

牟磊育,2016,京津冀地区地震台网监测能力分析,中国地震,32(1),134~142。

# 京津冀地区地震台网监测能力分析

牟磊育 郑钰

中国地震局地球物理研究所,北京市海淀区民族大学南路 5 号 100081

**摘要** 根据京津冀地区地震台网的分布和平均地脉动噪声估算了该地区地震台网的监测范围,又根据中国地震台网中心产出的地震目录描绘了京津冀地区实际地震监测范围,发现北京市与河北省在 2 条地震带上应补充足够的地震台站,以降低对地震带附近地震监测的下限,从而有利于京津冀地区的地震监测与预测。

**关键词:** 监测能力 京津冀地区 地震台网 背景噪声

[文章编号] 1001-4683(2016)01-0134-09 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

## 0 引言

我国是一个多地震的国家,地震学家们一直致力于地震监测和预测的研究工作。在“十五”期间,通过实施“中国数字地震观测网络项目”,建成了国家、省和市(县)三级管理的 1200 多个地震监测台站,组成了覆盖全国的地震观测网络,从而进一步提高了我国的地震监测能力。关于区域台网的监测能力,不少科研人员做了相关工作(郝春月等,2005、2006;李涌等,2007;王炎等,2001;张有林等,2005;张黎珍等,2002;孟智民等,2002;洪星等,2005;李雪英等,2005;尹继尧等,2011;张玲等,2010;王小龙,2007;赵永海等,2010;姚宏等,2008)。但对于京津冀地区,目前还鲜有类似的工作成果。这里的地震监测能力分析对于首都圈地区的地震台站建设及地震预测研究都具有重要意义。在此,我们利用台站背景噪声和近震震级公式对京津冀地区的理论监测能力进行了分析与研究,并与实际地震目录进行了对比分析。

## 1 京津冀地区台网概况

京津冀地震台网包括北京地震台网、天津地震台网与河北地震台网。经过“十一五”期间的建设,北京台网已包括 19 个地震台,天津台网包括 31 个地震台,河北台网包括 53 个地震台。目前京津冀地区一共已有 103 个地震台,布设的地震计主要有 FBS-3B、FSS-3DBH、CTS-1、CMG-3ESPC 等,数采主要应用 EDAS-24 IP、CMT-24、DM24 等,采样率主要为 50sps 和 100sps。天津台网各台站的高程均为-200m 以上,北京台网各台站高程为-200~600m,河北台网地震台站的高程均在海平面以上,为 7~1400m。

[收稿日期] 2015-08-16; [修定日期] 2015-12-13

[项目类别] 中国地震局地球物理研究所,中央级公益性科研院所基本科研业务专项(PQJB15C01)资助

[作者简介] 牟磊育,男,1974 年生,高级工程师,主要从事台网监测,大数据研究等工作。E-mail: muly@cea-igp.ac.cn

中国的地震活动主要分布在 5 个地区的 23 条地震带上。在这 5 个地区中,华北地区的地震强度和频度仅次于青藏高原,位居全国第二。由于京津冀地区位于华北区域内,所以格外引人关注。据统计,该地区有据可查的 8 级地震曾发生过 5 次;7~7.9 级地震曾发生过 18 次。加之这里人口稠密、大城市集中,是政治和经济、文化、交通都很发达的地区,地震灾害的威胁就更为严重。所以研究该地区的台网密度与实际地震分布对该地区的地震监测和预测研究具有非常积极的意义。

## 2 京津冀地区地震台网的理论监测能力评估

### 2.1 理论监测能力的评估方法

#### 2.1.1 利用近震震级公式估算京津冀地震台网对近震的定位能力

测定近震的震级一般用  $M_L$  震级公式,而最初的  $M_L$  震级是由里克特在 1933 年研究美国加利福尼亚地震时提出的,即

$$M_L = \lg A - \lg A^* \quad (1)$$

其中,  $A$  为三分向地震计记录的南北和东西 2 个水平分量中最大振幅的平均值;  $A^*$  为某一标准震级(零级)地震的振幅。当时的零级地震是指用伍德-安德森式标准地震仪(静态放大倍数 2800,周期 0.8s,阻尼系数 0.8),在震中距  $\Delta = 100\text{km}$  时记录下的 2 个水平分量的最大振幅平均值为  $1\mu\text{m}$  ( $10^{-3}\text{mm}$ ) 的地震。

而我国的近震震级公式是把我国现用仪器的记录振幅换算成标准地震仪(即 W-A)的最大振幅而得到的适合中国地震仪器的震级公式,即

$$M_L = \lg A_{\mu\text{m}} + R(\Delta) + S(\Delta) \quad (2)$$

式中,  $M_L$  为用近震体波计算的震级;  $A_{\mu\text{m}}$  为以  $\mu\text{m}$  为单位的最大地动位移;  $R(\Delta)$  为量规函数,即震级的起算函数;  $S(\Delta)$  为台站校正(傅淑芳等,1980)。

为了估算京津冀台网的监测定位能力,本文用中国近震震级公式,虽然此震级公式的量规函数是基于当时的基式地震仪和 62、64 型地震仪,而现在的京津冀各台站所用的是宽频带地震仪,但宽频带数据经过短周期滤波后,相当于短周期地震仪记录的数据,理论上利用此公式进行估算是可行的。由于台站校正一般很小,在我们的误差许可范围内,所以我们认为  $S(\Delta)$  为零。而式(2)则变为

$$M_L = \lg A_{\mu\text{m}} + R(\Delta) \quad (3)$$

#### 2.1.2 估算方法

在近震中,最大体波振幅一般为 S 波振幅。我们认为近震 Pg 波的振幅是背景噪声振幅的 2 倍时,便可以清晰地识别,而 S 波振幅一般为 Pg 波振幅的 3 倍。据此,如果知道了背景噪声的平均位移值,则可获得一个近震的最大地动位移。这样就可以把这个最大振幅  $A_{\mu\text{m}}$  值(即以  $\mu\text{m}$  为单位的最大地动位移)代入式(3),并计算在该位移值固定情况下,不同震级的量规函数,再根据量规函数表查出不同震级下的最大震中距,这样就得到了每个台站所能检测到的不同震级的最大震中距。假定最少有 3 个台站能检测到的地震就认为是可被定位的地震,按照这个原则,可得出京津冀台网对近震的定位能力。

### 2.2 台站(BJT)背景噪声的计算

由上可知,要想算出京津冀地区的理论监测能力,必须知道京津冀台网各台站的背景噪

声平均位移。而背景噪声即地脉动是随季节和气候而变化的,分析 100 多个台站多年的噪声变化是一个不小的课题。由于我们对监测能力的评估允许一定的误差,所以决定采用地理位置优越、技术水平一流、影响范围广的北京地震基准台,即 BJT 地震台的背景噪声平均位移作为京津冀地区各台站的平均背景噪声位移。

BJT 地震台既是中美合作的中国数字地震台网(CDSN)的台站之一,也是全球地震台网(GSN)的台站之一,是国际一流的台站,其数据在 IRIS 可以直接下载。BJT 在 2013 年进行了第 3 次升级改造,宽频带地震计由 STS-2 换成 STS-2.5。采集器由原来的 Q680 换成 Q330。BJT 台站的数据可靠而精确,一直保持国际一流水平。

### 2.2.1 BJT 台站背景噪声平均位移的计算

BJT 地震台位于北京西郊,目前使用瑞士 Streckeisen 公司出产的 STS-2.5 高性能甚宽带速度地震计。数据采集器则是由美国 Kinematics 公司生产的 Q330,Q330 是以 IP 为基础的超低功耗、高动态范围的数据采集器。STS-2.5 地震计的传递函数为(<http://service.iris.edu/iriswsresp1/>)

$$G(S) = \frac{45.553S^2(S+9.42478)(S+6.28319)(S+5.65487)(S+5.65487)}{(S+0.037-0.037i)(S+0.037+0.037i)(S+9.74)(S+219.91-138.23i)(S+219.91+138.23i)(S-219.91-684.87i)(S-219.91+684.87i)} \quad (4)$$

其中  $S = i\omega = i2\pi f$  (5)

我们随机选取了 BJT 地震台 2014 年 5 月 20~27 日记录的地震噪声数据,计算了该时段的背景噪声水平。取尽可能平静的时段,不包含地震事件、脉冲等大振幅的信号或噪声。原始数据经过去均值、去倾向、去除仪器响应等预处理后,在时间域进行积分,把速度值变为位移值。由于 BJT 的仪器为宽频带记录仪,为了应用近震震级公式,把转变成位移值的数据进行短周期滤波(2~8Hz),获得类似于短周期地震计记录的地震波形。图 1 所示的是 2014 年 5 月 23 日 4h 前、11h 前、16h 前、23h 前 1800s 的背景噪声位移。这几个时段的背景噪声位移大约为 0.05 $\mu\text{m}$ 。

为了更直观地了解 BJT 地震台三分向背景噪声的变化,计算了 2014 年 5 月 20~27 日高噪声时段(UTC 时间 12:00、13:00、14:00、15:00)和低噪声时段(UTC 时间 21:00、22:00、23:00、00:00)噪声的位移变化(图 2)。图 2(a)给出了 BJT 地震台在低噪声时段的噪声变化,该时段相当于北京时间的 5:00、6:00、7:00、8:00;图 2(b)给出了高噪声时段的噪声变化,该时段相当于北京时间的 20:00、21:00、22:00、23:00。可以看出,在低噪声时段,水平向背景噪声位移值在 0.015 $\mu\text{m}$  左右;在高噪声时段,水平向背景噪声位移值在 0.025 $\mu\text{m}$  左右。在个别日期的个别时段,背景噪声位移值会超出平均范围。

由此得出 2014 年 5 月 20~27 日 8 天内 BJT 地震台三分向的背景噪声位移最高约为 0.04 $\mu\text{m}$ 。BJT 三分向(Z 向、SN 向、EW 向)的平均噪声位移分别为 0.0205、0.0260 和 0.0201 $\mu\text{m}$ 。由于式(3)中的  $A_u$  为  $(A_{\mu\text{EW}} + A_{\mu\text{SN}})/2$ ,所以我们选择  $A_u = (0.026 + 0.0201)/2 = 0.02305\mu\text{m}$ 。如此以 BJT 为参考点,京津冀所有地震台站的假设背景噪声位移均为 0.02305 $\mu\text{m}$ ,用以评估所有台站的理论监测能力。

### 2.2.2 BJT 台站背景噪声功率谱的计算

为了更进一步了解 BJT 地震台的背景噪声水平,计算了该台 2014 年 5 月 20~27 日内的

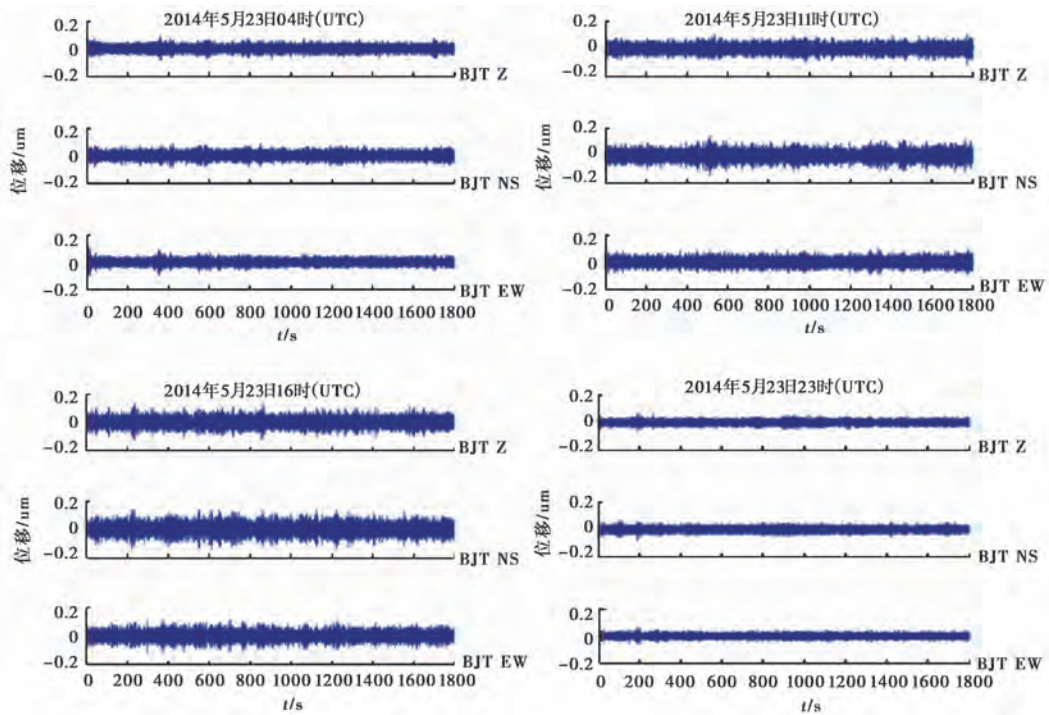


图1 BJT地震台2014年5月23日4、11、16、23时前半小时的背景噪声位移

噪声功率谱,并与国际流行的噪声模型进行了比较。

功率谱的计算采用 Welch 平均周期图法, Welch 法是改进后的周期图法。 Welch 平均周期图法是把一长度为  $N$  的数据分成  $L$  段, 每段长度为  $M$ , 分别求每一段的功率谱, 然后求平均值。每一段的谱需作加窗处理, 其功率谱可由下式(胡广书, 1997; 张峰等, 2009)

$$P'_{\text{PER}}(w) = \frac{1}{MU} \left| \sum_{n=0}^{M-1} x'_N(n) d(n) e^{-jwn} \right|^2 \quad (4)$$

表示, 式中

$$U = \frac{1}{M} \sum_{n=0}^{M-1} d^2(n) \quad (5)$$

$x_N(n)$  为长度为  $N$  的数字序列; 为了保证所得到的谱是渐进无偏估计, 令  $U$  为归一化因子,  $d(n)$  是汉宁(hanning)窗  $0.5 \pm 0.5 \cos(2\pi n/N)$ 。这样几段的平均功率可由下式决定

$$P'_{\text{PER}}(w) = \frac{1}{MUL} \sum_{i=1}^L \left| \sum_{n=0}^{M-1} x'_N(n) d(n) e^{-jwn} \right|^2 \quad (6)$$

根据以上原理, 取 1800s 的时段, 共 36000 点进行功率谱的计算(采样率 20)。采用 hanning 窗, 把 36000 点的数据分段后, 每段 4096 点, 共约 8 个数据段, 每段和下一个数据段有 50% 的重叠, 计算出每段功率谱后进行平均以减少估计的方差。图 3 所示的是 2015 年 5 月 23 日 4:00、11:00、16:00、23:00 时前半小时的噪声功率谱, 上下 2 条曲线分别为 Peterson 新高噪声模型(NHNM)和新低噪声模型(NLNM)。该模型是 Peterson 在 1993 年对全球各地正常噪声进行了研究, 获得的全球公认的新高噪声模型和新低噪声模型。可以看出, BJT 地震台 1Hz 以下频率的噪声水平较低, 接近于 NLNM。相对于 Peterson 噪声模型, BJT 台站

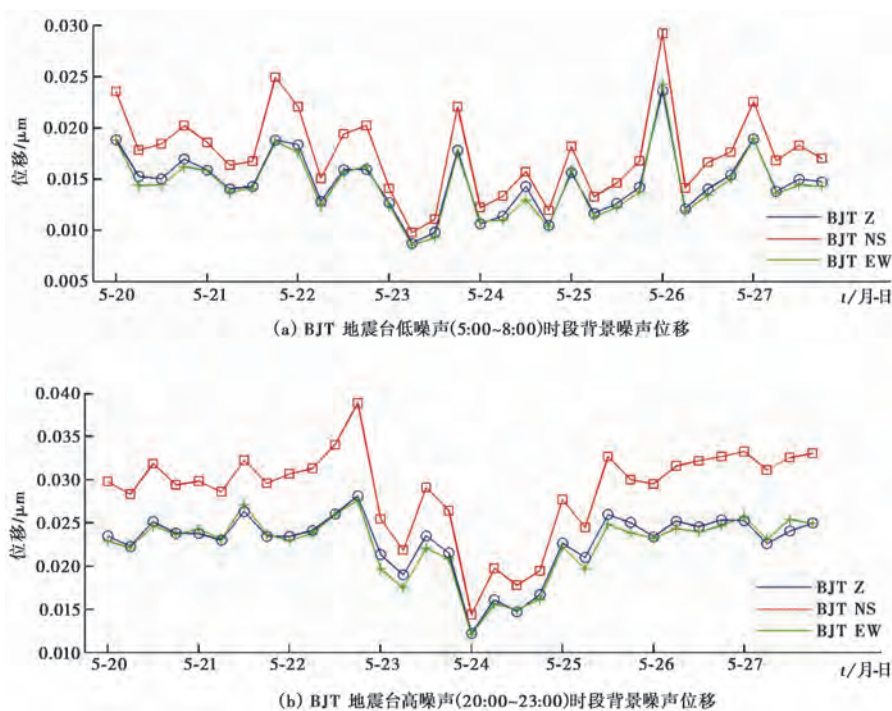


图2 2014年5月20~27日BJT地震台低噪声时段与高噪声时段的背景噪声位移变化  
每天有4个位移值,分别代表这4个时段的平均噪声位移

1Hz以上频率的噪声水平属于中等程度。

### 2.3 京津冀地震台网的理论监测能力

我们以BJT台站的背景噪声为参考,假设京津冀地区的平均噪声位移均为 $0.02305\mu\text{m}$ ,该噪声值乘以2倍作为Pg信号的最小检测位移,再乘以3倍作为Sg波的最小检测位移,代入式(3)计算各台在各震级处的能记到该震级地震的最远震中距。3个台均能记录则表示能够定位该地点,如此我们获取了京津冀台网对近震的定位能力范围(图4)。

如图4所示,天津大部分地区都能监测到 $M_L 1.0$ 的地震,而北京地区地震台站分布较稀疏,所以监测能力要弱于天津,其西北部大部地区不能达到监测 $M_L 1.0$ 地震的能力。虽然该估算设置了一些初始条件,但是作为一个大概的评估,可以看出其西北地区的监测能力明显低于其东南部和天津大部分地区。京津冀所有地区均能够监测 $M_L 2.5$ 及以上地震,北京和天津所有地区均能够监测 $M_L 2.0$ 及以上地震。

## 3 京津冀地区地震台网的监测能力检验

为了检验京津冀地区地震台网的实际监测能力,我们从中国地震台网中心(CENC)下载了京津冀地区的地震目录。根据2002年1月~2013年10月间的1万余条地震目录,得到京津冀地区的地震分布图(图5)。由图5看出,地震呈2个条带状分布,京津冀地区内 $40^\circ\text{N}$ 左右的地震条带属于华北平原地震带,这个地区的监测能力很强,与之能够达到同等程度的是河北省的西南部地区,如此强的监测能力都与这些地区台站密度大有关。在 $115^\circ\text{E}$ 右侧

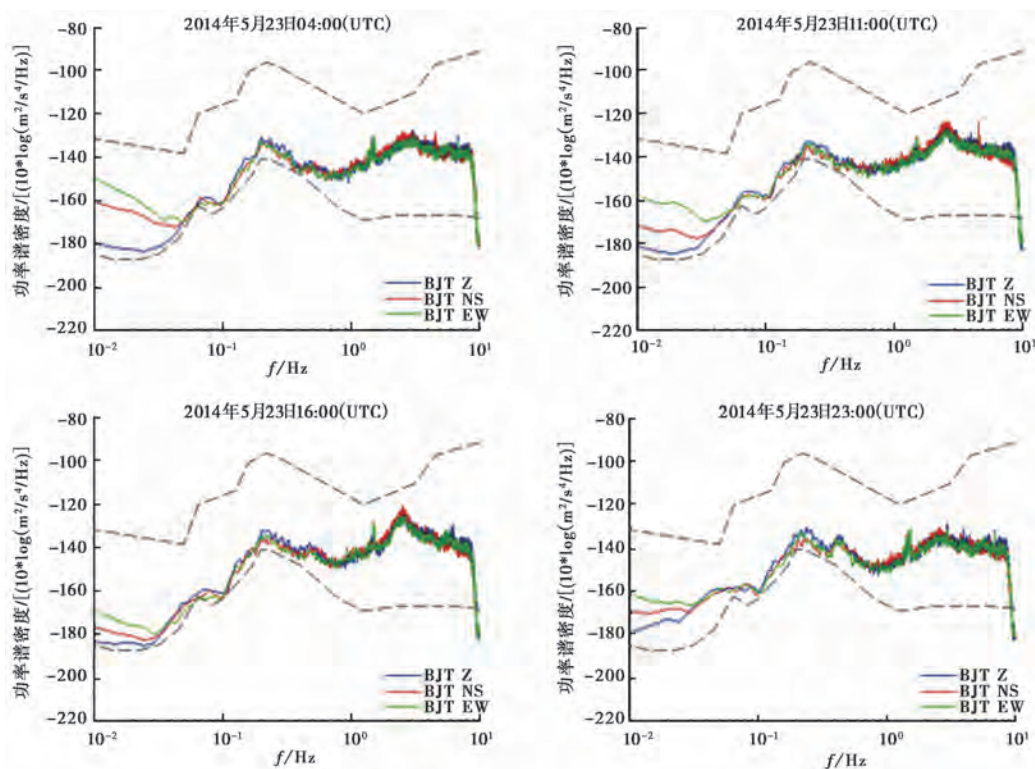


图3 BJT地震台2014年5月23日4:00、11:00、16:00、23:00时前半个小时的背景噪声功率谱

的地震条带属于汾渭地震带,其中段由于台站稀疏,监测能力只到  $M_L 1.5$  级。

#### 4 京津冀地区的监测薄弱区

针对理论监测能力的计算作如下假设:①以 BJT 地震台站的背景噪声水平代表所有京津冀台站的背景噪声水平;②当  $P_g$  震相是噪声的 2 倍时才确认为成功检测;③最少有 3 个台站的完整记录才确认能够定位该地震。而实际情况是,有的台站远离市区,比较安静,高频背景噪声相对较低,比 BJT 的监测能力强。在实际工作中, $P_g$  震相小于噪声的 2 倍时,也可以用肉眼识别并参与定位。而且通常情况下如果 1 个台有小震记录,且  $t_s - t_p$  较小,可以认为是台站附近的地震时,区域台网也可以给出该台站的经纬度作为地震的震中,同时给出  $t_s - t_p$  值,并提供地震目录。这是理论计算与实际地震目录的差别所在。

京津冀地区的地震主要分布在 2 个地震带上,综合理论计算与实际地震分布发现  $40^\circ N$  附近小震频繁,属于华北平原地震带,而从图 4 看,北京西部地区与河北省  $40^\circ N$  附近台站较少,理论监测能力图显示对该地区的监测能力不足。既然台站少,监测能力不足,而该地区又发生了如此多的地震,这可能表明该地区大部分小震的定位不能满足多台定位,即实际定位精度需要提高。另外一个地震带为汾渭地震带,除了河北省最南部地区监测能力较强外,地震带中段均少有  $M_L < 1.5$  的地震记录,这条地震带上的台站分布稀疏,基本不能满足  $M_L 1.5$  的地震下限。

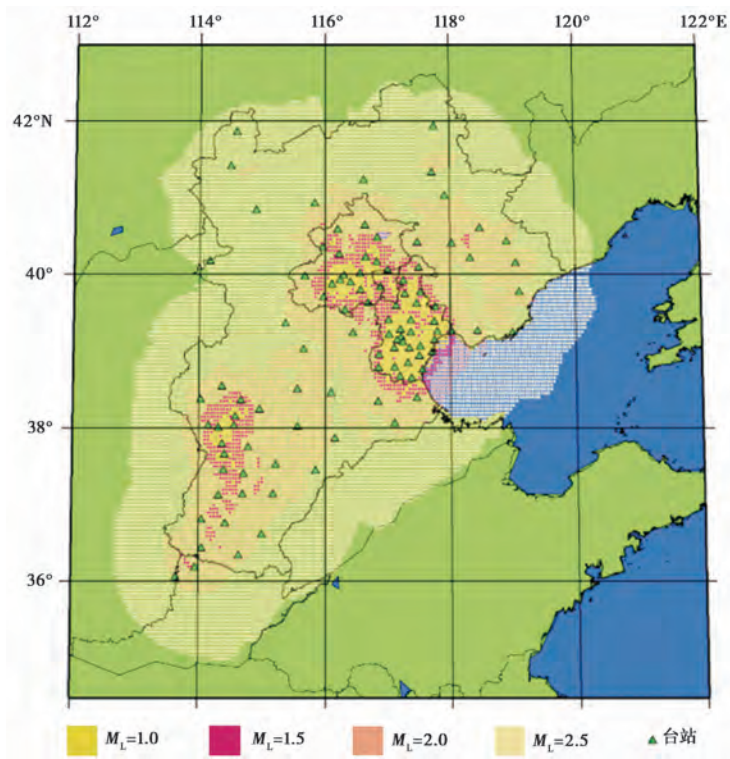


图4 京津冀地区近震监测能力

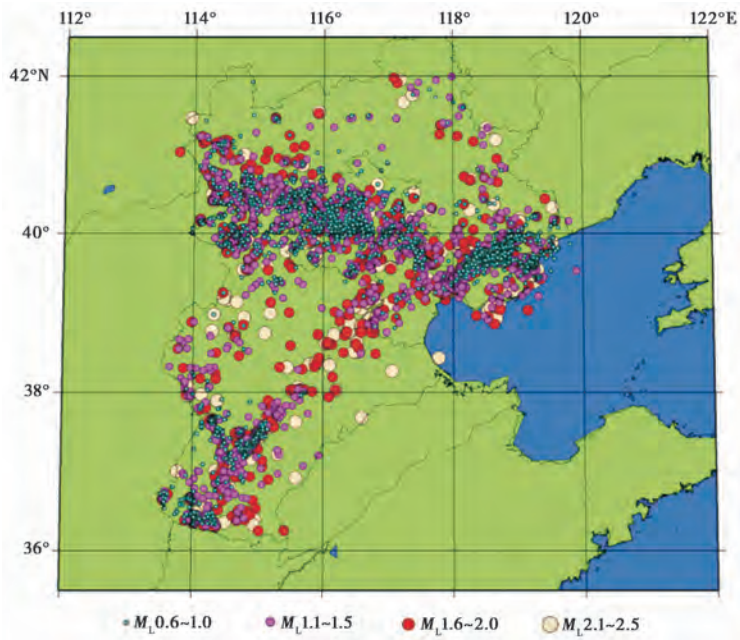


图5 京津冀地区2002年1月~2013年10月的地震分布

## 5 结论

华北地区主要有 4 个地震带,其中京津冀地区有 2 个主要地震带,即华北平原地震带和汾渭地震带。华北平原地震带是对京津唐地区威胁最大的地震带,1679 年河北三河 8.0 级地震、1976 年唐山 7.8 级地震就发生在这个带上。据统计,该地震带共发生 4.7 级以上地震 140 多次。其中 7.0~7.9 级地震 5 次;8 级以上地震 1 次。而汾渭地震带,是我国东部又一个强烈地震活动带。1303 年山西洪洞 8.0 级地震、1556 年陕西华县 8.0 级地震都发生在该地震带上。1998 年 1 月张北 6.2 级地震也在该地震带的附近。有记载以来,该地震带内共发生 4.7 级以上地震 160 次左右。其中 7.0~7.9 级地震 7 次;8 级以上地震 2 次(傅征祥等,1994)。

小震发生的频次对大震的预测研究具有重要作用。在京津冀地区的 2 个主要地震带上,北京西部、北部地区台站稀疏,理论上不能满足  $M_L 1.0$  的监测下限。华北平原地震带的西段,虽记录到了小震级事件,但由于台站稀疏,地震定位的精度有待提高。另外汾渭地震带的中段,也由于台站不多,理论上不能监测  $M_L 1.5$  以下的地震,而实际上也没有监测到  $M_L 1.0$  以下地震。因此建议补充北京西部地区与河北省汾渭地震带中段的地震台站,提高京津冀薄弱地区的地震监测能力,从而有利于京津冀地区的地震监测预测研究。

## 参考文献

- 傅淑芳、刘宝诚、李文艺,1980,地震学教程,北京:地震出版社。
- 傅征祥、姜立新,1994,汾渭带和华北平原带强震活动的群集特征,中国地震,10(2),160~167。
- 郝春月、索仁、才培拉姆等,2005,西藏地震台网检测能力与定位能力评估,地震地磁观测与研究,26(6),73~76。
- 郝春月、郑重、郭燕平等,2006,中国数字地震台网(CDSN)和 IMS/PS 台阵的监测定位能力评估,地震地磁观测与研究,27(2),56~63。
- 洪星、杨贵,2005,福建数字地震台网对泉州地震的监测能力,地震地磁观测与研究,25(2),89~96。
- 胡广书,2004,数字信号处理-理论、算法与实现,北京:清华大学出版社。
- 李雪英、张新东、胡斌,2005,河北省数字遥测地震台网的监测能力,山西地震,(2),22~25。
- 李涌、张艺、戴仕贵,2007,阿坝州数字地震台网的动态范围与台网监控能力计算,四川地震,(4),37~41。
- 孟智民、王卫东、李大伟,2002,陕西数字地震台网的监测能力,西北地震学报,24(2),178~182。
- 王小龙,2007,三峡重庆库区数字遥测台网地震监测能力评估,四川地震,(3),43~45。
- 王炎、赵淑珍、金文臣,2001,用平均可视分辨率估算山西大同数字遥测地震台网的遥测能力,山西地震,(4),8~10。
- 姚宏、陈鑫、黄树生等,2008,龙滩水电工程数字遥测地震台网监测能力检验,地震地磁观测与研究,29(4),62~66。
- 尹继尧、朱元清,2011,上海数字地震台网监测能力评估,地震研究,34(4),476~481。
- 张峰、石现峰、张学智,2009,Welch 功率谱估计算法仿真及分析,西安工业大学学报,29(4),353~356。
- 张黎珍、胡翠娥、李传江,2002,赣南遥测数字地震台网监测能力估算,华南地震,22(4),34~38。
- 张玲、梁向军、董春丽等,2010,山西数字地震台网监测能力分析,山西地震,(4),11~16。
- 张有林、戚浩、王焱坤等,2005,安徽省地震台网监测能力和监控范围估算,地震地磁观测与研究,26(6),56~59。
- 赵永海、陈永花、陈冬柏,2010,青海数字遥测台网地震监测能力评估,高原地震,22(1),30~33。



## Research on monitoring ability of the Digital Seismic Networks in the Capital area

*Mu Leiyu Zheng Yu*

Institute of Geophysics, China Earthquake Administration, Beijing 100081, China

**Abstract** According to the distribution of seismic stations and the ambient noise in the Capital area, we estimated the monitoring ability of the Beijing, Tianjin and Hebei Digital Seismic Networks, and then according to the catalogue produced by the China Earthquake Networks Center, we gave the picture of the factual locations of the earthquakes. The result shows that we should build more stations in the two faults in Capital area to enhance the monitoring ability to benefit the monitoring ability and earthquake forecasting in the Capital area.

**Key words:** Monitoring ability The Capital area Digital Seismic Networks Background noise