

# 汶川 Ms8.0 地震前的区域垂直形变背景<sup>\* 1</sup>

塔 拉 陈阜超 郭良迁 陈聚忠 薄万举  
(中国地震局第一监测中心,天津 300180)

**摘 要** 根据 1951 年以来的水准观测资料和 1999—2007 年的 GPS 观测资料计算得到的地壳垂直形变速率,研究了青藏块体和华南块体不同时间段的垂直形变特征,以及形变与汶川 8.0 级地震孕育发生的关系。结果显示,汶川 8.0 级地震发生在垂直形变强烈上升区的形变速率梯度带上;大震孕育过程的应变能积累与印度板块-欧亚板块相互碰撞有关;与位于两个板块碰撞前缘的青藏块体在南北向强烈挤压,形成垂直方向隆升,物质向东和东南迁移过程相联系。

**关键词** 垂直形变;形变场演化;上升区;垂直形变梯度带;应变能积累

**中图分类号:**P315.72<sup>+5</sup> **文献标识码:**A

## BACKGROUND OF VERTICAL DEFORMATION BEFORE WENCHUAN Ms8.0 EARTHQUAKE

Ta La ,Chen Fuchao,Guo Liangqian,Chen Juzhong and Bo Wanju  
(*First Crust Monitoring and Application Center, CEA, Tianjin 300180*)

**Abstract** Based on the data obtained since 1951 and the crustal vertical deformation rate calculated from the GPS data obtained from 1999 to 2007, the vertical deformation characteristics in Qinghai-Tibet block and southern China block, and the relationship between the vertical deformation and both of the occurrence and the development of Wenchuan Ms8.0 earthquake was studied. The results show that Wenchuan Ms8.0 earthquake happened in the vertical deformation rate gradient zone that was the dramatic rising area. The accumulation of deformation strain energy was related with collisions of the Indian-Eurasian plates, and the vertical uplift of the Qinghai-Tibet block by strong squeeze in North-South direction at the front edge of the collision of the two plates with the substance movement to the East and South-East.

**Key words:** vertical deformation; evolution of deformation field; zone of uplift; vertical deformation gradient zone; strain energy accumulation

### 1 引言

地壳垂直变化是地壳运动形式之一。现代地壳垂直形变是现今构造活动的直接表现。利用水准观测和 GPS 观测(空间大地测量)资料获得的垂直形

变是研究现今地壳活动的主要方法<sup>[1-5]</sup>。自 1966 年邢台地震之后,使用大面积水准观测资料研究地壳活动性和地震孕育发生过程的地壳垂直变化逐渐开展。长期以来不同专家编绘了不同时间段的区域性垂直形变图<sup>[6-9]</sup>。这些图件在研究现代地壳活动

\* 收稿日期:2012-12-10

基金项目:中国地震局“全国地震区划图编制项目”;中国地震局地震科技星火项目(XH12071);天津市应用基础研究(08JCZDJC18900);中国地震局地震行业科研专项(200908028)

作者简介:塔拉,男,1976 年出生,工程师,主要从事大地形变监测和地震工程工作. E-mail: tala333@163.com

和地震预测中发挥了重要作用。

本文旨在根据青藏块体和华南块体 1951—1999 年的水准复测资料和 1999—2007 年的 GPS 复测资料计算获得的垂直形变,研究汶川 8.0 级地震前的地壳垂直运动,探索汶川大震孕育的中长期形变特征。

## 2 垂直形变

选择相对稳定的怀化基岩点作为统一参考基准,对多期水准资料进行平差计算,得到青藏块体和华南块体不同时间段的垂直形变速率图如图 1 所示。成图过程中,对垂直形变数据按照青藏块体和华南块体划分,并进行了适当处理。所得不同时间段的垂直形变速率图代表了汶川 8.0 级地震前不同阶段的地壳垂直运动。

### 2.1 1951—1980 年

1951—1980 年青藏块体的南部和西南部为上升区,最大上升速率在藏南的喜马拉雅山麓,为 8 mm/a,东北部为下降区,最大下降速率位于青藏块体东北缘的天水地区,为 -5 mm/a。青藏块体的垂直形变速率由西南向东北依次减小,整个块体的最大差异变化速率为 13 mm/a。形变速率等值线的走向在青藏块体中部和南部主要为北西向,至东北部逐渐偏转为近南北向。昆明以南的地区垂直形变速率等值线比较密集,梯度相对较大(图 1)。

1951—1980 年华南块体的垂直形变速率表明中部武汉-贵阳一带为微弱上升区,形变速率为 0 ~ 1 mm/a,西部的四川盆地和华南块体东南部为下降区,最大下降速率位于东南沿海地带,为 -5 mm/a。在该时间段华南块体的变化西北和东南两侧表现下降,中部为北东向的微弱隆升,块体的最大差异变化速率为 6 mm/a,垂直形变速率等值线的走向主要为北东向。华南块体与青藏块体交界的龙门山地段的垂直形变等值线相对密集。

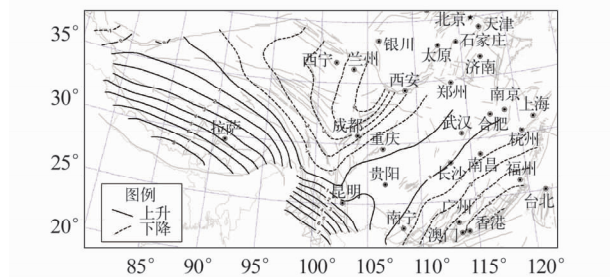


图 1 青藏块体和华南块体 1951—1980 年垂直形变速率  
Fig. 1 Vertical deformation rate in Qinghai-Tibet Block and Southern China Block during 1951-1980

### 2.2 1980—1999 年

1980—1999 年的垂直形变速率显示,青藏块体以上升为主,最大上升速率为 9 mm/a,位于兰州和昌都地区,仅青藏块体西北部一隅下降,最大下降速率为 -2 mm/a。1980—1999 年青藏块体的垂直形变在东部兰州-昌都一带形成较强烈的上升地带,速率 7 ~ 9 mm/a。其东西两侧的速率等值线较为密集,梯度较大。西部的梯度带发育在德令哈-治多一带,宽度近 300 km。东部的梯度带沿青藏块体东部边缘地带发育,北起凤县,经康定,南到临沧,宽度约 200 km。青藏块体南部的定日-昂仁地区也是上升较显著的地区,上升速率在 7 mm/a 以上,这一地区的形变速率等值线相对较稀疏。青藏块体 1980—1999 年的最大差异变化为 11 mm/a(图 2)。

1980—1999 年华南块体的垂直形变也同样以上升为主,上升速率最大为 3 mm/a,位于东南沿海地带。华南块体中西部地区的上升速率一般为 0 ~ 1 mm/a,重庆地区的形变速率在 0 mm/a 以下,微有下降。该时间段华南块体的垂直形变最大差异变化达 3 mm/a。

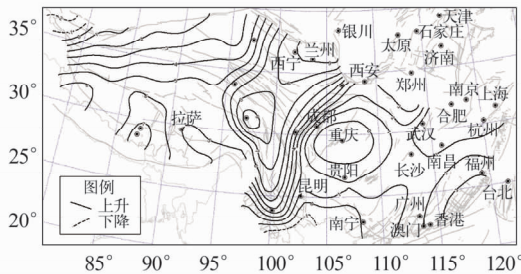


图 2 青藏块体和华南块体 1980—1999 年垂直形变速率  
Fig. 2 Vertical deformation rate in Qinghai-Tibet Block and Southern China Block during 1980-1999

### 2.3 1999—2007 年

图 3 为 1999—2007 年的垂直形变速率,该速率是 ITRF 参考框架下的 GPS 站点垂直形变速率,并以怀化基岩点为参考点进行了转换。图 3 表明,青藏块体仍然以上升为主,其西部上升速率相对较小,一般为 2 ~ 4 mm/a,东部上升速率较大,沿兰州-康定-临沧一带仍然是较为强烈的上升区,最大上升速率位于该上升带的南北两端,北端兰州地区上升速率达 9 mm/a,南端临沧地区上升速率为 10 mm/a。伴随上升带的两侧未出现显著的形变梯度带,仅局部地段梯度相对较大(如成都-昆明以南)。青藏块体最大差异变化量为 8 mm/a。

华南块体 1999—2007 年的垂直形变显示,该区西部上升,上升速率较大的有四川盆地和桂林地区,为 4 ~ 5 mm/a,东部和南部沿海地区下降,下降速率

相对较大的地区在北海-灵山地段,为  $-5\text{ mm/a}$ ,其次是鄱阳湖地区下降速率为  $-3\text{ mm/a}$ 。该时段华南块体最大差异变化量为  $10\text{ mm/a}$ 。

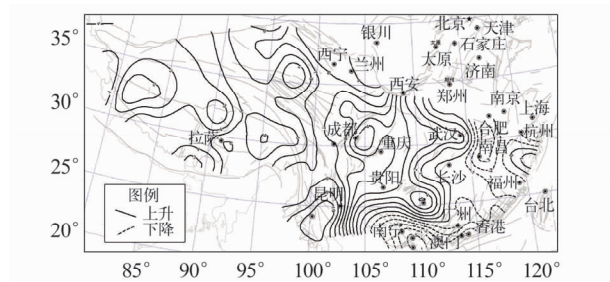


图3 青藏块体和华南块体 1999—2007 年垂直形变速率

Fig.3 Vertical deformation rate in Qinghai-Tibet Block and Southern China Block during 1999-2007

### 3 三个时间段的演变特征

青藏块体的垂直形变在第一阶段(1951—1980年)是南部上升,北部下降;第二阶段(1980—1999年)以整体上升为主,东部上升强烈,西部上升相对较弱;第三阶段(1999—2007年)仍然以上升为主,继续保持着东部上升较快,西部上升相对较慢的变化。在东部上升带的东西两侧于 1980—1999 年形成了较显著的梯度带。

华南块体的垂直形变第一阶段为中间上升,东西两侧相对下降;第二阶段以整体上升为主,西部上升微弱,东部上升相对明显;第三阶段是西部上升,东部-南部沿海下降。

青藏块体与华南块体的交界带上,第一阶段没有出现明显的形变梯度带,第二阶段开始形成较为显著的形变梯度带,梯度值为  $2.31\text{ mm}\cdot\text{a}^{-1}/100\text{ km}$ 。第三阶段未形成大规模梯度带,仅在两个块体交界地带的部分地段形变梯度相对变大。

### 4 形变与地震

1951—2008 年,研究区内共发生 3 次 8.0 级以上地震(1951 年 11 月 18 日当雄 Ms8.0;2001 年 11 月 14 日昆仑山口西 Ms8.1;2008 年 5 月 12 日汶川 Ms8.0)。其中当雄地震发生在水准施测初期,不便与垂直形变进行比较,昆仑山口西地震和汶川地震发生于垂直形变的第三时间段,其中一次发生在青藏块体北部,一次发生在东部边缘,垂直形变具有较长期的变化,能够考察其地震前的地壳形变过程。

1951—1980 年青藏块体的垂直形变西部和南部上升,东北部下降,华南块体则中西部上升,东南部下降,而且整个研究区域内以喜马拉雅山麓地区上升速率最大,表明印度板块向北碰撞推挤对该区地壳变化起着主要作用。1980—1999 年青藏块体

的垂直形变整体以上升为主,最大上升速率前期在西南部,本期迁移到块体的东部。此时的华南块体形变也以小速率上升为主。1999—2007 年,青藏块体仍然保持着较强的上升态势,华南块体则表现为西部上升,东南部下降。三个阶段的垂直形变显示出,青藏块体以上升变化增强为特征,而上升强烈地区逐渐汇聚于青藏块体东部以阿玛尼卿山-龙门山为主体的地区。这一强烈上升区可能是应变能积聚增强的显示,可能是与 8 级大震孕育有关的形变。

### 5 结论

1) 从 1951—2006 年青藏块体的垂直形变经历了第一阶段的西南部上升东北部下降,第二阶段和第三阶段以上升为主,强烈上升区由西南向东部迁移的垂直形变演变过程。华南块体经历了第一阶段的西部上升东南部下降,第二阶段的整体上升,第三阶段的西部上升东部下降的演变过程。这样的垂直形变演化过程可能与印度板块-欧亚板块间的碰撞有关,印度板块向北推挤青藏块体,使青藏地区的地壳南北向缩短和垂直向隆升,并且向东和南东挤出。随着两板块间的碰撞推挤,位于碰撞前缘的青藏块体的垂直形变较强地带逐渐向东部推移,东部由于受华南块体阻挡,使应变得到积累。

2) 青藏块体在第二阶段(1980—1999)和第三阶段(1999—2007)的垂直形变以上升为主,表明块体的应变增强。垂直形变强烈上升区从青藏块体西南部迁移到东部,显示应变能积聚于块体东部,为大震孕育提供了能量。昆仑山口西 8.1 级地震和汶川 8.0 级地震正是在这一垂直形变背景上孕育发生的。

昆仑山口西 8.1 级地震和汶川 8.0 级地震发生在垂直形变强烈上升区的两侧,也反证了垂直形变强烈上升区具有较大的能量积累,有利于大震孕育。

3) 汶川 8.0 级地震的震中区位于垂直形变梯度较大的地段,该地段是第二阶段垂直形变梯度带,规模较大。第三阶段在震中附近的形变梯度也相对较大。垂直形变梯度较大的地带是地壳构造活动较显著的地带,和大震的孕育发生有着密切的关系<sup>[10]</sup>。

致谢 感谢黄立人教授提供水准计算方面的帮助!

### 参 考 文 献

- 1 刘经南,等. 中国大陆现今垂直形变特征的初步探讨[J]. 大地测量与地球动力学,2002,(3):1-5. (Liu Jingnan, et al. Preliminary research on characteristic of present-day vertical deformation of China mainland [J]. Journal of Geodesy and Geodynamics,2002,(3):1-5)

(下转第 21 页)