

中国东部晚震旦—早寒武世含磷 建造分析和聚磷沉积模式

孟祥化¹⁾
(长春地质学院)

含磷建造系指含有磷块岩的沉积建造。中国东部晚震旦—早寒武世发育有分布广泛而又有工业意义的含磷建造带。深入研究这一时期的含磷建造对阐明古老磷块岩形成机理和大地构造背景,以及磷矿远景预测工作都具有重要意义。

一、含磷建造的研究和划分方法

根据作者提出的按物源、沉积环境和能量平衡三重岩石共生涵义划分沉积建造的原则,将沉积建造按物源划分为陆源建造、火山沉积建造、内源沉积建造三大类。各大类又按环境和能量平衡标志相应分出稳定建造、次稳定建造和非稳定建造(表1)。

表1 含磷沉积建造在建造分类表中的位置(沉积建造分类简表及其含磷性的划分)

Table 1 Position of the phosphatic sequence in the classification of sedimentary formation

	稳定建造	次 稳 定 建 造		非 稳 定 建 造
		I 型	II 型	
陆源沉积建造	单陆屑建造	复陆屑建造		
火山沉积建造		火山复陆屑建造	远硅质建造	硅质页岩建造 大洋火山建造? 细碧角斑岩建造
内源沉积建造			陆源碳酸盐建造	
大地构造背景	克拉通盆地	裂谷、断陷盆地	张裂边缘 (被动边缘)	弧后盆地、俯冲岛弧系及洋中脊

注: [] 含磷建造; [] 具一般工业意义的含磷建造; [] 具重要工业意义的磷块岩建造。未表示的空白格皆属非含磷建造,建造分类全表请参阅文献[1]。

做为判别建造类型、含磷建造性质及其大地构造背景条件的主要标志是:岩石共生组合模式及碎屑模型Q、F、L值,基质含量,微量元素分配类型,沉积速率共生性质,建造体态和韵律旋回性质。

1) 参加本文工作和写作的还有李建华、梁傅茂、单满生、刘志英。

稳定沉积建造形成于陆壳克拉通盆地。次稳定建造广泛发育于陆壳内断陷盆地、裂谷和张裂边缘盆地（即被动边缘）。非稳定沉积建造的发生条件相当于俯冲岛弧系的活动边缘和洋脊扩张盆地。

属于克拉通盆地的稳定沉积建造（包括单陆屑建造、铝土铁质建造、单陆屑含煤建造、异地碳酸盐建造、白云岩-石膏蒸发岩建造）具有CQ + SQ + MQ + OQ¹⁾组合模式，最高的Q值（>90%），最低的基质含量，规则型的微量元素分配特征和近低速率共生性质。

次稳定沉积建造类（包括复陆屑建造、火山复陆屑建造、远硅质建造、礁碳酸盐建造、钾盐型蒸发岩建造），具有CF - SF - MF - OF²⁾组合模式，Q值90 - 95%，较高的基质含量，过渡型-半规则型微量元素分配类型，条带状和位稳型体态和较高沉积速率共生性质。

非稳定沉积建造（包括杂陆屑建造、火山硅质建造、大洋玄武岩建造、碳酸盐复理石建造及红泥-微晶碳酸盐建造）。可以根据CR + SR + MR + OR³⁾组合模式，低的Q值<65 - 15%，高基质含量，复杂不规则微量元素分配类型，位移型或扩散型体态，变沉积速率共生性质等标志加以鉴定。

上述建造分类，从含磷性质可以区分为：（1）非含磷建造类 从现有文献勘探资料来看，不可能有含磷性质的建造。属于这一类的有：杂陆屑建造（包括磨拉石建造、复理石建造）、红泥-微晶碳酸盐建造。除火山硅质建造类外绝大多数非稳定建造均属之。（2）含磷建造 指那些仅具一般成因意义的含磷建造。其中包括异地（或异化颗粒）碳酸盐建造（华北寒武系），火山复陆屑建造（中国东部第三系油页岩与硅藻土共生的磷结核和蓝铁矿层及新疆二叠系油页岩与长石砂岩共生的铀磷矿）、远单陆屑碳酸盐建造（广西泥盆系碳酸盐型磷矿）。（3）具一般工业意义的含磷块岩建造 指仅具小型或中小型矿床的含磷建造，如单陆屑建造（中国华北地台寒武统磷矿）、俄罗斯地台白垩系磷矿等和硅质页岩建造（中国南方震旦-寒武系黑色页岩-硅质页岩系的透镜状和结核状磷矿）。（4）具有重大工业意义的磷矿岩聚集带的建造 如远硅质建造（卡拉套寒武系磷矿，北美弗斯弗里亞磷矿建造及中国南方震旦-寒武系层状磷块岩成矿带）。

本文讨论的中国东部晚震旦-早寒武世磷块岩矿床主要属于分类表中的远硅质建造，硅质页岩建造和单陆屑建造三类型。

二、中国东部含磷建造特征的比较分析

我国东部晚震旦世-早寒武世的三类含磷建造，不论在物质组成、共生组合性质、

1) CQ: 石英质砾石及等石英质砾石质组成的砾岩 SQ: 净石英砂岩及等石英屑组成的砂岩

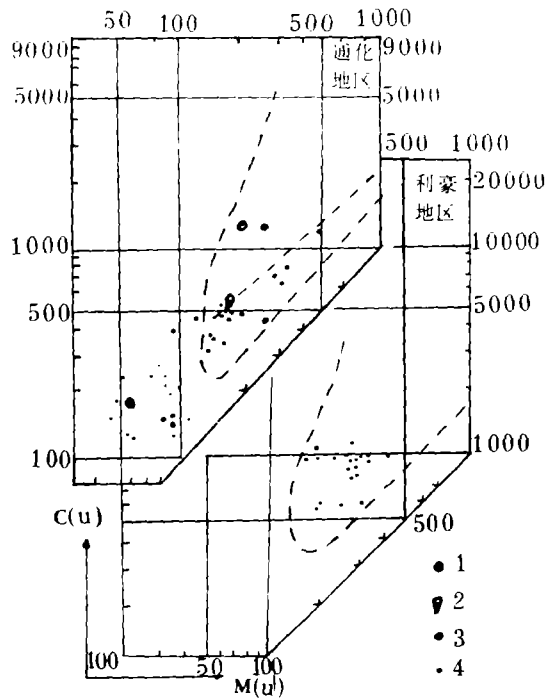
MQ: 稳定组分的泥岩(如京研物粘土、高岭石粘土) OQ: 不稳定组分的可燃有机岩。

2) CF: 长石碎屑岩或砾岩 SF: 长石碎屑及等长石碎屑组成的砂岩 MF: 次稳定组分的泥岩(如双组分的粘土或水云母粘土岩) OF: 次稳定组分的可燃有机岩

3) CR: 杂砾岩, 副砾岩 SR: 杂屑岩(包括火山碎屑组分和基质很高的砂岩(杂砂岩、硬砂岩) MR: 非稳定组分的泥岩(如杂粘土岩等)

含磷性、沉积环境和大地构造背景等方面均有明显区别(表2)，应属于不同稳定类型和物源类型的建造系列中。

含磷单陆屑建造是中国北方早寒武世所特有的建造。主要分布于华北稳定克拉通陆表海盆地范围内。代表早寒武世古陆壳发生均匀沉降海侵，底部所形成的席状稳定陆源沉积组合。建造呈薄席状体，广泛分布于浅海盆地早期海侵所至边界，其中包括吉林、辽宁的碱厂组、河北昌平组，山东、苏北、皖北五山组，贺兰山组，山西和河南辛集组沉积。根据14个样品的统计：碎屑模型为 $Q_{0.8}F_{2.0}L_1$ 。磷酸盐沉积物主要赋存于石英砂岩、粉砂岩的粒间孔隙和砂岩夹层中，以及赋存于磷酸盐化生物壳体(软舌螺，介壳类)中。含磷砂岩型矿石(P_2O_5)一般为百分之几至百分之十二。只有由磷质软舌螺、介壳屑以及磷质砾屑、胶磷碎屑组成的磷砾岩(P_2O_5)可富集到20%以上。以上两类型均属滨岸浅滩环境，其中富胶砾岩成因更具强冲刷搅动簸选性质(图1之上图)。



1.胶磷砾岩 2.生物介壳磷砾岩 3.胶磷砂岩和砂屑磷块岩 4.石英砂岩、细砂岩、粉砂岩

图1 单陆屑含磷建造和远硅质含磷建造C—M图

Figure 1 Mono-terrigenous sequence and tele-siliceous sequence

远硅质建造和硅质页岩建造是发育于中国南方的两个含磷建造类型。属于远硅质建造的有：早寒武世云贵川建造带和震旦纪陡山沱期鄂湘黔建造带。这类建造的岩相共生模式可以概括为如下一般形式：

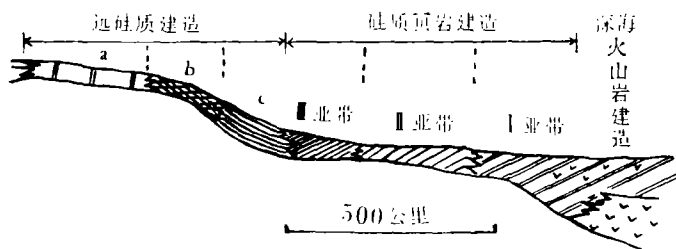
(白云质砂岩相) ← 白云岩相 ← 异化粒, 鲕粒磷块岩微相
 组合和藻磷块岩微相 ← 燧石岩相 ← 碳质硅质泥质页岩相

整个建造具有较高的含磷背景值，以发育巨型优质层状磷块岩矿床和富集钒、钇、碘、

表2 中国早震旦—晚寒武世三类含磷建造比较
Table 2 Comparison between three types of phosphatic sequence in China in the early Sinian to the late Cambrian

	单陆屑含磷建造	远硅质含磷建造	硅质页岩含磷建造
共生组合模式	含砾石英砂岩、石英砂岩、石英粉砂岩、灰色粘土质页岩、泥灰岩和泥质白云岩。其中含磷砂岩和含磷砾岩，属于〔CQ+SQ+MQ+OQ〕模式，碎屑模型Q>90%，M值很低，Q ₄₀ F ₂₀ L ₁	白云岩、白云质灰岩、磷块岩、白云质磷块岩、硅质磷块岩，泥质页岩、硅质页岩，并混入有火山凝灰物建造中所夹陆源碎屑夹层，具有〔CF+SF+MF-OF〕性质，碎屑模型Q ₄₀ F ₁₀ L ₄₀ ，M值很低	黑色泥质页岩、粉砂岩、硅质页岩、硅质岩，发育各种硅质、磷质结核，建造中碎屑岩层具有较高的凝灰质砂岩、粉砂岩和凝灰岩。具有〔SR+MR+OR〕性质，碎屑模型Q值低于65或15%，M值较高
微量元素分配类型	规则型	半规则至规则型	不规则至规则型
含磷性	建造普遍具有较低的含磷性，最低P ₂ O ₅ >0.1~2.0%，砂岩型矿石为4—12%，砾岩型为12—24%	建造成员普遍具有较高含磷性，P ₂ O ₅ >0.5~10%，最高可达28~39%	建造成员普遍具有较低的含磷性，P ₂ O ₅ >0.01~5%最高可达：5—15%
矿石类型	主要为磷砾岩型，胶磷石英砂岩型	主要为各种颗粒类磷块岩型、藻磷块岩，胶状磷块岩	主要为磷质结核，不规则透镜体或薄磷硅质条带
矿床规模	多属小型矿床，含矿点	多属巨型，大型矿床	多属小型磷矿床及含矿点
岩相组合及古地理	平坦陆源滨海、潮坪、浅海岩相组合、藻类不发育，地势平坦	由海槽向平坦清水盆地或古水下海岛过渡的岩相藻类发育，浅滩发育、局部古斜坡发育	静海相—深海相，盆地处于低补偿状态
沉积韵律及旋回结构	陆源碎屑型滨海—浅海型沉积旋回结构	内源型、进积型、向上变浅的韵律结构	静海型沉积韵律旋回
建造体态	席状态	带状体，建造体内部具有明显不协调星罗棋布相带与厚度变化	薄带状体
古构造背景	稳定克拉通古陆壳内部陆表海盆，具缓慢均匀沉降特点	与洋壳海盆或弧后盆地有关的稳定古陆边缘，或属于活动构造盆地与稳定地块的过渡区	与代地槽，海底火山岛弧盆地临近的冒地槽，或弧后盆地
古气候背景	明显的温湿向干旱气候的转变	明显的干旱型气候带	气候带的影响不明显

铀元素而称著于世。箭头方向代表从斜坡、台间拗陷向隆起的水下台地至古陆边缘（扬子微型地块）的相变关系。建造的模式相带宽度300公里左右。巨型和大型富磷矿带主要分布于水下台地边缘，控制在白云岩（台地）与拗陷深水盆地的燧石岩、碳质、硅质、泥质页岩相的交替过渡部位（图2）。



a. 白云质碳酸盐相 b. 碳酸盐相 c. 含硅质泥质相

I 亚带：硅质板岩、薄层硅质灰岩、燧石条带，燧石层，夹凝灰质岩层。

建造厚度较 II、III 亚带大，含 P、Mn、Fe

II 亚带：黑色燧石层、紫黑色燧石层、含磷条带状硅质板岩。建造厚度小于 I 亚带，大于 III 亚带。含磷性低于 II 亚带

III 亚带：炭质硅质页岩，炭质页岩夹硅质条带，灰岩条带，发育磷结核、黄铁矿结核及薄层。建造厚度较 I、II 亚带薄。含 P、Ni、Mo、U

蒸发式内源建造 ← 一远硅质建造 ← 硅质页岩建造 ← 硅质页岩建造 ← 火山沉积建造

(P、Mn、Ni、Mo、V) (Ni、Mo、V、Co) (P、Fe、Mn……) (缘岩型?)

Co……y

U、P

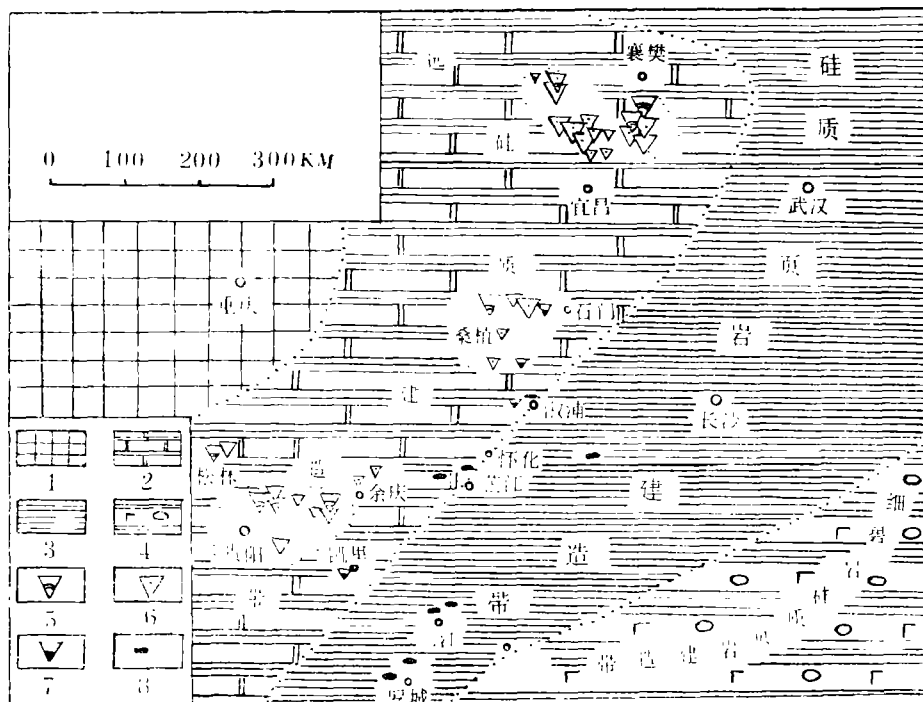
图 2 华南晚震旦世远硅质建造及其建造系列的分带

Figure 2 Tele-siliceous sequence and its distribution in South China in the late Sinian

根据 28 个砂岩样品分析结果，碎屑模型平均值为 $Q_{4.9}F_{1.0}L_{4.0}$ 。此值具有接近 Valoni 和 Maynard 的碎屑模型中与被动边缘 ($Q_{6.2}F_{2.6}L_{1.2}$) 和弧后盆地 ($Q_{2.0}F_{2.9}L_{5.1}$) 的过渡性质。

远硅质建造形成条件很独特，它既与强烈海底火山活动带（优地槽或岛弧系）有联系，却又形成于远离活动带的微型地块边缘。这种建造的交替和相带展布如图 3 所示。

浙西、皖南、湘东、赣东的晚震旦世陡山沱期沉积及滇东北、黔湘西南、鄂西一带早寒武世沉积是两个硅质页岩建造发育区。都是由黑色、褐色或灰色页片状硅质岩、硅质页岩组成的共生体。磷矿主要以结核状和透镜状为特点，还伴生有丰富的钾、钒、钼、锰、铀等元素及石煤。可见在岩石组合成分和共生元素方面硅质页岩建造与远硅质建造之间具有极大的相似性，而与北方单陆屑建造明显不同。硅质页岩建造具有明显的水平分带性。晚震旦世的建造可分为三个亚带（图 2）。建造的首端为第一亚带以含有凝灰岩层和火山岩夹层为特点，指示与细碧-角斑岩建造的交替方向。相反第二亚带硅质组分、碳质组分显著增高。代表火山岩和火山碎屑沉积逐渐贫乏，而又缺少陆源泥质输入的最低非补偿带。第三亚带为直接与远硅质建造的前端相接应，由硅质页岩、黑色页岩和局部碳酸盐岩夹层组成，发育有不同数量的磷结核、重晶石和含磷条带的硅质板岩。部分地段在黑色硅质页岩和含燧石层中有铀磷矿层。硅质页岩建造形成于非补偿性滞流环境的较深海盆地中。此类盆地邻近强烈海底火山活动的优地槽火山岛弧的后侧，具有冒地槽或“弧后盆地”性质（图 3）。



1. 古陆 2. 远硅质建造组合, 以碳酸盐岩夹页岩为主, 可见火山物质, (空白为碳酸盐发育区) 3. 硅质页岩建造组合, 以硅质页岩与炭质页岩为主, 具火山物质 4. 细碧岩, 硅质页岩建造组合, 细碧角斑岩, 硅质页岩为主 5. 藻磷块岩 6. 颗粒磷块岩 7. 胶状磷块岩 8. 磷结核
- 注: 三角大小表示相对磷矿规模。

图3 中国南方晚震旦世陡山沱期沉积建造古地理略图

Figure 3 Sketch map of sequence and paleogeography of the Doushantuo formation of the late Sinian in southern china

三、远硅质建造与火山沉积的成因联系

由于远硅质建造远离火山硅质沉积区, 而容易把它混同于陆源碳酸盐建造。Буш-ицкий等曾把本建造隶属于陆源碳酸盐建造, 并命名为“页岩-硅质-白云岩建造”。1979年, 作者依据岩石共生研究和区域建造序列分析, 发现这一建造与硅质页岩建造和火山沉积建造具有直接交替关系。首次确定为远硅质建造。并且指出“远硅质建造是火山硅质建造系列的组成部分, 并且可推断与海底火山喷气作用阶段相当, 磷、氟从海底火山气大量获得是完全有可能的”。

近年工作已发现越来越多的火山来源的证据, 在y和x矿区含磷建造中泥晶砂屑磷块岩及磷块岩矿层底部的暗色水平层理的页岩中, 普遍含火山碎屑物(图版I, 1), 含量可达2—15%; 在暗色页岩中钾长石, 微斜长石具有明显的火山碎屑结构。

为了进一步分析磷块岩成因和物质来源, 我们选测了单陆屑建造及远硅质建造中各

种富磷酸盐组分中的伴生组分(表3)。分析资料表明,远硅质建造的磷酸盐组分中 $\text{Na}_2\text{O} > \text{K}_2\text{O}$ 和贫 TiO_2 、 Al_2O_3 、 SiO_2 。相反单陆屑建造中磷酸盐组分中 $\text{Na}_2\text{O} < \text{K}_2\text{O}$ 和相对 TiO_2 、 Al_2O_3 、 SiO_2 偏高(除介壳磷)。

磷酸盐是一种化学和胶体化学物质,是缓慢沉积时形成的。因此,海盆中磷酸盐矿物中Ca离子被古海水中K、Na离子交换是十分敏锐并且可以达到相应的平衡状态。可见远硅质建造磷酸盐沉积作用与富Na的陆地幔来源物质有关,而单陆屑建造磷块岩属于上陆壳来源性质。

表3 单陆屑建造和远硅质建造中各种富磷酸盐组分的电子探针分析资料

Table 3 Analytical data of phosphate obtained by using electronic probing type I (mono-terrigenous sequence) and type II (tele-siliceous sequence)

所属建造	样号产地	样品名称	分 析 结 果										
			P_2O_5	Na_2O	MgO	Al_2O_3	SiO_2	TiO_2	K_2O	CaO	Cr_2O_3	FeO	MnO
远硅质建造中磷酸盐组分	No-1 (开阳)	藻迭层磷块岩暗纹层	37.65	0.64	0.23	0.03	—	—	0.01	53.54	—	0.71	—
	No-2 (开阳)	藻迭层磷块岩亮纹层	38.12	0.56	0.16	0.02	—	—	0.01	55.16	—	0.17	—
	No99-1	藻磷块岩、白色藻体	39.5	0.2	—	—	—	—	0.03	51.35	—	—	0.01
	No99-2 (德峰)	藻磷块岩, 藻间充填物	35.62	0.21	0.21	0.23	0.26	—	—	45.59	0.1	0.15	—
	No44-1 (开阳)	磷屑磷块岩中磷屑层(一)	35.24	0.55	0.31	0.11	—	—	0.06	52.56	—	0.74	—
		磷屑磷块岩中磷屑层(二)	31.07	1.66	0.11	0.22	0.76	0.02	0.11	50.31	0.01	0.45	—
单陆屑建造中磷酸盐组分	WG-9-1 (通化)	胶磷砾岩含粉砂	17.24	0.23	0.5	0.88	4.77	0.16	1.22	13.24	—	21.07	0.13
		胶磷砾石	35.61	0.30	0.8	1.48	7.05	0.2	0.19	49.42	0.04	1.41	0.11
		含泥胶磷砾石	27.84	0.18	0.2	1.1	2.5	0.2	0.54	50.68	—	0.83	0.03
		含泥砂胶磷砾石	22.52	0.37	0.19	1.74	4.14	0.11	0.44	47.84	—	0.71	—
	I _{E2} -1 (通化)	胶磷砾岩	31.32	0.38	0.54	4.29	8.71	0.13	1.54	44.5	—	1.12	0.09
		胶磷砾石	22.65	0.22	1.16	8.25	19.11	0.14	2.63	32.33	0.02	2.15	—
	I _{E2} -12 (通化)	生物介壳磷块岩											
		磷介壳	38.76	0.35	0.55	0.21	0.34	0.01	0.02	50.33	—	0.09	—
		磷介壳	38.73	0.19	0.07	0.24	0.36	—	0.05	50.34	—	0.19	—
		磷介壳	41.51	0.21	0.04	0.17	0.38	—	0.06	54.00	—	0.09	—

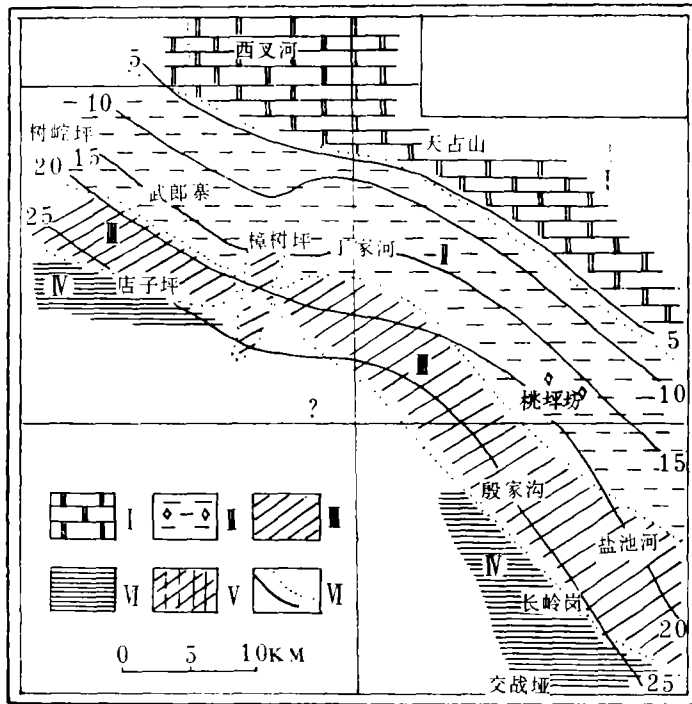
早在40年代就有许多学者提出过,从现代海洋调查资料证明海底火山沉积物中含有丰富的磷。在东太平洋中脊水域附近 P_2O_5 含量为 $3\% \pm$ (小林和男,1973)。在洋脊上蒙脱石粘土沉积物中发现 P_2O_5 为 $0.15 \sim 3.3\%$ (伯纳,1973)。这一数值比正常海水中 P_2O_5 含量(0.071ppm)要高出15000—20000倍。古代细碧岩中伴生有丰度较高的Ni、Mo、V、Co、U、Y。由此可见,古磷酸盐沉积盆地中的 SiO_2 、 P_2O_5 、I、F以及微

量元素的来源与海底火山作用上地幔物质有关。

四、远硅质建造聚磷沉积模式

远硅质建造是一个富磷聚集带。其形成条件十分有利于聚磷沉积作用。早在1979年作者根据这类磷块岩结构、构造的复杂性和相带变化规律提出动力-化学聚磷的观点。近年我们进一步应用这一观点进行了剖面结构研究,大比例尺编图研究,发现动力-化学聚磷机理是通过四种沉积作用模式完成的。

模式 I (化学沉淀模式) 由泥质页岩、硅质页岩、泥晶薄层胶磷沉积与泥晶白云岩沉积序列组成,形成于静海盆地相。主要发育于建造形成早期,如鄂西H矿区含磷建造下部(主矿层下部),宜昌T矿区主矿层及其前期的层段(Ph₁¹—Ph₁²)。这一模式代表早期深海聚集的富磷酸盐溶液定期上翻入侵静海盆地下缘,在半封闭、半干旱环境下发生硅-磷-碳酸盐的化学分异沉积。根据宜昌对宜地区大比例尺微相古地理研究(图4),可以概括为图5之模式I。整个模式发生于浪基面以下的较深静海环境。在较深部位先沉淀SiO₂及泥质,然后在较浅盆地部位沉淀含磷泥质纹泥和胶磷纹层的互



- I. 后缓坡、白云岩、磷块岩相 I. 泻湖、页岩、磷块岩、白云岩相
- II. 沙坝、磷块岩相 IV. 前缓坡、页岩、磷质岩相
- V. 潮汐通道、磷块岩白云岩相 VI. 主矿层段等厚线及相带界线

图4 湖北宜昌震旦纪陡山沱期主成矿阶段 (ph₁²) 岩相古地理
 Figure 4 Sketch map of the main phosphatic bearing period in the Doushatuo formation of the late Sinian in yichang of Hubei

层，最后在更浅部位相当浪基面以上沉积泥晶白云岩（常含磷质碎屑）。胶纹层磷块岩相带宽度可达5公里以上。黑色页岩及胶磷薄层间常伴生有细分散状的黄铁矿、重晶石和镍、钼、银等硫化物，它们与海盆中硫酸还原菌富集和还原海水中的 SO_4^{2-} 有关。这些均说明模式 I 发生于滞流环境。

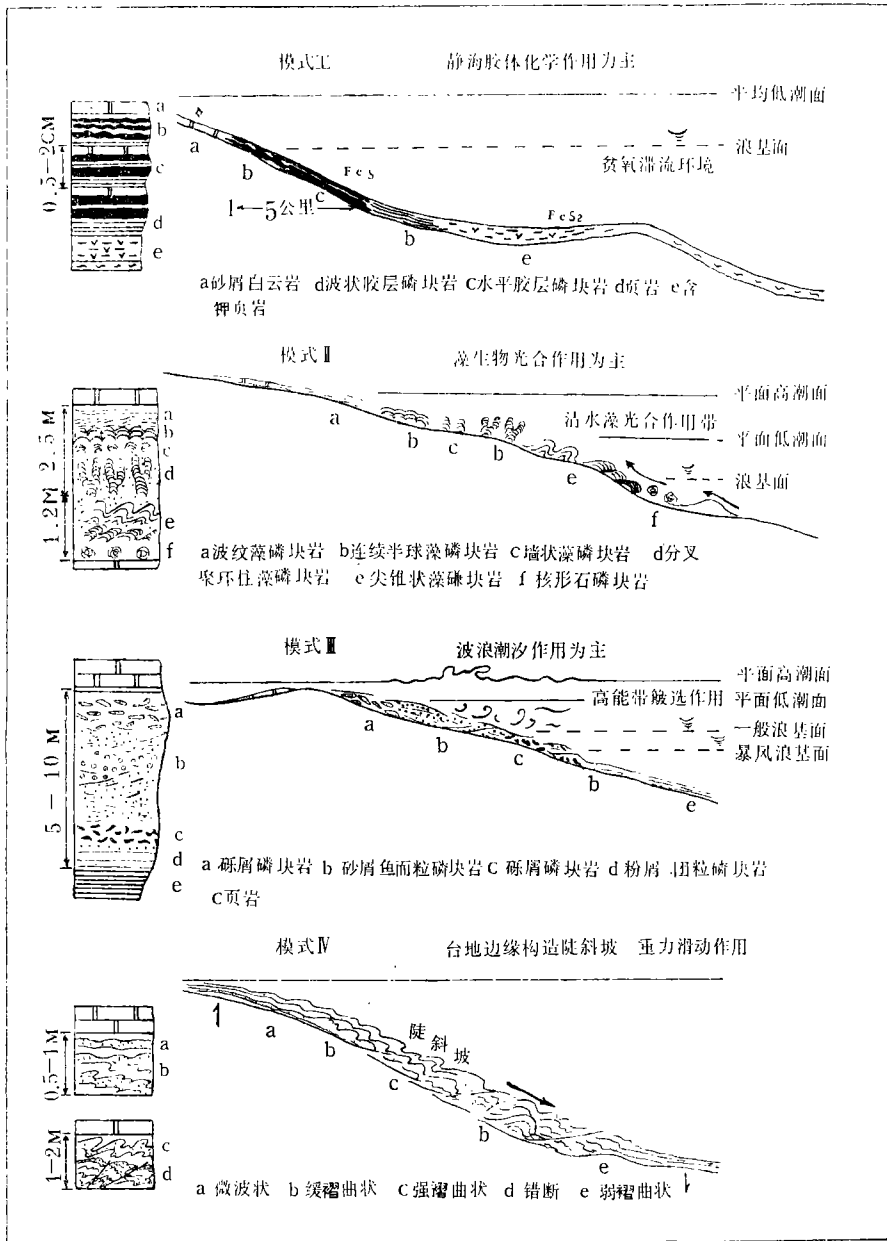


图 5 远硅质建造聚磷沉积模式

Figure 5 Sedimentary model of the phosphatic accumulation of the tele-siliceous TF

模式 I（藻生物物理化学沉积模式） 由纹层藻磷块岩—波纹藻磷块岩—分叉聚环

藻磷块岩—泥晶白云岩沉积序列组成（图版 I，2—5）。广泛发育于震旦纪陡山沱期的 II 成矿带和贵州 K—W—F 成矿带，主要形成在磷矿层的中下部。一般形成于模式 I 之上（但也有些地段直接发育在磷矿层底部）。模式 II 代表沉积盆地转变为半开阔浅海滨岸环境，海水清澈，较少泥质混入，透光度好，有利于藻类生长和光合作用。根据比较沉积学研究，这些藻迭层序列类型完全可以与元古代蓟县系藻礁碳酸盐微相类型相对比，也可以与澳大利亚西海岸现代藻席沉积相比较。藻磷块岩的纹层构造形态和内部结构特点，可以应用作者提出的水流强度（C）藻类生长自由度（G）和排气强度（E）的概念来进行环境解释（图 6）。模式的相变关系和形成条件可以用图 5 之模式 II 表示。藻磷酸盐矿物最纯净。从电子探针分析资料（表 3），可见藻迭层磷块岩磷酸盐组分中 P_2O_5 百分比，比胶状碎屑状磷酸盐组分中的充填物含量要高，而 Al_2O_3 、 TiO_2 、 SiO_2 、 MnO 、 Cr_2O_3 的百分比均低。说明藻类物质对磷有吸收作用，促进了磷酸盐富集。

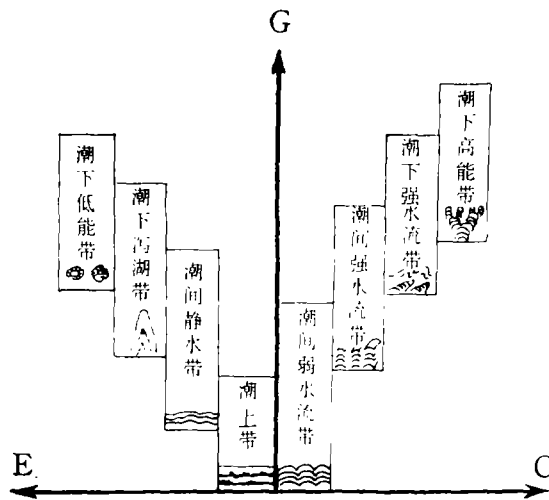


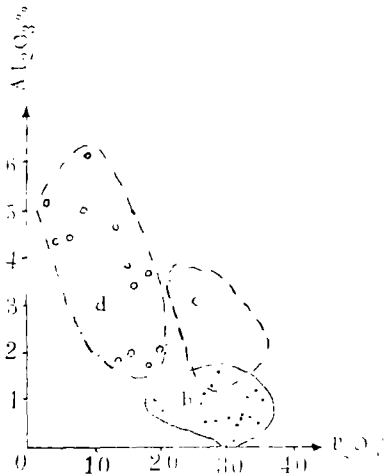
图 6 藻类沉积微相环境分区与排气（E）、水流强度（C）、和生长自由度（G）的关系

Figure 6 Relationship between exhaust (E), water capacity (C) and growth degree of freedom (G) in the subdistrict of algae sedimentary micro-facies environment

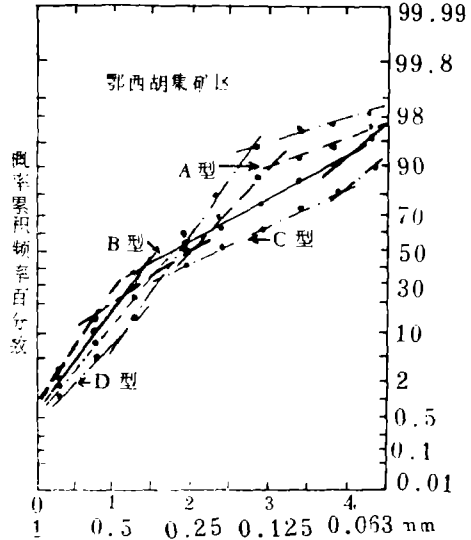
模式 III（机械筛选聚磷沉积模式）它是由机械成因的颗粒磷块岩（图版 I，6—8；II 1—4）组成的沉积序列。代表开阔浅海波浪潮汐作用为主的滨岸浅滩环境。各类水动力状况下形成的磷块岩微相，在沉积结构构造和化学组分上具有明显差异。从表 4 及图 7 中可见微相由 d→c→b，水动力搅动条件增强，非磷泥质物（ Al_2O_3 ）明显降低，而磷质颗粒组分 P_2O_5 相应递增。颗粒磷块岩的粒度分析资料，也说明富集颗粒磷块岩属于高能浅滩环境（图 8）。

根据 X 主磷矿层 183 个样品分析数据统计， P_2O_5 含量频率曲线具有明显双峰分布状

态，反映磷矿富集过程中至少经历了两次沉积作用过程。峰值代表原地沉积模式 I 作用过程，主要为含胶磷团粒与硅质粘土沉积共生类型，主峰值 (P_2O_5 , 24—32%) 代表再次机械富集模式 II 的形成物，由砂屑、砾屑磷块岩 b、c、a 微相类型构成。这证明机械物理富集作用是磷酸盐聚集成矿的一个十分重要因素。



b. 云质砂屑磷块岩 c. 粘土质砂屑磷块岩
d. 泥质团粒、团块、磷质岩
图 7 Al_2O_3 、 P_2O_5 % 变化与 b、c、d 各水动力状况磷块岩微相关系 (微相见表 5)
Figure 7 Relationship between percentage changes of Al_2O_3 and P_2O_5 and phosphoritic microfacies under b,c,d water-power conditions



A 型, (属微相 b): 潮下高能浅滩 B 型 (属微相 a、b): 潮间间歇高能环境 C 型 (属微相 c): 潮下低能环境 (浅海滩前) D 型 (属微相 d): 潮间间歇高能, 滩后或滩间泻湖
图 8 砂屑磷块岩的粒度正态概率累积曲线
Figure 8 Positive probability cumulative curve of psammitic phosphorite grain size

模式 IV (重力叠加堆积模式) 由同生沉积磷块岩滑动构造形成 (图版 I, 5—7)。仅发育在构造斜坡带。如襄樊 H 磷酸盐沉积处于多次构造斜坡发育过程中, 造成第一、三层矿都有磷块岩滑动构造带形成。由于已沉积的颗粒状和胶纹层状磷块岩在半软泥可塑状态发生由东向西顺斜坡滑动, 形成磷块岩的迭加, 矿层向下坡方向明显增厚, 而斜坡上部磷矿层变薄 (图 5 之模式 IV)。

以上四种模式在远硅质建造形成过程中具有明显的顺序性和迭加性 (图 5), 但总的顺序是 I → II → III → IV, 磷酸盐沉积经过模式 I 或 II 得到质量的最大富集, 模式 IV 只能导致矿体增厚, 模式 I、II、III 均属进积模式, 具有向上层序变浅和向海方向加积的特点。

五、含磷建造聚磷成矿的几点认识

1. 沉积建造的性质决定着聚磷的基本条件。从建造分析可见, 不同成因的沉积建造

表4 各种水动力状况的磷块岩微相特征
Table 4 Features of phosphoritic microfacies under various hydro-dynamic conditions

		结构组合	成分	颗粒特征	Md、So、Sk、K 概率曲线	构造标志	P ₂ O ₅ %	环境		
磷	a	白云质砾	泥晶砾屑	胶磷矿白	小竹叶状	M _d = 1.55	D型	斜层理	滩后及滩间	
		屑磷块岩	泥晶砂屑	云石少量	磨圆度好	So = 1.39				
块	b	微相	豆石状	粘土质硅质	分选较好	Sk = 0.99	y (B型)	波状层理 干裂	18—26	泻湖 潮间间歇高能带
		白云质砂	纯砂屑	细晶磷灰石	球粒状	M _d = 0.625				
岩	c	屑磷块岩	泥晶砂屑	胶磷矿白云	椭球状	So = 0.59	A型	波痕、滑坡斜层理	潮下高能带	
		微相	蠕状	石、少量粘土质、硅质	磨圆分选最好	Sk = 0.88				K = 0.32
相	d	泥质砂屑	泥晶砂屑	胶磷矿	球粒状	M _d = 1.30	C型	波状层理	浅海滩前	
		磷块岩微相	胶状	粘土质少量硅质及白云石	椭球状分选、磨圆好	So = 1.39				Sk = 0.99
岩	d	泥质团粒	泥晶团粒	胶磷矿	大小不等	M _d = 0.06	水平层理	18—8	较深浅海	
		团块磷质岩微相	团粒	粘土矿物少量硅质	形状不规则	So = 1.39				Sk = 1.02

具有不同的含磷特性。就世界上巨型磷矿聚集带而论，主要属于两种类型，一类为次稳定陆源碳酸盐建造（北非白垩—第三纪），它与大西洋扩张被动边缘有关；另一类为远硅质建造（卡拉套、洛矾山），与火山作用有关，中国晚元古代—早寒武世巨型磷矿聚集带就其建造性质分析应属于后者。

2. 中国远硅质建造聚磷带具有多种聚磷沉积机理的基本条件和因素：

(1) 这类建造发育区，从古地理和古构造方面分析，聚磷成矿带与古构造活动带有平行展布的特点。在建造发育序列上，聚磷带与火山硅质建造具有成因上的连续过渡性质。聚磷带台地边缘斜坡与深海槽的火山活动有联通关系。它十分有利于从深海供给火山成因的富磷溶液，也有利于洋流通过深海槽得到大洋磷酸盐的补给。磷除与洋流有关外，P、F、I、V、Ni、Co、Cu、Mo、U、Y等可能与岛弧火山喷发的来源有关。

(2) 这类建造的发育区和聚磷区，是一个远离活动带的微型地块边缘区。因而陆源碎屑物输入较少，具有清水沉积特征，并具有受弧后盆地影响的张裂拗陷和水上台地斜坡，这有利于磷酸盐分异沉淀（聚磷沉积模式I）。在清水浅水台地有利于藻类光合作用和生长发育，藻类可促进对磷酸盐的吸取和对磷质质点的捕集（聚磷模式II）。在迎风浪和潮汐作用的台地边缘，对已沉积的含磷软泥或半固结磷块岩层进行再冲刷，可簸选富集（聚磷沉积模式III）。在局部张裂陡斜坡带又可构成同生磷质沉积物和磷块岩层重力滑动迭加聚集（模式IV）。

(3) 从沉积速率和沉积补偿平衡关系来看，磷质沉积速度十分缓慢，要求沉积台地沉降幅度小，以适应磷酸盐富集。这种状况除了可以形成模式I外，还有利于模式II、

Ⅱ的形成，并且形成具有向上变浅的进积沉积作用特点。

3. 华北地台下寒武统单陆屑建造和华南震旦-寒武系的硅质页岩建造相比聚磷因素有不少不利因素。

(1) 单陆屑建造虽然形成速率较慢，但是盆地平浅，与深海火山作用区距离较远，缺乏有利通道，磷质来源贫乏，加之华北古陆广泛，陆源输入较多。因此磷质聚集很难。模式 I、Ⅱ均不发育，模式Ⅲ虽可进行，但原始沉积磷质稀少，动力富集十分有限。

(2) 深水的硅质页岩建造虽然同属火山源系列，但磷酸盐很难在深水盆地沉积分异，只能形成磷结核和透镜体。同样因水很深，不利于藻类作用和动力作用发生，因此模式Ⅰ、Ⅱ也不可能存在。

中国晚震旦世远硅质建造形成和聚磷沉积作用的总模式可以概括为立体图 9。

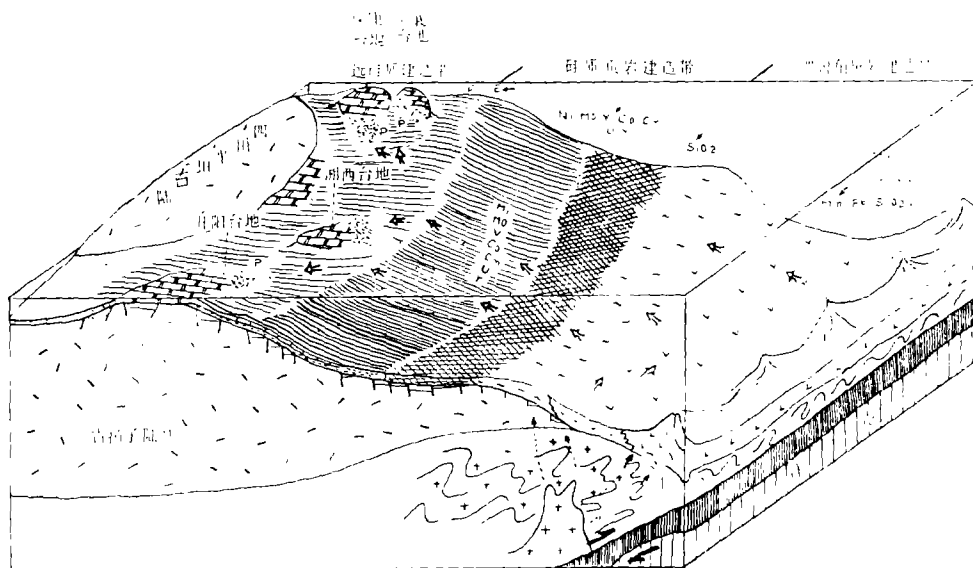


图 9 中国晚震旦世远硅质建造形成和聚磷沉积作用总模式

Figure 9 General model of the form of the tele siliceous sequence and phosphatic accumulation in the late Sinian of China

(收稿日期：82年 5 月 28 日)

参 考 文 献

- [1] 孟祥化, (1979) 沉积建造及其共生矿床分析, 地质出版社。
- [2] 孟祥化, (1979) 远硅质建造磷块岩微相研究, 地球化学, 第 2 期, 第 132—144 页。
- [3] Г. И. 布申斯基、叶连俊、郑直, (1959) 中国磷矿形成分布的规律及今后需要研究的问题, 中国磷块岩的形成特点矿石类型及远景评价, 科学出版社。
- [4] Valloni, R. & Maynard, J. B., (1981) Detrital Modes of Recent Deep Sea Sands and Their Relation to Tectonic Setting: A First Approximation, *Sedimentology*, V. 28, N. 1 75-83.

ANALYSIS OF PHOSPHATIC FORMATION AND SEDIMENTARY MODEL OF PHOSPHATIC ACCUMULATION OF UPPER SINIAN-LOWER CAMBRIAN SYSTEM IN CHINA

Meng Xianghua
(Changchun College of Geology)

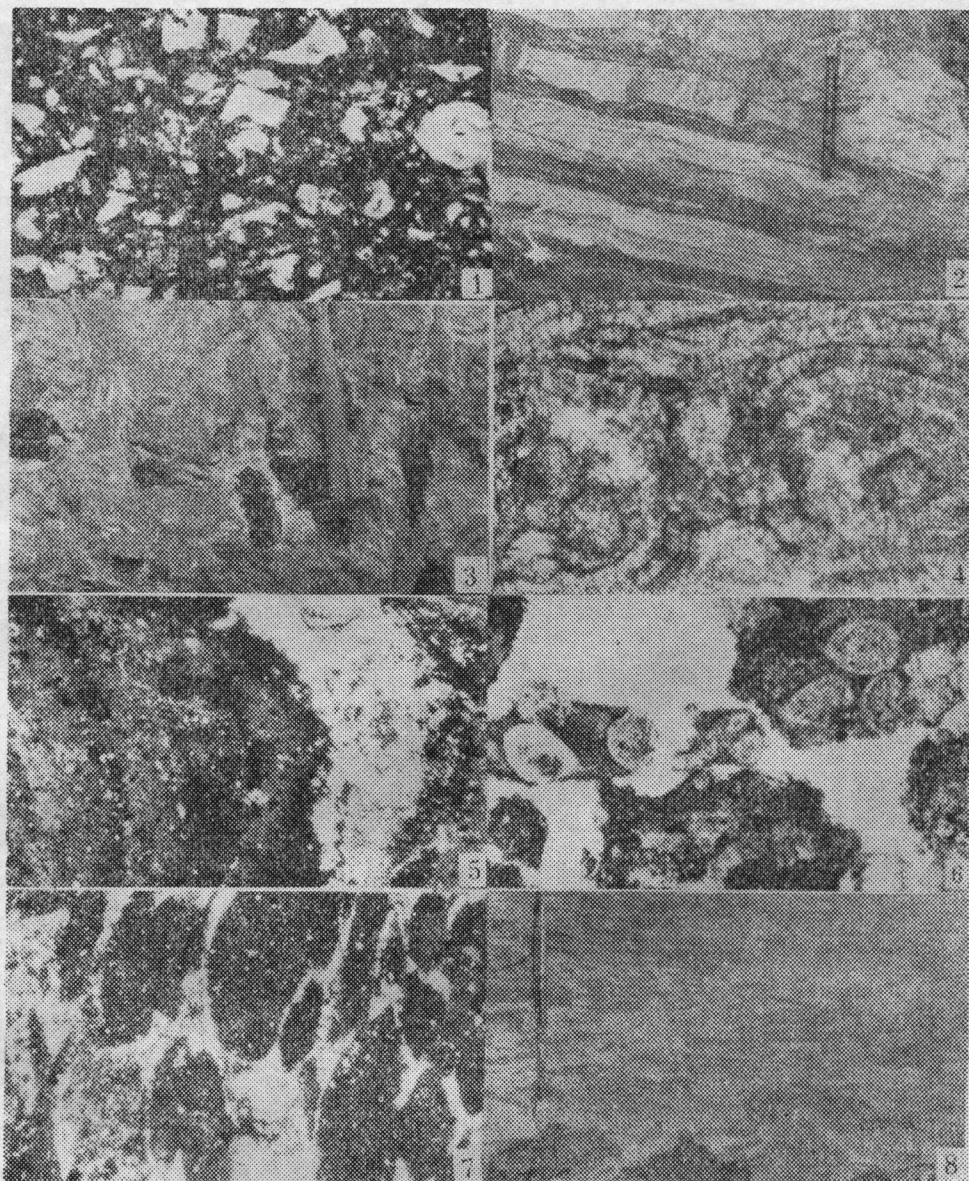
Abstract

According to the threefold meaning of rock-paragenesis suggested by the author and based on the material source, environment and energy equilibrium, the phosphatic formation in the eastern part of China 560-700 Ma has been divided into mono-terrestrial formation, tele-siliceous formation and siliceous shale formation, all belonging to stable type, substable type and unstable type formations, respectively.

The giant phosphorus-rich accumulation zone belonging to the characteristic of tele-siliceous formation possesses the combined model of CF + SF + MF + OF with lower value $Q(49\%)$. In the phosphate-rich constituent Na is higher than K, with lower TiO_2 , and Al_2O_3 . In respect to the relationship between the alternating sequence of sedimentary formations and the spatial distribution, it belongs to the component part of the volcanic-siliceous formation and possesses the characteristics of marginal basin connected with back arc basin. The sources of the elements P, F, I, V, Ni, Mo, Co, Cu, U and Y are related to the oceanic volcanic action.

The phosphorus-rich accumulation zone of tele-siliceous formation includes four models: chemical deposition (M-I), algal deposition (M-II), hydrodynamic deposition (M-III) and gravity gliding superimposition (M-IV).

The writer has analysed the special conditions of tectonics and paleogeography for the formation of phosphorus-rich deposit by using paleogeographic mapping, comparative sedimentology and comparative sedimentary formational geology. The paleogeographic settings are the margins of small-scale land-mass, insufficient import of terrigenous fragments and the characteristics of clean-water basin. And the sedimentary framework is that the deep-water depression alternates with shallow-sea platform under the effect of the back arc basin. The depressions between platforms are favourable for the import of phosphorus-rich materials from the deep sea, and the clean shallow-sea platform is favourable for the phosphorus accumulations of chemical, algal and hydrodynamic depositions. The gravity gliding superimposition can only occur in the said sedimentary formation.



1. 含火山碎屑页岩, $\times 40$, d: 石英晶屑; b: 长石晶屑, 鄂西B磷矿区 2. 纹层(波纹)藻磷块岩, 暗色磷质藻波纹浅色白云质, 荆襄H矿区 3. 聚环柱状藻磷块岩, 荆襄矿
4. 球形藻磷块岩, $\times 20$, 鄂西B磷矿 5. 聚环柱状藻磷块岩基本层结构特征, $\times 20$, 荆襄腰子山剖面 6. 亮晶云质砂屑磷块岩, $\times 40$, 鄂西B磷矿 7. 砂屑磷块岩, $\times 40$, 荆襄H矿区 8. 白云质砾屑磷块岩, 荆襄F矿区



1.砾屑磷块岩, ×20, 鄂西B磷矿 2.白云质砂屑磷块岩斜层理构造, 荆襄T矿区
 3.云质砂屑磷块岩潮汐层理, 荆襄H矿区 4.云质砂屑磷块岩斜波层理, 荆襄H矿区
 5—7 磷矿层滑坡构造, 浅色: 白云岩; 暗色: 磷矿层, 荆襄T矿区