١

深井水位与其影响因素关系的分析

Ŧ 宝 银

(山东省地震预报研究中心)

摘 寠

在对影响水位变化的各因素给出合理计算的基础上,用逐步回归方法分析了山东、兖州 深井27天的水位整点值资料,较好地消除了诸因素对水位的影响,求出的残 差 $\Delta(t)$ 曲 线 呈 随机波动,均方差σ=6.97毫米,复相关系数R=0.987。对诸因素影响水位变化的力学过程 做了初步说明,给出了因素的偏回归系数。提出对气压做滤波分析,更精确认识气压效应的 设想,并做了尝试计算,初步说明了气压与水位的近线性而非线性的关系。

一、前 言

许多震例说明,地震之前深井水位发生了升降、固体潮畸变、阶跃等变化,用深井水位 变化监视地震越来越受到广泛重视。影响深井水位变化的因素有很多,降水、用水、气压、 潮汐应变、应力、暴雨应力、地壳内部构造应力、地震波等都会使 水 位发 生不同程度的变 化。

山东兖州井位于北纬116°40′东经35°33′,深1070米,奥陶系灰岩中的裂隙溶 洞 水,封 闭条件尚可。观察兖州深井水位可知,它受气压、固体潮的影响比较明显,而且还有一个趋 势的下降过程。为消除诸因素对水位的影响,突出构造应力引起的水位变化这一对地震预报 有用的信息,并对诸因素影响水位的力学机制做进一步的探讨,采用逐步回归分析方法进行 计算〔1〕。对要研究的问题取得了比较满意的结果。

二、资料及计算

自1981年1月兖州井正式进行气压观测,并考虑到气压两次滤波时前后资料的损失,选 1981年1月3日至1月29日的水位整点值,共648个数。作者事前对水位、气压资料作了读 图校正。将各因素对水位的影响近似看作线性,写出公式:

 $h(t) = h_0 + b_1 x(t) + b_2 yy(t - \Delta t) + b_3 xx(t - \Delta t) + b_4 g(t - \Delta t) + b_5$ (1) $p(t) + \Delta(t)$

式中h(t)为水位值,以井口为原点,向下为负,h。为回归常数;x(t)为线 性 下 降

ş

Ł

项; yy(t-Δt)为东西向潮汐应力张量,东为正; xx(t-Δt)为南北向潮汐应力张量, 南为正; g(t-Δt)为重力固体潮; p(t)为气压; Δ(t)为残差。采用逐步回归 方 法进



a.实测水位b.c.d.e.f.分别为直线x(t).气压p(t).固体 $ag(t-\Delta t)$, 潮汐应力东西 ag(t), yy(t— Δt)对水位的影响值和残差 Δ (t), g,h,i,分别为不加 Δt 修正时固体 ag(t)、潮汐应力东西向yy(t)对水位的影响值和残差 Δ (t)。

1

行计算,求得回归方程如下:

 $\widehat{h}(t) = -6022.350 - 0.135x(t) + 0.074yy(t - \Delta t) + 0.405g(t - \Delta t) - 5.381p(t)$ (2)

将其主要结果示于表1,水位及各因素 对水位的影响值和残差 Δ (t)曲线如图-(a)-(f)。

			夜
主 要 结果 因 素	偏回归系数bi	F检验值	与水位的 相关系数
(xt)	-0.135	739 0	-0.60
yy(t − (∆t)	0.074毫米/(10 ⁴ 达因/厘米 ²)	6,5	0,08
$\mathbf{x}\mathbf{x}(\mathbf{t} - \Delta \mathbf{t})$			-0.24
$g(t - \Delta t)$	0.405毫米/微伽	6961_0	0.49
p(t)	-5.381毫米/ 毫巴	420_0-	-0.63
均方差	残差平方和	商差平方和	复相关系数
6.97毫米	31242	1319600	0.987

. . . .

三、各因素的计算、认识及残差 $\Delta(t)$

(1)线性下降项x(t)

由于干旱,造成兖州县境内浅层水位的普遍下降,据该县水利局的资料,1982年1月份 与1980年1月份比较,全县平均下降1.96米,2月份为1.95米,3月份为1.75米,年下降速 率约为1米。初步分析认为,一是由于缓慢的渗透作用使浅层水位的变化影响到深层水位的 变化,二是浅层水位下降导致浅层水体积负荷的减少,使深层水体孔隙度发生变化而影响了 深层水位的变化。

为消除这一影响,选用待定斜率为b,的直线来表征它;逐步回归求得偏回归 系 数 b₁ = -0.135毫米/小时,相当于年下降速率为1.1米,这与该县水利局的结果是基本一致的。

(2)固体潮g(t-Δt)

深井水位记录到了日一峰或日两峰的周期性潮汐变化,这种潮汐变化是引潮力作用下地 下水体的液体潮还是地壳形变的固体潮?水位变化与引潮力作用下产生的重力固体潮在振幅 和相位上有何关系?可否从深井水位曲线中消除这种潮汐影响?为此,对山东兖州、栖霞 (120°58′E,37°27′N)两口水井1980年6月至1981年3月的水位整点值作莱柯拉兹(lecolazet)调和分析^[2]。求得五个主要日波群及五个主要半日波群的潮汐因子σ和相位差 Δψ1)说明水位的潮汐变化是反映地壳形变的固体潮而不是地下水体的液体潮。引潮力 大时,地壳产生引张,含水层孔隙度增大,水位下降,引潮力小时,地壳以压密为主,孔隙 度减小,水位上升。这种引张压密的潮汐应变虽然量值较小,却可引起整个水体容积的较 大变化,并由截面积很小的井孔得以放大,产生井水位的大幅度升降。

引潮力作用下,地壳产生的潮汐应变传递给水体,并由井孔表现出来所需要的时间,即 水位变化较引潮力的时间滞后,调和分析求得兖州井1981年1月主半日波M₂的Δψ为-8.6 度,即Δt约等于17.2分钟。较正点时间提前17.2分钟用朗曼公式计算固体潮理论值,¹⁾作 为固体潮因素g(t-Δt)参加逐步回归计算,求得偏回归系数b₄=0.45毫米/微伽,这一结 果与调和分析求出的潮汐因子σ是一致的。

若不考虑这一时间滞后而用正点固体潮的理论值参加回归计算,其残差曲线∆(t)的

^{1)}王宝银等,山东栖假、兖州深井水位调和分析的初步结果,华东地震学术交流会论文。

²⁾郗钦文,固体潮理论值计算,地震资料,第18期。

均方差由原来的6.97毫米增高到7.48毫米,而且残差曲线∆(t)有着明显的周期成分,随机性能不好,回归效果显著降低。这样做时,固体潮及潮汐应力对水位的影响值和残差∆(t)曲线示于图1的(g)、(h)、(i)。

以上事实,充分说明了所作调和分析的正确性和必要性,并由这一不容忽视的时间滞后 进一步说明了深井水位反映潮汐应变的过_{像10}

程,给出了较好地消除这种潮汐影响的途 径。

潮汐力是一种体积力,在它的作用下 地壳产生了体应变,按文献[3]给出的公 式计算了潮汐体应变η,若不考虑其量纲 的区别,它与重力固体潮除相位相反外, 其变化基本一致。若将其放大47.5倍与重 力固体潮比较,最大差不超过2;图2是 二者的比较曲线,为便于比较,体应变曲 线是把纵坐标倒过来画的。



诚然,体应变与水位的关系较重力固体潮要显得直观一些,但由于二者的变化几乎一 致,出于程序的方便,没有把体应变单独当作一个因素参加回归。

(3) 潮汐应力张量的分量 $yy(t-\Delta t)$

用文献〔4〕给出的公式计算了潮汐应力张量的分量。yy(t-Δt)为东西向,东为正; xx(t-Δt)为南北向,南为正。逐步回归求得yy(t-Δt)的回归系数b₂=0.074毫米(10⁴ 达因/厘米²)当于每公斤的力产生7毫米的水位变化,假定地震是由达到300公斤量级的应 力积累产生的^[4],这时水位可能要达到2米左右的水位升降。这一结果与地震时实际的地 下水异常幅度是吻合的^[5]

南北方向的应力张量 $xx(t-\Delta t)$ 没有通过 $F_{0.05}(648, 648) = 1.4$ 的检验,视为不显著因素,不予选入回归方程,这可能与地下水体的形状有关。

(4)气压p(t)

岩体是地质过程中形成的具有大量裂隙的地质体,裂隙性是岩体的一个基本特性。兖州 井是灰岩中的裂隙溶洞水,因此,有理由把它近似地看作是一个巨大的连通管,当两端压力 差为1毫巴时,将产生10毫米的水位升降。设水面气压为 $p_1(t)$, $p_1(t)$ 向地下传递过 程中经过衰减至地下水体表面时为 $p_2(t)$ 。若全部衰减, $p_2(t)=0$,气压效率为-10毫 米/毫巴,一般是非完全衰减,气压效率在0—-10毫米/毫巴之间。逐步回归求得兖州井气 压效率为 $b_s = -5.381$ 毫米/毫巴,即地表1毫巴的气压衰减至地下水体面时剩余0.462毫巴, $p_2(t) = 0.462p_1(t)$ 。各水井水层埋深不同,岩体的性质、地层地质结构互异,其气压 衰减的特性曲线不尽一致,因而各井气压效率可能存在一些差异。

(5)残差∆(t)

残差曲线∆(t)(图1.f)基本上呈随机波动,均方差只有6.97毫米,变化最大的15 日和18日超出均方差也不足10毫米,说明当前逐步回归所用的自变量因素基本上表征了水位 的变化。诚然,水位的长趋势下降及气压对水位的影响并非完全线性,定量计算尚有待于进 一步的探讨。 逐步回归方法,自动挑选与因变量有显著影响(经过置信度α=0.05下的干检 验)的变 量,对于无显著影响者不予选入,对于因其他变量的选入而相形见绌者又可以随时从回归式 中剔除出去,这样逐步回归充分考虑了各个变量相互之间的复杂关系,保证了各变量之间的 相对独立性,较客观地求得各变量的偏回归系数。

重力固体潮和潮汐应力的计算及逐步回归主程序模块式组成一个总程序,在国产DJS— 154机上实现,图1中各条曲线是计算机自动绘制的原图。

四、讨 论

深井水位受多种因素的影响,其变化相当复杂。在上述工作的基础上,为进一步缩小残 差曲线△(t)的均方差,又进行了尝试性计算,讨论如下:

目前所知,气压变化主要有非周期变化和周期变化。非周期变化如大范围的天气过程, 周期变化分日周期和半日周期^[6]。日周期变化主要是由空气的增热、冷却作用造成的。半 日周期的解释目前尚无定论,不过,近代有人将气压半日振动解释为共振现象。据计算,整 个大气具有12小时的自由振动周期,根据共振原理,即使一个非常小的气压振动,只要其周 期与大气固有的12小时周期相重合,就能因共振而产生显著的半日振动。在大气中能引起气 压半日共振的最初脉冲是太阳的潮波作用,其次为温度日变化的半日波。

对气压应用最佳数字滤波器^[7],较好地滤出了非周期性的长趋势变化、日变化、半日 变化(包括随机项),如图3。考虑到它们的振幅不同,角频率不同,在由地表向下传递时 的衰减,滞后都会有些差异,因而各自的气压效率是有区别的。将气压当作一个自变量而统 求一个气压效率的做法,似乎有点粗糙,故将气压滤波后分为低频成分的长趋势变化^P (t),日周期变化^P (t),半日周期变化^P (t)三个因素参加回归计算,求出气压效 率分别为-5.3毫米/毫巴,~6.2毫米/毫巴,~5.8毫米/毫巴。可见,低频长趋势变化的气 压效率低于日周期、半日周期的气压效率,这可能是由于前者的衰减不及后者来得快。均方 差由原来的6.97毫米减小到6.92毫米。当气压以长趋势变化为主时,气压效率偏低,以日波 半日波变化为主时,气压效率偏高,因而造成了气压与水位的弱非线性关系。



势日周期和半日周期变化曲线 图 3

Fig.3

由于日周期、半日周期的振幅较小, 气压效率 的 差 别 又 不 是 很 大, 所 以, 虽 作 此

ς

努力,但对力图减小均差的贡献并不显著,残差∆(t)曲线与图1(f)仅有 微小的差别。 考虑到气压向地下传递时的时间滞后,作者又用下式进行了尝试:

 $h(t) = h_{0} + b_{1}x(t) + b_{2}yy(t - \Delta t) + b_{3}xx(t - \Delta t) + b_{4}g(t - \Delta t) - 10[P(t) - b_{5}P_{K}(t - \Delta t_{1}) - b_{8}P_{H}(t - \Delta t_{2}) - P_{*}(t - \Delta t_{3})]$ (3)

式中P(t)是井水面气压, $b_s P_{\mathcal{K}}(t - \Delta t_1) + b_{sH}(t - \Delta t_2) + b_7 P_{\mathcal{H}}(t - \Delta t_3)$ 是 经过衰减、滞后作用在地下水体表面的气压。当 Δt_1 , Δt_2 , Δt_3 全为零时,与上述做法无 异。分别取 $\Delta t_1 = 1$, $\Delta t_2 = 1$, $\Delta t_3 = 0$ 及 $\Delta t_1 = 2$, $\Delta t_2 = 1$, $\Delta t_3 = 0$ 等做多种计算, 其效果并不显著,有的反而变差了。究其原因,可能是 Δt_1 ,,没有破整点取造成的。

总之,气压各频率分波在向地下传递时,其衰减、滞后差异是否明显,如何正确地求得 它们的时间滞后,写出传递方程,都有待于进一步的研究。

(本文1982年8月30日收到)

参考文献

〔1〕中国科学院地质研究所,数学地质引论,地质出版社。

〔2〕中国科学院地质所计算组,固体潮理论值计算及其应用,地质科学,1974年,第 3期。

〔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,2卷 2期。

〔4〕杜品仁,潮汐与地震关系初探,地震科学研究,1981年,第1期。

〔5〕冯学才,我国大震前地下水异常特征及其物理机制,地震地质,4卷2期。

〔6〕吴伯雄等编著,气象学,102-104,江苏科学技术出版社。

〔7〕李鸿吉等,最佳数字滤波器及其应用,地震地质,1979年,第1期。

(8) P. Melchior, The Tides of the Planet Earth, 294-303, 1978.

ANALYSIS ON THE RELATIONSHIP BETWEEN THE WATER LEVEL IN A DEEP BOREHOLE AND ITS INFLUENCE FACTERS

Wang Bao-yin (Seismological Boreau of Shandong Province)

Abstract

Based upon the reasonable calculatian of the some factors that can change the water level, the borehole data per hour during a period of 27 days in Yan zhou County, Shandong Province have been analysed by gradual regression method. The result was that influence of some factors on the water level has been better eliminated, and obtained the residual $\Delta(t)$ curves with random fluctuations, their mean error $\sigma = 6.97$ mm and complex correlation coefficient R = 0.987. The mechanics process of the influence of some factors on the water level is preliminary discussed and some factors influence values are given. Besides, by means of filtering analysis, the airpressure data have been calculated, thus further understanding the assumption on air-pressure effect.