

人民胜利渠灌区多水源循环转化模型研究

闫旂君^{1,2}, 徐建新^{1,2}, 陆建红³

(1. 中国农业科学院 研究生院, 北京 100081; 2. 华北水利水电大学 水利学院, 郑州 450045;

3. 华北水利水电大学 环境与市政工程学院, 郑州 450045)

摘要:从取水、输水、配水、排水系统的角度,构建了人民胜利渠灌区多水源循环转化模型,定量模拟分析了人民胜利渠灌区系统多年平均下的多水源循环转化关系。结果表明,从农田灌排系统角度,构建灌区多水源循环转化模型是可行的,能够较好地模拟灌区系统多水源循环转化过程;人民胜利渠灌区水资源的转化主要集中在输水和配水系统中,水资源转化量分别约为1.76亿和9.66亿 m^3 ,取水系统和排水系统水资源转化量较小,分别为0.01亿和0.13亿 m^3 。输水系统中水资源转化以渗漏为主,渠系渗漏量约占总引黄水量的44%,这增加了引黄输水渠道沿线农田遭受渍害和土壤次生盐碱化的风险;配水系统中农田渗漏量约占水资源转化量的28%,这可能与部分地区仍采用落后的灌溉方式有关。

关键词:“四水”转化;灌区系统;多水源循环转化模型;人民胜利渠灌区

中图分类号:TV213.9

文献标志码:A

doi:10.13522/j.cnki.ggps.2017.02.008

闫旂君,徐建新,陆建红. 人民胜利渠灌区多水源循环转化模型研究[J]. 灌溉排水学报,2017,36(2):52-57.

0 引言

水循环转化过程与水资源、水生态环境关系密切。研究灌区水循环转化关系,可以揭示灌溉活动和天然降水对灌区水循环过程的影响,减少灌溉水资源的浪费,提高水资源利用效率,为研究灌区水资源合理配置提供科学依据;此外,维持健康的水循环过程,对改善生态环境和灌区的可持续发展具有十分重要的意义^[1]。水循环转化研究始于20世纪60年代,一般通过构建水循环转化模型,研究“四水”(大气水-地表水-土壤水-地下水)的转化关系^[2-6]。模型研究的对象多为常规水资源,对于雨水、中水、微咸水等非常规水资源在“四水”转化中协调转化研究较少^[7];建模过程中多考虑农业、生活、工业等人工侧支对“四水”资源的影响^[8-9]。对灌区而言,水循环转化多集中在农田水循环转化和水分通量研究上^[10-11],将水循环研究局限于单一或部分循环环节,不利于灌区水资源系统的综合调控和管理^[12]。目前,从整个灌排系统(取水系统-输水系统-配水系统-排水系统)的角度研究灌区水循环的成果还鲜有报道。

人民胜利渠灌区始建于解放初期,但近年来灌区用水形势愈发紧张,造成灌区间上下游争水、工农业争水、城乡间争水、超采地下水、挤占生态环境用水等问题^[13];同时,灌区主要引水水源黄河来水过程与农业灌溉需水过程不匹配,易造成灌溉时黄河无足够水量可引的情况^[14]。为此,以人民胜利渠灌区为典型区,从农田灌排系统的角度,考虑取水、输水、配水和排水系统对多水源循环转化过程的影响,构建人民胜利渠灌区多水源循环转化模型,探讨研究灌区多水源循环转化过程,以期合理利用灌区多种水资源,提高灌区水资源利用效率提供科学参考。

1 研究区概况

人民胜利渠灌区位于河南省北部黄河北岸,平均地面坡降约1/4 000。灌区多年平均气温14.5℃,多年平均降雨量581.2 mm,降雨相对较少且多集中在夏秋季节。灌区规划面积1 486.84 km^2 ,土地利用类型大致包括5大类,其中,林草地58.48 km^2 ,农田993.31 km^2 ,旱地413.2 km^2 ,城镇居民用地18.74 km^2 ,水域

收稿日期:2016-05-23

基金项目:甘肃省科技支撑计划资助项目(144NKCD238);河南省高等学校重点科研资助项目(16A570003)

作者简介:闫旂君(1983-),女。博士研究生,主要从事农业水资源研究。E-mail: yyjmpp@163.com

3.11 km²。灌区内主要作物有小麦、棉花、玉米、水稻、油菜、花生等,大部分实行小麦与玉米、花生、水稻轮作,一年两熟,播种面积 150 753.33 hm²,复播指数 1.7。灌区大部分用水来自引黄水、地下水和降水。近年来,年均引黄水量约 4.3 亿 m³,多年平均地下水开采量约 1.8 亿 m³。灌区取水系统采用无坝自流引水,由于黄河主流的摆动,渠首闸与黄河主流之间的引水渠道长度也随之改变,目前已达到 3 km,渠首闸设计引水流量 60 m³/s。输配水渠灌系统主要有总干渠 1 条,干渠 5 条,支渠 66 条,斗农渠共 2 042 条。井灌系统主要包括农用机井约 1.5 万眼,配套 1.3 万眼。排水系统主要以卫河作为全区的总承泄区,区内有干排 4 条,可以排地下水,支、斗排 92 条,主要排除地面水^[14-16]。

为便于统计计算,以灌区主要引水口门为节点,干渠、分干渠覆盖的灌溉区域作为分区的依据,将整个灌区划分为 7 个子区,各子区面积见表 1。

表 1 各子区控制面积

子区	新磁支渠	白马支渠	东一干渠	西一干渠	西三千渠	东三千渠	东二千渠
面积	113.05	45.88	166.81	186.88	108.70	758.03	107.45

气象资料主要来源于中国气象科学共享网发布的《中国地面气候资料日值数据集(V3.0)》,收集新乡站 2000—2010 年逐日降雨、气温、风速、相对湿度等实测资料;供水资料为人民胜利渠灌区管理处提供的各口门取水数据,用水资料是在 2000—2010 年新乡市各区县的农业、工业和生活用水数据的基础上,按照面积比例整理转化到各子区的用水数据;作物灌溉制度主要依据文献[16]确定;模型所用到的主要参数有降水入渗系数、输水渠系渗透参数、作物种植系数、土壤水分参数、潜水蒸发系数、渗透系数、导水系数、给水度等,借鉴当地研究机构试验结果或国内外学者的研究成果^[17-19]来确定。

2 模型构建

灌区多水源循环转化关系,可以看作是一个在降水、蒸发、渗漏和径流等自然水循环过程的基础上,考虑人工取水、输水、配水、排水等灌溉活动的影响,使灌区形成一个取、输、配、排相结合的多水源循环动态体系。取水系统、输水系统将多种水资源输送到配水系统中,在农田、城乡居民地间进行分配,不能被作物利用的多余水量经排水系统排出灌区。将多水源循环转化系统进行概化,如图 1 所示。

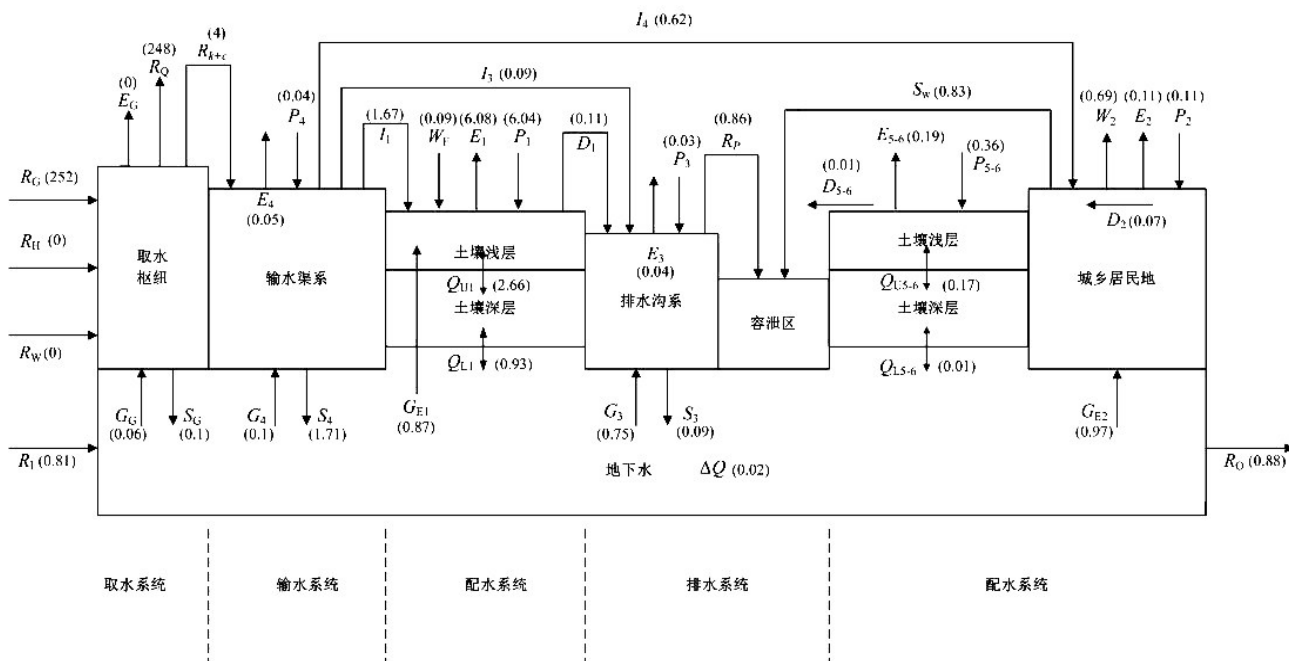


图 1 灌区系统多水源循环转化示意图(单位:亿 m³)

在对灌区系统概化的基础上,考虑取水、输水、配水和排水系统对天然水循环的影响,建立灌区系统多水源循环转化模型:

$$\Delta Q = S_G - G_G + S_4 - G_4 + S_{L1} - G_{L1} - G_{E1} + S_3 - G_3 - G_{E2} + S_{L5-6} - G_{L5-6} + R_1 - R_0, \quad (1)$$

式中: ΔQ 为区域地下水蓄水变量(万 m³); S_G 为取水系统河库渗漏量(万 m³); G_G 取水系统地下水补给量

(万 m³); S_4 为输水渠系入渗量(万 m³); G_4 为地下水补给输水渠系量(万 m³); S_{L1} 为土壤深层渗漏量(万 m³); G_{L1} 为潜水补给量(万 m³); G_{E1} 为农田地下水利用量(万 m³); S_3 为排水系统入渗量(万 m³); G_3 为地下水排入排水系统水量(万 m³); G_{E2} 为城乡引用地下水量(万 m³); S_{L5-6} 为林草地入渗量(万 m³); G_{L5-6} 为地下水补给林草地的水量(万 m³); R_1 为周边河库补给地下水的量(万 m³); R_0 为地下水侧排流出量(万 m³)。

2.1 取水系统

对于利用地下水作为灌溉水源的取水系统,直接从散布在田间的管井、筒井等有限水面中抽取地下水,直接进入田间配水系统。对于利用雨水、微咸水、中污水等非常规水源作为灌溉水源的取水系统,多经特殊的集水或处理系统直接进入田间配水系统。这些经由特定取水设施进入农田配水系统的水资源量由可利用量扣减输水损失得到。这部分非常规水资源的利用放入配水系统中研究。对于利用河川径流作为灌溉水源的取水系统,无论是采用有坝、无坝或是水库取水方式,都是直接从河流、水库等开阔水面中取水,就整个取水系统而言,存蓄灌溉水源的河库存在蒸发、渗漏损失,扣除这部分损失,余水一部分进入输水系统,另外一部分则沿原河道或闸坝流出。兹划定人民胜利渠灌区黄河取水口至渠首引水闸段为取水系统所涉及的范围。根据水量平衡原理,构建取水系统水循环转化模型,如式(2)所示:

$$R_G + R_H + R_W + G_G = E_G + S_G + R_{k+c} + R_Q, \quad (2)$$

式中: R_G 为黄河来水量(万 m³); R_H 为灌溉回归水量(万 m³); R_W 为外调水量(万 m³); E_G 为渠首引水渠水面蒸发量(万 m³); R_{k+c} 为进入输水系统的水量(万 m³); R_Q 为下泄的黄河水量(万 m³); 其余符号意义同前。

2.2 输水系统

在输水系统中,不同灌区系统的渠系概化级数也不尽相同,为了研究的方便,将输水渠系概化为输水干渠和支渠渠系2部分。根据水量平衡原理,构建输水干渠水循环转化模型,如式(3)所示:

$$R_{k+1} = R_k + P_{4k} + G_{4k} - E_{4k} - S_{4k} - R_c - I_2 - I_{3k}, \quad (3)$$

式中: R_k 为进入第 k 渠段的干渠水量(万 m³); R_{k+1} 为进入第 $k+1$ 渠段的干渠水量(万 m³); R_c 为进入支渠渠系的配水量(万 m³); E_{4k} 为第 k 渠段的干渠水面蒸发量(万 m³); S_{4k} 为第 k 渠段的干渠入渗量(万 m³); P_{4k} 为第 k 渠段的干渠降水量(万 m³); I_2 为干渠引水补给坑塘量(万 m³); I_{3k} 为第 k 渠段的干渠水直接退入排水沟量(万 m³); G_{4k} 为第 k 段干渠的地下水补给量(万 m³)。

根据水量平衡原理,构建输水支渠渠系水循环转化模型,如式(4)所示:

$$R_c + P_{4c} + G_{4c} = E_{4c} + I_1 + I_4 + S_{4c} + I_{3c}, \quad (4)$$

式中: E_{4c} 为支渠系水面蒸发量(万 m³); S_{4c} 为支渠系入渗量(万 m³); P_{4c} 为支渠系降水量(万 m³); I_1 为输水进入农田的灌溉水量(万 m³); I_{3c} 为支渠系水直接退入排水沟量(万 m³); I_4 为引水进入城乡居民用水量(万 m³); G_{4c} 为第 c 段支渠的地下水补给量(万 m³)。

2.3 配水系统

考虑下垫面的不同,配水系统不仅包括田间配水、城乡居民配水,还包括分布在灌区系统内的林草地、天然土体。林草地和天然土体虽然不是直接通过灌区系统配水,但在垂直方向上却消耗一部分天然降水,水平方向上参与其他配水系统的地表和地下径流过程。

1) 田间水循环

田间土壤水系统,主要的补给来源是大气降水、灌溉水、潜水蒸发等,主要的消耗项为蒸发蒸腾和入渗量。模型将土壤在垂直方向上分为3层,从上至下分为土壤浅层、土壤深层、地下水层。其中,土壤浅层对应的是地表以下1 m左右的作物根系活动层,土壤深层对应的是浅层土壤下边界与地下水潜水面之间的土壤包气带部分。

① 土壤浅层:

$$H_S = H_{S0} - D_1 - E_{S1} + P_1 + 10(G_{E1} + I_1 + W_F - S_{S1})/A_i, \quad (5)$$

$$D_1 = \begin{cases} 0 & H_S \leq H_{Smax} \\ H_S - H_{Smax} & H_S > H_{Smax} \end{cases}, \quad (6)$$

式中: H_S 为地表蓄水量(mm); H_{S0} 为初始地表蓄水量(mm); P_1 为降水量(mm); I_1 为灌水量(万 m³); W_F 为污水、微咸水等非常规水的补给量(万 m³); D_1 为地表排水量(mm); E_{S1} 为植被截留蒸发量(mm); S_{S1} 为入渗到浅层土壤的水量(万 m³); H_{Smax} 为地表蓄水层最大厚度(mm); A_i 为第 i 个子区的农田灌溉面积(km²); 其余符号

意义同前。

$$\theta_U \cdot H_U = H_{U0} + S_{S1} - E_{U1} - Q_{U1} , \quad (7)$$

式中： θ_U 为浅层土壤的含水率； H_{U0} 为浅层土壤初始蓄水量(mm)； H_U 为时段末浅层土壤厚度(mm)； E_{U1} 为浅层土壤蒸发和植被蒸腾量(mm)； Q_{U1} 为浅层和深层土壤间水分通量(取向向下为正)(mm)。

②土壤深层：

$$\theta_L \cdot H_L = H_{L0} + Q_{U1} - E_{L1} - Q_{L1} , \quad (8)$$

式中： θ_L 为深层土壤的含水率； H_{L0} 为深层土壤初始蓄水量(mm)； H_L 为时段末深层土壤厚度(mm)； E_{L1} 为深层土壤潜水蒸发量(mm)；由于潜水层内为饱和土壤水，吸力为0，则土壤深层和潜水层间水分通量 Q_{L1} (取向向下为正)(mm)。

2)城乡居民用水循环

从输入和输出的角度考虑城乡居民地的水循环,将具体的生活、工业用水过程黑箱化,仅考虑整个城乡居民地生活、工业用水的耗水量和污水排放量。根据水量平衡原理,构建城乡居民地水循环转化模型,具体见式(9)：

$$P_2 - E_2 - D_2 = 10(S_W + W_2 - I_4 - G_{E2})/A_i , \quad (9)$$

式中： P_2 为城乡居民地降水量(mm)； I_4 为城乡引用地表水量(万 m^3)； S_W 为城乡污水排放量(万 m^3)； E_2 为城乡居民地蒸发量(mm)； W_2 为城乡耗水量(万 m^3)； D_2 为城乡居民地降雨径流排水量(mm)；其余符号意义同前。

3)林草地水循环

林草地水循环与田间水循环相比,除了比田间水循环减少了部分灌溉配水以外,二者各部分水循环要素组成大致相同,计算方法也类似,采用式(5)一式(8)计算。

2.4 排水系统

排水系统与输水系统结构类似,但二者在分流与汇流上有所区别,输水系统是从主干渠道到分支渠道逐渐分流,径流量也逐级减少,排水系统则相反,从分支排水沟到主干排水沟逐渐汇流,径流量也逐步增大。

以排水最末级干沟为研究对象,按照水量平衡原理,建立排水系统水循环转化模型,如式(10)所示：

$$R_{P+1} = R_P + R_{ZP} - S_3 + I_3 + D_2 + G_3 + 0.1A_i(P_3 - E_3) , \quad (10)$$

式中： R_P 为进入第 P 沟段的干沟水量(万 m^3)； R_{P+1} 为进入第 $P+1$ 沟段的干沟水量(万 m^3)； P_3 为排水干沟降水量(mm)； R_{ZP} 为支沟排入干沟水量(万 m^3)； E_3 为水面蒸发量(mm)； I_3 为引水渠道直排水量(万 m^3)； D_2 为田面退水直排入排水沟的水量(万 m^3)；其余符号意义同前。

3 模型验证

考虑到人民胜利渠灌区缺乏实测的地表径流量资料,并且灌区地表植被覆盖面积超过70%,选用蒸散量作为评价模型模拟地表水适用性的指标。给水度是反映包气带土层持水和释水能力的重要指标,可直接反映地下潜水位动态,故选用该指标作为模型模拟地下水转化的评价指标。给水度计算方法如式(11)所示：

$$\mu_i = \Delta Q_i / (\Delta H_i \cdot A_j) , \quad (11)$$

式中： ΔQ_i 为第 i 个子区的地下水调蓄量(万 m^3)； A_j 为第 j 个子区的面积(km^2)； ΔH_i 为第 i 个子区的地下水埋深升降值,升为正降为负(m)。

模型以日为计算时段,同时假定每日的水循环过程是均匀变化的。由于实测蒸散资料难以获取,验证模型使用的蒸散量资料采用基于遥感技术反演估算的成果^[20]。与文献[20]相比,各子区蒸散量模拟值相对误差均小于10%(表2),给水度模拟值与地下水非稳定流抽水试验得出的平均给水度(0.057~0.099)^[17]基本一致(表3)。表明构建的灌区多水源循环转化模型,能够较好地模拟地表水和地下水循环转化关系。

表2 各子区蒸散量模拟值与遥感值对比

子区	新磁支渠	白马支渠	东一干渠	西一干渠	西三干渠	东三干渠	东二干渠
遥感值/万 m^3	6 948.06	1 861.51	4 400.71	9 109.54	2 818.52	38 472.85	482.17
模型模拟/万 m^3	6 858.01	1 995.66	4 022.79	9 423.14	2 788.10	39 147.19	442.96
相对误差/%	1.3	7.2	8.6	3.4	1.1	1.8	8.1

表3 各子区给水度							
子区	新磁支渠	白马支渠	东一千渠	西一千渠	西三千渠	东三千渠	东二千渠
地下水调蓄量/万m ³	84.22	69.03	78.21	155.67	82.04	441.75	98.20
地下水埋深变幅/m	0.010	0.008	0.009	0.013	0.006	0.033	0.009
μ_i	0.058	0.058	0.059	0.083	0.092	0.090	0.077

4 模型应用

基于前文构建的灌区多水源循环转化模型,模拟灌区系统多年平均的多水源循环转化过程,各系统多水源循环转化量如图1括号内数值所示。由图1可知,以多年平均引黄灌溉水量、周围侧渗补给地下水量、灌区降水量、非常规水用量作为灌区补给项,水资源总补给量约为11.49亿m³。将城乡耗水量、灌区蒸发量、区域排水量、地下水出流量、地下水开采量作为排出量,水资源总消耗量约为11.57亿m³。区域总蓄水变化量约为-0.08亿m³。

从灌区系统组成方面看,把各系统流入项作为输入项,各系统除蒸发和渗漏以外的流出项作为输出项,将转化过程中的蒸发、渗漏作为水资源转化项。表4给出了灌区系统多年平均水资源转化情况,取水系统水资源转化量为985万m³,这部分转化量在整个灌区系统中为最小的,主要以渠首闸和取水渠道渗漏为主,这可能与灌区采用无坝取水方式,渠首枢纽规模较小有关。输水系统水资源转化量为17 578万m³,水资源转化主要集中在渠道渗漏上,约占总引黄水量的44%,虽然在总量上没有配水系统消耗量大,但由于灌区输水渠道长,渠道防渗措施不完备,全灌区的衬砌率仅为24%,易造成引黄水的渗漏,抬高输水渠道沿线的地下水位,增加了沿线农田遭受渍害和土壤次生盐碱化的风险。灌区系统水资源转化量主要集中在配水系统中,约占系统总转化量的83%。其中,农田蒸发量和渗漏量分别为60 804万m³和26 599万m³,城乡居民地蒸发量和渗漏量分别为1 104万m³和4 506万m³,林草地蒸发和渗漏量分别为1 891万m³和1 719万m³。由此可知,配水系统水资源消耗主要集中在农田蒸散和渗漏上,农田渗漏量约占28%,这可能是因为大部分地区仍采用大水漫灌等落后灌溉方式^[21],造成水资源浪费。排水系统水资源转化量也以渗漏为主,约为1 281万m³。

表4 灌区系统多年平均水资源转化量						
灌区系统	输入量/万m ³	输出量/万m ³	转化			
			蒸发量/万m ³	渗漏量/万m ³	合计/万m ³	所占比例/%
取水系统	2 523 526	2 522 541	7	978	985	0.8
输水系统	41 395	23 817	468	17 110	17 578	15.1
配水系统	106 814	10 192	63 799	32 823	96 622	83.0
排水系统	9 849	8 568	411	870	1 281	1.1

从灌区多年平均“四水”资源收支情况可知(表5),大气水和地表水支出均大于收入,而土壤水和地下水则与前者相反,收入大于支出。灌区系统“四水”转化过程,可以看作是从大气水、地表水向土壤水和地下水逐渐转移的过程。各项水资源收支差异较大的

主要集中在大气水、地表水向土壤水的转化中。大气、地表水支出大于收入的部分,主要用来填补因农田蒸散消耗的土壤水。通过土壤水的收支情况可以看出,约有6.23%的水资源入渗滞留土壤内,表明土壤水库的储水潜力较大。灌区下游一些以井灌为主的地区,主要靠开采地下水来灌溉农田,易造成地下水位的持续下降,如东三千渠下段的牌杨庄村,2010年地下水平均埋深已下降至8.92 m,较全区平均低约5 m。此外,人民胜利渠灌区的地面径流调蓄工程较少,因此利用土壤水库对调蓄洪涝有重要作用。

5 结 论

1)从农田灌排系统(取水系统-输水系统-配水系统-排水系统)的角度,构建了多水源循环转化模型。人民胜利渠灌区实际应用表明,该模型能够定量描述各水循环要素间的转化关系,具有较好的模拟精度。

2)灌区水资源转化量主要集中在配水系统中,约占灌区水资源总转化量的83%,输水系统次之,约占总转化量的15%。取水系统和排水系统转化量较小,分别约为0.01亿m³和0.13亿m³。配水系统中约2/3水资源量消耗于农田蒸散,其他系统则以渗漏为主。

3)灌区当前灌溉水利用效率较低,农田和渠系渗漏量所占比重较大,尤其是输水系统中的渗漏量占总

表5 灌区多年平均“四水”资源收支情况					万m ³
灌区	大气水/万m ³	地表水/万m ³	土壤水/万m ³	地下水/万m ³	
收入	64 678	133 175	30 212	37 840	
支出	65 867	133 652	28 331	37 565	
合计	-1 189	-477	1 881	275	

引黄水量的44%,增加了沿线农田遭受渍害和土壤次生盐碱化的风险。

参考文献:

- [1] 王浩,贾仰文,杨贵羽,等. 海河流域二元水循环及其伴生过程综合模拟[J]. 科学通报,2013,58(12): 1 064-1 077.
- [2] PHILIP J R. Plant Water Relations: Some Physical Aspects[J]. Annual Review of Plant Physiology, 2003, 17(1): 245-268.
- [3] KIM J, SULTAN M. Assessment of the long-term hydrologic impacts of Lake Nasser and related irrigation projects in Southwestern Egypt[J]. Journal of Hydrology, 2002, 262(1-4): 68-83.
- [4] 雷志栋,杨诗秀,胡和平,等. 四水转化、水资源与水土资源平衡——干旱、半干旱地区水资源平衡分析问题讨论(1)[J]. 水利规划与设计,2001(2):28-29.
- [5] 徐学选,张北赢,田均良. 黄土丘陵区降水-土壤水-地下水转化实验研究[J]. 水科学进展,2010,21(1):16-22.
- [6] 张俊娥,陆垂裕,秦大庸,等. 基于分布式水文模型的区域“四水”转化[J]. 水科学进展,2011,22(5):595-604.
- [7] 黄修桥,郭圆圆,徐建新. 灌区水资源循环转化研究进展[J]. 华北水利水电大学学报(自然科学版),2013,34(1):79-82.
- [8] 王成丽,蒋任飞,阮本清,等. 基于四水转化的灌区耗水量计算模型[J]. 水利学报,2009,40(10):1 196-1 203.
- [9] 刘锦,李慧,方韬,等. 淮河中游北岸地区“四水”转化研究[J]. 自然资源学报,2015,30(9):1 570-1 581.
- [10] 邵薇薇,李海红,韩松俊,等. 海河流域农田水循环模式与水平衡要素[J]. 水利水电科技进展,2013,33(5):15-20.
- [11] 温杰,樊贵胜. 长期喷灌条件下土壤剖面理化特性的变化研究[J]. 灌溉排水学报,2011,30(6):53-56.
- [12] 杨志勇,胡勇,袁喆,等. 井灌区水循环研究进展[J]. 灌溉排水学报,2015,34(3):56-60.
- [13] 王立正. 人民胜利渠灌区水资源优化配置模式探讨[J]. 人民黄河,2004,26(9):26-28.
- [14] 李素梅,王瑞,张锡林. 人民胜利渠渠首引水问题研究与建议[J]. 中国水利,2014(16):44-46.
- [15] 胡艳玲,齐学斌,黄仲冬,等. 基于补排平衡法的井渠结合灌区机井数量研究[J]. 灌溉排水学报,2015,34(8):17-21.
- [16] 温季,李修印,王立正,等. 人民胜利渠灌区节水改造技术研究[M]. 郑州:黄河水利出版社,2002.
- [17] 袁光耀,王卫民,王立正,等. 农田灌溉排水研究与实践[M]. 郑州:黄河水利出版社,2005.
- [18] ALLEN R G, PEREIRA L S, RAES D, et al. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements[J]. Fao Irrigation & Drainage Paper, 1998, 56.
- [19] 杨丽莉,马细霞,路振广,等. 人民胜利渠灌区水资源高效利用调控技术研究[J]. 中国农村水利水电,2013(7):64-68.
- [20] 黄焱. 基于3S技术的区域作物蒸散模型研究[D]. 北京:中国农业科学院研究生院,2013.
- [21] 殷欢庆,王贻森,王菊霞,等. 河南省人民胜利渠灌区水资源现状及合理利用[J]. 河南水利与南水北调,2013(23):65-66.

Research on the Multi-water Cycle and Transformation Model in the People's Victory Canal Irrigation District

YAN Yijun^{1,2}, XU Jianxin^{1,2}, LU Jianhong³

(1. Graduate School of Chinese Academy of Agricultural Sciences, Beijing 100081, China; 2. School of Water Resources, North China University of Water Conservancy and Electric Power, Zhengzhou 450045, China; 3. School of Environmental & Municipal Engineering, North China University of Water Conservancy and Electric Power, Zhengzhou 450045, China)

Abstract: According to irrigation-drainage systems, the multi-water cycle and transformation model were established in accordance with the local specifications in the People's Victory Canal Irrigation District in this study. The average annual transforming relationships of multi-water resources were then simulated in the system of water intake, conveyance, distribution and drainage, successively. The results showed that the established model was feasible and could simulate the processes of multi-water cycle and transformation well. Water transformation mainly occurred in the water conveyance and distribution system, with 176 million and 966 million m³ water resources for transformation respectively. While only 1 million and 13 million m³ water resources were transferred in the water intake and drainage system respectively. It was found that leakage was the main way of water transformation in the water intake system, which could increase the risk of soil secondary salinization and waterlogging damage along the conveyance channels. Due to the backward irrigation modes, the farmland leakage accounted for 28% of water transformation in the water distribution system.

Key words: “four-water” transformation; irrigation district system; the multi-water cycle and transformation model; the People's Victory Canal Irrigation District

责任编辑:白芳芳