

宝鸡峡灌区耗水量变化规律及影响因素分析研究

蔡明科, 魏晓妹, 栗晓玲

(西北农林科技大学 水利与建筑工程学院, 陕西 杨陵 712100)

摘要: 综合目前各种耗水量的概念或定义, 从关中灌区水资源形成及转化的角度出发, 并考虑到灌区以农业灌溉为主, 兼有其他行业供水、用水、耗水及排水为一体的特点, 界定了灌区耗水量的概念。通过对灌区用水对象和耗水机理的分析, 建立了灌区耗水量计算模型。通过模型计算与分析, 表明农业用水耗水量是宝鸡峡灌区的耗水大户; 灌区 1991- 2003 年耗水量总体呈小幅度递减趋势, 与农业用水耗水量的变化趋势一致, 而工副业、城市及农村生活用水耗水量呈线性递增的趋势, 灌区农业用水耗水量的变化支配着总耗水量的变化。

关键词: 灌区; 耗水量; 耗水机理; 影响因素

中图分类号: S274. 2 文献标识码: A 文章编号: 1005-3409(2007) 06-0260-04

Study on Water Consumption Change Rule and Influence Factor
in Guanzhong Irrigation Area

CAI Ming-ke, WEI Xiao-mei, SU Xiao-ling

(College of Water Resources and Architectural Engineering,
Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China)

Abstract: This article synthesized each kind of water consumption concept or definition at present and defined the irrigation area water consumption concept. Through analysis of irrigation area water use object and water consumption mechanism analysis, the bigger one established the irrigation area water consumption computation model. Through model computation and analysis, indicated the agricultural water consumption is the bigger one in the Baojixia irrigation area. The irrigation area in 1991- 2003 water consumption overall assume the small scope degression tendency, is consistent with the agricultural water used consumption change tendency. But the industrial occupation and the city and the village life water use assumes the tendency which the linearity increases progressively. The irrigation area agriculture water consumption change is contribute to the total water consumption change.

Key words: irrigation area; water consumption; water consumption mechanism; influence factor

宝鸡峡灌区位于陕西省关中西部, 灌溉水源以引渭河径流为主, 辅以地下水, 灌区范围涉及宝鸡、咸阳、西安 3 市 14 个县(区), 灌溉面积 19.44 万 hm^2 , 灌区总人口 204.47 万人, 粮食总产量和商品粮供应分别占全省的 1/7 和 1/4, 是陕西省最大的国有灌区, 也是全省粮、油、菜、果的生产基地。灌区渭河引水主要为农业灌溉用水, 地下水除用于农田灌溉外, 还担负着区内部分工业和城镇生活用水。目前, 灌区已形成了地表水与地下水联合供水, 农业用水、城乡镇生活、工副业用水多元化的灌区用水格局。然而灌区人均水资源量不足 500 m^3 , 属资源型缺水地区, 水资源供需矛盾十分突出, 尤其是近二十几年来, 社会经济的快速发展, 耗水量不断增加, 使区域水循环关系发生了深刻变化, 并由此引发了一系列水资源问题, 如地下水超采、渭河枯水期径流量减少, 河流污径比加大, 河流冲沙能力降低, 下游防洪问题严重等。因此研究关中灌区耗水量变化对水量平衡关系的影响显得十分必要。

1 灌区耗水量的定义及分类

关于耗水量的概念, 目前国内分为用水耗水量和非用水

耗水量, 用水耗水量指毛用水量在输水、用水过程中, 通过蒸腾、蒸发、土壤吸收、产品带走而不能回到地表水体或地下水体中的水量; 非用水耗水量指河道、湖泊、水库等地表水体的蒸发量(含水面蒸发与浸润蒸发)和地下水的潜水蒸发。国外分为有益耗水量和无益耗水量, 有益耗水量是指水分消耗能产生一定效益, 如农业用水的消耗能产生粮食, 环境用水能改善生态环境; 无益消耗指水分的消耗不能产生效益或只能产生负效益, 如渍涝地上的水分蒸发, 深层渗漏的水进入咸水含水层等。

上述对灌区耗水量的定义, 仅是从某种研究对象或某种研究目的出发而提出的, 对于多种水源联合利用, 且用水对象呈多元化的灌区有一定的局限性。一是没有从灌区水循环的角度出发, 同时考虑地表水与地下水的联合供水以及相互间转化作用, 不利于灌区水资源的合理高效利用; 二是对灌区的耗水对象及耗水过程考虑不够全面, 如仅考虑了农田灌溉耗水, 而没有考虑灌区内工副业或生活耗水, 或仅考虑了用水环节中的水量消耗, 而忽视了输水环节中的水量消

*收稿日期: 2007-03-07

基金项目: 国家自然科学基金项目(50279042); 水利部黄河水利委员会黄河联合研究基金项目; 国家科技支撑计划(2006BAD11B05)

作者简介: 蔡明科(1970-), 陕西扶风人, 讲师, 主要从事水资源及节水技术研究工作。

耗, 或忽视了非用水环节中的水量消耗。

灌区的耗水过程既是自然界的一种水文现象, 同时也是人类对水文循环的一种干预, 其水量消耗既产生于输水、供水、用水的各个环节, 又存在于非用水的各个环节。因此, 本研究从灌区水量转化的角度出发, 将灌区耗水量定义为灌区内在用水和非用水过程中, 通过蒸腾蒸发、土壤吸收、产品带走和人畜饮用等多种途径消耗掉而不能回到地表水体或地下水含水层中的水量。按水量消耗的目的可分为用水耗水量和非用水耗水量两大部分(图 1)。

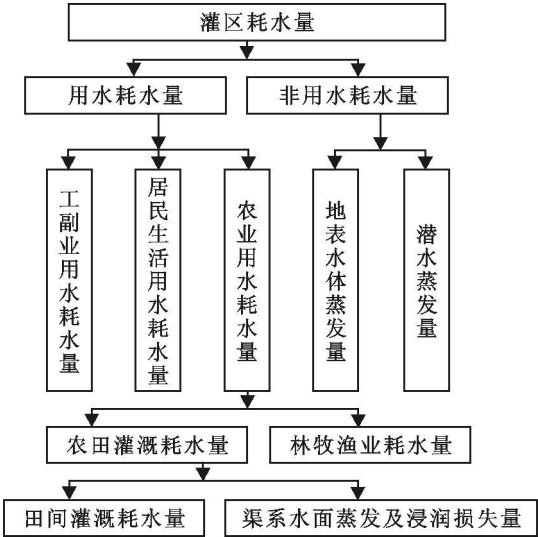


图 1 灌区耗水量分类

1.1 灌区用水耗水量

灌区用水耗水量指毛用水量在输水、用水过程中, 通过蒸腾蒸发、土壤吸收、产品带走、居民和牲畜饮用等多种途径消耗掉而不能回到地表水体或地下水含水层中的水量。按灌区用水对象可分为

(1) 农业用水耗水量。包括农田灌溉耗水量和林牧渔业耗水量。农田灌溉耗水量指作物蒸腾、棵间蒸发、渠系水面蒸发和浸润损失等水量; 农牧渔业耗水量指果树、经济林耗水量及鱼塘补水耗水量。

(2) 工副业用水耗水量。灌区内工副业用水的输水损失和生产过程中的蒸发损失、产品带走的水量及厂区内生活耗水等。

(3) 城市及农村居民生活耗水量。灌区内居民生活用水和牲畜用水耗水量。

1.2 灌区非用水耗水量

非用水耗水量指灌区内河道、陂塘、水库等地表水体的蒸发损失量和地下水的潜水蒸发量。

2 灌区耗水机理分析及耗水量计算

宝鸡峡灌区的供水水源来自于渭河径流的引水和当地地下水的开采, 灌区耗水的途径主要有农业用水耗水、工副业用水耗水、乡镇居民用水耗水及地表水与地下水的蒸发, 其水量消耗既产生于输水、供水、用水的各个环节, 又存在于非用水的环节。

2.1 农田灌溉用水耗水量

农田灌溉耗水量主要包括渠系水面蒸发和湿润土壤损失、作物蒸腾、棵间蒸发量等。

(1) 渠系水面蒸发量及湿润土壤损失量。灌溉水从渠首

到田间的过程中, 一部分入渗补给地下水, 即渠系渗漏补给量, 另一部分消耗于渠系水面蒸发、湿润土壤与浸润带蒸发, 剩余部分为田间毛灌溉水量。渠系水面蒸发量及湿润土壤损失量 E_{Q1} 的计算公式为

$$E_{Q1} = Q_1 \times (1 - \eta) \times m \tag{1}$$

式中: E_{Q1} ——渠系水面蒸发量及润湿土壤损失量(万 m^3/a); Q_1 ——渠首引水量(万 m^3/a), 根据灌区历年引水统计资料确定; η ——渠系水利用系数, 该值与渠道衬砌情况密切相关, 宝鸡峡灌区干、支两级渠道渠系水利用系数在 0.639~0.692 之间; m ——渠系渗漏补给系数, 根据《羊毛湾—宝鸡峡灌区水文地质勘察报告》, 并结合灌区现状确定为 0.2~0.26。

根据公式(1)和确定的计算参数可计算出宝鸡峡灌区 1991—2003 年的渠系水面蒸发量及湿润土壤损失量(表 1)。

(2) 作物耗水量。作物在任一土壤水分条件下的植株蒸腾、棵间蒸发量以及组成植株体的水量之和称为作物耗水量。植物蒸腾量指从植物体上蒸发的水量, 即进入作物根系, 用以建立作物组织及通过叶面蒸腾至大气中的水量; 棵间蒸发量指从作物棵间土壤表面直接蒸发到大气中的水量; 组成作物体的水量仅占作物蒸腾蒸发量的 1%, 而且影响因素复杂, 难以准确计算, 故在一般研究中忽略不计。这样, 作物耗水量就等于任一土壤水分条件下的植株蒸腾量与棵间蒸发量之和, 即作物蒸腾蒸发量。

灌区作物耗水量的计算方法有农田水量平衡方程法、毛灌溉水量与地表水地下水回归量之差估算法及净灌溉水量估算法。根据宝鸡峡灌区的实际情况, 本研究采用灌溉面积与净灌溉定额相乘的方法来估算作物耗水量。即:

$$E_{Q2} = \sum m_i \times A_i \tag{2}$$

式中: E_{Q2} ——灌区作物耗水量(万 m^3/a); m_i —— i 种作物净灌溉定额(万 m^3/hm^2); A_i ——第 i 种作物当年灌溉面积(hm^2)。

根据灌区 1991—2003 年的作物种植结构、灌溉面积和净灌溉定额的调查统计资料, 计算可得宝鸡峡灌区历年的作物耗水量(表 1)。

(3) 农牧渔业耗水量。农牧渔业耗水量指果、林、牧草耗水及鱼塘补水量。经调查, 宝鸡峡灌区无牧草灌溉面积, 且鱼塘面积也不大, 同时果园灌溉面积已包括在灌区总灌溉面积之中, 因此, 农牧渔业耗水量仅有果林耗水量, 而且此量已在农田灌溉耗水量中予以计算。

2.2 工副业用水耗水量

工副业用水耗水量包括输水损失和生产过程中蒸发损失量、产品带走的水量及厂区内生活耗水量等。由于灌区内的工副业一般为中小企业, 本研究采用耗水率法计算工副业耗水量。即:

$$W_I = K_I \times W_G \tag{3}$$

式中: W_I ——工副业用水耗水量(万 m^3/a); W_G ——工副业用水量(万 m^3/a); K_I ——工副业耗水率, 根据陕西省关中地区调查资料并结合宝鸡峡灌区情况确定。

工副业用水量可根据下式计算

$$W_G = W_{GY} \times E_G \tag{4}$$

式中: W_G ——工副业的用水量(万 m^3/a); W_{GY} ——工副业的产值(亿元), 根据各市、县统计资料确定; E_G ——工副业万

元产值用水量(万 m³/a), 根据实际调查资料确定。

表 1 宝鸡峡灌区耗水量计算结果 万 m³

年份	用水耗水量			非用水耗水量	灌区总耗水量
	农田灌溉耗水量	工副业耗水量	城市及农村生活耗水量		
1991	36773.3	3038.1	5025.5	1153.8	45990.7
1992	37539.2	3645.2	5025.5	1251.0	47460.9
1993	35734.7	4081.3	5084.6	1170.6	46071.2
1994	52829.8	4570.9	5141.0	1275.7	63817.4
1995	30781.8	4820.4	5141.0	1053.1	41796.3
1996	37865.1	5636.2	5194.9	1053.1	49749.3
1997	38540.3	5918.5	5420.7	471.8	50351.3
1998	26312.2	6373.9	5533.7	492.8	38712.6
1999	31311.8	6689.3	5646.6	254.2	43901.9
2000	29422.7	7414.4	5692.6	228.1	42757.8
2001	22427.4	7981.3	5915.8	229.2	36553.7
2002	28553.8	8199.1	6027.4	332.4	43112.7
2003	30568.6	8338.0	6139.0	734.3	45779.9

2.3 城市及农村生活耗水量

灌区内居民及牲畜通过 饮用或其它途径要消耗掉一部分水量, 这部分水量一般用耗水率计算。

$$W_L = K_2 \times (P_N \times Q_{pd} + A_N \times Q_{Nd} \times t) \tag{5}$$

式中: W_L ——城市及农村生活耗水量(万 m³/a); K_2 ——城市及农村生活耗水率, 即城市及农村生活耗水量与用水量的比值, 乡镇住宅一般给排水设施不完备(农村住宅基本上没有给排水措施), 用水定额也比较低, 因此可通过典型调查, 确定耗水率; P_N ——当年人口总数(万人); Q_{pd} ——人均用水定额(m³/人·d); A_N ——当年牲畜总标准头数; Q_{Nd} ——标准头牲畜用水定额(m³/头·d); t ——用水时间(d)。

根据灌区行政区域内的人口总数及人均用水定额、牲畜数及标准头牲畜用水定额的统计资料, 可计算出宝鸡峡灌区的乡镇生活耗水量(表 1)。

2.4 潜水蒸发量

潜水蒸发是田间水循环的一部分, 是浅层地下水向土壤和大汽水转化的重要途径, 亦是地下水的主要消耗项。在潜水埋深小于潜水蒸发极限深度的条件下产生潜水蒸发。根据宝鸡峡灌区的有关资料, 潜水蒸发极限深度约为 5 m。因此, 在计算潜水蒸发时, 选用的是年平均地下水位埋深小于 5 m 的区域来计算。潜水蒸发量的计算公式为

$$W_{GE} = 0.1 \times C \times E_0 \times F \tag{6}$$

式中: W_{GE} ——潜水蒸发量(万 m³); C ——潜水蒸发系数, 与地下水位埋深、包气带岩性有关, 根据观测实验资料, 渭河阶地区取 0.07, 黄土塬区取 0.025; E_0 ——水面蒸发强度(mm/a), 根据灌区内气象站实测资料确定; F ——潜水埋深小于潜水蒸发极限深度的计算区面积(km²)。

2.5 灌区总耗水量

宝鸡峡灌区 1991–2003 年耗水量计算结果汇总于表 1。可以看出, 灌区多年平均总耗水量为 4.585 亿 m³, 其中用水耗水量 4.510 4 亿 m³, 占总耗水量的 98.4%; 非用水耗水量 0.074 6 亿 m³, 占总耗水量的 1.6%。在用水耗水量中, 农业用水耗水量占用水耗水量的 74.8%, 工副业用水耗

水量占 13.1%, 城市及农村生活用水耗水量占 12.1%。

3 灌区耗水量变化规律及影响因素

3.1 耗水量变化规律分析

灌区用水耗水量、非用水耗水量及总耗水量年际变化曲线如图 2 所示, 可以看出, 灌区农业用水耗水量的变化支配着总耗水量的变化, 二者变化趋势基本一致, 呈波浪状小幅递减趋势; 而非用水耗水量变化较小。

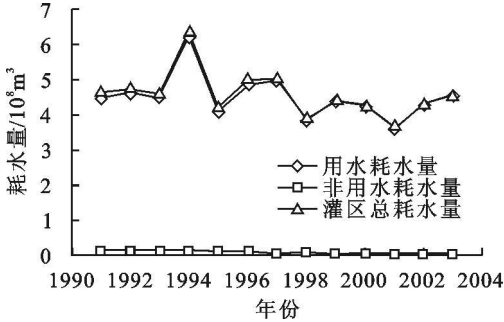


图 2 宝鸡峡灌区耗水量变化

灌区各项耗水量年际变化曲线如图 3 所示, 农田灌溉耗水量年际变化非常大, 呈逐年递减的趋势, 农田灌溉耗水量直接影响着灌区用水耗水量的变化; 而工副业、城市及农村生活用水耗水量呈线性递增的趋势, 这和灌区城市化水平提高有一定的关系。

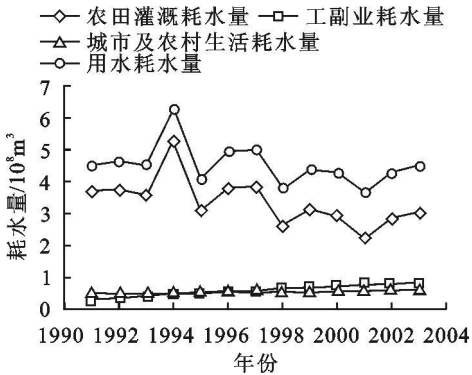


图 3 宝鸡峡灌区各项用水耗水量变化

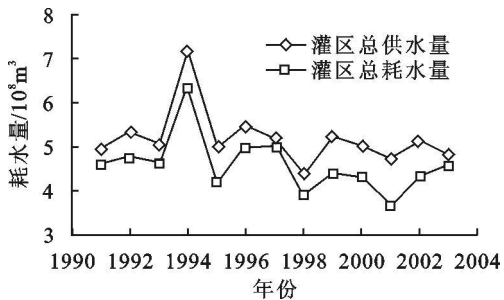


图 4 灌区供水量与耗水量关系

3.2 耗水量变化的影响因素

(1) 供水量变化对灌区耗水量的影响。图 4 是灌区供水量与耗水量变化关系曲线图, 由该图可以看出, 灌区供水量与灌区总耗水量成正相关关系, 表明耗水量受供水量的控制。在 1994 年灌区供水量和总耗水量均达到最大值, 这是由于该年为极端干旱年所致。

(2) 灌溉面积变化对灌区农业耗水量的影响。宝鸡峡灌区灌溉面积与灌区农业耗水量的关系如图 5 所示。可以看

出,灌区灌溉面积(考虑复种)多年基本稳定在 27~ 34 万 hm^2 , 农业耗水量却在不断减少,究其原因一是作物总灌溉面积稳定,但种植结构发生了变化,高耗水、低产出的粮食作物面积不断缩减,相对耐旱、效益较高的果树面积大幅增加;二是由于灌区渠灌体制改革滞后、基层管理粗放导致水价偏高,农民灌溉经济负担较重,作物适时灌溉率偏低,许多农民只浇救命水;三是近年来河源来水不足,部分时段取水口水质较差,农民不愿引水灌溉。

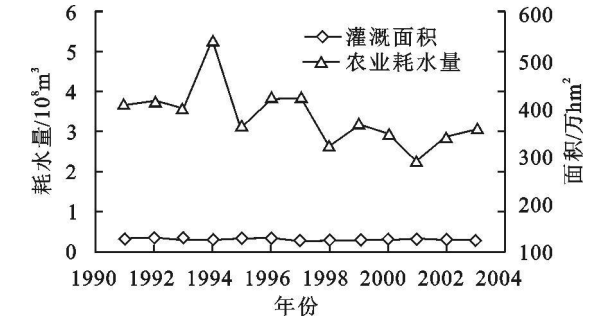


图 5 灌区灌溉面积与农业用水耗水量关系

4 结 论

(1) 本研究从灌区水资源转化的角度出发,并考虑到灌区以农业灌溉为主,兼有其他行业供水、用水、耗水及排水为一体的特点,明确界定了灌区耗水量概念,即灌区耗水量指灌区供水量(地表水和地下水)在输水、用水和非用水过程中消耗掉而不能回归到地表水体和地下含水层中的水量。根据灌区耗水量的消耗途径,对灌区耗水量进行了分类,即用水耗水量和非用水耗水量。灌区用水耗水量是指灌区毛用水量在输水、用水过程中,通过蒸腾蒸发、土壤吸收、产品带走、居民和牲畜饮用等多种途径消耗掉而不能回归到地表水体或地下含水层的水量。非用水耗水量指灌区内河道、池塘、水库等地表水体的蒸发损失量和地下水的潜水蒸发量。

(2) 以宝鸡峡灌区为研究区,分析灌区各种耗水对象的耗水机理,计算了灌区 1991- 2003 年的各项耗水量。计算结果表明,宝鸡峡灌区年均总耗水量为 4. 585 亿 m^3 , 其中用

水耗水量 4. 510 4 亿 m^3 , 占总耗水量的 98. 4%; 非用水耗水量 0. 074 6 亿 m^3 , 占总耗水量的 1. 6%。在用水耗水量中,农业用水耗水量占用水耗水量的 74. 8%, 工副业用水耗水量占 13. 1%, 城市及农村生活用水耗水量占 12. 1%。由此可见,农业用水耗水量是宝鸡峡灌区的耗水大户。

(3) 分析了宝鸡峡灌区耗水量变化趋势及其影响因素,结果表明:灌区 1991- 2003 年耗水量总体呈小幅度递减趋势,与农业用水耗水量的变化趋势一致,而工副业、城市及农村生活用水耗水量呈线性递增的趋势,灌区农业用水耗水量的变化支配着总耗水量的变化。农田灌溉耗水量呈递减趋势主要是由于灌区供水量减少以及灌溉用水水平提高的结果,与灌溉面积的变化关系不大。

参考文献:

[1] 董斌,崔远来,黄汉生,等. 国际水管理研究院水量平衡计算框架和相关评价指标[J]. 中国农村水利水电, 2003(1): 5- 8.

[2] 肖素君,王煜,张新海,等. 沿黄省(区)灌溉耗用黄河水量研究[J]. 灌溉排水,2002,21(3): 60- 63.

[3] 秦大庸,于福亮,李木山. 宁夏引黄灌区井渠双灌节水效果研究[J]. 农业工程学报,2004,20(2): 73- 77.

[4] 谢新民,赵文俊,裴源生,等. 宁夏水资源优化配置与可持续利用战略研究[M]. 郑州: 黄河水利出版社,2002.

[5] 秦大庸,于福亮,裴源生. 宁夏引黄灌区耗水量及水均衡模拟[J]. 资源科学,2003,25(6): 19- 24.

[6] Hazrat M A, Lee T S, Yan K C. Modeling water balance components and irrigation efficiencies in relation to water requirements for double-cropping systems[J]. Agricultural Water Management, 2000, 46: 167- 182.

[7] 康绍忠,蔡焕杰. 农业水管理学[M]. 北京: 中国农业出版社,1996.

[8] 魏晓妹,赵颖娣. 关中灌区农业水资源调控问题研究[J]. 干旱地区农业研究,2000,18(3): 117- 122.

(上接第 259 页)

定性指数(S)是检验土地利用景观形态稳定性的指标, S 的正负分别表示景观类型在复杂和简单状态下的稳定性。从时间维的角度讲,若分维值随时间变化而增大,则说明该景观的形态变得复杂和不规则,反之,该景观的形态变得简单。

(3) 驱动机制分析表明,盆地景观类型复杂性及稳定性主要受区域自然因子和人为因素的双重影响,使其发生巨大变化。

参考文献:

[1] 钱云,郝毓灵. 新疆绿洲[M]. 乌鲁木齐: 新疆人民出版社,2000.

[2] 贾宝全,慈龙骏,杨晓辉,等. 石河子莫索湾垦区绿洲景观格局变化分析[J]. 生态学报,2001,21(1): 34- 40.

[3] 余世孝,郭冻. 山东泰山地区景观结构变化及其分形分

析[J]. 生态学报,2005,25(1): 129- 134.

[4] 朱晓华,蔡运龙. 中国土地利用空间分形结构及其机制[J]. 地理科学,2005,25(6): 671- 676.

[5] 邵怀勇,仙巍,马泽忠,等. 土地利用/土地覆被镶嵌体的分形结构模型研究[J]. 水土保持学报,2004,18(5): 155- 158.

[6] 徐建华. 现代地理学中的数学方法[M]. 北京: 高等教育出版社,2002.

[7] 傅伯杰,陈利项,马克明,等. 景观生态学原理及应用[M]. 北京: 科学出版社,2001.

[8] 董连科. 分形理论及其应用[M]. 沈阳: 辽宁科学技术出版社,1991.

[9] 张俊,周成虎,李建新. 新疆焉耆盆地近 40 年土地利用与土地覆被演化[J]. 资源科学,2004,26(6): 30- 37.