

文章编号: 0559-9350 (2002) 12-0095-06

华北平原区地表水与地下水统一评价的二元耦合模型研究

谢新民¹, 郭洪宇², 唐克旺¹, 尹明万¹

(1. 中国水利水电科学研究院 水资源研究所, 北京 100044; 2. 水利部综合事业局水资源处, 北京 100053)

摘要: 在系统分析华北平原区“四水”转化机理和地下水补、径、排规律的基础上, 研究和提出一种基于“四水”转化水文模型和地下水数学模拟模型的二元耦合模型, 并结合安阳市水资源评价实例, 较好地解决了大埋深条件下平原区水资源统一评价问题, 为华北地区乃至全国开展第二次水资源评价工作进行了有益的尝试, 并积累了一些宝贵的经验。

关键词: 平原区; 水资源评价; “四水”转化水文模型; 地下水数学模拟模型; 二元耦合模型

中图分类号: TV213.9

文献标识码: A

华北地区人口和耕地面积分别占全国的 11%、14%, 工农业生产总值分别占全国的 14% 和 13%, 而水资源量却仅占全国的 1.9%。由于水资源与人口、耕地和经济发展格局极不匹配, 导致了水资源的掠夺性开发利用, 造成地下水位大幅度持续下降、开采降落漏斗范围不断扩大, 河道断流、湖泊干涸, 生态环境日趋恶化, 对社会经济与生态环境的协调、健康和可持续发展构成了严峻的挑战^[1]。华北地区经过四五十年大规模开发和建设, 水资源的开发利用格局和下垫面条件等发生了深刻变化, 目前单纯依靠水文资料及常规计算方法已很难正确评价人类活动影响下的水资源量及其时空分布规律, 探索和研制适用于人类剧烈活动影响下的平原区水资源统一评价模型, 为全国水资源的二次评价提供新的理论和技术途径, 乃是当务之急。本项研究主要是针对人类大规模活动影响下华北平原区下垫面条件和水循环规律的深刻变化, 首次将概念性水文模型与地下水动力学模型有机地结合起来, 建立起平原区地表水与地下水统一评价的二元耦合模型, 为解决大埋深条件下平原区水资源的精细评价提出一种新的方法。最后, 利用所建立的二元耦合模型成功地解决了河南省安阳市平原区水资源统一评价问题, 通过对二元耦合模型的参数率定和反演计算, 给出了大埋深条件下安阳市平原区水资源计算参数和精细评价结果, 为其他类似地区的水资源评价提供借鉴和参考。

1 平原区“四水”转化水文模型

1.1 “四水”转化关系的概念 “四水”转化关系是指“四水”(大气降水、地表水、土壤水、地下水)之间相互联系、相互依存、相互制约、相互作用和相互转化的关系。“四水”转化关系分析是根据水循环机理和水均衡原理, 以水文学径流形成理论为基础, 结合水文水资源的科学实验研究, 探求降水、径流、蒸发等要素的平衡关系和大气降水、地表水、土壤水及地下水之间的转化关系, 为估算区域产水量以及合理开发利用水资源提供依据。

1.2 “四水”转化水文模型结构 “四水”转化水文模型是建立在概念性水文模型基础上的一种用

收稿日期: 2001-08-27

基金项目: 国家基础研究重大项目(973 计划)支持(G1999043602)

作者简介: 谢新民(1963-), 男, 山东巨野人, 博士, 教高, 主要从事水资源综合评价、优化配置与可持续利用战略及实时监控管理等研究。

于地表水资源数量评估计算的工 具。在评价平原区地表水资源量时，必须考虑平原区特有的降水、地表水、土壤水与地下水之间的相互转化关系，农业灌溉工程类型、灌溉方式和灌溉制度，以及平原区特有的地下水补给和排泄的特点等，因此所建立的平原区“四水”转化水文模型是以平原区水循环和水均衡原理为基础^[2,3]，把降水、蒸发、地表水、土壤水、地下水以及农业灌溉等视为既相互联系又相互制约的子系统，建立一套严密完整的计算程序，在计算机上加以实现。平原区“四水”转化水文模型结构框图，如图 1 所示。

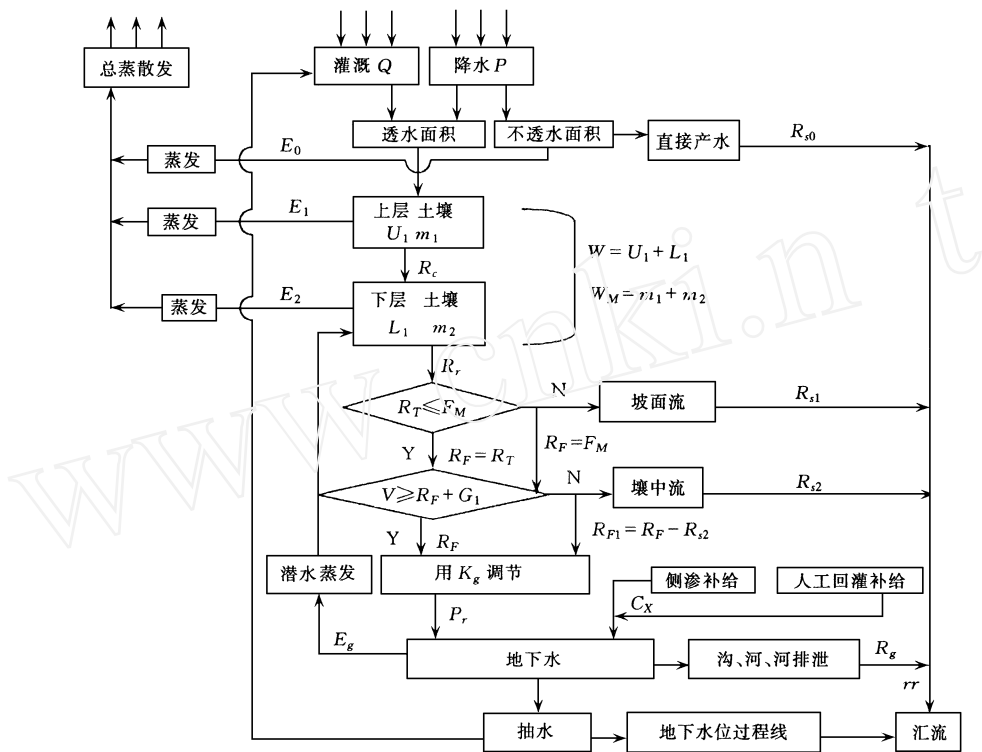


图 1 平原区“四水”转化水文模型结构框

2 平原区地下水数学模拟模型

地下水数学模拟模型^[4,5]，就是将复杂的水文地质条件概化为水文地质概念模型，并在此基础上抽象为数学模拟模型，用以定量描述地下水系统各变量和参数之间关系，并通过对模型的识别和验证，进一步检验模型对地下水系统的行为和功能的适应性。根据质量守恒定律和能量守恒定律，建立平原区地下水数学模拟模型为：

$$\operatorname{div}(T \operatorname{grad} h)=\mu \frac{\partial h}{\partial t}-W(x, y, t)+\sum_{j=1}^m Q\left(x_j, y_j, t\right) \cdot\left(x-x_j, y-y_j\right)$$

$(x, y) \quad ; t>0 \quad (1)$
$$h(x, y, t)|_{t=0}=h_0(x, y) \quad (x, y) \quad_1 \quad (2)$$
$$h(x, y, t)|_{_1}=h_1(x, y, t) \quad (x, y) \quad_1 ; t \geq 0 \quad (3)$$
$$(T \operatorname{grad} h \cdot \vec{n})|_{_2}=q(x, y, t) \quad (x, y) \quad_2 ; t \geq 0 \quad (4)$$

式中： h 为水位； Q 为抽水量； T 为导水系数； μ 为给水度； W 为垂向补排强度； δ 为单位脉冲函数； h_0 为初始水位； h_1 为第一类边界水位； q 为第二类边界上的单宽流量； \vec{n} 为第二类边界上单位外法线向量； Ω 为计算区域； L_1 为第一类边界； L_2 为第二类边界； $L=L_1+L_2$ 。

目前，求解数学模拟模型的方法主要有解析法和数值法，一般是利用解析法来分析野外抽水试验

资料，以确定有关的水文地质参数；而利用数值法来求解数学模拟模型，对地下水系统进行数值模拟，以达到精细评价、预测和管理地下水资源的目。

3 平原区水资源统一评价二元耦合模型

作为水资源系统的两个子系统——地表水子系统与地下水子系统之间关系十分密切，它们通过包气带土壤水的运移来发生物质和能量交换。为了充分发挥水文学方法和地下水动力学方法的优势，从机理上既能定量描述平原区地下水的动态变化规律，又能描述大气降水、地表水、土壤水和地下水之间的相互转化关系，本项研究从完整的水资源系统出发，将概念性水文模型和地下水动力学模型有机地结合起来，建立平原区地表水与地下水统一评价的二元耦合模型，以解决在人类剧烈活动影响下平原区水资源统一评价问题。

二元耦合模型中的任何一个模型——“四水”转化水文模型和地下水数学模拟模型都可以进行单独运算，但为了提高模型的运算效率和计算精度，借助于两模型公共参数和参量等信息的传输和反馈功能，将其建成一个二元耦合模型，通过模型之间的耦合运算，可以更充分地利用已有的资料和信息资源，确保有关参数和参量的共享与相互验证，进一步提高人类剧烈活动影响下平原区水资源评价的精度和效率。为了实现“四水”转化水文模型和地下水数学模拟模型的耦合运算，需要根据这两个模型的结构和特点，首先要设置时间转换器^[6]，将两模型中的各种参量（降水入渗补给量、渠灌入渗补给量、井灌回归补给量、河流入渗补给量、侧向补排量、地下水开采量和渠灌引水量、降水量等）的转换式写成一个通用的数学表达式：

$$W_j = \sum_{i=1}^{n_j} Q_{ij} \quad (j = 1, 2, \dots, n) \quad (5)$$

以解决两模型计算时段不统一的问题。

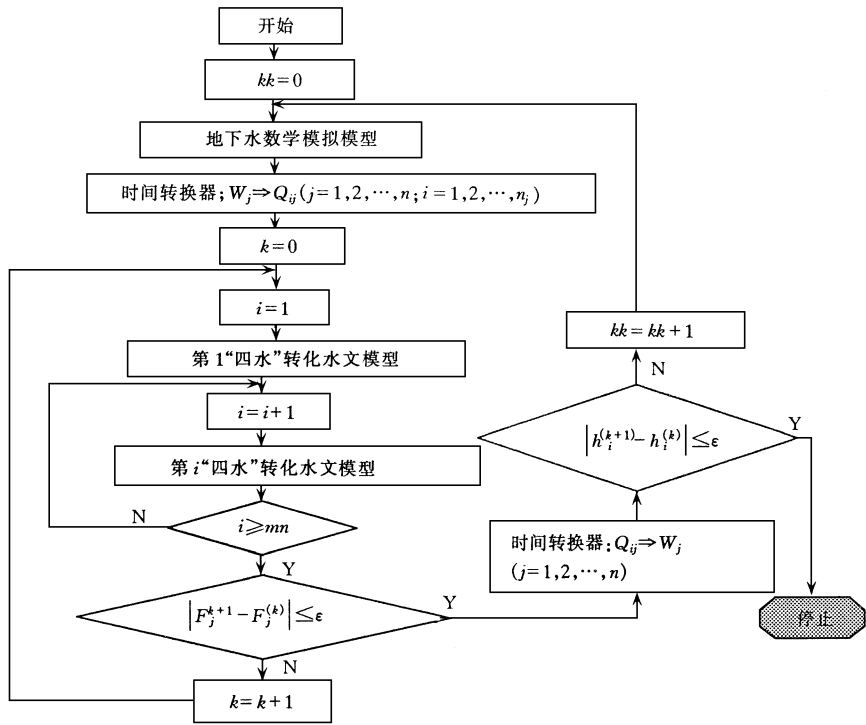


图2 二元耦合模型计算流程框

式中： W_j 、 Q_{ij} 分别代表地下水数学模拟模型的各种参量和“四水”转化水文模型相应的各种参量； i 为时间转换因子； j 、 n 分别表示地下水数学模拟模型第 j 计算时段和计算时段数； i 表示“四

水”转化水文模型第 i 计算时段; n_j 表示地下水数学模拟模型第 j 计算时段的“四水”转化水文模型计算时段数。

最后, 利用 FORTRAN77 语言编制二元耦合模型的计算程序, 在计算机上就可以利用系列实测资料对耦合模型进行识别、验证和分析计算。其计算流程框图, 如图 2 所示。

4 模型计算结果

本次选择安阳市作为重点研究区域^[7], 利用所建立的二元耦合模型对安阳市平原区水资源进行精细计算和统一评价。通过对降水系列资料分析发现, 1993 ~ 1998 年短系列多年平均降水量与 1956 ~ 1998 年长系列的均值大致相同, 即说明安阳市 1993 ~ 1998 年降水量短系列资料具有较好的代表性。因此, 选用安阳市 1993 ~ 1998 年降水、地下水动态、河川径流等实测资料和供用水调查统计资料对二元耦合模型进行率定和精细反演计算, 确定模型的各种计算参数和参量。其中部分模拟计算结果, 列于表 1 ~ 3 中。根据表 2 和表 3 中各流域四级分区的径流系数、行政三级区各种补排量, 计算出在现状下垫面条件下安阳市平原区地表水资源量 (1956 ~ 1998 年)、地下水资源量、重复计算量和水资源总量, 见表 4。从表 4 中可以看出, 安阳市平原区水资源总量为 6.86 亿 m^3 , 其中地表水资源量为 1.37 亿 m^3 , 地下水资源量为 10.35 亿 m^3 , 重复计算量为 4.87 亿 m^3 。平原区的径流系数为 0.057; 产水系数和产水模数分别为 0.280、15.52 万 m^3/km^2 , 分别是 1998 年全国平均产水系数 (0.50)、产水模数 (35.86 万 m^3/km^2) 的 56 %和 43 %, 是河南省的 74 %和 45 %。

表 1 模拟识别出的水文地质参数值

参数分区	导水系数 $T/ (m^2/d)$	给水度 μ	降雨入渗补给系数 $*$	井灌回归补给系数 井	渠灌入渗补给系数 渠
	4500	0.202	0.207	0.1138	0.1119
	3200	0.182	0.224	0.1272	0.1279
	3000	0.152	0.214	0.1197	0.1191
	1800	0.120	0.216	0.1148	0.1196
	1600	0.110	0.228	0.1159	0.1246
	1600	0.111	0.216	0.1138	0.1196
	1800	0.121	0.224	0.1186	0.1246
	1500	0.121	0.224	0.1154	0.1196
	1300	0.110	0.216	0.1159	0.1241
	1200	0.115	0.139	0.1148	0.1207
	1500	0.106	0.173	0.1127	0.1180

*表中所列的降雨入渗补给系数值, 系当降雨量大于 300mm 且小于 500mm 时的降雨入渗补给系数。

表 2 安阳市平原区地表水的主要模拟结果 (1993 ~ 1998 年)

流域三级分区	多年平均降水量/mm	多年平均天然径流量/亿 m^3	径流系数
卫河平原区	566.47	0.81	0.058
金堤河区	514.99	0.51	0.055
徒马河区	514.99	0.01	0.055
合计	530.51	1.33	0.057

表3 安阳市平原区地下水的主要模拟结果 (1993~1998年)

(单位: 亿 m^3)

	补排量	安阳市区 (郊)	安阳县	滑县	内黄县	汤阴县	合计
补给项	降水补给量	0.3593	0.7875	2.1603	1.5109	0.6689	5.4869
	井灌补给量	0.2313	0.2741	0.5754	0.4390	0.2428	1.7626
	渠灌补给量	0.0106	0.2168	0.0518	0.0104	0.0131	0.3028
	河流补给量	0.1548	0.5027	0.7992	0.3194	0.4266	2.2027
	外边界补给量 *	0.2889	0.6640	0.5889	0.2590	0.5610	2.3619
	合计	1.0449	2.4451	4.1756	2.5387	1.9124	12.1169
排泄项	地下水开采量	2.0453	2.7513	5.0573	3.8833	1.3854	15.1226
	外边界排泄量 *	0.0000	0.1550	0.0055	0.0059	0.0959	0.2622
	合计	2.0453	2.9063	5.0628	3.8892	1.4813	15.3848

* 外边界系指安阳市与邻近外市县区接壤的边界; 而内边界则指安阳市各县、市区 (郊) 之间接壤的边界。由于内边界的地下水侧向补给量和排泄量除安阳县与安阳市区 (郊)、汤阴县之间较大外, 其他一般比较小, 可忽略不计。

表4 安阳市平原区各行政分区水资源量计算结果 (单位: 亿 m^3 、万 m^3/km^2)

	安阳市区 (郊)	安阳县	滑县	内黄县	汤阴县	合计
地表水资源量	0.06	0.23	0.56	0.35	0.18	1.37
地下水资源量	0.81	2.17	3.60	2.10	1.67	10.35
重复计算量 *	0.45	1.38	1.44	0.59	1.00	4.87
水资源总量	0.42	1.02	2.72	1.86	0.85	6.86
径流系数	0.060	0.054	0.054	0.055	0.068	0.057
产水系数	0.417	0.238	0.263	0.293	0.319	0.280
产水模数	23.73	13.61	14.99	16.03	16.39	15.52

* 重复计算量是指平原区地下水转化补给量, 包括侧向径流补给量、河床潜流补给量、河流渗漏补给量和渠灌入渗补给量等。

5 结语

通过平原区地表水与地下水统一评价二元耦合模型的实际应用, 可以得出以下结论: (1) 平原区水资源统一评价二元耦合模型, 把“四水”转化水文模型和地下水数学模拟模型耦合在一起, 充分发挥了概念性水文模型和地下水动力学模型的各自优点, 并拟补了各自的不足或缺陷, 从而实现了既可定量描述平原区地下水的动态变化规律和又可定量刻画大气降水、地表水、土壤水和地下水之间的相互转化关系。(2) 平原区二元耦合模型充分利用了降水和地下水动态、供用水等系列资料, 确保了有关参数和参量反演计算的精度, 实现了成果的共享与相互验证, 进一步提高在人类剧烈活动影响下平原区水资源评价结果的可信程度。(3) 安阳市平原区多年平均降水量 (1956~1998年) 为 554.7mm, 比第一次水资源评价的结果 (1956~1979年) 偏少 7%, 而地表水资源量为 1.37 亿 m^3 , 比第一次水资源评价结果偏少 55%。这从一个侧面说明, 安阳市平原区水资源的衰减是比较显著的。因此, 对水资源进行动态评价是十分必要的。

参 考 文 献:

- [1] 谢新民, 等. 半干旱半湿润地区枯季水资源实时预测理论与实践 [M]. 北京: 中国水利水电出版社, 2000.
- [2] 张世法, 等. 平原区水资源及其相互转化关系的估算 [M]. 北京: 水利电力出版社, 1978
- [3] 沈振荣, 等. 水资源科学实验与研究 [M]. 北京: 中国科学技术出版社, 1992.

- [4] 谢新民. 地下水资源系统多目标管理模型及模糊带权二次规划方法 [J]. 水文地质工程地质, 1993, 20 (4): 17 - 21.
- [5] 谢新民, 周之豪. 地下水资源系统多目标模糊管理模型研究 [J]. 水利学报, 1995, (8): 33 - 38.
- [6] 谢新民. 水电站水库群与地下水资源系统联合运行多目标管理模型及计算方法 [J]. 水利学报, 1995, (4): 13 - 24.
- [7] 谢新民, 张海庆, 等. 河南省安阳市水资源综合评价 [R]. 中国水利水电科学研究院研究报告, 2001.

Dual coupled model for integrated assessment of surface water and groundwater in North China Plain

XIE Xin-min¹, GUO Hong-yu², TANG Ke-wang¹, YIN Ming-wan¹

(1. China Institute of Water resources and Hydropower Research, Beijing 100044, China;

2. Ministry of Water Resources, Beijing 100053, China)

Abstract: Based on comprehensive analysis on circulation mechanism of four kinds of water (water in air, soil water, surface water and groundwater), rules of groundwater recharge, movement and discharge, a model coupling the hydrological model and mathematical simulation model for groundwater is developed. The model is calibrated by the data obtained from Anyang City, Henan Province and applied to the assessment of water resources. The result indicates that this model is suitable to the water resources assessment in condition of deep buried groundwater in plain area.

Key words: plain; water resources assessment; circulation of four kinds of water; hydrological model; groundwater mathematical simulation model; dual coupled model

(上接第 94 页)

Interpolation model for comprehensive evaluation of water quality

JIN Ju-liang¹, DING Jing², WEI Yi-ming³, FU Qiang²

(1. Hefei University of Technology, Hefei 230009, China; 2. Sichuan University, Chengdu 610065, China;

3. Institute of Policy & Management, CAS, Beijing 100080, China)

Abstract: Based on the Shepard interpolation technique, a new model for comprehensive evaluation of water quality, namely SP model, is proposed. The accelerating genetic algorithm (AGA) is applied to establish the model. A method for creating series samples for standard water quality grades according to the water quality evaluation standard table is suggested. SP model is easy to use and very effective.

Key words: comprehensive evaluation; water quality; interpolation technique; similarity; genetic algorithm