

汾渭地震带区域地震目录最小完整震级分析¹

郭秋娜¹⁾ 吕晓健¹⁾ 高战武²⁾

1) 中国地震局地震预测研究所, 北京 100036

2) 中国地震灾害防御中心, 北京 100029

摘要 利用基于 G-R 关系基础之上的 MBS 法和 GFT 法, 对比分析了 1970 年以来汾渭地震带台站建设各阶段 $M_L \geq 1.0$ 的地震目录的完整性。结果表明: 在基础地震台站建设阶段 (1970—1977 年), $M_L 2.4$ — $M_L 2.5$ 级以上地震基本完整; 在地震台站调整以及遥测台站建设阶段 (1978—1997 年), 最小完整震级为 $M_L 2.2$; 在地震台站数字化阶段 (1998 年—至今), $M_L 2.0$ — $M_L 2.1$ 级以上地震目录基本完整。从时间尺度上看, 随着时间的推移, 汾渭地震带相同起始震级所对应的拟合优度值基本呈稳定增加趋势, 表明汾渭地震带的地震监测能力在逐步提高。文中采用改进的 b 值标准差法对 b 值基本稳定时所对应的震级进行了识别和评价, 提高了最小完整震级识别的准确性, 同时还分析了汾渭地震带最小完整震级的空间分布情况。结果表明, 汾渭地震带北部 M_c 较中南部偏低。研究结果为汾渭地震带地震活动性研究、地震台网优化布置提供了基本依据。

关键词: 汾渭地震带 稳定 b 值法 拟合优度值法 最小完整震级

引言

地震目录是进行地震活动性研究的基础资料, 其完整性是决定地震活动性研究和地震危险性分析结果可靠性的关键因素。完整的地震目录是地震活动性研究结果可靠性的保证, 利用不完整的地震目录将会歪曲一个区域真实的地震活动性 (黄玮琼等, 1994a; 1994b; Wiemer 等, 2000)。所谓地震目录的完整性是指一个地区的地震目录自震级 M_c 开始都能被观测或记录到, 其中 M_c 是最小完整震级。统计分析是进行地震活动性研究的主要手段 (Wiemer 等, 2000; 苏有锦等, 2003), 为了更客观地研究地震活动的规律, 应尽可能地使用最多的地震记录, 这就需要对地震目录的最小完整性震级进行分析。

从理论上讲, 随着地震台网的完善以及地震分析方法的改进, 所能观测到的地震数量逐

1 基金项目 地震预测研究所基本科研业务专项 (编号 02092429); 中国活断层综合探查——华北构造区 (编号 60092303) 共同资助

[收稿日期] 2012-01-04

[作者简介] 郭秋娜, 女, 生于 1985 年。2009 年毕业于石家庄经济学院, 现为地震局地震预测研究所硕士研究生。主要从事地震活动性研究。E-mail: guoqiuna@126.com

渐增多,地震目录的最小完整震级也逐渐减小(苏有锦等,2003)。很多学者对不同地区的地震目录最小完整震级做过检验和研究:何宗海(1994)基于 G-R 原理,采用最小二乘法和最大似然法计算 b 值,分析了南北地震带不同时间段内未遗漏地震震级下限;一些学者(Wiemer 等,2000; Woessner 等,2005; 龙锋等,2009)采用 zmap 程序,根据最大似然法原理求解 b 值,对理论地震个数和实际地震个数进行拟合,认为拟合优度值越大地震目录完整性越高,并据此分析地震目录的最小完整震级;黄玮琼等(1994a; 1994b)采用年平均发生率和震级-频度关系分析了全国各个地震区带的最小完整性震级;王琼等(2011)采用 Z 值检验法对新疆天山南部不同时段小地震目录差异的显著性进行了分析;李志海等(2011)采用基于 G-R 关系的交互式分析法对新疆地区地震目录的最小完整震级空间分布进行了分析。本文借鉴前人的研究成果,根据台站建设的各阶段对汾渭地震带区域地震目录的最小完整震级进行了分析研究。

1 研究区域和地震资料的选取

汾渭地震带是我国东部的一条重要地震带,它位于鄂尔多斯地块的东侧,是上新世以来发育的陆内断陷带,其主体是由延庆-怀来、大同、忻州-定襄、太原、临汾、运城、渭河等断陷盆地和分割它们的横向隆起所组成,总体呈“S”形雁列式展布。

汾渭地震带的地震监测是从 20 世纪 50 年代由中国科学院在太原、临汾、大同和西安相继建立的第一批用现代仪器进行地震观测的地震台站开始的(赵新平,2006)。1968 年开始建设地震台网;1977 年《地震台站观测规范》颁布以后,对地震台网进行了部分调整;1983 年建成临汾遥测地震台,后又相继建成大同、太原、长治、运城等遥测地震台;1998 年对地震监测技术系统实施了数字化、自动化和网络化的技术改造,实现了地震监测技术由传统的模拟记录向现代数字化记录和网络化技术的转变,地震的监测设施、观测环境和技术水平得到显著改善,地震台站跨入了一个新的发展阶段。目前,该区已建成了 26 个专业地震台,40 余个地方地震台站。根据汾渭地震带台站的建设阶段,本文将 1970 年以来的地震目录分为 3 个阶段进行分析:①基础地震台站建设阶段:1970—1977 年;②地震台站调整及地震遥测台站建设阶段:1978—1997 年;③地震台站数字化阶段:1998—至今。

本文的数据主要采用中国地震台网中心提供的地震月报目录,由于 1970 年以来发生中强地震的数量较少,本文采用手动删除余震的方法,建立了汾渭地震带 $M_L \geq 1.0$ 的地震目录(图 1),共计 23970 个。其中 $M_L 1.0—M_L 1.9$ 级地震 15767 个; $M_L 2.0—M_L 2.9$ 级地震 7135 个; $M_L 3.0—M_L 3.9$ 级地震 919 个; $M_L 4.0—M_L 4.9$ 级地震 124 个; $M_L \geq 5.0$ 级地震 25 个。为了更好地分析地震空间分布情况,对汾渭地震带以 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 进行网格化,并对以网格节点为中心 30km 为半径范围内的地震记录进行统计(图 2)。由统计结果可以看出:地震主要沿着断裂带分布,地震频度在断裂带发育密集的区域明显高于断裂带发育稀疏的区域;以运城为界,运城以北地区地震频度较高,其中太原和大同附近地震频度明显高于其他地区,最高可达 2600 个;而运城以南地震频度则普遍较低。

2 分析方法

2.1 稳定 b 值法(MBS 法)

稳定 b 值法(Mc by b -value Stability, 简称为 MBS)是研究地震目录完整性的主要方法,地震的震级-频度在较大范围内满足古登堡-里克特(G-R)关系,其震级-频度呈半对数线性

关系 (Gutenberg, 1941):

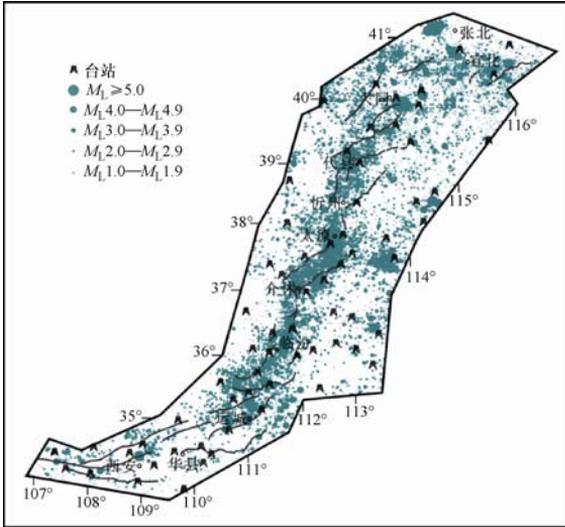


图1 汾渭地震带台站和地震分布图

Fig. 1 Distribution of earthquakes and seismic stations in Fenwei seismic region

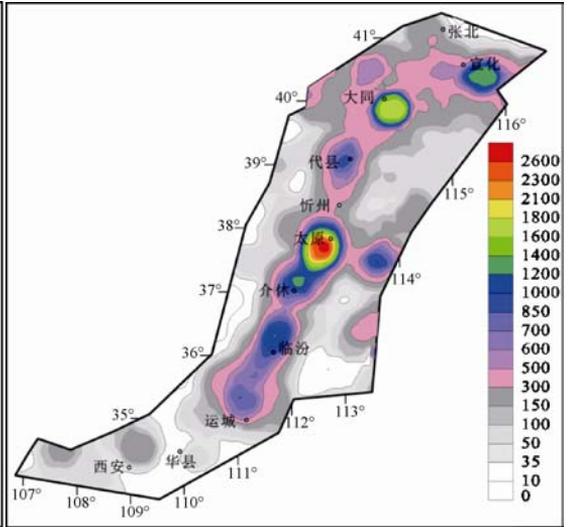


图2 地震频度分布图

Fig. 2 Earthquakes frequency distribution of Fenwei seismic region

$$\text{Log}N=a-bM \tag{1}$$

式中, N 是大于等于震级 M 的地震个数; a 、 b 是常数分别反映地震活动水平和强度分布特征 (傅征祥等, 2008)。

在式 (1) 的基础上, Aki (1965) 引入了最大似然法估算 b 值, 这种方法是利用总体分布的密度函数 $P(x_i, Q)$ 的表达式及 x 所提供的信息, 建立位置参量的估计量 Q 。

设总体分布是连续的, 分布密度函数为 $P(x, Q_1, Q_2, \dots, Q_k)$, 其中 Q_1, Q_2, \dots, Q_k 是待估计的未知参数, 对于给定的 x_1, x_2, \dots, x_n , 使函数 $\prod_{i=1}^n P(x_i, Q_1, Q_2, \dots, Q_k)$ 达到最大值的 $\hat{Q}_1, \hat{Q}_2, \hat{Q}_3, \dots, \hat{Q}_k$, 并用它们分别作为 Q_1, Q_2, \dots, Q_k 的估值。

由于 $\ln \prod_{i=1}^n P(x_i, Q_1, Q_2, \dots, Q_k)$ 与 $\prod_{i=1}^n P(x_i, Q_1, Q_2, \dots, Q_k)$ 在同一点 $(\hat{Q}_1, \hat{Q}_2, \hat{Q}_3, \dots, \hat{Q}_k)$ 上达到最大值, 因此, 引入函数

$$\begin{aligned} L(Q_1, Q_2, \dots, Q_k) &= \ln \prod_{i=1}^n P(x_i, Q_1, Q_2, \dots, Q_k) \\ &= \sum_{i=1}^n \ln P(x_i, Q_1, Q_2, \dots, Q_k) \end{aligned}$$

它被称为似然函数, 当 $\frac{\partial L}{\partial Q_i} = 0$ 时就可以从中确定所要求的 $\hat{Q}_1, \hat{Q}_2, \hat{Q}_3, \dots, \hat{Q}_k$, 它们分别称为参数 Q_1, Q_2, \dots, Q_k 的最大似然估值。

当使用震级大于或等于震级 M 的地震次数作为累积频度时, 其震级累积概率的分布函数可写为 (Aki, 1965; 何宗海, 1994):

$$P(M) = 1 - e^{-\beta M} \quad (M \geq 0) \quad (2)$$

若 M_0 代表起始震级, \bar{M} 是每个计算单元所用的平均震级, β 为最大似然估计值, $\beta = b/\lg e$, 若 $M_0 = 0$, 则有:

$$\bar{M} = M_0 + \beta^{-1} \quad (3)$$

使用普通对数即为:

$$b = \frac{\lg e}{\bar{M} - M_0} \quad (4)$$

式中, M_0 是起始震级; \bar{M} 是震级 $M \geq M_0$ 的平均震级; $\lg e = 0.4343$ 。

Cao 等 (2002) 采用 MBS 法对日本东北部岛弧最小完整震级进行了分析, 其结果与采用其他方法研究该区域最小完整震级的一些学者 (Huang 等, 1997; Wyss 等, 2001) 得到的结果基本是一致的, 所以本文引入了 MBS 法。MBS 法的基本思路是: b 值随着地震的起始震级 M_0 的增加而不断上升, 当 M_0 增加到一定程度后 b 值出现一个基本稳定状态, 将 b 值出现基本稳定状态时所对应的 M_0 值作为 M_c 值, 随着 M_0 继续远离 M_c 后, b 值开始出现下降趋势。Woessner 等 (2005) 也使用该方法对地震目录的完整性进行了分析, 并且取得了很好的效果, 所不同的是 Woessner 采用 Shi 等 (1982) 改进过的标准差法 (式 (3)) 来估计 b 值处于基本稳定状态时所对应的 M_c , 改善了肉眼识别稳定 b 值对应的 M_c 所带来的误差。

$$\delta b = 2.3b^2 \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (M_i - \bar{M})^2}{N(N-1)}} \quad (5)$$

式中, M_i 是起始震级; \bar{M} 是震级 $M \geq M_0$ 的平均震级; N 是震级 $M \geq M_0$ 的地震个数。

2.2 拟合优度检验法 (GFT 法)

该方法是 Wiemer (2000) 在 G-R 分析方法的基础上提出的, 通过对实际震级-频度分布曲线与理论震级-频度分布曲线的比较, 发现当震级不完整时, 小震拟合效果存在着较大的差异。而拟合优度检验法 (Goodness of Fit Test, 简称为 GFT) 正是通过对这些差异的分析, 来判别地震目录的完整性。首先假设地震目录自 M_i 是完整的, 采用 G-R 公式拟合出该震级 M_i 所对应的 a_i 、 b_i 值, 将理论值与实际值进行对比得出各个震级所对应的拟合优度值 R :

$$R(a_i, b_i, M_i) = 1 - \left(\frac{\sum_{i=1}^{M_{\max}} |B_i - S_i|}{\sum_i B_i} \right) \quad (6)$$

式中, B_i 是指震级大于等于 M_i 的实际观测的地震个数; S_i 是理论推测的地震个数, $S_i = 10^{a_i - b_i M}$ 。

Wiemer 等 (2000)、苏有锦等 (2003)、Woessner 等 (2005)、龙锋等 (2009) 在拟合优度计算时均采用最大似然法求取 b 值, 而何宗海 (1994) 却通过研究南北地震带中北部最小完整震级认为, 最大似然法虽然稳定性好, 但误差估计较大。本文在前人的基础上采用最小二乘法对 b 值进行估计, 因为最小二乘法更注重误差的减小, 使误差的平方和达到最小。

3 时间完整性分析

3.1 MBS 法分析

采用 MBS 法对山西地震带台网建设各阶段 $M_L=1.0$ 级以上地震目录进行分析。 b 值的具体计算过程是：选震级间隔为 0.1，利用公式（4）求取不同震级所对应的 b 值。以图 3.1a 为例，取震级间隔 $M_L \geq 1.0, 1.1, 1.2 \dots$ ，计算 b 值，得到图 3.1a，然后利用公式（5）计算 b 值所对应的标准差 δb ， \bar{b} 是震级 M_0 范围 $dM=0.5$ 内对应的 b 的均值（Woessner 等，2005），譬如：当选取震级间隔为 0.1 时， $\bar{b} = \sum_{M_0=1.0}^{1.4} b(M_0)/5$ 。此处震级范围 dM 的选取是非常关键的，

当选取 $dM=0.3$ 时，所得到的结果有时会相差很远，Woessner 等（2005）通过计算检验表明，当震级范围取 0.5 时更能体现出地震服从指数分布关系。采用同样的方法可得到图 3.1c、e。图 3.1b、d、f 中的 Δb 为 b 的均值误差， $\Delta b = |b - \bar{b}|$ ，当 Δb 出现在 b 的标准差范围之内时说明 b 值出现了基本稳定状态。为了更清楚的在图上看出 b 值呈现基本稳定状态所对应的震级，文中将第一次出现 $\Delta b \leq \delta b$ 时所对应的震级作为 M_c ，在图 3.1a 中当 $M_L=2.4$ 时 \bar{b} 值第一次落在 b 值的误差波动范围内，图 3.1b 将图 3.1a 的误差更清晰的显示出来， $M_L=2.4$ 时第一次出现 $\Delta b < \delta b$ ，所以汾渭地震带自 1970—1977 年 $M_L=2.4$ 级地震基本是完整的；图 3.1c、e 中 \bar{b} 出现了明显的下降现象，这可能是 dM 范围内高震级端地震个数偏高或者靠近起始震级端的地震个数偏低造成的，但是 b 值基本在误差范围内，所以 1978—1997 年 $M_L=2.2$ 时 b 值出现基本稳定状态；1998—至今 b 值出现稳定状态时所对应的震级为 $M_L=2.1$ 。

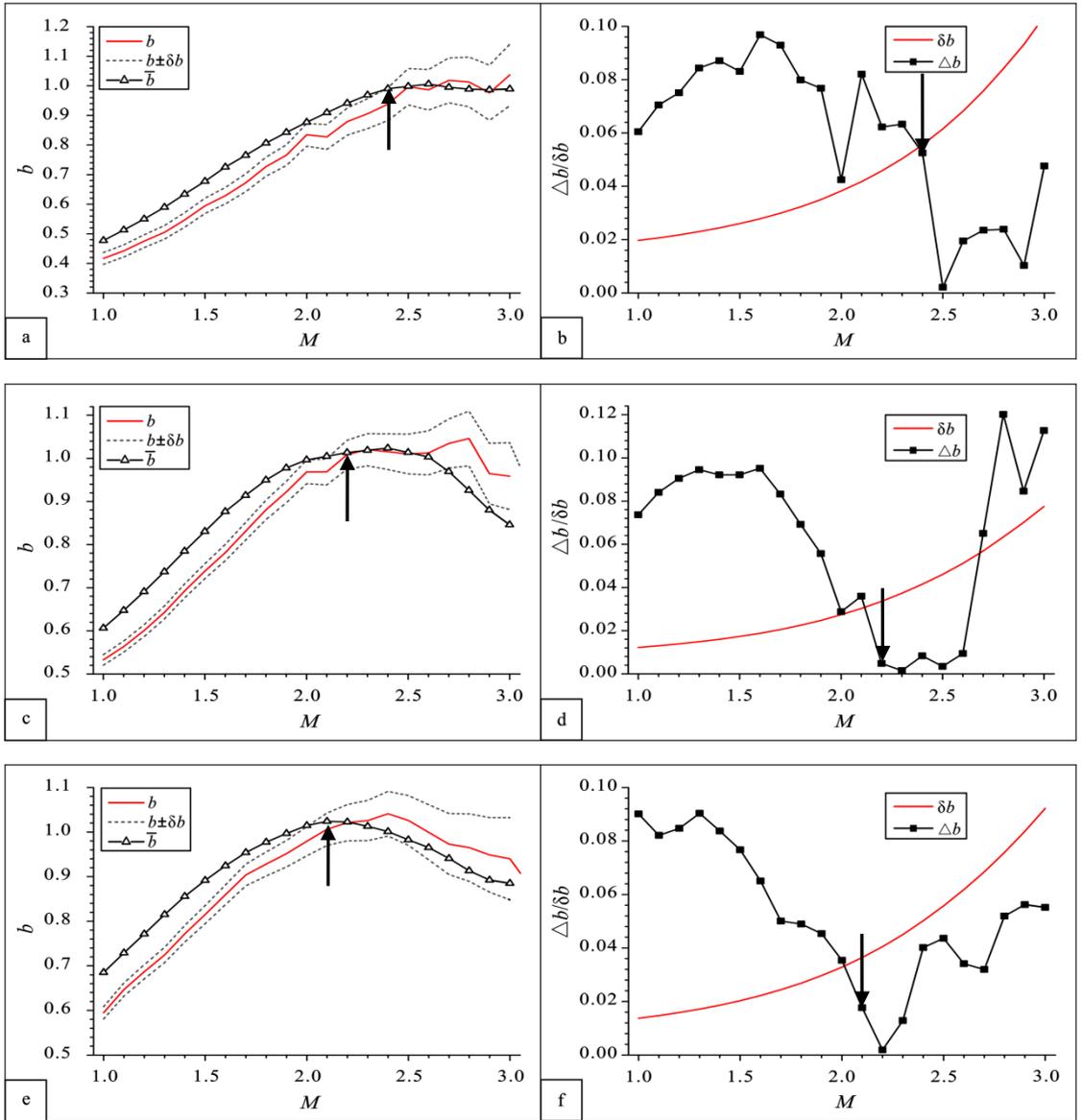
3.2 GFT 法分析

Scholz（1968）通过岩石力学实验验证了大小地震之间的数量关系呈幂率分布，对于完整的地震目录，震级-频度关系必然满足幂率分布（龙铎等，2009）；但是对于不完整的地震目录很难使用简单的 G-R 关系充分表达所得到的震级-频度关系，在震级-频度分布图上震级小于 M_c 的地震数量的减少，一般被认为是由于地震目录的不完整引起的（苏有锦等，2003），所以前人引进了 GFT 法，通过反复调整起始震级，直到理论地震个数分布能更好地符合实际观测地震个数的分布。

本文的具体做法是：首先以 0.1 作为震级间隔绘出汾渭地震带的震级-频度分布图，然后根据 G-R 关系拟合出理论上的震级-频度分布曲线。在统计中误差估计要比稳定性重要，所以本文采用最小二乘法对所得到的震级-频度曲线进行拟合。图 3.2a、b、c 分别为 1970—1977 年 $M_L \geq 1.0$ 、 $M_L \geq 1.7$ 和 $M_L \geq 2.5$ 的理论值和实际值的拟合曲线分布图，为了更好地观察拟合效果，文中对拟合效果进行归一化，当震级为 M_i 之时，根据（1）式计算出 $M \geq M_i$ 所对应的 a 、 b 值，利用公式（6）求出各震级相对应的拟合优度值 R ，如图 3.2d 所示。同样也可以计算出图 3.2e、f。

从图 3.2a、b 中可以看出，实际观测值与理论值出现了轻微掉头现象，这种现象说明汾渭地震带 1970—1977 年 $M_L \geq 1.0$ 和 $M_L \geq 1.7$ 级地震目录是不完整的。图 3.2c 中实际观测值和理论值在 $M_L=2.5$ 级时拟合效果较好，通过图 3.2d 随着 M_i 的增加拟合优度逐渐变大， $M_L=2.5$ 时拟合优度最大，说明汾渭地震带 1970—1977 年地震目录自 $M_L=2.5$ 级开始基本是完整的。从图 3.2e 中可以看出，汾渭地震带 1978—1997 年地震目录自 $M_L=2.2$ 级基本是完整的。从图 3.2f 中可以看出，汾渭地震带 1998 年—至今地震目录自 $M_L=2.0$ 级基本是完整的。从图 3.2d、e、f 中 R 值出现了不同程度的起伏现象可看出，这可能是由于计算公式（6）中地震个数的理论值 S_i 的系数 a 、 b 的浮动引起的。通过对比分析图 3.2d、e、f 可以看出，随着时间的增加相同起始震级所对应的拟合优度基本呈增加趋势，这一点也反映了汾渭地震带的地震监测

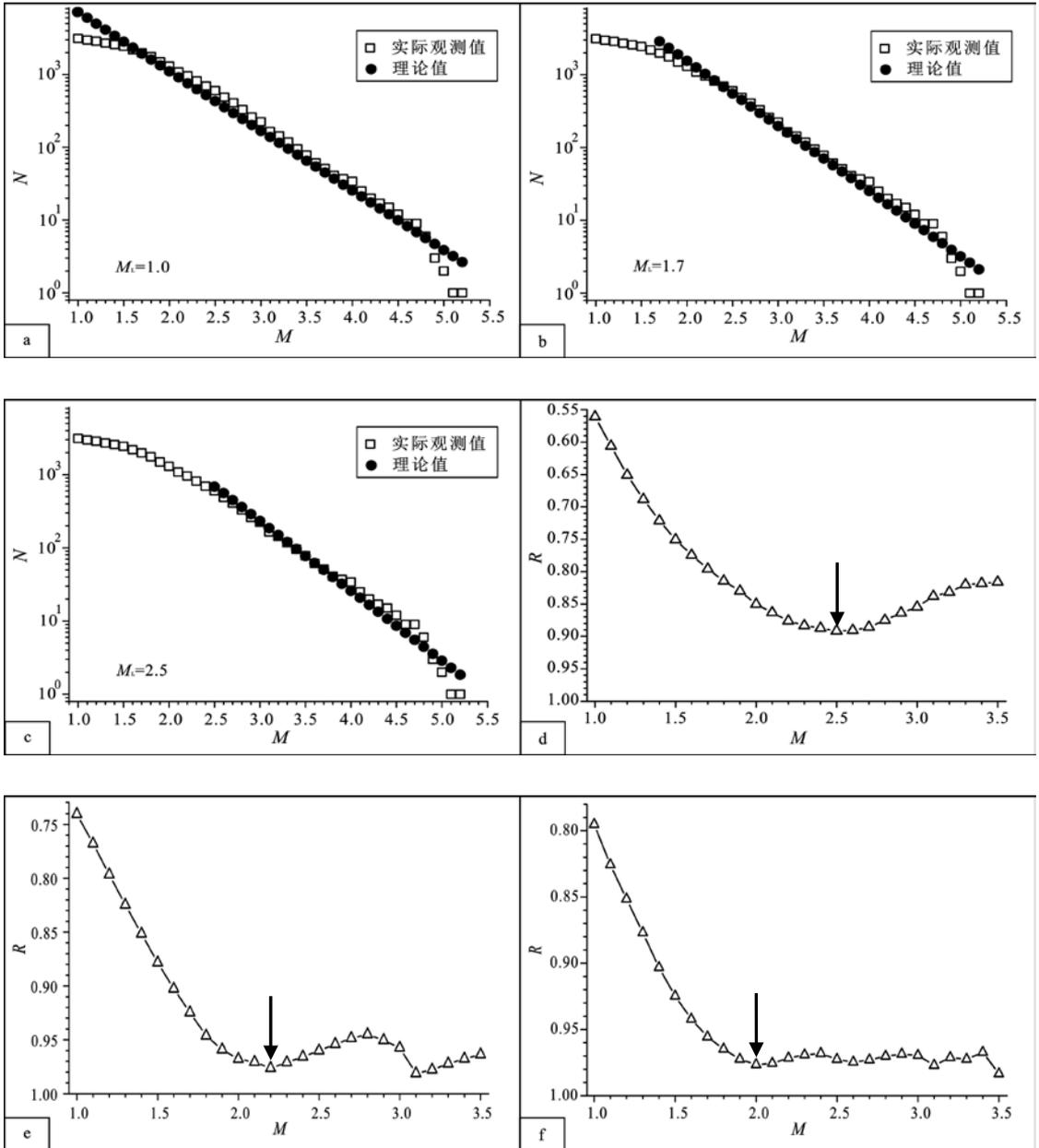
能力是逐步提高的。



a. 1970—1977 年汾渭地震带 b 值、均值 \bar{b} 及标准差范围 $b \pm \delta b$ 分布图； b. 1970—1977 年标准差 δb 及 Δb 值分布图； c. 1978—1997 年汾渭地震带 b 值、 \bar{b} 值及标准差 $b \pm \delta b$ 分布图； d. 1978—1997 年标准差 δb 及 Δb 值分布图； e. 1998—至今汾渭地震带 b 值、 \bar{b} 值及标准差 $b \pm \delta b$ 分布图； f. 1998—至今标准差 δb 及 Δb 值分布图

图 3.1 汾渭地震带 b 值、均值 \bar{b} 及标准差 δb 分布图

Fig. 3.1 Distribution of b values, averages \bar{b} values, and standard deviations (δb) of Fenwei seismic region



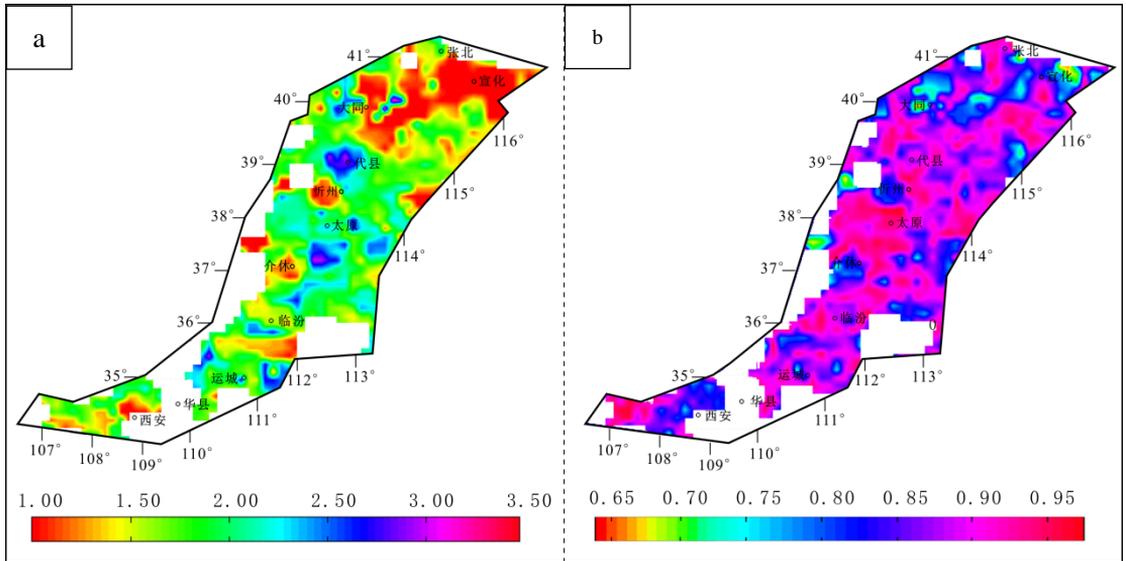
a. 1970—1977 年 $M_L=1.0$ 时，实际观测值和理论值拟合分布图；b. 1970—1977 年 $M_L=1.7$ 时，实际观测值和理论值拟合分布图；c. 1970—1977 年 $M_L=2.5$ 时，实际观测值和理论值拟合分布图；d. 1970—1977 年各震级拟合优度分布图；e. 1978—1997 年各震级拟合优度分布图；f. 1998—至今各震级拟合优度分布图

图 3.2 实际观测值和理论值拟合分布图及拟合优度分布图

Fig. 3.2 Comparison of observed and theoretical values, and distribution of fit goodness

4 空间完整性分析

基于以上两种方法可得出汾渭地震带在时间上的最小完整震级基本是一致的。何宗海(1994)通过对最大似然法与最小二乘法的比较得到：最大似然法的稳定性高于最小二乘法，而对回归系数 a 、 b 值的方差进行比较可得出，用最小二乘法求出的方差比用最大似然法得到的结果偏小。由于在统计分析中误差估计要比稳定性重要，所以本文在空间上采用 GFT 法进行分析。同时考虑到地震分布的空间分布不均匀性以及保证足够的地震个数，文中采用 1970 年一至今的地震目录，在空间上分析汾渭地震带的最小完整震级。首先将以 $0.1^\circ \times 0.1^\circ$ 网格化的汾渭地震带以半径为 30km 进行空间扫描，得到每个节点的最小完整震级 M_c 分布(图 4a)。从图 4b 中可以看到， R 值绝大部分在 85% 以上，局部地震稀少区域拟合优度效果在 70% 左右，而空白区域是由于数据不足引起的。 R 值低于 85% 的地区是将 1970 年以来地震监测能力平均化的结果，因为随着时间的推移我国的地震监测水平是逐渐提高的(龙锋等, 2009)。



a 1970 年以来最小完整震级分布图

b 1970 年以来拟合优度分布图

图 4 1970 年以来最小完整震级以及拟合优度值空间分布图

Fig. 4 Distribution of minimum magnitude of completeness and goodness since 1970

从图 4a 可以看出，总体的汾渭地震带北部最小完整震级 M_c 明显高于南部。汾渭地震带的北部延庆—怀来盆地以及大同盆地内的 M_c 较低，这可能是由于汾渭地震带北部邻近大同地震台网中心以及北京地区，台网监测能力得到了很大的提高。大同附近局部的 M_c 偏高可能是由于地震个数偏少增大了 b 值计算误差而导致的。介休地区局部 M_c 偏低状况可能是因为该区有大量煤矿，在低信噪比的情况下难于准确区分爆破地震和天然地震，所以部分人工地震可能混入了地震目录中导致 M_c 偏小(李志海等, 2011)。渭河盆地的南部地震数目相对于北部偏少，在西安地区出现了局部 M_c 低值现象，这与西安建设地震台站比较早且监测状

况一直良好是分不开的。

5 结论

为尽可能地减小不确定性,本文采用 GFT 法和 MBS 法分别对汾渭地震带的最小完整震级进行了分析,两种方法的结果基本一致。结果表明,汾渭地震带在 1970—1977 年基础台站建设阶段,汾渭地震带地震目录自 $M_L2.4$ — $M_L2.5$ 级开始基本完整;在 1978—1997 年地震台网调整和遥测台站建设阶段,区域地震目录自 $M_L2.2$ 级基本完整;进入地震台站数字化阶段 1998 年一至今, $M_L2.0$ — $M_L2.1$ 基本完整。最小完整震级伴随时间的推移逐渐降低,反映出地震监测能力的逐步提高。

汾渭地震带最小完整震级空间分布分析结果表明,汾渭地震带的 M_c 空间分布存在着较大的非均匀性,汾渭地震带北部 M_c 明显低于南部。在大同、太原地区出现了局部 M_c 偏高的现象,可能是由于地震数据个数较少造成的。当数据较少时,得到的 b 值结果误差会较大,从而影响 M_c 值,这也是该方法的缺陷之所在,还有待进一步改进。代县地区局部出现 M_c 偏高现象,可能是该区域附近地震台网分布相对较稀疏造成的。

参考文献

- 傅征祥,吕晓健,邵辉成等,2008. 中国大陆及其分区余震序列 b 值的统计特征分析. 地震, **28** (3): 1—7.
- 何宗海,1994. 中国南北地震带中北部最小完整性震级的探讨. 西北大学学报(自然科学版), **24** (5): 411—416.
- 黄玮琼,李文香,1994a. 中国大陆地震资料完整性研究之二:分区地震资料基本完整的起始年分布图像. 地震学报, **16** (4): 423—432.
- 黄玮琼,李文香,1994b. 中国大陆地震资料完整性研究之一:以华北地区为例. 地震学报, **16** (3): 273—280.
- 李志海,蒋长胜,黄瑜等,2011. 新疆地区地震目录最小完整性震级和台网科学布局研究. 地震学报, **33** (6): 1—13.
- 龙锋,闻学泽,倪四道,2009. 区域最小完整性震级时空分布的确定——以龙门山断裂带为例. 地震, **29** (3): 27—36.
- 苏有锦,李永莉,李忠华等,2003. 川滇地区区域地震目录完整性最小震级分析. 地震研究, **26** (增刊): 10—16.
- 王琼,曲延军,高歌等,2011. 新疆天山南部构造区不同时段小地震目录完整性分析. 地震研究, **34** (1): 35—41.
- 赵新平,2006. 山西省地震监测志. 北京:地震出版社.
- Aki K., 1965. Maximum Likelihood Estimate of b in the Formula $\log N = a - bM$ and Its Confidence Limits. Bull. Earthq. Res. Inst. Univ. Tokyo, **43** (2): 237—239.
- Gutenberg B., 1941. Seismicity of the Earth. Geol. Soc. Amer. Spec. Pap., **34** (1): 1—133.
- Cao A., Gao S.S., 2002. Temporal variation of seismic b values beneath northeastern Japan island arc. Geophysical Research Letters, **29** (9): 1—3.
- Huang S., Sacks I., Snoke J., 1997. Topographic and seismic effects of long-term coupling between the subducting and overriding plates beneath Northeast Japan. Tectonophysics, **269** (3—4): 279—297.

- Scholz C.H., 1968. The frequency-magnitude relation to microfracturing in rock and its relation to earthquakes. *Bull. Seism. Soc. Am.*, **58**(1): 399—415.
- Shi Y., Bolt B.A., 1982. The standard error of the magnitude-frequency b value. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **72** (5): 1677—1687.
- Wiemer S., Wyss M., 2000. Minimum magnitude of completeness in earthquake catalogs: examples from Alaska, the western United States, and Japan. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **90** (4): 859—869.
- Woessner J., Wiemer S., 2005. Assessing the quality of earthquake catalogs: Estimating the magnitude of completeness and its uncertainty. *Bulletin of the Seismological Society of America*, **95** (2): 684—698.
- Wyss M., Hasegawa A., Nakajima J., 2001. Source and path of magma for volcanoes in the subduction zone of northeastern Japan. *Geophys. Res. Lett.*, **28** (9): 1819—1822.

Analysis of Minimum Complete Magnitude of Earthquake Catalog in Fenwei Seismic Region

Guo Qiuna¹⁾, Lu Xiaojian¹⁾ and Gao Zhanwu²⁾

1) Institute of Earthquake Science, Beijing 100036, China

2) China Earthquake Disaster Prevention Center, Beijing 100029, China

Abstract Two methods (MBS and GFT methods) based on G-R relationship have been used to analyze the integrality of the earthquake catalog of $M_L \geq 1.0$ in three stages of the seismic station network in Fenwei seismic region since 1970 in this paper. The results show that during base station construction phase from 1970 to 1977, the earthquake of the magnitude over 2.5 is integrated. In station adjustment and telemetry stations construction phase from 1978 to 1997, the minimum magnitude of integrated earthquakes is 2.2. In station digital phase from 1998 until now, the minimum magnitude of integrated earthquakes is from 2.0 to 2.1. The above observation suggests that as time goes on, the goodness of fit corresponding to the same initial magnitude is increasing steadily, which indicates that the earthquake monitoring capability of Fenwei seismic region is improving gradually with time. In this article, we use the improved standard deviation of the b values when they are relatively stable to estimate the magnitude, resulting in the relatively high accuracy of evaluation the minimum complete magnitude. At the same time we have also analyzed the spatial distribution of the minimum complete magnitude. Our results show that M_c in the north of Fenwei seismic region is lower than in the south. The methods we proposed in this paper is helpful to provide fundamental basis for seismic analysis and station network optimization arrangement of Fenwei seismic region.

Key words: Fenwei seismic region; Stability of b value; Goodness of fit; Minimum complete magnitude