

《沉积建造学》讲座

孟祥化

(中国地质大学 北京)

第十讲 发育于板块活动边缘 及岛弧系的沉积建造^①

板块聚敛俯冲带, 包括由大洋板块与大洋板块, 或大陆板块与大陆板块聚敛俯冲过程所形成的一系列沉积盆地: 深海沟、斜坡盆地、前弧盆地、弧后盆地以及前陆盆地。这些盆地内形成的沉积建造均由非稳定型的陆源建造、火山沉积建造和内源建造组成。

在中国境内和海域, 自北而南有四条地壳消减带: 1) 介于中国北部大陆区及其相邻的陆缘与西伯利亚—蒙古大陆南侧陆缘区之间地壳消减带; 2) 介于中国北部大陆区与中国南部大陆区, 大致沿昆仑、秦岭一线等地壳消减带; 3) 介于中国南部大陆区与西南方(冈瓦纳)大陆之间的, 以班公错—怒江为代表的地壳消减带; 4) 介于中国东部沿海的濒太平洋陆缘区, 都是板块活动边缘及岛弧系的沉积建造系列发育区。这些建造系列的形成标志出中国境内板块聚敛俯冲的演化和形成历史过程; 标志着在中国大陆形成过程中深海沟、斜坡盆地、弧前盆地、弧间盆地、弧后盆地以及前陆盆地等一系列活动性盆地的存在过程。

非稳定型陆源建造是聚敛俯冲带最发育的建造类, 其中包括混杂建造、陆源复理石建造、陆源磨拉石建造等。这些建造主要为多组分的陆源碎屑、火山碎屑和杂质粘土所组成的岩石共生系列, 因此又称杂陆屑建造。

非稳定型火山沉积建造类有大洋玄武岩建造(蛇绿岩套)、火山硅质建造, 以及火山复理石建造和火山磨拉石建造。

聚敛俯冲带的沉积建造具有狭长弧形带状体态和多种位移型建造体态。

非稳定型内源沉积物, 由于活动的构造背景条件, 一般较少发育成独立的建造。

深海沟以发育复理石建造为特点(图1)。它发育于大洋板块向下俯冲消减处所形成的狭长而深度极大的海槽内。这里形成的复理石建造组分中除了大部分是来源于岛弧前斜坡而外, 还有一部分来源于远洋沉积——厚度很薄的硅质沉积物和泥质沉积物。后者系来自深海沟内墙。来自岛弧前斜坡的物质主要为浊流碎屑物。深海槽的复理石建造一般呈楔形条带体, 其厚度视物源供给状况、俯冲速度的快慢以及海沟方位与陆源供给方向之关系而

定。如果海沟与俯冲消耗方向、陆源供给方向三者近于平行或夹角甚小,并且主要发生横向充填时,则复理石沉积作用可以在深海沟内连续很长时间,从而形成厚度巨大、形态狭长的复理石沉积楔状体。现代太平洋海岸的安第斯型深海沟内的新生代复理石建造就是一个典型代表。

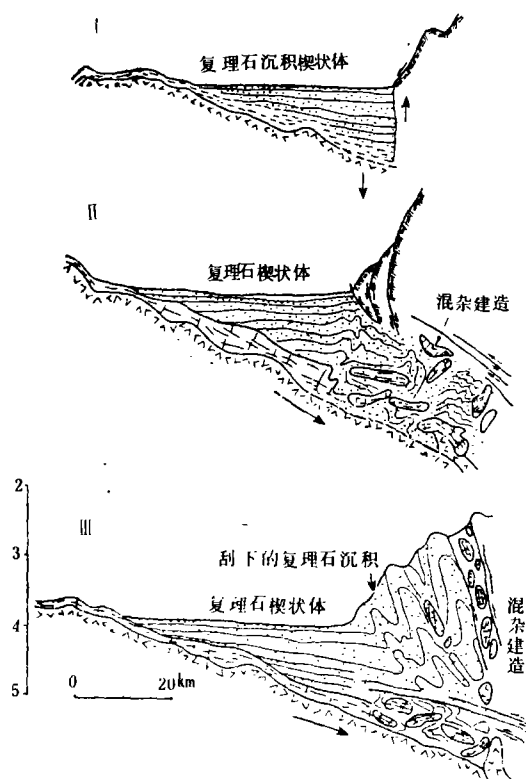


图1 现代太平洋海沟复理石建造、混杂建造及野复理石建造

(据 D. W. Scholl and M. S. Marlow, 1974)

I-复理石沉积楔状体; II、III-受板块俯冲剪切形成的混杂建造; III-被俯冲作用刮离的野复理石建造

岛弧前斜坡的复理石建造,以伴生有大规模深海峡谷扇沉积物为特征。就是说,在沉积建造内部常常出现间隔复理石地层的再沉积砾岩组合,如新西兰地区中新世复理石建造。再沉积砾岩层的层序由一系列特殊类型构成,从非粒序性块状层、成熟性剪切型块状层到发育完全的砾-砂-泥粒序层的层序(又称x-y-z韵律砾岩)(图2)。再沉积砾岩的砾石组分主要为杂砂岩屑。

当深海沟与陆源输入物来源方向平行并作纵向充填时,深海沟供应来源受到限制,不能形成巨厚的楔形体。这些类型充填方式并不伴生有“再沉积砾岩”组合,而仅伴生有厚度很薄的广泛分布于深海平原的泥质复理石沉积,如现代太平洋俯冲带的深海沟沉积状况。

俯冲带的斜坡盆地是典型混杂建造和野复理石建造生成带,这里也接受原始复理石沉积,但此带在洋壳继续俯冲过程中,这些原始复理石沉积物最终将与海沟沉积一并被带入俯冲带内遭受剪切,并与洋壳物质发生构造混杂,从而形成由冲断层滑动造成的柔皱层和

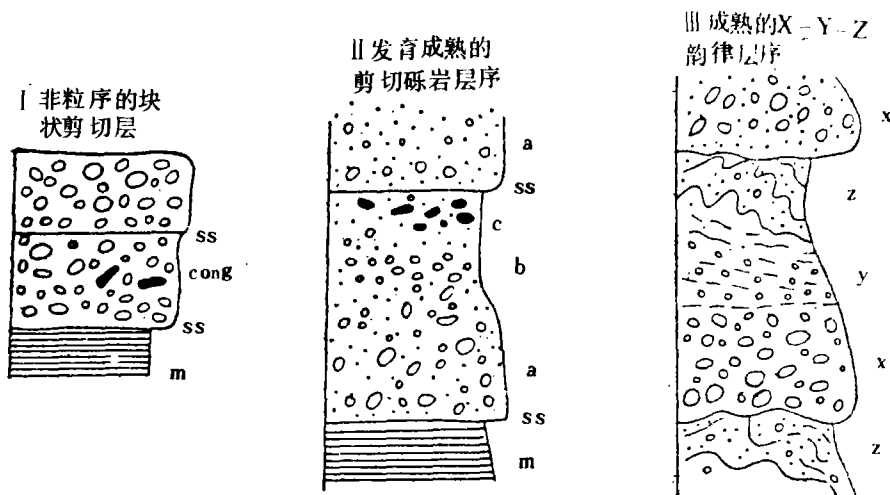


图2 斜坡带复理石建造剖面的再沉积砾岩组合的特殊层序

(引自 *Sedimentary Geology* 18 (1977), 289-319 页)

I-为重力流或惯性流 (Inertia flow) 初始阶段形成的层序, 块状层, 无递变分选; II-为滚动状剪切砾岩, 有初步分选, 剪切面平直: a-贫分选的粗砾岩; b-砂卵砾岩; c-泥岩球在颗粒砂中;

III: x-粗混乱的递变砾岩层, y-卵状泥岩及砂岩互层, z-不清楚状柔皱泥岩, ss-剪切层面。

包括从大洋壳刮下的蛇绿岩在内的俯冲杂岩体。就其混杂作用的成分, 可以区分为蛇绿岩型的和砂砾岩型的混杂建造, 前者如四川西南侧发现的蛇绿混杂岩和中新生代弗兰西斯克区混杂岩; 后者如台湾吉利层混杂沉积和四川西南金沙江深断裂东侧的甘孜板块发现的泥砾型混杂岩。

在日本中部, 沿着四万十古消减带外侧, 始新世至早中新世的额户川地体由复理石建造、玄武岩建造和混杂建造等构成, 其中包括远洋泥质沉积、火山浊流沉积和一些外来岩块。其建造岩石共生组合具有以下特点: 1) 火山熔岩具枕状构造特征, 为深海喷出产物; 2) 火山碎屑堆积是由高处通过陡峭的斜坡经块体流搬运的水下碎屑堆沉积; 3) 在多杂质的碎屑流沉积层中, 有一些次圆状的含气孔斑状碎屑, 推测为近陆表熔岩流成因。它们可能形成于浅水环境, 然后因块体运动被搬运到较深的地方; 4) 砂和粉砂级火山碎屑流沉积与薄层钙质泥岩互层, 后者代表了深水环境的远洋软泥沉积; 5) 以生物、钙质和硅质为主的泥岩呈毯状覆盖在火山熔岩和火山碎屑岩之上, 整个沉积序列缺乏陆源碎屑夹层, 指示了大洋环境。Naka (1985) 认为, 这种从深海熔岩、火山碎屑, 到远洋沉积的序列, 反映了由火山形成的海山旁侧至山脚的表面岩块裂解的残体。当大洋消减板块将海底山带至海沟时, 海山被正断层拆解而形成条块, 条块趋于平行于海沟轴, 并形成陡崖。陡崖将会引起斜坡崩落和沿构造面或沉积层薄弱带产生重力滑动, 形成大型岩块堆积。

弧前盆地是海沟斜坡坡折带与岩浆岛弧之间的盆地。它位于无火山活动边缘熔接带与有火山活动的内弧之间和熔接带之下, 发育有形变剧烈的海相沉积——主要是海下火山沉积建造。这一建造主要由火山岛弧熔岩流及其碎屑喷发物——火山灰流、凝块岩和集块岩构成。海下火山沉积建造共生有来自海盆的页岩和石灰岩凸镜体。这些页岩和石灰岩凸镜体主要分布在远离火山喷发中心相以外的分散相组合中, 石灰岩多以凸镜状不连续为特点, 并含未发育成熟的珊瑚礁迹, 形成于火山活动减退和岛弧陆棚面积开始增长的转折端上

(图 3)。

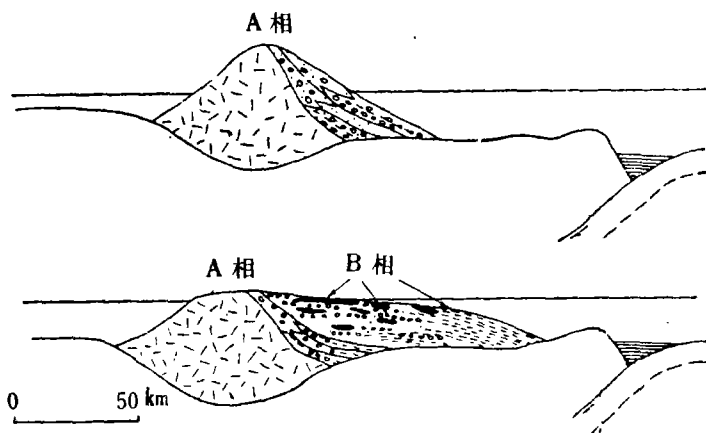


图 3 加勒比海加麦加岛白垩纪火山岛弧中的含珊瑚礁迹的火山沉积建造

(据 A. G. Coates, 1977)

A-火山活动中心相：为近火山喷发活动中心区，包括火山灰流、熔岩流、集块岩、凝块岩；

B-火山活动分散相：发育于远离或无活动的火山喷孔 (Vent) 中心，主要为细粒的具层理状的火山碎屑沉积层系，并共生有页岩和某些石灰岩凸镜体 (即含珊瑚礁“迹”的灰岩)

弧后盆地 (retroarc basin) 是与岛弧造山带内部构造有关的张裂性盆地 (即弧后扩张)。它一般是一个具有洋壳基底性质的深海至半深海环境的小洋盆地，弧后区限于边界条件，几乎完全缺乏水携陆源输入来源，因此这里不发育陆源沉积建造，而只发育由岛弧火山来源形成的火山沉积建造，如拉斑玄武岩建造、海相火山碎屑沉积建造、火山复理石建造及碳酸盐复理石建造。建造的物源主要为岩浆弧的火山碎屑以及与此来源有关的海解产物——蒙脱石粘土。此外，在建造体中还共生有海盆内成因的生物软泥。弧后盆地虽然可以对称地张开，但沉积作用来源是不对称的。建造体普遍具有偏高的 Na 质，火山碎屑组合主要发育在邻近岩浆弧一侧，环绕岩浆弧缘形成厚度较大的火山碎屑扇裙的复合体。在火山碎屑裙的远端相变成含蒙脱石、玻璃质斑晶，同时也共生有深海相棕色粘土、硅质沉积和微晶碳酸盐沉积。这种共生关系可以与真正大洋深海平原的红色软泥—硅质软泥建造相区别。现代太平洋西缘火山岛弧带后面的日本海、冲绳海槽、汤加盆地 (Karing and Moore, 1975)、中美加勒比海白垩系、我国新疆准噶尔盆地的沙尔布尔提山上志留统和黑龙江小兴安岭奥陶系的火山复理石建造和其它火山沉积建造均属俯冲岛弧后盆地建造类型。沙布尔提及小兴安岭的火山沉积建造具有明显的递变层序，这也是一个很特征的鉴别标志。

业治铮等 (1983) 研究冲绳海槽晚更新世—全新世沉积物，认为冲绳海槽具一个扩张型弧后盆的特征组合，为钙质半深海软泥—细粒浊积岩层—中酸性凝灰软泥三位一体的建造。代表一个快速沉降、缓慢沉积的非补偿的饥饿盆地。海槽变深或扩张的趋势仍在继续。

当板块继续俯冲并发生造山褶皱隆起时，与此相适应，在克拉通大陆壳前缘表面则发生下陷，从而形成俯冲后期的前陆盆地，又称前渊盆地 (fore decps) 或内缘盆地 (peripheral basin)。在前陆盆地发育早期 (即同造山期) 形成典型阿尔卑斯型陆源复理石建造。此类最典型的代表有阿尔卑斯第三纪磨拉斯盆地和其广泛分布的带状复理石建造，喜马拉雅山带南麓的西瓦里克系，中生代北美科迪勒拉造山带东侧的 Kootenag-Blairmore 磨拉石建造和

Belly biver-Ras kapoo 磨拉石建造。

前陆盆地的建造系列发育是在两个板块之间的碰撞拼合作用下进行的,一般由稳定型建造→复理石建造→磨拉石建造。它代表了板块碰撞拼合作用过程从被动边缘到前陆盆地的演化过程:

A. 原始沉积阶段:被动边缘上通常发育一套陆缘碳酸盐建造。

B. 前陆盆地早期形成阶段:由于板块碰撞造山作用,导致被动边缘地区处于强烈的挤压状态,从而使岩石圈及被动边缘上的沉积建造体发生弯曲和部分上隆,形成微突起和下凹地形雏形,并伴随一系列的不整合面的出现。此时开始形成一组对称或不对称的海下山链带,结果出现前陆海槽和形成陆源复理石建造。这种陆源复理石建造的碎屑模型中,F、R 指数应该是很低的。

C. 前陆盆地成熟阶段:随着挤压和造山作用的不断进行,由于造山带负荷及沉积负载的影响,前陆盆地进一步下沉接受造山后的沉积充填物,这就是磨拉石盆地阶段。磨拉石建造形成过程是与板块聚合的挤压作用导致褶皱-冲断带向前陆方向推覆,形成构造负荷和在前陆方向的构造负荷作用下的陷落同步形成的。这种陷落是构造负荷作用下岩石圈向下挠曲的反映,因此前陆盆地在成因机制上属于挠曲盆地。

我国龙门山前陆盆地成熟阶段及磨拉石建造形成时期,应是发生在印支运动晚期至燕山运动早期。自西向东发生的褶皱-冲断作用,把盆地边缘相区沉积物不断卷入到推覆体之下。同时由于半色山一大巴山的褶皱-冲断作用的向南逆冲,形成冲积扇、洪积泥石流为特征的山前盆地磨拉石建造(梁慧社,1989)。

从现实主义原理来分析,喜马拉雅山系的南印度次大陆北缘的现代盆地,就是形成磨拉石建造的场所。这一盆地北部邻近亚洲板块与印度大陆板块相俯冲而发生上升活动的喜马拉雅山系的南麓,盆地长可达1000km以上,宽500km。水系通常平行于构造轴向分布,冲积扇的河系支流位于褶皱上升山系一侧。从第四纪以来,形成了西瓦利克系地层。它的沉积环境完全类似于现代盆地沉积平原谷地和冲积扇形成区。由于盆地北缘不断被褶皱冲断作用所抬升,以致使更新世沉积物已达到海拔2km高度,并且引起西瓦利克槽地内的沉积轴心正在向南迁移之中。磨拉石盆地在横向上可以过渡为残留洋盆地的复理石沉积,如现今孟加拉盆地和海湾即为西瓦利克磨拉石建造向南延伸到深海 Bengal 湾为海下冲积扇浊流体系所充填——复理石沉积。

根据阿尔卑斯磨拉石建造的资料推算得知,磨拉石前缘拗陷沉积轴心,从始新世至更新世期间向北移360km,平均移位速度为2mm/a。在整个磨拉石建造形成的数万年间,经历了二、三次造山脉动作用,每一脉动周期为10—15Ma。隆起上升褶皱山系的剥蚀速度为0.4—1mm/a,因此在历时25—35Ma间磨拉石建造形成时间里最大剥蚀总量为10—25km²,磨拉石堆积的体积比率为150—400m/Ma。典型的磨拉石建造是由海相磨拉石和淡水相磨拉石旋回组合而成。从比较建造学观点看,世界上主要磨拉石建造还存在如下共同特征:(1)具双层巨旋回结构;(2)两旋回的排水网系和搬运方向发生交替转换;(3)上磨拉石旋回中发育有明显的山间块状断裂。

在有些古代岛弧系优地槽发展中,可能并不曾存在这类前渊盆地(前陆盆地)的发育过程。

在俯冲闭合后,板块缝合线上(剥蚀后)出露古洋壳底部形成的奥菲奥岩系(Ophio-

lite) —— 蛇绿岩套 (大洋玄武岩建造)。从沉积作用分析, 奥菲奥岩系 (建造), 是早期洋底扩张时期形成的。

第十一讲 洋脊扩张过程的沉积建造

现在的洋壳盆地, 一般水深在 5000m 以下, 为深海平原远洋泥质复理石沉积和深海红泥以及硅质软泥所覆盖。沉积建造的厚度很薄, 具有薄席状体特征 (尽管现代建造形成作用还在继续)。

但是, 在大洋中脊部位却以穹状隆起为特点, 水深仅 2000m 左右, 明显地位于 CCD 以上。从大洋中脊至深海平原形成一缓坡地形。中脊为一个洋壳扩张的中央轴。它是由于洋壳下面存在有高热流导致洋壳热膨胀所引起的。现代大洋中脊部位, 洋壳一般以每年数厘米的速率自洋中脊顶峰处向两侧移开, 并不断产生新生玄武岩洋壳物质——洋壳增生边缘。这就是新生大洋玄武岩建造的组成部分。这预示着大洋玄武岩建造必然是一个地质历史过程的穿时体, 它也必然是一个从轴部向边缘两侧年代逐渐增加的扩散体。

在洋壳增生的洋中脊形成过程中除了形成大洋玄武岩建造外, 还形成红泥-微晶碳酸盐建造、火山硅质建造或硅质复理石沉积。

与洋中脊扩张过程形成的建造都具有非固定型扩散体态或位移体态。

现代大洋中脊的红泥-微晶碳酸盐建造广泛发育, 根据大洋深部钻探资料, 这一建造主要分布于大西洋中脊和太平洋中脊两侧, 它的形成同样与大洋壳增生隆起和扩张有关。在洋中脊部, 由于那里的洋底高出方解石补偿平衡深度线 (即 $< \text{CCD}$), 所以含有或多或少微晶方解石的软泥沉积。它们是一系列不同溶解程度的方解石溶解相。在新形成的地壳 (即洋壳岩石圈板块) 顶峰部位, 由于火山物质的氧化作用, 形成特殊的岩相单位——Mn+Fe 层。在 CCD 界面以下的深海洋底上, 微晶方解石已完全被溶解掉, 而代之以红色粘土和 SiO_2 结核、燧石层以及由外来浊流携入的泥质远洋复理石沉积 (图 4)。除此而外, 还有洋底火山喷出物的堆积。

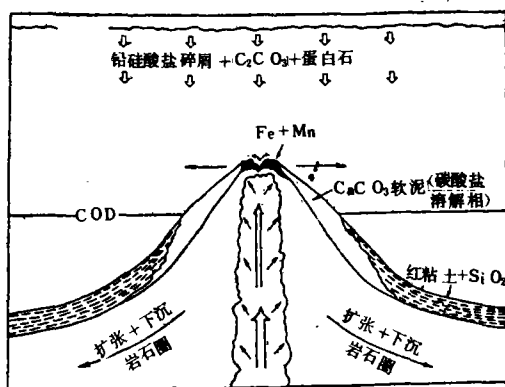


图 4 红泥-微晶碳酸盐建造形成条件

(据 Broecker, W. S., 1974)

图表示自大洋中脊峰顶移开扩张下沉过程中形成的沉积作用层序 (相序)

从图 4 中可见, 在最顶峰处的沉积物是 Fe+Mn 的氧化物, 系洋脊火山作用的产物; 在离开顶峰的两侧部位因为玄武岩壳的年龄越老, 热流的影响减退, 密度增大, 洋底随之逐渐沉降, 当达到远离峰顶数百公里处, 大洋板块已下沉到方解石补偿平衡深度面以下, 不再堆积 CaCO_3 软泥; 再向深处大洋底面沉积物只剩下氧化的粘土 (富氧的洋流由两极循环

到大洋底部来的)和 SiO_2 。

在古代地层中可能很少保存红泥—微晶碳酸盐建造等洋中脊的建造类型,因为大部分可能由于洋壳向陆壳下面发生俯冲作用而被消减掉了。

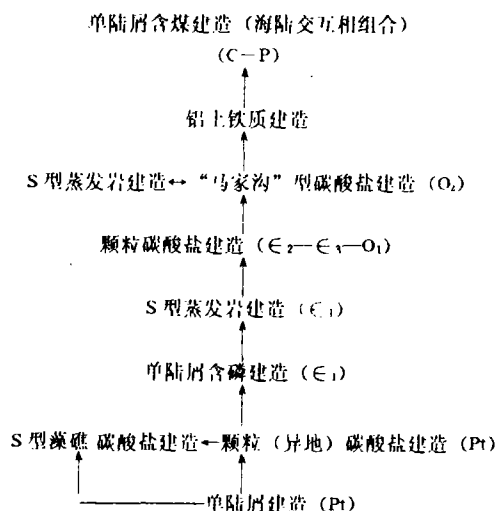
但是在古代地层中却常见到大洋玄武岩建造(或蛇绿岩套)。它是由基性—超基性岩、细碧岩角—斑岩、放射虫硅质岩构成的。它们代表洋壳扩张洋底喷发形成的富 Na_2O 的细碧岩—角斑岩系列,此外还伴生少量硅质岩、凝灰砂岩、硬砂岩等它生成员。大洋玄武岩建造是火山硅质建造系列的首端,在这一系列中还包括碧石型、硅质页岩型以及远硅质型建造。后两者,虽然与火山硅质建造具有成因联系,但是它们的形成部位往往发生在活动带临近稳定块的边缘(相当于被动边缘)。

板块构造演化与沉积建造的发育系列

板块构造的发育控制了沉积盆地的形成和发展,从而也控制着沉积建造类型的发育和更替关系。一般而论,沉积建造类型的更替时限要数千万年,而建造系列发育历史要数亿年或更长时限。

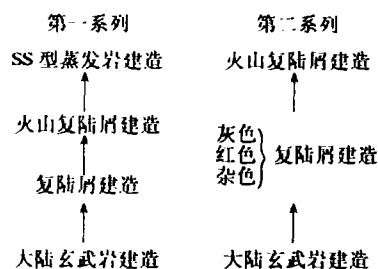
研究各类板块构造发展历史和其沉积建造的序列,建立沉积建造发育系列的模式,这些方面工作都是恢复古板块历史演化的重要手段和途径。根据较近时期的板块构造运动和古板块构造发展时期的建造分析,可以将不同性质板块构造发育类型的沉积建造类型及其更替关系,划分出如下系列:

1. **稳定建造系列**:代表稳定克拉通盆地的发育过程。其建造系列的总特点,从单陆屑建造形成开始,经过浅海型异地碳酸盐建造(或称颗粒灰岩建造)类的若干类型,最终又以单陆屑建造结束。我国华北地区(北方大陆板块内部)大克拉通盆地的震旦纪(青白口纪)、早古生代至晚古生代的建造发育系列可作为代表:



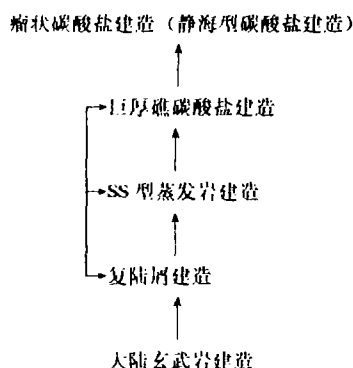
2. **裂谷系建造系列(次稳定型建造系列之一)**:这是一类发育最广的建造系列,以大陆玄武岩建造开始,经过复陆屑建造、火山复陆屑建造以及蒸发岩建造,与此同时可以重复出现大陆玄武岩建造或复陆屑建造。此类系列以近代东非裂谷系和亚洲东部大陆壳上中

新生代断陷盆地和裂谷带沉积为代表。

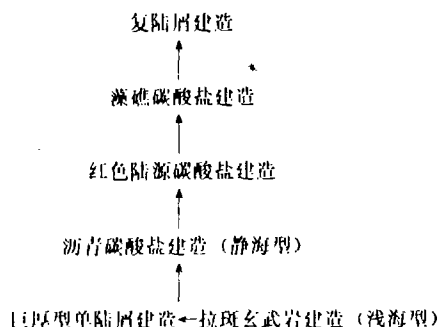


第一系列为典型裂谷的建造系列，其中发育有独特巨厚蒸发岩建造，它以发育巨厚岩盐和钾盐层为特点，明显地区别于稳定克拉通盆地的 S 型蒸发岩建造。第二系列为未充分发展起来的裂谷和断陷盆地，此系列中没有 SS 型蒸发岩建造。

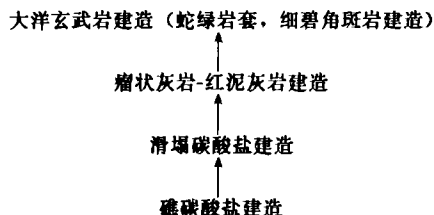
3. 被动边缘型的次稳定建造系列（为次稳定型建造系列之二）：此系列以大西洋大陆边缘为代表。建造系列的特点之一是常常保留有裂谷系建造的基础，因为被动边缘盆地往往是在裂谷系建造系列的基础上进一步发展起来的。其建造系列为：



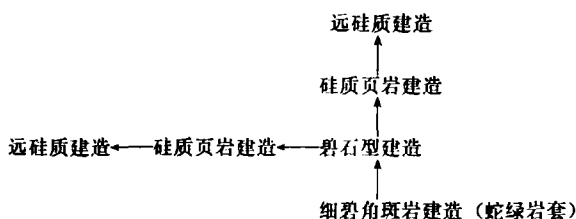
4. 被动边缘裂陷槽的建造系列（次稳定型建造系列之三）：这类建造系列的组成具有较多的变化，现仅以我国北方大陆中元古代吕梁-豫西和燕辽裂陷槽的建造发育序列为例，其序列如下：



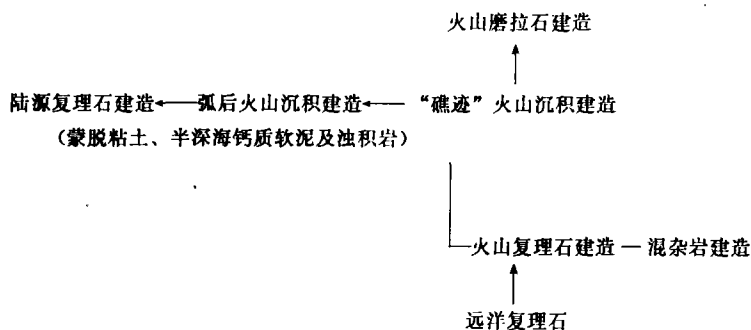
5. 被动边缘大洋化次稳定-非稳定型建造系列：代表被动边缘区拉张作用进一步发展，沉降形成洋壳化的过程。根据戴维 (Dewey 等, 1970) 所建立的大西洋西部剖面，可以明显地划分出如下建造系列的组合关系：



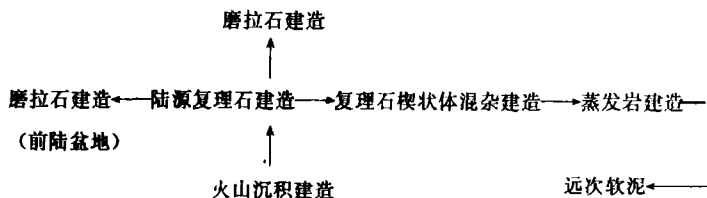
6. 活动边缘“优地槽”发育阶段的非稳定型建造系列：这一典型建造系列最早为 H. C. 沙茨基 (1952) 所提出。近三十年的工作证明，这一建造系列广泛发育于从前寒武纪到中新世代的各活动构造带中。从现代板块构造观点，它相当于板块活动边缘初期的发育过程。其系列为：



7. 俯冲岛弧海沟系的非稳定型建造系列：代表板块俯冲过程形成的建造系列，下面是近代板块俯冲带太平洋型活动边缘形成的建造系列：

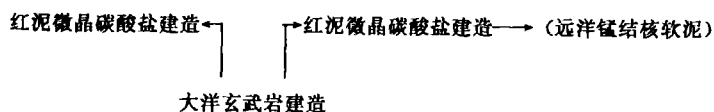


8. 俯冲造山期后的非稳定型建造系列：代表板块活动边缘俯冲聚敛缝合过程中形成的建造系列：



上述建造系列由右向左代表阿尔卑斯板块俯冲过程特提斯海隆起造山及其前陆盆地形成的发展关系。

9. 洋中脊型的沉积建造系列：据目前资料，确切的洋中脊型建造系列主要见于现代大洋板块的中央脊洋壳扩张增生及其两侧大洋底部的沉积，其建造系列为：



各类沉积建造及其系列关系与全球板块构造演化过程, 可以综合归纳成以下模式图解 (图 5)。

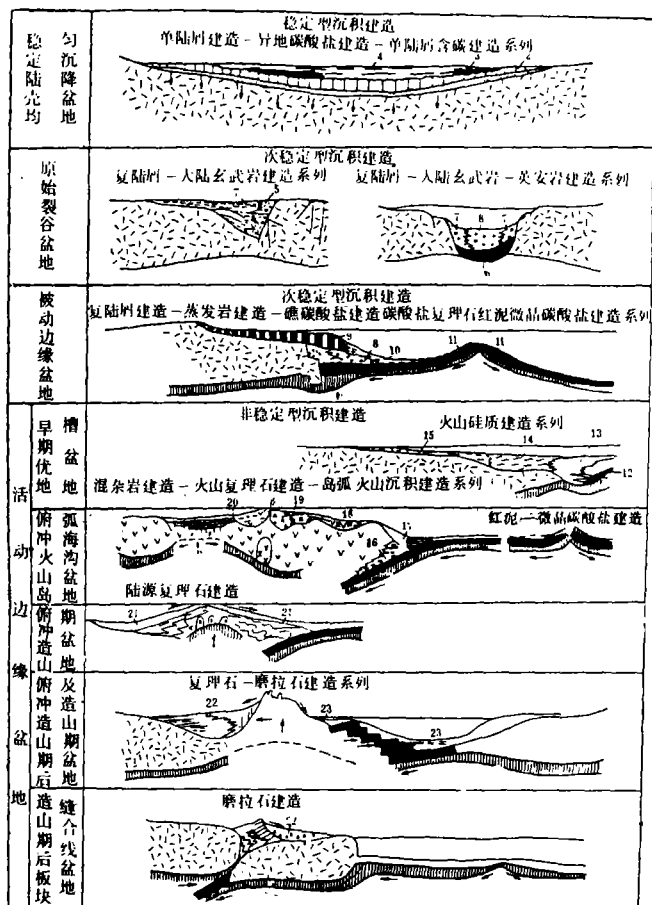


图 5 沉积建造及其序列与全球板块构造演化关系 (据孟祥化, 1985)