11卷1期 沉 积 学 报 V.11, N.1
1993年3月 ACTA SEDIMENTOLOGICA SINICA Mar.1993

新疆博格达山晚古生代风暴岩及其古地理意义

李育慈 晋慧娟

(中国科学院兰州地质所)

提要 博格达山西部下二叠统中下部是一套由浊流及其它重力流沉积组成的深水层段，其下伏和上覆地层中都发现了大量风暴岩。深水层段之上的风暴岩仅分布在博山南侧的浪控沉积体系之中，北侧为一套不含风暴岩的潮坪沉积，该特点表明博山南北两侧的沉积层序可能不形成于统一水体，而是分属于两种不同性质的沉积盆地。从而为博山晚古生代属岛弧性质从沉积学角度提供了依据。当博山南侧西缘晚二叠世初期为陆相沉积时，东部仍出现大量远源风暴岩，表明晚古生代海退方向自西而东。

关键词 古地理意义 风暴岩 晚古生代 博格达山西部

第一作者简介 李育慈 56岁 高级工程师 沉积学

近年来，通过主要发生在近滨带和陆架上风暴沉积作用的研究，人们已经认识到这种周期性的灾变事件对沉积物的影响远比长期缓慢的正常沉积作用要深刻的多，并且风暴沉积作用的研究正在不断赋予以沉积学、古气候学和大地构造学等方面的意义，因而得到国内外沉积学界的重视。我国在八十年代后期对风暴岩的研究取得了长足进步，今后更应注意结合我国具体的地质特点加以研究和应用，才能不断赋予以新的生命力。

随着博格达山（下称博山）南北两侧，即准噶尔盆地东南部和吐哈盆地油气资源勘探的可喜进展，人们对博山的有关地质问题更是日渐关注，但是迄今为止，沉积学研究问津者甚少。近期内，笔者对博山西部（乌鲁木齐—达板城东南）的晚古生界进行了详细的沉积学研究，在该套地层中不但发现了深水重力流沉积，而且大量风暴岩也相继发现。研究表明，博山晚古生界风暴岩不仅在时、空分布上占有十分重要的地位，而且它们在垂向序列中产出的层位及空间分布上的特点还意寓着更深刻的地质意义。

1 风暴岩成因类型的划分

风暴流对沉积环境和沉积物的影响极为复杂，首先反映在流体性质方面，具有高密度流和牵引流的两重性，在水体运动方式上，不但为水平运动和振荡运动的叠加，并具涡流的特点。由于风暴流的流体性质和水流体系的特殊性决定了风暴沉积作用的独特变化规律，在垂向上构成可供识别的沉积层序和相标志，表现在沉积物记录上，构成一个完整的风暴岩理想层序。

需要指出的是，在风暴沉积构造序列中，丘状交错层理是较为典型和经常出现的层理类

型，因此有的沉积学者把它作为风暴事件的标志性沉积构造，有人进而将其理解为是浅水和浅海陆架环境的标志。诚然，丘状层理广泛形成于近滨—陆架之间（Duke，1985），但在河口湾、潮坪以及三角洲边缘(Burgeois，1980）乃至深水浊积岩层序中也都发现了丘状层理(prave，1990)，大陆环境中也不乏有丘状层理的出现。因此丘状层理的形成并不完全依赖于风暴浪这个唯一的因素，将它作为风暴沉积的唯一标志性沉积构造并不完全适宜。应当承认，丘状层理在正确判断风暴沉积虽是一个有效的依据，但必须结合其它代表风暴事件的各种标志进行综合判识才是可行的。

根据研究区（博山西部，图1）晚古生代地层中发现的大量风暴岩划分为七种类型，兹讨论如下。

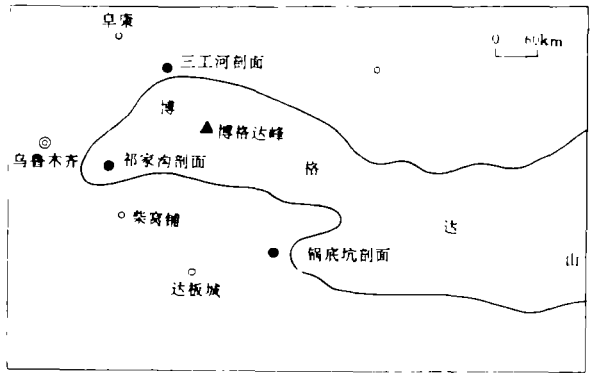


图1 剖面位置图

Fig.1 Location map of the studied section

类型1（T_1）粒序层发育的粗火山碎屑风暴岩 层序总厚约40cm，底部见不平整的冲蚀面（图版Ⅰ，1），层序厚，沉积物粒度粗，不含泥为该类型特点，说明沉积物在正常天气时处于正常浪基面之上，遭受各种浪流的簸选和淘洗。粒序层段可占总层序厚的1/2以上，表明强烈的风暴浪扰起的粗碎屑至风暴衰退期还是以快速沉降的方式而堆积，因此T_1是滨岸带强风暴浪流下的产物。

类型2（T_2）：团块灰岩风暴岩 层序总厚约1m，底部见极明显的"U"型冲蚀面，该层序主要是由横向上展布不稳定的团块状灰岩组成，团块间紧密镶嵌，局部的岩层原貌仍依稀可辨，但却已明显遭受过扭曲或岩层间发生过揉合。另外，从团块的塑性变形及其长轴垂直于岩层分布等特征表明，是由于已呈弱固结或固结的灰岩，遭受了强烈风暴浪底部剪切作用的冲蚀和搅动，因此它亦应是强风暴浪作用的产物。

类型3（T_3）：丘状层发育的火山碎屑风暴岩 层序厚10—50cm，丘状交错层理极为典型（图版Ⅰ，2），剖面上见到多层该类型风暴岩的叠合，垂向上构成了风暴岩段。风暴沉积物粗，不含泥，结构松散且磨圆度极高。图版Ⅰ，3中可见，由于上覆风暴岩的兼并，造成下伏风暴岩仅残存底部"成熟的"滞留砾岩和不完整的平行层理段，这是由于近源风暴岩普遍存在"混合作用"，它表明较小能量的风暴产生的较薄的风暴岩常被较强的风暴浪再作用，导致下伏风暴物质并入到新的风暴岩之中，这个过程可以反复出现，直到最大一次风暴形成

一层再也不受任何风暴作用干扰的沉积物时为止。据此，该风暴岩也应呈近滨强风暴作用的产物。

类型 4 (T_4): 具洼状交错层的钙屑风暴岩　　层序厚约 25cm，粒序层的沉积物粗，少含灰泥，底部见不平整的冲蚀面。洼状交错层理（图版 I，4）与槽状交错层理的区别在于前者不如后者的交错层那么规则，一般仍将其归属于丘状层理，但其形成水深比丘状层稍浅或相当。

类型 5 (T_5): 层序完整的火山碎屑风暴岩　　层序厚 10—30cm，除粒序层为棱角状的细砾外，上覆层段火山碎屑物普遍很细，从底部不具冲蚀面，但交错层理段和纹层段都较平整的特征表明风暴浪对其影响较小，已趋于外陆架地区。

类型 6 (T_6): 纹层段发育的火山碎屑风暴岩　　层厚 15cm 左右，底界平整，下部为小型低角度的丘状层理，其上为较厚的平行纹层段，沉积物很细，表明风暴浪引起的海水扰动程度已经很弱，因而是外陆架较深水环境的产物。

类型 7 (T_7): 介壳层风暴岩　　层序约 20cm 厚，岩性为泥状介壳灰岩，底界平整，是由大量品种单一的薄壳体顺层排列组成，这种属种单一、壳薄的介壳生物一般生长于风暴浪基面以下的低能环境，这里已不适于大量生物的繁衍。风暴浪波及至此只是对海底泥质物进行扰动，促使海水浊度增加导致介壳生物窒息死亡，并随同细粒泥质物集中堆积在一起。从其保存完整、未被磨蚀的特点分析，介壳层应是准原地堆积的，因而这种风暴岩类型形成于风暴浪影响微弱的外陆架环境。

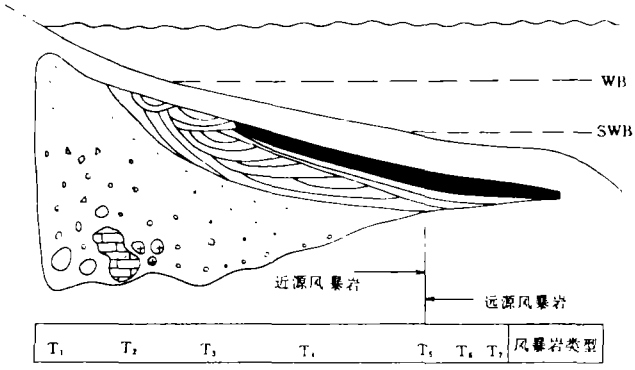


图 2　风暴岩类型的时、空变化与沉积环境关系

Fig.2　Space–time variations of the tempestite types with sedimentary environments

基于上述取得以下几点认识:

1.本区风暴岩主要属于火山碎屑风暴岩，表明海底喷发后的火山灰流是主要的物质来源。

2.层序发育完整的风暴岩在研究区极为少见，它和具完整鲍马层序的浊积岩一样，在地层记录中较难找到。因为影响风暴岩内部结构的因素很多，诸如海底地形的起伏状况、物源的性质、海水的深度、风暴作用的强弱等，而在诸多因素中后两者则是主要的。

3.由近滨带向陆架区过渡，海水逐渐加深，由风暴引起的波浪能量随着深度增加而减小，所以远离滨岸的风暴浪的影响相应减弱。风暴岩的地层记录可以将风暴浪流在空间上的这种变化反映出来。据层序结构特征可把风暴岩进一步划分为近源和远源型两种。近源风暴岩的层序一般较厚、粒度粗、基本不含泥，粒序层十分发育，主要分布在近滨带—内陆架区；与其结构特征相反的远源风暴岩主要分布于外陆架区。区内风暴岩类型在时空上的展布与沉积环境的关系以图 2 示之：

2 风暴岩赋存的背景沉积特征

博格达山的主体部分主要由石炭系组成，二叠系大致沿周边山麓地带分布。研究区内风暴岩的分布地区和层段，表示在图 3 内。

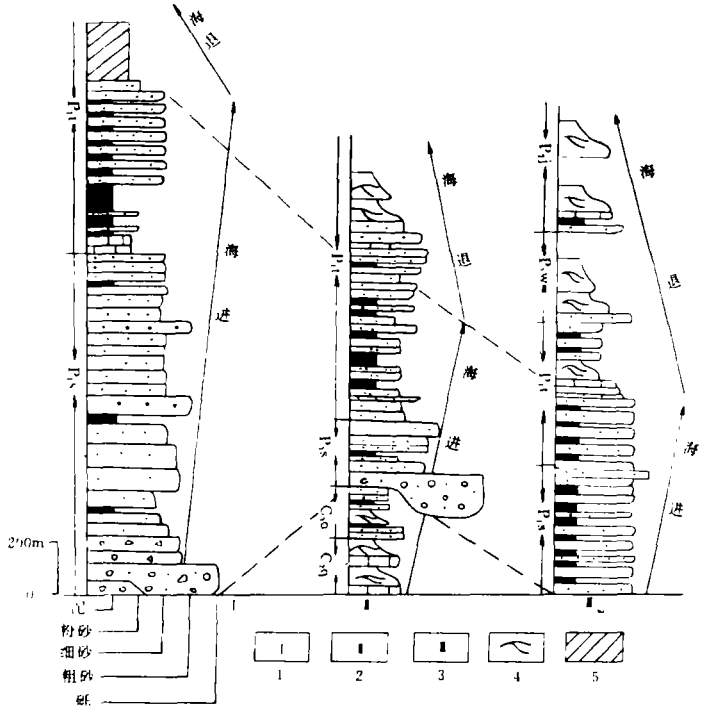


图 3 风暴岩的时空分布

Fig.3 Space–time distributions of the tempestites

1.三工河剖面 2.祁家沟剖面 3.锅底锅剖面 4.风暴岩层段 5.湘坪沉积序列

图 3 中可见，风暴岩集中分布在博山南坡，并且风暴岩分布的层段集中在石炭系和下二叠统中部以上的层段。值得注意的是，下二叠统中下部各剖面上都没有风暴岩出现。

2.1 石炭系背影沉积特征

乌市东南的祁家沟一带，中—上石炭统广泛出露，中石炭统的祁家沟组（C_2q）厚约 200m，以灰岩为主，夹砂、砾状火山碎屑岩。灰岩层内含极丰富的属种繁多的正常浅海生

物化石，即便在火山碎屑岩夹层内生物化石及其骨屑也不乏出现。灰岩以粒状灰岩为主，少含灰泥，被破碎、磨蚀的骨屑在灰岩内十分常见，并且火山碎屑岩具有极好的磨圆度，胶结物和填隙物为砂而无泥，这些特征表明其沉积区经常处于强水动力环境，因而是滨岸带-浅海陆架环境的特征，本组所发现的风暴岩无一例外的属于近源型。

上石炭统奥尔吐组（C_3O）厚约 200m，其沉积特征及环境分析结果表明属外陆架较弱的水动力环境（晋慧娟，1989）。该层段中所发现的风暴岩均属远源型。沉积特征及风暴岩类型在垂向上的变化都可以说明由中石炭统—上石炭统的沉积层序构成一个海进型沉积序列。但其水深范围并未超出陆架区，只是从滨岸—内陆架向外陆架过渡。

2.2　二叠系的背景沉积特征

区内二叠系的所有沉积剖面自下而上都一致表现为由半深海斜坡-陆架-滨岸-陆相逐渐变浅的海退型沉积序列。但是博山北坡和南坡二叠系的沉积相、相组合及其相模式却都截然不同。南北两侧有关下部深水层段已有另文论述（宋春晖，1989），本文仅就其上覆浅水层段进行讨论。

博山北坡浅水层段的下部为十余米的陆架沉积，其上 200m 厚的潮坪沉积具如下特征:

①全部由纹层发育的细粒沉积组成，②潮坪环境的典型标志——双向流形成的羽状交错层理大量出现（图版Ⅰ，5），并伴有该环境常见的透镜状（图版Ⅰ，6）、脉状、波状层理；③湘坪沉积中常见的复活面及泥盖也有发现。该套地层中缺少大型沉积构造、浪成波痕和广海型底栖动物群，表明形成于受障壁的低能湘汐环境，这里完全没有海浪（包括风暴浪）作用的痕迹也不曾见有风暴岩。该层序之上直至陆相层序之间，都未出现大量暴露沉积构造和典型陆相磨拉石堆积，表明海陆环境的更替是一个渐变的过程。

博山南坡的该层段则以另一种外貌而区别于前者。以祁家沟剖面为例特征是: ①沉积物普遍较粗，并具有较高的结构成熟度；②高能环境形成的大型沉积构造如平行层理、槽状层理和冲洗层理常见，后者由高结构成熟度和磨圆度的粗砂岩构成，它们多形成于前滨带；③层面上的浪成流痕和层侧面的浪成交错纹理频繁出现（图版Ⅰ，7），因水位经常变化形成的双脊（图版Ⅱ，7）、圆顶、削顶等浪成改造波痕也屡见不鲜；④高能浅滩环境形成的鲕粒灰岩夹于该层段的中部；⑤近源风暴岩频繁出现。这里缺少湘汐环境的一切标志。这些特征完全可以说明南侧为高能、浪控的沉积环境。该层段之上叠覆有多层大规模的干裂（图版Ⅰ，8）和磨拉石堆积。

大量背景沉积的资料表明，赋存于石炭系和二迭系中的风暴岩均形成于近滨-陆架环境。资料所限，石炭纪时博山北侧的风暴岩赋存状况还不甚清晰，但早二叠世末期之后的风暴岩仅分布于博山南侧已被大量资粒所证实。风暴岩的时空分布与博山晚古生代时的古地理格局有关。

3　风暴岩的古地理意义

3.1　石炭系风暴岩集中分布于博山西缘，表明区内海底地形西高东低，水深西浅东深

晚古生代博格达地区西缘出露最老的地层为下石炭统，是由巨厚的安山质、英安质火山岩系列夹含浅海化石的同质火山碎屑岩组成，古生物生态特征为正常浅海环境。中—上石炭统的浅海风暴岩叠覆于该套地层之上，是该区基本保持滨—浅海环境的佐证。但是研究区的

东侧锅底坑剖面的石炭系为一套形成于半深海斜坡带的复理石相。即西缘的风暴岩层序向东约百公里则相变为复理石相，表明沉积时的古海底地形为西高东低（图4）。

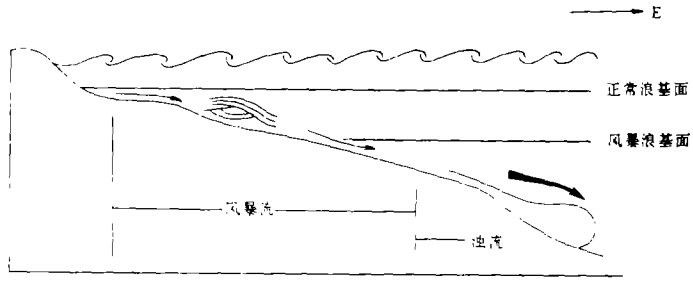


图4 博山南侧东西向海底地形与沉积作用

Fig.4 Sketch map showing the sea-floor landform striking E-W and sedimentation on the south side of Bogda Mountain

3.2 区内自早二叠世末期开始海退，海退方向由西向东。

图3中看出，西缘风暴岩分布的最高层位为下二叠统上部，但向东至锅底坑处，上二叠统井井子沟组仍见风暴岩叠覆出现，并以远源风暴岩为主，表明早二叠世末期当西缘已抬升为陆时，而以东地区仍位于正常浪基面以下的深水陆架区。自西向东风暴岩地层分布的迟后现象可以指示空间上的海退方向。

3.3 早二叠世博山南北两侧已具有独立的沉积体系，应分属于不同性质的沉积盆地

概括前节的实际资料，将博山南北两侧的沉积作用特征以表1示之。

表1 博山西缘南北两侧沉积作用演化对比

Table1 The comparations of sedimentary evolution between the south and north sides of Bogda Mountain

地区 / 地层	北侧	南侧
	三工河剖面	祁家沟剖面
P_2^1	河流砂、泥沉积海陆交互沉积，少见泥裂	巨厚的砾岩磨拉石堆积，海陆交互相，大量泥裂出现
P_1^2	不包括风暴岩的低能潮控沉积	含大量风暴岩的高能浪控沉积
	复理石沉积	浊积扇水道充填细粒沉积
P_1^1	碎屑流、高密度浊流	岩崩、滑塌堆积、碎屑流高密度浊流
C_3	地层出露不好，但与南侧大致具相似的沉积特征	包括远源风暴岩的外陆架沉积
C_2		包括近源风暴岩的内陆架沉积

由表内看出，博山南北两侧晚古生代的沉积演化趋势虽较为相似，但各层段间的沉积作

用特征却不尽相同，自二叠系之后更加剧了这种差异性。这从下二叠统中上部南北两侧的浅水沉积序列一方形成于低能潮控海的潮坪环境，一方为包括风暴浪参与作用的波浪控制的高能浅海—滨岸沉积得到证实。由此给予我们一个启示，如晚古生代时博格达地区统一于一个水体之中，那么应具有一致的古水动力环境，这种两侧水动力环境的明显差异可能说明该区以博格达的主体为界，南北已分属于两种不同性质的沉积盆地。

4 讨论

长期以来，博山的构造性质一直存在着大陆裂谷、裂陷槽和岛弧观点的分歧，本文从沉积学并侧重于风暴岩的研究对其构造属性提供了以下信息。

1.博格达地区晚古生代的风暴岩主要为大山碎屑风暴岩，物质来源为火山喷发的火山灰流，其次为火山物质经搬运再沉积的火山碎屑砂岩，缺少来自于稳定陆块的物质成分，这种沉积物组成与火山岛弧作为物源区相一致，表明风暴岩成分与火山喷发有着成因上的联系。

2.早二叠世开始，博格达地区加速了南北两侧的沉积差异性，从南北两侧具有两种截然不同的古水动力环境分析，它们不可能形成于统一的沉积水体，这为博格达属晚古生代岛弧提供了沉积学方面的依据，因为随着大洋板块由北向南的不断俯冲和火山物的叠加，岛弧不断上升，最终将本区南北两侧分割为不同类型的沉积盆地。两侧沉积作用的不同正是它们分别受控于不同性质的沉积盆地的结果。

野外工作中得到李菊英、方国庆同志的支持，在此一并致以谢意。

收稿日期：1991 年 7 月 9 日

参 考 文 献

〔1〕晋慧娟、李育慈，1989，博格达山西南麓晚古生代风暴岩—半深海块体搬运沉积物及其形成的构造背景，沉积学报增刊，7–20 页。

〔2〕宋春晖、晋慧娟，1989，博格达山北麓下二叠统石人子沟组碎屑流和高密度浊流沉积的类型及演化，沉积学报增刊，80–107 页

〔3〕中国科学院地学部、新疆石油管理局，1989，准噶尔盆地形成演化与油气形成，科学出版社，56–70页。

〔4〕Duke W. L.，1985，Hummocky Cross- stratification，Trppical Hurricanes and Intense wind Storms，Sedimentology，V.32，N.2，p.167–194.

〔5〕Bourgeois J.，1980，A Transgressive Shelf Sequence Exhibiting Hummocky stratification：The Cape sebastion Sandstone (upper cretaceous) Southwestern Oregen，J. Sed. Petrol.，V.5，N.3，p.681–702

〔6〕Prave A. R. and W. L. Duke.，1990，Small–Scale Hummocky Cross–Stratification in Turbidites：a Form of Antidune stratification，Sedimentology，V.37，N.3，p.531–539

〔7〕Jackson M. J.，Simpson and K. A. Eriksson，1990，Facies and sequence stratigraphic analysis in an intracratonic. thermal–relaxation basin：the Early Proterozoic Lower Quilarlar Formation and Ballara Quartite，Mount Isa Inlier，Australia，Sedimentology，V.37，N.6，p.1053–1078

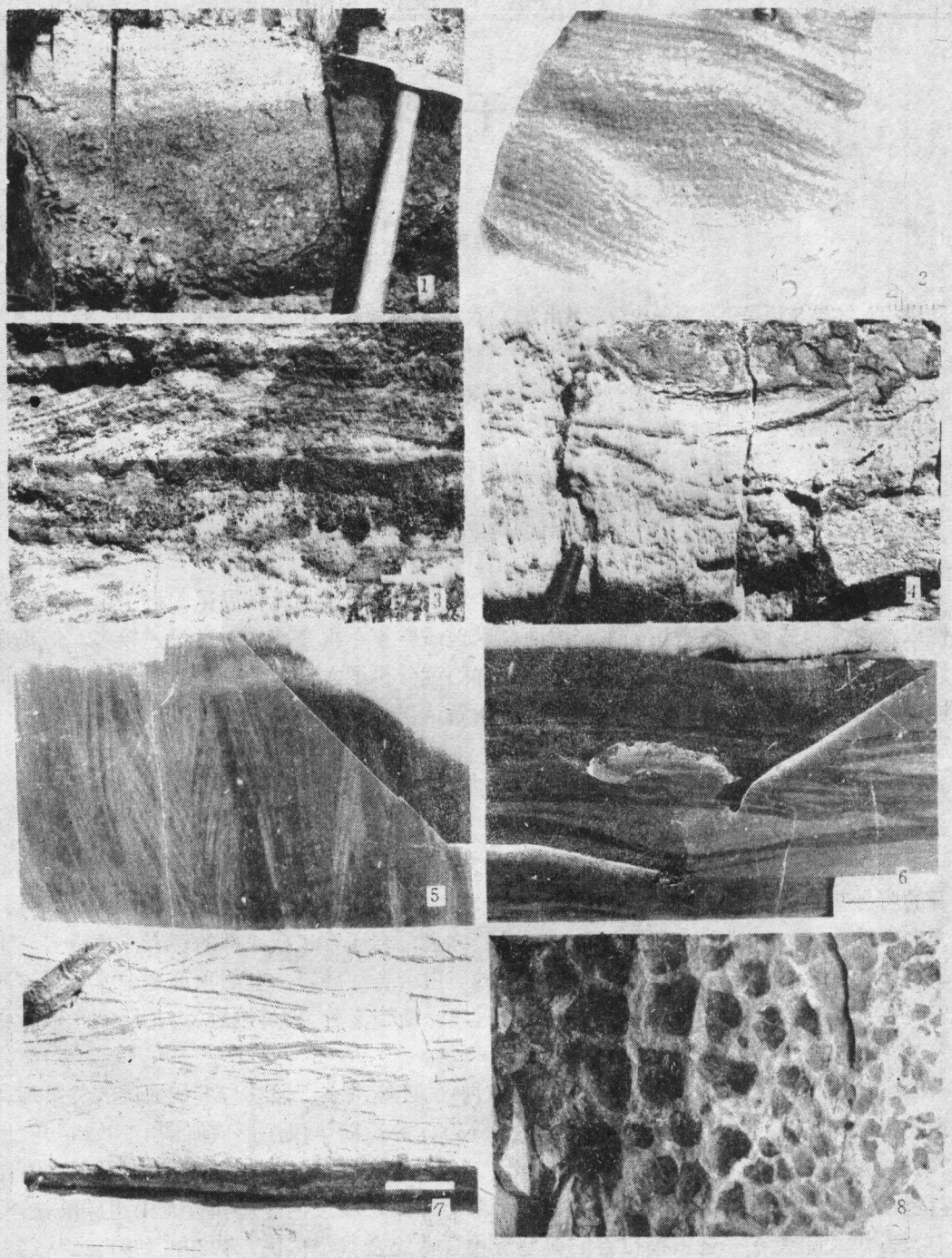
Late Paleozoic Tempestites and Their Palaeographical Significance in Bogda Mountain, Xinjiang

Li Yuci Jin Huijuan

(Lanzhou Institute of Geology, Chinese Academy of Sciences)

Bogda Mountain in Xinjiang is composed of Carboniferous and Permain, but mainly the former. Permain only distributes at the foot of the mountain. The lower to middle part of Lower Permain is deep water beds made up of turbidity flow and other gravity flow deposites, under or above which large amounts of volcanic clastic tempestites have been found. They can be divided into seven types and further attributed to proximal and distal tempestites.

Although Carboniferous and Permain systems of the south and north sides of Bogda Mountain have similar enviroment variations, i. e., from littoral zone and neritic shelf to bathyal slope, turning back to neritic shelf and littoral zone and then to continental enviroments, but the sedimentary features of of two sides, especially those of shallow water beds overlying deep water ones, are quite different. The north side consists of a sedimentary sequence developing dark fine—grained laminations, in which existed no large sedimentary textures occuring in tempestites and strong hydrodynamic environments, but those often found in a tidal flat, i. e., herringbone cross—beddings, lenticular beddings, vein beddings, wave beddings, which indcates that the beds were formed in a tidal flat that was obstacled and weaky hydrodynamic. In the similar beds on the south side frequently occurs not only proximal tempestites but also wave ripples, wave cross beddings, and reworked wave ripples formed in a wave—controlled environment, washing beddings, composed of coarse sandstones with high structure maturity, and oolite limestones further indicate that the environments were controlled by high—energy wave. As mentioned above, the palaeohydrodynamic environments of the two sides were quite different, so it is impossible for them to be formed in an united water body, which provides sedimentological evidences for Late Paleozoic Bogda islands arc. Because oceanic plate continuously subducted from north to south and volcanic products were formed, the two sides of Bogda Mountain finally were dissected into two different sedimentary basins with differend sedimentary characteristics.



1.粒序层发育的火山碎屑风暴岩 2.丘状交错层理，下二叠统中下部 3.丘状层发育的火山碎屑风暴岩，线段长 7cm，中石炭统下二叠统中下部 4.具洼状交错层的钙屑风暴岩，中石炭统 5.人字形交错层理，下二叠统上部，博山北侧 6.透镜状层理，下二叠统上部，北侧 7.浪成交错纹理，线段长 4cm，下二叠统上部，博山北侧 8.泥裂，上二叠统下部，南侧