

# 供水半径影响因素及确定方法研究

马 俊

(郑州大学环境与水利学院 河南 郑州 450001)

【摘 要】水文地质参数是表征含水层的性质特征的重要参数,其值的大小是含水层各种性能的综合反应。本文通过影响半径的计算公式的推导详细说明其影响因素,且给出确定影响半径的计算公式和抽水实验方法及结合抽水实验阐述如何确定供水半径。

【关键词】供水半径;影响因素;确定方法;抽水实验

【Abstract】Hydrogeologic characterization parameters are the nature of the aquifer characteristics of the important parameters, and its value is the size of the aquifer properties of various comprehensive response. In this paper, the formula for calculating the impact of the radius deduced details of the impact of factors, and the radius is determined the formula for calculating the impact of pumping and pumping combination of experimental methods and experiments on how to determine the water supply radius.

【Key words】Supply radius; Influencing Factors; Method; Pumping test

## 0.引言

对地下水渗流的研究使地下渗流理论得到了迅速的发展。一方面,地下水属于宝贵的资源,人们从遥远的过去就开始探讨对它开发与利用的问题;另一方面,地下水在地质环境中起着举足轻重的作用,如边坡变形与滑坡、地面沉降与塌陷等地质灾害无不与水密切相关。由于过量开采地下水或试用正确的方式开采地下水,均可以破坏地下水循环系统的平衡,是地下水的水位、水量、水质和水温等在自然条件下的变化规律被打乱。水文地质参数是进行水文地质计算和合理来发利用地下水的重要依据,同时关系到水量评价结果的正确与否。另外,对于因为取水而产生的纠纷也可以用影响半径的概念来解决。例如,某矿井对奥陶系承压含水层的排水量为  $720\text{m}^3/\text{d}$ ,含水层厚度  $M=50\text{m}$ ;渗透系数  $K=0.5\text{m}/\text{d}$ ;储水系数  $\mu^*=2.5\times 10^{-3}$ 。离矿井直线距离  $r=4.8\times 10^3\text{m}$  处有一水井,于矿井排水之时起  $t=0.5\text{y}$ ,水位开始大幅下降。问:是否矿井排水所影响?在此,通过计算得到影响半径  $R=2.03\times 10^3\text{m}$ 。所以,可以判定该井水位大幅度下降并不是矿井抽水引起的。可见,在实际工程或生活生产中影响半径有很重要的现实意义。

## 1.影响半径的发展

抽水井以产量  $q$  开井生产后,井底压力开始下降;同时,压力降还要向水层内部逐渐推移,使得形成的“压降漏斗”不断扩大和加深。在这个过程中的恶任何一个时刻  $t_i$  都有相应的距离  $R_i$  油层中与产生井的距离超过它的地方,压力降仍近似为零,以致用检测器检测不出来。这个距离  $R_i$  称为影响半径。

## 2.影响因素

影响半径的影响因素很多,综合起来主要是与含水层的规模,补给类型和补给能力有关,而且与含水层的地质条件以及水源边界条件有关,分为以下几种情况:

### 2.1.半承压含水层中非稳定流

由半承压含水层中非稳定流公式:

$$R_{(t)}^2 = 8B^2[1 - \exp(-at/B^2)]$$

其中:

$R_{(t)}$ —影响半径;

$a$ —是承压层的导压系数;

$B$ —是越流因素;

$t$ —是井抽水经历的时间;

讨论:

当  $at/B^2 \leq 0.1$  时,有  $R_{(t)}^2 \approx 8at$

当  $at/B^2 > 5$  时,有  $R_{(t)}^2 = 8B^2$

当  $at/B^2 > 5$  以后,越流量趋近于抽水量,半承压含水层中地下水趋趋于稳定。

由以上公式知,供水半径与越流因素  $B$ 、承压层的导压系数  $a$ 、井抽水经历的时间  $t$  有关,且存在一定的函数关系,当越流因素  $B$  增大时,影响半径  $R$  也增加;当承压层的导压系数  $a$  增大时,影响半径  $R$  也增加;而且  $R$  随抽水使时间的延长,其值变大。

### 2.2.无压含水层中向完整井的非稳定流<sup>[1]</sup>

既考虑储存水的释放,又考虑迟后重力排水时,潜水流向完整井非稳定流得:

影响半径的计算公式:

$$R_{(t)}^2 = 8 \left[ \frac{at}{(1+\lambda)} + \frac{a\lambda^*(1-e^{-\alpha(1+\lambda)t})}{\alpha(1+\lambda)^2} \right]$$

其中:

$$\lambda = \frac{a}{a_y}; a = \frac{T}{S}; a_y = \frac{T}{S_y}$$

$S$  为弹性储水系数;

$T$  为导水系数;

$S_y$  为疏干延迟储水系数;

$\alpha$  为延迟指数;

讨论:

当  $a(1+\lambda)t < 0.1$  时,有  $R_{(t)} \approx 8at$ ;

当  $a(1+\lambda)t > 5$  时,有  $R_{(t)} \approx \frac{8at}{(1+\lambda) + a\lambda/\alpha(1+\lambda)^2}$ ;

由以上公式知,影响半径与弹性储水系数  $S$ ;是承压层的导压系数  $a$ ;导水系数  $T$ ;疏干延迟储水系数  $S_y$  抽水历时  $t$  和延迟指数  $\alpha$  有关,当  $a$ 、抽水历时  $t$ 、延迟指数  $\alpha$  增大时,则影响半径  $R$  也变大。

## 3.影响半径的确定方法

生产实践表明,抽水的影响范围是随时间  $t$  的延长、流量  $Q$  的增加而扩大的,不可能把抽水的影响范围限定在一个“半径”内。同时,在天然条件下,降落漏斗多不对称,边界也不明显,单井抽水影响范围实际上不是一个圆,不能简单地用一个“半径”来确定。因此,影响半径的确定问题成为重要的研究内容。目前确定影响半径的方法主要有如下几种。

### 3.1 无观测孔

#### 3.1.1 不考虑地下水流向

$$\text{潜水完全井: } \lg R = \frac{1.366K(2H-s_0)s_0}{Q} + \lg r$$

$$\text{承压井完全井: } \lg R = \frac{2.73KM_s_0}{Q} + \lg r$$

式中:

$Q$ —抽水量,亦称涌水量 ( $\text{m}^3/\text{d}$  或  $\text{L/s}$ );

$H$ —抽水前原始水位,亦称静止水位 ( $\text{m}$ );

$R$ —抽水补给半径 ( $\text{m}$ );

$r$ —抽水井(孔)半径 ( $\text{m}$ );

$M$ —含水层的厚度 ( $\text{m}$ );

$K$ —渗透系数 ( $\text{m}/\text{d}$ );

$s_0$ —井内水位下降值,简称水位降深或降深 ( $\text{m}$ )。

#### 3.1.2 考虑地下水流向

##### 3.1.2.1 承压含水层

地下水上游方向

$$R_1 = re^{a+1}$$

地下水下游方向

$$R_2 = re^{a-1}$$

地下水流向垂直方向

$$R_3 = re^a$$

式中:  $e$ —自然对数的底数;

$$a = \frac{2\pi K M s_0}{Q} = \frac{2\pi K M}{q}$$

从上可知,抽水时井的降落漏斗为椭圆形,三者之间的关系为  $R_1 = 7.3R_2 = 2.7R_3$ 。

### 3.1.2.2 潜水含水层 $R=re^B$

$$\text{式中 } B = \pi K (2H - s_0) s_0 / Q = \frac{\pi K (2H - s_0)}{q}$$

### 3.1.2.3 经验公式<sup>[2]</sup>

承压含水层:  $R = 10s_0 \sqrt{K}$  (集哈尔特公式)

潜水含水层:  $R = 2s_0 \sqrt{K}$  (库沙金公式)

式中:  $H$ —含水层的厚度(m)。

## 3.2 有一个观测孔

3.2.1 承压含水层:  $r_0 \leq r \leq 0.178R$  时

$$\lg R = \frac{s_0 \lg r_1 - s_1 \lg r}{s_0 - s_1}$$

3.2.2 潜水含水层:

$$\lg R = \frac{s_0 (2H - s_0) \lg r_1 - s_1 (2H - s_1) \lg r}{(s_0 - s_1) (2H - s_1)}$$

式中  $r_1$ —抽水井至观测孔之间的距离(m);

$s_1$ —观测孔内水位下降值(m)。其他符号同上。

## 3.3 有两个或两个以上观测孔

3.3.1 承压含水层

$$\lg R = \frac{s_1 \lg r_2 - s_2 \lg r_1}{s_1 - s_2}$$

3.3.2 潜水含水层

$$\lg R = \frac{h_1^2 \lg r_2 - h_2^2 \lg r_1}{h_1^2 - h_2^2}$$

式中:  $s_1, s_2$ —在  $s-\lg r$  曲线上任意两点的水位下降值(m);

$h_1^2, h_2^2$ —在  $h^2-\lg r$  曲线上任意两点的纵坐标值(m);

$r_1, r_2$ —是  $s(h^2)-\lg r$  曲线上,纵坐标为  $s_1, s_2$  或  $h_1^2, h_2^2$  的两点到抽水井的距离。

## 3.4 图解法确定影响半径

### 3.4.1 浸润曲线外推法

在制图纸上,将主井抽水时,最大一次水位下降稳定后,测得的主井及各观测井的稳定水位绘在图纸上,以光滑的曲线按自然趋势连接,并外推使其与自然水位线相交于一点,该点至抽水井的距离,即为影响半径。

### 3.4.2 $s-\lg r$ 直线交汇法

此方法需要观测孔不少于三个。在半对数纸上,按抽水至观测孔距离标出抽水井,观测孔位置,然后根据抽水同一时刻测得的抽水井和观测孔的稳定水位,点在图上。其观测孔各点连线,应为直线,并将各条直线外推,与  $r$  轴交与一点,此点的值即为影响半径。

## 4. 结合抽水实验举例说明影响半径的确定方法的应用

### 4.1 抽水试验概况

由于自然界含水层空间分布均匀性很差,且抽水时流量多呈变量,常用的理论公式求参,其计算值和实际值相差较大。为此,抽水试验为多落程的稳定流抽水实验。研究水井的出水能力,测定水文地质参数,以抽水井为中心,平行地下水流动方向布置了一组观测。抽水实验是水文地质勘察中的重要环节,随着勘察阶段的深入,其在整个勘察中所占的比重与地位也随之突出。抽水实验的主要目的是测定含水层的水文地质参数,为资源评价与取水构筑物设计提供依据。同时,利用抽水实验对勘察区域或整体神流场的人工激发,达到揭示水文地质条件的目的。本实验采用单孔抽水实验,即只在一个孔内进行抽水,而在抽水井的周围又布置有一个或若干个观测孔,可以了解含水层的水文地质参数,从而确定影响半径的大小,降落漏斗的形状及扩展情况。

#### 4.1.1 抽水实验的过程及方法

用多孔抽水试验资料计算参数的主要问题是如何确定出符合稳定流计算公式的适用段、三维流是否存在的判别和修正、计算数据的选用等。为求得可靠的水文地质参数,避免或减少抽水产生的三维流

的影响,稳定流求参宜采用小降深抽水。抽水试验稳定时间的长短,直接关系到抽水实验的质量和资料的利用。本次抽水稳定时段为 24 小时以上及以最近处观测孔的水位达到稳定为标准。为了解整个试验进行情况,先分别整理编制  $Q-S-T$  过程曲线,主孔、观测孔水位下降历时曲线,  $Q=f(s)$  关系曲线,  $Q=f(q)$  关系曲线,见图 1、图 2。

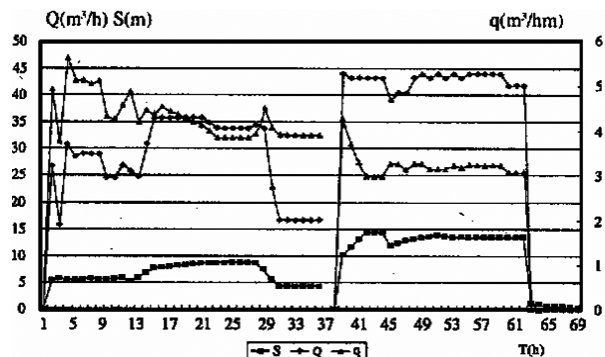


图 1  $Q, S, q$  历时关系曲线图

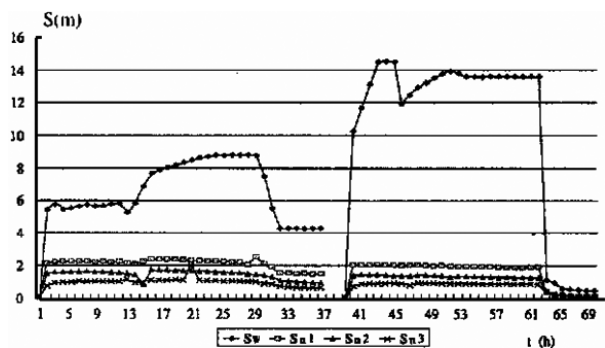


图 2 抽水井、观测孔水位历时变化曲线

## 4.2 水位流量变化的分析

水位和流量变化的关系,反映了试验区水文地质基本特征。通过对两个阶段的抽水过程的图示发现,各井、孔的水位降基本呈规律性变化;在第一阶段的前 24 小时以内,抽水井水位降变化较小,井流量  $Q$  和单位降深流量  $q$  变化相对较大,这说明水文地质条件中介质的不均匀性存在; $Q$  和  $q$  的起伏变化规律基本相同,也符合一般潜水井的抽水降变化规律。中后期及到第二阶段,  $Q-S-q$  的变化规律和第一阶段相比显著增强,第二阶段,较大流量的开采,井水位降增大显著,而  $q$  有所少。事实上,若以有限的降深获得足够的  $q$ ,在经济上、技术上才是比较合理的。随距主井距离的增大,观测孔水位降深幅度依次减小,特别注意的是,在恢复过程中  $N$  孔水位降出现负值,说明在某一时刻  $NW$  方向某些部位有一定的补给量,强度大于该位置疏干强度,但不同部位有所差异。

## 4.3 引用补给半径的确定

根据稳定流井流理论,抽水时观测孔的水位降深  $S$  和观测孔到主井的距离的对数  $\lg r$  存在一定的关系,据此,可以用作图法确定影响半径。经过指数函数拟合发现,当流量分别为 26.74、38.98、43.77、53.92  $m^3/h$  时影响半径  $R_y$  和主井降深的关系式依次是:

$$R_y = 185.139e^{-2.700S}$$

$$R_y = 192.311e^{-2.931S}$$

$$R_y = 214.441e^{-3.735S}$$

$$R_y = 222.019e^{-3.091S}$$

观察和计算易知,不同流量的  $S-\lg r$  拟合曲线在  $S=0$  时分别交  $r$  于 185m、192m、214m 和 222m 处。这一结果正好说明,随着抽水量的不断增大,抽水井的影响半径将处于相应增大,研究范围内影响半径可以相对的视为常数。

## 4.4 结果分析

消减误差,经过线性、抛物性、指数性、幂函数性的拟合发现,在不考虑极端条件时,  $Q-S$  有两条比较接近的拟合曲线:

$$Q = 43.77 \ln S - 10.882$$

(1)

(下转第 178 页)

先生的覆辙。

#### 6. 外语教学的地位

前已述及,外语是一种工具,主要是一种交流的工具。

我们为什么举国学英语?这个问题是不应该提出的,因为大多数人都知道答案——因以英语为母语的美英等国有我们需要学习的先进的科学技术。当然有人会说是交流的需要。但是汉语作为世界上运用人口众多的语言之一,有很多别的国家举国学习的例子吗?当然也不排除有少数人学英语是为了要溶入某一个以英语为母语的国度里。

既然我们学习英语的主要目的是为学习别人比我们先进的东西,就应该粗略的衡量一下我们为此付出了多少学费。

据 1998 年有关统计资料,全国高中阶段教育在校学生共 2445.5 万人。初中毕业升学率为 50.7%,在校初中学生人数应约为 4823.5 万人。合计全国中学阶段教育在校学生共约 7269 万人。2003 年全国高校毕业生总数为 212 万人,据此估算在校人数约为 850 万人。

若按中学阶段学生投入英语学习的精力为六分之一,折合学生数约为 1200 万人。每生每年需花费按 3500 元计算,约为 420 亿元。大学阶段按本科四年计算,只考虑第一和第二学年学习英语,并且投入精力为四分之一,折合学生数约为 106 万人。每生每年需花费 7000 元计算,约为 75 亿元。

合计每年中学和普通高校阶段全国学生为学英语需花费近 500 亿元。若在计入城市小学阶段的三年、课外辅导班、研究生阶段以及建立英语教师队伍等等的费用,保守的估计全国每年花在英语学习上的费用应该达 600 亿元人民币。

这还不算为追求论文“三大检索”率的投入。我们在国内发表论文,用中文发表的都要附上英文摘要,甚至全篇都要译成英文发表在英文版上。这也是一种扭曲了的极不正常的状态。正常的应该是由

文献的索取者去克服语言的障碍。现在克服语言障碍的主体却变成了文献的提供者。我们为此付出了很多,由此得到的回报又有多少?!得到的回报当中除了一文不值的名还剩几何?!

过若干年之后如果我们不再举国学英语的时候回过头来看这一景象会有何感想?如果能够把每年 600 亿的包袱抛给别的国家该多好啊!

要把外语的定位搞准确,不可偏颇。要把外语学习与专业课学习的关系搞清楚,不可颠倒。如果仅仅为外语而学习外语,近者不能使外语真正成为学习世界先进科学技术的工具,远者我们也永远无法摆脱在语言方面被不断掠夺的困境。

#### 7. 结语

大学的教育对象主要是成年人,所以教育手段应该是以引导为主,塑造为辅;素质教育的具体体现应该是政治素质和能力的培养,以及专业知识的灌输;学校教师是处于主导地位,学生素质的提高是最终目标;课堂是学校教育活动的主要场所,课堂教学是学校教学活动的主要环节,和谐课堂的构建是实现素质教育的主要平台;考试环节的地位应正确认识,考试是唯一衡量也仅仅是衡量该门课程结业资格的手段;本科教育有其独立的具体的教育目标,也是研究生教育的基础;外语是交流的一种工具,其教学的地位应适当。

作者简介:李占松(1965—),男,河南长葛人,博士,郑州大学水利与环境学院副教授,主要研究方向为计算水力学及工程水力学,也从事湍流理论及科学哲学方面的研究。

[责任编辑:张艳芳]

(上接第 183 页)

```
(if(= (rem pline-type 2) 0) (setq flag "open") (setq flag "close"))
(setq new-datlst (add-new flag ptt-be-lst ptt-lst)); 将输入点加入原
实体坐标列表
...
(if (assoc -3 ptt-be-dat) (setq one (reverse (cons (assoc -3 ptt-be-dat)
(reverse one))))
(entmod one); 加入扩展数据
(command "pedit" (entlast))
(if (or (= pline-type 2) (= pline-type 3) (= pline-type 130) (= pline-
type 131)) (command "f"))
...
(command "linetype" "s" "continuous" "")
(command "osmode" 0)
)
赋值完毕后得到的等高线就是连续平滑。
```

#### 4. 结论

利用上述方法开发的转换工具,基本可以实现 AUTOCAD 图形文件中等高线的批量修改。根据不同原因造成的不同类型等高线间断、不平滑采用不同的方法连接更好的效果。通过程序对间断采用批量赋值,对错误的等高线进行快速修改。

#### 【参考文献】

- [1] 黄雪莲, 胡鹏. 一种改进的等高线断点连接方法[J]. 测绘科学, 2006, (1): 111.
- [2] 张宝雷, 宋孟强, 周万村. 棕片地形图上等高线的自动提取和批量赋值[J]. 测绘科学, 2006, (4): 81-83.
- [3] 严蔚敏, 吴增民. 数据结构[M]. 清华大学出版社, 1997.4.
- [4] 梁雪春, 宋德明. AUTOCAD 2002. 二次开发技术指南[M]. 清华大学出版社, 2001.

作者简介:曹学伟(1974—),男,山东新泰人,山东科技大学大地测量系讲师,研究方向:大地测量、工程测量。

[责任编辑:田瑞鑫]

(上接第 185 页)  $Q=26.74-0.85$  (2)

同样  $q-S$  拟合曲线也有两条:

$$q=8.423e^{-0.03895S} \quad (3)$$

$$q=-0.345S+5.221 \quad (4)$$

按点据分布的均匀性和均方差最小原则,最后选取(1)、(3)两式为最佳拟合曲线。

#### 5. 结语

5.1 由于利用多孔抽数实验资料确定水文地质参数手井损值的影响而使所求成果存在一定的误差,而井损值有直接与井的抽水量、滤管半径及结构、井内水位降深、泵头安装位置及含水层地质条件的复杂性、含水层的不均匀性和各向不同一性等因素有关。

5.2 本文从渗流基本微分方程推求影响半径与各种渗流参数之间的函数关系,揭示了影响半径的本质影响因素,使人们能够更好地理解和分析供水半径的确定方法。而且本文还结合具体抽水实验,利用

Dupuit 完整井流量计算公式确定抽水影响半径的值。通过对实验资料结果分析和理论计算结果比较,其精度和误差符合工程实际要求。因此此法对于地质勘探、地下水资源评价、地下水开发利用有一定的使用价值。但是,由于作者的水平有限,本文难免出现不少的错误,我们热切希望同行专家、学者对本文提出宝贵意见,推动地下水事业的飞速发展,为我国四化建设作出贡献。

#### 【参考文献】

- [1] 刘兆昌等编著. 供水水文地质. 第三版. 北京: 中国建筑工业出版社. 1998: 97-99
- [2] 邓英尔等编著. 高等渗流理论与方法. 北京: 科学出版社, 2004

作者简介:马俊(1986—),男,安徽阜阳人,本科,水利水电工程专业。

[责任编辑:张慧]