

上海地区应变监测能力的有限元分析^{* 1}

任 焱 刘佳敏 王 军

(上海市地震局,上海 200165)

摘 要 基于 ANSYS 有限元软件进行数值模拟分析,对上海市 9 个模拟观测点的应变监测能力进行初步探索。从理论上证明了在目前地壳运动水平下,上海市综合深井地震观测系统能够获到地震活跃期的地壳形变信息。

关键词 综合深井地震观测系统;地壳应变;有限元;ANSYS;数值模拟

中图分类号:P312. 2

文献标识码:A

FINITE ELEMENT ANALYSIS ON CAPACITY OF MONITORING IN CRUST STRAIN IN SHANGHAI AREA

Ren Ye, Liu Jiamin and Wang Jun

(*Earthquake Adiministration of Shanghai Municipality, Shanghai 200165*)

Abstract Based on ANSYS finite element software for numerical simulation analysis, the strain monitoring ability is initially explored by 9 analog observation points in Shanghai municipality. It is proved in theory that comprehensive deep seismic observation system could access crustal deformation information in the seismic active period under the current crust movement level.

Key words: comprehensive deep seismic observation system; crustal strain; finite element; ANSYS; numerical simulation

1 引言

上海市深井地震综合观测系统计划在上海市行政区内建设 27 个深井综合地震观测站,考虑到本项目属于创新性项目,根据上海市发改委提出的统一规划、分布实施建议,上海市地震局在“十一五”中建设 2 个深井地震综合观测站,分别位于浦东的张江和崇明的长江农场,为后续深井综合地震观测站的建设提供经验和参考(图 1),每个站点深井中安装地磁仪、应变仪、倾斜仪、测震仪、孔隙压仪、地温仪、水温仪、水位仪,地表安装强震仪和 GPS,总计 10 个测项,是到目前为止国内配备地震观测测项最

多的深井地震综合观测站,且建成后能连续长期运行。同时地表还配备气压计和气温计等辅助观测手段,目前已完成了这两个台站的建设并通过验收。

在项目建设初期,需要对上海市的整个地壳应变情况有一个理论上的分析结果,才能确定深井综合观测仪器中应变观测分项的存在价值。

2 模型的建立

实测资料表明:地震活跃期,地壳长期应变速率为 $10^{-7}/a^{[1,2]}$ 。因此,本文考虑在此应变速率下,利用 ANSYS 有限元软件进行数值模拟分析。上海位于扬子地块的东南边缘,块体运动较为稳定,把上海

* 收稿日期:2013-02-20

基金项目:上海市深井综合地震观测项目和地震科技星火计划(XH12017Y)

作者简介:任焱,男,1980 年生,工程师,软件工程硕士,从事地震监测、预测方法、深井地震综合观测等方面研究. E-mail:renyerenye@

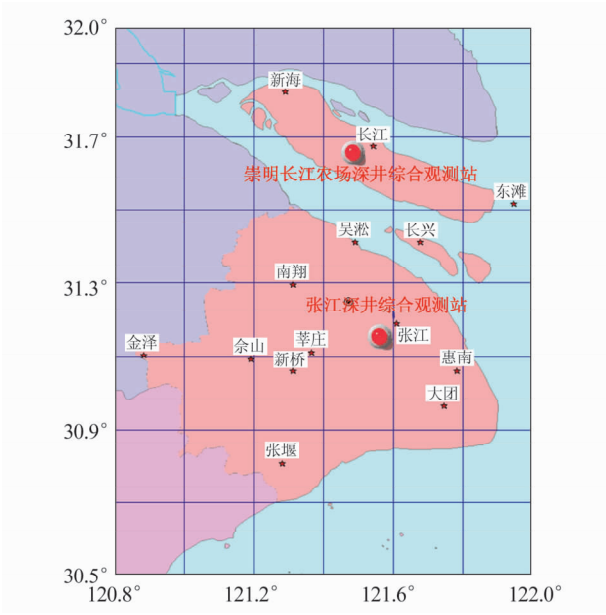


图 1 上海市浦东张江和崇明长江农场深井地震综合观测站的位置

Fig.1 Locations of comprehensive deep seismic stations of Pudong Changjiang and Chongming Yangtze river farms in Shanghai municipality

市区域作为弹性块体处理,模型大小根据上海市区域的真实面积选取 X 方向 80 km, Y 方向 80 km,深度为达到地壳底部 33 km,9 个模拟观测点平均分布,对这些观测点的应变监测能力在理论上进行初步探索。根据上海市区域壳内反射波 P_1 、 P_2 所确定的 C_1 、 C_2 反射界面,将该地区地壳分为上地壳、中地壳和下地壳^[3](表 1)。

表 1 上海市地区三维有限元模型介质参数

Tab.1 Media parameters of three-dimensional finite element model in Shanghai municipality

	弹性模量 (Pa)	泊松比	密度 (kg/m ³)	厚度 (km)
上地壳	8.8×10^{10}	0.25	2 750	13
中地壳	9.42×10^{10}	0.25	2 801	10
下地壳	12.3×10^{10}	0.25	3 205	10

此外,根据弹性力学中的叠加原理^[4]:处于小形变状态的同一弹性体在两组外力作用下的弹性力学的解,为该弹性体分别在每一组外力单独作用下的弹性力学解的叠加,而本文主要目的是对监测点在地震活跃期时对地壳应变状况的监测能力进行探索,因此,岩体本身的初应力(自重,构造应力等)对本文研究结果不产生影响,在具体施加荷载时不予考虑。本文的方案设计为:固定模型 4 个侧面的法向自由度以及底部岩体的 Z 方向,然后在图 2 中的

4 个椭圆标记处分别施加应变变量绝对值小于 10^{-7} 的随机量时,分析 9 个站点的应变情况。图 2 中的 9 个空心方形点代表测点的位置。

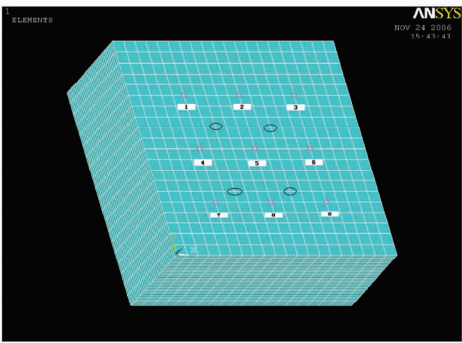


图 2 模型的建立及网格的划分

Fig.2 Model construction and the grid division

3 结果分析

为了保证所得结果具有共性,共施加 5 组随机量,利用 ANSYS 有限元数值模拟分析软件,根据上述的模型和方案设计情况,得到各个站点的应变情况。图 3 为在其中一组随机量作用下得到的块体的应变情况。

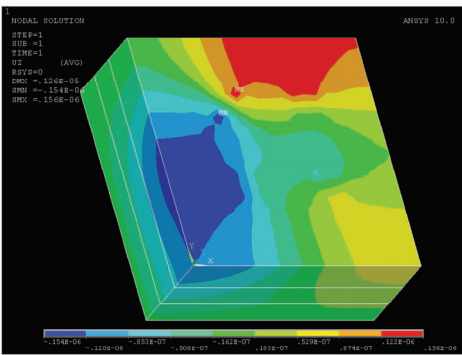


图 3 随机 1 所得的 X 、 Y 、 Z 方向的应变情况

Fig.3 Strain condition of X , Y , Z directions by the random 1

表 2 为由五组随机量所得的 9 个测点 X 、 Y 、 Z 三个方向的应变情况,从表 2 可以看出, X 、 Y 、 Z 三个方向的应变变量绝对值在 $10^{-7} \sim 10^{-10}$ 之间,最大的应变量为随机 3 中 3 号测点的 X 方向,大小为 4.25×10^{-7} ;最小的应变量为随机 2 中 9 号站点 X 方向,大小为 -3.99×10^{-10} 。

图 4 分别为 1 号测点随机 5 所得的 X 、 Y 、 Z 三个方向随深度的应变变化情况。从这三幅图中可以看出,由于岩石的不均一造成的分层情况使得 X 、 Y 方向的应变随着深度的增加而增大,而 Z 方向为随着深度的增加而减少成一直线变化。

表 2 由五组随机量所得的 9 个测点三个方向的应变情况
Tab.2 Strain of 9 points in three directions by five random amount

站点	随机 1	随机 2	随机 3	随机 4	随机 5
X	1 1.95×10^{-9}	-3.16×10^{-7}	2.05×10^{-7}	2.34×10^{-7}	2.33×10^{-7}
	2 2.85×10^{-7}	-2.56×10^{-7}	2.91×10^{-7}	2.88×10^{-7}	2.86×10^{-7}
	3 1.94×10^{-7}	-4.56×10^{-8}	4.25×10^{-7}	1.21×10^{-7}	1.19×10^{-7}
	4 2.12×10^{-7}	-1.41×10^{-7}	6.92×10^{-8}	2.12×10^{-7}	2.15×10^{-7}
	5 2.30×10^{-7}	-1.14×10^{-7}	1.95×10^{-7}	1.12×10^{-7}	1.07×10^{-7}
	6 7.00×10^{-8}	-9.07×10^{-9}	4.50×10^{-8}	1.53×10^{-7}	1.51×10^{-7}
	7 1.24×10^{-7}	4.58×10^{-9}	1.13×10^{-7}	8.37×10^{-8}	8.04×10^{-8}
	8 9.22×10^{-8}	-5.02×10^{-9}	-6.71×10^{-8}	2.55×10^{-7}	2.60×10^{-7}
	9 8.46×10^{-8}	-3.99×10^{-10}	-1.35×10^{-7}	1.48×10^{-7}	1.50×10^{-7}
Y	1 6.25×10^{-8}	1.23×10^{-7}	1.30×10^{-8}	8.93×10^{-8}	8.41×10^{-8}
	2 1.78×10^{-7}	9.04×10^{-8}	8.46×10^{-8}	1.15×10^{-7}	1.11×10^{-7}
	3 2.09×10^{-7}	1.84×10^{-7}	2.33×10^{-7}	2.06×10^{-8}	2.04×10^{-8}
	4 2.30×10^{-7}	1.20×10^{-7}	1.61×10^{-7}	6.45×10^{-8}	5.10×10^{-8}
	5 1.47×10^{-7}	2.30×10^{-7}	2.28×10^{-7}	2.66×10^{-8}	1.74×10^{-8}
	6 -1.41×10^{-8}	3.11×10^{-7}	1.19×10^{-8}	1.54×10^{-7}	1.53×10^{-7}
	7 1.76×10^{-7}	7.37×10^{-8}	2.17×10^{-7}	-2.58×10^{-8}	-3.94×10^{-8}
	8 3.01×10^{-8}	2.25×10^{-7}	5.99×10^{-8}	2.17×10^{-8}	1.35×10^{-8}
	9 -1.53×10^{-7}	2.56×10^{-7}	4.23×10^{-8}	1.46×10^{-7}	1.47×10^{-7}
Z	1 -8.14×10^{-8}	1.41×10^{-7}	-4.55×10^{-8}	-7.51×10^{-8}	-7.80×10^{-8}
	2 1.01×10^{-7}	-2.45×10^{-9}	2.51×10^{-8}	7.91×10^{-8}	7.69×10^{-8}
	3 1.29×10^{-7}	3.87×10^{-8}	1.80×10^{-7}	9.63×10^{-8}	9.54×10^{-8}
	4 -1.23×10^{-7}	7.36×10^{-8}	1.95×10^{-9}	-1.54×10^{-7}	-1.58×10^{-7}
	5 -3.62×10^{-8}	-3.51×10^{-8}	7.32×10^{-8}	-3.49×10^{-8}	-3.78×10^{-8}
	6 -2.50×10^{-8}	6.80×10^{-9}	1.73×10^{-8}	1.09×10^{-7}	1.08×10^{-7}
	7 -1.23×10^{-7}	-3.22×10^{-8}	-9.99×10^{-8}	-6.29×10^{-8}	-5.77×10^{-8}
	8 -9.59×10^{-9}	-1.28×10^{-7}	1.97×10^{-8}	-3.81×10^{-8}	-3.49×10^{-8}
	9 6.25×10^{-8}	-1.12×10^{-7}	-2.32×10^{-8}	1.08×10^{-8}	1.19×10^{-8}

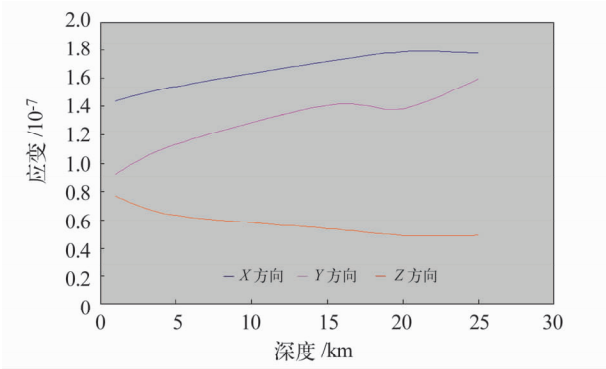


图 4 1 号测点随机 5 所得的 X、Y、Z 方向应变随深度变化
Fig.4 Strain changes with depth of the X, Y, Z directions by random 5 at point 1

4 小结

1)由 5 个形变量绝对值小于 10^{-7} 的随机量产

生的五条曲线得到的 9 个测点 X、Y、Z 三个方向的应变量绝对值范围在 $10^{-7} \sim 10^{-10}$ 之间。对于目前精度达到 $10 \times 10^{-10} \sim 10 \times 10^{-11}$ 的 8 分向高精度应变仪来说,能够记录到由此引起的应变。

2)当岩石有分层时,X、Y、Z 三方向的位移量随深度增加而变化。

参 考 文 献

1 张国民,傅征祥,桂燮泰. 地震预报引论[M]. 北京:科学出版社,2001.

2 刘峡,等. 华北地区现今地壳运动动力学初步研究[J]. 地球物理学报,2010,53(6):1 418 - 1 427.

3 姚保华,等. 上海地区地壳精细结构的综合地球物理探测研究[J]. 地球物理学报,2007,50(2):482 - 491.

4 陈孝珍. 弹性力学与有限元[M]. 郑州:郑州大学出版社,2007.