

内蒙古呼和浩特—包头地区地震目录的完整性分析

韩晓明, 曹孟娜, 张帆

(内蒙古自治区地震局, 内蒙古 呼和浩特 010010)

摘要:以内蒙古中部的呼和浩特—包头地区($40^{\circ}\sim 42^{\circ}\text{N}$, $108^{\circ}\sim 114^{\circ}\text{E}$)作为研究区域, 收集整理2001年1月1日至2010年4月30日 $M_L\geq 1.0$ 地震作为研究对象, 按地震样本数目滑动扫描并计算最小完整性震级 M_c , 绘制 M_c 的时序变化曲线。分析认为 M_c 在时间上的变化主要反映台网监测能力和地震活动规律, 但台站布局、地震信噪比和人为因素也会引起 M_c 的短期或不连续性的变化。同时在Rydelek等提出的2个假设条件下, 对呼包地区的地震目录完整性进行了RS检验, 其结果与上述扫描计算结果一致, 也与根据台网监测能力所得到的震级范围吻合, 证明本文的计算结果能够比较真实的反映2001年以来呼包地区地震目录在各时段内的完整性。

关键词: 内蒙古呼和浩特—包头地区; 地震目录; 最小完整性震级 M_c ; RS检验

中图分类号: P315.730.5 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2012)01-0093-06

Integrity Analysis of the Earthquake Catalog for Hohhot—Baotou Area in Inner Mongolia

HAN Xiao-ming, CAO Meng-na, ZHANG Fan

(Earthquake Administration of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010010, China)

Abstract: Taking the Hohhot—Baotou region ($40^{\circ}\sim 42^{\circ}\text{N}$, $108^{\circ}\sim 114^{\circ}\text{E}$) in Central Inner Mongolia as study area, collecting the earthquake events with $M_L\geq 1.0$ from January 1, 2001 to April 30, 2010, the number of seismic samples is sliding scanned and the minimum integrality magnitude M_c is calculated. The M_c change curve with time is drawn also. It is considered that M_c change along with the time is mainly reflected by monitoring capabilities of earthquake station network and seismic activities, but the station layout, the earthquake noise ratio and human factors can also cause short-term or discontinuous M_c change. Meanwhile in two assumptions made by Rydelek, the completeness of earthquake catalog in Hohhot—Baotou area is tested by RS method. The tested result is consistent with our M_c value, and also with the monitoring magnitude range obtained from the monitoring ability of local network. So the study result can truly reflect the integrality of earthquake catalog in Hohhot—Baotou area since 2001.

Key words: Hohhot—Baotou area of Inner Mongolia; Earthquake catalog; The minimum integrality magnitude M_c ; Rydelek—Sacks test

0 引言

在地震活动性研究中地震目录的完整性至关重要。由于受到台站布局、观测仪器性能、观测人员分析能力等不确定因素的影响, 地震目录往往是不完

整和非均匀的, 即地震目录中除了天然地震之外, 还掺杂着些许人为地震。用这种非纯天然的地震目录去研究某一区域的地震活动性是不合适的, 有必要对其中的人为地震事件加以剔除, 保证地震活动性

收稿日期: 2010-12-20

基金项目: 2012年地震科技星火计划项目(XH12010Y); 2012年内蒙古自治区应用技术研究与开发项目(2060402)

作者简介: 韩晓明(1980—), 男(汉族), 河南漯河人, 硕士, 主要从事测震学方面的工作。

研究结果是建立在地震目录的完整性和均匀性的基础上。关于人为地震产生的原因, Habermann 和傅征祥都做了系统归纳, 主要有 3 种因素: ①台网监测能力的变化; ②地震监测报告的缺失; ③由台站分布和震级测定算法不同而引起的震级漂移。前两种因素主要影响地震目录中的小震级事件的完整程度。因此, 需要确定一个震级阈值来保证在不同时期之间的地震目录都是完整的, 这个震级阈值就是最小完整性震级 M_c (Minimum magnitude of completeness), 它是指特定尺度的时—空体内 100% 的地震事件可被检测到的最低震级^[1], 是评价地震目录的一个重要参数。

国内外关于地震目录完整性的研究由来已久, 且方法众多。概括来讲, 主要研究最小完整性震级在时间上的变化规律, 空间上的变化规律, 或者同时研究其时间和空间变化。而在各自的时间范围和空间范围选取上又有着明显的不同。作者分析认为, 应主要依据各地区断裂构造展布、地震活动空间分布、以及台网改造时间等因素而选取合适的时间或空间范围。焦远碧等根据我国地震台网监测能力绘制了全国最小完整性震级空间分布等值线图^[2]; 黄玮琮等分析了中国大陆不同地震区(带)历史地震的平均发生率和震级—频度分布关系, 给出了中国大陆分区地震目录 ($M_s \geq 4.7$ 和 5 以上) 完整性的时间分布^[3-4]。Stefan Wiemer 等用震级—频度分布 FMD (frequency—magnitude distribution) 方法研究了阿拉斯加、美国西部、日本地区的地震目录最小完整性震级的空间分布^[5]。苏有锦分析了川滇地区 1970—2001 年的区域地震目录, 给出了该地区的最小完整性震级及主要地震活动带(区)最小完整性震级的时、空分布^[6]。

1 研究区域及资料选取

内蒙古地区地域辽阔, 台站分布稀疏、非均匀性显著。部分地区监测能力很弱, 少有地震记录, 对其进行地震目录的完整性分析意义不大。相对这些台网监测能力偏低的地区, 呼和浩特—包头地区(以下简称呼包地区)是内蒙古地震监测能力最强的区域。“九五”期间, 呼包地区建成了由 1 个台网中心、7 个台站组成的呼和浩特数字遥测地震台网, 基本覆盖了呼包地区; “十五”期间, 呼和浩特数字遥测台网进一步扩建调整, 对区域地震台站进行数字化改造, 主要包括观测设备、传输信道等的更新和升级, 使该区域的台网技术水平、监测能力、观测精度和观测数据

的利用率都得到大幅提升。既保证该区域有足够多的地震样本数目参与计算, 也能客观的对其地震目录的完整性进行精细分析。

表 1 呼和浩特—包头地区数字测震台网台站基本参数表

台站 编号	台站 名称	台站 代码	台基 岩性	地震计	数据采集器
1	乌加河	WJH	闪长岩	JCZ-1 BBAS-2	EDAS-24L6
2	包头	BTO	花岗岩	KS-2000 PA-23	SMARRT-24R
3	百灵庙	BLM	花岗岩	BBVS-60	EDAS-24IP
4	东胜	DSH	玄武岩	BBVS-60	EDAS-24IP
5	和林格尔	HLG	花岗岩	BBVS-60	EDAS-24IP
6	集宁	JIN	花岗岩	BBVS-120	EDAS-24IP
7	乌兰花	WLH	砂岩	BBVS-120	EDAS-24IP
8	清水河	QSH	变质岩	BBVS-60	EDAS-24IP
9	西山咀	XSZ	花岗岩	BBVS-60	EDAS-24IP
10	保合少	BHS	玄武岩	BBVS-60	EDAS-24IP
11	凉城	LCH	花岗岩	BBVS-120	EDAS-24IP
12	察素齐	CSQ	花岗岩	BBVS-60	EDAS-24IP
13	呼和浩特	HHH	花岗岩	JCZ-1	EDAS-24L

根据全国地震目录, 并结合内蒙古地震台网目录, 经过一致性处理, 选取时间范围为 2001 年 1 月 1 日—2010 年 4 月 30 日, 空间范围为 $40^\circ \sim 42^\circ \text{N}$, $108^\circ \sim 114^\circ \text{E}$, 震级下限 $M_L 1.0$, 以 2 个月时间窗长进行了时间分布统计; 以震级间隔为 $M_L 0.1$ 进行了震级分布统计(图 3)。共计 1 072 个地震事件参与计算, 震级主要集中于 $M_L 1.5 \sim 2.5$ 之间, 最大震级 $M_L 5.0$ (图 1、图 2、图 3(b))。从图 3(a)可以看出, 2003—2005 年呼包地区地震活动水平相对较高, 2006—2008 年地震活动水平最低, 2009 年以来略有回升。考虑到选取的空间范围较小, 因此本文只做最小完整性震级在时间上的变化分析, 未做空间变化分析。

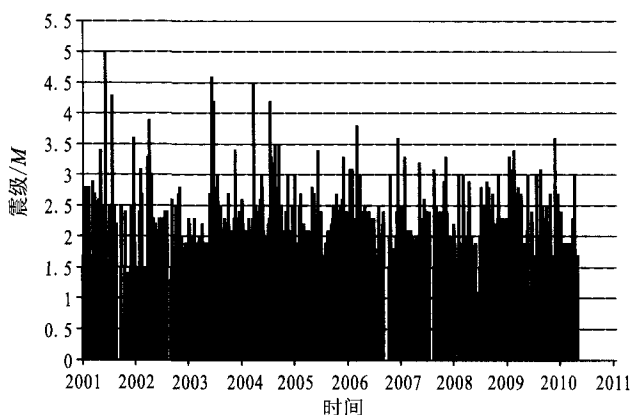


图 1 呼包地区地震事件的时间分布 ($M_L \geq 1.0$, 2001-01-01—2010-04-30)

Fig. 1 Time distribution of seismic events in Hohhot—Baotou area ($M_L \geq 1.0$, 2001-01-01—2010-04-30).

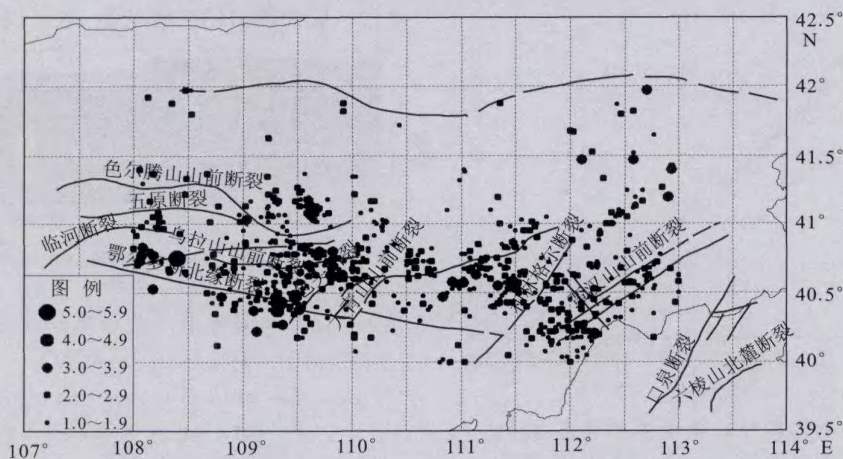


图2 呼包地区断裂构造及地震事件的空间分布($M_L \geq 1.0$, 2001-01-01—2010-04-30)

Fig. 2 Spatial distribution of faults and seismic events in Hohhot-Baotou area ($M_L \geq 1.0$, 2001-01-01—2010-04-30).

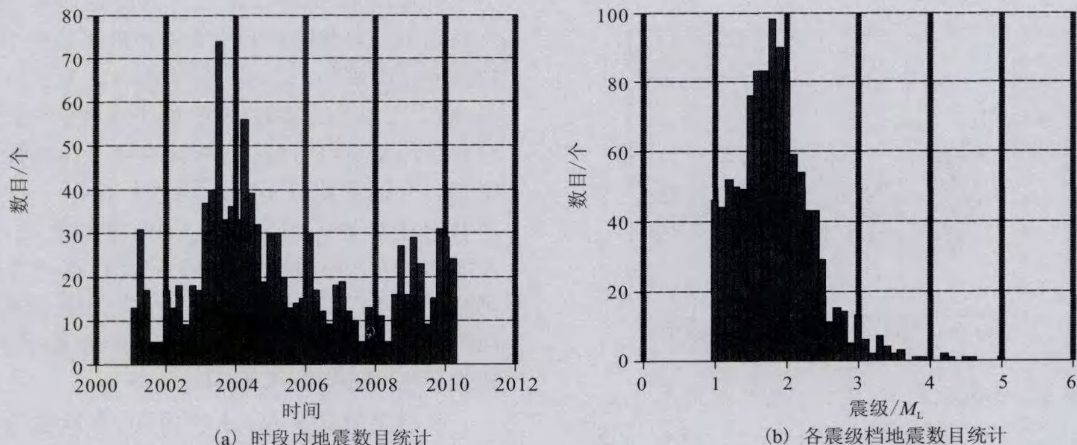


图3 呼包地区地震事件的统计($M_L \geq 1.0$, 2001-01-01—2010-04-30)

Fig. 3 Statistics of seismic events number for every two years and for every 0.1 magnitude in Hohhot-Baotou area ($M_L \geq 1.0$, 2001-01-01—2010-04-30).

2 呼包地区地震目录的完整性分析

2.1 最小完整性震级 M_c 的确定及时间变化分析

基于 Rydelek 等^[1]对最小完整性震级 M_c 的具体定义,在上述选取的时—空—强范围内,根据地震震级—频度公式 $\log N = a - bM$,对 2001 年以来呼包地区 $M_L \geq 1.0$ 地震进行扫描计算,扫描窗长为 100 个地震事件,步长为 50 个地震事件。计算结果显示,2001 年 1 月—2010 年 4 月,呼包地区平均最小完整性震级 $M_c = 1.8$,基本浮动范围为 $M_L 1.6 \sim 2.2$,即最小完整性震级的最大值为 2001 年度的 $M_L 2.2$,最小值为 2010 年度的 $M_L 1.6$ (图 4、图 5)。

实际上,由于地震台站数目随时间在不断变化(总体上不断增加,但由于个别时段的整改停测,所以有时候数目会表现为减少)以及地震分析方法的改进,地震目录最小完整性震级 M_c 随着时间的流逝应该是非均匀性减小的。如图 5 中所示,呼包地区的 M_c 值随着时间的流逝的总体变化趋势虽是逐渐减小的,但也有个别时段的变化是相反的,2005—2006 年的 M_c 值就有着转折升高现象,这主要取决于该时段内呼包地区地震活动特点、台站布局、地震信噪比和人为因素等。

除了定量的分析 M_c 值随着时间的变化趋势,还试图利用震级序号图对 M_c 的时序变化做定性分

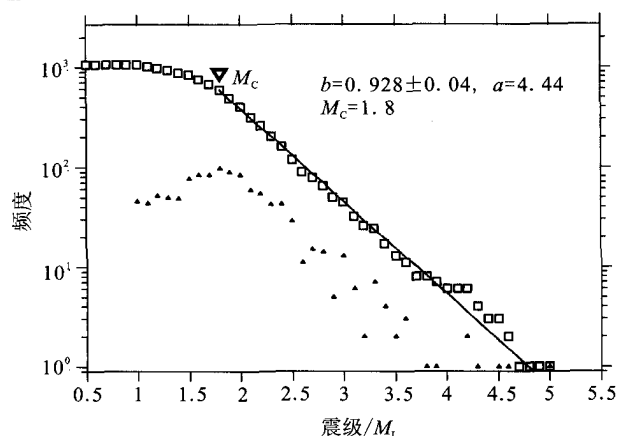


图4 呼包地区地震事件的最小完整性震级 M_c
($M_L \geq 1.0$, 2001-01-01—2010-04-30)

Fig. 4 The minimum integrality magnitude of seismic events in Hohhot—Baotou area ($M_L \geq 1.0$, 2001-01-01—2010-04-30).

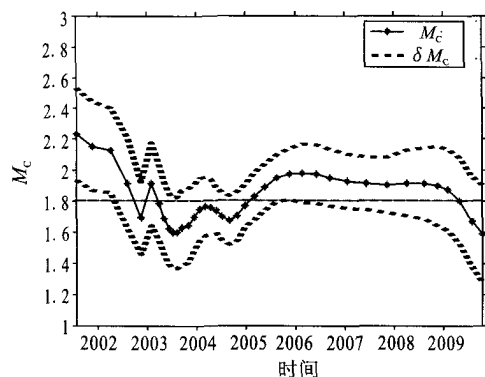


图5 呼包地区 M_c 随时间的变化形态
($M_L \geq 1.0$, 2001-01-01—2010-04-30)

Fig. 5 Morphological changes of M_c with time in Hohhot—Baotou area ($M_L \geq 1.0$, 2001-01-01—2010-04-30).

析。震级序号图方法是按照地震发生的先后顺序对地震事件进行排序,由地震序号和对应的震级来讨论地震目录完整性的变化。这种方法主要排除地震丛集事件等因素的影响,可以反映特定时空范围内区域台网监测能力的短期或者不连续的变化。本文选取2001年1月1日至2010年4月30日呼和浩特一包头地区的小震事件作为研究对象,震级下限 $M_L=1.0$,按照一天内地震发生的时间先后进行编号排序,构成震级—序号分布图。可能由于本文选定的时空范围过小,地震样本数目没有很好的满足计算要求,图6中所示的震级序号图效果较差,用于表征各个震级—时间范围内地震数目的色泽分布不均匀、不密实,未能直观的表达呼包地区2001年以

来台网监测能力的实际变化,这里仅作参考。

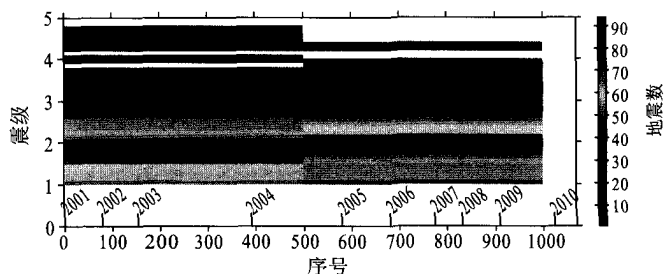


图6 呼包地区地震事件的震级序号图($M_L \geq 1.0$, 2001-01-01—2010-04-30)

Fig. 6 The magnitudes and event sequence diagram in Hohhot—Baotou area ($M_L \geq 1.0$, 2001-01-01—2010-04-30).

2.2 RS 检验结果

最小完整性震级虽然能够在给定的台网监测能力下计算出来,但由于地震台网所在地理、社会、人文环境下的自然噪声和文化噪声的影响在个别时段内是非常强烈的,这就可能导致理论上应该能被记录到(大于最小完整性震级)的小震级事件被这些噪声背景所淹没,从而反过来影响最小完整性震级的确定。有鉴于此,Rydelek 等^[1]提出了一种考虑噪声背景进行地震目录完整性检验的方法,即 Rydelek—Sacks 检验(简称 RS 检验),这种方法的实现必须满足以下2个前提条件:(1)在任何震级档的地震事件都必须服从泊松分布;(2)白天的噪声水平要强于夜间的噪声水平。

在给定的震级 M_0 水平内,一个地震的发震时间可以在一个24小时的“时钟”上用单位振幅的矢量来表示,它具有一个相位角,即一个地震事件可以表示成一个相位矢量,那么选取的时空范围内的地震事件按照发生的先后顺序就组成一个相位矢量轨迹图,也即所有地震事件的相位相加得到一个总相位矢量,其模为 R ,它反应了地震总体上的发生规律。按照第一个假设,即如果地震的发生是随机的,其相位矢量轨迹应该做布朗运动,那么得到一个模大于 R 的总相位矢量的概率^[1]:

$$p(R) = \exp(-R^2/N) \quad (1)$$

其中 N 是地震总数。因此,如果 R 超过了某个临界值 R_c (在“时钟”上表现为临界半径),那么所考虑的目录便具有周期约为24小时的周期性。对于95%的置信水平,理论上^[1]

$$R_c = 1.73 \sqrt{N} \quad (2)$$

如果 $R \geq R_c$,则可以认为地震目录受周期调

制,因而小于等于给定震级 M_0 的地震目录都是不完整的。即可以根据所记录到的地震事件是否可被优势周期约为 24 小时的周期过程调制来判断地震目录是否完整,假如地震目录出现周期性,则认为是

图 7 是呼包地区 2001 年以来 $M_L \geq 1.0$ 地震事件的 RS 检验结果,这个结论与图 5 中得出的结果是相一致的。图 7 显示,2001—2010 年,呼包地区 $1.0 \leq M_L < 2.2$ 地震事件的相位矢量 $R \geq R_c$,即这个震级范围内的地震目录是不完整的; $M_L \geq 2.2$ 的

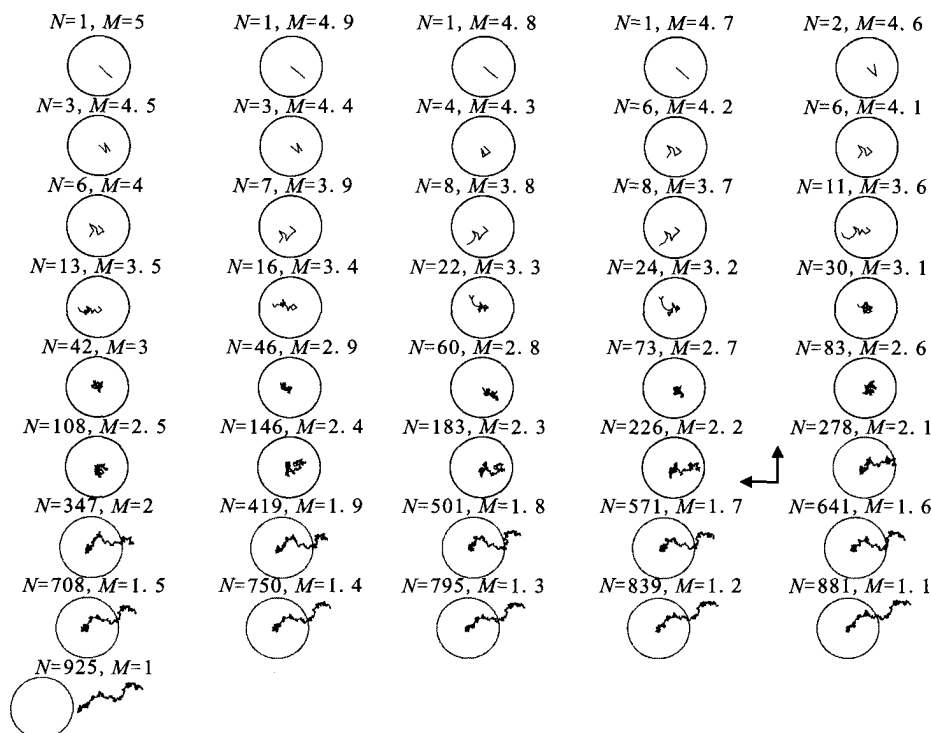


图 7 呼包地区地震目录完整性的 RS 检验($M_L \geq 1.0$, 2001-01-01—2010-04-30)

Fig. 7 The RS test for integrity of the earthquake catalog in Hohhot-Baotou area($M_L \geq 1.0$, 2001-01-01—2010-04-30).

地震事件的相位矢量 $R < R_c$, 即 $M_L \geq 2.2$ 的地震目录是完整的。即如果选取 2001 年以来完整的地震目录,震级下限只能取 M_c 的最大值 $M_L 2.2$,而不能取最小 M_c 值 1.6,这样才能保证 2001—2010 年期间各个时段内的地震目录都是完整的。

3 结论和讨论

首先需要说明的一个问题是,台网监测能力为某一震级,是指当这个地区发生这一震级以上的地震时,至少有 4 个台站能记录到震相完整且清晰可辨的地震波形。因此,最小完整性震级与台网监测能力所指的震级有一定的相关性,即最小完整性震级能模糊的反映某一地区的台网监测能力,但与精确表达台网监测能力的特定震级在本质上还是有区别的。二者基本上属于理论值和实际值之间的关系,可以通过台网监测能力震级来佐证所计算的最小完整性震级 M_c 的准确性。而根据内蒙古地区测震台网监测能力空间分布(图 8),呼包地区的监测

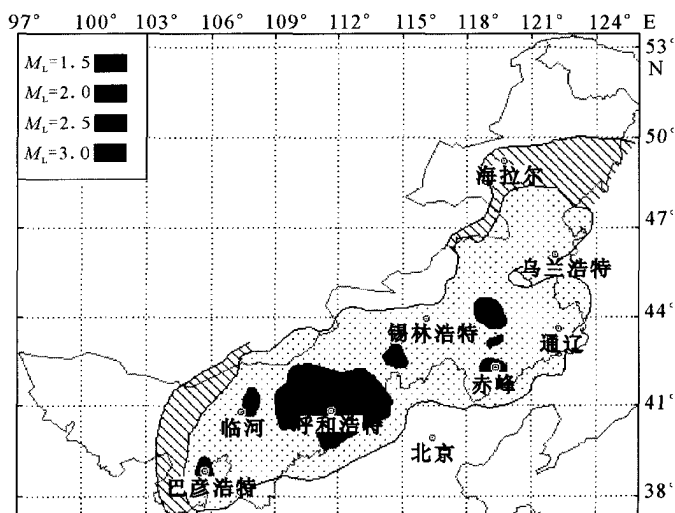


图 8 内蒙古自治区地震监测能力示意图

(内蒙古自治区地震局台网中心提供)

Fig. 8 Schematic diagram of seismic monitoring capability in Inner Mongolia Autonomous Region (from Earthquake Administration of Inner Mongolia Autonomous Regional Network Center).

能力应该能达到 $M_L 1.5 \sim 2.0$, 这个震级范围基本与本文计算的最小完整性震级范围 ($M_L 1.6 \sim 2.2$) 相符, 也与通过 RS 检验得出的结果相吻合。

本文着重分析 M_c 值在时间上的变化规律, 通过 M_c 时序曲线(图 5)可以发现各时段对应的台网监测能力变化和地震活动特点, 但其中的变化也包含着些许自然和人为因素的干扰, 所以不能作为精确指标对台网监测能力和区域地震活动性做出评价和判断。

目前关于最小完整性震级 M_c 的计算, 都是在基于文中所述的 2 个假设前提下进行的, 特别是根据第一个假设而衍生出很多的计算方法, 如完整震级范围的 EMR (Entire-magnitude-range method) 方法、最大曲率方法 MAXC (Maximum curvature-method)、拟合度检测法 GFT (Goodness-of-fit test) 和 b 值稳定性判定 M_c 的 MBS (M_c by b -value stability) 方法等。为了使 M_c 的测算和评估更加精确, 还需综合利用多种方法加以验证, 这需要在以后的工作中逐步完成。

致谢: 中国地震局地球物理研究所蒋长胜博士提供了 RS 检验和震级序号图计算程序, 在此深表谢意!

[参考文献]

- [1] Rydelek P A, I S Sacks. Testing the completeness of earthquake catalogs and the hypothesis of self-similarity[J]. Nature, 1989, 337: 251-253.
- [2] 焦远碧, 吴开统, 杨满栋. 我国地震台网监测能力及台网观测条件质量评定[J]. 中国地震, 1990, 6(4): 1-71
- [3] 黄玮琼, 李文香, 曹学锋. 中国大陆地震资料完整性研究之一: 以华北地区为例[J]. 地震学报, 1994, 16(3): 274-280.
- [4] 黄玮琼, 李文香, 曹学锋. 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象[J]. 地震学报, 1994, 16(4): 423-432.
- [5] Stefan Wiemer, Max Wyss. Minimum Magnitude of Completeness in Earthquake Catalogs: Examples from Alaska, the Western United States, and Japan[J]. BSSA, 2000, 90(4), 859-869.
- [6] 苏有锦, 李永莉, 李忠华, 等. 川滇地区区域地震目录完整性最小震级分析[J]. 地震研究, 2003, 26(增刊): 10-16.
- [7] 刘杰, 陈棋福, 陈颖. 华北地区地震目录完全性分析[J]. 地震, 1996, 16(1): 59-67.
- [8] 何宗海. 中国南北地震带中北部最小完整性震级的探讨[J]. 西北大学学报(自然科学版), 1994, 24(5): 411-416.
- [9] Cao A M, S S Gao. Temporal variation of seismic b -values beneath northeastern Japan Island arc[J]. Geophys. Res. Lett., 2002, 29; no. 9, doi 10.1029/2001GL013775.
- [10] Ogata Y, K Katsura. Analysis of temporal and spatial heterogeneity of magnitude frequency distribution inferred from earthquake catalogs[J]. Geophys. J. Int., 1993, 113: 727-738.
- [11] 李建彪, 甘卫军, 冉永康, 等. 青藏高原东部构造块体的运动学及变形特征分析[J]. 西北地震学报, 2006, 28(2): 97-103.
- [12] 韩晓明, 薛丁, 刘文广, 等. 喀喇沁地区震群活动与周围区域中强地震的对应关系研究[J]. 西北地震学报, 2009, 31(4): 380-384.