

司学芸、孙小龙、邵志刚等, 2013, 南北地震带流体资料趋势性转折与强震的关系, 中国地震, 29(1), 148 ~ 156。

南北地震带流体资料趋势性转折 与强震的关系

司学芸¹⁾ 孙小龙²⁾ 邵志刚³⁾ 李瑞莎⁴⁾

1) 宁夏回族自治区地震局, 银川市兴庆区北京东路 244 号 750001

2) 中国地震局地壳应力研究所, 北京 100085

3) 中国地震局地震预测研究所, 北京 100036

4) 中国地震局第二监测中心, 西安 710054

摘要 对南北地震带及附近的 108 项流体资料进行趋势性转折变化分析, 筛选出变化相对稳定、持续时间 3 年以上的趋势性转折 72 次, 以 2000 年为界分 2 个时段根据转折时间点和形态进行时空特征分析。针对南北地震带北段流体资料在 2 个时段中存在的突出的群体性特征, 结合跨断层水准测量资料, 得出北段由 2000 年之前构造应力状态相对松弛转为 2000 年之后构造应力大范围增强的初步认识, 以期对未来强震趋势判断提供一定的参考。

关键词: 流体观测资料 趋势性转折 跨断层水准资料 强震趋势

[文章编号] 1001-4683(2013)01-0148-09 [中图分类号] P315 [文献标识码] A

0 引言

在相关的孕震理论模型中, 前兆观测资料在地震发生前不仅有短临异常出现, 当应力应变积累到一定程度, 也会出现趋势性转折, 这些趋势性转折对于地震预测可能具有中期尺度的指示意义(米亚奇金等, 1979)。在一些强震之前确实也观测到这种趋势性转折, 例如 1964 年日本新潟 7.5 级地震前 4 年, 观测到地形变(长水准)观测曲线群体性趋势性转折。张国民等(1995)提出的构造块体成组孕震模型表明, 成组强震之间的相互关联性会导致构造应力场整体增强。同一构造块体会出现源兆和场兆等 2 种前兆变化, 源兆直接反映震源发展过程, 场兆是由构造应力场整体增强所造成的, 所以大范围的构造应力调整时, 会出现大范围的前兆变化。根据震例, 远场前兆异常的数量与强震震级不存在正比关系, 但同一构造区前兆异常数量相对较多的时段与强震连发的时段相对应。梅世蓉等(1993)、车用太等(1997)、杜方等(2008)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观测资料经常出现长趋势变化, 并且分布范围广、时间早。如 1976 年 7 月 28 日唐山 7.8 级大地震前, 该地区地下流体观测资料在以往多年基本平稳的背景上, 从 1973 年初开始出现大范

[收稿日期] 2012-09-14; [修定日期] 2013-01-02

[项目类别] 2012 年度中国地震局震情跟踪合同制定向工作任务“南北地震带流体资料趋势变化分析”(2012020306)资助

[作者简介] 司学芸, 女, 1977 年生, 工程师, 主要从事地下流体及地震预测研究。E-mail: xysi2000@yahoo.com.cn

围的趋势性转折变化(陆明勇等,2009)。

本文通过收集、整理、分析南北地震带的流体资料,确定各个观测曲线的转折点,统计出现转折的观测点的数量、趋势变化持续时间、变化形态及幅度,进而讨论趋势性转折相对集中地区与强震活动的空间特征关系,及其在强震趋势分析和主体区判定中应用的可能。

1 资料

收集了南北地震带水位、水氡共计 108 个测项的数据(图 1),其中以模拟资料为主,数据统一截止至 2012 年初。水位和水氡资料的物理意义相对明确,特别是水位观测数据,认为与周围构造应力变化密切相关。

选取干扰小、变化相对可靠的资料及转折点的原则:①资料属于预测效能评估中 A 或 B 级;②资料转折前后的数据稳定,观测状态没有发生明显改变;③转折变化应持续 3 年以上,以确定该转折变化是一个稳定的过程。根据以上 3 个原则,筛选出 47 个测项的资料,共出现 72 次转折,其中最早的出现在 1991 年(1994 年以前的转折的确定,参考了 1990 年以前的数据),最晚的出现在 2009 年。

2 资料处理方法

本文主要采用各观测资料的月均值数据,原始数据处理步骤如下:首先通过对观测曲线进行分析,粗略预估曲线转折时间点;之后基于此预估转折点利用程序自动搜索转折时间点;最后分段对曲线进行线性拟合,得到趋势拟合线。同时,为了对比分析同一区域内不同观测曲线的趋势性转折特性,对原始数据在幅度和时间上作归一化处理。

2.1 转折时间点的提取

图 2(a)为云南宣威水位月均值观测曲线,从原始曲线可以看出,该井水氡多年观测值大致经历了 3 次趋势性转折变化,分别为 1999、2005 和 2009 年,为了更精确地确定这 3 个转折时间点,本文采用了下面滑动计算残差的方法:

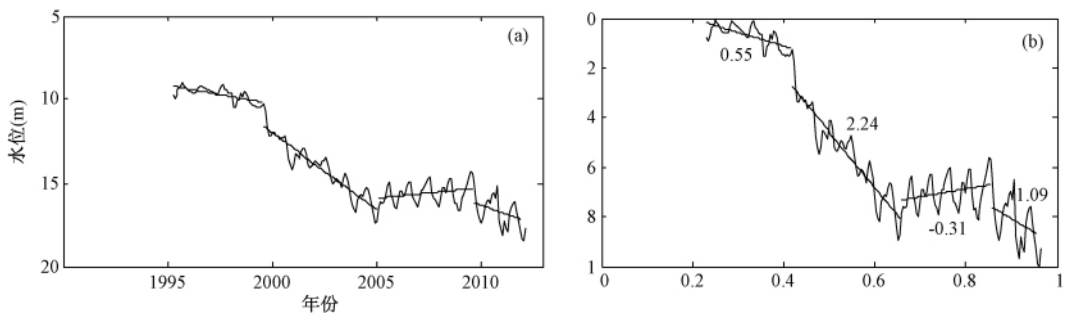


图 2 宣威水位观测月均值曲线(a)、线性拟合与归一化曲线(b)

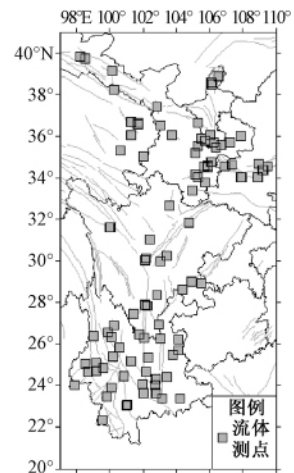


图 1 南北地震带流体测点空间分布

(1) 首先以数据起始时间 1995 年 4 月和第 2 个预估转折时间点(即 1999 年)为数据控制始末点,拟定其中间任意时刻为第 1 个趋势性转折时间点(从起始点 1995 年 4 月开始滑动,至第 2 个预估转折时间点结束),利用线性拟合法可得到两条趋势变化线,分别计算由每一个拟定转折点所得到的趋势线与原始曲线的拟合残差均值,拟合残差均值最小者即为最佳趋势性转折点。利用以上方法可得到第 1 个趋势性转折时间点的精确值。

(2) 同样,可利用第 1 个趋势性转折时间点的精确值和第 3 个预估趋势性转折时间点,滑动求得第 2 个趋势性转折时间点的精确值。以此类推,可搜索得到每一个趋势性转折时间点,并确定其精确值。

利用搜索得到的各趋势性转折时间点,通过线性拟合可得到各个时间段内原始观测曲线的趋势变化曲线,如图 2(a) 所示。以此为基础,可更加清晰直观地反映原始观测值在各个时期的变化趋势。

2.2 趋势性转折的归一化

利用以上方法可得到每一条观测曲线不同时段内的趋势性转折线,为了分析对比同一区域内不同观测点或不同观测项目趋势性变化的差异,本文对各观测曲线进行了时间和幅度上的归一化,使各观测曲线在相同的时间尺度和变化幅度上具有可比性,进而分析同一地区各观测点趋势性转折的群体性特征。

南北地震带流体前兆资料开始观测的时间差异较大,相对而言,1990 年以后的数据比较完整,因此统一截取了 1990 年以后的数据进行分析。将各观测曲线的时间坐标均设定在 1990~2012 年,进行归一化处理后时间坐标均换算为 0~1。另外,虽然各观测点、观测项目的变化幅度与量级各不相同,但本文的研究重点是各测项的趋势性变化,所以与时间坐标的归一化类似,针对各测项在 1990~2012 年间的趋势性变化,对其纵坐标也进行了归一化处理,使其变化范围在 0~1 之间。图 2(b) 所示为云南宣威水位月均值归一化曲线图。这样,对各观测曲线纵、横坐标进行归一化处理后,可将所有观测点的观测数据统一在同一坐标系下,并通过计算各时段内趋势线的斜率及其变化值,使其趋势性转折时间和转折幅度具有了一定的时、空可比性。

2.3 典型的趋势性转折类型

从转折的形态上看,可以将各观测曲线的趋势性转折分为趋势性转折上升和趋势性转折下降 2 大类。趋势性转折上升有以下 2 种类型:①绝对上升,即观测曲线由原来的趋势性持平或下降转为趋势性上升(如图 3(a)、3(b));②相对上升,即观测曲线在下降的趋势背景上速率减缓或持平(如图 3(c)、3(d))。水位、水氡资料的趋势性转折上升在一定程度上反应了周围区域应力的上升。趋势性转折下降有以下 2 种类型:①绝对下降,即观测曲线由原来的趋势性持平或上升转为趋势性下降(如图 3(e)、3(f));②相对下降,即观测曲线在上升的趋势背景上速率减缓或持平(如图 3(g)、3(k))。水位、水氡资料的趋势性转折下降在一定程度上反应了周围区域应力的下降。

3 南北地震带流体观测资料趋势性转折的物理意义

统计南北地震带流体资料趋势性转折年频次变化(图 4),明显存在 2 个趋势性转折相对集中的时段,即 1997~1999 年和 2002~2005 年,在这 2 个时间段内有多数测点的流体资

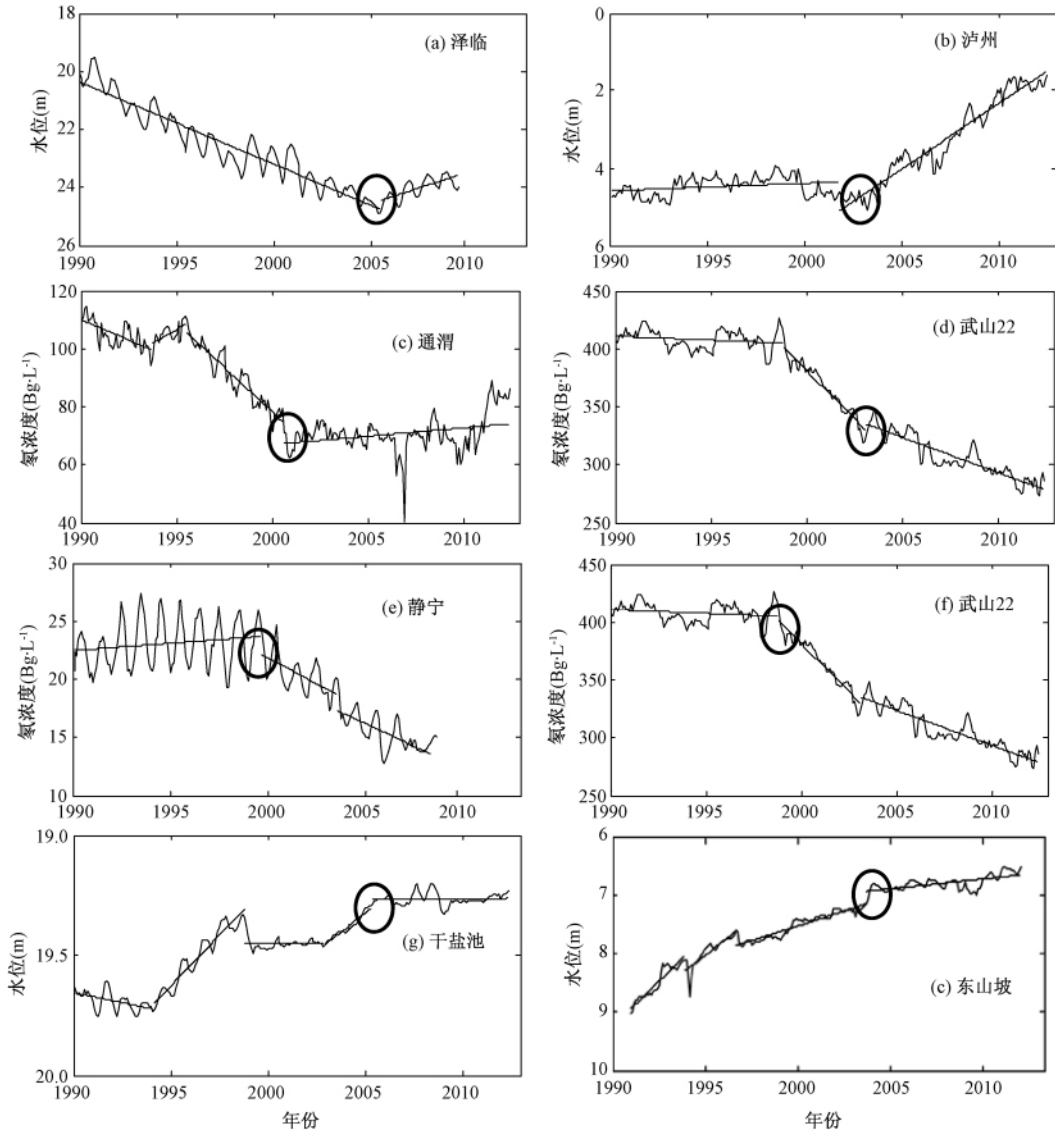


图3 趋势性转折分类及其典型曲线

料均呈现趋势性转折群体性活动。与南北地震带地震活动对比后发现,南北地震带上一个7级强震活跃期是1988~1996年^①(陈文德,1997),1997~1999年趋势性转折相对集中的时段出现在活跃期结束之后;2002~2005年趋势性转折相对集中的时段出现在以2008年汶川8.0级为标志的新活跃期之前。这2个时段可能表现了南北地震带整体区域应力变化状态,因此具体趋势性转折时空演化是否能反映区域强震趋势,需要分段讨论。2001年发生在青藏块体内部的昆仑山口西8.1级地震前后,青海、宁夏、甘肃、四川等地区的前兆观测资料出现了大量的前兆异常变化(陈玉华等,2009;杜方等,2008;张昱等,2005);地震后,四

① 全国7级地震与地震形势跟踪组,2011,中国大陆地震大形势跟踪与趋势预测研究报告

川等地的跨断层短水准、短基线测量也出现了明显变化(苏琴等,2009),说明昆仑山口西 8.1 级地震虽然远离南北地震带,但仍然对南北带的前兆观测有着巨大的影响。因此,以 8.1 级地震前发生趋势性转折较少的 2000 年为分界线,分为 1991 ~ 1999 年和 2000 ~ 2009 年分别对趋势性转折现象进行讨论。

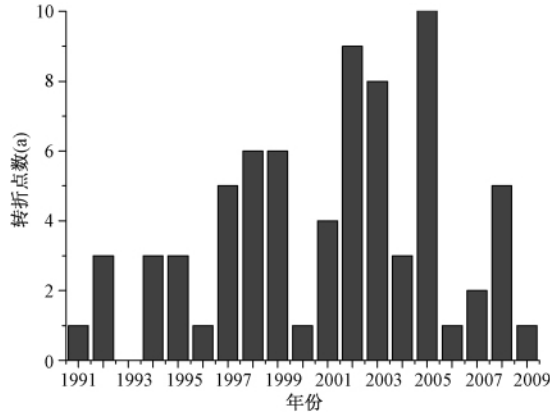


图 4 南北地震带流体观测资料趋势性转折年频次统计

3.1 1991 ~ 1999 年

此时段的转折主要出现在 1997 ~ 1999 年(图 5 (a)), 占这个时段转折总数的 59%, 之前出现的转折点数量少且分布分散。此时段的转折点在北段的集中现象比较突出, 主要分布在海原断裂带及六盘山断裂带附近, 在形态上转折以趋势性下降为主; 中南段的转折点分布比较分散, 川滇交界相对集中, 趋势性的上升和下降均有出现(图 5 (b))。

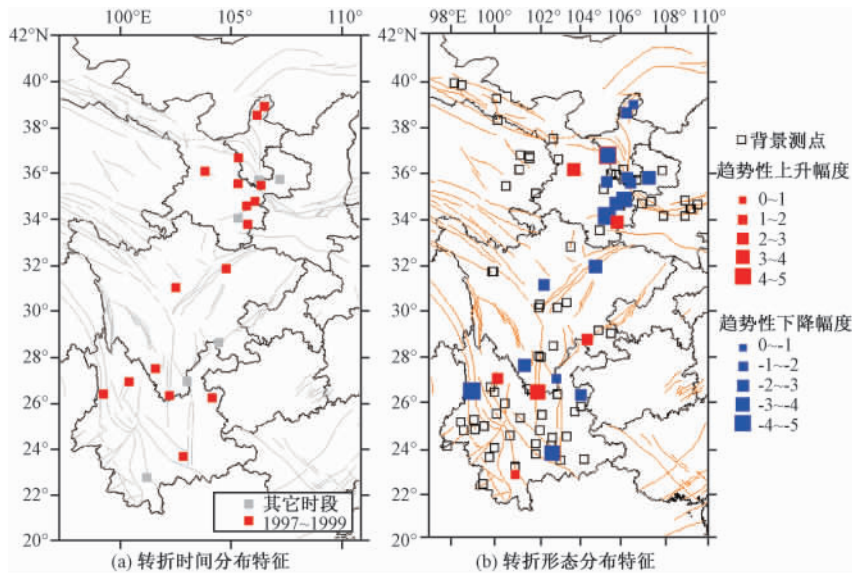


图 5 1991 ~ 1999 年南北地震带流体观测资料趋势性转折分布图

南北地震带北段流体资料的群体性变化分布集中且基本以趋势性下降为主, 是否反映

了这一时段该区域的构造应力处于下降状态,这种现象需要和其他观测资料对比后作进一步研究。为此收集了跨断层水准测量资料,进行对比分析,如:三关口场地数据显示 2004 年之前以压性减弱为主(图 6 (a)),大黄沟场地数据显示 2007 年之前以压性减弱为主(图 6 (b))。统计了南北地震带北段跨断层水准测量数据的变化,分析结果表明在 1990 ~ 1999 年时段,海原断裂带断层活动以压性减弱为主(图 7 (b))。结合流体资料转折分布图(图 7 (a))及跨断层水准测量资料转折分布图的结果(图 7 (b))表明,海原断裂带及其附近的区域应力在压性背景上呈减弱状态。

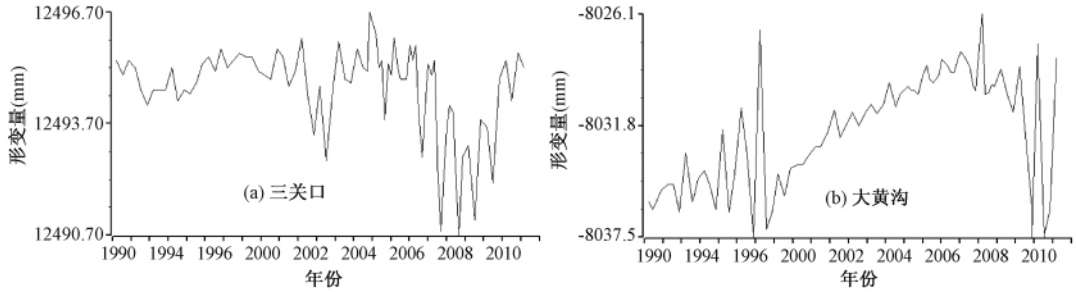


图 6 跨断层水准测量典型曲线

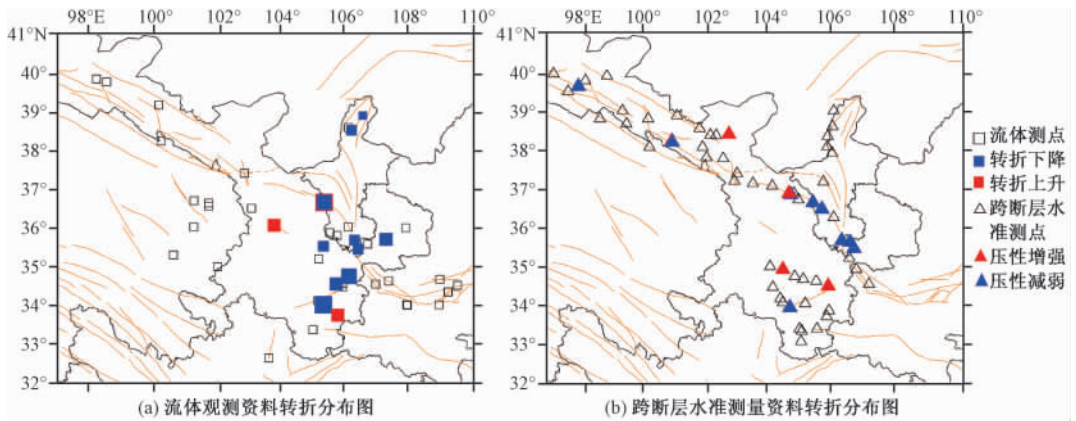


图 7 1991 ~ 1999 年流体资料与跨断层水准测量趋势性转折分析空间分布

3.2 2000 ~ 2009 年

此时段的转折主要出现在 2002 ~ 2005 年(图 8 (a)),占这个时段转折总数的 68%,此时段出现转折的数量较上一时段明显增多。从空间分布上看,北段较上一时段发生了明显变化,即转折点分布范围广,在整个祁连地震带上均有分布,形态上主要以趋势性转折上升为主;中南段的转折数量明显增多,主要集中在整个云南及川滇交界,上升、下降交错分布,无明显规律(图 8 (b))。

南北地震带北段流体的转折点在整個祁連地震带上表现出群体性的上升趋势,可以认为反映了这一时段该区域的构造应力可能处于上升状态,与跨断层水准测量资料进行对比分析,如:三关口场地数据显示 2004 年之后以压性增强为主(图 6 (a)),大黄沟场地数据显示 2007 年之后以压性增强为主(图 6 (b))。统计了南北地震带北段跨断层水准测量数据的

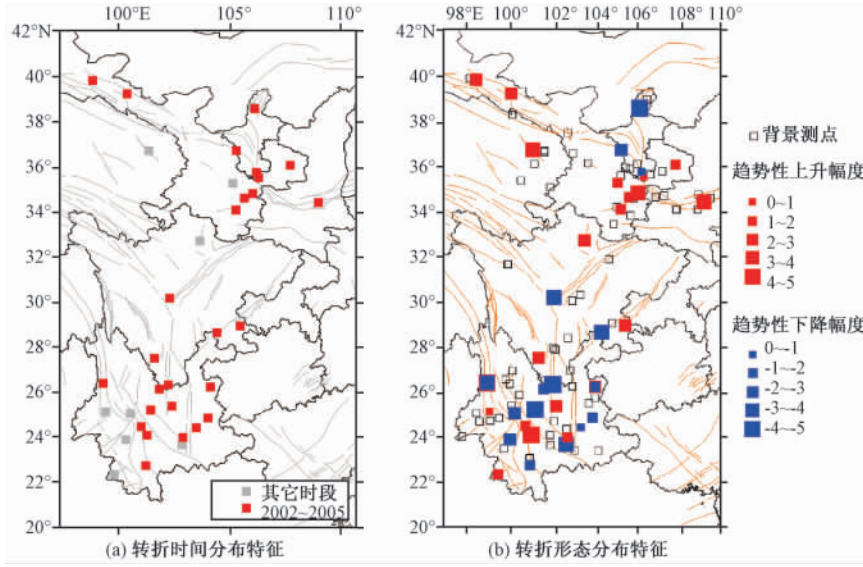


图8 2000~2009年南北地震带流体观测资料趋势性转折分布图

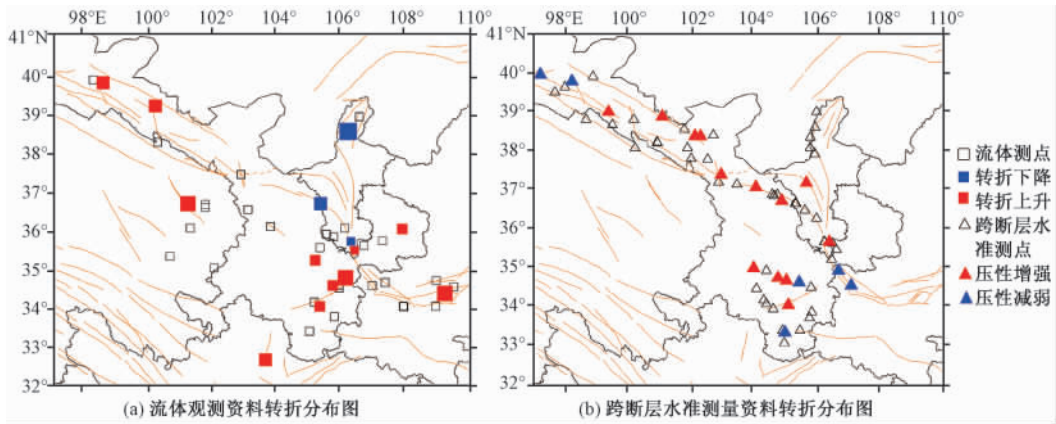


图9 2000~2009年流体资料与跨断层水准测量趋势性转折分析空间分布

变化,分析结果表明在2000~2009年,祁连地震带断层活动以压性增强为主(图9(b))。结合流体资料转折分布图(图9(a))及跨断层水准测量资料转折分布图的结果(图9(b))表明,祁连地震带及其附近的区域应力可能处于上升状态。

4 结论与讨论

在前兆资料的使用中,由于趋势变化持续时间长,在短时间内对观测点附近的中强以上地震的反映能力并不突出,因此,在震情年度会商及短临跟踪中发挥的作用有限,而大范围、群体性的趋势变化可能反应了一定区域的应力变化特征,从而能够为大形势、中长期预测提供一定的参考。最典型的例子是2006年地震大形势报告中根据2003年前后南北地震带和华北地区的地下流体资料出现群体转折现象,认为2006~2008年中国大陆内部有可能逐步

进入强震活跃阶段^②。而实际地震活动情况是 2008 年以来南北地震带连续发生了 2008 年汶川 8.0 级、2010 年玉树 7.1 级和 2011 年缅甸 7.2 级地震。

1991 ~ 1999 年南北地震带北段流体及跨断层水准测量资料表明区域应力在压性背景上呈减弱状态,且主要集中在 1997 ~ 1999 年。南北地震带上一个 7 级强震活跃期是 1988 ~ 1996 年,群体性的趋势性转折出现在地震活跃期之后,一方面可能表明活跃期后应力大范围调整为相对松弛状态,另一方面也表明北段区域应力在压性背景上呈减弱状态与同时段无 7 级以上强震活动相对应。

2000 ~ 2009 年南北地震带流体观测资料群体性转折的数量明显增多,主要集中在 2002 ~ 2005 年,出现在以汶川 8.0 级地震为标志的新活跃期之前,可能表明活跃期前大范围的应力调整。跨断层水准测量资料分析表明祁连地震带断层活动处于压性增强状态,结合对流体和跨断层观测资料趋势性转折的分析,认为祁连地震带区域应力可能处于上升状态,这种现象可能预示着这一区域具有强震活动的背景。

南北带北段的流体资料在 2 个时段中表现出一致性变化特征,祁连地震带整体区域应力性质比较统一,可能使北段流体观测资料表现出统一的趋势性转折。但川滇地区的巴颜喀拉块体东段、川滇菱形块体、滇南块体和滇西块体,不同区域的应力性质差别较大,可能反映了南北带中南段流体观测资料趋势性转折虽然整体数量增加,但是并没表现出统一转折特征。

本文只是就现象讨论流体观测资料、跨断层水准测量资料与地震活动之间的关系,三者之间相互联系的机理还有待更深入的研究。

致谢:本研究得到四川地震局官致君、甘肃地震局张昱帮助并提供了流体资料,在此一并表示谢忱。

参考文献

- B N 米亚奇金、W F 布霍斯,国家地震局地球物理研究所三室译,1979,地震理论与实验译文集,北京:地震出版社。
- 陈文德,1997,中国南北地震带 1900 年以来强震的时空分布特征及其预报意义,四川地震,(3),17 ~ 22。
- 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,地震学报,22(1),93 ~ 101。
- 陈玉华、董治平、王培玲等,2009,昆仑山口西 8.1 级地震的远场前兆异常特征,中国地震,25(1),62 ~ 72。
- 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,地震研究,31(3),197 ~ 202。
- 陆明勇、刘耀炜、范雪芳等,2009,地下流体长趋势异常变化与强震预测的初步研究,地震研究,32(4),323 ~ 332。
- 梅世蓉、冯德益、张国民等,1993,中国地震预报概论,北京:地震出版社。
- 苏琴、杨永林、张永久等,2009,昆仑山口西 8.1 级地震对鲜水河断裂带断层活动的影响,地震研究,32(2),169 ~ 174。
- 张国民、耿鲁明、张永仙等,1995,构造块体的成组孕震模型和前兆场某些特征的分析,地震学报,17(1),1 ~ 10。
- 张昱、陈瑶,2005,昆仑山口西 8.1 级地震与甘肃水氡异常的关系探讨,华南地震,25(4),49 ~ 55。

^② 地震大形势研究项目组,2005,中国大陆地震大形势跟踪研究报告

Analysis of the relationship between the trend turnings in groundwater changes and the strong earthquake activities in north-south seismic belt

*Si Xueyun*¹⁾ *Sun Xiaolong*²⁾ *Shao Zhigang*³⁾ *Li Ruisha*⁴⁾

1) Earthquake Administration of Ningxia Hui Autonomous Region, Yinchuan 750001, China

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

3) Institute of Earthquake Science, CEA, Beijing 100036, China

4) Second Crust Monitoring and Application Center, CEA, Xi'an 710054, China

Abstract In the past few decades, precursor materials were used to the short-term earthquake tracking and annual meeting, and rarely be used for medium and long-term analysis. Base on some existing research results and related earthquake preparation theory model, we analyzed the trend turnings changes in 108 groundwater data. We choose 72 stable trend turnings with duration more than three years, and analyzed the space and time characteristics of those trend turnings according to the turning point in time and form. The data time series were divided into two periods at the year of 2000. According to the group characteristics of trend turnings of groundwater and cross fault leveling data of the north-south seismic belt in two periods, we found that the tectonic stress state in north of north-south seismic belt was enhanced after 2000, and it was a relative relaxation before. The results of this paper could provide some references for the future judgment to the earthquake activities in the north-south seismic belt.

Key words: Observed data of groundwater Trend turning Cross fault leveling data
Strong earthquake activities