

北京西山寒武系滑塌构造的初步研究

苏德辰^{1,2)}, 孙爱萍^{1,2)}, 郑桂森³⁾, 吕金波⁴⁾, 郭荣涛⁵⁾

1) 中国地质科学院地质研究所, 北京, 100037; 2) 大陆构造与动力学国家重点实验室, 北京, 100037;

3) 北京市地质矿产开发局, 北京, 100195; 4) 北京市地质调查研究院, 北京, 102206;

5) 中国地质大学(北京), 北京, 100083

内容提要:北京西山地区的寒武系层序完整, 剖面出露好, 是中国地质学家研究寒武系的经典地区之一。前人对北京地区寒武系的研究集中于百花山北麓清水河—永定河流域的军庄、丁家滩、下苇甸、青白口至军响之间的露头。作者等在北京房山地区百花山南麓进行地质考察中, 在上寒武统崮山组下部的中薄层条带状灰岩和砾屑灰岩中发现了典型的滑塌变形层, 变形主要表现为发育大量的小型层间微型断裂或褶皱, 大部分断裂表现为小型的低角度逆冲性质, 断裂面呈舒缓波状, 平均倾角 10° 左右, 微型断裂面上盘还可见更次级的微型褶曲或断层和布丁。滑塌变形层之下还发现了与古地震有成因关系的楔状构造和特殊的砾岩。结合前人在寒武系中已经发现的震积岩, 初步认为, 这种典型的滑塌变形的直接触发机制很可能是伴随着华北古板块在中寒武世末与晚寒武世之间的“翘翘板式运动”而发生的古地震。

关键词: 滑塌构造; 生物丘; 寒武系; 软沉积物变形; 古地震; 北京西山

沉积岩层中的软沉积物变形是近些年来国际沉积学界的热点之一, 特别是因地震、海啸和强风暴等突发地质事件引发的软沉积物变形更加引人关注。震积岩(Seismites)和古地震学(Paleoseismology)的概念已经被地学界普遍接受。

宋天锐(1988)首次在北京十三陵地区中元古界雾迷山组识别出距今十余亿年的古地震记录, 提出了地震—海啸序列; 这是目前被国内公认的最早的对古地震记录进行的系统研究。此后, 对中—新元古代—早古生代华北古板块的古地震研究一直是中国古地震研究的热点(杜远生, 2011), 研究成果众多。例如, 乔秀夫等(1994)通过对大连兴民组中各种液化变形的研究提出了震动液化地震序列; 乔秀夫等(1997)在华北地台东部及北部的震旦系和下古生界中识别出 20 个震积岩岩组, 据此计算了华北地台震旦纪—早古生代地震节律; 梁定益等(2002)在河北白石山中元古代雾迷山组中发现了“震动坍塌巨角砾岩”; 乔秀夫等(2007)根据中朝板块北部燕辽裂陷槽中串岭沟组、高于庄组和雾迷山组中的古地震记录研究认为, 燕辽裂陷槽内中元古代的古地理格局(古海盆

的范围和岩相)均受同时期的断裂—地震控制; 张传恒等(2007)研究了野三坡地区雾迷山组中的丘槽和液化脉等软沉积物变形, 认为这些软沉积物变形为地震成因; 乔秀夫等(2008)讨论了球—枕构造地震成因机制; 梁定益等(2009)在房山世界地质公园中元古界雾迷山组中发现了地震—海啸序列; 乔秀夫等(2009)对沉积物的地震及古地震效应进行了详细的研究, 提出了系统的地震诱发的沉积物变形的分类; 宋天锐等(2009)探讨了古地震记录的宏观构造、微观构造和地球化学异常问题, 提出了不同古地理环境下古地震记录的差异性; Ettensohn 等(2011)对肯塔基州中部上奥陶统 Lexington 灰岩和北京野三坡雾迷山组中的软沉积物变形进行了对比研究, 肯定了宋天锐、乔秀夫等关于板刺构造的地震成因。本文作者自 2011 年开始对北京地区的古地震记录进行较系统的调研, 在永定河谷庄户洼段发现大量保存完好的中元古代软沉积物变形(苏德辰等, 2011; Su Dechen et al., 2012); 此后, 又在前述剖面点附近发现了保存完好的 1.45~1.55Ga 之间中元古代雾迷山期古地震活动的更直接证据: 液化丘、砂火山和碳

收稿日期: 2013-03-24; 改回日期: 2013-07-15; 责任编辑: 郝梓国, 黄敏。

作者简介 苏德辰, 男, 1964 年生。1994 年获得博士学位, 现为中国地质科学院地质研究所研究员, 从事沉积学、地学信息学研究。Email: sudechen@163.com。

酸盐脉(Su Dechen et al., 2013a);在房山境内 G108 国道 75km 处发现了第四系中的因地震作用形成的砾岩脉(Su Dechen et al., 2013b)。

地震引发的滑塌沉积(变形)具有重要的“指向”和“指相”意义,可以用于恢复古地理环境(古地形起伏方向)和大地构造性质,因而地震引发的滑塌沉积已经引起中外沉积学家的重视。近年来,国内外比较好的相关实例有:①吕洪波等(2006)在内蒙古黑脑包腮林忽洞群下部发现一个厚 30 余米、呈北西向延伸的、由地震形成的滑塌岩块;②吕洪波等(2011)在山东灵山岛晚中生代地层中发现了地震成因的滑塌沉积层;③ Alsop 等(2011)在死海盆地晚更新世 Lisan 组中发现了发育完好的地震成因的滑塌构造。

滑塌沉积在碳酸盐台地中很少发现,然而 Mastrogiacomio 等(2012)在意大利南部 Apulian 碳酸盐台地(白垩纪)中发现了两层地震成因的滑塌沉积,他们的发现对于恢复 Apulian 碳酸盐台地在白垩纪时的沉积环境和大地构造背景提供了重要的沉积学依据。作者在公认为风暴作用为主导的上寒武统中发现了与死海 Lisan 组中的滑塌变形十分相似

的滑塌构造,本文即是对这一滑塌变形的报道与初步研究。

1 北京西山寒武系主要特征和沉积环境概述

北京地区的寒武系主要分布于西山与北山,尤以门头沟区境内的永定河流域(包括清水河)和房山境内的大石河流域(百花山南麓)出露最为完好,北山地区以十三陵水库附近的地层出露最为完好,其他地区仅有少量出露(图 1)。

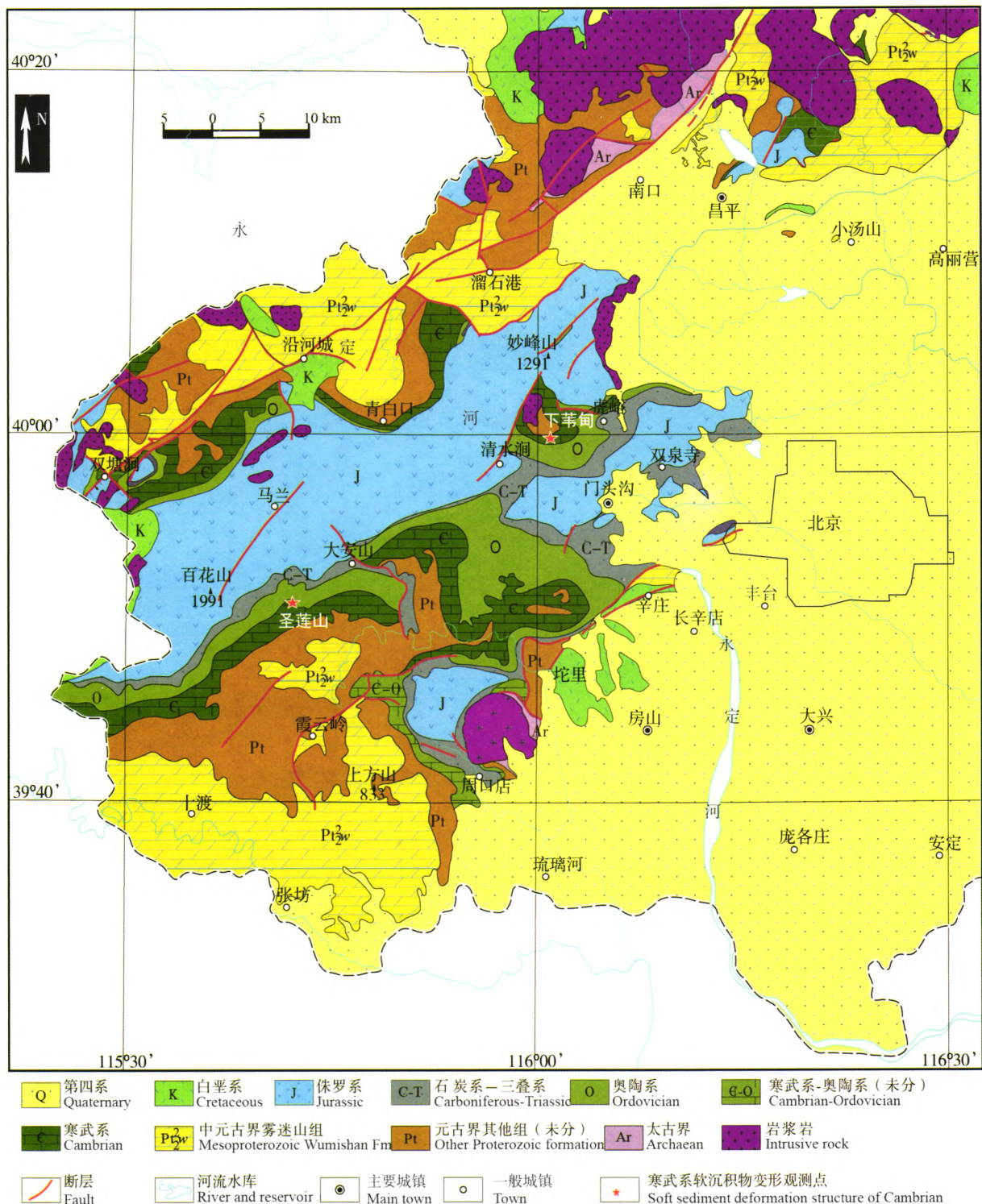
受交通条件的限制,前人对北京地区寒武系的研究集中于百花山北麓清水河—永定河流域的军庄、丁家滩、下苇甸、青白口至军响之间的露头。百花山南麓大直河流域的寒武系尽管出露也很好,但由于交通条件相对较差,关注者较少。

到目前为止,大部分研究者将西山地区的寒武系分为下、中、上三统;自上而下依次为凤山组、长山组、崮山组、张夏组、徐庄组、毛庄组、馒头组和昌平组,各组主要岩性、分布特征及主要的沉积环境见表 1。

表 1 北京西山地区寒武系各组岩性特征
Table 2 Lithologic features of Cambrian System in the Western Hills of Beijing

组名及代号	主要岩性、分布及环境	备注
上覆冶里组(O _{1y})	泥质条带灰岩,灰岩,白云岩	与下伏地层整合接触
长山组和凤山组 (Є _{3c+f})	泥质条带灰岩,钙质粉砂岩,竹叶状灰岩。其中长山组为本区最大海泛之产物,以深水相沉积为主(粉砂岩中含海绿石),厚 35 m 左右;凤山组以条带泥晶灰岩和竹叶状砾屑灰岩为主,厚 85~90 m,顶部含白云岩,表明形成环境逐渐变为潮间或潮上环境	全国地层委员会(2012)●将二者合称为炒米店组
崮山组(Є _{3g})	紫红色竹叶状灰岩、泥质条带灰岩,夹鲕粒灰岩。厚 70 m,通常认为崮山期本区属大量风暴潮环境(陆表海的滩外斜坡至盆地边缘环境)	下部含 2~3 层典型的滑塌变形
张夏组和徐庄组 (Є _{2z+x})	下部为鲕状灰岩夹钙质粉砂岩、薄层泥质条带灰岩、厚层鲕状灰岩,顶部为巨厚层鲕砾灰岩。张夏组和徐庄组的厚度累计 200~250 m。自徐庄期开始,本区的海侵范围加大,水体加深。有多个泥岩—鲕粒灰岩构成的沉积旋回。碳酸盐含量向上逐渐增多,生物化石含量增加,沉积厚度为寒武纪中最大。至张夏阶晚期,本区以鲕滩环境为主	全国地层委员会(2012)●将二者合称为张夏组
毛庄组、馒头组并层 (Є _{2m})	紫红色页岩夹泥岩,中间夹中厚层白云岩及白云质灰岩,底部为砾岩。北京地区厚 50~146 m,西山地区厚 110 m。主体为云坪与泥坪交互环境(泻湖相)的产物	全国地层委员会(2012)●将二者合称为馒头组 与下伏昌平组平行不整合
昌平组(Є _{1c})	巨厚层白云岩或豹皮灰岩,在北京地区呈北东厚、南西薄,平均厚 50~70 m。在西山地区以白云岩为主,为潮间潮上低能环境(巨萨布哈)的产物	全国地层委员会(2012)●将其称为朱砂洞组 与下伏景儿峪组平行不整合
下伏景儿峪组(Pt _j)	薄板状杂色泥灰岩	

注:本表内容主要根据《北京市区域地质志》(北京市地质矿产局,1991)、《北京西山寒武系层序地层》(乔秀夫等,1990)和《北京西山竹叶状灰岩的成因》(章雨旭等,1990)整理。



2 新发现的滑塌构造的产出特征

在房山区贾峪至史家营县级公路(X019)沿线的寒武系中,我们发现了多处未见报道的软沉积物变形构造,其中最典型的滑塌构造发现于 X019 公

路 11km 路标北东侧,GPS 坐标为:39°50′34.99″N, 115°42′24.25″E(图 1 中的圣莲山附近)。此处的滑塌变形层位于崮山组条带状灰岩、竹叶状灰岩的下部,距下伏寒夏组厚层鲕粒灰岩顶面 5m 左右,地层倾向北东 60°,倾角下陡上缓,平均 20°左右(图 2a)。

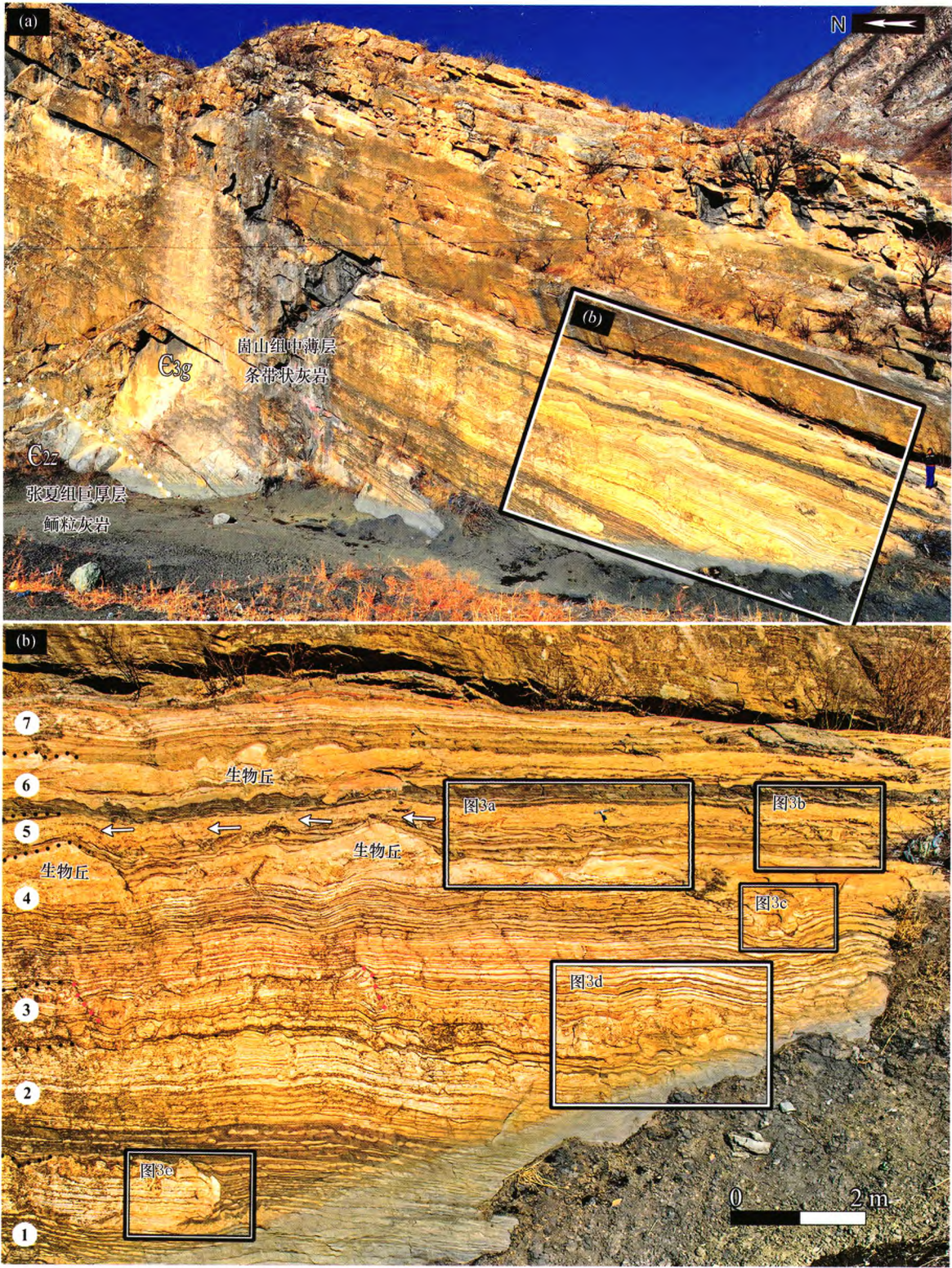


图 2 北京西山地区寒武系崮山组滑塌构造产出位置

Fig. 2 Outcrop of the Cambrian System and occurrence of slump structures in the Western Hills of Beijing

(a)—野外全景照片，白色虚线为张夏组巨厚层鲕粒灰岩与崮山组中薄层条带状灰岩的分界线；(b)—包括滑塌构造的近景照片；为描述方便，根据岩性和沉积构造特征将其分为 7 个亚层，其间的界线用黑色虚线表示；白色箭头表示滑塌方向；第 3 层中有两处类似正断层的错断（红色虚线）

(a)—Outcrop photo, the white dotted line represents the boundary between the thick-bedded limestone of the Zhangxia Fm. and the banded limestone of Gushan Fm. ; (b)—the black dotted lines represent the boundaries of seven sub-layers; the white arrows represent the flow direction of the slump; two red dotted lines represent the fault in the third layer

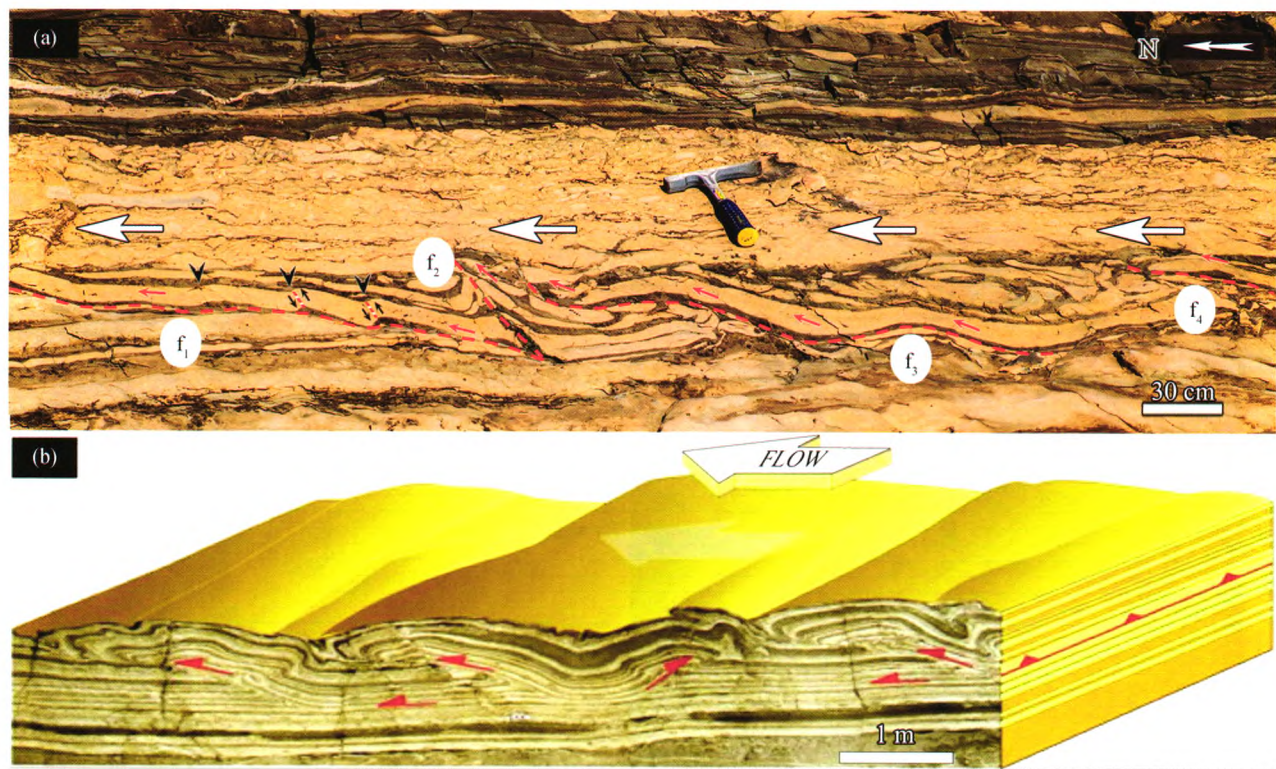


图 3 北京西山地区寒武系中的滑塌构造与 Alsop 等(2011)报道的死海 Lisan 组中的滑塌构造对比
Fig. 3 Slump structures in the Late Cambrian in Western Hills of Beijing and its comparison with the similar features in the Late Pleistocene Lisan Formation in Dead Sea reported by Alsop et al. (2011)
(a)—崧山组的滑塌变形,红色箭头表示滑塌过程中产生的逆断层,黑色箭头示更次级的微断层,白色箭头表示滑动方向;
(b)——死海 Lisan 组的滑塌变形(Alsop et al., 2011)

(a)—Slumps of the Gushan Fm., the red-dotted lines represent the faults (named f_1 , f_2 , f_3 , and f_4 respectively), the red arrows represent the direction of the reverse faults, the black arrow represent the smaller microfaults, the white arrows represent the flow direction; (b)—slumps from the Lisan Fm. of the Dead Sea(Alsop et al., 2011)

根据岩性和沉积构造特征,自下而上可将图 2b 中这套岩层细分为 7 层。其中,1、3、5 为含有特殊变形构造或沉积现象的事件层。图 2b 中的 2、4、6、7 为正常层。正常层的底部一般为相对较深水相的深色泥岩、粉砂岩(风化面为褐色,新鲜面为绿色)或泥质条带灰岩,向上变为较纯的薄层灰岩和生物丘,构成向上变浅的次级层序。

滑塌构造主要发育在第 5 层(图 3a,图 4a),该层厚 40~50 cm,上部为砾屑灰岩,厚 20 cm 左右。下部为整体变形的薄层条带状灰岩,厚 20~30 cm。变形主要表现为发育大量的小型层间断裂或褶皱,大部分断裂表现为小型的低角度逆冲性质,断裂面呈舒缓波状,平均倾角 10°左右,倾向南(图 3a 中的 f_1 , f_3 和 f_4),这些断裂面上盘还可见更次级的微型褶曲或断层(图 3a 中 f_1 之上,黑色三角形箭头所示)。有些薄层灰岩还呈现出明显的被拉断、拖动的痕迹,直到形成一系列的拉伸布丁(图 3a 中 f_3 之上)。图 3 中所示的软沉积物变形构造特征与

Alsop 等(2011)报道的死海南部晚更新世 Lisan 组中发现的典型滑塌堆积十分相似(图 3b)。

部分被拉断的岩块在滑移过程中被顶起,呈直立状或不规则状(图 4a)。根据同沉积褶皱的形态和同沉积微型断层的产出样式,推测这次滑塌作用的方向为自右向左(自南向北),如图 3a 中的白色箭头所示。第 4 层上半部分的砾岩大小混杂,分选性差,貌似杂乱无章分布,仔细观察很多砾石可以拼接到一起,并且大部分砾石的倾向与前述的小型断层面的倾向一致,推测这些砾石为近源产物,靠近下部断层位置的砾石甚至为原地来源。砾石为滑塌之后相伴形成的浊流产物。

第 4 层整体为正常沉积,但局部见到漏斗状、楔状砾岩充填的现象(图 4b)。图 4b 中,I 和 II 两个由砾岩充填的楔状体高 40 cm 左右,但第一个楔状体发育不完全,大部分被第 2 个楔状体穿插破坏。两期砾岩楔中的角砾均无分选,无磨圆,为原地型角砾。

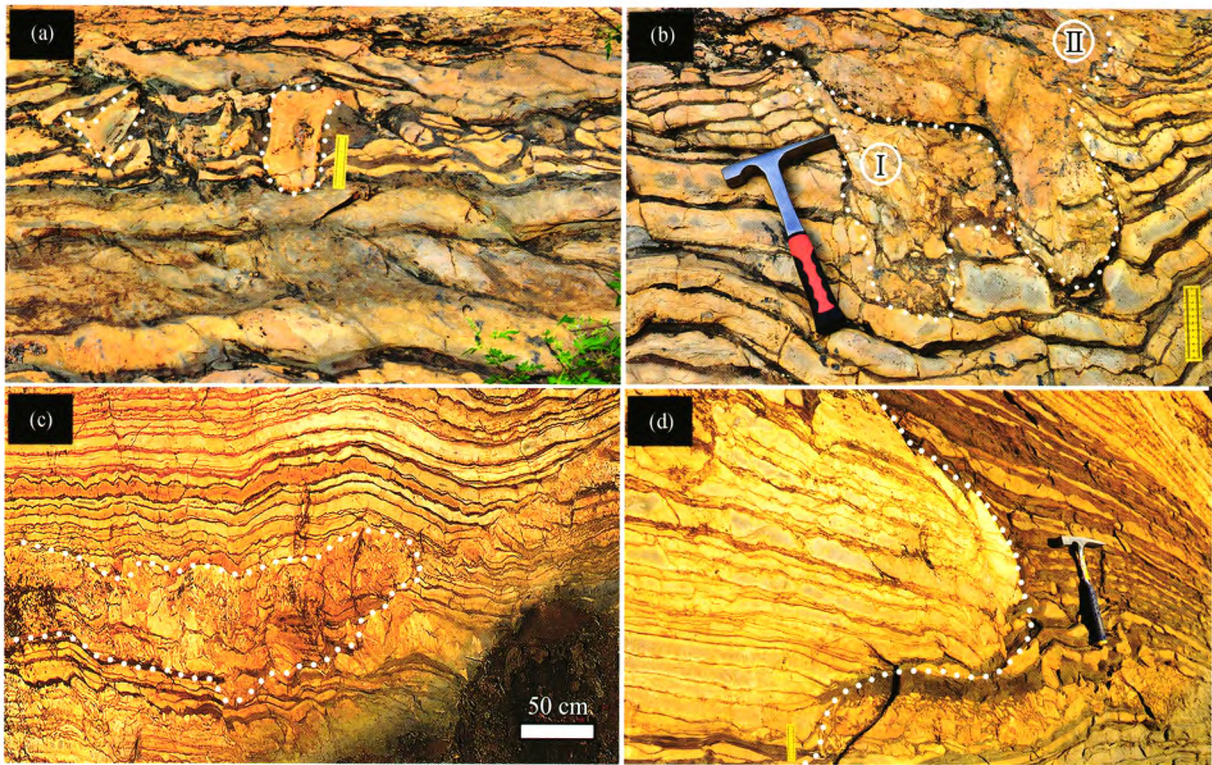


图 4 北京西山地区崮山组滑塌及相关的系列变形构造(产出位置见图 2)
Fig. 4 Slump structure and associated soft-sediment deformation structures in the Gushan Formation of the Upper Cambrian

(a)—滑塌中被扯断的岩块;(b)—触变楔;(c)—同沉积砾岩透镜体(震裂岩);(d)—特殊的砾岩
(a)—Conglomerate pulled off by slump; (b)—thixotropic wedges; (c)— earthquake-shattered breccias; (d)—special layer of breccias

这种漏斗状砾岩楔与山东九龙山地区上寒武统炒米店组中发现的漏斗状角砾岩脉从形态和产出时代上都比较近似(Chen J et al. , 2009),但成因不同。Chen J 等(2009)报道的饱和碳酸盐沉积物在胶结作用早期,由于上覆沉积物压力及孔隙水压力的差异,在沉积层的薄弱带因选择性液化或沉积物流化形成逃逸通道,尤其是受到地震及风暴外力作用时,孔隙水或流化沉积物向上喷射和侵入,形成内部自下而上具差异性(3 部分)的漏斗形碎屑岩墙;而本文所述的漏斗状砾岩脉(图 4b)由不可能发生液化的泥灰岩质角砾组成,与张邦花等(2012)报道的山东青杨村东朱砂洞组硅质白云岩中的触变楔在外形上相似。这种楔状构造可能的成因是:半固结或弱固结的条带状灰泥在古地震的震动下发生破碎,产生裂缝,之后在滑塌作用产生的挤压力及重力的共同作用下,滑塌体底部灰泥流动并被挤入下伏裂隙中,最终形成楔状构造(触变楔)。

第 3 层的变形比较强烈,岩层多处发生错断(图 2 中红色箭头所示),局部完全破碎,形成不规则状砾岩透镜体(图 4c),有关这层岩石的成因还需要做进一步工作,初步认为与古地震作用有关,为震裂

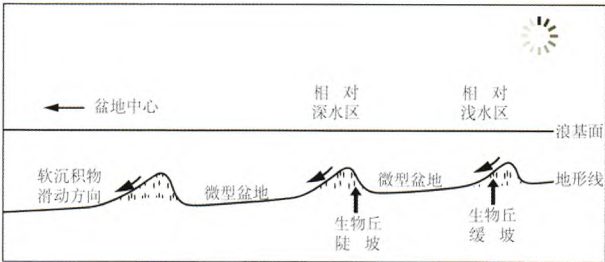


图 5 北京西山地区崮山组生物丘微地貌及丘间滑动示意图(生物丘均为不对称形,根据生物的向光性生长特性可以判断沉积盆地的中心方向,原始的沉积层面为缓坡)
Fig. 5 Diagram showing the microenvironment for the bioherms and the direction of slump of Western Hills of Beijing (the depositional surface is slope and the basin center is conjectured based on the asymmetrical shapes and the phototropic features of the bioherms)

岩。

总体上第 1 层与第 2 层为过渡关系,第 1 层的沉积与成岩过程基本正常,下部为深褐色薄层条带状灰岩,上部为中薄层浅灰色条带状灰岩。该层上半部的浅色灰岩空间分布不连续,顶面凹凸不平,有被侵蚀破坏的痕迹。宏观上观察,该层有自左向右

的滑塌特征,在其前端(右侧)有被薄层深色条带状灰岩包裹的现象(图 4d),并且与下伏地层之间夹一层 10~15 cm 厚的砾岩。

3 讨论

3.1 崮山组软沉积物滑塌构造的产出环境分析

碳酸盐岩盆地通常比较平缓,加之碳酸盐颗粒胶结作用比较快,发生滑塌的实例非常稀少(Mastrogiamo et al., 2012),国内还没有在上寒武统中发现滑塌构造的报道。为此我们与死海 Lisan 组中典型滑塌构造进行了对比分析。

北京地区崮山组底部滑塌变形的内部结构与死海 Lisan 组的滑塌变形基本相似,都有一组同斜褶曲及倾向一致的一组逆冲断层,但崮山组泥质条带灰岩中的滑塌是在碳酸盐盆地中的生物丘间的滑塌,规模较小,分布较局限,如图 5 所示,与死海 Lisan 组的滑塌环境不同。

北京西山晚寒武世的碳酸盐盆地与缓坡中广泛发育了生物丘,且位于浪基面之下,为盆地与缓坡上硬的凸起地形,由于生物的生长具有向阳性,生物丘普遍呈不对称的立体形态,即一侧陡(向阳一侧),另一侧缓。这种形态差异导致盆地和缓坡出现一系列特殊的微地形——丘间微型盆地,相对浅水一侧为丘缓坡区,相对深水一侧为丘陡坡区。在地震应力触发下,软沉积物会从相对浅水的缓坡区滑向相对深水区,由于滑塌构造下部沉积物的摩擦阻滞作用以及生物丘的陡坡阻挡了沉积物的滑动,迫使软沉积物中形成同向的逆断层系(图 5)。

崮山组的滑塌虽然与死海 Lisan 组的滑塌形态十分相似,因二者具有相似的地形与触发因素,但崮山组的滑塌规模小,可认为属于丘间的小滑动,是小尺度、近距离的滑塌变形,本文建议称之为“生物丘间滑塌变形”。

3.2 崮山组滑塌变形的触动力——风暴还是地震?

滑塌的触发机制可以有地震(包括地震引起的海啸)、地形(重力)和强风暴等多种作用。

具体到北京地区来说,上寒武统是典型的风暴沉积发育的层位。然而,滑塌构造产出的层位附近不存在任何典型的“风暴岩”,并且,滑塌构造层附近的岩相均为薄层粉砂岩、泥岩和极薄层条带状灰岩,为浪基面以下较深水环境的产物。如果认为本区的滑塌是风暴作用所触发,则在相同或相邻层位应该可以发现很多类似的构造。但到目前为止,这种典

型的滑塌构造仅发现于北京西山的一个层位,且该层及相邻层位没有典型的风暴沉积。因此,风暴作用基本可以排除。

滑塌构造发育于生物丘较多的环境,生物丘为沉积界面上典型的正地形,对于因重力因素引进的一般性滑塌具有明显的阻挡作用,因此地形因素和普通的重力因素也可以排除。

因此,我们认为崮山组滑塌变形的触发机制为地震。

一般认为,中晚寒武世时整个华北古板块处于接近赤道的低纬度风暴作用区,风暴作用频繁(Nie Shangyou, 1990)。因此,传统观点认为当时的华北为非常稳定的地块,地形起伏不大,产生地震条件基本不存在。

然而,大量的沉积记录表明,在中寒武世末期,中晚寒武世之间的古地理环境发生了很大变化(冯增昭等, 2002a; 2002b),受周围古板块和洋盆之间碰撞拼合的影响,华北古板块发生了不均一的“翘翘板运动”,使已建设成熟的碳酸盐台地发生了以东西为轴,南升北降和海平面整体回落事件。华北古板块与周围洋盆之间的碰撞拼合不仅仅产生了“翘翘板运动”,还导致了板块内部伸展断层的发育(Meng Xianghua et al., 1997; Meyerhoff et al., 1991)。因此,寒武纪(特别是崮山期之后)的华北古板块也确实存在着地震作用发生的构造背景。

已经有多篇文献探讨、报道了华北寒武纪的软沉积物变形构造和古地震纪录(震积岩)。例如,李海兵(1996, 2006)系统研究了大连下寒武统葛家屯组与大林子组中的液化白云岩脉、水塑性褶皱、水塑性断层擦痕、液化角砾岩和古滑坡等,认为这些构造为地震成因的软沉积变形和地震滑坡;田洪水等(2003, 2007)和张邦花等(2012)在山东早寒武世朱砂洞组—馒头组内发现的一系列与古地震有关的液化脉、灰泥火山、液化底辟、震裂角砾岩、触变楔等;闫臻等(2005)在鲁西地区馒头组下部发现了滑塌堆积并证明寒武纪的华北古板块曾存在有陡坡地貌;Chen Jitao 等(2009)研究了山东九龙山地区上寒武统灰岩中发现的漏斗状碎屑岩脉,认为这些岩脉是碳酸盐沉积物在胶结作用早期,因上覆沉积物压力及孔隙水压力的差异(尤其是受地震及风暴外力作用时),孔隙水或流化沉积物向上喷射和侵入形成的。上述成果直接或间接证明,华北古板块在寒武纪特别是中晚寒武纪时存在着地震作用发生的背景和证据。

4 结论

综上所述,圣莲山一下苇甸一线崮山组中的滑塌变形应解释为地震触发,而非风暴或其他因素。华北地区中晚寒武世期间的“跷跷板”运动是这一地区发生地震的背景因素。

致谢:本文在写作过程中,乔秀夫先生给予了很多指导,并审阅了论文初稿。参加野外考察的还有中国科普作家协会的段煦和首都师范大学的苏金一,特此致谢。

注 释

① 全国地层委员会. 2012. 中国地层表(试用稿).

参 考 文 献

- 北京市地质矿产局. 1991. 北京市区域地质志. 北京:地质出版社, 97~116.
- 陈荣坤,孟祥化. 1993. 华北地台早古生代沉积建造及台地演化. 岩相古地理, 13(4): 46~55.
- 杜远生. 2011. 中国地震事件沉积研究的若干问题探讨. 古地理学报, 13(6): 581~590.
- 冯增昭,彭勇民,金振奎,鲍志东. 2002a. 中国中寒武世岩相古地理. 古地理学报, 4(2): 1~11.
- 冯增昭,彭勇民,金振奎,鲍志东. 2002b. 中国晚寒武世岩相古地理. 古地理学报, 4(3): 1~10.
- 李海兵. 1996. 特殊的成岩构造: 软沉积物非构造变形. 见: 乔秀夫,等. 辽东半岛南部震旦系一下寒武统成因地层. 北京:科学出版社: 128~138.
- 李海兵. 2006. 下寒武统大林子组中的软沉积物变形构造. 见: 乔秀夫,等. 地层中地震记录(古地震). 北京:地质出版社, 161~181.
- 梁定益,聂泽同,宋志敏,赵崇贺,陈遂刚,巩海波. 2009. 北京房山世界地质公园中元古界雾迷山组地震—海啸序列及地质特征. 地质通报, 28(1): 30~37.
- 梁定益,宋志敏,赵崇贺,聂泽同. 2002. 河北省白石山中元古代地震遗迹的发现. 地质通报, 21(10): 625~630.
- 吕洪波,章雨旭,肖国望,张绮玲. 2006. 内蒙古白云鄂博南东黑脑包腮林忽洞群下部发现地震滑塌岩块. 地质论评, 52(2): 163~169.
- 吕洪波,王俊,张海春. 2011. 山东灵山岛晚中生代滑塌沉积层的发现及区域构造意义初探. 地质学报, 85(6): 938~946.
- 马丽芳(主编). 2002. 中国地质图集. 北京:地质出版社, 114~115.
- 乔秀夫,高林志. 1990. 北京西山寒武系层序地层. 中国地质科学院地质研究所所刊, (22): 1~7.
- 乔秀夫,高林志. 2007. 燕辽裂陷槽中元古代古地震与古地理. 古地理学报, 4(9): 337~352.
- 乔秀夫,李海兵,高林志. 1997. 华北地台震旦纪—早古生代地震节律. 地学前缘, 4(3~4): 155~160.
- 乔秀夫,李海兵. 2008. 枕、球—枕构造: 地层中古地震记录. 地质论评, 54(6): 721~730.

- 乔秀夫,李海兵. 2009. 沉积物的地震及古地震效应. 古地理学报, 11(6): 593~610.
- 乔秀夫,宋天锐,高林志,彭阳,李海兵,高励,宋彪,张巧大. 1994. 碳酸盐岩振动液化地震序列. 地质学报, 68(1): 16~32.
- 宋天锐. 1988. 北京十三陵前寒武纪碳酸盐岩地层中的一套可能的地震—海啸序列. 科学通报, (8): 609~611.
- 宋天锐,刘燕学. 2009. 古地震记录与岩相古地理. 沉积学报, 27(5): 872~879.
- 苏德辰,孙爱萍. 2011. 北京永定河谷中元古界雾迷山组软沉积物变形与古地震发生频率. 古地理学报, 13(6): 591~614.
- 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. 地质论评, 49(2): 121~131.
- 田洪水,张邦花,祝介旺,张增奇,李洪奎. 2011. 早寒武世初期沂沭断裂带地震效应. 古地理学报, 13(6): 645~656.
- 项礼文,郭振明. 1964. 河北昌平灰岩组内的三叶虫化石及其地层意义. 古生物学报, 12(4): 622~625.
- 闫臻,杨长春,李继亮,王真理,肖文交,徐兴旺,段秋梁. 2005. 鲁西地区馒头组下部滑塌堆积的地质特征及其意义. 沉积学报, 23(1): 29~33.
- 张邦花,田洪水,张增奇,杜圣贤. 2012. 地质名山馒头山及其附近早寒武世古地震沉积事件研究. 沉积学报, 30(6): 1022~1031.
- 张传恒,武振杰,高林志,王巍,田彦林,马超. 2007. 雾迷山组中地震驱动的软沉积物变形构造及其地质意义. 中国科学(D), 27(3): 336~342.
- 章雨旭,万渝生. 1990. 北京西山竹叶状灰岩的成因. 中国地质科学院地质研究所所刊, (22): 56~63.
- Alsop G I, Marco S. 2011. Soft-sediment deformation within seismogenic slumps of the Dead Sea Basin. Journal of Structural Geology, 33: 433~457.
- Chen J, Van Loon A J, Han Z, Chough S K. 2009. Funnel-shaped, breccia-filled clastic dykes in the Late Cambrian Chaomidian Formation (Shandong Province, China). Sedimentary Geology, 221: 1~6.
- Ettensohn F R, Zhang C H, Lierman R. 2011. Soft-sediment deformation in epicontinental carbonates as evidence of paleoseismicity with evidence for a possible new seismogenic indicator: Accordion folds. Sedimentary Geology, 235: 222~233.
- Mastrogiovanni G, Moretti M, Owen G, Spalluto L. 2012. Tectonic triggering of slump sheets in the Upper Cretaceous carbonate succession of the Porto Selvaggio area (Salento peninsula, southern Italy): Synsedimentary tectonics in the Apulian Carbonate Platform. Sedimentary Geology, 269~270: 15~27.
- Meng Xianghua, Ge Ming, Maurice Tucker. 1997. Sequence stratigraphy, sea-level changes and depositional systems in the Cambro-Ordovician of the North China carbonate platform. Sedimentary Geology, 114: 189~222.
- Meyerhoff, A A, Kamen-Kaye M, Chen C, Taner I. 1991. China-Stratigraphy, Palaeogeography and Tectonics. Dordrecht: Kluwer, 188.
- Nie Shangyou. 1990. Paleoclimatic and paleomagnetic constraints on

the Paleozoic reconstructions of south China, north China and Tarim. *Tectonophysics*, 196; 279~308.

Su Dechen, Qiao Xiufu, Sun Aiping, Li Haibing, Ian S. 2013. Large earthquake-triggered liquefaction mounds and a carbonate sand volcano in the Mesoproterozoic Wumishan Formation, Beijing, North China. *Geological Journal*, DOI: 10. 1002/gj. 2501.

Su Dechen, van Loon A J, Sun Aiping. 2013. Genesis of an uncommon clastic dike in an uncommon braided-river deposit. *Journal of Palaeogeography*, 2(2): 127~137.

Su Dechen, Sun Aiping. 2012. Typical earthquake-induced soft-sediment deformation structures in the Mesoproterozoic Wumishan Formation, Yongding River Valley, Beijing, China and interpreted earthquake frequency. *Journal of Palaeogeography*, 1(1): 71~89.

A Preliminary Research on the Slump Structures in Cambrian System
in the Western Hills of Beijing

SU Dechen^{1,2)}, SUN Aiping^{1,2)}, ZHENG Guisen³⁾, LÜ Jinbo⁴⁾, GUO Rongtao⁵⁾

1) *State Key Laboratory of Continental Tectonics and Dynamics, Beijing, 100037;* 2) *Institute of Geology, Chinese Academy of Geological Sciences, Beijing, 100037;* 3) *Beijing Geology and Mineral Resources Development Bureau, Beijing, 100195;* 4) *Beijing Institute of Geological Survey, Beijing, 102206;* 5) *China University of Geosciences, Beijing, 100083*

Abstract

The Cambrian system in the Western Hills of Beijing outcrops mainly along the Yongding river valley in the north and along the Dazhihe river valley in the south. Famed for the complete sequence, unique rock types and good exposure, the Western Hills in Beijing has been a key location for the study of Cambrian system in China. However, nearly all the field work and publications have been concentrated on the northern part (along the Yongding river valley), for the convenient transportation. The slump structures are found about 5 m above the boundary between the Zhangxia Formation (Middle Cambrian oolite) and the Gushan Formation (Upper Cambrian) in the southern part of Wetsten Hills along a branch of the Dazhihe river valley). The slump is mainly composed of micro folds and faults. Axial planes of these folds are SN-striking. The typically dip gently towards the east. The average dipping angle of the micro-faults is about 10 degrees. The deformation pattern is very similar with that in the Late Pleistocene Lisan Formation near the Dead Sea. Two wedge-shaped features are discovered just below the slump layer. Our preliminary research shows that the direct trigger for the newly discovered slump structures are probably the palaeoearthquake associated with the tilting movement of the North China palaeoplate in the late Cambrian.

Key words: slump; bioherm; Cambrian System; soft-sediment deformation structure; palaeoearthquake; Western Hills of Beijing