

第一章 绪 言

第一节 事件地质学的概念与目的

事件地质学是地球科学的一个新的分支学科，也是事件沉积学与事件地层学的总称。它兴起于 20 世纪 80 年代，在全球沉积地质学研究（GSGP）之后，得到了迅速的发展。其理论基础是新灾变论。换句话说，它是伴随着灾变论的复活而发展起来的一门新兴的分支学科，具有诸多特色，与传统地质学的概念有所不同。事件地质学立足于地球表层，却放眼于天、地、生的相互联系。它主要研究各种突发、高能事件作用的产物，追溯其作用的过程和产生作用的原因，并以此对地球表层发生事件作用的时空范围内的气候-环境演化作出判断，总结其规律，使之成为认识历史、预测未来的重要基础。

事件地质学不仅吸收了沉积学、沉积岩石学、沉积地质学的基本原理，而且将作用—过程—产物视为有机整体，以产物模式为基础建立基本的事件相序，把不同类型事件序列纳入同一时空进行比较，以确定其在全球变化研究中的地位。

事件地质作用产物是在地球表层气候-环境条件下，在风化作用、生物地质作用、火山作用等产物的基础上，经事件地质作用搬运、沉积后形成的地质体。主要事件地质作用有风成作用、风暴作用、洪泛作用、火山作用以及气候突变所导致环境改变的沉积作用，如缺氧事件、生物灭绝、白云石化、强氧化作用等。诚然，冰川作用，沙漠-风尘序列是内陆非常重要的事件作用，但因本书侧重在海岸带，故不予涉及。

事件地质学认为，既有突变亦有均变，两者相辅相成。地球表层留下的地质记录，并非地球演化过程的流水账，许多低能、均变作用的产物未能得到保存。自然界三大环境之间是互相转换的，同一等时面可以出现不同的产物，在甲地处在侵蚀环境下的侵蚀面，到乙地可以是平衡环境下的土壤层，而在丙地却可能拥有沉积环境下的产物。因此，事件地质学认为，任何一地的地质记录，都是各种地质作用的复合体，是三大环境的演化记录。Dott (1983) 曾比喻地质记录究竟像瑞士乳酪还是更像千层饼？实际上，它既不是单一的千层饼，也不是单一的瑞士乳酪，而应当是千层饼-瑞士乳酪，甚至还有汉堡包、三明治等等的复合体，而且都是相对高能、优势保存的产物。因此，事件地质学特别重视研究各种事件能量的高低变化、保存状况的差异、各种界面的特征和环境转换的过程与频率。事件地质学的目的在于从局部、分散的事件去判别边界条件和制约因素，进而从区域内判别三大环境转换、交替的过程、频率，及其与气候期的相关性，再使不同历史时期的转换、交替的有序性成为全球性比较研究的依据。事件地质学优于其他一些沉积序列研究的概念，它分辨率高，判别标志明确，相互匹配的相关性比较严格，易于区分。

第二节 事件地质学的基本原理

Hutton 和 Lyell 的均变论使人们能够用现代可以观察到的地质现象去解释历史时期保存下来的地质记录。但是，均变论却把地质作用在时间上的变化视为一种单一的量的概念，忽视了质的差别。同时，也否认自然界的突变或事件地质作用的意义。因此，均变论虽然奠定了地质学的理论基础，但却是很不完善的，而且充满了浓厚的机械论色彩。

事件地质学与均变论有所不同，它不是机械地用现代的作用方式及其产物去解释历史的地质现象，而是主要采用以时间为坐标，在变化的边界条件下，探讨事件地质作用的基本规律。事件地质学之所以提出不能机械地去将今论古，还因为各种产物在地质记录中的保存几率是不同的，并不是所有发生过的大小不同的作用产物，都能够保存下来的。自然界中的环境类型是有限的，每种环境类型都依其自身的客观规律而有序地表现，其产物也是有限的，而且应当是独立的，不同环境之间的相，也就是物质表现是不能相混的。因此，在同一种环境条件下，随着时间的推移，横向有序的事件沉积产物，同样会由于横向迁移而形成一种有序的纵向序列。换句话说，Walther 相律同样是事件地质学的基本原理之一。

事件地质学十分注重每一种事件作用自身所留下的产物，也就是事件自生旋回，包括那些有实体的产物和无实体的界面。对于这些在特定环境条件下形成的产物，不能与他生旋回产物相混。

事件地质学非常重视不同事件产物间的转换，它是自然界环境类型的变化。自然界的演化不是简单的渐进过程，许多突变都反映在这些环境的转换过程中。Dott (1983) 把这些环境转换称为幕式沉积作用，有沉积的产物界面称为正偏离，无沉积的产物界面称为负偏离。这从含义上可以理解，但并不适合于应用。因为，自然界三大环境，其物质表现是各不相同的。沉积环境的物质表现是有序的沉积序列；平衡环境的物质表现是无沉积作用界面，也就是在原先沉积产物的上部，形成硬底或土壤层或化石土壤层或仅仅是具有成土化作用改造的层等；侵蚀环境的表现是在地质记录中留下各种界面，如冲刷面、间断面等。不同环境类型的转换是有规律的，常常是按不同时间周期重复的，从而造成旋回性沉积序列。例如，风沙沉积总是以土壤层或间断面或者其他代表温暖阶段的产物为间隔，才有后续的另一期风沙沉积。浊流沉积也总是一个个鲍玛序列的相互叠置，其间必有侵蚀面或间断面分隔。每一种事件沉积作用的产物，都是由突变到均变的演化过程，从而构成每种事件的自生旋回，这样，每种事件都只能建立自身的产物模式。但是只要认真总结出各种事件的判别标志，建立起自生旋回的相模式，就无需再创造新名词。

事件的出现并非沉积环境演化的必然产物，也不是鉴定沉积环境的充分必要条件，而是受事件作用动力或化学过程的内在规律所控制的。

事件地质学依然遵循自然现象的均一性原则，即自然现象就其规律而论是固定的，科学定律是固定的，它们不随时间、地点和情况而变化。事件地质学也服从连续性原则，即自然现象在时间和空间上是连续的。但是，对这一原则必须要有正确的理解，也就是说对于地球运动而言是连续的，无休止的；由于这种运动及其与其他星体相互联系所产生的作用是连续的，但留在地球表层的产物并不是连续的。因此，事件地质学还特别认为，没有

的东西与有的东西同样重要，有与没有是环境的差别，作用的不同，只有同时研究它们才能得出相互比较的内涵。天外事件是偶发事件，其产物可以出现在事件序列里，但不能独立形成有序的序列。这里所阐述的原理，未必符合天体事件学。事件沉积产物的出现，都是高能、优势保存的结果。相模式研究也是事件地质学的重要原理的简化，不同事件沉积作用，均要建立各自的产物模式。

第三节 事件地质学的研究方法

事件地质学的研究方法可分为野外宏观研究与室内微观研究两个方面。野外宏观研究是基础，是定性研究；室内微观研究是宏观研究的深化与提高，是由定性向定量研究的深化和提高，两者不可或缺。

野外宏观研究可分为有目的剖面和无目的剖面两种情况。无目的剖面，首先要从工作区寻找目的剖面，一般是从分析已有资料，发现线索入手，然后再通过实地检验，找出可供进一步研究的目的剖面。或者是直接进行大范围穿插路线地质调查，从中找出有代表性的事件作用产物。

确定出目的剖面以后，野外工作首先是对剖面总体进行观察，由大到小，由粗到细进行类型、序列划分，那些具有环境标志意义的沉积构造、伴生物、界面等，先进行远观、近景，特写等的拍照，然后再逐层进行标定和测制。在划分出序列的基础上，根据沉积物性质、组合特征，确定出室内实验分析的内容和剖面上各类样品密度的安排和具体位置，在测制剖面的过程中，依次取样。

野外剖面序列的划分精度，环境标志的确定方法和各种样品的性质、安排等，取决于研究者对野外工作的熟悉程度、经验多寡和对各种环境标志的熟悉程度以及对产物模式的认识程度。为了帮助那些经验不足者能准确划分剖面序列，特提出下列方法，供参考使用。

颜色是物质组分和氧化程度的标志，无论是对原始沉积环境还是成岩后的变化，都是非常重要的判据之一。根据色调变化进行宏观分层是野外常用的方法之一。沉积物的颜色可分为原生色与次生色，前者又可分为继承色与自生色两种。继承色取决于沉积物中碎屑成分的主色调，如钾长石含量高则增大红色调，石英含量高则色淡，岩屑成分含量高，则显示出复合色调。自生色取决于自生矿物或原生混入物的颜色，如沉积物中两价铁含量高，则以绿色调为主，若三价铁含量高则呈现红色调。颗粒支撑的碎屑沉积岩，其胶结物的性质和色调是一种自生色。次生色是沉积期后，原先的物质组分发生变化所产生的颜色，如原始还原或半还原环境的沉积产物，富含二价铁，经强烈氧化，二价铁变成三价铁，这样，沉积物的色调也会由灰绿、黑变为褐红色或锈红色。成土化作用中，常常因渗滤、淀积、分解和水合作用等，形成许多新的矿物，呈板状、斑块状、团粒状、晕圈状出现在土壤化层中，这也是次生色的典型例子。

沉积物中影响色调的物质组分，最主要的为铁和有机质。铁是一种变价元素，不同价态具有不同色调。当沉积物中不同价态铁含量的比例关系发生变化时，则色调会有明显的不同。有机质是一种具有黑色色素的物质，不仅本身有染色作用，而且能使铁的硫酸盐还原为硫化物。

利用沉积物的色调分层和判别环境时，要特别注意色调变化部位的接触关系，判别出

是渐变变化还是有界面分隔，后者具有环境判别的实质意义，千万不可陷入一般泛泛的色调变化描述中。

沉积物结构，是判断环境和介质条件的标志之一。粒度与搬运介质能量有一定的相关性，粒度越大，能量就大，反之亦然。支撑类型往往是流水沉积中碎屑物被搬运状态的标志，因为碎屑颗粒在流水中的搬运与沉积，取决于流体的流动状态，是急流还是静流，是层流还是紊流。泥基支撑显示出颗粒被搬运时是以床沙载荷方式进行的，沉积物在底部以挪动、滚动或沿着水底跳动的方式搬运。颗粒支撑类型表明其呈悬移载荷方式搬运，说明流体的流速快；因为只有沉速小于平均流速的 8% 的颗粒才能成为自由悬浮状态，换句话说，悬移载荷的大致临界标志是流水的平均流速至少是颗粒沉降速度的 12 倍以上。具有颗粒支撑组构的沉积物，其颗粒越粗大，原始流体的涡流强度越大。

沉积构造是沉积作用环境的重要标志之一。它不仅能够提供原始介质条件、搬运方式，而且还能提供运动方向，能量变化的信息，是野外剖面研究时，最主要的内容之一，必须认真细致地观察，逐个详细测量、记录。

沉积构造按其成因可分为原生和后生两种。原生沉积构造形成于沉积作用的同时，它是沉积营力和作用方式的共同产物。后生沉积构造是指沉积作用之后，由于机械作用、生物作用、化学作用所形成的一些构造形态，叠加在原生沉积构造之上。

某一种环境，都有其产物所特有的沉积构造特征，绝非单指某一种沉积构造形态，这是野外观察研究中所必须知晓的。就单一沉积构造形态来说，可以出现在不同沉积环境中，例如板状交错层理构造，既可见于风成沉积，也可见于河流沉积；同样，槽状交错层理构造也可以见于两者之中。粒序层理既可以见于浊流沉积亦可以见于风暴沉积。然而，从组成沉积构造的物质组分特征和沉积构造序列组合特征去分析判断，却有着完全不同的概念，例如风成板状交错层理构造，其组成和每个细层的砂粒大小均一，分选良好，倾斜角度大，一般都在 20° 以上，上下序列的组成物划一；而河流沉积的板状交错层理构造，其组成物粒度大小不一，粗细相间，倾斜角度一般都在 20° 以下，而且其上下序列的组成物明显不同，可以找到河道砾石级沉积物。

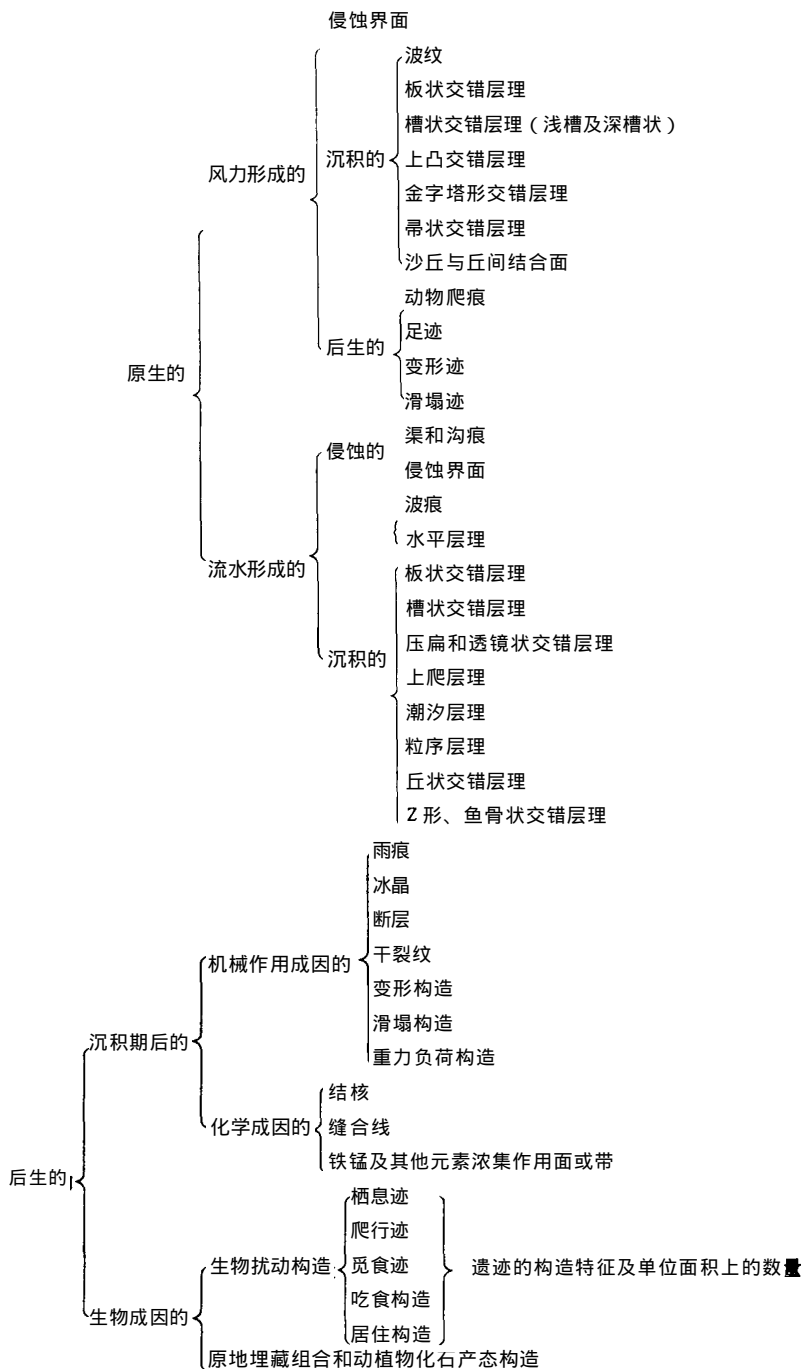
常见的沉积构造可参考表 1。

粘土矿物是土壤层或土壤化粘土层中的主要矿物组分，由于物源不同，矿物性质有别。在晚第四纪事件沉积序列中常见的粘土矿物有高岭石、蒙脱石、绿泥石、水云母、伊利石。实践表明，粘土矿物的种类，不同矿物之间的相互比率，对气候和物质来源、成土化作用强度等的判别有相当重要的意义。例如，绿泥石 / 高岭石含量比值高时，反映气候相对温暖；伊利石含量越高，则反映气候相对干冷；高岭石含量越低，则反映气候冷，反之亦然。蒙脱石在非火山物源区，一般含量较低，当其含量高时，表明有火山物源的加入。

$w(\text{MgO})/w(\text{Al}_2\text{O}_3) \times 100 = M$ 值 与气候-环境条件之间有一定的相关性，在任何一条序列剖面上，比值越高，反映为相对冷期，反之亦然。土壤学研究常用的游离 $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{Fed})$ 与全 $\text{Fe}_2\text{O}_3(\text{Fet})$ 含量比值以及化学风化指数 $N(\text{Al}_2\text{O}_3) \times 100$ 与 $N(\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{CaO} + \text{Na}_2\text{O})$ (分子数比) 也可用于地球化学参数的比较研究。当沉积物中富含碳酸盐组分时，亦可用 CaO 、 MgO 、 SrO 及其相应比值等的变化来进行比较研究。

磁性地层学研究 不同地质历史阶段，地球磁场强度和磁场方向有所不同，其变化可以通过岩石或沉积物中的剩余磁性记录确定出极性倒转、极性漂移和长期相对稳定的位置

表 1 沉积构造分类表



和时限。晚第四纪事件沉积序列都可以在野外直接判定，沉积物大多呈松散状态，可以在标定出同一正北方向的前提下，从上到下直接用古地磁样盒密集采样，进行无定向古地磁测量，其结果与磁化率曲线、年代测定结果和其他分析测定结果相匹配使用，这是晚第四纪事件地层学研究和定年的重要途径之一。取样时，一定要保证号码连续，顺序不能颠倒，

每个样的上下标志明确。同时，每个样采集编号后，都要用透明胶带纸缠紧，保持盒内样品不外漏、不松动，以保证测定值的精度。

在不能进行古地磁样品取样的剖面上，可单独采集密度适当的磁化率测定样，带回室内用 Bartington 或卡巴桥-1 型磁化率仪进行测定，做出曲线与已知典型剖面进行比较研究。

晚第四纪事件地质学研究中的关键一环，是如何采集和测定年代值，年轻测年方法中常用的¹⁴C常规测年和 AMS 测年，对晚第四纪事件沉积物而言是不适用的，即使是富含碳的物质，也不适用。因为这些富含碳或碳酸盐的物质，像植物体、生物壳体，都是经过多次搬运，既与大气中的 CO₂ 发生过不止一次的交换，也与水中（可能既与海水也与淡水）的 CO₂ 发生过交换，其年代测定值将是指数性的变新，从方法学上难以准确校核。

适于晚第四纪事件沉积物进行定年的方法主要是热释光法（TL）和电子自旋共振法（ESR），两者都可以用石英、长石砂粒中铀、钍、钾含量，放射性照射，损伤矿物结晶格架并置换电子，产生热发光。其热释光年龄

$$TL = \frac{\text{天然 TL} - \text{残余的 TL}}{(\text{TL} / \text{单位放射剂量}) \times (\text{放射剂量} / \text{年})}$$

ESR 定年与 TL 技术类似，ESR 信号强度是捕获电子浓度的指示，那些被捕获的电子是从物质形成、受热时或者暴露在阳光下之后积累的，可以用来估算样品的年龄。ESR 定年公式亦与 TL 法相似，即

$$ESR \text{ 年龄} = \frac{\text{自旋电子浓度}}{\text{单位辐射产生的自旋电子数} \times \text{年辐射剂量}}$$

ESR 分析不需要加热，也不破坏样品，可以重复测定，而且不限于石英、长石砂粒，也可测定生物骨骼等碳酸盐物质，比 TL 法有更加优越的条件，有着良好的发展前景。实验证明，以石英、长石样品的 Ge 芯测定，比 E 芯更优越，因为 Ge 芯法在阳光照射 1 小时后即能回到零，相对误差要小。

TL 和 ESR 方法的适用年龄范围大，从几千年到几百万年，甚至大于千万年的样品也可以用 ESR 氧空位浓度法进行测定，其误差最大为 15%，取决于样品采集时的状况，含水量，铀、钍、钾含量测定精度等。因此，用作 TL 和 ESR 的样品应避免日光照射并有比较确切的含水量，这样才能使测定值更加精确。

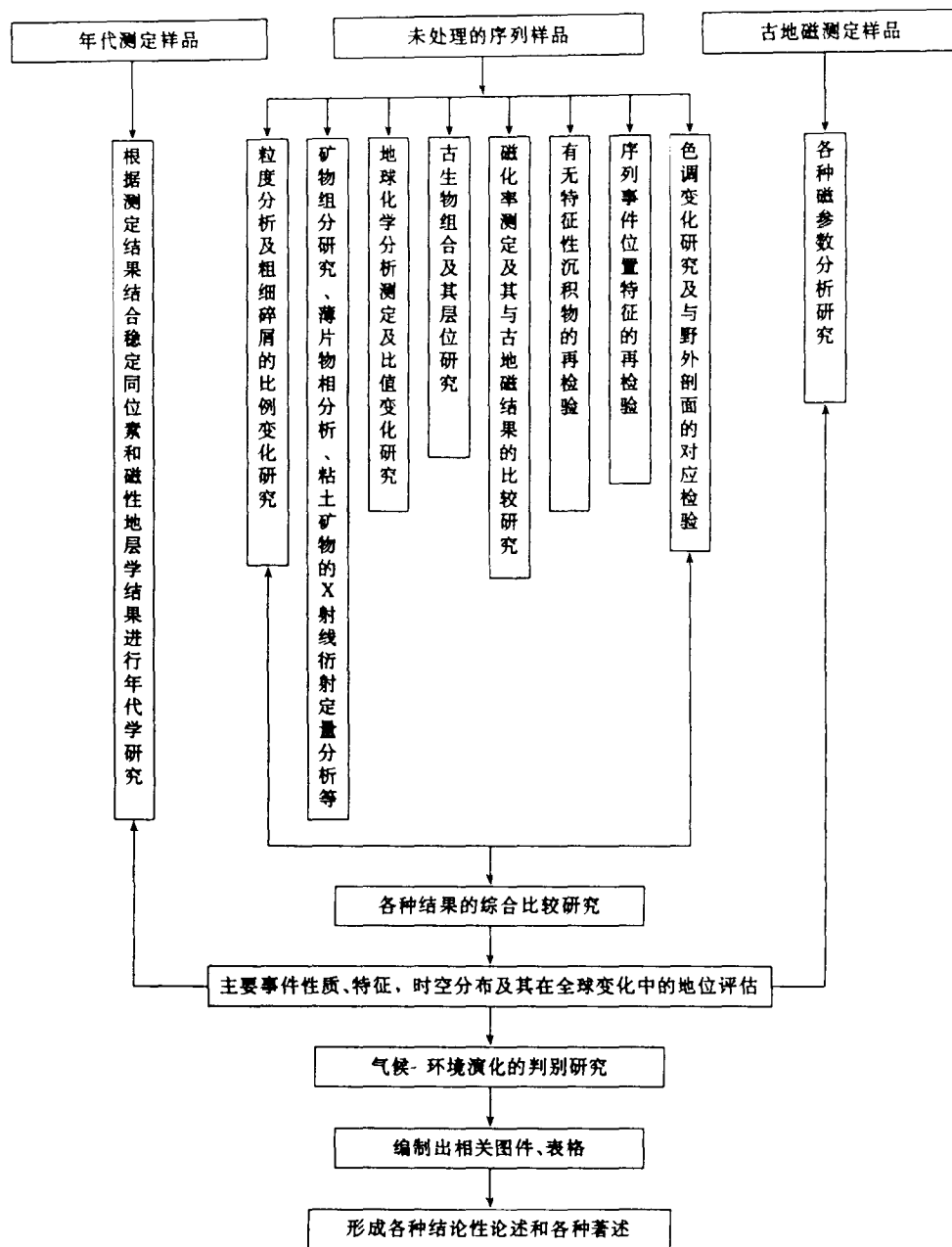
野外宏观研究取回的样品，可分三类，一类是年代测定样，需单独封存、送样，不作其他用途。第二类古地磁样品，利用专用塑料盒，在剖面上按顺序采集，并正确记录样品间距，以便专门用于环境磁学和磁性地层学分析。第三类样品为组合样，总量在 300 g 左右，可用作测定磁化率、物质组分、粒度分析、地球化学分析等。遇有古生物化石，亦作专项编号、包装，以便送有关单位鉴定。

样品分检及室内综合分析研究的程序可参考表 2。

第四节 晚第四纪事件地质学的特点和意义

海岸带晚第四纪事件地质学具有新、多、难、良四大特点。

表2 样品处理及研究程序表



所谓新，是指该分支学科内容新，研究对象的年代亦新，它们都是地球演化历史的最新阶段形成的产物，大多未固结，出露范围不大，直观性很强，有益于探索事件作用的性质和过程。

所谓多，是因为晚第四纪事件沉积作用的类型多，涉及的分支学科内容多，每一种事件沉积作用发生的次数亦多，频率很高，环境转换非常迅速。同时，不同环境的标志物亦就各有其自身的规律，从而有益于对环境判别标志的总结。

难，是因为晚第四纪事件地质学研究，不仅古生物化石门类少，而且可用于定年的化石种属亦少，生物地层学方法几乎难以在晚第四纪事件地质学研究中作出贡献。晚第四纪事件地质学的年代学方法，亦处在探索过程中，任何一种事件沉积作用所留下的产物欲得到一个精细的年代序列是非常困难的。目前，只能是通过多种手段综合分析、对比，但很难准确判定。

晚第四纪事件地质学的再一个特点就是每一种事件沉积作用都拥有良佳的自生旋回产物，可以据之做出准确的相序分析，有益于产物模式的建立。

晚第四纪事件地质学研究不仅有重要的科学理论意义，而且有着非常重要的现实意义，表现在：

1. 气候演化意义

事件沉积记录是古环境、古气候影响下的作用产物，具有判别恢复古环境、古气候的标志意义。例如，海岸风沙沉积都分布在山前迎风坡或洼地中，是季风驱动下风沙流受到地形阻挡而快速沉积的结果，它的存在标志着形成时限内的环境条件十分干燥，砂粒不具粘滞性，容易被风力所起、搬运，当时气候条件必然是蒸发量远大于降水量的干旱气候，且盛行定向风，容易形成风沙流。根据不同期次风沙沉积物的厚度、序列特征沉积构造和基本相序以及定年尺度，就可以恢复不同时限风系的特征及其变化规律。再例如洪泛沉积，可根据是单一扇体还是复合扇体，叠置的特点、扇体形态、规模、沉积物性质、沉积物构造特征等，就不难判断出原始流体的方向、性质、强度和是否有长久性河流。根管石等伴生物的存在与否可以判断当初气候-植被状况，同时可以做出降雨量与洪泛的相关性结论。其他事件沉积记录，同样可以依其性质和特点，作出古气候、古环境的判别。因此，从整个序列累积作出古气候、古环境的演化，也就是水到渠成之事。

2. 事件地层学意义

根据事件沉积记录，建立起事件沉积序列，进行三度时空的标定，并进一步判定事件演化的时间尺度。在晚第四纪事件沉积记录中，可以标定千年级的事件，从而为高分辨率事件地层学的研究奠定基础。

中国海岸带晚第四纪风沙-土壤层序列剖面、风暴流沉积序列剖面、洪泛沉积序列和上述事件沉积与湖泊事件相复合的事件序列的分辨率，都已达到可以与北大西洋 Heinrich 事件序列、格陵兰冰岩心的 D-O 事件序列（是在格陵兰冰心序列中发现的一种旋回性事件，每一个旋回中包含着一个冷阶和一个暖阶，被称为 Dengaard-Oeschger 事件，简称 D-O 事件，下同。），加利福尼亚圣巴巴拉盆地的缺氧事件序列等相比较的精度。对冷、暖期气候变换、季风盛衰等能作出千年级的判别，使晚第四纪事件地层序列的划分对比，远较以往晚更新世以来的地层划分更为精确。海岸带晚第四纪事件沉积序列是海陆相互比较和全球性事件演化的基本规律和重要支撑。

3. 沉积-构造学意义

事件沉积作用的发生总是与一定的地形、气候密切相关的，构造因素在千年级小事件中表现得并不显著。例如对于相互叠置的洪泛沉积序列，以往均被视为构造沉降作用的结果。而最新研究结果表明，在一个山前长宽 500 m 的范围内，可以叠置 23 个扇体，同位于一个低洼的负地形中，完全取决于物源和降雨量，与构造升降毫无关系。这个现象表明，在盆地分析过程中，应特别注意事件沉积物的性质、物质来源与搬运介质，切不可传统的

构造观念去套用。

4. 防灾、减灾的意义

历史时期形成的事件沉积产物，比现今海岸带自然灾害强度大、持续时间长，作用性质相似。因此，可以通过古代事件作用过程分析，防治现代类似事件，也可根据不同事件的方向、路线，设置多级减缓或释放事件能量的措施，以起到减缓灾情、减少损失的作用。

第二章 海岸带的地质背景

第一节 概述

现今中国海岸带跨越了不同级序、特征迥异的构造区，并非是直接受构造活动所控制的，而是在它们的基础上，随着海平面的逐渐增高，滨线位置移动和范围扩大而成的，也是岩石圈板块活动的最新记录之一。

海岸带北起辽东半岛，南到南海诸岛，东濒太平洋，西亘若干构造区。对于中国大地构造性质和特征，不同学派有不同的称谓，演化过程亦常有大相径庭之处，令人难以融诸家之说而用之，择其一又难免偏颇。本书第一作者，以全球板块构造学说为基调，结合中国区域地质构造的特征和不同时空的拼合关系，提出了一个新的简要划分方案，探讨其基本特征，明确海岸带的基本地质背景。

中国境内区域地质构造的基本特征是：

(1) 南北分割，东西有别是最基本的特征，也是各个学派的共识，然而对于界定的范围和造成这一特征的原因，在认识上各有其说，难以适从。

本书对南北分割，东西有别的界定是从塔里木南缘，经阿尔金山北侧与走廊南山相接后，顺河西走廊南缘拐向东南直达大别山，被郯庐断裂带所截切。然后，从大别山南缘往西经桐柏山南缘、武当山南缘顺龙门山西缘呈弧形拐向元江，再经越南的红河往东，穿过雷琼至王五一文教断裂带，过巴林塘海峡与太平洋俯冲带相接。这是一条呈向东北凸出的梯形带，在空间上，不是单一的线形断裂带，而是一个宽窄不同的构造活动复合带；在时间上，从志留纪末期至今都有活动。现今的地震活动区，也都与这一构造带及其派生的构造活动有着内在的成因联系。武当山、桐柏山、大别山一带的区域构造，长期难以搞清，其主要原因也就是被这一复合带的围绕、转换和长期多次活动所复杂化。对于这样一条分割中国南北不同，东西有别的构造带，是因为原特提斯海最早俯冲，随着造山运动和俯冲位置的转换，依次往南迁移，从而也就是劳亚大陆与冈瓦纳大陆的分界带。它往西延伸到印度洋西缘被东非大裂谷所截，是印澳板块呈梯形凸向欧亚板块的一部分（图 1）。

这一分界带南北地貌差异极大，界南为中国最为醒目的造山带，随着造山活动时期的往南变新，高度亦不断加大，以致出现全球最高峰。界北则低矮、平缓。界东由于太平洋向西俯冲的共同作用，不同时段挤压造山带，成为东西有别的明显特征。

(2) 大型移置体的存在，使地质构造演化更趋复杂化。

中国境内已知飞来峰或移置体在空间上都是由西南往东北方向移动，在时间上从古生代到新生代都有。最大的两个移置体是台湾和北山，前者已作过报道，后者是首次提出。其范围，比以往所划分出的北山褶皱带，北山地层小区的范围要大，在地理上涉及新疆、甘肃、宁夏和内蒙古，其北界顺阿尔金山北缘断裂带往东北延伸进入蒙古人民共和国境内，南界从安北一金塔以北经白云鄂博到二连、索伦山一带，相当图 1 中的 A_1 。这一区域从早古

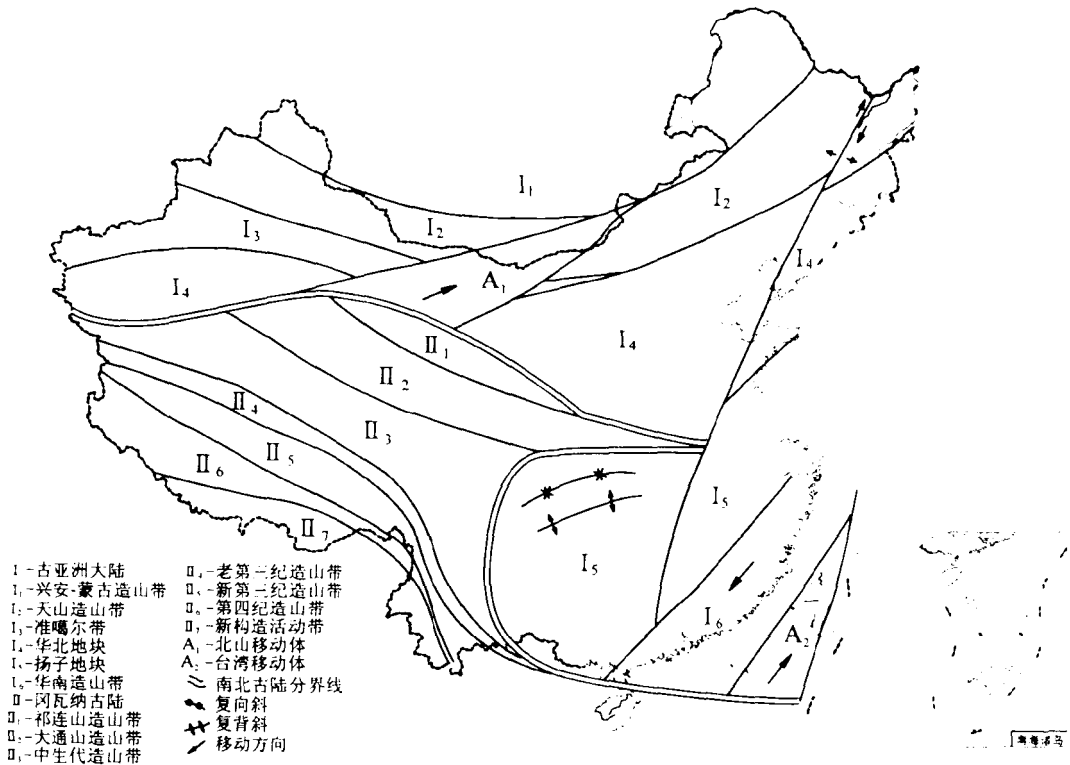


图 1 中国大地构造概要图

生代至晚古生代末，几乎所有地层都是特提斯海的产物，既不同于西侧的库鲁克塔格，也有别于甘肃龙首山区。早在 60 年代初期，本书第一作者与甘肃区测队技术负责人屈占儒先生去新疆同胡冰总工程师等 1:100 万哈密幅编图人员接图时，在北山与库鲁克塔格区域连接和构造属性问题上，就曾发生争议，在场的楚旭春先生和任纪舜院士认为双方资料都很可靠，均具说服力，以致出现北山地槽往西过渡为库鲁克塔格地台的认识（黄汲清、姜春发，1962）。实际上，库鲁克塔格带是原地岩系，而北山区则为覆于其上的移置体。总体走向北东东向，多条缝合带和石炭—二叠纪变质地层的存在都与华北板块格格不入，是二叠纪末期自西南方向逆时针推覆而来的地体。

(3) 青藏高原的形成与演化以及西太平洋俯冲带演化的相匹配，必然造成南北分割，东西有别。不同时代特提斯海的俯冲与消亡，是青藏高原带状地体产生的主因，新特提斯的消亡，导致喜马拉雅山的强烈隆升。

不同时期特提斯俯冲消亡带（包括陆—陆碰撞带）共有 7 条，自北而南是志留纪末俯冲带，成为南北两块古大陆的分界线，形成祁连山混杂岩带。第二条带是从阿尔金山顺党河到青海湖南缘，是晚古生代末形成的，相当于大通山混杂岩带。第三条带是一个宽阔带，显示出中生代特提斯的范围曾经扩大，至中生代末期俯冲、造山，包括了柴达木盆地和金沙江流域的山地。第四条带是老第三纪碰撞带，形成唐古拉山—横断山混杂岩带。第五条带位于班公湖—怒江一线以南，是新第三纪到早第四纪的碰撞带，也是喜马拉雅山的主要隆起时期，形成冈底斯山混杂岩带。第六条带位于雅鲁藏布江以北，是中更新世活动带。第

七条带位于雅鲁藏布江以南，是喜马拉雅山与印度大陆的最新碰撞带。这些带都是因为冈瓦纳大陆解体，向北挤压，使特提斯海不断缩小范围，直到消亡，并形成不同时期的造山带，这就是中国大地构造的主旋律。

中国大陆北部从内蒙古兴安褶皱带往南就是被撞碎裂的华北板块。其南界在郟一庐断裂带以西，与南北古陆分界线所界定，郟一庐断裂以东，则出现山东半岛南缘的缝合带，从青岛崂山到日照梭罗树的蛇绿岩带，到莒县、莒南的推覆糜棱岩和榴辉岩带，许靖华教授（1987）认为是扬子板块冲向华北板块所留下的记录，是一种比较合理的解释。

扬子板块被挤压碎裂为三大块，西部四川盆地一块挤压变形最厉害，往东被郟一庐断裂一分为二，再往东则为华南中生代弧后火山岩带，上覆有台湾移置体。中国海岸带，就是在这种构造背景下，伴随着海平面的抬升而出现的。

第二节 地质背景分析

渐新世末以前，南北古陆分界还是呈南南东向的延伸，扬子板块直接与西太平洋板块相接，且仍为陆地。到中新世初，第三纪冰川消融，气候逐渐温暖。全球性海平面大幅升高，海水由东南往西北涌进，位于热带水域的新特提斯海，在适宜的条件下开始成礁，并不断往北推进。直到第三纪末，印度大陆向北挤压，台湾推覆带逆时针滑覆，新特提斯海逐渐消失，一些小陆块发生移动，使构造格局有所改变，滑覆到现今位置的台湾成为岛屿，海南岛陆块亦成为岛屿，珊瑚礁区四分五裂，东沙也是伴随台湾推覆带向北位移的，部分礁体还被刮走，形成现今台湾西部寿山、鼓山一带的古礁残体。海水的侵进，淹没了东部开阔地，随着海平面的缓慢上升和风暴作用的不断活动，滨线越来越弯曲，以致造成现今的岸线模样。渤海覆盖在华北板块上，黄海跨越了华北与扬子板块边界，东海和南海北部则淹没了扬子板块，南海的主体位于南北古陆分界以南，继续保持残留新特提斯海的状态。

中国海岸带上地幔结构呈现出隆起一凹下间隔交替的特征，地壳厚度变化甚大，很不均一（图 2）。表 3 列出一些城市和区域的地壳结构数字，可见其变化之一斑。

表 3 中国东部若干地区地壳结构比较表（单位：km/s）

	常熟	启东	扬州	汕头	漳州	雷州半岛	海南岛	塘沽
0	4.7~5.2	5.6~5.94	5.73	5.97	5.58	5.51	5.84	
10		6.3	6.28	6.21	6.22	6.31	6.47	5.84
20	5.9	6.8		6.36	6.57			6.14
30	6.0	6.8	7.25	6.92	6.94	6.9	6.85	7.23
40	6.8			8.81	8.8			
km	8.0	8.0	8.03					

（据魏斯禹等，1990）

重力场是地壳表层形态、构造特征的综合反映。东部沿海 $1^{\circ} \times 1^{\circ}$ 平均布格重力异常表明，总体上与地形地貌相吻合。随着地形上西高东低，重力异常由高到低。区域重力场梯度带的分布、走向，形态特征与不同类型断裂带均相适应。一些板块边界、断裂带往往就

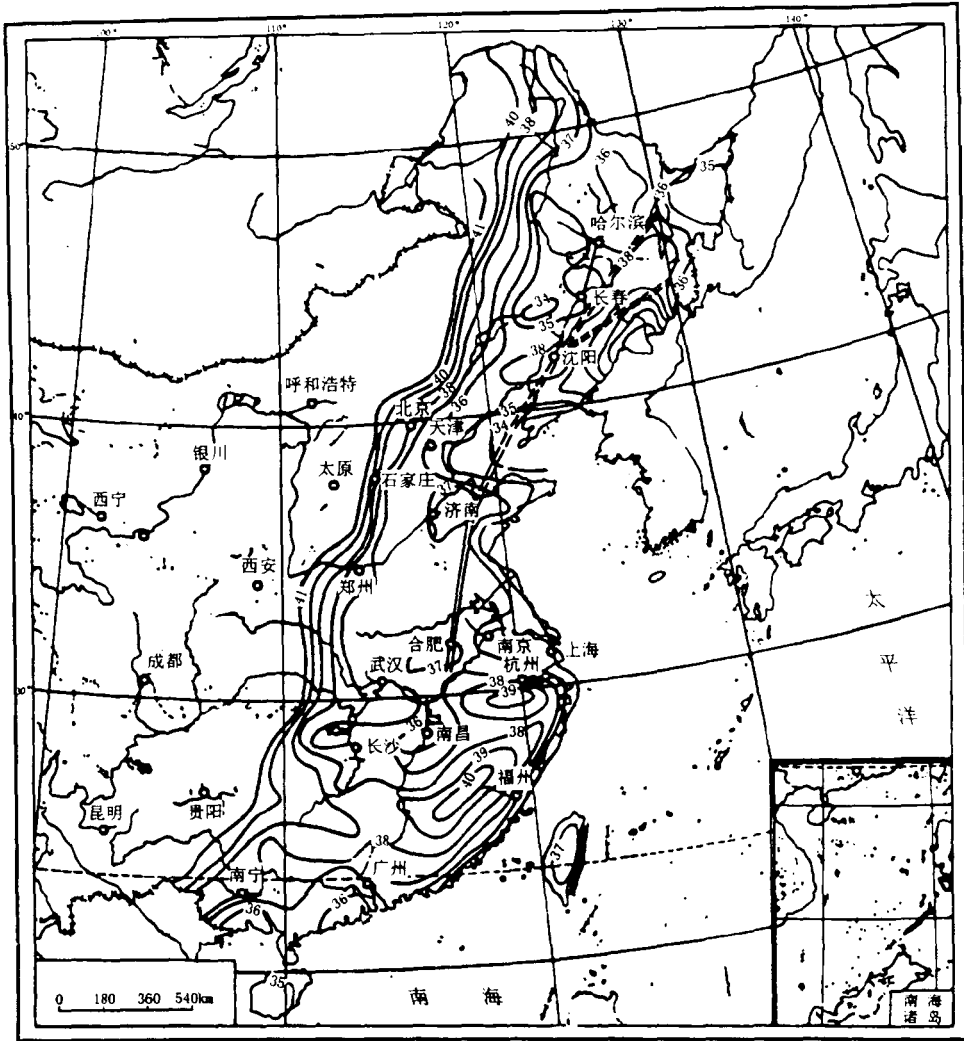


图2 中国东部地壳厚度分布图
(据魏斯禹等, 1990)

是重力异常高梯度带。重力异常杂乱模糊区, 则往往是不同构造区的交汇部位(图3)。台湾岛的布格重力异常场和自由空间重力异常场都是自身圈闭特征, 与周围海域衔接不和谐。

地磁场是地壳表层地质体磁性强度和构造形态变化的综合反映。中国东部航磁 ΔT_e 正负值分布表明, 郯-庐断裂带和华北板块、扬子板块分界位十分明显。南北古陆分界线在桐柏、大别山一带强烈挤压的特征亦非常清楚, 与扬子板块明显不同, 南北不同, 东西有别的特点尽显图上(图4)。台湾岛的磁力异常场与区域内北东向大的磁力异常场很不协调, 澎湖群岛的磁异常也呈紊乱状态分布在背景场上, 也显示出双重地壳的特征。

中国海岸带区域的地壳与上地幔结构无论在纵向或横向上都是不均匀的, 主要受控于板块边界和内部断块组合关系。华北板块表层的速度值明显高于华南, 而海南岛又高于雷州半岛和华南一些地区, 说明它们原本就不是同一块大陆。台湾岛的地壳厚度大, 显然与岛弧的地壳不符, 从地表往下约 10 km 处是一个低阻带(陈洲生, 1999), 亦表明是双重地



图4 中国东部航磁 ΔT 的正负值分布图
(据魏斯禹等, 1990)

中国海岸带晚第四纪事件沉积作用就是在这种背景下形成的，虽然在成因上与各个构造单元或断块并无直接的内在联系，但是地理、地貌位置却是不同构造组合所留下的痕迹，物质来源也有着千丝万缕的联系。

第三节 中国海岸带的基本特征

海岸带是水圈、气圈、生物圈和岩石圈相互作用，能量互相转换的特殊环境，对各种变量因素反映敏感，与全球变化息息相关。拥有海岸线的国家，无不对海岸赋予极大的关

注。无论从经济或者从科学、文化，对外交流等来讲，海岸带都是最发达和活跃的地区，也是人口密度最大的区域。同时，海岸带又是灾害多发区。因此，对海岸带发育演化基本规律的认识程度，直接关系到自然环境条件的保护和可利用程度，持续性发展和维持生态平衡的基本状况。强化研究，处理好局部岸段与总体匹配的相关性，才能有益于提高改革开放的力度，加大开发的强度，维护和保证人类生存空间的质量。

中国海岸带是 13 万年来，在海平面缓慢稳定不断上升和间歇性突发风暴流作用与三大自然环境的匹配转换下塑造出来的，具有一些独有的特征，可概括如下：

(1) 中国海岸带跨越了南北两大古陆的结合带，又濒临太平洋板块往西俯冲的岛弧带，不同时期弧后岩浆活动由西往东迁移，而且越来越弱，以致造成中生代末期的花岗岩类在北部古陆区十分普遍，是各种事件沉积作用的物质基础。现今滨线是最近 1 万年来伴随着海平面的不断升高，侵蚀淹没陆地而成的。

(2) 中国海岸带属于板内海岸，潮坪带发育。大型岬角—海湾的形成取决于构造板块和断裂的切割。次一级岬角—海湾则受控于断陷盆地和花岗岩基的存在。它们同属于一块基底，并不像习惯认为的那样，岬角区抬升，海湾区沉降，而是共同沉降，由于受断裂活动的影响，而使不同块体，各有其自身的沉降速率。

(3) 中国海岸带上，海岸类型多种多样，颇具特色。各种不同类型的海岸，几乎是在同一时限内完成，既没有原生、次生之分，也无需划分内力、外力作用，其主要控制因素就是海平面抬升、侵蚀和物源性质。沙坝-潟湖体系、河口沙坝，陆架区潮流沙脊，都与末次冰期阶段形成的古沙地的被改造密切相关。不同海岸类型的塑造过程和沉积物特征及其序列研究，对判别事件性质、频率和比较研究现代同类灾害的防治，均有着不可低估的作用。

(4) 中国海岸带上，晚第四纪红色沉积物极为发育，与现代纬向气候分带没有成因联系，是一大特征。这些红色沉积物的成因不尽相同，却并无地域上的特定成因限制，已知四种成因的红色沉积物，南北都有。首先，最广泛的一种就是俗称的老红砂型红层，以往曾经被视为是华南特有，然而调查表明，北起辽东半岛、经山东半岛、苏北、浙、闽、粤、桂直到海南岛和台湾环岛海岸带上都有分布，其主体序列是由风沙沉积与土壤层交互更叠而成，也常夹有洪泛砂砾层、冲积层，有时还会出现湖泊相沉积，尤其是在花岗岩侵蚀面上的底部层位，更加常见。第二种是风化壳型红层，在空间分布上虽然也是南北都有，但却只限于大陆岸带，海南岛和台湾环岛岸带上这种类型缺乏。第三种为红土型红色沉积，其成因只与玄武岩的风化作用有关，在空间上呈现出跳跃式零星分布。北方见于山东蓬莱，往南出现在厦门、雷州半岛、海南岛北岸、涠洲岛、碓洲岛、斜阳岛、澎湖群岛等。第四种是洪泛型红色沉积，在空间上相当广泛，无论南北大陆岸带，海南岛和台湾环岛岸带上，都有所见，其层位多在风沙-土壤层序列之下，尤以晚更新世早期出现最多，也是小湖泊沉积序列中常见的序列。不同成因的红色沉积及其成土化作用的层位，对于判断中国东部古气候-古环境演化十分有益。红土化范围，空间分布既然不受控于现代气候带格局，那么它们形成时的古气候南北相若，东西不同，其限定边界大致在太行山东缘往南斜向延伸，至少可到中越边界的东兴，那里老红砂色调变黄，特征却还相当明显。

(5) 中国海岸带上，除了前第四纪地层和岩浆岩以外，第四纪沉积物的主体就是晚第四纪各种事件沉积作用产物。它们有风暴流沉积序列，风沙土壤层交互更叠序列，洪泛沉

积序列，冲—洪积—湖泊复合沉积序列，湖泊沉积序列等，都具有事件多发，环境转换频率高的特点，是海岸带晚第四纪古气候变化和古环境转换的大事记。一些含有有用矿物的经济砂矿资源，特别是型砂、玻璃砂矿资源，都是晚更新世事件沉积作用的产物，像渤海湾西岸，山东半岛北岸，闽、粤、琼、台沿岸等，均有分布，内陆架区的砂矿资源远比海岸带更加丰富。

(6) 晚第四纪以来的滨线海岸，是一个从东往西不断蚀退的岸线，各处侵蚀速度不等，刚性基岩区，蚀退速率平均为 $2\sim 3\text{ cm/a}$ ；柔性岩层或固结不紧的沉积物，其蚀退速率超过 5 cm/a 。那些邻近外海，受风驱作用明显的岛屿岸段，蚀退速率可大于 10 cm/a 。只有那些输沙量大的河口段，是淤涨的岸段。海岸带上那些长宽不大于 10 km 的小海湾和长度在 1 km 以内的岬角，大多是全新世以来的蚀退产物。

(7) 中国海岸带范围内，无论是沿岸陆区还是在 15 m 水深以内的内陆架区，包括台湾环岛海岸等，均未发现晚更新世以来的正常海相沉积地层。含有海相生物化石的沉积物或沉积序列却不鲜见，它们都是被风暴流携带、磨蚀，再沉积的产物，拥有风暴序列特征，是间歇性或称突发性风暴海水涌向沿岸（包括冰期时的陆架区），沉积下来，被误认为是正常海侵层。因此，晚更新世以来，以往被厘定的多次海侵，均应当废弃，海洋大调查中，重新加强陆架区柱状岩心的沉积地质学研究，正确判别各个层的环境标志及其转换关系，分出不同事件沉积作用的产物。同时，不能再使用这一类测年材料进行 ^{14}C 年代测定（常规及 AMS 均不宜用），来标定沉积物的年代。

(8) 在邻近滨线的岸带上，除了那些位于现今最大高潮位以下的洞、壁龛、柱、拱桥、平台等景观以外，那些孤立出现在不同高度的洞、台、柱、拱桥等，都不是历史时期高海平面侵蚀留下的痕迹。作者对大陆岸带、海南岛、台湾环岛岸带和西沙群岛岸带以及南半球西澳岸带做了实地调查，都可证明现今海平面是晚第四纪以来最高的，除了突发的，间歇性风暴海水上岸，冲上几十米甚至上百米的高度外，没有出现过高过现今的全球一致性高海平面，因此，位于现今最大高潮线以上的稳定型高海平面形成的海蚀遗迹是不存在的。被风暴流携带或抛上岸的生物骨骼或堆积物不能用作判断地壳抬升的依据，更不可以此类产物去论证全球一致性海平面的升降变化。

(9) 中国领海范围内的岛屿类型多，大小不一，形态各异，既有群体，亦有独立分布；既有松散砂岛、砾岛，也有基岩岛。大小岛屿分布的不像有些岛国那么集中，但总数却接近 7000 个，也具有多岛屿特征。

(10) 中国海岸带新构造活动十分活跃，主要表现在继承性活动断层的建设作用和破坏作用。所谓建设作用是指活动断层派生出的温泉和地热，能够造福于人类。所谓破坏作用就是活动断层引发的地震，给人类带来灾难。活断层的部位在推覆带和移置体底面，为最新碰撞带、两大古陆结合带及其派生断层。中国境内 95% 以上的地震，都导源于南北古陆结合带及其派生分枝断层，北西西与近南北向是主导方向，它们的结点活动位往往是震中所在。大震出现的频率对应于太阳黑子周期及其倍数周期。

中国海岸带十大特征明确，独特，与全球其他海岸带明显不同。任何空间段的开发、利用和工程建设，都必须要有整体权衡，特别要注意开发、建设后可能发生的环境转换，防患于未然。