

# 地下流体长趋势异常变化与强震预测的初步研究<sup>\*</sup>

陆明勇<sup>1</sup>, 刘耀炜<sup>2</sup>, 范雪芳<sup>3</sup>, 曹玲玲<sup>4</sup>, 高小其<sup>5</sup>, 官致君<sup>6</sup>, 张素欣<sup>7</sup>,  
刘翔<sup>8</sup>, 李民<sup>1</sup>, 牛安福<sup>9</sup>, 丁风和<sup>10</sup>, 朱自强<sup>9</sup>, 房宗绯<sup>1</sup>, 赵丽葵<sup>1</sup>

(1. 中国地震应急搜救中心, 北京 100049; 2. 中国地震局地壳应力研究所, 北京 100085;  
3. 山西省地震局, 太原 030021; 4. 甘肃省地震局, 兰州 730000; 5. 新疆维吾尔自治区地震局, 乌鲁木齐 830011;  
6. 四川省地震局, 成都 610041; 7. 河北省地震局, 石家庄 050021; 8. 云南省地震局, 昆明 650224;  
9. 中国地震台网中心, 北京 100045; 10. 内蒙古自治区地震局, 呼和浩特 010051)

**摘要:**以华北、川滇、青藏东北缘、新疆及邻区等重点地区的地下流体观测点为基础, 选择水位、水氡、水温、汞等长期观测资料, 进行了历史强震震例的地下流体长趋势资料处理、干扰排除和异常提取的方法和技术的研究, 初步建立了分区的强地震地下流体长期预测指标并探讨其异同。

**关键词:**地下流体; 长趋势异常变化; 指标; 强震; 预测

**中图分类号:** P315.72<sup>+3</sup>

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-0666(2009)04-0323-10

## 0 引言

地震工作者对大量的观测资料研究后发现, 地震前特别是强震前地下流体经常出现长趋势变化, 其范围广、时间早(梅世蓉等, 1993; 国家地震局预测预防司, 1997; 车用太等, 1997; 杜方等, 2008; 陆明勇等, 2009)。如1998年1月10日张北6.2级地震前, 离震中420 km的河北昌黎并于1994年就开始观测到地下流体长趋势变化; 1976年7月28日唐山7.8级大地震前, 该地区地下流体在以往多年基本平稳的背景上, 从1973年初开始出现大范围的趋势性转折变化, 如地下水水位回升或下降减缓等(陆明勇等, 2009)。过去地下流体学科的研究重点为流体的中短期和短临异常变化(刘耀炜等, 2000; 车用太等, 2000; 邵永新等, 2001; 黄辅琼等, 2002; 张立等, 2003; 陆明勇等, 2005; 陆明勇, 2006)。目前, 对强震前地下流体长趋势变化异常已有一定研究, 如探讨强震前地下流体长趋势变化形态、演化特征及其产生机理(陆明勇等, 2009), 但对地下流体长趋势资料处理、干扰排除和异常提取的方法和技术研究甚少, 强震地下流体长期预测指标也还未建立。我们以华北、川滇、青藏东

北缘、新疆及邻区等重点地区的地下流体观测点为基础, 选择水位、水氡、水温、汞等长期观测资料, 进行历史强震(东部地区地震取6级、西部地区地震取7级)震例的地下流体长趋势资料的处理, 并初步建立了分区的强地震地下流体长期预测指标。

## 1 资料收集、整理及干扰排除

### 1.1 研究区域及强震的确定

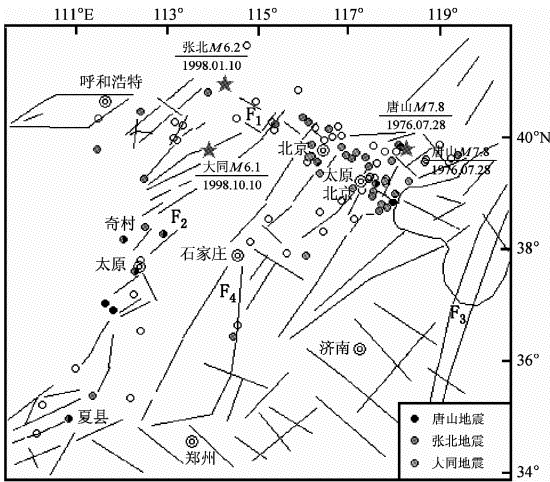
#### (1) 研究区域的确定

华北地区(北京、天津、河北、山西、内蒙古中部等)是我国大陆内部几个地震活动区之一, 而华东地区构造活动最强烈、地震最活跃, 包括阴山—燕山—渤海构造带、山西构造带、河北平原构造带以及郯庐构造带中北段。近半个世纪以来该地区发生了多次6级以上强震, 如1976年的唐山7.8级地震、1998年的张北6.2级地震等(图1)。

新疆及周边地区断裂构造十分发育, 主要有天山构造带、昆仑山断裂带、阿尔金断裂带和阿勒泰构造带。地震活动主要分布在构造带上, 如1996年昆仑山7.1级地震、1997年伽师6级强震群、1997年玛尼7.5级地震、2001年昆仑山口西8.1级地震、2008年于田7.3级地震等(图2)。

<sup>\*</sup> 收稿日期: 2009-02-27.

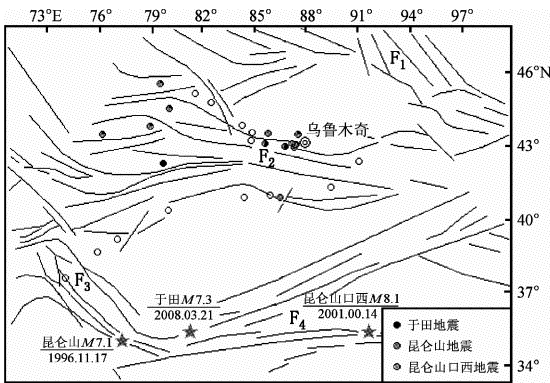
基金项目: “十一五”国家科技支撑项目(2006BAC01B02-03-04, 2006BAC01B02-02-01)资助.



F<sub>1</sub>: 张渤断裂带; F<sub>2</sub>: 山西断裂带;  
F<sub>3</sub>: 郅庐断裂带; F<sub>4</sub>: 河北断裂带

图 1 华北地区流体观测资料与长趋势变化及所选强震分布图

Fig. 1 The distribution map of observational data and long-time trend change of subsurface fluid and selected strong earthquakes in North China



F<sub>1</sub>: 阿勒泰断裂带; F<sub>2</sub>: 天山断裂带;  
F<sub>3</sub>: 阿尔金断裂带; F<sub>4</sub>: 昆仑山断裂带

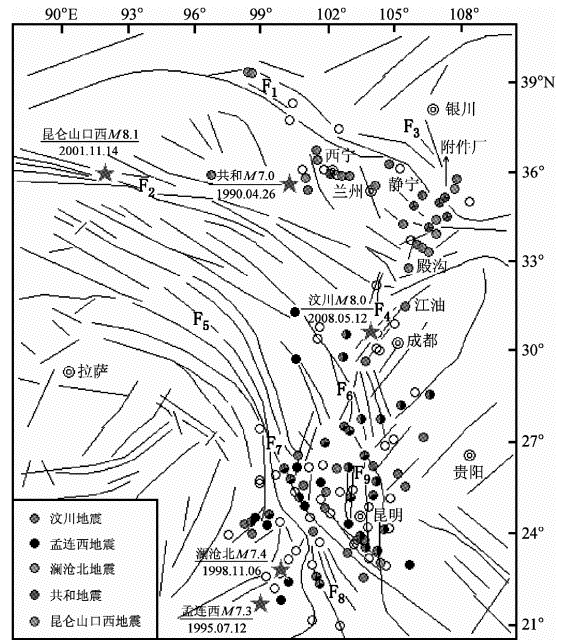
图 2 新疆及邻近地区流体观测资料与长趋势变化及所选强震分布图

Fig. 2 The distributive map of observational data and long-time trend change of subsurface fluid and selected strong earthquakes in Xinjiang and its neighboring region

甘青地区的东部包括南北地震构造带北段部分地区。南北地震构造带是我国的中枢构造带，活动十分强烈，主要断裂带包括龙首山断裂带、北祁连山断裂带、贺兰山东麓断裂带及渭河地堑等断裂带；甘青地区中西部位于青藏高原东北缘，是晚新生代构造变形最强烈的地区，主要包括东昆仑断裂、祁连山—海原断裂和金沙江断裂带。近年来该地区及附近发生的强震有 1990 年共和 7.0 级地震、2001 年

昆仑山西口 8.1 级地震（图 3）。

川滇地区位于南北构造带的中、南段，区内交织着多个规模宏大的 NW 向、EW 向、EN 向及 SN 向断裂带；中段主要有鲜水河断裂带。安宁河—则木河断裂带和龙门山断裂带；南段主要有红河断裂带、曲江断裂带及小江断裂带（图 3）。这些断裂带构造活动强烈，强震发生频繁，如 1976 年松潘平武 7.2 级地震、1988 年澜沧北 7.4 级地震、1995 年孟连西 7.3 级地震、1996 年丽江 7.0 级地震等（图 3）。



F<sub>1</sub>: 祁连山—海原断裂带; F<sub>2</sub> 东昆仑断裂带; F<sub>3</sub> 贺兰山东麓断裂带;  
F<sub>4</sub> 龙门山断裂带; F<sub>5</sub> 鲜水河断裂带; F<sub>6</sub> 安宁河—则木河断裂带;  
F<sub>7</sub> 红河断裂带; F<sub>8</sub> 曲江断裂带; F<sub>9</sub> 小江断裂带

图 3 川滇—甘青地区流体观测资料与长趋势变化及选取强震分布图

Fig. 3 The distribution map of observational data and long-time trend change of subsurface fluid and selected strong earthquakes in Chuandian-Ganqing region

因此，华北、川滇、青藏东北缘、新疆等地区为中国大陆强地震多发地区，选择上述地区进行地下流体长期动态特征与强震趋势预测研究可以达到预期的目标。

(2) 强震确定

虽然华北、川滇、青藏东北缘、新疆及邻区等均为中国大陆强震多发地区，但它们之间仍有区别，即东部地区地震的强度较西部地区低。为了使每个研究区均有一定数量的强地震，东部取 6 级以上地震，西部取 7 级以上地震。（表 1、图 1~3）。

表 1 不同地区强震研究选取统计表

Tab. 1 The cartogram of studied strong earthquakes in different regions

地 区	地震			备注
	发震时间	地点	震级	
华北地区	1976 - 07 - 28	唐山	7. 8	①系列地震以最大地震为研究对象； ②系列地震有两个以上强震，以开始发生的强震为研究对象。
	1989 - 10 - 19	大同	6. 1	
	1998 - 01 - 10	张北	6. 2	
甘青地区	1990 - 04 - 26	共和	7. 0	
	2001 - 11 - 14	昆仑山西口	8. 1	
新疆地区	1996 - 11 - 19	昆仑山	7. 1 级地震系列 (1997 - 04 - 11 伽师 6. 6、1997 - 11 - 18 玛尼 7. 5)	
	2001 - 11 - 14	昆仑山口西	8. 1 级地震系列 (2003 - 09 - 27 俄罗斯 7. 9)	
	2008 - 03 - 21	于田	7. 3	
云南地区	1988 - 11 - 6	澜沧北	7. 4 级地震系列	
	1995 - 07 - 12	孟连西	7. 3 级地震系列	
四川地区	2008 - 05 - 12	汶川	8. 0	

1.2 资料收集

我国大规模的地下流体观测始于 20 世纪 60 年代末和 70 年代初，目前已形成了较为完整的前兆观测体系。本研究，我们收集了华北地区、甘青地区、川滇地区、新疆地区（包括哈萨克斯坦部分地区）自开展观测以来特别是 20 世纪 80 年代以来的水位、水氡、水温、汞等流体资料的日值、月均值，包括观测时间较长而目前停测的观测资料，资料时间长度至少要求 10 年以上（图 1 ~3、表 2）。

表 2 观测资料统计表

Tab. 2 The cartogram of collected observational data

地 区	地下流体（测项）
华北地区	155
甘青地区	52
新疆地区 (包括哈萨克斯坦部分地区)	55 (新疆：33，哈萨克斯坦：22)
云南地区	106
四川地区	17

1.3 资料长趋势变化干扰的排除

影响地下流体长趋势变化的非地震因素较多，

如洗井、仪器和观测单位的更换、抽液（注液）、突降大雨等。地下流体长趋势变化干扰的排除及观测资料技术评价，实际上就是水点与测项的筛选，即选出有异常的水点与测项，淘汰观测质量差、映震能力弱、具有非地震因素影响的水点与测项，并将非地震影响因素进行标注，这样对观测资料变化有一个基本了解，知道其变化原因，特别是一些大幅度的突变变化（表 3、4）。

表 3 观测资料技术评价标准与方法

Tab. 3 The technical evaluation standard and method of observational data

标准	方法
具有映震良好的地质构造和 水文地质条件	依据文献，做“初选”
观测工作符合规范	查看观测工作记录；绘制出月 均值变化图、数学方法判定 出的异常变化图
环境干扰因素（主要指 人为因素）的影响较少	依据异常与地震关系 好坏，做筛选
有可信的震例	依据与其他前兆观测资料（如 形变）的关系，作筛选

表 4 地下流体观测资料长趋势变化异常提取方法

Tab. 4 The analysis method on long - time trend change abnormality of subsurface fluid observational data

方法名称	判定指标	方法功能	适用条件
从属函数	给定阈值 $\mu, \mu > \mu^i$	突出测值异常趋势速率变化及线性拟合相关程度	测值无明显趋势变化，无明显年周变化
月变差率	依据震例得出判定阈值	给出月均值相对上一年同月的变化率	测值无明显趋势变化
趋势速率	2 倍均方差为判定阈值	突出测值异常趋势速率变化及线性拟合相关程度	无明显年周变化
月均值变化率	——	给出月均值相对一稳定变化时间（10 年以上） 的变化率	具有明显的长趋势动态变化或上述三种 方法均无法有效地提取长趋势动态变化

## 2 长趋势变化资料的处理、异常提取方法

### 2.1 方法

地震因素引起的地下流体长趋势动态变化异常的特征主要为趋势转折、加速、破年变等,有的长趋势动态变化异常在时间方面、变化量方面均比较容易判断,但有的长趋势动态变化异常在这两方面均不容易判断,需要对资料进行处理,然后提取异常。因此,在对收集到的地下流体观测资料进行非地震干扰因素排除后,还要对长趋势变化的资料进行处理并提取异常。由于不同观测点具有不同的动态变化类型,这种动态变化类型常常会受到多种因素诸如构造环境、介质特征、测试条件等影响,因而要准确提取各种动态类型的前兆长趋势变化异常信息,必须采用不同的数学处理方法,滤掉一些不必要的干扰信息,从而凸显异常特征。

所以,对地下流体长趋势变化资料的处理必须采用能够提取趋势转折、加速、破年变等特征的方法。综合分析发现原始曲线法即月均值变化率、趋势速率<sup>①</sup>、月变差率<sup>①</sup>、从属函数<sup>①</sup>等方法对于排除干扰、提取长趋势动态变化异常信息比较实用(表4)。

月均值变化率即观测曲线月均值变化率。由于强震大小不同、观测环境复杂多变等,地下流体前兆观测数据曲线形态变化多样。运用趋势速率、月变差率、从属函数等方法不可能对所有观测曲线均能有效地提取转折、加速、破年变等信息,但有些观测曲线具有明显的长趋势动态变化,运用月均值可以直接提取变化信息。

设月均值观测序列为  $M_j$ , 长趋势动态变化量为  $\Delta M_{\text{chang}}$ , 较长时间内(10年以上)观测曲线的稳定最大变化量为  $\Delta M_{\text{max}}$ , 则月均值变化率定义为:

$$Y_{\text{chang}} = \frac{\Delta M_{\text{chang}}}{\Delta M_{\text{max}}} \quad (1)$$

运用该方法时,观测曲线的长趋势动态变化一定要明显,观测时间要长,不稳定的变化数据要剔除。

### 2.2 长趋势异常变化时间的确定

经过数学处理的地下流体观测资料长趋势变化的特征将发生变化,不利于真实特征即趋势发生时间的确定。所以,本文全部使用原始观测资料的月均值进行长趋势变化时间的判定。

### 2.3 资料处理结果

由西宁水氡月均值变化曲线图及长趋势变化异常提取图(图4)可以看出,通过运用月变差率、趋势速率、从属函数等方法对资料分别处理后发现,在2001年昆仑山口西8.1级地震前几年西宁水氡出现了明显的异常变化(表5~9)。

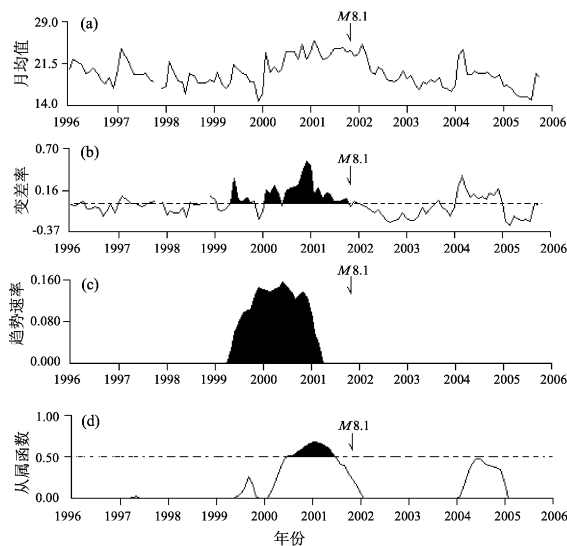


图4 西宁水氡月均值变化曲线图及长趋势变化异常提取图

(a) 月均值; (b) 变差率; (c) 趋势速率; (d) 从属函数

Fig. 4 The monthly mean change chart of Xining water radon and its long-time trend change chart of abnormal analysis

## 3 强地震的预测

前兆异常是地震在孕育、发展、发生过程中产生的物理、化学变化,地震预测是根据前兆异常的变化对未来地震发展趋势进行的判定。因此,通过对强震前地下流体长趋势变化异常资料的处理,可以对强地震进行预测。

地震是地壳在构造应力的长期作用下,应力

表 5 华北地区强震前地下流体长趋势变化情况表

Tab. 5 The long – time trend change situation table of subsurface flow observational data before strong earthquakes in North China

地震	长趋势变化开始时间 超前时间/月	长趋势变化量				震中距 /(km)
		方法	测项与数目	最大异常幅度	异常阈值	
1976 – 07 – 28 唐山 7.8 地震	1973 – 01 ~ 1974 – 07 24 ~ 42	从属函数	河西务、榆堡等 3 项水位	0.601 ~ 0.701	0.5	45 ~ 183
		变差率	西郊气象站水位	0.3343	0	
		趋势速率	北郊气象站、大厂、丰台等 5 项水位	1.000	0.5	
		月均值变化率	管庄、文安 2 项水氦双桥等 11 水位	15.75% ~ 74.39%	—	
1989 – 10 – 19 大同 6.1 地震	1985 – 04 ~ 1986 – 10 36 ~ 54	从属函数	丰南、唐山矿水位	0.798 ~ 0.866	0.5	190 ~ 590
		变差率	W4 水氦, 丰台台水位	0.07 ~ 0.58	0	
		趋势速率	定襄水氦、静乐水位、天船水位 3 项	0.583 ~ 1.000	0.5	
		月均值变化率	双桥、孝义等 4 项水位, 太原水氦	21.35% ~ 68.62%	—	
1998 – 01 – 10 张北 6.2 地震	1993 – 10 ~ 1995 – 12 25 ~ 51	从属函数	大灰厂、静乐等 3 项水位, 定襄、 邯郸 62 项水氦, 怀来 4 水汞	0.638 ~ 0.911	0.5	26 ~ 704
		变差率	奇村、昌黎等 4 项水氦	0.12 ~ 0.20	0	
		趋势速率	三号地、通州等 9 项水位 W4 水汞, 延庆松山、W3 3 项水氦	0.61 ~ 1.000	0.5	
		月均值变化率	凉城、海淀等 10 项水位, 太原水氦, 松山水汞, 奇村、宝坻 2 项水温	18.00% ~ 100.00%	—	

表 6 甘青地区强震前地下流体长趋势变化情况表

Tab. 6 The long – time trend change situation table of subsurface flow observational data before strong earthquakes in Ganqing region

地震	长趋势变化开始时间 超前时间/月	长趋势变化量				震中距 /(km)
		方法	测项与数目	最大异常幅度	异常阈值	
1990 – 04 – 26 共和 7.0 地震	1986 – 09 ~ 1988 – 02 26 ~ 43	从属函数	格尔木水氦, 大滩水位	0.85 ~ 0.88	0.5	134 ~ 681
		变差率	庆阳水位	0.10	0	
		趋势速率	湟源、西宁、官泉水氦	0.03 ~ 0.20	0	
		月均值变化率	静宁、华亭水位, 清水流量, 通渭等 2 项水氦	14.79% ~ 54.56%	—	
2001 – 11 – 14 昆仑山西口 8.1 地震	1995 – 04 ~ 1998 – 11 36 ~ 79	从属函数	大滩水位, 海南、武山等 5 项水氦	0.70 ~ 0.99	0.5	580 ~ 1534
		变差率	庆阳水位	0.05	0	
		趋势速率	嘉峪关气氦, 官泉、西和等 4 项水氦	0.02 ~ 0.68	0	
		月均值变化率	酒泉、连城等 8 项水氦, 华亭、静宁等 2 项水位, 通渭水汞, 成县、清水等 2 项流量, 乐都气氦	21.40% ~ 94.45%	—	

- 应变不断积累过程中所发生的突然失稳、破裂。所以，地震不仅与构造应力有关，还与地壳即地质构造有关。我国大陆幅员辽阔，地质构造复杂多样。在强地震预测中，利用重点地区强震（东部 6 级、西部 7 级）前的地下流体长期观测资料，分区研究地下流体加速与转折变化信息的时空演化特征并建立强地震预测指标具有重要的现实意义。

3.1 地震时间

表 5 ~ 9 为强震前地下流体长趋势变化情况表，表 10 为强震前地下流体长趋势变化时间即超前时间（变化时间与地震发生时间之差）统计表。

由表 10 可以看出，不同地区强震前地下流体长趋势变化时间不相同。首先，长趋势变化最早、最晚出现的时间不相同，整个研究地区最早出现时间为震前 79 个月即甘青地区、最早出现时间的最晚地区为震前 46 个月的新疆地区，最晚出现时间为震前 20 个月即云南地区、出现时间的最早地区为四川地区即震前 36 个月；其次，每个地区强震前地下流体长趋势变化时间集中时间也不相同，集中时间的上限即最早出现时间为震前 75 个月即甘青地区、集中时间上限的最晚出现时间为震前 45 个月即新疆地区，集中时间的下限即最晚出现

表 7 新疆及附近地区强震前地下流体长趋势变化情况表

Tab. 7 The long – time trend change situation table of subsurface flow observational data before strong earthquakes in Xinjiang and its neighboring region

地震	长趋势变化开始时间 超前时间/月	长趋势变化量				震中距 /(km)
		方法	测项与数目	最大异常幅度	异常阈值	
1996 – 11 – 19 昆仑山 7.1 地震	1993 – 01 ~ 1994 – 06 29 ~ 46	从属函数	卡帕尔流量, 新 04 硫化氢, 博古特水位	0.62 ~ 0.851	0.5	870 ~ 1175
		变差率	新 04、新 102 项甲烷, 新 04 二氧化碳, 新 21 水位, 新 10 氦, 下卡姆卡硅酸	0.07 ~ 0.96	0	
		趋势速率	扎尔干特氯离子, 钙离子, 新 04 水位, 新 15 氦, 新 10 二氧化碳	0.26 ~ 0.63	0	
		月均值变化率	下卡姆卡氦、温度、钙离子、氯离子, 扎尔 干特、新 43 2 项流量, 新 26、新 05 2 项水位, 新 10 水汞, 新 09 氦	26.77% ~ 99.49%	—	
		从属函数	新 10 硫化氢, 下卡姆卡二氧化碳, 卡帕尔硅酸, 新 04 氦	0.69 ~ 1.00	0.5	
2001 – 11 – 14 昆仑山西口 8.1 地震	1998 – 01 ~ 1999 – 03 32 ~ 46	变差率	新 04 二氧化碳, 新 25 硫化氢, 新 21 水位, 下卡姆卡硫酸根	0.06 ~ 0.721	0	830 ~ 1198
		趋势速率	新 20 水位, 新 10 二氧化碳	0.40 ~ 0.41	0	
		月均值变化率	新 04 甲烷, 博古特、新 05 2 项水位, 扎尔干特钙离子、硫酸根, 下卡姆卡 氦、硅酸、温度, 卡帕尔氦, 卡帕尔钙离子、氯离子	25.23% ~ 78.32%	—	
		从属函数	萨雷扎斯水位, 扎尔干特钙离子	0.66 ~ 0.85	0.5	
2008 – 03 – 21 于田 7.3 地震	2004 – 08 ~ 2005 – 11 28 ~ 43	变差率	卡帕尔钙离子, 卡帕尔流量, 扎尔干特氯离子	0.31 ~ 0.65	0	835 ~ 1090
		趋势速率	新 10 流量, 新 25 硫化氢, 新 15 氦	0.08 ~ 0.46	0	
		月均值变化率	新 10 二氧化碳、硫化氢, 新 04 甲烷、硫化氢, 卡帕尔氦、氯离子, 下卡姆卡硅酸、氦、氯 离子、温度, 扎尔干特氦、温度, 新 05、 博古特 2 项水位, 新 10 氦, 新 09 氦	21.62% ~ 81.92%	—	
		从属函数	萨雷扎斯水位, 扎尔干特钙离子	0.66 ~ 0.85	0.5	

表 8 云南地区强震前地下流体长趋势变化情况表

Tab. 8 The long – time trend change situation table of subsurface flow observational data before strong earthquakes in Yunnan region

地震	长趋势变化开始时间 超前时间/月	长趋势变化量				震中距 /(km)
		方法	测项与数目	最大异常幅度	异常阈值	
1988 – 11 – 6 澜沧北 7.4 地震	1984 – 03 ~ 1986 – 09 26 ~ 56	从属函数	剑川、攀枝花 05 井等 3 项水位	0.902 ~ 1.00	0.5	116 ~ 1030
		变差率	施甸、下关 2 项水氦	0.11 ~ 0.19	0	
		趋势速率	个旧水位, 洱源九气、昭觉 2 项水氦	0.03 ~ 0.98	0	
1995 – 07 – 12 孟连西 7.3 地震	1991 – 09 ~ 1993 – 11 20 ~ 46	月均值变化率	思茅水位、普洱等 6 项水位, 盐源、巧家等 4 项水氦	25.10% ~ 93.87%	—	47 ~ 1073
		从属函数	龙凌、鹤庆等 5 项水氦, 开远、 泸州川 13 等 4 项水位	0.58 ~ 1.00	0.5	
		变差率	孟连、澜沧等 6 项水氦, 江川水位	0.021 ~ 0.92	0	
		趋势速率	施甸、腾冲等 4 项水氦, 龙凌水温, 罗茨、水富 2 项水位	0.05 ~ 1.00	0	
		月均值变化率	易门、下关等 11 项水氦, 普洱、弥勒等 4 项水位, 思茅、保山一井等 4 项水汞, 理塘 51 水温	20.85% ~ 100.00%	—	

表 9 四川地区强震前地下流体长趋势变化情况表  
Tab.9 The long – time trend change situation table of subsurface flow  
observational data before strong earthquakes in Sichuan region

地震	长趋势变化开始时间 超前时间/月	长趋势变化量				震中距 /(km)
		方法	测项与数目	最大异常幅度	异常阈值	
2008 – 05 – 12 汶川 8.0 地震	2002 – 05 ~ 2005 – 05 36 ~ 72	从属函数	姑咱海子、清水水氢等 4 项水氢，宣威、剑川等 5 项水位，乐都气氢，绿春水温	0.615 ~ 1.000	0.5	120 ~ 1270
		变差率	雅安、武山 22 井等 7 项水氢，西昌、南华等 6 项水位，思茅水汞，通海水温	0.08 ~ 0.800	0	
		趋势速率	西和、景东等 8 项水氢，宾、开元等 5 项水位	0.075 ~ 1.00	0	
		巧家水氢、附件厂水氢等 12 项水氢，普洱、月均值变化率 江川等 4 项水位，富源、保山等 3 项水温，18.03% ~ 96.73% 洱源 20 井、保山一井等 2 项水汞			—	

表 10 强震前地下流体长趋势变化超前时间  
(变化时间与地震发生时间之差) 统计表  
Tab.10 The long – time trend change time namely advance  
time (different time of long – time trend change and seismic  
occurrence) cartogram of subsurface flow observational  
data before strong earthquakes

地区	地下流体长趋势动态变化时间即超前时间 (变化时间与地震发生时间之差) (月)		
	最早时间	最晚时间	集中时间
华北地区	54	24	33 ~ 50
甘青地区	79	24	32 ~ 75
新疆地区	46	28	32 ~ 45
云南地区	56	20	24 ~ 46
四川地区	72	36	37 ~ 62

时间为震前 24 个月即云南地区、集中时间下限的最早出现时间为震前 37 个月即四川地区；最后，不同地区集中时间在各自的最早时间、最晚时间之内变动，如华北地区强震前地下流体长趋势变化出现最早时间为震前 54 个月、最晚为震前 24 个月，集中出现时间为为震前 33 ~ 50 个月。

虽然不同地区强震前地下流体长趋势变化时间不相同，但总的来看它们均在震前 2 ~ 3 年出现地下流体长趋势变化，最早在震前 4 ~ 6 年，主要集中在震前 2.5 ~ 5 年。

3.2 地震强度

(1) 地下流体长趋势异常变化量  
运用月均值变化率、趋势速率、月变差率、从属函数等对强震前地下流体长趋势变化异常的资料进行处理，见处理后的结果，据此可获取强震前分区的地下流体长趋势变化异常量指标。  
在某一资料处理过程中，如有两种以上的处理方法时，选取变化出现时间、变化量明显程度、

与地震对应地震较好的指标作为该资料最终变化异常量提取指标，既综合考虑并确定某一资料的长趋势变化处理方法并确定异常量提取指标，如西宁水氢在 2001 年昆仑山口西 8.1 级地震前长趋势变化异常提取方法及指标确定就运用趋势速率法 (图 4)。

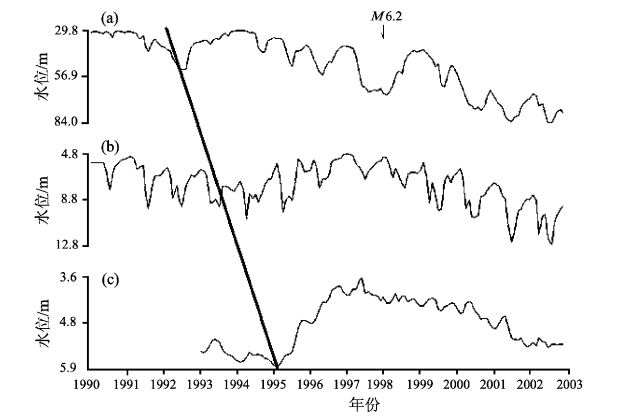


图 5 张北地震前部分地下流体长趋势变化曲线图  
(a) 夏县水位；(b) 奇村水位；(c) 兴和水位  
Fig.5 The long – time trend change chart of partial  
subsurface flow before Zhangbei  $M_s6.2$  earthquake

表 11 为不同地区强震前地下流体长趋势动态异常变化统计表。表中某地区某方法的异常变化指标是指运用该方法处理的所有观测项时所得异常的最大异常幅度的最小值，大于等于该值就作为某地区某方法的强地震长趋势异常变化指标。表中结果表明：不同地区地下流体长趋势异常变化阈值有所不同，如趋势速率在华北地区的阈值为 0.5、其它地区为 0；同一种方法的长趋势异常变化指标不同，如变差率的指标均为 0，最大的云南、四川地区异常变化指标为 0.08，最小的甘青

表 11 不同地区强震前地下流体长趋势动态异常变化统计表

地区		长趋势异常变化		
地震		方法	异常变化指标	异常阈值
华北地区	1976-07-28 唐山 7.8 级地震、 1989-10-19 大同 6.1 级地震、 1998-01-10 张北 6.2 级地震	从属函数	0.601	0.5
		变差率	0.07	0
		趋势速率	0.61	0.5
		月均值变化率	15.75%	—
甘青地区	1990-04-26 共和 7.0 级地震、 2001-11-14 昆仑山西口 8.1 级地震	从属函数	0.7	0.5
		变差率	0.05	0
		趋势速率	0.02	0
		月均值变化率	14.79%	—
新疆地区	1996-11-19 昆仑山 7.1 级地震系列 (1997-04-11 伽师 6.6、1997-11-18 玛尼 7.5)、2001-11-14 昆仑山口西 8.1 级地震系列 (2003-09-27 俄罗斯 7.9)、2008-03-21 于田 7.3 级地震	从属函数	0.66	0.5
		变差率	0.06	0
		趋势速率	0.08	0
		月均值变化率	20.83%	—
云南地区	1988-11-06 澜沧北 7.4 级地震系列 1995-07-12 孟连西 7.3 级地震系列	从属函数	0.6	0.5
		变差率	0.08	0
		趋势速率	0.03	0
		月均值变化率	20.85%	—
四川地区	2008-05-12 汶川 8.0 级地震	从属函数	0.615	0.5
		变差率	0.08	0
		趋势速率	0.075	0
		月均值变化率	18.03%	—

地区为 0.05。虽然不同地区有所区别，但相差不大，如月均值异常变化指标在 14.79% ~ 20.85%，从属函数异常变化指标在 0.6 ~ 0.7。

(2) 地震强度

首先，在研究过程中强震选取为东部 6 级、西部 7 级的原则，主要是考虑长期异常主要出现在大震前，而 5 ~ 6 级地震前很少见到这种趋势异常，5 级以下地震更少见；另外如果在强震东部 6 级、西部 7 级的原则下继续对强震进行分级研究，地震样本太少，结果不明显，效果不佳。其次，虽然目前全国观测井（泉）较多，但分布不均，如新疆、青海等地区的观测井（泉）分布在一小区域范围内（图 3、图 2），使监测控制能力受限。最后，每个观测井（泉）的构造环境不同且离未来震中远近不同，而同一井（泉）的各测项对构造应力响应程度不同。所以，在地震强度确定方面，一是利用强震东部 6 级、西部 7 级的原则，二是使用资料处理后的分区长趋势变化异常量来确定。如果某区长趋势变化异常量出现大于等于本节 3.2.1 中该区的异常变化指标，该区如在东部地区就有 6 级以上地震发生的可能，该区若在西部地区说明该区将有 7 级以上地震发生的可能，如从属函数的异常变化量在华

北地区如大于等于 0.601，表明华北地区将有可能发生 6 级以上地震，如在甘青地区大于等于 0.7，说明甘青地区有 7 级以上地震发生的可能。

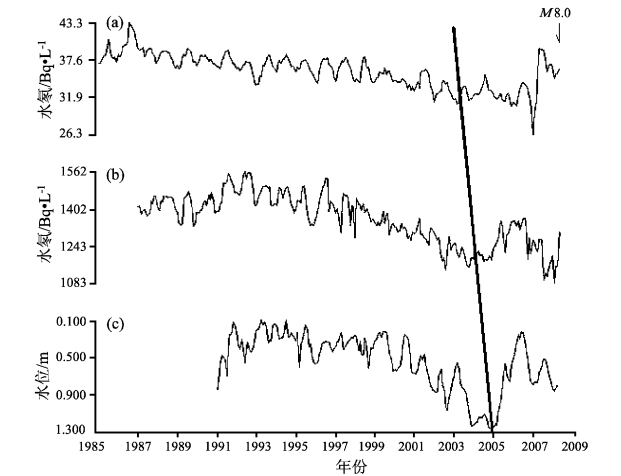


图 6 汶川地震前部分地下流体变化曲线图  
(a) 附件厂水氢；(b) 殿沟水氢；(c) 江油水位  
Fig. 6 The change chart of partial subsurface flow before Wenchuan  $M_s8.0$  earthquake

3.3 地震地点

强震前地下流体长趋势变化及其演化特征研



究表明（陆明勇等，2009）：强震前地下流体长趋势变化具有两种迁移特性，一种是离地震震中越远的观测资料，出现长趋势变化的时间较早，即外围广大地区向内迁移；另一种是离地震震中越近的观测资料，出现长趋势变化的时间较早，即由内部地区向外围广大地区迁移。迁移路径主要沿构造带进行，由外围广大地区向内迁移，其交汇就是未来地震震中，由内部地区向外围广大地区迁移，发散处就是未来地震震中。如，张北6.2级地震，离震中最远（704 km）的夏县台的地下水位在震前5年左右就出现长趋势变化，离震中313 km的奇村台水位在1994年年中出现长趋势变化，而离震中只有26 km的兴和台水位的1995年3月出现长趋势变化，出现了长趋势变化迁移特征（图5），迁移路径主要为山西带和张渤带，张北地震就发生在两带迁移交汇处，这与实际情况比较一致（图1）（陆明勇等，2009）；2008年汶川8.0级地震，离震中700 km的甘肃附件厂台地下流体2003年底就开始出现长期趋势变化异常，离震中360 km的甘肃殿沟台地下流体2004年年中出现长期趋势变化异常，而离震中170 km的江油台地下流体2005年才出现长趋势变化异常（图6），这些测点分布在汶川地震震中的东北方向的南北地震构造带上，即四川汶川8.0级地震前长趋势变化沿南北地震构造带迁移，汶川地震震中在迁移的交汇处（图3）（陆明勇等，2009）；共和7.0级地震，离震中320 km的甘肃大滩地下流体1987年初

就开始出现长期趋势变化异常，离震中526 km的甘肃静宁地下流体1987年年中出现长期趋势变化异常，而离震中681 km的庆阳地下流体1988年才出现长趋势变化异常（图7），即震前地下流体长趋势变化出现由未来震中向外迁移的特征（图3）；唐山7.8级地震前地下流体长趋势变化沿张渤构造带、华北平原构造带向外迁移，地震就发生在开始迁移交汇处（图1）（国家地震局《一九七六年唐山地震》编辑组，1982）。

#### 4 结语

（1）强震前地下流体存在长趋势变化，趋势速率、变差率、从属函数、月均值变化率等方法比较实合提取地下流体长趋势变化的加速与转折变化等信息。

（2）不同地区强震前地下流体长趋势变化时间不相同，均在震前2~3年出现地下流体长趋势变化，最早在震前4~6年，主要集中在震前2.5~5年。不同地区地下流体长趋势异常变化指标不同，但相差不大。不同强震前地下流体长趋势变化迁移特性不同，如长趋势变化由外围广大地区向内迁移，那么交汇处就是未来地震震中；如长趋势变化由内部地区向外围广大地区迁移，其发散处就是未来地震震中。

虽然强震前地下流体长趋势变化异常很早就有人注意并进行了一些研究，但过去的地下流体学科的研究重点为中短期和短临异常，对于地下流体长趋势变化异常与预测方法研究较少，特别是对地下流体长趋势变化异常指标研究甚少，而本文的研究也只是初步的、探索性的，还应更深入细致地研究，才能有效把握震情形势。

#### 参考文献：

车用太，刘五洲，鱼金子，等. 2000. 板内强震的中地壳硬夹层孕震与流体促震假设 [J]. 地震学报, 22 (1): 93-101.  
车用太，鱼金子，刘五洲. 1997. 水氢异常的水动力学机制 [J]. 地震地质, 19 (4): 353-357.  
杜方，吴江. 2008. 昆仑山口西8.1级地震引起的地下流体远场响应研究 [J]. 地震研究, 31 (3): 197-202.  
国家地震局《一九七六年唐山地震》编辑组. 1982. 一九七六年唐山地震 [M]. 北京：地震出版社.  
国家地震局预测预防司. 1997. 地下流体地震预报方法 [M]. 北京：地震出版社.  
黄辅琼，邓志辉，顾瑾平，等. 2002. 张北地震地下流体异常场的

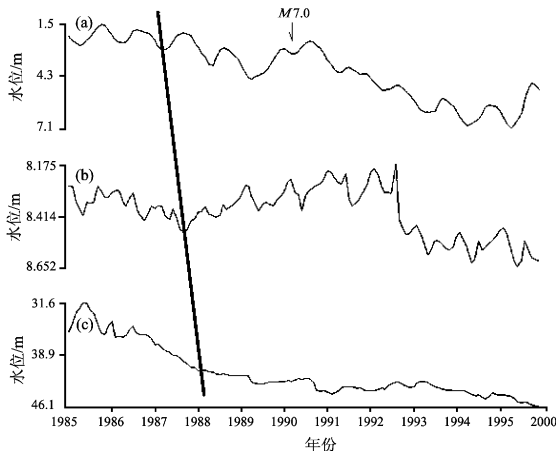


图7 共和地震前部分地下流体变化曲线图

(a) 大滩水位；(b) 静宁水位；(c) 庆阳水位

Fig. 7 The change chart of partial subsurface flow before Gonghe  $M_s7.0$  earthquake

- 研究 [J]. 地震, 22 (4): 114–122.
- 刘耀炜, 施锦. 2000. 强震地下流体前兆信息特征 [J]. 地震学报, 22 (1): 59–64.
- 陆明勇, 范雪芳等. 2009. 强震前地下流体长趋势变化特征及其产生机理的研究 [J]. 西北地震学报, 待刊.
- 陆明勇, 牛安福, 鲁德顺, 等. 2005. 地壳形变与地下水动态异常特征研究进展 [J]. 西北地震学报, 27 (1): 89–95.
- 陆明勇. 2006. 地壳形变与地下水相互作用及“双力源”前兆观点 [J]. 大地测量与地球动力学, 26 (1): 76–83.
- 梅世蓉, 冯德益, 张国民, 等. 1993. 中国地震预报概论 [M]. 北京: 地震出版社.
- 邵永新, 李君英, 田山, 等. 2001. 唐山 7.8 级地震前后地下流体动态异常演化特征 [J]. 西北地震学报, 23 (1): 26–29.
- 张立, 唐采, 王世芹, 等. 2003. 宁夏 6.2 姚安 6.5 和永胜 6.0 级地震前地下流体的短期变化 [J]. 地震研究, 26 (1): 149–156.

## Preliminary Study on Subsurface Fluid Long-time Trend Change and Strong Earthquake Prediction

LU Ming-yong<sup>1</sup>, LIU Yao-wei<sup>2</sup>, FAN Xue-fang<sup>3</sup>, CAO Ling-ling<sup>4</sup>, GAO Xiao-qi<sup>5</sup>,  
GUAN Zhi-jun<sup>6</sup>, ZHANG Su-xin<sup>7</sup>, LIU Xiang<sup>8</sup>, LI Min<sup>1</sup>, NIU An-fu<sup>9</sup>,  
DING Feng-he<sup>10</sup>, ZHU Zi-qiang<sup>9</sup>, FANG Zong-fei<sup>1</sup>, ZHAO Li-kui<sup>1</sup>

(1. China Center for Earthquake Disaster Emergency and SAR, Beijing 100049, China)

(2. Institute of Crustal Dynamics, CEA, Beijing 100085, China)

(3. Earthquake Administration of Shanxi Province, Taiyuan 030021, Shanxi, China)

(4. Earthquake Administration of Gansu Province, Lanzhou 730000, Gansu, China)

(5. Earthquake Administration of Xinjiang Uygur Autonomous Region, Urumqi 830011, Xinjiang, China)

(6. Earthquake Administration of Sichuan Province, Chengdu 610041, Sichuan, China)

(7. Earthquake Administration of Hebei Province, Shijiazhuang 050021, Hebei, China)

(8. Earthquake Administration of Yunnan Province, Kunming 650224, Yunnan, China)

(9. China Earthquake Networks Center, CEA, Beijing 100045, China)

(10. Earthquake Administration of Inner Mongolia Autonomous Region, Hohhot 010051, China)

### Abstract

In this paper, the procession, disturbing preclusion and anomaly extracted method and technology of subsurface fluid long-time trend change data are studied before historical Strong Earthquakes ( $M_s \geq > 7.0$  on west region or  $M_s \geq 6.0$  east region in China) on major regions such as North China, Sichuan-yunnan, Northeast edge of Tibetan plateau, Xinjiang and its neighboring region. The subsurface fluid long-time prediction indexes of strong earthquake are preliminarily tried to build on different region.

**Key words:** Subsurface Fluid, Long-time Trend Change, Index, Strong Earthquake, Prediction