

文章编号: 0253-9993(2000)S0-0011-05

# 多重结构第四系含水层地下水 运移机理及水资源评价

虎 维 岳

(煤炭科学研究总院 西安分院, 陕西 西安 710054)

**摘 要:** 提出了第四系松散沉积的孔隙含水层具有多重结构的概念, 分析了在具有这种结构的含水层中发生地下水补给与排泄时地下水的运移与交替规律, 并明确了不同性质沉积物在水资源评价中的意义。通过对一假设的三维地下水流模型的计算分析证实了这一结论的正确性。

**关键词:** 多重结构; 含水层; 地下水; 运移机理

**中图分类号:** P641.2

**文献标识码:** A

赋存地下水的多孔介质一般主要分为第四系松散沉积孔隙含水介质和基岩裂隙、孔隙含水介质。特别是第四系松散沉积的孔隙含水层构成了各种工农业取水和生活用水的主要含水层, 人类的多种活动都与该类含水介质息息相关。王大纯教授、张仁权教授先后对第四系松散沉积含水层中地下水的补给、迳流、排泄特征、非饱和带水分运移和分布规律、第四系松散沉积中的弱透水体(细颗粒介质)的导水机理、层状土重力释水机制、第四系松散沉积含水层含水系统的划分及水资源评价方法等进行了研究。

笔者在前人研究工作的基础上, 从第四系松散沉积物的形成条件入手, 分析了第四系松散沉积物的结构特征, 借鉴在基岩裂隙水研究上取得的成果, 认为第四系松散沉积含水体和基岩裂隙含水层在水文地质性质上具有很大的相似性, 也就是同时存在有多重结构, 即以贮水作用为主的细颗粒沉积结构体和以导水、汇水作用为主的粗颗粒沉积结构体, 但两种结构体在地下水的贮存、输导及水资源评价方面的意义具有较大差别, 特别是不同结构体在影响地下水因素的作用下随着时间的推移, 其水文地质性质的变化过程截然不同; 从理论上分析了不同介质体的水文地质性质和在水资源评价中的意义, 提出了第四系松散沉积含水层也具有多重结构的概念。

在多重介质结构体概念的基础上, 利用构造的假设模型模拟计算了在该类含水层系统中进行地下水的补给和排泄时, 不同结构介质体的水文地质意义和其呈现的外部响应。模拟计算了不同结构介质体在水文地质条件变化时的相互作用特征。

## 1 第四系松散含水层的结构特征

第四系松散含水层广泛分布于地壳表层, 其形成原因多变, 且不同成因的含水介质具有不同的结构特征。常见的结构特征主要以砂卵石、砂、亚粘土及粘土互层沉积为主, 且以不同颗粒相的多种组合交互出现。已有的研究表明, 不同颗粒相的沉积物具有明显不同的水文地质性质。颗粒结构越粗, 对地下水的渗透能力越强, 相反其孔隙度较小, 对地下水的调蓄和贮存能力较差; 而沉积颗粒越细, 则其对地下水的渗透能力较差, 但其有较大的孔隙率, 对地下水的调蓄和贮存能力较强。因此说, 第四系松散沉积含水系统是由不同性质的含水介质的多种组合形成, 这种组合方式往往是以互层或互为包体为主。

基金项目: 煤炭科学基金资助项目 (96地 20814)

对于第四系松散沉积含水介质而言, 其主要由以导水、输水作用为主的粗颗粒相沉积物和以贮水为主的细颗粒相沉积物以层状、互层状、互为包体状出现的双重 (或多重) 介质为主要特征. 其简单的物理概念模型可概化为图 1 所示的结构.

## 2 多层结构松散含水介质导、贮水机理分析

由前述分析明显可见, 第四系松散沉积含水介质是由不同沉积颗粒体的不同组合而成, 而不同颗粒的含水介质又具有明显不同的水文地质性质.

为了便于分析, 把这种多重结构松散体简单地概化成如图 1 所示的双重结构体, 即粗颗粒相结构体和细颗粒相结构体, 这种粗、细相颗粒是根据具体水文地质条件相对划分的. 根据前人的研究结果表明, 粗颗粒相含水介质的渗透系数较大, 一般在  $1 \sim 100 \text{ m/d}$ , 其孔隙度一般为  $0.1 \sim 0.3$ , 因而粗相介质在含水层中主要起汇水和导水作用; 细相含水介质的渗透系数一般在  $0.01 \sim 0.0001 \text{ m/d}$  范围内, 相反其孔隙度有时可达  $0.8$  以上, 它具有极低的渗透能力, 就象海绵一样, 可贮存大量的地下水, 对地下水在补排过程中具较强的调蓄能力. 当在由两种不同性质耦合而成的含水层中抽取地下水时, 首先表现为粗相介质中水位的大幅度下降, 从而在粗细相介质之间便形成了水位差 (图 2), 贮存于细相介质中的地下水便缓慢地

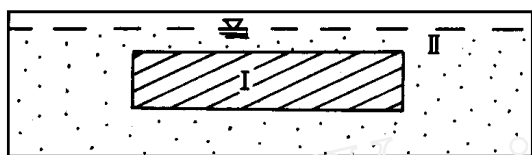


图 1 双重介质典型结构

Fig. 1 The typical construction of bi-medium aquifer

——细颗粒介质; ——粗颗粒介质

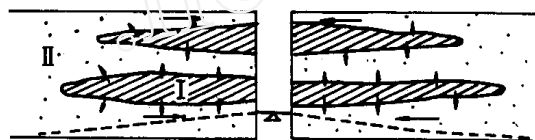


图 2 抽水时双重介质中地下水流特征

Fig. 2 The characteristics of groundwater flow in bi-medium aquifer during pumping

——细相介质; ——粗相介质

由外向里逐渐流向粗相含水介质, 使细相介质中的水位缓慢下降. 由于两种介质的差异, 当在短时间内以较大强度抽取地下水时, 起初是粗相介质中的地下水流向取水建筑物, 产生地下水位的快速下降, 但这时的地下水位下降值仅反映了粗相介质体中的水位变化特征, 而不反映细相介质体中的水位下降特征, 当然就不能反映整个含水系统中的水位变化特征. 如图 3 所示, 这时的细相介质中水位和水量的变化并不大, 当在图 1 所示的含水层系统中抽取地下水时, 钻孔中实际观测到的水位从  $h_0$  变化到  $h_1$  和  $h_2$ , 而含水系

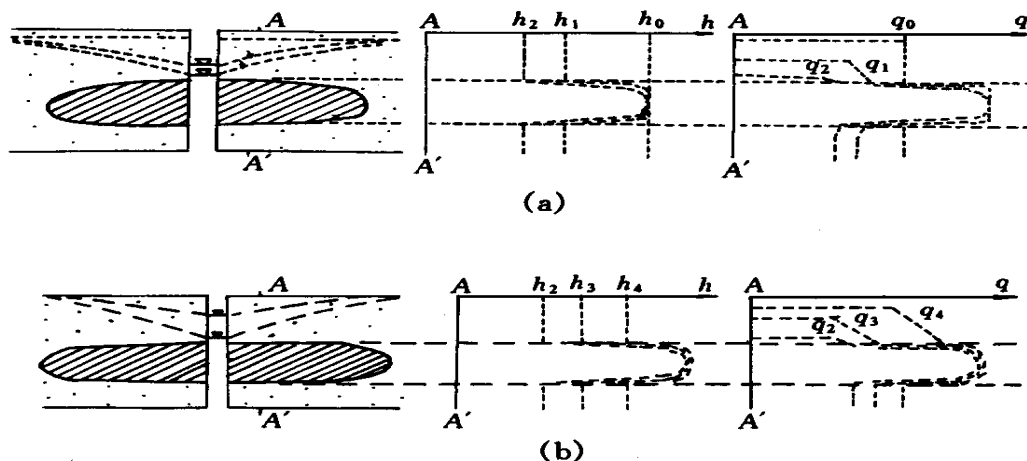


图 3 不同介质中水位及水量变化过程

Fig. 3 The change of water level and content in different medium

(a) 抽水时; (b) 补给时

统内部粗细不同介质中的水位和含水量分布则不同, 其水位、水量的实际变化和分布特征如图 3 (a) 所示。

从图中明显可见, 在抽水初期, 抽出的水主要来自粗颗粒相介质且水位下降值也主要反映了粗相介质中的情况, 而在细相介质中, 水位下降值和释水量值由外向里逐渐变小, 特别是在细相介质的中间变化幅度很小。同样, 在含水层得到补给时, 由于粗相介质含水层良好的渗透性, 使其迅速得到地下水的补给而产生地下水位的明显上升。对于细相介质含水层, 由于其较差的渗透性而在补给的初期得不到补给, 其地下水位的上升值也不明显。所以, 在观测孔中看到的水位动态效应只反应了粗相介质中的基本特征, 它并不代表整个含水系统的综合效应。

如图 3 (b) 所示, 随着地下水补给过程的进行, 在剖面 A—A 上的地下水位从  $h_2$  开始逐渐上升到  $h_3$ ,  $h_4$ , 同样, 含水层中赋存的水量从  $q_2$  开始逐渐增加到  $q_3$ ,  $q_4$ , 由剖面上的水位、水量分布特征和变化过程可见, 不同相介质中的特点明显不同。

从上面的理论分析和图 3 所显示的现象中明显可见, 对于第四系松散沉积含水系统, 由于其不同结构介质的存在, 当含水系统受到排泄和补给时, 其不同介质中的水位、水量反映并不同步, 从观测孔中得到的信息并不反映含水系统的整体特性。这一观点的建立, 对于认识含水系统内部结构和特征以及正确评价含水系统中的水资源量具有重要意义。

### 3 双重结构松散沉积含水层水文地质特征模拟分析

#### 3.1 水文地质模型的建立

为了便于计算和分析问题, 假设承压含水层区域是边长为 1 200 m 的正方形, 其中东、西边界为定水头边界, 水头值为 100 m, 南北边界为隔水边界, 区域中心有一抽水井以流量  $q$  抽水或注水。

如图 4 所示, 该承压含水层的含水介质由 2 种不同颗粒的双重介质组成, 其中整个含水层系统以粗颗粒相的砂层为主, 图中的阴影部分为亚粘土相的细相介质透镜体, 透镜体为边长 30 m 的正方形, 整个含水层的厚度为 80 m, 透镜体的厚度为 40 m, 位于整个含水层的中间层。假设砂层的渗透系数为 5 m/d, 弹性给水度为  $10^{-4}$ , 亚粘土的渗透系数为 0.01 m/d, 弹性给水度为  $10^{-4}$ ; 砂层和亚粘土含水层分别为均质, 各向同性。

#### 3.2 数学模型的建立

根据上述的水文地质模型及边界条件建立的三维承压水流数学模型为

$$\begin{cases} \frac{\partial}{\partial x} (k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (k_{yy} \frac{\partial h}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (k_{zz} \frac{\partial h}{\partial z}) - q(x, y, z) = \mu_s \frac{\partial h}{\partial t} & (x, y, z) \\ h|_{t=0} = h_0(x, y, z) = 100, \\ h|_{B_1} = h(0, y, z) = h(1200, y, z) = 100, \\ \left[ k_{xx} \frac{\partial h}{\partial x} \cos(n, x) + k_{yy} \cos(n, y) + k_{zz} \cos(n, z) \right] \Big|_{B_2} = 0, \end{cases}$$

式中, 为渗流区域;  $B_1$ ,  $B_2$  分别为含水层的第一和第二类边界;  $k_{xx}$ ,  $k_{yy}$ ,  $k_{zz}$  分别为  $x$ ,  $y$ ,  $z$  方向的渗透系数。

根据模型的假设条件, 对于砂层有  $k_{xx} = k_{yy} = k_{zz} = 5$  m/d,  $\mu_s = 10^{-4}$ ; 对于其中的亚粘土透镜体有



图 4 假设计算模型典型剖面及分层

Fig. 4 The typical section and layered of the calculation model

$k_{xx} = k_{yy} = k_{zz} = 0.01 \text{ m/d}$ ,  $\mu_s = 10^{-4}$ .  $x \in [0, 1200]$ ,  $y \in [0, 1200]$ ,  $z \in [0, 80]$ .

### 3.3 模型的求解及其结果

利用三维地下水流模型对所假设的模型进行平剖面的剖分与求解. 平面上采用三角形剖分, 垂向采用四面体剖分, 将所研究的含水层在垂向上剖分为 7 层, 如图 4 所示, 垂向上 6 个层位的厚度自上而下依次为 20, 10, 10, 10, 10, 20 m, 每层剖分单元数为 312 个, 节点数为 181 个, 总计计算节点为 1267 个. 计算的前 10 个时间步长为 2.4 h, 后 9 个时间步长为 24 h, 总计计算了 20 个时间步长. 平面上设计的观测孔在  $x$  方向上分别位于 154, 34, 35, 36, 37, 38, 39 号节点, 在  $y$  方向上分别为 162, 4, 15, 26, 37, 48, 59 号节点, 在  $z$  方向上所设观测孔自上而下依次为 37-1, 37-2, 37-3, 37-4, 37-5, 37-6, 37-7. 抽、注水孔位置设计在计算区的中心部位 61 号节点, 在计算过程中分别考虑了抽水量和注水量为  $1000 \text{ m}^3/\text{d}$  两种情况. 在抽、注水条件下, 剖面上的水位变化特征如图 5 所示.

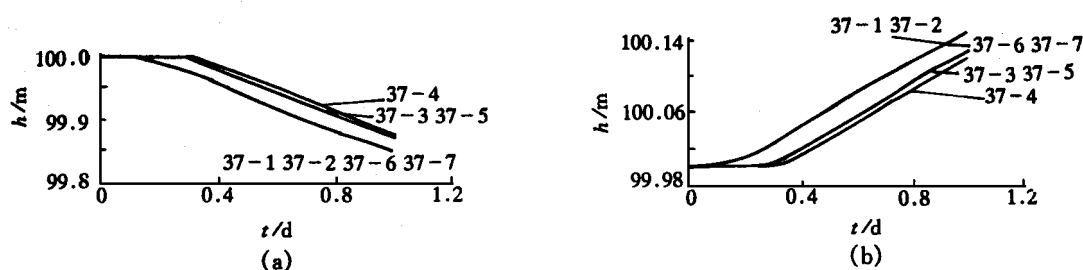


图 5 剖面上的水位变化

Fig. 5 The change of groundwater level in section

(a) 抽水  $1000 \text{ m}^3/\text{d}$  时; (b) 注水  $1000 \text{ m}^3/\text{d}$  时

由计算结果可见, 理论分析情况和计算结果所反映的情况完全一致. 在剖面上, 位于粘土透镜体中间的 37-4 点水位明显位滞后于边缘的 37-3, 37-5 点, 粘土内部点的水位变化明显滞后于外围砂层中水位.

## 4 结 论

(1) 绝大多数第四系松散沉积含水系统的介质结构和基岩裂隙含水层相似, 具有双重或多重结构, 但不同结构介质具有不同的水文地质性质, 其中粗相介质以汇水和导水作用为主, 而细相介质则以贮存和调节地下水为主.

(2) 由于不同性质的介质对地下水系统中水资源量补、排过程中的反映特征不同, 因此, 所观测到的水位只反映部分介质 (粗相介质) 的性质, 而不反映含水系统的整体效应, 也就是说水位动态和水资源量不能互相反映, 如果仅利用观测到的水位信息来评价整个含水系统的水资源量则会带来较大的误差.

(3) 由于含水系统结构的多重性, 其中的地下水运移是不同介质中地下水运移的迭加. 所以, 利用单一介质水流模型难以刻画含水系统中的水流本质, 必须考虑不同流动的迭加.

(4) 由于抽放水试验的早期, 对地下水贮存调蓄起主导作用的细相介质给出的水量很小, 所以利用短期抽水试验所求的渗透系数偏大, 给水度偏小. 因此水文地质试验的过程要有相对较长的时间.

### 参考文献:

- [1] 王大纯. 水文地质学基础 [M]. 北京: 地质出版社, 1986.
- [2] 张蔚榛. 土壤释水性和给水度数值模拟的初步研究 [J]. 水文地质工程地质, 1983 (5): 33~34.
- [3] 陈崇希. 给水度的概念、定义及包气带的水分分布模型 [J]. 水文地质工程地质, 1984 (4): 17~18.
- [4] 罗戴 A A. 土壤水 [M]. 北京: 科学出版社, 1964.

- [5] 庄乐和. 土力学 [M]. 北京: 地质出版社, 1981.
- [6] 虎维岳. 大气降水对地下水补给的影响因素分析 [J]. 地下水, 1997 (4): 168 ~ 169.
- [7] 虎维岳. 第四系水文地质结构及水资源评价 [A]. 第二届国际第四纪水文地质大学论文集 [C]. 青岛: 青岛海洋大学出版社, 1997.

#### 作者简介:

虎维岳 (1962 - ), 男, 高级工程师. 1985 年获水文地质与工程地质学士学位, 1988 年获硕士学位, 1999 年获博士学位. 在相关学术会议及刊物上发表论文 30 余篇.

## The mechanism of groundwater flow and water resources evaluation in multi-layer constructed Quaternary aquifer

HU Wei-yue

(Xi'an Branch, China Coal Research Institute, Xi'an 710054, China)

**Abstract :** Proposed that Quaternary unconsolidated aquifer has the multi-layer construction characteristics. The regulations of groundwater flow in these aquifers during recharge and discharge process is analysed. The significance of water resources evaluation in these kinds of aquifers is clarified. The conclusions are verified by the calculation results of one hypothesis three-dimension groundwater flow model.

**Key words :** multi-layer construction ; aquifer ; groundwater ; flow mechanism