

安宁河断裂带测区古构造 残余应力随深度分布^{*}

安 欧 高国宝

(国家地震局地壳应力研究所, 北京 100085)

摘要 以岩体正交异性弹性理论为基础, 用 X 射线法, 在安宁河断裂带测区, 选取了 9 个钻孔的岩芯, 测量了岩体中宏观残余应力场的水平和铅直三维主应力及最大剪应力随深度的分布, 分析了其沿深度的分布规律, 求得了其铅直梯度值。

关键词: 构造应力场 最大剪应力 梯度 X 射线法 安宁河断裂带

1 前言

世界上许多国家, 如中国、美国、日本、英国、葡萄牙、澳大利亚等, 都以岩体各向同性弹性理论为基础, 用各种方法在地表浅层进行了岩体中水平二维宏观残余应力测量^[1~12]。

为了研究古构造残余应力场在岩体中的空间分布规律, 特别是在地壳深层的分布状态, 进而探讨其在震源体力学过程中的作用^[13~14], 圈划古地震活动区^[15] 和未来强震危险区^[16], 除测量其在地表浅层的水平分布外, 还须测量其随深度的变化, 以推求其在震源深度的分布状态^[17~18]。由于古构造残余应力场是岩体中的微观残留自平衡应力系统, 只要岩石结构不变, 便在岩体内长期保留^[19]。因此, 可通过测量钻孔岩芯中的残余应力随深度的分布来完成。

作者已在沿安宁河断裂带 $9.9 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的测区内, 沿 6 条测线 42 个测点完成了宏观残余应力场的三维主分量及水平和铅直最大剪应力在地壳表层水平分布的测量^①。本文, 在此基础上, 又在测区内选取了 9 个深钻孔的岩芯, 根据岩体正交异性弹性理论, 用 X 射线法^[20], 选测了岩体中力学性质呈高级轴对称的矿物石英和方解石^[13], 在不同孔深处取样, 测量了宏观残余应力的水平和铅直三维主分量及最大剪应力, 分析了它们随深度的分布规律。

2 测量设计和结果

在安宁河断裂带测区内, 地质、冶金、煤炭、盐业、水电等系统已打了数以千计的钻孔。从中选取了 9 个大口径深孔(图 1)的岩芯, 一般在孔深相距约 100m, 个别相距约 200m 处取样, 作为一个测点, 从岩芯的中间部分切取水平和铅直测件。^[20] 由于岩芯中石英或方解石含量较高, 它们又都属于六角晶系, 故选测了这两种矿物晶体中垂直于其六角对称轴的晶面间距较大的晶面系。测得的宏观残余应力水平和铅直三维主分量 σ_1 、 σ_2 、 σ_3 及水平和铅直最大剪应

^{*} 地震科学联合基金资助项目(91-046)

第一作者简介: 安欧, 男, 64 岁, 研究员, 现主要从事地壳残余应力场及其在震源学中的应用研究。

收稿日期: 1994-12-05; 修改稿: 1995-01-15

① 安欧, 高国宝. 安宁河断裂带测区古构造残余应力场对大地震的控制. 地震科学联合基金资助成果, 1994.

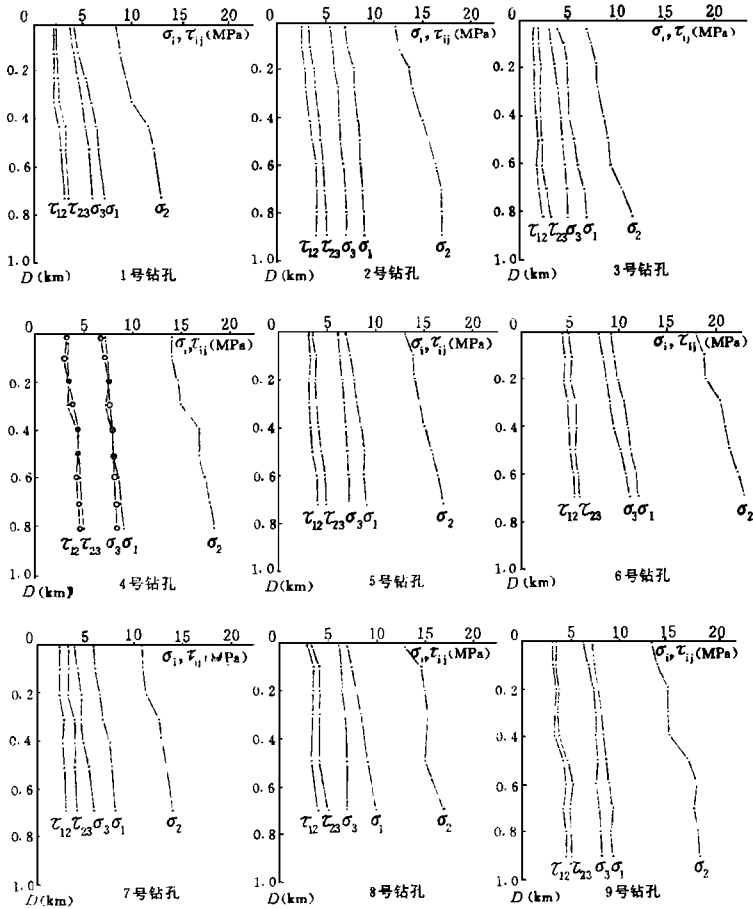


图2 安宁河断裂带测区各测孔宏观残余三维主压应力
和水平及铅直最大剪应力随深度的分布

Fig. 2 The measuring results of 3-D macro-residual principal compressive stresses as well as distribution of the maximum horizontal and vertical shear stresses with depth of each measuring borehole along Anninghe fault zone.

还要从其中减去因形成时所在深处岩体的完整性比地表为好而产生的地壳上层固体岩壳向上支承力的铅直分力和当时水平压应力所引起的铅直向张性泊松效应两项。因之，其铅直分量的铅直梯度远小于单纯由重力所引起的铅直梯度。从表2得知，其铅直分量的铅直梯度，在测区内德昌以北平均为 0.00269M Pa/m ，在德昌以南平均为 0.00248M Pa/m 。由于其铅直分量在地表的分布值^①，在德昌以北平均为 6.5MPa ，在德昌以南平均为 5.1MPa ，故其形成时在地表的分布值也应为零。由此得，其形成后由于地块上升而被剥蚀掉的上覆岩体厚度，在德昌以北约为 2.42 km ，在德昌以南约为 2.06 km 。这与地质资料所反映的晚第三纪以来北区上升量大于南区的结果相吻合。

在本区钻孔的整个测量深度内，都有关系 $\tau_{23} > \tau_{12}$ (图2)。这表明，在铅直主平面(23)方

向上的高值剪切形变所反映的主轴 2 方向的水平冲压作用大于水平剪应力 τ_{12} 所引起的水平

表 2 安宁河断裂带测区各测孔宏观残余应力成分的铅直分布梯度

| 孔 号 | 孔 深 (m) | a_1 (10^{-3} MPa/m) | a_2 (10^{-3} MPa/m) | a_3 (10^{-3} MPa/m) | a_{12} (10^{-3} MPa/m) | a_{23} (10^{-3} MPa/m) |
|------|------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| 1 | 732 | 5.12 | 6.83 | 3.35 | 1.37 | 1.78 |
| 2 | 900 | 2.78 | 5.78 | 2.72 | 2.21 | 2.70 |
| 3 | 823 | 3.65 | 5.46 | 2.75 | 1.52 | 2.74 |
| 4 | 810 | 2.16 | 6.17 | 1.85 | 2.16 | 1.85 |
| 5 | 721 | 3.12 | 5.55 | 2.08 | 1.73 | 2.08 |
| 6 | 691 | 3.62 | 7.24 | 3.61 | 1.75 | 1.80 |
| 7 | 685 | 3.29 | 4.38 | 3.21 | 1.10 | 1.10 |
| 8 | 689 | 4.35 | 5.81 | 1.65 | 1.45 | 1.60 |
| 9 | 902 | 2.50 | 5.88 | 1.94 | 1.93 | 1.94 |
| 综合平均 | | 3.40 | 5.90 | 2.57 | 1.69 | 1.95 |

扭动作用。即本区的宏观残余应力场使区内的构造运动以主轴 2 方向的水平压性变形为主, 水平扭动为辅。 $\sigma_2 > \tau_{12}$ 所表示的水平最大主压应力大于水平最大剪应力, 也说明了这一结论。这与安宁河断裂带晚第三纪以来以水平冲压褶皱为主和以水平左旋扭动为辅也是一致的。因为安宁河断裂带走向 SN, 区内水平最大宏观残余主压应力 σ_2 的方向, 从北到南为 SEE 到 SSE^①, 正好使断裂带进行水平左旋扭压性变形。

四川省地矿局及其所属攀枝花地质队和 109 地质队、冶金工业部西南地质勘查局及其所属成都地质调查所和 601 地质大队、重庆钢铁公司西昌太和铁矿、云南省地矿局及其所属 814 地质队, 对本项研究提供了钻孔资料和岩芯, 在此一并致谢。

参考文献

- 1 安欧. X射线地应力测量原理和方法. 地震研究, 1979, 2(3): 59~67.
- 2 安欧. 迁西地区构造体系的X射线鉴定. 地质科学, 1982, (1): 57~63.
- 3 Friedman M. Residual elastic strain in rock. *Tectonophysics* 1972, 15: 297~330.
- 4 星野一男, 安田俊一, 小出仁. 关东中部地方に於ける残留応力の測定例. 地震月刊, 1978, (1): 18~19.
- 5 Jaeger C. In-situ residual stresses in rock mass. *Rockmechanics, Eng. Cambridge Univ.*, 1972, (5): 30~34.
- 6 Oberti G. Residual stress measurement in rock masses. *Proc. 1 Congr. Int. Soc. Rockmechanics*, 1966, (2): 31~34.
- 7 Swolfs H S. Field measurement of residual strain in granitic rock mass. *Advances in Rock Mechanics, Proc. 3 Cong. ISRM II*, 1974, 563~568.
- 8 Holzhausen G R. The concept of residual stress in rock. *Tectonophysics* 1979, 58: 3~4.
- 9 Bock H. Experimental determination of the residual stress field in a basaltic column. *4th International Congress on Rock Mechanics, Rolla Missouri*, 1979, (1): 45~49.
- 10 Engelder T, Geiser P. Residual stress in the Tully Limestone Appalachian Plateau. *Journal of Geophysical Research*, 1984, 89 (B11): 9365~9370.
- 11 安欧. 绝对弹性地形变的X射线测量与地震. 西北地震学报, 1984, 6(4): 20~30.
- 12 安欧, 高国宝, 李占元. 红河断裂带古构造残余应力场X射线测量. 滇西地震预报实验场论文集. 北京: 地震出版社, 1992, 364~377.
- 13 安欧. 构造应力场. 北京: 地震出版社, 1992, 38~101.
- 14 安欧, 高国宝. 鲜水河断裂带古构造残余应力场对大地震的控制. 地震地质, 1993, 15(2): 139~147.
- 15 安欧, 等. 红河断裂带古地震区划. 地壳构造与地壳应力文集. 北京: 地震出版社, 1993, (6): 57~67.
- 16 安欧, 等. 残余和现今应力场重迭法预测强震危险时区. 地壳形变与地震, 1994, (1): 66~73.
- 17 安欧, 高国宝. 红河断裂带测区古构造残余应力随深度分布X射线测量. 地震研究, 1993, 16(2): 169~177.
- 18 安欧, 高国宝. 鲜水河断裂带古构造残余应力随深度分布及带中残余能量. 西北地震学报, 1993, 15(3): 63~69.
- 19 安欧, 高国宝, 李占元. 古构造残余应力场的性质和机制. 地壳构造与地壳应力文集. 北京: 地震出版社, 1991, (5): 107~122.
- 20 安欧, 高国宝, 李占元. 古构造残余应力场X射线测量. 华北地震科学, 1991, 9(3): 1~17.

DISTRIBUTION OF PALEOTECTONIC RESIDUAL STRESSES ALONG WITH DEPTH IN ANNINGHE FRACTURE ZONE

An Ou Gao Guobao

(*Institute of Earth Crust Dynamics, SSB, Beijing 100085*)

Abstract

Based on the anisotropic elastic theory of rock mass, the X-ray method is adopted to measure the 3-D macro-residual principal stresses as well as distribution of the maximum horizontal and vertical shear stresses with depth in rock mass from 9 measuring boreholes in Anninghe fault zone. The regularities of the distributions are analysed and the vertical gradient values are obtained.

Key words: Tectonic stress field, Maximum shear stress, Gradient, X-ray method, Anninghe fault zone