

中国西南部强震带残余应变能水平场 与大震分布的关系^①

安 欧

(中国地震局地壳应力研究所,北京 100085)

摘要: 据岩体正交异性弹性理论,横跨与平行龙门山断裂带,安宁河断裂带、红河断裂带和鲜水河断裂带四个测区,用 X 射线法布设 26 条测线,测得了岩体宏观残余应变能密度水平分布等值线图,研究了其与区内大震时空分布的关系。

关键词: 中国西南部; X 射线法; 残余能量场; 能震分布关系

中图分类号: P315.2

文献标志码: A

文章编号: 1000-0844(2015)04-0976-05

DOI: 10.3969/j.issn.1000-0844.2015.04.0976

Relation between Residual Strain Energy Horizontal Field and Large Earthquake Distribution in Strong Seismic Belts in Southwestern China

AN Ou

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

Abstract: Based on the theory of elasticity for orthotropic rock mass, using X-ray diffraction method, 26 survey lines were laid across and along four fault zones, including Longmenshan fault, Anninghe fault, Honghe fault and Xianshuihe fault zone. Then the density horizontal distribution isoline for macro-residual strain energy of rock mass was drew and the relationship between it and spatial-temporal distribution of large earthquakes in these study areas was studied.

Key words: Southwestern China; X-ray diffraction method; residual energy field; relation between energy field and earthquakes

0 引言

从上世纪 50 年代开始,作者在迁西地区布设 11 条测线共 96 个测点,用 X 射线法测量了迁西山字型构造带三维古构造残余主应力和主应变,求得其构造带中所储序的残余应变能量,用之鉴定了结构面的存在和力学性质及构造体系,并研究了此种力学场在岩体工程中的应用。

从 1985 年起,历时 10 年,又在龙门山断裂带、安宁河断裂带、红河断裂带和鲜水河断裂带四个测区, $4.2 \times 10^5 \text{ km}^2$ 范围内布设 26 条测线共 223 个测

点,用 X 射线法测得区内残余应力三维主分量和水平、铅直最大剪应力,求得其水平分布场^[1]。研究了其水平分布场与地震的成因联系和在震源力学过程中的作用,用之圈划了古地震活动区和未来强震危险区,并对测区内发生的武安 6.5 级、丽江 7.0 级和汶川 8.0 级三个大地震都用残余和现今应力场重叠法做了中期预测^[2-4]。

在前述工作基础上,本文进一步求得四个测区内岩体中残余应变能密度水平分布场,研究其与测区内大震时空分布的关系。

① 收稿日期: 2014-04-28

基金项目: 地震科学联合基金(85-012, 85-0708, 86-3017, 88-138, 91-046); 中国地震局老专家科研基金(201041)

作者简介: 安 欧(1932—), 男, 辽宁辽阳人, 研究员, 主要研究地壳动力学及其在地震预测、石油开发和岩体工程中应用。

区,水平总分布趋势为北高南低(图2)。

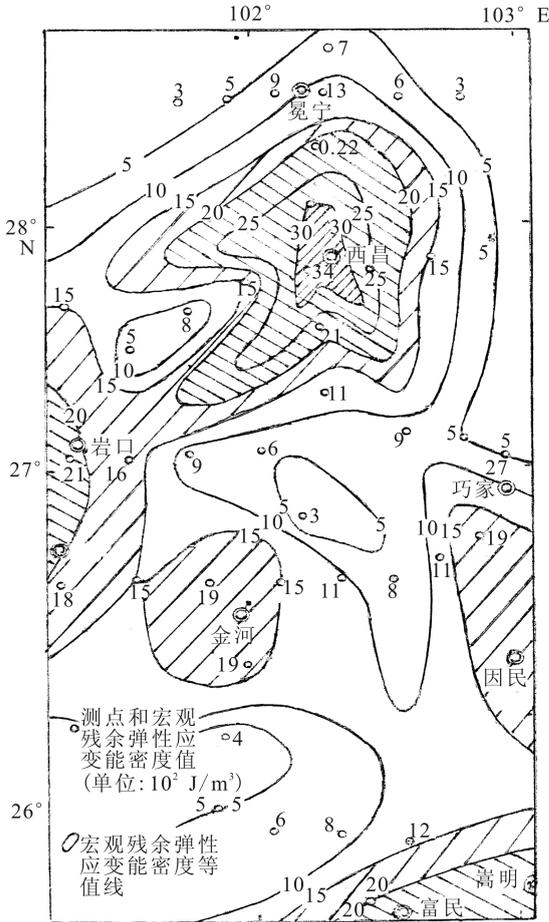


图2 安宁河断裂带测区用X射线法测得的宏观残余弹性应变能密度水平分布等值线图(高国宝参加采样)

Fig.2 Horizontal distribution isoline map of macro-residual strain energy density measured by X-ray method in Anninghe fault zone region

红河断裂带测区,测值范围为(1.0~38.0)×10³ J/m³,平均值约为19.5×10³ J/m³。水平分布高值区由高到低的顺序为松平—剑川地区,大理—南涧地区、开远地区、普洱地区、姚安地区,水平总分布趋势为北高南低(图3)。

鲜水河断裂带测区,测值范围为(0.03~22.8)×10³ J/m³,平均值约为11.4×10³ J/m³。水平分布高值区由高到低的顺序为乾宁—康定地区、炉霍—道孚地区、沙德地区、汉源地区,水平分布总趋势为南高北低(图4)。

四测区宏观残余应变能密度水平分布的比较列于表1。

当当地壳岩体中存在的构造应变能是古构造残余应变能与现今形成的应变能的叠加。地震时残余

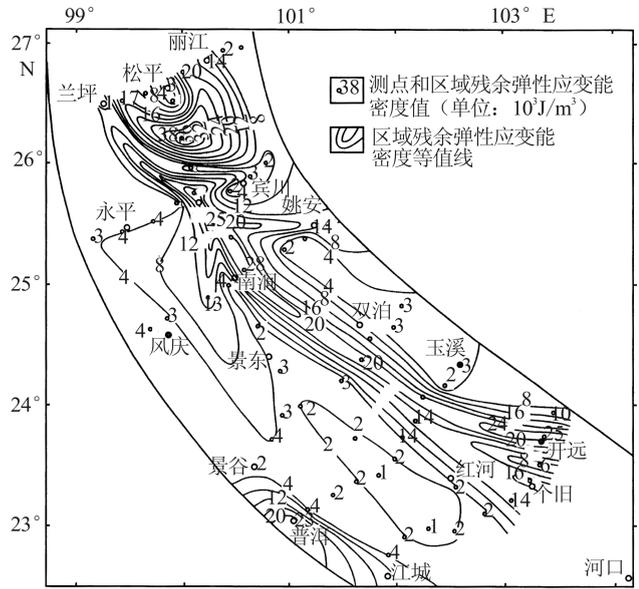


图3 红河断裂带测区用X射线法测得的宏观残余弹性应变能密度水平分布等值线图

Fig.3 Horizontal distribution isoline map of macro-residual strain energy density measured by X-ray method in Honghe fault zone region

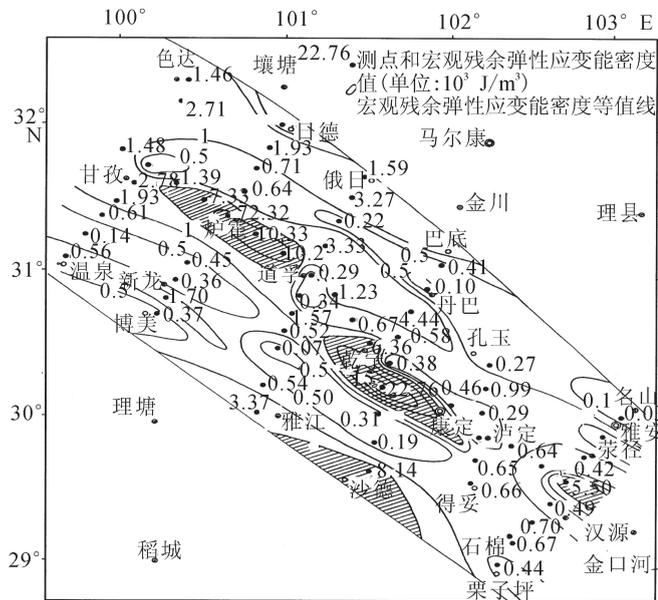


图4 鲜水河断裂带测区用X射线法测得的宏观残余弹性应变能密度水平分布等值线图

Fig.4 Horizontal distribution isoline map of macro-residual strain energy density measured by X-ray method in Xianshuihe fault zone region

应变能将与现今应变能一起释放,从而提高震级。

中国西南部四测区残余应力场的三维主分量多比同点现今应力场相应主分量高出几倍甚至十几倍^[7]。由固体力学知,岩体应变能密度可表示为主

表 1 中国西南部四测区宏观残余应变能密度水平分布比较表

Table 1 Horizontal distribution comparison for macro-residual strain energy densities in 4 regions in Southwestern China

测区	ϵ 值范围/ ($10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3}$)	测区 ϵ 平均值/ ($10^3 \text{ J} \cdot \text{m}^{-3}$)	ϵ 水平分布 总趋势
红河断裂带	1.0~38.0	19.5	北高南低
龙门山断裂带	5.1~21.7	13.4	北高南低
鲜水河断裂带	0.03~22.8	11.4	南高北低
安宁河断裂带	0.3~3.4	1.9	北高南低

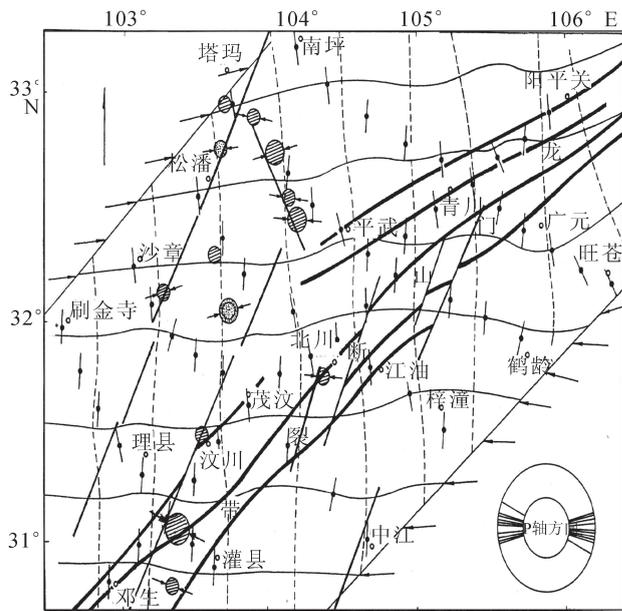
应力二次项的组合, $\epsilon = \frac{1}{2E} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\nu(\sigma_1\sigma_2 + \sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1)]$ 。可见本区残余应变能密度高出现今应变能密度很多倍。

中国西南部残余力场是晚第三纪应力场残留至

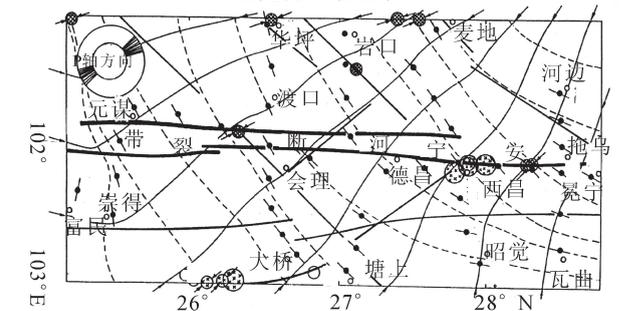
今的残余场^[1],其残余应变能仍高于现今应变能,说明本区晚第三纪的地震活动要比现代强烈得多,现代地震活动相对晚第三纪喜马拉雅运动的应是处于舒缓时期。同时也说明在这个过程中,残余应变能的作用一直在提高本区地震震级,其对地震释放能量的贡献要远高于现代应变能量,因而对区内大震的空间分布应起主要作用。

3 四测区宏观残余应变能场与大震分布的关系

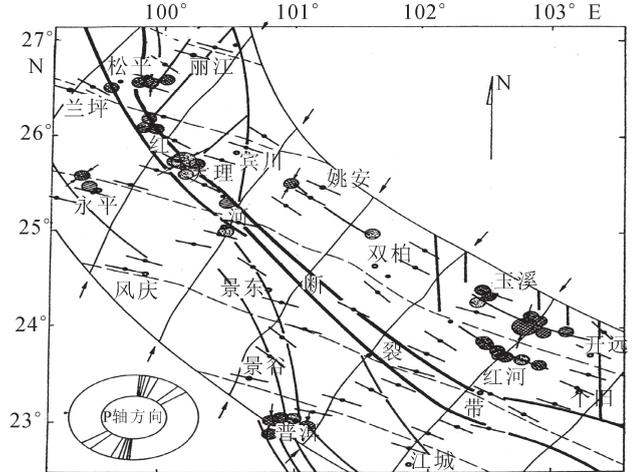
中国西南部龙门山断裂带、安宁河断裂带、红河断裂带和鲜水河断裂带四个测区内 6 级以上大地震的时空分布如图 5 所示。



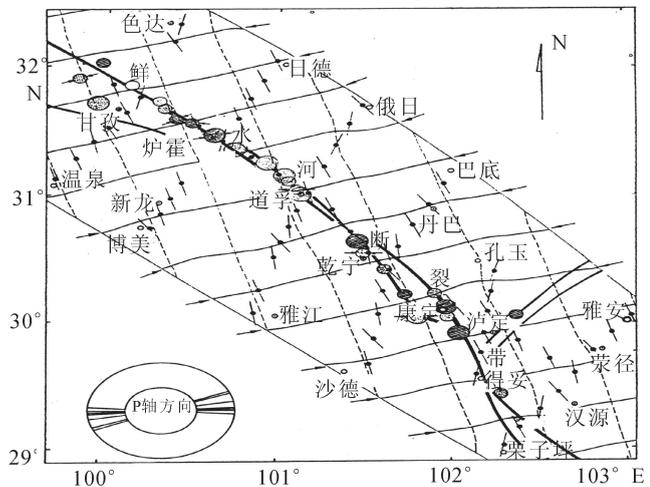
(a) 龙门山断裂带



(b) 安宁河断裂带



(c) 红河断裂带



(d) 鲜水河断裂带

图 5 四测区的断裂分布、6 级以上地震震中、震源机制解的 P 轴方向和宏观残余水平最大(实线)、最小(虚线)主压应力线图

Fig.5 Chart of fractures distribution, epicenters of $M > 6$ earthquakes, P axial direction of focal mechanism solution, macro-residual horizontal maximum (solid line) and minimum (dotted line) principal compressive stress lines in the four fault zone regions

龙门山断裂带测区 6 级以上大地震沿断裂带分布,集中在平武—塔玛地区、汶川—沙章地区以及北川地区,这些区位与图 1 中宏观残余应变能的高值区一致;发震时震源机制解的 P 轴方向与测区宏观残余水平最大主压应力线方向分布的角域一致。

安宁河断裂带测区 6 级以上大地震沿断裂带分布,集中在西昌—冕宁地区、麦地—华坪地区、因民—塘上地区以及金河地区,这些区位与图 2 中宏观残余应变能的高值区一致;发震时震源机制解的 P 轴方向与测区宏观残余水平最大主压应力线方向分布的角域一致。

红河断裂带测区 6 级以上大地震沿断裂带的分布,集中在松平—剑川地区、大理—南涧地区、玉溪—开远地区、普洱地区、姚安—双柏地区以及永平地区,这些区位与图 3 中宏观残余应变能的高值区一致;发震时震源机制解的 P 轴方向与测区宏观残余水平最大主压应力线方向分布的角域一致。

鲜水河断裂带测区 6 级以上大地震沿断裂带分布,集中在乾宁—泸定地区、炉霍—道孚地区、甘孜地区及得妥地区,这些区位与图 4 中宏观残余应变能的高值区位一致;发震时震源机制解的 P 轴方向与测区宏观残余水平最大主压应力线方向分布的角域一致。

由上可知,中国西南部四测区内 6 级以上大地震的时空分布有如下特点:

(1) 6 级以上大地震沿断裂带分布,但并非分布于断裂带上的任意部位,而是集中在宏观残余应变能的高值区段;

(2) 6 级以上大地震发生时 P 轴方向分布在宏观残余水平最大主压应力线方向分布的角域区。在此种状态,残余和现今应力场同向同性叠加使得叠加场应力值最高,因而易引发大地震。残余应力场的主轴方向基本不变,而 P 轴方向随地球自转状态而变^[6],因此可用地球自转状态来预测区内 6 级以上大震的发生时段,即当将要发生地震的 P 轴方向变化到地区宏观残余应力场的水平最大主压应力方向分布的角域内时,便易发震^[2-4]。这个时段取决于地球自转状态,地球自转状态由天文观测曲线的拟合曲线沿时间轴向后外延而得^[2-4]。

上述说明,宏观残余应变能的高值区地震多且震级大,低值区则没记录到大地震;地区将发生大震的 P 轴与基本不变的宏观残余应力场水平最大主压应力方向一致时是本区发生大震的最佳时段,此时二水平场的主应力值同向同性叠加而使岩体中的

叠加应力场处于高值状态。前者提供大震危险空间,后者提供大震危险时段。这为中国西南部大震活动趋势研究和地震区划均提供了一种基础资料。

此研究结果支持了地震区划中“大震原地复发”原则。

本区的宏观残余应力场是从晚第三纪以来就存在的^[1]。在这段历史时期内,残余主应力方向基本不变,但各地残余应变能有不同程度的衰减。因此大震危险区可以随之而变,有多个大震区,但危险时段与地球自转状态的关系基本不变^[1,6]。

参考文献(References)

- [1] 安欧.地壳残余应力场[M].北京:地震出版社,2011:4-17,36-39.
AN Ou.Geocrustal Residual Stress Filed[M].Beijing:Seismological Press,2011:4-17,36-39.(in Chinese)
- [2] 安欧.残余和现今应力场重叠法预测红河断裂带测区大震危险时段[J].地震研究,1996,19(1):34-40.
AN Ou.Forecast of Risk Area and Risk Time of Strong Earthquakes in Honghe Faults by Superposition Method of Residual and President Stress Frelld[J].Journal of Seismological Research,1996,19(1):34-41.(in Chinese)
- [3] 安欧.应力场重叠法预测安宁河断裂带大震时空强分布[A]//地壳构造与地壳应力文集(10).北京:地震出版社,1997:45-51.
AN Ou.A Prediction Method of Stress Field Superpositon for the Time-space-strength Distribution of Earthquakes in the Anninghe Fault Zone[A]//Bulletin of the Institute of Crustal Dynamics(10).Beijing:Seismological Press,1997:45-51.(in Chinese)
- [4] 安欧.应力场重叠法预测龙门山断裂带测区大震时空强分布[A]//地壳构造与地壳应力文集(12).北京:地震出版社,1999:108-113.
AN Ou.A Prediction Method of Stress Field Superposition for the Time-space-strength Distribution of Earthquakes in the Longmenshan Fault Zone[A]//Bulletin of the Institute of Crustal Dynamic(12).Beijing:Seismological Press,1999:108-113.(in Chinese)
- [5] 日本材料学会.X 线应力测定法[M].东京:书肆株式会社,1966:84-104.
Japan Material Society.X-ray Stress Measure Method[M].Tokyo:Literature Press,1966:84-104.(in Japanese)
- [6] 安欧.中国中部大震与地球自转的关系[J].地震研究,1984,7(5):585-596.
AN Ou.Relation between Large Earthquake in Central China and Earth's Kotation[J].Journal of Seismological Research,1984,7(5):585-596.(in Chinese)
- [7] 安欧.中国西南部强震带古构造残余应力场对大震的控制[A]//地壳构造与地壳应力文集(15).北京:地震出版社,2002:23-30.
AN Ou.Control of Paleo-tectonic Residual Stress Field on Large Earthquakes in Strong Seismic Beismic Belts in Southwestern China [A]//Bulletin of the Institute of Crustal Dynamics(15).Beijing:Seismological Press,2002:23-30.(in Chinese)