

文章编号: 0254-0096(2006)12-1219-06

# 同井回灌地下水源热泵地下水渗流理论研究

倪 龙, 马 最良

(哈尔滨工业大学热泵空调技术研究所, 哈尔滨 150090)

**摘 要:** 建立了单一介质承压含水层中定流量同井回灌地下水源热泵抽水和回灌引发的地下水渗流数学模型; 利用叠加原理推导了同井回灌地下水源热泵地下水渗流的理论解。通过分析理论解, 从中得出稳态降深方程、稳态渗流速度方程、准稳态时间方程和理想井间距方程。定流量同井回灌地下水源热泵引发的地下水渗流能在很短的时间内达到稳态, 并且理想井间距仅是含水层厚度和渗透系数比的函数。对于完整型的观测井不论位置如何, 其平均降深均为 0。

**关键词:** 地下水源热泵; 同井回灌; 渗流模型; 降深

**中图分类号:** TK529 **文献标识码:** A

## 0 引 言

地下水源热泵是地源热泵的一个分支<sup>[1]</sup>, 在公共建筑中最早应用于 1948 年美国俄勒冈州波特兰市联邦大厦 (Commonwealth Building)<sup>[2]</sup>, 该系统从设计开始就得到了广泛关注<sup>[3-5]</sup>。在其后的几十年中, 地下水源热泵得到了最为广泛的应用<sup>[2,6]</sup>。国内近几年, 在山东、河南、湖北、辽宁、黑龙江、北京、河北等地已有 100 多个地下水源热泵工程项目, 供热、空调面积达 100 余万平方米<sup>[7]</sup>。大量的工程应用对地下水源热泵的研究起到了推动作用, 产生了一些新的系统形式和水井构造。其中一种新型地下水源热泵生产井与回灌井集成在同一口水井中<sup>[8]</sup>, 抽水和回灌在含水层同一径向位置不同深度处同时发生, 相对于传统的异井回灌地下水源热泵, 该热泵被称为同井回灌地下水源热泵。到 2005 年, 已有 180 多个工程项目采用同井回灌地下水源热泵, 建筑面积 250 多万平方米<sup>[9]</sup>。

同井回灌作为一种抽水和回灌形式不仅能用于地下水源热泵, 还可以用于直接供热、供冷等其他场合, 但目前还没有同井回灌的工程实例抛开地下水源热泵而独立应用。因此本文仍然以同井回灌地下水源热泵作为研究对象, 但其结论对于同井回灌具有一般性。

本文建立了单一介质承压含水层中定流量同井

回灌地下水源热泵抽水和回灌引发的地下水渗流数学模型; 利用叠加原理推导了同井回灌地下水源热泵地下水渗流的理论解; 通过理论解, 从中得出了稳态降深方程、稳态渗流速度方程、准稳态时间方程、理想井间距方程和观测井平均降深方程。

## 1 地下水渗流数学模型

图 1 给出了同井回灌的示意图。由图中可以看出: 该取热井内含有一套管, 从换热器来的水进入套管外管, 通过回水井网回灌回含水层中, 与含水层换热; 同时, 含水层中的地下水经过抽水井网由潜水泵加压后由套管内管进入换热器。抽水井网与回灌井网之间有一隔断, 避免回水直接进入抽水部分, 产生较大的热贯通。在同一取热井中, 同时进行抽水和回灌, 因此称该取热井为抽灌同井。抽水和回灌在含水层同一径向位置不同深度处同时发生, 使地下水的渗流较异井回灌地下水源热泵引发的地下水渗流更为复杂。因此, 理论计算时, 需对含水层和取热井作适当的假设和限定。

### 1.1 模型假设及限定条件

为了便于分析, 在建立数学模型时采用如下假设和限定条件:

1) 本文中讨论的含水层均为第一类越流承压含水层, 无越流层压含水层作为越流含水层的一种特殊情况考虑。除了越流量外不考虑其它垂向补给和

排泄;

2) 含水层是均匀各向异性的。含水层具有稳定厚度, 在热泵运行期间, 承压含水层不会被疏干成承压一无压含水层或无压含水层。热泵运行前, 水头面是水平。含水层侧向无限延伸;

3) 渗流满足 Darcy 定律;

4) 由水的弹性和含水层骨架的弹性所造成的含水层的单位储水系数  $S_0$  在时间上是常数;

5) 水头下降时, 水立即从含水层的储水层中释放出来;

6) 越流量处理为含水层边壁的一个边界条件, 认为越流量在主含水层内发生, 并认为主含水层的边界是完全不透水的。Hantush 认为这种水流的概化, 不会明显地对实际水流的模式产生影响<sup>[10]</sup>;

7) 定流量抽水和回灌时, 地下水的渗流速度沿着井壁过滤网均匀分布。实际上, 如果忽略井筒的过滤网水头损失, 井壁过滤网应是等水头面, 这样井壁过滤网上渗透速度不会均匀分布, 但对于过滤网处于同一介质含水层时, 这样的假设在离井稍远处不会有过大的误差<sup>[11]</sup>, 且对于处理问题带来方便;

8) 不考虑井的储水效应;

9) 忽略温度对渗透系数、储水系数及密度的影响, 这对于温度变化不大的系统, 不会带来大的误差。

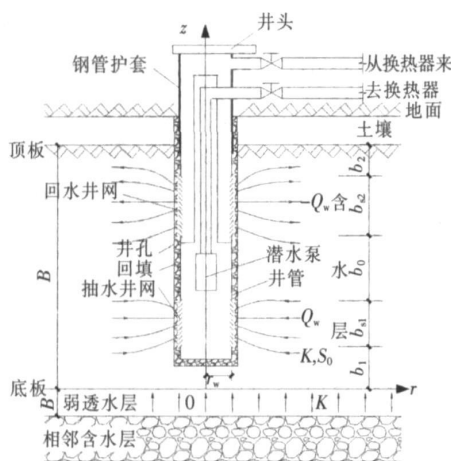


图 1 同井回灌示意图

Fig. 1 Sketch of pumping & recharging in same well

## 1.2 控制方程及边界条件

控制方程为地下水渗流的基本微分方程。它是渗流连续性方程和运动方程的综合体现。具体推导

过程可以参见文献[10, 11]。这里仅给出对应于本文模型假设及限定条件的控制方程(坐标系统如图 1 所示), 如下式所示:

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left( K_r r \frac{\partial s}{\partial r} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( K_z \frac{\partial s}{\partial z} \right) - v^2 s = S_0 \frac{\partial s}{\partial t} \quad (1)$$

其中越流因子  $v$  定义为:  $v = \sqrt{K_z' / (B' B)}$ ; 含水层顶、底板隔水时,  $v = 0$ 。式中:  $t$  ——时间坐标;  $r$ 、 $z$  ——柱坐标的两个分量;  $s$  ——降深, 相对于含水层初始水位的水位降低值, 降低为正, 升高为负,  $\text{mH}_2\text{O}$ ;  $K_r$ 、 $K_z$  —— $r$ 、 $z$  方向渗透系数主值,  $\text{m/s}$ ;  $K_z$  ——弱透水层的垂向渗透系数,  $\text{m/s}$ ;  $S_0$  ——单位储水系数,  $\text{m}^{-1}$ ;  $B$  ——含水层的厚度,  $\text{m}$ ;  $B'$  ——弱透水层的厚度,  $\text{m}$ 。

该问题的定解条件可以写为:

$$\begin{cases} s|_{t=0} = 0, s|_{r \rightarrow \infty} = 0 \\ \partial s / \partial z|_{z=0} = 0, \partial s / \partial z|_{z=B} = 0 \\ \lim_{r \rightarrow r_w} r \frac{\partial s}{\partial r} = \begin{cases} 0 & 0 \leftarrow z < b_1 \\ -Q_w / (2\pi K_r b_{s1}) & b_1 \leftarrow z \leftarrow b_1 + b_{s1} \\ 0 & b_1 + b_{s1} < z < b_1 + b_{s1} + b_0 \\ Q_w / (2\pi K_r b_{s2}) & b_1 + b_{s1} + b_0 \leftarrow z \leftarrow B - b_2 \\ 0 & B - b_2 < z \leftarrow B \end{cases} \end{cases} \quad (2)$$

式中:  $Q_w$  ——井的流量,  $\text{m}^3/\text{s}$ ;  $b_1$  ——抽水过滤网下缘距底板的距离,  $\text{m}$ ;  $b_{s1}$  ——抽水过滤网长度,  $\text{m}$ ;  $b_0$  ——抽回水过滤网间距,  $\text{m}$ ;  $b_{s2}$  ——回水过滤网长度,  $\text{m}$ ;  $b_2$  ——回水过滤网上缘距顶板的距离,  $\text{m}$ ;  $r_w$  ——井半径,  $\text{m}$ 。

通过降深  $s$  依据 Darcy 定律可以求出地下水的渗透速度。

式(1)、式(2)给出了单一介质承压含水层中定流量同井回灌地下水热源热泵抽水和回灌引发的地下水渗流的完整数学描述。

## 2 地下水降深理论解

由式(1)、式(2)确定的问题( $Q$ ), 对于均一含水层中的定流量同井回灌地下水热源热泵,  $K_r$ 、 $K_z$ 、 $S_0$ 、 $Q_w$  对于空间和时间均为常数, 因此满足叠加原理。即问题( $Q$ )可以写成( $Q$ ) = ( $Q_1$ ) + ( $Q_2$ ), 如图 2 所示。

Hantush 已给出问题( $Q_1$ )的解, 见式(3)<sup>[11]</sup>。

$$s_1 = \frac{Q_w}{4\pi K_r B} \left\{ W \left( u_r, \frac{r}{B_r} \right) + \frac{2}{\pi \theta_{s1}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} [\sin n\pi(1 - \theta_1) - \sin n\pi(\theta_0 + \theta_{s1} + \theta_2)] \cos(n\pi\theta'_z) W \left( u_r, \sqrt{\left(\frac{r}{B_r}\right)^2 + \left(\frac{n\pi r}{B}\right)^2} \right) \right\} \quad (3)$$

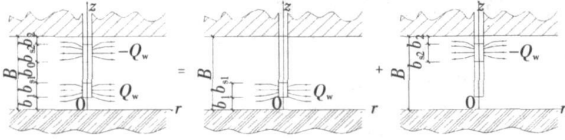


图 2 叠加原理示意图

Fig. 2 Sketch of principle of superposition

$$s_2 = \frac{Q_w}{4\pi K_r B} \left\{ W \left( u_r, \frac{r}{B_r} \right) + \frac{2}{\pi \theta_{s2}} \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} [\sin n\pi(\theta_{s2} + \theta_2) - \sin(n\pi\theta_2)] \cos(n\pi\theta'_z) W \left( u_r, \sqrt{\left(\frac{r}{B_r}\right)^2 + \left(\frac{n\pi r}{B}\right)^2} \right) \right\} \quad (4)$$

因此, 均一含水层中的定流量同井回灌地下水  
源热泵引起的降深  $s = s_1 + s_2$ , 利用  $\theta_1 + \theta_{s1} + \theta_0 +$

$$s = \frac{Q_w}{\pi^2 K_r B} \sum_{n=1}^{\infty} F(n\theta) \cos(n\pi\theta'_z) W \left( u_r, \sqrt{\left(\frac{r}{B_r}\right)^2 + \left(\frac{n\pi r}{B}\right)^2} \right) \quad (5)$$

其中井结构函数  $F(n\theta)$  定义为式(6)。

$$F(n\theta) = \frac{1}{n} \left[ \frac{1}{\theta_{s1}} \cos \frac{n\pi}{2} (1 - \theta_1 + \theta_0 + \theta_{s2} + \theta_2) \sin \frac{n\pi}{2} \theta_{s1} - \frac{1}{\theta_{s2}} \cos \frac{n\pi}{2} (\theta_{s2} + 2\theta_2) \sin \frac{n\pi}{2} \theta_{s2} \right] \quad (6)$$

井结构函数是井结构参数的综合体现, 其值在 0 附近  
近振动, 逐渐趋近于 0;  $n = 10$  以后, 井结构函数的值  
就很小了。

式(5)即给出了单一介质承压含水层中定流量  
同井回灌地下水源热泵抽水和回灌引发的地下水理  
论降深解。

### 3 降深理论解分析

为深入地理解均一含水层中定流量同井回灌地

$$s_s = \frac{2Q_w}{\pi^2 K_r B} \sum_{n=1}^{\infty} F(n\theta) \cos(n\pi\theta'_z) K_0 \left( \sqrt{\left(\frac{r}{B_r}\right)^2 + \left(\frac{n\pi r}{B}\right)^2} \right) \quad (7)$$

式中:  $s_s$  —— 稳态降深, mH<sub>2</sub>O。

由 Darcy 定律可求得稳态渗透速度, 这里需要  
用到:  $dK_0 = (\beta)/d\beta = -K_1(\beta)$ , 其中  $K_1(\beta)$  为虚宗

$$\begin{cases} q_{rs} = -\frac{2Q_w}{\pi^2 r B} \sum_{n=1}^{\infty} F(n\theta) \cos(n\pi\theta'_z) \sqrt{\left(\frac{r}{B_r}\right)^2 + \left(\frac{n\pi r}{B}\right)^2} K_1 \left( \sqrt{\left(\frac{r}{B_r}\right)^2 + \left(\frac{n\pi r}{B}\right)^2} \right) \\ q_{zs} = -\frac{2Q_w K_z}{\pi K_r B^2} \sum_{n=1}^{\infty} n F(n\theta) \sin(n\pi\theta'_z) K_0 \left( \sqrt{\left(\frac{r}{B_r}\right)^2 + \left(\frac{n\pi r}{B}\right)^2} \right) \end{cases} \quad (8)$$

图 3 给出了细沙含水层稳态时等降深速度矢量  
图。计算条件为:  $B = 30\text{m}$ ,  $b_1 = 1.5\text{m}$ ,  $b_{s1} = 9.0\text{m}$ ,  $b_0 =$   
 $= 7.5\text{m}$ ,  $b_{s2} = 10.5\text{m}$ ,  $r_w = 0.1\text{m}$ ,  $K_r = K_z = 7.3 \times 10^{-4}$

其中:  $\theta_1 = b_1/B$ ,  $\theta_{s1} = b_{s1}/B$ ,  $\theta_0 = b_0/B$ ,  $\theta_{s2} = b_{s2}/B$ ,  
 $\theta_2 = b_2/B$ ,  $\theta_z = Z/B$ ,  $\theta'_z = 1 - \theta$ ,  $u_r = r^2/(4a_r t)$ ,  $B_r^2 =$   
 $K_r/v^2$ ,  $a_r = K/S_0$ ,  $\bar{r} = \sqrt{K_z/K_r/r}$ ,  $W(u, x) = \int_u^\infty \exp$   
 $[-y - x^2/(4y)] dy/y$ 。在地下水动力学中,  $1/B_r$  ——  
越流补给系数;  $W(u, x)$  —— 第一类越流系  
统的定流量井函数;  $a_r$  —— 水头扩散系数, m<sup>2</sup>/s。

同理问题( $Q_2$ )的解见式(4)。

$\theta_{s2} + \theta_2 = 1$  化简, 可得到均一含水层中的定流量同  
井回灌地下水源热泵地下水降深  $s$ , 见式(5)。

下水源热泵地下水运动的规律, 对理论降深方程  
(5)作如下分析。

#### 3.1 稳态时的降深解

当  $t \rightarrow \infty$  时,  $u_r \rightarrow 0$ , 此时  $\lim_{u \rightarrow 0} W(u, \beta) = 2K_0(\beta)$ ,  
式中  $K_0(\beta)$  为虚宗量零阶第二类 Bessel 函数, 其值  
当  $\beta \geq 4$  时,  $K_0(\beta)$  近似等于 0。

故均一含水层中定流量同井回灌地下水源热泵  
地下水稳定降深方程见式(7)。

量一阶第二类 Bessel 函数<sup>[12]</sup>。对应的稳态渗透速度  
见式(8)。

m/s,  $S_0 = 10^{-6} \text{m}^{-1}$ ,  $Q_w = 180 \text{m}^3/\text{h}$ ,  $v = 5.77 \times 10^{-5} \text{s}^{-1/2}$ 。  
由图中可以看出: 降深随竖坐标显著变化,  
越靠近中部, 抽水井流和回灌井流相互补充, 降深的  
绝对值越小。渗透速度在抽水井的上缘、回灌井的

下缘及抽回水井之间的地方的竖向分量很大。水从回灌井流向抽水井对于回灌是有益的,可以减小灌压,利于回灌。降深和渗透速度随距井轴的距离变化很快,在距离井轴 40m 的地方降深的绝对值已小于 0.01m。抽水井或回灌井处降深随竖坐标变化不大,这说明在均一含水层中过滤网上流速均匀分布的假设不会带来大的误差,使用该假设,过滤网上的水头近似相等。

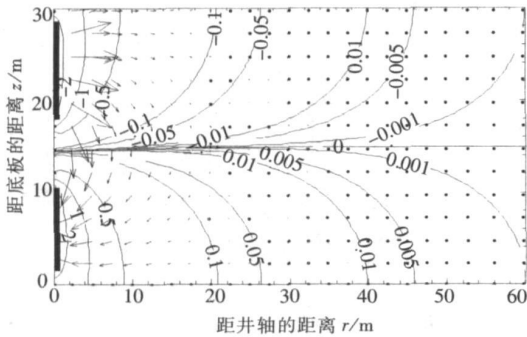


图 3 细沙含水层稳态等降深速度矢量图

Fig. 3 Steady drawdown contour and velocity vectors map

### 3.2 长时间降深方程

由上面分析可知,当  $t \rightarrow \infty$  时,  $s \rightarrow s_s$ ,  $s_s$  为一有限值,而不是无限制的下降或上升,这时井函数  $W(u, \beta) = 2K_0(\beta)$ 。实际上当  $u < \beta^2/20$  时,该等式就成立<sup>[10]</sup>。从式(5)来看,相当于:

$$u_r < \frac{1}{20} \left[ \left( \frac{r}{B_r} \right)^2 + \frac{K_z}{K_r} \left( \frac{n\pi r}{B} \right)^2 \right] \quad n = 1, 2, \dots$$

取  $n = 1$  (因为若  $n = 1$  成立,则  $n > 1$  均成立),又通常  $K'/B' = \pi^2 K_z/B$ , 因此:

$$t > 5B^2 S_0 / (\pi^2 K_z) \approx 0.5B^2 S_0 / K_z \quad (9)$$

当满足条件式(9)时,方程即可写成方程(7)的形式,达到准稳态。用  $t_{gs}$  表示同井回灌地下水源热泵达到准稳态的时间,则:

$$t_{gs} = 0.5B^2 S_0 / K_z \quad (10)$$

由式(10)可知,准稳态时间与抽水流量、井结构参数无关,只与含水层自身的特性有关。对于图 3 的计算条件,准稳态时间仅为 0.6s。一般地,对于较薄

含水层在逐时或更长的时间步长计算中,如果热泵流量不变,根本捕捉不到非稳态过程,可以当作稳态处理,采用式(7)、式(8)计算。

### 3.3 远离取热井降深方程

第一类越流系统定流量井函数  $W(u, \beta)$  有如下性质<sup>[11]</sup>:  $W(u, \beta)$  随  $\beta$  的增大而减小,当  $\beta \rightarrow \infty$  时,  $W(u, \beta) = 0$ ; 而当  $\beta = 4$  时,  $W(u, \beta)$  已很小。也就是说,当:

$$\sqrt{\left( \frac{r}{B_r} \right)^2 + \frac{K_z}{K_r} \left( \frac{n\pi r}{B} \right)^2} > 4 \quad n = 1, 2, \dots$$

通常  $1/B_r^2 = \pi K_z / (B^2 K_r)$ , 即大约在  $r > 1.5B \sqrt{K_r/K_z}$  处,地下水基本不受同井回灌地下水源热泵的影响。用  $R^h$  表示同井回灌地下水源热泵的水力影响半径,则:

$$R^h = 1.5B \sqrt{K_r/K_z} \quad (11)$$

由式(11)可知,  $R^h$  的值只与含水层的厚度  $B$ 、含水层渗透系数比  $K_r/K_z$  有关,而与抽水流量、井结构参数、含水层的种类、储水系数等无关。

表 1 给出了不同含水层厚度和渗透系数比时水力影响半径的值。该值也是多口抽灌同井的理想井间距值。也就是说含水层参数确定了多口抽灌同井的理想井间距值。

表 1 同井回灌地下水源热泵水力影响半径

Table 1 The hydraulic effective radius of GWHPPRSW

(单位: m)

$K_r/K_z$	1	2	10	30	80	100
$B = 30\text{m}$	45	64	142	246	402	450
$B = 50\text{m}$	75	106	237	411	671	750

### 3.4 观测井平均降深方程

方程(5)给出的降深方程也称为侧压计降深方程,它给出的是含水层中某点的降深。而在抽灌同井中由于不同深度处降深不同,可以认为观测井测得的降深是测压管过滤网处降深的某种平均值。Hantush M.S. 和前苏联学者 . . . . . 均认为这种平均值就是其几何平均值<sup>[11]</sup>。因此,对于观测井中的平均降深可以通过测压管过滤网处降深积分平均求的。特别的,当观测井为完整井时,其平均降深为:

$$s = \frac{Q_w}{\pi^2 K_r B} \sum_{n=1}^{\infty} F(n\theta) \frac{1}{B} W \left( u_r, \sqrt{\left( \frac{r}{B_r} \right)^2 + \left( \frac{n\pi r}{B} \right)^2} \right) \int_0^1 \cos(n\pi\theta'_z) dz = 0 \quad (12)$$

也即是不论观测井位置如何, 只要它是完整的, 其平均降深均为 0。因此, 在抽灌同井含水层中用完整型观测井测定地下水位时, 地下水位表观上没有变化, 但这并不反映含水层中地下水的压力没有变化。

## 4 结 论

同井回灌作为并列于传统异井回灌的抽水、回灌方式, 在地下水源热泵领域获得了广泛的推广应用, 但其定量理论研究却甚为少见。本文建立的单一介质承压含水层中定流量同井回灌地下水源热泵抽水 and 回灌引发的地下水渗流数学模型为后续研究奠定了基础。基于该模型, 利用叠加原理推导了同井回灌地下水源热泵地下水渗流的理论解, 并从中得出了稳态降深方程、稳态渗流速度方程、准稳态时间方程、远离取热井的降深方程和观测孔中的平均降深方程。研究表明, 对于较薄含水层, 在热泵流量不变情况下, 地下水运动达到准稳态的时间很短, 可以近似当作稳态处理。在距离取热井一定远的地方, 地下水水位基本不受同井回灌地下水源热泵的影响。当渗透系数比一定时, 影响半径随着含水层厚度的增加而增大; 而当含水层厚度一定时, 竖直渗透系数相对于水平渗透系数增大时, 影响半径减小, 反之, 水平渗透系数相对于竖直渗透系数增大时, 影响半径增大。对于完整型的观测井不论位置如何, 其平均降深均为 0, 因此不能采用完整型观测孔观测同井回灌地下水压力的变化。

### [ 参考文献 ]

- [ 1 ] Kavanaugh S P, Rafferty K. Ground source heat pump design of geothermal systems for commercial and institutional buildings[ M ]. Atlanta, ASHRAE Inc, 1997.
- [ 2 ] Hatten M J. Groundwater heat pumping: lessons learned in 43 years at one building[ J ]. ASHRAE Transactions, 1992, 98 ( 1 ) : 1031—1037.
- [ 3 ] Kroeker J D, Chewing R C. Heat pump in an office building [ J ]. ASHVE Transactions, 1948, 54: 221—238.
- [ 4 ] Kroeker J D, Chewing R C. Costs of operating the heat pump in the equitable building [ J ]. ASHVE Transactions, 1954, 60: 157—176.
- [ 5 ] Knipe E C, Raffery K D. Corrosion in low temperature geothermal application [ J ]. ASHRAE Transactions, 1985, 91 ( 2B-1 ) : 81—91.
- [ 6 ] Raffery K. A capital cost comparison of commercial ground-source heat pump system[ J ]. ASHRAE Transactions, 1995, 101( 2 ) : 1095—1100.
- [ 7 ] 张群力, 王 晋. 地源热泵和地下水源热泵的研发现状及应用过程中的问题分析[ J ]. 流体机械, 2003, 31( 5 ) : 50—54.
- [ 7 ] Zhang Qunli, Wang Jin. Research and development and practical problem analysis of ground source heat pump and groundwater source heat pump[ J ]. Fluid Machinery, 2005, 31( 5 ) : 50—54.
- [ 8 ] Xu Shengheng, Ladislaus Rybach. Utilization of shallow resources performance of direct use system in Beijing [ J ]. Geothermal Resource Council Transactions, 2003, 27: 115—118.
- [ 9 ] Xu Shengheng, Yang Ziqiang. Development and application of an innovative shallow groundwater heat pump system [ A ]. 8th International Energy Agency Heat Pump Conference[ C ], Las Vegas, Nevada, USA, 2005, 4—13.
- [ 10 ] 雅·贝尔, 许涓铭, 车用太, 等. 地下水水力学[ M ]. 北京: 中国地质出版社, 1985.
- [ 10 ] Bear J, Xu Juanming, Che Yongtai, et al. The Hydraulics of Groundwater[ M ]. Beijing: China Geological Publishing House, 1985.
- [ 11 ] 陈崇希, 林 敏. 地下水动力学[ M ]. 武汉: 中国地质大学出版社, 1999.
- [ 11 ] Chen Chongxi, Lin Min. Hydraulic of groundwater[ M ]. Wuhan: China University of Geosciences Press, 1999.
- [ 12 ] 王竹溪, 郭敦仁. 特殊函数概论[ M ]. 北京: 北京大学出版社, 2000.
- [ 12 ] Wang Zhuxi, Guo Dunren. Conspectus of special functions [ M ]. Beijing: Peking University Press, 2000.

## STUDY ON THE SEEPAGE THEORY FOR GROUNDWATER HEAT PUMP WITH PUMPING & RECHARGE IN THE SAME WELL

Ni Long, Ma Zuiliang

(*Institute of Heat Pump and Air Conditioning Technology, Harbin Institute of Technology, Harbin 150090, China*)

**Abstract:** The numerical model of groundwater seepage in unitary homogenous aquifer caused by Groundwater Heat Pump with Pumping & Recharging in the Same Well (GWHPPRS) with constant groundwater flow was established. The analytic seepage equation of GWHPPRS was obtained based on principle of superposition. Equations of steady drawdown, seepage velocity, quasi steady time and ideal well distance were obtained through analytic seepage equation. Groundwater seepage caused by GWHPPRS with constant groundwater flow could reach steady state quickly. The ideal well distance is just the function only of the aquifer thickness and the ratio of permeability coefficient (horizontal/ vertical). The mean drawdown is zero for fully penetrating observation well, wherever the location of the observation well.

**Keywords:** groundwater heat pump; pumping & recharging in the same well; model of seepage; drawdown

联系人 E-mail: nilonggn@163.com