

青藏块体东北缘地区断层形变研究

薄万举¹, 刘广余¹, 陈兵², 刘天海³, 郭良迁¹, 杜雪松¹

(1. 中国地震局第一监测中心, 天津 300180; 2. 中国地震局第二监测中心, 陕西西安 710054; 3. 中国地震局应急搜救中心, 北京 100039)

摘要:根据青藏块体东北缘地区的跨断层流动水准测量资料, 分别从断层形变异常的空间分布特征, 不同断裂带上断层形变平均活动速率的分布和断层形变群体性异常在时间上的分布三个方面进行了统计、对比、分析和研究。结果显示, 自 2002 年以来青藏块体东北缘地区的断层形变异常的主体区域逐步由西向东迁移, 地震活动也具由西向东迁移的现象; 断层平均活动速率也是东部区偏高。但是, 断层形变群体异常在时间上的分布显示目前该区域断层形变异常活动的数量和强度均不十分显著, 短期内发生强震的可能性不大。本文提出的方法及初步结论对该区域日常地震预测及震情跟踪工作有一定的参考价值。

关键词:断层形变; 地震预测; 异常; 青藏块体

中图分类号: P316 文献标识码: A 文章编号: 1000-0844(2005)03-0199-06

Research on Fault Deformation in Northeast Margin Area of Qinghai—Tibet Block

BO Wan-ju¹, LIU Guang-yu¹, CHEN Bing²,
LIU Tian-hai³, GUO Liang-qian¹, DU Xue-song¹

(1. First Crust Deformation Monitoring and Application Center, CEA, Tianjin 300180, China;

2. Second Crust Deformation Monitoring and Application Center, CEA, Xi'an 710054, China;

3. Emergency and Salvaging Center, CEA, Beijing 100039, China)

Abstract: Based on the data of leveling across faults in northeast margin area of Qinghai—Tibet block, the statistics, comparison, analysis and study are made on three aspects as follows: the spatial distribution of abnormal fault deformation, the average rate of fault movement in different belt, and the distribution of group abnormal fault deformation in time dimension. The results show that, since 2002, the principal region of fault deformation anomalies are transferred gradually from west to east in northeast margin area of Qinghai—Tibet block; the seismic activities are also similarly transferred from west to east; and the average rate of fault movement in the east part is higher than other parts of the research area. But the distribution of group abnormal fault deformation in time dimension shows that, at present, the anomalies are not distinct enough in magnitude and amount, thus, it's impossible having strong earthquake in this area in near future. The primary results and the study method presented in this paper have a reference value for daily work of earthquake prediction and seismic trending research.

Key word: Fault deformation; Earthquake prediction; Anomaly; Qinghai—Tibet block

0 引言

青藏块体东北缘地区布设有大量的跨断层流动

测量资料, 已连续积累了几十年的观测资料, 主要用

收稿日期: 2005-03-30

基金项目: 中国地震局“十五”项目(10-5-08-06)

作者简介: 薄万举(1957-), 男(汉族), 天津人, 研究员, 主要从事大地测量、地震预测研究和科技管理等工作。

于地壳形变监测、地壳动力学和地震预测研究。本文则着眼于 1~3 年的中期预测研究。江在森等^[1]对该区域的断层形变及其与地震的关系有较为深入的研究,取得了一系列的研究成果。一般情况下,断层形变偏离正常变化规律,且其偏离量超出了随机波动范围称其为断层形变异常。显然,这样定义的断层形变异常不够严密,在具体的数据处理中还要有具体的定义。同时引起断层形变异常的原因是多种多样的,如板块运动、地下水的变化、地震的孕育,甚至某些人为干扰造成的局部断层形变等。也就是说,断层形变异常并不都是地震引起的,在未找到真正的原因之前,也只能将其当作断层形变异常看待,这就大大地增加了利用断层形变进行地震预测研究的难度。因为加进很多震后认识对震前的观测资料所做的选择,在震前是很难做到的。因此我们不能只研究那些我们认为有意义、与地震对应较好、事后证明不是干扰,真正属于地震前兆的断层形变异常。当我们对异常给出一种定义以后,要将所有符合定义、事先不能给予排除的变化都当作异常看待,在全部时间域和空间域上研究、统计断层形变异常的分布规律及其与地震存在的对应规律。这样的统计结果常常没有经过某种人为的筛选后与地震对应的效果好,但他所提供的信息水平却代表着我们在地震发生前能够得到或认识到的信息的真实水平。在这样理性认识的指导下,才能理解我们以前地震预报研究成果给出理论上的预报水平总是远高于实际预报水平的怪现象。基于这一思想,本文一旦定义了异常的标准,只去掉确实有问题的资料,不再做资料上的取舍,在青藏块体东北缘地区统计断层形变异常在时间上、空间上的实际分布,分析其时间上、空间上的分布规律,再看其与地震分布的对应情况,将这样的研究结果提供给从事地震预测预报一线的研究人员参考,将有较大的实际意义。

1 断层形变异常的空间分布

多年的研究表明,断层形变异常的空间分布与将要发生地震的空间位置有一定的对应关系^[2,3]。按中国地震局第二监测中心给出的统一的异常判定标准,图 1 给出了该区域 2002 年到 2004 年断层形变异常的空间分布。看出,2002 年异常的主体区域在西部,断层活动呈西强东弱的趋势(图 1(a));2003 年的主体异常区域位于中部,异常区域明显东移(图 1(b));2004 年的主体异常区位于东部,断层活动呈东强西弱的趋势(图 1(c))。地震活动的情

况是:2002 年 12 月 14 日在西部发生了玉门 5.9 级地震;2003 年 10 月 25 日在中部发生了民乐—山丹 6.1 级地震;而 2004 年至今在东部尚未发生相应的地震。

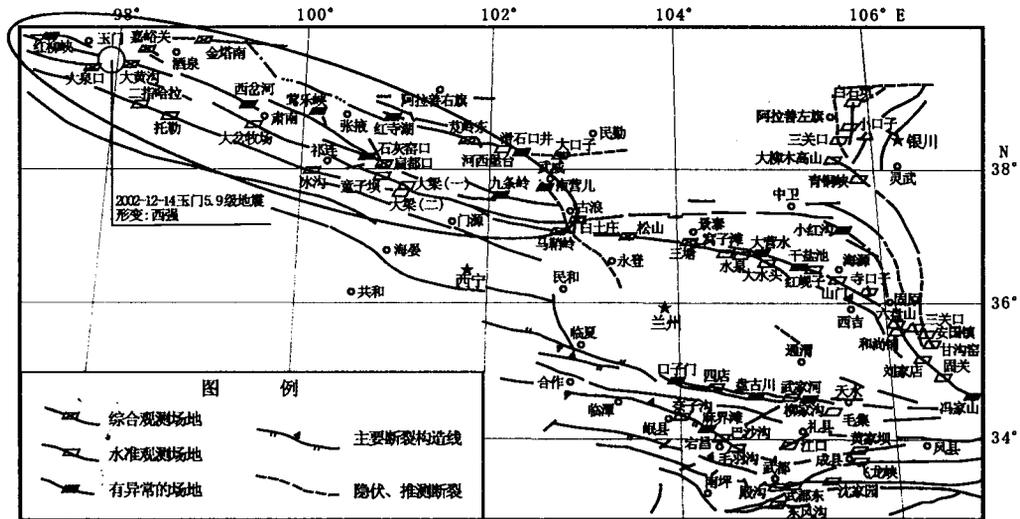
这种通过大面积、大范围、长时间的资料统计出的信息一般是比较可靠的,它代表着地壳活动在这一段时间内存在着由西向东迁移的特征。我们不能仅凭这一点证据断定下一时段在东部发生一个具体的地震,但当东部遇到其他手段的中短期地震前兆异常时,这一断层形变异常的空间分布将提供地壳动力学意义上的背景支持。此外地震的孕育发生是十分复杂的,不同地区具有不同的构造特点,其前兆异常与地震的对应规律也不尽相同,因此要针对不同的区域开展深入系统地研究。

2 断层平均活动速率的空间分布

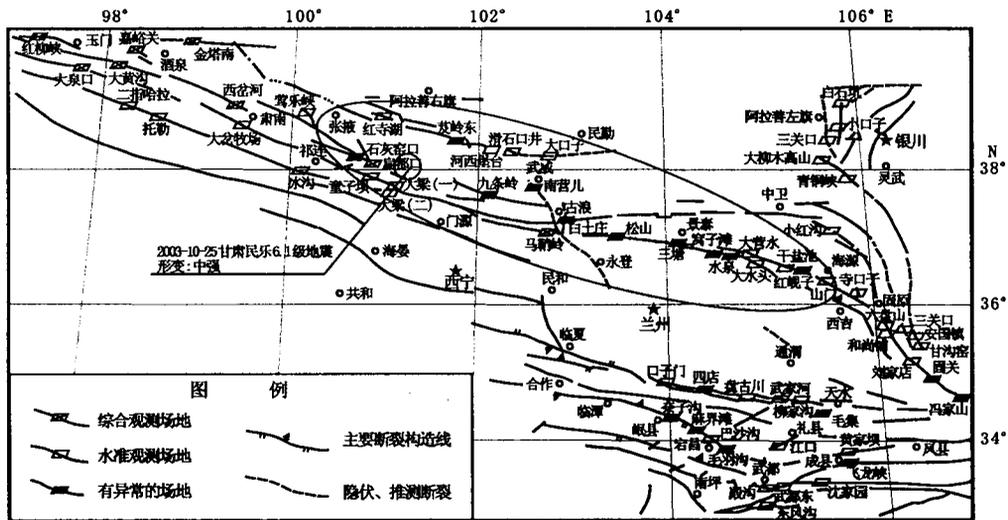
断层平均活动速率是衡量断层活动强度的一个重要指标。图 2 是中国地震局应急搜救中心给出的青藏块体东北缘及其邻区的各主要断裂带的平均活动速率。龙首山区断层的平均活动速率为 0.13 mm/a;贺兰山区断层的速率为 0.14 mm/a;祁连山区西北段断层的速率为 0.20 mm/a;祁连山区东南段断层的速率为 0.25 mm/a;渭河地堑断层的速率为 0.26 mm/a;秦岭北缘断层的速率为 0.29 mm/a;甘东南区域断层的速率为 0.12 mm/a。不难看出,断层活动速率较高的主要有祁连山区东南段、渭河地堑和秦岭北缘,恰好属于青藏块体东北缘区域的东部。也就是说图 1 显示当前异常发育的地方正是断层平均活动速率高的地方,值得我们关注。

3 断层形变异常的时间分布特征

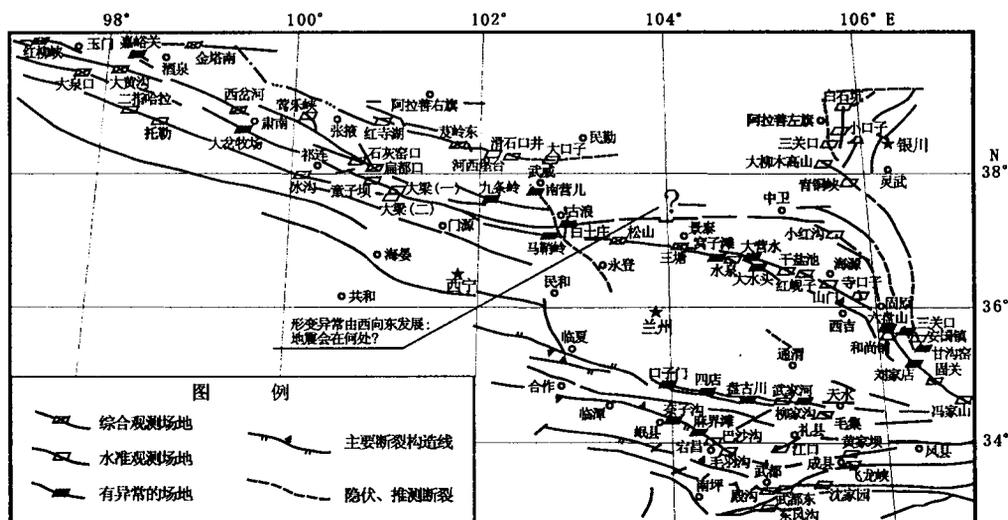
前面讨论的是断层活动或异常的区域空间演化特征,还要研究其在时间上的分布规律,进而寻找其与地震发生时间上的关系。以往的研究发现^[2],强震前常有大幅度群体性断层形变同步异常出现,目前比较典型的例子有张北地震前的山西带断层形变群体异常和丽江地震前云南的大幅度群体性断层形变异常。在青藏块体东北缘区域有没有类似的规律或现象呢?为此我们对该区域的断层形变资料进行了全时空扫描,将连续三年以上断层形变规律的突然改变定义为异常(包括阶跃、突变、趋势转折、显著的年变变化等)。将每次异常作为一次独立的事件,统计出该区域全部异常事件后,按先后发生时间的顺序排列,即可得到异常曲线图象的分布和异常频



(a) 2002年形变异常点分布



(b) 2003年形变异常点分布



(c) 2004年3月形变异常点分布

图 1 青藏块体北缘断层形变异常点分布

Fig. 1 Distribution of the abnormal sites for fault deformation in northeast margin area of Qinghai-Tibet block.

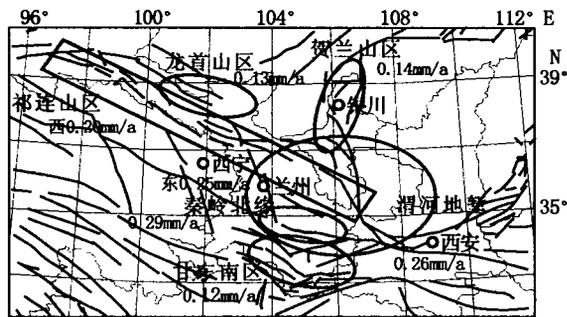


图 2 青藏块体东北缘及临区各断层带年活动速率的分布

Fig. 2 Average rates of fault movement in northeast margin area of Qinghai-Tibet block.

次的分布。笔者将大幅度群体断层形变异常按发生时间顺序排列进行分析的方法称之为“断层形变大幅度异常排列法”。排列的结果见图 3(a)–(h), 图中阴影部分表示异常。在此基础上很容易统计出大幅度断层形变异常每年发生的次数, 即得到断层形变异常年频次图(图 4)。

从图 3(a)看出, 1990 年天祝 6.2 级地震前未出现明显的群体性同步异常, 这一点在图 4 中亦有所体现。1993 年前后出现了一个同步异常的相对高值期, 1995 年发生了永登 5.8 级地震, 在图 3(a)和图 4 上都有显示, 因此可认为这次同步异常属于断层形变显示的中期前兆性异常。从图 3(b)、(c)看出 1995 至 1997 年又出现了新的同步异常高峰, 但没有地震对应, 图 4 也有同样的显示。我们认为有两个方面的原因, 一是存在 1995 年永登 5.8 级地震的震时影响和震后效应, 另一方面可能与 1997 年发生的玛尼地震有关。因为尽管玛尼地震比较远, 但其震级比较大, 且受印度板块向北东向挤压的作用, 孕育一次强震很可能影响到青藏块体东北缘地区^[4-6], 这一点在 GPS 给出的有关地壳运动研究结果中可得到定性的支持^[7]。1998–1999 年同步异常较少, 从图 3(d)和图 4 均可以看出, 这期间也确实未发生强震。但到 2000 前后, 又出现了一次新的同步异常高峰, 后来于 2000 年 6 月 6 日发生了景泰 5.9 级地震^[8], 于 2001 年 11 月 14 日发生了昆仑山口 8.1 级强烈地震^[9]。昆仑山口地震虽然远一些, 但属于 50 年一遇的强烈地震, 在该区域出现较多的同步异常是很自然的事。从图 3(f)看出, 2001–2002 年同步异常有, 但较少。2002 年 12 月 14 日发生了玉门 5.9 级地震^[10], 事先靠异常的时间分布较难预料, 因为前面发生了一次 8.1 级强震, 出现后效

性的同步异常的可能性很大, 况且同步异常的个数并未显著增多。经分析认为这次地震本身就很可能和 8.1 级强震的震后效应有一定的关系。尽管如此, 前面分析的断层形变异常的空间分布对这次地震还是有一定的显示的。从图 3(g)和图 4 均可看出, 2002–2003 年又出现了同步异常高峰, 2003 年 10 月 25 日发生了民乐—山丹 6.1 级地震^[8], 这应该是一次群体性同步的断层形变异常。从图 3(h)看, 2003–2004 年的同步异常又比较多, 但结合图 4 看, 2004 年的异常数量并不显著地高, 说明部分异常落在 2003 年。此外, 从图 3 看, 虽然目前异常比较多, 但和以往相比, 变化量级不很突出, 故认为发生强震的条件尚不成熟, 考虑到其他手段和方法给出的研究结果, 应密切注视异常的发展趋势, 特别注意青藏块体东北缘的东部。

4 结语

在大同地震、张北地震前出现了山西带断层大幅度群体性异常, 丽江地震前云南出现断层大幅度群体性异常。受此启发, 本文提出了“断层形变大幅度异常排列法”, 并在青藏高原东北缘地区进行了统计分析, 有一定的效果。在其它地区的尝试性研究也在进行中。因强震空间分布差异很大, 研究结果会存在区域性差异。

大幅度群体性断层形变异常与强震的孕育发生都是地壳运动的产物, 孕育地震之前, 必然存在地壳应力场的变化, 作为地壳变形的敏感带—断裂带必然产生更显著的变形。强震的孕育应该对应较强的地壳应力场变化, 在断裂带上诸多断层上触发多处大幅度的断层形变成为必然。但受到测点分布的限制有可能观测不到, 或观测到的数量不足以说明问题。

本文对该区域断层形变的分析表明, 青藏块体东北缘地区的断层异常活动由西向东迁移, 同时东部断层形变的平均活动速率也比较高。但通过近几十年资料的统计和分析看出, 东部目前出现断层形变异常活动的数量和强度都不是很突出, 这一结论对该区域 1~3 年的震情形势判定有一定的参考价值。将断层形变异常空间分布、断层形变平均活动速率的空间分布和断层形变异常在时间上的分布特征相结合的思路和方法监视今后该区域断层活动的发展动向, 用于该区域地震中期预测的研究与震情跟踪, 是一种有意义的尝试。

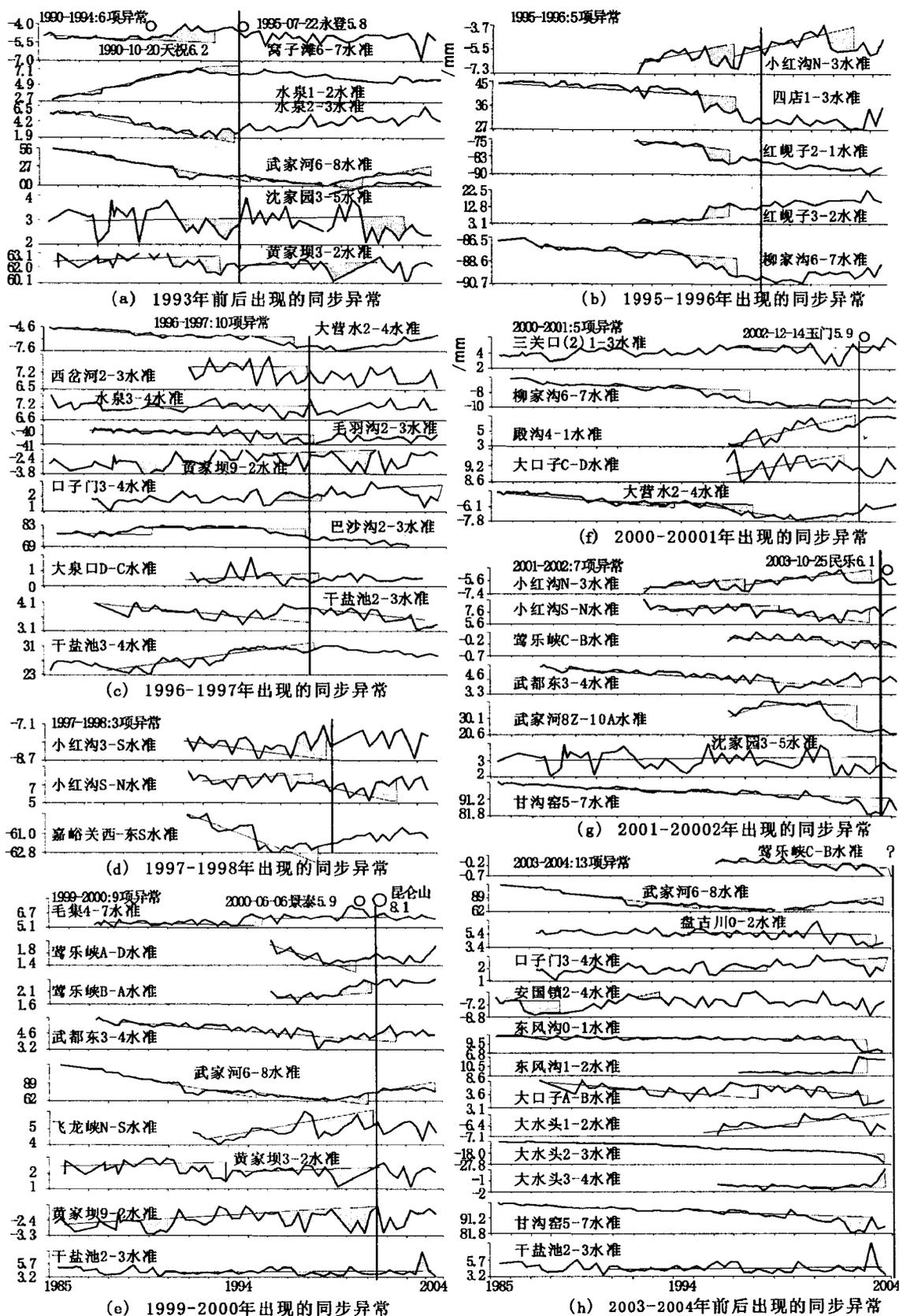


图3 大幅度群体形变异常的排列

Fig. 3 Arranging the synchronized anomalies of fault deformation.

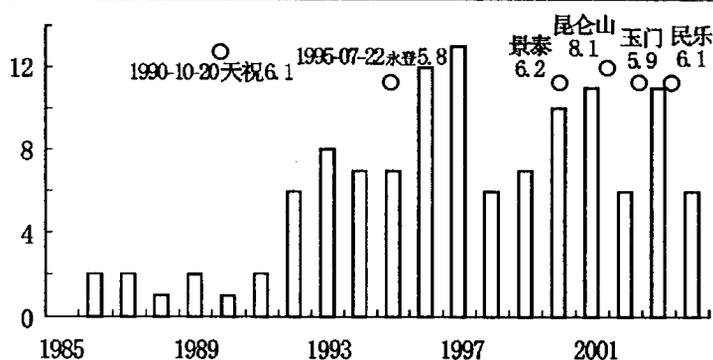


图 4 青藏块体东北缘区域断层形变异常
年频次与中强以上地震的对应关系

Fig. 4 Relationship between the yearly anomaly frequency of fault deformation and earthquakes in northeast margin area of Qinghai-Tibet block.

[参考文献]

- [1] 江在森, 祝意青, 王庆良, 等. 永登 5.8 级地震孕育发生过程中的断层形变与重力场动态特征[J]. 地震学报, 1998, 20(3): 264-271.
- [2] 薄万举, 郭卫星, 郭良迁, 等. 形变台点异常事件与强震活动关系的研究[J]. 西北地震学报, 2004, 26(2): 144-148.
- [3] 薄万举, 华彩虹. 地形变强震指标探讨[J]. 地震, 2001, 21(1): 25-32.
- [4] 曾融生, 孙为国. 青藏高原及其邻区的地震活动性和震源机制以及高原物质东流的讨论[J]. 地震学报, 1992, 14(增刊): 534-564.
- [5] 许力生, 陈运泰. 1997 年中国西藏玛尼 $M_s = 7.9$ 地震的时空破裂过程[J]. 地震学报, 1999, 21(5): 449-459.
- [6] 薄万举, 郭良迁, 董桂英, 等. “坝体决口”孕震模式[J]. 地壳形变与地震, 2001, 21(4): 103-109.
- [7] 杨红心, 王乘, 张秋文, 等. 青藏高原隆升的非线性动态有限元仿真研究[J]. 大地测量与地球动力学, 2002, 22(2): 75-81.
- [8] 张希, 薛富平, 王双绪, 大姚、民乐—山丹地震前的中短期前兆[J]. 大地测量与地球动力学, 2004, 24(4): 57-63.
- [9] 金春华, 马禾青, 赵卫明, 等. 昆仑山口西 8.1 级强震前宁夏的地倾斜异常[J]. 大地测量与地球动力学, 2003, 23(2): 61-64.
- [10] 马尔曼, 陈永明, 赵广望, 等. 2002 年甘肃玉门 5.9 级地震灾害损失评估[J]. 西北地震学报, 2004, 26(2): 162-167.