

# 华南震旦纪和寒武纪磷块岩沉积环境探讨

崔克信 甄勇毅

(中国科学院地质研究所)

**内容提要:** 本文从八方面探讨磷块岩沉积环境:(1)含磷岩系岩石组合;(2)磷块岩矿床与海水进退及构造运动的关系;(3)磷块岩的纬度分布与古气候条件;(4)磷块岩沉积的古地貌特点;(5)磷块岩沉积的地球化学条件;(6)磷块岩沉积的生物作用;(7)磷块岩沉积的水动力条件;(8)磷质来源。通过上述分析,不难看出,中国南方震旦纪及寒武纪磷块岩主要形成于热带—亚热带,岛屿罗列,呈半封闭状态的华南陆表海盆地。靠近古岛群的浅海湾、泻湖及水下隆起(高地)的周围,似乎是最有利的成矿环境。

**主题词:** 磷块岩矿床 沉积环境 震旦纪和寒武纪 中国南方

**第一作者简介:** 崔克信 男 77岁 研究员 构造岩相古地理

我国磷块岩资源十分丰富,在地质时代上的分布也很普遍,自元古代开始,几乎每个纪的地层中都有含磷层位出现,但全国磷矿70%以上的工业储量都集中在滇、黔、川、湘、鄂各省境内的寒武纪和震旦纪地层中。本文旨在从古地理角度来探讨我国华南震旦—寒武系磷块岩的富集规律。

## 一、震旦纪磷块岩

震旦纪是我国地质历史时期中最重要的磷块岩成矿期之一,在湖北、湖南、江西、四川、贵州、广西等省区均有含磷岩系分布,矿层主要产于上震旦统陡山沱组,如鄂西桃坪河、丁家河、晓峰、树空坪、东蒿坪、胡家集等磷矿区,湖南的张家滩、浦市、花桥、洗溪等磷矿,贵州开阳、瓮安磷矿等。有些地区在灯影组也形成重要的含磷层,如湖北襄樊,但矿层薄,规模较小。

### (一)含磷岩系特征

震旦系具工业价值的磷矿床主要分布在稳定的华南海盆区和过渡型海区(图1)。综合分析区内各含磷岩系剖面,有如下一般特征:

1)含磷岩系主要由白云岩、泥质岩及硅质岩组成。随着沉积环境的差异,岩性组合各地不尽一致,但不论含磷岩系的岩性组合如何变化,含磷层总是与白云岩、硅质岩及黑色页岩密切伴生,矿层往往产于泥质岩和白云岩的过渡带,这种岩相变化,无论横向还是纵向都很显著。

2)含磷岩系与下伏地层一般呈平行不整合或角度不整合接触。主要工业矿层一般在含磷岩系下部,但也有形成于含磷岩系中上部的。有人认为〔1〕,含磷岩系直接不整

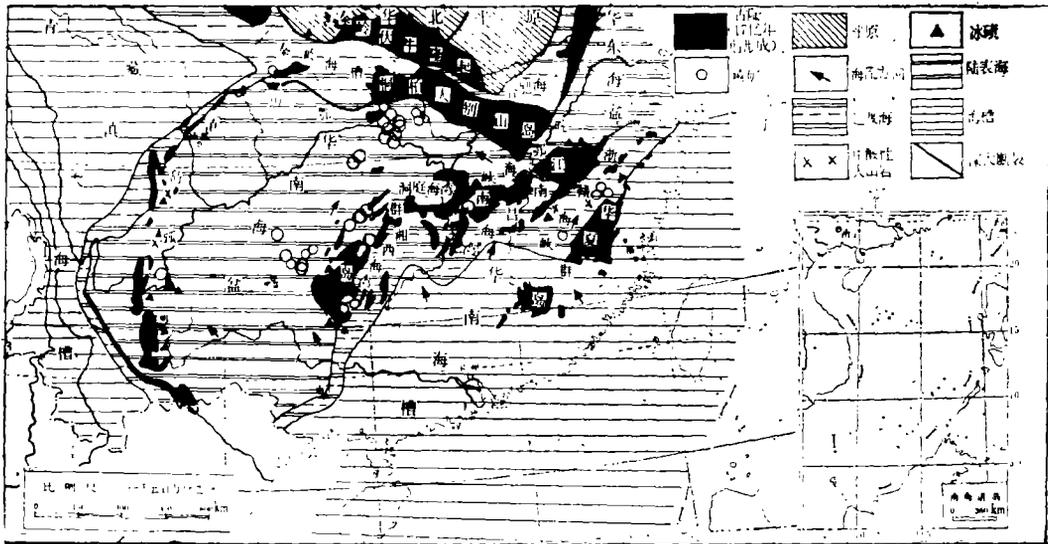


图1 华南震旦纪古地理及磷块岩分布略图

Fig. 1 Sketch map of the paleogeography and distribution of phosphorite of the Sinian, South China

合覆于前震旦系老地层之上时（多为角度不整合），矿层往往发育较好。这可能与这些老地层长期隆起遭受风化剥蚀，含磷岩石获得充分物理-化学分解破碎，随着海侵进行再沉积和富集有关。

3)含磷岩系厚度较大的地区，磷矿层一般也较厚。含磷岩系厚度变化在30—400米之间，向海盆西南方向有变薄的趋势，而向北东磷块岩储量明显增加，这可能与古陆大小、沉积物质来源、沉积速率及海流封闭情况等有关。

4)矿体呈层状、似层状、透镜状及结核状产出，一般含矿1—4层，单层厚0.5—4米，最厚可达20余米。矿石类型以白云质磷块岩为主，其次有硅质磷块岩、泥质磷块岩、砂质磷块岩等，具微层状、条带状、致密块状等构造。含磷矿物以胶磷矿为主。

5)根据矿石结构及成因，磷块岩可粗分为四种类型：A. 内碎屑磷块岩；B. 藻磷

块岩；C. 薄层硅质磷块岩；D. 结核状磷块岩。

(二) 矿床分布与古地理特征

震旦纪磷块岩围绕华南海盆边缘的岛状古陆呈明显带状分布(图1)，自桐柏一大别山岛南侧的鄂川滇岛弧东端宜昌、襄阳一带小岛周围，西北经城口、汉中，西南到四川会东，东到江南群岛南端西侧的贵州织金、遵义、瓮安、开阳各小岛附近再到江南群岛中段北侧的湘西怀化、辰溪、沅陵、清官渡等地，从西南向东北延伸，长达上千公里，构成一个明显受古构造、古地貌控制的环形巨大矿带。磷矿床主要沿江南群岛西侧和北侧以及桐柏大别山岛的南侧分布；在江南群岛南侧过渡型海域的湘南海湾、南昌海湾以及浙赣海峡靠近华夏群岛西侧，也有零星分布(图1)。一般靠近古陆或台地边缘磷块岩厚而质优，而从古陆或台地边缘向海，矿层逐渐变薄，质量也变劣。

二、寒武纪磷块岩

寒武纪磷块岩是我国最重要的含磷层位之一，分布比震旦系磷块岩更为广泛，遍及华南、华北及西北十余省，而以华南最为重要(图2)。

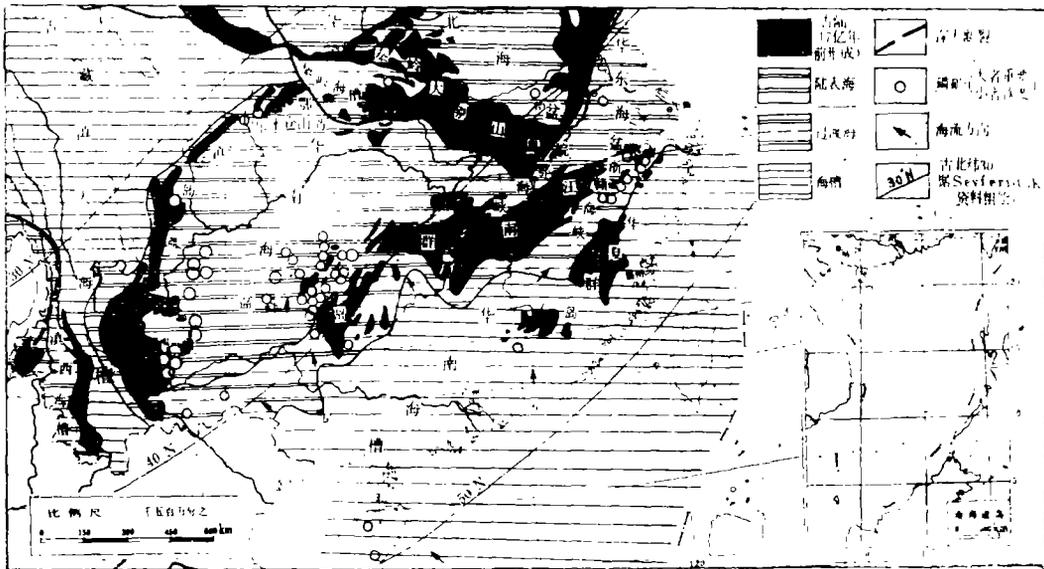


图2. 华南寒武纪古地理及磷块岩分布略图

Fig.2 Sketch map of the paleogeography and distribution of phosphorite of the Cambrian, South China

### (一) 含磷岩系特征

寒武纪磷矿是多层位的,矿层一般呈层状、结核状、砾状,主要工业类型为硅质磷块岩及泥质磷块岩,有钒、钴、钼、镍等多元素伴生,磷矿石普遍含氟,含磷岩系常含有大量黄铁矿及有机碳。卢衍豪(1979)曾将我国寒武纪磷块岩沉积划分为六期<sup>[2]</sup>,但以赋存于下寒武统底部梅树村组及相当层位(四川的麦地坪段、陕南的宽川铺组、浙西荷塘组下部、贵州牛蹄塘组下部等)的磷矿层最为重要。其质优层厚,在华南海盆的滇、黔、川等省区形成许多大型矿床,如云南沾益、海口、昆阳,四川雷波、汉源,贵州织金、遵义、金沙等矿区,其它地区一般形成中小型矿床。下寒武统中部的磷矿,多为小型矿床。中寒武统下部的磷矿,仅发现于海南岛崖县大茅群。梅树村组以产磷块岩为特征。矿层与硅质岩、黑色页岩、粉砂岩、白云岩等密切联系,常构成矿层的顶底板,富含生物化石及有机质,多与前寒武纪地层呈整合或平行不整合接触。一般位于海进层序下部或底部。

### (二) 矿床分布与古地理特征

早寒武世早期磷矿层主要沿鄂川滇岛弧东侧分布(图2)。在古陆的东侧边缘从南往北,由云南华宁、昆明至四川会东、雷波、马边、汉源一线形成大规模的层状硅质磷块岩矿床,基本上所有大中型磷矿床都集中在这一带,这与震旦纪不同。靠近古陆分布,沉积环境比较稳定。矿层中含有丰富的底栖生物化石,如软舌螺、腹足类等。化石常有经过搬运而被磨蚀的痕迹,属浅海相至滨海相沉积。矿层之上常见富含化石的紫红色、黄绿色砂页岩,在滇东北、黔西等地中、下寒武统有石膏矿床及石盐假晶广泛分布,说明当时处于气候温暖,水动力较强的滨浅海环境,并有逐渐向燥热气候过渡的趋势。往东在华南海盆东缘,江南群岛西侧,由黔东都匀东北至松桃一带,岛屿罗列,海水可能处于半封闭而较宁静的浅海海湾环境,多黑色页岩、黑色含磷结核,含软舌螺、盘虫类三叶虫、海绵骨针及黄铁矿,矿层变薄、变劣,呈层状或结核状,如在湖南新晃杨家坪组底部就有薄层磷块岩产出,矿石品位较低,磷矿规模较小。再往东至江南群岛南侧及东侧的过渡型海区,以结核状磷块岩为主,矿层薄,常与石煤、钒矿和黑色页岩伴生,含有较多的黄铁矿,化石稀少,含有藻类、孢子、细菌、原生生物、海绵骨针等,而底栖生物则完全绝迹。有时在磷结核中发现有生物碎屑及遗骸、菌藻类丝状体等。如在浙赣海峡北部下寒武统荷塘组底部含磷及黄铁矿结核。其上产有石煤层,石煤层有时构成磷矿层的直接顶板。在桂北融安下寒武统清溪组底部磷质结核夹于黑色碳质硅质页岩中,并含黄铁矿结核;在贵州三都以南下寒武统渣拉沟组下部黑色碳质页岩中产有含磷及黄铁矿结核,一般不成矿或仅形成一些小型磷矿。这些石煤及碳质页岩、黄铁矿结核反映滞流的还原环境。气候温暖而湿润,可能与当时多岛屿多海湾的古地理面貌有关。进一步往东南则进入活动的华南海槽区。寒武系以类复理石碎屑岩建造为特征。在底部仍有磷结核分布,如赣南崇义一带牛角河群底部硅质岩中夹含磷结核、黄铁矿及石煤层;在湖南南部寒武系底部及粤北寒武系八村群下亚群也有含磷结核分布,但未见具工业价值的矿床。这可能是由于该区活动性强,堆积和下沉迅速以及大量陆源碎屑物的掺合,因此不利于磷矿形成。

### 三、磷块岩形成的古地理环境探讨

1. **含磷岩系岩石组合** 不同地区, 不同时代, 磷块岩大都具有相似的岩石组合特征, 反映它的形成是有一定条件的。根据“上升洋流成矿”说, 在洋流上升地区, 常形成一定的“上升洋流岩石组合”, 我国华南晚震旦世及早寒武世含磷岩系具有辐散洋流岩石组合特征。岩性的横向变化大致顺序为: 碎屑岩→白云岩→磷块岩→硅质岩→黑色泥页岩。不论在纵向还是在横向上, 磷块岩均常位于向白云岩过渡或向硅质岩及黑色泥页岩过渡的位置上。

2. **磷块岩矿床与海水进退及构造运动的关系** 我国晚震旦世和早寒武世早期的一些重要磷矿床, 常位于海进岩石序列的下部或底部, 有时直接覆于沉积间断面之上或位于间断面之上不远处。由于地壳运动引起广泛海退, 陆地扩大, 地形悬殊, 强烈的机械风化和化学风化作用将大量的磷质带入海洋中。伴随地壳运动而来的频繁的火山活动和侵入活动又会提供新的磷质来源。这个时期可称为磷的储备阶段。在地壳运动比较平静的时期, 陆源区达到地貌成熟, 地形平缓, 剥蚀弱, 风化产物分异充分, 浅海陆棚区由于海侵而增宽, 沉积速度缓慢等都为沉积厚层优质矿层创造了有利条件。不少学者认为磷块岩成矿期与气候剧烈变化和冰川作用有关。这是由于气候的剧烈变化总是与地球的构造运动密切联系, 而气候转暖, 冰川消融, 必然引起海平面上升、海进和新的洋流出现。陡山沱期磷块岩的形成正是在南沱冰期之后, 气候转暖时期。

3. **磷块岩的纬度分布与古气候条件** 大多数磷块岩产在由于洋流辐散引起洋流上升的地区。沉积的基本原因是富磷冷水的增温和减压。温度升高使海水中 $\text{CO}_2$ 逸出和pH值升高, 而有利于磷块岩沉积。因此磷块岩的分布受纬度限制, 大部分沉积于南北纬 $40^\circ$ 线以内的温暖带内, 古地磁的有关资料也完全证实了这一点〔6〕。磷块岩有时与蒸发盐类沉积及红层伴生就是证据。但这并不排除一些磷块岩是形成于湿润的环境, 它与石煤及藻礁等共生就是证据。从华南震旦纪和寒武纪地层中所含气候指示物的分析来看〔3〕, 笔者认为当时为热带-亚热带气候, 这与目前所能提供的古地磁资料也是基本一致的。

4. **磷块岩沉积的古地貌特点** 海底地形是影响磷块岩形成的重要条件之一。一般认为在半封闭浅海或海湾, 靠近古陆边缘及水下高地周缘地带都是磷块岩沉积的有利场所。沉积深度一般不超过200米。华南海盆震旦—寒武纪时, 西缘及西北缘有鄂川滇岛弧与青藏滇大海槽及秦岭海槽相隔, 东缘有江南群岛与华南海槽相隔, 东北缘有桐柏大别山岛与华北海盆相隔。整个盆地周围都有岛陆环绕, 形成有利于磷质富集和沉积的环境。

华南海盆为我国晚震旦世—早寒武世的主要聚磷区, 当时北极位于现今印尼伊里安岛附近〔3〕, 从北极区来的富磷深部洋流由海盆东南面(以现代地理座标为准)经华南海槽区进入海盆, 在盆地四周岛状古陆的有利部位, 经过一系列机械的、化学的和生物的富集和沉积作用而形成许多大大小小的磷块岩矿床。值得注意的是, 晚震旦世和早寒武世早期的磷块岩分布区并不完全重合(图1, 2), 晚震旦世的磷块岩主要分布在江南群岛西侧及桐柏大别山岛南侧, 早寒武世早期的磷块岩分布要广泛得多, 并以鄂川滇

岛弧东侧成矿性最好,形成一系列大型、特大型矿床。江南群岛西侧虽仍为重要成磷区,但多为小型矿床。桐柏大别山岛南侧成磷区消失,浙赣海峡成磷区范围扩大,原因何在,尚待进一步探讨。

**5. 磷块岩沉积的地球化学条件** 海水含盐度与磷的溶解度成正比,超盐度的水可以溶解更多的磷质<sup>1)</sup>,而磷一般在正常盐度或偏淡化的海水中易于沉淀。磷在海水中的平均含量为 $7.1 \times 10^{-8}\%$  ( $2.3\text{mg/l}$ ),在大部分地区,大洋温暖的表层水中仅含有 $3.3 \times 10^{-7}\%$ 的磷甚至更少,随着深度的增加,海水中含磷量迅速提高,而在约1000米左右的深度,磷的含量达最高值<sup>[7]</sup>。在深部海水中由于低温和低的pH值等其它物理化学条件,磷酸盐的浓度大大高于表层水,磷的平均含量为 $7.2\text{mg/l}$ 。但在半封闭海环境可高出上述平均值数倍以上<sup>[8]</sup>,如在孟加拉湾安达曼群岛的某些区域表层水的磷含量已达 $12\text{mg/l}$ <sup>[7]</sup>。

实验表明<sup>[4]</sup>,介质的pH值是控制磷酸盐与碳酸盐分异沉积的基本因素。磷酸钙沉积的pH值接近或略小于方解石,而大量的磷酸盐沉积于水介质由弱酸性向弱碱性变化的过程中。大多数磷块岩与有机物及黄铁矿伴生,反映它是在还原条件下形成的。但有时也与铁锰氧化物、大量底栖生物化石和藻类化石伴生,因此磷块岩也可在富氧条件下形成。

**6. 磷块岩沉积的生物作用** 磷是组成生命物质的基本元素之一,因此在生物圈的循环过程中,有着极其重要的地位。脊椎动物的骨骼基本上是由磷灰石组成,自游生物牙齿、骨骼、以及鱼鳞等平均约占磷块岩颗粒组分的15%<sup>[7]</sup>。许多无铰纲腕足类贝壳由氟磷灰石组成,如现代海洋中,海豆芽科的贝壳含磷酸钙达50—60%,因此圆货贝繁殖的地区,海底常有磷酸盐结核生成。甲壳动物的壳一般含磷量很高,许多无脊椎动物的肾和泌尿系统可以分泌磷酸盐结石。一些无脊椎动物的钙质壳在一定的化学条件下可被磷酸钙交代。藻类则可直接粘附和捕陷海水中的磷质颗粒,这在我国震旦纪磷块岩沉积中是屡见不鲜的。可见生物不仅通过生命循环使磷质富集于深部海水中,而且也直接参加磷酸盐的沉积,在华南震旦系磷块岩中发现有大量叠层石及藻类化石所形成的藻磷块岩<sup>[5]</sup>,在下寒武统底部的磷块岩中含有丰富的软舌螺、腹足类、单板类和腕足类等动物化石。山西芮城磷矿,含磷岩系中含有大量圆货贝化石,而且磷块岩品位高低常与化石含量的多少有密切关系。印度几个晚前寒武纪磷块岩矿床,主要由藻磷块岩组成。在美国爱达荷东南部的二叠纪佛斯佛利亚组中有一延伸数公里,厚0.5—4.2米的磷块岩矿体,全由腕足类Orbiculoidae科的磷灰石壳和少量磷灰石球粒和团粒组成, $\text{P}_2\text{O}_5$ 平均品位达33%;北非白垩纪—第三纪的磷块岩中含有大量鱼化石。现代海洋磷酸盐沉积中也有大量生物,如美国西海岸现代磷结核中含有硅藻、有孔虫、珊瑚、海绵和苔藓虫等生物骨骼。在磷块岩的沉积过程中,微生物也起着不可忽视的作用,细菌、真菌和放线菌等的生命活动可以使植物无法直接吸收的有机磷和难溶的磷酸盐转变为可利用的结合磷。

**7. 磷块岩沉积的水动力条件** 洋流上升和大洋循环有关,而大洋循环又是太阳辐

1) 叶连俊, 1978, 国际磷矿会议考察报告。

射热和地球自转所引起的大气循环的反映。两极的冷水沿大洋东缘流向赤道，而赤道地带的暖流则向极地移动，在这样的循环体系中，深部富含磷的冷水可因洋流辐散和动力原因而上升。

洋流辐散即信风所造成的补偿流，由于信风和科氏力的共同作用，使表层海水向远离海岸的方向运动，从而使海洋深部沿海岸向赤道流动的富磷寒流向表层上升，以补偿原来的表层水。洋流辐散一般发生于信风带的大陆西岸，目前世界上大部分的磷块岩矿床均形成于这种地带。例如，在北美和南美西岸大量现代磷酸盐结核正在生成。占世界磷块岩储量  $2/5$  的北非白垩—第三纪的磷块岩矿床，北美西部二叠纪的磷块岩矿床和澳大利亚北部寒武系的磷矿均形成于这种地带。大量资料证明我国晚震旦世—早寒武世磷块岩也是形成于辐散洋流上升地带，磷质主要由深部富磷冷水提供。

具有弱搅动或间歇性搅动的水体是磷质沉积、富集、以及形成厚层富矿床的必要条件之一。在相对稳定的较低能环境下，大量磷质在浅水区的适当环境中以胶体凝聚的方式发生生物化学沉淀而成磷酸盐微晶软泥并与各种颗粒组分等胶结在一起，尔后由于搅动加强，磷质得到补给，已固结或半固结的磷酸盐沉积被机械破碎成内碎屑，并经过进一步的筛选、搬运和聚集而重新沉积以至多次反复，因而形成厚层的具有工业价值的富矿层。

**8. 磷质来源** 笔者认为，根据上升洋流成矿说，磷质主要来源于海洋深部富磷的冷水，而深部冷水中丰富的磷物质则主要来自陆地岩石风化、海底火山喷发和生命活动。陆地岩石经过风化剥蚀而使所含磷质碎屑通过河流等地表水输入海洋，每年以这种方式输入海洋的磷是十分可观的，估计全世界每年由河流输入海洋的磷约  $1.5 \times 10^6$  吨〔8〕，由于磷的难溶性，从陆地输入海洋的磷，一般以碎屑和悬浮状态为主。

磷的生物循环是磷富集的重要方式之一，从大陆输入海洋的磷约有  $2/3$  变为生物磷，海洋生物（特别是大量的浮游植物）从海水中摄取了磷，并在其躯体和骨骼中富集起来，生物死亡后沉入海底，从而把表层海水中的磷带到海洋深处，当生物体腐烂分解后所含磷质重新溶解并在较深的海盆底层水中富集，从而使深部海水含磷量大大提高。海洋中可溶氮与磷原子比（N:P）大致为 15:1，与浮游植物体中的 N:P 比值一致〔8〕，也进一步说明了海水中的磷与生物的密切联系。

火山喷发，特别是海底火山喷发给海水带来了大量的  $\text{CO}_2$ 、F 和 P，这也是磷的一个重要来源。如日本乌苏火山喷气每升含有 2.4 毫克磷。一些与火山作用有关的热热水溶液也含有相当数量的可溶磷。估计现代每年由火山作用带入海洋中的磷约达  $0.07 \times 10^6$  吨〔8〕。

总之，从上述八方面分析，不难看出中国南方震旦纪及寒武纪磷块岩的形成与富集是有规律可循的。它主要形成于热带—亚热带的岛屿罗列呈半封闭状态的华南陆表海盆区。靠近古岛群的浅海湾，泻湖及水下隆起（高地）的周围，似乎是最有利的成矿环境。在地壳运动之后，岛陆经过长期风化剥蚀夷平，大量含磷碎屑搬运入海，此时地形平缓，陆棚海宽广，生物繁盛，磷质来源丰富，是磷矿形成的最好时期。从含磷岩系岩石组合、水动力条件以及古地理位置等都符合洋流上升成矿理论。换句话说，在洋流上升成矿理论的指导下还可能发现一些其它磷矿床，特别是江南群岛南侧（当时为岛陆北

侧)以及川滇岛弧的东侧(当时为岛弧的西侧)靠近海湾多岛地区是值得注意的地方。

收稿日期 1985年9月24日

### 参 考 文 献

- [1] 张士才, 1976, 怎样找磷矿, 地质出版社。
- [2] 卢衍豪, 1979, 中国寒武纪沉积矿产与“生物—环境控制论”, 地质出版社。
- [3] 崔克信, 甄勇毅, 1984, 地质科学, 1期, 1—12页。
- [4] 中国科学院地质研究所七室成矿成岩组, 1976, 海相磷块岩形成条件的若干问题, 磷矿地质(一), 地质出版社。
- [5] 周茂基, 盛章琪, 1981, 地质学报, 55卷, 4期, 297—307页。
- [6] Sheldon, R. P., 1964, Paleolatitudinal and paleogeographic distribution of phosphorite, U. S. Geol. Surv. Prof. Pap. 501-C, p.106-113.
- [7] Riggs, S. R., 1979, Econ. Geol. V. 74, N. 2, p.285-314.
- [8] Sheldon, R. P., 1981. Ancient Marine phosphorite. Ann. Rev. Earth Planet. Sci. N. 9, p.251-284.

## STUDY ON THE SEDIMENTARY ENVIRONMENTS OF THE SINIAN AND CAMBRIAN PHOSPHORITE IN SOUTH CHINA

Cui Kexin Zhen Yongyi

(Institute of Geology, Academia Sinica, Beijing)

### Abstract

Phosphorite ore deposits are widely distributed in South China. They have been found in almost every system through the geological ages. But about 70% of the industrial phosphate deposits are accumulated in the Sinian and Cambrian strata in Yunnan, Guizhou, Sichuan, Hunan, Hubei and other provinces in South China.

Sinian is one of the most important mineralization periods of phosphorite in China. More than half of the industrial phosphate deposits were formed in the epicontinental sea of South China Platform during this time. The Sinian phosphorite is mainly distributed around archipelagos or islands and the submarine highlands, forming a mineral zone or group of phosphorite beds controlled by the palaeotectonics and palaeogeomorphy of the platform.

Several phosphorite horizones have been found in Cambrian strata of China, but the most important one in South China is lying in the bottom of Cambrian. During

Early-Cambrian, thick marine phosphate deposits, consisting of muddy or siliceous phosphorites, were formed in the epicontinental sea of the South China Platform, distributed chiefly along the eastside of the "Hubei-Sichuan-Yunnan Island Arc", in the west, and along the westside of the "South Yangzi Archipelago" in the east. The former is much important than the latter, and the industrial ore deposits are chiefly confined in the former. Going further to the southeast, the phosphorite ore deposits are hardly found in the bottom of the Cambrian flysch-like deposits in the South China Trough.

During Late Sinian and Early Cambrian, the cold deep water rich in phosphorus might be flowing into the South China marine basin from the Arctic Region in the southeast, and then many large and small phosphorite ore deposits were generated around the basin in favourable terrains such as: archipelagos, islands and submarine highlands, by the processes of mechanical, chemical and organic concentration and deposition. The depositional environments of phosphorite are briefly discussed in this paper as follows: 1) the character of rock assemblage of phosphate-bearing series; 2) the relationship between the phosphorite ore deposits and the transgression and regression due to the tectonic movement; 3) the latitudinal distribution of phosphorite and palaeoclimate conditions; 4) the palaeogeomorphic features of phosphorite deposition; 5) the geochemical conditions of phosphorite deposition; 6) the organic effects on phosphorite deposition; 7) the hydrodynamic conditions of phosphorite deposition; and 8) the phosphorus sources.