

中国扬子地台西缘寒武纪风暴事件与 磷矿沉积

刘宝珺 许效松 罗安屏 康承林

(成都地质矿产研究所)

内容提要 中国扬子地台及邻区海域, 在早寒武世至中寒武世早期, 风暴活动频繁, 地理位置由西向东, 由南向北, 地层层序自下而上三个组段发现有风暴岩和风暴沉积物, 其中以下寒武统梅树村组的磷质风暴岩最典型。风暴活动冲击川滇岛陆及牛首山岛陆的内侧, 从而使两个岛陆间的海面下降, 造成外海海水填充并形成上升洋流。富磷海水随着上升洋流运移, 为磷质沉积提供来源。因此, 风暴和风暴流作用不仅形成和加速了上升洋流的循环和补给, 同时又是磷矿簸选富集的物理驱动力。风暴流向海的流动和上升洋流通过的方向, 沿着扬子地台西缘形成了我国重要的磷质富集带与工业磷矿分布区。

主题词 风暴事件与磷矿沉积 早寒武世早期 扬子地台西缘

第一作者简介 刘宝珺 男 56岁 教授 沉积学

一、前 言

风暴及风暴流沉积是现代和古代浅海沉积作用的一个重要因素, 代表在广阔的海域内瞬时和等时地质事件及事件沉积。随着对风暴流形成机理的认识和沉积作用的深入研究, 我国沉积学者近几年不断发现古代风暴岩及风暴流沉积作用, 在分析沉积环境和沉积成矿作用上, 打开了新的思路, 提出了许多新见解。叶连俊教授在“工业磷块岩物理富集成矿说”一文中也曾提及风暴作用的影响。本文以中国南方扬子地台西缘中下寒武统地层为主, 确认和发现了早寒武世风暴事件和磷质、钙质风暴岩, 进一步讨论风暴作用和富磷上升洋流与磷质富集成矿的关系。

早寒武世扬子地台处于中低纬度和热带信风区, 由于晚前寒武纪冰川和继后大规模海侵和上升洋流影响, 所以成为我国重要的聚磷期, 特别是扬子地台西部下寒武统梅树村组中谊村段(麦地坪段), 为重要的成磷带和含磷层位。该段的底部和含磷地层内发现有各种规模的水下沉积间断面、多层磷质风暴岩及与风暴作用有关的沉积物, 有具斜坡特征的滑塌铺卷状包卷层理, 抵柱构造等。斜坡的存在为上升洋流富磷海水循环提供了先决条件, 风暴作用既是驱动上升洋流循环的重要动力, 又是磷质簸选、改造、再沉积的重要营力。

二、风暴事件与风暴作用范围

风暴引起的巨大灾变即风暴事件，周期性的灾变事件对沉积物的影响比长期缓慢的沉积作用影响更大，因此引起越来越多的地质学者的关注。风暴可由海洋飓风、中纬度冬季风暴及津浪引起。尽管风暴事件大约间隔几千年可出现一次，但风暴形成的风暴岩能保存在地质记录中的还是少数。中国扬子地台寒武系的沉积层序中，保存下来并已发现的风暴岩有三个层位：1. 下寒武统梅树村组（云南昆阳一带磷矿层）；2. 中寒武统熬溪组（贵州万山薄板状灰岩）；3. 中寒武统陡坡寺组（四川乐山范店薄层粉砂质泥岩）（图1）。风暴作用的范围也十分广泛，东自贵州万山织金，向西到四川马边、乐山和云南寻甸—澄江—晋宁—昆阳等地。以风暴作用时限的长短、规模大小、作用强弱和剖面层序而论，各地不尽相同，其中以云南东部最为典型（图2）。

三、风暴事件地质背景及古地理格局

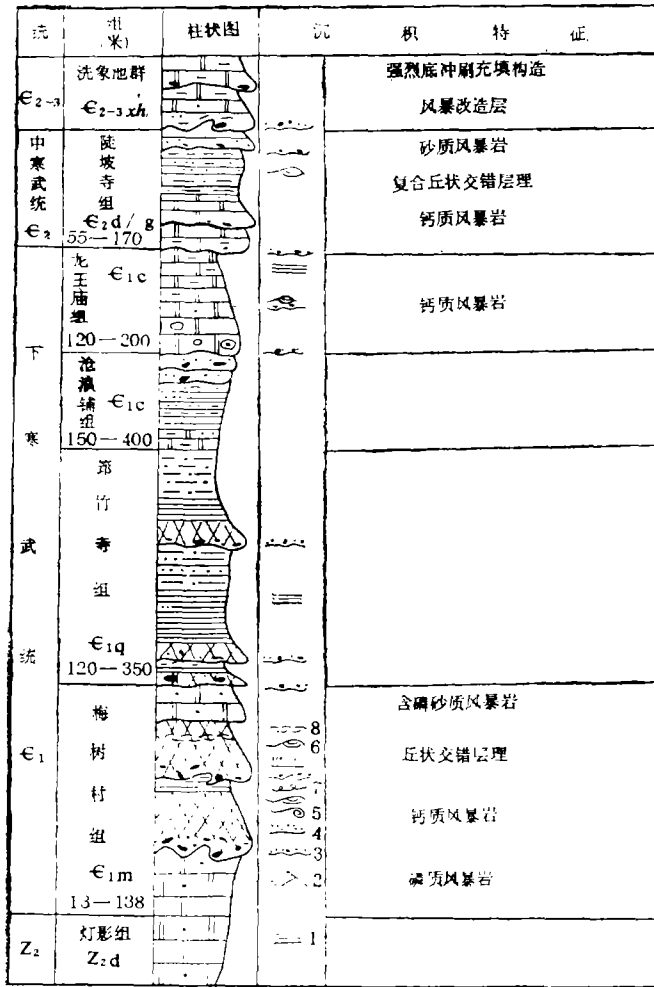
1. 地质背景及古地理格局

扬子地台西缘末前寒武纪时，东南为牛首山岛陆，西是川滇岛陆，中间为川滇拗陷滇东地区位于拗陷的南端。隆起与拗陷被四条南北向的古张性大断裂所切割，自西向东依次是：（1）绿汁江—龙川断裂，（2）罗茨—易门断裂，（3）普渡河—星云湖断裂，（4）小江断裂。古断裂的活动期次使沉积基底形成向东倾斜的梯状盆地。因此，末前寒武系、寒武系不仅地层和岩相呈南北向展布和东西向的相变，而且含磷岩系的岩相也呈东西向变化。

末前寒武纪早期的沉积物是以河流相为主的碎屑岩，晚期的初始阶段沉积了冰碛物和滨海砂岩，最后为含陆源碎屑的开阔碳酸盐台地沉积。在末前寒武系顶部白岩峭段与下寒武统底部小歪头山段都是砂质白云岩，为穿时的岩石地层组合，但沉积构造由下而上有明显的变化，由平行层理、低角度交错层理，向上到高角度双向和多向交错层理（图版I，3）。代表水动力由弱到强、向上变浅的台地边缘沉积，在地形上构成斜坡。其后迅速海侵，使滇东地区由台地变为广海性的陆缘浅海海湾，东面及南面与广海相通为上升洋流的循环、磷质凝聚和改造富集成矿提供了活动和堆积空间。

2. 磷矿层底部沉积间断与风暴事件

末前寒武系（震旦系）和寒武系，长期以来被认为是连续沉积，以云南晋宁梅树村震旦系—寒武系界线层型剖面的A点作为两地层时代的界线，其间没有明显的标志证明曾发生过地质构造运动或突出的间断，但从沉积演化和相序来看，在此界线的上下为两种不同的沉积相环境和水动力机制。下寒武统小歪头山段，砂质白云岩与末前寒武系顶部白岩峭段的砂质白云岩为穿时岩石地层单元。在此砂质白云岩的顶面是个不平整的起伏面，具有波状、箱状和沟状的渠模构造和掏蚀现象，有的呈喀斯特状（图版I，1）横向变为桌状、小平台状，高差和长、宽0.5—1.0米不等，与磷矿呈“假整合”接触，在广大区域内非常稳定。有的地段磷矿盖在具多向交错层理的层系面上（图版I，3）



- 1. 平行层理 Parallel lamination
- 2. 高角度交错层理 high angle cross bedding
- 3. 冲刷充填构造和渠模 scour filling structures and gutter casts
- 4. 粒序层 graded
- 5. 包卷层理 convolute bedding
- 6. 丘状交错层理 hummocky
- 7. 虫迹 trace fossils
- 8. 介壳层 shell bed

图1 中国南方寒武纪风暴岩层序和位置

Fig.1 Cambrian sequence and location of tempestite in South China

与砂质白云岩成一种层理上的“角度不整合”现象。这些特征说明磷矿沉积之前，小歪头山段的砂质白云岩受到剥蚀、改造，一方面把原始的沉积界面变成一个不平整起伏面，并为盆地沉积提供了大量的碎屑物。至于改造营力，笔者认为可排除陆上暴露剥蚀的可能性，因为在喀斯特面上找不到任何古风化壳的粘土残余物，区域上在末前寒武纪和寒武纪之间也没有地壳构造运动的迹象。所以应是水下暴露。然而，根据现有资料分析，波浪、潮汐流和其它单向水流都不可能改造如此大规模基底形态的能量，只有风暴浪产生的涡流和强大的底流才具有掏蚀、冲刷、簸选和搬运的能量。这个界面上的水下沉积间断应是风暴事件造成的。

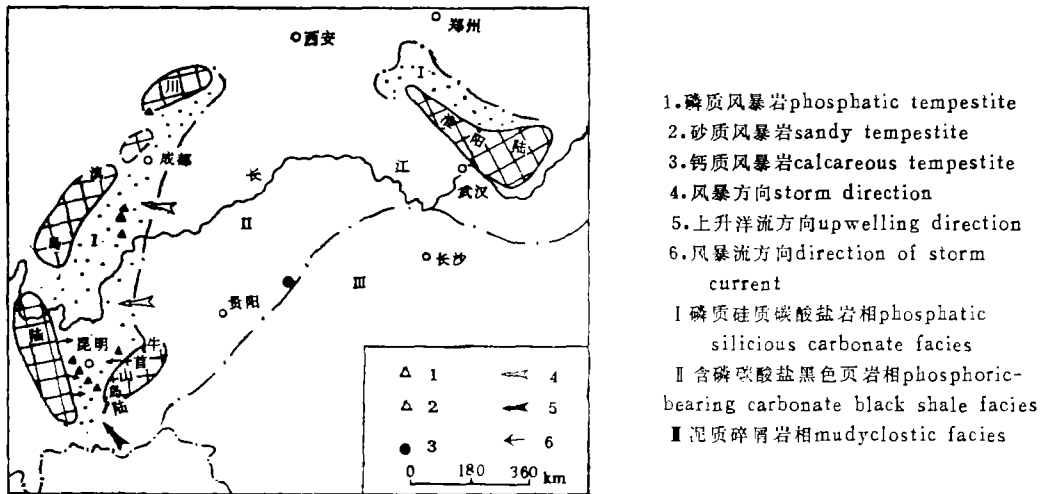


图2 中国南方扬子地台寒武纪风暴岩分布及沉积相略图

Fig.2 Tempestite distribution and sedimentary facies of Cambrian in the Yangtze platform, South China

四、磷质风暴岩特征

一次风暴事件，可分成风暴期前、风暴增长期、风暴高峰期、风暴衰减期和风暴后五个阶段。以风暴为驱动力的风暴浪及涡流性质的底流，卷起海底沉积物，形成向海方向的密度流，冲击、改造原地和异地沉积物，因而具有搬运、簸选和悬浮颗粒的作用。其沉积物特征，记录了风暴流在风暴事件各阶段的演化发展过程及其标志。

1. 突变的底界和冲刷充填构造

在风暴增长期和风暴高峰期，强的风暴浪形成的涡流和无定向的底流，对风暴期前沉积物表面进行冲刷、掏蚀而形成多向性的底面印模。梅树村组和相当层位的含磷岩系与基底白云岩的接触界面都见有渠模，其形态呈微波状、波状和箱状(图版 I, 2, 5) (图 3)，或呈“喀斯特”状(图版 I, 1)。在冲刷底面上有滞留砾堆积，砾石成分以盆内屑为主，有白云岩、磷块岩、小壳动物化石残体及少量岩屑。砾径大小和砾石含量与冲蚀作用强度相关，如昆阳一带，底冲刷掏蚀作用较强，底面波状起伏大，滞留砾砾径大，一般 1—2 厘米，含量高，通常 30% 以上，最高可达 70—80%，呈似层状铺砌在冲刷面上(图版 I, 4)。其它地区滞留砾的大小和含量都次之。

2. 粒序性

风暴高峰后的衰减过程，随着涡流支撑力的减弱，具粘性的密度流体按重力分选法则迅速沉降堆积并形成粒序层。剖面中常见正粒序为主，代表重力大于剪切力。按颗粒成分和粒序性的不同结构分为四种：一是磷质颗粒组成的粒序，以砂屑、团粒和假鲕状磷块岩为主，磷酸盐化小壳化石残体、介壳和少量白云岩砂砾屑等混杂堆积，随机分布；二是似条带状的磷质粒序，颗粒呈条带状悬浮于基质中，有的条带中心颗粒粗大、密集，

向上向下渐细、渐疏(图版 I, 8); 三是韵律性粒序, 由粒序性磷块岩条带与粒序性白云岩条带交替组成粒序韵律互层(图版 I, 6); 四是由细粒胶磷矿和白云岩粒屑组成的显微粒序。这四种不同结构的粒序性, 以前两种为主, 分布在昆阳磷矿下磷矿层和鸣矣河上磷矿层中, 代表该地当时风暴浪作用较强, 是靠近风暴活动中心的沉积物。

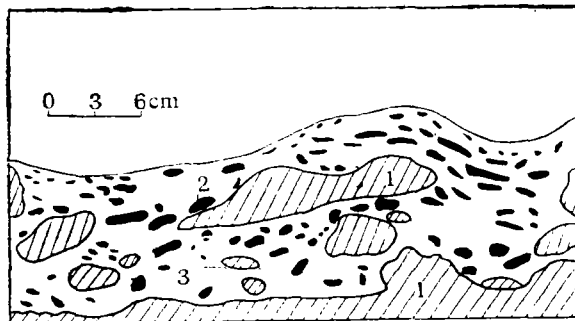
3、组成风暴岩的岩石颗粒, 磷质、灰质等基质呈杂基支撑结构, 为密度流快速堆积的结果, 形成泥粒岩和粒泥岩(图版 I, 5)

颗粒含量约30—50%, 成熟度低。除含岩屑外, 还有小壳化石残体、软舌螺、单板类、管壳类、球形类、腕足类等。有的壳体较完整(以单壳为主), 随机分布; 也有碎片, 代表几经搬运、改造、再堆积作用的产物。

4、丘状交错层理

丘状交错层理是浅海中风暴事件后期形成的最重要的沉积构造, 由飓风下面的巨大表面重力波, 在近底部产生强大的摆动和多向底流塑造底部床沙而成。丘状交错层理在下寒武统分布广泛, 以磷质或硅质粒泥岩、含磷白云岩为主, 含少量的陆缘石英砂。按丘状层理的形态及结构组合特征可分成三种类型:

(1) 简单式 为单个丘状交错层理, 层系厚5—10厘米, 丘高1—2厘米, 丘距20—30厘米, 多分布于含磷岩系的上部, 组成风暴岩剖面的上部层序。丘状交错层理的下部, 一般具块状粒序层, 纵向上由平行层纹上凸发散呈圆丘状, 平面上呈多向性的波状起伏(图4)。



- 1、砂质白云岩 sandy dolomite
- 2、硅质磷岩块 silicious phosphrite
- 3、钙质磷块岩 calcareous phosphrite

图3 风暴岩底面冲刷充填构造、
滞留砾及粒序层

Fig. 3 Scour filling structures, lag and graded bedding on bottom of the phosphatic tempestitute

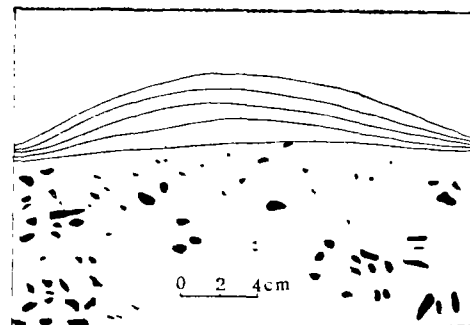


图4 磷质风暴岩中的粒序层和丘状
交错层理

Fig 4. Graded bedding and hummocky in the phosphatic tempestitute

(2) 叠加式 多个丘状交错层理的重叠, 组成等曲率波状起伏的层系组, 厚数十厘米至1米不等, 丘距数十厘米至2米, 多出现在含磷岩系的中部和富磷矿层的下部。

(3) 复合式 亦为多个丘状交错层理的重叠，形态特征与叠加式相似，但每个层系之间相互有冲刷和截切现象。底冲刷作用强于叠加式，层系间有滞留砾，显粒序性，具低密度流性质，多出现在含磷岩系中部。

5、生物遗迹与晴天期沉积物

梅树村组含磷层中有粉屑级磷质粒泥岩、含磷粉屑、砂屑白云岩和薄层硅质含磷粘土层，代表风暴期后的正常沉积和悬浮沉积物，具水平层纹，下部与丘状交错层理、沙纹层过渡，也有的直接覆于粒序层之上。该层顶部有丰富的生物活动遗迹，按其生态环境和产状分成两类：(1) 浅水低能环境的爬行迹，如二分沟迹 (*didymaulichnus*, *Jia*) (图版 I, 7)。在含磷岩系的底部和风暴岩层序的顶部，硅质粘土层泥皮表面上，二分沟迹纵横交错密集排列，丰度很高，与布满黑色、蓝灰色硅质磷块岩砾的硬底共生 (图版 I, 4)，代表较长时间的水下沉积间断。(2) 较深水低能环境的爬行迹和觅食迹，产于含磷岩系的中上部砂屑磷质粒泥岩的层面上，如凹槽迹 (*Caraulichus*) 线形迹 (*Gordia*)，和旋叶迹 (*Spirophyucus*) 等，也与硬底共生，都是水下沉积间断和流态性质改变的标志。

五、含磷风暴岩的层序和剖面类型

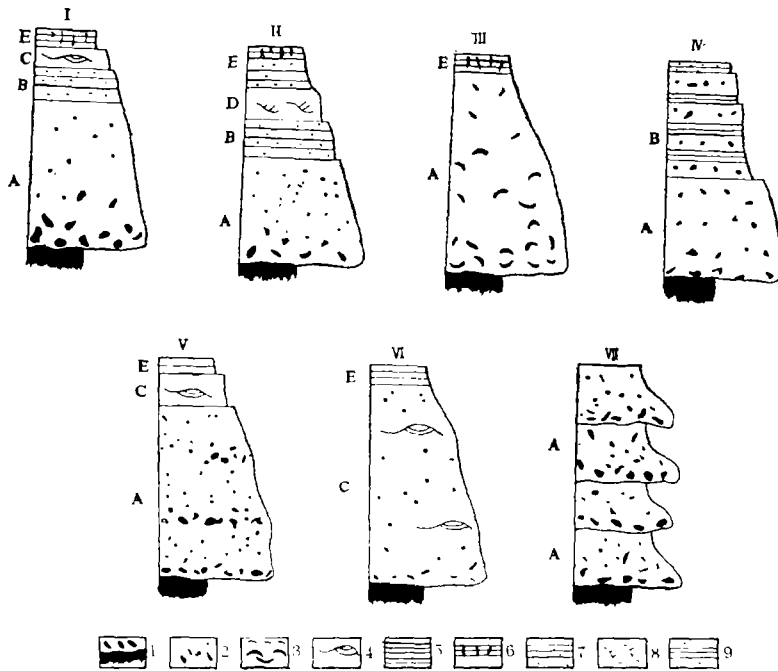
完整的风暴岩层序保存了风暴事件各阶段的沉积物和沉积特征。风暴岩剖面层序应以风暴事件演化和水动力条件作为判断原则，T. Aigner (1982) 研究钙质风暴岩后，将剖面分为侵蚀接触、粒序段、平行层理段、砂纹段和泥岩段等五个段，刘宝珺等 (1986) 研究四川下二叠统碳酸盐风暴岩剖面时，共划分了七个段。前述的各种风暴岩构造分别代表了风暴各阶段的特征和标志。按磷质风暴岩发展规律，完整的磷质风暴岩剖面层序有：A. 块状粒序段，B. 平行层理段，C. 丘状交错层段，D. 砂纹段，E. 具水平纹层的泥岩段。其中 A 段代表风暴高峰期和衰减期的沉积作用，底面有突变的底界及特殊的沉积构造。B、C 段为风暴衰减期的风暴浪和高流态产物。风暴作用继续减弱，则形成正常的浪成砂纹层 D，最后风暴停息，悬浮物质缓慢沉淀，形成具水平纹层的泥质层，提供了适合于生物活动的条件。

风暴沉积物各段组合和沉积物特征，取决于多种因素：风暴强度、风暴持续时间、活动中心及迁移穿越的路线、风暴沉积物沉积时所在的古地理位置等。而风暴岩层序的完整性和保存程度，除上述诸因素外，尚有诸如后期风暴流对前期风暴沉积物的改造或叠加，潮汐流和波浪作用以及其它海流对早期沉积物的侵蚀、冲击和搬运，生物活动对原生沉积构造的破坏等。云南下寒武统梅树村组含磷层中磷质风暴岩，可归纳为完整型、准完整型和复合型三种类型，七种剖面结构 (图 5)。分述如下：

完整型风暴岩剖面

第 I 种剖面 标志以一次风暴事件为主所形成和保存的风暴流沉积物，具有 A、B、C、E 四个段的完整层序 (图 5-1)。此类以昆阳至海口的剖面为代表，分布稳定，产于含磷岩系底部。风暴岩层序厚 14—30 厘米，横向上可变为复合风暴岩剖面，上部往往被后一期风暴岩所截切。该类型剖面的主要特征是底面构造发育，具袋模和渠

模。掏蚀、冲刷底面深度达1—3厘米。粒序层厚度较大，与其上覆段厚度关系为4:1，表明风暴强度大，持续时间长，为近积风暴岩。颗粒成分以黑色硅质磷块岩为主，次有白云岩和小壳化石残体等，杂基支撑结构，砾径均在3厘米以下，随机分布，略显正粒序。平行层段之上有简单式丘状交错层理，顶部E段较薄，俗称泥皮，生物遗迹非常发育。



- | | |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>1、冲刷底面和滞留砾
scour bottom and lag</p> <p>3、介壳层
shell bed</p> <p>5、泥质层（水平纹层）
mud bed (horizontal lamination)</p> <p>7、平行层
Parallel lamination</p> <p>9、条带状韵律层
banded rhythmic bed</p> | <p>2、块状层（粒序层）
massive bed (graded bed)</p> <p>4、丘状交错层理
hummocky cross stratification</p> <p>6、生物遗迹
trace fossils</p> <p>8、砂纹层
ripple bed</p> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

图5 下寒武统磷质风暴岩剖面结构类型

Fig. 5 Types of phosphatic tempestite sequence in the lower Cambrian

准完整型风暴岩剖面

第Ⅰ种剖面 由A、B、D、E四个层段组成。风暴岩层厚5—24厘米，最厚达1.5米，剖面结构与第Ⅰ种相似，但丘状交错层理不发育，砂纹层理代之，粒序段相对较薄，其上覆的砂纹层和泥质层相对变厚。较之第Ⅰ种剖面更趋外海部位（图5-Ⅱ）。

第Ⅱ种剖面 为介壳风暴岩剖面型，由A、E两个层段组成。底面具微波状构

造，剖面主体为粒序层，仅顶部有硅泥质薄层，层面有爬行迹。该类剖面多出现在含磷岩系的中上部，昆阳、江川等地较发育，每个段厚3—5厘米，层序厚约30厘米。块状段A微显粒序性，颗粒几乎全由生物介壳组成，有软舌螺、单板类、腕足及多门类的小壳化石残体，壳径1—2毫米，完整、破碎均有，壳面方向各异（图5-Ⅲ）。

上述两类剖面具有明显的风暴期和风暴停息期的沉积特征，但风暴沉积期的某个过程不发育，风暴停息期的表现很明显。

复合型风暴岩剖面

第Ⅳ种剖面 由A、B两段组成，单个层系厚5—60厘米不等。底面呈波状及口袋状，其上含撕裂屑，如海口磷矿层底部最为明显（图3）。粒序段A中，多为磷质角砾岩或砾岩，砾径2—6厘米，个别可达15厘米。除磷块岩砾外，还有白云岩砾，具杂基支撑结构，正粒序。平行层理段B，由黑色磷质泥粒岩，灰—灰白色含磷白云岩、砂质白云岩组成黑白条带状构造（图5-Ⅳ）。

第Ⅴ种剖面 由A、C、E三段组成。粒序层A段厚度大，1至数米，为磷质泥粒岩和粒泥岩交互层（图版I，8）。砾石约占30—50%，砾石排列方式和成分有两种：一种是蓝灰色磷块岩砾，是邻近地区或介质条件不同的磷矿经破坏、搬运、再堆积产物，与杂基中的黑灰色磷质粒泥岩碎屑不同。另一种为盆内磷块岩砾，呈正粒序性重复叠加，无侵蚀界面，叠加层上部有简单式丘状交错层理和平行层理段（图5-Ⅴ）。该类剖面发育于昆阳上磷矿层上部。

第Ⅵ种剖面 由C、E两个层段组成，以丘状交错层理为特征（图5-Ⅵ）。宏观上为叠加式，其上泥质段E呈薄片沿层面分布，为风暴停息期较宁静条件下的悬浮沉积物。晋宁王家湾、宜良大滴水剖面，磷矿层中上部见此类型，表现为侵蚀力不强的近积风暴岩远端沉积作用。

第Ⅶ种剖面 由单一A段重复叠加组成。以鸣矣河上磷矿层为例，具明显的波状底面和充刷充填构造，粒序层A段多个重复叠加（图5-Ⅶ）。单个粒序层一般厚5—10厘米，最薄1厘米，正粒序。有三种不同组合的粒序层：（1）灰白色泥粒、粒泥白云岩粒序层，砾石细小，多小于0.5厘米。（2）泥粒白云质磷块岩粒序层，其中的滞留砾和砾屑为黑色磷块岩，来自下伏磷矿层或近距离搬运。由于磷块岩比重大于白云岩，重力沉积作用强，造成该剖面层序底冲刷界面明显。（3）黑灰色磷质泥粒岩或粒泥岩粒序层。这三种粒序层在纵向上呈间互层，而白云岩粒序层的厚度小于后两种。横向上按白云岩—含磷质砾屑白云岩—磷质泥粒岩的顺序呈过渡变化。很少发现有明显显示晴天期沉积物或风暴衰减后形成的砂纹及波浪作用的特征，也无残留层段，而由颜色深浅不同组成的条带却很明显，所以人们常把它当作潮汐层理。

第Ⅳ、Ⅴ、Ⅵ、Ⅶ种剖面为复合型风暴岩剖面，为多次风暴叠加、复合所形成的风暴沉积物，剖面层序不完整，通常都缺失上部和顶部风暴衰减和停息后的晴天期沉积物，或者是下部的粒序段复杂多变。它明显的表明风暴高峰期沉积作用强，或是在风暴期的某个阶段持续时间长。剖面多处于风暴活动中心的偏陆一侧，风暴流密度高，涡流和底流作用力强，相当于近滨带环境。

六、关于成磷环境与模式

扬子地台西缘,特别是滇东下寒武统中的含磷岩系,曾经有许多地质学者研究过。讨论的中心涉及到磷质来源、沉积环境等问题。磷质来源是研究矿床成因的核心问题,目前提出的有上升洋流成磷、陆源汲取成矿、生物聚磷成矿、火山喷发成矿及交代成矿等学说。根据对滇东地区磷矿床诸特征所做的分析,作者认为滇东早寒武世磷矿的磷质主要来源于富磷上升洋流,经沉积、风暴改造、富集而形成诸多大型矿床。在区域各剖面中,曾见有介壳层,但厚度太小,尚不能构成主要供磷来源。虽然狭长盆地的西北部,含磷层中陆源物质有所增加(并伴有陆源钾质),但从整体看来,陆源对磷的供给不起重要作用。

早寒武世,研究区为风暴的多发地区,也是风暴活动的中心区。风暴对磷质的沉积作用可能影响有二:其一,引起富磷上升洋流沿斜坡向本区移动;其二,对早先沉积的磷质进行冲刷、改造和再沉积,使之富集。而早寒武世本区的古地理环境则为上升洋流的运动和风暴浪对沉积物的改造提供了地理景观条件。

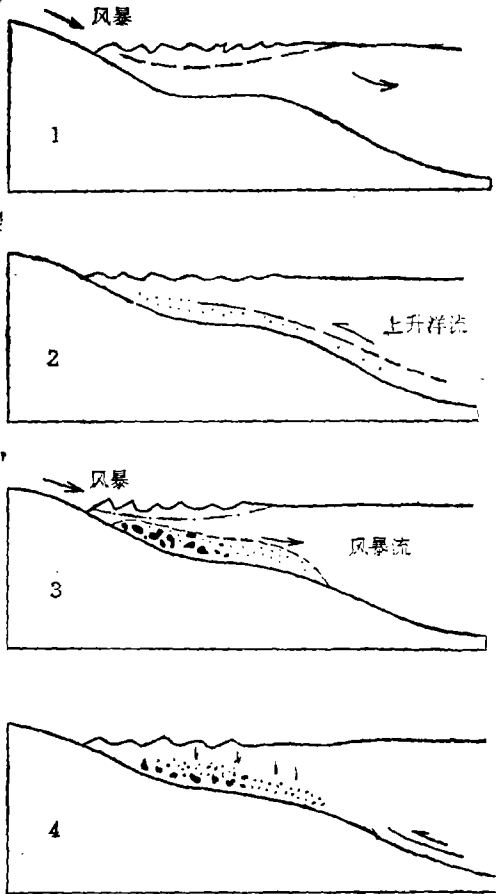
1. 滇东早寒武世沉积域,位于扬子地台西南隅,川滇拗陷的南端,东西侧有牛首山岛陆和川滇岛陆夹持,构成一南北向延伸的半封闭狭长海湾盆地(图2)。盆地西缘海底地形为一向东倾斜的斜坡,东南方有海水入侵通道,盆内斜坡的存在为上升洋流的上涌提供了地形条件。当风暴发生时,飓风作用于近海面,使这一部分海域的海面降低,风的强度减弱时,海面恢复原状需要海水补偿,造成东南方向的外海海水经峡道不断流入进行补充,补充的海水沿斜坡上涌而形成富磷上升洋流,给本区源源不断地带入磷质。

2. 早寒武世研究区为风暴的多发地区,也是风暴活动的中心区,据不完全统计,仅昆阳含磷层系剖面,就有20多层见有风暴作用形成的侵蚀、冲刷和沉积构造。横向上风暴活动与风暴的影响范围,与滇东磷矿层的分布范围大体一致,东起宜良大滴水,西止安宁白登,南起江川清水沟,北至寻甸,都是风暴岩分布的地区。风暴活动的中心在昆阳梅树村及其以西的海口、鸣矣河一带,含磷层表现为近积的风暴岩类型。

3. 磷质由上升洋流带入近岸地带后,以胶体形式沉聚形成胶磷矿薄层沉积物,在风暴作用下,磷质沉积又被风暴浪或风暴流冲蚀、搅起、搬运、再沉积而形成风暴岩,冲蚀而成的磷质颗粒为盆屑性质,可能处于高能带的原因使大量胶磷矿细碎屑被风暴浪搬运到远岸地区而富集起来,如剖面中多次出现的富胶磷矿薄层。条带状磷块岩的沉积作用集中在风暴的衰减阶段到晴天条件。表明风暴事件所引起的上升洋流的脉动性质。一次洋流带入磷质沉积之后,海水中磷的浓度则降低,而碳酸盐沉积作用增强。当风暴作用强烈时,磷质沉积物与碳酸盐沉积物均被搅起、相互混合,在近岸地区则形成粗粒的近积含磷低的风暴岩。

4. 含磷层内曾经发现过古细菌,而且在磷质的角砾中也有发现,不过角砾与杂基支撑物中的细菌种属不同。有人提出磷的富集与生物化学作用有关。但据最新资料,尚不足以说明生物化学作用在聚磷过程究竟起多大作用。因之本文仅从动力学角度来讨论

磷质聚集的机理问题，特别着重讨论风暴作用与作为磷质来源的上升洋流、古地形以及磷质沉积富集的关系。



- 1、在风暴作用下近海海面降低
- 2、风力减弱时，海面恢复正常海水补偿引起富磷上升洋流沿斜坡上涌随之沉积磷矿
- 3、再次风暴作用先沉积的磷质被搅起、搬运，并形成盆内碎屑
- 4、风力减弱时混有碳酸盐的磷质和碎屑再沉积形成风暴岩

图6 由风暴引起的富磷上升洋流和磷质的沉积富集作用示意图

Fig. 6 phosphorous-rich upwelling current by storm and the sedimentation-enrichment of phosphatic diagenesis

5. 后生变化对磷矿的影响也是不可忽视的。区内磷矿层中普遍含钙质，且埋藏浅多出露地表，经大气风化淋滤和钙质流失后，矿石中 P_2O_5 含量一般可提高5—8%，由贫矿转为富矿。如安宁白登、晋宁王家湾等，深部源岩 P_2O_5 仅20—24%，而地表含量可达28%以上。各种磷矿石以条带状、薄层板状磷块岩的后生富集作用最明显，除地形上处于高地，裸露山顶的矿层易淋失外，矿石性脆、节理发育、钙质颗粒细小均匀也是重要因素。

参考文献

- [1] 叶连俊等，1986，，沉积学报，4卷3期，1—21页。
- [2] 孟祥化等，1986，沉积学报，4卷2期，1—18页。
- [3] 刘宝珺等，1986，地质学报，60卷1期，55—67页。
- [4] 罗惠麟等，1984，中国云南晋宁梅树村震旦系—寒武系界线层型剖面，云南人民出版社。
- [5] 殷继成等，1980，四川峨眉—甘洛地区震旦纪地层古生物及沉积环境，四川人民出版社。
- [6] Allen, J.R.L. 1982, Sedimentary structures their character and physical basis (Volume 1), Elsevier Scientific Publishing Company.
- [7] Dake, W.L. 1985, sedimentology, V.32, p.167—194.

STORM EVENTS AND PHOSPHATE DEPOSITION IN CAMBRIAN ON THE WESTERN MARGIN OF THE YANGTZE PLATFORM, CHINA

Liu Baojun Xu Xiaosong Luo Anping Kang Chenglin

(Chengdu Institute of Geology and Mineral Resources,
Chengdu, Sichuan)

Abstract

During the early Cambrian to the early epoch of the middle Cambrian, the storm event took place on the Yangtze platform of China and its adjacent areas. The tempestites as well as storm sedimentation in three formations from below to upward which are distributed from west to east and from south to north across this region have been found, among which the phosphatic tempestites in the Meishucun Formation in lower Cambrian are the most typical.

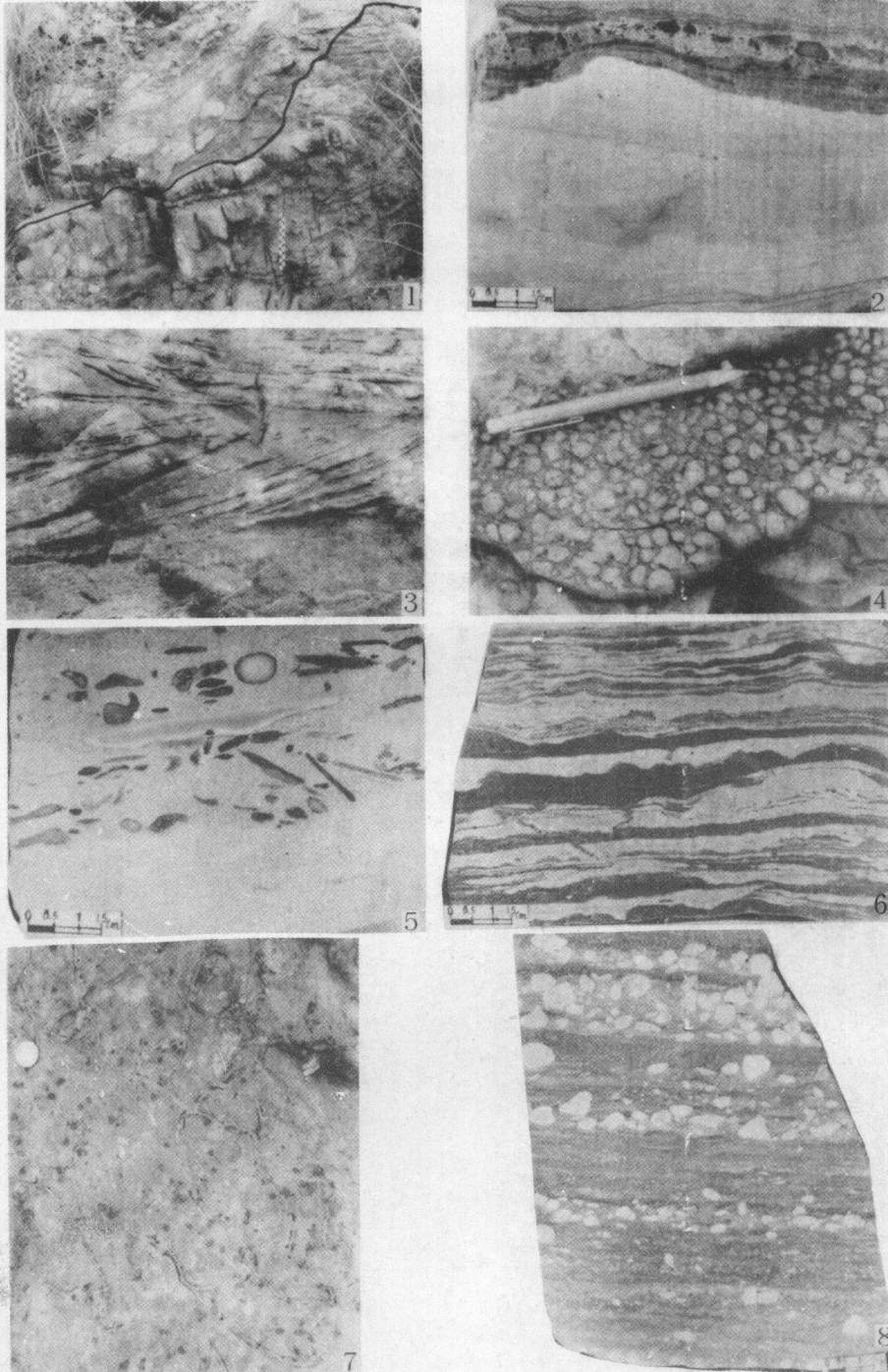
The typical phosphatic tempestite consists of packstone and wackestone which have a lot of depositional-structural characteristics of differently evolutionary stages of storm: 1, sharp basal boundary and basal surface structures, i. e. waved gutter cast, pocket structure, reworked hardground and lag gravel. 2, graded bed consisting of phosphatic, dolostone, and remains of small shell fossils. 3, ripple cross lamination. 4, including three kinds of hummocky cross stratification: single type, overlap and amalgamated types. 5, parallel lamination with trace fossils on the top surface which was formed in post-storm stage, i. e. *didymaulichnus*, *Jia*, *Caraulichnus*, *Gordia* and *Spirophycus*.

Three phosphatic tempestite sequences are divided by the strength of the wind-induced, storm duration and the path of storm travelling: 1, completed type. 2, quasi-completed type. 3, amalgamated type. The analysis of the phosphatic tempestite sequences show that the activity of storm impacted the Chuandian old island and the inside of the Nioushoushan old island, it seemed to be descent of the sea level between the two old islands. the sea water supplied from the outsea with the result and the upwelling current could be formed. The phosphorous-rich water moved with the upwelling current and provided the material source for the phosphatic deposits.

The precipitated phosphatic were reworked and transported by the storm surge

and storm current, which removed to the areas of Kunyang and Haikou where the low grade proximal phosphatic tempestite were formed. along the outside of that areas the high grade distal phosphatic tempestite were precipitated. therefore, storm and storm current not only played an important role in the formation and acceleration of the circulation as well as supply upwelling current but the driving forces phosphatic winnowing and enrichment precipitating. The important phosphatic enrichment zones and the region of commerical phosphate deposits of our country were formed in the path of the storm current and upwelling current along the western margin of the Yangtze platform.

STORM EVENTS PHOSPHATE CAMBRIAN YANGTZE



1. 磷矿层底部与小歪头山段砂质白云岩之间, 具桌状, “喀斯特”状接触形态, 是强风暴浪冲刷、掏蚀的结果
 2. 磷矿层 (深色) 与砂质白云岩 (浅色) 之间突变的底界及箱状袋模构造, 代表风暴高峰期的掏蚀作用
 3. 磷矿层盖在具多向交错层理的砂质白云岩上, 呈层理上的“角度不整合”现象
 4. 硬底: 黑色、蓝灰色硅质磷块岩砾密集铺砌层面, 与二分沟迹交替成层, 代表水下沉积间断
 5. 磷矿风暴岩粒序性A段, 磷砾、介壳等快速堆积, 随机分布, 呈杂基支撑结构
 6. 风暴粒泥岩中韵律性粒序, 由粒序性磷块岩条带 (深色) 与粒序性白云岩条带 (浅色) 交替组成, 代表风暴作用与上升洋流的脉动特征
 7. 二分沟迹 (*didymaulichnus*) 分布在硅质粘土质泥皮表面上, 代表浅水低能环境的爬行迹和下水沉积间断
 8. 风暴泥粒岩中条带状磷质粒序, 磷砾集中成条带状悬浮于基质中, 为风暴开始衰减期沉积特点