

杨明波, 康跃虎, 张庆, 白长青, 林元武, 王力, 黎长维, 张凌空, 朱时军, 张中五, 谷廷瑶. 2009. 北京地下水位趋势下降动态及地震前兆信息识别. 地震学报, 31(3): 282-289.

Yang Mingbo, Kang Yuehu, Zhang Qing, Bai Changqing, Lin Yuanwu, Wang Li, Li Changwei, Zhao Lingkong, Zhu Shijun, Zhang Zhongwu, Gu Tingyao. 2009. Tendencious fall of groundwater table in Beijing region and recognition of earthquake precursor information. *Acta Seismologica Sinica*, 31(3): 282-289.

北京地下水位趋势下降动态及 地震前兆信息识别^{*}

杨明波^{1,2,3,*} 康跃虎¹⁾ 张庆⁴⁾ 白长青³⁾
林元武³⁾ 王力³⁾ 黎长维³⁾ 张凌空⁵⁾
朱时军³⁾ 张中五³⁾ 谷廷瑶³⁾

1) 中国北京 100101 中国科学院地理科学与资源研究所

2) 中国北京 100049 中国科学院研究生院

3) 中国北京 100080 北京市地震局

4) 中国北京 100022 北京市北方中学

5) 中国北京 100022 中国地震台网中心

摘要 对北京地区超采引起的地下水位动态特征与成因作了详细分析, 并对超采背景下如何提取地震前兆异常信息的问题作了探讨. 北京地区地下水位年动态的主要影响因素是地下水开采和降雨, 而地下水位动态的趋势变化则与区域地下水超采量有直接关系. 本文用相关分析的方法, 分析了北京平原区超采量与水位变化之间的关系, 为评价超采区观测井的干扰影响程度、识别地震前兆信息提供依据. 研究结果表明, 在区域超采不严重的地区引起的水位趋势性变化中, 也包含着地震前兆信息; 采用消除趋势及年变化影响的数学处理方法, 可提取出地震的趋势异常变化.

关键词 地下水位动态 地下水超采 相关分析 地震前兆异常

文章编号: 0253-3782(2009)03-0282-08

中图分类号: P315.72⁺3

文献标识码: A

Tendencious fall of groundwater table in Beijing region and recognition of earthquake precursor information

Yang Mingbo^{1,2,3,*} Kang Yuehu¹⁾ Zhang Qing⁴⁾ Bai Changqing³⁾
Lin Yuanwu³⁾ Wang Li³⁾ Li Changwei³⁾ Zhang Lingkong⁵⁾
Zhu Shijun³⁾ Zhang Zhongwu³⁾ Gu Tingyao³⁾

1) *Institute of Geographic Sciences and Natural Resource Research, CAS, Beijing 100101, China*

* 基金项目 中国地震局 2009 年度震情跟踪合同制定向工作任务(200902090)资助.

收稿日期 2008-05-21 收到初稿, 2009-02-20 决定采用修改稿.

† 通讯作者 e-mail: yangmb@bjseis.cn

2) Graduate University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100049, China

3) Earthquake Administration of Beijing, Beijing 100080, China

4) Beijing Beifang School, Beijing 100022, China

5) China Earthquake Network Center, Beijing 100045, China

Abstract: This paper quantitatively analyzed the dynamic variation of groundwater-table in Beijing induced by water overdraw and the contributing factors of such variation, and discussed how to extract earthquake precursor information on the background of water overdraw. The main factors affecting dynamic groundwater-table variation in Beijing region are groundwater drawing and rainfall, and the tendencious variation of the groundwater-table is directly related to the groundwater overdraw. Using regression analysis, this paper quantified the relation between the water overdraw and groundwater-table variation, providing a basis for realizing groundwater-table variation trend and evaluating the degree of water overdraw at the observation wells in water-overdraw region. Our research result indicates that, in the region where groundwater overdraw is not severe, the earthquake precursor information can still be extracted from the observation of tendencious variation of the groundwater-table. Using mathematical treatment to remove the tendencious and annual periodic variation, we are able to identify trend variation of earthquake precursory anomaly.

Key words: dynamic groundwater-table variation; groundwater overdraw; regression analysis; earthquake precursory anomaly

引言

在北京地区,随着经济建设的发展,地下水开采引起的地下水位大幅度下降,不可避免地改变了地震地下水位的动态,并造成映震灵敏性的下降,严重影响到地震监测预报的效能。随着地下水开采井数量不断增多,井深不断加大,开采量不断增大,地下水储量消耗也越来越严重。地下水得不到充分补给,导致地下水位动态规律发生变化,水位大幅度下降,甚至自流井不再自流,给北京地区地下流体动态的正常观测带来很大威胁(车用太,鱼金子,2004;张凌空,2005;车用太,2000;范建明,2003)。在这种强烈的开采区,地下水位动态变化资料中是否隐含有地震的前兆信息,如何有效地提取前兆信息,这些问题的解决,无疑是提高北京地区流体手段预测效能的关键性课题之一。

1 地下水超采的影响与评估

1.1 北京观测井水位多年动态特征及其成因分析

北京地区多年平均降水量为 585 mm 左右。其降水的年际、年内变化十分悬殊。据历史记载,北京地区最大年降水量达 1406 mm(1959 年),最小年降水量仅有 242 mm(1869 年)。大气降水主要集中在 6—9 月份,可占年降水总量的 80%以上,其中 7—8 月降水量可占 65%左右。

北京地区地下水的年动态受到降水、开采等因素的影响,高水位出现在每年的 7—10

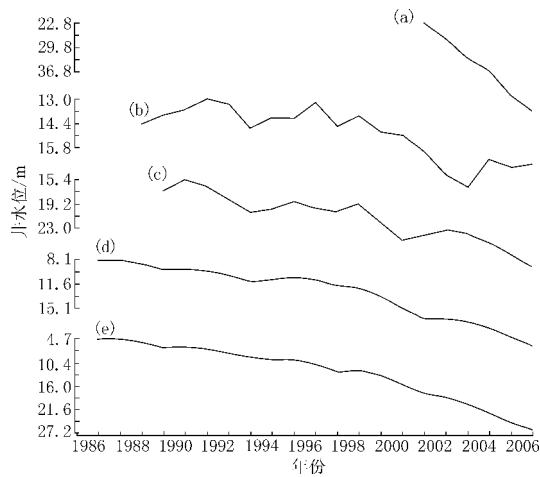


图 1 北京地区地下水位多年动态变化图

(a) 昌平台井水位；(b) 大灰厂井水位；(c) 徐辛庄井水位；
(d) 马头井地下水位；(e) 板桥井地下水位

Fig. 1 Dynamic variation of groundwater level for years in Beijing region

(a) Changping well water level; (b) Dahuichang well;
(c) Xuxinzhuang well; (d) Matou well; (e) Banqiao well

月份，低水位出现在每年的 5—6 月份，水位年际变幅一般在 2—5 m. 地下水位多年动态明显受到降水量与人工开采的控制. 其丰水期年份，地下水位升高；枯水年份，地下水位降低. 但由于地下水的长期过量开采，地下水位动态总体呈下降变化趋势(图 1). 2005 年末地下水平均埋深为 20.21 m，与 2004 年末比较，地下水位下降了 1.17 m，地下水储量减少了 6.0 亿立方米；与 1980 年末比较，地下水位下降了 12.97 m，储量减少了 70.5 亿立方米；与 1960 年比较，储量减少了 87.0 亿立方米. 2005 年是自 1999 年以来地下水位持续下降的第 7 年，6 月末地下水位平均埋深达到 20.94 m，是有观测资料以来的最大值(图 1、表 1)(张宗祜，李烈荣，2005).

表 1 是北京平原地区的历年平均降

表 1 1986—2005 年北京平原区地下水资源统计表

Table 1 Statistics of groundwater resources in Beijing region during 1986—2005

年份	平原区降雨量/mm	平原区补给量(Q补)/m ³	平原区地下开采量(Q开)/m ³	地下水超采量(Q补-Q开)/m ³	马头水位/m	比上年下降幅度/m
1986	560	16.54	28.17	11.63	8.1622	0.96
1987	570	18	27	9	8.1332	-0.029
1988	590	19.58	21.02	1.44	8.621v3	0.4881
1989	480	13.57	20.1	7.47	9.547	0.9257
1990	667	21.43	20.61	-0.82	9.442	-0.105
1991	655	21.24	21	-0.24	9.6658	0.2238
1992	491	13.59	22	8.41	10.283	0.6172
1993	423	12.28	23.56	11.28	11.2213	0.9383
1994	724	28.6	25	-3.6	10.989	-0.2323
1995	596	24.35	24.45	0.1	10.6493	-0.3397
1996	656	26.79	24.5	2.34	11.0148	0.3655
1997	410	15.1	23.1	8	11.8512	0.8364
1998	686	24.31	22.81	-1.5	12.1518	0.3006
1999	373	10.6	24.05	13.46	13.3081	1.1563
2000	438	12.18	25.52	13.34	15.0552	1.7471
2001	462	12.2	24.53	12	16.5494	1.4942
2002	413	11.8	21.53	9.74	16.593	0.0436
2003	453	12	21.59	9.59	17.0912	0.4982
2004	539	15.2	22.19	7.0	17.821	0.7928
2005	468	13.77	22.09	9.33	19.263	1.442

注：表中资料引自：① 北京市水务局. 北京市水资源公报(2000—2005 年度)；② 北京水利水电中心. 北京农业水资源资料(1986—2002 年).

雨量、补给量、地下水开采量及超采量等资料。北京地区地下水开采井主要分布于城近郊，即通州、大兴、昌平地区、房山地区、密云—怀柔—顺义地区、平谷等地，深度大都为 100—200 m，主要开采第四系松散层中的地下水。

下面以通州区马头井水位动态为例进行有关分析(图 1d)。马头井井深 158 m，是一口浅层潜水与深层承压水的混合水动态观测井。其观测层是第四系松散层，处于北京地区地下水径流的下游，并且位于北京地区开采形成的水位降落漏斗边缘。其水位动态明显受降雨和开采影响，基本能够反映北京地区历年地下水位动态的趋势变化。

1.2 超采影响分析

在开采条件下，地下水水位变化和开采状况有直接的联系。当地下水超采时，在一个时间段内地下水区域开采量大于补给量，消耗了含水层的贮存量，地下水位就会下降，必然出现区域水位降落漏斗。近些年北京地区降雨量偏少，而开采量也未得到有效控制，造成了连续多年开采量大于补给量，使超采现象加重，造成区域水位的持续加速下降。

从表 1 看出，北京地区在 20 世纪 80 年代地下水开采量较大，80 年代后期开采量一直基本保持稳定。但由于 1999 年后降雨偏少，属于枯水年份，造成 1999—2005 年地下水严重超采。事实上，1999 年以来，北京连续遭遇 7 年干旱，加剧了北京水资源紧缺的状况。1999—2005 年降水量比多年平均降水减少了 22%—37%。期间全市地下水年均开采量为 25 亿立方米左右，各主要区县都属于地下水过量开采区。地下水大量开采导致潜水位及承压水头大幅度下降。

北京地区年降雨量以及开采量与马头井地下水位变化如图 2。从图 2 中可见，北京地区水位的趋势性下降与降雨量的大小有较密切的关系，计算研究区降雨量与马头井水位年际变幅之间的相关关系，两者的相关系数 $r = -0.652$ (观测数据 $N = 20$ ，相关分析检验水准采用 $\alpha = 0.05$ ，以下相关系数计算同)；而研究区开采总量对水位也有较大影响(图 2)，经散点图判断，水位年际变幅与开采两者的相关系数为 $r_1 = 0.354$ ；再用多年超采量(在平原区约等于开采量减降雨量)来作与水位变幅的相关分析(图 2)，发现水位变幅与多年超采量相关系数 $r = 0.7443$ ，就是说多年超采量对多年水位的变幅影响最大，降雨量对水位的影响其次。

通过以上对马头井水位年际变幅与年降雨量、年开采量、马头井水位年际变幅与超采量之间相关关系的分析，表明马头井水位与北京地区超采量的关系

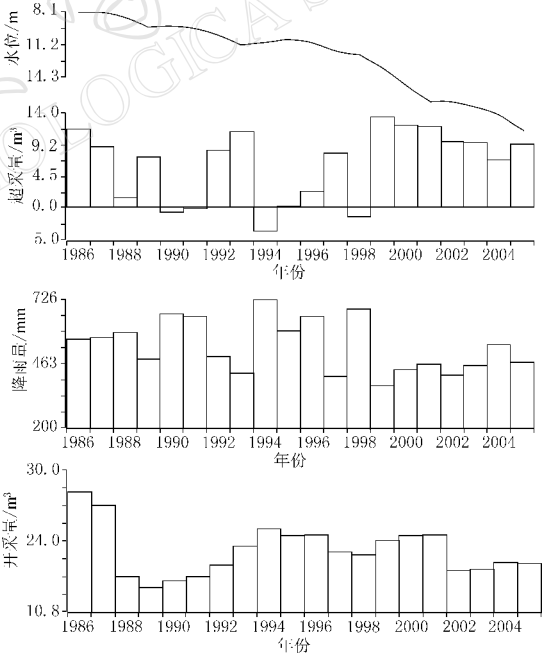


图 2 北京地区历年降雨量、开采量及超采量与马头井水位动态对比图

Fig. 2 Comparison of rainfall, groundwater production volume and overdraw volume in Beijing region with water level variation (upper curve) in the Matou well during 1986 to 2005

最密切，亦即北京地区超采量的变化对马头井水位的影响最大，马头井水位基本反映北京地区地下水位总的变化趋势，故以上分析结果也说明综合多因素影响的超采量对北京地区地下水位变化的影响也是最大、较客观的，而仅研究开采量与水位的关系得出的结果可能会比较片面。

1.3 超采区观测井的影响评价

超采区观测井的影响评价工作非常重要，超采对观测井的影响程度越大，对观测井反映的前兆信息的干扰程度也就越大，北京地区目前观测井的状况如何，超采有没有影响到地震前兆信息的提取、影响程度有多大，还有没有中期预报价值等，这些问题对下一步更好地利用现有观测井进行预报研究，以及布局新的观测井能够提供很好的依据。

北京地区开采地下水的特点是在空间上开采井分布较集中，在时间上是持续开采，并且地下水开采量持续超过补给量，从而出现了地下水位的持续下降，近些年北京地区地下水位还形成明显的降落漏斗，漏斗中心区的水位下降趋势快于漏斗边缘区，地下水径流方向也改变为向漏斗中心汇集(方燕娜等，2005)，如马头井水位下降速度明显小于昌平台水位(图1)。对于超采区的评价主要考虑区域超采量的多少以及水位受超采影响的幅度，评价标准参考了《北京市“十一五”时期水资源保护及利用规划》^①中关于北京市平原区地下水超采区范围的划分(图3)。

位于严重超采区的井孔有：昌平台井、板桥井、徐辛庄井、良乡井、扬堤井。

由于该区地下水开采量增加较快，特别是地热的开发利用，使深层基岩裂隙水受到超采的严重影响，造成井水位加速下降，2001年以来，位于漏斗中心区昌平台井平均每年下降幅度为6 m。该区的观测井对地震信息的反映已经受到超采的严重干扰，其中昌平井、板桥井、良乡井这些较深的井揭露了灰岩层，主要受深层地热开采影响，而徐辛庄含水层是第四纪含水层，水源地开采影响大。

位于一般超采区的井孔有：马头井、丰台大灰厂井、丰台地震局井、赵各庄井、小水峪井等受到一定程度的影响，近些年虽然水位下降加大，但仍然能反映出一些地震前兆信息，这些井中，马头井、丰台地震局井、赵各庄井为第四纪孔隙水，主要受农田灌溉开采影响和水源地开采影响，而大灰厂井和小水峪井虽为基岩裂隙水，但都处于山前地下水径流的上游，受区域超采的影响相对较轻。

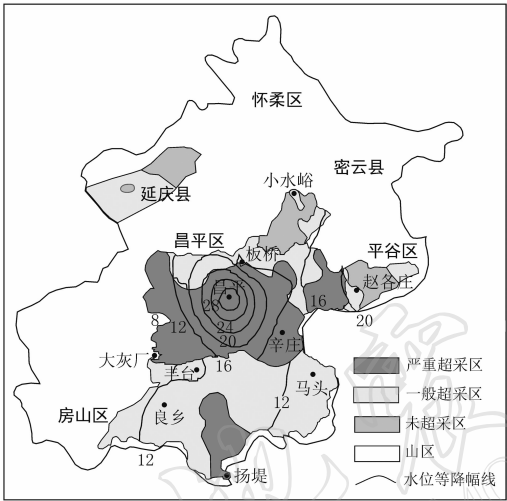


图3 北京地区地下水超采情况分布图^①
Fig.3 Distribution of groundwater overdraw grade in Beijing region

① 北京市水务局，北京市发展和改革委员会，2006，北京市“十一五”时期水资源保护及利用规划。

2 超采区观测井水位中强震前兆信息的识别

2.1 中强震活动概况

北京及邻区地震主要沿几个主要地震活动带分布,包括燕山地震带,河北平原地震带,以及山西地震带.中强地震活动具有明显的成组活动性,在时空上具有丛集规律. $M_s > 5$ 中强地震时间上具有平静-活跃的交替起伏特征,有较好的 10 年左右准周期性.而地震易发生的部位主要位于地震带上与地震带的交汇部位.

2.2 前兆异常信息识别

2.2.1 识别方法的选择

地震地下水位前兆异常特征虽然形态各异,但对于趋势的前兆异常,一般表现为上升、下降或平稳变化背景上的趋势转折变化,且以上升异常居多(王吉易等,2000).

在连续超采、水位区域性下降的背景下,采用去除趋势影响及年变化影响的数学处理方法来处理水位观测资料,可在地下水位动态变化的趋势背景下,提取地震前兆异常信息,从而达到在强开采背景下提取前兆异常的目的(张素欣等,2007 年;杨明波等,2006).本文采用从属函数、变差法来提取通州马头井和丰台大灰厂井水位的趋势异常.首先对水位观测资料进行预处理:对数据的月均值进行平滑滤波处理,取月均值的 23 点线性滞后滑动平均值(变差法取 13 点滑动),以去除短期随机的高频变化,消除年周变及其它短周期变化;然后再用从属函数和变差法进行处理.

水位变差值以及从属函数方法都是去除年变等一些短周期的影响后,提取水位、水氢长周期的趋势变化.这在某种程度上可表征地下流体场、应力-应变场及地球物理场的相对变化量,多点异常的准同步变化反映的是区域构造应力的变化特征(刘耀炜等,2002).

2.2.2 识别结果及其分析

采用从属函数、变差法来处理严重超采区以及一般超采区的井孔水位资料.以顺义板桥井、通州马头井和丰台大灰厂井水位为例,提取其前兆异常信息.马头井和大灰厂井的分析结果如图 4 所示.从图中可看出,尽管北京地区水位下降逐年加快,但在下降过程中的趋势转折或者转折上升,用这种方法能明显突出出来,并且可提取相应的前兆异常指标.比如,1998 年 1 月 10 日河北张北 6.2 级地震前,马头井和大灰厂井水位都有明显的从属函数和变差异常显示,其中水位变差方法提取的异常要滞后于从属函数异常;2006 年 7 月 4 日河北文安 5.1 级地震前,大灰厂井的水位异常信息也比较突出.而板桥井由于超采的影响使水位下降过快,没有表现出明显的异常(图 5).

以上分析表明,严重超采区的井受到超采的干扰过大,异常信息受到严重屏蔽和干扰.在具体分析中,可对受到严重超采的井进行评价后予以剔除.而对一般超采区的井采用数学处理方法后,可提取出北京地区地下水位的中强以上地震前趋势性上升异常.这种趋势性上升与华北地区北部其它水位观测点异常一起表现为多点同步,具有一定的周期性(张素欣等,2007;杨明波等,2006),且两次显著地震前都有对应,说明异常具有可检验性.

3 讨论与结论

北京地区地下水的年动态除受到降水、开采等因素的影响,还受到区域构造活动的影响,水位的变动与构造活动的相互作用有利于地震的孕育与发展,也造就水位的前兆异常

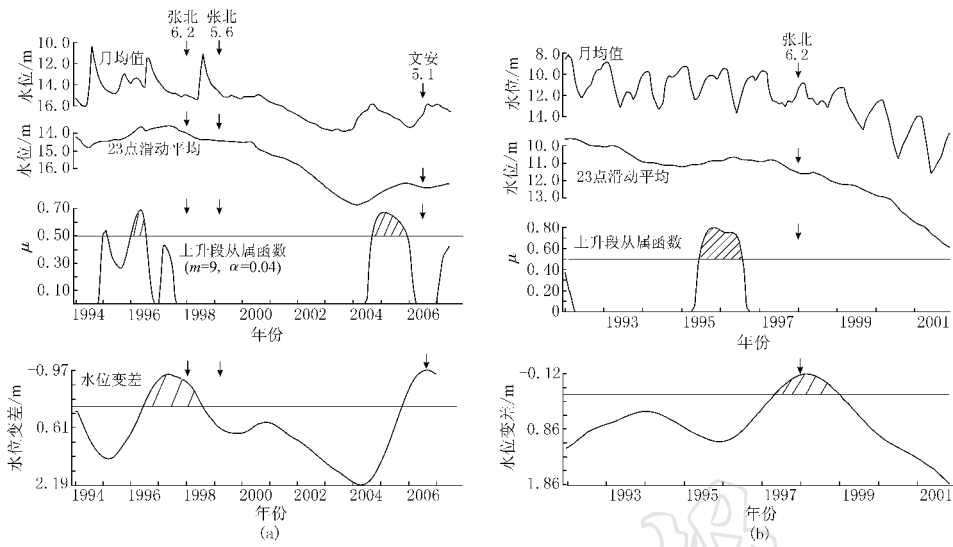


图 4 大灰厂井和马头井水位趋势异常变化曲线

Fig. 4 Dahuichang well and Matou well level trend precursor anomalies curve

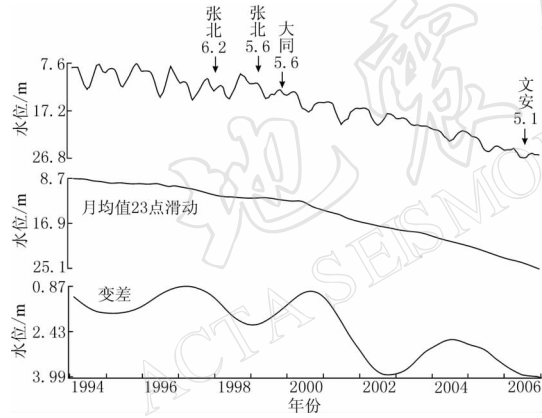


图 5 板桥井水位趋势异常变化曲线

Fig. 5 Trend precursory anomaly of water level variation in Banqiao well

变化；而区域构造活动的影响具有较大的隐蔽性，需要凭借多方面的分析，运用一定的方法找出构造活动的影响，进而识别出地震前兆信息。

1) 通过以上研究表明，造成北京地区近些年地下水动态趋势下降的主要因素是地下水的大量开采和降水量的连年偏少，造成区域水位的持续下降。考虑到综合因素的超采量对地下水位变化的影响是最大、最直接的，因此，研究非前兆性质的地下水趋势变化同时要弄清楚本地区地下水的超采情况。

2) 地下水的开采是普遍的，区域地下水的超采，可引起水位的趋势性变化。

为此，不解决在开采条件下前兆异常的提取问题，就不能做好地震流体监测与地震分析工作。在评价超采区观测井影响程度的基础上，首先剔除严重超采的井，并采用消除趋势影响及年变化影响的数学处理方法来处理未超采井和一般超采井的水位观测资料，如从属函数和变差法，可在区域超采引起的趋势性变化的背景上，提取中长期地震前兆趋势异常。

3) 针对超采问题，对于地震监测管理部门来说，地震观测点的布设要合理科学规划布局，充分考虑到现有开采井点的影响。

本研究得到车用太、王吉易研究员及刘耀炜、邢成起研究员的指导和帮助；杨建峰提

供了有关资料. 在此一并表示感谢!

参 考 文 献

- 车用太. 2000. 地震前兆异常落实工作指南[M]. 北京: 地震出版社: 20-60.
- 车用太, 鱼金子. 2004. 地下流体典型异常的调查与研究[M]. 北京: 气象出版社: 287-354.
- 方燕娜, 林学钰, 廖资生. 2005. 吉林中部平原区地下水动态变化特征和地下水超采状况的判定[J]. 水文, **25**(5): 95-97.
- 范建明. 2003. 大同市区二十年地下水动态研究[J]. 地下水, **25**(2): 95-97.
- 刘耀炜, 杜建国, 王长岭. 2002. 地下水化学参量中短期前兆指标体系及其预报效能评价[M]//罗兰格, 韩渭宾, 刘耀炜主编. 强地震中短期预报方法及其效能研究. 北京: 地震出版社: 180-211.
- 万迪堃, 汪成民, 李介成, 万登堡, 许学礼, 黄保大, 周旭明. 1993. 地下水动态异常与地震短临预报[M]. 北京: 地震出版社: 10-34.
- 王吉易, 宋贯一, 曹志成, 郑云贞, 张子广, 范雪芳, 黄辅琼, 杨明波. 2000. 地下水诱发的浅层前兆异常及机理与有关的地震预报问题[J]. 华北地震科学, **20**: 1-10.
- 杨明波, 王吉易, 刘喜兰, 王力, 赵文忠, 鲁跃, 张洪魁. 2006. 北京及邻近地区中等级以上地震地下流体短临异常识别与特征研究[J]. 地震, **26**(3): 53-63.
- 张凌空. 2005. 昌平台 Sacks 体应变仪观测曲线年变现象成因研究[J]. 中国地震, **21**(2): 254-259.
- 张素欣, 刘耀炜, 陆明勇, 张子广. 2007. 地下水超采区水位长趋势动态分析[J]. 地震, (4): 51-58.
- 张宗祜, 李烈荣. 2005. 中国地下水资源(北京卷)[M]. 北京: 中国地图出版社: 1-60.

地震学部
ACTA SEISMOLOGICA SINICA