

“一管两用”灌排系统土壤水分运动规律的研究*

司徒松 张薇 万明清

(中国水稻研究所)

王德民

(中国农科院农田灌溉所商丘试验站)

提 要

灌排系统地下化已在各国成为发展趋势,但单管单用的灌溉或排水系统投资大、成本高,制约了地下灌排系统广泛应用。本试验提出埋设一根地下透水管,使其既起到渗灌作用,也可排地下水,即“一管两用”。本试验从土壤水分运动规律研究了“一管两用”可行性,实验表明“一管”可以达到渗灌与地下排水目的。

当前,世界各国的地下灌溉或地下排水均分别采用独立管路系统。即地下埋设透水管仅作灌溉或只作排水之用。六十年代出现了波纹塑料管与自动埋管机后,世界各国已广泛采用暗管排水,近十年来,我国南北方暗管排水有不同程度的发展,地下灌溉(我国也称渗灌)国内外也在进行试验研究和在小面积上应用,实践证明:渗灌与地下排水具有许多优点,如省地、省水,便于控制地下水位、高产和便于机耕,灌排系统地下化将成为一种发展的趋势。但单管单用的灌溉或排水系统具有投资大,成本高的缺点,美国暗管排水每亩约60~100美元,中国为100~140元,这就制约了地下灌排系统的广泛应用,本试验试图通过埋设一地下透水管,使它不单可起到渗灌的作用,也可达到排地下水的目的,此法简称为“一管两用”,以便降低投资而又能保持渗灌与地下排水的优点。

一、“一管两用”灌排系统的提出依据及试验设备

渗灌是利用地下透水管,将水引入田间,借土壤毛细管作用自下而上湿润土壤,使水直接进入作物根区附近,以便作物吸收利用的一种灌水方法;地下排水是埋设地下透水管利用重力作用而将土壤多余的水分通过透水孔进入管子而排出,以控制地下水位,为作物高产创造有利的土壤水分条件。渗灌与地下排水共同作用都是能有效地控制土壤水分,土壤水分缺少则灌,过多则排。“一管两用”灌与排均是通过同一透水管而进行,如图1所示;因此透水孔之规格设计就显得特别重要它既照顾渗灌的土壤水分运动特性不产生大量深层渗漏而又满足地下排水通畅的要求(1)、(2)。

* 本试验是在中国农科院农田灌溉所商丘李庄试验站实验室进行,谨此致谢。

进行试验的土壤箱尺寸为高 1.2 米、长 3.2 米、宽 1 米，土壤箱一面安装玻璃能直接观测土壤水分运动和埋设观测孔测定地下水位变化状况，土壤箱上按不同深度和距离安装了 15 根负压计用于测定土壤吸力变化情况，土壤箱内表土以下 50 厘米处埋设了直径为 5 厘米的塑料透水管，在塑料管的管底三分之一以上的管表面积上钻有 5 个透水孔径为 0.3 厘米的孔口，纵向间距为 5 厘米，成梅花状交错分布，每米总进（出）水口面积为 2826 毫米²，暗管平铺于周围铺有 5 厘米厚的麦秸作为滤料的管槽中，给水设备是压力水箱，灌水量用水表测定，排水量用量杯，首先进行渗灌试验，然后灌水底层土壤产生地下水位，逐渐上升至表层，打开排水孔排水，试验连续进行 10 天，从试验结果分析，“一管两用”系统是可以起灌溉和排水之双重作用的。

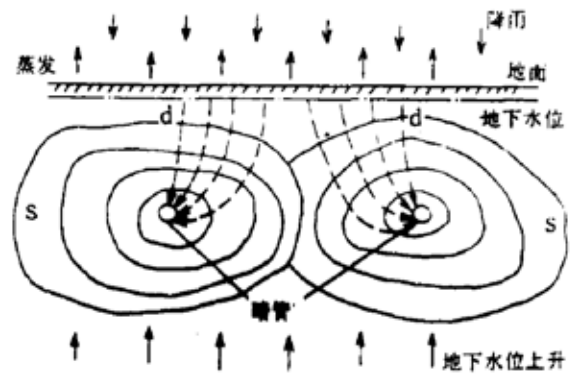


图 1 “一管两用”灌排系统土壤水分运动示意图
 d: 当降雨或地下水位上升时排水
 s: 当蒸发或土壤水分下降时给水

二、渗灌条件下土壤水分变化规律

渗灌条件下土壤水分运动基本上是在土壤水分处于非饱和状态进行，因此可以利用里查兹 (Richards) 将达西定律引伸而得出的非饱和土壤水分运动的基本微分方程式求解：

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[k(\theta) \frac{\partial \psi_m}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[k(\theta) \frac{\partial \psi_m}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[k(\theta) \frac{\partial \psi_m}{\partial z} \right] + \frac{\partial k(\theta)}{\partial z}$$

$$\text{或 } \frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[D(\theta) \frac{\partial \theta}{\partial z} \right] + \frac{\partial k(\theta)}{\partial z}$$

式中：θ——土壤含水量（体积比）

t——时间（分）

m、K(θ)、D(θ) 分别代表基质势、水力传导度和扩散度，均是含水量 θ 的函数。

上式是非线性二阶偏微分方程，可根据渗灌水流区域及其边界上的特点，写出定解条件进行求解，很明显，求解上述方程较困难，我们试用 1:1 的模拟试验，根据实验资料分析而求得土壤水分运动规律，土壤箱内装填均一的粉砂壤土，容重为 1.4 克/cm³，土壤初始含水率平均（0—50cm）为 12%（占干土重），本试验采用低压水头（4—6m），以适应目前井灌区使用的低压管道输水，这又可和过去习惯应用微压（40—60cm）进行比较。

渗灌土壤水分渗吸扩散的规律和过去所做的微压水头供水相似，即湿润峰在开始给水后，以渗管为中心以接近圆形向四周迅速扩散，随后水分移动速度逐渐减慢，湿润峰在水平方向和垂直向上的移动呈指数函数关系。

水平湿润峰距离与灌水时间关系式为：

$$L = 8.133t^{0.398} \tag{1}$$

垂直向上湿润峰距离与时间关系式为：

$$L = 16.146t^{0.135}$$

(2)

式中L湿润峰距离(厘米); t—时间(分钟)

(1)和(2)式拟合方程F检验值见表1。

表1 拟合方程F检验值

参数 公式	Q	R	F	S	$F_{0.01}^{K, N-K-1}$
(1)	10.044	0.084	152.4	1.417	16.3
(2)	3.462	0.977	106.2	0.832	16.3

Q为残差平方和, $Q = \sum (Li - \hat{Li})^2$, \hat{Li} 为拟合值, R为复相关系数,

$$R = \sqrt{1 - \frac{Q}{Lyy}}, \quad Lyy = \sum (Li - \bar{Li})^2$$

$$F = \frac{R^2}{1 - R^2} \times \frac{N - K - 1}{K}, \quad N \text{为样本数, } K = i \text{为变量个数, } S \text{为剩余均方差,}$$

$S = \sqrt{\frac{Q}{N - K - 1}}$, $F_{0.01}^{K, N-K-1}$ 为判别值, 0.01为信度, K为分子自由度, N-K-1为分母自由度。

表1中, 所有 $F \gg F_{0.01}^{K, N-K-1}$, 因此, 拟合方程效果很好。

图2为实测湿润峰扩散图, 但其明显的差异是在低压水头供水情况下, 渗吸速度加快, 在相同的湿润距离下, 低压供水(4—6米)缩短供水时间; 水平湿润为1~1.5倍, 垂直向上湿润为1.5~2倍, 也就是越靠近管中心供水时间越缩短, 这是离管中心越近, 直接受压力供水影响越大之故。而垂直向下渗吸速度低压供水较微压供水大2~2.5倍, 这由于除受重力, 土壤吸力作用外还外加上水压力。由于低压的作用, 渗吸速度加快, 达到相同的渗吸距离时灌水量略小于微压供水, 如上述试验灌水量为32方/亩, 而微压达到相同水平距离灌水量为35方/亩。在灌水停止2.5小时后, 土壤水分分布如图3。

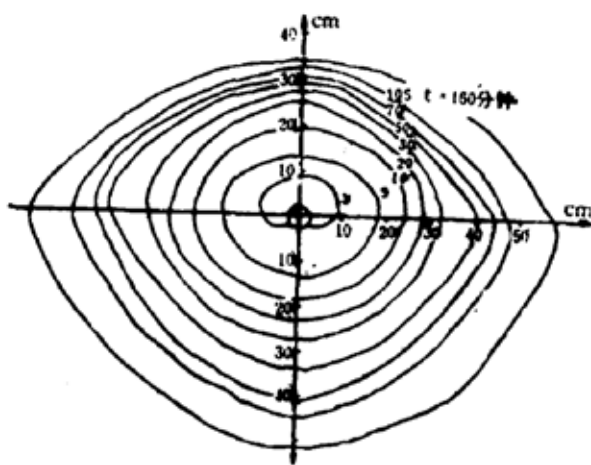


图2 湿润峰曲线

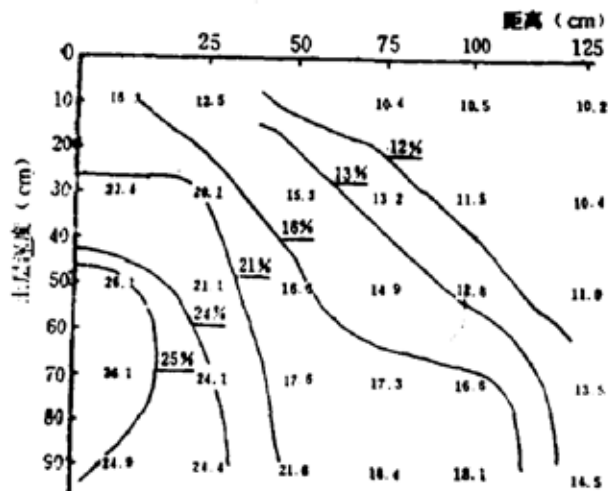


图3 渗灌后土壤含水率等值线图

三、地下排水的效应

进行地下排水的试验是在渗灌试验完成后继续给予灌水，而使底层土壤饱和后形成地下水位不断上升直至达到土层表面。地下水位上升过程为一开始底层成一以暗管为中心的喇叭形饱和圈，然后逐渐扩大，继之，在底层出现地下水位线，随着灌水时间的增加而以暗管为中轴线各高于两侧水位，最后到达地表，即是离暗管越远，水位上升速度并不是和管中心同步，而是滞后一些时间才上升，地下水位上升与降落过程线见图 4。

(一) 排水量和时间的关系

当打开排水开关以后，首先排除管内及管外周围的水，同时是在水头值最大时排水，因而排水量较大，随着排水时间的延长，排水量以指数函数关系递减，其关系式为：

$$Q = 983.54t^{0.534} \tag{3}$$

式中 $Q =$ 排水量 (公升)
 $t =$ 时间 (分钟)

进行拟合方程 F 检验， $F_{0.01}^{1 \cdot 101} = 6.9$ ， $F = 2131.14$ ， $F \gg F_{0.01}^{1 \cdot 101}$ 拟合方程效果很好，从拟合值与实际观测曲线可以看出，在排水进行一天半，排出水量几乎占去总排水量的一半，曲线斜率 $\text{tg}\alpha = 1.5$ ，以后排水量便开始减少在排水二天半流量迅速减少，曲线斜率 $\text{tg}\alpha = \frac{1}{4}$ 。

若排水量换算成流量 q (公升/分) 表示，则流量与时间的关系呈幂函数关系，其关系式为：

$$q = 3.256e^{-0.014t} \tag{4}$$

式中 $q =$ 流量 (公升/分)
 $t =$ 时间 (分钟)

进行拟合方程 F 检验， $F = 280.4$ ， $F_{0.01}^{1 \cdot 000} = 6.9$ ， $F \gg F_{0.01}^{1 \cdot 000}$ ，拟合方程效果良好。

(二) 地下水位下降与时间关系

当打开排水阀门时的地下水位线是水平的，排水开始后变成曲线形状，水从各方向向暗管中流动，入管水流处于不恒定流态，水位降落随时间而扩大，在靠近暗管 50 厘米区域内，排水时间在 60 小时以内，水位坡度较大，成 $\text{tg}\alpha = 0.5$ 下降，排水管处水位下降最大值为 1 厘米/小时，在距暗管 25 厘米以远及随时间增大而水位下降越来越慢，水位下降曲线较平直，因此，可认为：在排水开始后的 2.5 天内是地下水位下降最快的时段，影响强烈范围为 50 厘

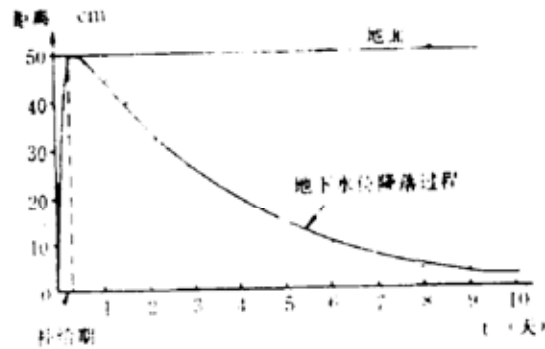


图 4 地下水位上升与降落过程线 (距管 50cm 处观测孔)

米。在十天时间内地下水位基本下降成一平缓的曲线，也就是排水管的排水作用终止。

在离暗管不同距离的观测孔水位下降过程可见：距管越远，水位下降越慢，但总的趋势是在2.5天内不同距离的观测孔地下水位下降已占其总下降值80%以上。

(三) 土壤含水量与时间关系

排水过程中土壤含水量的变化可由负压计读数变化看出，不同时段负压计读数变化曲线见图5。随着排水时间的延长，地下水位下降与排水量的增大，土壤含水率也有减少的趋势，但由于室内蒸发作用微弱，故土壤含水率减小的速度较小。

从图5看出，离排水管25厘米处负压计读数升高最快，其主要原因由于离暗管近的区域流水最畅，而排水管处由于水分聚积，负压计读数变化甚慢，离管25cm以远的区域距离越远，土壤水分变化越慢，土壤含水率越高，在排水停止后测定的土壤含水率等值线图如图6。

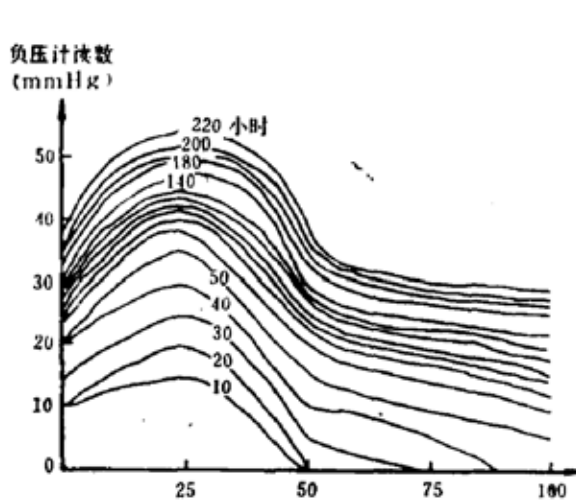


图5 不同时间负压计读数变化曲线

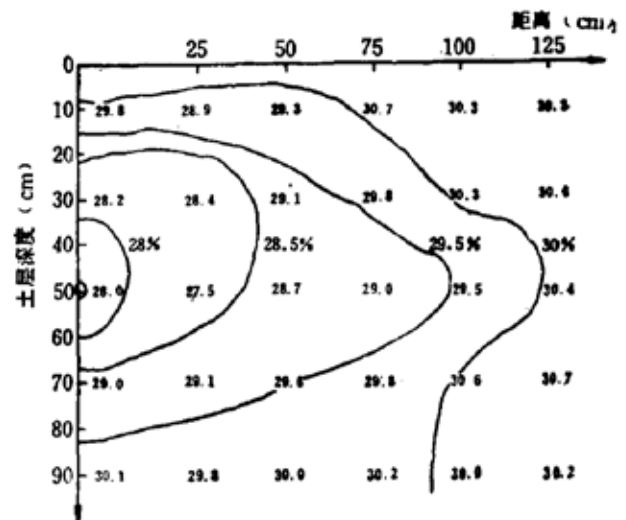


图6 排水停止后土壤含水率等值线图

四、结 语

从渗灌与地下排水的效应分析，“一管两用”是能起到既灌又排的作用，试验证明：“一管两用”是可行的，由于暗管埋深只有50厘米，对于45厘米以内的地下水位和多余土壤水分可以排除，也就是可以起到防渍的作用。对于渗灌本试验是以低压（4~6米）水头供水，这有别于以前做过的微压（0.4~0.6米）供水，其差异之处是低压供水湿润锋扩散速度快，节省灌水量，本试验是从土壤水分运动规律研究“一管两用”可行性，通过实验资料分析，一管是可以达到渗灌与地下排水和防渍的目的。

参 考 文 献

- (1) 司徒松等：渗灌条件下土壤水分运动试验研究，《灌溉排水》1982第四期
- (2) Situ Song, Zhang Wei: Subsurface drainage of lowland rice field in China. Soil Physical and rice IRR I 1985.

A STUDY ON THE SOIL WATER MOVEMENT
PATTERN OF A “BI-UTILIZATION PIPE” IN
A IRRIGATION AND DRAINAGE SYSTEM

Si-tu Song Zhang Wei Wan Ming-qing

(Chinese Rice Research Bureau)

Wang De-min

(Shang-qiu Experimental Station, Agricultural Irrigation
Research Bureau, Chinese Academy of Agricultural Science)

ABSTRACT

To set up the underground irrigation and drainage system becomes a developing tendency for the countries of the whole world. By using the pipe only for irrigation or drainage will cause greater investment and higher cost which will restrict the popularization of underground irrigation and drainage system. This study suggests to set up one permeable pipe under the ground for both works of irrigation and drainage. That is why authors call such pipe the “bi-utilization pipe”. From the experiments of the soil water movement pattern that shows the “bi-utilization pipe” is able to be used for both irrigation and drainage under the ground.