

洛惠渠灌区典型样区地下水位与电导率关系研究

刘海波¹, 李占斌^{1,2}, 李鹏¹, 秦学谦³, 张霞⁴

(1. 西安理工大学 西北水资源与环境生态教育部重点实验室, 陕西 西安 710048;

2. 中国科学院 水利部 水土保持研究所 黄土高原土壤侵蚀与旱地农业国家重点实验室, 陕西 杨凌 712100;

3. 黄河水利委员会 三门峡库区水文水资源局, 河南 三门峡 472000; 4. 陕西省环境科学研究设计院, 陕西 西安 710061)

摘要: 洛惠渠灌区位于陕西省关中平原东部, 由于不同区域的积盐过程不完全相同, 针对洛惠渠灌区地下水的盐分变化情况, 采用 Morlet 小波分析了灌区 76# 井的电导率和水位周期变化规律。结果表明, 电导率变化和电位变化有很好的相关关系。小尺度上, 水位变化周期和电导率的基本相同; 大尺度上, 水位约为电导率变化周期的 2 倍。两者变化存在明显的逆向位。该地区含有大量可溶性盐层, 地下水电导率本底值较高。由于大气降水补给, 电导率值随水位变化在一定的范围内波动。研究结果可为该灌区地表生态环境的改善提供依据。

关键词: 洛惠渠; 地下水位; 电导率; Morlet 小波

文献标识码: A

文章编号: 1000-288X(2011)02-0027-04

中图分类号: S19, P342

Variations of Groundwater Level and Electrical Conductivity in Luohui Irrigation Scheme

LIU Hai-bo¹, LI Zhan-bin^{1,2}, LI Peng¹, QIN Xue-qian³, ZHANG Xia⁴

(1. Key Lab of Northwest Water Resources and Environment Ecology of MOE at XAUT, Xi'an, Shaanxi 710048, China;

2. Institute of Water and Soil Conservation, Yangling, Shaanxi 712100, China; 3. Bureau of Hydrology and

Water Resources, Administration of Sanmenxia Reservoir Area, YRCC, Sanmenxia, He'nan 472000,

China; 4. Shaanxi Institute of Environmental Science, Xi'an, Shaanxi 710061, China)

Abstract: Luohui irrigation area, located in the east of Guan-zhong plains, exhibits distinct salt accumulation processes in different regions. This study aimed at providing scientific basis for the improvement of ecological environment of the Luohuiqu irrigation district by exploring the variations of groundwater salinity. Periodical variations of groundwater level and electrical conductivity has been analyzed at well 76# using Morlet analysis. It is shown that the two variables were significantly closely correlated. The period of groundwater level on small scale was similar to that of electrical conductivity, but approximately two times longer on large scale, with a reverse phase. The electrical conductivity background of the groundwater was relatively high, because of the large amount of soluble salt layers found in this area. Due to indirect water supply from precipitation, electrical conductivity values fluctuated with groundwater levels within a certain range.

Keywords: Luohui irrigation scheme; groundwater level; electrical conductivity; Morlet

洛惠渠灌区是关中平原上重要的农业生产基地。土地盐碱化一直是当地农业生产发展的潜在威胁。地下水含盐量是影响土壤水盐动态的主要敏感因子, 与土壤含水率和蒸发量等因子之间相互作用, 形成了复杂条件下的耦合关系^[1]。因此了解灌区的地下水

盐分变化规律, 对加强灌区土地盐碱化管理具有重大意义。近几年来, 研究人员从不同角度对灌区水盐动态规律^[2-3]、土壤剖面盐分分布进行了研究^[4], 为灌区地下水盐碱化过程研究和调控技术提供了科学依据。灌区由于受到地质构造及灌溉抽水的影响, 不同区域

收稿日期: 2010-04-15

修回日期: 2010-10-14

资助项目: 国家自然科学基金项目“基于小流域淤积信息的侵蚀产沙与侵蚀环境变化响应研究”(40971161); 国家“十一五”科技支撑项目“黄土高原水土流失综合治理工程关键支撑技术研究”(2006BAD09B02)

作者简介: 刘海波(1984—), 女(汉族), 山西省大同市人, 硕士研究生, 从事水土保持与荒漠化防治等方面的研究。E-mail: liuhaibomail@163.com。

通信作者: 李占斌(1962—), 男(汉族), 河南省镇平县人, 教授, 博士生导师, 主要研究方向为干旱半干旱地区流域暴雨洪水过程的水循环机理, 流域降雨侵蚀产沙动力过程及预报模型, 水土保持技术及其环境效应。E-mail: zbli@xaut.edu.cn。

的积盐过程、地下水盐碱化并不完全相同,传统模拟分析手段的应用受到了一定限制。非线性科学理论的进一步发展,为水文过程研究提供了有效手段。小波分析方法能够反映时间序列的局部变化特征,能够更好地分析序列随时间的变化情况^[5-7]。因此,采用 Morlet 小波分析灌区水位与电导率多尺度变化特征,通过对两者的演变趋势对比分析研究,可为地下水盐碱化分析和预测研究提供参考。

1 材料与方法

1.1 自然概况

洛惠渠灌区位于陕西省关中平原东部的渭洛河阶地,属渭南市大荔县,东接黄河滩,西至卤泊滩钟家寨,北临韦庄、蒲城二塬,南隔洛河,面积约 750 km²。北部韦庄塬南缘呈陡坡与河谷阶地相接,冲沟较少。沟头伴生陷穴、天生桥、削壁、土柱等喀斯特地貌景观。灌区地面以下的古湖沉积物中富集了大量的可溶盐类^[8]。

洛惠渠灌区是民国年间水利专家李仪祉倡导修建的“关中八惠”之一,在原汉朝龙首渠基础上兴建,主要引用北洛河河水进行灌溉,关键工程为穿越铁镰山长 3 037 m 的隧洞。灌区灌溉系统主要有拦河坝、三大干渠、排水沟等。灌区共有监测井点 100 多眼,由于人工抽水灌溉和地下水位的控制,目前可利用井点有 60 多眼。

灌区主要种植作物为小麦、玉米、苹果和冬枣。小麦、苹果主要是冬灌和春灌;玉米主要为夏灌;枣树灌溉时间为冬灌、春灌和夏灌。

1.2 资料来源

根据灌区各个观测井的水盐特征,选定 102[#], 45[#], 76[#] 井等作为长期定位观测井。76[#] 井在洛惠渠东干渠龙门配水站控制范围内,大荔县南石帖北 300 m 南北路西 100 m,东距东二支渠约 900 m。周围主要种植枣树。

2007 年,在 76[#] 井设置地下水位自动记录仪 CTD-Diver 进行自动定位观测。对地下水埋深、电导率、温度指标进行数据采集,时间间隔为天。根据自动监测资料(2007 年 1 月 1 日至 2007 年 9 月 27 日),结合相应时间段内的大荔县日降雨量,对观测井地下水水位及其与电导率关系进行分析。

1.3 分析方法

关于小波技术,许多文献都有介绍^[9-14]。小波函数的定义为:设 $\psi(t)$ 为一平方可积函数,即 $\psi(t) \in L^2(R)$,若其傅里叶变换 $\hat{\psi}(\omega)$ 满足条件:

$$C_{\psi} = \int_R \frac{|\hat{\psi}(\omega)|^2}{|\omega|} d\omega < \infty \quad (1)$$

则 $\psi(t)$ 为小波母函数,公式(1)为小波母函数的可容许条件。将小波母函数 $\psi(t)$ 进行收缩和平移,得到函数 $\psi_{a,\tau}(t)$:

$$\psi_{a,\tau}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right) \quad (a, \tau \in R \quad a > 0) \quad (2)$$

式中: a ——伸缩因子; τ ——平移因子; $\psi_{a,\tau}$ ——依赖于参数 a, τ 的小波基函数。

任意 $L^2(R)$ 空间中的 $f(t)$ 的小波变换为:

$$\text{WT}_f(a, \tau) = \langle f(t), \psi_{a,\tau}(t) \rangle = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_R f(t) \psi\left(\frac{t-\tau}{a}\right) dt \quad (3)$$

式中: $\text{WT}_f(a, \tau)$ ——小波变换系数。

Morlet 小波是高斯包络下的单频率复正弦函数:

$$\psi(t) = Ce^{-\frac{t^2}{2}} \cos(5t) \quad (4)$$

联合公式(3—4)得到的变换结果,就可以将 1 个一维信号在时间和频率两个方向上展开。

2 结果与分析

图 1 为灌区 2007 年 1 月至 9 月降雨量与 76[#] 井水位和电导率随时间变化图。根据资料分析,灌区 2007 年降雨主要集中在 3 月和 5—9 月,水位由于受降雨影响,呈上升趋势。埋深从 10.19 减小到 9.46 m,水位上升 0.73 m,中间伴小幅波动。电导率变化稳定,在均值 7.80 dS/m 附近波动,变化范围基本在 6.95~8.73 dS/m 之间。

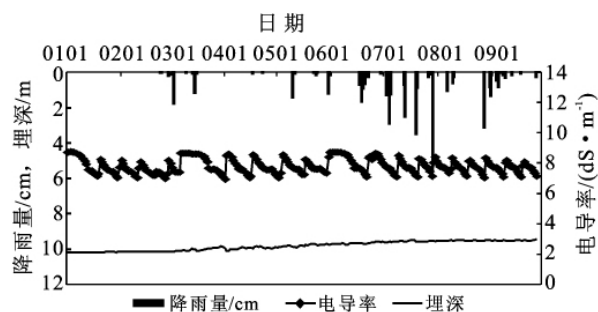


图 1 电导率、水位和降雨量随时间变化(2007 年)

2.1 电导率变化特征

图 2 是 2007 年 1 月 1 日到 9 月 27 日电导率距平变换的 Morlet 小波变换结果。图 2a 是对应尺度为 1~160 d 区间的等值线,图 2b 是对应尺度为 1~60 d 区间的等值线。图中信号的强弱通过小波系数的大小来表示,等值线颜色越浅,小波系数值越高,电导率越大。相反,等值线颜色越深,小波系数值越低,电导率越低。

由图 2 可以看出,在尺度 160 d 上,周期震荡较为明显,电导率值由低到高再到低,在未来一段时间内仍处于较低值。在尺度 60 d 上,前期周期变化明

显,在第 200 d 后电导率变化相对平缓,处于上升趋势。可能后期降雨量逐渐增多,补给地下水,使其规律变化不明显。在尺度 10 d 上,电导率变化明显。

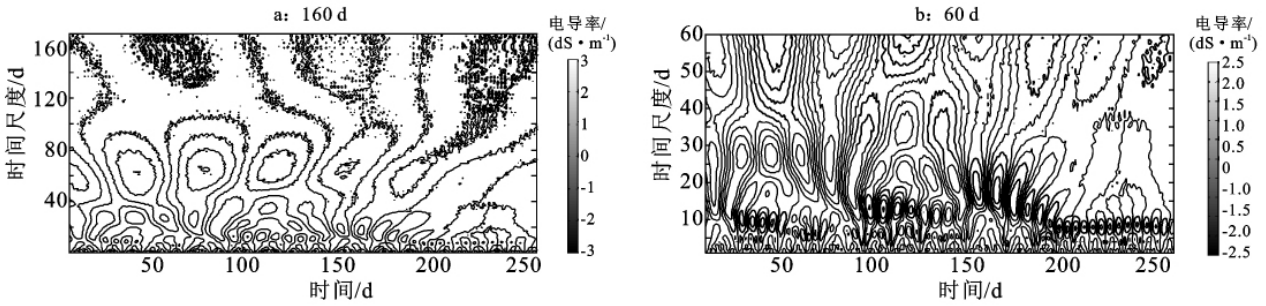


图 2 不同时间尺度(a:160 d;b:60 d)的电导率距平小波变换

此外,根据计算出的小波系数求出相应尺度的小波方差,电导率小波方差出现 4 个峰值,分别对应的的时间尺度为 15,24,63,150 d。说明电导率周期震荡最强在 63 d 的,其次是 24 d,包含复峰 15 d。

2.2 水位变化特征

图 3 是 76# 井相对水位距平随时间变化图,由图中可以看出,水位变化总的趋势是上升的,前 70 d,增长相对较慢,70~200 d 范围内,水位迅速上升,200 d 以后,水位达到平稳状态。

位的迅速下降,但没有影响到水位总的上升趋势。图 4a 和图 4b 是尺度分别 120,60 d 水位小波变换的等值线图。图中可以看出,最明显的震动周期为 110,45 d。在尺度 45 d 上,最后 50 d 后水位变化相对缓慢,处于下降趋势。求得小波方差出现 3 个峰值,分别对应的的时间尺度为 17,44,110 d。水位变化周期震荡最强在 110 d。

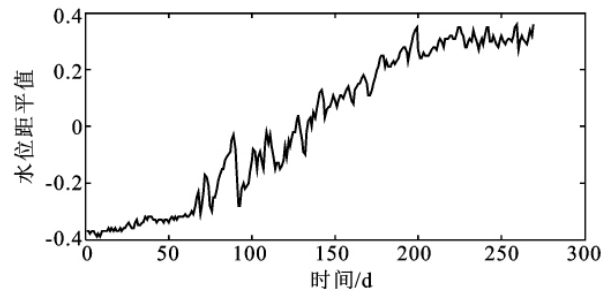


图 3 相对水位距平随时间变化

在水位总体上升的过程中,伴有不同幅度的波动,前 70 d 波动幅度最小。分析原因,76# 井附近主要种植作物为枣树,由渠水和井水联合灌溉,灌溉时间为 12 月,3—4 月,6—8 月。前 70 d,水位较慢增长是由于上年 12 月份冬灌补给。70 d 后,进入春灌、夏灌阶段,灌区受灌溉和雨季的影响,水位总的呈上升趋势;部分以井水灌溉的地区抽取地下水时,造成水

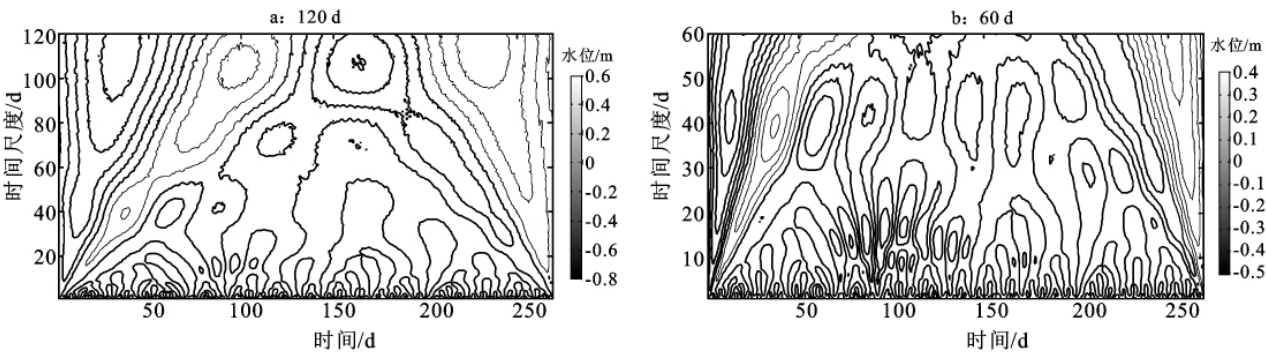


图 4 不同时间尺度(a:120 d;b:60 d)的水位距平小波变换

2.3 不同时间尺度水位和电导率响应关系

通过比较图 5 可以看出,在整个时间域上显示出 76# 井水位和电导率有较好的对应关系,不同时间尺度上水位和电导率变化波形基本相似,演变相位差 180°。在较小尺度上,电导率的主要周期为 15 d,水

位主要周期为 17 d,变化周期基本相同。水位变化幅度小于电导率的变化。在较大尺度上,电导率周期为 24 和 63 d,水位周期为 44 和 110 d,电导率变化周期约为水位变化周期的 1/2。水位和电导率表现出明

显的逆相位,水位较低时,电导率值偏大,水位较高时,电导率偏低。

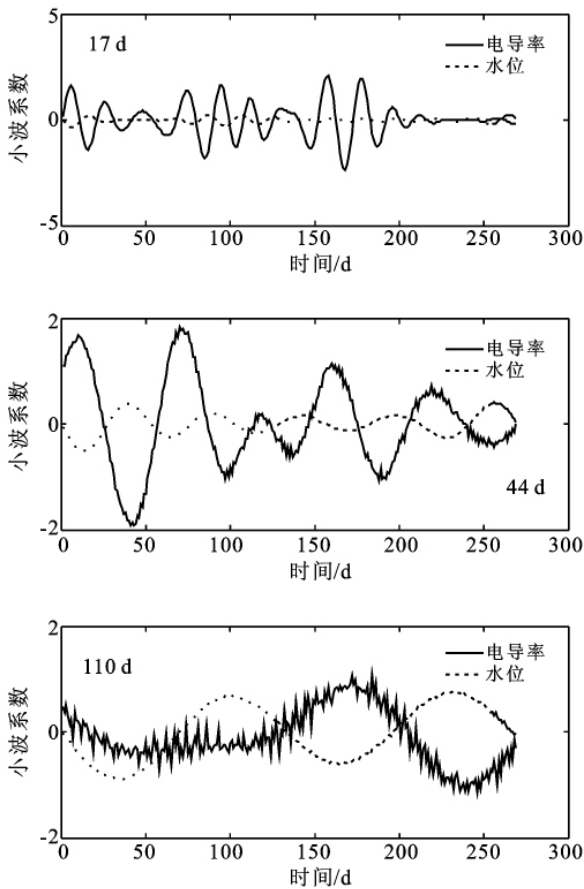


图 5 不同时间尺度水位和电导率的变化趋势

据以上分析可知,76#井电导率变化与水位变化情况相反,电导率回升,而水位下降,电导率下降,水位上升。根据杜中研究结果^[2],灌区古湖沉积物中富集的大量可溶盐处在地下 11 m 以内的区域,76#井地下水埋深在 9.5~10.5 m 之间,处于大量可溶盐层内,电导率本底值较高。因此低水位时电导率偏高。根据对灌区地下水进行稳定氢氧同位素分析结果表明,76#井氢氧同位素值明显贫化,说明此处由低温降水间接补给。降雨的电导率相对 76#本底值偏低,因此当降雨补给地下水时,水位升高,电导率偏低。

3 结论

灌区 76#井正好位于高水位与低水位之间,电导率值较大,且年内变化不大,比较稳定,与灌区其它地区地下水盐碱化过程不同。为了更好地分析该地区地下水盐碱化机理,本研究采用小波方法对电导率和水位相关性进行分析,得出了一些结论。

(1) 在小尺度上,电导率变化周期基本相同。水位变化幅度小于电导率的变化。

(2) 在大中尺度上,电导率变化周期约为水位变化周期的 1/2。水位和电导率表现出明显的逆相位,水位较低时,电导率值偏大,水位较高时,电导率偏低。

(3) 在大中尺度上,水位受灌区降水、灌溉、温度、蒸发量和土壤调蓄的影响,周期变化明显。电导率与水位变化同步,说明电导率与水位变化关系密切。但电导率与水位内在的作用机理还需进一步分析研究。

[参 考 文 献]

- [1] 于国强,李占斌,张霞,等. 土壤水盐动态的 BP 神经网络模型及灰色关联分析[J]. 农业工程学报,2009,25(11): 73-78.
- [2] 杜中,李占斌,李鹏,等. 稳定同位素示踪洛惠渠灌区水盐运动研究[J]. 人民黄河,2009,31(2):63-65.
- [3] 张霞,李占斌,李鹏. 洛惠渠灌区地下水动态变化规律研究[J]. 西北农林科技大学学报:自然科学版,2007,35(8):223-226.
- [4] 杜中,刘海波,李占斌,等. 洛惠渠灌区土壤剖面盐分分布规律研究[C]//中国水利学会. 中国水利学会 2008 学术年会论文集:上册. 北京:水利水电出版社,2008:485-490.
- [5] 邵晓梅,许月卿,严昌荣. 黄河流域降水序列变化的小波分析[J]. 北京大学学报:自然科学版,2006,1(1):1-7.
- [6] 王文圣,丁晶,向红莲. 小波分析在水文学中的应用研究及展望[J]. 水科学进展,2002,13(4):515-520.
- [7] 倪林,张国栋,周良超,等. 武汉近 60 年冬季气温和夏季降雨量变化的小波分析[J]. 三峡大学学报:自然科学版,2009,31(3):83-88.
- [8] 《洛惠渠志》编纂委员会. 洛惠渠志[M]. 陕西:陕西人民出版社,1995.
- [9] 邓自旺,尤卫红,林振山. 小波变换在全球气候多时间尺度变化分析中的应用[J]. 南京气象学院学报,1997,20(10):505-510.
- [10] 胡增臻,石伟. 子波变换在大气科学中的应用研究[J]. 大气科学,1997,21(1):58-72.
- [11] 秦前清,石伟. 实用小波分析[M]. 西安:西安电子科技大学出版社,1993.
- [12] 葛哲学,沙威. 小波分析理论与 MATLAB R2007 实现[M]. 北京:电子工业出版社,2007.
- [13] 覃军,张录军,胡江林. 武汉近百年来气温变化的多时间尺度分析[J]. 气象科学,2001,21(2):206-219.
- [14] 刘德,李永华,何卷雄. 重庆市夏季气温及降雨变化的小波分析[J]. 高原气象,2003,22(2):173-178.