

# 标准灌溉井距及其计算

段玉德

(郑州工业大学)

**摘 要** 本文提出了标准灌溉井距的含义,并根据地下水非稳定流理论,结合农田灌溉的要求,推导出标准灌溉井距的计算方法,并给出了豫东平原的经验数值。

**关键词** 标准灌溉井距、非稳定流、农田灌溉

**中图分类号** S277·2

在井灌规划的井距计算中,既要考虑农田灌溉的要求,又要遵循地下水运动的规律,在原水利电力部颁布的部标准《农田机井技术规范》SD188—86 中,没有说明干扰系数  $\eta_1$  如何确定。本文利用地下水非稳定流理论,同时又考虑了农田灌溉的要求,在群井梅花状大面积均匀布置且各井同时等流量开采条件下,推导出了标准灌溉井距的计算公式,并可计算出单井干扰出水量、单井灌溉控制面积及群井开采时的干扰系数。

所谓“标准灌溉井距”,就是在单井灌溉控制半径的范围内,单井干扰出水量等于该范围内农田灌溉的需水量。在这种条件下的井距,称为“标准灌溉井距”。

## 1 标准灌溉井距计算公式的推求

在含水层均质各向同性的条件下,当群井按梅花状布置且各井同时等流量干扰抽水时,地下水运动的偏微分方程的求解,是经过 Laplace 变换及反演,并利用求各极点处残数之和的方法而进行的,最后经过化简得到如下计算公式:

$$S(r, t) = \frac{\epsilon \cdot t}{\mu} + \frac{Q_1}{2\pi T} \left( 0.5 \frac{r^2}{R^2} + \ln \frac{R}{r} - 0.75 \right) - \frac{Q_1}{2\pi T} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{2J_0(\lambda_n r) \cdot e^{-\lambda_n^2 R^2 \cdot t}}{\lambda_n^2 R^2 \cdot J_0^2(\lambda_n R)} \quad (1)$$

式中:  $S(r, t)$ : 在距抽水井距离为  $r$  的观测井中,自抽水开始后  $t$  天的降深值(m)

$\epsilon$ : 等于  $\frac{Q_1}{\pi R^2}$

$Q_1$ : 群井中各井同时等流量干扰抽水时单井的干扰出水量( $m^3/d$ )

$R$ : 单井灌溉控制半径(m)

$t$ : 自抽水并抽水开始计起的连续抽水的天数,或农田每一次轮灌的天数(d)

$\mu$ : 含水层的给水度(无量纲)

$T'$ : 含水层的导水系数( $\text{m}^2/\text{d}$ ),  $T' = KH_p$

$K$ : 含水层的渗透系数( $\text{m}/\text{d}$ )

$H_p$ : 含水层的平均厚度( $\text{m}$ )

$r$ : 观测井距抽水井的距离( $\text{m}$ ), 若计算抽水井的降深  $S_0$ , 可取  $r = r_0$ , 则有  $S = S_0$ ,  $r_0$  为抽水井半径( $\text{m}$ )

$J_0(x)$ : 零阶第一类 Bessel 函数, 当  $x=0$  时, 该函数有最大值且等于 1

$\lambda_n$ :  $J_1(x) = 0$  的根, 此处  $x = \lambda_n R$

$J_1(x)$ : 一阶第一类 Bessel 函数,  $J_1(x)$  函数的值是在  $x$  轴上下波动的, 故该函数的根有很多。由计算可知,  $J_1$  的第一个根, 即  $\lambda_1 R = 3.832$ ,  $J_1$  的第二个根, 即  $\lambda_2 R = 7.016$

$\bar{t}$ : 等于  $\frac{at}{R^2}$

$a$ : 含水层的水位传导系数( $\text{m}^2/\text{d}$ )  $a = \frac{KH_p}{\mu}$

当  $t \leq \frac{0.4R^2}{a}$  时, (1) 式等号右边最后一项可以舍去。若求  $S_0$  时, 则  $r = r_0$ , 这时  $0.5 \frac{r_0^2}{R^2}$  是一个很小的量, 也可以舍去, 因此 (1) 式变为:

$$S_0(r_0, t) = \frac{\epsilon \cdot t}{\mu} + \frac{Q_1}{2\pi T} \left( l_n \frac{R}{r_0} - 0.75 \right) \quad (2)$$

另一方面, 从农田灌溉的需要出发, 设单井灌溉控制面积为  $F(\text{m}^2)$ , 则有

$$F = \frac{\kappa \cdot \eta \cdot t \cdot Q_1}{m} 667 \quad \text{且 } F = \pi R^2 \quad (3)$$

$$\text{令 } \alpha = \frac{\kappa \cdot \eta \cdot t}{m} 667 \quad (4)$$

$$\text{则有: } \pi R^2 = \alpha \cdot Q_1 \quad \text{所 } Q_1 = \frac{\pi R^2}{\alpha} \quad (5)$$

上式中:

$\kappa$ : 水量调整系数, 北方旱作区为 0.7~0.9

$\eta$ : 灌溉水有效利用系数, 井灌区为 0.9

$m$ : 灌水定额( $\text{m}^3/\text{亩}$ )

$\alpha$ : 系数, 其物理含义为: 每  $1\text{m}^3/\text{d}$  流量  $t$  天内所灌溉的面积( $\text{m}^2$ )

将 (5) 式代入 (2) 式, 并化简得:

$$S_0(r_0, t) = \frac{t}{\alpha \cdot \mu} + \frac{R^2}{2\alpha T} \left( \ln \frac{0.473}{R} + \ln R \right) \quad (6)$$

当  $S_0, \alpha, t, \mu, T, r_0$  已知时, 经试算很容易求出  $R$  值。因群井是按梅花状布置, 且单井实际灌溉面积为以  $R$  为半径的园内接正六边形面积, 由简单的几何关系可知, 其标准灌溉井距  $L$

等于 $\sqrt{3} R(\text{m})$ ,单井灌溉控制面积 $F$ 等于 $\pi R^2(\text{m}^2)$ ,单井干扰出水量 $Q_1$ ,等于 $\frac{\pi R^2}{\alpha}(\text{m}^3/\text{d})$

根据上述已知的参数,选用适合当地水文地质条件的公式,可以求出非干扰抽水时的单井出水量 $Q$ ,则干扰系数 $\eta_1$ 为:

$$\eta_1 = \frac{Q - Q_1}{Q} \times 100(\%)$$

2 算例及豫东平原经验数值表

2.1 算例

豫东某地区弱承压含水层岩性为粉砂,其厚度 $H$ 为 $40\text{m}$ ,开采井半径 $r_0$ 为 $0.15\text{m}$ ,一个轮灌期 $t$ 为 $10$ 天,开采井的设计降深 $S_0$ 为 $5\text{m}$ ,灌水定额 $m$ 为 $45\text{m}^3/\text{亩}$ ,其他参数值为 $\mu$ 为 $0.06$ , $K$ 为 $2\text{m}/\text{d}$ , $T$ 为 $75\text{m}^2/\text{d}$ , $a$ 为 $1250\text{m}^2/\text{d}$ , $\kappa$ 为 $0.7$ , $\eta$ 为 $0.9$ ,试求 $R$ 、 $Q_1$ 、 $\eta_1$

根据(4)式 $\alpha = \frac{0.7 \times 0.9 \times 10}{45}667 = 93.38$

将已知参数值代入(6)式:

$$5 = \frac{10}{93.38 \times 0.06} + \frac{R^2}{2 \times 93.38 \times 75} (\ln \frac{0.473}{0.15} + \ln R)$$

经试算: $R=89.3\text{m}$  标准灌溉井距 $L=\sqrt{3} R=154.6\text{M}$ 、单井灌溉控制面积 $F=3.14 \times 89.3^2 \div 667=37.5$  亩、单井干扰出水量由(5)式可知为: $Q_1=\frac{\pi R^2}{\alpha}=268.15\text{m}^3/\text{d}$

因 $\frac{r_0^2}{4at}=\frac{0.15^2}{4 \times 1250 \times 10}=4.5 \times 10^{-7} \ll 0.01$  故可用 Jacob 公式计算单井非干扰时的出水量,即:

$$S_0 = \frac{0.183Q}{T} l_{\kappa} \frac{2.25at}{r_0^2} \quad 5 = \frac{0.183Q}{75} l_{\kappa} \frac{2.25 \times 1250 \times 10}{0.15^2}$$

由上式反求出的 $Q=336.0\text{m}^3/\text{d}$  所以干扰系数 $\eta_1$ 为:  $\eta_1 = \frac{336.1 - 268.15}{336.1} = 0.202 = 20\%$

2.2 豫东平原经验数值表

豫东平原的含水层多为亚砂土和粉细砂,或两者互层。含水层的厚度,就目前的井深条件下,平均为 $40\text{m}$ 左右。若开采井半径为 $0.15\text{m}$ ,连续抽水按 $10$ 天计,其他水文地质参数和农田灌溉的参数按经验的平均值选取,则不同 $S_0$ 条件下 $L$ 、 $F$ 、 $\eta_1$ 值见下表(由于地质条件复杂此表数据仅供参考):

$S_0(\text{m})$	5	7.5	10	12.5	15
$L(\text{m})$	100~240	140~302	160~330	180~380	220~400
$F(\text{亩})$	17~90	30~140	40~180	54~230	65~270
$\eta_1(\%)$	34~14	17~7	10~4	7~2	4~1

注: ① $m$ 取 $40-50$

- ②当含水层岩性较细(如以亚砂土为主)时,可选取上述表中靠近左边的数值;反之,含水层岩性较粗(如以细砂为主)时,可选取上述表中靠近右边的数值。

### 3 说明

3.1 (2)式中的 $Q_1$ 是群井干扰抽水时的单井干扰出水量,一般讲在井灌规划前,该值是不易确定的,相比较, $S_0$ 值可根据抽水机械的性能和当地的水文地质条件是比较容易确定的。

3.2 群井按梅花状布置,可以有两种方式,一是以 $R$ 为半径的园,园与园之间是相切而联系的,这称为相切式梅花状布置,二是园与园之间是以该园的内接正六边形的一边为两园的共同割线而联系的,这称为相割式梅花状布置,本文采用的是相割式布置。在本文中,由于单井灌溉控制面积是按半径为 $R$ 的园面积计算,而单井实际灌溉面积仅是该园的内接正六边形面积,因此这种布置方式,有园的17%的面积将产生重复灌溉,这样使井灌工作的质量更有保证。若按相切式布置,当其他条件相同且计算的灌溉面积包括三园互相相切之间的园外的面积时,相对讲,比相割式布置井距较大、干扰系数小,井灌效益更好。

3.3 当实际井距略小于标准灌溉井距时,在同样的条件下,供水量大于农田灌溉的需水量,反之,供水量小于农田灌溉的需水量。

3.4 (2)式中等号右边第一项表示大面积平均开采时的平均水位降(即相对于静水位的降深),第二项表示由于水向井孔集中而产生的水井控制范围内各点水位降与上述平均水位降之差。

3.5 当不满足 $t \leq \frac{0.4R^2}{a}$ ,而同样舍去(1)式中等号右边最后一项时的误差测算:

针对豫东平原的具体条件,当 $S_0 \geq 15\text{m}$ 时,含水层岩性是细砂或比细砂更粗时,若连续抽水时间仍为10天,就不满足 $t \leq \frac{0.4R^2}{a}$ 。

对于(1)式等号右边最后一项,即该多项式之和,当岩性为细砂, $S_0=15\text{m}$ 时,由计算表明,该多项式的第二项,即 $n$ 等于2时,其值为 $3.4 \times 10^{-7} \approx 0$ ,当岩性为粗砂, $S_0=15\text{m}$ 时,其值为 $7.2 \times 10^{-7} \approx 0$ ,均很小,所以,若不舍掉该多项式之和时,仅取第一项,即 $n=1$ 即可。这时,当含水层为细砂, $S_0$ 取 $15\text{m}$ 时,经计算该项的值为 $0.02\text{m}$ ,仅仅为 $15\text{m}$ 的 $0.13\%$ ,若含水层为粗砂, $S_0$ 取 $15\text{m}$ 时,该项的值为 $0.025\text{m}$ ,仅为 $15\text{m}$ 的 $0.17\%$ ,也都是很小的,所以在豫东平原进行井灌规划时,用(6)式计算,其精度完全能满足实际工程上的要求。

3.6 从(6)式中可以看出,影响 $F$ 、 $R$ 、 $\eta_1$ 大小的因素可以分成三类:一是水文地质参数,如 $\mu$ 、 $T$ ,这是人为无法改变的天然因素;二是农田灌溉所要求的,如 $m$ 值、 $t$ 值、随着灌水技术的提高, $m$ 值将会减小;三是人为可以控制的因素,如 $S_0$ 、 $r_0$ ,因为 $r_0$ 在对数中,显

然影响程度比  $S_0$  小。

综合上述分析,影响  $F$  和  $\eta_1$  值的人为因素中,重要的是  $S_0$  和  $m$  值,结合豫东平原的具体条件,在其他计算参数相同时,经计算可知:当  $S_0$  增大 1 倍时,其  $F$  (亩) 值大约将增加 1 倍左右,而  $\eta_1$  值大约将减小三分之二左右;而当  $m$  值每增加 10 时,  $F$  (亩) 值大约将减小 20 左右,而  $\eta_1$  大约将增加 3 个百分点。因此在实际中,应尽可能增大  $S_0$  值减小  $m$  值,这样就可以增加灌溉面积和减少干扰程度。

3.7 按标准灌溉井距规划的井灌区,计算出该规划区总的出水量后,还必须用该规划区的地下水的资源量,即允许开采量进行校核。

## 参 考 文 献

- 1 张蔚榛主编:地下水非稳定流计算和地下水资源评价
- 2 武汉水利电力学院主编:农田水利学

## Standard Irrigation Well Spacing And Its Calculation

Duan Yu De

(Zhengzhou University of Technology)

**Abstract** Based on the theory of unsteady flow of ground water and requirements of farmland irrigation, the paper puts forward the calculation formula of standard irrigation well spacing, and the experience data of Eastern Henan Plain are given.

**Keywords** standard irrigation well spacing, unsteady flow, farmland irrigation.

(上接 101 页)

## 参 考 文 献

- 1 杨永清、许先云,《混合群体 AHP 方法判断矩阵的构造及应用》,系统工程, 1994, 3
- 2 何勇,《灰色多层次综合评判模型及应用》,系统工程理论与实践, 1993, 4
- 3 耿颖,申金升,《AHP 法层次结构的评估》,系统工程 1993, 3

## Application of Judgement Matrix in Grey information Whitening and indicatrix value Formalizing

Wang Mingtao

(Zhengzhou University of Technology)

**Abstract:** In this paper, proceeding from the classification of system evaluation indicatrix, and based on the nature of judgement matrix, the methods of information, on whitening and formalizing of three kinds of indicatrixes are proposed, and the feasibilities of the methods are verified in an example.

**Keywords:** system evaluation, judgement matrix, grey information whitening, indicatrix value formalizing.