是地震液化泄水成因，不是“渗流管”构造

乔秀夫 宋天锐 李海兵
(中国地质科学院地质研究所, 北京 100037)

本文第一作者最早提出大林子组为萨布哈环境含盐沉积^[1]，之后宋天锐对大林子组萨布哈环境作了系统研究，李海兵对其中直立的泥质脉进行了地震成因解释^[2]。孟祥化等人《下寒武统大林子组溶解蒸发岩系旋回层序及渗流构造成因》一文(以下简称《孟文》)对大林子组环境研究与我们早在 1986 及 1996 研究结论一致，是一重复性研究。我们将大林子组下部具鱼骨状交错层的砂岩解释为潮下带(文献[2]59~69 页)，而《孟文》解释为陆相。主要分歧点在于《孟文》将大林子组中直立的绿色泥质脉解释为与地表连通的“渗流管”充填构造，其层面多边形态为干裂纹构造，与我们的地震成因解释不同。

大林子组中绿色泥质脉宏观特点为：(1) 脉呈板状体，并非《孟文》描述的楔状体；(2) 脉位于岩层的内部，并未与层面相连通。位于层内部的脉中段粗(宽)，两端窄并穿刺围岩使之形成背形与向形(图 1(a), (b))，即水塑性褶皱(Hydroplastic fold)，脉限于钙结壳层(暴露标志)之下，穿刺围岩并使上覆的钙结壳层弯曲(水塑性褶皱)但不穿越钙结壳；(3) 绿色脉的成分为含绿泥石、伊利石的白云质泥岩，其中粉晶白云石 65%，石英砂 25%，云母 5%，绿泥石 5%；脉的成分与其穿刺的围岩一致；(4) 野外可清楚观察到直立的脉与其穿刺的绿色水平纹层相连通(图 1(a), (b))。上述实际产状提供了填充脉成因解释的基础。

图 1 液化泥质脉与液化碳酸盐岩脉(具 molar tooth 构造)的地震成因证据

(a) 大林子组泥质脉位于岩层内部，绿色脉与绿色薄层相连通，从围岩牵引方向可知脉的运动方向是从中间向上层面及下层面方向运动，而非由上而下沿管道贯入，HD：水塑性褶皱；(b) 绿色泥质脉与水平绿色薄层(箭头所示)相连通，二者成分一致；(c) 白云岩中的亮晶泄水脉与某些水平纹层(箭头所指)连通，标尺示 1 cm (内蒙古，奥陶系腮林忽洞群)；(d) 液化泥晶脉与层内粒序断层共生，断层切过液化泥晶脉(苏北，上震旦统九顶山组)。

含绿泥石绿色泥质脉与水平绿色薄层相联通,表明是层内纹层状含绿泥石的白云质软泥中的颗粒向一个方向液化流动集中形成直立的脉. 依据对现代沙土液化的研究,沙层被液化要满足若干条件^[3],除一定强度的水平振动(地震产生)外,尚须颗粒直径在一定范围(0.1~0.01 mm)等,这就是为什么绿色泥质层液化与直立脉相连通而非所有水平薄层与脉相连通的原因. 由于受到上部及四周压力,迫使绿色泥质脉在液化过程中向岩层的层面与底面两个方向运动穿刺,使脉两段围岩形成背形与向形,即水塑性褶皱(图 1(a), (b)). 脉的层内液化与水塑性褶皱足以说明这些脉不是由地表自上而下贯入的. 大林子组萨布哈沉积物曾有多次暴露,在剖面中的表现形式为钙结壳层及某些层面的雨痕构造,到目前为止我们尚未发现有泥裂和干裂纹等表面暴露标志. 很重要的事实是:脉限于层内部、液化脉自下而上向上层面方向穿刺纹层限于钙结壳之下,代表暴露标志的钙结壳层本身也形成背形与向形,进一步证实这些板状(非管状)填充物与地表(暴露面)不相连通,不是自地表向下灌入“渗流管道”所成. 在层面或底面上的裂纹构造不是泥裂或《孟文》图 2(a)中所述干裂纹构造,有相当多的地质学家均曾解释为干裂纹,它们实际是水塑性褶皱在平面的表现(图 2). 大林子组未固结软沉积物的液化作用,起因于地震引起水平振动;液化沉积物流动形成直立的脉较合理地解释了目前可辨认的客观地质记录. 李海兵在文献[2]中 128~138 页及 2001 年《泥质岩地震液化序列》中均有详细阐明^[4]. 《孟文》回避了上述两个文献.

《科学通报》44 卷 16 期本文作者的论文^[5]中,对早寒武世白云质泥岩中保存的地震灾变现象使用了“泥

化泥脉”一词. 我们并未将这些相对直立的白云质泥脉称为 molar tooth 构造(即《孟文》所称臼齿构造),在之后的研究^[4]中也未将早寒武世大林子组中的泥脉解释为 molar tooth 构造.

我们在最早(1984~1994 年)研究元古宙碳酸盐岩中地震液化记录时使用了“液化泥晶脉及碳酸盐岩脉”的术语^[6],未使用“molar tooth 构造”一词. 1997 年 Fairchild 等人^[7]进一步研究大连兴民村组时介绍了 molar tooth 的概念及来源,即元古宙碳酸盐岩中弯曲的液化碳酸盐岩脉,并作了地震成因的解释. 正如 Fairchild 所言(文献[7]中 612 页):乔秀夫等人对元古宙地层中地震记录研究是独立的工作.

有关具 molar tooth 构造的碳酸盐岩脉地震液化机制,我们从理论、模拟实验、地球化学、现代地震、与断层及火成岩活动关系等做过系统讨论^[2,6,8],现就几个问题重点补充讨论:

(i) 流动构造证据. 图 1(c)为内蒙古白云鄂博地区奥陶系腮林忽洞群白云岩中碳酸盐岩液化泄水脉,脉成分为亮晶方解石(与元古宙 molar tooth 构造一致),可清楚见到一些水平纹层与弯曲的脉连通(符合液化条件纹层),脉由岩层内部向上层面及下层面两个方向穿刺. 大量薄片观察发现,纹层颗粒向脉的方向、脉向上下层面方向的液化流动构造十分清楚,与本文所描述的液化泥质脉成因一致.

(ii) 与地震成因的层内同沉积变形构造共生. 碳酸盐泥(亮)晶脉(molar tooth 构造)与层内粒序断层(fault-graded)共生(图 1(d)),层内粒序断层解释为地震成因^[9,10],并与地震成因的液化卷曲变形构造及地裂缝共生^[11~15]. 从图 1(d)可清楚观察到液化脉被粒序断层所切穿,表明液化高潮后沉积物由于泄水,体积收缩导致层内发生错断,液化初期的脉被错位.

(iii) 与辉绿岩及同沉积断层共生. 具液化碳酸盐岩脉(molar tooth 构造)及同沉积变形构造岩组往往与辉绿岩共生^[5,16],并与同沉积断裂伴生,在华北地区位于元古宙不同时期的板内伸展构造带,表明与地球深部构造有成因联系.

《孟文》援引国外概念,强调 molar tooth 构造局限于元古宙. 在我国除元古宙地层外,在奥陶系碳酸盐岩中同样有与 molar tooth 相同的构造^[17];巴西北

图 2 水塑性褶皱与泄水脉关系的立体图(李海兵)^[2]
(a) 层面上很多隆脊相互交织;(b) 剥蚀后只能见到泄水脉相互交织,形似“干裂纹”

部早白垩世 Cod6 组也有 molar tooth 构造并与同沉积断层共生^[14]. 关于 molar tooth 构造多数地质学家解释为地震成因^[2,5~8,14,16~23]; 在这些文献中, 液化碳酸盐岩脉(molar tooth 构造)都是与各种地震形成的层内变形构造共生, 或与同沉积断裂共生. 当然也有非地震成因解释^[24]. molar tooth 是一个形态构造描述名词, 原意主要限于元古宙碳酸盐岩. 但地震引起沉积物的液化作用, 在整个地史时期的碳酸盐岩中并在各种软沉积物中均可出现, 我们更趋向于使用地震液化泄水泥晶、亮晶脉(碳酸盐岩中)及其他岩石中所出现的液化泄水泥质脉、砂岩脉、砂岩墙等更具有成因意义的名词.

对同一地质现象, 不同地质学家往往有着不同的解释, 但要忠实于客观地质记录. 对 molar tooth 构造成因的讨论应侧重于具体科学内容. 《孟文》应针对文献[6~8, 10, 16, 21, 23]等地震成因的详细解释提出具体不同意见, 并公布自己的研究成果而不是抽象否定地震成因.

参 考 文 献

1 乔秀夫, 高林志. 华北地台上一个值得注意的含盐层位. 中国地质科学院地质研究所所刊, 1986, (15): 66~69

2 乔秀夫, 宋天锐, 李海兵, 等. 辽东半岛南部震旦系-下寒武统成因地层. 附大连市金石滩海岸国家级风景区旅游导游. 北京: 科学出版社, 1996. 1~174(附 24 个图版)

3 刘颖, 谢君斐. 沙土震液化. 北京: 地震出版社, 1984. 1~327

4 乔秀夫, 高林志, 彭阳, 等. 古郯庐带沧浪铺阶地震事件、层序及构造意义. 中国科学, D 辑, 2001, 31(11): 911~918

5 乔秀夫, 高林志. 华北中新元古代及早古生代地震灾变事件及与 Rodinia 的关系. 科学通报, 1999, 44(16): 1753~1757

6 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): 16~34

7 Fairchild I J, Einsele G, Song Tianrui. Possible seismic origin of molar tooth structures in Neoproterozoic carbonate ramp deposit, north China. Sedimentology, 1997, 44: 611~636

8 乔秀夫, 高林志, 彭阳. 古郯庐带新元古界——灾变·层序·生物. 北京: 地质出版社, 2001. 1~128(附 10 个图版)

9 Seilacher A. Fault-graded beds interpreted as seismites. Sedimentology, 1969, 13(1-2): 155~159

10 宋天锐. 关于沉积岩中古地震信息. 见: 张勤文, 徐道一, 编. 天文地质学进展, 北京: 海洋出版社, 1986. 95~104

11 Plaziat J C, Purser B H, Philobbos E. Seismic deformation structure (seismites) in the syn-rift sediments of the NW Red Sea (Egypt). Bull Soc Geol France, 1990, 8(3): 419~439

12 Guiraud M, Plaziat J C. Seismites in the fluvatile Bima Sandstones: Identification of paleoseismis and discussion of their magnitudes in a Cretaceous synsedimentary strike-slip basin (Upper Benue, Nigeria). Tectonophysics, 1993, 225(4): 493~522

13 Puser B H, Plaziat J C, Philobbos E. Stratiform breccias and associated deformation structures recording Neogene earthquake in synrift sediments of the Egyptian Red Sea coast. Geol Soc Egypt, Spec Publ, 1993, (1): 189~204

14 Rossetti D F, Goés A. Deciphering the sedimentological imprint of paleoseismic events: An example from the Aptian Codó Formation, north Brazil. Sedimentary Geology, 2000, 135: 137~156

15 Moretti M. Soft-sediment deformation structures interpreted as seismites in middle-late Pleistocene aeolian deposits (Apulian foreland, southern Italy). Sedimentary Geology, 2000, 135: 167~179

16 潘国强, 刘家润, 孔庆友, 等. 徐宿地区震旦纪地质事件及其成因讨论. 高校地质学报, 2000, 6(4): 566~575

17 乔秀夫, 高林志, 彭阳, 等. 内蒙古腮林忽洞群综合地层和白云鄂博矿床赋矿微晶丘. 地质学报, 1997, 71(3): 202~211

18 周晓东, 陈跃军. 吉南地区晚震旦世震积岩特征. 吉林地质, 1998, 17(4): 24~29

19 单学东, 刘文海, 潘明臣, 等. 辽西雾迷山组震积岩的发现及其构造意义. 辽宁地质, 2000, 17(4): 267~270

20 和政军, 宋天锐, 丁孝忠, 等. 燕山中元古代裂谷早期同沉积断裂活动及其对事件沉积影响. 古地理学报, 2000, 2(3): 83~91

21 杜远生, 张传恒, 韩欣, 等. 滇中元古代昆阳群的地震事件及其地质意义. 中国科学, D 辑, 2001, 31(4): 283~289

22 彭阳, 杨天南, 乔秀夫, 等. 大连上震旦统地震灾变事件研究. 地质学报, 2001, 75(2): 221~227

23 Pratt B R. Oceanography, bathymetry and syndepositional tectonics of a Precambrian intracratonic basin: Integrating sediments, storms, earthquakes and tsunamis in Belt Super Group (Helene Formation, Ca. 1.45 Ga), western North America. Sedimentanry Geology, 2001, 141-142: 371~394

24 Frank T D, Lyons T W. "Molar tooth" structure: A geochemical perspective on a Proterozoic enigma. Geology, 1988, 26(8): 683~686

<https://engine.scichina.com/doi/10.1360/csb2002-47-14-1118>

(2002-03-20 收稿)