

深井水位受江河水位的影响及排除

廖 华 康

(佛山市地震局)

提 要

本文分析了影响深井水位变化的各种因素。用逐步回归法分析了三水、佛山两深井的水位与江河水位、气压、固体潮、降雨量的关系。发现江河水位对深井水位有重要影响；指出在利用近河深井水位资料分析区域应力应变作用时必需进行河道水位校正，才能达到预期目的。

深层地下水是一种含有多种地球信息的综合物理量，利用地下水深井水位异常动态来预报地震，不论在理论上，还是在实践上已证明是一种有效的方法。地下水本身含有多种有用信息，但同时又受着多种自然的、人为的因素干扰。另外，地下水位的升降变化，还取决于井口所处的地理环境、地质构造、含水层的岩性、成井工艺、季节周期变化等诸多因素。因此，要从地下水中得到地震前兆异常信息，就应根据各井本身的特点，找出水位变化规律，排除无用的和干扰的信息，去伪存真。也就是取决于我们对井水位变化特点的研究和水位观测资料的处理分析水平。

一、深井水位影响因素分析

1. 降雨是地下水变化的主要干扰因素

我区位于广东省珠江三角洲中部(图1)，地处亚热带南缘，天气温暖，雨量充沛，每年3~11月为降雨季节，5~8月降雨集中，易发洪水，年降雨量大于1500毫米。另外，江河水网纵横交错，地下水位埋藏浅，地下水很少被开采利用。深井水位的上升下降变化在大多数时候主要受降雨因素影响，降雨时上升，雨停后几天复原，气压效应相比之下不显著。这些特点不同于其他地区。

就降雨而言，由于一年内的降雨分配情况、降雨数量、降雨时间、降雨面积、降雨强度、包气带的岩性、厚度、土壤湿度、地下水的埋藏和地面径流排泄、植被条件的不同，以及连绵阴雨、骤雨、台风雨等等气象、地质、地貌因素，都会使得井水位产生不同的效应。因此，降雨引起深井水位上升，雨后卸荷使井水位下降，是一个非常复杂的问题，在井水位观测资料中排除降雨的影响是非常困难的。

2. 河流水位的变化特点

河流是地表水表现的一种形式。河流水位与井水位、气压、降雨、气温等气象因素一

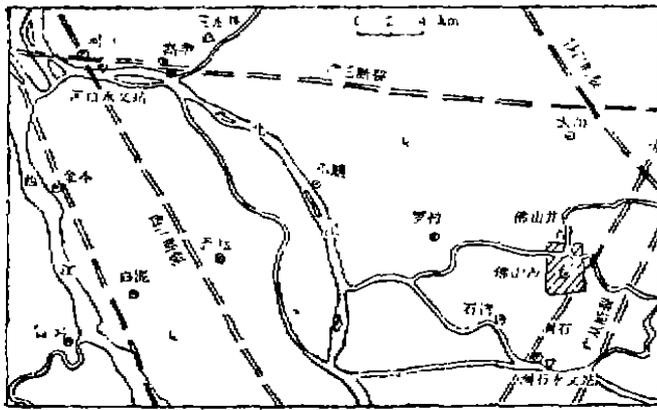


图1 佛山市、三水县一带地理、地质构造示意图
Fig. 1 Geographic and geologic structure of the area around Fushan and Sanshui

它反映了该区及上游区降雨量对地表水影响的总和。

河水的成分主要是由雨水和地下水所组成。在靠近河流的地方，地下水有可能获得地表水的补给，或向地表水排泄，两者的关系是十分密切的。这种现象是三角洲冲积平原地带的特点之一。在雨季时，降雨落到地表后，部分经表面径流汇集到一起，流入江河，使河水位上升，随着降雨的增多，便形成洪水期。此时，河水位流量的绝大部分为雨水所组成，地下水占很少一部分。河水补给地下水，常见于某些大河流的中上游和下游，这是因为河流的中上游在洪水期间，河水位往往高于岸边的潜水位，其产生侧向渗透或侧向压力，从而使地下水得到补给而受挤压上升。而在某些大河流的下游，由于河床往往位于地面上的高处，所以河水位常以垂直渗漏补给地下水。在干旱季节，降雨量极微，河水实际上不能获得降水的补给或获得量极少，这时，河水位下降，形成枯水期。由于河流中上游两岸的潜水位高于河水位，形成倒灌现象，地下水向河流排泄。河水几乎全部由地下水维持，河流流量全部为地下水径流所组成。在河流的下游，河水的渗漏是潜水的唯一补给源或主要补给源，当承压含水层补给区位于河床地带，地表水就成为承压水的补给源¹⁾。从以上现象以可看到，河流水位与地下水位变化随季节相互依赖，属同向变化。

河水位与地下水位的补给关系还与地下水顶板隔水层的位置有关。当地下水与河水有密切水力联系时，地下水与河水的补给关系随河水位的变动而变化。如果隔水层位于河流最低水位以下，而两岸地下水位变化于河流最高水位与最低水位之间，当降水后，河流中水位迅速上涨，河水位高于两岸的地下水位，河水向两岸渗透，补给并抬高两岸地下水；当河水迅速下降后，地下水就反过来补给河水，使地下水位降低。若隔水层位于河流最高水位与最低水位之间，地下水与河流发生周期性水力联系，当河水位上升到隔水层以上，河水与地下水发生水力联系，河水高于地下水位时，河水补给地下水，当河水位低于隔水层时，两者无水力联系，地下水在含水层与隔水层交界处流出地表，汇集于河流中⁽¹⁾。

1) 成都地质学院水文系编，地下水概况，河北省地震局翻印。

样，存在着一致的年变化季节脉动。如图2所示。河流水位在一年有一个高水位期和一个低水位期，高低水位之间的变幅一般只有几米。在我区，一般来说，河水位的季节变化与降雨基本一致。5~8月为高水位期，即洪水期，此时也是降雨集中的季节。11月至来年的2月为低水位期，即枯水期，亦即是降雨的干旱季节。河水位年动态曲线较平缓，呈现一种渐变的过程。从图2可以看出，深井水位与河水位曲线形态基本一致，但井水位的年变曲线比河水位的年变曲线更平缓，而河水位的年变曲线比降雨的年变曲线平缓，河水位变化曲线可看作是经自然滑动的降雨曲线，

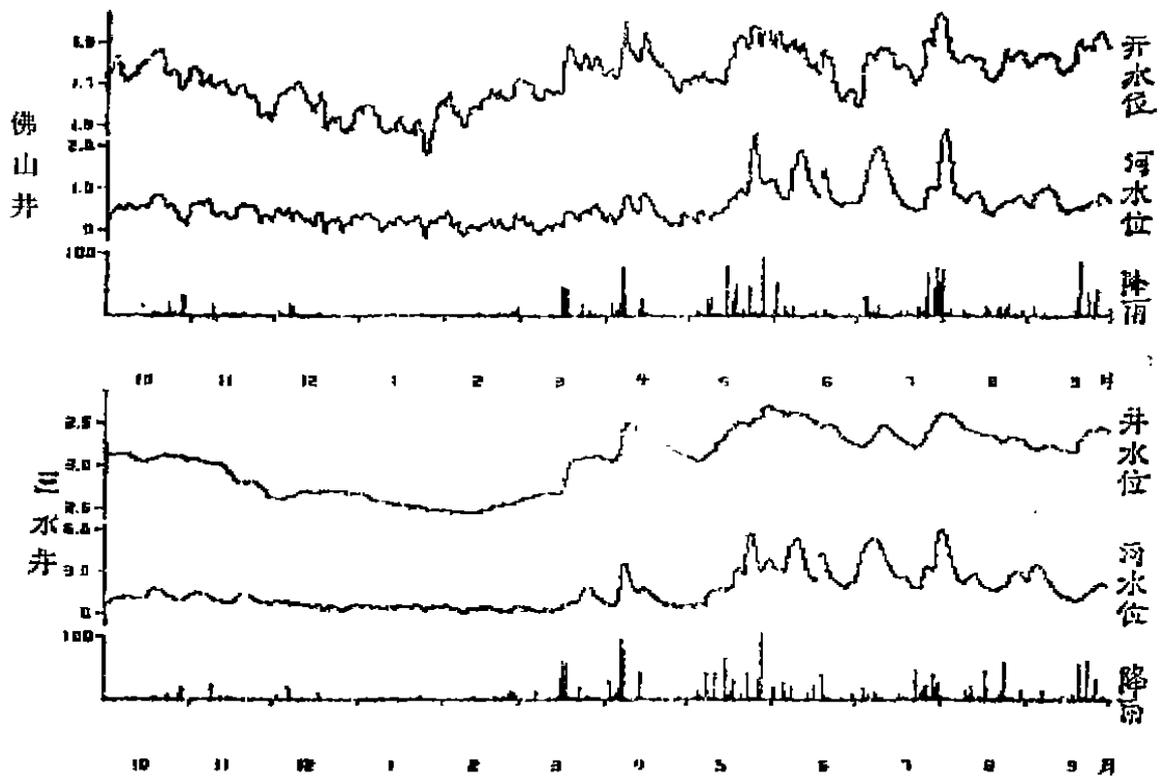


图2 佛山井、三水井井水位、河水与降雨日均值图(1986.10~1987.9)
 Fig. 2 Comparison of daily mean values of the water level at the wells of Fushan and Sanshui, river water and rainfall

3. 江河水位对深井水位的影响

在雨季, 河水补给地下水的强度取决于江河水位与地下水位的相对高差、洪水延续的时间。水位相对高差越大, 洪水延续的时间越长, 补给量就越大。另外, 河流的流量、含水层的透水性、以及河水与地下水有联系地段的长短、河流水系与地下水含水层的距离等, 也是相互间影响的主要因素。

地下水位的变化常常滞后于地表水位的变化, 滞后的时间各地不同, 一般在1~2日之内, 其井水位变动的幅度均不超过河水位的变幅。距离河流越近, 变化幅度越大, 滞后于河水位的变化时间越短; 距离河流越远, 其变化幅度就越小, 滞后的时间也越长, 最后至一定远处, 地表水的影响即告消失。

河流对地下水的影响, 除了上面所讨论的季节性变化外, 在日变化中, 河水对地下水同样产生不可忽视的影响。众所周知, 江河水位是由于受到太阳、月亮的潮汐引力的作用, 在日变化上存在高潮、低潮的变化, 也有双峰双谷或单峰单谷的起伏, 其波形形态与重力固体潮相同, 但方向相反。如果深水井离江河比较近, 或含水层之间有相连的地方, 即水井水位的变化既受固体潮的影响, 也受江河水潮的影响, 水位曲线是这两种形态大体一致、方向相反

波的合成。由于固体潮与江河潮其频率、初位相相同，要从井水位中将它们分离出来是困难的。有人曾作过分析，如果深井与江河距离比较近，则井水位以反映江河潮为主，计算时可以忽略固体潮的影响；反之，如果深井与江河距离较远，则井水位以反映固体潮为主¹。至于这个距离怎样定，要看具体地点的地理、地质、水文、岩性等多种情况来综合考虑。

上面的分析表明，河流水位对地下水、对深井水位存在着不可忽视的干扰影响。另外，河水变化主要是由上游区大范围降雨引起的，它的变化过程是经滑动的降雨过程，对于仍未有找到更好的排除降雨的方法，用河水变化代替降雨影响，使滤除大范围降雨影响，也可得到较好的效果。因此，在对深井水位数据作分析处理时，应引入附近河流水位因素，使分析结果更合符实际。

二、分析方法与分析实例

1. 寻找主要干扰因素及逐步回归

既然深井水位会受到诸如气压、固体潮、降雨、江河水位等多个因素的复合影响，但是，哪一个是主要因素，哪一个是次要因素，或是在各个季节中，主次因素会发生转化，这是必须弄清楚的。经过实践证明，采用逐步回归分析方法，对于寻找主要矛盾，是一种较合理的方法。在一般的多元线性回归中，是把所有的自变量都强行加入回归方程，这往往使得一些关系不大的自变量或者两个密切相关或近似的自变量被引入方程，使方程不能真实地反映因变量的变化规律。逐步回归方法的主要特点，是根据各个自变量与因变量的相关系数和方差贡献，同时又考虑到这个自变量本身对因变量作用的显著程度，由大到小，逐个选入；对于比设定的显著性水平小的自变量始终不予引入，对暂时进入回归方程的自变量，当因其他自变量的选入而失去作用时，又可随时从回归方程中被剔除出去。因此，逐步回归方法既考虑了主要因素的地位，又保证各变量之间的相对独立性，较客观地求出各变量的偏回归系数和拟合方程^[2]，是处理井水位资料较有效的方法。

2. 三水、佛山两深井实例分析

下面以三水深水井和佛山深水井86年以来的水位资料为例，结合气压、固体潮、降雨，计算分析他们与邻近江河水位的相互关系，及分析处理后的井水位与地震的关系。

(1) 井水位与河水位的关系

三水深水井，位于广东省三水县高丰乡，东经 $112^{\circ}54'40''$ ，北纬 $23^{\circ}11'05''$ ，井深1311.16米，孔口标高10.11米，水位埋深2~3米，井水位最大日变幅50毫米，井水位年变幅1.26米，观测含水层岩性以第三系砂页岩为主。井孔离北江约3.5公里，三水河口水文站离井孔约7.5公里。河水位日变幅平均约0.82米。河水位年变幅约4.2米。

佛山深水井，位于广东省佛山市北郊造纸厂内，东经 $113^{\circ}06'30''$ ，北纬 $23^{\circ}03'17''$ ，井深306.22米，水位埋深1~2米，最大日变幅152毫米，井水位年变幅约0.68米，观测含水层岩性为第三、第四系砂岩、泥灰岩。井孔离汾江河约300米，澜石水文站离井孔约9公里，澜石水文站记录的水位潮日变幅平均1.64米。河水位年变幅约2.4米。该区的地理、地质构造图，如图1所示。

1) 郑秀媛等，地下水微动态信息资源的开发与利用，油印本，1986

澜石水文站位于河口水文站的下游,两者相距约40公里,两井孔相距约25公里。河水位年变化动态几乎一致,两者相关系数为0.95。

(2) 河水位的干扰响影

如表1所示,是1987年2月份(28天),井水位与河水位之间的单相关系数。

表1 井水位——河水位日均值相关系数(1987年2月, N=28)

Table 1 Correlation coefficient of daily mean value between the water level of wells and river

	河口河水位	澜石河水位	三水井水位	佛山井水位
河口河水位	1.000	0.947	-0.178	-0.696
澜石河水位	0.947	1.000	-0.312	-0.723
三水井水位	-0.178	-0.312	1.000	0.772
佛山井水位	-0.696	-0.723	0.772	1.000

从表1可知,处于同一水系的两水文站的河水位变化和两井的井水位变化几乎一致。三水井与河口河水位的相关系数比佛山井与澜石河水位的相关系数小,这说明地下水受河水的影响是随着离河流的距离增大而减少。并说明佛山井受河水干扰的程度比三水井大。另外,两井孔的水位的月变化、年变化,因环境不同,变化也不一样,如图2所示。

在日变周期中用井水位的整点值与河水位、重力固体潮理论值的整点值求相关,得出了一系列滞后时间不同的相关系数,表明了两井对水潮和固体潮效应及滞后时间是不同的。表2列出的是1987年2月份的计算结果,相关系数最大时所对应的时间即滞后时间。图3是井水位、河水位和重力固体潮理论值波形图。我们可以看出,三水井水位与固体潮的相关系数比与河水位的相关系数大,水位日变化基本与固体潮日变化形态一致,是同向变化,两者没有滞后;而井水位日变化与河水位日变化为反向变化,井水位滞后2小时。佛山井却相反,井水位与河水位的相关系数比与固体潮的相关系数大,井水位日变化与河水位日变化形态较一致,为同向变化,它比河水位滞后3小时;而井水位日变化与固体潮日变化为反向变化,并滞后于固体潮6小时。这就说明了,距离河流近的佛山井水位在日变化中以反映河流潮汐为主,而距离河流较远的三水井水位在日变化中以反映固体潮为主。

表2 井水位整点值滞后相关系数(1987年2月, N=672)

Table 2 Correlation coefficient of stagnation of integral point value

滞后时间		0小时	1小时	2小时	3小时	4小时	5小时	6小时
河流	三水	-0.099	-0.115	• -0.120	-0.114	-0.102	-0.088	-0.079
	佛山	-0.329	-0.461	-0.554	• -0.595	-0.580	-0.521	-0.436
固体	三水	• -0.167	-0.144	-0.092	-0.026	0.038	0.083	0.099
	佛山	-0.159	-0.092	0.012	0.136	0.255	0.344	• 0.383

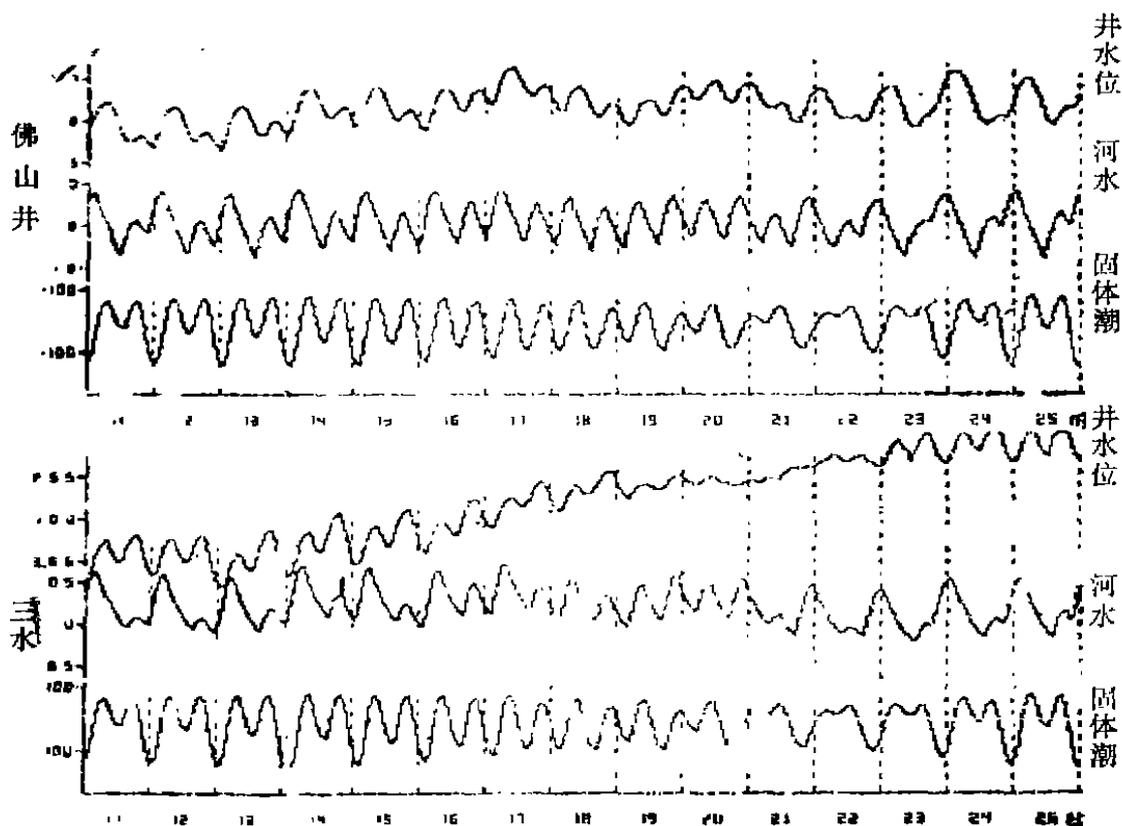


图3 佛山井、三水井井水位——河水——固体潮整点值图
(1987·2·11~2·25)

Fig. 3 Comparison of integral point value of the water level at the wells of Fushan and Sanshui, river water and solid tide

表3至表5列出了两口深水井位与对应的河水位以及气压、固体潮、和降雨量四个因素的逐步回归分析结果。从表中，我们可以看到：

①以一年为单位的资料作统计分析时，三水和佛山两口井，均是以河水作为最重要因素，气压次之，而固体潮的影响则被排到最后。

②以一个月为单位作统计分析时，河水因素作为主要干扰因素的月份，三水井占7/12，佛山井占8/12。

③以季节为单位作统计分析时，三水井无论在雨季或旱季，河水位都是主要干扰因素；佛山井在雨季中河水位是主要因素，在旱季气压是主要因素。

④对两口井任何时间段作统计分析，都可证明江河水位对井水来说是一种经常主要的干扰因素，为负相关，同向变化。即井水位随着河水位的上升而上升，降低而降低。河水效应系数，佛山井在 $-0.1 \sim -0.3$ 毫米/毫米；三水井效应系数在 $-0.02 \sim -0.3$ 毫米/毫米，三水井的效应系数比佛山的稍偏低。

对佛山井一年的资料，若用气压、固体潮、降雨三个因素的逐步回归，与用气压、固体

表3 佛山井井水位—气压—固体潮—降雨—河水日均值逐步回归
Table 3 Progressive regression of daily mean value of water level at the well of Fushan, air pressure, solid tide, rainfall and river water

时间	单相关系数				回归系数					复相关系数	剩余标准差
	气压	固体潮	降雨	河水	BO	气压	固体潮	降雨	河水		
1986.10.	0.113	0.064	0.299	*-0.796	911.291	-2.752	6.257	0	-0.287	0.89	24.149
11.	*0.830	-0.281	-0.076	-0.621	684.616	12.866	5.475	0	-0.227	0.908	30.532
12.	0.194	-0.031	-0.349	*-0.701	893.729	0	0	-5.075	-0.329	0.74	52.08
1987.1.	0.370	0.126	-0.106	*-0.774	956.72	0	0	0	-0.393	0.774	41.725
2.	0.042	0.254	-0.503	*-0.723	748.481	3.619	0	-7.859	-0.306	0.832	35.487
3.	0.036	0.260	-0.280	*-0.923	772.066	4.383	4.809	0	-0.374	0.963	23.092
4.	-0.083	-0.130	-0.439	*-0.906	671.345	5.123	0	0	-0.336	0.926	33.362
5.	0.478	-0.011	-0.115	*-0.855	700.727	0	0	0	-0.169	0.855	54.879
6.	*-0.690	0.527	-0.430	-0.570	886.806	-14.849	8.276	-3.130	-0.080	0.862	54.21
7.	0.064	0.065	*0.551	-0.506	694.364	12.834	0	-2.539	-0.119	0.780	69.213
8.	-0.173	0.434	0.171	*-0.871	758.444	0	5.446	0	-0.11	0.900	31.157
9.	*-0.680	0.082	-0.285	-0.329	899.203	-14.136	5.503	0	-0.164	0.913	25.045

表4 三水井井水位—气压—固体潮—降雨—河水日均值逐步回归
Table 4 Progressive regression of daily mean value of water level at the well of Sanshui, air pressure, solid tide, rainfall and river water

时间	单相关系数				回归系数					复相关系数	剩余标准差
	气压	固体潮	降雨	河水	BO	气压	固体潮	降雨	河水		
1986.10.	-0.150	*-0.446	-0.005	0.077	769.796	-5.798	0	0	0.039	0.532	26.687
11.	*0.771	-0.014	-0.192	-0.445	1018.74	29.082	17.681	0	-0.170	0.878	73.642
12.	0.032	0.288	0.348	*0.749	1256.47	0	0	0	0.152	0.749	24.293
1987.1.	*0.705	0.216	0.116	-0.454	1231.89	10.534	0	0	0	0.705	41.763
2.	0.003	-0.050	*-0.595	-0.172	1514.87	0	0	-9.032	0	0.595	41.121
3.	0.057	-0.007	0.060	*-0.848	1427.22	18.965	18.289	2.433	-0.380	0.930	83.624
4.	0.001	-0.022	-0.008	*0.766	889.49	0	0	2.408	-0.16	0.837	85.838
5.	0.332	-0.276	-0.102	*-0.838	532.988	0	-27.979	0	-0.122	0.903	94.757
6.	-0.601	0.382	-0.145	*-0.701	767.183	-14.004	0	0	-0.062	0.746	85.142
7.	0.240	0.698	-0.015	*-0.488	806.538	0	0	0	-0.044	0.488	97.280
8.	-0.243	-0.119	0.237	*-0.790	795.696	0	0	0	-0.071	0.790	67.684
9.	*-0.671	0.065	-0.131	0.061	913.794	-18.395	0	0	0	0.671	79.876

潮、降雨、河水位四个因素的逐步回归作比较, 则其复相关系数由0.676增加到0.798, 增加了18%, 剩余标准差由97.14减少至79.536, 减少了22%。用同样的方法, 三水井的复相关系数由0.764增加到0.854, 增加了12%, 剩余标准差由233.528减少至188.48, 减少了24%, 从而, 又从另一侧面说明, 河水因素是不可忽略的。

(3) 排除河水的干扰

若以年为单位求出的回归系数, 用井水位实测值减去预测值求出残差序列, 如图4所示, 从图中可以看到, 在一年的日观测数据中, 经统计, 残差值服从正态分布, 从而证明回归方程是合理的。对于两次向上超出正常范围的异常, 是因为局部性降大雨排除不彻底所致, 不是地震前兆异常, 这与水位原始数据曲线, 由于降雨所引起的起伏相比, 则已大大得到改善。而对于两次向下超出正常范围的异常, 一次出现在旱季, 一次出现在雨季, 分别对应两次离井孔300公里范围内 ≥ 4.6 级地震前约一个月的时候, 佛山、三水井两都有同步下降前兆异常的反映, 可视为短期地震前兆异常。这种前兆异常在数据未经处理, 或未加入河水位因素处理时, 1月份的水位下降异常与旱季水位下降变化重叠; 而7月份的下陷异常又被降雨所引起的水位上升所掩盖, 是识别不出来或没有如今清晰的。从而说明了, 江河水位对井水位的干扰, 可用逐步回归的方法给予排除, 并通过这种方法, 能使井水位在地震前的变化表现出来。

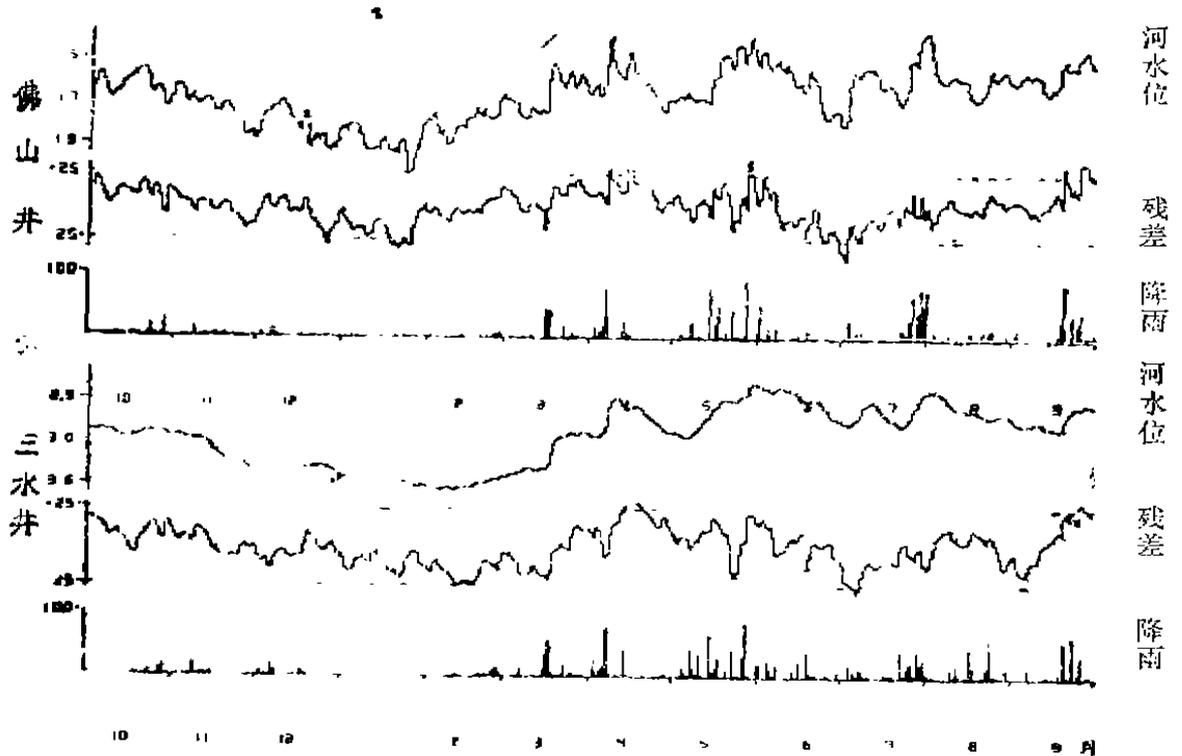


图4 佛山井、三水井井水位——残差——降雨日均值图
(1986·10~1987·9)

Fig. 4 Comparison of daily mean values of the water level at the wells of Fushan and Sanshui, residual error and rainfall

表5 佛山井、三水井水位—气压—固体潮—降雨—河水日均值逐步回归
 Table 5 Progressive regression of daily mean value of water level at well of Fushan, Sanshui, air pressure, solid, tide, rainfall and river water

井名	时间	单相关系数					回归系数					复相关系数	剩余标准差
		气压	固体潮	降雨	河水	BO	气压	固体潮	降雨	河水			
佛山井	86.10.—87.9	0.626	0.100	-0.337	-0.713	745.947	5.943	4.401	-1.804	-0.153	0.798	157.555	
	86.12.—87.2	0.378	0.212	-0.113	-0.371	731.584	7.246	0	0	-0.195	0.523	62.893	
	86.12.—87.3	0.368	0.203	-0.275	-0.310	741.142	8.200	3.290	-14.389	-0.213	0.627	66.247	
三水井	87.5.—87.8	-0.143	0.169	-0.309	-0.636	803.935	-5.379	3.357	-1.729	-0.126	0.744	70.648	
	87.3.—87.5	-0.075	0.036	-0.275	-0.827	688.092	4.381	0	0	-0.334	0.851	39.616	
三水井	86.10.—87.9	0.761	-0.034	-0.206	-0.791	1936.28	21.774	4.043	-1.554	-0.137	0.854	188.48	
	86.6.—86.8	-0.073	0.215	0.020	-0.386	1783.08	0	7.818	0	-0.036	0.440	105.44	
	86.9.—86.10	0.716	-0.140	0.067	-0.717	1765.21	7.219	-3.772	0	-0.037	0.837	40.733	
三水井	86.12.—87.2	0.056	-0.070	-0.104	-0.471	2510.02	0	0	0	-0.230	0.471	77.932	
	87.3.—87.5	0.266	-0.317	-0.112	-0.773	1898.74	0	-11.117	0	-0.172	0.783	183.66	

三、结 论

从以上分析,可以得到以下结论:

(1) 河流对邻近的地下水含水层有一定的干扰影响,与气压、固体潮和降雨相比,河水的影响最为重要。在对井水位资料进行统计分析时,该因素不能忽略。

(2) 随着河流与深水井距离的缩小,井水位中固体潮的波形逐渐被水潮汐的波形所取代。

(3) 河水位对地下水的干扰取决于:地下水含水层与河流的距离、两者水位的高差、隔水层顶板的位置,以及地层的透水性等等。

(4) 河水位的变化过程,相当于滑动了的降雨过程,它比降雨序列更实际地表现出对地下水的干扰作用,因此,与地下水序列变化较为一致。

(5) 河水对地下水的影响,可以用逐步回归方法来剔除。在回归改正后的残差序列上,可以反映出井水位本身的变化过程。

(6) 用邻近河水位对井水位进行改正,可以滤除掉大部分降雨所引起的影响,从而达到排除降雨干扰的目的。

本文承蒙熊水英、冯绚敏、杨庆安等同志审阅,批改,在此表示感谢。

参 考 文 献

[1] 国家地震局地下水影响因素研究组,地震地下水动态及其影响因素分析,地震出版社,1985。

[2] 陆煜钧,《APPL-11微型计算机使用手册》,气象出版社,1986。

THE INFLUENCE OF WATER LEVEL IN RIVER ON THE WATER LEVEL OF DEEP WELL AND ITS ELIMINATION

Liao Huakang

(Seismological Bureau of Fushan, Guangdong Province)

Abstract

In this paper, various factors which influenced the water level of deep well are analysed. After analysed the relations between water level of two deep well in Sanshui and Fushan and the water level of river air pressure, solid tide and rainfall by the method of progressive regression, it is found out that the water level of river has great important influence on the water level of deep well and pointed out that when using the level data of deep wells near river to analyse the action of regional stress and strain, only by correcting the water level of river, can we achieve the desired aim.