

松辽盆地青山口组震积岩的特征、成因及其构造-火山事件*

王国栋 程日辉** 王璞珺 高有峰

WANG GuoDong, CHENG RiHui**, WANG PuJun and GAO YouFeng

吉林大学地球科学学院, 长春 130061

College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun 130061, China

2009-09-04 收稿, 2009-10-28 改回.

Wang GD, Cheng RH, Wang PJ and Gao YF. 2010. Coniacian seismites: Structure, sequence and volcanogenic origin of Qingshankou Formation in the Cretaceous Songliao Basin. *Acta Petrologica Sinica*, 26(1):121-129

Abstract Drilling core from Chinese Continental Scientific Drilling-SK-I(s) presents four sets of deep lake seismite from the lower part of the second member to the bottom of the third member of Qingshankou Formation. Typical structures of the seismites include step micro-fault, seismic fissure bed, autoclastic brecciated structure, load structure, ball-and-pillow structure (pseudonodule), vibration-induced liquefaction structure, enterolithic structure, liquefaction sand dyke and pseudo-mud crack. All of these synsedimentary-penecontemporaneous soft-sediment deformation and absence of seismo-turbidite indicate that the seismites in Qingshankou Formation are previous soft sediment reconstruction related to earthquake. Seismites of Qingshankou Formation exhibit typical developmental pattern and sedimentary sequence of seismite. This seismic sequence consists of the lower unit of liquefaction deformation corresponding to strong earthquake and the upper unit of plastic deformation corresponding to earthquake attenuation. Mudstone with few altered glass shards and volcanic ash interlayers simultaneously developed in Qingshankou Formation from SK-I(s). Mugearite and volcanic breccia developed in well Jin6 and Jin65 and basalt developed in well Qian124 and Qian 109 during corresponding geological time of volcanic ash in SK-I(s). These four wells containing volcanic rock in Qingshankou Formation distribute along the Sunwu-Shuangliao transcrustal fault, which indicates that tectonic-volcanic activities occurred during Qingshankou period in Songliao Basin and seismites recorded earthquake activities induced by tectonic-volcanic event in deep water. Existence of tectonic-volcanic event in Qingshankou Formation suggests that fault activities and volcano eruptions should be normal phenomena during the sag stage in Songliao Basin.

Key words Seismite; Songliao Basin; Qingshankou Formation; Seismic sequence; Tectonic-volcanic event; SK-I(s)

摘要 中国大陆科学钻探松科1井南孔青山口组二、三段岩心中发育有4段深水震积岩,赋存在青二段底部到青三段底部的深湖砂岩薄夹层中。标志性震积构造有阶梯状断层、震裂缝、角砾状构造、重荷构造、砂球-砂枕构造(假结核)、液化扭曲变形构造、肠状构造、液化砂岩脉、假泥裂,均属同生-准同生期的软沉积变形构造,缺少震浊积岩表明是原地震积岩。青山口组震积岩展示了震积岩的一个发育模式和沉积序列,该序列由地震作用强烈时期发育的液化变形下部单元和地震作用衰减时期发育的塑性变形上部单元构成。松科1井南孔青山口组中火山物质与火山灰夹层共生。在金6井、金65井相当层位有橄榄粗安岩、火山角砾岩发育,乾124井、乾109井有玄武岩发育,这些井均位于孙吴-双辽超壳断裂一线,表明在青山口期有构造-火山事件的发生,震积岩是构造-火山事件引发的地震在深水环境中的记录。松辽盆地青山口期有构造-火山事件的发生,显示拗陷阶段也存在相当规模的断裂活动和火山喷发。

关键词 震积岩;松辽盆地;青山口组;震积序列;构造-火山事件;松科1井

中图分类号 P588.2

* 本文受国家“973”项目(2006CB701403和2009CB219303)与国家自然科学基金项目(40972074)联合资助。

第一作者简介:王国栋,男,1982年生,博士研究生,矿产普查与勘探专业,E-mail:wanguodong100@163.com

** 通讯作者:程日辉,男,1963年生,博士,教授,博士生导师,主要从事沉积学和海洋地质研究,E-mail:chengrh@jlu.edu.cn

1 引言

位于松辽盆地齐家-古龙凹陷内的中国大陆科学钻探松科1井南孔揭示青山口组有准同生期-同生期震积岩发育,表明青山口期松辽盆地有地震活动发生并与构造活动相关联。“震积岩(seismitite)”指记录地震灾变事件的岩层(Seilacher, 1984; Spalleta and Vail, 1984)。震积岩是由Seilacher(1969)提出,命名了美国加州Elwood海滩中新世蒙特里页岩为“断裂递变层”,认为“断裂递变层”是断裂活动引发的强烈地震作用于静水盆地处于欠压实泥岩而形成的构造序列,显然震积岩定义是和受构造活动引发的地震作用紧密联系在一起,包括断陷盆地的控盆断裂活动(陈世悦等,2003;袁静,2004;魏垂高等,2006)、板内岩浆活动(贾志海等,2003;杜远生等,2005)、板块的开裂与拼接活动(单学东等,2000)、巨型断裂活动(郟庐断裂带)(田洪水等,2003;王炳山等,2007)等等。青山口期是松辽拗陷盆地发育的主要阶段之一,其以盆地快速稳定沉降,缺断裂活动为特征,在盆地中沉积了巨厚的暗色泥岩。但青山口期震积岩的发育表明松辽盆地青山口期有构造活动,也就是说松辽盆地拗陷期并非仅仅是热沉降,也有断裂的强烈活动。本文主要在详细描述了松科1井青山口组震积岩的标志性构造、建立松辽拗陷盆地深水震积岩序列的基础上,讨论了震积岩成因与青山口期的构造-火山事件。

2 青山口组震积岩的标志性构造

松科1井钻遇的青山口组主要是一套深湖相沉积,只有在青三段中、上部发育浅湖相沉积(Cheng *et al.*, 2007),震积岩主要发育在青二段底部到青三段底部深湖相薄层砂岩中。青山口组震积岩发育的标志性构造主要有阶梯状断层、震裂缝、角砾状构造、重荷构造、砂球-砂枕构造(假结核)、液化扭曲变形构造、液化砂岩脉和假泥裂。

2.1 阶梯状断层

阶梯状断层在粉砂岩岩层内发育,仅在青二、三段1511.59m(图1)和1563.42m处发育,铅直断距约在几个毫米到两个厘米,这种错断不穿透下部和上部岩层。错断的两侧粉砂岩层内保留原有层理,沿断开面有塑性拖拽构造且底部发育重荷构造,说明阶梯状断层形成于准同生期。地震作用较弱时砂岩层不发生液化,在地震产生的拉张力和重力作用下处于准同生期的岩层发生阶梯状错断和轻微的塑性变形,Seilacher(1969)最早命名的震积岩“断裂递变层”中的底部带就是一种“阶梯状断裂带”。

2.2 震裂缝

地震产生的张应力使砂岩在垂向上沿着脆弱面逐渐开裂,加之从砂岩层顶部到砂岩层底部液化作用逐渐减弱,从而形成了一种近似于“V”字形的裂缝(图2中上部)。裂缝的上部较下部宽,识别出的震裂缝开裂最大宽度不大于1.5cm,开裂深度不大于4cm,一般很少穿透下伏岩层,裂缝中一般充填碎裂的砂岩和泥质沉积物。砂岩层上表面由于液化作用的影响而不平整。震裂缝一般发育在相对较厚(大于2cm)的砂岩层中。轻微的液化现象表明形成震裂缝的地震作用要强于形成阶梯状断层的地震作用。

2.3 角砾状构造

层状分布的固结或者半固结的砂岩层受到地震震裂,形成初始断裂角砾状构造。这种构造发育在较厚层砂岩的顶部(图2上部),形成的角砾顺层分布,相邻角砾间的裂开距离为几个毫米,角砾棱角清楚且内部保留原层理,相邻角砾的侧向边缘有时可以拼合,显示出脆性开裂的特征。当角砾状构造下部岩层液化作用较强时,这种角砾化岩块在重力和地震振动作用下陷落到下部液化沉积物中,成为不协调的岩块。形成角砾状构造的地震作用强度介于形成震裂缝和阶梯状断层的强度之间。

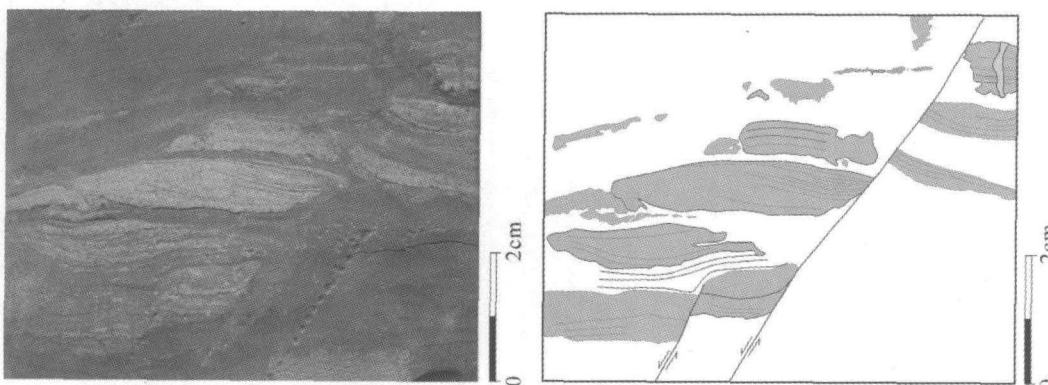


图1 阶梯状断层、重荷构造(松科1井南孔,井深:1511.59m)

Fig. 1 Photo and sketch of step micro-fault and load structure (SK-1 (s), well depth: 1511.59m)

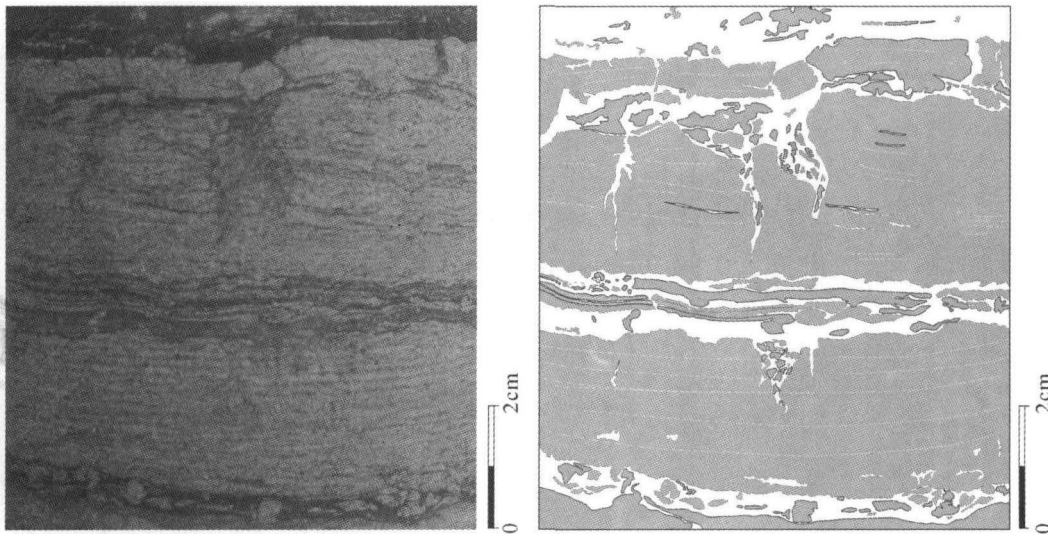


图2 震裂缝、砂球-砂枕构造和角砾状构造(松科1井南孔,井深:1589.18m)

Fig.2 Photo and sketch of seismic fissure bed, sand ball-and-pillow structure and autoclastic brecciated structure (SK-I (s), well depth: 1589.18m)

2.4 重荷构造

岩心中显示的重荷构造通常发育在未液化或者弱液化的砂岩层底部(图1砂岩底部和图2中部),与其它震积构造共生,是常见的软沉积物变形构造。地震形成重荷构造的特点在于砂岩是垂向下沉的,陷入下部软沉积物中的砂岩与母体相连且保留弱变形的原层理。在地震活动比较弱的情况下,地震波对弱固结砂岩沉积物的液化作用不强,只能是这种砂质沉积物在不均匀的重荷作用下,陷入下部泥岩等软沉积物中。重荷构造是震积岩中最常见的一种构造(Moretti *et al.*, 1999)。

2.5 砂球-砂枕构造

砂球-砂枕构造是非常发育的一类构造。陷入下部泥质沉积物中的球状、枕状砂岩可以紧密的连续成层分布(图2底部),也可以孤立地“漂浮”在下伏泥质沉积中形成假结核(图3)。假结核的大小一般在1~2cm之间,内部发生液化而很少保留原构造,部分发育砂岩“尾巴”。形成重荷构造的砂岩在更强地震作用下继续下沉,以至完全脱离母体进入下伏泥质沉积中,形成砂球-砂枕构造,随着地震作用加强砂球、砂枕进一步下沉,最终杂乱地“悬浮”在泥质沉积物中,形成假结核。

2.6 液化扭曲变形构造

对青山口组液化砂岩层粒度统计结果显示砂岩的粒度主要分布在0.05~0.1mm之间,属极易液化粒度范围。液化或者流化作用将沉积物的内部结构部分或者全部改变,趋向于形成均质的块状构造。伴随着地震振动的进一步作用,

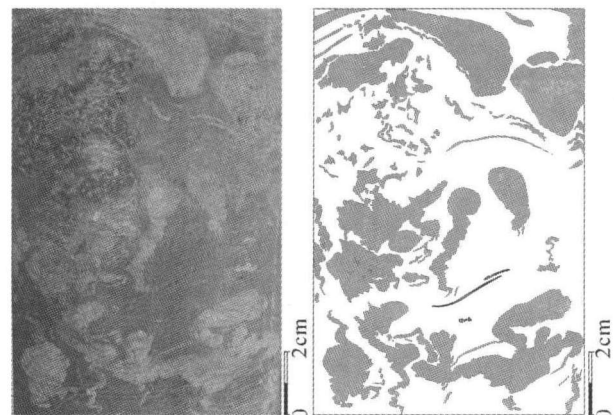


图3 液化变形、假结核(松科1井南孔,井深:1693.67m)

Fig.3 Photo and sketch of liquefaction deformation structure and pseudonodule (SK-I (s), well depth: 1693.67m)

沉积物在剪切应力的作用下发生流动、褶曲,形成液化扭曲构造,特点是液化砂岩不切穿其上部 and 下部地层,液化作用使砂岩内部原层理消失。典型的是蠕虫状液化扭曲砂岩(图4上部)、撕裂状液化砂岩和褶曲成紧闭褶皱状的肠状构造(图4中部)。Ambraseys(1988)认为震级大于5的地震能产生液化或者流化变形构造,因此液化扭曲变形构造也是较强地震作用的产物。

2.7 液化砂岩脉和假泥裂

图5显示的是液化的粉砂岩和泥质粉砂岩斜向上挤入泥岩沉积中形成的液化砂岩脉,呈蛇曲状,上下两头较窄,中

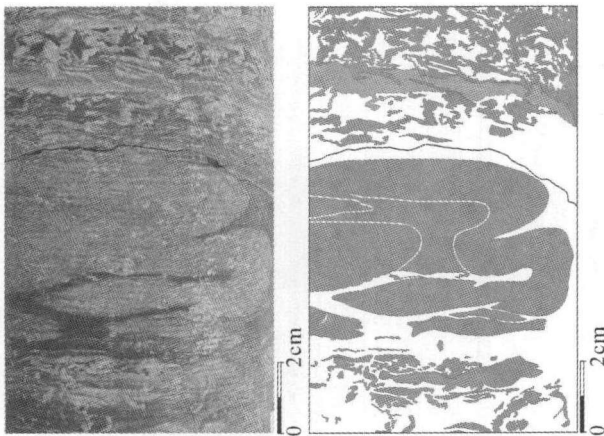


图4 肠状构造、蠕虫状液化砂岩(松科1井南孔,井深:1660.10m)

Fig.4 Photo and sketch of enterolithic structure and vermicular liquefaction sand (SK-I (s), well depth: 1660.10m)

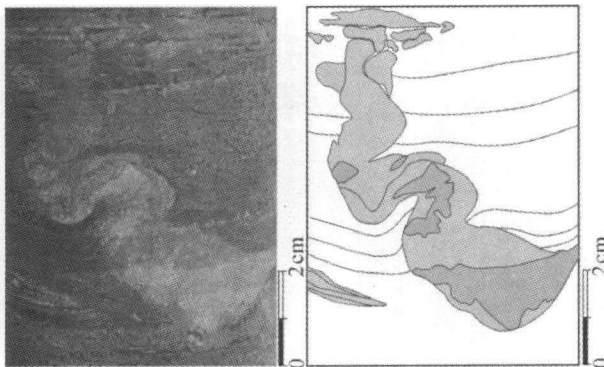


图5 液化砂岩脉(松科1井南孔,井深:1681.33m)

Fig.5 Photo and sketch of liquefaction sand dyke (SK-I (s), well depth: 1681.33m)

部相对较宽,总体上液化砂岩脉向上变窄,脉长约12cm。脉体内部较粗的粉砂岩呈不规则状分布在脉体褶曲的位置。靠近脉体两侧泥岩内部层理由于脉体向上挤入而产生向上的拖拽。另外一种液化砂岩脉体是以假泥裂的形式出现的,这种砂岩脉发育在厚层泥岩夹薄层粉砂岩的地层中。粉砂岩层液化膨胀作用使上部和下部泥岩破裂,液化的粉砂岩贯入其中。其特点是液化的砂岩脉贯入的程度小、脉体长度一般在几个厘米,截面上有点像被砂岩充填的泥裂,但其剖面形态不具“V”字形,有时甚至是倾斜的贯入(图6)。

3 震积岩的发育特点和震积序列

在盆地的沉积演化史中震积作用是短暂的、瞬时的事件性作用机制。地震对于盆地沉积的影响可分为两个方面考虑,一是由地震作用引发的异地沉积物的沉积(异地系统),

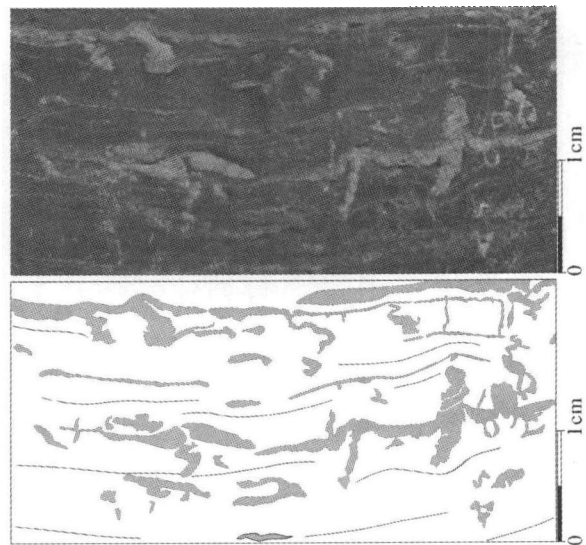


图6 假泥裂构造(松科1井南孔,井深:1647.50m)

Fig.6 Photo and sketch of pseudo-mud crack (SK-I (s), well depth: 1647.50m)

如震浊积岩、海啸岩等,二是地震作用对于盆地中已有沉积物的影响(原地系统)。已沉积于盆地中的沉积物由浅到深处于不同的沉积演化阶段,表现在沉积物结构上具有不同的孔隙、结构类型以及不同程度的成岩固结等。地震使成岩固结较好的岩层发生脆性错断或岩层拉断,使成岩固结较差的岩层发生液化,且伴有各种软沉积物变形构造,因此沉积物对地震作用的记录在垂向上是存在序列关系的。

3.1 震积岩发育的特点

松科1井青山口组二、三段震积岩的识别结果显示(表1),所有识别出的震积构造属同生-准同生期发生的软沉积物变形构造,缺少异地单元的发育(震浊积岩),因此发育于该时期深水环境中的震积岩是原地震积岩,其发育具有以下几个特点:

(1)记录青山口组震积岩的主要载体,是分布于青山口组二段底部到青山口组三段底部深湖泥岩中的薄砂岩夹层,单层震积岩发育某一种震积构造或者某几种震积构造的组合。

(2)厚度大于3cm的砂岩层,其中、下部一般不发生液化变形构造(图7G下部),只有在其顶部可见液化变形(图7A中下部),底部可能发育重荷构造,这种砂岩层也可能发育阶梯状断层和/或震裂缝(图7G中上部);厚度在1~3cm的砂岩层主要以侧向拉断(图7A上部、C和G上部、H中部)为主,也可见部分液化;厚度小于1.5cm的砂岩层一般会不同程度地发生液化变形。

根据井段中震积岩在垂向上发育的趋势和震积岩构造的发育特征(图8,照片编号与表1对应),可将青山口组的震积岩分为4个发育段(表1),分别是青山口二段下部J-R

表 1 松科 1 井南孔青山口组震积岩描述

Table 1 Descriptions of seismic sequences from Qingshankou drilling core of SK-I(s)

发育阶段	编号	井段(m)		震积序列(由下到上)
		顶深	底深	
IV	A	1479.87	1480.02	稳定泥岩层-粉砂岩底部发育重荷构造、向上砂岩液化作用逐渐增强,中上部液化变形-弱变形的泥岩层-砂层拉断和砂球构造-稳定泥岩层
	B	1498.93	1499.05	稳定泥岩层-砂层拉断-砂球构造(伴生重荷构造)-稳定泥岩层
	C	1499.59	1499.63	稳定泥岩层-含介形虫碎屑砂岩底部重荷构造-砂岩层拉断构造
	D	1511.57	1511.61	弱变形泥岩层-砂岩层的横向拉断-阶梯状错断-弱变形泥岩层
III	E	1552.46	1552.51	弱变形泥岩层-砂球及其重荷构造-砂岩层轻微拉断-薄层砂岩液化扭曲和侧向拉断-弱变形泥岩层
	F	1563.39	1563.46	弱变形泥岩层-砂岩底部重荷构造-弱变形砂岩层(局部见揉皱)-弱变形泥岩层与发育阶梯状断层和/或侧向拉断的砂岩薄互层-稳定泥岩层
II	G	1589.14	1589.23	泥岩中发育砂球-稳定砂岩层(顶部弱液化)-弱变形的砂、泥岩薄互层-发育震裂缝的砂岩层(顶部液化)-角砾状构造砂岩-弱变形泥岩
	H	1589.23	1589.32	稳定泥岩层-撕裂状液化变形砂岩-震裂缝砂岩-砂球、砂枕-液化变形砂岩-弱变形泥岩-液化砂岩条带、砂球-较稳定的砂岩层(顶部液化)-稳定泥岩层
	I	1603.04	1603.37	稳定泥岩层-液化砂岩脉-液化变形砂岩层(重荷构造)-稳定泥岩层
I	J	1647.14	1647.18	稳定泥岩层-假泥裂构造-较稳定砂岩薄夹层(正粒序)-砂球、砂枕-稳定泥岩层
	K	1647.09	1647.19	稳定泥岩层-含砂球、液化砂岩条带(砂岩脉)的泥岩层-弱变形薄层砂岩-揉皱变形砂岩-砂球、砂枕-稳定泥岩层
	L	1659.96	1660.04	稳定泥岩层-条带状、蠕虫状液化砂岩-砂岩层拉断、震塌构造(重荷构造、正粒序)-蠕虫状液化砂岩条带-底部具重荷构造的砂岩层(正粒序)-蠕虫状液化砂岩条带、砂球-稳定泥岩层
	M	1660.02	1660.16	稳定泥岩层-液化砂岩条带-肠状构造砂岩-蠕虫状液化变形砂岩-层状弱变形砂岩(正粒序)-蠕虫状液化砂岩条带-层状弱变形砂岩(正粒序)-蠕虫状液化砂岩条带、砂球-稳定泥岩层
	N	1665.98	1666.12	稳定泥岩层-球、枕构造砂岩-稳定的砂岩层-液化变形砂岩层-稳定泥岩层-局内部旋卷变形的砂岩层-含少量液化砂岩条带的较稳定泥岩层
	O	1673.57	1673.63	稳定泥岩层-重荷、砂球构造层-稳定砂岩层-含砂球的泥岩层-具轻微侧向拉断砂岩层-稳定泥岩层
	P	1681.26	1681.4	稳定泥岩层-液化砂岩脉-砂球-砂岩层内错断-稳定泥岩层
	Q	1691.22	1691.24	稳定泥岩层-砂球、重荷构造-具内部原始构造的透镜状砂岩-稳定泥岩层
R	1693.61	1693.73	稳定泥岩层-假结核、液化砂岩条带-稳定泥岩层	

段(I)、中部G-I段(II)、上部E-F段(III)和青二段顶部-青三段底部的A-D段(IV),其中J-R段发育液化作用较强的变形构造,垂向上发育时间长;G-I段早期发育重荷构造,中期液化作用强烈,晚期发育震裂缝和角砾状构造,垂向上发育时间较短;E-F段以发育震裂缝、侧向拉断和揉皱为主,液化作用不强,垂向上发育时间短;A-D段向上液化作用加强,垂向上发育时间较长。

3.2 震积序列

图 8 显示的是青山口组 H、G 段的震积岩序列,是发育

最好的一层震积岩。震积构造的垂向发育显示底部液化作用最强,向上逐渐减弱,中部和上部以塑性的变形为主,因此按照沉积物是否发生液化,可分为地震强烈时期下部液化变形单元和地震衰减时期的上部塑性变形单元,两单元分界线处的地震震级约为 5,震级大于 5 则发生液化(Ambraseys, 1988)。地震作用强烈时期主要发育撕裂状液化砂岩,伴随有较强液化的震裂缝、液化揉皱变形;地震作用衰减期主要发育砂球-砂枕、微震裂缝和角砾状构造。基于这样的震积岩发育序列,综合表 1 所示其它层位的震积岩发育序列,本文给出了青山口组拗陷盆地深水环境震积序列(表 2)。该序

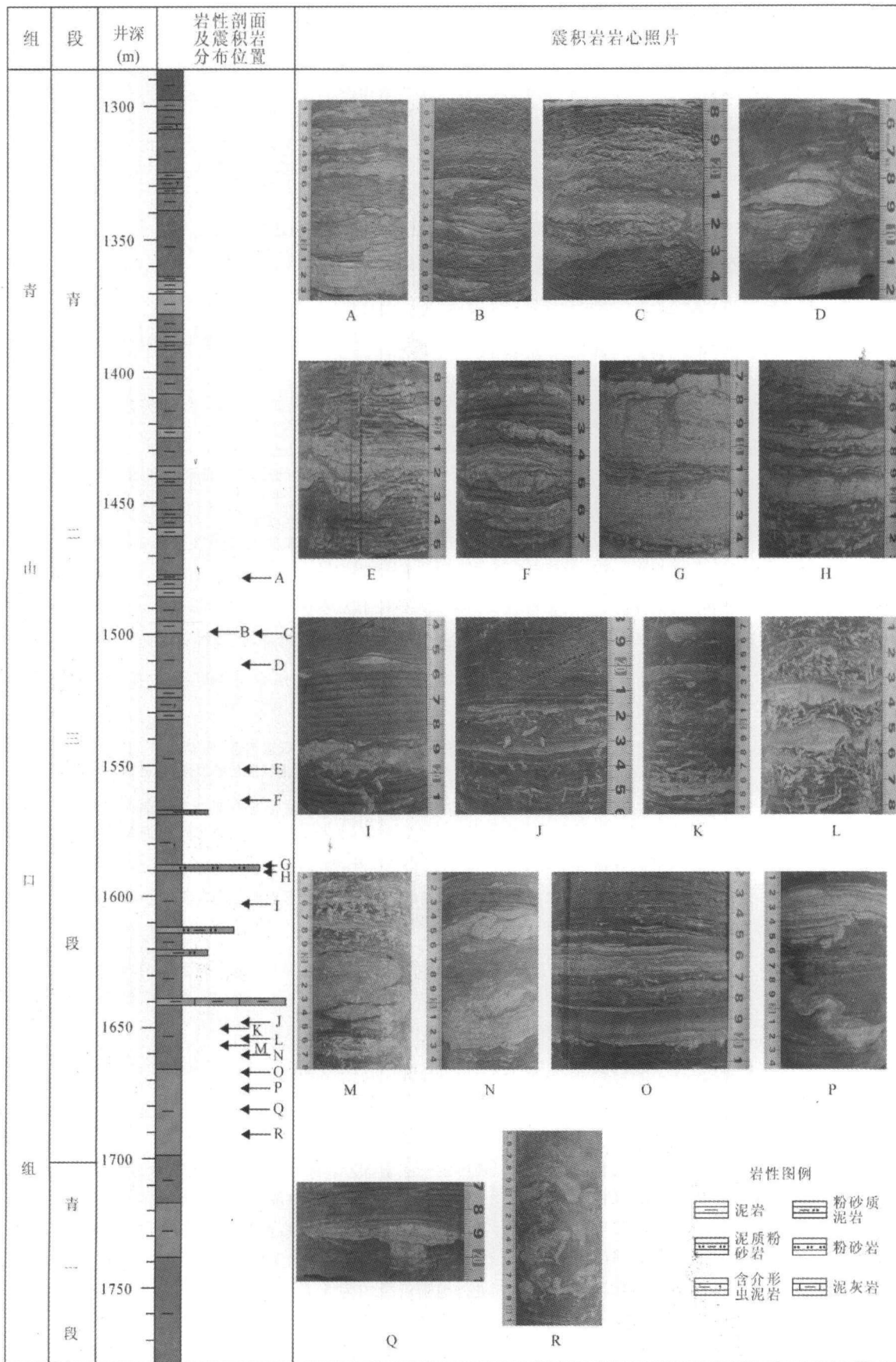


图7 松科1井南孔青山口组震积岩的发育位置

Fig. 7 Lithological column of Qingshankou Formation, showing the positions of seismites recognized from drilling core of SK-I(s)

表2 青山口组震积岩序列

Table 2 Seismic sequence of Qingshankou Formation

时期	单元	构造	震级
地震作用 衰减时期	塑性变形	阶梯状断层	小于5
		角砾状构造	
		震裂缝	
		重荷构造	
地震作用 强烈时期	液化变形	砂球-砂枕构造	大于5
		肠状构造、液化砂岩脉	
		液化扭曲变形	
		蠕虫状液化砂岩条带和假结核	
		撕裂状砂岩	

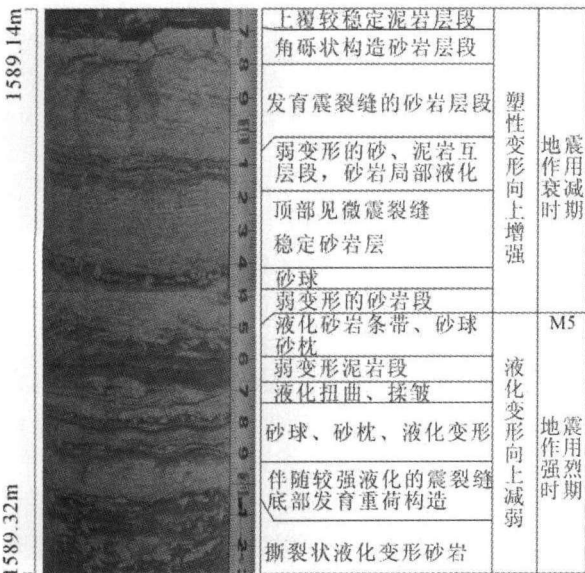


图8 青山口组典型深水震积岩

Fig. 8 Typical deep lake seismite developed in Qingshankou Formation

列由两部分组成,即下部液化变形单元和上部塑性变形单元,液化变形单元发育的震积构造显示液化作用向上减弱,塑性变形单元发育的震积构造显示塑性变形向上增加。这一序列记录了一次地震在深水盆地中形成的完整震积序列。但是实际上从震积岩的发育看,很难在单一的剖面上发育有完整的序列,保存下来的记录更多的是该序列中的一种构造或几种构造按照这种序列关系的组合。

4 震积岩的成因与构造-火山事件

齐家-古龙凹陷是青山口期松辽盆地的沉积中心,位于其内的松科1井岩心记录了松辽盆地青山口期湖相(以深湖为主)沉积过程,震积岩是盆地地震事件的记录。地震的成

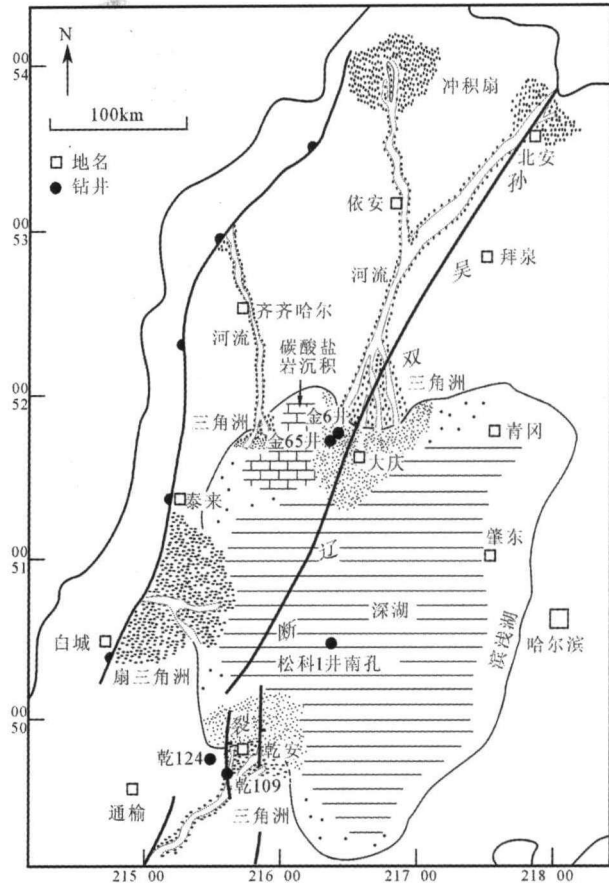


图9 松辽盆地青山口组古地理图及松科1井南孔、钻遇青山口组火山岩井井位与孙吴-双辽超壳断裂空间关系

岩相古地理图,据高瑞祺和蔡希源,1997;孙吴-双辽断裂位置,据侯启军等,2009

Fig. 9 Lithofacies-paleogeography map of Qingshankou Formation and spatial relationships between well SK-I(s), wells of volcanic rocks developed in Qingshankou Formation and Sunwu-Shuangliao transcrustal fault

Lithofacies-paleogeography map, after Gao and Cai, 1997; spreading of Sunwu-Shuangliao transcrustal fault, after Hou et al., 2009

因有很多,其中构造地震和火山地震是天然地震的主要类型,也是地质历史上两种主要的地震类型。金6井、金65井在青二段-青三段有橄榄粗安岩、火山角砾岩发育,乾124井、乾109井在青三段底部有玄武岩发育,均被解释为同期的水下喷溢成因(韩广玲等,1988;王璞珺等,2009)。上述井位均分布于孙吴-双辽断裂系西支一线(图9),孙吴-双辽断裂是松辽盆地的一条超壳断裂,青山口沉积期盆地强烈沉降,其沉降、沉积轴严格受孙吴-双辽断裂系控制,盆地规模远远大于现今范围(侯启军等,2009)。金6井橄榄粗安岩成分分析的结果显示其岩浆源为深度大于60km的富集性地幔,将其解释为在区域剪切成盆背景下,裂谷作用发育到最大深切期岩石圈破裂岩浆上侵的结果(王璞珺等,2009),火山喷溢分布在孙吴-双辽超壳断裂一线预示岩浆的上侵通道是正处

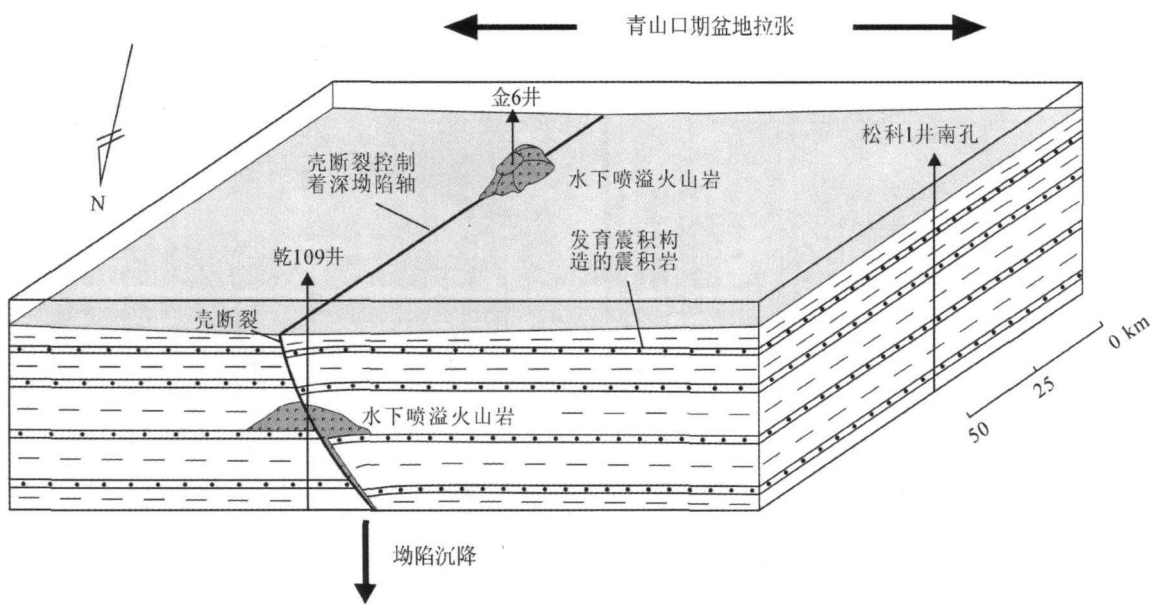


图 10 松辽盆地青山口组深水震积岩的形成模式

Fig. 10 Developmental pattern of deep water seismites developed in Songliao Basin during Qingshankou Period

于拉张活动阶段的该超壳断裂。从离孙吴-双辽超壳断裂约 50km 的松科 1 井南孔青山口组二段底部 (井深 1673.04m, J-R 段内) 识别出一层厚 0.5cm 的蚀变火山灰层, 其发育层位与金 6 井橄榄粗安岩相当。此外, 见含少量蚀变玻屑的泥岩与蚀变火山灰层共生。推测喷溢火山口位于金 6 井和乾 124 井附近, 离火山口较远的松科 1 井南孔位置只发育火山灰薄夹层以及记录断裂-火山活动引发地震的震积岩 (图 10)。

由孙吴-双辽超壳断裂活动及其伴随的火山事件引发的地震活动在当时广阔的湖泊沉积中得到记录, 同时中央坳陷作为长期的深水沉积中心古地震记录得到保存。松科 1 井揭示的震积岩特点表明: (1) 震积构造主要是同生期-准同生期的软沉积物变形构造, 缺少震积岩和滑塌沉积代表的异地系统, 表明青山口期盆地内部地形平坦, 强烈的盆地沉降是大范围的整体沉降, 同时说明盆地处于长期的饥饿沉积状态; (2) 震积岩在青二段底部到青三段底部的较长期发育表明孙吴-双辽超壳断裂在坳陷期是多次活动的, 而沿超壳断裂的水下火山岩喷溢目前只在青二段底部和青三段底部发育; (3) 松科 1 井南孔井位离孙吴-双辽超壳断裂较其它几口井较远, 断裂-火山事件引发的地震只导致该位置同生-准同生期沉积发生软沉积变形。

5 结论

(1) 松辽盆地青山口组二、三段发育震积岩沉积, 主要记录在厚层泥岩所夹的薄层砂岩中, 在垂向上分为 4 个主要发育段。

(2) 识别出的震积构造主要有有阶梯状断层、震裂缝、角砾状构造、重荷构造、砂球-砂枕构造 (假结核)、液化扭曲变

形构造、肠状构造、液化砂岩脉、假泥裂, 是地震对同生-准同生期沉积物的改造, 属原地系统。

(3) 青山口组震积岩序列由地震作用强烈时期发育的液化变形下部单元和地震作用衰减时期发育的塑性变形上部单元构成。

(4) 松辽盆地青山口期构造-火山事件的发生, 显示坳陷阶段也存在相当规模的断裂活动和火山喷发, 震积岩的发育是青山口坳陷期松辽盆地构造-火山事件的记录。

致谢 本文获“东北亚生物演化与环境教育部重点实验室”、吉林大学“211”工程三期建设项目和 2009 年教育部基本科研业务经费 (“吉林大学创新团队发展计划”) 支持。感谢参与中国白垩纪大陆科学钻探工程-松科 1 井的全体工作和科研人员, 同时感谢本文两位审稿人对本文初稿提出的宝贵意见。

References

- Ambraseys N. 1988. Engineering seismology. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 17: 1-105
- Chen SY, Yuan WF and Yan JH. 2003. Discovery and significance of earthquake event deposits of Early Tertiary in the Jiyang Depression. *Chinese Journal of Geology*, 38(3): 413-424 (in Chinese with English abstract)
- Cheng RH, Wang GD, Wang PJ and Gao YF. 2007. Microfacies and deep-water deposits and forming models of the Chinese Continental Scientific Drilling-SKII. *Acta Geologica Sinica*, 81(6): 1026-1032
- Du YS, Peng BX and Han X. 2005. Syn-depositional deformation structures by earthquake related to volcanic activity of the Late Pleistocene in Weizhou Island, Beihai City, Guangxi. *Acta Sedimentologica Sinica*, 23(2): 203-209 (in Chinese with English abstract)

- abstract)
- Gao RQ and Cai XY. 1997. Formation and Distribution of Oil & Gas Field in Songliao Basin. Beijing: Petroleum Industry Press, 94 (in Chinese)
- Han GL, Zhao HT and Bian J. 1988. Relationship between the injected basalt in Qingshankou Formation and oil & gas in Zhongyang Depression, Songliao Basin. *Experimental Petroleum Geology*, 10 (3): 248 - 255 (in Chinese with English abstract)
- Hou QJ, Feng ZQ and Feng ZH. 2009. *Terrestrial Petroleum Geology of Songliao Basin*. Beijing: Petroleum Industry Press, 77 (in Chinese)
- Jia ZH, Hong TQ, Zheng WW and Li SY. 2003. The characters and environments of the seismites of the Neoproterozoic Wangshan Formation in north Anhui. *Journal of Stratigraphy*, 27 (2): 146 - 149 (in Chinese with English abstract)
- Moretti M, Alfaro P, Caselles O and Canas JA. 1999. Modelling seismites with a digital shaking table. *Tectonophysics*, 304: 369 - 383
- Shan XD, Liu WH, Pan MC, Fu MQ and Wang Y. 2000. Discovery of seismite in Wumishan Formation of Jixian System in west Liaoning and its tectonic significance. *Liaoning Geology*, 17 (4): 267 - 270 (in Chinese with English abstract)
- Seilacher A. 1969. Fault-graded beds interpreted as seismites. *Sedimentology*, 13 (1 - 2): 155 - 159
- Seilacher A. 1984. Sedimentary structures tentatively attributed to seismic events. *Mar. Geol.*, 55 (1 - 2): 1 - 12
- Spalletta C and Vail GB. 1984. Upper Devonian intraclast parabreccias interpreted as seismites. *Mar. Geol.*, 55 (1 - 2): 133 - 144
- Tian HS, Wan ZJ and Wang HL. 2003. Discovery and preliminary study on seismites of the Cambrian Mantou Formation in the central Shandong area. *Geological Review*, 49 (2): 123 - 133 (in Chinese with English abstract)
- Wang BS, Zhang XY and Li JB. 2007. Seismites sequence of Shiwangzhuang Formation of Neoproterozoic in south Shandong Sector of Tancheng-Lujiang Fault Zone. *Journal of Shandong University of Science and Technology*, 26 (4): 4 - 9 (in Chinese with English abstract)
- Wang PJ, Gao YF, Ren YG, Liu WZ and Zhang JG. 2009. $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ age and geochemical features of mugearite from the Qingshankou Formation: Significances for basin formation, hydrocarbon generation and petroleum accumulation of the Songliao Basin in Cretaceous. *Acta Petrologica Sinica*, 25 (5): 1178 - 1190 (in Chinese with English abstract)
- Wei CG, Zhang SQ, Jiang ZX and Liu JH. 2006. Discovery and significance of seismite of Silurian in member III at Shahejie Formation in Xianhe area of Dongying sag. *Acta Sedimentologica Sinica*, 24 (6): 798 - 805 (in Chinese with English abstract)
- Yuan J. 2004. The property and geological significance of seismites of Paleogene in Huimin sag, Shandong Province. *Acta Sedimentologica Sinica*, 22 (1): 41 - 46 (in Chinese with English abstract)

附中文参考文献

- 陈世悦,袁文芳,鄢继华. 2003. 济阳拗陷早第三纪震积岩的发现及其意义. *地质科学*, 38 (3): 413 - 424
- 杜远生,彭冰霞,韩欣. 2005. 广西北海涠洲岛晚更新世火山活动引起的地震同沉积变形构造. *沉积学报*, 23 (2): 203 - 209
- 高瑞祺,蔡希源. 1997. 松辽盆地油气田形成条件与分布规律. 北京:石油工业出版社, 94
- 韩广玲,赵洪涛,边吉. 1988. 松辽盆地中央拗陷带青山口组玄武岩与油气分布的关系. *石油实验地质*, 10 (3): 248 - 255
- 侯启军,冯志强,冯子辉. 2009. 松辽盆地陆相石油地质学. 北京:石油工业出版社, 77
- 贾志海,洪天求,郑文武,李双应. 2003. 皖北新元古代望山组震积岩的基本特征及其形成环境分析. *地层学杂志*, 27 (2): 146 - 149
- 单学东,刘文海,潘明臣,付民秋,王岩. 2000. 辽西蓟县系雾迷山组震积岩的发现及其构造意义. *辽宁地质*, 17 (4): 267 - 270
- 田洪水,万中杰,王华林. 2003. 鲁中寒武系馒头组震积岩的发现及初步研究. *地质评论*, 49 (2): 123 - 133
- 王炳山,张宪依,李金波. 2007. 郯庐断裂带鲁南段新元古界石旺庄组的震积岩序列. *山东科技大学学报自然科学版*, 26 (4): 4 - 9
- 王璞珺,高有峰,任延广,刘万洙,张建光. 2009. 松辽盆地青山口组橄榄粗安岩: $^{40}\text{Ar}/^{39}\text{Ar}$ 年龄、地球化学及其成盆、成烃和成藏意义. *岩石学报*, 25 (5): 1178 - 1190
- 魏垂高,张世奇,姜在兴,刘金华. 2006. 东营凹陷现河地区沙三段震积岩特征及其意义. *沉积学报*, 24 (6): 798 - 805
- 袁静. 2004. 山东惠民凹陷古近纪震积岩特征及其地质意义. *沉积学报*, 22 (1): 41 - 46