

讲座连载

《沉积建造学》讲座

第五讲 稳定陆壳克拉通盆地
的沉积建造 (一)

孟祥化 葛 铭

(中国地质大学 北京)

第一节 克拉通盆地稳定型建造概述

一、形成的背景条件

克拉通盆地具有地台型构造性质, 主要是稳定大陆壳板块区内以均匀沉降为主, 地势平坦、长期稳定、地形坡度很小的陆表海和内陆棚海。陆壳克拉通内部不发育断裂活动, 也没有火山喷发活动和岩浆活动, 因此不发育火山沉积建造类, 主要形成稳定型陆源建造和隐定型内源建造。建造的物源是古陆风化剥蚀区或由浅水陆表海水中直接或间接沉淀下来的内源沉积物。

这些陆源和内源沉积物的形成速度十分缓慢, 所形成的沉积建造体以固定型薄而分布广泛的席状体为特征。建造体分布的位置一般都没有发生巨大迁移, 建造中心与沉积盆地沉降中心基本一致。

二、建造格架特征

稳定克拉通盆地沉积作用的海平面升降变化主要取决于气候和天文学因素引起的旋回, 如上讲所述的Ⅲ级和Ⅳ级旋回。这种旋回构成的建造格架为完整性旋回结构, 各级旋回类型的层序界限和界面可以很清楚地追索数百公里以上, 界面通常显示出平滑、连续性(图1)。界面间往往是整合的、沉积连续的过渡关系。组成建造的沉积相和沉积体系, 不论是内源的或陆源的, 其相带展布和体系分布的消长关系均与盆地水深分带、滨线变迁协调一致。海平面变化和沉积物供应速率与盆地沉降速率均保持同步性。建造格架从中心部位向边缘部位逐渐出现沉积界面的间断, 其间断出现的级次取决于海平面逐步上升、下降的频率和范围(图2)。

三、建造的气候分带性

气候带对克拉通盆地的沉积建造形成和发育有重大影响。当克拉通地块随板块运动通过不同气候带时, 相应地可以划分出不同类型的沉积建造。

四、建造的陆源物质组成特征

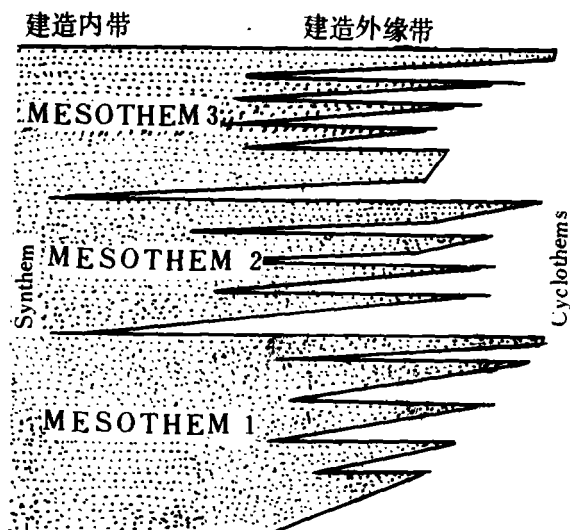


图1 克拉通盆地稳定型建造格架特征
 本图表示一个稳定型建造的格架是由二级、三级和四级旋回有规律的、稳定、连续的沉积旋回结构构成。Synthem 为二级旋回，Mesothem 为三级旋回，cyclothem 为四级旋回。
 (建造格架的沉积旋回级次划分参看本讲座第四讲表1)

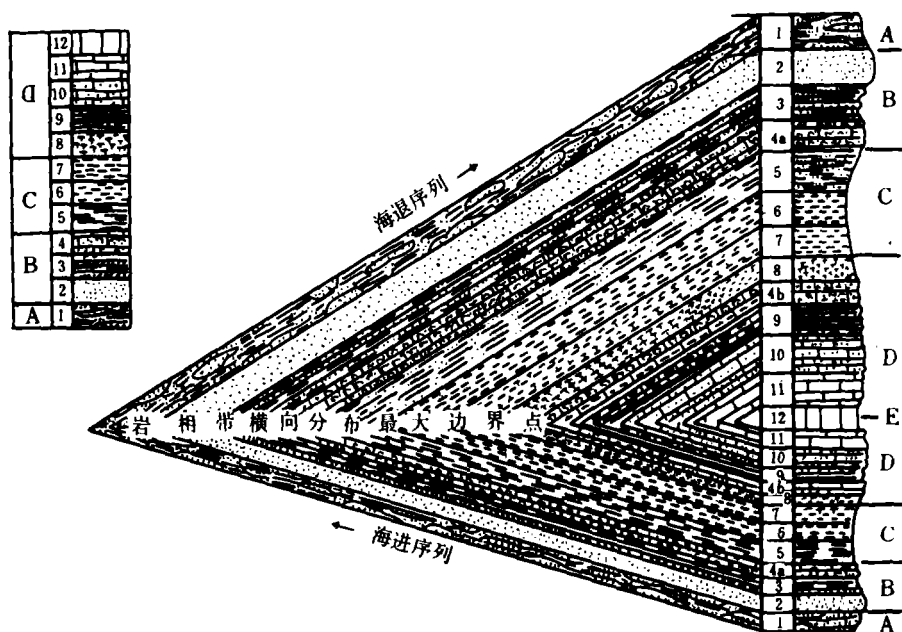


图2 克拉通盆地稳定型建造格架的一个四级旋回(cyclothem)的模型

具完整的海进序列和海退序列，岩相带的变化和迁移均具有缓慢、稳定、连续性的特征

陆源碎屑沉积以石英质砾岩、净石英砂岩、高岭石粘土岩组成的岩石共生系列为代表。它们通常都是一些成分成熟度和结构成熟度很高的碎屑岩。

砂岩层是建造层序中最重要组成部分，分布量最大。这些砂岩中很少和完全没有 F、R (L) 等不稳定组分。华北地区长城纪(常州沟组)、青白口纪(钓鱼台组至万隆组)、寒武纪、以及石炭纪等几个单陆屑建造砂岩层序的研究和成分定量统计，平均石英颗粒类稳定组分(Q)含量均在98%以上，次稳定组分(F)含量<1%，非稳定组分含量L(R)<1%。

砂岩层的沉积相主要属浅滩、滨滩及碎屑潮坪、碎屑滩浅海沉积，具有较高的粒度分

选和极低的粘土杂基。

一般基质概念在砂岩中是指 $<0.03\text{mm}$ (或 $<0.02\text{mm}$) 的细粒部分, 因 0.03mm (即 $30\mu\text{m}$) 近 5ϕ , 使用 ϕ 值时容易计算, 所以目前均采用这个粒级界线值。根据现代大地构造旋回环境认识, 砂岩成因分析中粘土基质的意义和地位已经引起普遍重视, 把砂岩的基质质量做为判别沉积大地构造环境稳定性和活动性的重要指标。把完全缺乏杂基质的砂岩称为净砂岩或纯砂岩。

净砂岩在稳定型陆源建造中经常可以出现: (1) 蛋白石和玉髓胶结的纯石英砂岩、石英胶结的纯石英砂岩及次生加大石英型石英岩; (2) 碳酸盐胶结的纯石英砂岩; (3) 硫酸盐胶结的纯石英砂岩; (4) 氧化铁胶结的纯石英砂岩; (5) 硫化铁胶结的纯石英砂岩等。此外, 在稳定型建造中常常形成有海绿石石英砂岩或石英海绿石砂岩。如海绿石达 $40\text{--}50\%$ 以上可称海绿石岩。

五、建造中普遍共生组分——海绿石质岩和海绿石质沉积物

海绿石质沉积物是典型稳定型建造的标志。根据近年研究发现, 海绿石沉积物的形成速度是很缓慢的。海绿石依产状有不同类型: 首先可以划分为原地海绿石 (autochthonous glauconite) 和异地海绿石 (allochthonous glauconite)。

原地海绿石按产状有颗粒 (grains)、团粒 (pellet)、色素 (pigments)、包壳 (coatings)、以及化石或矿物中的穿插物 (penetrations)。原地海绿石的颗粒为充满裂纹的裂隙颗粒 (lobate grains), 较共生的其他颗粒个体大而且形状不规则。裂隙为放射状的环带, 边上宽, 向中心尖灭。较大颗粒裂隙也较宽和较深。裂隙可占海绿石体积的 35% 左右。小球状海绿石 (globular glauconite) 为不规则散布在胶结物中或海绿石色素中的球状、椭球状、茧状或卵形的小球, 但有时聚集成斑点状或串珠状等集合形态, 也称小球状结构。

海绿石色素为极细小的海绿石, 可能为粘土等细小物质蚀变而成。

海绿石团粒 (glauconite pellet) 系由泥团粒、粪团粒、黑云母片等在原地形成的, 团粒粒度多为 $0.1\text{--}0.5\text{mm}$ 。费尔布里奇 (Fairbridge, 1967) 研究认为形成 2mm 大小的海绿石团粒可能要 $100\text{--}1000$ 年时间。

异地海绿石产状主要为颗粒或团粒, 是某些原地海绿石经过反复搬运、磨损或破碎的产物, 但有些海绿石色素也可能是海绿石团粒在磨碎过程中形成的。

根据最新海洋陆棚调查, 海绿石在开阔陆棚广泛发育, 主要形成在水深 $50\text{--}500\text{m}$ 的范围内。它的形成和分布被解释为水流碎屑输入与海水搅动能量的平衡作用的结果。

在封闭的近岸处, 碎屑输入 (河流入海) 超过了海解侵蚀。尽管存在适当的基质 (指形成海绿石的基质, 如粪粒、生物化石壳体、粘土等), 但海绿石并不能形成, 因为在近岸含Fe的碎屑输入带, 具有相当高的净沉积物堆积作用。在浅海陆棚水深 $>50\text{m}$ 处, 碎屑输入量减少, 同时, 簸选作用使沉积物在远处外陆棚边脊连续发生再分配, 使陆棚近脊处基质遭受长期充分暴露, 为发生海解作用创造良好条件, 十分有利于海绿石化作用的进行。

在更深的海洋部位 (陆棚斜坡深海部位), 海水搅动能量十分微弱, 被搅动沉积物早已发生堆积, 有适宜基质也不能再产生海绿石化作用。

现代大西洋中所形成的海绿石相及有关自生沉积物, 根据电子显微镜和X射线分析可以区别为不同的微弱构造类型和演化系列 (表1)。这些不同微相序列与不同碎屑输入和来源条件以及开阔海水动力循环状况有关。

调查证明,海绿石微相形成的局部地球化学状况决定于沉积物与海水界面以及与近岸冲积输入带等动力因素有关。海绿石相是典型海流循环性良好的开阔海洋环境。

这一环境的标志特征是:(1)海水介质的弱碱度 pH7—8;(2)适宜的 2:1 晶格构造的粘土矿物;(3)氧化还原电位 (Eh) 为相对氧化条件。形成这些标志特征的是开阔海水水流循环条件。开阔海水水流作用有助于形成海绿石的初始基质与海水充分进行离子交换。

Fe 离子是生成海绿石过程中的决定性元素。根据 Fe 离子的来源和海绿石形成作用的动力分带,可以将 Fe 离子的活动划分为五个带。

表 1 海绿石相及其有关相的成因分类

相	构造		自生矿物 (001) K ₂ O		继承性	环境		
海绿石相	颗粒状	高演化的	海绿石质云母 10 Å	演化方向 8% 6% 4%	无继承	开阔	无沉积的间断时间达 10 ⁵ —10 ⁶ 年	
		中演化的						
		低演化的						
		初生态的	14 Å 海绿石质蒙脱石					无沉积的间断时间为 10 ³ —10 ⁴ 年
	薄膜状	TOT 海绿石矿物		各种矿物		有间断的沉积作用		
磁绿泥石相	颗粒状	7.2 Å 磁绿泥石		常存在各种矿物		碎屑输入于海		
沸石相	多孔状	TOT 绿磷石		火山的		火山源		
绿泥石相	薄片状	14 Å 绿泥石		白云母		大陆的		
成因不明的	弥漫状	通常不能确定		通常为粘土矿物		各种的		

(据 G. S. Odin 和 A. Matter, 1981)

第一带①:是稳定 Fe,它以碎屑状态和胶体状态,并在重力作用、沉淀作用或生物吸收作用下迅速堆积。大陆来源铁质在近岸处由于高速率堆积,不可能与海水进行交换。因此,此带 Fe 是没有活化的铁。此带尽管在沉积物中存在有机质或 SO₄²⁻,铁还是过剩的,变成可溶的 Fe²⁺。

第二带②:在湿热气候的海岸和近岸海底,在水深 < 10m 处就发生了以化学和生物化学方式铁的沉淀。同时,此带也出现氢氧化铁、碳酸铁包壳的石英、鲕粒和团粒。

第三带③:以形成自生成因的结晶度很低的绿色磁绿泥石颗粒为特征。磁绿泥石形成作用与现今赤道带海域的河流输入来源有关。在埋藏成岩作用过程中,7 Å 的磁绿泥石转变为 14 Å 的绿泥石。

第四带④:包括有两个亚带,并且此带分布很广阔,比①至③带都广。此带最重要的地球化学特征是生成海绿石矿物。其中一个亚带围绕浅海陆棚外带和陆坡上部发育(陆棚铁质还能输送到达陆坡的上部)。其中的另一海绿石亚带形成于某些远洋高地、洋中脊和隆起并有新生 Fe 质来源供给的地方。

第五带⑤:形成于庞大(广阔)浩瀚的深大洋底部,那里铁质聚集形成铁锰结核和瘤,以及铁蒙脱石。

当海绿石形成作用过程中,初始基质成分趋向于以自生成分代替它的位置。关于能形成海绿石矿物族系列的特殊自生矿物问题,可以依据结晶学性质与蒙脱石-伊利石族系列进行比较:海绿石矿物族系列的晶格八面体与蒙脱石-伊利石矿物系列的晶格八面体相比,Fe

离子比 Al 离子多得多。海绿石形成的初始形式是海绿石质(化)蒙脱石,它是在蒙脱石基质的结晶生长过程中,化学性质不同的基质的细孔内首先发生海绿石化作用形成的。

海绿石相中的薄膜型海绿石和颗粒型海绿石就是继承性或无继承性的自生矿物品格细孔内,Al 离子被 Fe 离子和 K 离子的取代过程中的产物。这种取代最终使海绿石质蒙脱石($14\text{\AA}$)演化为海绿石质云母($10\text{\AA}$)。这种形成海绿石的演化是十分缓慢的,需要 10^3 — 10^4 至 10^5 — 10^6 年的过程。

因此,从海绿石生成作用的动力机制过程分析,海绿石沉积层形成的背景条件必须具有一个构造稳定的开阔海环境。这种开阔海陆棚必须保持有长期无沉积过程。长期持续的无沉积状况给海绿石生成和富集演化提供了动力机制条件。

由此可见,海绿石和海绿石岩是组成稳定型建造的重要亲生成员,是鉴定建造稳定性的重要标志。

六、建造的内源异化粒组成和风暴再沉积

克拉通盆地稳定型建造除了稳定的陆源沉积和特殊海绿石质沉积物之外,还普遍发育有浅海(水)高能环境下形成的各种异化粒组分。根据已有资料证明,稳定克拉通盆地的碳酸盐岩以及其它铁、磷、铝和蒸发岩主要是由高能量机械作用的内源碎屑结构构成——高结构成熟度组分,形成有高成熟鲕状岩、内碎屑岩。根据我国几个稳定型内源沉积建造的统计,高成熟度的鲕状岩和内碎屑岩丰度高达 80—90% 以上。

克拉通盆地的沉积建造形成于主要为长期稳定、水浅而面积广阔的陆表海,当该大陆板块移经赤道风暴带或两极风暴带时,必然发育形成高频率的风暴沉积层序和风暴岩。风暴沉积序列是稳定型建造的特有鉴定标志。

第二节 稳定型陆源建造

稳定陆源建造又称单陆屑建造类,主要由单一而稳定的陆源碎屑沉积——石英质砾岩、石英砂岩、高岭石粘土、海绿石岩等共生系列组成的稳定克拉通陆表海沉积。

俄罗斯台地侏罗-白垩纪、西伯利亚地台、北美西部地台以及我国华北地台、扬子地台都发育有稳定型陆源建造。图 3 表示出我国稳定陆壳上形成的几种稳定陆源建造类型的共生层序特征。

石英砂岩层是建造层序中最重要的组成部分。根据对华北地台长城纪、青白口纪(钓鱼台组—万隆组)以及寒武纪等几个单陆屑建造的石英砂岩层序的研究和定量统计,平均石英颗粒类稳定组分 Q 值均在 98% 以上, F 组分 < 1%, R 组分 < 1%。从沉积相分析,主要属浅滩、滨滩、碎屑潮坪、开阔浅海陆棚沉积。绝大部分石英砂岩和石英粉砂岩中均含有相当数量的海绿石。

砾岩在建造层序中分布量很有限,大部分仅产出层序的底部,常常与石英砂岩层呈过渡关系,成分单调,主要由颗粒支撑的石英质砾石构成,砾石磨圆度一般极高。

沉积建造的纵向层序特点是:韵律旋回结构简单,厚度薄而横向伸展稳定,相变十分缓慢,建造体在整个克拉通盆地范围连续分布。例如华北地台上几个时期的稳定陆源建造厚度都不超过数百米或数十米,而分布面积均超过数十万平方公里。

由于本类建造成分组成和层序的单一性及稳定性,因此被命名为“稳定单陆屑建造”

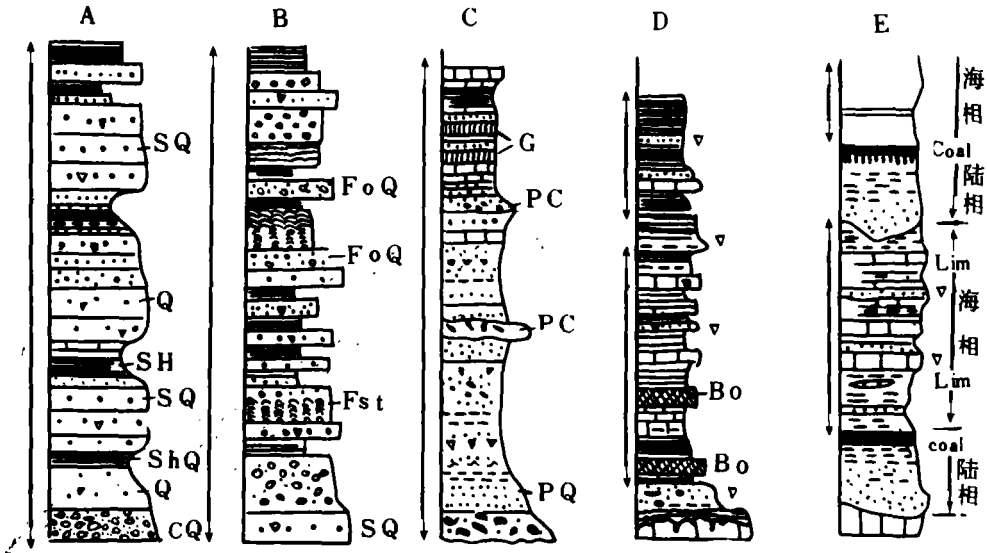


图3 稳定型陆源建造类的各种共生层序类型 (据孟祥化, 1982)

A-典型单陆屑建造, B-单陆屑铁质建造, C-单陆屑型含磷建造, D-铝土铁质建造, E-单陆屑型含煤建造 (又称海陆交互型含煤建造); Q-石英岩, G-海绿石质岩, Fst-藻叠层石铁岩 (柱状、波纹状); PC-磷砾岩; PQ-胶磷石英砂岩; ▽-海绿石; CQ-石英质藻岩; SQ-石英净砂岩; shQ-石英粉砂页岩; sh-页岩; Bo-铝土岩; FoQ-鲕状铁岩; Coal-煤; Lim-海相灰岩; 柱状图左侧 ▽ 代表海相, 其余部分为陆相

类” (孟祥化, 1979)。

稳定陆源建造具有低速率沉积共生特点。石英砂岩层中的许多石英碎屑颗粒都来自长期稳定的克拉通古陆和具多期旋回沉积历史。

同时,在建造层序中经常包括有与这些稳定陆源碎屑岩的沉积速率相似的内源沉积,如颗粒灰岩 (鲕状灰岩)、海绿石岩、磷灰岩 (包括磷块盐结核)、鲕状铁矿、肾状铁矿、铝土岩等。这些都是沉积速率共生表中沉积速率缓慢的岩石成员 (参见本刊 1989 年第 4 期 P₅₅ 表 1)。

稳定单陆屑建造类主要属大陆板块位置经过潮湿型气候带时形成的产物,按其岩石共生性质构成的差别可以区分为图 3 所列的 5 类建造。

单陆屑铁质建造 主要共生有沉积鲕状赤铁矿和肾状赤砂矿、鲕海绿石岩的石英砂岩-高岭石粘土-海绿石岩共生系列。建造中铁矿层及含铁层主要形成在滨海、浅海石英砂浅滩及与其滨外泥质沉积相带之间的交替带内。

华北中元古代长城系及华南泥盆系均发育有典型单陆屑铁质建造。加拿大元古代索克曼组也属这类含铁建造。

此类建造中的含铁层系的沉积结构和构造特点与碳酸盐岩的十分相似。如与颗粒灰岩结构类型相似的有铁质的泥晶型、内碎屑型、球粒型、团粒型和鲕粒型;与粘结灰岩相似的有铁质层纹叠层石、铁质柱状叠层石及铁质藻核形石豆粒等。这些结构类型的简要特点见表 2。

如碳酸盐岩一样,含铁层是内碎屑和异化粒类型,是机械沉积产物。这些铁质颗粒的力学性质同碳酸盐软泥、沙和砾石相似。豆粒型和叠层石型铁质物与碳酸盐豆粒和叠层石碳酸盐岩一样是藻类粘结作用形成的。索科曼组铁质层的沉积相模式如同碳酸盐岩一样可

表 2 含铁层的结构类型

1. 泥晶型：沉积下来的软泥，颗粒太细，成岩后不能保存下来。
只有纹理和层理是可以看得见的沉积构造，各处都有小规模交错层理。
2. 团粒型：粉沙或极细沙大小的团粒状结构。
3. 内碎屑型：含砾石大小的碎块（内碎屑），它的内部结构表明来源于几乎是同时形成的沉积物。碎块（内碎屑）可能被包在泥晶基质里，也可能被成岩作用期间带进来的胶结物胶结起来。
4. 球丸型：含沙粒大小碎块（球丸），没有内部结构。球丸可能被包在泥晶型基质里，也可能被成岩作用期间带进来的纯净的燧石质胶结起来。
5. 鲕粒型：含有同心状层纹的鲕粒，被固定在泥晶型基质中，或更常见的是被成岩作用期间带进来的纯净燧石质胶结起来。
6. 豆粒型：含豆粒体（具有同心状层纹，与鲕粒相似，但比鲕大，可能是蓝绿藻产生的），被固定在泥晶型基质中，或被纯净的燧石胶结起来。
7. 叠层石型：波浪状、圆柱状，或指状的叠层石。

以划分出 X、Y、Z 相带（广海低能带、高能带和滨岸低能带）。

广海低能带（又称浅海陆架区）：为泥晶型含铁沉积。

高能带（又称前滨带）：为粗粒的鲕状赤铁岩或球丸状碎屑铁质岩。它们常夹在陆架软泥或沙之间。风暴波浪底之上的泥质浅滩，在其受风力作用的边缘上能形成“风暴层”。这种风暴层通常由很粗粒含泥的沙层或含泥的砾石层组成，一般分选得不好，但往往出现粒级层。凡是受风暴侵蚀并缺少泥质沉积物的地区，鲕状铁质岩中的泥质基质物就不存在。

滨岸低能带（也称泻湖台地）：这是叠层石铁质岩和层纹石铁质岩发育带，也是以泥晶型铁质岩与团粒铁质岩交互层沉积的地带，发育有扁透状层理。

我国华北地区元古代宣龙式铁矿的沉积结构与碳酸盐岩的结构类似，也可以按碳酸盐沉积模式解释其形成环境。孟祥化（1979）在《沉积建造及其共生矿床分析》一书中指出，宣龙式铁矿层的沉积古地理环境明显代表海滨浅滩、潮间带及海湾沉积的特点，其矿层的成因结构类型可以划分为：

- （1）波纹藻铁质岩：泥晶铁质层纹呈连续半球状（LLH 型）；
- （2）柱状藻铁质岩：柱状叠层石铁质岩；
- （3）鲕状铁质岩：发育良好的人字形交错层理；
- （4）泥晶型铁质岩。

长期以来，在文献中和有关教科书中，都把宣龙式铁矿称为胶体沉淀的肾状铁矿。但是根据比较沉积学方法进行观察发现，所谓肾状结构都是藻叠层石构造，其形成特征完全与元古代广泛发育的叠层石碳酸盐岩相一致。所谓肾状构造都是由泥晶铁质薄层和粉砂组成，泥质薄层相叠覆的微层构造，凸面向上穹起，顶部厚度增大，而向侧部变薄，并且穹起方向始终指向上层面。穹形微层有连续延伸和间隔断开两种。前者属于 LLH 叠层石（波纹状叠层石铁质岩），后者属于 SH 叠层石类（柱状叠层石）。SH 型叠层石铁质岩藻间充填物由石英砂粒及赤铁矿粒组成。从矿物及化学分析资料来看，SH 型铁质岩藻体部分以含赤铁矿为主，LLH 型铁质岩以磁铁矿为主，在基质部分中均以磁铁矿为主。粘土矿物及石英在藻体部分中的含量均低于基质部分。藻叠层石铁质岩中的藻体和基质部分，褐铁矿及方解石的含量均明显低于鲕状铁质岩。以化学成分比较，LLH 型与 SH 型的重要区别为：FeO、

MgO、MnO 的含量前者均高于后者； F_2O_3 、CaO 的含量却前者低于后者；TFe 含量一般也前者低于后者；从微量元素组分关系来看，SH 型铁质岩中 V、G、Pb 偏高，LLH 型铁质岩中以 Ni、Co 偏高为特点。

鲕状铁质岩及豆砾状铁质岩主要代表高能滨外浅滩环境，即相当欧文的 Y 相带。此带主要分布在沿宣化、龙关至井径一线，为含铁沉积的主线。在此主线（Y 带）的两侧或西北侧主要发育 LLH 叠层石铁质岩和泥晶型铁质岩构成欧文的 Z 相带，主要为潮坪环境。SH 型叠层石铁质岩，特别是分叉柱状叠层石铁质岩，位于潮坪与高能浅滩相的交错部位。在鲕状铁质岩高能相带的外侧（东侧），为远滨含菱铁矿的灰岩相，相当欧文的 X 带（图 4）。

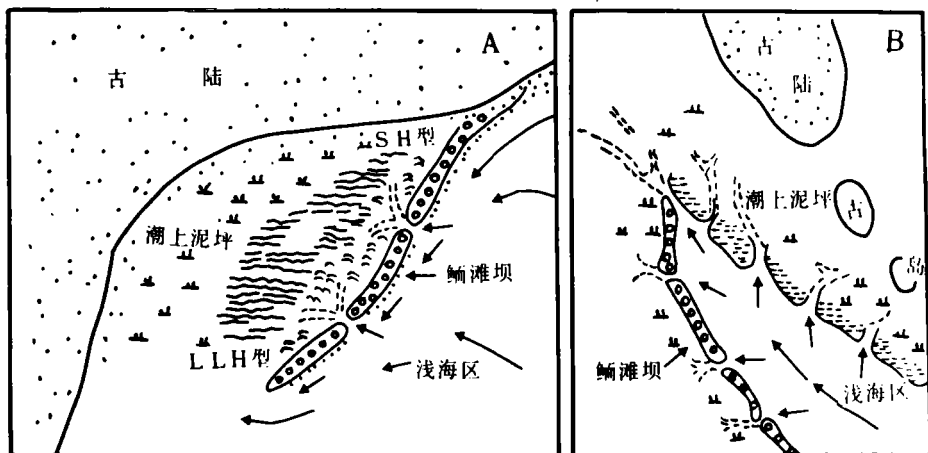


图 4 滨海 浅海铁质沉积相古地理示意图

A 为华北中元古长城群宣龙地区铁质沉积相带（据孟祥化，1985）；B-加拿大元古代索克曼组铁质沉积相带（据迪姆罗恩）；LLH 型-波纹状叠层石铁质岩；SH 型-柱状藻铁岩

我国古生代含铁鲕状沉积（如南方泥盆纪）也具有上述相似沉积环境。南方泥盆纪铁质沉积相带（自古陆边缘至盆地中心）分为：页岩相及紫红色砂岩相→砂质鲕状赤铁矿相→富钙鲕状赤铁矿相→菱铁质→鲕绿泥石相→蓝灰色砂质页岩或铁质白云岩相。与元古代铁质沉积相带的区别在于：华南泥盆纪沉积中没有发现铁质叠层石型相带，这可能是由于地质历史上古生代以来藻类发育和其粘结作用衰退引起的。

单陆屑铁质建造体及其格架 根据我国两个含铁建造相序列、沉积旋回分析，建造具有席状体态，整个建造可划分为若干三级旋回和更多的次级旋回。各旋回基本上（由下而上）为以石英砂岩为主→以页岩为主（→以灰岩、白云岩为主）^①的变化序列组成。各铁矿层大多分布在每一个旋回的中部或中下部。韵律旋回结构在建造横向上变化很大。建造体在水平方向上从稳定区向次稳定区过渡时可以划分为若干亚带（图 5）。

单陆屑铁质建造的主要含铁矿层和铁矿区主要分布在稳定克拉通盆地的亚带中。

单陆屑含磷建造（又称含磷单陆屑建造） 此建造系由厚度不大（一般仅几十米）的石英砂岩、粉砂岩、薄层海绿石岩、高岭石质粘土以及泥灰岩、灰岩所组成。主要出现在古大陆板块的稳定克拉通盆地内，如俄罗斯地台侏罗纪—白垩纪、华北地台的震旦纪—早寒武世、扬子地台的晚震旦世都有本建造类型的发育。

① 括号内成员有的建造剖面上不一定发育

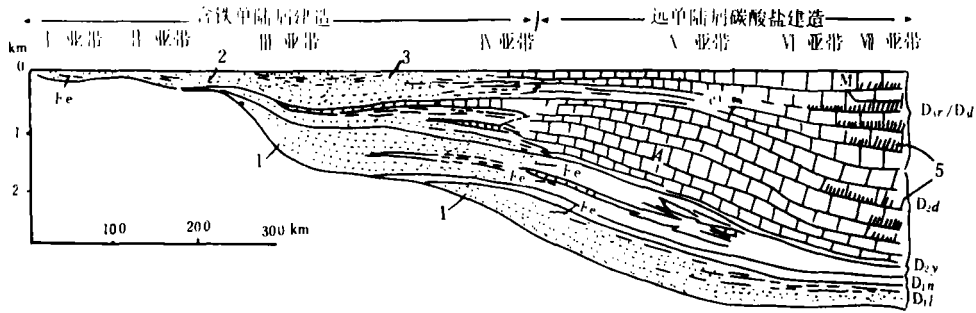


图 5 华南泥盆系单陆屑建造及远单陆屑碳酸盐建造剖面

- 1-单成分砾岩或砂砾岩; 2-石英砂岩; 3-粉砂质页岩及泥岩; 4-灰岩及白云质灰岩;
5-硅质岩、硅质页岩; Fe-鲕状赤铁矿、豆状赤铁矿; M-碳酸锰矿; P-磷矿; V-钒矿

单陆屑含磷建造是华北地台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的海侵层底部形成的席状稳定陆源沉积组合, 其中包括吉林、辽宁的碱厂组、水洞组, 河北昌平组, 山东、苏北、皖北的五山组、贺兰山组, 山西和河南的辛集组沉积地层。根据 14 个样品统计, 碎屑模型为 Q_{96} , $F_{2.96}$, 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, 以及磷酸盐化生物壳体(软舌螺、介壳类)中。

根据详细剖面层序研究, 含磷建造由若干三级旋回和四级旋回构成。每一个四级旋回又由两部分组成: (1) 下半部为海侵旋回, 从冲刷海岸开始进而出现内陆棚高能滨海浅滩, 浅滩堤主要是由粗碎屑组分构成的含胶磷矿胶结的砂岩型磷矿。随后海水继续侵漫形成远滨外浅海泥砂质沉积, 并发育海绿石沉积和介壳沉积; (2) 上半旋回代表海退沉积, 以含氧化铁质碎屑为主或形成含磷铁质沉积。在下半部旋回中及顶面普遍发育干裂构造、波痕构造和雨痕构造等, 标志海退环境的特征。

在个别旋回中, 如第三个四级旋回中, 常常出现复杂沉积结构的磷砾岩层。这种磷砾岩层是最富的磷块岩矿层, P_2O_5 品位可高达 24—29%, 平均可达 18%。按其结构和成分可以划分为三种亚型: 胶磷质砾岩型、生物磷质砾岩型和杂磷质砾岩型。

胶磷砾岩亚型 主要由纯胶状磷砾石、含粉砂的胶状磷砾石、胶磷石英岩屑及板状纹层状胶磷矿碎屑组成, P_2O_5 含量有 10% 以上。

生物介壳磷砾岩亚型 主要由各种磷质生物介壳和其碎屑组成, 含磷品位很高, 可达 19% 以上至 29%。

胶磷砂岩型是正常天气滨浅滩砂被磷酸盐孔隙沉淀胶结而成(图 6-A)。而胶磷砾岩型磷矿层是风暴潮时已形成砂岩型磷矿层发生再改造、再沉积富集而成(图 6-B)。

单陆屑含煤建造(又称海陆交互型含煤建造) 本建造为稳定陆源建造类的重要类型之一。它是由煤层、碳质页岩(泥岩)与海陆交互相的单陆屑沉积序列交替组合而成。

建造岩石组中普遍以含石英砂岩和粉砂岩及高岭石粘土为特征, 此外也与海相石灰岩、粘土岩、海绿石粉砂岩及燧石灰岩等组分密切共生。

本建造属稳定构造区海陆交替的潮湿气候带的建造类型, 以发育巨型到大型煤田为特征, 此外还共生有耐火粘土矿床。

建造中的石灰岩层实际上是含煤建造的它生成员, 它代表海侵期由邻近陆源碳酸盐建

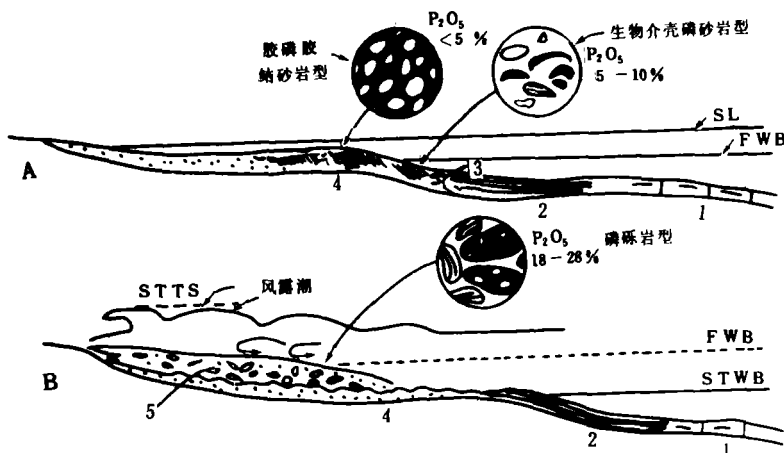


图6 单陆屑型含磷建造两类沉积磷矿层的不同形成模型

A-为好天气正常沉积模式；B-为风暴天气风暴潮再改造和再富集过程的模式。1-开阔浅海含生物石灰岩，含海绿石；2-近滨含磷粉砂页岩，含海绿石；3-生物磷质介壳粉砂岩；4-胶磷矿孔胶结的石英砂岩；5-磷砾岩型磷矿层（包括胶磷砾岩型和生物介壳砾岩型及杂磷砾岩型）

造伸入到本建造的碳酸盐沉积成员。

我国北方和南方石炭纪含煤建造、西北欧石炭纪含煤建造、英格兰约瑞德尔系和北美宾夕法尼亚系的含煤建造均属本类型建造。

本类建造格架具有典型的稳定型格架特征，形成 Cyclothem（四级旋回）、mesothem（三级旋回）、Synthem（二级旋回）等多级旋回。1989年作者考察了英格兰地区该建造的 Cyclothem（又称“约瑞德尔旋回”），它是一个 50 万年沉积周期，由缓慢海退沉积（侵蚀—冲积—沼泽—滨岸）和迅速海进沉积（滨岸—近滨—远滨）组成的完整旋回层序（图 7、8）。此类旋回结构十分清晰稳定，在全西北欧地区都可以连续追索，在北美和中国地台区也十分相似，并且普遍存在由上述四级旋回分别构成更大级别的三级和二级旋回。此类建造的旋回格架主要是由于大陆冰席增长和衰减以及全球构造原因引起的。

从建造的垂向变化来看，建造格架自下而上为以陆相为主的沉积旋回（以本溪组为主）→海陆交替的沉积旋回及部分浅海相的沉积旋回（以太原组为主）→陆相的沉积旋回（以石盒子组为主）。从图 9 可以看出以四级旋回为基础所构成的三级旋回的海侵点位置明显地从克拉通盆地陆表海范围规律性的退缩（或称进积序列），表示中石炭世至晚石炭世大陆板块的上升和海平面的下降。这一变化规律在全球石炭纪含煤建造发育区具有统一性。

建造格架分析表明：建造内煤层的分布与沉积旋回级次、石灰岩层的层数和厚度均有密切共生规律。当海相灰岩层数增多及含灰岩系数增大时，煤层层数亦增多。但是，煤层单层厚度和含煤系数之间的关系恰恰相反，当石灰岩层愈多和煤系厚度很大时，煤层的单层厚度却减少，同时含煤系数也大大降低（详见表 3）。例如，太原组的最厚煤层不在淮南、徐州和鲁南一带含海相石灰岩层数最多的建造外缘带内，而在清水河、大同、京西、南票等陆相与海陆交互相交界的建造内带，这里不发育或仅含很少的石灰岩层。由此可见，海侵频繁地段不宜于聚集厚煤层，最有利于厚煤发育的条件是海侵频率递减或已断绝，陆相沉积占主要地位或已完全相变为陆相的地带。不含或少含石灰岩层的富煤聚集带，一般标志地壳稳定性加强，沉积环境处于由海陆交互相逐渐转变为陆相的稳定时期，这种环境和

条件最适于形成大型稳定沼泽相沉积。在空间分布位置上，大型稳定聚煤区，应受建造形成发展的海进、海退规程的控制。

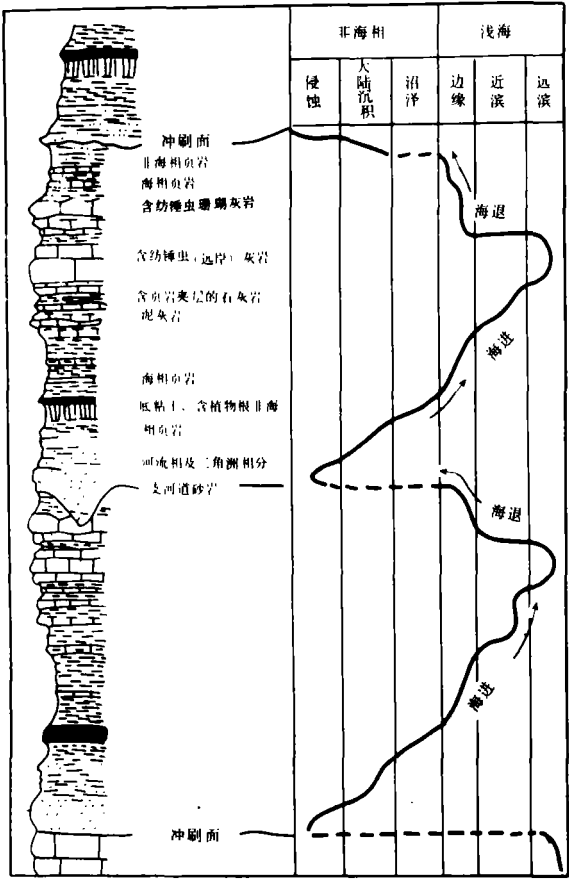


图 7 单陆屑型含煤建造中的四级旋回 cyclothem 图解

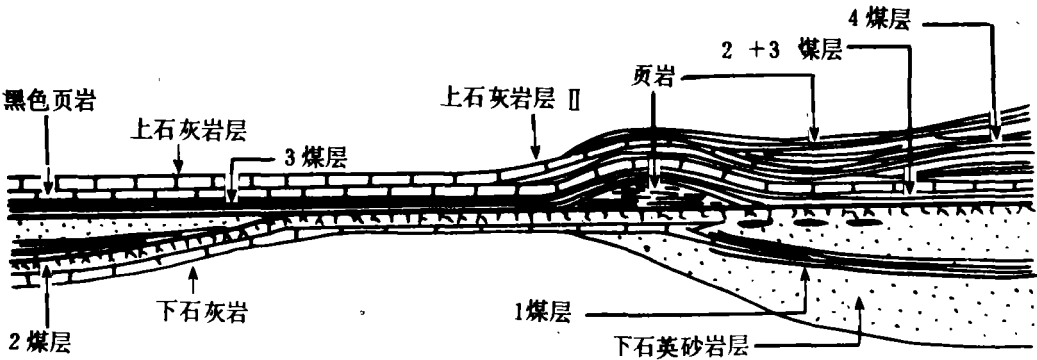


图 8 单陆屑型含煤建造中一个四级旋回 Cyclothem 的横剖面模型 (据 Wanless)
旋回内部横向上岩相间稳定地缓慢渐次分叉特点

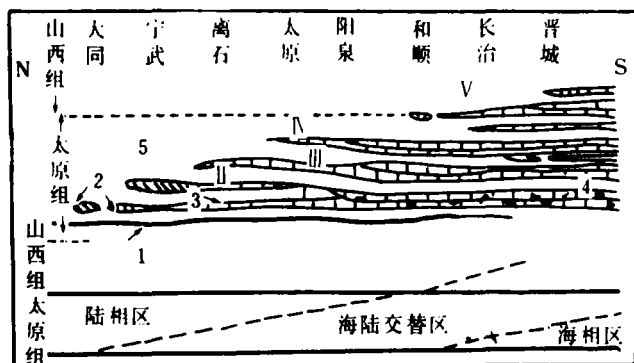


图9 单陆屑型含煤建造中三级旋回 mesothem 的横剖面模型 (据孟祥化, 1979)

1-煤层; 2-海相钙质页岩; 3-泥灰质页岩; 4-含燧石结核灰岩; 5-陆相冲积砂岩、粉砂岩、泥岩

表3 华北晚石炭世含煤建造、含灰岩系数、含煤系数、煤层厚度的变化资料

项 目 \ 地 区	淮南	贾汪	新泰	淄博	开滦	平顶山	焦西	汤阳	峰峰	灵石	井陘	宁武	大同
石灰岩总厚度 (m)	83.9	56.95	12.3	5.95	0.92	13.46	15.33	23.06	21.6	15.08	5.07	3.18	0
层 数	11	9	3	4	2	5	4	8	7	4	2	1	0
含灰岩系数 (%)	62	39	6	6	3.7	20	17	19	17.6	20.3	7.5	3.7	0
分层最大厚度 (m)	20.6	14.98	4.7	2.5	0.69	5.26	8.38	7.21	7.3	6.3	3.45	3.18	0
煤层总厚度 (m)	7.66	4.76	8.31	2.57		2.96	0.25	3.41	9.43	6.44	10.91	15.43	28.5
层 数	10	8	19	7		4	3	6	12	3	6	2	3
含煤系数 (%)	5.6	3.27	4.0	2.0		4.4	0.7	2.8	7.8	8.8	11.3	18.2	23.8
分层最大厚度 (m)	0.88	0.67	2.1	0.74		1.58	0.1	0.69	1.64	1.5	5.02	10.0	2.40

根据作者等近年对华北区石炭纪含煤建造剖面研究, 在许多旋回层中的石灰岩及碎屑岩层均发现有风暴沉积记录 (孟祥化, 1987)。大型凹面层理 (Swelly bedding) 和丘状层理层序的广泛发育, 进一步证实建造形成于稳定克拉通盆地的背景条件。