

文章编号: 1000-0550(2006)04-0496-06

沂沭断裂带及其近区不同地质时期地震液化脉构造对比^①

田洪水¹ 袁 静² 张慎河¹ 魏焕卫¹ 张邦花¹

(1 山东建筑大学 济南 250014; 2 中国石油大学(华东) 山东东营 257061)

摘 要 在沂沭断裂带及其近区, 已发现震旦纪石旺庄组、寒武纪馒头组、古近纪朱壁店组和沙河街组四个层位发育震积岩, 它们均是具有地震液化脉构造和其它地震成因层内构造的震积岩层。通过对比与分析, 确认不同地质层位的液化脉构造具有某些共同特征, 这反映了不同层位的液化脉构造的成因具同一性。笔者认为将具有地震液化脉构造共同特征的前寒武纪“molar tooth 构造”, 称作“泥亮晶灰岩液化脉构造”为宜。

关键词 液化脉构造 特征 地震成因 沂沭断裂带

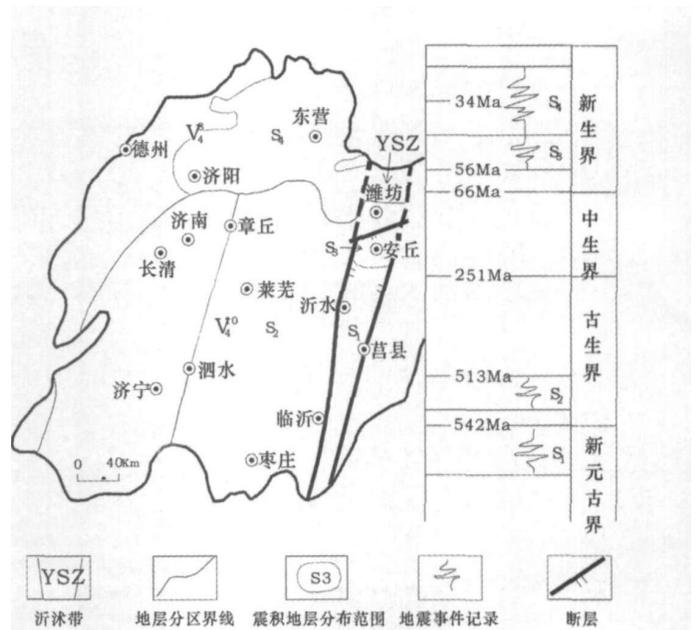
第一作者简介 田洪水 男 1956 年出生 副教授 地质学

中图分类号 P65 **文献标识码** A

沂沭断裂带(下文简称沂沭带)是郯庐断裂带(下文简称郯庐带)在山东境内的延伸部分。依据陈颢院士等关于郯庐带这类超岩石圈活动断裂带与其附近约 100~200 km 的活动陆块边缘与强地震区、共同构成活动构造带的论述^[1], 本文所指的沂沭断裂带近区是距沂沭带 150 km (100~200 km 的均值)左右的范围。陈颢等指出: 一些大地震并不直接发生在大的活动断裂带上, 而是发生在大的活动断裂带附近。因此, 在沂沭带及其近区所发生的大地震一般与沂沭带的活动有关。液化脉构造是地震成因的各种水饱和和沉积物的液化脉构造的统称, 是常见的震积构造类型之一, 主要包括泥亮晶碳酸盐岩液化脉构造、粉砂岩液化脉构造、细砂岩液化脉构造等。在地史中, 沂沭断裂带的多期强烈活动引发带内及近区发生强烈地震, 从而形成了多个地震事件层。目前, 在沂沭带及其附近(图 1), 已发现的发育液化脉构造的震积岩层位有震旦纪石旺庄组^[2-5]、寒武纪馒头组^[6]、古近纪沙河街组^[7,8]及朱壁店组^[9]。这些层位所发育的震积岩均是以液化作用为主形成的震积岩组合。本文通过分析对比各层位的液化脉构造, 发现它们具有某些共同特征, 这些特征与它们的地震液化成因相统一。

1 概况

震旦纪石旺庄组震积岩层(图 1S₁)和寒武纪馒头组震积岩层(图 1S₂)中的泥亮晶灰岩脉构造均属干碳酸盐岩受震振动液化的产物, 前者分布在沂沭



S₁—震旦纪石旺庄组地震事件层; S₂—寒武纪馒头组地震事件层;
S₃—古近纪朱壁店组地震事件层 S₄—古近纪沙河街组地震事件层
V₄⁸—华北地层分区; V₄¹⁰—鲁西地层分区

图 1 沂沭带及其邻区地史中的地震事件层分布略图
Fig 1 Distribution sketch showing a few seismic event beds in the Yishu fault zone and its vicinity in geological history

带区^[2]; 后者主要分布在沂沭带西侧的鲁西地层分区东部^[6], 在沂沭带内也有发现, 且主要发育在馒头组的石店段及页岩段, 馒头组震积岩层的是山东第二轮区调成果之一^[10]。这两个地震事件层所发育的震积构造相似, 主要有泥亮晶灰岩液化脉构造、液化卷

① 山东建筑大学“沂沭带震积岩专题研究”项目及国家“十五”科技攻关项目(编号: 2001BA605A09)资助。
收稿日期: 2005-09-16; 收修改稿日期: 2005-12-30

曲变形、阶梯状微断裂、不协调岩块(震塌岩)及地裂缝等。

古近纪朱壁店组和沙河街组两个发育震积岩的地层,时代分别属于始新世早期和始新世中晚期—渐新始早期。前者发现于安丘地区(图 1S₃),发育在古近纪厚层夹薄层冲积层中;后者分布于沂沭带或莱州湾西侧之济阳拗陷内(图 1S₁),产在古近纪纹层—薄层湖泊相沉积层中。在安丘地区朱壁店组震积岩层中,发育多层粉—细砂—中—粗砂液化脉、液化中—粗砂岩墙、裂隙充填砂砾岩墙、震塌岩、震成断裂及塌陷构造等共生震积构造^[9]。在济阳拗陷,古近纪震积岩层为沙河街组的,由岩心识别出来,主要发育粉砂液化脉构造、液化卷曲变形、阶梯状微断裂及震积砂枕构造等^[7,8]。

2 对比

2.1 岩层剖面特征对比

图 2展示了各层位液化脉构造的剖面形态,各层位液化脉构造具有如下共同特征:

(1)纵向上延伸有曲有直,但大多数脉垂直层面或以大倾角与层面相交。

Pratt所建立的模型^[11]表明:水饱和的泥质与粉砂互层,在浅埋条件下,强地震作用使泥质泄水而形成纵向的收缩裂隙,随即液化粉砂喷射入裂隙而形成砂脉或小岩墙,震后由于压实导致砂脉弯曲。这与本文图 3中的多数脉呈纵向延伸的情况相吻合。

(2)液化脉(墙)的两端或一端收敛变尖,当脉的一端与其液化源层连为一体时,只有一端变尖;这表明脉是具一定动能的流体沿裂隙充填而成。

侵入岩脉、热液矿脉的端部均呈收敛变尖形态。岩浆、含矿热液和地震液化体都是流动体,它们沿裂隙充填时,流体前端需克服左、右、前三个方向的阻力,自身以尖端拓展流路是最佳的自然选择。所以,脉的尖端反映了其本身是由流体沿裂隙充填而成。地震液化脉构造也不例外。

(3)各层位液化脉构造均有其液化母岩层或源层。

在野外露头上可以清楚地看到脉与其液化母岩层相连接(图 2-1、3~6),特别应值得关注的是,可被称作“molar tooth”的泥亮晶灰岩液化脉构造也不例外,如图 2-1或图 4-1中所示的震旦系灰岩液化脉构造(V)与液化灰岩层(L)相连,这充分表明脉源于液化灰岩层。但有时看不到液化脉的源层(图 2-1的上

部和图 2-2的中上部),此种情况是强烈地震力将微薄层—薄层的液化源层彻底解体、并形成了水平—直立的液化脉构造,图 2-2下部的液化源层尚未完全解体。

另外,在液化母源层中,尤其在脉与源层相连接部位有时可见到流动构造,如图 2-3所示:灰岩液化脉源于液化砂屑灰岩层,在脉与源层相连接处,具有向连接处汇聚的流动(线纹)构造。

2.2 层面特征对比

图 3展示了各层位液化脉构造的层面形态,它们在层面中微向上凸起,这是具有强动能的液化体充填地震裂隙的反映,这与岩层面上的凹下泥裂构造有显著差别;它们延伸方向不定,宽窄不一,分叉,窄者为支脉,具网状交织特征;按宽度划分,其中的脉可分 2-3级,除少数单脉较直外,多数单脉呈一定程度弯曲;网的形态也不固定,有的呈不规则状(图 3-1),有的类似三角形(图 3-2)、也有的呈多变的多边形(图 3-3、4),脉的层面特征与有关文献阐述^[11]一致。

应值得关注的是图 3-2或图 4-2中较宽的灰岩液化脉具有流动构造,即在宽脉的内部含有与脉的延伸、弯曲基本一致的流动线纹,这显然是其受震液化后发生流动的反映。

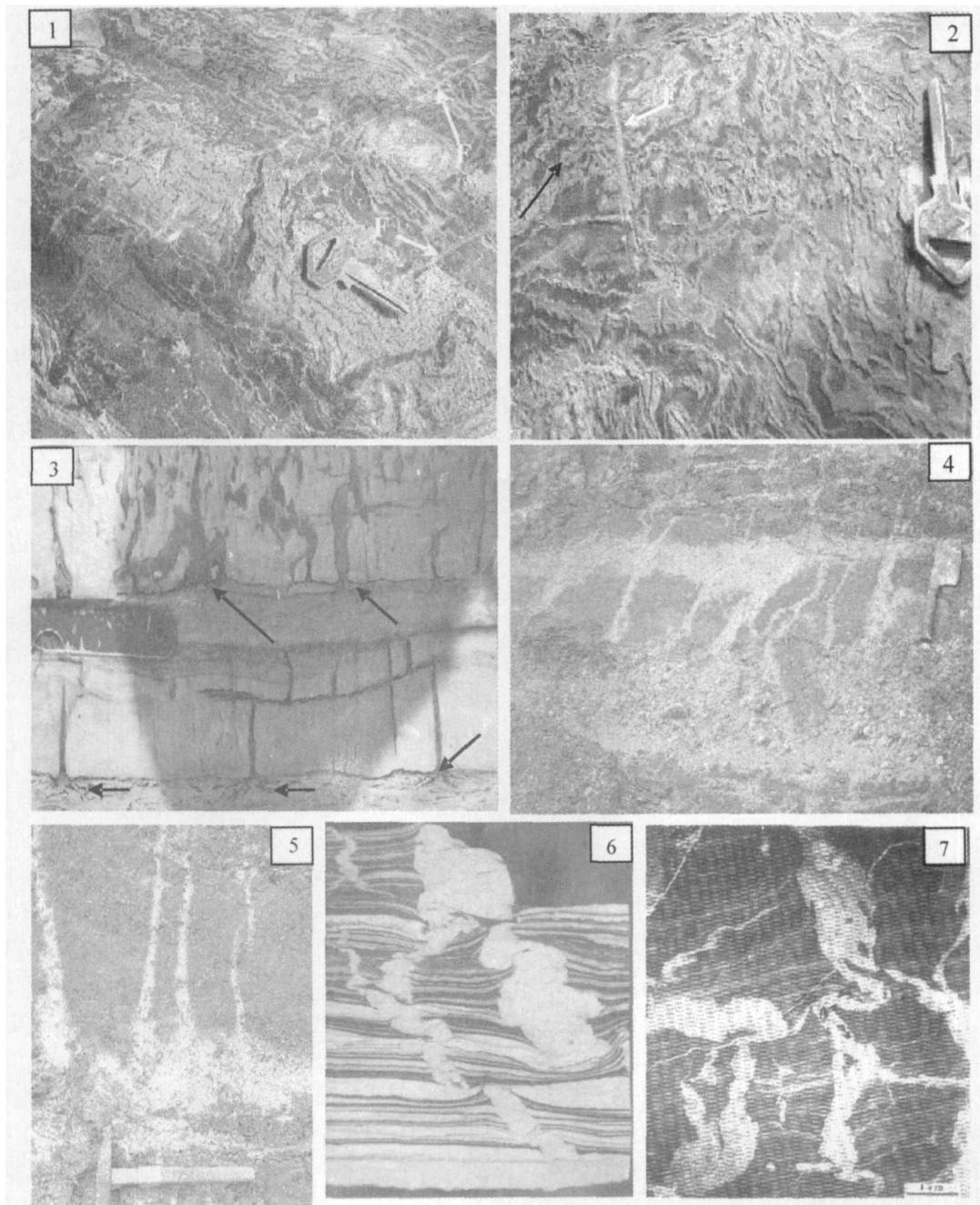
2.3 脉与围岩的颜色、物质成分对比及界线

脉与围岩的颜色、成分均有明显差异,因为脉与围岩并非同源且成分不同,脉源于液化母岩层,故脉的颜色、成分与液化母岩层基本一致(图 2)。液化脉和母岩层都由一定粒度的沉积颗粒组成,而不同于由矿物晶粒组成的岩浆热液成因及裂隙淋滤结晶等非震积成因的岩脉。液化脉的围岩一般是由难以液化或不能液化的泥质岩层(泥灰岩、泥质砂岩及泥岩)组成。脉与围岩具有清楚的界线。

谈到脉的围岩,有必要讲清楚为什么水饱和泥质岩层(泥灰岩、泥质砂岩、砂质泥岩及泥岩)不能液化。根据土力学的原理和研究^[12,13],粘土颗粒极细,粘粒间存在着静电力、范德华力(分子引力)及胶结力,从而产生极大的粘聚力,因此,不仅粘性土受强地震作用不会产生液化,而且含粘土颗粒较高(粘粒含量 >10%~15%)的粉土、砂土受震也不会发生液化;在 7度、8度和 9度地震烈度区,粘粒含量分别不小于 10%、13%和 16%的土层,则判定其属于非液化土层。本文中各时代液化脉构造的围岩(泥灰岩、泥质砂岩、砂质泥岩及泥岩)中的泥质含量均大于或远大于 15%,因此,它们属不液化沉积物,这与野外的

客观实际一致。但水饱和和泥质沉积层受震会产生泄水裂隙,为具有强动能的液化体侵入提供了条件;纹

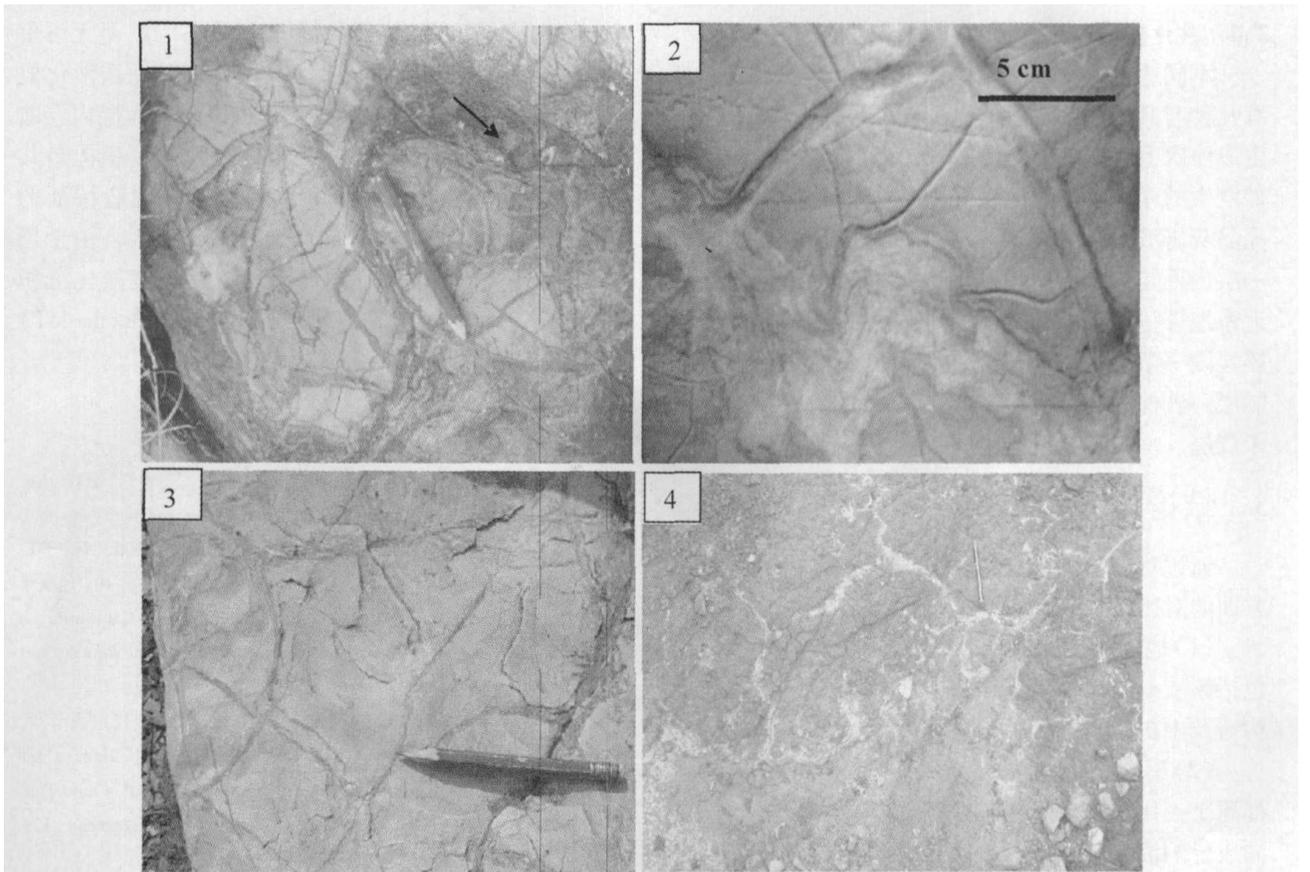
层一薄层的饱和泥质沉积层易发生震褶。



1和 2 石旺庄组泥亮晶灰岩液化脉构造(地点:沂水县杨庄镇五山),F为地震微断裂,照片 1 中标尺物两侧的脉与液化母岩层相连,另见素描图解释——图 4(1);照片 2 中标尺物左侧的纵向液化脉是由微薄层液化母岩层解离而成。3 馒头组泥晶灰岩液化脉构造(地点:莒县大顶山),深灰色的液化脉与液化砂屑灰岩层相连,沿震成裂隙侵入到黄灰色的泥灰岩中;在脉与源层相联处(箭头所指部位),具向此处汇流的流动线纹;脉较源层质纯、色深且不含砂屑等杂质。4和 5 朱壁店组中粗砂岩液化脉(墙)构造(地点:安丘红沙沟),液化脉或墙与液化砂层相连。6 沙河街组粉砂岩液化脉构造(地点:济阳拗陷岩心),源于液化粉砂层,端部造成纹层弯曲,形态极似于照片 7 中的液化脉。7. 奥陶纪肥林忽洞群灰岩液化脉构造(据乔秀夫等,1997),

图 2 液化脉构造的剖面图片

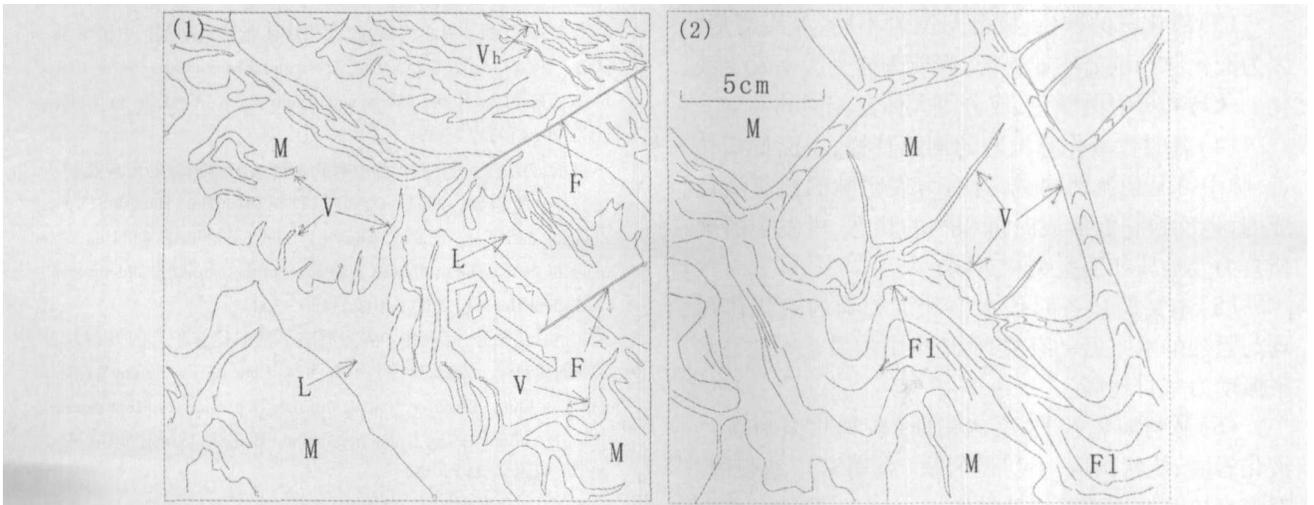
Fig 2 Pictures of the liquefied vein structure in layer section



1 石旺庄组泥晶灰岩液化脉构造 (地点:沂水县三山官庄)。2 馒头组泥晶灰岩液化脉构造,宽脉具明显的流动构造 (莒县大顶山)。3 馒头组泥晶灰岩液化脉构造 (地点:章丘垛庄)。4 朱壁店组砂岩液化脉构造 (地点:安丘红沙沟)

图 3 液化脉构造的层面图片

Fig 3 Pictures of the liquefied vein structure on bedding plane



(1)石旺庄组中、纵向延伸的灰岩液化脉构造 (V)与液化灰岩层 (L)相连,表明液化脉源于液化灰岩层,脉侵入于泥灰岩 (M)中,并与地震成因微断裂 (F)共生, V_h 为由微薄层液化灰岩而成的横向延伸的液化脉 (据图 2-1 照片素描)。

(2)馒头组层面上、侵入于泥灰岩 (M)中的泥晶灰岩液化脉 (V)特征:液化脉 (V)微向上凸起,宽脉与细脉呈网状交织,宽脉内具流动线纹 (F1),流动线纹的延伸、弯曲与宽脉形态变化基本一致 (据图 3-2 照片素描)

图 4 泥亮晶灰岩液化脉构造照片素描图

Fig 4 Sketches of pictures showing liquefied vein structures of micrite-sparry limestone

2.4 共生构造对比

不同地质时代液化脉构造都不是孤立存在的,都有几种与其共生的震积构造,这些震积构造组合,在生成次序上或在垂向上具有一定规律,反映了地震事件发生的序列。如原地系统碳酸盐岩液化序列为:泥亮晶灰岩液化脉→液化卷曲变形→震裂岩与震塌岩→层内断层→地面下沉与地裂缝等^[2];惠民凹陷古近系地震记录的垂向序列^[8]自下而上包括:下伏未震岩段→微同沉积断裂层→微褶皱变形及粉砂液化脉层→砂枕、砂球及伴生构造层→液化均一层→上覆未震层。

3 结论

通过对上述几个层位的地震液化脉构造进行多方面的对比,得出若干关于液化脉构造的认识:

(1)地震液化脉构造可以形成于任何地质时代,包括碳酸盐岩泥亮晶液化脉构造、粉—细砂岩液化脉构造及中粗砂岩液化脉构造等。

(2)不同地质时代、不同物质成分的液化脉构造都源于液化源层或母岩层。本文提供了不同时代、不同成分的液化脉与同岩性的液化母岩层相连接的证据。

在强烈的地震作用下,薄层液化母岩层可被解体,完全转化为水平、直立及斜竖的液化脉构造,这是有时看不到液化脉的源层的主要原因。

(3)液化脉的颜色、成分与围岩不同,界线清楚,因为液化脉与围岩本非同源,泥质围岩受震不发生液化。脉与其母岩的颜色、成分等大体是相同的。

(4)各时代液化脉构造的剖面特征、层面特征相近,脉中可见到流动构造,这有力表明脉的地震液化成因,也反映它们形成时沉积物的状态、所发生的地质营力及地质作用类型相近同;

(5)本文所述各时代水饱和沉积物的液化作用均与强烈的水平振动有关,而地史中的最基本的强水平振动力来自地震。

(6)脉与液化卷曲、层内错断(阶梯状微断裂)、液化岩墙、枕状构造、不协调岩块(震塌岩)、地裂缝、裂隙充填及地面塌陷构造共生。

液化脉构造的上述共同特征与它们具有的相同的地震成因机制相统一,符合“molar tooth(MT)构造”概念的石旺庄组灰岩液化脉构造也不例外。尽管对中—新元古界“molar tooth(MT)构造”的成因尚有多种解释^[14,15],但“molar tooth(MT)构造”的特征

与许多层位液化脉构造的特征相同或一致,是无可争辩的客观存在,许多学者^[2~5,15~19]都对其地震液化成因进行了解释,用非地震成因论难以解释与层内卷曲变形、层内错断、不协调岩块及地裂缝等震积构造共生的现象。所以,那些具有地震液化脉构造特征的“molar tooth(MT)构造”应属地震液化成因。由于用“molar tooth”(臼齿)不便恰当地描述地震液化沉积记录,笔者认为对地震液化成因的“molar tooth(MT)构造”,宜称之为“泥亮晶灰岩液化脉构造”。

参考文献 (References)

- 1 陈颢,李娟,李丽.地震、断层与断层作用.科技委论坛,2000, No 13 [Chen Yong Li Juan and Li Li Earthquake and fault with faulting Tribune of Science and Technology Committee 2000, No 13]
- 2 乔秀夫,宋天锐,高林志,等.碳酸盐岩振动液化地震序列.地质学报,1994,68(1):16~29 [Qiao Xiufu Song Tiannui Gao Linzhi et al Seismic sequence in carbonate rocks by vibrational liquefaction Acta Geologica Sinica 1994, 68(1): 16~29]
- 3 乔秀夫,李海兵,高林志.华北地台震旦纪—早古生代地震节律.地质学前沿,1997,4(3-4):155~160 [Qiao Xiufu Li Haibing and Gao Linzhi Early Paleozoic seismic rhythms on the North China Platform Earth Science Frontiers (China University of Geosciences, Beijing), 1997, 4(3-4): 155~160]
- 4 乔秀夫,高林志,彭阳.古庐带新元古界——灾变·层序·生物.北京:地质出版社,2001.1~122 [Qiao Xiufu Gao Linzhi and Peng Yang Neoproterozoic in Paleo-Tancheng-Lujiang Fault Zone Catastrophe·Sequences·Biostratigraphy Beijing: Geological Publishing House 2001. 1~122]
- 5 乔秀夫,张安棣.华北块体、胶辽朝块体与郯庐断裂.中国地质,2002,29(4):337~345 [Qiao Xiufu and Zhang Andi North China block Jiao-Liao-Korea block and Tanlu fault Geology in China 2002, 29(4): 337~345]
- 6 田洪水,万中杰,王华林.鲁中寒武系馒头组震积岩的发现及初步研究.地质论评,2003,49(2):123~131 [Tian Hongshui Wan Zhongjie and Wang Hualin Discovery and preliminary study on seismites of the Cambrian Mantou Formation in the central Shandong area Geological Review, 2003, 49(2): 123~131]
- 7 陈世悦,袁文芳,鄢继华.济阳拗陷早第三纪震积岩的发现及意义.地质科学,2003,38(3):413~424 [Chen Shiyue Yuan Wenfang and Yan Jihua Discovery and significance of earthquake event deposits of Early Tertiary in the Jiyang depression Chinese Journal of Geology 2003, 38(3): 413~424]
- 8 袁静.山东惠民凹陷古近纪震积岩的特征及其地质意义.沉积学报,2004,22(1):41~46 [Yuan Jing The property and geological significance of seismites of Paleogene in Huimin sag Shandong Province Acta Sedimentologica Sinica 2004, 22(1): 41~46]
- 9 田洪水,王金光,吕明英,王立法.山东安丘古近纪冲积层中的地震记录.沉积学报,2005,23(3):75~81 [Tian Hongshui Wang Jinguang Lü Mingying and Wang Lifa Seismic records in Paleogene allu-

- vial layers in Anqiu, Shandong. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2005, 23(3): 75~81]
- 10 宋明春, 张成基, 王来明, 等. 山东省第二轮区域地质调查主要进展. *山东地质*, 2001, 17(2): 13 [Song Mingchun, Zhang Chengji, Wang Laiming, et al. Review of regional geological survey in Shandong Province. *Geology of Shandong*, 2001, 17(2): 13]
 - 11 Pratt B R. Syneresis cracks, subaqueous shrinkage in argillaceous sediments caused by earthquake-induced dewatering. *Sedimentary Geology*, 1998, 117: 1~10
 - 12 陈希哲. 土力学地基基础. 北京: 清华大学出版社, 2004. 161~162, 517 [Chen Xizhe. *Soil Mechanics: Foundation soil and foundation Engineering*. Beijing: Tsinghua University Press, 2004. 161~162, 517]
 - 13 赵明华, 俞晓. 土力学与基础工程. 武汉: 武汉理工大学出版社, 2003. 36~37 [Zhao Minghua and Yu Xiao. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. Wuhan: Wuhan University of Science and Technology Press, 2003. 318~319]
 - 14 葛铭, 孟祥化, 旷红伟, 等. 微亮晶(白齿)碳酸盐岩: 21世纪全球地学研究的新热点. *沉积学报*, 2003, 21(1): 81~89 [Ge Ming, Meng Xianghua, Kuang Hongwei, et al. Molar-tooth carbonates: research highlight of the world in the 21st century. *Acta Sedimentologica Sinica*, 2003, 21(1): 81~89]
 - 15 刘燕学, 刘永清, 旷红伟. 一种严格受控于环境和时间的特殊碳酸盐岩——白齿构造碳酸盐岩. *地球科学进展*, 2005, 20(7): 710~716 [Liu Yanxue, Liu Yongqing and Kuang Hongwei. Molar-tooth carbonate constrained by depositional environment and geological history. *Advance in Earth Sciences*, 2005, 20(7): 389~394]
 - 16 杜远生, 韩欣. 论震积作用和震积岩. *地球科学进展*, 2000, 15(4): 389~394 [Du Yuansheng and Han Xin. Seismic deposition and seismites. *Advance in Earth Sciences*, 2000, 15(4): 389~394]
 - 17 Fairchild I J, Einsele G and Song Tianni. Possible seismic origin of molar tooth structure in Neoproterozoic carbonate ramp deposits, north China. *Sedimentology*, 1997, 44: 611~636
 - 18 Pratt B R. Oceanography, bathymetry and syndepositional tectonics of a Precambrian intracratonic basin: Integrating sediments, storms, earthquakes and tsunamis in Belt SuperGroup (Helene Formation, Ca. 1.45 Ga), western North America. *Sedimentary Geology*, 2001, 141-142: 371~394
 - 19 Rossetti D F, Goes A. Deciphering the sedimentological imprint of paleoseismic events: An example from the Aptian Codo Formation, north Brazil. *Sedimentary Geology*, 2000, 135: 137~156

The Correlation of Liquefied Vein Structures Caused by Earthquake in Different Geological Periods in the Yishu Fault Zone and Its Vicinity

TIAN Hong-shui¹ YUAN Jing² ZHANG Shen-he¹ WEI Huan-wei¹ Zhang Bang-hua¹

(¹ Shandong University of Architecture and Engineering, Jinan Shandong 250014;

² University of Petroleum of China, Dongying 257061)

Abstract In the Yishu fault zone and its surrounding area, seismites have been discovered in four horizons: i.e. Sinian, Shiwangzhuang Formation, Cambrian Mantou Formation, Paleogene Zhubidian Formation and Shahejie Formation. All of seismites are seismo-depositional layers with the liquefied vein structure and other seismogenesis intra-layer structures. Through some correlation and analysis in many ways, it is confirmed that liquefied vein structures of different horizons possess some alike or common features, which reflects that the origin of liquefied vein structures is identical in different geological periods. It is considered that Precambrian "molar tooth structure" with common features of liquefied vein structures is called "liquefied vein structure of micrite-sparry limestone" best.

Key words liquefied vein structure; feature; seismic genesis; Yishu fault zone