

# 荒漠区地下水埋深数据获取方法研究

刘秉儒<sup>1,2</sup>, 牛宋芳<sup>1,2</sup>

(1. 宁夏大学 西北土地退化与生态恢复国家重点实验室培育基地, 宁夏 银川 750021;  
2. 宁夏大学 西北退化生态系统恢复与重建教育部重点实验室, 宁夏 银川 750021)

**摘要:** [目的] 分析、遴选出获取荒漠区地下水埋深数据的几种快速、准确的技术与方法, 为研究荒漠区植物与地下水埋深的关系、地下水资源查找提供技术参考。[方法] 通过分析观测井实测法、土壤阻抗系数法、探地雷达法以及核磁共振技术、地震勘探技术等方法的原理、优缺点及适用情况, 最后综合操作便利性、精度和仪器设备价格等因素, 分析、遴选出获取荒漠区地下水埋深数据的技术方法。[结果] 探测荒漠区地下水埋深, 应在熟悉这些技术方法的原理、优缺点及适用情况基础上, 综合考虑操作便利性、数据精度和仪器设备价格、劳动力成本等因素, 多角度权衡比较与遴选。[结论] 在荒漠区已有观测井, 使用观测井实测是最便宜且准确度最高的方法; 在地形条件复杂, 交通不便利的情况下, 采用核磁共振、地震探测方法中的一种; 如果测定沙地地下水埋深, 可使用土壤阻抗测定仪探测。

**关键词:** 荒漠区; 地下水埋深; 测定方法

文献标识码: B

文章编号: 1000-288X(2018)04-0150-05

中图分类号: N31, X523

**文献参数:** 刘秉儒, 牛宋芳. 荒漠区地下水埋深数据获取方法研究[J]. 水土保持通报, 2018, 38(4): 150-154. DOI:10.13961/j.cnki.stbctb.2018.04.025. Liu Bingru, Niu Songfang. Reviews on methods of obtaining groundwater depth in desert area[J]. Bulletin of Soil and Water Conservation, 2018, 38(4): 150-154.

## Reviews on Methods of Obtaining Groundwater Depth in Desert Area

LIU Bingru<sup>1,2</sup>, NIU Songfang<sup>1,2</sup>

(1. *Breeding Base for State Key Laboratory of Land Degradation and Ecological Restoration of North-western China, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China*; 2. *Key Lab. for Restoration and Reconstruction of Degraded Ecosystem in North-western China of Ministry of Education, Ningxia University, Yinchuan, Ningxia 750021, China*)

**Abstract:** [Objective] In order to provide technical reference for the study of the relationship between plant and groundwater depth in desert areas and the search for groundwater resources, several rapid and accurate techniques and methods for obtaining groundwater depth in desert area were analyzed and selected. [Methods] Through the analysis of observation wells, soil impedance coefficient, ground penetrating radar and nuclear magnetic resonance, the principles, advantages and disadvantages and application of several methods for measuring groundwater depth, such as seismic exploration technology, and factors such as comprehensive operation convenience, accuracy and equipment price, etc., are analyzed to select several rapid and accurate techniques for obtaining groundwater depth in desert areas. [Results] When detecting groundwater depth in desert area, we should be familiar with the principle, advantages and disadvantages of these methods, and consider the convenience of technical operation, data precision and the price of instrument and equipment, labor costs and other factors as well to comparative trade-off analysis for the selection of scientific, reasonable technical programs. [Conclusion] It is the cheapest and most accurate

收稿日期: 2018-02-17

修回日期: 2018-04-08

资助项目: 宁夏自然科学基金项目“荒漠草原人工灌木林地下水埋深生长季的变化规律及其与降水量关系”(NZ15001)

第一作者: 刘秉儒(1971—), 男(汉族), 甘肃省宁县人, 博士, 研究员, 硕士生导师, 主要从事生态恢复理论与技术方面的研究。E-mail: bingru.liu@163.com。

通讯作者: 牛宋芳(1992—), 女(汉族), 安徽省临泉县人, 硕士研究生, 研究方向为生态恢复理论与技术。E-mail: niusongfang@163.com。

method to determine the groundwater depth in desert area, and when the terrain conditions are complex and the traffic is not convenient. Nuclear magnetic resonance (NMR), seismic detection in one case, if groundwater depth is measured in homogeneous sandy land, a soil impedance meter could be used.

**Keywords:** desert area; groundwater table; determine methods

地下水作为荒漠区水资源的重要组成部分,是干旱半干旱地区最重要的自然资源之一,在荒漠植物的生长中发挥着不可替代的作用<sup>[1-4]</sup>。地下水的水位分布及其水质变化导致植被退化、沙漠化、土壤盐渍化等环境问题<sup>[5-7]</sup>,影响着区域农业生产和生态环境的可持续发展。因此,快速、准确地获取地下水埋深(潜水面距地面的距离)<sup>[8]</sup>,对于定量分析其对植被的影响尤为重要。地下水埋深测定由最初观测井(钻井)实测法发展到 20 世纪 60—70 年代广泛应用的地下水水位计法(分浮子式和压力式),随着物理和电子信息技术的发展,为了更精准的测定地下水埋深,探地雷达法、核磁共振得到更为广泛的应用,在匀质土壤环境中土壤阻抗系数法也得到广泛的应用。但是很多试验研究中对于地下水埋深获取的方法描述比较简略,无法对刚涉足的研究者提供帮助。本文通过分析几种地下水埋深的测定方法、原理及优缺点及适用情况,最后综合操作便利性、精度和仪器设备价格等因素,分析、遴选出获取荒漠区地下水埋深数据的几种快速、准确的技术、方法,旨在为研究荒漠区植物与地下水埋深关系、地下水资源查找提供技术参考。

## 1 获取地下水埋深的几种方法及特点

地下水是水资源的重要组成部分,但其埋深及分

布情况并不及地表水容易确定。地下水埋深数据的获取,最简单直接的方法就是通过布设观测井或钻孔后直接测量,而最常用的探测方法就是物探,包括电法勘探、电磁法、地震勘探等,其中可以用于确定地下水埋深的方法有电法勘探中的电阻率法、激发电极法,地球物理测井法及地震勘探,具有成本低、速度快的优点,还有一些是新的探测技术,如核磁共振,探地雷达等。下面介绍几种在荒漠区进行野外试验时可能用到的方法。

### 1.1 观测井(钻井)实测法

观测井实测法是利用修建的观测地下水或检测地下水开采量、水质、水温等的地下观测井,或者现场进行打井、钻孔,之后再使用一些仪器测量地下水埋深。这种方法可以直接测出地面与地下潜水面之间的距离。观测井法是最常用的、传统的测量地下水埋深的方法,可以用仪器人工测量、读数,也可以直接用仪器自动测量,测量仪器的主要优缺点及适用情况<sup>[9]</sup>详见表 1。这种方法是目前最常用的方法,如王希义等<sup>[10]</sup>在研究地下水埋深与优势草本之间的关系是根据现有监测井的位置布设监测带进行地下水埋深的观测。但是如若在没有观测井的地方,则需要使用钻孔器钻孔后进行测量,耗费大量的时间、人力及物力。

表 1 观测井测量地下水埋深的方法

方法	仪器	优点	缺点	适用情况
人工观测	测绳(盘)	操作简单,易携带,价格便宜,测量速度快	不能准确测出流动中的埋深;不好判断测绳是否到达水面,造成结果不太准确	适合水深较浅的观测井或者钻孔(太深无法判断是否到达水面或听不到声音);静水
	悬锤式水位计	测量范围大,结果准确,方便携带,不需要提前培训练习	使用前要进行矫正;测尺损坏不易维修	测量水深较大,适用于静水埋深的测量
自动观测	浮子式地下水水位计	自动观测并记录数据,数据可遥感传输,便于维护,结果准确性较高。	对测井的倾斜度有要求;需要定期检查	测井口径满足仪器的安装要求,可实时测量,适用于长期监测
	压力式地下水水位计	不受测量口径影响,能自动采集存储数据,准确度高,井下工作,受地上干扰少,测量数据稳定。	仪器较为复杂,费用较高使用前需要进行仪器培训	适用于任何口径的地下水埋深监测

### 1.2 土壤阻抗系数法

土壤阻抗系数法是通过测定土壤的阻抗系数来确定地下水埋深的一种方法。每种物质都有其不同的阻抗系数,而土壤阻抗系数是指当电流通过土壤时,土壤对其阻碍的能力<sup>[11]</sup>,它会受土壤质地、含水

含盐量以及土壤温度等方面影响。土壤阻抗系数法仅适用于与同质沙地中,因为在那样的环境中土壤电阻的差异主要是由地下水埋深、土壤含水量、土壤含盐量造成的,所以,可通过对土壤阻抗系数进行室内分析后得到地下水埋深。

由上述可知,通过测定同质沙地中的土壤阻抗系数就可确定地下水位的相关状况,因此,土壤阻抗系数的确定成为该方法的技术难点和关键点。测定土

壤阻抗系数的方法目前有三种,两点法、三点法和四点法(图 1)<sup>[11]</sup>,其中应用最广的是四点法,具体原理及优缺点详见表 2。

表 2 土壤阻抗系数法测定地下水埋深的方法

方法	原理	优点	缺点
两点法	用导线先将两个金属电极与电源相接,与电流表串联,电压表并联,将电极插入沙地中,接通电源后,电极会把低频电流导入地面,当电流在土壤中传导时,从地表往下会呈现一系列半球形的等压线。电极间距可以代表土层厚度,读出电流表和电压表的值后可算出土壤阻抗,通过改变两个电极间的距离可获得不同土层厚度的土壤阻抗	原理简单,便于操作,是最早的测定土壤电阻的方法	插入的电极会和土壤接触后产生的电阻一起计入最终的阻抗系数中,而该阻抗系数的不稳定性及大小的不可预见严重影响了结果的准确性;小范围测量
三点法	用三个电极插入土壤中,第一、二电极间距是第二、三电极间距的 2 倍,分别读出此时的电压和电流,再将第一根导线移动到与二、三导线距离等距的位置,再读出电压、电流表的读数,将电极与土壤之间形成的电阻用 $R$ 表示,通过联立方程求出 $R$ 和土壤电阻	解决了电极与土壤之间电阻计入土壤电阻的问题,结果较准确	试验过程较为复杂,每一土层厚度都需要测 2 次,计算繁琐
四点法	用四个电极等距的插入土壤中,并排成直线,使电流与电压各自形成不同的回路,分开测电流和电压的值,直接计算得出土壤电阻	减少电极与土壤接触后产生的电阻对结果的影响;操作简单,灵敏度高,结果准确	连接线用量大

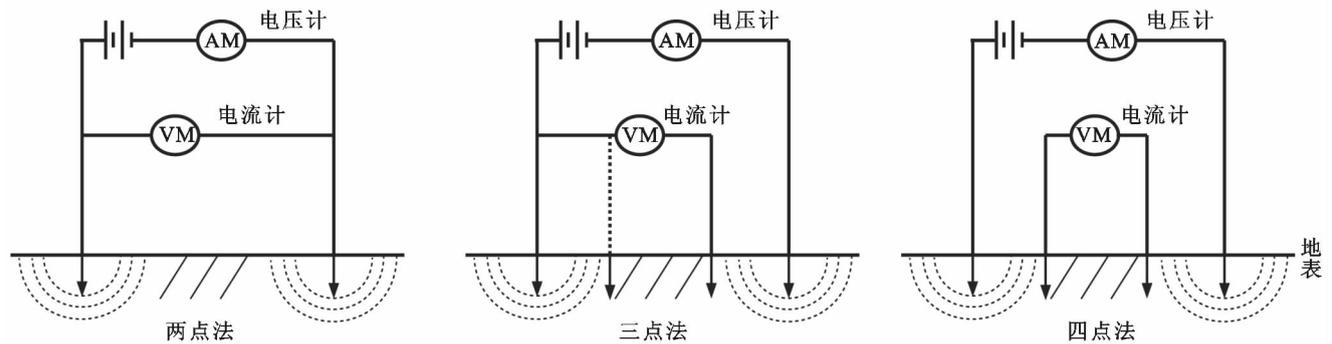


图 1 土壤阻抗系数的测定方法示意图

由于测量的是同质沙地,不同厚度的土层之间土壤阻抗的变化是十分平缓的,当到达地下水面的时候,土壤阻抗系数会迅速下降,这个下降的拐点所对应的分段曲线的斜率最大,将该分段曲线中斜率最大的曲线拐点所对应分层点的位置确定为地下水埋深<sup>[12]</sup>。

影响土壤阻抗系数的各种因素的复杂性和不确定性,使确定土壤阻抗系数成为该方法的技术难点和关键点。目前对于土壤阻抗系数的测量方法介绍还不多,许多科研工作者无法准确把握这些计算公式和方法,下面以沙质林地为例,对土壤阻抗系数的测量方法与过程进行详细说明,为应用土壤阻抗系数研究沙质林地水分生态提供方法与基础<sup>[12-13]</sup>。利用土壤的阻抗系数来确定地下水埋要用到土壤阻抗测定仪,

常见的土壤阻抗测定仪是根据 Wenner 法原理设计的典型四点法仪器(图 2)<sup>[11]</sup>,该方法广泛应用于地球物理科学和土壤科学,成为最普遍的土壤阻抗测量方法。当电流通过电极在土壤中传导时,从上到下在土层中形成一系列的等压线,而这些电压等位线在地面以下形成半球形(图 1)。根据 Wenner 法测量土壤阻抗系数原理,图 2 中  $P_1$ 、 $P_2$  点的电压分别为:  $(\rho I_0 / 2\pi) / (1/a - 1/2 a)$  和  $(\rho I_0 / 2\pi) / (1/2 a - 1/a)$ , 因此  $P_1$  和  $P_2$  间电压差为:  $V_0 = \rho I_0 / 2\pi a$

整理该式得到:  $\rho = 2\pi a (V_0 / I_0)$

而  $V_0 / I_0$  就是电阻  $R$ ,通过仪器的读数直接读出来,因此,可以得出 Wenner 法计算土壤阻抗系数的公式:

$$\rho = 2\pi a R$$

式中: $\rho$ ——土壤阻抗系数的平均值( $\Omega \cdot m$ ); $a$ ——两电极 $P_1, P_2$ 之间的距离(m); $R$ ——测量仪器的读数( $\Omega$ )。

使用土壤阻抗测定仪操作时,在0—10 m内,电极 $P_1, P_2$ 每次向测定仪两侧移动0.5 m(前两次每次移动距离为0.25 m),在10—20 m时,每次移动1 m, $>20$  m时每次移动2 m;而 $C_1, C_2$ 每次同时向两侧移动的距离为 $P_1 \sim P_2$ 距离的2倍。同时在电极移动的过程,每次电极插入土壤的垂直深度应随着两电极水平距离的增大而有所加深,水平 $a$ 在0—20 m内插入的深度为10 cm左右, $>20$  m后以20—30 cm为宜。每移动一个位置测定一个电阻值,分别记录。

该方法测量结果较为准确,但具有很大的局限性,只适用于均质土壤中,如朱教君等<sup>[12]</sup>在探究地下水埋深的季节变化时使用土壤阻抗法测到的地下水埋深与观测井法测到的数据之间并无显著差异。

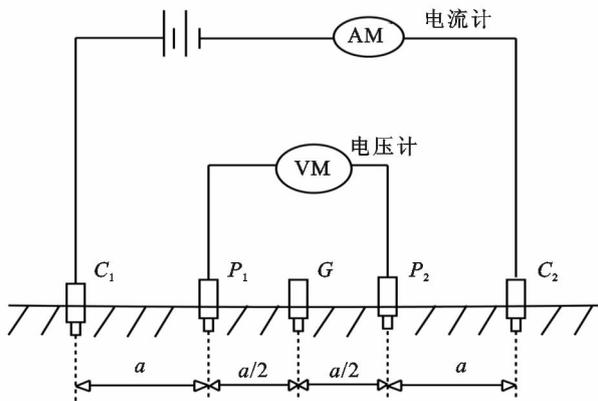


图2 四点法土壤阻抗系数示意图

### 1.3 探地雷达法

探地雷达法<sup>[14]</sup>是利用电磁波以宽频带短脉冲的形式,用一个天线发射电磁波至地下,在遇到地下目标或地层的界面后进行反射,由另一个天线接收反射波,由于地下水和土壤之间由于电磁特性差异较大,介电常数和电导率相差也很大的因素在这两者之间存在着明显的界面,因此,可以用探地雷达探测出土壤与地下水的界面,再通过第一次发射电磁波和接收反射波的时间,距离和第二次发射电磁波的时间和距离,通过计算得出地下水埋深。此方法在测试前需要了解测试区的地形变化以及地表结构,对操作者的电磁波反射特性的分析能力及地质条件的认识依赖性较强<sup>[14]</sup>。由于自然环境中地表结构的差异和环境状况的不同,在进行正式测量前,需要进行多次的试验,才能进行之后的探测工作,测定前的准备工作繁琐。

### 1.4 核磁共振

核磁共振技术是当今世界最先进的技术,采用此方法可以直接探查地下水。原理是通过测量地层水中的氢核来直接找水,在地磁场的恒定磁场下氢核会产生宏观磁矩 $M$ 。当施加与地磁场方向不同的一个外磁场时,就会使氢核磁矩偏离磁场方向,一旦外磁场消失,氢核将绕地磁场旋进,其磁矩方向恢复到地磁场方向,通过施加具有拉莫尔圆频率的外磁场,再测量氢核的共振信号,可以得到不同激发脉冲矩下对应的核磁共振信号振幅和横向弛豫时间,经过反演,可以得到地面以下不同深度的土壤含水量,进一步可以确定地下水埋深<sup>[15]</sup>。核磁共振信号幅度直接反映地下水含水量的大小,可用于直接找水<sup>[16]</sup>。核磁共振法使用仪器进行探测,省时省力,结果一目了然,在野外没有观测井的情况下可以使用,不需要在进行打孔,即可得到地下水含水层厚度、含水量、层位、渗透系数等水文地质参数。该方法抗干扰能力差,由于核磁共振需要磁场,不宜在高压线周围或者雷雨天气使用,会造成磁场异常,影响测量结果,且仪器价格较为昂贵,但比打井所耗费的人力物力要少。

### 1.5 地震勘探

地震勘探是利用具有弹性的土壤和岩石在受到人工地震波的作用下,由于其弹性性质的不同,会形成不同的界面,使传过来的地震波发生折射和反射,通过地震波向外传播的速度来探测地质结构及含水界面的物探方法<sup>[17]</sup>。地震勘测可分为折射波法和反射波法,按照地震探测的深度又可以分为深层地震法和浅层地震法,常用高分辨率浅层地震法<sup>[18]</sup>。地震勘探法可以用来确定潜水面埋藏深度,划分岩层结构、确定风化层的厚度等方面,具有勘探深度大,探测精度高的优点。

## 2 荒漠区地下水埋深数据获取方法优综合比较与权衡遴选

### 2.1 荒漠区地下水埋深数据获取方法综合比较

前面分别详述了地下水埋深数据获取方法的原理、特点,在实际探测荒漠区地下水埋深的时候,应在熟悉这些地下水埋深测定方法的原理、优缺点及适用情况的基础上,综合考虑技术操作便利性、数据精度和仪器设备价格、劳动力成本等因素,多角度权衡比较与遴选更科学、合理的技术方案。根据测定精度、操作便利性、经济性、耗费人力物力以及使用条件等5个指标,分别对5种在荒漠区可以使用的地下水埋深数据获取方法做了综合细分比较,具体情况见表3。

表 3 地下水埋深测定方法的综合比较

方法	测定精度	操作便利性	经济性	耗费人力物力	使用条件
观测井法	精确程度取决于使用的测量器具	操作简单	测量仪器价格高低不等	无观测井情况下耗费大量人力、物力	有观测井或者适于打钻井的地方
土壤电阻率法	较为精确	操作有一定的复杂性	测量仪器价格较为便宜	人力物力耗费少	仅适用于匀质沙地
探地雷达法	较为精确	仪器操作者具有专业要求	仪器较为昂贵	耗费人力	测定前准备工作繁琐
核磁共振法	精确	仪器操作具有专业性	仪器价格昂贵	省时省力	受天气及高压线影响
地震勘探法	精度高	仪器操作具有专业性	仪器价格昂贵,勘探深度大	耗费人力	土壤地下水埋深深度过大优选技术

## 2.2 荒漠区地下水埋深数据获取方法权衡遴选

在荒漠区已有观测井,使用观测井实测法测定地下水埋深是最便宜且准确度最高的方法,所需要的仪器少,操作简单;若没有观测井,重新打井或者钻孔因耗费的人力物力较多,可以考虑其他的方法,尤其在一些地形条件复杂,交通不便利的情况下,一般不建议采用观测井的方法,由于不能使用探地雷达和土壤阻抗系数法,可根据仪器设备条件采用核磁共振、地震探测方法的一种,充分利用速度快、精度高的优点,但是核磁共振所需的仪器价格较为昂贵,在资金比较充足时可以考虑该方法。如果测定同质沙地中的地下水埋深,在没有观测井的情况下,可以使用土壤阻抗测定仪来进行探测,该方法技术操作便利、数据精度较高、仪器设备价格低廉,具有成本低、速度快的优点。

## 3 结论

在荒漠区已有观测井,使用观测井实测法测定地下水埋深是最便宜且准确度最高的方法;土壤条件复杂,无观测井时,不宜使用探地雷达和土壤阻抗系数法,应采用核磁共振、地震探测方法的一种;如果测定同质沙地中的地下水埋深,在没有观测井的情况下,使用土壤阻抗测定仪来进行探测更为便捷,数据精度也高。

### [参 考 文 献]

- [1] 赵文智,刘鸽. 荒漠区植被对地下水埋深响应研究进展[J]. 生态学报, 2006, 26(8): 2702-2708.
- [2] 赵良菊,肖洪浪,程国栋,等. 黑河下游河岸林植物水分来源初步研究[J]. 地球学报, 2008, 29(6): 709-718.
- [3] 褚建民. 干旱区植物的水分选择性利用研究[D]. 北京: 中国林业科学研究院, 2007.
- [4] 张竞. 植被对地下水依赖程度的试验研究[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2012.
- [5] 白玉锋,陈超群,徐海量,等. 塔里木河下游荒漠植被地上生物量空间分布与地下水埋深关系[J]. 林业科学, 2016, 52(11): 1-10.
- [6] 王梅,赵晨光,王莹,等. 盐穗木种群空间点格局对地下水埋深的响应[J]. 林业科学, 2015, 51(11): 17-24.
- [7] 常春龙. 河套灌区农田生态地下水埋深及不同种植模式作物最适灌水量研究[D]. 内蒙古 呼和浩特: 内蒙古农业大学, 2015.
- [8] 李明,宁立波,卢天梅. 土壤盐渍化地区地下水临界深度确定及其水位调控[J]. 灌溉排水学报, 2015, 34(5): 46-50.
- [9] 姚永熙. 地下水监测方法和仪器概述[J]. 水利水文自动化, 2010(1): 6-13.
- [10] 王希义,徐海量,潘存德,等. 塔里木河下游优势草本植物与地下水埋深的关系[J]. 中国沙漠, 2016(1): 216-224.
- [11] 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.
- [12] 朱教君,康宏樟,宋立宁,等. 科尔沁沙地南缘樟子松人工林地下水埋深季节变化[J]. 生态学杂志, 2009, 28(9): 1767-1772.
- [13] Song Lining., Zhu Jiaojun, Yan Qiaoling., et al. Estimation of groundwater levels with vertical electrical sounding in the semiarid area of south keerqin sandy aquifer, China[J]. Journal of Applied Geophysics, 2012, 83(4): 11-18.
- [14] 阿不都拉·阿不力孜. 基于探地雷达的浅层地下水埋深探测研究[D]. 新疆 乌鲁木齐: 新疆大学, 2011.
- [15] 潘玉玲,贺颖,李振宇,等. 核磁共振找水方法在中国的应用效果[J]. 地质通报, 2003, 22(2): 135-139.
- [16] 宋玉萍. 核磁共振在复杂条件地下水探测中应用研究[J]. 绿色科技, 2016(22): 142-143.
- [17] 肖长来,梁秀娟,王彪. 水文地质学[M]. 北京: 清华大学出版社, 2010.
- [18] 杨国际. 煤炭矿区地面物探技术与方法[J]. 黑龙江科技信息, 2016(1): 169.