

井水位气压效率 b 值动态响应的断层—前兆场主应力组合模式

卜凡泉, 杨 燕

(山东省滨州市地震局, 山东 滨州 256602)

摘要:统计鲁03、04井水位的气压效率 b 值发现, 在华北及其周缘绝大多数地震前两口井前兆异常形态各异. 经分析井孔定位断层走向与地震前兆场主应力的组合模式不同是产生上述现象的根本原因.

关键词:水位 b 值; 定位断层; 前兆主应力方向; 组合模式

中图分类号: P315.72⁺3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-0844(2002)04-0356-05

0 引言

在深井水位的前兆信息开发中, 水位—气压效率(b 值)一直受到人们的重视, 并在分析预报实践中发展为重要的前兆指标. 统计发现, b 值动态相对于水位表现出“静”、“动”分明的特点: 由于 b 值与水位物理意义不同, 在正常情况下当井水位趋势性波动幅度较大时, 其 b 值仍然相对稳定; 但对于较近距离($\Delta < 800$ km)的中强地震($M > 5.0$)或是更远距离($\Delta > 800$ km)的大地震($M > 7.0$), 则前兆动态突出、鲜明, 异常识别远较水位清晰、容易. 同一构造区间群井 b 值, 对应同一地震的前兆异常形态表现各异, 但只要把 b 值异常形态、井孔定位的断层走向、地震前兆场主应力方向三者结合起来, 综合分析 b 值动态与断裂构造走向和地震前兆场主应力方向的组合模式之间的关系, b 值的前兆形态变化是有规律可循的. 通过多井孔、多震例的分析和理论研究, 可以识别出某些井孔 b 值对不同区间地震的前兆响应形态; 利用群井 b 值异常形态以及“三要素”组合模式还可以反演出所相应的前兆场主应力方向, 服务于地震预报. 此外, b 值在相关地球物理研究方面也将有广阔前景.

笔者在对处于同一构造区间的六口深井水位 b 值十多年资料进行分析、研究, 发现其中鲁03、04两口井的前兆异常最具特色, 因而选取这两口定位断层走向不同, b 值前兆异常形态各异的资料作对比分析.

1 地质背景与井孔概况

鲁03、04井是20世纪70年代末建立的地震地下水位观测井, 位于山东北部, 系石油探井改造而成. 地质上属于冀鲁断块区的济阳拗陷. 鲁03井观测段位于下第三系砂岩, 测层埋深为2 048.16~2 049.56 m. 物探证实该测段位于小断层破碎带内, 距较大的陈官断层仅8.0 m. 陈

官断层发育深度在 1 万米以下, 走向为 126° 左右. 鲁 04 井观测层为埋深 550~970 m 的第三系砂岩, 接近商河—临邑断层带 ($\Delta < 2.0$ km). 该断层走向 60° 左右, 是济阳拗陷内重要构造(图 1).

2 水位 b 值前兆异常动态特点与构造—应力组合模式

2.1 水位 b 值的计算方法

水位—气压效率 (b 值) 的计算时段从 1981 年到 2001 年. 两井气压、降水等辅助观测齐全. 在水位排除降水干扰的基础上, 以日均值为基值, 一月为组合, 五日一滑动, 连续统计 b 值作为日常地震分析预报的前兆指标. 正、负异常的判定标准是各井数值的二倍均方差.

2.2 两井的异常动态特点

经计算, 03 井的正负异常标准分别为 6.96 和 5.60 mm/hPa; 04 井为 3.80 和 3.17 mm/hPa. 将统计时段内当地 ($\Delta < 300$ km) 的中小地震 ($M = 4.0 \sim 5.0$), 华北^[1] 及边缘地带 ($\Delta = 300 \sim 800$ km) 中的中强地震 ($M > 5.0$) 及远场 ($\Delta = 800 \sim 1500$ km) 一些大地震 ($M > 7.0$) 的两井前兆异常形态做对比, 在二十个(组)震例中, 两井相同或相近的仅有两个, 占 10%, 分布于冀鲁、胶辽断块中部(唐山、岫岩); 90% 的地震异常形态差异明显, 或大相径庭. 04 井前兆动态鲜明, 幅度大, 异常形态单一(只有正异常, 几乎没有负异常); 03 井前兆动态鲜明, 幅度较大, 且形态丰富(正、负异常成组出现, 一般先负后正).

2.3 b 值异常动态的构造—应力组合模式

对于 04、03 井水位 b 值对同一地震前兆响应形态各异问题, 分析认为, 其根本原因在于两井定位断层走向与前兆场主压应力 ($\hat{\sigma}$) 组合模式控制的测层岩体裂纹有效空间产生不同性质的应变, 影响了流体的传导能力所致.

胜利油田物探资料显示, 03 井定位断层走向 (126°) 与 04 井定位断层 (60°) 方位角相差较大. 在同一地震前兆场主应力作用下, 由于各井定位断层走向的不同, 当某一井孔定位断层承受 $\hat{\sigma}$ 正面作用、两盘岩体呈现挤压应变的同时, 另一井孔定位断层走向可能与 $\hat{\sigma}$ 平行, 使 $\hat{\sigma}$ 被分解为 $\hat{\sigma}$, 断层两盘岩体产生张性应变. 最易于体现岩体运动受力运动形式的是断层破碎带, 当两盘挤压时, 带内岩体孔隙和裂纹等有效体积首先压缩, 流体传导能力下降, 反映在水位 b 值上则是数值降低; 反之, 则呈现为引张 ($\hat{\sigma}$), b 值相应增高.

依据多井孔、多震例分析经验总结出: (1) 凡是 b 值异常幅度 (Δb) 超过二倍判定标准者 (Δp , 即四倍均方差) 可认为是 $\hat{\sigma}$ 或 $\hat{\sigma}$ 对断层面施以正面挤压或引张; (2) 凡是 Δb 低于 Δp 者, 则认为 $\hat{\sigma}$ 或 $\hat{\sigma}$ 与断层法线方向有一角度偏离 (Q), 其方向依据群井 b 值相同性质的主应力优势方向而定, 计算方法为

$$2Q = \arccos \frac{\Delta b}{\Delta p}$$

(3) 当 $\Delta b = 0$, 即无异常显示时, 则可认为 $\hat{\sigma}$ 与 $\hat{\sigma}$ 与断层法线夹角相等 ($Q = 45^{\circ}$), 应变能中和.

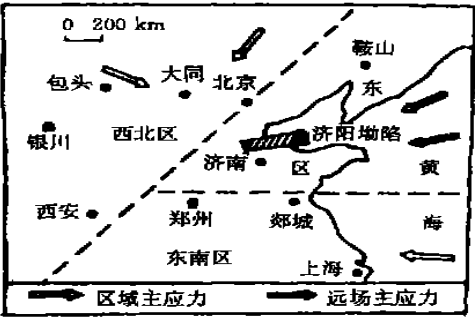


图 1 济阳拗陷井位与断裂分布
Fig. 1 The position of wells and distribution of faults in Jiyang depression, Shandong.

3 两井 b 值对华北及邻近地区地震前兆主应力的响应形态

综合傅容珊^[2]、杜兴信^[3]、叶叔华^[4]等人对中国大地构造主应力方向的研究成果,参照华北及其邻区地震多发区间的密集度和主压应力方向($\hat{q}$)的近同性,把发震区间分为三个区:①鄂尔多斯、太行、阴山及冀鲁断块西北角交界区间为西北区, $\hat{q}$ 平均方位为 32° (用水位 b 值反演还有 127° 存在,但震级较低,出现较少);②冀鲁断块大部、胶辽断块中北部为东区, $\hat{q}$ 为 63° ;③胶辽断块南部、扬子断块东部(上海附近)为东南区, $\hat{q}$ 为 91.5° ,远场地震单独为一区(图2).作者曾用群井 b 值前兆形态结合定位断层走向反演、拟合不同区间地震前兆场 $\hat{q}$ 方位^[5],结果与上述接近.

根据统计的三区震例,讨论03、04井的水位 b 值对各区间地震前兆 $\hat{q}$ 的响应形态.各区间主要震例的 b 值异常形态见图3.

(1) 西北区. $\hat{q}$ 方位为 32° 、 127° ,前者居优.04井定位的商河断层(63°)与 $\hat{q}$ 交角为 31° ,接近于“应交能中和”的 $45^\circ \pm 10^\circ$ 范围, $\hat{q}$ 与断层带属响应“迟钝”型组合,略呈现引张.04井 b 值只对包头6.4级地震有幅度较小的正异常形态出现,且时段较短,只有35天.对于大同6.1级地震和其他四个地震则没有明显的前兆响应;对于上述震例,03井由于其定位断层走向 126° ,与 $\hat{q}$ 交角 86° ,基本为主压应力响应,其 b 值异常形态完全不同于04井:①负异常突出,表现为时段长,最长大同5.8级达7个月之久;异常形态往往呈现为长条状,不同于对其他两区的地震前兆响应形态;异常幅度在灵武5.4、大同5.8、包头6.4级地震前其最低值都低于二倍判定标准,形态十分清晰.②密度大,在上述震例中不但都有鲜明的前兆异常响应,有的震例还是“成串”出现.③正、负异常成组出现,如在灵武5.4、大同5.7、6.1及甘南5.8级地震前,作者认为是另一方向(127°) $\hat{q}$ 的作用结果.总之,西北区地震是两井 b 值前兆响应动态差别最鲜明的地区(图3(a)、(b)).

(2) 东区.东区是03、04井所在区域, $\hat{q}$ 为 63° ,与04井定位断层近于平行,属 $\hat{q}$ 易于被分解的组合结构;与03井断层交角在 63° ,偏向于挤压.04井不同于对西北区地震前兆响应“迟钝”,变为相当灵敏(图3(c)).对于宁晋6.1级、5.9级、滦县5.3级、岫岩5.4级等地震前兆响应幅度大(超过二倍判定标准),时段长(都在2个月以上),体现出 $\hat{q}$ 被分解为方向较纯、“效率”较高的 $\hat{q}$ 前兆应变.值得一提的是菏泽5.9级是本区震级较高的地震,且与04井断层有一定的构造连通,但 b 值前兆响应幅度低于东区北部的地震,似乎显示该地震前兆场 $\hat{q}$ (78°)与04井断层交角变大有关.03井 b 值对本区地震前兆响应形态中,负值频次较高,但幅度不大,时段相对较短;只有近距离($\Delta < 100\text{ km}$)的渤海湾4.8级地震例外.而负、正成组的异常形态幅度往往较大(不少超过二倍判定标准),且比较对称,但频次较低.说明03井定位断层在响应 $\hat{q}$ 偏重于挤压应变的同时,由于组合角度的优势还可以响应 $\hat{q}$ 在蕴震—发震过程中发生的方向、性质的转换.

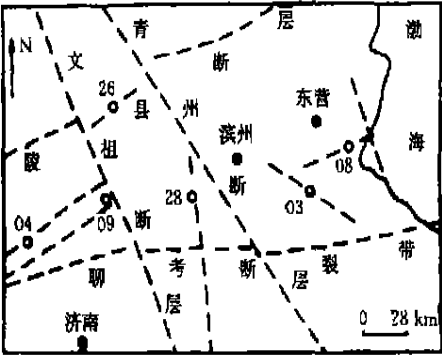


图2 水位 b 值反映的不同区间前兆场主应力方向
Fig. 2 The principal stress directions of different regions from b -value of water level in wells.

(3) 东南区. $\bar{\varphi}$ 平均方位为 91.5° (台湾海峡除外), 与 04、03 井定位断层交角约 37° 、 24° , 都为趋于引张组合结构. 04 井 b 值对于黄海 4.8 级、上海东 6.1 级、勿南沙 6.2 级等地震前兆响应形态依然是正值, 但相对于东区幅度明显变小, 时段缩短, 类似于蘑菇形状, 与西北区的某些震例有相似之处. 03 井 b 值对于上述震例的异常形态正、负频次基本相等, 正异常幅度占有一定优势, 但主要表现在上海东附近震区(图 3(d)).

(4) 远场地震. 所讨论的为台湾花莲 7.6 级、台湾海峡 7.3 级和日本鸟取 7.6 级地震. 震中距为 $1\,360 \sim 1\,450$ km, 用鲁 09、26、04 三井水位 b 值资料. 鲁 26、09 井定位断层走向与 04 井定位的商河断层相近, 但 09 井又靠近北北西走向的文祖断层, 易于接受其他模式的应力作用. $3e$ 看,

1 800 km, b 值的异常形态在两个地震前却十分相近. 09、26 井 b 值先负后正, , 04 井则稍低于花莲地震. ,

250 km 左右, b 值异常形态却大相径庭: ① 3 井 b 值各有约 6、5、3 个月的前兆异常时段,

3 井各有约 2 个月的异常时段; ② 09、26 井 b 值只有单一的高值和低值异常,

“ ”、“ ”

. ③ b 值异常幅度多在 2.0 mm/hPa ,

1.0 mm/hPa 左右.

演的 $\bar{\varphi}$ 为 59° , (1999)

$\bar{\varphi}$ 越向南偏转的规律.

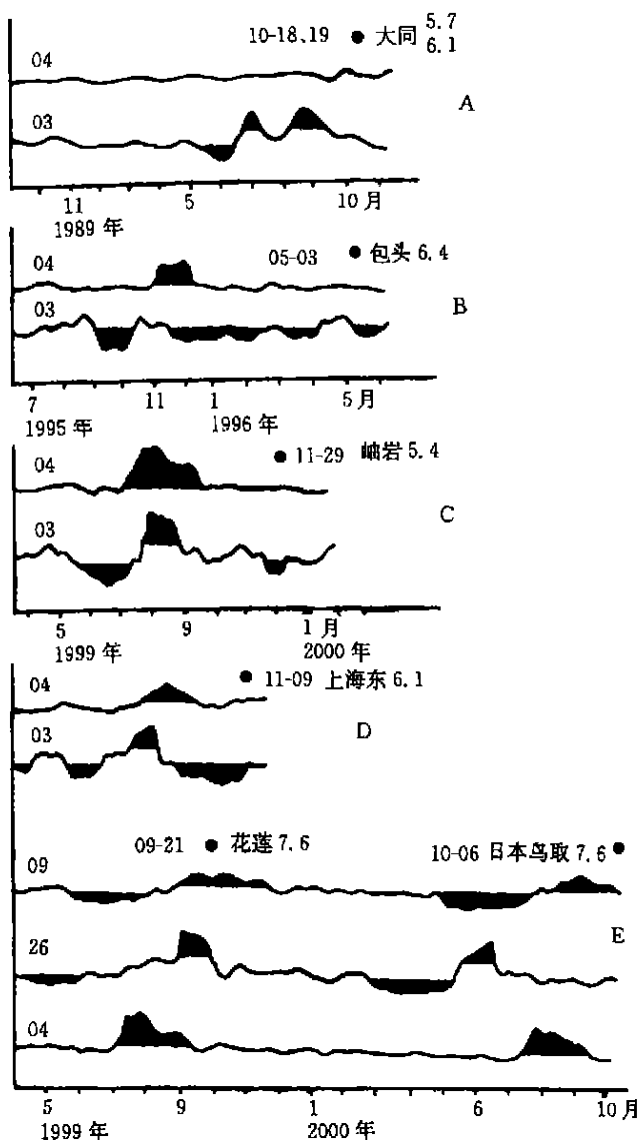


图 3 鲁 04、03、09、26 井水位 b 值对不同区间地震的前兆形态

Fig. 3 Precursor responses of b value of Lu-04, 03, 09, 26 wells before earthquakes in different regions.

4 讨论

(1) ① ; ②
1/10; ③
(2) “ ” 03 井 b 值异常形态、 、 ,
 ,
 b 值的异常形态比较丰富. “ ” 04 井的断层与主压应力组合模式除了纯引张之外, “ ”, b 值所产生的异常形态几乎都为正值. 08 井、26 井 b 值前兆异常形态与 04 井类同, 04 井有差别, “ ” , 1.09 mm/hPa(08 井).
(3) b 值对应不同区间地震前兆的形态特点后,
(4) , b 值方法不但作为地震预报手段日趋重要,

[]

[1] , . [A]. :《 》[C]. : , 1980. 12—18.
[2] , . [J]. , 1983, 26(): 641—650.
[3] , . [J]. , 1999, 21(4): 354—360.
[4] . [N]. , 1996. 5. 25.
[5] , . b 值动态推算华北中强地震前主应力方向[J]. , 1999 21(2): 189—193.

COMBINATION PATTERNS OF FAULT—PRINCIPAL STRESS OF PRECURSOR FIELD
RESPONDED BY THE ATMOSPHERIC PRESSUR EFFICIENCY
 b -VALUE OF WETER LEVEL IN WELL

BU Fan-quan, YANG Yan
(Birzhou Seismological Bureau, Shandong, Birzhou 256602, China)

Abstract: It is found after statistics that the styles of precursor anomaly of the atomosphetic pressure efficiency b -value of water level in well are different in Lu—0.3、04 wells to most earthquakes took place in North China and the adjacent regions. The analysis shows that the different combination patterns of locating fault of wells and principal stress direction of seismic precursor field is the basical reason for it.
Key words: b -value of water level; Locating faut; Principal stress direction of seismic precursor; Combination pattern