

# 基于环境控制的深基坑工程管井回灌设计分析

陆建生

(上海广联建设发展有限公司,上海 200438)

**摘要:**为探讨管井回灌在深基坑工程中的设计及应用,分析了基于环境控制的深基坑工程管井回灌设计的特殊性,开展了悬挂式帷幕下不同回灌滤管类型的降水回灌渗流分析及对比,探讨了影响回灌管井平面布设以及管井滤管设计的关键因素,同时针对深基坑工程回灌的特殊性,提出了“双点位流态”控制设计原则、回扬控制措施的确定方法以及回灌水质应满足的3项原则。

**关键词:**深基坑工程;管井回灌;回灌渗流;悬挂式帷幕;变形控制;回灌滤管;双点位流态控制

**中图分类号:**TU46<sup>+</sup>3 **文献标识码:**A **文章编号:**1672-7428(2014)01-0070-08

**Analysis on the Design of Tube Well Recharge for Deep Foundation Pit Engineering Based on Environmental Control/LU Jian-sheng** (Shanghai Guanglian Construction Development Co., Ltd., Shanghai 200438, China)

**Abstract:** For the design and application of tube well recharge in deep foundation pit engineering, the analysis is made on the particularity of recharge well design for deep foundation pit engineering based on environmental control, the comparison is carried out on dewatering recharge seepage of different recharge filters for hanging curtain and the discussion is made on the key factors affecting plane layout of recharge wells and the design of tube well filter. Aiming at the recharge particularity of deep foundation pit engineering, design principles of “two points flow state” control and determination methods of the lift pump pressure control are put forward, the paper also present 3 principles that the injection water quality should meet.

**Key words:** deep foundation pit engineering; tube well recharge; recharge seepage; suspended curtain; deformation control; recharge filter; two points flow state control

## 0 引言

控制因基坑降水而引起的工程性地面沉降,最直接有效的办法是控制地下水水位,而在控制地下水水位的措施中,地下水人工管井回灌是一种相对经济可靠的措施。采用管井回灌具有较多优点,如使用时不受地形条件限制,也不受地面厚层弱透水土层分布和地下水水位深度等条件的限制,管井占地面积小,可针对目的含水层集中回灌,补给工作不易受地面气候变化等因素影响<sup>[1]</sup>。

目前人工管井回灌在基坑建设中已有一定的应用,在沉降控制方面取得了一定的成效<sup>[2-5]</sup>,但人工回灌在工程降水领域的应用仍属于探索阶段,目前尚无专门的成熟设计方法作为参考<sup>[1]</sup>。而针对降水与回灌的一体化设计则更少。笔者在文献[6]、[7]中介绍了一些降水回灌一体化设计的经验及其在控制沉降中的作用,还在文献[8]中定义了极限回灌压力、设计最大回灌压力、单位设计回灌量、最大安全回灌水头和最大可回灌量等管井回灌设计参数概念。

在此基础上,本文将重点分析基于环境控制的深基坑工程管井回灌设计的特殊性,分析悬挂式帷幕下

不同回灌滤管类型下的抽灌流态,分析基于流态控制下的管井回灌设计,分析影响回灌管井滤管设置及回灌管井空间布设的关键因素,同时也对运行控制过程中的回扬措施及水质要求等提出一些建议。

## 1 深基坑工程管井回灌特点

本文所指的管井回灌指基于环境控制的深基坑工程地下水回灌<sup>[8]</sup>。回灌主要目的是在保证基坑安全的同时,减少坑外保护建(构)筑物处因地下水变化引起的地层扰动,减少对周边环境的影响<sup>[7]</sup>。

基于环境控制的深基坑工程地下水回灌管井在实际应用中主要具有以下特点。

(1)深基坑回灌管井一般属临时措施性工程,其运行控制时间较短,在回灌井材质、施工等方面应充分考虑其经济性;虽然其运行控制时间较短,但回灌井的开启时间及运行时间受到严格的控制。

(2)因基坑场区空间狭小,基坑外又存在各类建(构)筑物,回灌管井在空间上的布设受到多方的制约。

(3)深基坑回灌中的目的承压含水层一般水头

收稿日期:2013-07-14

基金项目:上海市科学委员会资助项目(08201201302)

作者简介:陆建生(1981-),男(汉族),江苏昆山人,上海广联建设发展有限公司工程师、注册岩土工程师、注册一级建造师(市政),环境科学专业,硕士,从事水文地质勘察、地下水综合治理及回灌方面的咨询及科研工作,上海市园康路255号,lujest@sina.com。

高且其含水层顶板埋深浅,回灌井的极限回灌压力值较小,如未能有效控制回灌压力,宜形成井壁冒水的现象,该问题在文献[8]中已有较详细的描述。

(4)回灌井的设计与基坑降水井的设计是一个完整的系统设计,回灌井作为保护环境的一项补充措施,一旦提出,就应将其并入降水井的设计,进行降水井和回灌井的一体化设计<sup>[6,7]</sup>,其运行控制应采用“双水位”控制<sup>[6]</sup>,在保证基坑内水位满足基坑安全要求的同时,控制保护建(构)筑物区地下水水位变化最小。超灌与少灌均不利于环境的控制。为有效控制水位,回灌井日常按定流量控制<sup>[8]</sup>,考虑到含水层在剖面上不同深度处水位的差异,本文将含水层水位的概念推广至控制含水层流态的变化,即“双点位流态”控制原则。

(5)受限于密集的建筑群和复杂的地下设施的影响,深基坑回灌运行过程中必须分析水土应力变化,避免因回灌形成土层的二次不利变形<sup>[9]</sup>。如回灌井的回扬控制应受到严格的限制,以防回扬期间保护建筑区的水位变幅过大以及回灌井开启时间等问题。

(6)在降水与回灌井一体化设计中应确保回灌井与抽水井、与止水帷幕、与保护建筑具有一定的安全距离,安全距离的设计是较难处理的难题,在各种设计环境中应综合分析获取。如图 1 所示,苏州某基坑的止水帷幕与地铁区间隧道只有 8 m,如回灌井靠近止水帷幕过近,则有可能加大止水帷幕渗漏点的大小,影响坑内降水,进一步破坏止水帷幕的止水效果。与此同时如靠近地铁隧道过近,也将加大隧道的水平向变形,进一步加大原有渗漏点的发展。鉴于此,回灌井位于两者中间,同时在空间上采用多井密布和逐渐增加回灌流量的方法,逐渐将坑外水位抬至初始水位,防止了隧道的水平向和侧向进一步变形。

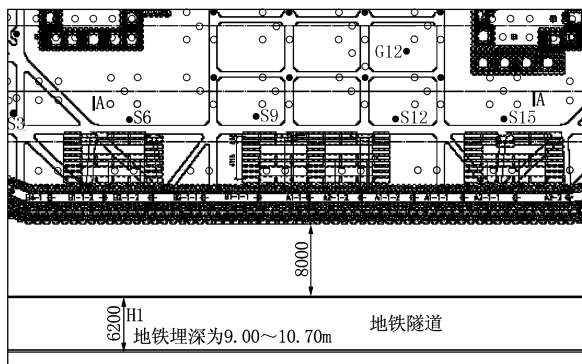


图 1 基坑与地铁隧道关系图

## 2 悬挂式帷幕下降水 - 回灌流态分析

在深基坑降水 - 回灌一体化设计中,流态变化

最为复杂的应属悬挂式帷幕下的抽灌一体化控制,针对此种类型的条件分析抽灌状态下的流态分布,分析回灌管井设计中的一些关键问题。

### 2.1 深基坑工程回灌渗流理论

为简化计算深基坑降水 - 回灌渗流方程不考虑抽水井和回灌井井周地下水流态的特殊性,假设抽水和回灌过程中地下水在含水层中的运动完全服从达西定律,抽水井作为一种排泄源考虑,回灌井作为一种补给源考虑。以连续性原理和达西定律为基础,建立了抽灌一体化下的三维地下水非稳定渗流数学模型:

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x}(k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z}(k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z}) - W = \frac{E}{T} \frac{\partial h}{\partial t} \\ \dots\dots\dots (x,y,z) \in \Omega \\ h(x,y,z,t) |_{t=0} = h_0(x,y,z) \dots\dots (x,y,z) \in \Omega \\ h(x,y,z,t) |_{\Gamma_1} = h_1(x,y,z,t) \dots\dots (x,y,z) \in \Gamma_1 \end{cases} \quad (1)$$

式中:

$E = \begin{cases} S \text{ 承压含水层} \\ S_y \text{ 潜水含水层} \end{cases}; T = \begin{cases} M \text{ 承压含水层} \\ B \text{ 潜水含水层} \end{cases}; S_s = S/M;$   
 $S$  —— 储水系数;  $S_y$  —— 给水度;  $M$  —— 承压含水层单元体厚度;  $B$  —— 潜水含水层单元体地下水饱和和厚度;  $m$ ;  $k_{xx}, k_{yy}, k_{zz}$  —— 各向异性主方向渗透系数,  $m/d$ ;  $h$  —— 点  $(x, y, z)$  在某时刻的水头值,  $m$ ;  $W$  —— 源汇项,  $L/d$ ;  $h_0$  —— 计算域初始水头值,  $m$ ;  $h_1$  —— 第一类边界的水头值,  $m$ ;  $S_s$  —— 储水率,  $L/m$ ;  $t$  —— 时间,  $d$ ;  $\Omega$  —— 计算域;  $\Gamma_1$  —— 第一类边界。

计算中采用有限差分法将上述数学模型进行离散,得到数值模型,以此为基础编制计算程序,计算、预测抽水及回灌引起的地下水水位的时空分布。下文中的数值计算结果均是以本方程为基础进行的有限差分数值结果。

### 2.2 水文地质概念模型

计算概念模型如图 2 和图 3 所示,抽水井、回灌井与水位观测点的空间布置如图 2 所示,抽水井(C1)位于基坑中间,止水帷幕厚 1 m,深度至 -45 m,止水帷幕在平面长度上按无限长考虑,离止水帷幕 5、15、30 和 50 m 的位置分别设置回灌井(H1, H2, H3, H4),同时在基坑内设置含水层观测孔 F1,坑外不同距离处设置含水层观测孔 F2 ~ F9,各水位观测点在剖面上的观测点分别位于埋深 -30、-35、-40、-45、-50、-55、-60 m 处。承压含水层位于 -30 ~ -60 m 间,初始水位埋深 -5 m,水平渗透

系数6 m/d,垂向渗透系数2 m/d,回灌井滤管长度按15 m考虑,其滤管位置分别位于-30~-45 m(A类)、-37.5~-52.5 m(B类)和-45~-60 m(C类),抽水井单井出水量按800 m<sup>3</sup>/d,回灌井单井回灌量按200 m<sup>3</sup>/d考虑。

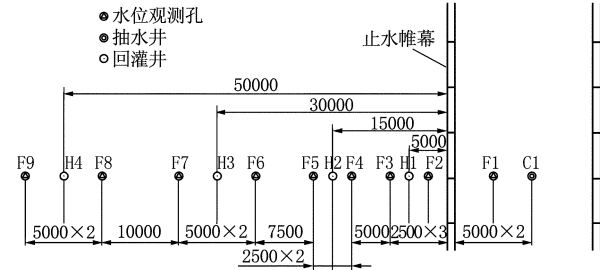


图2 模型概念平面布置示意图

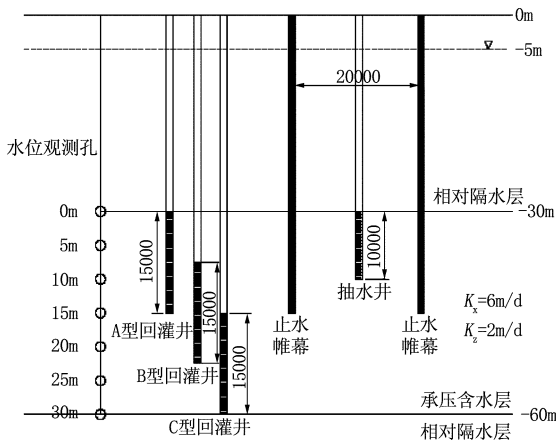


图3 水文地质概念模型剖面示意图

### 2.3 模拟过程

回灌井分别按A、B和C型回灌滤管执行表1中的模拟计算,对比分析不同回灌井滤管埋深、不同回灌距离下的地下水流态分布,分析其对应的抽水回灌效果。

表1 模型设置

时间/d	抽水量 C1 /(m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )	回灌量/(m <sup>3</sup> ·d <sup>-1</sup> )			
		H1	H2	H3	H4
0~30	0	0	0	0	0
30~60	-800	0	0	0	0
60~90	-800	200	0	0	0
90~120	-800	0	0	0	0
120~150	-800	0	200	0	0
150~180	-800	0	0	0	0
180~210	-800	0	0	200	0
210~240	-800	0	0	0	0
240~270	-800	0	0	0	200
270~300	0	0	0	0	0

### 2.4 模拟分析结果

#### 2.4.1 抽灌流态特征分析

A类、B类和C类滤管管井回灌时,点F1、F2、F7和F9处不同埋深处的水位降深变化趋势如图4~6所示。

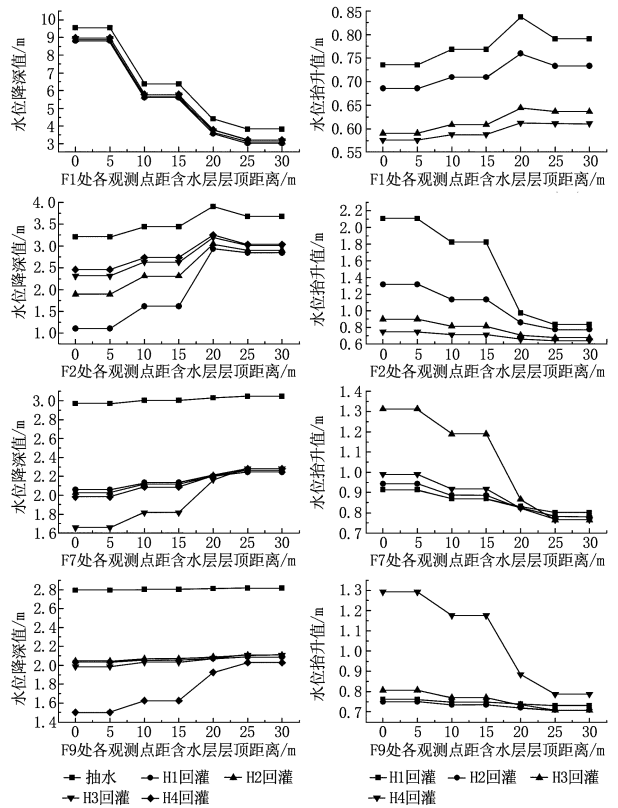


图4 A类滤管管井回灌时不同埋深处的水位降深变化

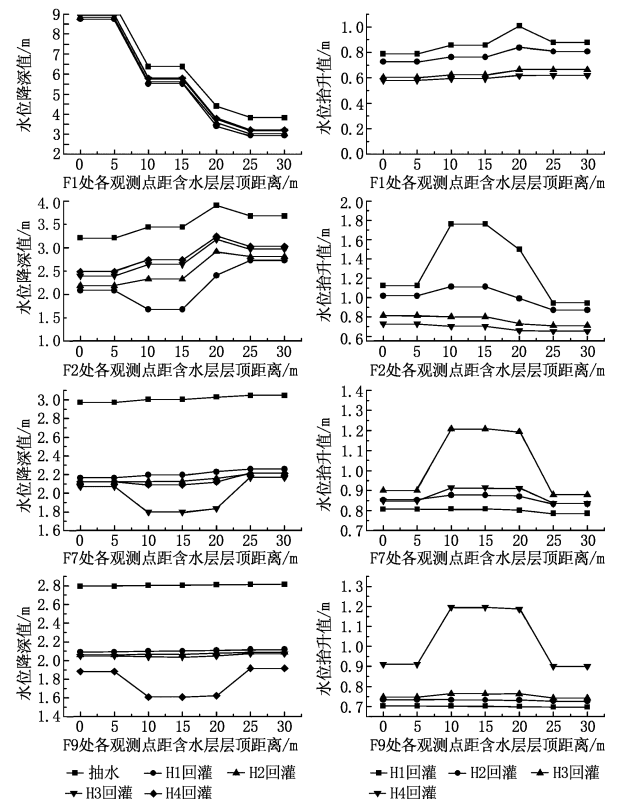


图5 B类滤管管井回灌时不同埋深处的水位降深变化

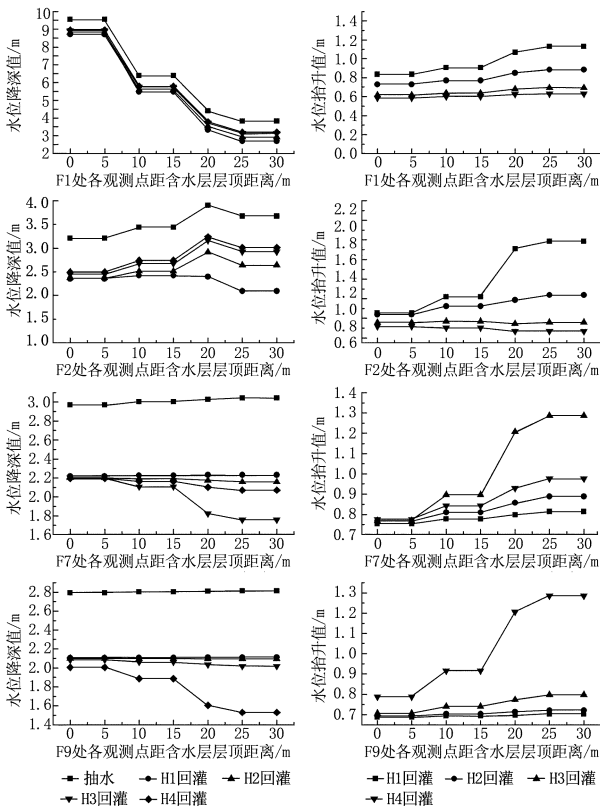


图 6 C 类滤管管井回灌时不同埋深处的水位降深变化

由图 4~6 可知悬挂式帷幕下的基坑内抽水渗流特征:坑内含水层(F1 点)上部(滤管段)水位降深最大,其次为滤管底至止水帷幕段,止水帷幕下部的含水层水位降深相对最小;同时抽水时,距离基坑较近的观测点(F2)处在不同深度处的水位降深也存在明显的差异(三维流),但在较远处(F7,F9),不同深度处的水位降深基本一致,成明显的二维流特征。

回灌时,坑内含水层水位上升明显,同时回灌井离止水帷幕距离越近,其坑内水位抬升越明显,对于 A 类回灌井(见图 4),坑内含水层水位抬升值最大值位于止水帷幕下(距离含水层顶 20 m 处);对于 B 类回灌井(见图 5),坑内含水层水位抬升值最大值位于止水帷幕下的回灌井滤管位置段;对于 C 类回灌井(见图 6),坑内含水层水位抬升值最大值位于含水层底,也即位于止水帷幕下的回灌井滤管位置段。

综合上述可知在回灌量相等的情况下,当回灌井离止水帷幕较近时,止水帷幕与回灌井的滤管位置将同时明显影响坑内水位流态分布,而当回灌井距离止水帷幕较远时,影响坑内水位流态分布的主要因素是止水帷幕插入含水层的深度。

回灌时,基坑外的水位降深值(F2,F7 和 F9)明显变小,回灌井附近含水层水位抬升明显,含水层不同深度处的水位降深值差异较大,成明显的三维渗

流特征。对于 A 类回灌井(见图 4),含水层上部的抬升值明显高于下部含水层,对于 B 类回灌井(见图 5),含水层中部的抬升值明显高于其余部位。对于 C 类回灌井(见图 6),含水层下部的抬升值明显高于其余部位。

综合上述可知在回灌量相等的情况下,回灌井滤管段对应的含水层部位的水位抬升值明显高于其余部位,这是回灌滤管设计按流态设计的依据,因为在实际工程中我们可能重点要抬升含水层深度某个范围内的水位,有针对性的布置回灌滤管位置,可大大提高回灌效果。但当回灌井距离保护建(构)筑较远时,滤管形式对其回灌效果的提高将大幅减小,此时应在有效控制坑内水位的同时,适当增加回灌滤管长度,增加回灌量,扩大其回灌效果。

### 2.4.2 抽灌效果对比

为有效分析不同回灌滤管段对应的回灌效果,分别对 3 种类型的滤管回灌进行了对比分析,其结果如图 7~10 所示。

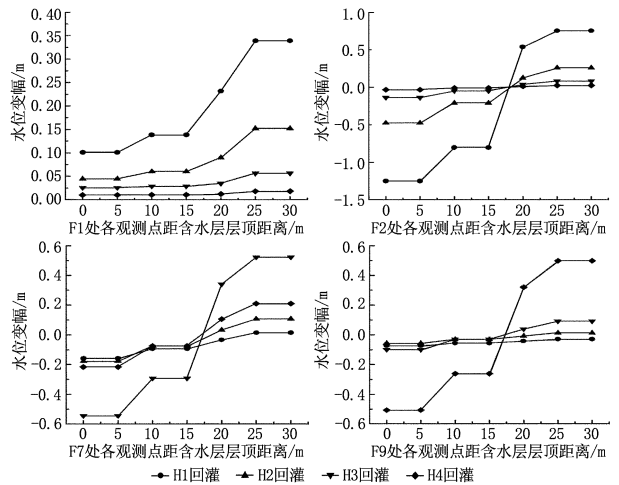


图 7 不同滤管回灌时的水位变幅差异(S<sub>A</sub> - S<sub>C</sub>)

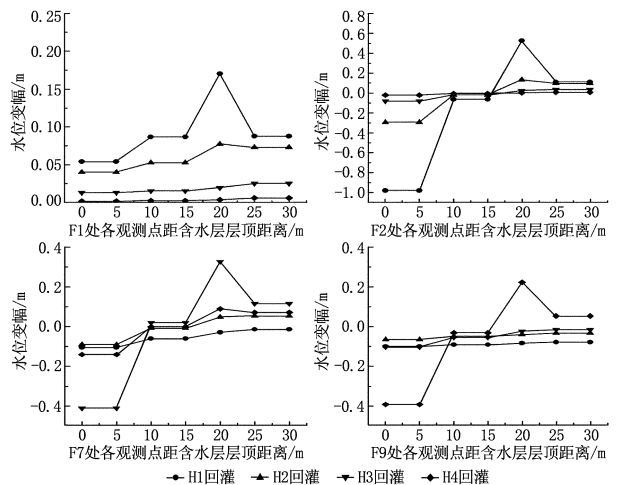


图 8 不同滤管回灌时的水位变幅差异(S<sub>A</sub> - S<sub>B</sub>)

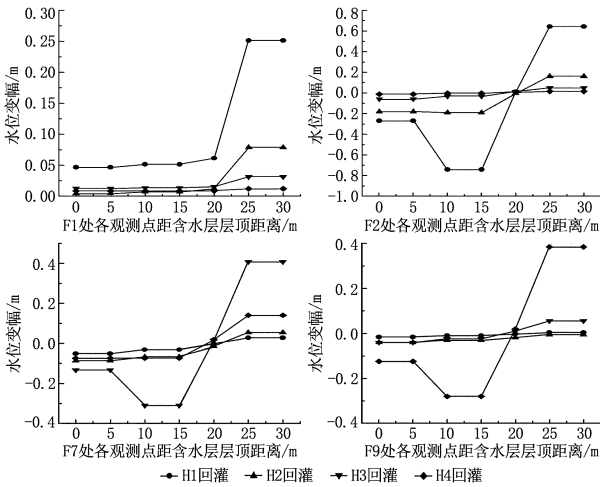


图9 不同滤管回灌时的水位变幅差异( $S_B - S_C$ )

图7~9中的F1点,坑内水位降深 $S_A > S_B > S_C$ ,则说明A型滤管回灌时,对坑内的影响较小,可减少因回灌而增加的基坑涌水量,其次为B型滤管。即当回灌井离基坑较近时,回灌滤管结构的变化则成为了影响基坑涌水量的重要因素。但当回灌井离基坑较远时,回灌滤管结构的变化对基坑涌水量的影响越小。

图7中的F2点,止水帷幕段含水层 $S_A < S_C$ ,说明A型滤管回灌对含水层上部的回灌效果好于C型滤管,但在止水帷幕下部 $S_A > S_C$ ,说明A型滤管回灌对含水层下部的回灌效果差于C型滤管。回灌滤管结构的变化对其较远处的水位变幅影响较小。

图8中的F2点,回灌滤管顶部含水层的 $S_A$

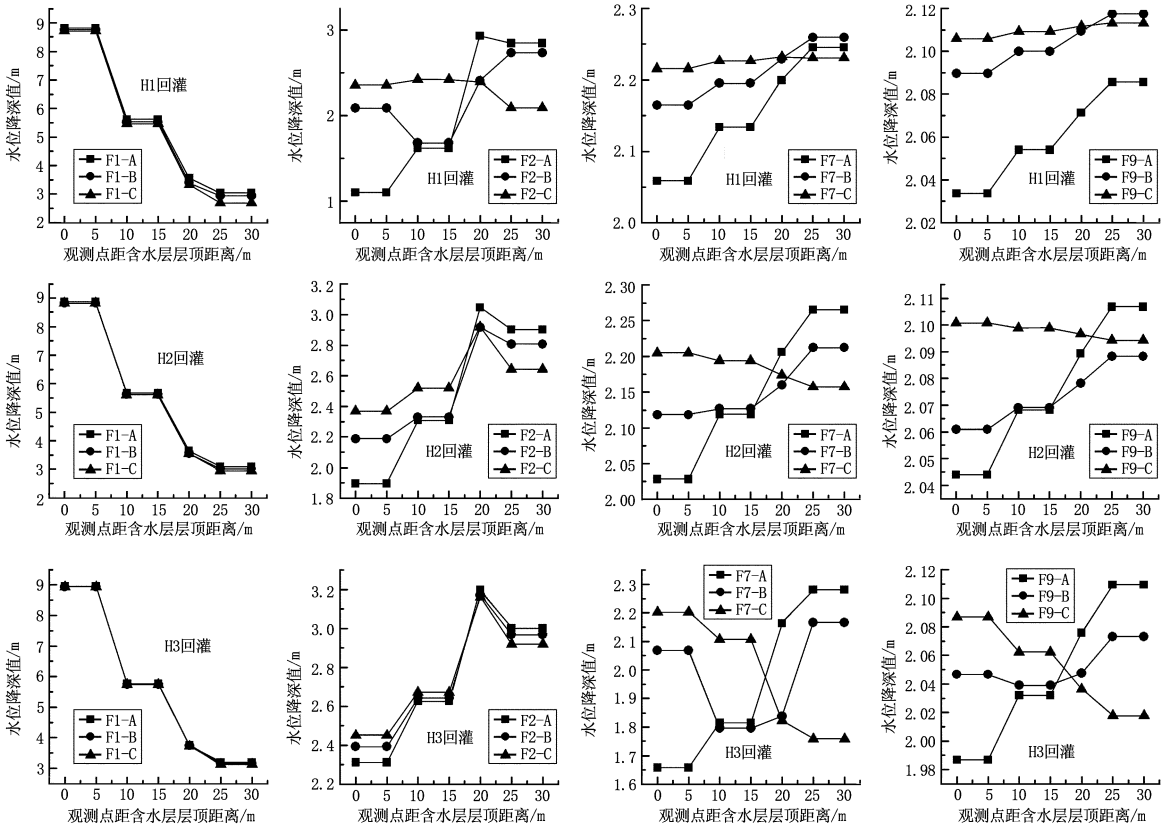


图10 不同回灌模式下的观测数据

$< S_B$ ,说明A型滤管回灌对该段含水层的回灌效果好于B型滤管;A型与B型滤管相重叠部位的含水层 $S_A = S_B$ ;回灌滤管底部含水层 $S_A > S_B$ ,说明A型滤管回灌对该段含水层的回灌效果差于B型滤管。回灌滤管结构的变化对其较远处的水位变幅影响较小。

图9中的F2点,回灌滤管顶部含水层的 $S_B < S_C$ ,说明B型滤管回灌对该段含水层的回灌效果好于C型滤管;C型与B型滤管相重叠部位的含水

层 $S_C = S_B$ ;回灌滤管底部含水层 $S_B > S_C$ ,说明B型滤管回灌对该段含水层的回灌效果差于C型滤管。回灌滤管结构的变化对其较远处的水位变幅影响较小。

图10为不同回灌模式下的观测数据,在不同回灌滤管模式下,地下水流态在空间上的差异较大,存在明显的三维渗流状态。其三维流态形成的主要因素是止水帷幕和回灌井的滤管的不同设置,另外不为工程原因主导的因素包括含水层的水平、垂向渗

透系数以及含水层分布的局部突变。

### 2.4.3 含水层平均水位降深对比

点 F1、F2 和 F7 处的含水层平均水位降深值(剖面上 7 个监测数据的平均值)如图 11~13 所示。

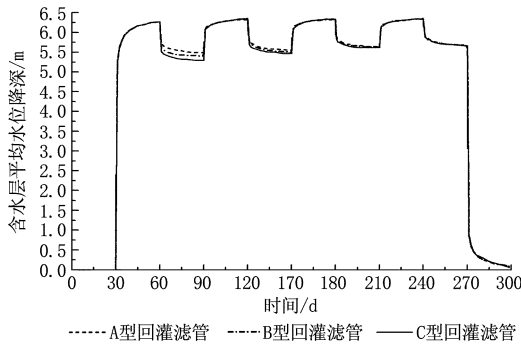


图 11 点 F1 处含水层平均水位降深趋势

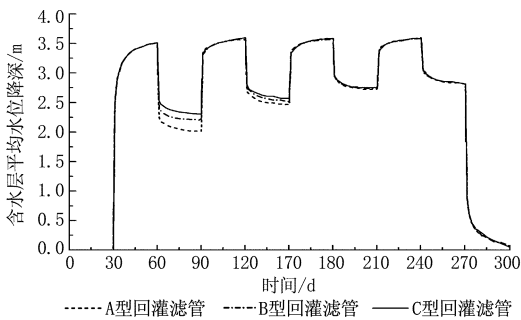


图 12 点 F2 处含水层平均水位降深趋势

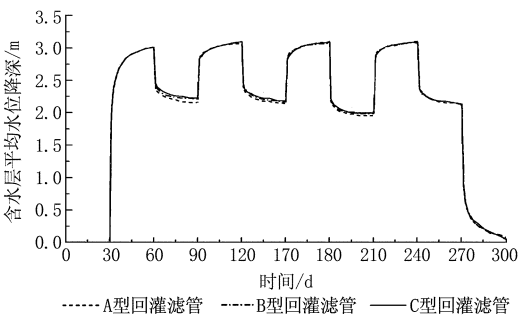


图 13 点 F7 处含水层平均水位降深趋势

F1 位于坑内,坑外回灌时,坑内含水层平均水位有明显的上升,回灌井离止水帷幕越近,坑内含水层平均水位上升越明显;同时滤管位置的不同,对坑内含水层平均水位影响差异较大,当滤水管位于止水帷幕下时(C类滤管),对坑内含水层平均水位上升最为明显,当滤水管位于止水帷幕上时(A类滤管),对坑内含水层平均水位上升影响最小,但当回灌井离基坑的距离越来越远时,回灌井滤管位置的差异对坑内的影响将逐渐减小。

F2 和 F7 位于坑外,回灌时,坑外含水层平均水位有明显的上升,观测点与回灌井距离越近,对应的含水层平均水位上升越明显;同时滤管位置的不同,

对坑外含水层平均水位影响差异较大,当滤水管位于上部时,对坑外含水层平均水位上升最为明显,该规律正好与坑内规律相反,其差异主要是受到止水帷幕的影响。当回灌井离观测点的距离越来越远时,回灌井滤管位置的差异对起点位处的影响将逐渐减小。

## 3 影响管井回灌设计的关键因素

### 3.1 影响管井平面布置的关键因素

影响管井平面布置的主要因素包括以下几点。

#### 3.1.1 保护建(构)筑物的位置

回灌管井设置的目的是控制建(构)筑物处的水位,因此首先必须明确需要保护的建(构)筑物的位置,确保回灌管井做到有的放矢。

按保护建(构)筑物的数量及保护区域的范围,回灌管井的布置可分为“点”保护布置和“群”保护布置。

图 14 为典型的“点”保护布置,为确保基坑降水期间保护建筑处的水位控制在要求范围内,依据保护建(构)筑物的位置条件及施工条件,布置了如图所示的 6 口回灌井。“点”保护布置针对性强,回灌井数量设置较少,坑内抽水增加量相对较小,但基坑外水位抬升不均匀。

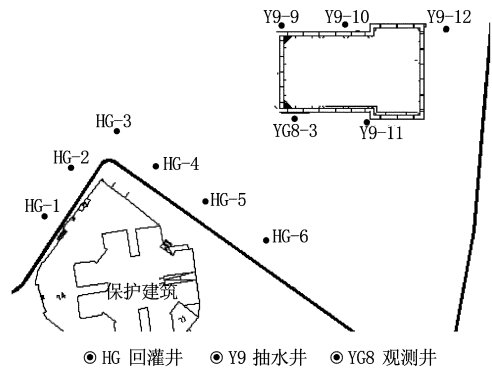


图 14 “点”保护回灌井井位布置示意图

图 15 为典型的“群”保护布置,深基坑周边两侧区域均为需要重点保护的建(构)筑物,在此背景下沿基坑四周布设一圈回灌井,沿基坑形成一道封闭水墙,确保水墙外侧的保护建(构)筑物的水位在控制要求范围内。“群”保护布置可整体上保证回灌水墙外围水位的抬升,存在的主要问题是基坑周边环境复杂,无回灌井成井位置,因而使得设计中的封闭水墙往往形成缺口,影响回灌效果,同时该类回灌将大大增加基坑内的抽水量且回灌井数量也较多。以上 2 类布置时回灌井应尽量远离基坑。

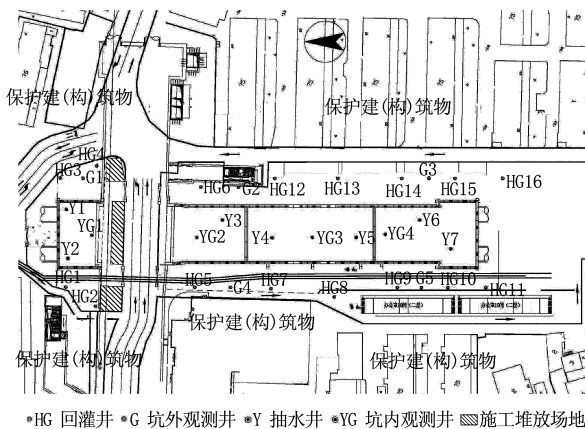


图15 “群”保护回灌井井位布置示意图

### 3.1.2 回灌目的含水层水位控制要求

深基坑回灌中回灌井的控制是按水位控制进行的,因此回灌井间距的布置与回灌目的含水层的水位控制要求有关,文献[8]中给出了基于环境控制下的完整井群回灌水位抬升值的计算公式如下:

$$S = \sum_{i=1}^n s(r_i, t) = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i Q_{pi} W(u_i)}{4\pi T} \quad (2)$$

式中: $s(r_i, t)$ ——回灌井*i*回灌时任一点任意时刻的水位抬升值,m; $W(u)$ ——泰斯井函数; $\lambda$ ——群井回灌效应系数; $Q_{pi}$ ——回灌井*i*的回灌流量, $m^3/d$ ; $T$ ——含水层导水系数, $m^2/d$ 。

在已知回灌量的条件下,可通过试算法初步确定回灌管井的数量和井间距,同时也可依据渗流方程及相应边界条件,建立数值方程,以进一步优化分析回灌管井间距和数量。

### 3.1.3 含水层的空间分布和相应水文地质参数

含水层的空间分布和相应水文地质参数将直接影响回灌井的设计回灌量<sup>[8]</sup>以及抽灌状态下的流态分布<sup>[10]</sup>,进而影响回灌井间距和回灌井的数量。回灌设计是地下水流态的再分布设计,回灌井间距过大,则局部区域对应的“沙丘”过大过高,这时必须关注水力梯度较大处的环境要求,要求严格时应避免出现过高过大的水力“沙丘”。

### 3.1.4 止水帷幕及抽水井的空间布设

在深基坑回灌中回灌与基坑降水井的设计是一个完整的系统设计,抽水井与止水帷幕的空间布设将直接影响基坑外水位变化,进而影响保护建(构)筑物处水位抬升要求,影响回灌井间距的布设和数量。因此应在抽水井井身结构和止水帷幕已优化明确的基础上,再进行抽灌一体化设计。

### 3.1.5 现场施工条件

受限于密集的建筑群和复杂的地下设施的影

响,以及场地其他施工单位的场地要求,回灌井的布设受场地施工条件影响大,特别是按“群”保护布设时,其施工操作面大,受限条件更为苛刻。

### 3.2 影响回灌管井滤管设计的关键因素

基于水资源控制<sup>[8]</sup>的回灌管井的目的是尽可能大的保证回灌流量,因此其滤管的长度应尽可能长,可按完整井考虑,但在巨厚含水层中,应充分考虑回灌的经济性,因此其滤管的设置应在要求回灌流量的基础上,综合含水层的水文参数确定。

基于环境控制<sup>[8]</sup>的深基坑工程地下水回灌是在保证基坑内水位满足基坑安全要求的同时,控制保护建(构)筑物区地下水水位变化最小,超灌与少灌均不利于环境的控制。

在匀质含水层中回灌井滤管的设计应综合考虑止水帷幕插入含水层深度、止水帷幕与回灌管井的距离、保护建筑和回灌井距离、含水层上下弱透水层的压缩性、保护建筑的基础形式等因素。

由前述的模型计算可知,回灌管井的设计是基于地下水流态的再分布设计的,基坑建设过程中,地下水水流在局部区域受到了改变,这种变化即包括含水层平面上也包括含水层不同深度处的变化,而水位的变化将引起含水层上下弱透水层的水头变化和土层的变形,影响建筑基础持力层及其下部含水层的水位变化进而引起建(构)筑物的变形,因此回灌设计时应掌握降水引起建(构)筑物变形的主要原因(引起其变形的主要土层),在此基础上发现流态变化的规律,通过回灌的再设计,控制目的层位的流态,提高回灌功效,消除或减少土层的总变形量。

不同滤管类型下的流态再分布见前述模型计算,其主要是对比了相同滤管长度和相同回灌量条件下的回灌流态再分布和回灌效果,其模型设置较为简单,但由其分析可确定回灌滤管的设计应是“双点位流态”的设计,即有效控制基坑内和保护建(构)筑物处水位流态的变化。

## 4 回灌管井回扬控制及水源水质要求

### 4.1 回扬控制措施

基于变形控制的管井回灌其目的是确保保护建(构)筑物区的水位变幅控制在允许范围内,因此其管井回灌应以选择定流量回灌为主<sup>[8]</sup>。但在回灌流量不变的情况下,随着回灌时间的增加,回灌压力将逐渐增加,当回灌管井井壁压力超过一定值时会出现回灌井井壁冒水的现象。

同时受限于密集的建筑群和复杂的地下设施的

影响,避免因回扬形成土层的二次不利变形,回扬控制应受到严格的限制,以防回扬期间保护建筑区的水位变幅过大等问题。

鉴于上述2点,笔者认为应在充分考虑回灌压力增长速率及回扬时间间隔的基础上,确定回扬控制。

回扬控制确定方法:首先在设计回灌压力<sup>[8]</sup>和回灌压力增长速率基础上确定回扬启动时的回灌压力预警值,当超过该预警值时即开启回扬泵,避免回灌井井壁冒水等破坏。回扬应按多次短时控制,即每次回扬应尽量短,按5~15 min考虑,回扬后停10~30 min,再重复回扬,当回扬启动时出的水干净时,可停止回扬,进入回灌控制模式。

#### 4.2 回灌水源水质要求

在使用管井回灌,人工补给地下水时,不但要有足够的回灌水量,而且要充分注意回灌水的水质。如果回灌水的水质较差,回灌后容易使回灌井或含水层发生堵塞,甚至污染含水层。因此深基坑工程回灌水水质应满足以下原则。

(1) 相容性:回灌水必须与原含水层水质相容,避免出现回灌水与地下水相溶后出现复杂的物理、化学和生物反应。

(2) 趋优性:回灌水水质应不劣于含水层水质,针对已污染的含水层,应通过回灌水的回灌逐渐优化含水层水质,消除或减少地下水的污染。

(3) 持续运行性:回灌应减少或避免因水质原因而引起的物理、化学和生物堵塞,确保回灌井的持续性回灌,保证回灌效率。

具体实施过程中应做好水化学分析,确保地下水水质的安全和减弱管井的堵塞。目前基坑建设中较多的采用自来水进行回灌,较好的符合以上3原则,但其成本高,水资源浪费大。从水资源出发较为有利的是利用抽吸出的水进行回灌,该类型水可较好的服从相容性原则,但是趋优性及持续运行性方面相对较差,需通过一定的水处理,才能满足以上原则。

## 5 结语

(1) 基于环境控制的深基坑工程管井回灌设计

在其空间布设及运行控制等方面均具有其相应的特殊性。

(2) 悬挂式帷幕下不同回灌滤管的设置对其水位流态影响较大,对坑内影响和对坑外的回灌效果差异性较大,实际设计中应通过流态的分析,合理确定回灌井滤管位置,通过试验确定回灌井滤管长度。

(3) 基于环境控制的抽灌回灌管井设计应遵循“双点位流态”原则,在匀质含水层中回灌井滤管的设计应综合考虑止水帷幕插入含水层深度、止水帷幕与回灌管井的距离、保护建筑和回灌井距离、含水层上下弱透水层的压缩性、保护建筑的基础形式等因素。

(4) 影响管井平面布设的关键因素包括:保护建(构)筑物的位置,回灌目的含水层水位控制要求,含水层的空间分布和相应水文地质参数,止水帷幕及抽水井的空间布设以及现场施工条件限制。

(5) 针对深基坑工程回灌的特殊性,提出了回扬控制措施的确定方法,以及回灌水质应满足相容性、趋优性和持续运行性3项原则。

#### 参考文献:

- [1] 冶雪艳,耿冬青,杜新强,等.工程降水中人工回灌综合技术[J].世界地质,2011,30(1):90-97.
- [2] 石振华,等.城市地下水工程与管理手册[M].北京:中国建筑工业出版社,1993.
- [3] 侯景岩,魏连伟.用降水回灌法改善北京地铁“复—八线”工程地质环境和施工条件[J].水文地质工程地质,1997,(3):38-41.
- [4] 宁仁岐,郭莘,徐晓飞.金力大厦深井井点降水及回灌技术[J].哈尔滨建筑大学学报,1996,29(6):116-120.
- [5] 黄伟达,张明,蓝永基,等.倾斜式回灌技术在复杂环境深基础施工中的应用[J].岩土工程学报,2010,32(1):332-334.
- [6] 陆建生,潘伟强,林长荣,等.深基坑承压水抽灌一体化设计及工程应用[J].施工技术,已录用.
- [7] 陆建生,付军,许旭.紧邻地铁深基坑地下水抽灌一体化设计实践[J].地下空间与工程学报,已录用.
- [8] 陆建生.深基坑工程回灌管井设计若干问题探讨[J].探矿工程(岩土钻掘工程),2013,40(8):42-46.
- [9] 孙淑贤.深基坑抽水回灌的二次效应分析[J].建筑技术,1999,30(2):76-77.
- [10] 陆建生,崔永高,缪俊发.基坑工程环境水文地质评价[J].地下空间与工程学报,2011,7(1):1506-1513.