

辽河流域平原区地下水生态水位及水量调控研究

孙才志 刘玉兰 杨俊

(辽宁师范大学城市与环境学院 辽宁 大连 116029)

摘要 对辽河流域平原区地下水生态水位及水量调控进行了初步研究,界定了地下水生态水位概念、分类及其特征,论述了该领域的研究现状。以辽河平原为研究对象,阐述了研究区地下水生态水位的确定原则、依据及地下水生态调控量的计算方法,其中地下水生态调控量采用情景分析方法,通过设置两种情景,构建了两套地下水生态标准,计算出地下水生态调控量。研究结果表明,通过确定地下水的生态水位,并将其与实际地下水水位埋深进行比较,结合水文地质参数,可以计算出地下水生态调控量。

关键词 地下水生态水位 水量调控 情景分析 辽河流域平原区

中图分类号:TV213.4

文献标识码:A

文章编号:1006-764X(2007)04-0015-05

Ecological groundwater level and quantity regulation in plain region of Liaohe Watershed/SUN Cai-zhi, LIU Yu-lan, YANG Jun(Urban and Environment College of Liaoning Normal University, Dalian 116029, China)

Abstract : With plain region of Liaohe Watershed as an example, the conception, classification, and characteristics of ecological groundwater level were discussed, and the current situation of the research in this area was described. The principle for determining the ecological groundwater level of this region was expounded, and the calculation of the quantity of ecological groundwater regulation with the scenario analysis method was introduced, in which two sets of groundwater ecological criteria were constructed by setting of two scenarios for the calculation. The result shows that, in combination with the hydrological and geological parameters, the quantity of ecological groundwater regulation can be obtained by determination and comparison of the ecological groundwater level with the actual embedded depth of groundwater in this region.

Key words : ecological groundwater level; water quantity regulation; scenario analysis; plain region of Liaohe Watershed

近年来,生态环境需水研究成为现代水文学领域的研究热点,成果层出不穷,并取得了一些阶段性的研究成果。目前国内外关于生态环境需水的研究存在两方面的缺陷:①从事该领域研究的主要是水文学及环境学领域的学者,因而研究主要集中在河流、湖泊、湿地等地表水体及林地、城市生态需水方面,尽管在上述研究中都或多或少地提出地下水调控量也是生态环境需水的组成部分,但地下水调控量的确定问题却一直没有得到很好的解决;②水文地质工作者通过大量的水文地质试验确定了地下水水位与作物产量、降水入渗补给量及潜水蒸发量等方面的统计关系,但却没有与生态环境需水的研究有机地结合起来。

有鉴于此,本文以前人研究及试验、观测结果为依据,以辽河流域平原区为研究对象,在合理确定辽河流域地下水生态水位的基础上,通过将地下水生态

水位与实测地下水水位进行对比,结合潜水变动带给水度,并借助于 Golden Surfer 软件的面积、体积计算功能,计算出辽河流域维持地下水系统生态健康的地下水亏空量与盈余量(本文统称为地下水生态调控量),最后探讨了地下水水量调控措施。

1 地下水生态水位

1.1 地下水生态水位的概念^[1]

目前关于地下水生态水位的通用概念为:地下水生态水位是指能够充分发挥地下水对生态环境的控制作用,即满足生态环境要求、不造成生态环境恶化的地下水水位。它是由一系列满足生态环境要求的地下水水位构成,是一个随时空变化的函数。地下水生态水位主要受地质结构、地形、地貌和植被条件的影响。

1.2 地下水生态水位的类型及特征

根据地下水生态水位的概念可知,它是由一系

列满足生态环境要求的地下水水位构成 ,根据地下水、土壤水、植物生长与生态环境之间的定量关系 ,地下水生态水位通常可以分为如表 1 所示的几种类型^[2]。

1.3 地下水生态水位研究现状

水资源与生态环境保护研究是一项世界性的重要课题 ,特别是 1992 年巴西里约热内卢国际环境与发展大会之后 ,很多研究机构都相继开始了对水资源利用与可持续发展的研究 ,对地下水与生态环境之间的关系也做了大量工作 ,取得了重要的研究成果。如在地下水位埋深与植物生长的关系方面 ,Tyre^[3]研究了地下水位与植被生长状况的关系 ,Prathapar 等^[4]研究了作物产量与地下水位埋深的关系 ,Horton^[5]针对植物在不同地下水位埋深的生理反应进行了研究。这些研究成果表明 ,地下水位存在一个临界深度 ,若地下水埋深大于该深度 ,会导致植物木质部机能障碍 ,此障碍会导致木质部水力传导度的减少 ,使细胞趋于干化。在地下水埋深与土壤盐渍化的关系方面 ,Rif^[6]通过 LEACHC 模型分析了土壤盐渍化与地下水埋深之间的关系 ,计算了与地下水电导率、土壤含盐量相关的地下水位适宜埋深。

在国内 ,许多学者从 20 世纪 90 年代中后期也开始进行该方面的研究 ,如张凤英等^[7]研究了淮北砂姜黑土区地下水的适宜埋深 ,宋郁东等^[8]提出了合理生态水位的概念 ,张长春等^[1]对华北平原地下

水生态环境水位进行了研究。

上述研究均从生态水位的角度出发 ,其成果为本文研究奠定了基础 ,但在地下水降落漏斗与土壤盐渍化并存的广大经济发达平原区 ,对于要满足生态水位条件下的地下水系统调控量的研究还未涉及。随着社会提倡资源利用方式的根本转变 ,人们对地下水的关注重心也逐渐由对地下水资源供给功能逐渐转向地下水生态环境功能 ,尤其是对地下水生态问题的研究。因此 ,本文以辽河流域平原区为研究对象 ,研究其生态水位及水量调控 ,为辽河流域地下水资源的可持续开发利用提供一定的参考价值。

2 辽河流域平原区地下水生态水位的确定

2.1 地下水生态水位的确定依据

通过分析地下水生态水位分类及其主要特征 ,对于地下水生态水位的确定 ,本文主要依据以下原则 :①满足植物对地下水的正常吸收 ;②有效抑制返盐 ;③最大限度地增加地下水补给量 ,减少无效蒸发量 ,充分发挥含水层的调蓄能力 ;④有效地维护湿地资源 ,保证生物多样性要求 ;⑤有效防止产生地面沉降、海水入侵等环境水文地质问题。由于研究区尚未出现与深层地下水开采有关的地面沉降问题 ,所以本文只研究平原区(包括山前倾斜平原与低平原区 ,多为农灌区)第四系浅层地下水系统的生态

表 1 地下水生态水位分类及其主要特征

类 型	地下水埋深/m	主要特征
沼泽化地下水位	< 1.0 (或具有季节性积水)	土壤因长期滞水 ,处于还原状况 ,形成灰蓝色潜育层 ,对植物生长不利 ,沼泽植物生长虽茂盛 ,但蒸散耗水对水量消耗很大。
盐渍化地下水位	1 ~ 2.5	地下水通过毛管作用可到达地表 ,土壤土层湿度较大 ,植物生长良好 ,虽不会发生沙漠化 ,但地下水中的盐分可向地表聚积 ,易使土壤发生盐渍化 ,影响植物生长 ,潜水蒸发损失大 ,会造成一定数量地下水资源的浪费。
适宜地下水位	2 ~ 4.5	毛管上升水流可到达植物根系层供植物吸收利用 ,土壤水基本上可以满足乔、灌、草各类植物需要 ,潜水的无效蒸发很少 ,几乎全部被植物吸收利用 ,既不会产生盐渍化 ,也不会产生沙漠化。
警戒地下水位	4 ~ 6	潜水停止蒸发 ,土壤土层干燥 ,浅根系的草本植物无法利用地下水而衰败或死亡 ,乔灌木根系较深 ,主根可向下延伸吸收地下水 ,还可忍耐土壤干旱 ,但长势不良 ,存在着沙漠化的潜在威胁。
沙漠化地下水位	> 6	土壤向自成型荒漠土发展 ,剖面通体干旱 ,潜水面以上的包气带很大部分为薄膜水 ,很难为植物利用 ,深根系植物吸收地下水也较困难 ,乔、灌木衰败或干枯死亡 ,地面裸露 ,风蚀风积严重 ,光板龟裂地和片状积沙并存 ,出现荒漠景观。
山前倾斜平原地下水位	10 ~ 20	山前倾斜平原位于山与平原交界部位 ,在洪积扇上部 ,粗大的颗粒直接出露地表 ,或仅覆盖薄土层 ,十分有利于吸收降水及山区汇流的地表水。为了充分利用地下含水层的调蓄能力 ,可以将山前砂砾平原的水位埋深调节在 10 ~ 20 m ,以便调蓄汛期地表洪水。
海水入侵型地下水位	5 ~ 8 (加上地面高程)	海水入侵有两种模式 :地下水位逐年持续下降导致的海水入侵模式与多年地下水位保持不变 ,但在强渗透介质中季节性水位变化导致的海水入侵模式。根据沿海地区城市多年的生产实践 ,滨海区漏斗中心水位高程一般在 - 5 ~ - 6 m ,最大在 - 8 m ,便能防止海水入侵。
地面沉降型地下水位	根据具体含水层压缩变形特征确定	地面沉降是由于深层承压地下水的开采导致的 ,由于各地承压含水层的介质、结构类型不同 ,从而导致含水层的变形特征也不同 ,因而地面沉降型地下水位也不同。例如根据现有研究成果 ,上海市第四系承压含水层临界水位为 28 ~ 32 m ;江苏吴江市为 30 ~ 40 m ;天津市第二承压含水层为 30 ~ 40 m ,华北平原沧州地区为 50 ~ 70 m。

注 :根据文献 [2] 并略作修改 ,从严格意义上讲 ,地面沉降不属于生态问题 ,但其属于典型的环境水文地质问题 ,因此本文根据现有研究成果 ,将导致地面沉降的深层承压水敏感水位作为地下水生态水位的一个部分。

水位。

在上述原则指导下,地下水生态水位的确定依据为:地下水资源在不同地区、不同时段发挥的功能不同,例如在水资源贫乏区域或者时段,地下水资源主要发挥其资源供给功能;在水资源相对较充足地区或者时段,地下水资源主要发挥其生态环境维持功能。因此,可以采用情景分析的方法,根据地下水资源在不同情景下的具体功能,确定出不同的地下水生态水位。对于地下水起资源供给功能的区域,生态水位埋深的确定较高,以潜水蒸发极限深度为确定标准;而对于地下水起生态环境维持功能的区域或时段,生态水位埋深的确定较低,以最佳地下水埋深为确定标准。

2.2 地下水生态水位的确定

a. 情景 I:以潜水极限蒸发深度为生态水位埋深。本情景下的地下水生态水位即表 1 中的警戒地下水水位。在该水位埋深情况下,水分沿剖面分布,适合自然植被生长要求,同时又将潜水的蒸发强度减至最小,土壤积盐极其微弱。研究区含水层岩性主要为黏土、黄土状亚黏土、亚砂土、粉砂土、粉细砂、细砂、中砂及滨海咸水地区的黏土、砂土,根据已有研究成果及当地水文地质部门的野外试验,不同含水层岩性的具体极限蒸发深度及含水层变动带给水度值见表 2。

b. 情景 II:以最佳地下水埋深为生态水位埋深。本情景下的地下水生态水位即表 1 中的适宜地下水水位。地下水一方面可得到降水入渗补给,另一方面又会发生蒸发排泄,所以地下水得到的净入渗补给量等于降水入渗量与潜水蒸发量的差值。由于地下水位在零通面以上时,随着埋深的增加降水入渗补给系数随之增大,因此开采区水位在最佳埋深以下时,既可防止潜水无效蒸发消耗,防止地下水向河床排泄,又可获得较大的降水入渗补给。最佳水位是土壤既不发生荒漠化,也不发生沼泽盐渍化的水位。依据不同含水层岩性的具体特征,确定了最佳埋深,见表 2。

表 2 辽河流域平原区不同情景下的地下水生态水位埋深及给水度

岩 性	生态水位埋深/m		给水度 (无因次)
	情景 I	情景 II	
黏 土	5.0	4.5	0.02 ~ 0.035
亚黏土	4.0 ~ 4.5	4.0	0.03 ~ 0.045
亚砂土	3.0 ~ 3.8	3.0	0.035 ~ 0.06
粉砂土	3.0 ~ 3.5	2.8	0.06 ~ 0.08
粉细砂	2.4 ~ 3.0	2.5	0.07 ~ 0.09
细 砂	1.8 ~ 2.4	2.0	0.08 ~ 0.11
中 砂	1.2 ~ 1.8	1.5	0.09 ~ 0.13

在此应该指出的是,研究区按照地貌形态可以分为山前倾斜平原区、中部平原区及滨海低平原区。对于山前倾斜平原区中的砂砾石洪积扇,因该区域含水层岩性大多颗粒较粗,为砂砾层,透水性好,含水层调蓄能力强,因此对第二种情景分两种方案,方案 1 充分考虑含水层的调蓄能力,将该区生态水位埋深确定为 10 m,以便有一定地下库容调蓄汛期地表水;方案 2 是将该区生态水位埋深确定为 5 m。

对于滨海低平原南部,由于河道淤浅改道,海水顶托,地势低洼积水,地下水的水平径流基本停滞,垂直蒸发十分强烈,土壤大面积盐渍化和沼泽化,属于滨海湿地。该区地下水生态水位埋深确定在 1 m,即沼泽化水位,此条件下地下潜水蒸发量很大,因而消耗的水分较多,对于维护湿地生物多样性、保护湿地具有重要意义。

3 地下水生态调控量的计算

3.1 区域地下水实际埋深情况

研究区按照地貌形态分山前倾斜平原区、中部平原区及滨海低平原区,根据研究区内地下水长观孔的分布情况,本次研究选取了 2003 年平水期 522 个点的地下水实际动态观测资料,应用 Golden Surfer 软件构建了浅层地下水埋深等值线(图 1)。根据野外水文地质参数试验结果,可以得到研究区内潜水变动带给水度等值线(图 2)。在图 1~4 中,A 代表沈阳市,B 代表四平市,C 代表营口市,D 代表通辽市。

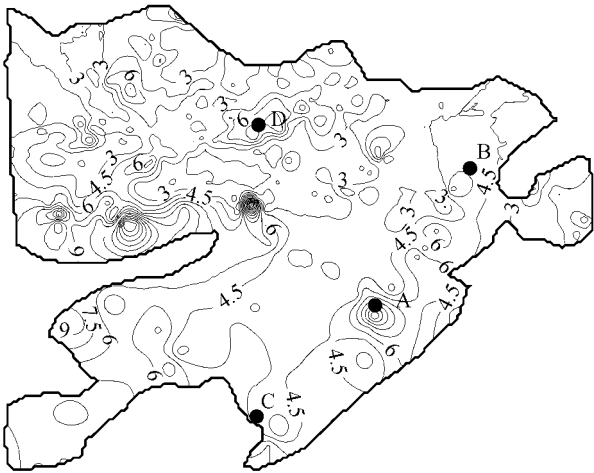


图 1 辽河流域平原区浅层地下水 2003 年平水期实际埋深等值线(单位:m)

由图 1 可以看出,研究区内除山前倾斜平原区与中心城市区地下水埋藏较深外,其他地区地下水埋藏深度普遍较浅,地下水开采潜力仍旧很大。

3.2 区域地下水生态水位埋深分布

情景 I 的地下水生态水位可以根据各种表层含水层岩性的分布特点,同时结合研究区内具体的地

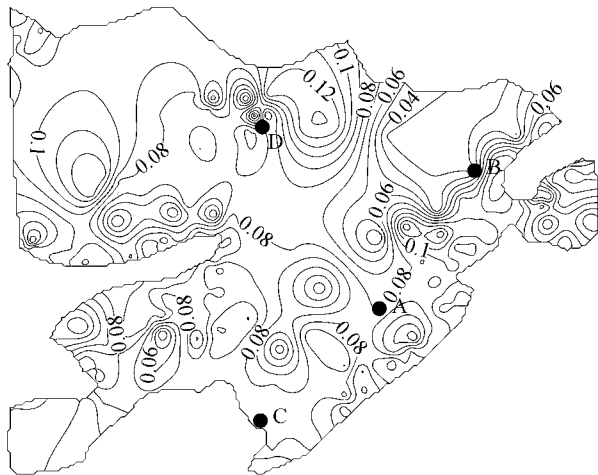


图2 研究区给水度等值线

形、地貌特征,利用当地地质部门的野外蒸发试验结果(表2中的数据),确定研究区的极限蒸发深度等值线(图3)。情景Ⅱ的地下水生态水位同样可以根据表2中的数据,确定最佳生态水位埋深,该情景下两种方案生态水位埋深的等值线同图3,限于篇幅,此处略。

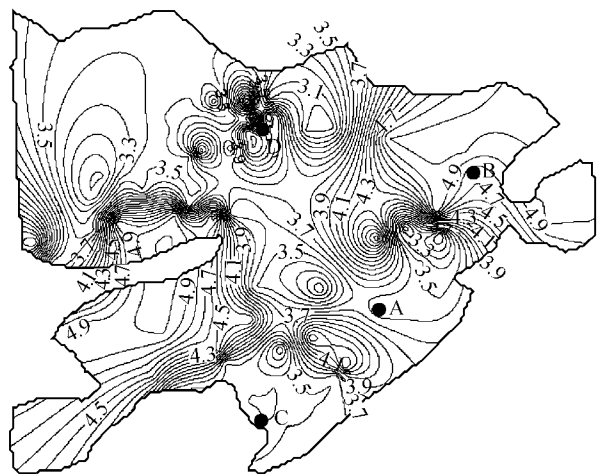


图3 研究区极限蒸发深度等值线(单位:m)

3.3 区域地下水生态调控量的计算

利用 Golden Surfer 软件的制图、计算功能,通过对研究区内地下水实际埋深格网文件(GH_i.grd)与地下水生态水文埋深格网文件(DEH_i.grd)进行对比,然后乘以给水度格网文件(μ_i.grd)的数值,形成3种方案(情景Ⅰ有1种,情景Ⅱ有2种)下的格网文件(DH_i.grd)。

根据格网文件 DH_i.grd,可以绘制出在3种方案下的地下水水量调控等值线,限于篇幅,只列出方案1下的地下水水量调控等值线(图4)。图4中等值线负值区为地下水资源亏空区,需要进行地下水保育与补水,正值区为地下水资源盈余区,可以加大地下水的开采,起到改良盐渍化土地或扩大最佳山前含水层调蓄能力的作用。

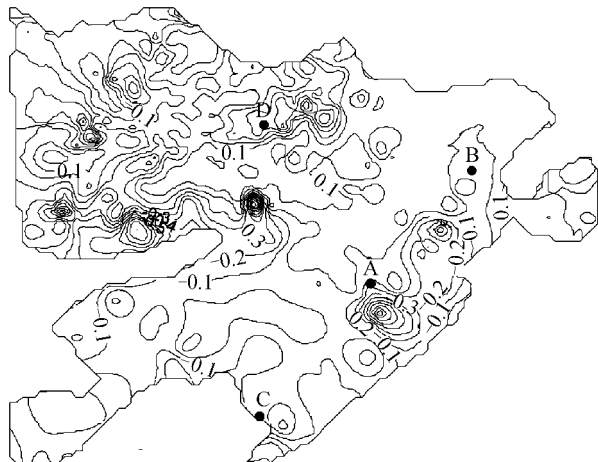


图4 方案1的地下水水量调控等值线(单位:m)

应用 Golden Surfer 软件与格网文件 DH_i.grd,即可以获得在各种方案下的地下水资源亏空区、盈余区面积,以及它们分别对应的地下水亏空量与盈余量,具体计算结果见表3。

表3 辽河流域平原区不同方案下的地下水资源调控结果

情景方案	亏空区		盈余区		均衡结果	
	面积/ km ²	亏空水量/ 亿 m ³	面积/ km ²	盈余 水量/亿 m ³	总面积/ km ²	总均衡 水量/亿 m ³
I 1	87969.57	94.79	68389.80	49.43	156359.37	-45.36
II 2	68841.19	74.29	87518.18	159.98	156359.37	85.69
II 3	89533.59	96.63	66825.78	37.78	156359.37	-58.85

从表3可以看出,若以极限蒸发深度(方案1)为生态水位埋深,整个研究区浅层地下水将需补水45.36亿 m³,这充分反映出地下水含水层对水资源的巨大调蓄作用。在此不赘述。

4 地下水开发利用对策

辽河流域长期的高强度区域开发导致流域内生态环境不断恶化与水资源不足,已经严重制约了区域经济与社会的协调发展,成为老工业基地振兴的瓶颈。此外,流域河流季节化使地表水资源量急剧减少,加之地表水污染严重,目前地下水开采量逐年增加,已经造成一系列生态环境问题,如地下水降落漏斗不断扩大、地面沉降、海咸水入侵、咸水下移、地下水环境恶化等;另外还间接引起河流功能衰退、湿地生态退化、地表水水质恶化、土壤污染、荒漠化、土壤盐碱化等生态环境问题,因而探讨地下水开发利用对策对于实现地下水资源的可持续开发利用具有重要的指导意义。

4.1 山前基岩丘陵区利用对策

该区为基岩裂隙水分布区,地下水较为缺乏,开发远景不大,主要靠利用地表水。其地表水系发育,径流十分丰富,仅辽宁省境内86476 km²的汇水范围内,年平均地表径流量122.44亿 m³,年最大径流量

208.67 亿 m^3 ,因而自然灾害严重 ,俗有“九河下梢、十年九涝”之说。主要利用对策为修建地表水库来调节。对丘陵山区进行小流域治理 ,层层梯级拦截 ,植树造林 ,提高植被覆盖率 ,涵养水分 ,以各种方式储蓄雨水、洪水 ,防止水土流失。

4.2 平原区利用对策

平原区为研究区内最富水地段 ,各大河扇的砂砾石相 ,含水层颗粒较粗 ,厚度大 ,渗透性好。中部地区地势低平 ,含水层颗粒较细 ,地下水埋深很浅。在西辽河、东辽河及下辽河北部的柳河平原 ,为半干旱地区 ,地下水埋深较浅 ,含水层颗粒较细 ,富水性均匀。在下辽河平原南部地下水径流滞缓 ,垂直蒸发强烈 ,易涝 ,易产生次生土壤盐渍化。因此 ,应加强地下水的水平径流 ,疏通地下水 and 地表水 ,降低地下水位 ,消除内涝 ,防止土壤盐渍化。

山前倾斜平原区应采取人工调蓄 ,开发地下水 ,该区含水层厚度大 ,调节能力极强 ,应当充分开发地下水库的调蓄功能。首先应大力开发地下水 ,降低地下水位 ,做到汛前腾出库容 ,为雨季到来时雨水、洪水、河水入渗提供储存空间 ,使地下水获得较多的补给。中部平原区农业比较发达 ,农业分散开采 ,使地下水处于最佳埋深状况 ,防治中部平原洪涝、内涝的发生。城市集中取水区应该采取多种措施 ,进行地下下降落漏斗的恢复 ,加强水资源的综合利用。如可以通过人工引渗回灌工程 ,蓄洪引渗 ,或在封冻前大水漫灌、地面扩散渗入、渗透池强化入渗等多种形式将降雨、暴雨洪水、河川弃水等尚难利用的淡水资源引渗注入地下降落漏斗 ,扩大地下水的补给量。

4.3 滨海三角洲湿地利用对策

此区为辽河、大凌河、双台子河等河流入海形成的河口湿地。该区地势低洼 ,湿地积水主要来自过路水滞留及枯水期潮水补给 ,因而形成海拔 5 ~ 6 m 以下的海滨盐生湿地。每年夏季洪水泛滥 ,形成以滩涂、芦苇沼泽、湿草甸和明水面为主要类型的湿地综合体 ,其中包括双台河口国家级自然保护区。该区地下水为咸水分布区 ,地下水径流基本停滞 ,地下水埋藏很浅 ,垂直蒸发十分强烈。该区应该利用湿地蓄水防洪功能 ,以此来调节辽河下游平原各河流水位与辽东湾水域水量、水盐、水热之间的平衡 ,保持生物的多样性 ,维持生态的稳定性。

5 结 论

a. 通过确定地下水的生态水位 ,并将其与实际

地下水埋深进行比较 ,结合水文地质参数 ,可以计算出地下水生态调控量 ,从而为地下水资源的优化配置奠定基础 ,同时也是对生态环境需水研究的一个重要补充与完善。

b. 地下水生态水位的确定应充分考虑地下含水层的巨大调蓄作用 ,在水资源日益短缺的今天 ,利用地下水库的方式开发利用水资源可以收到巨大的经济效益、社会效益与环境效益。

c. 本文研究结果表明 ,若不考虑调蓄作用 ,要实现地下水系统的生态环境功能 ,就需要补充地下水。目前地下水系统处于亏空状态 ,但国土部门认为地下水仍有开采潜力 ,这是由于没有考虑生态环境需水原因造成的 ,因此必须逐步修正地下水资源评价原则。

d. 限于资料 ,本文只利用了平水期的水位资料 ,给水度试验样点少 ,这无疑给本次研究的精度造成了不小的影响。随着资料的完善 ,应该在不同时段根据作物的生长特点及蒸发特征 ,分别取不同的生态水位 ,从而计算出不同时段地下水生态调控量。

参考文献 :

[1] 张长春 ,邵景力 ,李慈君 ,等 . 华北平原地下水生态环境水位研究 [J]. 吉林大学学报 地球科学版 ,2003(3):323-326.

[2] 王让会 ,宋郁东 ,樊自立 ,等 . 塔里木流域“四源一干”生态需水量的估算 [J]. 水土保持通报 ,2001(3):19-22.

[3] TYREE M T. Use of positive pressures to establish vulnerability curve: further support for the air-seeding hypothesis and implications for pressure-volume analysis[J]. Plant Physiology , 1992 ,100:205-209.

[4] PRATHAPAR S A ,QURESHI A S. Modeling the effects of deficit irrigation on soil salinity-depth to water table transpiration in semi-arid zone with Monsoonal rains[J]. Water Resources Development , 1999 ,15(1/2):141-159.

[5] HORTON J L. Physiological response to groundwater depth varies among species and with river flow regulation[J]. Ecological Applications ,2001(4):1046-1059.

[6] RLI R. Soil salinity modeling over shallow water tables II : Application of LEACH[J]. Journal of Irrigation and Drainage Engineering ,2000 ,126(4):234-242.

[7] 张凤英 ,李云京 ,李占柱 . 淮北砂姜黑土区地下水适宜埋深的探讨 [J]. 中国农村水利水电 ,1997(8):33-35.

[8] 宋郁东 ,樊自立 ,雷志栋 ,等 . 中国塔里木河资源与生态环境问题研究 [M]. 乌鲁木齐 :新疆人民出版社 ,2000.

(收稿日期 2006-09-26 编辑 熊水斌)