讲座连载

《沉积建造学讲座》

第四讲 建造格架分析

孟祥化 葛铭

(中国地质大学)

一、建造格架分析的依据和目标

建造体的形态及其内部时空层序研究是沉积建造学研究的主要内容。

第三讲结尾,已经谈到建造体态的类型和其形成背景条件的关系。本讲将进一步讨论建造体几何形态的内部层序格架(或称构架)。建造内部层序格架包括岩相共生组合在水平(空间)与垂直(时间)方向的自然展布、相序的交替特征和沉积体系的叠覆层序关系。

研究和分析建造体的内部层序格架的一个重要方法就是研究沉积作用与海平面变化的关系。因为全球和区域海平面变化是建造体内部层序和格架形成的基本原因。

与沉积作用有直接关系的海平面变迁问题,涉及到沉积大地构造、全球构造演化、沉积物供应状况、古地理、古气候演化以及天文学和宇宙地质学等多方面因素。

古气候变迁及天文变化因素所引起的海平面变化及其沉积记录,将为建造层序鉴别和对比提供基础。例如,在稳定大地构造背景状况下形成的稳定型建造中已经鉴别出 Cyclothem mesothem 以及 Synthem 等多级次的沉积旋回。它们不仅具有区域和国际性对比意义,而且是鉴别、定型建造的重要标准之一。

全球海平面变迁和区域海平面变迁也受到地球内部因素,如全球构造运动升降、板块的扩张、聚敛、缝合以及地热能活动周期等一系列因素的影响与控制,其中以那些>10Ma 的周期性变动事件更为重要。由于这些因素的影响和控制,导致不同大地构造背景条件形成的沉积具有不同的海平面变化记录。在认识和鉴别这些海平面变化记录方面,最近已经取得新的研究进展,特别是近年来提出的鉴定不同的"沉积体系域"(Sedimentary systems tracts 或 depesitional systems tracts)的方法更为突出。

本讲的目标是应用现代沉积地质研究的一些新领域,如层序地层学、旋回地层学以及沉积大地构造方面的新成就来发展沉积建造学,建立沉积建造格架的分析方法,建立不同大地构造背景形成的各类建造的格架模型。因此,将引用和讨论这些学科与所直接有关的一些问题,而不可能讨论它们的全部。

二、建造格架形成的级次分析

为了建立建造格架的时空关系和给予建造体形成时间、分布空间上的定量标准,必须根据沉积作用与海平面变动周期及其级次的关系来划分并确定建造层序格架。

根据近年有关海平面变化学术讨论会，特别是1989年5月6日在英国伦敦召开的《活动大陆边缘海平面变化和产物》学术讨论会上各家研究资料，我们可以把不同海平面变动周期和沉积旋回级次作如下归纳和划分(表1)。

表1 沉积旋回级次及其产生原因

级次和类型	产生原因	实例
第Ⅰ级旋回，>10^8年，超巨旋回	为地壳的主要升降旋回(main eustatic cycles)，与大陆壳裂开有关	燕山蓟县碳酸盐建造(2×10^8年)松辽复陆屑建造(1.7×10^8年)
第Ⅱ级旋回，10^7—10^8年，巨旋回[Supper cycles(vail,1977)synthem](Ramsbottom,1979)	为地壳升降旋回(eusfatic cycdes)，10－100Ma，由于全球大洋中脊扩张体系及板块俯冲作用所产生	太平洋中脊红泥微晶碳酸盐建造($n\times10^7$年)，阿尔卑斯复理石建造($n\times10^7$年)、磨拉石建造(7×10^7年)及碳酸盐建造的形成与淹没($n\times10^7$或10^8年)
第Ⅲ级旋回，10^6—10^7年，中旋回，mesothem (Ramsbottom, 1—10Ma,1979)	可能由于洋脊变迁或大陆冰盖的增长与衰减有关	相当于一个海相或陆相磨拉石组合。克拉通白垩系建造内的三级旋回，7Ma(western Interior)。各种海平面状态下形成的沉积体系
第Ⅳ级旋回，10^5～10^6年	为迅速升降运动，产生于大陆冰席增长和衰减，或被三角洲侵蚀	相当于克拉通盆地白垩系沉积的四级旋回(western Interion)，丁家滩剖面的一个风暴碳酸盐旋回，Cyclother (0.2— 0.5Ma，Ramsbottom,1979)
第Ⅴ级旋回，<10^5年	古水流、古河道、三角洲水道地球轨道周期变化	河流沉积旋回、三角洲沉积旋回、生产率旋回、进积旋回、氧化还原旋回

上表，所列沉积旋回的级次，从时限和规模而论，第Ⅰ、Ⅱ级旋回相当于一个沉积建造类型的时限或相当于一组建造形成的时限，是划分建造及建造序列时必须加以考虑的。特别应该指出，第Ⅰ级旋回实际相当于全球或区域构造运动的周期，即相当地质历史的一个“造山旋回”和“造陆旋回”。作为其相应的地质建造应该是一组建造系列，按板块构造观点，它们代表一个全球或区域板块构造演化周期。

第Ⅰ、Ⅱ级旋回也相当Funnell(1981)所提出的“autocorr elation”，代表>10^6或10^7年旋回周期。第Ⅱ级旋回也相当于Vail(1977)提出的巨旋回，或相当于Sloss提出的序列(Sequence)。显然Ramsbottom(1979)提出综合旋回(Synthem)也隶属于第Ⅱ级旋回。

第Ⅱ级旋回可能与全球板块构造大洋板块中脊中心扩张体系产生的海平面升降运动有关，也与洋脊扩张引起大陆边缘的俯冲作用影响海平面升降有关。与这一级次旋回时限相当的建造有红泥一微晶碳酸盐建造($n\times10^7$年)，有阿尔卑斯的复理石建造($n\times10^7$年)和磨拉石建造(7×10^7年)。关于构造运动、板块构造和洋脊扩张与海平面变化关系已有很多研究成果。

根据Pitman(1978)的计算，全球性海平面降落曲线与全球海岸线和大陆边缘(Cotinentael edge)变化有同步关系，表明中—新生代最大海侵发生于缓慢海平面降落时期。Hallam(1963)、Russell(1968)、Valentine和Moores(1970、1972)以及Rona(1973)均认为海平面升降变动与洋中脊扩张速度有关，低海平面期与洋脊扩张速度变缓时期相关；洋脊扩张速度加快时期，洋中脊体积可以以三倍速度急增，必须导致海平面的增高。现在普遍认为据今以前110Ma—85Ma之间，从全球构造分析，是一个洋脊扩张速度最快时期。海平面比现在曾增高300m。

表中的第Ⅲ级旋回和第Ⅳ级旋回，相当于 Ramsbottom(1979)所提出的克拉通陆表海盆地的“中旋回”(mesothems)和“旋回”(Cyclothem)。一个中旋回的相当时限为 1—10Ma，而一个旋回为 0.2—0.5Ma。近期对被动大陆边缘沉积过程的详细研究表明，大陆边缘“沉积体系”(Sedimentary systems)和“沉积体系域”也都属于第Ⅲ级旋回或第Ⅳ级旋回的形成物。事实表明，不论“旋回”、“中旋回”还是“沉积体系”或“体系域”都是某一特定沉积建造体内层序格架的组成部分或组成单元。

第Ⅲ级旋回和第Ⅳ级旋回层序大部分起用于地球表面气候变化周期，即与大陆表面冰盖的增长与消融所引起的海平面迅速升降有密切关系。例如，著名的石炭—二叠纪含煤建造内格架发育的约德瑞尔旋回就相当一个综合旋回，其沉积周期时限为 10^5 年，大体上相当于石炭—二叠纪的冰期与冰间期海平面升降变化周期。在近年，对大陆边缘盆地沉积作用的研究已经普遍应用了第Ⅲ或第Ⅳ级旋回周期的分析成果，并建立了反映相应旋回周期内海平面变动的高海平面体系域、低海平面体系域以及过渡海平面体系域。这些不同海平面变化时期的体系域的鉴别给予恢复建造内部层序格架特征提供了新方法。

当然应该指出，第Ⅲ级旋回特别是第Ⅳ级旋回形成原因和类型除了古气候、冰期与冰间期引起的海平面变化而外，还有地球轨道周期性变化产生的旋回，如 40 万年偏心率旋回所形成的层理超速旋回层序和 10 万年偏心率旋回所形成的层理超速旋回层。但是目前可信程度较大的多属于几万年或几千年变化周期的旋回，即属于第Ⅴ级旋回的范围内。例如，像从意大利 Umbrium 序列对层理对和层理束的研究中所建立的时限 2 万年岁差周期(Berger，1978；Herberf 和 Fisher，1986)。

三、建造格架类型及其鉴定标准

构成建造体格架的主要是第Ⅳ级旋回和第Ⅳ级旋回层序单位，但是这些Ⅲ级旋回和Ⅳ级旋回层序单元(位)，在建造体内的展布及其界限、界面关系是十分复杂而多样的，并且形成不同的建造格架类型。

稳定克拉通型建造格架(图 1)

稳定克拉通盆地具有稳定均一、缓慢沉降的构造背景，以长期发育陆表海为特点。沉积作用缓慢，沉积物供应速度缓慢，沉积作用的层序性主要决定于气候和天文学因素引起的海平面变迁。这种背景条件下的建造格架有以下基本特点：1)建造格架由典型的“旋回”、“中旋回”以及“综合旋回”形式的各级旋回构成；2)各级旋回类型的层序界限和界面(bounolering)通常是平滑、连续而隐蔽过渡性质，特别表现在建造格架的中心部位上的层序关系缺乏明显地各种形式的不整合——间断界面；3)沉积建造的中心与盆地中心大体呈一致分布关系；4)陆源碎屑沉积体系或内源沉积体系的相带展布和其相互消长关系与盆地水深分带和滨线位置的变迁成协调一致的变化；5)海平面变化与沉积供应速率、盆地下降速率均保持同步关系；6)海平升降过程所引起的海进—海退沉积的水平方向的迁移范围十分广阔；7)海进—海退的旋回层序完整，发育完整的全旋回；8)建造格架从中心部位至边缘部位渐次出现各类层序界面的间断。格架边缘部位上的沉积间继现象出现的时间长短和级次，取决于海平面逐步上升或下降所能到达的位置和频度。

被动边缘型建造格架(图 2)

被动大陆边缘具有明显地伸展性质，张裂断陷、梯状断层十分发育，盆地内经常出现局

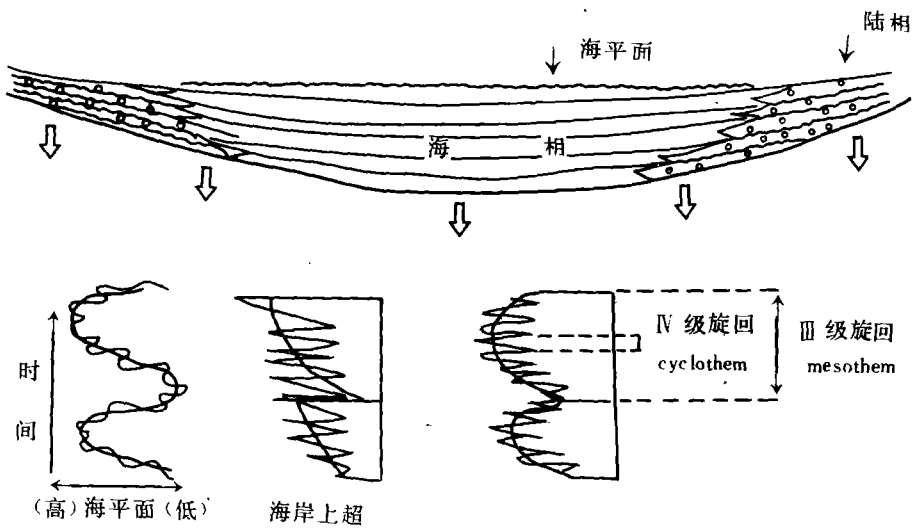

图 1 稳定克拉通型建造格架类型图(图例同图 3)

部或整体性的差异升降和陆源与内源沉积物供应速度的变异。这些特点加之来自大洋方向的热沉降效应,给被动大陆边缘海水深度变化、海平面变动带来各种复合效应。来自大洋方向的热沉降效应亦影响和导致海面的升降,使得建造体的相带、沉积体系经常发生位移、顶覆(toplap)、侧超(offlap),上超(onlap)、下超(downlap)和越过(bypass)等现象十分频繁而明显。因此被动边缘的建造格架内部绝少发育完整地旋回层序和全旋回,建造层序为各类间断不整合界面所分割。

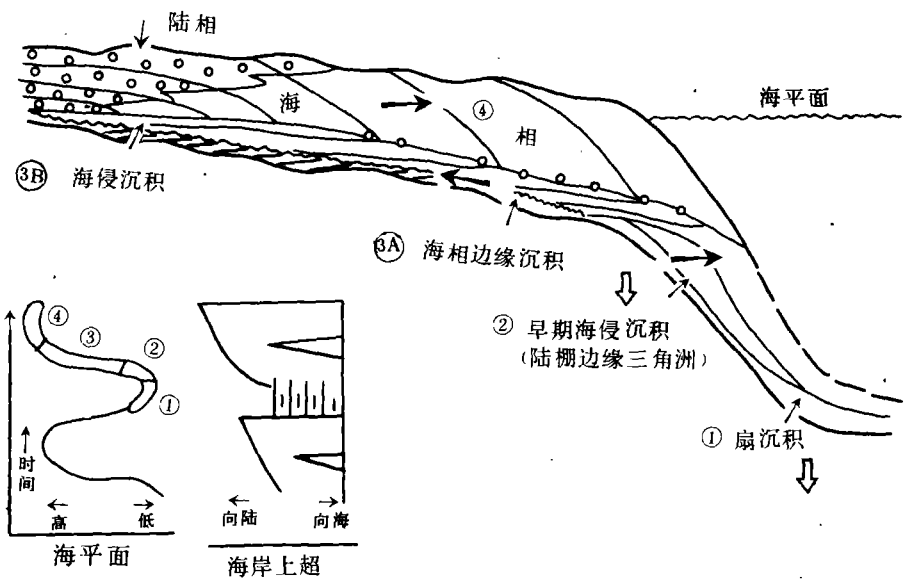

图 2 被动边缘型建造格架类型(图例同图 3)

尽管如此,由于海平面全球升降而形成的记录依然可以寻求。首先,在全球海平面引起

周期性上升过程中，被动边缘建造的底部沉积层序的边界常常遭受到最低海平面下落所发生的切割，低海平面把这些底部层序的顶部暴露于陆上侵蚀；其次，沉积层序的再次开始沉积始于海平面的回升；其三，海平面开始回升的速度是很缓慢的，与之相比所接受的沉积物则是超量的，因此产生陆棚沉积体系的向海加积和推进；其四，如果海平面再次降落并越之陆棚边脊(shelfedge)，则在海退的初期形成陆边缘脊三角洲沉积(shelfedge deltas)；其五，当海平面变化进入到主要上升时期，并且上升速度由于复合效应迅速递增，如沉积物供给速率保持不变，则该沉积位置将由海退进积转变为海进，滨面将向后(陆)迁移盖在滨后障壁泻湖和滨线沉积之上，形成一个峡谷蚀侵界面；其六海进将使海相页岩上超在峡谷侵蚀面上。但是这种情形的发生，必须是海平面上升速度加大到最大值时才有可能。海侵面与下伏序列界限的合并使得海侵体系域的沉积物可直接地沉积在盆地边缘的高水位沉积物之上；其七，在海平面上升速率加大，海侵速度加大，陆源或内源沉积供给相对较低时，常常在海侵面上出现凝缩层(又称收缩层 Condensed zone)。这是一种相对较薄、沉积物供给较少的远洋和半远洋泥质沉积，它的标志是有机质含量高、海缘石和磷酸盐等自生成分的增加、硬地构造的出现以及薄层微晶磷酸盐沉积物的发育；其八，在高位海平面过程中，当上升速度很低，沉积物输入与供应相应超量时，再次可以产生滨线向海的推进，则形成晚期海退陆棚沉积体系(downlaping)下超在凝缩层面之上；其九，在海平面再度下落时，上述沉积体系的上部边界层序将为陆上侵蚀所切割。

活动边缘前陆型建造格架(图 3)

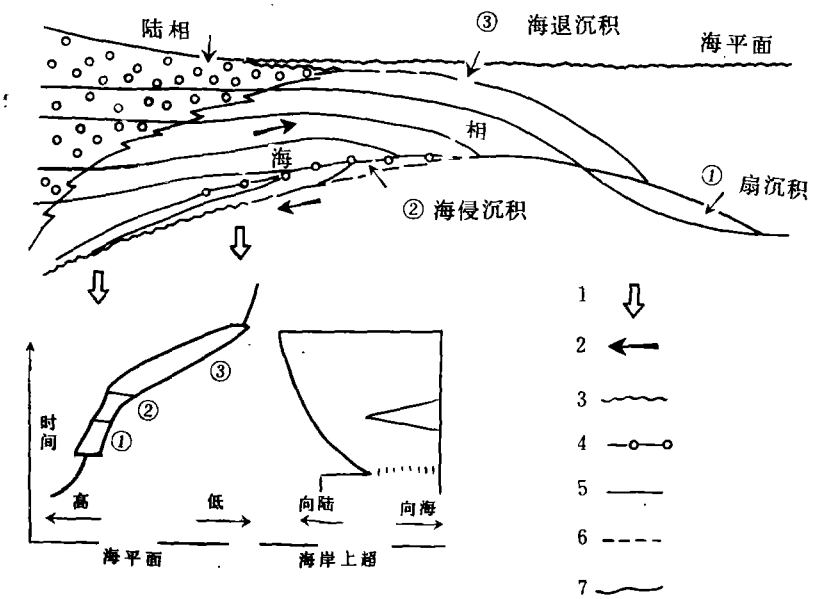

图 3　活动边缘前陆型建造格架类型

1-盆地沉降；2-滨线迁移方向；3-侵蚀峡谷面；4-凝缩层；5-整合边界；6-远滨海下侵蚀面；7-陆上侵蚀面

板块聚敛一俯冲的大陆边缘盆地，由于其活动构造背景——构造演化、岩浆活动及盆地发展动力学方面的复杂性，都远远超过克拉通盆地和被动边缘盆地，由此也必然导致活动边

缘沉积建造体格架构成的复杂性。一般说来，在研讨活动边缘型建造格架问题时，以下准则和标志是必须加以考虑的。

1)沉积大地构造控制在活动边缘的不同部位有强烈的差别和变化，如在弧前区具有较强构造控制作用，而在弧后带则构造控制相对很薄弱。最普遍的构造控制是走向滑动断层，并由它产生一系列弧状盆地沉积体系。

2)沉积物的注入和建造体的构成在很大程度上依靠火山喷发活动和浅海储存(storage)效应。建造格架的来源物质中，碎屑成分往往具有多旋回演化，晚期旋回多为早期旋回的成分。

3)建造格架内部的沉积间断和各种不整合界面发育频繁而具多样性。

4)硅质碎屑陆棚体系只有在成熟岛弧环境中形成，它们对于海平面波动的反映颇为灵敏，并且常常达到补偿弧形盆地下沉和倾向。

5)浅水碳酸盐台地系列，只有当两次俯冲构造间出现间隙或在隔开的碎屑沉积系统的背景条件下才能得以发育，大多数碳酸盐沉积体系呈缓斜坡或滨岸碎屑—碳酸盐体系。

活动边缘建造发育中的海平面变动规律是1989年伦敦国际学术讨论会议的主题。会议资料表明，近期对中美洲南部新生代岛弧体系的海平面变化分析研究已取得了很大进展。Donald I. P. Swift 等(1989)对威斯特利尔前陆盆地的研究表明，活动大陆边缘前陆建造具有完全不同于被动边缘建造形成的动力学机制。前陆型建造格架形成于由于受俯冲板块产生的 Sevier 造山带隆起(相当于一个活动边缘的岛弧褶皱带)的影响下形成的前渊拗陷，即前陆地区的下沉。因此盆地绞合部位(Basin—hinge)关系与被动边缘盆地是相反的。前陆盆地绞合部的东边为海域，而它的西部边缘邻近加积作用发育的滨岸平原，其下沉速度为盆地边缘最大地带。

上述相反的动力学机制，给前陆型建造格架带来了完全不同的特点。它与被动边缘者不同，其沉积层序边界常遭到海水面降落引起的切割，但缺乏层间不整合，形成巨厚的完整的碎屑楔状体(clastic wedges)。它们的形成背景条件是由于沿陆地边缘一侧发生有长期线状拗陷，沉积物棱柱体(sediment prisms)倾泻填充深部坳陷边缘所成。前陆型建造格架的组成碎屑有明显多次再沉积现象。沉积体系中从冲积扇、三角洲到滨面沉积，其沉积物发生一系列渐进的沉积分选。

表2归纳了三种类型建造格架的主要鉴定标准。

表2 三种类型建造格架的比较

格架形成的时限	$n\times10^7$ 年→$n\times10^8$ 年	$n\times10^7$ 年	$n\times10^7$ 年
构造背景	缓慢均匀沉降	大陆边缘扩张和沉降	俯冲聚敛前陆强烈沉降
构架发育	格架呈垂直席状上叠	格架向远洋边缘侧向叠加	格架向克拉通陆架侧向叠加
界面特征	只有在建造格架边缘部部位出现陆上侵蚀界面，格架内部沉积层序界面平滑连续	格架内部发育沉积间断不整合界面十分普遍，包括顶超、上超、退超、下超、沉积越过及凝缩层	只发育底超界面、即远滨海下侵蚀面
层序的旋回结构	发育完整全旋回，如：旋回、中旋回、综合旋回等多级次旋回结构。	以发育各种不完整旋回沉积体系为特点：高、低及过渡海平面沉积体域的不连续结构	主要为不完整旋面、主要为退积序列沉积体系，只有为数不多的海进沉积体系。

沉积建造的格架特征可以比较容易地应用地震地层学方法加以识别。建造格架的概念不仅有地质理论研究意义，也有油气及其它地质勘探工作应用价值。