

双桥井水位地震异常特征的再认识

金 艳 郑熙铭

(天津市地震局, 天津 300201)

摘 要 通过对天津双桥井水位多年来的观测资料分析认为: (1) 水位动态主要是受区域地下水开采的影响; (2) 水位异常形态一律为上升型或突升型, 不存在下降型; (3) 异常时段只有短临异常, 不存在长中期异常; (4) 水位地震异常映震的震级与发震区地震活动的衰减或起伏有关, 并非只反映中强以上的地震。

主题词: 井水水位; 异常特征; 地下水位异常; 地震活动性

0 引 言

众所周知, 天津双桥井是全国地震水网中的一口重点井。其建井早, 观测资料长, 震例多, 水位地震异常特征明显, 映震概率高, 是众多井孔中所不多见的。对此, 前人曾做过不少的研究和总结^[1]。但随着时间的推移和分析预报工作的不断实践, 越来越感到按以往对该井研究总结的水位地震异常特征用于分析预报未来的地震, 其效果往往与实际情况出入较大, 不免产生一些困惑。因此, 对该井水位地震异常的特征进行再认识, 显然是很有必要的。

1 水位的正常动态和干扰因素

双桥井是一口深 63.83m 的浅层观测井。其含水层属于第四纪晚更新统海积封存孔隙承压咸水。由于咸水含水层的顶部和底部大都具有较厚的粘土隔水层, 其封闭性较好, 受气象、地表水等干扰因素较少, 所以是较理想的地震地下水观测层。根据计算, 当气压变化 100Pa 时, 咸水层水位变化一般为 0.1—0.3cm^[2]。这表明咸水层水位的气压效应较差。在水位日记图上, 也显示不出日变形态和固体潮汐的变化。但水位对较大的降雨有一定的负荷效应。一般降雨量在 30mm 左右时, 才能较为明显地显示出水位上升。在时间上与降雨时间有同步性或滞后一天。降雨引起的最大水位变化值一般不超过 30cm, 大多数在几厘米或十几厘米之间。

双桥井水位动态具有明显的季节性年变。一般在每年的五月份为水位最高值时段, 然后水位逐渐趋于下降。正常水位动态平稳, 曲线趋于平直。整体水位形态大致分为两个阶段: (1) 1970 年至 1983 年水位呈大幅度的长期趋势性下降, 累积下降幅度约 12.5m; (2) 1984 年以后至今水位趋于平缓, 仅下降 2.58m (图 1, b)。经调查研究表明: 区域性的地下水过量开采是造成水位长期趋势性下降的直接原因。且下降的速率取决于开采

的强度。从天津地区地下水主要开采层第Ⅱ承压含水组的历年年开采量(图1, a)中可见, 1970年至1983年为较大开采年份, 而从1984年以后开采量呈逐渐减小的趋势。据有关资料表明, 开采量的减小与1983年开始天津地区引滦河水入津以及为控制市区地面沉降而封闭许多开采井有关。对比距天津市区60多公里的汉沽双桥井水位曲线(图1, b)与其区域开采量的大小呈明显的相关性。即开采量增大, 水位下降; 开采量减小, 水位上升; 尤其是从汉沽地区1980年至1994年地下水开采量(图1, c)与双桥井水位曲线同时段的对比, 更明显地看出水位的升降与地下水开采量的大小成很好的同步相关。另外, 从1970年至1976年唐山地震之前, 双桥井水位与淡水开采层水位的对比(图2)中可知, 水位形态与淡水开采层水位的形态是很相似的。而且在唐山7.8级地震之前地下水位下降趋势与其后的地下水位下降趋势具有一致性和持续性。这说明区域性的地下水开采是影响双桥井水位动态的主要原因。

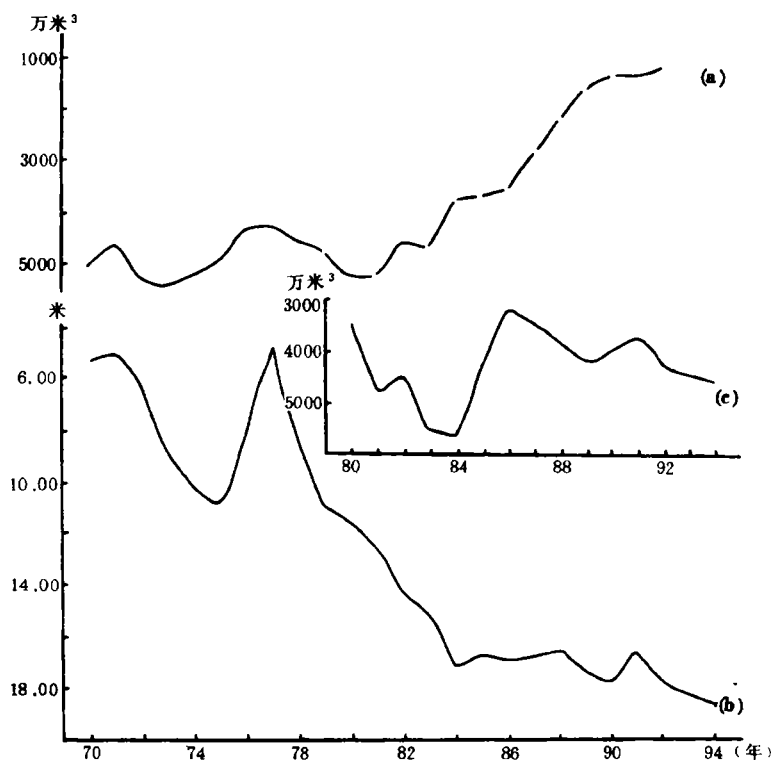


图1 a、天津市区及近郊(400km²)第Ⅱ承压含水组历年年开采量
b、双桥井水位年均值曲线图 c、汉沽区地下水年开采量

2 水位异常震例特征及其判别指标

当水位在正常值背景下, 一旦出现连续上升或突升, 经校测, 并非仪器或干扰因素所致, 并且一般情况在水位经过几天或十几天的连续上升后出现转折下降, 即可视为“水位异常”。

双桥井在 1976 年 7 月 28 日唐山发生 7.8 级地震时,井水出现自流,水头上升大于 13m。震后自流数日,显示了很好的映震效果。其后,该井水位又记录了 23 次较好的震例(表 1)。其井震例之多,概率之高,异常特征之明显,是居众多井孔之首的。

表 1 双桥井水位异常与震例统计表(1977 年 1 月至 1995 年 2 月)

序号	异常起止时间	上升至 转折(天)	上升幅 度(cm)	发 生 地 震			震中距 (km)	异常至 发震天数	有无地震情况
				时间	地点	震级(M_s)			
1	1977.5.12~6.13	10	24	1977.5.12	宁河	6.3	21	当天	有
2	1977.8.29~10.5	9	51	1977.11.27	汉沽东南	5.5	8.8	92	有
3	1978.6.13~7.14	11	77	1978.8.7	芦台东	4.0	8	56	有
4	1978.8.7~8.25	8	31						无
5	1978.11.17~12.4	8	78	1978.12.1	唐山	4.2	54	15	有
6	1979.1.11~1.31	8	18	1979.3.5	沙河驿东	4.7	87	110	有
7	1979.5.28~6.5	15	19	1979.9.2	古冶	4.7	70	97	有
8	1979.10.15~11.4	6	26	1980.2.7	宁河东	4.8	33	115	有
9	1980.10.17~11.26	10	67	1981.3.15	唐山东	4.9*	53	150	有
10	1981.8.10~8.22	5	12	1981.11.9	隆尧	5.8	325	91	有
11	1981.11.20~12.23	8	67	1982.3.8	沙河驿	4.5	97	108	有
12	1982.3.24~4.21	10	18	1982.5.9	古冶	4.9*	75	47	有
13	1982.7.23~8.18	8	41	1982.10.19	卢龙西北	4.9	118	89	有
14	1982.10.20~12.31	9	81						无
15	1983.10.8~10.30	7	24	1984.1.7	滦南	4.8	91	92	有
16	1984.1.8~1.25	11	17						无
17	1984.9.15~10.24	9	17	1985.1.13	丰南西	4.5*	45	121	有
18	1985.7.20~9.3	15	26	1985.10.5	沙河驿	4.6	78	78	有
19	1985.11.13~1986.1.29	18	139	1985.11.30	任县	5.3	349	18	有
20	1988.10.19~11.21	10	35	1989.1.12	唐山北	4.1*	62	86	有
21	1990.7.15~9.18	18	112	1990.7.23	唐山	4.5	77	9	有
22	1991.3.8~3.30	6	28	1991.5.30	陡河	5.3	60	84	有
23	1991.9.21~12.20	10	15.2	1991.10.5	宁河	4.0(M_L)	9.7	15	有
24	1993.5.19~8.7	25	136	1993.9.27	滦县	4.0(M_L)	101	132	有
25	1994.8.21~11.28	17	91	1994.10.4	古冶	4.0(M_L)	73	45	有
26	1994.12.5~1995.1.15	17	67	1995.2.22	古冶震群	最大 3.9(M_L)	65	80	有

* 为国家地球所地震目录,其它为国家地震局地震目录

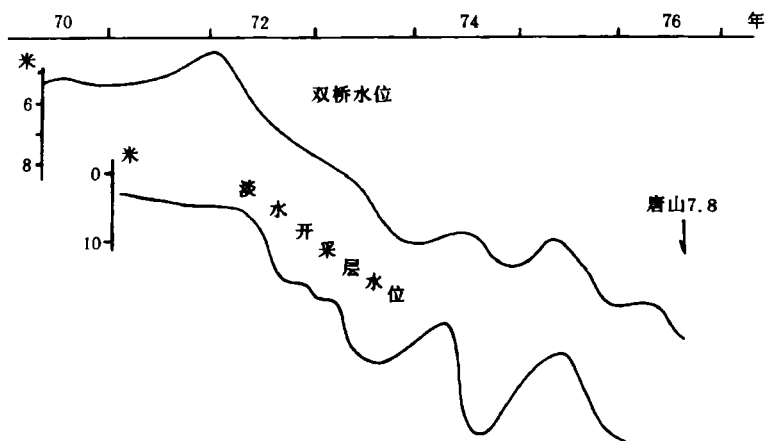


图2 双桥井水位和淡水开采层水位的对比

由表中可知双桥井水位异常特征如下：

(1) 异常形态一律为上升型或突升型。其中以十几 cm 或几十 cm 的缓慢型上升为主。少数为突升型。这和以前总结的“以下降型、突升型为主要异常形态”显然不同；

(2) 异常时段只有短期或短临异常。其中以 3 个月左右的短期异

常为主，不存在长中期异常。从异常开始至发震时间统计：

20 天以内 5 次，占 21.7%，121 天以内 16 次，占 69.6%，其中 90 天左右（78 至 108 天）10 次，占 43%；121 天以上 2 次，占 8.7%；

(3) 异常对应发震地点具有明显的方向性。主要对应唐山老震区，其次是邢台老震区，不反映其它地区的地震。其中：

反映唐山老震区地震 21 次，占 91.3%

反映邢台老震区地震 2 次，占 8.7%；

(4) 异常对应范围以几十公里为主。有 3 次是发生在 10 公里以内的宁河和汉沽地区，只有两次是发生在 300 多公里的邢台老震区；

(5) 映震的震级与发震区地震活动序列的衰减或起伏有密切关系。主要反映 $M_s 4.0 \sim 4.9$ 级地震，少数反映中强地震。其中反映：

$M_s 5 \sim 6$ 级地震 5 次，占 21.7%， $M_s 4.0 \sim 4.9$ 级地震 14 次，占 60.9%， $M_s 4.0$ 级以下地震 4 次，占 17.4%；

这和以前总结的“只反映中强以上地震”有明显的不同；

(6) 发震时间多数情况是在水位异常结束后或上升转降后的过程中发展，具体时间不等。少数情况是在上升过程中或在上升的最高值时发震。这和以前总结的“在水位异常出现后第 91 天至 121 天作为该井预报发震时间的概率性指标”有较大的不同；

(7) 异常幅度与映震的震级无正比关系。

根据双桥井水位动态的特征，经过几种数学方法的试算，其结果显示选用一阶差分的方法进行多年系统处理最为简便适宜。因为这种方法是一种抑制长周期，突出短周期变化的线性滤波器。差分后既消除了水位长年的趋势性下降，又消除了每年的年变，从而突出了时间序列的高频变化部分。由于水位历年一阶差分标准差不同，所以分别采用 1.0 倍、1.5 倍和 2.0 倍均方差作为不同年份的异常判别标志。其计算结果如下：

用一阶差分提取日值突变信息

RIZHCF

差分前原始数据总数 (≤ 1000) $N=$

365

一阶差分后的水位值标准差 (mm)

SWO=25.36239 超过1.5倍标准差为异常

年	月	日	原始值	差分值	超限否
1977	5	13	3960	-40	***
1977	5	14	3910	-50	***
1977	5	15	3860	-50	***
1977	6	9	3920	40	***
1977	6	14	4020	50	***
1977	8	29	5700	-60	***
1977	8	30	5530	-170	***
1997	8	31	5440	-90	***
1977	9	1	5380	-60	***
1977	9	2	5320	-60	***
1977	9	3	5280	-40	***
1977	10	2	5570	60	***
1977	10	4	5620	50	***
1977	10	6	5700	50	***

用一阶差分提取日值突信息 RIZHCF

差分前原始数据总数 (≤ 1000) $N=365$

一阶差分后的水位值标准差 (mm)

SWO=42.12666 超过2倍标准差为异常

年	月	日	原始值	差分值	超限否
1978	6	14	7900	-150	***
1978	6	15	7720	-180	***
1978	6	16	7580	-140	***
1978	6	17	7480	-100	***
1978	6	19	7320	-100	***
1978	8	9	8570	-100	***
1978	8	11	8670	180	***
1978	8	12	8460	-210	***
1978	11	17	10000	-250	***
1978	11	18	9820	-180	***
1978	11	19	9690	-130	***
1978	11	20	9600	-90	***
1978	11	30	9570	-130	***
1978	12	1	9820	250	***

用一阶差分提取日值突变信息 RIZHCF

差分前原始数据总数 (≤ 1000) $N=365$

一阶差分后的水位值标准差 (mm)

SWO=14.45045 超过2倍标准差为异常

年	月	日	原始值	差分值	超限否
1979	1	12	10610	-90	***
1979	1	13	10580	-30	***
1979	5	28	10640	-100	***
1979	5	29	10610	-30	***
1979	5	30	10580	-30	***
1979	6	1	10550	-30	***
1979	10	16	11010	-30	***
1979	10	17	10910	-100	***
1979	10	20	10790	-80	***
1979	10	21	10890	100	***

用一阶差分提取日值突变信息 RIZHCF

差分前原始数据总数 (≤ 1000) $N=366$

一阶差分后的水位值标准差 (mm)

SWO=21.08981 超过2倍标准差为异常

年	月	日	原始值	差分值	超限否
1980	10	17	11790	-130	***
1980	10	18	11530	-260	***
1980	10	19	11380	-150	***
1980	11	7	11460	80	***
1980	11	8	11540	80	***

用一阶差分提取日值突变信息 RIZHCF

差分前原始数据总数 (≤ 1000) $N=365$

一阶差分后的水位值标准差 (mm)

SWO=21.83061 超过1.5倍标准差为异常

年	月	日	原始值	差分值	超限否
1981	8	11	13063	-37	***
1981	8	12	13015	-48	***
1981	11	21	13761	-119	***
1981	11	22	13537	-224	***
1981	11	23	13377	-160	***
1981	11	24	13287	-90	***
1981	11	25	13238	-49	***
1981	12	9	13368	39	***
1981	12	12	13470	50	***
1981	12	13	13525	55	***
1981	12	14	13572	47	***
1981	12	15	13630	58	***
1981	12	16	13680	50	***
1981	12	17	13720	40	***
1981	12	18	13760	40	***

用一阶差分提取日值突变信息 RIZHCF

差分前原始数据总数 (≤ 1000) $N=365$

一阶差分后的水位值标准差 (mm)

SWO=23.69166 超过1.5倍标准差为异常

年	月	日	原始值	差分值	超限否
1982	3	25	14056	-36	***
1982	3	26	14009	-47	***
1982	3	27	13973	-36	***
1982	4	22	14112	131	***
1982	7	20	14644	104	***
1982	7	23	14578	-64	***
1982	7	24	14488	-90	***
1982	7	25	14417	-71	***
1982	7	26	14348	-69	***
1982	7	27	14295	-53	***
1982	10	20	14918	-54	***
1982	10	21	14718	-200	***
1982	10	22	14560	-158	***
1982	10	23	14450	-110	***
1982	10	24	14367	-83	***
1982	10	25	14311	-56	***
1982	11	3	14404	38	***
1982	11	5	14475	38	***
1982	11	21	14760	-39	***

用一阶差分提取日值突变信息 RIZHCF

差分前原始数据总数 (≤ 1000) $N=358$

一阶差分后的水位值标准差 (mm)

SWO=14.4333 超过2倍标准差为异常

年	月	日	原始值	差分值	超限否
1983	10	8	15600	-50	***
1983	10	9	15550	-50	***
1983	10	10	15460	-90	***
1983	11	2	15717	37	***
1983	11	17	15814	78	***
1983	12	24	15982	54	***

用一阶差分提取日值突变信息 RIZHCF

差分前原始数据总数 (≤ 1000) $N=366$

一阶差分后的水位值标准差 (mm)

SWO=29.84438 超过1倍标准差为异常

年	月	日	原始值	差分值	超限否
1984	1	4	16194	49	***
1984	1	20	16137	49	***
1984	1	21	16710	33	***
1984	9	15	17360	-30	***
1984	9	16	17330	-30	***
1984	10	25	17521	161	***

用一阶差分提取日值突变信息 RIZHCF

差分前原始数据总数 (≤ 1000) $N=365$

一阶差分后的水位值标准差 (mm)

SWO=26.22807 超过1倍标准差为异常

年	月	日	原始值	差分值	超限否
1985	7	21	16415	-30	***
1985	7	22	16360	-55	***
1985	7	23	16318	-42	***
1985	7	24	16281	-37	***
1985	7	25	16252	-29	***
1985	7	26	16225	-27	***
1985	11	14	16823	-227	***
1985	11	15	16640	-183	***
1985	11	16	16450	-190	***
1985	11	17	16315	-135	***
1985	11	18	16185	-130	***
1985	11	19	16075	-110	***
1985	11	20	13989	-86	***
1985	11	21	15923	-66	***
1985	11	22	15860	-63	***
1985	11	23	15814	-46	***
1985	11	25	15741	-54	***
1985	12	5	15741	28	***
1985	12	6	15771	30	***
1985	12	7	15814	43	***
1985	12	8	15845	31	***
1985	12	9	15878	33	***
1985	12	10	15911	33	***
1985	12	11	15947	36	***
1985	12	12	15988	41	***
1985	12	14	16049	35	***
1985	12	15	16092	43	***
1985	12	16	16130	38	***
1985	12	17	16160	30	***
1985	12	18	16192	32	***
1985	12	19	16226	34	***
1985	12	25	16358	30	***
1985	12	27	16410	27	***

用一阶差分提取日值突变信息 RIZHCF

差分前原始数据总数 (≤ 1000) $N=366$

一阶差分后的水位值标准差 (mm)

SWO=13.13589 超过2倍标准差为异常

年	月	日	原始值	差分值	超限否
1988	10	20	16920	-43	***
1988	10	21	16846	-74	***
1988	10	22	16778	-68	***
1988	10	23	16724	-54	***
1988	10	24	16684	-40	***
1988	10	25	16654	-30	***
1988	11	4	16699	35	***
1988	11	5	16727	28	***

用一阶差分提取日值突变信息 RIZHCF

差分前原始数据总数 (≤ 1000) $N=365$

一阶差分后的水位值标准差 (mm)

SWO=28.29089 超过2倍标准差为异常

年	月	日	原始值	差分值	超限否
1990	7	16	17882	-192	***
1990	7	17	17743	-139	***
1990	7	18	17565	-178	***
1990	7	20	17313	-221	***
1990	7	22	17076	-184	***
1990	8	9	17077	74	***
1990	8	27	17275	72	***
1990	9	17	17969	59	***
1990	9	18	18030	61	***

用一阶差分提取日值突变信息 RIZHCF

差分前原始数据总数 (≤ 1000) $N=243$

一阶差分后的水位值标准差 (mm)

SWO=11.98478 超过2倍标准差为异常

年	月	日	原始值	差分值	超限否
1991	3	9	18175	-80	***
1991	3	10	18105	-70	***
1991	3	11	18035	-70	***
1991	3	12	17995	-40	***

用一阶差分提取日值突变信息 RIZHCF

差分前原始数据总数 (≤ 1000) $N=365$

一阶差分后的水位值标准差 (mm)

SWO=732.3108 超过2倍标准差为异常

年 月 日 原始值 差分值 超限否

1991	9	23	5345	-13239	***
1991	10	27	9449	3538	***
1991	10	28	10989	1540	***

用一阶差分提取日值突变信息 RIZHCF

差分前原始数据总数 (≤ 1000) $N=365$

一阶差分后的水位值标准差 (mm)

SWO=32.14555 超过2.5倍标准差为异常

年	月	日	原始值	差分值	超限否
1993	5	21	17694	-108	***
1993	5	22	17510	-184	***
1993	5	23	17404	-106	***
1993	5	24	17304	-100	***
1993	5	25	17218	-86	***
1993	5	27	17088	-89	***
1993	6	2	16867	-86	***
1993	6	12	16448	-257	***
1993	7	31	17665	187	***
1993	8	6	17790	36	***
1993	8	8	17823	33	***

用一阶差分提取日值突变信息 RIZHCF

差分前原始数据总数 (≤ 1000) $N=365$

一阶差分后的水位值标准差 (mm)

SWO=52.75553 超过2倍标准差为异常

年	月	日	原始值	差分值	超限否
1994	8	22	19023	-108	***
1994	10	18	18842	198	***
1994	10	20	18621	-231	***
1994	10	21	18861	240	***
1994	10	23	18763	-182	***
1994	10	24	18987	224	***
1994	10	26	18923	-110	***
1994	10	27	19110	187	***
1994	11	11	18747	-106	***
1994	11	17	19005	163	***
1994	11	18	18867	-138	***
1994	11	24	19058	119	***
1994	11	25	19182	124	***
1994	11	26	18835	-347	***
1994	11	29	19236	357	***
1994	12	6	19160	-117	***
1994	12	17	18659	-149	***

需要说明的是对1991年水位一阶差分之所以分两次作,是由于1991年9月21日开始出现的水位异常突升幅度达15m多。如一次做,则同年3月8日开始出现的28cm水位异常则提取不出来。结合表1,应用异常判别方法评价双桥井水位异常对应地震率:

$$P_1 = \frac{\text{有异常有地震个数}}{\text{有异常总数}} \% \\ = \frac{23}{26} \% = 88.5 \%$$

异常虚报率:

$$P_2 = \frac{\text{有异常无地震个数}}{\text{有异常总数}} \% \\ = \frac{3}{26} \% = 11.5 \%$$

3 映震概率检验和认识

为检验双桥井水位异常指标的映震概率,取异常与地震相互对应率 $T = P_1 \cdot Q_1^1$,采用贝叶斯估计的表达式为 $\hat{T} = \hat{P}_1 \cdot \hat{Q}_1^1$, 其中:

$$\hat{P}_1 = (n_1^1 + 1) / (N^1 + 2) \quad \hat{Q}_1 = n_1^1 / N_1$$

考虑到单项指标 $\hat{P}_1$ (或 $\hat{Q}_1^1$) > 0.6 可视为有一定对应,则综合指标 $\hat{T} > 0.35$ 可视为有一定对应,并以此作为检验标准。依据表2将双桥井水位异常与地震的相互关系统计后,计算结果如下: $\hat{P}_1 = 0.86$, $\hat{Q}_1^1 = 0.62$, $\hat{T} = 0.53$

即综合指标 $\hat{T} > 0.35$, 表明异常指标可行,检验结果通过。其中,选取有震无异常 $n_1^0 \geq 4.5$ 级地震 (表2)。

表2

异常与地震的相互关系

	有异常	无异常	Σ
有震	n_{11}^1	n_{11}^0	N_1
无震	n_{10}^1	n_{10}^0	N_0
Σ	N^1	N^0	N

根据国家局地震目录,唐山老震区从1977年以后共发生8次 $M_s \geq 4.9$ 级地震 (其中1977年占6次,1982年10月19日和1991年5月30日各占一次)。邢台老震区从1970年以后仅发生两次 $M_s \geq 4.9$ 级地震,对此,双桥井水位异常共对应了6次。尤其是对1978年以后这两个老震区发生的 $M_s 4.9$ 级以上的地震一一对应,无一虚漏。这表明双桥井水位异常对这两个老区发生的中强以上地震具有很强的反映能力。可以认为:这两个地区如发生中强以上地震,那么双桥井水应该会出现异常。反之,双桥井水位出现异常,不一定反映的全是中强以上地震。

另外,从表1中可知,水位异常对应的震级从1985年以后逐渐减小。且在1986年至1987年唐山和邢台老震区震活动相对平静期间,该井水位也相对平静未出现异常。值得有趣的

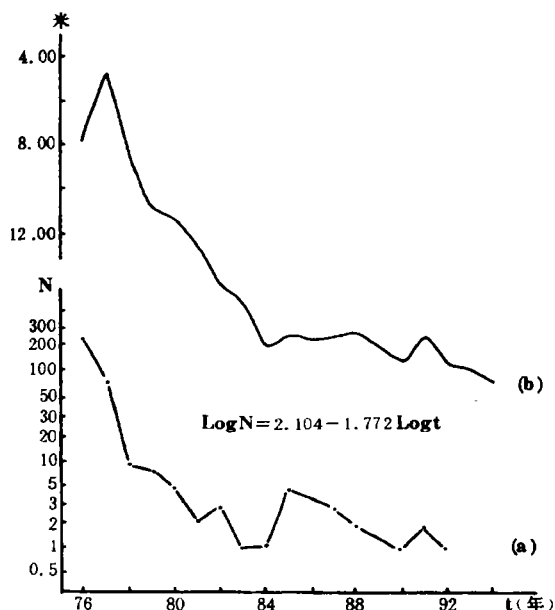


图3 a. 唐山余震序列 $M_s \geq 4.0$ 级地震年频度衰减曲线 b. 双桥井水位年均值曲线

是,双桥井水位从1976年以后的曲线与唐山余震序列 $M_s \geq 4.0$ 级地震年频度衰减曲线(图3)很相似,具有明显的同步性。这表明水位异常映震的震级与发震区地震活动的衰减或起伏有着密切的关联。因此,在地下水位分析预报工作中,特别是根据水位异常提出地震预报三要素时,应同时考虑地震活动的情况和特点。

通过本文的研究总结,对天津双桥井水位异常的特征和反映震效果的评价有了新的认识和了解。这对于今后用该井水位异常分析预报地震提供了一定的参考。

(1995年11月15日收到初稿)

参 考 文 献

- 1 王雅灵,等. 天津双桥井水位动态映震效能与敏感原因剖析. 水位水化专辑. 北京:地震出版社,1990.
- 2 郑熙铭. 咸水层水位的突升与地震活动. 地震,1988,(5).

REDISCUSSION ON THE CHARACTERISTICS OF SEISMIC ANOMALIES OF GROUNDWATER LEVEL IN SHUANGQIAO WELL

Jin Yan Zhang Ximing

(Seismological Bureau of Tianjin, Tianjin 300201)

Abstract

By analyzing observational data of Shuangqiao well in Tianjin for many years, the results obtained are as follows: (1) the regime of groundwater level is mainly influenced by the extraction of regional groundwater. (2) The anomalous forms of groundwater level are entirely ascending type or abrupt rise type, without descending type. (3) There exist short-term anomalies of groundwater level in the time range of anomaly, without the long-term and medium-term anomalies. (4) The earthquake-response magnitude of precursory anomalies of groundwater level is related to the attenuation or fluctuation of the seismic activities in seismogenic region.

Subjective words: well water level; anomalous characteristics; anomaly of groundwater; seismicity