

# 井损对水文地质参数计算的影响

高海东

(内蒙古自治区第二水文地质工程地质勘察院,内蒙古 鄂尔多斯 017000)

**摘要:**通过分析抽水试验过程中井损产生的原因及确定方法,运用水位动态变化过程中的井损计算方法,对乌兰陶勒盖水源地 WL6 号孔的抽水试验资料的井损计算程序进行了说明,并提出了该水源地理想降深与实际降深的经验公式。利用 AQUI TEST 软件,分别计算了忽略井损和考虑井损两种情况下潜水(承压水)抽水井渗透系数及给水度(贮水率),从计算结果来看,计算井损、修正降深所得的各参数的值要比不考虑井损的值大;井损对潜水的抽水试验资料的影响要比承压水的大。

**关键词:**水文地质参数;抽水试验资料;井损计算;修正降深;影响;乌兰陶勒盖

中图分类号:P641.2

文献标识码:A

## Well Loss Impact on Hydrogeological Parameter Computation

Gao Haidong

(The Second Hydrogeological and Engineering Geological Exploration Institute of Inner Mongolia, Ordos, Inner Mongolia 017000)

**Abstract:** Analyzed the causation and determination of well loss in pumping tests, through the use of well loss computation method in water level dynamic changing process, illuminated the Ulan Tolgoi water head site WL6 borehole pumping test data well loss computation program and worked out an empirical formula of theoretical and measured drawdown acceptable for the water head site. Through the use of AQUI TEST software computed phreatic water (confined water) pumping well permeability coefficients and specific yields (specific storages) under both well loss ignored and considered two conditions. From the results, parameters from well loss considered thus drawdown amended are larger than from well loss ignored; well loss impact to phreatic water pumping test data is larger than to confined water.

**Keywords:** hydrogeological parameter; pumping test data; well loss calculation; drawdown amending; impact; Ulan Tolgoi

## 0 前言

水文地质参数的计算,是地下水资源评价中的一项重要研究内容,其计算结果的精度将直接影响水资源评价结果的可靠性。在工作中常常可根据抽水试验资料,利用裘布衣公式来计算水文地质参数,但由于试验数据中测得的水位降深是理论降深与井损的总和,所以对计算出来的水文地质参数的精度就大打折扣了。为了使计算的水文地质参数更贴近实际,设法扣除井损成为一个不容忽视的任务。曾有学者在数值模拟中,通过调整抽水井所在均衡单元的含水层渗透系数(K)或给水度( $\mu$ )对井损值进行模拟,该方法既省去了求取井损值的工作量,又避免了因井损值误差而导致预报结果不准确的

问题。本文从井损产生的原因、确定方法,并结合实例,来计算分析井损对水文地质参数计算的影响。

## 1 井损的分析

### 1.1 井损的产生

井损,也称水跃值,它是在抽水过程中必然发生的,且随出水量或降深的增加而增大,是客观存在的。但在裘布衣(Dupuit)稳定渗流完整井出水量计算公式中,并没有考虑这一值的存在。也就是说, Dupuit 公式仅考虑了含水层的水头损失,而没有考虑水流在通过过滤器进入井内并向上运动到井口时的水头损失,即井损。在生产实践和理论研究中发现,抽水井中的动水位( $h_w$ )与同时期井壁外含水层中的地下水位( $h$ )之间往往存在着一定的差异,即井损(图1)。

水头损失通常包括四个部分<sup>[1]</sup>:

- ①水流通过过滤器时产生的水头损失;
- ②水流穿过过滤器时,由接近水平的运动变为

**作者简介:**高海东(1968—),男,高级工程师,1992年毕业于吉林省长春地质学院水工系水文地质与工程地质专业,长期从事水文地质与工程地质、环境地质方面的工作。

收稿日期:2009-10-24

责任编辑:樊小舟

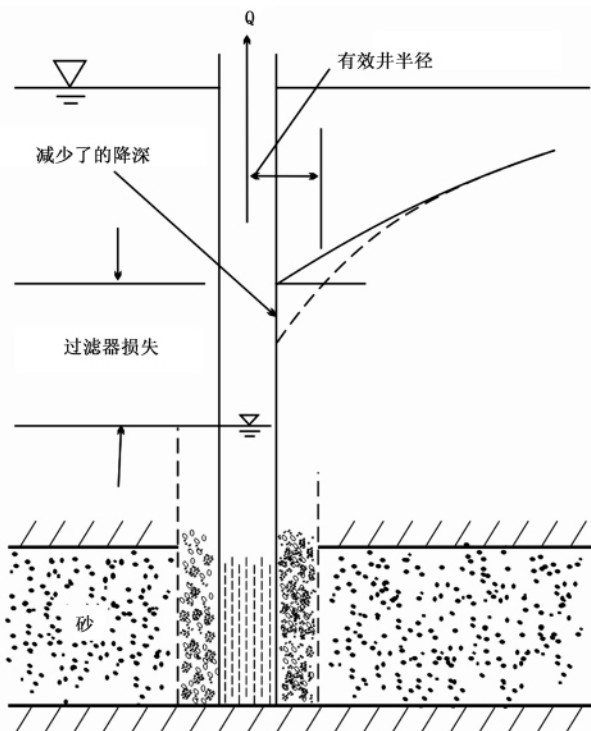


图 1 含水层中井水位降深示意图

Figure 1 A schematic diagram of aquifer well groundwater level drawdown

水管内的垂向运动,因水流方向偏转所产生的水头损失;

③水流在滤水管内向上运动时,不断有水流入井内,因流量和流速不断增加所引起的水头损失;

④水流在井管内向上运动至水泵吸水口的沿程水头损失。

尽管 Jacob 早已提出抽水试验中存在井损,但通常利用井水位降深资料计算水文地质参数时多没有考虑井损值的影响。由于井中水位降深大于含水层的水位降深,由此计算的参数结果与其真实值相差较大。如利用裘布依公式计算参数时就没有考虑井损值的影响,导致在抽水井附近实际漏斗曲线高于裘布依理论曲线,这必定造成计算出的水文地质参数偏小,影响地下水资源的准确评价与合理开发。正确求取各水文地质参数是合理评价地下水可采资源量的首要前提,因此,利用抽水井水位降深资料计算水文地质参数时,需考虑抽水井井损值的存在。

## 1.2 确定井损的方法

目前分析阶梯降深抽水试验数据,以便确定水文地质参数的方法,都需要假设含水层是均质的。但实际工作中,各含水层都存在着不同程度上的非均质性的,由这种非均质性引起的假设,必然导致试验的计算结果有偏差,而偏差的多少及所占比例至今

还未能完成从定性到定量的跨越。

### 1.2.1 计算井损的传统方法

C.E.Jacob 于 1947 年提出确定井损的方案,认为总降深可由理论降深和井损两部分求和得到:

$$S = S_w + CQ^2 \\ = BQ + CQ^2,$$

式中  $B$  为理论降深系数、 $C$  为井损系数<sup>[2]</sup>。

井损值  $\Delta S = CQ^2$ 。

之后的专家和学者提出有些不同的观点,主要是对井损表达式  $CQ^2$  中的指数存在异议, M.I. Rorabangh 于 1953 年提出更为一般的形式:

$$S = S_w + CQ^n \\ = BQ + CQ^n,$$

式中  $n$  值围绕 2.5 上下波动,抽水量很小时除外;迄今为止,都假定井半径  $r_w$  的大小对抽水井的降深影响不大,这主要是指  $B$  值,但对  $C$  值是有相当影响的。因为水在井内的流速同井管截面积大小有关,而截面积又和井半径的平方成正比,所以井半径对井损有较大的影响。

### 1.2.2 基于抽水试验中水位动态变化过程的井损计算方法

主要依据三个落程的单孔稳定流抽水试验资料。

计算步骤如下:

①观测阶梯降深抽水的各阶段的数据,并选择、确定降深随时间均匀平稳增加的部分,在半对数坐标纸上绘制出经过这些点的最佳拟合直线。其中时间为对数轴,降深为纵轴;

②将降深随时间平稳变化而确定的直线延长,与纵轴相交,读出平稳变化的直线在初始时刻对应的数值,即为第一试段抽水的井损值;

③计算各阶段井损的增加量。以第二阶段为例:该阶段中降深开始平稳下降时对应的降深,与第一阶段在此时刻总降深的差值,为第二阶段的井损增加量。

因此,抽水试验各阶段井损值的计算过程如下:

第一阶段抽水的井损  $= \Delta s_1$ ;

第二阶段抽水的井损  $= \Delta s_1 + \Delta s_2$ ;

第三阶段抽水的井损  $= \Delta s_1 + \Delta s_2 + \Delta s_3$ ;

故抽水过程的理论降深为:

第一阶段的理论降深  $= a - \Delta s_1$ ;

第二阶段的理论降深  $= a + b - (\Delta s_1 + \Delta s_2)$ ;

第三阶段的理论降深 $=a+b+c=s-(\Delta s_1+\Delta s_2+\Delta s_3)$ ;  
其操作的具体步骤可参照图 2。

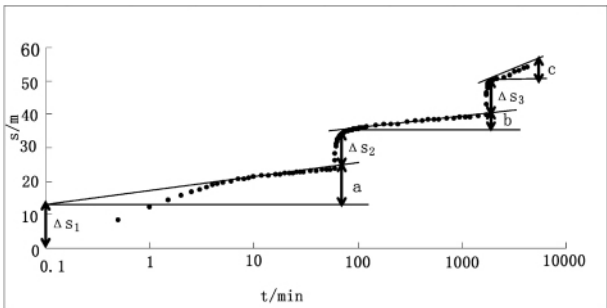


图 2 确定井损的示意图

Figure 2 A schematic diagram of well loss determination

从以上的理论分析不难发现,通过各阶段的定流量抽水就能确定出各自产生的井损,进而得到各阶段抽水所对应的理论降深,这与泰斯理论是相符合的;另外,得到的各阶段理论降深在半对数坐标轴上呈一条直线:在降深变化速度稳定之前,降深包含井损和含水层降深两部分;降深平稳上升后,即在半对数坐标纸上,降深开始呈直线状态上升的时刻之后,仅反应了含水层降深的变化。

## 2 井损的具体计算

下面以2008 年勘查过的乌兰陶勒盖水源地的WL<sub>6</sub>的抽水试验数据为例,说明井损值求取的具体过程。

表 1 中,S 表示总降深,Δs 是各阶段抽水时产生的井损,井损表示各流量抽水产生的总井损。

表 1 WL<sub>6</sub> 各试段抽水的井损与理论降深计算结果

Table 1 Well loss and theoretical drawdown computed results of each testing section in WL6 borehole

试段	$Q/m^3 \cdot d^{-1}$	$S/m$	$\Delta s/m$	井损/m	理论降深/m	井损所占比例/%
WL <sub>6 潜</sub>	392.26	1.07	0.31	0.31	0.76	28.97
	840.68	2.55	0.52	0.83	1.72	32.55
	1 080.00	3.92	0.29	1.12	2.8	28.57
	496.45	18.85	1.75	1.75	17.10	9.28
WL <sub>6 承</sub>	654.93	30.42	0.91	2.66	27.76	8.74
	855.73	46.26	0.52	3.18	43.08	6.87

对表 1 的计算结果进行分析,可以看出:

- ①井损在抽水试验中确实存在;
- ②井损在井水位降深中占较大比例,可占三分之一以上;
- ③随着降深的增大,井损值增大;
- ④井损在井水位降深中占的比例,承压水井要比在潜水井中小得多。

因此,在实践中,在处理抽水试验数据时,为提高水文地质参数计算结果的准确性,须考虑井损问题。

利用该水源地的 14 个单孔三个落程的稳定流抽水试验资料,分别计算出井损和扣除井损后的降深值,并由此建立扣除井损后的降深(理论降深)和实测降深之间的相关曲线,如图 3 所示。

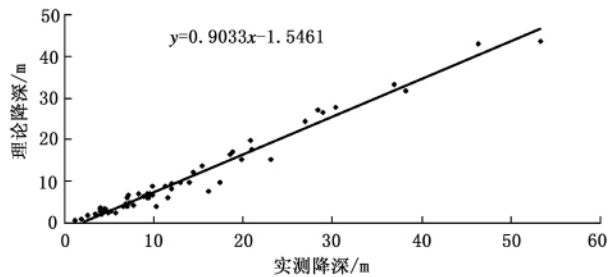


图 3 扣除井损后的降深和实测降深之间的相关图

Figure 3 Relation between theoretical drawdown and measured drawdown

根据所建立的相关曲线,得出两者的相关方程为:

$$\text{理论降深} = 0.9033 \times \text{实际降深} - 1.5461$$

对无三个落程抽水试验资料的钻孔,可将实测降深代入相关方程,近似计算出扣除井损后的降深值,即理论降深值。

另外,我们在对 WL<sub>21</sub> 号孔进行三个落程稳定流抽水试验中,专门进行了水跃值(井损)观测,下表(表 2)是实际观测资料和计算值的对比。

表 2 计算井损与实测井损对比

Table 2 Contrast of computed and measured well losses

孔号	$Q/m^3 \cdot d^{-1}$	降深 $S/m$	实际井损/m	计算井损/m	计算误差/%
WL21	1 328.12	3.55	1.98	1.89	+4.52
	2 296.47	6.42	2.28	2.17	+4.82
	4 694.25	13.15	2.97	2.82	+5.06

通过对上表的计算结果分析,可以看出:计算的井损值与实测值接近,误差很小,大都在 5% 以内,说明用这种方法计算井损值切实可行,具有较强的实用性。

## 3 井损对水文地质参数计算的影响

在明确井损的计算方法的基础上,扣除降深中的井损部分,可得出每个钻孔抽水过程中引起的理论降深随时间变化的关系。利用 Aqvi Test 软件分别计算忽略井损、考虑井损两种情况下的潜水抽水井的渗透系数、给水度及承压水抽水井的渗透系数、贮

水率,具体各参数大小及前后的差异详见表 3、表 4。

表 3 潜水含水层的水文地质参数值

Table 3 Hydrogeological parameters of phreatic aquifer

潜水 分区	初值		修正	
	$K/m \cdot d^{-1}$	$\mu$	$K/m \cdot d^{-1}$	$\mu$
	1.00	0.01	1.21	0.05
	0.80	0.12	1.20	1.50
	1.20	0.13	0.14	0.15
	4.00	0.25	4.56	0.31
	1.80	0.16	3.52	0.16
	2.50	0.21	5.24	0.24
	2.80	0.22	6.35	0.25
	1.70	0.15	3.68	0.27
	3.00	0.23	4.26	0.25
	3.20	0.24	4.21	0.25

表 4 承压含水层的水文地质参数值

Table 4 Hydrogeological parameters of confined aquifer

承压水 分区	初值		修正	
	$K/m \cdot d^{-1}$	$\mu^*/\times 10^{-4} \cdot m^{-1}$	$K/m \cdot d^{-1}$	$\mu^*/\times 10^{-4} \cdot m^{-1}$
	1	8.0	1.21	8.5
	0.20	0.4	0.22	0.5
	0.50	0.3	0.62	0.3
	0.13	0.5	0.15	0.6
	0.52	3.5	0.55	4.0
	0.52	3.5	0.58	3.8
	0.52	3.5	0.58	3.6
	0.80	0.4	0.86	0.5
	0.80	0.3	0.86	0.4

从表中可以看出,计算井损、修正降深所得到的各参数值要比不考虑井损所求得各参数值要大,且与数学模拟求得的结果更贴近,进一步证实了井损对水文地质参数的影响,以及计算井损的必要性。

(上接第 16 页)

## 5 结论

①区内侵入岩属浅成岩,以闪长岩及煤层、花岗岩为主;岩浆多以岩床的形式侵入煤系地层,岩床层数以单层较多,厚度 1m 左右。

②岩浆直接侵入煤层或沿煤层顶、底板侵入。垂向上,从上部煤层到下部煤层受岩浆影响的程度逐渐增强;横向上,从西向东岩浆侵入范围增大。

③本区岩浆侵入的深部通道为 NWW—NW 向的  $F_{201}$  断层带和明龙山断层带;浅部通道多为二者 NE 向和近 EW 向的附生断层,这些断裂构造控制着该区的岩浆活动。

④岩浆侵入煤层严重破坏了煤层的结构和完整性,同时,对煤质也产生了很大影响,降低了煤的工

但相对承压水含水层来说,井损对其水文地质参数的影响较小。

因此,在实践中,抽水试验应该考虑井损的存在,直接套用 Dupuit 公式计算的水文地质参数值是不正确的,均比实际的值要偏小,并且偏小的程度也不一样。对于承压水来说,其抽水试验关系曲线  $Q \sim S$  的曲率一般很小,近似呈直线,说明井损对抽水资料的影响较小,在计算精度要求不高的情况下可以忽略,可直接套用 Dupuit 公式计算水文地质参数值;但对于潜水来说,其抽水试验关系曲线  $Q \sim \Delta h_2$  的曲率一般很大,呈曲线,说明井损对抽水资料的影响较大,这时就不能直接套用 Dupuit 公式计算水文地质参数值了。

## 参考文献:

- [1] 薛禹群,朱学愚.地下水动力学(第二版)[M].北京:地质出版社,1997.
- [2] Jacob C E. Drawdown test to determine effective radius of artesian well[J]. Transactions of ASCE112, 1947: 1047-1070.
- [3] 高海东,汪丽芳.内蒙古自治区乌审旗乌兰陶勒盖水源地下水地质详查报告[R].内蒙古 鄂尔多斯 内蒙古自治区第二水文地质工程地质勘察院,2008.
- [4] 刘猛,束龙仓,刘波.地下水数值模拟中的参数随机模拟[J].水利水电科技进展,2005,25(6):25-27.
- [5] 洪乃静,胡建刚.潜水含水层井损计算方法探讨[J].陕西地质,1994,12(1):76-81.
- [6] 曹剑峰,迟宝明,王文科,等.专门水文地质学[M].北京:科学出版社,2006.
- [7] 鄂春勇,潘树仁,潘邦君.基于图解技法的井损参数求解[J].江苏煤炭,2003,(01).

业利用价值,加大了开采难度。

## 参考文献:

- [1] 韩树葵.两淮地区成煤地质条件及成煤预测[M].北京:地质出版社,1990:8-10.
- [2] 黄维清,周俊杰,郑荣华.济宁煤田金乡矿区岩浆活动及对煤层煤质的影响[J].中国煤田地质,2007,19(5):16-17.
- [3] 赵志根,唐修义,黄文辉,等.祁东煤矿岩浆侵入特征的研究[J].中国煤炭地质,2009,21(1):27-29.
- [4] 范士彦,谢波.宁阳汶上煤田岩浆岩特征及对煤层煤质的影响[J].中国煤田地质,2000,12(4):15-17.
- [5] 佟德文,王立君.南票煤田三家子井田侵入岩特征及期限对煤层影响程度分析[J].中国煤炭地质,2009,21(10).
- [6] 刘锦,王宇林.铁法矿区侵入岩特征及侵入机制[J].中国煤炭地质,2009,21(9).