

# 以南北地震带为例研究面向地震应急的宏观震中与微观震中偏移模型<sup>\*</sup>

尹笑哲<sup>1,2</sup>, 徐敬海<sup>1♣</sup>, 聂高众<sup>3</sup>

(1. 南京工业大学 测绘学院, 江苏 南京 211816; 2. 中国科学院地理科学与资源研究所 资源与环境信息系统国家重点实验室, 北京 100101; 3. 中国地震局地质研究所, 北京 100029)

**摘要:** 以南北地震带为例, 通过对 1920~2011 年全国有记录的各种震级地震资料的整理统计, 利用投影分析, 计算出宏观震中与微观震中之间的偏移量, 研究震级和偏移量之间存在的非线性衰减模型, 并对模型拟合的有效性进行了分析。结合我国地震测震技术发展的阶段性特性, 探索研究了时间对偏移量的影响。

**关键词:** 宏观震中; 微观震中; 偏移量; 南北地震带

**中图分类号:** P315.3

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2016)04-0646-10

## 0 引言

破坏性地震发生后的地震灾害损失快速评估是依据地震速报定位参数进行的。地震发生时, 根据仪器定位的微观震中及有关参数来进行震害快速评估, 无疑是震后反应最迅速、最节省财力且最为方便的做法(刘吉夫, 王晓青, 2006)。但在实际应用中, 这种方法做出的震害快速评估结果往往与实际震害结果相去甚远, 主要是因为仪器测定的震中与实际震中不一致。刘吉夫和王晓青(2006)将微观震中与宏观震中的关系按照地理位置进行东西部的分区, 研究认为中国大陆东西部, 宏观震中与地震速报定位结果的偏离存在明显的差异, 这表明宏观震中与地震速报定位的偏离存在分区不确定性, 宏观震中与地震速报定位震中的相对空间位置在中国大陆的东部和西部均满足二维正态分布。李闵峰和李圣强等(2000)将偏移量按照南北断裂带进行研究, 认为在南北地震带众多震例分析基础上建立的震后宏观震中的可能位置快速判定方法具有可操作性。兰晓雯和田家勇等(2011)以新疆地区为例, 在发震断层对微、宏观震中偏离的影响分析中指出宏观与

微观震中的偏离方向和偏离距离是发震构造类型、地震震级和构造应力场等多种因素共同作用的结果, 利用全国的速报震中与宏观震中数据以及速报震中与宏观震中偏差的概率分布经验参数, 得到地震速报参数与最后确定的地震参数之间平均偏差在 25~30 km 范围内。这种偏差在经济条件空间变化较大的地区, 如城乡结合部、重要设施附近等, 对地震灾害评估结果有很大影响(孟玉梅等, 2001; 余国政, 1993; 王晓青, 绍辉成, 2003)。在此研究基础上, 本文主要研究偏移量与震级之间的关系, 以及随着时间推移, 偏移量的整体变化趋势, 以期对宏观震中的盲估产生一定借鉴作用。

## 1 研究区域与数据选取

### 1.1 研究区域及其地质概况

从宁夏, 经甘肃东部、四川西部直至云南, 有一条纵贯中国大陆、大致呈南北方向的地震密集带, 被称为中国南北地震带, 简称南北地震带, 该带向北可延伸至蒙古境内, 向南可到缅甸。南北地震带地质构造非常复杂, 位于印度板块、塔里木—华北板块和华南板块 3 大板块的结合带及边缘带, 发育有大量的巨大线状、弧形深断裂带,

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2015-04-13.

**基金项目:** “十二五”国家科技支撑计划项目(2012BAK15B06)和空间信息智能感知与服务深圳市重点实验室(深圳大学)开放基金资助项目联合资助。

**♣通讯作者:** 徐敬海(1977~), 副教授, 主要从事地震应急, 城市综合减灾研究. E-mail: Xu\_jing\_hai@163.com.

各断裂带多具分支、合并和切割等组合特征，一般都呈NW—NNW向，在弧形转折段则呈SN向，而东部地区则呈NE向（张春山，2003）。按照地质力学的观点，本区处于川滇径向构造体系与青藏歹字形、云南山字形、新华夏系等构造体系互相交织的复杂构造部位（兰晓雯，田家勇，2011）。构成其基本构架的巨型反S形或缓弧形构造带，分布在中部的弧顶朝南的弧形构造以及发育在东界附近的旋卷构造，成为南北地震带的3大构造特色，它们都是塑性伸展流动的产物。弧形构造形态实际数据分析表明，地壳物质向南移动的规模，由北往南逐渐加大，从西到东逐渐减小；自31.5°N往南，青藏高原物质东移量逐渐加大。这条地震带上，集中了中国有记录以来一半以上的8级大地震。本文主要研究位于南北地震带上的宁夏、青海、甘肃、云南以及四川5个省有记录以来的地震情况，因为研究区域集中了大量有记载以来有名的大地震，且属于地壳活跃，活动频发的地震带上，所以以此地震带为研究对象研究地震和偏移量的关系以及时间对偏移量的影响有较好的代表性，而且还可以将得到的最终研究结果应用于其他地震的评估与研究。

## 1.2 数据选取

选取全国范围内1920~2011年有记录以来的所有大小地震作为研究目标，数据资料来源包括《1966~1989年中国地震灾害损失资料汇编》（中国地震局震灾应急救援司，2012）、《中国大陆地震灾害损失评估汇编（1990~1995）》（中国地震局震灾应急救援司，1996）、《中国大陆地震灾害损失评估汇编（1996~2000）》（中国地震局震灾应急救援司，2001）、《2001~2005年中国大陆地震灾害损失评估报告汇编》（中国地震局震灾应急救援司，2010）、《2006~2010年中国大陆地震灾害损失评估汇编》（中国地震局震灾应急救援司，2015）、《2011灾评报告汇编》<sup>①</sup>。采集的数据信息包括发震时间、微观震中经纬度、震级、震中位置、震源深度、宏观震中经纬度、震区烈度等，共得到489个 $M \geq 4$ 地震的相关数据信息，从中提取出四川、云南、宁夏、甘肃、青海5个省的地震信息作为研究对象。

由于记录资料的不完整性，很多文献对于必要的观测数据并没有完整的记录，所以本文删除了必要观测数据不完整的地震信息。其次，由于 $M < 5$ 地震感觉轻微，影响很小，且大部分已经发生的地震都集中在5~6级之间（图1），所以只考虑 $M \geq 5$ 地震。 $M < 5$ 地震极震区烈度一般小于X度，根据《中国地震烈度》（GB/T 17742—2008）规定，小于X度的烈度主要依据建筑物的破坏程度来评定，因此将严重影响微宏观震中的偏移（李闵峰，李圣强，2000）。此外，根据统计结果，宏观震中位于距微观震中35 km的范围内的地震占

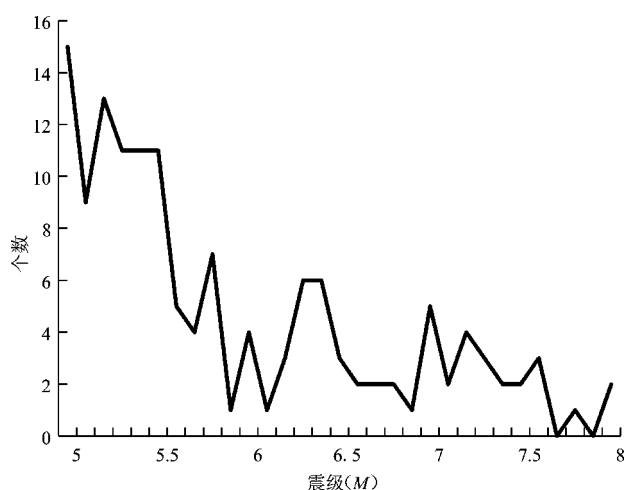


图1  $M \geq 5$ 地震震级分布图  
Fig. 1 Distribution of magnitudes of  $M \geq 5$  earthquakes

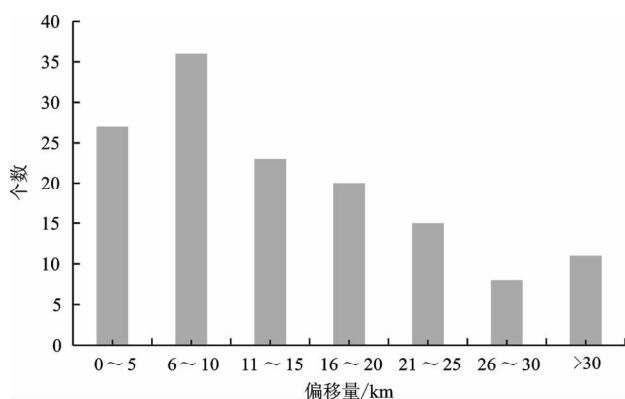


图2 宏微观震中偏移量分布图  
Fig. 2 Distribution of the offset between macro and micro epicenters

① 中国地震局震灾应急救援司. 2012. 2011年中国大陆地震灾害损失评估报告汇编.

88% (孟玉梅等, 2001), 其余地震的宏观震中则基本都位于距微观震中 35 ~ 75 km 的范围内 (图 2)。因此, 为了最大限度地保持研究结果的准确性, 本文选取偏移量在 75 km 以内的数据作为研究对象, 去除完全有可能是因为地震定位本身误差造成的偏移量大于 75 km 的数据。

计算偏移量时, 本文采用正轴割圆锥保角投影, 该投影属正形、保角投影, 其特点是同一纬线上长度变形保持相同, 在双标准纬线上无长度变形, 同一纬线上等经差的弧段长度相等, 两条纬线间的经线长度处处相等。正轴圆锥投影, 适合位于地球中纬度地区的地图投影, 我国 1:100 万地图投影, 即采用这种正轴割圆锥保角投影。将宏观和微观震中经纬度投影到坐标轴上分别得到

宏观震中位置坐标  $(x_1, y_1)$  以及微观震中位置坐标  $(x_2, y_2)$ , 其中  $x_{12} = x_1 - x_2$  为宏观震中相对于微观震中的经向距离差,  $y_{12} = y_1 - y_2$  为宏观震中相对于微观震中的纬向距离差。由此可得偏移量的计算公式为

$$I_{\max} = \sqrt{x_{12}^2 + y_{12}^2}. \tag{1}$$

最后提取得到 140 条有价值的研究数据。将青海、甘肃、宁夏、四川、云南 5 省地震点的微观震中和宏观震中的经纬度地理坐标导入 ArcGIS 中, 将地震数据 GIS 地址编码化, 得到全国范围内的地震分布 (图 3)。5 个省地震微宏观震中、震级以及偏移量的详细信息如表 1 所示。

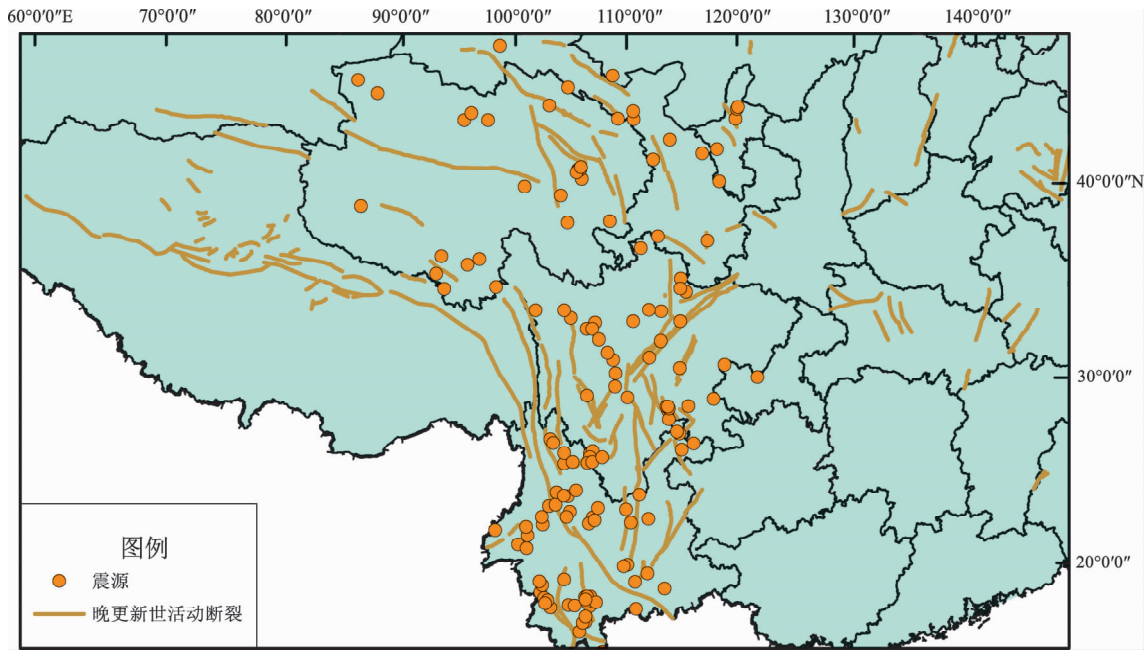


图 3 青海、甘肃、宁夏、四川、云南 5 省历史地震分布图

Fig. 3 Distribution of historic earthquakes in Qinghai, Gansu, Ningxia, Sichuan, Yunnan Provinces

表 1 5 个省历史地震信息统计

Tab. 1 Information of historic earthquakes in five provinces

发震时间 /年-月-日	微观震中		震级 ( $M_S$ )	震中位置	宏观震中		偏移量/km	震区烈度
	$\lambda_E/(^{\circ})$	$\varphi_N/(^{\circ})$			$\lambda_E/(^{\circ})$	$\varphi_N/(^{\circ})$		
2008-05-12	103	31	8	四川汶川	103.5	31.05	110	XI
1941-12-26	99.9	22.7	7	云南澜沧	100.1	22.1	70	VIII
1920-12-16	105	36.7	8.5	宁夏海原	105.7	36.5	70	XII
1927-05-23	102	37.7	8	甘肃古浪	102.7	37.5	60	XI
1973-02-06	101	31.3	7.6	四川炉霍	100.3	31.29	40	X
1923-03-24	101	31.5	7.3	四川炉霍	100.8	31.2	40	X

续表1

发震时间 /年-月-日	微观震中		震级 ( $M_s$ )	震中位置	宏观震中		偏移量/km	震区烈度
	$\lambda_E/(^{\circ})$	$\varphi_N/(^{\circ})$			$\lambda_E/(^{\circ})$	$\varphi_N/(^{\circ})$		
1991-09-19	100	23.6	5.2	云南景谷	100.4	23.939 5	37.986 95	VI
1985-01-16	95.1	32.6	5.1	青海杂多	95.23	32.933 3	37.800 68	VII
1999-11-26	99.8	34.5	5	青海玛沁	99.49	34.36	32.150 4	VII
1970-02-07	101	23.1	6.2	云南普洱	100.8	22.9	31.411 68	VII
1971-02-05	99.5	25.3	5.8	云南保山	99.37	25.013 2	30.837 68	VII
1932-12-25	96.7	39.7	7.6	甘肃昌马	97	39.7	30	X
1933-08-25	103	31.9	7.5	四川迭溪	103.7	32	30	X
1999-09-14	104	31.6	5	四川绵竹	104.1	31.34	29.382 86	VI
2010-04-14	96.6	33.2	7.1	青海玉树	96.85	33.06	27.852 46	IX
2003-10-16	101	25.6	6.1	云南大姚	101.1	25.32	26.463 56	VIII
1973-02-06	101	31.3	7.6	四川炉霍	100.5	31.483 3	25.873 17	X
1971-04-03	95.4	32.2	6.3	青海杂多	95.13	32.15	25.397 86	IX
1972-04-08	102	29.6	5.2	四川康定	101.9	29.413 2	25.128 78	VI
1976-05-29	98.7	24.6	7.4	云南龙陵	98.52	24.27	25	IX
1976-05-29	99	24.5	7.3	云南龙陵	98.5	24.37	25	IX
1988-11-06	99.6	23.2	7.2	云南耿马	99.3	23.22	25	X
1996-02-03	100	27.2	7	云南丽江	100.2	27.05	25	IX
1974-09-23	103	33.8	5.6	四川若尔	102.3	33.75	24.928 19	VII
1988-11-05	92	34.4	7	青海唐古	92	34.2	24.645 72	IX
1983-05-28	101	22.3	5.7	云南景洪	101.2	22.5	23.496 05	VI
1971-04-28	101	22.8	6.5	云南思茅	101	22.9	23.412 81	VIII
1970-02-24	103	30.5	6.8	四川芦山	103.2	30.6	22.021 88	VII
1973-09-09	100	31.6	5.8	四川甘孜	99.87	31.616 7	21.900 45	VII
2011-04-10	101	31.3	5.3	四川炉霍	100.7	31.4	21.874 36	VII
1979-03-07	101	27.5	5	四川盐源	101	27.305 6	21.759 88	VII
1972-09-27	102	30.4	5.8	四川康定	101.6	30.233 3	20.983 26	VII
2003-04-17	96.5	37.4	6.6	青海德令	96.27	37.33	20.904 34	VIII
1977-01-02	91.2	38.2	6.4	青海茫崖	91.4	38.1	20.594 57	VIII
1970-01-05	102	24.1	7.8	云南通海	102.7	24	20	X
1974-05-11	104	28.2	7.1	云南昭通	103.9	28.2	20	IX
1925-03-16	100	25.7	7	云南大理	100.2	25.7	20	IX
2000-04-15	95.2	33.2	5.3	青海杂多	95.27	33.02	19.843 17	VI
1995-02-18	99.7	23	5.1	云南沧源	99.57	23.133 3	19.691 72	VI
1973-08-11	104	32.9	6.5	四川松潘	103.9	32.933 3	18.785 67	VII
1967-01-24	104	30.2	5.5	四川仁寿	104.2	30.049 9	18.769 03	VII
1972-08-27	101	22.8	5.4	云南普洱	100.7	22.783 3	17.331 67	VI
1991-02-28	102	31.6	5.2	四川小金	102.5	31.466 7	17.074 65	VII
1976-11-09	101	27.6	6.7	四川盐源	101.1	27.45	16.814 84	IX
1994-10-10	100	35.8	5.3	青海共和	100.5	35.85	16.371 14	V
1994-10-12	100	35.8	5	青海共和	100.5	35.85	16.371 14	V
1973-08-16	101	23.1	6.3	云南普洱	101.1	23	16.305 92	VIII
1973-08-02	105	27.9	5.4	云南彝良	104.5	27.783 3	16.287 34	VI
2000-09-12	99.5	35.3	6.6	青海兴海	99.32	35.28	16.237 75	VIII
1995-07-09	100	36.1	5.3	青海共和	100.2	35.983 3	16.182 41	VI
2009-07-09	101	25.4	6	云南楚雄	101.1	25.5	16.040 43	VIII
1984-01-06	102	38	5.5	甘肃天祝	102.3	37.833 3	15.764 89	VI
1980-04-18	98.9	38	5.2	青海木里	99.02	37.961 1	15.292 49	VI
1977-03-17	99.7	25.9	5.4	云南漾濞	99.83	25.833 3	15.115 47	VI

续表 1

发震时间 /年-月-日	微观震中		震级 ( $M_s$ )	震中位置	宏观震中		偏移量/km	震区烈度
	$\lambda_E/(^{\circ})$	$\varphi_N/(^{\circ})$			$\lambda_E/(^{\circ})$	$\varphi_N/(^{\circ})$		
1954-02-11	101	39	7.3	甘肃山丹	101.2	38.9	15	X
1975-09-04	99.9	25.9	5	云南漾濞	99.8	25.8	14.944 67	VI
1990-01-14	92	37.9	6.7	青海茫崖	91.9	37.8	14.884 1	VIII
1996-02-03	100	27.2	7	云南丽江	100.2	27.05	14.787 14	IX
1973-06-29	104	28.9	5.4	四川马边	103.6	28.8	14.786 68	VI
1994-09-04	100	36.1	5.3	青海共和	100.1	36.016 7	13.493 13	VI
1971-06-28	106	37.8	5.1	宁夏吴忠	106.2	37.866 7	13.267 07	VI
1988-11-22	99.5	38.6	5.7	甘肃肃南	99.68	38.597	12.985 46	VI
1993-08-14	101	25.5	5.6	云南姚安	101.2	25.39	12.413 06	VII
1981-07-07	97.9	25	5.4	云南盈江	97.94	25.104 4	12.192 08	VI
1973-04-22	104	27.7	5.2	云南彝良	104.2	27.6	12.188 27	VI
1988-11-06	99.6	23.4	7.2	云南耿马	99.5	23.333 3	11.661 28	X
1989-09-20	103	25.6	5.1	云南寻甸	103.1	25.466 7	11.588 41	VI
1976-10-09	102	24.1	5.3	云南峨山	102.3	24.183 3	11.557 54	VI
1987-05-18	100	26.2	5	云南鹤庆	100.2	26.133 3	11.410 74	VI
1970-07-31	104	28.6	5.4	四川雷波	103.7	28.55	11.341 99	VII
1979-03-15	101	23.1	6.8	云南普洱	101.2	23.083 3	11.316 13	IX
1992-12-18	101	26.4	5.4	云南永胜	100.6	26.266 7	11.243 57	VI
1973-07-22	101	22	5.5	云南景洪	100.8	22.061	10.617 13	VII
1971-03-24	98.1	35.5	6.3	青海都兰	98	35.45	10.551 93	VIII
1976-12-13	101	27.4	6.4	四川盐源	101.1	27.316 7	10.513 25	VIII
1993-05-24	98.8	31.8	5	四川德格	98.7	31.75	10.059 23	VI
1982-06-16	99.9	31.8	6	四川甘孜	99.75	31.866 7	10.050 64	VII
1955-04-14	102	30	7.5	四川康定	101.5	30	10	X
1988-11-06	99.8	22.9	7.4	云南澜沧	99.45	22.55	10	IX
1976-08-16	104	32.6	7.2	四川松潘	104.1	32.37	10	IX
2008-11-10	95.5	37.4	6.3	青海海西	95.43	37.37	9.633 237	VII
1994-01-03	100	36.1	6	青海共和	100.1	36.016 7	9.533 088	VIII
1978-07-13	103	31.9	5.4	四川黑水	103	32.016 7	9.381 803	VI
1986-08-26	102	37.7	6.4	青海门源	101.7	37.75	9.164 092	VIII
1999-09-27	101	34.6	5.1	青海河南	101.3	34.6	9.011 704	VII
1995-10-24	102	25.8	6.5	云南武定	102.3	25.883 3	8.676 075	IX
2009-08-28	95.8	37.6	6.4	青海海西	95.7	37.6	8.670 218	VII
1987-01-08	103	34.2	5.9	甘肃迭部	103.3	34.216 7	8.265 79	VII
1989-10-20	107	29.9	5.2	重庆江北	106.9	29.85	8.126 887	VII
1991-07-01	99	24.9	5.3	云南保山	99.03	24.833 3	8.114 796	VII
1982-10-08	99.9	26.3	5.2	云南洱源	99.99	26.252 1	8.100 612	VI
2006-07-19	96.2	33	5.6	青海玉树	96.1	33.03	8.094 021	VII
1966-09-28	100	27.5	6.4	云南中甸	100.1	27.433 3	7.614 655	IX
1988-01-10	106	38.1	5	宁夏灵武	106.3	37.983 3	7.536 048	VII
1993-01-27	101	22.9	6.3	云南普洱	101.1	23	7.534 559	VIII
1988-08-15	99.7	22.8	5	云南澜沧	99.73	22.9	7.532 468	VI
1993-08-07	104	29	5	四川沐川	103.7	29.027 6	7.512 323	VII
1979-03-29	97.3	32.4	6.2	青海玉树	97.25	32.347 4	7.348 989	VII
1966-01-31	99.6	27.9	5.2	云南中甸	99.67	27.884 7	6.733 818	VII
1979-08-09	98.9	25.2	5.1	云南保山	98.87	25.166 7	6.717 719	VII
1986-10-07	102	25.4	5.1	云南富民	102.4	25.4	6.595 265	VI
1981-01-24	101	31	6.9	四川道孚	101.1	30.983 3	6.554 292	VIII

续表 1

发震时间 /年-月-日	微观震中		震级 ( $M_S$ )	震中位置	宏观震中		偏移量/km	震区烈度
	$\lambda_E/(^{\circ})$	$\varphi_N/(^{\circ})$			$\lambda_E/(^{\circ})$	$\varphi_N/(^{\circ})$		
1981-09-19	101	22.9	6	云南普洱	101.4	22.983 3	6.488 861	Ⅶ
1993-07-17	99.7	27.8	5.8	云南中甸	99.67	27.833 3	6.464 634	Ⅵ
1975-03-08	104	28.3	5.2	云南盐津	104.1	28.3	6.461 309	Ⅵ
1996-02-28	104	29	5.4	四川宜宾	104.4	29.02	6.204 03	Ⅶ
1982-12-28	99.5	25.5	5.5	云南永平	99.51	25.519 2	5.945 293	Ⅵ
1982-04-14	105	36.8	5.7	宁夏海原	105.5	36.8	5.777 603	Ⅶ
1988-06-02	101	30.6	5	四川道孚	101.4	30.6	5.479 885	Ⅵ
1975-10-28	102	21.4	5.5	云南勐腊	101.7	21.45	5.470 691	Ⅶ
1982-12-28	101	22.3	5.5	云南景洪	101	22.283 3	5.198 476	Ⅶ
1976-02-16	101	22.8	5.8	云南普洱	100.7	22.833 3	5.031 217	Ⅵ
1995-04-25	103	22.8	5.6	云南金平	102.8	22.747 5	5.010 73	Ⅶ
1995-07-22	103	36.5	5.8	甘肃永登	103.1	36.515 4	4.787 925	Ⅷ
1978-05-19	100	25.5	5.1	云南下关	100.3	25.548 5	4.512 863	Ⅵ
1985-09-02	103	23.6	5.5	云南建水	102.6	23.578 3	4.454 146	Ⅶ
1988-01-04	106	38.1	5.5	宁夏灵武	106.3	38.066 7	4.032 281	Ⅶ
1975-01-21	100	27.2	5	云南丽江	100.4	27.218 3	3.861 427	Ⅵ
1970-01-23	106	35.9	5.5	宁夏西吉	105.5	35.866 9	3.810 729	Ⅶ
1986-03-13	100	26.2	5.3	云南鹤庆	100.2	26.166 7	3.803 078	Ⅵ
1988-04-15	103	26.3	5.2	四川会东	102.7	26.316 7	3.799 073	Ⅶ
1980-06-18	104	23.4	5.4	云南蒙自	103.7	23.448	3.792 509	Ⅶ
1989-06-09	102	29.3	5.3	四川石棉	102.3	29.233 3	3.734 05	Ⅶ
1994-09-24	100	36	5.5	青海共和	100.1	36.016 7	3.499 966	Ⅶ
2010-01-30	106	30.3	5	四川遂宁	105.7	30.27	3.499 191	Ⅶ
2007-06-03	101	23	6.4	云南宁洱	101.1	23.03	3.458 973	Ⅷ
1989-05-07	99.5	23.5	6.3	云南耿马	99.5	23.471 9	3.127 071	Ⅶ
1976-09-19	101	22.5	5.2	云南景洪	101.1	22.504	2.887 242	Ⅵ
1988-01-10	101	27.2	5.5	云南宁蒗	100.9	27.233 3	2.702 125	Ⅶ
1994-10-23	104	29	5.7	四川沐川	103.6	29.037 5	2.467 189	Ⅶ
1994-02-16	100	36.2	5.8	青海共和	100.2	36.183 3	2.390 54	Ⅶ
2003-08-21	101	27.3	5	四川盐源	101.1	27.28	2.229 884	Ⅵ
1986-08-12	101	27.4	5.2	四川盐源	101.4	27.433 3	1.929 929	Ⅶ
1997-08-13	105	29.3	5.3	重庆荣昌	105.3	29.25	1.476 445	Ⅵ
1986-08-07	101	29.3	5.6	四川理塘	100.8	29.283 3	1.470 179	Ⅶ
1995-04-26	104	29	5.1	四川沐川	103.7	29.023 3	0.812 716	Ⅵ
1990-10-20	104	37.1	6.2	甘肃天祝	103.6	37.116 7	0.727 104	Ⅶ
1987-10-25	105	34.1	5	甘肃礼县	105.1	34.046	0.642 493	Ⅵ
1975-07-09	103	23.9	5.2	云南建水	103.1	23.863 1	0.389 604	Ⅵ
1993-02-01	101	25.9	5.3	云南大姚	101.4	25.847 8	0.264 411	Ⅵ

2 数据处理与分析

2.1 数据预处理

将所得到的 5 个省的地震信息进行统计分析之后,可得到偏移量的样本均值和标准差分别为 13.131 4 和 9.207 9;震级的样本均值和标准差分

别为 5.944 和 0.844 6,如表 2 所示;偏移量和震级的相关系数为 0.998, *Sig* (双侧) 为 0。

*Sig* 是显著性检验结果的 *p* 值,越接近 0,相关性越显著;相关系数在 0.8 以上,就可以认为是显著相关了。由于震级和偏移量的相关系数为 0.998,且 *Sig* 双侧检验为 0,因此可以认为震级和偏移量之间存在显著的相关性。

表 2 5 个省偏移量及震级的描述性统计量

Tab. 2 The descriptive statistics of the offset and magnitude of earthquakes in five provinces

	统计量	均值/km	标准误	标准差	方差
偏移量	138	13.131 4	0.783 8	9.207 9	84.785
震级	138	5.944	0.071 9	0.844 6	0.713

2.2 模型建立

研究表明,震级和偏移量之间在理论上大致符合对数衰减关系模型(鄢家全,李金臣,2010;刘丽芳,苏有锦,2013;赵荣国,李卫平,1998;孟玉梅,1994),在进行相关性分析模型拟合之前。笔者先要观察 2 个变量之间对应的散点图。散点图是非常重要的工具,绘制散点图是相关分析过程中极为常用且非常直观的分析方式。利用统计分析软件 SPSS 分析震级和偏移量之间的关系,得出散点图(图 4)。由图 4 可以大致看出震级和偏移量之间的关系,随着震级的逐渐增加,偏移量的整体趋势也在稳步提升,整体上大致呈现缓慢增长趋势。由图 4 亦可以看出虽然震级越高,偏移量整体变大,但是根据实际情况,在不同地震中仍旧有震级小于 6 级时,偏移量在 20 km 以上的情况。因此,结合已有的经验以及上述的分析,得出震级和偏移量之间大致符合对数关系模型。

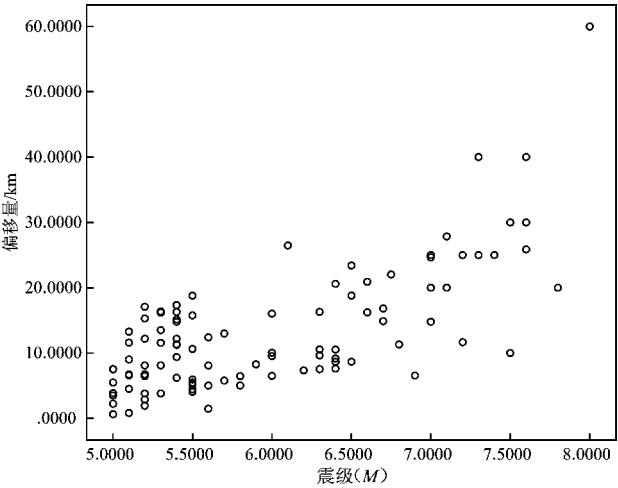


图 4 震级和偏移量散点图

Fig. 4 Scatter diagram of magnitude and offset

2.3 模型拟合

在模型拟合结果中,因变量为偏移量,自变量为震级,由表 3 可以看出拟合结果为

表 3 偏移量和震级的模型汇总和参数估计值

Tab. 3 Model summary and estimate value of parameter of the offset and magnitude

方程	模型汇总			参数估计值	
	$R^2$	$F$	Sig	常数	$b_1$
对数	0.473	86.897	0.000	-72.005	47.897

$$I_{\max} = 47.897 \ln M - 72.005. \tag{2}$$

式中,  $I_{\max}$  表示偏移量,  $M$  表示震级。

2.4 拟合有效性分析

在 SPSS 分析软件中, Sig 值即检验统计量的概率  $p$ , 如果  $p$  值小于给定的显著性水平, 应拒绝零假设, 认为两总体间存在显著的线性相关性; 反之, 如果检验统计量的概率  $p$  值大于给定的显著性水平, 则不能拒绝零假设, 可以认为两总体不存在显著的线性相关性。从表 3 可以看出, 本模型中  $Sig = 0.000 < 0.05$ , 说明震级和偏移量的对数回归模型显著相关, 使用当前的模型进行回归有统计学意义(徐学纯等, 2005)。  $R^2$  代表模型的拟合优度, 取值在 0 ~ 1 之间。  $R^2$  越接近于 1, 说明回归方程对样本数据点的拟合优度越高; 反之  $R^2$  越接近于 0, 说明回归方程对样本数据点的拟合优度越低。但是  $R^2$  的值为 0.473, 不十分接近于 1, 表明偏移量不仅受震级的影响, 还受其他很多因素的制约。从表 3 中可见, 回归的  $R^2$  并不是很大, 其原因有 2 点: (1) 本文集中关注的是震级与地震偏移量的关系, 其他一些会对震中偏移产生潜在影响的变量并未加入模型, 如发震时间, 发震地点的地质构造, 是否处于断裂带上, 观测地震的仪器精度, 发生地距观测地的距离, 震源深度以及各种人为因素都有可能影响偏移量的计算, 因此, 在本次研究中, 导致震中偏移的一部分变量未在模型中得到解释。在实际震例中, 每一次地震都可能受到不同的制约因素的影响, 例如 5.1 级地震的偏移量有可能达到 40 km, 而 7.8 级地震的偏移量也可能不到 10 km, 且绝大多数地震震级都在 5 ~ 6 级之间(图 5)。(2) 本文的被解释变量, 即对数震级的取值仅在 1.60 ~ 2.14 间变化, 其较小的变差也是导致较小  $R^2$  的原因。另外需要指出的是, 在截面回归分析中, 较小的  $R^2$  是一个普遍存在的现象, 接近于 1 的  $R^2$  常见于时间序列。

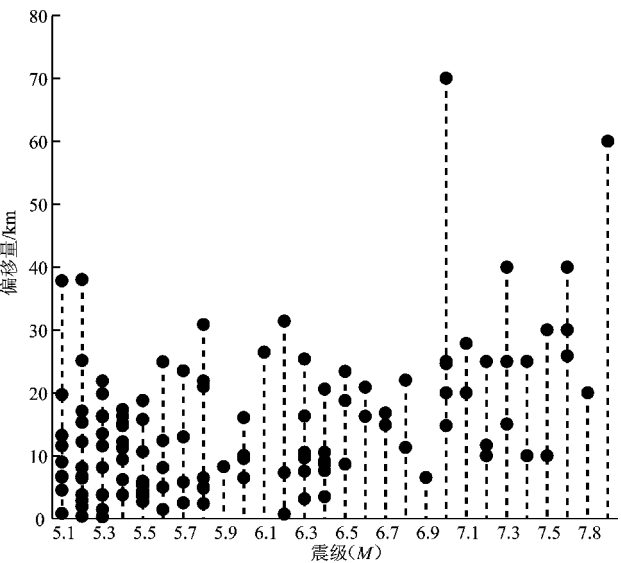


图 5 震级偏移量对应图

Fig. 5 The corresponding map of magnitude and offset

所以此处  $R^2$  的值不十分接近于 1 属于正常现象，在统计学中也不十分关注  $R^2$  的值。

$F$  统计量与调整  $R^2$  有如下对应关系：

$$F = \frac{R^2/p}{(1 - R^2)/(n - p - 1)} \quad (3)$$

可见，回归方程的拟合优度越高，回归方程的显著性检验也会越显著，即  $F$  值越大越显著，本模型中  $F = 86.897$ ，代表该回归模型是显著的。

### 3 不同时期偏移量的对比分析

在上述分析中可以知道，地震的震级和偏移量大致符合对数函数模型，下面主要分析偏移量与时间之间的关系。

随着时间的推移，我国地震监测预报工作由建国初期的科学行为，逐步向科学化、规范化、现代化、数字化和自动化方向发展。中国的数字地震台网建设起步于 20 世纪 80 年代，成立初期我国的地震监测能力还很有限。现今全国已建立了 415 个专业地震台站，20 余个包含近 300 个站（点）的遥测地震台网，560 余个地方、企业观测站（点），1 200 余部短波、超短波电台组成的地震数据信息通信网络（中国地震局监测预报司，2009）。

地震观测数据的准确性和合理性受到多重因

素的制约，例如观测仪器的精度，观测地点、时间、天气等。随着科学的发展，对于地震的发震时间和震中位置的观测都更加精确。由 1920 ~ 2011 年的地震统计资料可以看出，国家地震研究技术的发展基本以 30 年为一个发展周期，所以依据科学发展水平及地震研究发展的阶段性，可以按时间递进关系以 30 年为一个时间段将统计资料划分为 3 个时期，来研究时间对于地震偏移量的影响以及不同时期地震偏移量的整体变化趋势。

Stata 是一套提供其使用者进行数据分析、数据管理以及绘制专业图表的完整及整合性统计软件，本文利用 Stata 软件分析时期差别对震中总体偏移的潜在影响。笔者在模型中加入了 2 个表示时期的虚拟变量，分别代表 1950 ~ 1980 年和 1980 ~ 2011 年 2 个时期，随后以 1920 ~ 1950 年为基准时期，将震中偏移量对对数震级做线性回归分析。

表 4 基准模型回归				
Tab. 4 Benchmark model regression				
	系数	标准误差	$T$ 统计量	[95% 置信区间]
ln(震级)	52.77 *	7.84	6.73	37.26 ~ 68.27
常数项	-78.24 *	13.90	-5.63	-105.74 ~ -50.75

注：  $N = 140$ ；  $F_{(1,138)} = 45.26$ ；  $(\text{Prob} > F) = 0.000\ 0$ ； 调整  $R^2 = 0.241\ 5$ ； \* 表示该系数在 0.05 的水平上显著。

表 5 加入时期虚拟变量的模型回归				
Tab. 5 Model regression with period dummy variable				
	系数	标准误差	$T$ 统计量	[95% 置信区间]
ln(震级)	36.43 *	8.31	4.38	19.99 ~ 52.87
1950 ~ 1980 年	-21.72 *	5.17	-4.20	-31.96 ~ -11.49
1980 ~ 2010 年	-23.16 *	5.23	-4.42	-33.51 ~ -12.80
常数项	-27.89	17.38	-1.60	-62.26 ~ 6.48

注：  $N = 140$ ；  $F_{(3,136)} = 23.59$ ；  $(\text{Prob} > F) = 0.000\ 0$ ； 调整  $R^2 = 0.327\ 8$ ； \* 表示该系数在 0.05 的水平上显著。

表 4、5 中， $N$  是样本容量； $F$  是模型的  $F$  检验值，用来计算下面的  $p > F$ ； $p > F$  是模型  $F$  检验落在小概率事件区间的概率，模型置信水平是 0.05，如果这个值大于 0.05，说明模型设定有问题，要重新设定模型。调整  $R^2$  是对模型拟合效果的度量，相对于普通  $R^2$ ，其会对在模型中增加无关变量的行为施加惩罚。标准误差是对系数估计



的效率的度量,该值越小表明系数的估计越精确。通过系数值除以标准误差构造得到的  $T$  统计量是观察某个解释变量是否存在显著影响的主要参数。两表中系数后的星号表示该系数在 0.01 的水平上显著。

对比表 4 和表 5,可以得出如下结论:

(1) 由于模型的  $F$  统计量远大于  $F$  分布的 1% 临界值,说明本文的震级和偏移量模型总体是统计显著的。

(2) 表 5 中调整  $R^2$  值大于表 4,这说明,加入模型中的时期虚拟变量在一定程度上控制了不同时期技术水平差异对观测整体偏移量的影响,达到了更优的拟合效果。

(3) 由表 4 和表 5 都可看出,偏移量和对数震级具有统计显著的正相关关系。在加入时期虚拟变量的模型中,对数震级每增加 1,偏移量增加 36 km。

(4) 由表 5 可以看出,代表 1950~1980 年和 1980~2011 年的虚拟变量的系数显著为负。这表明,相对于作为基期的 1920 年~1950 年,之后的 2 个时期偏移量在整体上显著减少。这印证了本文关于地震观测技术影响震中整体偏移水平的推断。

(5) 代表 1980~2011 年的虚拟变量系数小于 1950~1980 年的虚拟变量系数,这表明 1980~2011 年的总体震中偏移水平小于 1950~1980 年,更加印证了以上推断的合理性。

由于震级大的地震破坏力更大,灾难性更强,且样本中相当一部分的强震都发生在 20 世纪 70 年代之前,所以笔者特别将 70 年代之前和 70 年代之后的 7 级以上的地震单独进行了统计,各项统计指标见表 6。由表 6 可见,这 2 个时期的偏移量均值的差异。1970 年前,强震的宏微观定位结果本身就可能存在较大的误差,为了防止这种结果对结论产生影响,本文再次进行了验证。由表 7 可以看出,对数震级的系数为正,且在 0.01 的水平上显著,这表明上述得出的“震级越大,偏移量越大”的结论是稳健的。

## 4 结论与讨论

本文以 1920~2011 年南北地震带上的甘肃、宁夏、青海、云南、四川 5 省发生的 5 级以上的地震信息为基础,重点阐述了 2 个方面的问题。首

表 6 7 级以上地震震中偏移统计信息对比表

Tab. 6 Contrast of statistics information of the epicenter offset of  $M \geq 7$  earthquakes

	样本数	均值/km	标准方差	最小值/km	最大值/km
1970 年前	10	36.50	22.61	10	70
1970 年后	14	28.20	24.92	10	110

表 7 1970 年后震中偏移与对数震级回归

Tab. 7 Regression of epicenter offset and logarithmic magnitude after 1970

	系数	标准误差	$T$ 统计量	[95% 置信区间]
ln(震级)	39.10 *	8.62	4.54	22.04 ~ 56.17
常数项	-55.02 *	15.10	-3.64	-84.91 ~ -25.13

注: \* 表示该系数在 0.05 的水平上显著。

先,通过对这 5 个省发生地震的震级和偏移量的统计分析,建立了两者之间满足的关系模型,得出两者之间满足对数关系的结论。其次,根据中国地震发展研究的阶段性进展和统计资料的起始时间,以 30 年为一个时间段,探讨了随着时间的推移和地震科学技术的发展,震级和偏移量所发生的变化。

根据本文前述内容和历史地震的分析,得出如下结论:

(1) 震级与地震的宏观震中和微观震中偏移量之间存在对数的非线性关系。

(2) 震级和偏移量的对数衰减模型对于近些年来发生的地震更加适合,拟合效果更优。

(3) 微观震中与宏观震中的差距不仅仅存在于 7 级以上的大地震中,7 级以下的地震也同样存在。震级越大,微观震中与宏观震中的差距越明显,即偏移量越大。

(4) 根据对数模型,地震发生以后,由震级可以快速估算出地震实际发生破坏最严重的位置,为有效合理地开展抗震救灾工作提供了理论依据。

(5) 震级与偏移量的对数关系并不绝对,小的震级可能会有大的偏移量,大的震级也有可能不会出现小的偏移量。

(6) 随着时间发展,地震的偏移量呈现出逐渐变小的趋势,越靠近现在,地震和偏移量的对数关系越明显。

虽然经过实验和检验后笔者得出了震级和偏移量之间满足对数关系以及时间对对数关系模型

会产生影响的结论,但是本文的研究也还存在一些方面的不足。由于数据的局限性,我们只选取了1920~2011年有记录的且 $M \geq 5.0$ 地震作为实验对象,因此此结论可能会在某些地震中不适用。在未来的工作中,笔者将进一步完善资料收集,尤其是对重大灾害数据的收集和处理,丰富地震统计数据,并且深入探讨本文所提出模型的更加广泛的使用范围,以弥补存在的不足。

### 参考文献:

- 兰晓雯,田家勇.2011.发震断层对微、宏观震中偏离的影响分析:以新疆地区为例[J].现代地质,25(1):115-121.
- 李闯峰,李圣强.2000.探讨地震宏观破坏场分布的影响因素[J].中国地震,16(4):293-306.
- 刘吉夫,王晓青.2006.中国大陆地震宏观震中与速报定位偏离的分区研究[J].地震学报,28(1):37-41.
- 刘丽芳,苏有锦.2013.1998~2012年云南地区地震预测情况回顾与总结[J].地震研究,36(4):407-417.
- 孟玉梅,赵永,王斌等.2001.中国地震观测台网地震速报定位偏差的分析[J].地震,21(3):65-69.
- 孟玉梅.1994.中国速报震级与国际通用震级的初步对比分析[J].地震,(6):61-68.
- 王晓青,绍辉成.2003.地震速报参数不确定性的应急灾害损失快速评估模型[J].地震工程与工程振动,23(6):199-201.
- 徐学纯,郑常青,赵庆英等.2005.新疆阿尔泰山地区冲乎尔递增变质带特征及其演化[J].现代地质,19(3):334-340.
- 鄢家全,李金臣.2010.论宏观震中及其快速估定方法[J].赈灾防御技术,5(4):409-417.
- 余国政.1993.四川地震震级与烈度区面积和震源深度的关系[J].四川地震,(2):37-42.
- 张春山.2003.南北地震带南段水文地球化学特征及其与地震的关系[J].地质力学学报,9(1):21-31.
- 赵荣国,李卫平.1998.从震级偏差看震级问题[J].国际地震动态,(4):11-17.
- 中国地震局监测预报司.2009.汶川8.0级地震科学研究报告[M].北京:地震出版社,1-216.
- 中国地震局震灾应急救援司.1996.中国大陆地震灾害损失评估汇编(1990~1995)[M].北京:地震出版社,1-218.
- 中国地震局震灾应急救援司.2001.中国大陆地震灾害损失评估汇编(1996~2000)[M].北京:地震出版社,1-390.
- 中国地震局震灾应急救援司.2010.2001~2005年中国大陆地震灾害损失评估报告汇编[M].北京:地震出版社.
- 中国地震局震灾应急救援司.2012.1966~1989年中国地震灾害损失资料汇编[M].北京:地震出版社,1-576.
- 中国地震局震灾应急救援司.2015.2006~2010年中国大陆地震灾害损失评估汇编[M].北京:地震出版社.
- GB 17742—2008,中国地震烈度表[S].

## Research on Offset Model between Macro-epicenter and Micro-epicenter For the Earthquake Emergency: Taking the North-South Seismic Belt as an Example

YIN Xiaozhe<sup>1,2</sup>, XU Jinghai<sup>1</sup>, NIE Gaozhong<sup>3</sup>

(1. College of Geomatics Engineering, Nanjing University of Technology, Nanjing 210816, China)

(2. State Key Laboratory of Resources and Environmental Information System, Institute of Geographic Sciences and Natural Resources Research, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100101, China)

(3. Institute of Geology, CEA, Beijing 100029, China)

### Abstract

Illustrated by the North-South Seismic as an example, by sorting and statistic all kinds of the seismic data in different magnitude that have been recorded in China since 1920, we calculated the offset by using projection analysis and studied the nonlinear damping model between magnitude and offset, and analyzed the validity of fitting by this model. Combined with the periodic characteristic of the development of the seismic technology in China, we studied the influence of time on offset.

**Key words:** macro-epicenter; micro-epicenter; offset; North-South Seismic Belt