

杨周胜,杨晶琼,刘鹏飞,等. 2025. 基于概率的震级完备度方法评估云南地震台网的监测能力[J]. 地震研究, 48(1):061–070, doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000–0666.2025.0007.

Yang Z S, Yang J Q, Liu P F, et al. 2025. Assessment of detectability of the Yunnan Seismic Network by using the probability – based magnitude of completeness method[J]. *Journal of Seismological Research*, 48(1):061–070, doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000–0666.2025.0007.

基于概率的震级完备度方法评估云南地震台网的 监测能力*

杨周胜, 杨晶琼*, 刘鹏飞, 吕 帅, 姚 远

(云南省地震局, 云南 昆明 650224)

摘要: 为了科学评估云南地震台网的监测能力, 分析云南地区的地震监测能力时空分布特征, 采用基于概率的震级完备度 (PMC) 方法, 利用 2009—2023 年云南地震台网地震目录、震相和台站信息等数据, 计算了云南地震台网在云南地区的平均地震监测能力和在不同深度的监测能力, 得到滇中、滇西局部地区的基于概率的完备性震级 $M_p = 1.5$, 云南全境基本都能监测到 2.5 级地震。评估了研究时段内云南地震台网台站监测能力的演变, 发现部分台站的监测能力持续下降。但自 2018 年增加 20 个台站后, 云南 2.0 及 2.5 级地震的监测范围有一定的扩大, 但微震监测能力提升不明显, 可能是因为 2018 年以来云南一直处于小震弱活动状态。最后, 对应用 PMC 方法规划提升台网监测能力进行了展望。

关键词: 完备震级; 地震监测能力; PMC 方法; 云南地震台网; 检测概率; 空间分布

中图分类号: P315.3 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000–0666(2025)01–0061–10

doi:10.20015/j.cnki.ISSN1000–0666.2025.0007

0 引言

地震目录是地震学研究的主要成果之一。创建地震目录是一个复杂的过程, 这个过程涉及到地震记录震相识别、地震定位以及震级的确定。地震目录的完备性取决于地震台网的监测能力, 而监测能力又与台站的分布、密度、局地理位置、噪声条件、处理软件和处理策略等有关。描述地震台网监测能力的一个常用参数是完备震级 (M_c), 即地震台网能以 100% 的概率检测到的地震的最小震级。完备震级越低, 缺失的微地震越少, 地震目录就越完整 (李智超, 黄清华, 2014)。目前的地震监测能力评估方法大致可分为

两类, 一类是地震波形分析方法, 包括基于震级衰减关系、噪声水平给出的理论监测能力 (Serenio, Bratt, 1989)、振幅阈值 (Gomberg, 1991) 和地震记录昼夜信噪比 (Rydelek, Sacks, 1989) 等。另一类是统计地震学方法, 该方法假定震级–频度的分布满足 G–R 关系 (Gutenberg, Richter, 1944), 同时认为对 G–R 关系的线性拟合较好的震级档是完整的, 如最大曲率 (MAXC) 方法 (Ogata, Katsura, 1993)、拟合度分别为 90% 和 95% 的 GFT 方法 (Wiemer, Wyss, 2000)、完整性震级范围 (EMR) 方法 (Woessner, Wiemer, 2005) 等。第一类方法基于理论评价, 反映的是在一定条件下应具有的能力, 与实际的地震活动性无关, 其结果与实际的检测能力有偏差; 第

* 收稿日期: 2024–04–20.

基金项目: 国家重点研发计划专题 (2021YFC3000703–01).

第一作者简介: 杨周胜 (1967–), 高级工程师, 主要从事地震监测与研究. E-mail: yeayzs@qq.com.

✉ 通信作者简介: 杨晶琼 (1968–), 正高级工程师, 主要从事地震监测与研究. E-mail: yjq6@163.com.

二类方法则多基于研究时段内全部地震给出的平均结果,受研究时段内地震发生数量、大小的影响,且无法开展实时评估。

Schorlemmer 和 Woessner (2008) 提出了一种基于概率的震级完备度 (Probability-based magnitude of completeness, PMC) 方法,将完备性视为地震台网记录能力的函数,只使用监测数据,即震相拾取信息、台站的启停时间和衰减关系(即震级-距离关系)进行计算,还开发了 PMC 方法的相关软件,并将该方法应用于美国南加州地震资料分析。Nanjo 等 (2010) 应用此方法评估了瑞士地震台网监测能力,我国地震工作者也对中国地震台网(王亚文等, 2017)、内蒙古地震台网(刘芳等, 2014)、首都圈地震台网(李智超, 黄清华, 2014)、西昌台阵(蒋长胜等, 2015)和辽宁区域台网(安祥宇等, 2019)等开展了应用研究。

为了评估云南地震台网监测能力,分析云南地区的地震监测能力时空分布特征,本文使用 2009—2023 年云南地震台网的地震观测报告和台站信息,利用 PMC 方法对云南“十五”规划中建成的数字地震台网的监测能力进行评估,以期为云南区域的科研和水库台阵、台网的设计以及云南台网布局的优化提供依据,也为科研人员对云南地震活动总体情况的把握提供一定的参考。

1 PMC 方法

PMC 方法主要包括两个步骤:第一步为分析震相数据,获得每个站点的检测概率 P_D , P_D 是空间和震级的函数;第二步为合成在时间 t 、位置 x 、监测到 M 级地震事件的概率图 $P_E(M, x, t)$, 以及完备性震级分布 $M_p(x, t)$ 。

(1) 单台检测概率计算。利用观测报告中的震级 M 以及台站和地震事件的位置信息计算出的震源距 L (或震中距 Δ) 给出各个台站对不同震级、震源距的检测概率 P_D 。

由于震级和距离分别用震级单位和千米来测量,所以要对距离和震级进行单位统一转换,即台网使用的震级计算公式。一般来说,震级定义为:

$$M = c_1 \log A + c_2 \log L^* + c_3 \quad (1)$$

式中: A 为记录的振幅; L^* 为震源距 (或震中距 Δ), 此处的震源距是台站到计算点的距离,加 * 以示区别于实际地震的震源距 (下文的 * 意义相同); c_1 、 c_2 和 c_3 为常数。如果对于一个给定的台站,观测到震源距为 L_1 和 L_2 的两个地震事件,并且这两个事件都产生振幅 A ,可以得到震级差 ΔM^* ,即获得震源距与震级差 ΔM^* 的关系:

$$\Delta M^* = |c_2 \log L_1 - c_2 \log L_2| \quad (2)$$

云南地震台网测定的地方震震级 M_L , 即量取仿真短周期地震仪的位移记录 (WA) 的 S 波或 L_g 波的最大振幅来测定震级,震级公式使用我国区域地震台网的地方震震级 (M_L) 的测定标准公式 (中国地震局监测预报司, 2003):

$$M_L = \log(A) + R(\Delta) \quad (3)$$

不同震中距引起的震级差 $\Delta M^* = R(\Delta') - R(\Delta)$ 。数据选取条件采用如下形式 (Schorlemmer, Woessner, 2008):

$$L_M = \sqrt{\Delta M^2 + \Delta M^{*2}} \leq 0.1 \quad (4)$$

式中: M 为台站记录到附近地震事件的震级与计算点 (M, L) 的震级 M 之差; ΔM^* 为地震事件的震级与根据震级测定公式得到的计算点的震级 M^* (假设与地震事件记录震幅相同) 之差。

当符合条件的地震事件数 $N_i \geq 10$ 时,可根据被台站检测到的事件数目 N_+ 和未被检测到的数目 N_- 计算台站的检测概率:

$$P_D(M, L) = \frac{N_+}{N_+ + N_-} \quad (5)$$

P_D 表示在 (M, L) 空间中的概率分布,且概率值由 N_+ 占全部事件的比例得出,二维空间中的 P_D 可展示出更为客观、信息量更大的各台站地震检测概率实际情况。图 1 为单台检测概率的计算方法示意。图中三角形为计算点,空心五角星为台站未检测到的计算点附近的符合 $L_M \leq 0.1$ 条件的记录地震,实心五角星为台站检测到的计算点附近的符合 $L_M \leq 0.1$ 条件的记录地震。

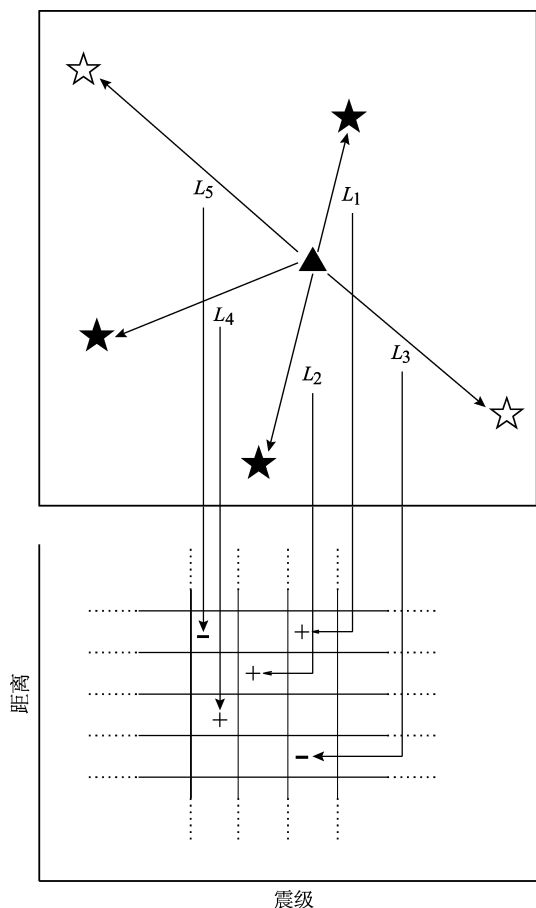


图1 单台检测概率计算方法示意图

Fig. 1 A sketch of the calculation of the single-station-detection probability

(2) 对于给定的概率阈值, 如 0.999 99, 合成在时间 t 、位置 x 处 M 级地震的检测概率 $P_E(M, x, t)$, 在时间 t 、位置 x 的基于概率的完备程度为 $M_p(x, t)$ 。

①为了计算检测概率 $P_E(M, x, t)$, 需测量从 x 位置到台网中在时刻 t 运行的所有站点的距离, 然后计算检测概率 $P_{D,i}(M, L)$, 即每个台站 i 处到 x 的给定距离 L 和目标震级为 M 的检测概率, 计算相应的未检测概率 $P_{N,i}(M, L) = 1 - P_{D,i}(M, L)$ 。为简洁起见, 定义 $P_{D,i} = P_{D,i}(M, L)$ 和 $P_{N,i} = P_{N,i}(M, L)$ 。检测概率 $P_E(M, x, t)$ 定义为 ≥ 4 个台站检测到该事件的联合概率。如果台网的触发条件是基于其它台站数, 则必须调整条件。通常, 台网使用 4 个站, 测量的信号高于某个阈值。由于台网站点通常 > 4 个, 因此更容易计算联合概率 $P_E(M, x, t)$, 通过计算 0 个台站

P_E^0 , 仅有 1 个台站 P_E^1 , 仅有 2 个台站 P_E^2 和仅有 3 个台站 P_E^3 的检测概率, 最后用 1 减去这些值:

$$P_E(M, x, t) = 1 - \sum_{j=0}^3 P_E^j \quad (6)$$

②计算基于概率的完备震级 $M_p(x, t)$, 即寻找检测概率 $P_E(M, x, t)$ 等于 $1 - Q$ 的最小震级, 其中 Q 是事件被错过的概率。

$$M_p(x, t) = \min_{M \in M} M \mid P_E(M, x, t) = 1 - Q \quad (7)$$

式中: M 是可能的震级区间。按照保守估计, 本文取 $Q = 0.000\ 01$ 。

2 研究区概况

云南地区属高原山区, 处于青藏高原南延部分, 地势从滇西北向滇东南倾斜。最高点海拔 6 740 m, 最低点海拔仅 76 m。地貌特征表现为高原波状起伏、高山峡谷相间, 自滇西北向滇东南形成三大地势阶梯, 山川湖泊纵横, 断陷盆地星罗棋布。

云南地区 6.0 级以上地震主要集中在小江地震带 (巧家—东川—寻甸—嵩明—澄江—华宁)、通海—石屏地震带、中甸—大理地震带、澜沧—耿马地震带、大关—马边地震带、楚雄—南华地震带、腾冲—龙陵地震带、思茅—普洱地震带, 以及永胜—宾川地震带。其它地区诸如宁蒗、玉溪、易门、昆明、永平—保山一带、宣威—弥勒一带也大多发生过 5.0 ~ 5.9 级, 甚至 6.0 ~ 6.5 级地震。全省范围内, 5.0 ~ 5.5 级地震在时空分布上都具有较大的随机性 (云南省地震局, 2005)。

云南地震台网经过“十五”规划建设、“十一五”规划建设和“云南省十项重点工程项目”建设后共有 73 个测震台站, 图 2 是云南地震台网台站及地震事件空间分布图。本文选取云南地震台网“十五”项目全面建成后的观测资料进行分析, 使用 2009—2023 年 $M_L \geq 0.0$ 地震的观测报告。时间段的选择基于两种考虑, 一是将 15 年平均分成 3 个 5 年, 主要考察台站检测能力的

变化；二是以 2018 年为界分成两个时段，主要目的是为了考察 2018 年增加 20 个台站后，台网监测能力的变化。表 1 是观测资料的具体情况，筛选后的事件数是删除无经纬度、无深度、无震级、震级小于 0 级的地震后的事件数。在此基础上，利用 PMC 方法对云南地震台网进行监测能力评估。

表 1 本文选取的 2009—2023 年云南地震台网观测资料
Tab. 1 Selected earthquake events during 2009 – 2023
from the Yunnan Seismic Network

划分方法	起始日期	结束日期	地震事件数	筛选后的事件数
方法 1	2009 – 01 – 01	2013 – 12 – 31	83 919	48 286
	2014 – 01 – 01	2018 – 12 – 31	122 154	80 904
	2019 – 01 – 01	2023 – 12 – 31	138 547	84 016
方法 2	2009 – 01 – 01	2017 – 12 – 31	175 583	114 655
	2018 – 01 – 01	2023 – 12 – 31	169 037	98 551

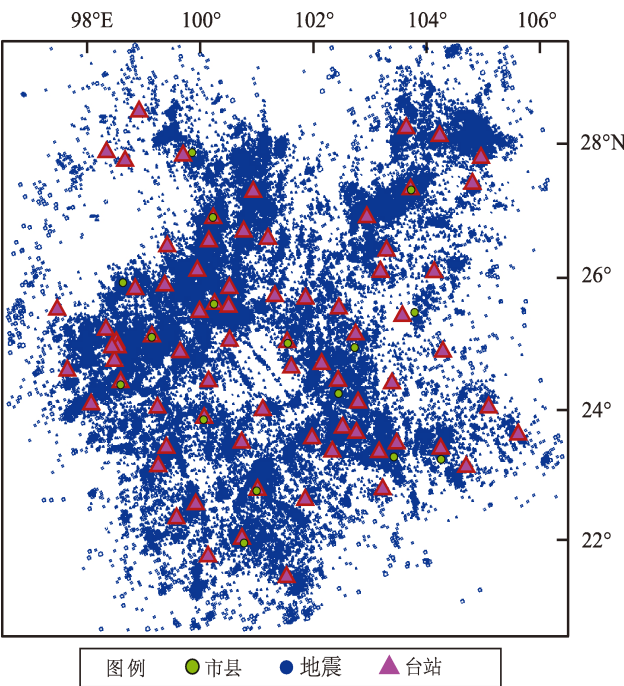


图 2 云南地震台网台站及 2009—2023 年 $M_L \geq 0.0$ 地震分布图

Fig. 2 Distribution of the stations of the Yunnan Seismic Network and the $M_L \geq 0.0$ earthquakes during 2009 – 2023

3 计算结果

3.1 单台检测概率

从云南地震台网数据库中获取台站的启用或停用时间信息。由于触发算法要求有 4 个 P 波初动的台站，因此为了与台网的日常运行保持一致，本文只采集启（停）时间内台站的垂直分量。此外，去掉临时台站，将腾冲火山台阵和滇西台阵纳入台网中，并将同址的台站建立别名文件，程序运行中将同址台站进行合并。

单台检测概率 $P_d(M, L)$ 是 PMC 方法计算的基础，本文使用 2009—2023 年的地震数据，对云南全部符合条件的台站进行了计算，并使用以下条件进行评估：① $M = M_L 1.0$ 且 $P_d = 100\%$ 时的震中距范围；② $M = M_L 3.0$ 且 $P_d = 100\%$ 时的震中距范围；③ $L = 100$ km 且 $P_d = 100\%$ 时对应的震级 M ；④ $L = 300$ km 且 $P_d = 100\%$ 时对应的震级 M 。计算和统计结果见表 2。根据前述评估条件，认为满足条件越多的台站检测能力越好，按以下原则进行评价：全部 4 项都满足的为 A 类、满足 3 项的为 B 类、满足 2 项的为 C 类、满足 1 项的为 D 类。

从表 2 可以看出，监测能力为 A 类的台站有 26 个，占 35.6%；B 类的台站有 40 个，占 54.8%；C 类的台站有 6 个，占 8.2%；D 类的台站有 1 个，占 1.4%。总体评价认为云南地震台网的台站检测概率优良率达 90% 以上。图 3 是各类台站中的几个典型台站检测概率和原始点阵图。

对全部 73 个台站进行 5 年尺度的计算分析，观察台站检测能力的变化。对只满足 1 项条件的黑龙潭台进行检测能力变化分析（图 4）。由图 4 可以看出，2014 年以后，黑龙潭台监测能力明显低于之前，并且持续下降。黑龙潭台原位于昆明市市区边缘，但由于城市发展，台站所在之处现已成为城区，加之公路、城市建筑及基础设施建设等，对其影响日益加剧，城市建设应是其监测能力下降的主要原因。

满足 2 项条件的 6 个台站为富宁台、东川台、宣威台、罗平台、会泽台、马龙台，均位于云南经济发展较好的滇东地区，这些台站监测能力弱的原因主要是观测环境的变化，影响因素主要为城市建设、公路建设、工业发展等。

表 2 云南地震台网单台检测概率统计

Tab. 2 Statistics of the single – station – detection probability of the Yunnan Seismic Network

序号	台站名	代 码	L/km	M_L	L/km	M_L	评估 类别	序号	台站名	代 码	L/km	M_L	L/km	M_L	评估 类别
			($M_L=1.0$ 且 $P_D=$ 100%)	($L=100\text{ km}$ 且 $P_D=$ 100%)	($M_L=3.0$ 且 $P_D=$ 100%)	($L=300\text{ km}$ 且 $P_D=$ 100%)					($M_L=1.0$ 且 $P_D=$ 100%)	($L=100\text{ km}$ 且 $P_D=$ 100%)	($M_L=3.0$ 且 $P_D=$ 100%)	($L=300\text{ km}$ 且 $P_D=$ 100%)	
1	黑龙潭	HLT	无	无	9	无	D	38	华坪	HUP	49	2.90	139	无	B
2	通海	TOH	39	2.80	139	无	B	39	中甸	ZOD	34	3.10	99	无	B
3	弥勒	MIL	无	2.90	159	4.95	B	40	昭通	ZAT	24	3.40	84	无	B
4	马龙	MAL	无	3.50	84	无	C	41	个旧	GEJ	24	2.85	144	无	B
5	易门	YIM	34	2.80	139	4.35	A	42	洱源	EYA	24	3.00	159	4.85	A
6	禄劝	LUQ	34	3.10	99	无	B	43	腾冲	TNC	39	3.50	54	4.90	A
7	楚雄	CUX	34	3.20	99	4.70	A	44	富宁	FUN	无	2.85	139	无	C
8	永胜	YOS	34	3.20	99	4.80	A	45	勐腊	MLA	84	2.50	159	4.80	A
9	丽江	LIJ	39	3.40	99	无	B	46	孟连	MEL	29	3.25	84	4.00	A
10	云龙	YUL	29	2.90	159	4.20	A	47	镇源	ZHY	39	2.50	159	无	B
11	鹤庆	HEQ	34	3.35	99	4.80	A	48	德钦	DEQ	44	2.30	144	3.70	A
12	东川	DOC	无	3.50	99	无	C	49	昌宁	CHN	54	2.85	219	3.90	A
13	沧源	CAY	44	2.90	159	无	B	50	永善	YSH	29	3.30	39	无	B
14	思茅	SIM	39	2.65	159	无	B	51	南涧	NAJ	14	2.80	164	无	B
15	团山	TUS	14	2.95	139	4.70	A	52	黄草坝	HCB	34	2.60	159	无	B
16	保山	BAS	24	3.30	84	4.75	A	53	会泽	HUZ	无	3.00	139	无	C
17	云县	YUX	49	3.60	99	4.20	A	54	广南	GUN	无	2.50	204	3.95	B
18	景洪	JIH	54	3.30	99	4.50	A	55	石屏	SHP	34	2.50	159	无	B
19	畹町	WAD	44	3.40	84	无	B	56	宁蒗	NLA	39	2.90	159	3.55	A
20	文山	WES	44	2.90	159	无	B	57	独龙江	DLJ	19	2.60	164	无	B
21	元谋	YUM	54	3.10	99	无	B	58	西北勒	XBL	54	2.50	159	4.35	A
22	元江	YAJ	14	3.40	99	无	B	59	打洛	DAL	84	2.60	159	无	B
23	巧家	QIJ	19	3.65	99	无	B	60	耿马	GEM	74	2.70	144	4.20	A
24	宣威	XUW	无	3.30	99	无	C	61	镇雄	ZHX	29	3.00	259	无	B
25	大姚	DAY	44	3.50	99	无	B	62	威信	WEX	14	2.85	159	无	B
26	罗平	LOP	无	3.75	84	无	C	63	兰坪	LAP	44	2.80	159	无	B
27	麻栗坡	MLP	无	2.75	159	4.80	B	64	铜壁关	TBG	49	2.40	199	5.00	A
28	金平	JIP	49	2.90	159	4.75	A	65	双柏	SUB	54	2.50	159	3.90	A
29	建水	JIS	24	3.30	99	无	B	66	江城	JIC	39	3.65	84	无	B
30	盐津	YUJ	39	3.20	99	4.50	A	67	红河	HOH	29	2.80	204	4.05	A
31	景谷	JIG	无	2.50	144	4.05	B	68	箐口	QKT	19	3.70	44	无	B
32	澜沧	LAC	19	3.70	84	无	B	69	新华	XHT	19	3.15	99	4.80	A
33	临沧	LIC	44	3.50	99	无	B	70	热海	RHT	14	2.90	159	无	B
34	永德	YOD	44	3.60	99	4.70	A	71	彩凤	CFT	34	2.90	139	无	B
35	芒市	MAS	14	3.35	49	4.65	A	72	叉河	CHT	9	3.40	54	无	B
36	泸水	LUS	49	3.50	99	无	B	73	象鼻	XBT	29	3.10	99	无	B
37	贡山	GOS	14	2.75	159	无	B								

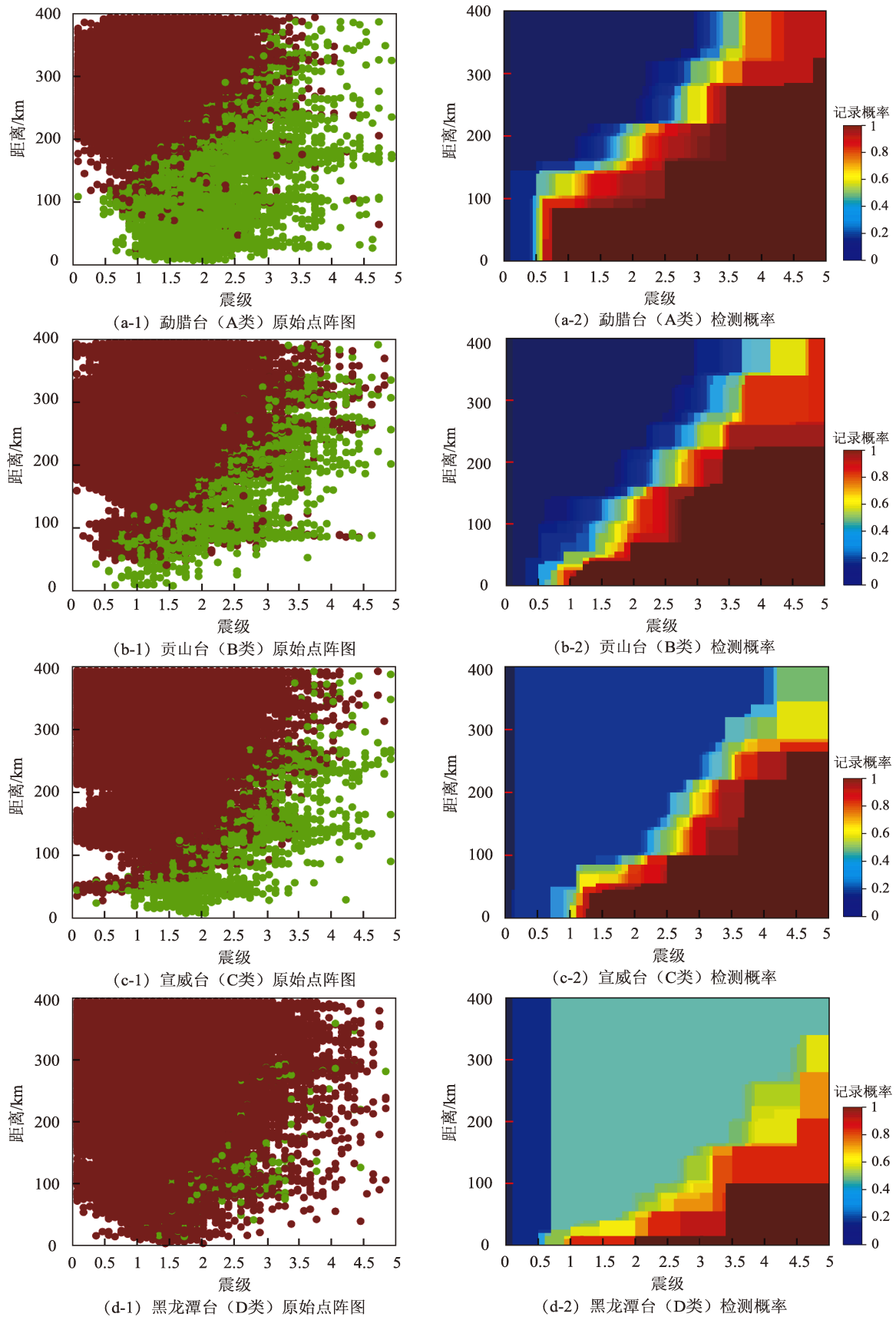


图3 云南地震台网典型单台原始点阵图和检测概率图

Fig. 3 Typical single – station – detection probability of the Yunnan Seismic Network

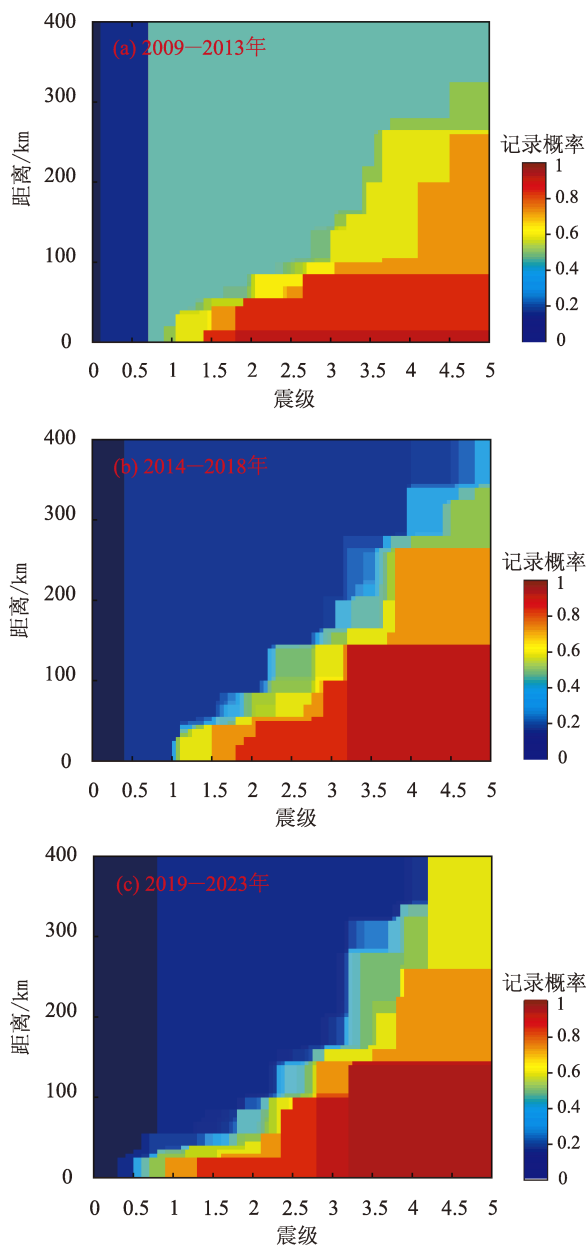


图4 黑龙潭台检测概率变化图

Fig. 4 Variation of the detection probability of Heilongtan seismic station

3.2 云南地区微震检测能力分析

PMC方法可用两种形式表示地震监测能力,即某一震级档相对应的在空间上的检测概率 P_E ,以及基于概率的完整性震级 M_p 的空间分布。本文利用 M_p 的空间分布来评估云南地区的地震监测能力。由于震源深度参与了检测能力评估计算,可以实现 M_p 对不同深度的地震的检测能力计算,由于云南地区的地震震源深度多均匀分布于20 km范围内(杨晶琼等, 2018),因此,本文分别对云南

地震台网地下10 km和地表的监测能力进行了计算。

对2009—2023年的数据进行分析计算,得到云南地震台网在云南地区的地震监测能力,评估结果如图5所示,从图中可以看出,无论地表或地下10 km,全省监测能力基本达到2.5级,大部分地区达到2.0级,局部地区为1.5级;在地表时,个别地方达到1.0级。

考虑到2018年云南地震台网新增加20个台站,本文对资料进行了分段计算,即分为2009—2017年和2018—2023年两个时段。两个时段台网的监测能力均低于整体的综合监测能力,这是由于资料局部和整体的关系引起,属于正常情况。监测能力高的地区,台站检测能力均处于A、B两类。通过对比,可以看出PMC方法对地震数量的依赖性比较大,即区域的地震活动水平对监测能力的分析有更大的贡献。2018年增加20个台站后,云南地震台网的监测能力在2.0和2.5级的范围内有一定的提升,但对小震的监测能力的提升不明显,可能是小震活动偏弱引起的。

4 讨论

4.1 研究中存在的不足

本文在台站的检测概率和完整性震级 M_p 的空间分布的计算中,仅考虑了云南地震台网的台站,未将邻省和邻国台站加入计算,因此可能会低估了省际交界和国界处的监测能力。处理地震数据时,人为舍弃信噪比低以及离震中较远的台站记录数据,这可能会造成台站检测概率的降低,从而影响台网整体监测能力。

4.2 提升台网监测能力的途径

一般可通过加密台站方式来提升地震台网的监测能力,云南地震预警项目建设完成后,云南的台站包括201个基准站、228个基本站及1 230个一般站,用于地震速报分析的台站从73个增加至201个,这种变化,缩小了台站间距,将大大丰富地震观测资料的产出,云南地震台网的监测能力也将得到提高。随着云南预警台站观测资料正式进入地震编目,将会获取更多的地震数据,同时利用PMC研究方法开展研究,获得的结果将会更加符合实际,也将弥补本次研究的缺憾。

单台检测能力对地震台网的监测能力产生重要影响,因此,可对检测能力低的台站进行环境改造,提升检测能力。无法进行环境干扰处理的

台站可考虑采取就近选址搬迁等办法。

未来台网规划和建设中,应尽量减少可能会产生的环境干扰因素,应着重考虑避开城市建设、

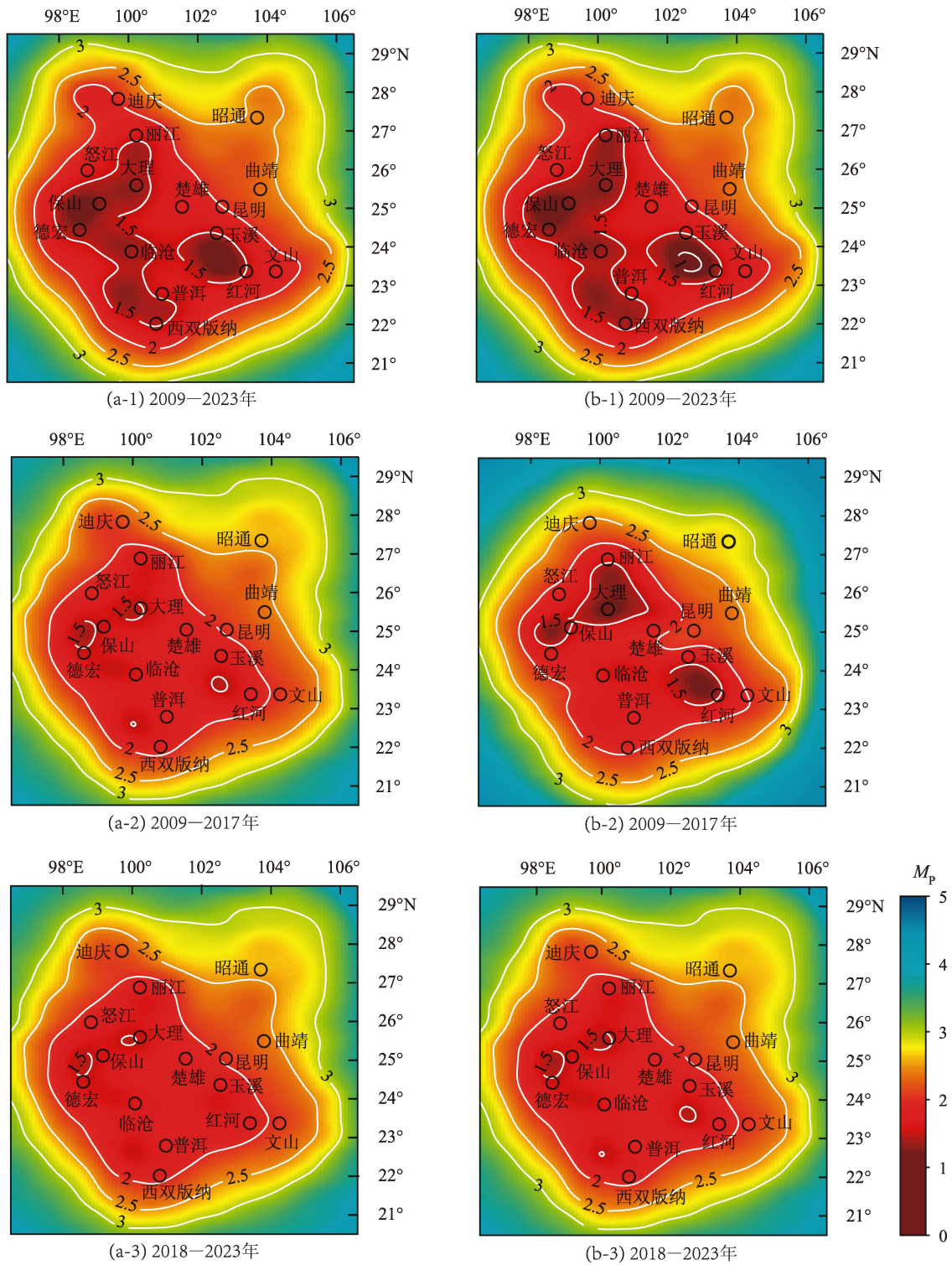


图5 云南地震台网最小完整性震级 M_p 在地下 10 km (a) 和地表 (b) 的空间分布

Fig. 5 The spatial distribution of the minimum magnitude of completeness (M_p) 10 km underneath the ground (a) and on the ground (b) provided by the Yunnan Seismic Network

公路建设、经济发展等因素,避免环境因素的变化对台站带来影响。

4.3 PMC方法应用前景

PMC方法要求研究时间段内,台网的触发条件以及震级公式是恒定的。该方法能够很好地评估台网的监测能力,具有非常好的应用前景:一是用来评估一个地区的地震活动状态,也可用作估计中等地震活动较强地区的缺失地震的数量的工具。二是可用于台网性能的跟踪,并作为未来台网升级的规划工具。可通过虚拟安装的单个站点的检测概率分布 P_d 来评估和规划台网。虚拟站点的概率分布取决于站点特性、当地站点和噪声条件。作为近似,可以假设一个虚拟站点的概率 P_d 与离虚拟站点位置最近的站点的概率 P_d 相同的方法,确定虚拟站点的检测概率。三是可将PMC方法应用于科研台阵和水库台网的设计,利用拟建台网附近的台站的检测概率,对拟建台网的监测能力进行评估,以评判科研台阵和专用台网是否达到设计要求。

5 结论

本文利用2009—2023年云南地震台网的地震目录、震相和台站信息等数据,根据台网的台站数量变化情况及台站观测的时长,进行了评估时段划分,采用PMC方法进行计算研究,在计算分析的基础上,对云南地震台网73个台站的地震检测概率及台网的监测能力进行了评估,获得如下认识:

(1) 云南地震台网73个台站的地震检测概率中有66个达到优良,优良率高于90%。

(2) 云南地震台网完整性震级 M_p 的空间分布显示,无论地表还是地下10 km处,云南全省监测能力基本达到2.5级,大部分达到2.0级,局部为1.5级;在地表时,红河州的石屏、建水一带达到1.0级。

(3) 用PMC方法得到的云南地震台网地表监测能力高于地下的监测能力,这主要是由于同一地点,震源距随深度增加而变大。

(4) 云南地震台网部分台站的检测能力偏弱或下降的主要原因有城市建设、公路建设、经济发展引起的环境变化等。

(5) 云南地震台网对2.0级以上(局部1.5级)的地震有较好的监测能力,但1.5级以下的地震记录可能会有较大的缺失。

(6) 通过对完整性震级 M_p 的空间分布和台站检测概率的分析认为,云南地震台网监测能力高的地区主要得益于单台的优良检测能力,由此可见提高台网监测能力重要途径之一是改善单台检测能力。

本研究使用的资料为云南地震台网产出的地震观测报告,PMC方法计算程序由内蒙古地震局刘芳研究员提供,审稿专家提出了诸多宝贵修改意见,在此一并表示感谢!

参考文献:

- 安祥宇,赵倩,王晓睿,等.2019.基于PMC方法的辽宁测震台网监测能力评估[J].地震工程学报,41(6):1545-1552.
- An X Y,Zhao Q,Wang X R,*et al.* 2019. Assessment of earthquake monitoring capability of Liaoning Seismic Network based on PMC method [J]. China Earthquake Engineering Journal,41(6):1545-1552. (in Chinese)
- 蒋长胜,房立华,韩立波,等.2015.利用PMC方法评估地震台阵的地震检测能力——以西昌流动地震台阵为例[J].地球物理学报,58(3):832-843.
- Jiang C S,Fang L H,Han L B,*et al.* 2015. Assessment of earthquake detection capability for the seismic array: A case study of the Xichang seismic array [J]. Chinese Journal of Geophysics, 58(3): 832-843. (in Chinese)
- 李智超,黄清华.2014.基于概率完备震级评估首都圈地震台网检测能力[J].地球物理学报,57(8):2584-2593.
- Li Z C,Huang Q H. 2014. Assessment of detectability of the Capital-circle Seismic Network by using the probability-based magnitude of completeness(PMC) method [J]. Chinese Journal of Geophysics, 57(8):2584-2593. (in Chinese)
- 刘芳,蒋长胜,张帆,等.2014.内蒙古区域地震台网监测能力研究[J].地震学报,36(5):919-929.
- Liu F,Jian C S,Zhang F,*et al.* 2014. A study on detection capability of the Inner Mongolia Regional Seismic Network [J]. Acta Seismologica Sinica,36(5):919-929. (in Chinese)
- 王亚文,蒋长胜,刘芳,等.2017.中国地震台网监测能力评估和台站检测能力评分(2008—2015年)[J].地球物理学报,60(7):2767-2778.
- Wang Y W,Jiang C S,Liu F,*et al.* 2017. Assessment of earthquake monitoring capability and score of seismic station detection capability in China Seismic Network (2008-2015) [J]. Chinese Journal of Geophysics, 60(7):2767-2778. (in Chinese)
- 杨晶琼,杨周胜,张会苑.2018.云南地区地壳速度模型研究及应用

- [J]. 中国地震, 34(1): 112 – 121.
- Yang J Q, Yang Z S, Zhang H Y. 2018. Study on crustal velocity model and its application in the Yunnan Region [J]. Earthquake Research in China, 34(1): 112 – 121. (in Chinese)
- 云南省地震局. 2005. 云南省地震监测志[M]. 北京: 地震出版社.
- Yunnan Earthquake Agency. 2005. Histories of earthquake monitoring in Yunnan Province[M]. Beijing: Seismological Press. (in Chinese)
- 中国地震局监测预报司. 2003. 数字地震观测技术[M]. 北京: 地震出版社.
- Department of Monitoring and Prediction, China Earthquake Administration. 2003. Digital seismic observation technique [M]. Beijing: Seismological Press. (in Chinese)
- Gomberg J. 1991. Seismicity and detection location threshold in the Southern Great Basin Seismic Network [J]. Journal of Geophysical Research, 96(B10): 16401 – 16414.
- Gutenberg B, Richter C. 1944. Frequency of earthquakes in California [J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 34: 185 – 188.
- Nanjo K Z, Schorlemmer D, Woessner J, *et al.* 2010. Earthquake detection capability of the Swiss Seismic Network [J]. Geophysical Journal International, 181(3): 1713 – 1724.
- Ogata Y, Katsura K. 1993. Analysis of temporal and spatial heterogeneity of magnitude frequency distribution inferred from earthquake catalogs [J]. Geophysical Journal International, 113: 727 – 738.
- Rydelek P A, Sacks I S. 1989. Testing the completeness of earthquake catalogues and the hypothesis of self – similarity [J]. Nature, 337: 251 – 253.
- Schorlemmer D, Woessner J. 2008. Probability of detecting an earthquake [J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 98(5): 2103 – 2217.
- Sereno T J, Bratt S R. 1989. Seismic detection capability at NORESS and implications for the detection threshold of a hypothetical network in the Soviet Union [J]. Journal of Geophysical Research, 94(B8): 10397 – 10414.
- Wiemer S, Wyss M. 2000. Minimum magnitude of completeness reporting in earthquake catalogs: Examples from Alaska, the Western United States, and Japan [J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 90: 859 – 869.
- Woessner J, Wiemer S. 2005. Assessing the quality of earthquake catalogs: Estimating the magnitude of completeness and its uncertainties [J]. Bulletin of the Seismological Society of America, 95(4): 684 – 698.

Assessment of Detectability of the Yunnan Seismic Network by Using the Probability – based Magnitude of Completeness Method

YANG Zhousheng, YANG Jingqiong, LIU Pengfei, LYU Shuai, YAO Yuan
(Yunnan Earthquake Agency, Kunming 650224, Yunnan, China)

Abstract

In order to assess the monitoring capacity of the Yunnan Seismic Network, and analyze the characteristics of the spatial and temporal distribution of the Network's monitoring capacity in Yunnan, we select the earthquake catalogs, seismic phases, and station information during the period of 2009 – 2023, and use the probability – based magnitude of completeness (PMC) method to compute the average monitoring capacity of the Network, and the capacity at different depths. We obtain that M_p value in some parts of central and western Yunnan reaches 1.5, and throughout Yunnan, the Network is capable of monitoring 2.5 – magnitude earthquakes. The evolution of the Network's monitoring capacity over the past 15 years is assessed, and some stations' monitoring capacity has been declining, and after 20 new stations having been built in 2018, the monitoring range of 2.0 – magnitude and 2.5 – magnitude earthquakes of the Network in Yunnan has been expanded, but the Network's capacity of monitoring micro – earthquakes is not improved significantly. Perhaps the reason is that small earthquakes in Yunnan is very inactive since 2018. Finally, an outlook for the application of the PMC method for improving the monitoring capacity of the seismic network is put forward.

Keywords: complete magnitude; earthquake monitoring capability; the PMC method; the Yunnan Seismic Network; detectability probability; spatial distribution