渭北黄土原灌区地下水的化学特征及其演变规律

蒋海秀，马耀光
（西北农林科技大学 水利与建筑工程学院，陕西，杨凌 712100）

摘　要：利用现状水质监测及灌区31 a的地下水动态观测资料，在系统研究灌区水文地质及环境条件的基础上，选取3个典型井进行地下水水质评价、水位动态及水化学特征要素的多年变化规律的分析；用matlab灰色预测法和SPSS计算软件对3个代表井的埋深和水质的变化趋势进行预测。可为水资源的合理配置、地下水适宜埋深及合理的施肥与灌溉方式的确定提供依据。

关键词：水化学；地下水动态特征；黄土原灌区
中图分类号：X523；X824　　**文献标识码**：A　　**文章编号**：1672-643X(2012)02-0165-04

Characteristics and evolution of groundwater chemistry in Weibei loess plateau irrigation district

JIANG Haixiu, MA Yaoguang
(*College of Water Resources and Architectural Engineering, Northwest A & F University, Yangling* 712100, *China*)

Abstract: With the utilization of water quality monitoring and groundwater irrigation 31 years of observations, on the basis of hydro geological system of irrigation and environmental conditions, the paper selected three typical wells to carry out groundwater quality assessment, analysis of water level and water chemistry characteristics of the dynamic elements of change law for many years to fully explore the evolution of water dynamics and water quality of natural and man – made factors. It also predicted the depth and change trend of groundwater quality of 3 representative wells with the matlab gray prediction method and SPSS calculation software. The research results provide a basis for determining the rational allocation of water resources, suitable depth of groundwater, reasonable fertilization and irrigation.

Key words: water chemistry; groundwater characteristics; loess plateau region

1　灌区概况

渭北黄土原灌区地处渭河以北关中的中西部，地势北高南低、西高东低，灌区原面开阔平坦、黄土覆盖层厚、耕地良好，土壤质地良好，光热充足，自古就是中华农耕文化的发祥之地。多年平均气温14℃，多年平均降水量为44.3亿m^3，折合降雨深为558.78 mm，多年平均蒸发量1 110 mm。灾害性气候以干旱为主，局部地区有干热风、晚霜、冰雹等自然灾害。该地区是陕西省重要的灌溉农业区和粮棉油的主要产区，具有一定开发程度又发展不平衡的地区。渭北黄土台原灌区气候相对干旱、水资源短缺，水资源缺乏合理配置，地下水位及水质动态剧烈变化，并存在水环境污染威胁。将漆水河以东、泾河以西的宝鸡峡灌区的主体与羊毛湾灌区组成的乾县、礼泉黄土原灌区作为研究区，研究黄土原灌区地下水化学特征及其动态变化，对地下水资源的可持续利用和农业生态环境保育有着十分重要的意义。

2　地下水的化学特征

2.1　水文地质条件

宝羊灌区的上部黄土层从黄土的物质组成、结构特征、空隙类型、发育程度及空隙系统的联通性、透水性等均反映出其可构成良好的地下水上部含水层，其含水系统具有显著的孔隙、裂隙两重性。下部黄土分布稳定，结构致密，空隙性、给水性、渗透性较差，构成了区内稳定的隔水层。黄土中空隙的发育特点，导致含水层的渗透系数在垂直方向上远大于水平方向上，且随黄土时代愈新而逐渐增大。垂直渗透性强的特征有利于地面灌溉水和降水的入渗，水平渗透性弱的特性有利于地下水的蓄存，侧向径流强度较小，可减少地下水向沟道的侧渗流失。

收稿日期：2011-09-20；　**修回日期**：2011-12-10
作者简介：蒋海秀(1986-)，女，广西桂林人，在读研究生，水文学与水资源专业。
通讯作者：马耀光(1957-)，男，陕西咸阳人，教授，主要从事水资源与水环境保护方面的教学和科研工作。

地下水的形成条件是构造地貌、岩性结构及水文气象等自然条件综合作用的结果。通过对渭北黄土台原灌区水文地质条件的分析,可以看出,对地下水的形成和赋存起重要影响的除了降雨、蒸发等天然因素外,人类的水事活动,特别是区内灌溉对地下水的影响尤为明显,并且在入渗补给过程中,灌溉水入渗对地下水形成具有决定作用。黄土台原地区地下水接受降水补给的方式主要有两种,一是降雨由田面直接面渗,这种形式的入渗是在雨区范围内的各处地面同时进行的;另一种方式是池、塘、洼地的积水入渗。灌区蒸发强度受控于地下水位埋深,埋藏愈浅,蒸发愈强烈。根据水文地质条件可将研究区分为三个特征不同的区域:山前倾斜平原区、中部原间洼地区和南部台原区。

2.2 水化学特征

分别选取 366#、408#、B209# 作为山前倾斜平原区、中部原间洼地区和南部台原区三个典型的水文地质单元的代表井来分析黄土原灌区的水化学特征。

366# 位于山前倾斜平原区,该区水位埋深较大,受蒸发作用影响小,水化学类型为 $Ca \cdot Mg - HCO_3$ 型。

408# 位于灌区中部原间洼地区,该区水位埋深浅,易受蒸发浓缩作用影响,包气带厚度小,人类活动强烈有害成分易于进入地下水中,该区水化学类型为 $Na - HCO_3$ 型。

B209# 位于南部台原区,黄土堆积,蒸发量少,原面宽阔平坦,沟谷稀少,农业灌溉范围较大,该区水化学类型为 $Na - SO_4$ 型。

3 地下水动态及其变化规律

地下水动态是指地下水的数量和质量在各种天然因素和人为因素的综合影响下随时间不断发生变化的过程,是水量均衡和水质演变的基本表现。选取 366#、408#、B209# 作为各分区的典型代表井,分析其地下水质动态特征及其演变规律。

3.1 水位动态特征

(1) 代表观测井年内变化特征。采用降水量相对较多的 1996 年为典型年进行研究地下水位的年内变化特征。本文在研究区内对礼泉 408#、乾县 366# 和武功 B209# 三口典型井进行探讨。年内地下水埋深变幅与降雨、蒸发量之间的关系如图 1 ~ 3 所示。408# 地下水在年内持续下降,与其年内的降水蒸发有关,年内蒸发在 7 月份前远大于降水,使得地下水水位下降,7 月份以后降水有所增加,可蒸发还是很大,使地下水位还是处于下降趋势。9 – 10 月水位明显上升,与人类活动影响关系甚大,之后水位下降,是由于旱季地下水开采量变大所影响。

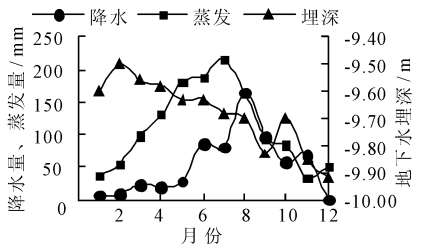

图 1 408# 地下水埋深、降水、蒸发年内分配图

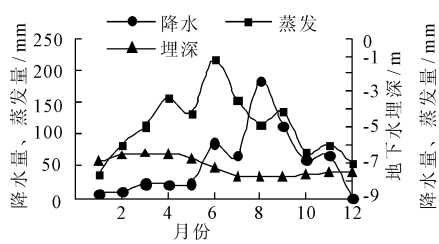

图 2 366# 地下水埋深、降水、蒸发年内分配图

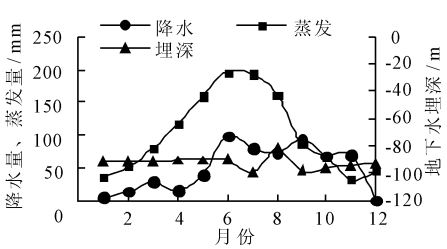

图 3 B209# 地下水埋深、降水、蒸发年内分配图

由图 2 得,366# 地下水在年内先升后降,3、4 月份是春灌时期,灌溉使地下水上升,之后因地下水位浅埋而蒸发变大,在降水开采等综合作用下水位下降,5 月份以后降水有所增加,可蒸发还是很大,使地下水位还是处于下降趋势、9 月后冬灌开始,水位又有小幅度上升。由图 3 得,B209# 地下水位埋深 80 ~ 100 m,不受蒸发作用影响, 6 – 10 月埋深变化很大,这与该区农田灌溉、地下水开采有关。该井位于黄土层很厚区域,受自然因素影响较小,其它时段显示出一种平稳的状态。

(2)地下水位动态年际变化特征。依据地下水多年埋深资料,绘制 366#、408# 和 B209# 地下水多年埋深变化过程线如图 4。

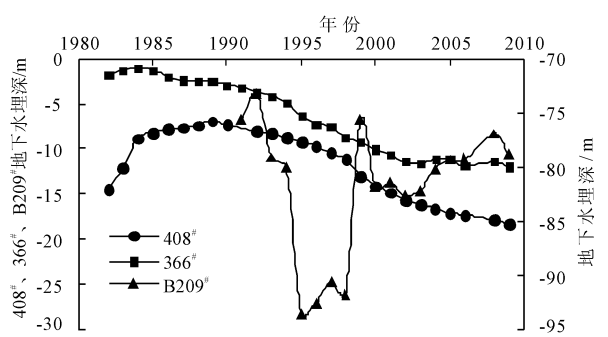

图 4 408#、366#、B209# 地下水多年埋深变化过程线

① 山前倾斜平原区。乾县 366# 历年埋深多年变化过程可分为两个阶段:

a、持续下降阶段(1984 – 2002 年):此段时期内区内地下水埋深大幅持续下降,平均下降速度为0.6 m/a,是受灌区引灌量逐年减少、经济作物迅速发展和地下水开采量逐年增加的影响。

b、相对稳定阶段(2003 – 2009 年):上一阶段地下水埋深的持续下降引起了人们的重视,合理的引灌与地下水的开采利用,地下水蒸发作用的显著减弱,使得地下水埋深在 2003 年以后基本稳定,变幅很小,处于相对平衡状态。

②中部原间洼地区。礼泉 408# 监测井历年埋深多年变化过程可分为两个阶段:

a、持续上升阶段(1982 – 1989 年):该时段灌区以渠灌为主,引灌量较大,外源引水灌溉对地下水的补给作用明显,造成地下水持续上升,平均上升速度为 2.77 m/a。

b、持续下降阶段(1989 – 2009 年):90 年代以后土地经营模式和区内农村经济作物和乡镇企业迅速发展,渠灌用水量显著减少,对地下水的需求量迅速增加,地下水开采量逐年增大,致使区内地下水埋深持续下降,平均下降速度为 0.5 ~ 1.8 m/a。

③ 南部台原区。武功 B209# 监测井历年埋深多年变化过程可分为三个阶段:

a、下降阶段(1991 – 1995 年):此段时期内区内地下水埋深显著下降,这主要是因为灌区经济发展模式的转变、分散化经营、灌区末梢灌域的供水困难,使渠灌用水量显著减少和地下水开采量逐年增大,导致地下水位显著下降。

b、上升阶段(1996 – 1999 年):地下水埋深的持续下降使地下水的开采成本显著上升,渠灌用水量显著增加,使得地下水位迅速的恢复和上升,平均上升速度达到 5 m/a。

c、相对稳定阶段(2000 – 2009 年):随着地表水与地下水用水量的调节利用和相对稳定,此时段地下水埋深保持相对稳定。

3.2　水质动态及其演变规律

选取 366#、408# 和 B209#1998 – 2009 年的氯化物、总硬度、矿化度来研究灌区水质动态特征及其演变规律。地下水水位与各种水质指标有着必然的联系,图 5 为三代表井各指标与水位随时间变化过程线。

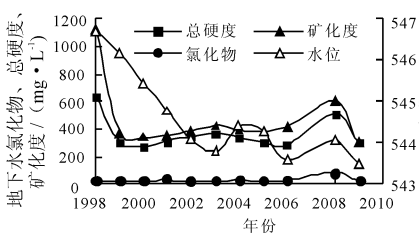

图 5　366# 氯化物、总硬度、矿化度和水位变化过程线

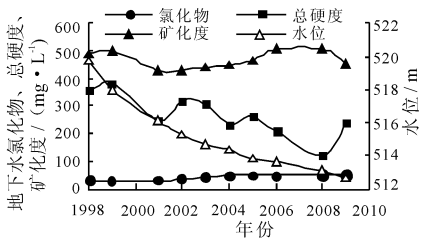

图 6　408# 氯化物、总硬度、矿化度和水位变化过程线

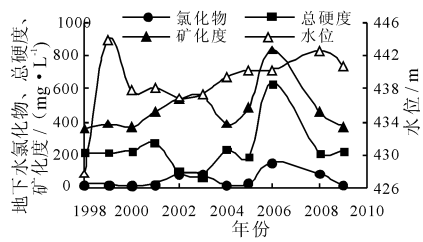

图 7　B209# 氯化物、总硬度、矿化度和水位变化过程线

366# 的氯化物的含量在 1998 – 2006 年保持相对稳定,之后有较大波动,总硬度和矿化度的含量变化趋势相似,在 2000 – 2006 年基本保持稳定状态,但总体呈现下降趋势;408# 的氯化物的含量在 1998 – 2004 年缓慢上升,在 2004 年后保持相对稳定趋势,矿化度的含量则基本保持平衡状态,总硬度波动较大,且总趋势是下降的;B209# 的总硬度和矿化度都波动较大,趋势大致一样,相对而言氯化物波动很小。

地下水位升高对各类指标含量有淡化作用,可从以上三图来看,水位升高,各类指标含量并不都是呈下降趋势,水位降低,其含量也并非上升,所以人类活动与自然因素对地下水水质有很大的影响。

3.3　动态影响因素分析

地下水动态取决于综合影响因素。影响黄土原灌区地下水动态变化的因素包括地质条件,主要是黄土的水文地质特征;气象条件,主要指降水、蒸发;水文条件,主要是河流渗补或排泄;人为影响,包括灌溉、排水和开采地下水等。

(1)水位动态影响因素分析及其动态类型。就渭北黄土原灌区而言,影响地下水水位动态的最主要因素有气象条件:降水、蒸发;水文条件:河流渗补或排泄;人为因素:灌溉、排水和开采地下水等。

灌区建成后,由于人类水事活动加剧,特别是灌溉水、渠系引水及井灌开采等活动,对地下水的补排变化具有强烈的影响作用,反映出地下水动态变化和人类活动密切相关的特点。灌区建成后地下水动态可划分为 3 种基本类型,即灌溉 · 降雨补给一开采 · 径流排泄型、灌溉 · 降雨补给一径流 · 排泄型和降雨 · 灌溉补给一蒸发 · 径流排泄型等 3 种。

以上 3 种地下水动态类型可以相互转化,其转化条件既和自然因素有关(如年降水量的大小),又和人为因素(如灌溉引水量的大小,地下水开采量的多少,排水工程效益好坏)有关。但总体而言,在降雨入渗基础上,灌溉与开采是决定地下水动态的主要条件。

(2)水质动态影响因素。①水质动态影响因素。根据366#的总硬度、矿化度、Ca^{2+}、Mg^{2+}和氯化物相互关系可以说明,各种化学指标之间相互影响。地下水水质动态影响因素还有人为因素:灌溉,污水下渗;气候因素:蒸发、降水等;地形地貌因素:地层岩性、地貌形态、地下水埋深。灌溉作为人类的重大水事活动,对地下水水质形成环境的影响范围大,作用强烈。灌溉打破天然的水量平衡,改变地下水原有的补给、径流、排泄和赋存条件,从而引起水质的变化。

②水质动态类型。据渭北黄土原灌区地下水质动态变化特征及其主要影响因素,366#、408#和B209#地下水质动态类型分别为:入渗补给 - 蒸发浓缩型、入渗补给 - 蒸发浓缩型、降雨·径流淡化型。

408#位于浅埋区,水质受降水、蒸发影响大;366#随属于中埋区,可其地下水埋深浅,故受气候因素影响较大;B209#位于深埋区,水质受蒸发影响很小,水质主要受降水径流影响。

3.4 地下水动态预测

(1)水位动态预测。利用其1982 - 2009年的地下水水位埋深数据,对366#、408#和B209#为典型监测井的地下水动态变化进行预测,采用灰色预测[GM(1,1)]MATLAB法对其未来4年水位埋深进行预测,预测埋深值见表1。

表1 地下水埋深预测值 m

井号	2010年	2011年	2012年	2013年
366#	11.92	12.04	12.16	12.29
408#	19.47	20.35	21.26	22.22
B209#	84.53	85.00	85.47	85.94

(2)水质动态预测。选取三个代表井所在区域年灌溉水量、降雨量及蒸发量作为影响因子。代表井的地下水氯化物、总硬度和矿化度作为预报因子。建立多元线性回归分析模型。

$$Y = \beta_0 + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \beta_3 X_3$$

其中:β_0,β_1,β_2,β_3为待定系数;X_1,X_2,X_3分别为所在区域年农业灌溉水量、降雨量及蒸发量;因B209#地下水埋深很大,故在此不考虑蒸发作用的影响。采用SPSS计算软件对原始数据进行回归分析,地下水水质指标对预报因子的回归分析模型见表2。

表2 366#、408#和B209#地下水水质预测模型 mg/L

井号	氯化物	总硬度	矿化度
366#	$y = 36.435 - 0.002X_1 - 0.005X_2 - 0.003X_3$	$y = 863.699 + 0.351X_1 + 0.8X_2 - 0.784X_3$	$y = 250.008 + 0.141X_1 + 0.515X_2 - 0.201X_3$
408#	$y = 227.74 - 0.007X_1 - 0.068X_2 - 0.091X_3$	$y = -521.334 + 0.028X_1 + 0.436X_2 + 0.341X_3$	$y = 739.746 + 0.001X_1 + 0.058X_2 - 0.174X_3$
B209#	$y = -616.751 + 0.28X_1 + 0.088X_2$	$y = -1371.296 + 0.915X_1 - 0.507X_2$	$y = -1714.888 + 0.318X_1 - 0.89X_2$

由以上水质预测模型知,366#、408#、B209#代表井水质的主要影响因素分别为降水、蒸发、灌溉水量。

4 结 语

(1)灌区水位动态类型有灌溉·降雨补给一开采·径流排泄型、灌溉·降雨补给一径流·排泄型和降雨·灌溉补给一蒸发·径流排泄型;

(2)山前倾斜平原区、中部原间洼地区和南部台原区的水化学类型分别为Ca·Mg - HCO_3型、Na - HCO_3型、Na - SO_4型水,水质动态类型分别为降雨·径流淡化 - 蒸发浓缩型、灌溉·降雨淡化 - 蒸发浓缩型、灌溉淡化 - 开采浓缩区;

(3)从地下水预测来看,水位变化慢,呈下降趋势;水质变化受降雨、引水灌溉、蒸发影响很大。

参考文献:

[1] 李佩成,刘俊民,魏晓妹,等. 黄土原灌区三水转化机理及调控研究[M]. 西安:陕西科学技术出版社,1999.

[2] 李 丽. 渭北黄土台原灌区地下水形成条件及动态研究[D]. 杨凌:西北农林科技大学,2008.

[3] 贾政强. 渭北黄土台原灌区地下水形成条件及动态研究[R]. 杨凌:西北农林科技大学,2010.

[4] 马耀光. 渭北黄土原灌区地下水质动态研究[J]. 西北农业大学学报,1998. 26(增刊):104 - 107.

[5] 苗海通. 地下水水化学特征分析方法研究[J]. 科协论坛. 2011(1)(下):113 - 114.

[6] 刘俊民. 渭北黄土台原灌区新含水层地下水动态研究[M]. 西安:陕西师大出版社,1992.

[7] 梁俊勋. 地下水动态的灰色预测[J]. 地下水,1992,14(1):7 - 9.

[8] 向速林,杨柳春,冉 全,等. 回归分析法在地下水水质动态预测中的应用[J]. 长江大学学报,2006,3(1):40 - 42 + 5.

[9] 刘俊民,孙 勇. 关中地区水资源特性分析及可持续利用对策[J]. 人民黄河,2006,28(1):39 - 41.

[10] 陈 立,张发旺,程彦培,等. 夏海原盆地地下水水化学特征及其演化规律[J]. 现代地质,2009,23(1):9 - 14.