

# 黄土高原淤地坝土壤水分和浅层地下水时空分布特征解析

袁鸿猷<sup>1</sup>, 樊军<sup>1,2\*</sup>, 金沐<sup>1</sup>, 马理辉<sup>3</sup>

(1.西北农林科技大学 资源环境学院, 陕西 杨凌 712100; 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.西北农林科技大学 水土保持研究所, 陕西 杨凌 712100)

**摘要:**【目的】探明黄土高原淤地坝的土壤水分和浅层地下水时空分布规律。【方法】依据电阻率成像法, 利用高密度电法仪在陕西省神木市六道沟小流域2座淤地坝内布置多条测线测定了土壤电阻率分布, 结合实测土壤含水率与浅层地下水位, 探究淤地坝浅层地下水空间分布特征并估算其储量。【结果】土壤电阻率与土壤含水率呈显著幂函数关系( $P < 0.05$ ), 土壤电阻率随深度增加而减小, 而浅表层土壤含水率随着深度的增加而逐渐增大, 存在分层现象。从沟头至沟尾, A、B坝地的浅层地下水埋深逐渐增大, 浅层地下水储量呈沟尾大于沟头而中部最小的分布规律, 且具有季节性变化的特征, 冬末至次年夏季为土壤含水率消耗期, 夏末秋初为蓄积期, 夏季的储水量最小, 其值分别为85 949、94 196 m<sup>3</sup>, 冬季的储水量值达到最大, 其值分别为93 486、99 309 m<sup>3</sup>。【结论】黄土高原淤地坝储存了一定的水量, 并有明显的季节波动, 未来应重视这部分水资源的调蓄利用。

**关键词:** 黄土高原; 淤地坝; 电阻率成像法; 土壤电阻率; 浅层地下水

中图分类号: S152.7

文献标志码: A

doi: 10.13522/j.cnki.ggps.2019233

袁鸿猷, 樊军, 金沐, 等. 黄土高原淤地坝土壤水分和浅层地下水时空分布特征解析[J]. 灌溉排水学报, 2020, 39(10): 50-56.  
YUAN Hongyou, FAN Jun, JIN Mu, et al. Spatiotemporal Distribution of Soil Water and Shallow Groundwater in Check Dams in the Loess Plateau of China [J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2020, 39(10): 50-56.

## 0 引言

【研究意义】黄土高原干旱半干旱地区的土壤含水率主要来自降水<sup>[1]</sup>, 然而, 天然降水年际变化大且年内分布不均, 这一特性使得浅层储水对植物季节性缺水的缓解起决定性作用。坝地作为小流域水循环的重要组成部分和黄土高原粮食生产的重要土地资源, 其土壤储水量影响着水分入渗和径流的产生, 进而影响水资源分布和农业生产<sup>[2-3]</sup>。因此, 准确认识和把握黄土高原淤地坝土壤含水率和浅层地下水分布规律, 对坝地农业生产和区域生态恢复具有重要意义。

【研究进展】土壤含水率的测量方法主要有烘干法、中子仪法、时域反射仪法和遥感监测等<sup>[4]</sup>, 但上述方法均有一定的局限性。烘干法精确度高但费时费力; 中子仪法需要埋设中子管, 且具有放射性; 时域反射仪法测量尺度有限; 遥感监测尺度大但空间分辨

率较低, 造成表层土壤含水率测量精度较高<sup>[5]</sup>, 难以反演深层土壤含水率。相比以上方法, 电阻率成像法具有微扰动原位监测、多尺度同步监测和可重复连续监测等特点, 这使得电阻率成像法在多尺度土壤特性和土壤水文过程无损监测中越来越受到重视<sup>[6]</sup>。Michot等<sup>[7]</sup>利用电阻率成像法监测了玉米地土壤含水率, 其结果显示电阻率和土壤含水率之间存在相关关系, 并能够有效地反映土壤含水率的空间变异性。

【切入点】2020年底, 黄土高原地区将新建淤地坝16.3万座, 新增坝地5万hm<sup>2</sup><sup>[8]</sup>。淤地坝不仅有效地控制水土流失, 拦沙蓄洪, 也缓解了退耕还林还草所带来的农地减少压力, 在干旱缺水条件下, 淤地坝的土壤水分尤其是浅层地下水的变化情况亟待掌握。目前应用电阻率成像法测量土壤含水率的研究较少, 特别是应用于黄土高原地区淤地坝水分时空分布的研究更少<sup>[9-10]</sup>。【拟解决的关键问题】本文以黄土高原水蚀风蚀交错区六道沟小流域淤地坝为研究对象, 通过拟合土壤电阻率与土壤含水率的关系构建回归模型, 研究淤地坝浅层地下水的空间分布特征, 并结合地下水位数据估算整个淤地坝的浅层地下水储量, 以期为该地区淤地坝农业生产和水资源合理利用提供参考。

收稿日期: 2019-09-06

基金项目: 国家自然科学基金项目(41977016); 陕西省科技统筹创新工程计划项目(2016KTCL02-04)

作者简介: 袁鸿猷(1995-), 男, 硕士研究生, 主要从事土壤含水率研究。  
E-mail: 443573211@qq.com

通信作者: 樊军(1974-), 男, 研究员, 主要从事生态系统物质循环研究。  
E-mail: fanjun@ms.iswc.ac.cn

## 1 材料与方法

### 1.1 研究区概况

研究区位于陕西省神木市六道沟小流域 (110°21′—110°23′E, 38°46′—38°51′N, 海拔 1 094~1 274 m, 流域面积 6.9 km<sup>2</sup>) 的西北农林科技大学神木侵蚀与环境试验站。该区域处于毛乌素沙漠边缘地带, 年平均气温为 8.4 °C, 多年年平均降水量为 408.5 mm, 年内降水极不均匀, 7—9 月的降水量占全年降水量的 70%~80%, 是典型的水蚀风蚀交错区, 土壤类型主要有绵沙土、硬黄土、红黏土、风沙土以及坝地淤土, 淤地坝主要以黄绵土为主, 其体积质量为 1.49 g/cm<sup>3</sup>, 植被类型属于灌丛草原类型, 主要有沙棘、沙柳、柠条、沙蒿、长芒草等。

所选 2 座淤地坝均在试验站附近, 其中位于试验站东北方的淤地坝 (以下称为 A 坝地) 的地面高程为 1 160~1 164 m, 面积约为 1.8×10<sup>4</sup> m<sup>2</sup>, 位于试验站西南方的淤地坝 (以下称为 B 坝地) 的地面高程为 1 172~1 175 m, 面积约为 1.65×10<sup>4</sup> m<sup>2</sup>。2 座淤地坝地势均由上游至坝体逐渐降低, 宽度由上至下逐渐扩大, 坝地沟尾区域为农地, 沟头为灌木杂草地。

### 1.2 研究方法

利用高密度电法仪 (SuperSting<sup>TM</sup> Wi-Fi R8, AGI, Texas, USA) 测定土壤电阻率。A 坝地设置 5 条测线 (A1~A5), B 坝地设置 4 条测线 (B1~B4), 测线位置均位于水位监测井附近。A、B 坝地测量采用 Wenner 阵列, 每条测线布设 24 个电极测点, 电极间距设置为 5 m, 测线长 115 m。土壤电阻率测量完毕后, 在每条测线上选取土壤电阻率变异较大区域, 用打钻法分层采集土样, 直到土壤含水率饱和处, 用烘干法测定土壤质量含水率。

淤地坝的沉积泥沙主要以粉粒为主, 土壤性质较为均一, 空间差异不大<sup>[11-12]</sup>。本文通过土壤电阻率分布图判断地下水饱和区上下边界, 估算土壤含水率饱和区域土体体积, 进而得到浅层地下水储量, 计算式为:

$$V=V_s \times \theta_v, \quad (1)$$

式中:  $V$  为浅层地下水储量 (m<sup>3</sup>);  $V_s$  为土体体积 (m<sup>3</sup>);  $\theta_v$  为饱和土壤含水率。

此外, 利用测定期间的 3 个地下水位井实测数据估算浅层地下水储量的平均值, 验证该方法所得储水量的精确性, 地下水位井数据估算浅层地下水储量计算式为:

$$V=\Delta h \cdot \left(1-\frac{\rho_b}{\rho_s}\right), \quad (2)$$

式中:  $V$  为浅层地下水储量 (m<sup>3</sup>);  $\Delta h$  为地下水饱和

区上下边界深度之差, 即饱和含水层厚度 (m);  $\rho_b$  为土壤体积质量 (g/cm<sup>3</sup>);  $\rho_s$  为土粒密度 (g/cm<sup>3</sup>), 一般取 2.65 (g/cm<sup>3</sup>);  $S$  为淤地坝面积 (m<sup>2</sup>)。

### 1.3 数据处理与分析

采用 AGI 公司配套的 EarthImager<sup>TM</sup> 2D 软件反演土壤电阻率数据, 采用 Excel 2016 处理数据并作图, 采用 Surfer 11.0 软件绘制等值线图。

## 2 结果与分析

### 2.1 淤地坝土壤电阻率特征

2 座淤地坝的电阻率空间分布总体趋势为随深度增加电阻率减小, 上层电阻率高于下层, 在 5.3~10.5 m 深度范围内有明显的分界线 (图 1)。相比于 A1、A4、A5 测线, A2、A3 测线在下层的电阻率较高, 说明 A 坝地沟头与沟尾区域的下层电阻率低于坝地的中间区域, B 坝地也有相似的分布状况。此外, A2、A3 和 B3 测线的上层高电阻区域横向上有较大的空间差异, 高电阻区域点状分布, 呈现测线二端大、中间部分区域大的破碎化现象, 而其他测线是端侧大、中间分布较均匀。同时, A2、A3 测线下层区域的低电阻区域分布零散, 呈现“小-大-小”的趋势, 而其他测线下层区域电阻率分布较为均匀。

### 2.2 土壤含水率与土壤电阻率值的相关关系

对测量所得土壤电阻率数据与烘干法所得的土壤质量含水率数据进行分析, 并建立回归模型。分别将 2 个坝地所提取数据 (其中 A 坝地样本  $N_1=19$ , B 坝地样本  $N_2=19$ ) 通过随机分组法分为 2 组, 一组 (其中 A 坝地样本  $N_3=12$ , B 坝地  $N_4=12$ ) 用于土壤电阻率与土壤体积含水率的模型建立, 另一组 (其中 A 坝地样本  $N_5=7$ , B 坝地  $N_6=7$ ) 用于模型验证。

从图 2 可看出, 土壤电阻率与土壤体积含水率之间均为幂函数关系, 其拟合的表达式分别为:

$$y=44.65x^{-1.30}, \quad (3)$$

$$y=10.35x^{-1.03}, \quad (4)$$

式中:  $y$  均为体积含水率 (%);  $x$  均为土壤电阻率 ( $\Omega \cdot m$ )。

为了验证该模型, 对烘干法所得的实测值与电阻率成像法所得的模拟值进行回归分析, 用均方根误差代表模拟精度。从图 3 可见, 拟合的数据点大致分布在 1:1 线附近, A、B 坝地的实测值和模拟值之间均存在显著的线性相关关系 ( $R^2$  分别为 0.78、0.65,  $P$  均小于 0.05), 且模拟精度较高,  $RMSE$  分别为 0.07、0.05。由此表明, 所建立土壤含水率与土壤电阻率的模型是可行的, 可以将获取的电阻率数据代入模型中估算土壤含水率。

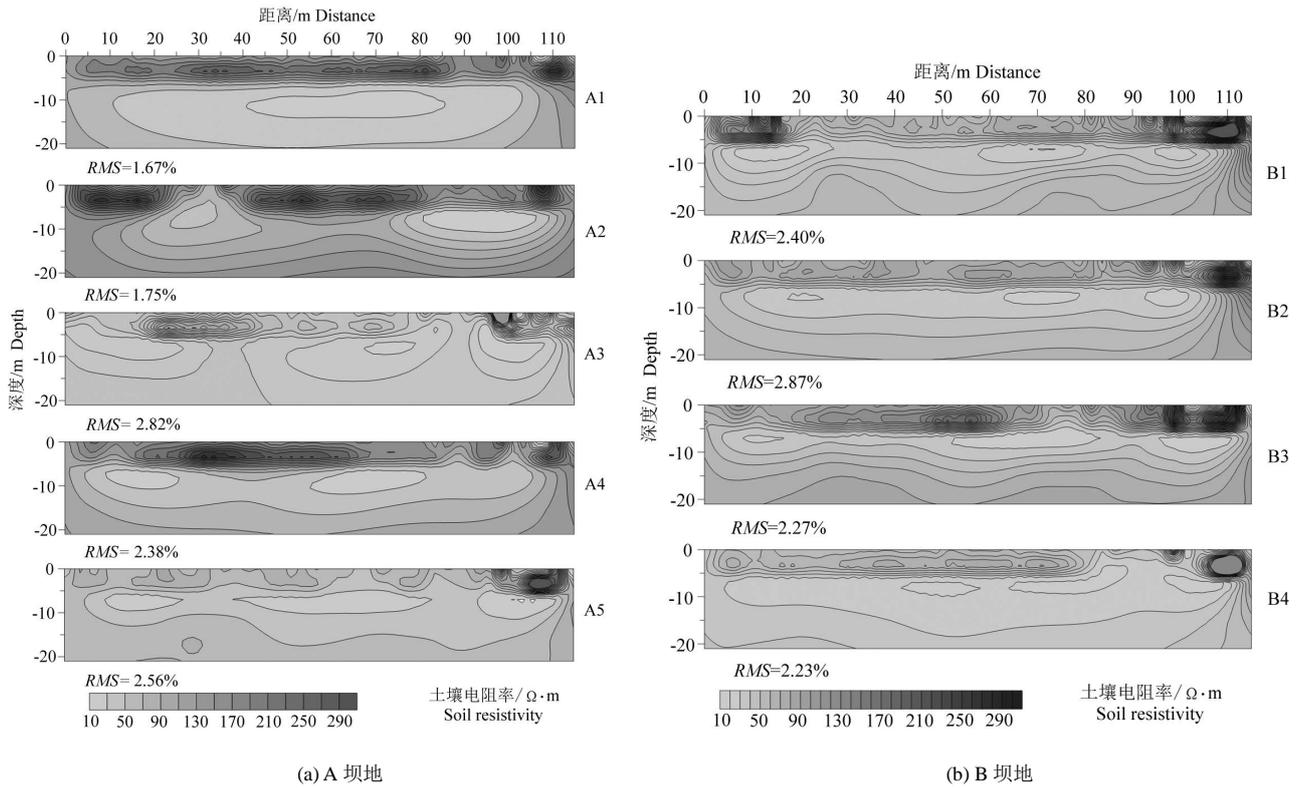


图1 A坝、B坝地土壤电阻率空间分布

Fig.1 Spatial distribution of soil resistivity of check dams A and B

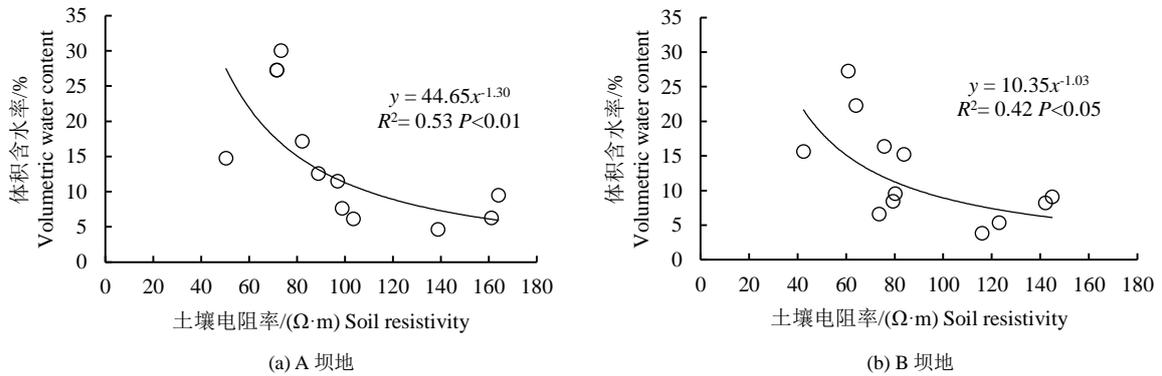


图2 土壤电阻率与体积含水率的相关关系

Fig.2 The correlation curves between soil resistivity and volumetric water content

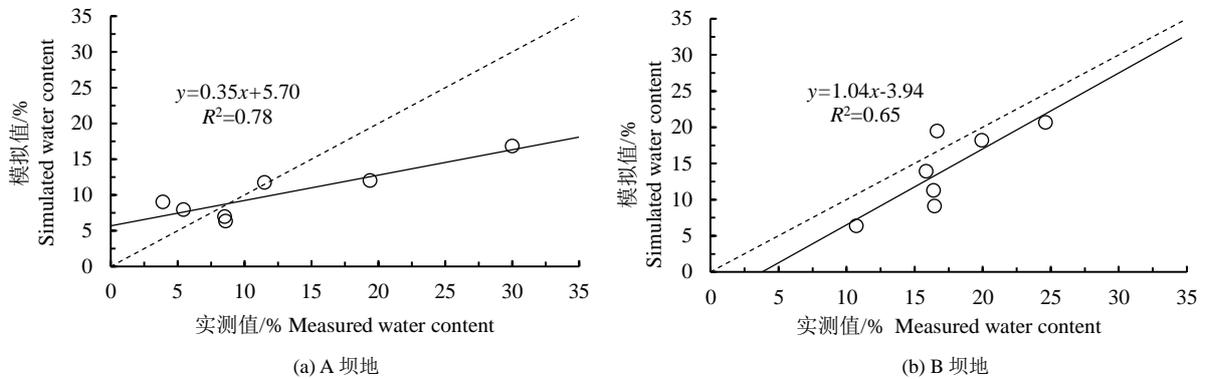


图3 土壤含水率实测值与模拟值对比

Fig.3 Comparison of measured value of soil moisture content and simulated value

### 2.3 淤地坝浅层地下水空间分布特征及其储量的估算

根据上述模型,采用A坝地的5条测线和B坝地的4条测线所得电阻率值计算土壤含水率并绘制空间分

布图(图4)。参照烘干法测定结果,将土壤电阻率 $60 \Omega \cdot m$ 作为阈值,低于 $60 \Omega \cdot m$ 的区域认为是土壤饱和含水率区域, A坝、B坝地土壤饱和含水率区域土体

积分别约为267 359、308 686 m<sup>3</sup>, 通过电阻率成像法估算A坝、B坝地的浅层地下水储水量分别为80 207、92 605 m<sup>3</sup>, 地下水位井法估算所得浅层地下水储水量分别为68 829、90 256 m<sup>3</sup>。由于A坝地在测量期间A80和A300水位井暂时性干涸, 上述2种方法估算A坝地浅层地下水储水量数据仅通过A410地下水位井计算所得, 而B坝地的数据相对完整, 更具有参考价值。

根据2016年11月—2018年11月A、B淤地坝的各水位井数据, 估算出坝地的浅层地下水储水量(图5)。总体来看, A坝、B坝地从沟头至沟尾, 各水位井的埋深逐渐增加, 年内水位变化主要发生在7—9月, 其余月份水位较为稳定。A坝地沟头与沟尾水位埋深相差较大, A80、A300和A410的年平均地下水埋深

分别为2.75、8.86、9.21 m。B坝地有类似的水位分布状况, 但B坝地沟头处埋深大于A坝地, B50、B150和B280的年平均水位埋深分别为3.42、5.02、6.78 m。从年内时间序列来看, 各坝地呈季节性变化。处于沟头处的A80的水位从6月开始下降趋势, 之后数据缺失是由于水位井暂时性干涸所导致的, 同样的现象发生在B坝地沟头处的B50, 直到8月底水位大幅回升, 之后基本稳定, 即春夏季水位发生明显下降, 夏秋之交水位开始回升。而A300和A410的水位在春季较为稳定, 6月左右开始降低, 8月底左右波动, 开始时间滞后于A80且波动时间周期较短。B坝地各水位井水位变化情况与A坝地的基本一致, 且B坝地水位井水位更加稳定。

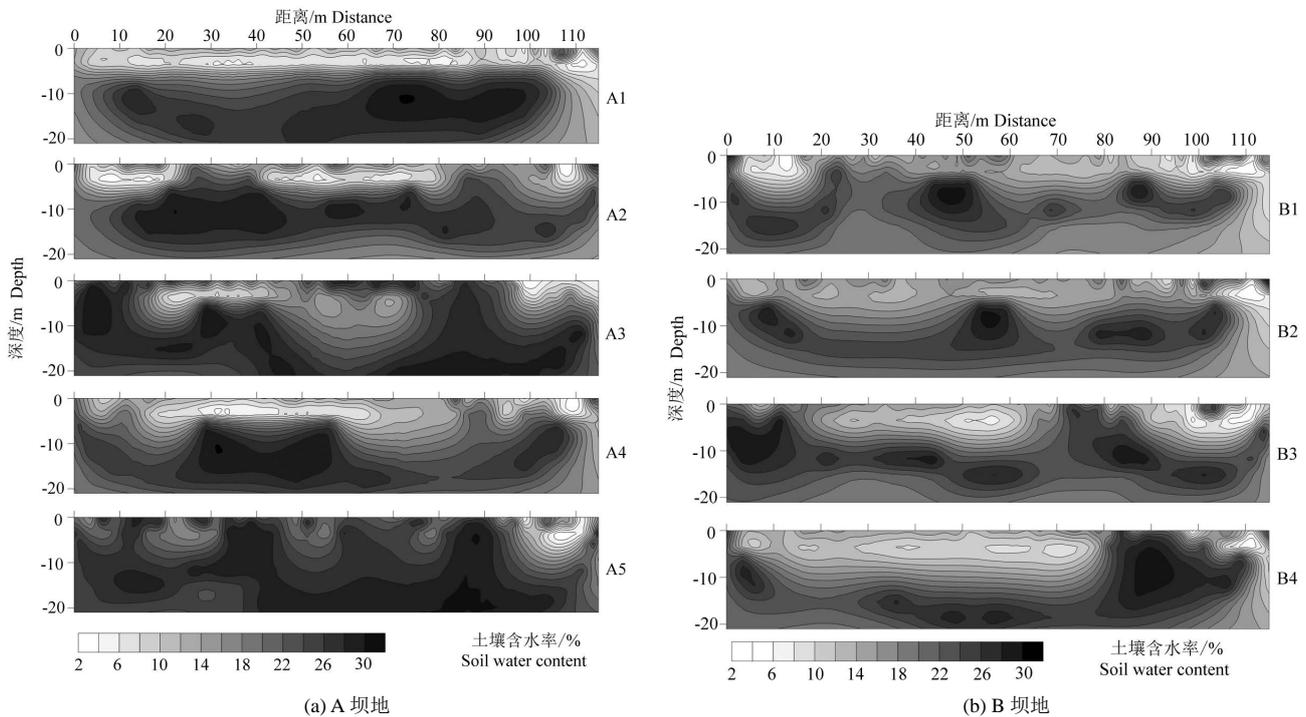


图4 A坝、B坝地土壤含水率空间分布

Fig.4 Spatial distribution of soil moisture in check dams A and B

A坝地2年平均地下水储水量为90 385 m<sup>3</sup>, 最小值和最大值分别出现在8月和11月, 其值分别为85 949 m<sup>3</sup>和93 486 m<sup>3</sup>。B坝地地下水储水量峰值月份与A坝地相同, 其平均储水量为97 679 m<sup>3</sup>, 最小和最大储水量分别为94 196 m<sup>3</sup>和99 309 m<sup>3</sup>。从B坝地完整2 a储水量变化来看, 淤地坝浅层地下水储水量年际变化趋势基本一致, 储水量总值变化约为5 113 m<sup>3</sup>, 为年平均的5.2%, 自12月开始地下水储水量呈减少趋势, 直至次年9月初地下水储水量开始迅速增加, 达到峰值后小幅减少再趋于稳定。而A坝地数据不完整, 但其表现出的规律与B坝地类似, 不同的是A坝地地下水储量可能受沟头处水位变化影响较大。由此, 2座淤地坝地下水储水量大体上表现为, 12月一次年8月地下水储量呈减少趋势, 夏季储水

量要低于其他季节储水量, 冬季储水量达到最大。

### 3 讨论

土壤电阻率受多种因素共同影响, 若要通过土壤电阻率获取土壤理化性质等信息必须将某单一或者少量因素认定为主要影响因素<sup>[13]</sup>。对于本文所研究的淤地坝系统而言, 主要土壤类型为黄绵土, 其在较大尺度上具有相对均匀的质地, 土壤含水率成为影响土壤电阻率的主要因素<sup>[14]</sup>。因此, 本文认为六道沟流域2座淤地坝不同深度土壤电阻率主要受土壤含水率的影响。A、B淤地坝土壤电阻率与土壤含水率呈显著的反比例关系, 结果与众多学者<sup>[9-10,15]</sup>的研究一致, 经过拟合, 二者之间为幂函数关系, 且精度较高, 高君亮等<sup>[10]</sup>同样采用幂函数模型取得了较好的效果。

由于地形、水流携沙能力和重力等多因素的影响,泥沙逐级沉降形成多层次的分布格局,造成坝地土壤质地存在明显的层状现象<sup>[11]</sup>,表层土壤的砂粒量较高使得土壤电阻率较大<sup>[16-17]</sup>,因此,各测线的表层电阻率明显高于深层电阻率,存在明显的分界线,且随着深度的加深呈先增大后减小再增大的变化趋势。根据土壤电阻率与土壤含水率呈反比例的关系,得到淤地坝深层土壤含水率高于浅表层土壤含水率,这同袁水龙等<sup>[2]</sup>研究坝地含水率时空分布的结果一致。同时,坝地土壤含水率与黏粉粒量呈正相关<sup>[16]</sup>,粗颗粒沉积的沟头处土壤含水率低于细颗粒沉积的沟尾处,与王祖正<sup>[18]</sup>的研究结果相似。此外,不同土地利用类型与土壤含水率分布有着密切关系,2座淤地坝在沟尾处是农地,而在坝中位置是以柠条等高耗水植物为主的

灌草地,沟头则以草地撂荒为主,因此淤地坝土壤含水率从沟头至沟尾是先减小后增大的趋势。

2座淤地坝地下水储水量动态变化特点基本保持一致,12月一次年4月,降水量少,水分得不到补充,5、6月植物开始生长,蒸腾量逐渐增大,到7、8月地表蒸散发达到顶峰,地下水储水量减少,期间有降水发生但补给量小于消耗量,因此储水量会呈现下降趋势,进入9月后,气温逐渐降低,植物逐渐枯萎,蒸散耗水减少,加上降水的补充,地下水储水量逐渐增加,这与王军等<sup>[19]</sup>在黄土丘陵区所得结果一致。因此,坝地的地下水储水量呈现明显季节性变化,可分为2个时期:冬末至次年夏季为土壤含水率消耗期,夏末秋初为蓄积期,同李洪建等<sup>[20]</sup>长期土壤含水率定位监测结果类似。

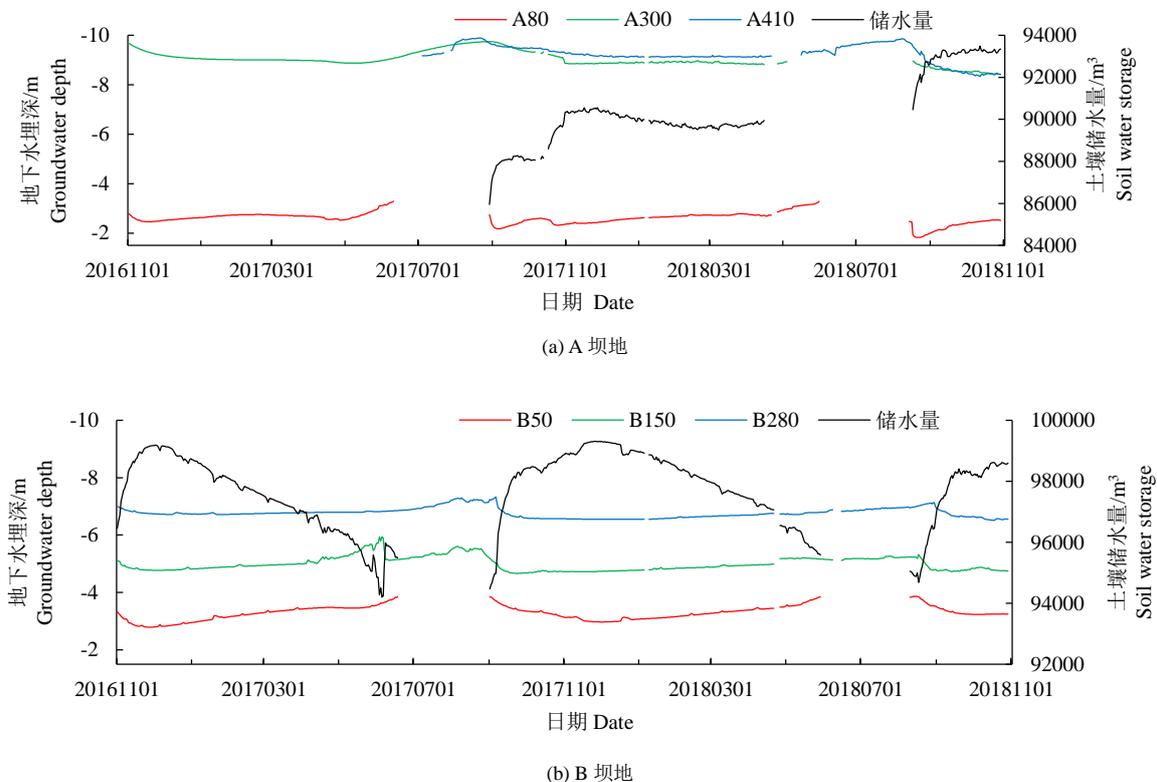


图5 2016—2018年A、B坝地地下水位及地下水储水量的变化

Fig.5 Variation of groundwater level and groundwater storage in check dams A and B from 2016 to 2018

## 4 结论

1) 坝地土壤电阻率随深度变化呈先增大再减少后增大的趋势,上层土壤电阻率高于下层,且上层土壤电阻率变异性较大;同时,坝地内土壤电阻率与土壤含水率之间呈显著的幂函数关系。

2) 坝地浅表层土壤含水率在垂直方向上表现为上层低于下层,整体趋势为先减小后增大,且存在分层现象,而在水平方向上,浅表层地下水量大小为沟尾>沟头>中部。

3) 坝地地下水储水量呈季节性变化,冬末至次

年夏季储水量逐渐减少,夏末秋初储水量急剧增加,夏季的储水量最小,冬季的储水量最大。

## 参考文献:

- [1] 李琴,陈曦,FRANK Veroustraete,等.干旱半干旱区土壤反演与验证[J].水科学进展,2010,21(2):201-207.  
LI Qin, CHEN Xi, FRANK Veroustraete, et al. Validation of soil moisture retrieval in arid and semi-arid areas[J]. Advances in Water Science, 2010, 21(2): 201-207.
- [2] 袁水龙,李占斌,张扬,等.黄土高原小流域坝地含水率时空分布特

- 征[J]. 水土保持研究, 2018, 25(3): 29-34.
- YUAN Shuilong, LI Zhanbin, ZHANG Yang, et al. Impact of layered deposition on temporal and spatial distribution characteristic of soil moisture of check dam land[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2018, 25(3): 29-34.
- [3] 黄金柏, 付强, 桧谷治, 等. 黄土高原小流域淤地坝系统水收支过程的数值解析[J]. 农业工程学报, 2011, 27(7): 51-57.
- HUANG Jinbai, FU Qiang, Hui Guzhi, et al. Analysis of water budget process of check dam system in small basin on Loess Plateau[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2011, 27(7): 51-57.
- [4] 刁万英, 刘刚. 基于数字图像估算不同密度表层土壤含水率[J]. 灌溉排水学报, 2017, 36(4): 26-30.
- DIAO Wanying, LIU Gang. Estimating water content in soils of different bulk densities using digital image[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2017, 36(4): 26-30.
- [5] 高培霞, 张吴平, 梁爽, 等. 基于温度植被干旱指数(TVDI)的土壤干湿反演[J]. 灌溉排水学报, 2018, 37(10): 123-128.
- GAO Peixia, ZHANG Wuping, LIANG Shuang, et al. Retrievably calculating soil moisture based on temperature vegetation drought index of vegetative land[J]. Journal of Irrigation and Drainage, 2018, 37(10): 123-128.
- [6] 马东豪, 张佳宝, 吴忠东, 等. 电阻率成像法在土壤水文学研究中的应用及进展[J]. 土壤学报, 2014, 51(3): 439-447.
- MA Donghao, ZHANG Jiabao, WU Zhongdong, et al. Application of electrical resistivity tomography to study on soil hydrology and its advance[J]. Acta Pedologica Sinica, 2014, 51(3): 439-447.
- [7] MICHOT D, BENDERITTER Y, DORIGNY A, et al. Spatial and temporal monitoring of soil water content with an irrigated corn crop cover using surface electrical resistivity tomography[J]. Water Resources Research, 2003, 39(5): 1 138-1 149.
- [8] 刘震. 黄土高原地区水土保持淤地坝规划概述[J]. 中国水土保持, 2003 (12): 8-10.
- LIU Zhen. Planning of warping Dams for Soil and Water Conservation in Loess Plateau[J]. Soil and Water Conservation in China, 2003 (12):8-10.
- [9] 岳宁, 董军, 李玲, 等. 基于高密度电阻率成像法的陇中半干旱区土壤含水量监测研究[J]. 中国生态农业学报, 2016, 24(10): 1 417-1 427.
- YUE Ning, DONG Jun, LI Ling, et al. A soil water content monitoring in Longzhong semi-arid region by high-density electrical resistivity tomography[J]. Chinese Journal of Eco-Agriculture, 2016, 24(10): 1 417-1 427.
- [10] 高君亮, 罗凤敏, 马迎宾, 等. 电阻率成像法监测人工梭梭林土壤含水率[J]. 农业工程学报, 2018, 34(22): 92-101.
- GAO Junliang, LUO Fengmin, MA Yingbin, et al. Monitoring of soil water content in Haloxylon ammodendron plantation using electrical resistivity tomography[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2018, 34(22): 92-101.
- [11] 张玮, 杨明义, 张凤宝, 等. 黄丘区小流域坝地沉积泥沙粒径剖面分布特征[J]. 水土保持研究, 2015, 22(2): 17-21.
- ZHANG Wei, YANG Mingyi, ZHANG Fengbao, et al. Profile distribution of particle size of sediment at a check dam in a small watershed of the loess plateau[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2015, 22(2): 17-21.
- [12] 李勉, 杨二, 李平, 等. 黄土丘陵区小流域淤地坝泥沙沉积特征[J]. 农业工程学报, 2017, 33(3): 161-167.
- LI Mian, YANG Er, LI Ping, et al. Characteristics of sediment deposition in check dam in small watershed in Loess Hilly Area[J]. Transactions of the Chinese Society of Agricultural Engineering, 2017, 33(3): 161-167.
- [13] 周仲华, 郑龙, 孙博. 土遗址墙体含水量与电阻率关系研究[J]. 岩石力学与工程学报, 2009, 28(S2): 4 054-4 058.
- ZHOU Zhonghua, ZHENG Long, SUN Bo. Research on relationships between water content and resistivity of earthen ruin walls[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2009, 28(S2): 4 054-4 058.
- [14] 朱教君, 徐大勇, 康宏樟, 等. 沙质林地土壤阻抗系数测量方法[J]. 生态学杂志, 2005, 24(2): 222-227.
- ZHU Jiaojun, XU Dayong, KANG Hongzhang, et al. Method for the measurement of soil resistivity in sandy woodland[J]. Chinese Journal of Ecology, 2005, 24(2): 222-227.
- [15] HADZICK Z Z, GUBER A K, PACHEPSKY Y A, et al. Pedotransfer functions in soil electrical resistivity estimation[J]. Geoderma, 2011, 164(3): 195-202.
- [16] 赵培培. 黄土高原小流域典型坝地土壤含水率和泥沙空间分布特征[D]. 杨凌: 中国科学院研究生院(教育部水土保持与生态环境研究中心), 2010.
- ZHAO Peipei. Spatial distribution of soil water content and sediment in the dam farmlands in a small catchment of the Loess Plateau[D]. Yangling: Graduate University of Chinese Academy of Sciences (Research Center for soil and water conservation and ecological environment, Ministry of Education), 2010.
- [17] 刘国华, 王振宇, 黄建平. 土的电阻率特性及其工程应用研究[J]. 岩土工程学报, 2004, 26(1): 83-87.
- LIU Guohua, WANG Zhenyu, HUANG Jianping. Research on electrical resistivity feature of soil and it's application[J]. Chinese Journal of Geotechnical Engineering, 2004, 26(1): 83-87.
- [18] 王祖正. 黄土丘陵区淤地坝土壤含水量空间分布规律研究[D]. 西安: 陕西师范大学, 2007.
- WANG Zuzheng. Research on water content spatial distribution situation of Silt Dam in Suide County of Shaanxi Province[D]. Xi'an: Shaanxi Normal University, 2007.

- [19] 王军, 傅伯杰. 黄土丘陵小流域土地利用结构对土壤含水率时空分布的影响[J]. 地理学报, 2000, 67(1): 84-91.  
WANG Jun, FU Bojie. The impact of land use on spatial and temporal distribution of soil moisture on the Loess Plateau[J]. Acta Geographica Sinica, 2000, 67(1): 84-91.
- [20] 李洪建, 王孟本, 柴宝峰. 黄土高原土壤含水率变化的时空特征分析[J]. 应用生态学报, 2003, 14(4): 515-519.  
LI Hongjian, WANG Mengben, CHAI Baofeng. Spatial and temporal characteristics of soil moisture dynamics in Loess Plateau[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2003, 14(4): 515-519.

## Spatiotemporal Distribution of Soil Water and Shallow Groundwater in Check Dams in the Loess Plateau of China

YUAN Hongyou<sup>1</sup>, FAN Jun<sup>1,2\*</sup>, JIN Mu<sup>1</sup>, MA Lihui<sup>3</sup>

(1. College of Resources and Environment, Northwest A & F University, Yangling 712100, China;

2. State Key Laboratory of Soil Erosion and Dryland Farming on the Loess Plateau, Institute of Soil and Water Conservation, Chinese Academy of Sciences and Ministry of Water Resources, Yangling 712100, China;

3. Institute of Soil and Water Conservation, Northwest A & F University, Yangling 712100, China)

**Abstract:** 【Background and objective】 Soil water distribution in check dams is an important factor affecting agricultural production and ecological environment reconstruction in arid and semi-arid areas. The objective of this paper is to explore the spatiotemporal change in soil moisture and shallow groundwater in the check dams in the loess plateau of China. 【Method】 Soil moisture distribution was measured using the electrical resistivity tomography, in which several baselines were set up to measure the soil resistivity in two check dams at Liudaogou, Shenmu. Using the measured soil moisture and depth of shallow groundwater table, we analyzed the spatiotemporal change in shallow groundwater table as well as water storage in the aquifers. 【Result】 There was a significant power-law relationship between soil resistivity and soil moisture content with  $P < 0.05$ . Soil resistivity decreased downwards along the soil depth due to the decrease in soil moisture. From the gully head to the gully tail, the depth of shallow groundwater table in both dams increased, while storage of the groundwater declined first and then started to increase after passing the middle of the gully. Soil lost water from early winter to summer, while gained water from late summer to early autumn. The groundwater storage reached its lowest point in summer with its value ranging from 85 949 to 93 486 m<sup>3</sup>, and peaked in winter with its value ranging from 94 196 to 99 309 m<sup>3</sup>. 【Conclusion】 Water exists in the check dams and the shallow groundwater in it changes seasonally. Coordinating use of this type of water resource could ameliorate temporary water shortage.

**Key words:** Loess plateau; check dam; electrical resistivity tomography; soil resistivity; shallow groundwater

责任编辑: 韩洋