

文章编号: 1003 - 7578 (2008) 02 - 010 - 04

小流域水量水质综合模型模拟研究*

张 荔, 王晓昌

(西安建筑科技大学环境与市政工程学院, 西安 710055)

提 要:水箱模型也称 Tank 模型,是应用较为广泛的流域水文模型,模型将复杂的降水径流过程简单概化为流域的蓄水与出流关系进行模拟。针对皂河小流域的降水、径流和水循环等水文特性,建立了 4 层串联水箱模型,模拟流域的降水径流过程,计算流域径流量,并结合河流水质模型,综合模拟河流流量及主要水质指标变化。结果表明:各项指标的模拟值与实测值吻合较好,说明水箱模型用于小流域的径流模拟结果较为准确,可与水质模型耦合使用,综合模拟小流域的水文水质变化。

关键词:小流域; 径流; 水箱模型; 水质

中图分类号: X52

文献标识码: A

河川径流是气候、流域下垫面和人类活动等综合作用的结果。针对小流域的气候、地形、土地利用及流域下垫面等水文特征在空间上变化不大,包含的特征单元较少等特性,考虑降水的空间分布和流域下垫面条件的差异,借助集总式水文模型中的水箱模型,建立了水量水质综合模型,并应用于西安市皂河小流域,将皂河小流域划分为若干下垫面比较均匀的区域,在各区域上分别应用水箱模型,以水箱的蓄水深度边孔和底孔出流为控制,模拟流域的下渗、蓄水与产汇流,计算河流径流量,并结合一维对流扩散水质模型,模拟皂河的流量及水质变化。通过现场调查、实验室分析和模型模拟,探明皂河流域污染负荷分布特点,并根据分析结果预测未来年际的污染负荷变化。

1 研究小流域概况

皂河流域位处西安市中心,人口、工厂集中,皂河是渭河的一级支流,起源于长安区韦曲镇,由南向北穿过西安市区,最终汇入渭河,全长约 22.3 km,流域面积为 135 km²。该小流域由六村堡组住宅区东部、邓家村及北石桥污水集水区西部、韦曲组及纪阳组住宅区的全部区域组成,接纳这五个污水集水区已处理或未经处理的生活污水及工业废水,同时包括沣惠渠灌区,小型及井灌区和大峪水库灌区等 3 个主要农业灌溉区,由渭河

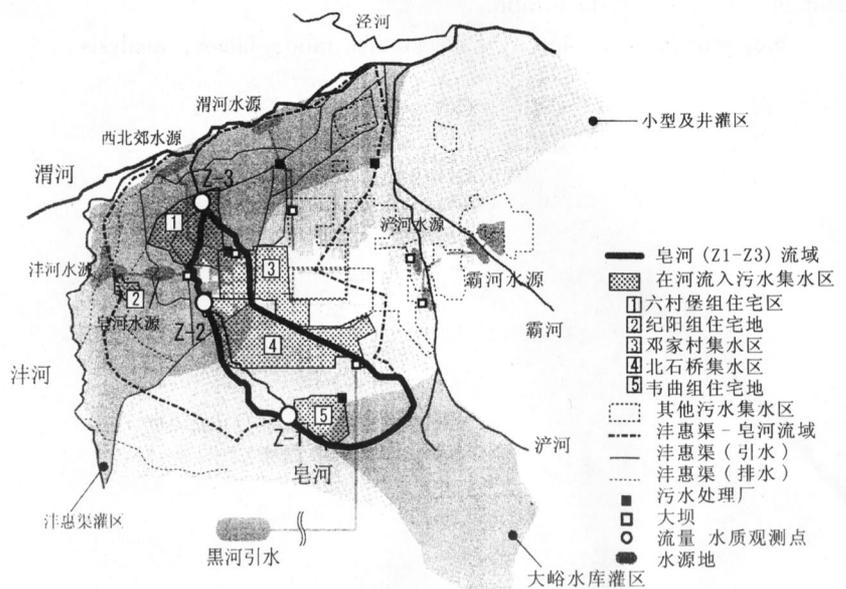


图 1 研究小流域 (皂河流域) 概图

Fig 1 The structure of tank model

* 收稿日期: 2006 - 12 - 01。

基金项目: 陕西省自然科学基金 (2006D06); 陕西省教育厅专项基金 (05JK249); 西安建筑科技大学青年基金 (QN0510)。

作者简介: 张 荔 (1971 -), 女, 陕西大荔人, 讲师, 博士研究生, 从事流域水文水质模型的教学研究工作。

西北郊水源,渭河北郊水源,沔河水源,皂河水源及黑河引水渠等共同供流域内用水。图 1 是本文研究设定的皂河流域概图。图中 Z1、Z2、Z3 是沿皂河的三个主要监测断面。

流域内的供水水源主要是渭河西北郊水源、渭河北郊水源、沔河水源、皂河水源及黑河引水渠,流域内的居民居住及工业区分六村堡组住宅区、纪阳组住宅地、邓家村污水集水区、北石桥污水集水区及韦曲组住宅区 5 个区域,其经处理或未处理的污水直接排入皂河。

2 水量水质综合模型构建

2.1 综合模型结构

图 2 为构建的水量水质综合模型结构图。模型中考虑以下各因素:降水、蒸发、径流等自然循环,生活、工业,农业的用水及排水,污染负荷产生及流入,河流流量变化,河流对污染物的自净作用等。由图可以看出,采用水箱模型模拟水及污染物的流出量,运动波模型计算河流流量,一维对流扩散方程模拟河流水质的变化。

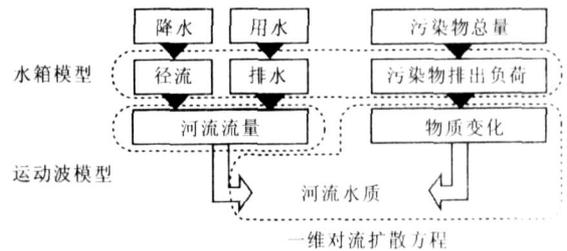


图 2 水量水质综合模型结构图

Fig 2 The frame of integrate model of water quantity and quality

2.2 水箱模型原理

图 3 是皂河流域 (Z1 - Z3 区间) 水量平衡模型。图中各种排水的流入位置,是根据图 1 中灌溉及污水集水区等的位置来确定的。为了研究方便,分别对每个灌区设定了 4 层串联水箱模型^[4],通过建立水箱模型,根据与地质信息等有关的数据来有效计算 3 个灌溉区的水量及污染物流出量,并对灌溉引水,灌溉排水,非自来水管供给地区的地下水利用,地下水排放进行相关分析。顶层水箱的出流代表地表径流,第二层水箱的出流代表壤中流,第三、四层水箱的出流分别代表浅层和深层地下径流,每层水箱的出流量相加即为径流出流量。

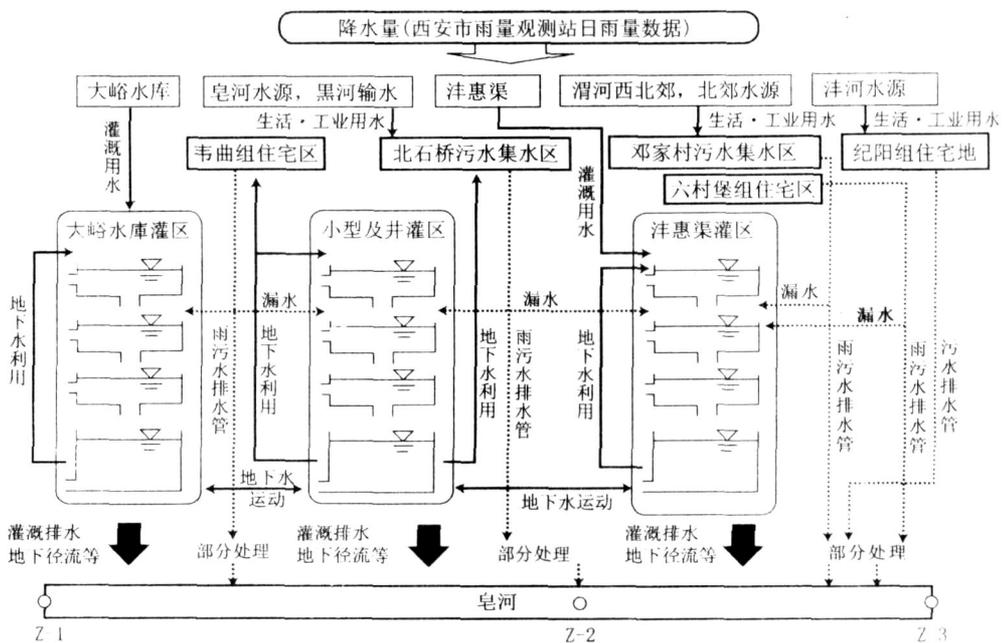


图 3 水箱模型基本结构图

Fig 3 The structure of tank mode

水箱模型也称坦克 Tank 模型^[1],是日本国立防灾研究中心于 60 年代初提出的,后经不断改进发展成为应用较为广泛的流域水文模型。模型将复杂的降水径流过程简单地概化为流域的蓄水与出流的关系进行模拟,以水箱的蓄水深度以边孔和底孔出流为控制,计算流域的下渗及产汇流过程,模拟整个流域的降水径流过程。

水箱模型的基本单元是一个蓄水水箱^[2],简单的水箱模型为一组垂直串联的水箱,每一个水箱旁边有

出流孔,底部有下渗孔,设有蓄水深度,通常最下层水箱只设一个边孔,无下渗孔和蓄水深度。假定某时刻有雨水进入顶层水箱,加上该水箱原有的蓄水深度,其和如果大于出流孔高度,则有出流,同时另一部分水量由下渗孔进入第二层水箱,再视该层的蓄水深度与出流孔高度,决定是否出流,依次类推。当有降雨时,雨水首先供给上层,直到上层饱和,剩余降雨作为第一层水箱的自由水,一部分下渗到第二层水箱,另一部分作为地表径流流出^[3]。图 1 中的三层串联水箱顶层水箱的出流代表地面径流,第二层水箱出流代表壤中流,第三层水箱出流代表浅层和深层地下径流。把每层水箱的出流量相加,就可得到 t 时刻的径流量。

同时,设定来自自来水管道的供给区域各水源的生活及工业用水取水以及雨水污水集水区域的排放路径,研究流入水箱模式排水管漏水的水量。采用西安市区 1993 - 2005 年日降水量作为模型输入数据,根据原单位法计算工业及生活排水的点源负荷,根据经验式计算施肥等灌溉排水的面源负荷。

2.3 河道汇流模型

根据研究流域内各灌溉区、居住区及工业集水区的位置确定各种排水流入皂河的位置,并对灌溉引水,灌溉排水,非自来水管道的供给地区的地下水利用,地下水排放进行相关分析,同时设定来自自来水管道的供给区域各水源的生活及工业用水取水以及雨水污水集水区域的排放路径,将河长为 22.3 km 的皂河研究河段划分为 223 个模拟计算区间,每个计算区间的长度为 0.1 km。

在每一个计算区间内采用运动波法,根据如下运动方程式确定皂河日流量。

$$\frac{\partial q_{\text{flow}}}{\partial x} + \frac{\partial a}{\partial t} - (P_a - E_v + Q_{\text{in}}) = 0 \quad (1)$$

$$R_{s0} - R_{sf} = 0 \quad (2)$$

式中, A: 河流断面面积 (m²); R_{s0}: 河底坡度; R_{sf}: 动水倾斜度。

图 4 为每个计算区间内的水量平衡图。图中各符号含义分别为: m: 计算区间代码, Q_{in}: 流入量 (m³/d), P_a: 降水量 (m²/d), E_v: 蒸发量 (m²/d), R_w: 河流宽度 (m), dx: 计算区间长度 (m), R_d: 河流深度 (m), R_s: 动水倾斜度 (河流坡度), q_{flow(m-1)}: 计算区间 m 的流入量 (m³/d), q_{flow(m+1)}: 计算区间 m 的流出量 (m³/d)。

依据数次现场实测的河流断面数据,设定河流宽度及河流深度的初始值,考虑降雨、蒸发及地下水位的变化来设定模型中主要参数的值,并以西安市 2005 年的日降水量数据作为水箱模型的输入数据,计算各灌溉区的径流流出量,各住宅区及工业集水区的排水量参照流域内不同部门用水及排水情况统计资料^[5]的年均值。

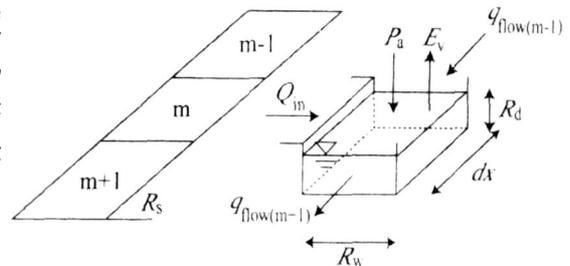


图 4 计算区间内的水量平衡图

Fig 4 Water balance of calculation segment

2.4 水质模型

河流水质模型采用如式 (3) 所示的一维对流扩散水质模型,模拟皂河的主要水质指标 (BOD, NH₄⁺ - N, NO₃⁻ - N) 的变化趋势。

$$\frac{\partial (AC_i)}{\partial t} + \frac{\partial (qC_i)}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x} (AD_L \frac{C_i}{\partial x}) - AF_i + Q_{\text{in},i} = 0 \quad (3)$$

式中, q: 流量 (m³/d); A: 河流断面面积 (m²); C_i: i 物质的浓度 (kg/m³); t 时间 (d); x: 流动距离 (m); D_L: 分散系数 (m²/d); f_i: i 物质转换速度 (kg/m³ · d); Q_{in,i}: 流入负荷量 (kg/d)。

3 模型模拟结果

图 5 为水量水质综合模型模拟的皂河研究河段流量及 BOD 变化趋势,并与 2005 年 12 月和 2006 年 2 月两次主要监测断面的实测值相比较。由图可以看出,模拟值与实测值比较接近。说明采用基于 4 层串联水箱模型的水量水质综合模型模拟皂河小流域的降水径流过程及水质变化过程是可行的。

图 6 为皂河研究河段 NH₄⁺ - N 及 NO₃⁻ - N 变化趋势模拟结果,并分别与 2006 年 2 月主要监测断面的实测值相比较。由图可以看出,各项水质指标的模拟值与实测值比较接近。说明在采用 4 层串联水箱模型及运动波法模拟皂河研究河段的流量变化趋势基础上,结合河流水质模型,模拟水质变化,达到了较好的模拟结果。

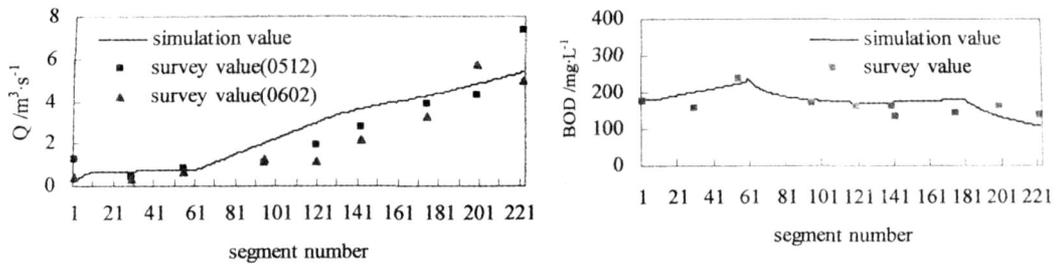


图 5 流量模拟及 BOD 模拟值和实测值对比

Fig 5 Contrast between simulation and survey value of BOD

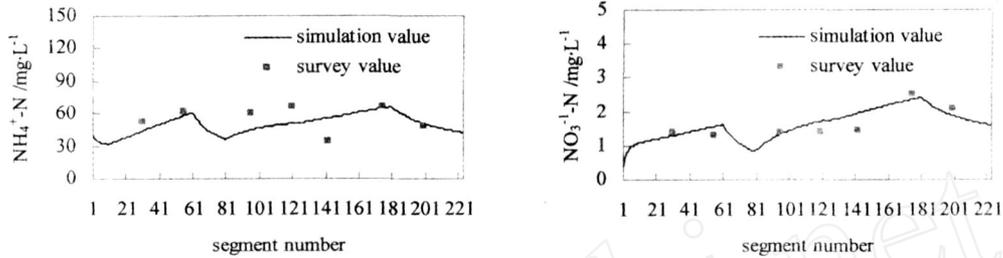


图 6 NH₄⁺-N, NO₃⁻-N 模拟值与实测值对比

Fig 6 Contrast between simulation and survey value of NH₄⁺-N, NO₃⁻-N

4 结论

(1) 针对位于西安的皂河小流域的水文特性,建立了 4 层串联水箱模型,模拟流域降水径流过程,并采用运动波法计算河道汇流量,并在径流模拟基础上,结合一维河流水质模型,综合模拟河流流量及主要水质指标的变化趋势。

(2) 模拟结果表明:径流模拟值与流量实测值比较一致,说明多层水箱模型在小流域径流模拟中取得较好的效果。各项主要水质指标的模拟值与实测值吻合也较好,进一步说明水箱模型用于小流域的径流模拟结果较为准确,可与水质模型耦合使用,综合模拟小流域的径流及水质变化。

参考文献

[1] 袁作新. 流域水文模型 [M]. 北京:中国水利水电出版社,1990.
 [2] 关志成. 寒区流域水文模拟研究 [D]. 南京:河海大学,2002.
 [3] Kamal A. R. Ismail, Janaina F. B. Leal, Mauricio A. Zanardi Models of Liquid Storage Tanks [J]. Energy. 1997, 22(8): 805 - 815.
 [4] 杨大文, 楠田哲也. 水资源综合评价模型及其在黄河流域的应用 [M]. 北京:中国水利水电出版社,2005.
 [5] 西安市统计局. 西安统计年鉴 [M]. 北京:中国统计出版社,1993 - 2003.

Study on Simulation of Integrated Model of Water Quantity and Quality in a Small Basin

ZHANG Li, WANG Xiao - chang

(School of Envir and Muni Eng, Xi'an Univ of Arch & Tech, Xi'an 710055, China)

Abstract

Being an extensively used hydrological model, tank model can simplify the complicated process of rainfall and runoff into the relation between water assessment, infiltration and outflow to simulate runoff in a basin. In this paper, a four layers tank model has been set up based on the hydrological characteristics of rainfall, runoff, and water recycle of a small drainage basin in Xi'an, and the runoff of Zaohe basin has simulated. Furthermore, the water quality model is combined to simulate the change of runoff and quality and compare the values between simulation and test results. The results show that tank model can better simulate runoff, and integrated simulation also is suitable for hydrology and quality change in a small basin.

Key words: small basin; runoff; tank model; water quality