

## 镇江圔山绍隆禅寺“活地”成因

蒋明镜<sup>1</sup>, 刘静德<sup>1</sup>, 肖 俞<sup>1</sup>, 胡海军<sup>1</sup>, 武晓光<sup>2</sup>, 汤 菲<sup>3</sup>

( 1. 同济大学土木工程学院地下建筑与工程系, 岩土及地下工程教育部重点实验室, 上海 210008;

2. 欧美大地仪器设备中国有限公司技术部, 上海 200135; 3. 中央电视台《走进科学》栏目组, 北京 100036)

**摘 要:** “活地”是宗教的传奇, 而由于以往知识与技术的限制以及宗教圣地的“不可侵犯性”, “活地”也成了大自然的千年未解之谜。通过现场考察和资料调研, 明晰了“活地”所在地区的地质构造特征。采用高频率表面波监测、分析技术, 通过现场试验, 研究了“活地”附近地表浅层岩土体分布情况。采用图像分析技术, 经室内试验研究得出了“活地”及周围地区出露岩石的矿物组成。最终, 对于“活地”的成因提出以下看法: 1. 否定了地下深层生长性岩脉诱发“活地”现象的观点; 2. 膨胀岩及膨胀土吸水膨胀对“活地”的隆升有一定作用, 但这不是“活地”的主要诱因; 3. 提出“活地”是岩石风化作用及特殊地理环境综合作用结果的观点: 风化作用使岩体疏松、体积增大, 地面隆起; 两侧山体运动对其交界处岩石产生挤压作用, 为“活地”的持续隆升提供动力源。

**关键词:** “活地”; 矿物成分; 图像分析; 膨胀特性; 无损探测技术

**中图分类号:** P642 , TU41

**文献标识码:** A

“活地”位于江苏省镇江市圔山 - 五峰山山麓绍隆禅寺内, 长 2.5 m、宽 2 m, 千百年来每年都以约 1 ~ 3 cm 的速度缓缓隆起, 堪称大自然奇观。

据记载, 绍隆寺始建于唐朝宝历年间( 公元 825 年), 某高僧云游至镇江圔山下, 发现这块“活地”, 认为这是“龙舌”, 是吉祥的圣地, 便决定将寺庙建于龙头上, 后在大火中夷为平地。宋韶光年间( 公元 1132 年), “活地”再次为高僧发现, 原址重建, 又毁于火灾。直至明万历 14 年( 公元 1551 年) 再次重修。千年来, 寺庙饱经沧桑, 但“活地”的传奇代代传承。

当地史料记载, 清康熙 23 年( 公元 1650 年), 康熙皇帝南巡江南, 途经绍隆寺, 发现这块“活地”, 题书“上有奇突山峰, 下显真像龙脉”。至此, 民间更为笃信“活地”的传说。据传, 绍隆寺造型颇像一条龙卧伏于深山高台中, 寺内“活地”即为“龙舌”,

“龙舌”上抬, “活地”不断隆升。

这些猜测与传说或出于宗教精神需求, 或是稗官野史, 具有强烈的封建色彩, 不足为信。“活地”究竟是如何形成的? 千年来人们不断探究, 并给出了各种各样的推测。

地质勘查发现, 该地区以火成岩为主, 而形成火成岩的岩浆往往会沿构造裂缝不断向上侵入, 促使岩脉生长<sup>[1]</sup>。地质学家们<sup>[2-5]</sup>在研究地壳表层拉伸量时发现, 张性纤维状岩脉具有脉动式生长的特性。因此, 有观点认为“活地”下部存在生长性岩脉, 并以此解释“活地”现象。经地质部门勘察, “活地”上层土体呈白色, 专家初步分析可能是陶土, 也叫膨胀土, 据此猜测地下有膨胀矿物质, 诱发地表的隆起, 因为膨胀土具有显著的吸水膨胀特性<sup>[6-10]</sup>。

应中央电视台《走近科学》栏目组的邀请, 在保证不对寺庙产生任何损伤的前提下, 作者等人对以

收稿日期( Received date): 2011 - 07 - 11; 改回日期( Accepted): 2011 - 11 - 09。

基金项目( Foundation item): 国家杰出青年科学基金( 51025932); 国家自然科学基金( 10972158); 博士点基金( 20100072110048)。[Supported by the China National Funds for Distinguished Young Scientists ( No. 51025932); the National Natural Science Foundation of China ( No. 10972158); the Research Fund of the Doctoral Program of Higher Education ( No. 20100072110048). ]

作者简介( Biography): 蒋明镜( 1965 - ) 男, 教授, “同济大学特聘教授”, 主要从事天然结构性黏土、砂土、非饱和土、太空土和深海能源土宏观微观试验、本构模型和数值分析研究。[Jiang Mingjing( 1965 - ), male, professor, ‘Professor of Exceptional Rank’, research fields: Constitutive relations of sands, structured soils, methane hydrate and lunar soils; Numerical simulations in geomechanics; Geomechanics from micro to macro. ] Tel: 021 - 65980238, E-mail: mingjing. jiang@mail. tongji. edu. cn

上关于“活地”成因的各种推测进行了论证,并采用国内先进仪器对“活地”成因进行了全面的研究。本文采用高频表面波振动技术对浅层地质情况开展无损探测,并采用图像分析技术对“活地”矿物成分进行分析,以此对“活地”现象进行科学解释。通过研究,论文对千古之谜——“活地”现象做出合理的解释,也揭开佛教传奇的神秘面纱,还科学以真相。

## 1 圖山地质特征及地形地貌

圖山位于扬子准地台下扬子褶皱带<sup>[11]</sup>,主要褶皱构造有五峰山向斜、汉缺背斜和宝塔山单斜,断裂和节理构造发育。该地区地层较为简单,主要是层状或近层状火山岩,含珍珠岩、沸石及膨润土<sup>[12]</sup>。



图1 “活地”周围主要建筑分布示意图

Fig. 1 Schematic plan of building around the “growing” terra

图1是“活地”周围主要建筑物分布平面图。“活地”位于圖山—五峰山山麓,周围主要是宗教建筑、水井及消防水池。图1中M-1、M-2、M-3为无损探测试验的3条测线。现场测量得到活地目前尺寸为2300 mm×1800 mm×96 mm(图2),即“活地”相对周围地面高出约10 cm。

## 2 室内试验

同济大学岩土及地下工程教育部重点实验室对“活地”及其周围岩石进行矿物成分分析,并开展无荷载膨胀率试验,试验取样记录见表1。

### 2.1 岩样矿物成分分析

室内采用图像分析系统(图3)对经过磨薄成片(图4)的现场试样及陶土试样进行矿物成分分析。

“活地”现场试样  $m_1$  呈灰色,块状构造,斑状结构,斑晶为斜长石,长板状,有聚片双晶,粒径0.3 mm,含量10%。基质为玻晶交织结构,斜长石微晶呈杂乱状排列,微晶之间较多的隐晶质充填,且含有少量不透明矿物磁铁矿,为安山岩,见图5(a)。

陶土场试样  $m_2$  呈黄白色,块状构造,斑状结构,斑晶为石英和斜长石。斜长石,长板状,有聚片双晶,粒径0.2~0.3 mm,含量12%;石英,粒状,一级灰干涉色,粒径0.2~0.5 mm,含量8%。基质为隐晶质,基质部分高岭土化,为高岭土化的花岗斑岩,含有少量黑云母、黄铁矿,岩石已强风化,见图5(b)。

陶土场试样  $m_3$  呈白色,块状构造,斑状结构,斑晶为石英和斜长石。斜长石,长板状,有聚片双晶和环带结构,粒径0.3~0.4 mm,含量15%;石英,粒状,一级灰干涉色,粒径0.3~0.5 mm,含量15%。基质为隐晶质,基质部分高岭土化,为高岭土化的花岗斑岩,含有少量云母、黄铁矿,岩石已强风化,见图5(c)。

经以上分析,结合现场观察,可以认为“活地”现场以安山岩为主,含有高岭土化的花岗斑岩。

### 2.2 岩样无荷载膨胀率试验

由表2无荷载膨胀率试验结果可知,“活地”现场岩体具有吸水膨胀特性,吸水至完全饱和时最大膨胀率为10.2%。

## 3 岩层无损探测

### 3.1 试验原理及仪器

地面受外力作用震动时,岩层将产生P波和S波。P波是纵波,即颗粒运动方向与传播方向一致,此运动没有转动。S波是横波,即颗粒运动方向与传播方向垂直,此运动伴随转动。S波是剪切波,其波速主要取决于介质特性,故通过监测岩层中S波的波速可以较真实的反映岩层分布情况。

图6为无损探测设备——高频率表面波地震仪(McSEIS-SXW MODEL-1127L)。该地震仪可以监测和分析地下20 m深度范围内S波的波速,根据波速分布可以推测岩层特性。

探测时,通过木槌击打地面产生地震波,由预设的传感器接收后采集到分析仪中,而后处理分析得到波速随深度变化的分布图形,波速越大表明该处土质越硬。



图 2 “活地”尺寸测量

Fig. 2 Measurement of the “growing” terra’s size

表 1 室内试验取样记录

Table 1 Sampling record of laboratory tests

试验项目	矿物成分分析			无荷载膨胀率试验		
试样编号	M-1	M-2	M-3	s <sub>1</sub>	s <sub>2</sub>	s <sub>3</sub>
取样位置	活地现场	陶土场	陶土场	活地现场	活地现场	陶土场



图 3 矿物成分图像分析

Fig. 3 Imaging analysis of mineral component

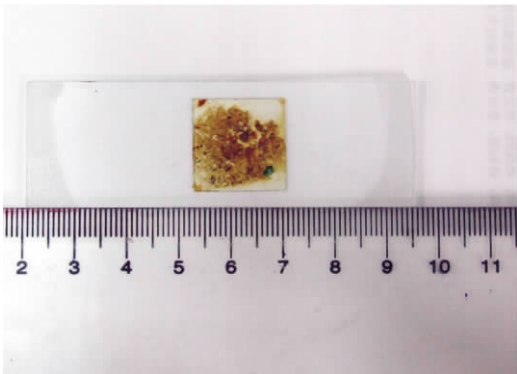
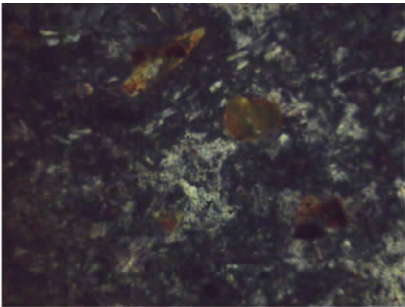


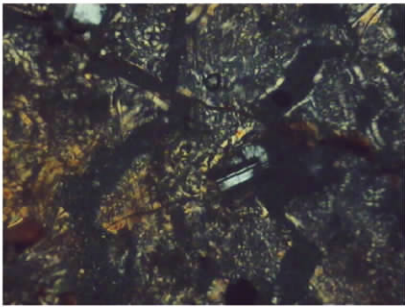
图 4 试样磨片

Fig. 4 Micro specimen of rock

(a)



(b)



(c)

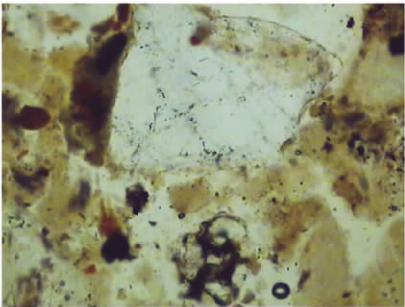


图 5 试样矿物成分分析结果

Fig. 5 Results of mineral component analysis

表 2 无荷载膨胀率试验结果

Table 2 Results of unloaded expansion ratio test

试样编号	初始高度/mm	膨胀变形/mm	膨胀率/%
s <sub>1</sub>	20	1.58	7.9
s <sub>2</sub>	20	2.04	10.2
s <sub>3</sub>	20	1.23	6.65



图 6 高频率表面波地震仪

Fig. 6 High Frequency Surface-wave Seismic Apparatus

### 3.2 无损探测仪器布置

无损探测的测点共三排,分别为寺外测线 M-1、寺内活地处测线 M-2 及寺内活地下方未隆起处测线 M-3,其中 M-1 测线位于“活地”上方 4.3 m,测线长 36 m,测点间距 1 m; M-2 穿过“活地”,

测线长 10.4 m,测点间距 0.4 m; M-3 位于“活地”下方 2.7 m,测线长 10.4 m,测点间距 0.4 m,见图 7。

### 3.3 无损探测结果分析

因为 S 波的波速主要由地质特性决定,由图 8 可知,“活地”周围地质分布较为复杂,表层 2 m 深的

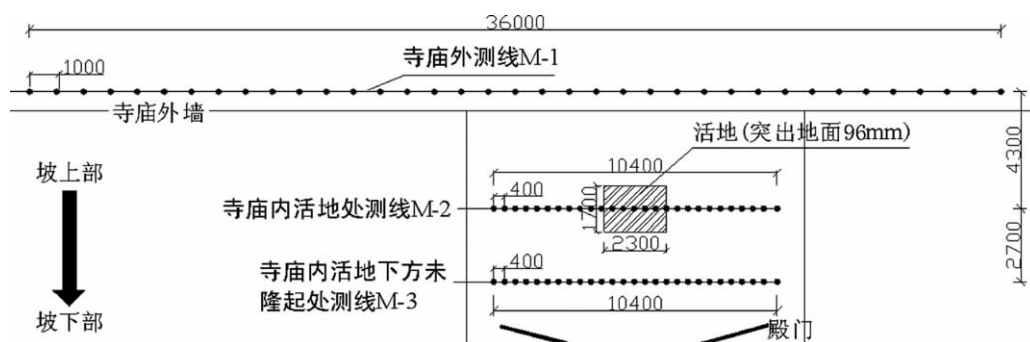


图 7 高频表面波测点平面布置示意图

Fig. 7 Plan of survey points for High Frequency Surface-wave monitoring

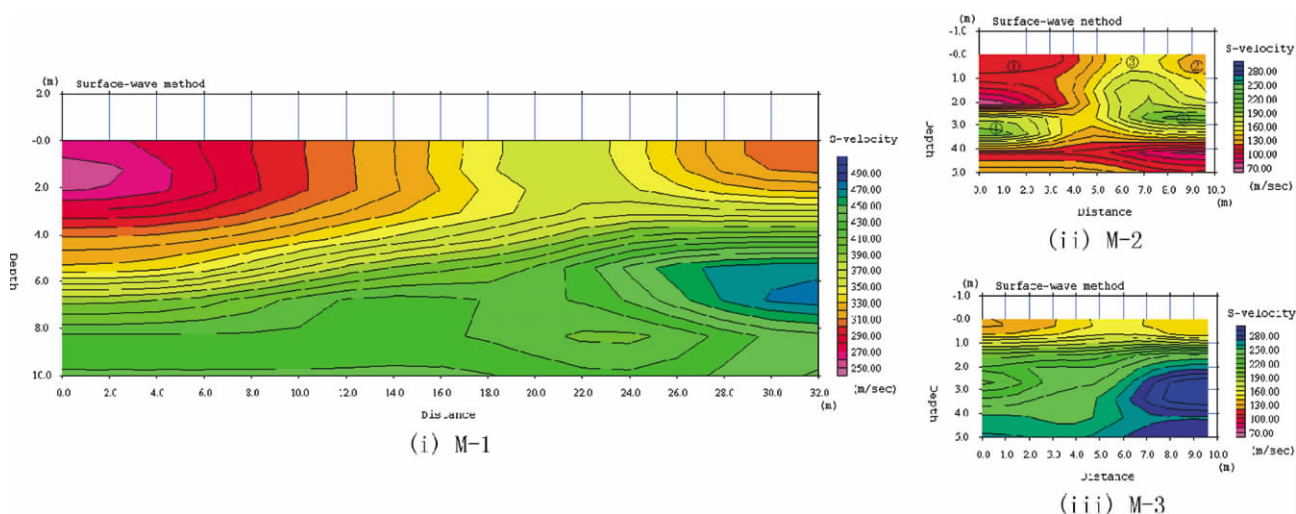


图 8 表面波测量结果

Fig. 8 Monitoring results of surface-wave

范围内,自寺庙外测线 M-1 至“活地”侧线 M-3,土质逐渐变软。根据 S 波波速探测结果,将“活地”下部土体风化深度约 4 m 左右,根据风化程度的不同,大致分为 5 类:①、②为图两侧山坡表层土质较软的土壤;③为两山坡交界处即“活地”处土质较硬,且部分风化或软化的安山岩;④、⑤为两山坡下方较硬的岩石,见图 8-ii。

根据无损探测结果,绘制“活地”所在位置三维波速等值线图及断面图,见图 9。

图 9(a)表明,随着深度的增加,波速整体上呈增大的趋势,说明该处岩体的密实性和整体性随深

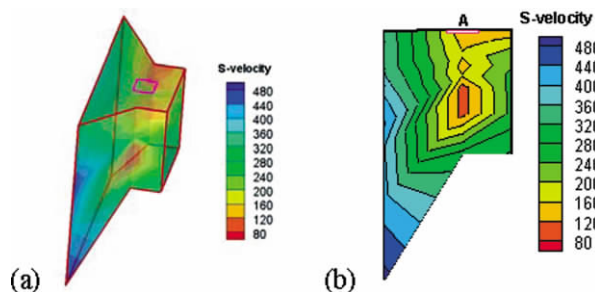


图 9 三维及断面波速分布云图

Fig. 9 Distribution nephogram of wave velocity in three-dimension and cross section

度增加而提高,岩体风化成都随深度增加而降低。图9(b)中显示“活地”附近局部岩体表面波波速远低于其他部位,这些部位为软岩,或者是岩石风化程度较高,甚至是土。

## 4 “活地”成因探讨

本文开篇陈述了关于“活地”成因的几种猜测,经过现场考察及试验研究,现详细讨论如下:

1. 植物根系生长引起地面的上升。实际生活中确实存在植物生长过程中导致地面隆起,甚至造成经济损失和安全危害,但是现场距离活地最近的植物超过20 m,树龄300 a左右,与“活地”千年来持续增长的记录不符,而且树和“活地”之间房屋没有开裂现象,地面也未隆起,因此基本可以排除植物根系的作用。

2. “活地”下方存在可生长的坚硬岩脉不断抬升地面。但是根据记载,在过去的千年时间内,“活地”处至少升高10 m,地质学上不存在这类不断生长的孤立岩脉,故而对“活地”形成的这种猜测不成立。

3. 该地区表层岩石主要为高岭土化的花岗斑岩,具有一定的吸水膨胀特性,岩石的最大无荷载膨胀率达到10.2%。在周围环境,尤其是地下水的作用下,岩石含水量改变时可以诱发地面隆升。但是,即使表层4 m的岩石均按此膨胀率膨胀,所引起的地面膨胀也仅0.4 m左右,远<10 m的增长量。此外,膨胀性岩石吸水膨胀速率较快,短时间内可以膨胀稳定,之后体积基本保持不变。因此,膨胀性岩石的存在对“活地”形成有贡献,但不是主要诱因。

4. 试验研究表明,图8-ii中③区域岩石在物理、化学作用下风化,岩体由密实逐渐变得疏松,体积增大而使得“活地”隆起。该地区岩石以安山岩和花岗斑岩为主,该类岩石的最大密度约3 000 kg/m<sup>3</sup>,若表层4 m的岩石在风、水等的作用下强风化,密度衰减到2 000 kg/m<sup>3</sup>,其可能引起的地面隆升量为2 m左右,而现场考察显示该地区除地表强分化外,大部分岩石仅部分风化,故风化所能引起的膨胀量会<2 m。由此可知,岩石风化作用是“活地”形成的主要诱因之一。

5. 从以上分析可知,膨胀性岩石和风化作用均是“活地”形成的影响因素,但要使地面能在千年的时间里持续隆升10 m的高度,还需要一种能维持其

上升的动力。现场考察时发现,“活地”位于圖山和五峰山的交界处,地形较为特殊,两侧山体的运动会对交界处岩体产生挤压作用,这可能是“活地”上升的动力源,促使其千年来持续地缓缓隆起。

## 5 结论

经过现场考察和室内外试验研究,本文对镇江绍隆禅寺内“活地”成因进行了“无损伤”探究,得出以下结论:

1. 对现有关于“活地”成因的推测进行了论证,排除了植物作用、岩脉生长的影响,认为膨胀性岩石吸水膨胀、岩石风华作用及特殊地质条件三方面因素共同作用才诱发了“活地”现象。

2. 矿物成分分析及膨胀率试验表明,“活地”处岩体具有膨胀特性,吸湿时会引起地面的轻微隆起。

3. 地质特性无损探测表明,“活地”地下4 m左右深度范围内的岩体较周围部位明显疏松。因此,“活地”上升可能是由于此处岩石风化比其他部位快,岩石风化后结构变松,体积增大,这是“活地”隆升的主要原因。

4. 通过现场考察以及对该地区地质构造进行调研,发现“活地”所处地形较为特殊,位于左右山体的交界处,两侧山体运动时不断挤压“活地”处的岩体,形成持久的动力源,不断促使“活地”处岩土体缓慢上升。

本文对“活地”成因的推测尚需通过两种方法进行验证:①“活地”现场及其附近设置观测点进行长期观测、追踪测试,获得“活地”的详细实测资料;②“活地”现场及其附近不同深度处进行地应力测试,取得该处地应力分布状况,同时开展矿物成分分析,了解该处深层岩层分布情况。通过这两种方法,一方面可以验证本文对“活地”成因的推论,另一方面可以给出更全面细致的解释。但是由于宗教原因,不能对寺庙产生任何损伤,这些手段目前尚难以在佛教圣地付诸实施。

## 参考文献(References)

- [1] Zheng Changqing, Xu Zhengshun, Wang Pujun, et al. Geological characteristics and hydrocarbon reservoir significance of diabase porphyrite at the Shanghe wan area, southeast uplift of the Songliao Basin, NE China [J]. Journal of Jilin University: Earth Science Edition, 2007, 37(6): 1097-1103 [郑常青,徐正顺,王璞珺,等. 松辽盆地东南隆起区白垩系营城组火山岩中辉绿岩岩脉地质

- 特征及其储层意义[J]. 吉林大学学报: 地球科学版, 2007, 37(6): 1097–1103]
- [2] W D Means, T Li. A laboratory simulation of fibrous veins: some first observations[J]. *Journal of Structural Geology* 2001, 23: 857–863
- [3] Christoph Hilgers, Janos L. Urai. Microstructural observations on natural syntectonic fibrous veins: implication for the growth process [J]. *Tectonophysics*, 2002, 352: 257–274
- [4] Benjamin Rondeau, Emmanuek Fritsch et al. On the growth of natural octahedral diamond upon a fibrous core [J]. *Journal of Crystal Growth*, 2007, 304: 287–293
- [5] J Basson, G Viola. Passive kimberlite intrusion into actively dilating dyke – fracture arrays: evidence from fibrous calcite veins and extensional fracture cleavage [J]. *Lithos*, 2004, 76: 283–297
- [6] Cai Xuelin, Du Yuanfu, Zhang Hongmei. Principles and techniques in counting extensional capacity using tensional fibrous veins [J]. *Journal of Chengdu College of Geology*, 1993, 20(2): 17–26 [蔡学林, 杜元府, 张洪梅. 运用张性纤维状岩脉计算拉伸量的原理和方法[J]. 成都地质学院学报, 1993, 20(2): 17–26]
- [7] Li Xianmin, Wang Yonghe, Yang Guolin, et al. Test study on engineering deformation characteristics of compacted expansive soil [J]. *Rock and Soil Mechanics*, 2003, 24(5): 826–830 [李献民, 王永和, 杨果林, 等. 击实膨胀土工程变形特性的试验研究[J]. 岩土力学, 2003, 24(5): 826–830]
- [8] Liu Songyu, Ji Peng, Fang Lei. Approach to cyclic swelling behavior of compacted expansive clays [J]. *Chinese Journal of Geotechnical Engineering*, 1999, 21(1): 9–13 [刘松玉, 季鹏, 方磊. 击实膨胀土的循环膨胀特性研究[J]. 岩土工程学报, 1999, 21(1): 9–13]
- [9] Arya Assadi Langroudi, S Shahaboddin Yasrobi. A micro – mechanical approach to swelling behavior of unsaturated expansive clays under controlled drainage conditions [J]. *Applied Clay Science*, 2009, 45: 8–19
- [10] Hossein Nowamooz, Farimah Masrouri. Volumetric strains due to changes in suction or stress of an expansive bentonite/silt mixture treated with lime [J]. *C. R. Mecanique*, 2010, 338: 230–240
- [11] Ren Jishun, Jiang Chunfa, Zhang Zhengkun et al. The geotectonic evolution of China [M]. Beijing: Science Press, 1980: 37–38 [任纪舜, 姜春发, 张正坤, 等. 中国大地构造及其演化[M]. 北京: 科学出版社, 1980: 37–38]
- [12] Mo Jixun. On the characteristics and genesis of perlite deposit in Cuishan, Jiangsu [J]. *Jiangsu Geology*, 1993, 17(3): 180–184 [莫吉勋. 镇江陶山珍珠岩矿床地质特征及成因[J]. 江苏地质, 1993, 17(3): 180–184]

## On the Cause of “Active Land” in Shaolong Temple, Zhenjiang

JIANG Mingjing<sup>1</sup>, LIU Jingde<sup>1</sup>, LI Liqing<sup>1</sup>, XIAO Yu<sup>1</sup>, HU Haijun<sup>1</sup>, WU Xiaoguang<sup>2</sup>, TANG Fei<sup>3</sup>

(1. Key Laboratory of Geotechnical & Underground Engineering, Ministry of Education, Dept. of Geotechnical Engineering, College of Civil Engineering, Tongji University, Shanghai 200092, China; 2. Technology Department, Earth Products China Ltd. Shanghai 200135, China;

3. CCTV Approaching Science Beijing 100036, China)

**Abstract:** The “active land” is such a terra that has kept rising in the past a thousand years. As it locates in a temple, many legends are brought out and it thus is considered as a religious wonder that is still a mystery to human beings. The geologic structures of the region where the land locates are examined by in-situ investigation and referring the geological data. In-situ tests study the distribution of rock under the land and its vicinity region in surface layer, by monitoring and analyzing the velocity of surface waves with high frequency. With imaging analysis, the mineral components of the rock in this area are clarified. Based on the results of in-situ investigation and tests, several conclusions are come to as follows. The idea that the vegetal rock deeply beneath the surface causes the phenomenon of the active land is denied. The existence of rock with expansive property in this region might play a role in the growth of the terra, but not vital. The idea that the active land is the result both of rock’s weathering and the specific geologic environment is brought forward. The weathering loosens the rock and makes its volume increase, which causes the rise of the ground, and the hills shove the rocks in-between when they move, providing an everlasting driving power of the active land.

**Key words** “active land”; mineral component; imaging analysis; expansive property; undisturbed detecting technique