

基于 ArcView 的 SCS 模型在流域径流计算中的应用

许 彦,潘文斌

(福州大学环境与资源学院,福州 350002)

摘 要:SCS 模型考虑了径流与土壤特性和土地利用情况的关系,能反映不同土壤和地面覆盖条件影响产流的特点,所需参数较少,是一种简洁且实用的流域径流计算方法。以福建省敖江一子流域为例,在 ArcView 环境中应用 SCS 模型,利用 GIS 技术确定和反映不同土地利用类型的 CN 值和径流量,并使这些值建立在空间数据之上,同时以地图的形式显示,实现径流数据与空间数据相结合,以直观的方式为流域管理决策者服务。

关键词:SCS 模型;CN;径流;流域;GIS

中图分类号:P333

文献标识码:A

文章编号:1005-3409(2006)04-0176-04

SCS Model for Watershed Runoff Calculation in Arc View

XU Yan,PAN Wen-bin

(College of Environment and Resources, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

Abstract:SCS model is a terse and applied runoff calculation method for watershed, which can consider the relations between the runoff, soil property and land use. It can reflect characteristics of flow producing influence by different soil and land cover, and require less parameter. A sub-basin of Aojiang River in Fujian Province is taken as an example by using SCS model in Arc-View environment. With GIS technology, CN values and runoff of different land use patterns can be determined and confirmed. The values are based on the spatial data, and showed in the form of maps. All operations, including input, calculation and display, are operated in ArcView, which fulfills the combination of runoff data and spatial data to serve watershed governors and policymakers in a visual way.

Key words:SCS model;Curve Number;runoff;watershed;GIS

1 引言

目前,计算径流量众多的经验模型中,美国农业部土壤保持局(USDA SCS)开发的用来估算无资料区径流量和洪峰流量的经验模型——SCS 模型已得到公认和普遍推广。该方法计算过程简单,所需的资料易于获取,尤其适用于资料缺乏的地区。它能反映不同土壤类型、不同土地利用方式及前期土壤含水量对降雨径流的影响,简单易行,所需参数较少,对降雨等观测数据的要求不很严格,而且它有效地考虑到了流域下垫面的特点,因此,利用此模型可以针对未来土地利用情况的变化,预测长期的降雨径流关系的可能变化,看出人类活动对流域水文的影响。

国内现有研究大多是利用已知的降雨量数据,统计回归研究区域的 CN 值,再模拟径流量,并和实际径流量进行对比分析。例如:张大弟等根据有关试验资料和美国土壤保持局推荐的 SCS 法,提出了上海市 4 种地表径流深度的计算公式^[1]。罗利芳等以陕西安塞 25 个小区的降雨径流资料(次降雨)为基础,计算了黄土高原地区不同下垫面条件下的曲线数(CN)值大小,并对径流曲线数法在黄土高原地区地表径流量计算应用的有效性也进行了评定^[8]。张秀英等利用定西安家沟流域小区 1986~1988 年的降雨径流观测数据反算 CN,然后在统计软件 SPSS 下利用逐步回归和曲线模拟函数模拟 CN 与降雨量、前 5 d 降雨量和坡度的关系,并得

出相应的模拟曲线,利用 1989 年的降雨径流时间对径流模拟结果进行检验^[2]。张美华等在关于 SCS 模型在密云石匣试验小区降雨径流量估算中的应用中,利用密云县石匣小流域 2001 年的 6 场降雨及径流观测数据,应用 SCS 模型计算参数 I_a 在不同水平下 22 个试验小区的径流量,依据实测值对计算值进行了调整,得出了适合该小区的参数 CN 的范围,并将参数进行检验^[9]。

国外研究也有类似先统计回归得出研究区域的 CN 值再计算径流量的。例如:Karl Auerswald 和 Josef Haider 对在德国的种植条件下的小粒谷类作物的 CN 值和地被植物地面覆盖率进行回归分析,得出两者之间线性关系,为计算小粒谷类作物土地利用类型下的径流量提供依据^[5]。近年来也有利用 GIS 技术生成径流量图的,例如:Assefa M. Melesse 和 S. F. Shih 利用遥感影像图和 GIS 技术,通过获得流域空间分布的 CN 值,从而得到径流深地图^[6]。Xiaoyong Zhan 和 Min-Lang Huang 利用 ArcGIS 的一个插件工具 ArcCN - Runoff,通过获取已知的 CN 值来得到径流深图^[7]。

2 SCS 模型的基本原理

2.1 基本原理介绍

SCS 模型可以用于计算不同土地利用方式、不同耕作方式、不同土壤类型、不同前期土壤含水量以及不同降水条件下的地表产流,它具有简单易行,所需参数少,对观测数据的要

* 收稿日期:2005-09-16

基金项目:福州大学基金项目(XJY-0110);福建省科学技术厅青年科技人才创新项目(2001J054)

作者简介:许彦(1982-),男,环境科学硕士研究生,主要从事流域环境与水资源管理与规划工作;通讯作者:潘文斌。

求不很严格等特点。Boughton 对此模型方法的产生、演变作了详细的介绍^[3]。该方法最早由 Mockus 提出,方程^[4]:

$$F/Q = S/P \tag{1}$$

式中: F ——一次降雨的实际入渗量(mm); S ——潜在最大入渗量(mm); Q ——实际径流量(mm); P ——一次降雨的总量(mm)。

最初的径流方程没有考虑降雨初损 I_a , 方程修正后改为:

$$F/Q = S/P_a \tag{2}$$

式中: P_a ——最大可能径流量(mm); Q ——实际径流量(mm); F ——实际入渗量(mm); S ——降雨前的潜在最大入渗量(mm), 是 F 的上限。

将 $P_a = P - I_a$, $F = P_a - Q$ 代入方程(2), 并采用经验关系公式 $I_a = 0.2S$, 其中 I_a 为径流产生前植物截留, 初渗和填洼构成集水区的初损^[12], 单位 mm; 求解 Q , 得到常用的径

流方程^[8,11,13]:
$$Q = \frac{(P - 0.2S)^2}{P + 0.8S} \quad P > 0.2S$$
$$Q = 0 \quad P < 0.2S \tag{3}$$

上述公式中的 Q 值近年来被称为径流深, 后文实例研究中也用此概念。

2.2 参数 CN

CN(Curve Number), 称作曲线数值。在水文学中, CN 是用来确定降雨中有多少渗透到土壤或一个含水层中以及有多少变为表面径流。可以说, CN 是有关土地利用和水文土壤的一个函数。

由方程(3)可以看出: 径流量取决于降雨量 P 与该场降雨前的潜在入渗量 S , 而潜在入渗量 S 又与集水区的土壤质地、土地利用方式和降雨前的土壤湿润状况等流域特征有关, 而且 S 值的变化幅度可以很大, 不利于取值。为此, SCS 模型通过一个经验性的综合反映降雨前流域特征的无因次参数 CN, 即曲线数值, 来推求 S 值^[11~13]。即:

$$S = \frac{25400}{CN} - 254(\text{mm}) \text{ 或 } S = \frac{1000}{CN} - 10(\text{in}) \tag{4}$$

由此式可得: CN 值越大, S 值越小, 越易产生径流。决定 CN 的主要因素为土壤前期湿度、土壤类型、植被覆盖类型、管理状况和水文条件, 同时坡度也对 CN 有一定影响。高的 CN 值意味着高径流量和低渗透量, 相反地, 低的 CN 值意味着低的径流量和高的渗透量。

2.3 CN 值的影响因素和确定方法

理论上讲, CN 的取值介于 0~100 之间, 但在实际环境条件下, CN 值小于 30 的情况不可能发生, 同样 CN 值大于 100 也是不可能出现。因此, CN 值通常只在 30~100 之间变化。

CN 的确定分为三个步骤:

(1) 根据土壤水分的最小渗透率或土壤质地可将土壤划分为 A、B、C、D 四组水文土壤类型^[8](见表 1), 来确定研究流域土壤的水文土壤组属性, 并由此确定 CN 值, 其各类土壤的主要特性如下, A 类: 为潜在径流量很低的一类土壤, 这类土壤主要是一些具有良好排水性能的沙土或砾石土, 土壤在水分完全饱和的情况下仍具有很高入渗速率和导水率; B 类: 主要为渗透性较强的砂壤土, 或者在土壤剖面一定深度具有一层弱不透水层, 当土壤在水分完全饱和的情况下仍然具有较高的入渗速率和导水率; C 类: 为中等透水性土壤, 主要是砂壤土或轻壤土, 或者虽为砂性土但在土壤剖面一定部位存在一层不透水层, 土壤在水分完全饱和的情况下仍具有一定入渗速率和导水率; D 类: 为很弱的透水性土壤, 主要为黏土或重黏土, 土壤在水分完全饱和的情况下其入渗速率和导水率很低。

表 1 水文土壤组定义指标

土壤类型	最小下渗率/(mm·h ⁻¹)	土壤质地
A	> 7.26	砂土、壤质砂土、砂质壤土
B	3.81~7.26	壤土、粉砂壤土
C	1.27~3.81	砂黏壤土
D	0.00~1.27	黏壤土、粉砂黏壤土、砂黏土、粉砂黏土、黏土

(2) 在利用 SCS 模型计算径流量时, 前期土壤干旱与湿润对集水区的产流所作的贡献是不同的, 所以要考虑前期降水对径流的影响。考虑所研究流域土壤前期湿度条件, 并参照 AMC 三级划分指标^[9,10]来客观定义土壤前期湿度(见表 2)。

AMC : 土壤干旱, 但未到达植物萎蔫点, 有良好的耕作及耕种。

AMC : 发生洪泛时的平均情况, 即许多流域洪水出现前夕的土壤水分平均状况。

AMC : 暴雨前的 5 d 内有大雨或小雨和低温出现, 土壤水分几乎呈饱和状况。

表 2 土壤前期湿润程度等级划分

AMC	前 5 d 降雨量/mm	
	生长期	休止期
	< 13	> 28
	13~28	36~53
	> 28	> 53

(3) 综合研究流域土地利用方式、水文土壤组特征和前期湿度条件, 在由美国农业部水土保持局提出的 CN 表中查找并确定适用所研究流域的 CN 值。若 AMC 的 CN 已知, 条件 AMC 和 AMC 相应的 CN 值可以根据以下公式计算而得^[14]。

$$CN_I = 4.2CN / (10 - 0.058CN) \tag{5}$$

$$CN = 23CN / (10 + 0.13CN) \tag{6}$$

由上式可以看出, 同一土地利用类型同一水文土壤组下 $CN_I < CN < CN$ 。

3 基于 ArcView 的 SCS 模型应用实例

本文的研究对象是敖江山仔水库所处的子流域, 研究子流域的位置及范围见图 2, 该子流域面积为 302.8 km²。山仔水库位于敖江中游县境西北部虎头山西坡底河谷中, 平均流量为 18.59 亿 m³, 调节库容 1.064 亿 m³。它是敖江流域梯级开发的第三级水利水电项目。水库枯水期为 10 月到 3 月, 多年平均流量 29.10 m³/s。汛期为 4~9 月径流总量占全年 75.4%, 多年平均流量为 88.7 m³/s。

本研究在 GIS 软件 ArcView 环境下运用 SCS 模型对径流量进行估计, 目的是要实现包含空间信息的流域径流量估算。具体操作流程^[7]见图 1。

具体步骤包括:

(1) 导入 Landsat - 7 TM/ ETM+ 卫星影像(2000 年 5 月 4 日)处理得到的敖江流域土地利用类型图和由全国第二次土壤普查得到的土壤质地所确定的水文土壤组两个 shape 文件, 由土壤质地所确定的研究区域的水文土壤组^[15]见表 3;

(2) 根据这两个数据层依据子流域边界剪切出所研究的区域, 并生成两组新的土地利用类型和水文土壤组数据, 其中包含各种土地利用类型的面积等统计信息, 将这两组数据层分别输出显示(见图 3、图 4);

(3) 分别选择两组数据的土地利用类型和水文土壤组的两个专题, 用 ArcView 的 Xtools 插件中的 Intersect Theme 进行交叉(Intersect)操作, 从而获得了同时包含土地利用类型和水文土壤组双重信息的、多边形数据层, 这样可以保证土壤和土地利用的空间变化的所有细节数据不丢失;

输入主题→剪切处理→输入新主题→选择专题→专题处理→输出专题→分析

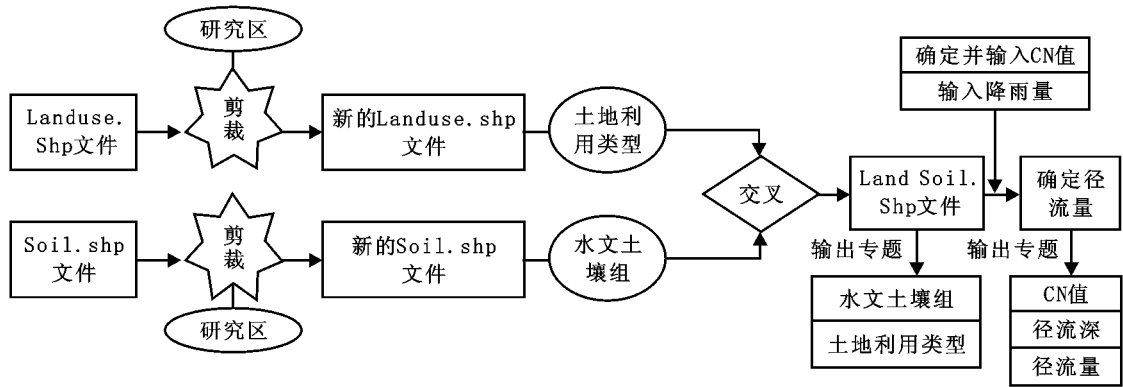


图 1 在 ArcView 中估算径流量步骤

(4) 根据国内研究者所确定的一些地类的 CN 值以及美国水土保持局的部分 CN 值,选定研究子流域各地类 AMC

条件下的 CN 值^[12](见表 4),水体 CN 值取 100;由于 2000 年 5 月 2 日前 5 日降雨累积量 38.9 mm,根据表 2 判断土壤前期湿润度为 AMC ,接着由公式(6)计算得本研究子流域不同土地利用类型不同水文土壤组的 CN 值(见表 5);

(5) 把不同土地利用类型不同水文土壤组的 CN 值输入到交叉生成的地图的表格中,然后再输入 2000 年 5 月 2 日的降雨量,15.2 mm;

(6) 根据公式(3)和公式(4),通过计算功能(Map Calculator)计算出该子流域的径流深和径流量;输出 CN 值图以及径流深(mm)和径流量(m³)图。

表 3 研究子流域不同土壤类型的水文土壤组

土壤类型	水文土壤组
硅铝质红壤(酸性岩红壤)	B
铝硅质红壤(中性岩红壤)	C
硅质红壤(砂质岩红壤)	A
红泥土	C
黄红壤	B
黄壤	B
潜育水稻土	D
渗育水稻土	D

表 4 研究子流域在 AMC 条件下的 CN 值

不同水文土壤组(HYDGRP)CN 值				
土地利用类型	A	B	C	D
森 林	25	55	77	77
草 地	49	69	84	84
火烧地	74	83	88	90
疏林地	45	66	83	83
水 田	62	71	78	81
农村居民点	57	72	81	86
裸 地	76	85	94	94
竹 林	36	60	79	79

在 ArcView 中应用 SCS 模型,其中最关键的步骤就是交叉主题。在交叉之前,土地利用类型和水文土壤组数据是分别存在两个多边形地图文件中的,两幅地图所具有的多边形数目相差甚大,多边形交错部分 CN 值以及面积统计较为不易,若用传统方法计算全流域的 CN 值,计算量极大,而且也无法准确。运用 GIS 的交叉技术生成一幅具有两个主题信息(土地利用类型和水文土壤组)的一幅地图,然后把选定的不同土地利用类型不同水文土壤组的 CN 值输入到交叉生成的地图的表格(DBF 文件)中。这个步骤若用手工完成

工作量较大,但通过综合运用 ArcView 条件查找(Query Builder)及计算功能(Calculator),可以快速把 CN 值确定下来。图 5、图 6 和图 7 为研究子流域的 CN 值以及径流深和径流量图。最后,通过 ArcView 的统计功能(Statistics)来计算得到本研究子流域径流总量约为 421 051 m³。

表 5 研究子流域在 AMC 条件下的 CN 值

不同水文土壤组(HYDGRP)CN 值				
土地利用类型	A	B	C	D
森 林	43	74	89	89
草 地	69	84	92	92
火烧地	87	92	94	95
疏林地	65	82	92	92
水 田	79	85	89	91
农村居民点	75	86	91	93
裸 地	88	93	97	97
竹 林	56	78	90	90

4 结果与讨论

综合图 3、4、5、6 可以看出,同一水文土壤组条件下,各土地利用类型的产流状况各不相同,大致顺序为:裸地产生的径流深最大,火烧地其次,再则是水田和农村居民点,接下来依次是草地、疏林地、竹林、森林。此外,同一土地利用类型,以森林为例,不同土壤质地环境下产生的径流深各不相同,大致顺序为:硅质红壤产生的径流深最大,其次是硅铝质红壤、黄红壤和黄壤,再则是铝硅质红壤和红泥土,最后是潜育水稻土和渗育水稻土。总之,CN 值越大的地方,径流深也越大,也就意味着降雨量转化为径流量越多。

在利用 SCS 模型估算流域径流量中,由于我国缺乏 CN 的相关数据库,对于 CN 值的选取存在一定困难,今后的工作要着重建立区域或流域各土地利用类型与水文土壤组各组合类型的 CN 基础信息数据库,即建立国内 CN 值标准表,此举有利于我国流域降雨-径流研究标准化并大大提高研究效率。在应用 SCS 模型过程中,需要对其计算的结果进行校验,但由于在研究区域内没有设立水文站,故缺乏实际径流量数据,暂无法针对本研究流域对 SCS 模型计算结果进行校正。此外,现有气象监测站的数目有限,研究获得的降雨数据是单个监测站测得的降雨量,当研究区域与监测站相距较远时,因降雨的分布不均将导致输入的降雨数据与研究区域实际情况有所差异,这也将导致模型的径流输出与实测值之间存在差异。与欧美一些发达国家相比,我国的气象和水文监测站点的设置数量较少,应有所加强,为我国流域环境管理与规划提供更高精度的生态环境基础信息数据。

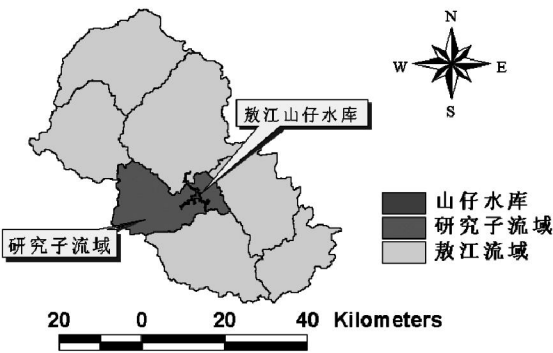


图 2 研究子流域的位置

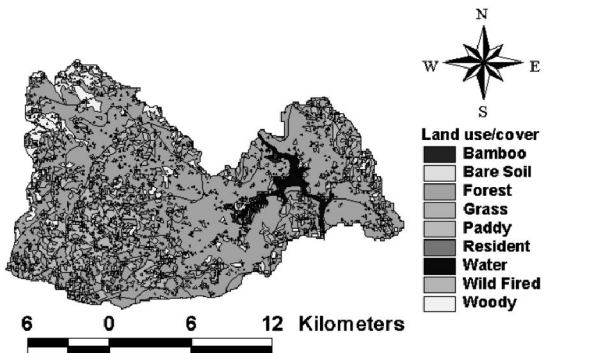


图 3 研究子流域的土地利用类型

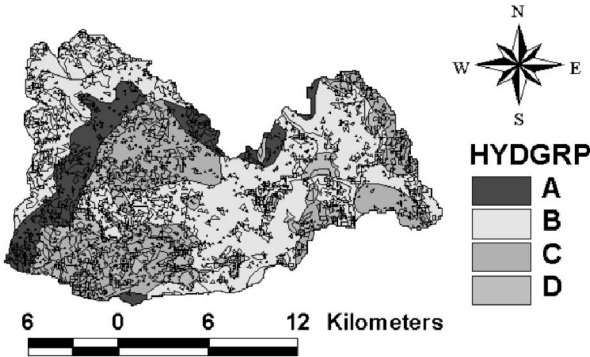


图 4 研究子流域的水文土壤组

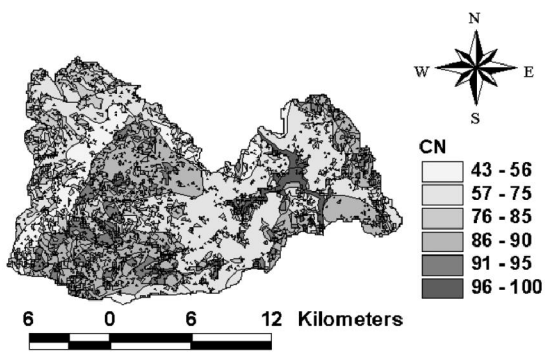


图 5 研究子流域的 CN 值

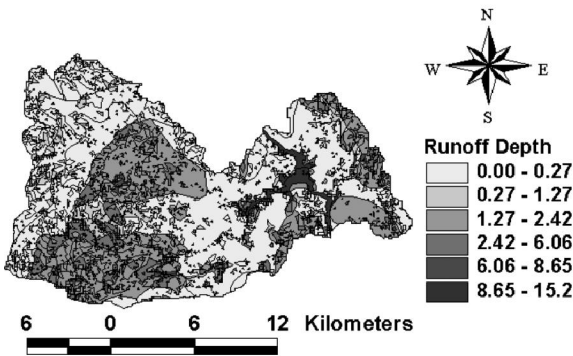


图 6 研究子流域径流深

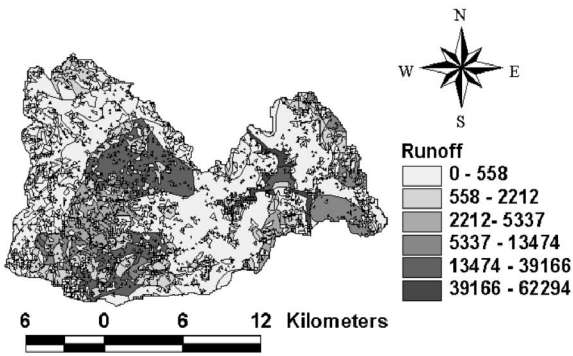


图 7 研究子流域径流量

5 结 论

在 GIS 软件 ArcView 环境下运用 SCS 模型,目的是为了获得空间位置上的径流估计量。利用剪切、交叉等 GIS 技术,确定某一特定流域径流计算参数,从而估算出该流域的径流量。SCS 模型和 GIS 技术的结合,能大大提高计算参数

参考文献:

[1] 张大弟, 周建平, 陈佩青. 上海市郊 4 种地表径流深度的测算[J]. 上海环境科学, 1997, 16(9): 1-3.

[2] 张秀英, 孟飞, 丁宁. SCS 模型在干旱半干旱区小流域径流估算中的应用[J]. 水土保持研究, 2003, 10(4): 172-174.

[3] Boughton W C. A review of the USDA SCS curve number method [J]. Journal of Soil Research, 1989, 27: 511-523.

[4] Mockus V. Estimation of total (and peak rates of) surface runoff for individual storms [A]. In: Interim Survey Report Grand (Neosho) River Watershed[M]. Exhibit A of Appendix B. U. S. Dep. Agric (U. S. Gov. print. Office: Washington, D. C.), 1949.

[5] Karl Auerswald, Josef Haider. Runoff Curve Numbers for Small Grain Under German Cropping Conditions[J]. Journal of Environmental Management, 1996, 47: 223-228.

[6] Assefa M Melesse, S F. Shih. Spatially distributed storm runoff depth estimation using Landsat images and GIS[J]. Computers and Electronics in Agriculture, 2002, 37: 173-183.

[7] Xiaoyong Zhan, Min-Lang Huang. ArcCN - Runoff - an ArcGIS tool for generating curve number and runoff maps[J]. Environmental Modelling & Software, 2004, 19: 875-879.

4.2.2 项目 EIA 的原则同样适用于 LUPEIA

项目 EIA 在评价过程中应坚持:科学性、实用性、针对性原则;体现生态环境保护与可持续发展的原则;体现公众参与、增强环境影响评价的有效性原则。LUPEIA 同样需要坚持这些原则,除此之外,LUPEIA 还应该注意突出重点评价内容,在评价指标的选取时还应遵循科学性和可操作性原则。

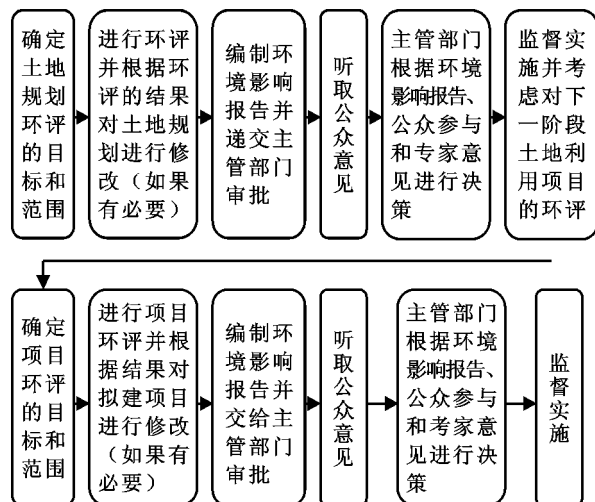


图 1 土地规划环评与建设项目环评在程序上的相似性

4.2.3 LUPEIA 指标体系的建立可以借鉴项目 EIA

土地利用规划的核心是土地利用结构的调整与空间布局,其结果将影响生态系统结构、区域性水资源调配、水资源数量分布与质量状况以及生物物种的结构与分布等因素,因此在对土地规划作环境影响评价时可以借鉴项目 EIA 关于水资源、生态系统以及生物多样性等方面的影响因素的确定,并把这些影响因素指标化,作综合评价。

参考文献:

- [1] 竹隰生,任宏,王家远,等.中国内地建设项目环境影响评价实践分析[J].重庆建筑大学学报,2001,(增刊):96-101.
- [2] 彭应登,王华东.战略环境评价与项目环境影响评价[J].中国环境科学,1995,15(6):452-455.
- [3] 贾克敬,谢俊奇,郑伟元,等.土地利用规划环境影响评价若干问题探讨[J].中国土地科学,2003,17(3):15-20.
- [4] 冯江,张妍,尚金城.项目环境影响评价与战略环境评价比较[J].云南环境科学,2001,20(增刊):120-123.
- [5] 杨枫,郑伟元,贾克敬,等.德国规划的环境影响评价方法和步骤评介[J].中国土地科学,2003,17(4):58-64.
- [6] 肖华山.规划环境影响评价指标体系及评价方法探讨[J].金属矿山,2003,(12):46-49.
- [7] 李书绅.战略环境评价与区域环境影响评价[J].中国环境科学,2002,20(suppl.):59-63.
- [8] 毛文锋,Peter Hills.环境影响评价,战略环境评价与可持续发展[J].中国环境科学,2000,20(Suppl.):90-94.
- [9] 卞正富,路云阁.论土地规划的环境影响评价[J].中国土地科学,2004,18(2):21-28.
- [10] 潘娣英,刘卫东.浅谈土地利用规划的环境影响评价[J].中国人口·资源与环境,2004,14(2):134-137.
- [11] 赖力,黄贤金,张晓玲.土地利用规划的战略环境影响评价[J].中国土地科学,2003,17(6):56-60.
- [12] 张金艳.我国战略环境影响评价立法现状评析[J].信阳师范学院学报(哲学社会科学版),2004,24(1):24-27.

(上接第 179 页)

- [8] 罗利芳,张科利,符素华.径流曲线数法在黄土高原地表径流量计算中的应用[J].水土保持通报,2002,22(3):58-61.
- [9] 张美华,王晓燕,秦福来.SCS 模型在密云石匣试验小区降雨径流量估算中的应用[J].首都师范大学学报(自然科学版),2004,25:155-158.
- [10] 王晓燕.非点源污染及其管理[M].北京:海洋出版社,2003.43-48.
- [11] 袁艺,史培军.土地利用对流域降雨-径流关系的影响--SCS 模型在深圳市的应用[J].北京师范大学学报(自然科学版),2001,37(1):131-136.
- [12] 冀雅珍.小面积区的集水径流计算方法[J].山西水利科技,2003,(4):66-67.
- [13] 张建云,何惠.应用地理信息进行无资料地区流域水文模拟研究[J].水科学进展,1998,9(4):345-350.
- [14] Budhendra Bhaduri, Jon Harbor, Bernie Engel, et al. Assessing watershed-scale, long-term hydrologic impacts of land use change using a GIS-NPS model[J]. Environmental Management, 2000, 26(6):643-658.
- [15] 福建省土壤普查办公室.福建土壤[M].福州:福建科学技术出版社,1991.

4.2.4 公众参与的方法和方式

公众参与是环境影响评价有效性的重要因素,在建设项目 EIA 过程中公众参与有多种形式:在大纲及报告书的审查阶段会邀请各有关部门如规划局、卫生局、国土局等的代表和有关专家学者参加讨论,这些部门代表及专家学者从某种意义上讲本身就是高层次的公众;普通公众也可就项目的环境影响问题通过上访、群众来信等方式向政府表达其参与的意见;另外,环评进行过程中,还会根据不同的需要以问卷调查的形式,让公众充分参与到环评中去^[1]。LUPEIA 由于其自身的特点,加大了公众参与的难度,但是可以借鉴项目环评的公众参与的方法和方式,让不同层次的公众参与到规划的不同阶段中。

总之,LUPEIA 的重点应该是对现状的评价和对各规划方案的评价,在对现状进行评价时,可以借鉴项目 EIA 的评价方法和评价指标。在对各规划方案进行评价时,可把评价指标分为三个层次:总目标层、环境目标层和评价指标层,对于环境目标层根据不同地区的环境状况和突出环境问题来确定,一般情况下应包括大气环境、水环境、生态、土地资源的规划与管理等几个方面。对于评价指标层的选择,应根据不同地区土地规划所涉及的内容、范围并结合《规划环境影响评价技术导则》(试行)来确定。对规划方案的选择可采用层次分析法对各方案进行综合评定,最后择优选取。

5 结 语

我国土地规划的环境影响评价是一个全新的领域,其评价方法的选择、指标体系的确定、研究的技术方法体系都处于探讨阶段。本文对如何借鉴国内外项目环境影响评价、战略环境影响评价的现有经验,如何建立科学的评价指标体系,如何更好的实现公众参与等问题,都作了一定的论述,希望能对土地规划的环境影响评价提供参考。