

卢双苓、曲保安、蔡寅等, 2015, 宏观异常与地震关系的统计分析, 中国地震, 31(1), 141 ~ 151。

宏观异常与地震关系的统计分析

卢双苓¹⁾ 曲保安¹⁾ 蔡寅²⁾ 张明¹⁾ 赵瑞²⁾ 于澄²⁾ 李铂²⁾

1) 泰安基准地震台, 山东省泰安市红门东路罗汉崖 2 号 271600

2) 山东省地震局, 山东省济南市文化东路 20 号 250014

摘要 通过对《中国震例》中所辑宏观异常的统计分析认为, 随着震级的增大, 震前出现宏观异常的概率逐步增大, 震级大的地震震前宏观异常数量也相对较多。宏观异常大多数为短期和临震异常, 多数发生在距震中 100km 的范围内。在时间上, 宏观异常开始时数量较少; 随着时间的推移, 异常不断增多; 越近临震, 异常数量越多, 直到发震达到高潮。在地域上则表现始于震中、然后向外围发展、最后震中爆发式增多的特点。

关键词: 宏观异常 地震关系 动物异常 地下水异常

[文章编号] 1001-4683 (2015) 01-0141-11 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

宏观异常指人的感官可以直接感觉到的各类异常现象, 这些现象的共同特点是违反常规或常理。地震之前出现的动物、地下水和天气等宏观异常是至关重要的地震前兆, 与其它地震监测手段相比, 宏观异常有着独特的映震特征(车用太, 2008; 车用太等, 2012)。

在地震孕育过程中, 会伴随产生许多物理、化学变化, 这些变化与动物异常、地下水异常有着直接或间接的关系。对于动物来说, 可能由于强震前地声、光、电、地温、地气味等变化, 导致动物生活环境改变, 并直接刺激动物的相关感觉器官而引发异常反应(中国地震局监测预报司, 2010)。

本文依托于“十二·五”国家科技支撑计划项目“专群结合”的“地震监测预警信息集成服务平台”专题项目, 论证地震宏观异常与地震的相关性, 并对宏观异常的时空特性与地震发震时刻、震中位置的相关性进行深入分析, 从而体现宏观异常在地震预测中的重要作用, 以及“专群结合”的必要性和可行性。

《中国震例》(张肇诚, 1988、1990a、1990b、1999、2000; 陈棋福, 2002a、2002b、2002c、2008) 的公开资料只截止到 2002 年, 其辑录的地震前兆异常, 是经过审核的、有别于正常变化背景的、可能与该地震孕育和发生相关联的异常变化, 其中既可能有区域构造应力场增强

[收稿日期] 2013-09-27; [修定日期] 2013-11-21

[项目类别] “十二·五”国家科技支撑计划项目专题“地震监测预警信息集成服务平台建设”(2012BAK19B04-05) 资助

[作者简介] 卢双苓, 女, 1973 年生, 高级工程师, 主要从事地震形变观测和地震分析预报工作。

E-mail: liuru-si@163.com

引起的异常(构造前兆异常),又可能有来自震源的信息(震源前兆异常)。它们都具有不同的前兆指示意义,包含着丰富的可能的前兆信息。

本文以《中国震例》(张肇诚,1988、1990a、1990b、1999、2000;陈棋福,2002a、2002b、2002c、2008)为主要参考资料,针对1966~2002年间全国 $M_s \geq 5.0$ 地震,较全面系统研究了具有宏观异常的地震的特征,对宏观异常的类型、起始时间、异常时空特征进行分析总结,探讨具有宏观异常的地震的时空特征规律。

1 具有宏观异常的地震的次数统计

1.1 资料选取范围

以《中国震例》为主要参考资料。

前兆观测资料的统计范围:规定 $M_s \geq 7.0$ 地震距震中500km以上、 $6.0 \leq M_s < 7.0$ 地震距震中300km、 $5.0 \leq M_s < 6.0$ 地震距震中200km,作为定点观测台网前兆观测资料的统计范围。

地震前兆异常的分类:对分析确定的地震前兆异常,按时间发展进程,把异常分为4个阶段:L—长期趋势背景异常,出现在地震前5年以上;A—中期趋势背景异常,出现在震前0.5~5.0年;B—短期异常,震前延续1~6个月;C—临震异常,震前1个月内(张肇诚等,2013)。

1.2 具有异常、宏观异常的地震次数统计

中国大陆1966~2002年间,共计发生5级以上地震1576次(范围:17.0°~55.0°N,70°~150°E)。其中,被《中国震例》辑录的有异常的震例共202次,仅占全部地震的12.82%。这202次有异常的震例中,震级5.0~5.9的134次,6.0~6.9的52次,7级以上的16次(表1)。

表1 1966~2002年间5级以上地震出现宏观异常的比例

| 震级范围 | 中国大陆发生地震次数 | 有异常的地震次数 | 出现宏观异常地震次数 | 有宏观异常的地震占异常地震比例/% |
|---------|------------|----------|------------|-------------------|
| 5.0~5.9 | 1279 | 134 | 40 | 29.85 |
| 6.0~6.9 | 252 | 52 | 22 | 42.31 |
| 7.0级以上 | 45 | 16 | 13 | 81.25 |

202次震例中,75次地震有宏观异常的介绍。记录到宏观异常的最小震级为5.0。一定震级范围内,出现宏观异常的地震次数及比例见表1。由表1可知,随着震级的增大,出现宏观异常的地震比例也在增大。由此可见,宏观异常可能是破坏性地震($M_s \geq 5$)特有的前兆异常现象。

2 宏观异常数量与震级的关系

宏观异常数量与震级之间的对应关系见表2。表2中选择了宏观异常较有代表性的18次地震,除本文中所举震例以外,《中国震例》范围之外出现的典型地震也有所涉及,如2008年3月21日新疆于田7.3级地震和2008年5月12日四川汶川8.0级地震等较有影响的地震(中国地震局监测预报司,2010;高小其等,2009;陈立德等,1979;付虹等,2003)。

表 2 地震震级大小与宏观异常数量对比

| 发震时间 (年-月-日) | 地点 | 震级 | 宏观异常数量 |
|-----------------|----------|------------|--------------|
| 1976-07-28 | 河北唐山 | 7.8 | 2202 起(动物)以上 |
| 1975-02-02 | 辽宁海城 | 7.3 | 1500 起 |
| 1976-08-16 | 四川松潘 | 7.2 | 1270 起 |
| 2008-03-21 | 新疆于田 | 7.3 | 1095 起* |
| 1976-05-29 | 云南龙陵 | 7.3 | 255 起# |
| 1988-11-06 | 云南澜沧-耿马 | 7.6 7.2 | 344 起# |
| 1970-01-05 | 云南通海 | 7.7 | 140 起# |
| 1989-04-16 | 四川巴塘震群 | 6.7 | 80 起(动物)以上 |
| 1976-11-07 | 盐源-宁蒍 | 6.7 | 110 起以上 |
| 1981-01-24 | 四川道孚 | 6.9 | 51 起 |
| 1979-03-15 | 云南普洱(磨黑) | 6.8 | 20 起 |
| 1985-04-18 | 云南禄劝 | 6.3 | 57 起 |
| 1983-11-07 | 山东菏泽 | 5.9 | 157 起 |
| 1988-01-10 | 云南宁蒍 | 5.5 | 23 起 |
| 1989-11-20 | 重庆江北 | 5.2 5.4 | 19 起(动物)以上 |
| 1999-11-29 | 辽宁海城-岫岩 | 5.4 5.1 | 14 起 |
| 1996-02-03 | 云南丽江 | 7.0 | 3 起 |
| 2008-05-12 | 四川汶川 | 8.0 | 44 起☆ |

注:* 来自高小其等(2009)文献;# 来自付虹等(2003)文献;☆ 来自《地震异常宏观摘编》(中国地震局监测预报司,2010)

由表 2 可见,总的来说,宏观异常数量越多,则未来发生地震的震级越大,宏观异常的范围也越大。7.0 级以上地震,宏观异常达到数百至上千起;6.0~6.9 级地震,宏观异常从几十至上百起;5.0 级以上地震,宏观异常为几至十几起不等。

但从表 2 还是看到,四川汶川 8.0 级地震宏观异常仅有 44 起,云南丽江 7.0 级地震宏观异常仅有 3 起,宏观异常数量极少,与其震级不成比例,影响的因素是什么? 我们分析认为,一些地震宏观异常数量少,除与地震类型有关外,还与地震发生的地点、居民点的分布等多种因素有关。另外,有些地震没展开相关宏观异常的调查,或者调查范围不够全面。汶川地震宏观异常数量少,与极震区未作调查有一定关系。

宏观异常数量与震级的关系可以用图 1 来表示。由图 1 可见,随着震级的增大,震前出现宏观异常的数量总体上呈现增加的趋势。虽然可能某些地震受震源区地质构造、地震机制、震源深度等因素的影响,异常的数量与震级未呈现某种规律的正相关,但总体上震级大的地震震前宏观异常也相对较多。

3 宏观异常类型统计

3.1 宏观异常的类型及数量

75 个有宏观异常的震例中,宏观异常类型有:动物习性、地下水、地声、地光、电磁干扰、地气味、地雾、气候、气象等。各类型宏观异常比例见表 3。

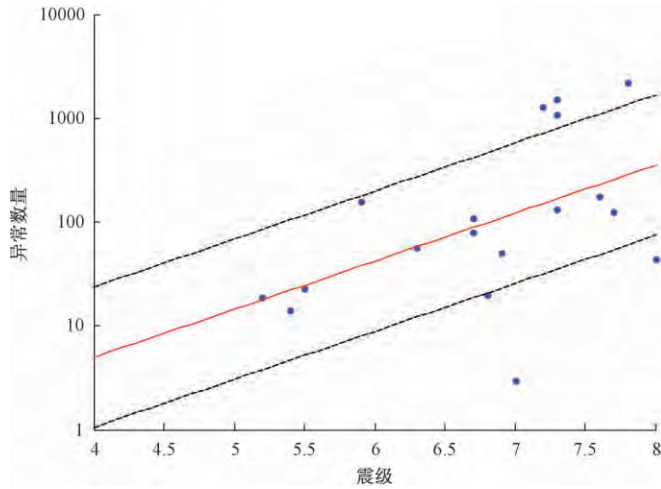


图 1 宏观异常数量与震级关系

实线为震级和异常数量的拟合关系线;虚线为拟合关系的 1 倍方差线

表 3 不同宏观异常类型的地震比例

| 异常类型统计 | 出现地震个数 | 比例 / % | 备注 |
|--------|--------|--------|----------------------------------|
| 动物习性异常 | 58 | 77.33 | 详细统计见表 4 |
| 地下水异常 | 54 | 72.00 | |
| 地象异常 | 27 | 36.00 | 地声 17 个,地光 18 个,电磁 5 个,地气味地雾 8 个 |
| 气象异常 | 9 | 12.00 | 中期气候异常 4 个,短期异常地温气温 2 个 |
| 其他 | 3 | 4.00 | 石油井、植物异常以及其他 |

由表 3 可见,动物习性异常和地下水异常出现最多,所占比例分别为 77.33%、72.00%。此外,地象异常也比较普遍,气候异常则表现为一至几年的大面积干旱等中期异常。其中动物及地下水类型细化分类见表 4。

表 4 地震前出现各类地下水及动物宏观异常的地震个数

| 地下水异常 (53 个地震) | 水位升降 | 发浑 | 翻花冒泡 | 变色 | 流量改变 | 自流、断流 | 变味 | 油花 | 水温 | 响声 |
|-------------------|-------------------|----|------|----|--------------|-------|----|----|----|----|
| | 39 (升 24、降 15) | 31 | 26 | 26 | 16 (井喷 2) | 14 | 14 | 7 | 7 | 4 |

| 动物异常 (52 个地震) | 小动物 (计 37) | | | 穴居 (计 32) | | | 家畜 (计 32) | | 大牲畜 | 家禽 | 鱼类 | 鸟类 | 鸽子 | 大动物 | 蜂 | 蚁 | 其他 |
|------------------|---------------|----|---|--------------|----|---|--------------|----|-----|----|----|----|----|-----|---|---|----|
| | 狗 | 猫 | 兔 | 鼠 | 蛇 | 蛙 | 猪 | 羊 | | | | | | | | | |
| | 33 | 13 | 3 | 28 | 12 | 3 | 28 | 12 | 35 | 27 | 25 | 13 | 12 | 7 | 3 | 3 | 2 |

注:因 6 个地震未给出动物异常种类,1 个地下水异常无资料,因此动物异常地震按 52 个、地下水异常地震按 53 个进行统计

由表 4 可见,在动物异常中,52 个地震中动物有异常反应的次数由多到少排列,依次为家养小动物、家养大牲畜、穴居类、家畜、家禽、鱼类、鸟类、鸽及大动物。小动物主要指家养的猫、狗、兔等,大牲畜指马、牛、驴、骡,大动物指野生的虎、狮、鹿、熊、野猪、狐狸等,家畜指猪和羊,家禽则指鸡、鸭、鹅,鸽子主要为家养,与人类关系密切,异常较易观察,因此与其他

鸟类分开。其他类则指蚯蚓、蝙蝠、蟑螂等很少出现异常的生物。

小动物中又以狗出现异常为最多,在 33 个地震(占 63.46%)前有异常反应,穴居动物中老鼠和家畜中猪出现异常的地震均为 28 个(53.85%),大牲畜有异常的地震达到 35 个。这些动物为家养或者居住环境与人类关系密切,有异常易于发现。鸽子出现异常与鸟类相当,则是一个很好证明。

地下水异常类型,则依次以水位升降(39 个,占 73.58%)、发浑(31 个,占 58.49%)、翻花冒泡、变色为主,其次常见的是流量改变、自流、断流、变味、漂油花、水温变化和出现响声等。

为了更好地表述宏观异常与地震的时空关系,下面对典型的宏观异常加以分析,分别从气象异常、动物异常和地下水异常等方面来统计。

3.2 典型宏观异常类型特征分析

3.2.1 气象异常时空特征分析

我国人民在与地震灾害的长期斗争中,很早就注意到地震与气象变化之间的联系,积累了丰富的震前气象异常的资料。例如,1920 年 12 月 16 日宁夏海原 8.5 级大震前,震区在寒冬出现“四面天边变黄如火焰,晴空气燥,人均感觉焦灼干燥”,便说明了这种现象(唐锡仁,1978)。

气象异常一般表现为中期异常(出现在震前 0.5~5 年),震前几年出现干旱、旱涝或气候回暖,地温升高等异常现象。表 5 为气象宏观异常地震详细统计表,由表 5 可见,震前出现气象异常的地震有 7 个,均为 7 级以上大地震,占全部 7 级以上地震(13 个)的 53.85%。其中中期异常 4 次,为大面积旱涝异常,时间为震前 1~2 年至 5 年。时空关系:一般为大面积长时间干旱,极旱地区则往往是未来的震中区。短期异常气象变化有两次,即海城 7.3 级地震 2、3 个月前出现地温变化,丹东、海城、大石桥等地,曾观测到冻土减少,地下 80cm 的温度较常年有所升高。青海共和 7.0 级地震前 18 天出现增温降压现象。其他气象异常,则表现为短时的天气变化,如震前大风或天气异常。

唐锡仁(1978)在研究探讨水旱与地震关系的过程中认为,大涝时水对地面的压力加大,同时增加了水向断裂中的渗透,起着滑动作用,这些都能促使断裂活动加剧;而大旱时地上、地下的水都减少,使岩石、土层的物理性质发生变化。由于旱、涝对地震有触发作用,所以深入研究它们之间的关系,对于大地震的预报预测工作,具有一定的意义。

3.2.2 动物异常特征

地震前,许多动物出现异常反应,如情绪焦躁不安、惊慌恐惧、不思饮食、乱蹦乱跳、乱飞乱窜等等。对动物这种震前异常反应,我国历史上从唐代开始便有记载。如 1815 年山西平陆强烈地震后,《虞乡县志》中便明确指出“牛马仰首,鸡犬声乱,即震验也”(唐锡仁,1978)。

3.2.2.1 动物宏观异常在震前出现的时间规律

对 1966~2002 年的 75 次宏观异常统计发现,有动物异常的地震数为 58 个,占 77.33%。这些动物异常出现的时间为震前 2、3 个月至震前几天、数小时,均为短期异常和临震异常。动物异常出现的时间规律统计见表 6。由表 6 可见,动物异常出现的时间为 10 天及以上的地震有 11 个,占 18.96%,其中 7 级以上地震 7 个,占 63.64%。10 天以内的临震异常达 47 个,占 81.04%,其中 7 级以下的地震有 41 个,占 87.23%。结果表明,动物异

常大部分属于震前 10 天以内出现的短临异常;动物异常出现的时间越早,则未来可能发生的地震震级越大。

表 5 气象宏观异常地震详细表

| 发震时间 (年-月-日) | 地点 | 震级 | 异常现象 | 异常范围 | 气象异常出现时间 |
|-----------------|---------|---------|--------------|--|--|
| 1970-01-05 | 云南通海 | 7.7 | 旱涝 回暖 | 云南东部曾出现了明显的涝、旱振荡,中心在未来震中附近。 | 震前 1~2 年 震前 2 个月和 1~5 天 |
| 1976-07-28 | 河北唐山 | 7.8 | 干旱 地温 | 干旱起始于 1972 年,华北及渤海地区,唐山附近为大旱区中三个特旱带之一。 | 震前 5 年 震前 5 天唐山等地地温异常升高 |
| 1985-08-23 | 新疆乌恰 | 7.4 | 干旱 | 乌恰地区 | 1983~1984 年震前 2 年出现历史上少见的干旱 |
| 1988-11-06 | 云南澜沧-耿马 | 7.6、7.2 | 涝旱剧变 | 全省 22 个以上台站 | 震前 1 年 1987 年起全省有 22 个以上的台站出现涝旱异常 |
| 1975-02-04 | 辽宁海城 | 7.3 | 地温变化、 冬暖 | 丹东、海城、大石桥等地 | 震前 2~3 个月;冻土减少,地下 80cm 的温度较常年有所升高;高温低压,人普遍感到冬暖 |
| 1990-04-26 | 青海共和 | 7.0 | 气象异常 气温气压 | 震中区 | 震前 18 天出现增温降压现象;冷空气活动气压上升,但温度一直保持上升,冷空气过后气压下降,最高温度由 9.2℃ 上升到 14.4℃ |
| 1973-02-06 | 四川炉霍 | 7.6 | 大风 | 鲜水河断裂 | 震前几小时风尘大作,风向紊乱,上下乱窜 |
| 补充 1937-08-01 | 山东菏泽 | 7.0 | 各种气象异常,大风成灾 | 极震区 | 次日黑红风大作、白昼为暝、大风成灾。震前一天下午,空中突然雾气昭昭,自古罕见。临震前极震区普遍有暴雨。 |

表 6 动物宏观异常出现的时间

| 动物异常 出现时间 | 出现动物异常的地震个数 | 比例 /% | 7 级及以上 地震个数 (比例) | 7 级以下 地震个数 (比例) |
|--------------|-------------|-------|---------------------|--------------------|
| 震前 10 天及以上 | 11 | 18.96 | 7 (63.64%) | 4 (36.36%) |
| 震前 10 天以内 | 47 | 81.04 | 6 (12.76%) | 41 (87.23%) |

3.2.2.2 各类动物异常最早出现时间的统计

根据《中国震例》(张肇诚,1988、1990a、1990b、1999、2000;陈棋福,2002a、2002b、2002c、2008)及其他资料(中国地震局监测预报司,2010;高小其等,2009;陈立德等,1979;付虹等,2003;严武建,2011,刘五洲,1998),筛选出了 9 次典型震例,皆为动物异常最早出现时间早于 10 天的大地震。其中 7 级以上地震 7 次,包括 1937 年 8 月 1 日菏泽 7.0 级、1975 年 2 月 4 日辽宁海城 7.3 级、1969 年 7 月 18 日渤海 7.4 级、1970 年 1 月 5 日云南通海 7.7 级、1976 年 8 月 16 日四川松潘 7.2 级、1985 年 8 月 23 日新疆乌恰 7.4 级、1974 年 5 月 11 日云南大关 7.1 级,另外 2 次为动物异常明显的 6 级以上地震或震群,为 1989 年 4 月 16 日四川巴塘 6.7 级震群及 1976 年 11 月 7 日四川盐源-宁浪 6.7 级地震。

根据统计结果进行综合分析后发现,最早出现动物异常的一般是蛙、鼠、蛇等穴居动物,异常时间可长达 2 个多月;其次是鱼类和鸟类,异常最早出现在震前 46 天,多数在震前十几天至震前;狗异常出现在震前 2 个多月至震前;鸡、鸭异常出现在震前 20 多天至震前;大牲畜、马、牛、驴、骡等异常一般为震前 1~3 天出现,个别 4~6 天;虎、大熊猫、熊、鹿等大动物多数在震前 1~2 天出现异常;除猫、狗外的其他小动物及蚯蚓、蝙蝠等较特殊类异常则有出现在震前 2 个多月或十几天的,但出现此类异常的地震次数较少。动物异常最早出现时间统计见图 2。

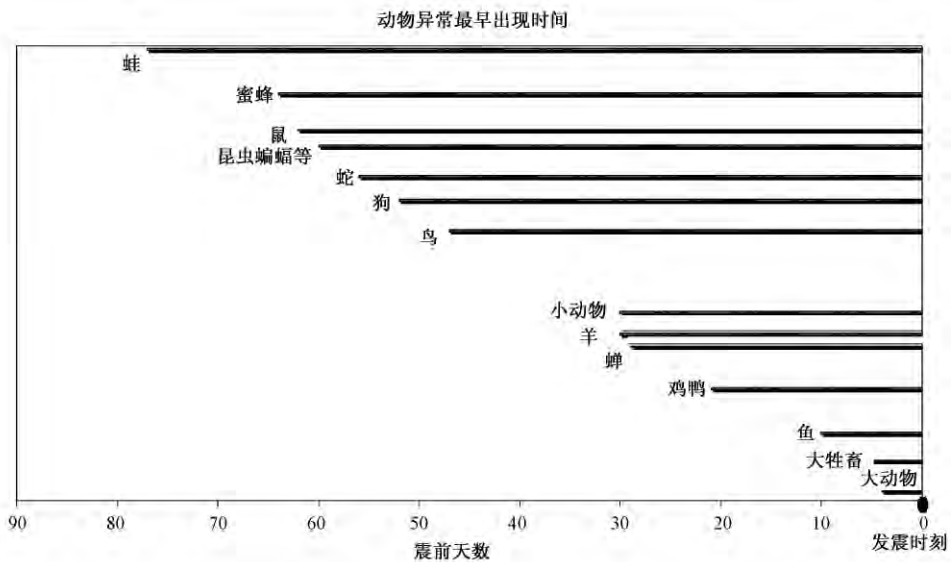


图 2 动物异常最早出现时间统计

在各类动物异常出现的时间上,穴居动物如蛙、蛇、老鼠出现异常反应较早,其次是水中鱼类、鸟类、狗、家禽、家畜等以及其他小动物,出现异常较晚而接近临震的动物是大牲畜和大动物,如牛、马、鹿等,几乎都是在震前几天或当天出现异常。

动物出现异常的时间有早有晚,其原因很大程度上可能与生活环境相关。穴居动物在冬天栖息于地下,对来自于地下震区传出的信息比较易于发觉,水里动物可能也是如此,因此蛇、老鼠、鱼类,一般比其他动物异常反应时间早。而地上动物可能是通过空气或其他介质传播来的信息,间接得到某种刺激,故异常出现时间晚一些。所以可以做这样的推论:动物感觉器官越近于地面,直至地下者,其对地震信息越易感受,因而异常反应越早。也就是说,地下动物较地上的反应早,深水的动物比浅水的反应早,水生动物较陆生的反应早,形体小的动物较形体大的反应早(中国地震局监测预报司,2010)。

3.2.2.3 动物异常空间分布特征

动物异常空间分布特征见表 7。动物异常多发生在震中区、极震区,58 个有动物宏观异常的地震中,有 20 个地震动物宏观异常出现在震中区或极震区,出现在距震中 100km 范围以内的地震 22 个,两者所占比例合计 72.41%;分布在 100~300km 的 7 个地震(12.07%)均为 6 级以上;距震中 300km 以上的 2 个和沿构造带分布的 2 个,均为 7 级以上地震。大地

震一般受构造线控制,沿断裂带分布。由此可见,动物异常的空间分布,对未来震中有指示意义。

表 7 动物宏观异常的空间分布

| 空间分布 | 地震数量 | 比例 / % | 合计 / % |
|-----------------|------|--------|--------|
| 震中区或极震区 | 20 | 34.48 | 72.41 |
| 距震中 100km 以内 | 22 | 37.93 | |
| 距震中 100 ~ 300km | 7 | 12.07 | 12.07 |
| 距震中 300km | 2 | 3.45 | 12.07 |
| 沿构造带分布 | 2 | 3.45 | |
| 沿高烈度区分布 | 3 | 5.17 | |

至于为什么动物异常有上述的时空分布特征,一些学者认为,可能与震前自然环境因素的时空变化有一定的联系。在长期的进化过程中,动物为了适应不断变化的生存环境,便形成了一些特别敏锐的感觉器官。因此,动物可以说是一种“活仪器”,它可以通过某些感觉器官,敏锐地感觉到震前从地壳深部传来的声、光、电、磁、热、气等物理和化学变化,从而表现出一些“异乎寻常”的行为。震前其它短临前兆与动物异常的对比可说明上述分析。震前,自然电场、电磁波、地下水、地气、地声、地光等短临异常与动物异常有大体相似的时间分布规律,即几乎均在震前一天内达到峰值(刘五洲等,1998;车用太等,2003;刘成龙等,2004)。

3.2.2.4 动物异常数量随时间的变化规律

各种动物异常累计总量,初期少,后期多,随着时间的延续,出现异常的动物种类和异常总量不断增加,直至临震当天,异常达到高潮。或者异常分阶段集中出现,但总体呈现增加的趋势,于震前数天尤其是 1~3 天,宏观异常数量达到高潮,集中暴发,大动物普遍表现异常而且剧烈程度也明显增加。由此可见,动物异常随时间的变化,对未来发震时间可能有一定的指示意义。

3.2.3 地下水宏观异常特征

大地震发生之前,震区范围的地下含水岩层在构造运动过程中,由于受到强烈挤压或拉伸,水从压力大的地方向压力小的地方流动,原有地下水的运动状况遭到破坏,从而使广大区域的地下水位发生异常变化,表现为水位升高或降低。水位的升降与泉水流量的增减与井泉所在区应力-应变状态调整密切相关(2011,严武建等)。由此可见,震前地下水位发生的异常变化,是一种很重要的地震前兆现象。

对 75 个有宏观异常的地震统计发现,出现地下水宏观异常的地震有 54 个,占总宏观异常地震(75 个)的 72%。异常类型包括:地下水位升降、地下水自流、断流、流量改变(井泉干枯或井喷、河水上涨);翻花、冒泡、变浑;漂油花、变色(变绿、灰紫色、乳白色、发黄、变黑)、变味(有草药味、变苦、变咸);出现响声、地下水温升高、涌出沙子、水(水库)发浑、翻泥浆等多种。

3.2.3.1 地下水宏观异常数量及其时空分布

根据对 54 个地下水宏观异常震例的统计,地下水宏观异常的时间和空间分布规律见表 8。

表 8 有地下水宏观异常的地震的时空分布

| 项目 | 地震数量 | 比例/% | 距震中 100km 内地震数量 | 距震中 100km 内地震比例/% |
|------|------|-------|-----------------|-------------------|
| 中期异常 | 6 | 11.11 | 5 | 9.26 |
| 短期异常 | 15 | 27.78 | 10 | 18.52 |
| 临震异常 | 33 | 61.11 | 28 | 51.85 |
| 合计 | 54 | 100 | 43 | 79.63 |

由表 8 可见,地下水宏观异常出现在震前 6 个月(中期异常)之前的地震有 6 个(均处在 6~14 个月之间),其中 5 个地震前宏观异常出现在距震中 100km 内;震前 1~6 个月的短期异常地震个数为 15 个(均在距震中 268km 以内),其中 10 个在距震中 100km 内;异常出现在 1 个月内的地震个数为 33 个,其中 28 个均在距震中 100km 以内,其余 5 个在 100~200km 内。地下水宏观异常出现在距震中 100km 范围内的地震比例高达 79.63%。

由上述结果可见,地下水宏观异常主要反映为短期异常和临震异常,多数发生在震前 1 个月以内,且多数集中在距震中 100km 内。在空间分布上,震前地下水异常点大都沿相关构造带展布,有明确说明沿构造带分布的地震有 5 个。

3.2.3.2 地下水异常出现的时间与震中距的关系

从 54 个地下水异常地震中,选取了 44 个异常距离震中有明确范围的地震,其中异常发生在震中区的按震中距 100km 内统计,极震区的按 0km 统计。横纵坐标取对数,绘出异常出现的时间与震中距的关系(图 3)。由图 3 可见,异常出现的时间与距震中的远近有一定的相关性。

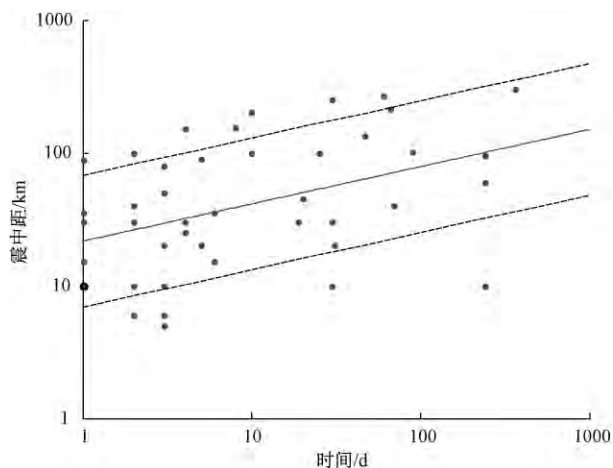


图 3 地下水宏观异常出现时间与震中距的关系

实线为异常出现时间和震中距的拟合关系线;虚线为拟合关系的一倍方差线

3.2.3.3 异常出现的时间与震级的关系

统计发现地下水宏观异常震前出现时间超过 6 个月的 6 个地震中有 3 次 5 级地震、2 个 7 级以上地震、1 个 6 级地震(表 9)。异常出现的时间与震级并不成比例。

表 9 地下水异常出现时间大于 6 个月的地震

| 发震时间 (年-月-日) | 地点 | 震级 | 异常出现在震前的时间 |
|-----------------|---------|-----|------------|
| 1976-08-16 | 四川松潘 | 7.2 | 1 年 |
| 1987-08-10 | 宁夏灵武 | 5.5 | 8 个月 |
| 1992-12-28 | 云南永胜 | 5.0 | 半年 |
| 1992-12-22 | 云南永胜 | 5.2 | 半年 |
| 1996-12-21 | 四川白玉-巴塘 | 5.5 | 14 个月 |
| 2001-10-27 | 云南永胜 | 6.0 | 10 个月、8 个月 |
| 1996-02-03 | 云南丽江 | 7.0 | 1 年多 |

4 小结

本文以《中国震例》(张肇诚, 1988、1990a、1990b、1999、2000; 陈棋福, 2002a、2002b、2002c、2008) 为主要参考资料, 对其所辑录的 202 次地震中 ($M_s \geq 5.0$) 有宏观异常的 75 次地震进行了统计分析, 对宏观异常出现概率、异常数量等与震级的关系进行了初步分析。同时, 对异常的时空分布特征及其与发震时刻、震中位置的关系进行了统计分析, 总结如下:

- (1) 随着震级的增大, 震前出现宏观异常的概率逐步增大。
- (2) 宏观异常数量越多, 未来发生地震的震级越大, 宏观异常的范围也越大。
- (3) 典型宏观异常类型有气候、气象异常、动物异常、地下水异常和地象异常等。气象异常一般表现为中期旱涝异常和短期气温、地温异常。
- (4) 动物异常一般为短期异常和临震异常, 震级越大, 动物异常出现的时间越早; 异常空间范围在距震中 100km 内的比例占 72.41%; 各类动物异常出现的顺序依次为穴居动物、水中鱼类、鸟类、家禽、家畜等, 大牲畜和大动物集中在震前两、三天至发震当天。
- (5) 地下水异常也主要表现为短期异常和临震异常, 多数发生在震前 1 个月以内; 空间范围多数集中在距震中 100km 内。
- (6) 异常数量随时间的变化表现为, 初期异常数量少, 随着时间的推移, 异常不断增多, 越近临震, 异常数量越多, 直到发震前两、三天至当天达到高潮。

宏观异常在临震预测中的作用是显而易见的, 然而利用宏观异常实现成功的临震预测又非常困难。尤其是地震宏观异常震前多分散在各地各人手中, 分析人员很难在发震前获得宏观异常的资料, 不能及时分析这些异常的种类及其配套关系、时间与空间分布、时空演化等可能与未来地震活动密切相关的特征(和胜利, 2008; 车用太等, 2012)。因此, 准确识别震前宏观异常, 对其系统地分析研究, 建立专群结合的地震宏观异常的分析与研究队伍, 重振与强化我国地震宏观异常观测、分析与研究工作, 对于提高我国地震临震预测的水平非常必要。

参考文献

- 车用太, 2008, 地震与宏观异常的关系, 城市与减灾, 11(4), 6~7。
 车用太、王广才、刘成龙等, 2003, 2002 年四川凉山州地区大规模宏观异常及其分析, 四川地震, (3), 14~19。
 车用太、鱼金子、刘成龙, 2012, 地震宏观异常与临震预测成功的希望, 国际地震动态, (6), 138。
 陈立德、赵维城, 1979, 一九七六年龙陵地震, 35~41, 北京: 地震出版社。

- 陈棋福,2002a,中国震例(1992~1994),北京:地震出版社。
- 陈棋福,2002b,中国震例(1995~1996),北京:地震出版社。
- 陈棋福,2002c,中国震例(1997~1999),北京:地震出版社。
- 陈棋福,2008a,中国震例(2000~2002),北京:地震出版社。
- 陈棋福,2008b,中国震例(2000~2002),北京:地震出版社。
- 付虹、万登堡、张立,2003,云南地区地震宏观异常特征研究,地震研究,26(3),209~216。
- 高小其、寇大兵、宋和平等,2009,2008年3月21日于田7.4级地震宏观异常的调查与分析,内陆地震,23(3),321~328。
- 和胜利,2008,地震宏观异常在地震临震预报中的应用,中国西部科技,7(5),4~5。
- 刘成龙、车用太、王广才,2004,大规模宏观异常的双重性及其在地震预报中的意义,地震地质,26(2),340~346。
- 刘五洲、车用太、林元武等,1998,张北-尚义地震宏观异常的震后调查及分析,地震地质,20(2),183~188。
- 唐锡仁,1978,中国地震史话,33~44,北京:科学出版社。
- 严武建、朱朝霞、李晓峰等,2011,汶川8.0级地震前后陇南地区地震宏观异常调查及分析,西北地震学报,33(1),67~70,90。
- 张肇诚,1988,中国震例(1966~1975),北京:地震出版社。
- 张肇诚,1990a,中国震例(1976~1980),北京:地震出版社。
- 张肇诚,1990b,中国震例(1981~1985),北京:地震出版社。
- 张肇诚,1999,中国震例(1986~1988),北京:地震出版社。
- 张肇诚,2000,中国震例(1989~1991),北京:地震出版社。
- 张肇诚、陈棋福、郑大林,2013,震例总结研究探讨(DB/T 24-2007《震例总结规范》标准解读),35~36,北京:地震出版社。
- 中国地震局监测预报司,2010,地震宏观异常摘编,1~2,北京:地震出版社。

Statistical analysis of the relationship between macroscopic anomaly and earthquake

*Lu Shuangling*¹⁾ *Qu Bao'an*¹⁾ *Cai Yin*²⁾ *Zhang Ming*¹⁾ *Zhao Rui*²⁾ *Yu Cheng*²⁾
*Li Bo*²⁾

1) Tai'an Fiducial Seismic Station, Tai'an 271000, Shandong, China

2) Earthquake Administration of Shandong Province, Jinan 250014, China

Abstract Macroscopic anomalies from "Earthquake Cases in China" are statistically analyzed in the article. The conclusion is as follows: The probability of macroscopic anomalies arises before earthquake increases with magnitude. The larger the earthquake magnitude is, the more the macroscopic anomalies arise. Arise time law of macroscopic anomalies as follows: There are few macroscopic anomalies at the beginning. With time advances the number of macroscopic anomalies increases. Increase of macroscopic anomaly quantity accelerates impending earthquake and reaches climax when earthquake breaks out. The distribution rule of macroscopic anomalies is as follows: macroscopic anomalies arise at epicenter at the beginning and spreads out. Finally macroscopic anomalies explosively arise at the epicenter area.

Key words: Macroscopic anomaly Earthquake relationship Animal anomaly Ground water anomaly