和平路、建设路受淹,水深 1.3~1.6m。受灾人口 2 万多人,死亡 4 人,直接经济损失 5000 万元。
1995	"8.12"	受"9505"热带气旋影响,西部地区降雨 108mm。	直接经济损失 30610 万元。
1995	"8.31"	受"9509"台风影响,西乡镇降雨 137mm,东部地区降雨 170~250mm。	出现山体滑坡。死亡 4 人,伤 3 人,直接经济损失 3000 万元。
1997	"7.19"	梧桐山脉 100km ² 范围内突然发生特大暴雨,梧桐山北麓,三洲田水库 24h 降雨量高达 497mm,横岗、龙岗、坪山一带 24h 平均降雨 390mm;梧桐山南麓,莲塘至盐田一带 24h 降雨 250mm。	山洪暴发,130 多处山体滑坡;深惠、深汕高速公路中断 10h,横坪公路全线瘫痪;共有 144 个自然村受灾,600 多家工厂、商店受水浸;山洪摧毁水利工程多处,尤以三洲田水库为甚,水库上坝公路全线摧毁。
1997	"8.2"	"9710"号台风 19 时 30 分在香港登陆,20 时 30 分经深圳湾再次在宝安区登陆,风力 8~9 级,阵风 10 级,并伴有暴雨。深圳全市普遍降雨 100mm 以上,公明镇降雨 269mm。	宝安供电中断 49h,航空班机中断 36 航班,直接经济损失 12500 万元。
1998	"5.24"	5 月 24 日凌晨,深圳市普降暴雨,局部地区降特大暴雨。盐田沙头角为这次暴雨的中心,录得降雨量 413mm,深圳水库降雨 385mm,龙岗区横岗镇降雨 343mm。	罗芳村、新秀村以及香港新界打鼓岭一带洪水泛滥。黄贝岭以东地区计有 10.6 万居民受影响;2 万多人被洪水围困;483 间商店和 3490 间民房被淹;有 8 人死亡;直接经济损失 18300 万元。
2000	"4.13"	特大暴雨袭击深圳。市气象台录得的 24h 雨量为 344mm,打破了深圳自 1952 年有气象观测记录以来的最大值。	引起山体塌方和洪水,全市交通堵塞,并造成 6 人死亡,5 人失踪,直接经济损失 5100 万元。

据文献[19~21]整理。

根据深圳市气象站提供的 1956 ~ 2000 年的年降雨数据,得到了该降雨序列的趋势线(见图 4),说明深圳地区降雨量的变化没有明显的增大或减少的趋势,降雨不是深圳地区洪涝灾害变化的主要原因。而深圳地区 20a 来经历了快速土地利用结构和格局的变化,以城镇用地的大量增加和生态用地、农业用地的大面积减少为主要特征的快速景观城市化过程,是造成城市洪涝灾害日益严重的主要原因之一,使城市化流域的径流系数增大,进而使最大洪峰流量到来的时间提早、汇流时间缩短,最大洪峰流量和洪量加大,给防洪应急处置带来了更大的困难,城市洪涝灾害已经成为深圳地区生态环境方面的主要问题之一。

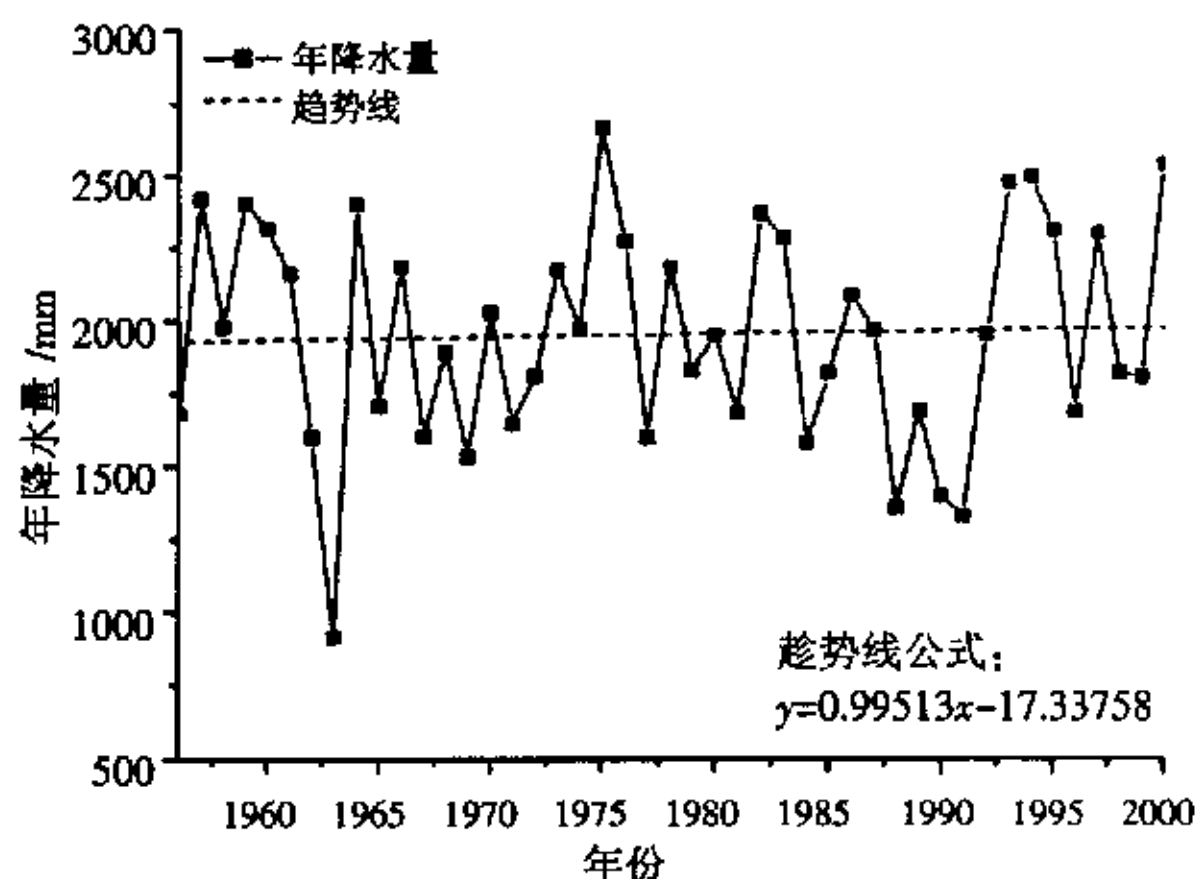


图 4 1956~2000 年深圳地区年降雨量变化
Fig.4 Change of yearly precipitation of Shenzhen from 1956 to 2000

5 结论

(1) 土地利用状况是影响暴雨洪水过程的一个重要因素。在城市化水平不断提高下,以城镇用地大面积出现、生态用地和农业用地大面积减少为主要特点的土地利用的变化,对暴雨洪水过程能产生显著影响,使得最大洪峰流量和洪量加大,汇流时间变短。与 1980 年相比,2000 年深圳地区在前期土壤较干的情况下,频率为 1%、2% 和 5% 的 3 种设计暴雨洪水的最大洪峰流量增加幅度分别为 20.2%、23.0% 和 28.9%。

(2) 暴雨强度和土壤前期湿润程度对暴雨洪水过程同样存在明显的影响,随着暴雨强度的加大和土壤前期湿润程度由较干向较湿润程度变化,同样使得暴雨洪水的洪峰流量和洪水流量加大。

(3) 土地利用状况、土壤前期湿润程度和暴雨强度等任一因子对暴雨洪水的影响均受到其他两个因子的制约。一方面土地利用状况对暴雨洪水过程的影响受到另两个因素的制约,即由暴雨强度增大和/或前期土壤由较干向较湿润变化,使得土地利用状况对暴雨洪水的影响减弱。另一方面,土地利用状况的变化同样也制约着暴雨强度和土壤前期湿润程度对暴雨洪水过程的影响作用。由于前期土壤由较干向较湿润变化,土地利用状况向城市化方向发展使得暴雨强度对暴雨洪水的影响减弱;由于暴雨强度增大,土地利用状况向城市化方向发展使得土壤前期湿润程度对暴雨洪水的影响减弱。

(4) 1980 年到 2000 年深圳地区洪涝灾害的统计结果表明,深圳地区城市洪涝灾害日益严重。深圳地区年降雨数据的变化说明降雨不是深圳地区洪涝灾害日趋严重的主要原因,以城镇用地的大量增加和生态用地、农业用地的大面积减少为主要特征的快速景观城市化过程是城市洪涝灾害日益严重的主要原因,它导致了城市化流域的径流系数增大,进而使最大洪峰流量到来的时间提早、汇流时间变短,最大洪峰流量和洪量加大,城市洪涝灾害已经成为深圳地区生态环境方面的主要问题之一。

参考文献:

- [1] 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.
- [2] Ng H Y F, Marsalek J. Simulation of the effects of urbanization on basin streamflow[J]. Water Resources Bulletin, 1989, 25(1): 117-124.
- [3] Brun S E, Band L E. Simulating runoff behavior in an urbanizing watershed[J]. Computers, Environment and Urban Systems, 2000, 24: 5-22.
- [4] Toby N C, Arthur S T. The impact of land use-land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: A satellite perspective[J]. Global and Planetary Change, 2000, 25: 49-65.
- [5] 袁艺. 深圳地区土地利用变化及其生态响应机制研究[D]. 北京:北京师范大学研究生院, 2003.
- [6] 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, 2003, 21(7): 1041-1049.
- [7] 袁艺, 史培军. 土地利用对流域降雨-径流关系的影响——SCS 模型在深圳地区的应用[J]. 北京师范大学学报(自然科学版), 2001, 37(1): 131-136.
- [8] Solomon S I, Gupta S K. Distributed numerical model for estimating runoff and sediment discharge of Ungaged Rivers 2. Model development[J]. Water Resources Research, 1977, 13(3): 619-629.
- [9] 沈晓东, 王腊春, 谢顺平. 基于栅格数据的流域降雨径流模型[J]. 地理学报, 1995, 50(3): 264-269.
- [10] Aron G, Miller Jr A C, Lakatos D F. Infiltration formula based on SCS curve number[J]. Journal of the Irrigation and Drainage Division, ASCE, 1977, 103(IR4): 419-427.

- [11] Hjelmfelt Jr A T. Curve-number procedure as infiltration method[J]. Journal of the Hydraulics Division, 1980, 106(HY6): 1107-1111.
- [12] Maidment D R. Handbook of hydrology[M]. New York: McGraw-Hill Book Company, 1992.
- [13] 魏文秋, 谢淑琴. 遥感资料在 SCS 模型产流计算中的应用[J]. 环境遥感, 1992, 7(4): 243-250.
- [14] 潘剑君. 遥感技术对流域水文特征及其径流的定量研究[J]. 土壤侵蚀与水土保持学报, 1996, 2(3): 88-92.
- [15] Rango A. Assessment of remote sensing input to hydrologic models[J]. Water Resources Bulletin, 1985, 21(3): 423-432.
- [16] Tarboton D G, Bras R L, Ignacio Rodriguez-Iturbe. On the extraction of channel networks from digital elevation data[J]. Hydrological Processes, 1991, 5: 81-100.
- [17] Martz W, Garbrecht J J. Numerical definition of drainage network and subcatchment areas from digital elevation models[J]. Computers & Geosciences, 1992, 18(6): 747-761.
- [18] 深圳市水务局, 水利部珠江水利委员会深圳城市防洪规划组. 深圳市城市防洪(潮)规划·附件一: 水文分析计算报告[R]. 1994.
- [18] 深圳市史志办公室. 深圳大事记(1979~2000)[M]. 深圳: 海天出版社, 2001.
- [19] 王若兵. 深圳市水务志[M]. 深圳: 海天出版社, 2001.
- [20] 郝明龙, 杨耕. 城市水土保持规划项目的经济评价探讨[J]. 水土保持研究, 1997, 4(1): 11-15.
- [21] 高俊峰, 李虎. 长江流域生态环境对洪涝影响的评价[J]. 自然灾害学报, 2001, 10(4): 30-35.

· 国际减灾战略动态 ·

2003 年国际减灾日主题 面对灾害, 更加关注可持续发展

今年是“国际淡水年”。“国际减灾战略”今年的活动将围绕与水有关的灾害进行。由于人类活动导致承灾体易损性增大和生态自然平衡的改变, 气象成因的灾害(包括洪水、干旱、滑坡、热带气旋、飓风和台风等)比以往明显增多, 也影响了更多的地区。因此, 减灾工作只有有效地融入可持续发展这一宏伟目标中, 才能建设灾后有自我恢复能力的社区。灾害所造成的影响(包括致死人数和经济、社会财产损失), 其数据令人震惊, 但至今还很少有人为我们免遭灾难而对此采取了实际措施。

今年的减灾活动一直延续至明年的“世界水日”(2004 年 3 月 22 日)。国际减灾日(2003 年 10 月 8 日)当天, “国际减灾战略”的办事机构和“世界气象组织”将共同举办庆祝活动, 关注承灾体对与水有关的各种灾害的易损性。

——摘自《黑龙江防灾简报》