

文章编号:1671-4814(2009)03-229-06

稳定井流抽水含水层参数计算及富水性评价*

孙丰英¹,许光泉¹,赵宏海²,梁修雨¹

(1 安徽理工大学地球与环境学院,安徽 淮南 232001)

(2 安徽煤田地质局水文队,安徽 宿州 237001)

摘要:针对目前单孔稳定流求参存在的问题,本文在分析新生界松散含水层条件及三次降深抽水过程基础上,利用其抽水试验恢复阶段的数据,分别求得各含水层多个参数,其值真实反映了含水层的实际情况。利用多元回归方法,求得降深与流量关系,通过其系数值大小分析,间接得出各含水层的富水性程度,为地下水的勘探与评价提供一定借鉴。

关键词:三段抽水试验;水位恢复;含水层参数;降深与流量

中图分类号:P641

文献标识码:A

两淮矿区新生界松散含水层较为稳定,呈多层分布。在进行简易水文地质勘探时,一般采用单井稳定流抽水试验,并利用稳定井流公式计算含水层渗透系数 K ,主要为承压完整井流, $K = \frac{Q}{2\pi sM} \ln \frac{R}{r_w}$,其中, Q -抽水量, L^3/T ; s -抽水井的降深, L ; M -含水层厚度; r_w -抽水井半径, L ; R -抽水井影响半径, L ;除了影响 R 半径外,其余数值都是确定的值^[1]。目前,现场多用公式 $R = 10s \sqrt{K}$ 公式和井流公式两者进行反复试算求得,实际过程中存在较大的误差,因而对含水层渗透性及水资源量的预测和评价带来了偏差。

事实上,在进行稳定流抽水后,后期同样进行水位恢复试验阶段^[2],本阶段受干扰影响因素小,恢复试验数据也客观地反映了地下水在恢复过程中的主要特征,是求取含水层参数的一个最佳的客观资料,恢复过程与非稳流抽水有着相似的过程。另外,在稳定流的三次降深抽水试验中,常常利用单位涌水量评价含水层的富水性程度,能否利用其它方式对此进行评价呢?本文针对以上两个问题,以淮南矿区的潘东矿井为例,利用现场抽水试验资料进行分析与探讨,为地下水勘察提供一些借鉴和参考。

1 研究区概况

潘东矿区位于淮河以北,为淮南矿区的一部分,开采新生界下覆煤层,为了保证矿区的生产和生活用水,需要查明该区新生界松散含水层的结构、富水性,并作一个简易地下水资

* 收稿日期:2009-03-10

基金项目:安徽省自然科学基金项目(项目编号:070415204)。

第一作者简介:孙丰英(1979~),女,汉族,山东泰安人,硕士,主要从事水文地质工程地质方面教学与科研工作。

源评价。松散层自上而下,分为三个含水层和两个相对隔水层,其中,第一含水层(组),岩性主要为浅黄色、浅棕红色粉砂、细砂及粘土质砂,其中夹粘土1~3层,砂层厚约为14.50 m,含水层类型为孔隙潜水~弱承压水含水层。第二含水层(组),为孔隙承压含水层,厚度在15~25 m,砂层厚度为18.50 m左右,岩性主要为灰色、灰黄色、灰绿色中细砂及粘土质砂,砂层主要成分为石英、长石,含少量暗色矿物,勘探区内中部偏厚,向南北两侧有逐渐变薄的趋势。第三含水层(组)为河漫滩相~湖泊相沉积的孔隙承压含水层,岩性主要为灰黄色、灰绿色中细砂为主,次为粗砂及粉砂,主要成分为石英、长石,含少量暗色矿物。砂层厚度约为25.75 m左右,与含水层相对应的分别为第一、第二粘土、砂质粘土隔水层。三个含水层(组)在自然状态下,水力坡度小,流动缓慢。

2 单井稳定井流抽水的含水层参数计算

2.1 三次降深抽水试验

在矿区范围内设计了三个抽水井,分别对第一、二、三进行三次降深的稳定流抽水试验。利用抽水试验数据,计算供水含水层(组)的重要的水文地质参数——单位涌水量,它是目前评价含水层富水性程度的重要指标,各个含水层抽水情况如表1所示。试验结果表明,第二含水层的富水性程度明显好于第一和第三含水层,而第一含水层又高于第三含水层。

表1 三次降深抽水试验结果

Table 1 Result of three-stages drawdown pumping test

抽水层位	降深(m)	流量(L/s)	时间(h)	单位涌水量(L/s.m)	水位恢复时间(h)
第一含水层 (供水01孔)	5.200	5.747	17	1.105	21
	9.800	8.531	16	0.870	
	15.820	11.016	16	0.696	
第二含水层 (水文长观孔01孔)	4.080	11.209	16	2.747	13
	6.190	15.842	17	2.559	
	8.470	19.913	16	2.351	
第三含水层 (供水02孔)	9.620	2.798	17	0.291	26
	18.550	4.239	17	0.228	
	27.800	5.002	17	0.180	

2.2 降深历时变化特征

2.2.1 第一含水层抽水孔历时曲线

抽水前观测16小时的自然静止水位,符合稳定标准后采用空压机做三次降深稳定流抽水试验,抽水延续时间为49 h,流量分别为5.747 L/s、8.531 L/s、11.016 L/s,对应的水位降深分布为5.20 m、9.80 m、15.82 m,水位恢复时间21 h,其过程如图1)。

2.2.2 第二含水层抽水孔历时曲线

抽水前观测18小时的自然静止水位,符合稳定标准后采用空压机做三次降深稳定流抽水试验,抽水延续时间为49 h,流量分别为11.209 L/s、15.842 L/s、19.913 L/s,对应的水位降深分布为4.08 m、6.19 m、8.47 m,水位恢复时间13 h,水位恢复较快,其过程如图2)。

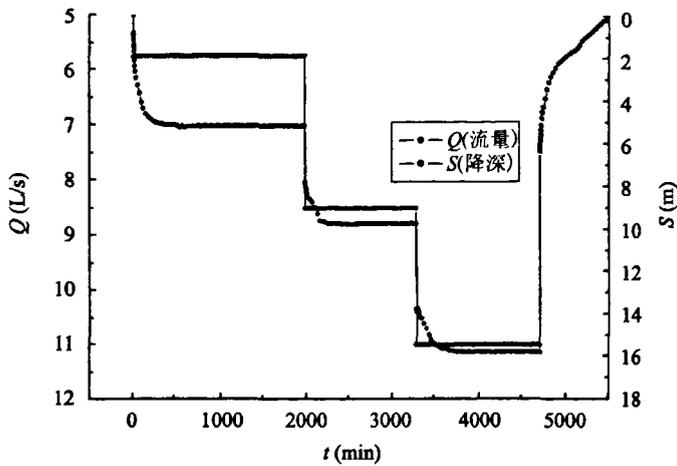


图 1 第一含水层抽水孔历时曲线

Fig. 1 Duration curve of pumping well in the first aquifer

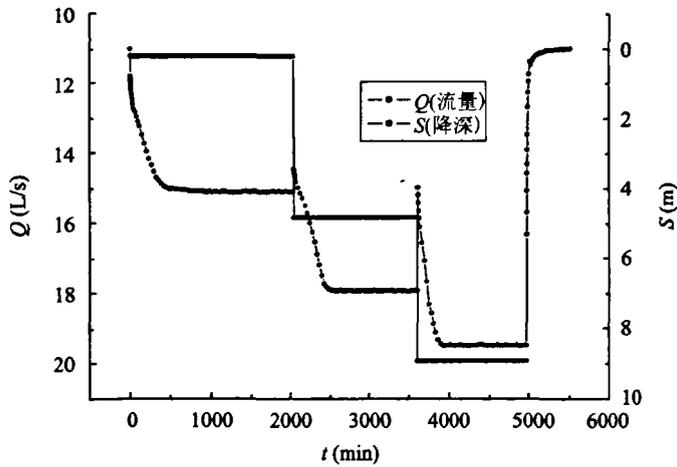


图 2 第二含水层抽水孔历时曲线

Fig. 2 Duration curve of pumping well in the second aquifer

2.2.3 第三含水层抽水孔历时曲线

抽水前观测 16 小时的自然静止水位,符合稳定标准后采用空压机做三次降深稳定流抽水试验,抽水延续时间为 51 小时,流量分别为 2.798 L/s、4.239 L/s、5.002 L/s,对应的水位降深分布为 9.62 m、19.55 m、27.8 m,水位恢复时间 26 小时,水位恢复较慢,其过程如(图 3)。

2.3 含水层参数计算

在稳定流抽水的水位恢复过程中,补给量大于“抽水量”,实际上是一个非稳定流过程。在不考虑水头惯性滞后动态,水井以流量 Q 持续抽水到 t_p 时间后停抽进行恢复水位,在时刻 $(t > t_p)$ 的剩余降深 s' (原始水位与停抽后某时刻水位之差),可看作为继续以流量 Q 抽水一直延续到 t 时刻的降深和从停抽时刻起以流量 Q 注水阶段 $t - t_p$ 时间的水位恢复的二者

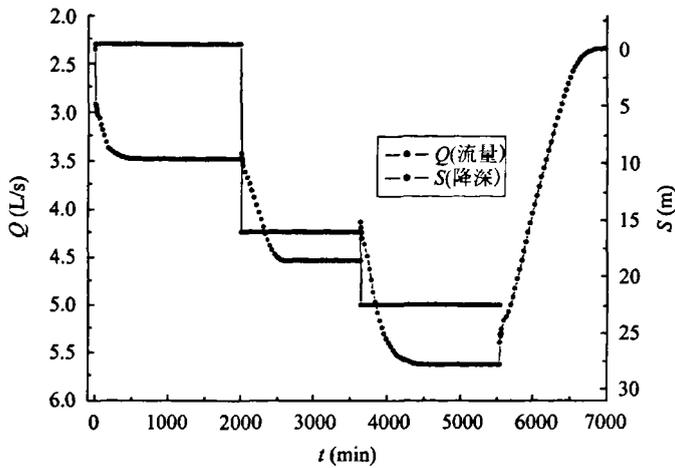


图3 第三含水层抽水孔历时曲线

Fig. 3 Duration curve of pumping well in the third aquifer

叠加。两者均可用 Theis 公式计算^[3],故有:

$$s' = \frac{Q}{4\pi T} \left[W\left(\frac{r^2 \mu^*}{4Tt}\right) - W\left(\frac{r^2 \mu^*}{4Tt'}\right) \right] \quad (1)$$

式中, $t' = t - t_p$ 。当 $\frac{r^2 \mu^*}{4Tt'} \leq 0.01$ 时, (1) 式可简化为:

$$s' = \frac{2.3Q}{4\pi T} \left(\lg \frac{2.25Tt}{r^2 \mu^*} - \lg \frac{2.25Tt'}{r^2 \mu^*} \right) = \frac{2.3Q}{4\pi T} \lg \frac{t}{t'} \quad (2)$$

式(2)表明, s' 和 $\lg \frac{t}{t'}$ 呈线性关系, $i = \frac{2.3Q}{4\pi T}$, 为直线斜率。利用水位恢复资料绘出 $s' \sim \lg \frac{t}{t'}$ 曲线, 求得其直线段斜率 i , 由此可以计算参数 T :

$$T = 0.183 \frac{Q}{i}$$

又根据 $s_p = \frac{2.3Q}{4\pi T} \lg \frac{2.25at_p}{r^2}$, 将求出的 T 代入, 可得:

$$a = 0.44 \frac{r^2}{t_p} 10^{\frac{i t_p}{2.3Q}} \quad (3)$$

利用式(3)可求出导压系数 a 和贮水系数 μ^* 。

根据各个抽水孔的水位恢复观测数据, 利用剩余降深 s' 和 $\lg \frac{t}{t'}$ 的直线斜率计算参数, 即根据 $S' \sim \lg(t/t')$ 直线斜率计算得到各个含水层参数, 如表2。

表2 含水层参数计算结果

Table 2 Calculation of aquifer parameters

含水层	井半径 r_w (m)	含水层厚度 M (m)	导水系数 T (m ² /d)	渗透系数 K (m/d)	贮水系数 μ^*
第一含水层	0.084	14.90	73.20	4.91	0.0035
第二含水层	0.073	18.00	95.80	9.58	0.625
第三含水层	0.063	25.75	2.01	0.078	0.00054

3 含水层富水性程度评价

在定流量抽水条件下,抽水井中水位达到稳定时的降深 S 与流量 Q 之间的关系通常可用以下函数表示^[4]:

$$S = aQ^b \quad (4)$$

式(4)中,当指数 $b=1$ 时,表明含水层为均质、各向同性无限延伸的含水层,并且含水层有充足的侧向补给但无垂向越流补给;若 $b<1$,表明含水层不仅有充足侧向补给,而且有垂向补给,即含水层中的储量以动储量为主;若 $1<b<2$,则表明含水层虽有侧向或垂向补给,但补给量不足,抽水所消耗的流量以静储量为主;若 $b\geq 2$,则表明含水层基本上得不到补给,抽水流量完全来自于静储量消耗。系数 a 反映含水层导水系数的大小,其值越高,导水系数越小^[5]。因此,可利用抽水试验数据回归此方程,求得 a, b 参数。据此来定性评价含水层水源补给方式及其导水性能。利用抽水试验数据对式(4)作回归分析^[6],计算得出的各含水层抽水试验的降深—流量关系如表3所示。

表3 各含水层降深和流量关系模型

Table 3 Model of relationship between drawdown and flow rate of different aquifers

抽水层位	a	b	函数关系
第一含水层	0.2628	1.7009	$S=0.2628Q^{1.7009}$
第二含水层	0.1904	1.2657	$S=0.1904Q^{1.2657}$
第三含水层	1.5143	1.7792	$S=1.5143Q^{1.7792}$

表3表明,各含水层都是以侧向补给为主的含水层,其中第一和第三含水层以静储量消耗特征显著。第二含水层以静储量消耗特征不明显,侧向或者垂向的补给量占有一定比例。根据 a 值可以看出,第二含水层导水系数最大,渗透性能最强;第一含水层导水系数较小,渗透性次之;第三含水层导水系数最小,明显低于第二和第一含水层,导水性能最差。以上所得结果与表1的单位涌水量以及表2所求含水层参数是相一致的,目前地下水开采也表明了以上事实,矿区把第二含水层作为开采对象。

4 结语

利用稳定流三段抽水试验中后期的非稳定流的恢复试验数据,进行含水层求参,不仅可行,而且必要,避免了单孔抽水稳定井流公式带来的偏差,从而为地下水资源的正确评价奠定了基础。利用抽水试验中的流量与降深数据,根据多元回归方法,求得二者表达式,利用其系数对含水层的富水性进行评价,经过对比和实际开采实践,也是可行的。

参考文献

- [1] 薛禹群. 地下水动力学[M]. 北京:地质出版社,1997.
- [2] 供水水文地质勘察规范[B]. 中国计划出版社,2001.
- [3] 陈崇希,林敏. 地下水动力学[M]. 武汉:中国地质大学出版社,2005.
- [4] 雅·贝尔,许涓铭译. 地下水动力学[M]. 地质出版社,1986.
- [5] 许光泉. 影响新生界“底含”发育因素及含水层参数修正[J]. 煤田地质与勘探,2003,31(2):40-42.

[6] 袁志发,周静芋.多元统计分析[M].北京:科学出版社,2002.

Calculation of aquifer parameters and its evaluation of groundwater-bearing during steady flow pumping

SUN Feng-ying¹, XU Guang-quan¹, ZHAO Hong-hai², LIANG Xiu-yu¹

(1 *Anhui University of Science and Technology, Huainan, 232001, China*)

(2 *Hydrogeological Team of Anhui Coal Field Exploration Bureau, Suzhou, 237001, China*)

Abstract

As for some questions about obtaining the aquifer parameters using steady flow pumping in single well, three different aquifer parameters, which reflect real values approximately, are obtained through the data of pumping recovery section after analyzing hydrogeological condition of loose aquifers in Cenozoic. By the way of multivariate regression, the relationship between drawdown and discharge is gotten and, according to the values of different coefficients, the extent of water-bearing of three aquifers is deduced indirectly, which provides some reference for groundwater exploration.

Key words: three-stages pumping tests; water level recovery; aquifer parameters; drawdown and discharge