

应用气压、暴雨标定地下水位的应力格值及其意义

随着地下水动态观测工作的开展以及观测仪器的改进,在不少井孔的观测中,观测到了由气压变化、急剧降水引起地下水位的变化现象。此现象一般称为“气压效应”和“暴雨效应”^{*(1-5)}。笔者认为,研究气压效应及暴雨效应有更广泛的意义。例如,应用气压效应及暴雨效应来确定井孔地下水位的应力格值将有助于对井孔地下水的基本特征的认识,有益于地震预报。

1. 气压效应、暴雨效应的机理分析

气压变化及急剧降水可以引起地下水位的变化,其原因一般可归结为:气压变化及急剧降水可以在较大范围内改变地表的负荷情况,进而影响地下承压含水层内的水压,从而导致地下水位的变化。

(1) 含水层内水压与水位的关系

由静水力学可知,地壳内部承压含水层的水压和井孔液面的大气压是影响地下水位的基
本因素,按静水力学的基本方程有:

$$P = P_0 + P' \quad (1)$$

式中 P 为含水层内的全压力; P_0 为大气压力; P' 为超压力(又称余压力)。

超压力 P' 可表示为:

$$P' = rh \quad (2)$$

式中 r 为液体比重,水的比重为1克/厘米³, h 为液柱高度。

由(1)、(2)式可知,每当含水层内水压变化1巴时,水位变化约10米左右,这一定量关系适合于各种承压井孔。

(2) 构造应力与含水层内水压的关系

含水层内的压力与构造应力之间存在着一定关系,但这种关系是比较复杂的,并且只有水位变化是张压机制的情况下才能确定。文献[6]曾经讨论过这一问题,即构造应力变化引起封闭地下水力系统内的水压变化有如下关系式:

$$\Delta H \approx 5 \frac{\beta_{s,e}}{\beta_{s,r}} \cdot \Delta \sigma_1 \quad (3)$$

(3)式的含义是:由构造应力引起封闭地下水力系统的折算水位差 ΔH 与岩体球形应力张量的增量 $\Delta \sigma_1$ 和含水层的混合体积压缩系数 $\beta_{s,e}$ 成正比,与地下水体积的压缩系数 $\beta_{s,r}$ 成反比。据文献[5]的初步估算,在 $\Delta \sigma_1$ 变化1巴时,可引起地下水位的变化量约为5米。显然这是一个近似值。实际上,由于各井孔的水文地质条件等不同,这一数值将有所不同。此外,在已知 $\Delta \sigma_1$ 和 ΔH 的情况下,应用公式(3)还可求得 $\beta_{s,e}/\beta_{s,r}$ 。而 $\beta_{s,e}/\beta_{s,r}$ 是反映井孔

基本特征的一个量。

(3) 气压变化及暴雨引起的附加应力场

在某一区域内,气压发生变化或急剧降水可对地壳产生一定的附加应力场。若假定地壳是均匀的连续介质,则气压变化及暴雨引起的附加应力场可以应用弹性力学中的布希涅斯克问题计算。计算结果表明,这种附加应力场随着深度增加而衰减。这一结果可以用来估计气压、暴雨附加应力场在含水层处的应力状态。

如图所示,若井孔外的地表降了暴雨,降水量为1毫米,此时地表受到的垂直静压力为 ΔP_1 ,在井深为A的含水层处,垂直应力衰减为 $\Delta P'_1$ 。令衰减系数为 K_1 ,则有:

$$\Delta P'_1 = K_1 \cdot \Delta P_1 \quad (4)$$

由于 $\Delta P'_1$ 的作用,含水层水压可引起一增量 ΔP ,据公式(3)则有:

$$\Delta P = -5 \frac{\beta_{s.}}{\beta_s} \cdot \Delta P'_1 \text{ 或 } \Delta P = K_2 \cdot \Delta P'_1 \quad (5)$$

将(4)式代入(5)式有:

$$\Delta P = K_1 \cdot K_2 \cdot \Delta P_1 \quad (6)$$

由(6)式可知,地表降水引起的垂直作用力是经过两种衰减后才影响含水层水压,然后导致水位上升。(6)式中衰减系数 K_1 主要与井深、降水范围有关,而 K_2 则决定于 $\beta_{s.}$ 及 β_s 。

气压效应的机理与暴雨效应的机理是有差别的。气压变化不仅是井孔外的地表受气压变化而产生附加应力场,同时井孔液面也受到了气压变化的作用。若令气压变化为 ΔP_0 ,则含水层水压受到了两方面的影响:

a. 井孔外气压变化对含水层水压的影响

仿暴雨效应的分析有:

$$\Delta P_{\text{外}} = K_1 \cdot K_2 \cdot \Delta P_0 \quad (7)$$

b. 井孔内气压变化对含水层水压的影响有:

$$\Delta P_{\text{内}} = \Delta P_0 \quad (8)$$

据公式(7)、(8),考虑到 ΔP_0 总是大于 $K_1 \cdot K_2 \cdot \Delta P_0$,此时公式(1)将有:

$$P + K_1 \cdot K_2 \cdot \Delta P_0 = P' - \Delta P' + P_0 + \Delta P_0 \quad (9)$$

(9)-(1)有:

$$K_1 \cdot K_2 \cdot \Delta P_0 = -\Delta P' + \Delta P_0$$

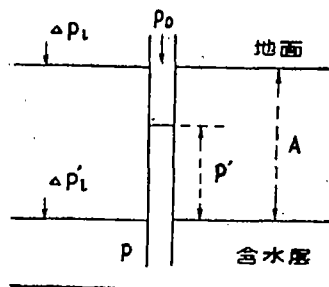
$$\text{或} \quad \Delta P' = \Delta P_0 - K_1 \cdot K_2 \cdot \Delta P_0 = (1 - K_1 K_2) \Delta P_0 \quad (10)$$

公式(10)是气压效应的数学表达式,它与暴雨效应表达式(6)是不同的。

2. 地下水位应力格值的确定

井孔地下水位的应力格值是指:地下水位每变化一个单位量(米或毫米)时,与之相对应的应力变化值(巴或毫巴)。显然这是一个反映井孔特征的基本量。确定应力格值具有某些重要意义。例如,在确定井孔的应力格值后,有可能根据地震前的地下水位异常量来估计作用在含水层上的应力变化等。

地下水位的应力格值可以由理论分析估计求得^[6],但由于各地井孔条件不一致,一些参数不易确定,因此应对各井孔进行实地确定。可以应用气压效应及暴雨效应进行此项工



作。现将应力格值的确定方法讨论如下:

据公式(1),在气压不变的条件下,水位的变化可以直接反映含水层压力,据公式(2)可知,水位变化10毫米,即表示含水层水压变化1毫巴;由公式(5)可知,含水层的水压变化与作用在封闭含水层上的压力 ΔP_i 之间存在一个衰减系数 K_2 。按地下水位的应力格值的定义有 $\Delta P_i/\Delta P$ 或 $\Delta P_i/\Delta h$,则由公式(5)可得:

$$\frac{\Delta P_i}{\Delta P} = \frac{1}{K_2} \quad (11)$$

(11)式表明,地下水位的应力格值是系数 K_2 的倒数。据此,可以应用公式(6)及(10)确定该井的应力格值。此时,需要确定气压效应或暴雨效应引起的附加应力以及衰减系数 K_1 和由此而引起的水位变化值。本文沿用水库计算的结果确定衰减系数 K_1 :井深小于100米的井孔, $K_1 = 1$;500米,深的井孔, $K_1 = 0.95$;1000米,深的井孔, $K_1 = 0.90$ 。

表1是应用气压效应和暴雨效应确定的一部分井孔应力格值结果。由表1给出的结果看,所有井孔的应力格值均在0.1—0.3毫巴/毫米内变化,与文献[5]的估计结果(0.2毫巴/毫米)甚为接近。各井孔应力格值不同的原因,除了各井孔的地质条件(如 $\beta_{..}$ 、 $\beta_{.}$)不相同之外,不能十分精确确定各地降水量及气压变化也是造成应力格值不同的原因之一。因此,表1确定各井孔的应力格值也是一个近似值。

关于井孔地下水位反映应力变化的灵敏度,可应用应力格值及仪器观测精度估计,如苏73井所用水位仪精度为1毫米,则该井反映应力变化的灵敏度应为应力格值乘以1毫米,即该井灵敏度为0.2毫巴。又如天津张道口井,水位仪精度为15毫米,则该井灵敏度为1.8—4.5毫巴。

3. 确定地下水位应力格值的意义

地下水位的应力格值是反映井孔特征的一个量,因此,可以用来判定该井孔反映构造应力变化的能力。除此之外,应用地下水位的应力格值还可讨论井孔水位仪上记录到的各种现象的应力概念,给出这些现象与应力变化之间的定量关系。由地下水位变化值求相应的应力变化可采用下式:

$$\Delta \sigma = \frac{1}{K_2} \Delta h \cdot r \quad (12)$$

式中 $\Delta \sigma$ 为应力变化量, $1/K_2$ 为应力格值, Δh 为水位变化量, r 为水的比重。

现将应用(12)式推求一些现象的应力变化状况讨论如下:

(1) 估计震前地表浅部的应力变化

地震前的地下水位异常是明显而确定的,有必要应用震前地下水位的异常来讨论作用在

表 1

井 位	井深	K_1	应力格值(毫巴/毫米)	
			气压效应结果	暴雨效应结果
北京 塔院井	361	0.95	0.14	
辽宁 兴1井	951	0.90	0.11	
北京 洼里井	658	0.95	0.17	
江苏 苏73井	1200	0.90	0.20	0.17 0.21 0.20
江苏 载参1井		0.90	0.28	0.27 0.27
安徽 天深19井		0.90	0.11	0.10 0.11
江苏 刘4井		0.90	0.24	0.25
江苏 塔2井		0.90	0.21	0.18
天津 张道口东井	60	1.00		0.17 0.12
天津 张道口西井	60	1.00		0.17 0.30
陕西 西影井	1600	0.90	0.22	

含水层上的构造应力的变化状况。现以唐山地震为例讨论如下：

唐山地震前地下水位出现了明显异常，如：天津汉沽双桥井、上古林井、北京大灰厂井等〔7〕。可以按（12）式来推求唐山地震前作用在各井孔含水层上的应力变化。由于双桥井、上古林井都未确定应力格值，为此在计算中采用了与该井条件相近的张道口井的应力格值。各井的计算结果见表2。

表2

井 位	井深 (米)	震中距 (米)	震前水位 异常(米)	震前应力变 化量(巴)
天津双桥井	63	55	7.5	1.28
天津上古林井	43	110	1.0	0.17
北京大灰厂井	100	170	0.8	0.14
辽宁兴一井	951	380	0.4	0.045

由表2可知，唐山地震前地表浅部的应力变化是不大的，但从唐山地震的应力降为12巴估计浅层应力变化1.2巴（双桥井）还是可能的。此外，这一结果还可能为讨论其他一些前兆方法的异常机制时提供某种依据。

（2）估计固体潮的应力量级

一般认为，地下水位所反映的固体潮是以垂直分量为主的重力固体潮，是引潮力作用在含水层上的结果。由于地下水位反映固体潮的现象比较确定，则可按公式（12）估计固体潮对含水层作用的应力变化的定量概念。以北京洼井为例：1978年3月1日—10日，固体潮垂直分量对含水层的作用力的变化约为+12.1—-10.4毫巴。1968年5月1日前后固体潮引起的地下水位变化达28厘米，此时固体潮对含水层的作用力可达+24.2毫巴，这也是一个比较小的量。

（3）估计地震波应力

地震波的形成与应力有关。当地震波到达某地时，可以给该地的地下含水层施加一作用力（暂称这种作用力为地震波应力）。如能确定这种应力，则对测震学及抗震工程将有一定意义。过去这方面工作研究尚少，现应用地震波引起地下水变化的现象来估计地震波应力。

目前已经有一些井孔记录到了受地震波影响而引起的地下水位变化的现象，从定性上看该现象比较明确，如北京洼里井可以记录到全世界6级以上地震的地震波，因地震波引起的水位变化最大幅度可达1米。洼里井记录到的地震波初步认为是瑞雷波〔8〕，应用公式（12）及已确定的该井应力格值，可以比较简便地估计地震波到达洼里井时对含水层的作用力。结果列于表3中。

表3

发震日期	地 点	震级	震中距 (公里)	水位最大变幅 (厘米)	地震波应 力(毫巴)
1968.5.16	北海道	8.0	2360	大于80	大于142
1968.5.16	北海道	7.5	2210	62	107
1968.8.10	印 尼	7.5	2960	36.5	63
1968.8.31	伊 朗	7.4	5170	22.7	39
1969.2.28	葡萄牙	8.0	10040	大于80	大于142
1970.5.31	秘 鲁	7.6	16130	14.2	25

由以上可见，确定地下水位的应力格值具有较广泛的意义。

（天津市地震局 龚鸿庆）

（本文1982年8月2日收到）

参 考 文 献

〔1〕张春波等，深井水位的异常，地震战线，№.4，1979.

〔2〕吴振林等，深井水位动态分析，地震战线，№.1，1980.

〔3〕蔡祖煌，北京洼里深井水位变化所记录的地球固体潮和地震波，地震学报，Vol.2，№.

2, 1980.

[4]李起彤, 深井水位异常的暴雨负荷效应问题, 地震, №. 1, 1982.

[5]单修政, 西影深井水位的变化特征, 西北地震学报, Vol. 3, №. 4, 1981.

[6]李永善, 构造应力引起地下水位变化的主要特征, 西北地震学报, Vol. 1, №1, 1979.

[7]吴锦秀等, 唐山地震地下水动态异常场特征与震源演化过程, 地震地质, Vol. 2, №. 1, 1980.

CALIBRATION OF THE SENSITIVITY IN THE WATERTABLE STRESS
CONVERSION BY THE ATMOSPHERE AND THE TORRENTIAL
RAIN AND ITS SIGNIFICANCE

Gong Hongqing

(Seismological Bureau of Tianjin, Tianjin, China)

本期因故延期出版

希 谅

编辑部