

侯晓真,陈建国,马栋,等.基于潮汐因子的河北省形变台站映震效能评估[J].地震工程学报,2018,40(5):1068-1072,1104.doi:10.3969/j.issn.1000-0844.2018.05.1068

HOU Xiaozhen, CHEN Jianguo, MA Dong, et al. Evaluation of Reflecting Earthquake Ability of Deformation Stations in Hebei Province Based on Tidal Factors[J]. China Earthquake Engineering Journal, 2018, 40(5): 1068-1072, 1104. doi: 10.3969/j.issn.1000-0844.2018.05.1068

基于潮汐因子的河北省形变台站映震效能评估

侯晓真¹, 陈建国¹, 马 栋¹, 屈 曼¹, 张 肖², 韩 静², 王 时²

(1. 河北省地震局, 河北 石家庄 050021; 2. 易县地震台, 河北 保定 071000)

摘要: 定点台站观测资料作为中短期地震预报的基础性资料,其质量好坏及台站映震效能对地震形势分析研判有重要作用。鉴于此,对“十五”网络化改造后,2008年以来河北省形变台站的观测资料进行潮汐因子计算及映震统计,通过梳理分析、归纳总结得出质量较好的形变台站及测项,用于辅助河北省地震形势研判。

关键词: 潮汐因子; 效能评估; 形变

中图分类号: P315.7

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2018)05-1068-06

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2018.05.1068

Evaluation of Reflecting Earthquake Ability of Deformation Stations in Hebei Province Based on Tidal Factors

HOU Xiaozhen¹, CHEN Jianguo¹, MA Dong¹, QU Man¹, ZHANG Xiao², HAN Jing², WANG Shi²

(1. Earthquake Agency of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, Hebei, China;

2. Yixian Seismological Station, Baoding 071000, Hebei, China)

Abstract: The quality of observation data recorded by fixed stations and the reflecting earthquake ability of stations have a significant influence in seismic situation analysis and medium-short term earthquake prediction. Considering this, based on the observation data recorded by the deformation stations of Hebei Province since 2008 (after the network reconstruction of the tenth "Five Year Plan"), the tidal factors are calculated and the reflecting earthquake ability of the stations are analyzed in the study. Through the analysis and summary, deformation stations and observation items with good quality are obtained, which are highly useful in studying the earthquake situation in Hebei Province.

Keywords: tidal factor; effectiveness evaluation; deformation

0 引言

我国前兆台网先后经历了“人工模拟”、“九五”数字化、“十五”网络化三个阶段,“十五”以来中国地震局将前兆观测系统并网运行。随着京津冀一体化,河北省在经济、政治、文化建设方面将发挥越来

越重要的作用。近代以来河北省境内发生过几次破坏性大地震,如 1966 年宁晋—隆尧 7.2 级震群、1967 年河间 6.3 级、1976 年唐山 7.8 级地震等,因此河北地区具有发生强震的背景。自 1998 年 1 月 10 日张北 6.2 级地震后,河北省 6 级地震平静期已超过 18 年,超过地震幕平均持续时间,因此需要高度

收稿日期: 2017-08-20

基金项目: 河北省地震科技星火计划项目(DZ20170510063, DZ20180316005)

第一作者简介: 侯晓真(1989—),女,工程师,主要从事地形变观测数据分析与应用工作。E-mail: hxzbeijing@163.com。

关注该区地震形势^[1]。定点台站观测资料作为中短期地震预报的基础性资料,其质量好坏及台站映震效能对地震形势分析研判有重要作用。鉴于此,本文对河北省形变台站完成数字化改造后,2008 年以来的观测资料进行梳理分析,归纳总结出质量较好的形变台站及测项。

河北省定点形变台站共 11 个,形变观测手段分两大类:倾斜类(水管仪、垂直摆、水平摆),应变类(伸缩仪、体应变、分量应变)。台站主要沿张家口—渤海断裂带分布在河北省北部地区,分别为:张家口台、阳原台、怀来台、赤城台、承德台、丰宁台、宽城台、易县台及赵各庄矿;河北平原带上仅在河北省南部地区设有 2 个台站,分别为:涉县台、永年台。台站分布如图 1 所示。

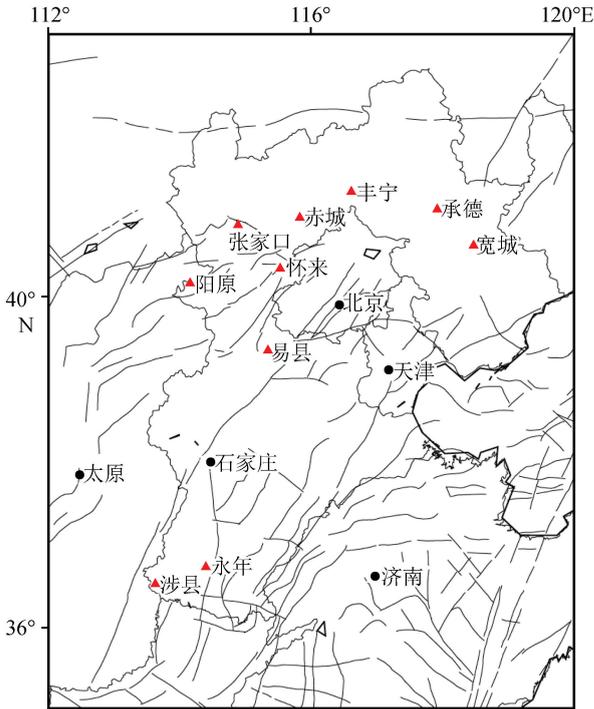


图 1 河北省形变台站分布图

Fig.1 Distribution of deformation stations in Hebei Province

1 资料处理方法及统计原则

1.1 数据处理方法^[2]

地球在日、月等天体引潮力的作用下产生周期性的弹性形变,即固体潮。固体潮是目前唯一能够预先准确计算出理论值的地球物理现象,主要是利用不同谐波运动角速度不同这一差异性,对固体潮进行调和与分析。本实验利用维尼迪科夫方法对固体潮观测数据进行调和与分析。维尼迪科夫(Venidikov)方法对资料连续性要求相对较低,只需 48 小时内连续即可,这

对多年观测数据的系统处理是非常有力的。

固体潮观测值可以表示为:

$$Y(t_j) = \sum_i H_i \cos [\bar{\omega}_i t_j + \Psi_i(T_j)] + \varphi(t_j) \quad (1)$$

式中: $Y(t_j)$ 为时间观测序列; H_i 为角频率为 $\bar{\omega}_i$ 的潮汐波观测振幅; φ_i 为同一潮汐波的初相位; T_j 为观测序列中央时刻的时间间隔; φ 为 t_j 时的零点漂移。

Venidikov 方法通过利用偶数字滤波器 $C_{t_j}^1$ 、 $C_{t_j}^2$ 和奇数字滤波器 $S_{t_j}^1$ 、 $S_{t_j}^2$ 对观测序列作数字滤波,从而将观测序列中的周日波与半日波分离开来,即:

$$M_j = \sum_{t_j} c_{t_j} y(t_j) \quad (2)$$

$$N_j = \sum_{t_j} s_{t_j} y(t_j)$$

M_j 、 N_j 还可以表示为:

$$M_j = \sum_{i=1} C_i H_i \cos \Psi(T_j) \quad (3)$$

$$N_j = \sum_{i=1} S_i H_i \sin \Psi(T_j)$$

每连续 48 小时观测值经滤波后,对各类分波波群得到两个方程,取一段时间内的观测资料,使方程的个数多于未知数的个数,便可根据式(2)、(3),经过变换后,利用最小二乘法求出分波波群的潮汐因子和相位滞后等参数。

1.2 地震目录基本情况

河北省形变台站“十五”数字化改造工程至 2007 年全部完成,因此本文所采取的地震目录为:从统一编目系统中下载大华北范围内($33^\circ \sim 43^\circ \text{N}$, $108^\circ \sim 125^\circ \text{E}$) 2008—2015 年期间发生的 $M_L 4$ 以上地震,用于后续对河北省形变学科经过数字化改造后的台站及测项进行映震情况统计及效能评估检验。

1.3 震前映震情况统计原则

大量实验结果表明,潮汐因子等参数的时间序列变化能在一定程度上反映周边介质物性的非线性变化过程^[3-5]。正常情况下一个地方的潮汐因子会在一定幅度内上下波动。借助这一基础,通过计算各台站不同测项的潮汐因子,并以超过 2 倍标准差为异常判定原则,统计台站方圆 300 km 内 $M_L 4$ 以上地震在震前两分波出现的异常持续时间及异常结束距发震时间间隔,以便为长、中、短、临地震预报提供辅助参考。

1.4 效能评估评定原则

定点形变学科目前在地震监测方面仍发挥着不可替代的作用,但其观测结果应用在地震预报方面仍存在一定的局限性。为了更好地排除观测结果中干扰因素对结果分析造成的影响,提高定点形变观

测数据资料在地震分析预报工作中的可靠性,本文将2008年以来河北省形变数据资料的潮汐因子(M2波、O1波)结果与台站方圆300 km内 M_L4 以上地震结合起来,分别按式(4)、(5)、(6)统计各测项不同方向的映震率、漏报率及虚报率,最终归纳总结出映震率 >0.5 、漏报率 <0.5 的台站测项及方向作为效能评估较好的选项。该结果可为将来的震情跟踪、研判起到一定辅助作用。

$$\text{映震率} = \frac{\text{有震有异常}}{\text{分波异常出现总次数}} \quad (4)$$

$$\text{漏报率} = \frac{\text{有震无异常}}{\text{分波异常出现总次数}} \quad (5)$$

$$\text{虚报率} = \frac{\text{无震有异常}}{\text{分波异常出现总次数}} \quad (6)$$

2 实验结果

通过最后统计结果发现:部分台站测项映震效果较差,甚至统计时间段内并没有相应地震可以满足条件。最终参与映震统计的台站及地震见图2。

最终取得的实验结果包括各个测项的潮汐因子

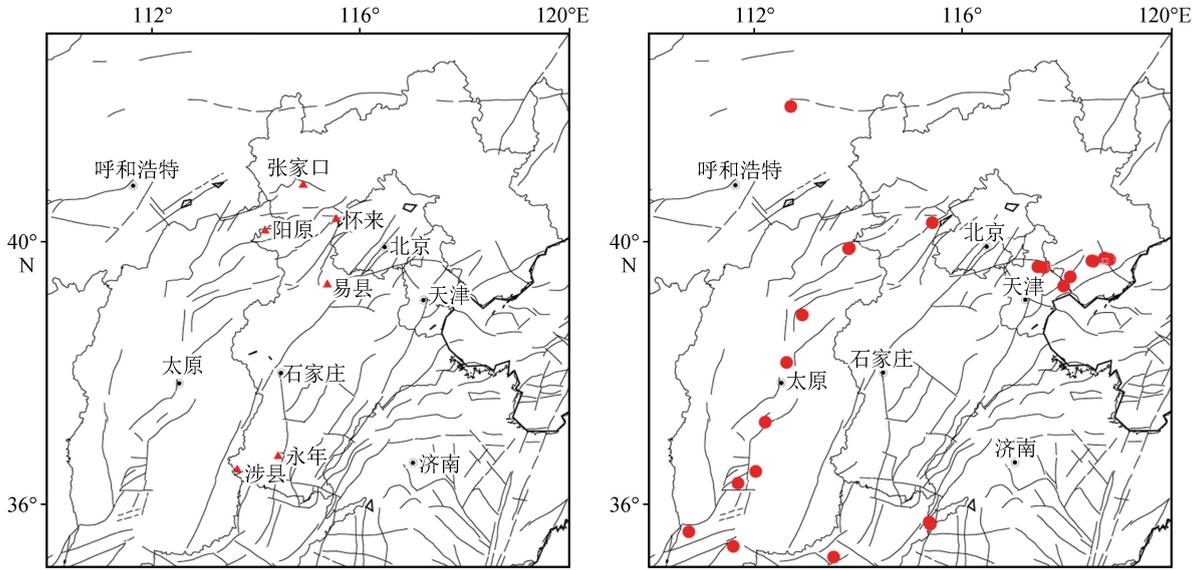


图2 最终参与统计所选台站及震中分布图

Fig.2 Distribution of the selected stations and earthquake epicenters used in the statistics

(M2波、O1波)结果及其映震统计概况(震前异常持续时间、异常结束至发震时间间隔)和每个台站两分波映震效能评估结果(映震率、漏报率、虚报率)三个大方面。限于篇幅,本文将前两个方面以怀来台伸缩仪EW向为例进行结果展示,最后给出河北省形变仪器效能评估结果。

2.1 怀来台伸缩仪EW向统计结果

怀来台台站位置及震中分布如图3所示。

通过图4可以发现:在有震有异常的提前下,潮汐因子异常方向对未来发震方向有较好的指示意义。

通过图5可以发现:怀来台伸缩仪EW向潮汐因子异常结束后,大多数情况下在3个月之内会发生4级以上地震。

2.2 参与统计的河北省形变仪器潮汐因子异常预报效能统计结果

通过图6、图7及表1所示对其他台站不同测

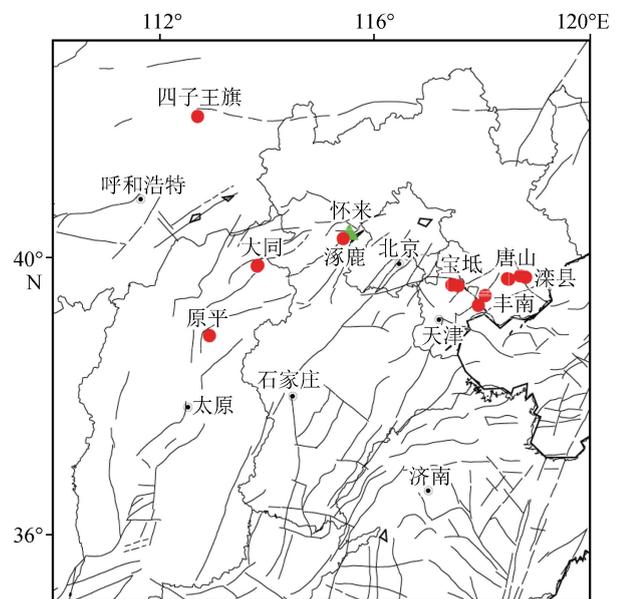
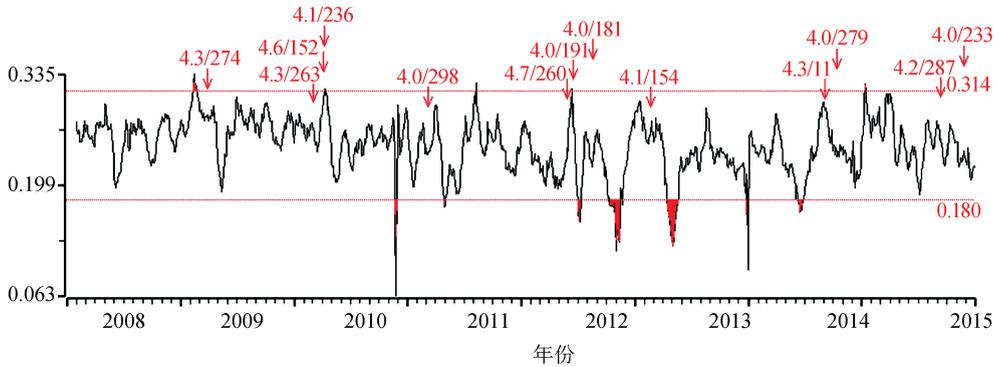
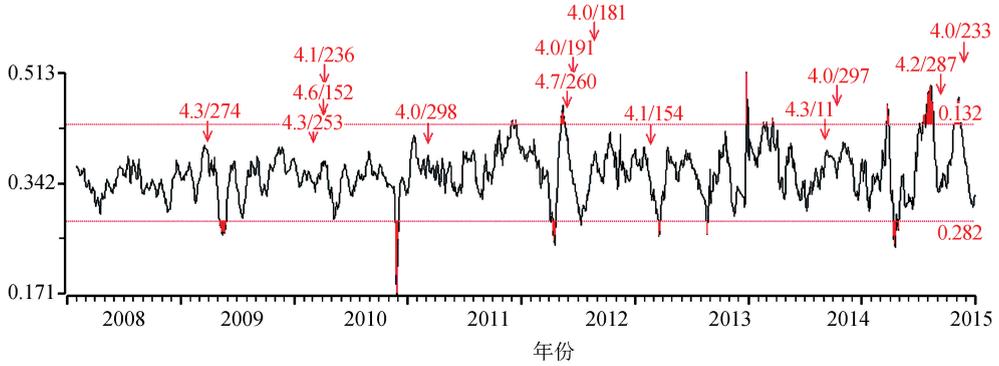


图3 怀来台台站位置及震中分布图

Fig.3 Location of Huailai seismic station and distribution of earthquake epicenters



应变(M2波)潮汐因子变化图



应变(O1波)潮汐因子变化图

图 4 怀来台伸缩仪 EW 向潮汐因子计算结果及映震情况

Fig.4 Calculation result of EW tidal factor recorded by the extensometer at Huailai seismic station and its earthquake-reflecting ability

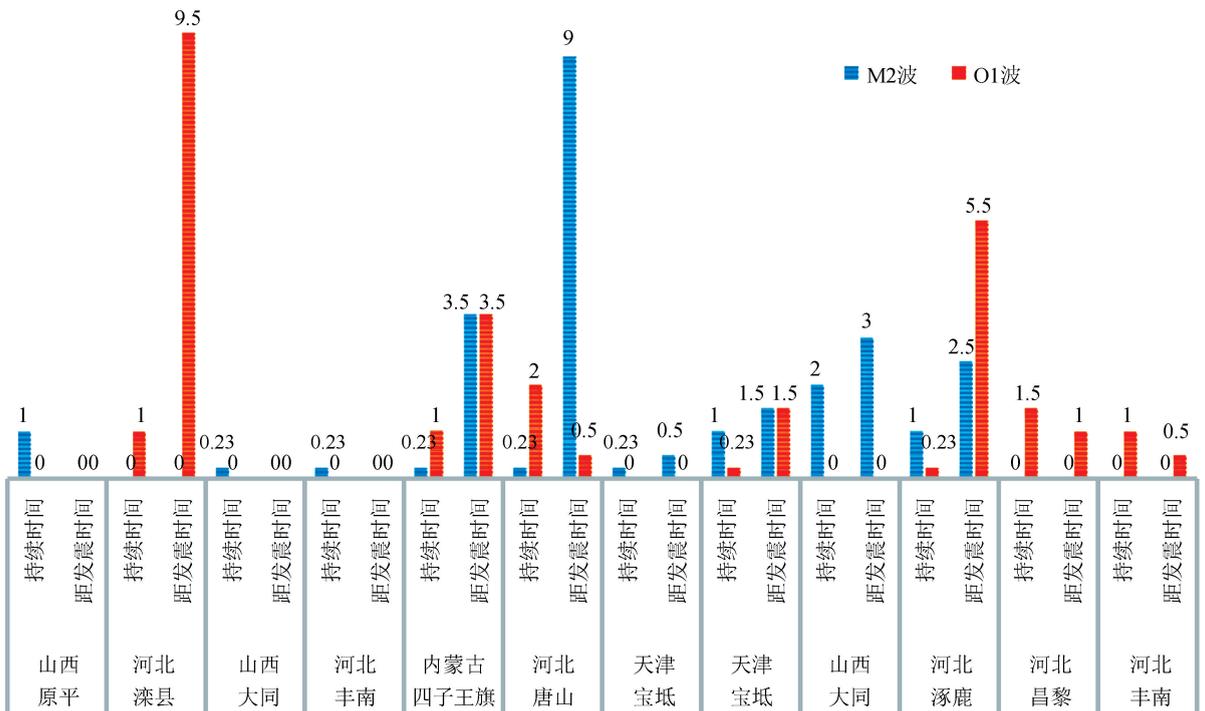


图 5 怀来台伸缩仪 EW 向有震有异常条件下潮汐因子异常时间统计结果(单位:月)

Fig.5 Statistical result of anomalous duration of EW tidal factor recorded by the extensometer at Huailai seismic station in response to earthquakes and anomalies (Unit: month)

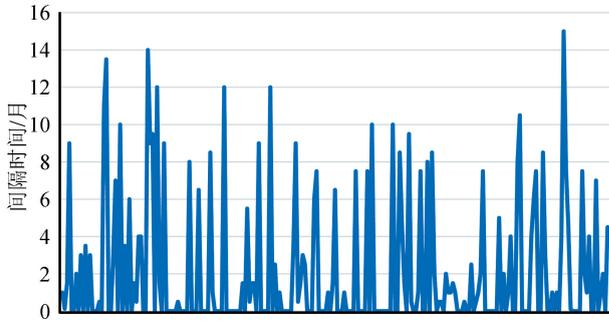


图6 河北省形变台站参与统计测项 M2 波统计结果

Fig.6 Statistical results of M2 tidal factor at deformation stations in Hebei Province

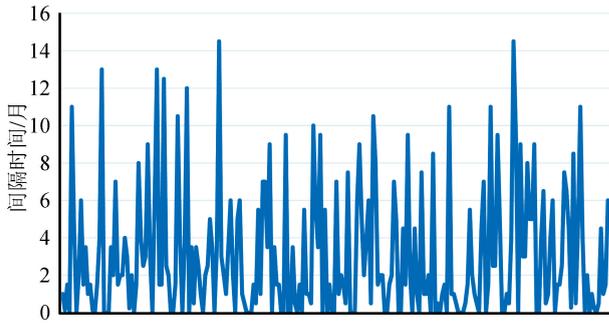


图7 河北省形变台站参与统计测项 O1 波统计结果

Fig.7 Statistical results of O1 tidal factor at deformation stations in Hebei Province

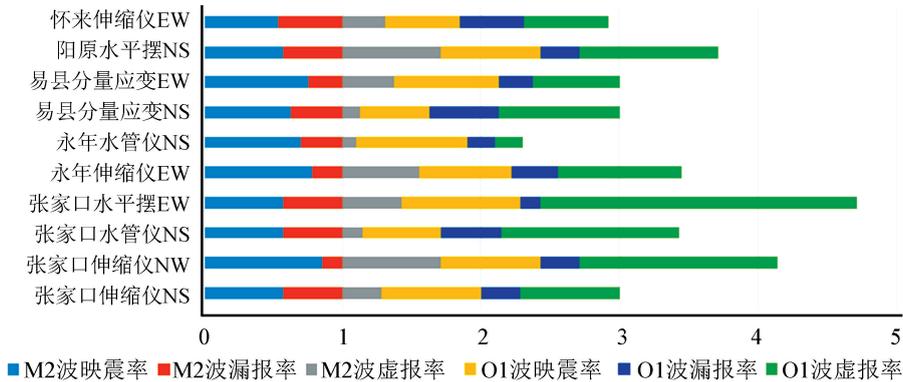


图8 河北省形变台站观测效能良好的测项统计结果

Fig.8 Statistical result of items with good observation efficiency at deformation stations in Hebei Province

3 结论

通过对河北省形变台站数字化改造后的各测项观测结果进行潮汐因子计算,并对其映震情况进行统计,得出以下结论:

河北省形变资料潮汐因子出现 2 倍标准差异常及异常方向对相应台站周围 300 km 范围内,未来发生 $M_L 4$ 以上地震的发震方向有较好的指示意义,且时间指示性基本在短、临阶段;其次,不论从

表 1 河北省形变台站潮汐因子异常对中、短、临地震预报映震次数统计表

Table 1 Statistics of earthquake-reflecting times of tidal factor anomaly recorded by deformation stations in Hebei Province to medium-term, short-term, and impending earthquakes

异常结束至发震间隔/月	临震变化 (<1)	短期变化 (1~6)	中期变化 (6~60)	总次数
M2 波	44	42	38	124
O1 波	71	104	39	214

项的映震统计结果来看,在有震有异常的情况下,潮汐因子异常对地震短、邻震情研判有一定辅助作用。

2.3 参与统计的河北省形变仪器潮汐因子映震效能统计结果

前面对河北省 6 个台站 16 套仪器 40 个测项进行了映震统计。为更好地筛选出映震结果较好的测项,结合实际震情关注情况,本文中的统计结果是在映震率 ≥ 0.5 、漏报率 ≤ 0.5 为原则的前提下得出的,其结果见图 8。

通过图 8 可以发现:满足条件的 10 个测项中倾斜类占 40%,应变类占 60%;此外,同一台站应变类仪器映震效能优于倾斜类。

整体来看河北省形变测项还是从同一台站观测手段相对比,伸缩类仪器效能评估结果均优于倾斜类仪器。

通过此次梳理归纳河北省各台站、各测项、各方向观测资料的映震效能,总结其在长、中、短、临地震预报阶段所起的比重,可以为河北省及周边地区的震情跟踪、研判起到一定辅助作用。但由于统计时间较短,参与统计的地震数目、震级等有限,后续仍需进一步跟踪、分析。 (下转第 1104 页)

and Optimization Measures of Treatment Equipment for Desulfurization Waste Water Jiangsu Electrical Engineering, 2014, 33(1):72-75.

[13] 马平森,雷艳娇,卯昌书,等.基于用水总量与效率控制的云南省水资源配置[J].水利水电科技进展,2015,35(1):49-53.
 MA Pingsen, LEI Yanjiao, MAO Changshu, et al. Water Resources Rational Allocation Based on Total Water Consumption and Water Efficiency Control in Yunnan Province[J]. Advances in Science and Technology of Water Resources, 2015, 35(1):49-53.

[14] STEFANOVIC N, RADOJEVIC I, OSTOJIC A, et al. Composite Web Information System for Management of Water Resources[J]. Water Resources Management, 2015, 29(7):1-17.

[15] 张洪波,兰甜,王斌,等.基于ET控制的平原区县域水资源管理研究[J].水利学报,2016,47(2):127-138.
 ZHANG Hongbo, LAN Tian, WANG Bin, et al. Regional Water Resources Allocation Oriented to ET Control in Plain Area[J]. Journal of Hydraulic Engineering, 2016, 47(2):127-138.

 (上接第 1072 页)

参考文献(References)

[1] 河北省 2017 年度地震趋势研究报告[R].石家庄:河北省地震局,2016.
 Research Report on Annual Earthquake Tendency of Hebei Province in 2017[R]. Shijiazhuang: Earthquake Administration of Hebei Province, 2016.

[2] 吴庆鹏.重力学与固体潮[M].北京:地震出版社,1997.
 WU Qingpeng. Gravimetry and Solid Tide[M]. Beijing: Seismological Press, 1997.

[3] 郗钦文,杨林章,黎凯武.地球对引潮力的响应及综合分析[J].中国地震,1994,9(增刊):83-89.
 XI Qinwen, YANG Linzhang, LI Kaiwu. Earth's Response to

Tidal Generating Force and Its Synthetic Analysis[J]. Earthquake Research in China, 1994, 9(Supp):83-89.

[4] 唐九安,常千军.甘肃省东部地区的潮汐测量结果及其地球动力学意义[J].地震,1995,15(3):252-259.
 TANG Jiu'an, CHANG Qianjun, ZHANG Youmin, et al. Observational Result of Tidal Parameters in Eastern Gansu Province and Its Dynamic Significance[J]. Earthquake, 1995, 15(3):252-259.

[5] 张晶,张立.中强震前形变固体潮汐资料短期信息的提取[J].地震,2003,23(3):71-78.
 ZHANG Jing, ZHANG Li. Short-term Anomaly Extracted from Tidal Deformation Data Before Moderately Strong Earthquake [J]. Earthquake, 2003, 23(3):71-78.