

地下水变值系统在水资源优化管理中的应用

——以汾河研究区为例

34-36.47

杨保全, 龚友平, 叶合欣

(河海大学土木工程学院, 南京 210098)

TV211.12

P649.8

摘要:介绍地下水变值系统观点的主要内容,并将这一理论应用于汾河研究区水资源的优化管理中,建立了研究区多目标多层次水资源优化管理模型,从而求得不同开采水平或不同地下水埋深条件下的不同优化结果,指出水资源变值系统观点在研究区水资源规划决策中必须给予充分考虑和重视。

关键词:水资源管理;地下水变值系统;开采水平;多目标;优化管理

中图分类号:TV211.1+2

文献标识码:B

文章编号:1006-7647(2000)01-0034-03

1 地下水变值系统简介

以往对研究区进行水资源计算、评价及优化管理,普遍认为地下水资源为常量,即把多年平均降雨量作为研究区地下水可开采的水资源总量,以此为基础对研究区进行规划管理,得出的结论与实际情况并不符合,主要原因是目前地下水资源超采严重,降落漏斗不断扩大,地下水可开采资源并非常量,它随开采水平、开采程度或者说地下水埋深的变化而变化。通过大量试验研究认为:地下水资源为一变值系统,这一变值系统的主要观点包括三方面含义,即水文及水文地质参数变值系统;地下水资源量变值系统;地下水最佳埋深变值系统。

1.1 水文及水文地质参数变值系统

水文及水文地质参数变值系统主要研究给水度、降雨入渗补给系数、灌溉入渗补给系数、河渠入渗补给系数。传统的观点认为这些参数是常数,但地下水变值系统则认为是随埋深而变的变数,通过在汾河灌区取原状土用筒测法进行大量试验研究各参数,其拟合关系表达式如下^[1]:

$$\mu(\Delta) = a_{\mu}\Delta^{b_{\mu}} \quad 0 < \Delta < H_k, b_{\mu} \geq 1 \quad (1)$$

$$\alpha(\Delta) = a_{\alpha}\Delta^{b_{\alpha}}e^{-c_{\alpha}\Delta} \quad (2)$$

$$\beta(\Delta) = a_{\beta}\Delta^{b_{\beta}}e^{-c_{\beta}\Delta} \quad (3)$$

$$\gamma(\Delta) = a_{\gamma}\Delta^{b_{\gamma}}e^{-c_{\gamma}\Delta} \quad (4)$$

式中: $\mu(\Delta)$ 、 $\alpha(\Delta)$ 、 $\beta(\Delta)$ 、 $\gamma(\Delta)$ 分别表示变值系统给水度、降雨入渗补给系数、灌溉入渗补给系数、河渠入渗补给系数; H_k 为岩土中最细毛管水的最大上

升高度,m; Δ 为地下水埋深,m; a_{μ} 、 b_{μ} 、 a_{α} 、 b_{α} 、 c_{α} 、 a_{β} 、 b_{β} 、 c_{β} 、 a_{γ} 、 b_{γ} 、 c_{γ} 均为待定系数。

1.2 浅层地下水资源量变值系统

浅层地下水资源量亦是一个随地下水埋深而变的变数,在不考虑越流补给条件下,地下水补给模型为

$$R_{gT}(\Delta) = P_{YT}(\Delta) + W_{YT}(\Delta) + Q_{YT}(\Delta) + Q_{CT}(\Delta) \quad (5)$$

式中: $R_{gT}(\Delta)$ 为多年平均浅层地下水资源补给量,随埋深而变, m^3 ; $P_{YT}(\Delta)$ 、 $W_{YT}(\Delta)$ 、 $Q_{YT}(\Delta)$ 、 $Q_{CT}(\Delta)$ 分别表示多年平均降雨入渗补给量、灌溉入渗补给量、河渠渗漏补给量、侧向补给量, m^3 ,这些补给量随埋深变化而变化。

1.3 潜水最佳埋深变值系统

潜水最佳埋深分为各项补给量最佳埋深、地下水总补给量最佳埋深、次最佳埋深和年平均与多年平均最佳埋深。所谓最佳是指补给量最大对应的埋深。潜水资源的最佳埋深之所以存在,是因为潜水各项补给量、总补给量均随地下水埋深而变化,其 $R_{gT}(\Delta) \sim \Delta$ 关系曲线如图1所示^[1]。

2 地下水变值系统应用实例

2.1 研究区概况及应用方法

汾河是黄河主要支流,发源于山西宁武县,经古交山峡斜穿晋中盆地至万荣县庙前村汇入黄河,该研究区位于汾河汾东一支渠系上。研究区用水主要靠浅层地下水、区间水(汾河为间隙性质流,流经该

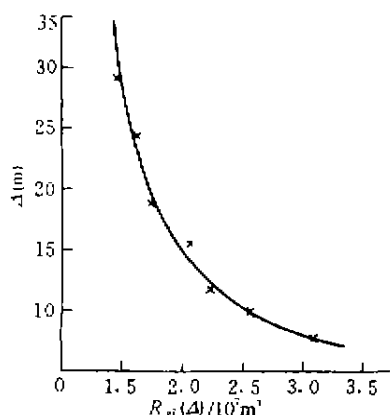


图1 $R_{gr}(\Delta) \sim \Delta$ 关系曲线

研究区可利用水)及有限汾河供水。水资源系统分析方法是近几年发展起来的新的科学方法,它的主要观点是从整体上对研究区水资源系统加以分析,建立数学模型,并在计算机上求解,确定优化方案,其特点是强调水资源开发利用的整体性、综合性、最优性。为此采用了水资源系统分析方法中分解协调多级最优化理论。分解是将研究区复杂水资源系统分解成若干个子系统进行各自最优化处理;协调是利用目标等级层次概念对各个单一目标统一到水资源量这一变量上,采用多目标优化方法求出最优解。由于汾河供水逐年减少,因此浅层地下水系统变得十分重要,不同开采水平或不同地下水埋深对应不同的地下水开采资源量,最后得到不同的优化结果。

2.2 研究区水资源系统结构

该研究区的水资源系统受到自然和社会环境等方面因素影响,按结构功能分为供水系统、用水系统两部分,其中供水系统包括地表水(汾河水库供水系统)、区间水、浅层地下水三个子系统,用水系统主要包括农业灌溉用水、乡镇工业用水、生活用水及其它用水四个子系统,这些子系统构成研究区水资源大系统^[3]。

2.3 水资源系统数学模型建立

2.3.1 农业灌溉用水模型

模型考虑13种作物,包括:小麦、玉米、谷子、薯类、豆类、其它杂粮和棉花、葵花、甜菜、蔬菜、西瓜、桃、葡萄,分别用 $i = 1, 2, \dots, 13$ 表示,系统考虑春、夏、秋、冬四个时段,分别用 $j = 1, 2, 3, 4$ 表示,目的是使有限水量对农业产生最大经济效益。

目标函数

$$\max Z = \sum_{i=1}^{13} \sum_{j=1}^4 \frac{WLY_{ij}}{WQ_i} (CM_i \cdot WM_i) WB_{ij} \quad (6)$$

式中: Z 为农业灌溉产生的最大经济效益值; WLY_{ij} 为 i 在 j 季节灌水量, m^3 ; WQ_i 为 i 作物的灌溉定额, m^3/hm^2 ; WM_i 为 i 作物的产量, m^3/hm^2 ; CM_i 为 i 作物

单位产量价格,元/kg; WB_{ij} 为 i 作物在 j 季节产量影响系数,它表示某一作物在某季节对水的依赖程度。

约束条件主要从以下几个方面考虑:①作物播种面积约束,即灌溉面积之和小于播种面积;②粮食产量约束,研究区粮食作物灌溉面积应保证研究区对粮食需求和上交国家需要;③棉花等经济作物限制;④供水量约束;⑤每季最低灌水量约束等。

2.3.2 乡镇工业用水数学模型

研究区的乡镇工业并不多,经过归并,主要考虑8家乡镇企业,优化目的是使有限水量产生圈套经济效益。

目标函数

$$\max Z = \sum_{i=1}^8 \sum_{j=1}^4 FB_{ij} \cdot WLY_{ij} \cdot MLX_{ij} \quad (7)$$

式中: $i = 1, 2, \dots, 8$ 分别表示8家乡镇企业; $j = 1, 2, 3, 4$ 代表春、夏、秋、冬四季; WLY_{ij} 为 i 工厂 j 季节的用水量; MLX_{ij} 为 i 工厂 j 季节单位水量产生的利润; FB_{ij} 为 i 工厂在 j 季节产量影响系数。

约束条件主要从以下方面考虑:①用水量约束,用水量小于可供水量;②解决好工厂效益好坏矛盾的用水量约束;③各工厂维持最低用水量约束;④尽可能提供较多水量给效益较好的企业。

2.4 协调层多目标规划模型及其求解

由于该实验片生活用水、公共卫生用水、绿化环境用水等社会效益目标同农业灌溉用水、工业用水这些经济效益目标,无法用同一度量单位,且目标函数都是线性的,故协调层采用线性目标规划优化模型。它能按照这些目标的重要程度,分成不同的等级,分级求优,各等级之间目标不能比较,只有在前一等级目标充分满足之后,才能考虑下一等级目标,并且在同一等级各目标之间采用不同权重来区别其重要性,所以目标规划是利用等级权重方法求解多目标规划问题。

2.4.1 目标的确定

a. 目标1:经济效益最大。对研究区进行优化规划,目的是为地区经济发展服务,提高人民生活水平,因此水资源合理利用并产生较好的效益是他们的愿望,依据社会发展,确定研究区未来总收入达到一个理想值 CMW ^[4];

$$\eta_1 LPX_1 + \eta_2 LPX_2 + \beta_1 LPX_4 + LPQ_4 - LPQ_4^* = CMW \quad (8)$$

式中: η_1 为农业灌溉用水量单位水量产生的利润,由浇灌模型计算; η_2 为工业用水量单位水量产生的利润,由工业用水模型计算; β_1 为单位水量产生的利润,依据当地实际情况调查统计得出; LPX_i ($i = 1, 2, 3, 4$) 分别表示农业灌溉、工业、生活及其它用水

量; LPQ_4^- 表示未完成目标的数量; LPQ_4^+ 表示超额完成目标的数量。

b. 目标 2: 灌溉用水量是实验片的主要用水系统, 为了保证本区粮食生产的产量和各种经济作物有一定的比例, 种植业应保持一定水量 LPQ :

$$LPX_1 + LXQ_3^- - LPQ_3^+ = LPQ \quad (9)$$

c. 目标 3: 保证地区生活用水的需要。根据社会发展和人口增长的需要, 必须提供一定数量的水, 规划应达到的量为 LMQ :

$$LPX_3 + LXQ_5^- - LPQ_5^+ = LMQ \quad (10)$$

d. 目标 4: 虽然研究区乡镇企业较少, 但乡镇企业效益较好, 考虑到地区经济发展, 必须发展乡镇企业, 应尽量多提供水量, 规划值为 LOD :

$$LPX_2 + LPQ_5^- = LOD \quad (11)$$

e. 目标 5: 满足未来畜牧业发展、公共卫生、绿化环境等其它用水的需要, 确定其理想值为 LFQ :

$$LPX_4 + LPQ_6^- = LFQ \quad (12)$$

2.4.2 目标优先等级的确定

依据研究区的现状和发展规划及各目标的重要程度, 确定四个优先等级。

a. 考虑水量约束和生活用水目标,

$$P_1: \min\{\gamma_1 LPQ_1^- + \gamma_2 LPQ_2^-\} \quad (13)$$

b. 满足农业灌溉用水和经济效益目标,

$$P_2: \min\{\gamma_3 LPQ_3^- + \gamma_4 LPQ_4^-\} \quad (14)$$

c. 尽量满足工业用水, 考虑未来工业发展, 确定其理想值, 但不能超过此值,

$$P_3: \min\{\gamma_5 LPQ_5^-\} \quad (15)$$

d. 尽量满足畜牧业用水、公共卫生和绿化环境用水, 但不能超过其理想值, 尽量满足生活用水, 但不能超过其理想值,

$$P_4: \min\{\gamma_7 LPQ_6^- + \gamma_6 LPQ_2^-\} \quad (16)$$

约束条件: 依据研究区地下水可开采资源是一个随开采水平不同而变化的量, 考虑到未来可供水资源量有减少的趋势, 因此确定其理想值为 $\sum w_1$:

$$LPX_1 + LPX_2 + LPX_3 + LPX_4 + LPQ_1^- = \sum w_1 \quad (17)$$

总目标即达成函数为

$$\begin{aligned} \min I = & P_1(\gamma_1 LPQ_1^- + \gamma_2 LPQ_2^-) + P_2(\gamma_3 LPQ_3^- + \\ & \gamma_4 LPQ_4^-) + P_3(\gamma_5 LPQ_5^-) + \\ & P_4(\gamma_7 LPQ_6^- + \gamma_6 LPQ_2^-) \end{aligned} \quad (18)$$

其中 γ 为权重系数。

2.5 模型的求解方法及过程

a. 应用水资源系统分析协调原理, 其求解过程是将水资源系统分解成各自独立的子系统作为第一

层, 各自独立进行最优化。每个子系统区间由整个大系统协调层(第二层)耦合变量即每个子系统可供水量相联系, 不同的开采水量对应不同的水量 Q , 其关系如图 2 所示。

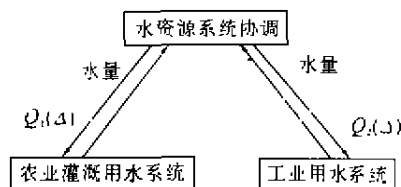


图2 研究区水资源系统分解协调

b. 依据现状情况下各系统的需水量 W_i 、第一层中进行各子系统单独优化计算, 求单位水量产生利润 $\eta_1^{(k)}, \eta_2^{(k)}$, 将它反馈到第二层作为目标规划中的价格系数进行第二层目标规划的优化计算, 求出各个子系统最优分配水量 $w_i^{(k)}$, 并将它传递到第一层中, 各子系统在新的 $w_i^{(k)}$ 约束下重新进行第一层优化计算, 求出 $\eta_1^{(k+1)}, \eta_2^{(k+1)}$, 再反馈到第二层, 反复进行以上过程, 直到满足下列要求为止:

$$\eta_1^{(k+1)} - \eta_2^{(k)} \leq \epsilon \quad (19)$$

式中: ϵ 为给定的误差系数, 取 0.01; $\eta_i^{(k+1)}$ 为第 $k+1$ 次迭代单位水量产生的纯利润; $\eta_i^{(k)}$ 为第 k 次迭代单位水量产生的纯利润。

3 计算结果

将上面方法应用到汾河研究区中, 经过反复迭代计算可求得各目标最优的用水量 (LPX_i) 及最优的经济效益值 (CMW), 见表 1。最优经济效益值随埋深变化曲线见图 3。

表 1 各目标最优化分配水量

埋深 Δ/m	农灌用水 $LPX_1/\text{万 m}^3$	工业用水 $LPX_2/\text{万 m}^3$	生活用水 $LPX_3/\text{万 m}^3$	其它用水 $LPX_4/\text{万 m}^3$	经济效益值 $CMW/\text{万元}$
0.50	230.86	27.63	18.50	17.60	25.80
1.00	241.76	28.65	18.50	17.60	51.62
2.00	285.72	30.25	18.50	17.60	115.20
3.00	290.35	35.20	18.50	17.60	220.30
4.00	294.21	38.72	18.50	17.60	280.45
5.00	280.16	37.36	18.50	17.60	198.30
6.00	276.12	36.50	18.50	17.60	146.20
8.00	242.17	32.74	18.50	17.60	130.70
10.00	216.50	30.60	18.50	17.60	115.00
12.00	198.50	29.78	18.50	17.60	96.52

4 结 语

本文重点是将地下水变值系统理论应用于水资源的优化管理, 从计算结果看, 不同年型或不同开采水平得出不同子系统最优分配水量和最大经济效益质量。这一水资源开发利用新方案, 正确选定模型的

(下转第 47 页)

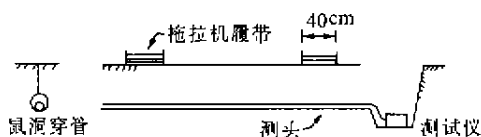


图4 暗管埋设及测头布置

据表2应变值查图3或用公式(1)计算可得出1~4号测头在穿鼠洞软管中测得的径向变形曲线,见图5。

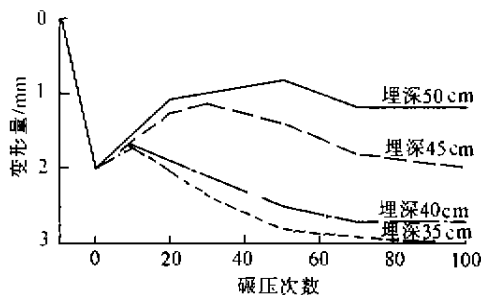


图5 软管受荷载后径向变形

图5中曲线表明了软管在穿入鼠洞及经拖拉机碾压后发生径向变形的动态过程,大致可分为三个时段。

a. 陡降段.该时段发生在软管穿入鼠洞后,拖拉机碾压之前,产生约2mm的径向变形,该变形是软管穿入鼠洞时在洞口处受到折压作用引起的。

b. 恢复段.该时段从拖拉机开始碾压起,至软管再次出现径向收缩变形时止.该时段的软管径向变形向径外方向发展,使陡降段产生的受压变形得到了部分恢复.这是由以下两个方面因素综合作用的结果:一是软管在陡降段受到的洞口折压作用已经不存在,PE塑料管由于“记忆”作用向径外方向做恢复性反弹,使软管已发生的变形量向减少的趋势发展;二是随着拖拉机多次碾压振动,鼠洞上方的土体逐渐剥落,并沉积在软管上,使软管产生受压变形.上述两种作用产生的软管变形方向相反,在本时段内前者作用大于后者,软管变形表现为向恢复初始状态方向发展.鼠洞越深,后者的作用越小,软管的变形量则恢复得越多,相对恢复持续时间也就越长。

c. 持续下降段.该时段从恢复段结束起至软管停止变形时止.在恢复段软管所受到的两种相反作用仍然存在,但此时软管自身恢复初始状态的作用相对于软管上积累的落土压力处于弱势,软管再次表现为受压变形.随着拖拉机在软管上方地表碾压次数的增加,被压土体逐渐趋于稳定,软管变形量变化越来越小。

4 结 语

a. 本测试技术解决了地下软管受压变形量实

测难题,可为地下输水软管研究、设计及施工提供可靠基础数据.推广该项技术,可改变目前设计工作仅靠保守估算的局面,从而保证工程实际需要,避免不必要的浪费。

b. 经过试验室及实际工程应用证明,应用本测试技术可以准确地测量出地下软管径向变形规律。

c. 本测试技术具有测试精度高,方便易行,容易掌握等特点,完全满足工程要求,便于推广使用。

d. 根据目前电子技术的发展状况,可以考虑应用该项测试技术,研制可直接显示出软管径向变形数字量的测试仪器。

(收稿日期:1998-08-22 编辑:熊水斌)

(上接第36页)

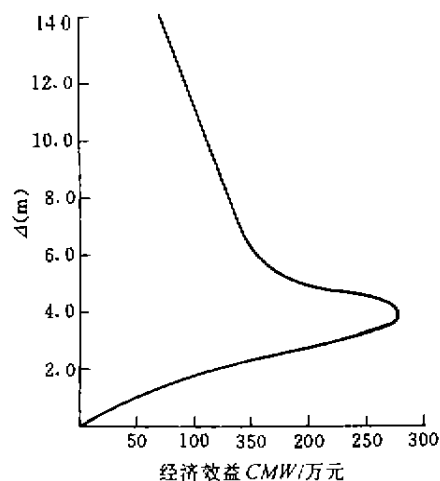


图3 最优经济效益值随埋深变化曲线

参数值和约束条件,能全面反映研究区的实际情况是关键;其次必须对重要参数作灵敏度分析,这样建立模型才符合实际.将地下水变值系统应用到水资源优化管理中,目前国内还是第一次,计算工作量大,作者在这方面仅仅作了一点探索,还很不完善,有待进一步深入研究。

参考文献:

- [1] 高正夏.地下水变值系统理论在不同地貌单元水资源迭加中应用[J].地下水,1996,9(3):123~125.
- [2] 杨保全.山西汾河灌区孟封实验片水资源分析与多目标优化规划模型研究[D].南京:河海大学,1994.
- [3] 许有鹏.大系统优化理论在克里雅河水资源规划管理中应用[J].南京大学学报,1996,9(3):370~382.
- [4] 赵可培.目标规划及应用[M].上海:同济大学出版社,1987.
- [5] 曹万金.地下水资源计算评价及管理[M].南京:河海大学出版社,1990.

(收稿日期:1999-03-10 编辑:熊水斌)