

太原盆地地下水数值模拟

董少刚¹, 唐仲华¹, 马 腾¹, 梁 杏¹, 韩 颖²

(1. 中国地质大学(武汉)环境学院, 湖北 武汉 430074; 2. 山西省地质调查院, 山西 太原 030001)

摘要 在分析太原盆地松散沉积层水文地质条件及钻孔资料(343 个)的基础上, 确立盆地地下水三维流动特征, 建立太原盆地松散沉积层的地质结构模型、地下水的三维流动数学模型, 应用数值模拟方法再现了太原盆地地下水流动的时空变化规律。结果表明, 太原盆地地下水多年平均补给量在 8 亿 m³ 左右, 近 10 年每年平均超采量在 0.8 亿 m³ 左右。

关键词 太原盆地 地下水 数值模拟

中图分类号 P641.2 J0241 **文献标识码** A **文章编号** 1004-6933(2009)02-0025-03

Numerical simulation of groundwater flow in Taiyuan Basin

DONG Shao-gang¹, TANG Zhong-hua¹, MA Teng¹, LIANG Xing¹, HAN Ying²

(1. School of Environmental Studies, China University of Geosciences, Wuhan 430074, China; 2. Shanxi Institute of Geological Survey, Taiyuan 030001, China)

Abstract By analyzing the hydrogeological conditions of the loose sediment and boring data (343 bores) in Taiyuan Basin, a geological structural model and a 3D groundwater flow mathematical model based on the flow characteristics were established. The models successfully reproduced the dynamic processes of groundwater flow during the simulation period. The results show that the annual average water resource recharge is about 800 million m³, and about 80 million m³ of groundwater have been overexploited every year for the last ten years in Taiyuan Basin.

Key words Taiyuan Basin; groundwater; numerical simulation

太原盆地位于山西省中部, 是山西省重要的经济及能源基地, 是我国典型的水资源缺乏地区, 地下水资源是该地区重要的工农业及生活用水来源。太原盆地部分地区由于过量开采地下水, 已经造成了严重的环境地质问题^[1-2]。为了合理、有效地开采太原盆地地下水资源, 有关学者曾经对太原盆地地下水资源进行过许多研究^[3-5]。

从已有的研究成果看, 以前研究多集中在太原市周围部分地区, 且多是对浅层水研究, 对整个盆地及深层地下水评价研究很少。为此, 本文将在以往水文地质研究工作的基础上, 结合本次调查研究的资料, 建立完整的太原盆地地下水流动系统三维数值模型, 对太原盆地地下水资源优化配置做合理的评价。

1 地下水系统结构特征及流动概念模型

1.1 自然地理及地质条件

太原盆地位于山西省中部, 北起石岭关, 南到韩侯岭, 东西以边山断裂为界, 为一北东向的断陷盆地。盆地南北长 200 多 km, 东西宽 12 ~ 40 km, 面积 6 159 km²。盆地海拔 700 ~ 900 m, 是省内最大的断陷盆地之一(图 1)。太原盆地属暖温带半干旱季风大陆性气候, 一年四季分明。多年平均降雨量约为 425 ~ 520 mm, 多年平均蒸发量约为 1 780 mm。

1.2 地下水系统特征及概念模型

太原盆地是在大型复式向斜基础上断陷成盆的新构造单元, 呈北东向镶嵌于沁水复式向斜的北隅, 其北部为北东向的五台复背斜, 西部与东部分别为

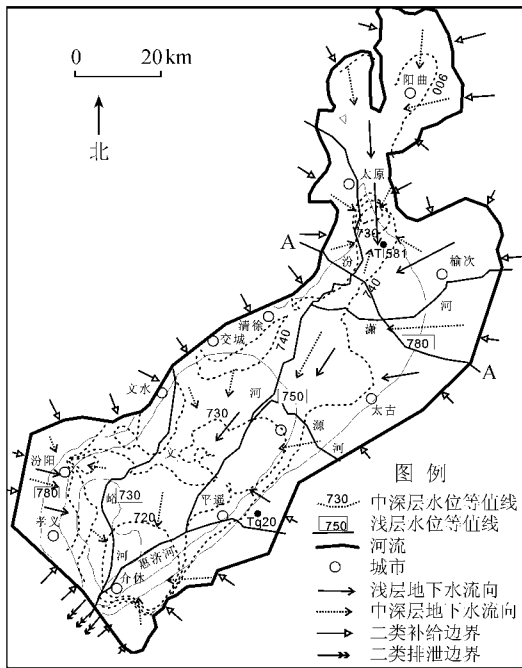


图1 太原盆地地下水系统水文地质概念模型

为南北向的吕梁复背斜和太行复背斜。盆地内堆积有很厚的新生界松散岩层。由于新构造运动的差异,盆地内各时代沉积物繁多,岩相及厚度变化大,主要为河流出山后在盆地周边形成大小不等的洪积扇群和中部的汾河冲积平原。汾河、文峪河、潇河等较大洪积扇的上部,含水层厚度大,多为沙砾石,富水性强,地下水更新较快;洪积扇的下部和扇间洼地,含水层薄,多为粉细砂及亚砂土,富水性一般。汾河冲积平原中、南部含水层薄且多为粉细砂及亚砂土,富水性、传输功能都较弱。

依据水文地质条件,研究区内地下水径流基本走向是由盆地周边流向盆地中心,向南汾河出盆地处(介休市)是唯一的自然排泄出口(图1)。依据三维地质模型揭示的岩性变化,研究区可概化为8层,各层都是非均质各向异性。由于各弱透水层均不完整(有许多天窗、断层联结各含水层,图2),因此整个盆地地下水具有统一的水力联系,因而太原盆地地下水流动系统应概化为三维非稳定流动系统。

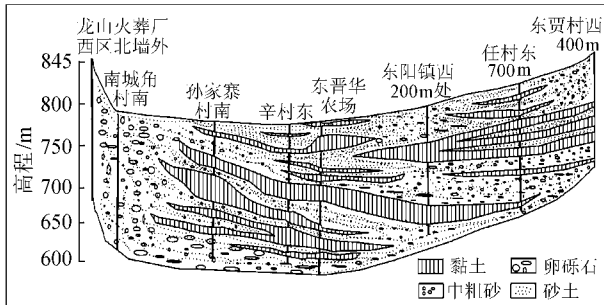


图2 太原盆地水文地质剖面图
(位置见图1A-A剖面)

2 地下水数值模型

2.1 数学模型

根据研究区的水文地质概念模型,将本区地下水可概化为非均质各向异性的三维非稳定流动问题,其数学模型

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(k_x \frac{\partial h}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k_y \frac{\partial h}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k_z \frac{\partial h}{\partial z} \right) + W = \mu_s \frac{\partial h}{\partial t}$$

$$h(x, y, z, 0) = h_0(x, y, z)$$

$$h|_{B1} = f(x, y, z, t)$$

$$k \frac{\partial h(x, y, z, t)}{\partial n} \Big|_{B2} = q(x, y, z, t)$$

式中: k_x 、 k_y 、 k_z 分别为 x 、 y 、 z 方向上的渗透系数, m/d ; h 为水头, m ; W 为源汇项, $1/d$ (小于 0 为汇, 大于 0 为源); μ_s 为单位储水系数, $1/m$; t 为时间, d ; h_0 为研究区各层初始水头值, m ; $B1$ 为研究区各层的一类边界, $f(x, y, z, t)$ 为 $B1$ 上的已知水头函数; $B2$ 为研究区二类边界; q 为研究区各层第二类边界上的单位面积流量, m^3/d , n 为边界处外法线方向。 k 为边界法线方向上的渗透系数, m/d 。

2.2 初始条件及边界条件

此次调查收集到了 1990 ~ 1998 年的连续水位观测资料和 2003 年 8 月和 12 月分别在研究区做过的 2 次水位统测资料。选用 1990 年 1 月全区的观测水位作为识别时的初始流场,用 1990 ~ 1994 年的连续观测数据作拟合。用 1995 ~ 1998 年的连续观测数据及 2003 年 8 月、12 月的统测水位做检验。

研究区的边界条件为:

侧向边界 地下水数值模型边界取在盆地孔隙岩层与周边基岩山区接触处,侧向边界采用流量边界。

上边界 开放的自由潜水面边界。

底边界 根据已有的剖面和钻孔资料,通过对 300 m 深度以上盆地深部孔隙水进行敏感性模拟分析,确定底边界为盆地 300 m 深处,第四系超过 300 m 深的区域,底边界设置为零流量边界。

2.3 参数分区

本次研究对渗透系数、降雨入渗系数、地下水蒸发量、地表水体(河流、水库、湖泊等)渗漏补给量及地下水开采量的处理方法参考文献[6]。

本次研究,应用 GMS (groundwater model system) 6.0 中的 MODFLOW 模块求解上述数学模型。整个研究区在平面上剖分成 110×110 的矩形网格单元,在垂向上剖分成 8 层(底部埋深 300 m 左右)。研究区共有有效单元 32 000 个,每个单元的最大边长少于 1 000 m (图 3)。时间步长为 1 d。

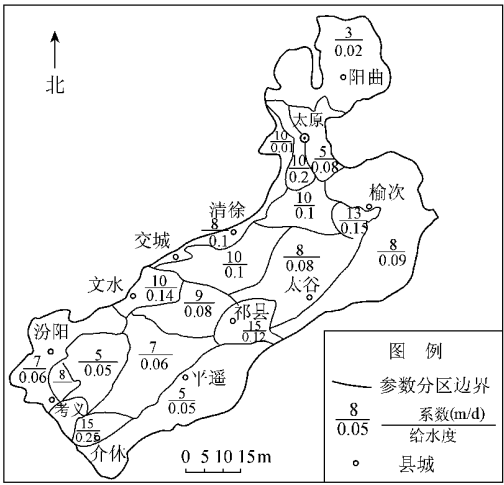


图3 第1层渗透系数、给水度分区

2.4 模型识别及检验

本次共收集到主要含水层(第1层及第3层)的32个常观孔的常观资料,用做拟合和检验,其中第1层11个,第3层观测孔21个。见图4。

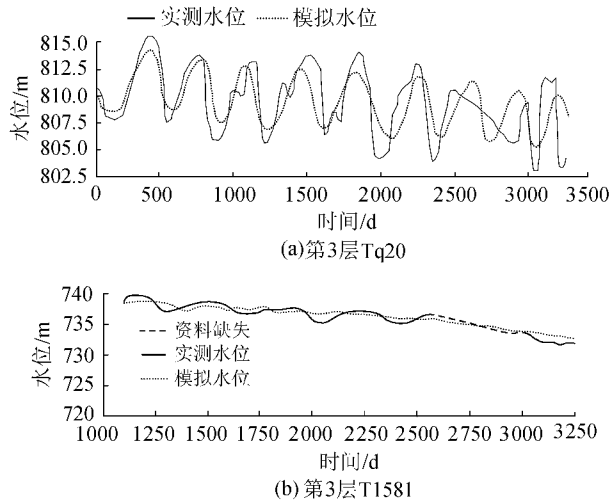


图4 动态水位拟合曲线(观测孔位置见图1)

表1 观测孔动态水位拟合结果统计

观测孔类型	模拟时段内降深/m	观测孔数量/个	拟合平均误差小于0.5 m的孔/个	拟合误差小于降深10%的孔/个	达标百分比/%
第1层		7	5		
第3层	<5	8	8		87
第1层		4		3	
第3层	>5	13		10	76

从表1看,降深<5m的孔拟合较好,降深>5m的中深层孔有3个受附近开采井影响太大,变化剧烈拟合较困难。

其他含水层的观测孔(127个)没有连续观测数据,只收集到了某时刻的统测水位,因此利用模型在此时刻的模拟数据与观测数据对比,检验模型的可靠性。检验结果显示,85%的观测点的拟合误差不超过0.3m,13%的观测孔拟合误差不超过0.5m,只

有在水源地剧烈开采区的3个孔拟合误差在1m左右。总体模拟结果满足国家标准[7]。

图5分别给出的是2003年10月第1层与第3层观测水位与计算水位的比较,从图上看计算流场与观测流场符合较好,地下水水头变化趋势一致。第3层的730m等值线,在盆地中部计算值与观测值有一定的误差,据分析是盆地中部水位埋深浅,易受降雨、蒸发影响的原因。总体上模型能够真实地反映地下水流场变化规律,模型合理可靠。

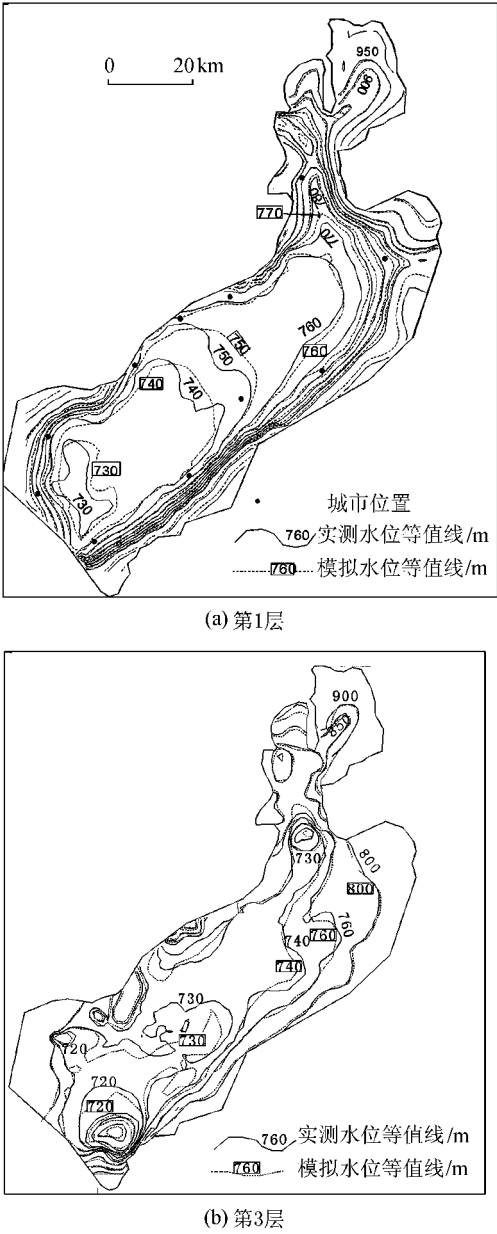


图5 各层计算流场与观测流场比较

3 水量计算结果

由计算结果看(表2),太原盆地地下水量目前已经处于严重超采状态,2002年超采量在0.8亿m³左右,因此合理调整开采量对太原盆地的经济发展具有重要的意义。(下转第94页)

太湖流域 COD 排放权交易,不仅仅是治理环境污染的尝试,对于东江水源环境保护也同样有启发意义。更重要的是,在东江水源环境保护所相连的利益相关方中,即包括了社会主义市场经济体制下的中国内陆,也包括了一国两制下的香港特区,采用市场机制实现这一跨越特殊区域的水资源有效管理是合理可行的。

c. 建立严格的奖惩制度,通过重奖重罚来增强企业达标排放的责任和重视性。前已所述,现有制度体系中对企业超标排污的惩罚力度和减污奖励对于很多企业而言,占其成本比例非常低,从而在单纯的成本-效益模式下,无法引起企业的足够重视,往往一罚了之,照常排污。因而,要着力研究适合的奖惩体系,形成罚款到刑事责任的递结层次,并将其纳入各种东江水源保护管理制度的修编之中,完善法律法规体系,从政策层面规范约束排污行为。

d. 建立政府正确行使决策权的绿色 GDP 考核指标体系,从源头上杜绝污染的发生。目前,在东江源头区建立了初步的绿色 GDP 考核体系,而在东江中下游地区依然是以 GDP 作为政绩考核主要指标。依据绿色 GDP 核算方法(如 2004 年国家环境保护总局发布的《中国绿色国民经济核算研究》),逐步完善并将这一核算要求纳入东江水源保护的各级责任部门,依据其管辖范围的不同,制定可操作性强的绿色 GDP 考核指标体系。

e. 提升技术支援权,政策上要扶持环保产业的

(上接第 27 页)

表 2 2002 年太原盆地地下水均衡计算结果

亿 m ³ /a										
补给量						排泄量				
降水入渗	侧向流入	河道水	渠道渗漏	灌溉回渗	总补给量	潜水蒸发量	开采量	基排河排量	总排泄量	
3.1	2.1	0.32	1.28	0.62	7.42	1.2	6.9	0.18	8.28	

4 结 论

太原盆地内堆积有很厚的新生界松散岩层,由于新构造运动的差异,盆地内各时代沉积物繁多,岩相及厚度变化大,很难把含水层划分为层状结构。以前的研究均把盆地内地下水概化为二维或准三维(越流模型)模型,这与盆地地下水的本质流动特征有区别。在充分分析太原盆地水文地质条件的基础上,确立了太原盆地地下水的三维流动特征,建立了完整的太原盆地地下水的三维流动数学模型。

应用检验后的模型评价了太原盆地地下水资源

发展,利用多渠道进行融资,提高环境监测的技术水平,使经济欠发达地区和经济发达地区共同进步。一方面,通过设立专项科研基金,用于提高环境科技水平;另一方面,要利用产学研优势,在广东省产业转移的政策背景下,在不同地区引进特色环保产业,尤其是东江上游地区,依赖环境科技进步,提升技术支援水平,促进经济发展和环境保护相协调。

f. 充实制度内容,将污染事故应急体系纳入制度体系。针对近些年突发性污染事故频发的现象,需要形成相应的责任体系,对引发突发性污染事故的有直接或者间接关系的单位或个人明确责任,同时还要赋予不同部门明确的突发性污染事故组织权、协助权、处理权,做到有法可依,违法必究。这种事故应急体系从内容上需要涵盖应急管理组织建设、信息交换系统建设、严重程度分级评估和处理行动预案建设、应急处理流程等方面。

参考文献：

[1] 张立. 东江流域上下游经济协调发展研究[J]. 人民珠江,2002(4) :5-7.
[2] 张荣峰,胡立平. 东江源区水资源问题与防治对策探讨[J]. 水资源保护,2004(5) :49-51.
[3] 张树强. 西枝江流域水环境质量评价及污染防治[J]. 广东水利水电,2006(5) :57-59.
[4] 何建宗,许智超. 可持续发展影响评估——东江水的跨区管理研究[J]. 中国环境科学,2000,20(S1) :39-43.

(收稿日期 2007-08-04 编辑 高渭文)

量,得出太原盆地地下水多年平均补给量在 8 亿 m³左右,近 10 年每年平均超采量在 0.8 亿 m³左右。

参考文献：

[1] 苏宗正,郝何龙,侯廷爱,等. 太原盆地的地裂及其灾害[J]. 山西地震,2000(3) :1-5.
[2] 王银梅. 太原市地面沉降初探[J]. 中国地质灾害与防治学报,1997,8(1) :51-55.
[3] 蒋业放. 山西太原地下水流系统数值模拟[J]. 河北地质学院学报,1996,19(3-4) :280-384.
[4] 吴吉春,薛禹群,张志辉,等. 太原盆地地下水污染数值模拟[J]. 南京大学学报:自然科学版,1997,33(3) :392-401.
[5] 朱峰,黄海,薛禹群,等. 越流含水层系统地下水有毒元素污染数值模拟——以太原盆地地下水汞污染为例[J]. 环境科学,1999,20(1) :55-58.
[6] 董少刚,唐仲华,马腾,等. 大同盆地地下水数值模拟及水资源优化配置评价[J]. 工程勘察,2008(3) :30-35.
[7] GB/14497—93,地下水资源管理模型工作要求[S].

(收稿日期 2007-10-08 编辑 高渭文)