

## 顺义地区土壤渗透特性的试验研究

姚 彬<sup>①</sup>

刘振河 张佩仪

(中国农业大学水利与土木工程学院) (顺义县水利局)

**摘 要** 根据顺义地区的土壤分布状况,选择典型小区,利用排水沟进行了地下水回补的入渗试验,分析了不同处理对入渗效果的影响。试验结果表明,该地区地下水回补效果明显。用最小二乘法拟合渗透系数,同时对某一处理的渗透系数进行回归显著性检验,效果显著,表明所得渗透系数值具有可靠性。

**关键词** 地下水;入渗试验;渗透系数

**中图分类号** S152.72

## Experiment and Research of Soil Infiltration Property in the Area of Shunyi County

Yao Bin

Liu Zhenhe Zhang Peiyi

(College of Water Conservancy and Civil Engineering, CAU) (Water Conservancy Bureau of Shunyi)

**Abstract** According to the distribution of soil in Shunyi area, the typical small region is chosen. The infiltration experiment of ground water recharge is carried out, and the influence factors of infiltration is analysed. Experiment results show that recharge of ground water is obvious in this area. The value of hydraulic conductivity is estimated with least square method and is compared. The value of hydraulic conductivity derived from some treatment is tested and the results is reliable.

**Key words** ground water; infiltration experiment; hydraulic conductivity

顺义县总面积 980 km<sup>2</sup>,其中平原区 951.6 km<sup>2</sup>,山区 28.4 km<sup>2</sup>;人口近 53 万,总耕地面积约 5.75 万 hm<sup>2</sup>。顺义地区土壤以壤质、砂质、粘质土和褐潮土为主,地下水埋藏较深。自然气候特点是冬季寒冷干燥,夏季炎热多雨。1956~1984 年平均降雨量平原区为 638.9 mm,山区 626.6 mm,其中 80%~90%集中在汛期;最大年降雨量 1 027.9 mm,最小年降雨量 289.3 mm;平均蒸发量为 2 002.2 mm。由于降雨集中,每年都有大量无法控制的雨水流至境外,而作物生长期干旱缺水。因长期超采地下水,其水位埋深 1990 年比 1980 年下降近 6 m,而且城关镇地区的地下水位已形成严重漏斗,最大埋深大于 36 m。据《顺义县水资源评价报告》估算,到 2000 年顺义县的可利用水量(包括地表水和地下水)为 3.66 亿 m<sup>3</sup>,工业、农业和居民生活总需水量为 4.69 亿 m<sup>3</sup>,缺水量高达 1 亿多 m<sup>3</sup>。

根据顺义地区的自然地理条件,利用河道和排水沟拦蓄来水和雨洪径流,可补给地下水,实现大气降水、地表水和地下水的联合运用,发挥地下水库调蓄功能,争取最大限度地利用雨

收稿日期:1997-03-28

①姚 彬,北京清华东路 17 号中国农业大学(东校区)211 信箱,100083

水资源,实现水资源的年调节和多年调节,以盈济亏、以丰补欠,把防洪和补给结合起来,寓资源利用于灾害防范之中。这对于促使该地区水资源的开发和利用趋于良性循环,保障农业生产用水具有重要的理论和实际意义。

## 1 试验设计

在顺义灌溉高新技术展示基地中选择一面积约为 26.67 hm<sup>2</sup> 的封闭小区建立典型试验区。试验区内地下静水位埋深 25 m,表层土壤多为重粉质壤土。地面以下 1.2 m 内土壤组成见图 1。区内有正交的东西、南北排水沟各 1 条,南北沟长 300 m,东西长 700 m,4 个进出水口与区外的排水沟相连。

试验在南北排水沟上进行。试验前清淤并整成标准梯形断面,自然坡降为 1/1 000。试验分 3 种处理:处理 1 和处理 2 的断面形式相同,平均入渗水深不同。处理 3 的断面形式和平均入渗水深与处理 1,2 均不同。3 种处理的断面形式如图 1 所示。

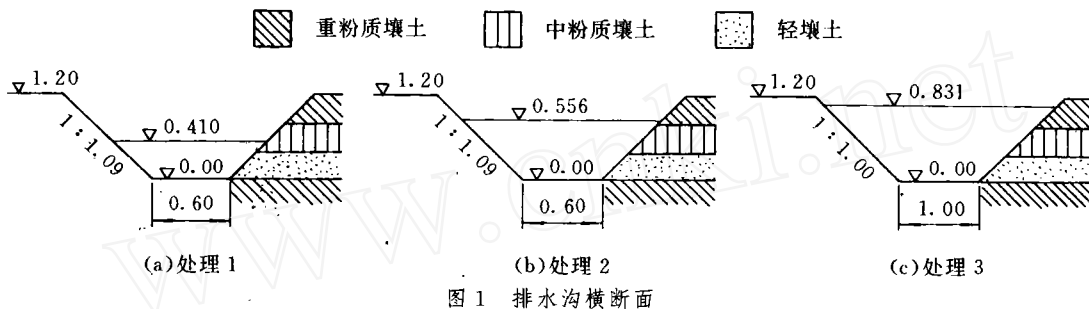


图 1 排水沟横断面

处理 1 沟长 21 m,低水位;处理 2 沟长 100 m,平水位;处理 3 沟长 167 m,高水位。对 3 种处理进行对照试验,分析不同处理对入渗效果的影响。

## 2 试验过程

每个断面依次布设 A,B,C,D 等 4 个观测孔,与沟边的距离分别为 0.3,0.9,1.8 和 3.0 m,用来观测土壤中地下水位的变化情况。每天上午 8 时将水灌至各处理的指定水位,每隔 1 h 观测 1 次沟水位和观测孔中的水位,至 17 时重新灌水,夜间不观测。次日 8 时观测各点水位后重新灌水,多日重复观测,直至各点水位稳定为止。

## 3 试验结果与分析

### 3.1 入渗过程

1996 年 11 月对 3 种处理进行现场渗水试验,处理 1 断面入渗时间为 240 h,处理 2 和处理 3 各分 2 个阶段进行,第 1 阶段 28 h,第 2 阶段 120 h。

由于处理 1 渗水时间最长,故以其为例进行分析。

1)随着沟水位的周期性变化,A,B,C,D 这 4 个观测点的水位迅速呈现出周期性变化,且有稍微滞后现象:离沟越远,滞后时间越长。

2)入渗前期,水力坡降大,各点水位上升速度较快,水位变化明显;入渗后期水力坡降小,各点水位上升速度较慢,水位变化幅度较前期小。4 个观测孔相比较,距离沟边越远水位上升

速度越慢,各孔间水位差别较大。随着时间的增加,水位差越来越小,入渗逐渐稳定。后期各点水位基本持平,每天入渗量近似相等。

3)随着时间的增加,水位越来越高,从第8天开始水深基本稳定在36 cm左右。图2(a)示出单位长度入渗流量 $q$ 与入渗时间 $t$ 的关系。入渗开始时 $q$ 值较大,随着时间的增加, $q$ 值越来越小,最终趋于定值。其原因主要是入渗开始时水力坡降较大,随着时间的增加,土壤中水位逐渐抬高,入渗坡降逐渐减小,相应的 $q$ 值越来越小,最终随着土壤中水位的稳定而趋于稳定。

比较图2中3条曲线可知:平均入渗水位越深,同期的 $q$ 值越大,最终稳定的 $q$ 值也越大;断面湿周越大,稳定的入渗率越大。

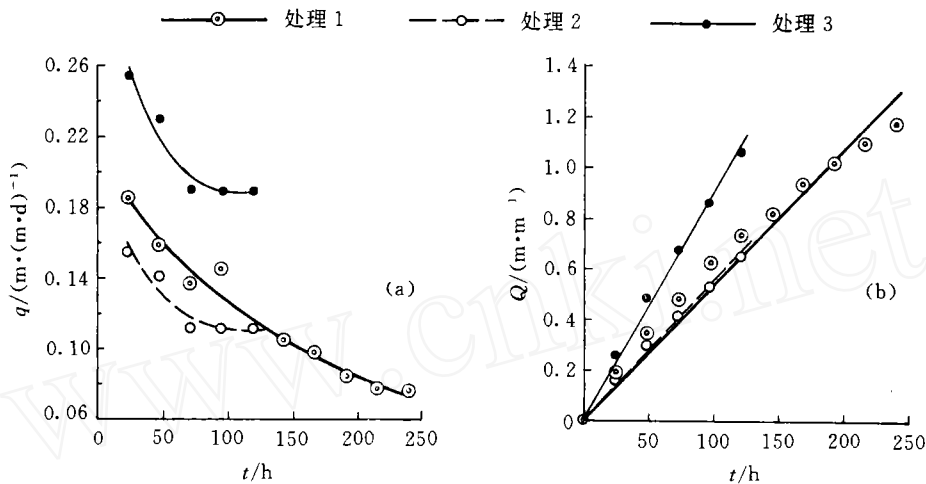


图2 单位长度入渗量 $q$ (a)和累积入渗量 $Q$ (b)与入渗时间 $t$ 的关系

图2(b)示出累积入渗量 $Q$ 与入渗时间 $t$ 的关系。随着时间的增加,累积入渗量呈线性增加,同时在相同时间内,相同断面,入渗水位越深,累积入渗量越大;不同断面,湿周越长,累积入渗量越大,入渗效果越明显,而且越是入渗后期,线性关系越好。

### 3.2 渗透系数的确定

3.2.1 根据 $Q-t$ 曲线确定渗透系数 由图3可以看出,3种处理的 $Q-t$ 关系曲线均表现出较好的线性关系。为简便起见,分别对3条曲线用过原点的直线拟合,斜率分别为0.129 984, 0.133 667, 0.218 420。通过换算得到3种处理的渗透系数 $k$ ,分别为0.059 845, 0.048 927和0.050 513  $m \cdot d^{-1}$ ,平均值为0.053 095  $m \cdot d^{-1}$ 。

为验证 $k$ 的可靠性,以处理1为例,用 $F$ 检验法和 $t$ 检验法对其 $k$ 的回归值进行显著性检验<sup>[1]</sup>。

$F$ 检验法  $H_0: \beta=0$ ,取统计量 $F=(n-2)U/Q$ , $\alpha=0.05$ 。计算得 $Q=0.013 492$ , $U=0.297 5$ , $F=176.42$ 查 $F$ 分布表得 $F_{1-\alpha}(1, n-2)=F_{0.95}(1, 8)=5.32$ ,因为 $176.42 > 5.32$ ,故以水平 $\alpha=0.05$ 拒绝 $H_0$ ,即认为回归效果是显著的。

$t$ 检验法  $H_0: \beta=0$

$$Q = \sum_{i=1}^n (Q_i - kt_i)^2, s = \sqrt{Q/(n-2)}, t = \frac{k}{s} \sqrt{l_{xx}}, n=10$$

计算得 $Q=0.013 492$ , $s=0.041 067$ , $t=28.588$ , $t_{1-\alpha/2}(n-2)=t_{0.975}(8)=2.306 0$ ,因为

28.588 > 2.306 0, 故以水平  $\alpha=0.05$  拒绝  $H_0$ , 即认为回归效果是显著的。

置信区间为

$$[k - t_{1-\alpha/2}(n-2)sl_{xx}^{-1/2}, k + t_{1-\alpha/2}(n-2)sl_{xx}^{-1/2}]$$

把各参数值代入, 得  $k$  的 95% 的置信区间为 (0.055 045, 0.064 645),  $m \cdot d^{-1}$ , 故渗透系数  $k$  的回归效果显著。

3.2.2 根据理论公式计算渗透系数 在自由渗流情况下, 排水沟的渗漏量主要决定于排水沟的断面形式、水位、渠床和下部土层的渗透系数。采用如下理论公式:

$$q = k(B + Ah)$$

式中:  $q$  为排水沟单位长度的渗漏量;  $k$  为排水沟的渗透系数;  $B$  为排水沟水面宽,  $B = b + 2mh$ ,  $b$  为沟底宽,  $m$  为边坡系数,  $h$  为水深;  $A$  为根据渗流理论推导得来的系数, 这里选  $A = 2.0$ 。根据 3 种处理的观测数据, 分别求  $q, B$  和  $h$  的平均值(见表 1)。根据最小二乘法拟合  $k$  值, 计算得到  $k = 0.050 28 m \cdot d^{-1}$ , 与上文中求得的  $k$  值基本相等。

表 1  $q, B$  和  $h$  值

$q/[m^3(d \cdot m)^{-1}]$	$B/m$	$h/m$
0.118 0	1.352	0.410
0.130 2	1.620	0.556
0.212 8	2.662	0.831

3.3 入渗公式的初步应用 根据所求得的渗透系数  $k$  和排水沟的断面数据, 利用公式<sup>[1]</sup>  $Q = k(B + Ah)t$ , 可以计算该地区在来水或降雨条件下, 利用排水沟渠回补地下水的入渗量。例如 1996 年 7 月 31 日降雨 188 mm, 由于排水不畅, 排水沟有 5 d 处于满槽状态, 为简单起见, 以处理 1 为例, 取  $h = 1.2 m$ , 此时单位长度的入渗量计算如下:

$$Q = k(B + Ah)t = 1.556 0 m^3 \cdot m^{-1}$$

本试验小区排水沟共长 1 000 m, 则该区雨的入渗量为  $1 556.0 m^3$ 。由此可见, 地下水回补入渗效果明显。

## 4 结 论

1) 根据试验数据分析了顺义地区的土壤入渗性能, 结果表明: 利用当地排水沟网拦蓄降雨径流, 回补浅层地下水的方法是可行的, 入渗效果明显, 可增加浅层土壤的含水量。

2) 根据试验资料, 运用最小二乘法拟合浅层土壤的渗透系数  $k$ , 结果与计算值相近。进行了置信度为 95% 的回归显著性检验, 回归效果显著, 故认为该  $k$  值具有可靠性。

3) 由于本次试验是在同一排水沟内进行的, 不同间距的排水沟网对入渗效果的影响需进一步研究。

本文是在冯绍元老师和丁跃元高级工程师的悉心指导下完成的, 特致谢意。

## 参 考 文 献

- 1 张蔚榛. 地下水非稳定流计算和地下水资源评价. 北京: 科学出版社, 1983. 274~275