

层序地层学和海平面变化

张选阳 译编

(成都地质矿产研究所)

一、引言、意义

海平面相对于大陆的震荡变化受全球海面变化,以及沉积物供给的变化和沉降速率的控制。如果我们想要了解全球海面变化的原因,以及它与其它全球地质现象,如板块构造、气候、大洋缺氧事件等之间的关系,那么,区分全球海面变化与沉积物供给和沉降的影响,这一地层学上的老问题便具有极大的重要性。从地震地层学以及最近的层序地层学认识到:沉积层系可分成许多由不整合面限界的沉积序列;最近又进一步了解到,这些序列内的相组合和几何形态与海平面变化有关。这样,就为阐明全球海面变化史铺平了道路。CRER 第一工作组的任务——层序地层学和海面变化——就是要在上述成就的基础上,对白垩纪时的沉积旋回性的成因,按 1—10 百万年的时标进行预定的研究,特别要估计白垩纪时,全球海面变化在形成的不整合为边界的沉积序列中所起的作用。

白垩纪很适合于这样的研究,在许多大陆的内部和厚大的被动边缘层序中到处都有合适的地层,前者是晚白垩世时海平面长期高水位的结果;后者则是与中生代时超大陆的联合大陆的分裂有关。白垩纪层系,无论是深水相还是浅水相,均具显著的旋回性,这一事实长期以来归因于(至少是部分地归因于)海平面的变化。白垩系虽有高质量的地质年代学优势,但它似乎早于标志新生代特征的全球性冷却事件的开始,因此海平面变化纪录中可能很少或没有冰川性海面升降的组分。这就提供了一个研究海面变化的无冰川机会。最近出版了三叠纪以来海面波动年代学的概要(Haq 等, 1987),虽然只部分地建立在合适数据的基础上,却已经促进了学术的研究,并对白垩系研究的重心、或焦点所在提供了线索。白垩系也含有巨大的石油和煤资源,本研究课题也会改进我们对这些资源的分布的认识。所以本课题要解决的问题对及时认识全球范围的基本地质过程有重要意义,和对资源勘探提供中肯的意见,总之,它很适合作为 GSGS 的合作研究课题。

本文是想引起讨论,和得到本工作组成员修正。许多成员将不可能出席 1988 年 9 月的法国迪涅会议,我们对邮寄来的改进或改动意见表示感谢,我们也很想听听未列于通信名单的其它科学家的意见,特别是那些在北美和欧洲地区进行研究工作的、有兴趣参加本工作组活动的科学家们的意见。我们的近期目的是仔细检查一下海平面变化的定时。从长远看,我们想估计海面变化的速率和幅度,特别是在那些有把握定量其沉降史的沉积盆地中进行。这样,本工作组参加者主要为地层学、地震地层学、测井解释、沉积学、生物地层学、磁性地层学、稳定同位素地球化学,和放射性年龄测定方面的专家们,而那些地球物理模式上富有经验的专家们,也可起到重要的作用。

二、海面变化的地层记录

(一)海面变化的常规地层记录

对海平面变化常规地层学方法是解释相序中古水深度的变化,和据海岸线变迁的观察资料,对大陆的淹没程度进行定量估算。如果一套从硅质碎屑岩相到碳酸盐相中,水深或滨线位置在区域或大陆间级别内成协调一致的变化,那末就表示受全球性的海面变化控制,其可信度依赖于相解释的可靠性和分辨率,生物地层学对比的精度及这一对比的范围。

水深和滨线位置在一个很大的时标范围内,对大地构造沉降速率^①和碎屑沉积物的供给(或碳酸盐沉积物的生产),以及全球海面变化非常敏感。即使沉积作用为全球海面变化所调制,但某一全球海面变化“事件”在所保存的相中也可能不明显突出,最大或最小水深或海侵/海退的时间也并非各地恰好同步,比方说,在一沉积物匮乏的沉降盆地中,最大水深的时间就肯定不是最大海侵的时间,因为在开始海退和大量沉积物进于深盆之间存在着时滞。在沉积作用与沉降作用大体同步,和海平面振荡变化的地区,最大海侵发生于全球海面上升最快的时刻;在沉积物供给低的地区,只要总下沉速率高于全球海面下降的速率,海侵甚自可在全球海面降低时发生。这样,古水深和滨线位置的稳定的区域变化可能意味着受全球海面变化的控制,而不同盆地内或不同大陆上海面旋回时间上的不一致也不能排除全球海面变化存在的可能性。

(二)层序地层学和海平面变化

研究海平面变化的另一途径是辨认以不整合为界面的沉积序列。层序地层学并不否认海侵海退旋回的存在。它只是将相的旋回性分布置于一可预测的几何框架之中。然而,不同于海侵海退,大多数不整合具有年代地层学的意义,即使说,不整合面的上覆地层几乎毫无例外地要比下伏地层新。序列的界面因海面下降速率的增加,或沉降速率的减低而形成,而它对沉积物供给量是较不敏感的。正因为如此,在与海洋相通的所有盆地中,起因于全球海面变化的序列界面应该可以对比,或可以近似地对比,而与盆地的沉降速率,或沉积物的供给无关。不管海平面是迅速变化(如大陆冰川时期),还是按相似于典型的构造沉降速率的速度变化,这点都是对的。然而我们也注意到,在是否多数或甚至任一显著的序列界限面都可能起源于全球海面变化这个问题上,意见远不一致。

层序地层学方法的另一优点是它可用于地震反射剖面(地震地层学),以及露头 and 测井

① 大地构造沉降是指盆地海平面稳定不变和没有沉积作用条件下的主动沉降。

横剖面中。在地震剖面上,不整合面和其它地层界面的几何总体形态易于确定,因为这样的界面常常是声阻抗反差重要来源。地震剖面只有很少的滨线位置的直接信息。

三、层系地层学的概念格架

(一)序列和序列界限

沉积序列定义:成因上相关的相对整合的层系,由不整合或其相当的整合面所限。序列界限总是与下伏地层的顶覆(toplap)和/或侵蚀截顶(退覆 offlap)相关,而在上覆地层的海岸上超(onlap)中向下移动(图 1、图 2)。因此,这类界限的形成可以认为是无沉积侵蚀带的扩大及随后的埋藏。无沉积区(沉积物越过区)的扩大乃沉积基面下降造成的;沉积基面是渐近海平面的一个假想面,在该面之上,不可能有大量的沉积物堆积。在某特定地点基面的高度

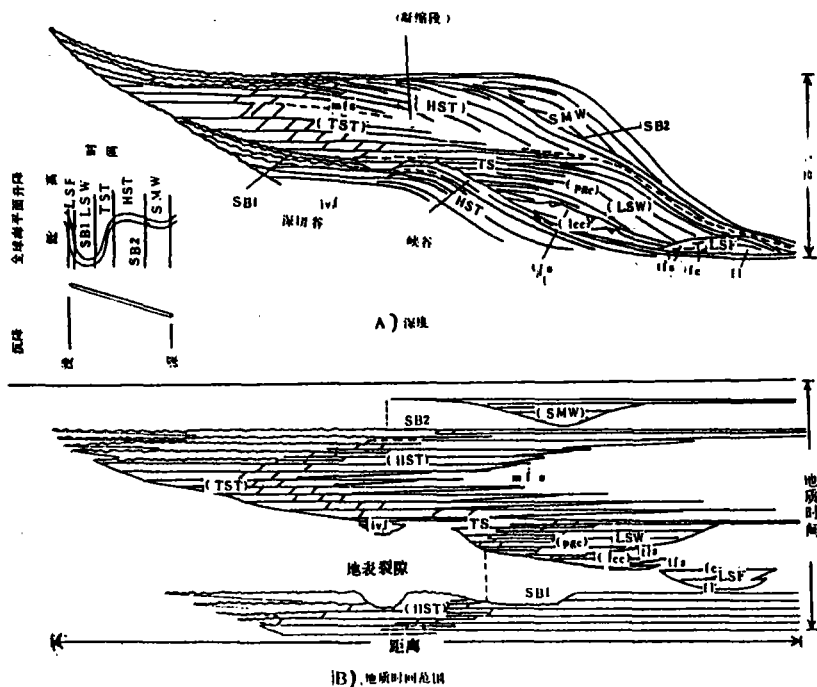


图 1

图例

地表
SB: 序列界限面
SB1: 类型1
SB2: 类型2
mfs: 最大淹没区
tfs: 顶扇面
tis: 顶堤成水道面
TS: 海侵面(最大海退
之上的第一次淹没面)

体系域
HST: 高水位体系域
TST: 海侵体系域
LSW: 低水位体系域
ivf: 深切谷沉积
pgc: 推进杂岩
icc: 堤成水道杂岩
tc: 扇水道
fl: 扇叶状体
SMW: 陆棚边缘楔形体系域

是构造沉降和海面变化速率的函数。海面下降速率增加或沉降速率减低,促进了沉积物越过(bypassing)以及退覆面的发育。当海面下降速度低或构造沉降速度增加时,不整合面就被埋藏(更新的上超)。

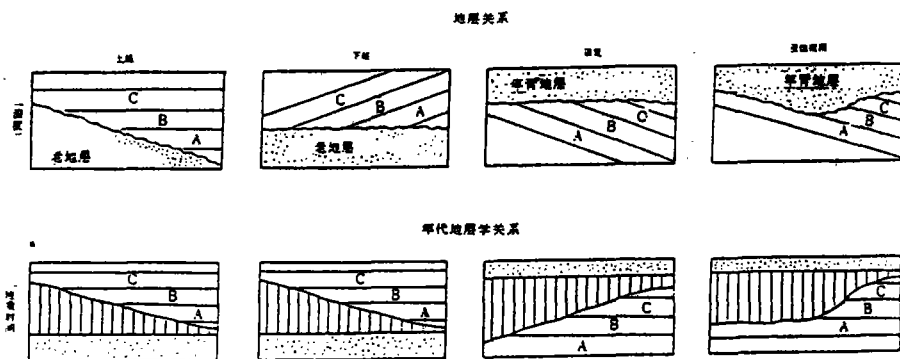


图2 地层关系及年代地层学关系

序列界面展示了连续的特征,但可分为两个主要类型。类型1与河流淡化、陆棚区的沉积物越过,以及沉积作用优先发生相邻盆地中这些事件相关。类型2一般缺乏上述特征,与上覆陆棚沉积物的间断不明显。类型1和类型2不整合面可部分地解释为沉积的海岸破折(coastal break),它是坡度的细小变化,一般水深数米处,介于递变或于近递变的陆上剖面和浅海陆棚的深水剖面之间。随着沉积基面的下降,沉积的海岸破折向海迁移,其速率通常低于沉积物越过带的扩大速率。如果沉积与无沉积之间的临界沉积物越过线向海迁移超出了沉积海岸破折,河流活化和峡谷下切等现象得以加强(产生类型1界面)。如果该临界线还停留在破折点以内,则倾向于形成类型2界面。这里使用沉积海岸破折这个术语来代替原来的“陆棚边缘”(shelfedge),后者与大家熟悉的但概念上不同的、现代被动大陆边缘的陆棚、陆坡之间的自然地理界限易于混淆。

全球海面变化性类型2界面的年龄与海平面下降速率最大的时期相对应。类型1的界限面可能稍有穿时,因为在海面沉降达到最大速率之前,低位沉积物就可能已经开始堆积了,但这种穿时的程度并不大,可能要比1/4旋回的时期短得多。

(二)层系内的相排列

基面震荡变化也引起滨线位置的旋回性变化,因之也导致层系内岩相的旋回性排列,但海侵和海退的时期相对于序列界限面来说,存在着系统性地异相。即是说,最大海侵和海退的时间一般不是序列界限的形成时间。因此,可以据地层学位置、地层几何形态以及相排列,在一序列内确定出三种体系域(systems tracts)。

在序列内,最老的沉积构成了低水位(图1中的LSW)和陆棚边体系域区(SMST)前者覆于类型1界面上,后者则覆于类型2界面上。低水位沉积物包括“深海”浊流系统(扇),有些地方还有一推进的陆棚和斜坡沉积物的上覆楔形体,在序列界限形成期间,它们可能部分或全部地充填深切谷。深水相单元之下和其间普遍是下超面。沉积时的实际深度取决于斜

坡是否是被动边缘的大陆斜坡,或是陆棚内(缓坡位置)的次级地形。低水位沉积物不一定堆积在特别深的水中。

所有不整合界面所限的沉积序列均由更高一级的序列或准序列(parasequence)组成,它们无论是硅质碎屑岩相还是碳酸盐相均典型地向上变浅,其上、下均为海洋淹没面所限。这些准序列可叠置成准系列组(sets),组可能记录前后相继的准序列的总进积(progradation)、总加积(aggradation)、或总的退积(retrogradation)。即是说,这些连续的准系列,单个地可能是进积的,但总合在一起考虑的话,就可能是逐渐地向大陆推进的。低水位体系域(与类型1界限相伴)的上部和陆棚边缘体系域(与类型2界限相伴)是以一进积型到愈益加积型准系列组为特征。而这些体系域的每一个上界(海侵表面)相当于最大海退时间。

序列界限的形成和海侵表面的发育之间的相位滞后乃是沉积物供给量和海面下降速率的函数。当全球性海面(变化)系列界限发育时,盆地边部大都为沉积物越过区,甚至是剥蚀带,这就增加了沉积物的供给。如果有足量的沉积物,那么甚至在海和/或海岸上超(onlap)重新开始之后,滨线仍继续向海推进(与序列界线相反)。

上覆的海侵表面是海侵体系域(TST),由一退积的准序列组组成,其上以一相对较薄的凝缩的(condensed)远洋和半远洋沉积物段为界限。海侵体系域在陆棚上形成一被覆席,并充填了任何一种与深切谷相关的残留地形。野外观察说明:在深切谷范围内,向大陆方向存在有一系统的变化,从主要是低水位沉积的充填到主要或全部是海侵沉积物充填。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。海侵沉积物本身向海、向陆减薄,而凝缩段也可在盆地最深部与下伏序列界限合并。凝缩段沉积时,陆源沉积物供给相对较低的标志有:远洋化石含量高、有机质含量高、海绿石和磷酸盐的出现,以及薄层微晶碳酸盐的发育,这些可能整个或部分成岩作用成的。浓缩间段在地震剖面上也可能表现为一下超面,虽然在露头上,一般难以观察到这种几何形态。对于因全球性海面变化而成的序列,浓缩段代表海面下降速率最低值的时间(或者海面上升速率最大的时间)。

沉积序列最上部是高水位体系域(HST),它由加积到进积型沉积的准序列组组成,其上界为下一个序列的界面。在体系域下部,退覆准序列是S形(sigmoidal)进积,而在上部渐为斜交进积(oblique progradational),相应于序列上部沉积期间临界越过线的向海迁移。最大上超与HST的下部位置相对应,而退覆准序列由非海相和海相组成。地震反射剖面上常被解释为海岸上超位置的突然向下迁移,实际上是逐渐发生的,而与广泛主张的观点相反:形成序列界限并不需要快速的海面变化。

四、实际考察

(一)地震地层学

在地震剖面上借助地震事件倾斜终端(oblique termination)来鉴别不整合面,相当于上超,下超覆,顶覆和侵蚀截顶(图2)。这些地层关系常常沿着一界面发生侧向变化,地震事件局部与不整合面相平行,特别是在那些相关整合面处(correlative conformities),那儿实际上不存在有效地沉积间断。如果有大的阻抗反差,则不整合面自身只产生反射。这类反射可能

不连续,特别是在上覆、下伏反射层的不协调性导致(引起)侧向相位变化处。并非所有的地震事件都具有原生的地层学的意义。非地层学事件的例子是由低角度断层和成岩界面,以及诸如复合(multiples)、相干干扰、在数据处理过程中未迁移至其固有位置的衍射、和横击(sideswipe)(从剖面平面外返回的能量)之类特征所共同产生的。我们假定解释者能鉴别出这些现象,这里就不再进一步考虑。

并非所有地层学上有意义的反射终端(reflection termination)都表示序列界限。比如,下超表面可以出现在沉积序列之内,既可出现于低水位体系域(LSW)中,也可出现在海侵和高水位体系域之间。在序列范围内对反射终端面的辨认反映了早期实践的偏差。序列界面的关键属性是:它与海岸上超的向下迁移相伴生,但现有地震剖面中的下移现象分辨不出或不能成像,使得地震解释非常复杂困难。为了全球对比的目的,千万不要把序列界面和其间的下超面相混淆。沉积序列本质上还是三维的,为了获得一个前后一贯的地质上合理的解释,在地震剖面网上追踪界限面就十分重要了。根据一条剖面的解释而得出的结论,肯定是相当不可靠的。

垂直方向上地震分辨率典型地为几十米这个级别,但石油开发过程中所得到的地震剖面,籍从速度和密度测井资料而得到综合地震记录,或用垂向地震剖面而常规和可靠地与钻井或测井数据联在一起。当生物地层学上可分辨,或伴有相或地层倾角的明晰变化时,就可以在岩石地层(学)内,定位某一给定的不整合面,其精度至少要比地震分辨率高一个数量级。地震地层学上最常见的错误发生在缺乏这类钻井控制的地方,一个不整合反射面就会被侧向追踪至一实际上超该不整合的明显的反射面。

(二)露头中的层序地层学

当试图在露头上研究层序地层学时,主要的困难乃是一个规模的问题。很少例外,在单个露头上总是只能看到某序列的一小部分,因为序列的倾向范围可能比厚度要高几个数量级。加之,地层的尖灭又总是非常地隐蔽,许多场合需要大区域的细心填图才可能揭示这类尖灭现象(例 Pipiringos 和 O'sullivan, 1978 在科罗拉多高原上对三叠纪和侏罗纪地层的工作)。Mutti(1985)在西班牙北部研究始新世 Hecho 群浊积岩时成功地在航空照片上划出了序列界限,Chris-Tie-Blick 等(1988)在应用层序地层学研究北美和澳大利亚的前寒武纪岩石时,也在较小范围内采用了类似的方法。当序列界面具有侵蚀成因的起伏时,地层尖灭现象就最显而易见,但是起伏可局限于下切谷,而其间区域却缺乏可分辨的差异。

在富含化石的岩石中,序列界限面的位置可由生物地层学解释,而相分析则为层序地层学提供了另外的线索。最易于鉴别的地层面是在准序列顶部的海洋淹没面。这些表面通常与一明显的不整合相对应,其下为非海相或浅海相,其上为较深水的海相。由于海侵过程中的冲刷作用,这些表面局部是侵蚀的,但它们在横向上不如序列界限稳定。海侵表面把区域规模的加积性准序列与进积序列分开。除此之外,海侵表面相似于其它准序列界限,因之在有限的露头上难以鉴别出来。

在粗粒浅海相与河流相中,第二个最易鉴别的表面是序列界限面,即使侵蚀截顶和上超并非发育得特别好的地方也能鉴别出。显著突出的不整合面(类型 1)常与相的间断相共生(例如介于浅海沉积(下)和河流沉积之间)。即使重叠类似相(比如河相)的地方,序列界限面也可因沉积物突然变粗而非常明显。类型 1 不整合也可与渗流成岩作用和古土壤的发育相关。从相的关系来鉴别类型 2 不整合较难,因为相的间断较小或者没有。正因为如此,我们

可以想到,如果只有露头资料,很多不显著的不整合就会隐而不见。另外一个复杂的情况是:向盆地边缘,海侵表面趋于与下伏的序列界面合并。在这种情况下,即使类型1序列界面也可能与突然向上变深的相一致,而不是与向上变浅的相一致。在向盆地中心追踪序列时,要紧的是认出序列界限在何处开始与海侵面分离。如果做不到这点,序列界限的估算年龄就会太青。

在细粒深水相中,根据化石的浓度和物理的证据,凝缩层可能比序列界限更易识别。当侧向追踪到浅海沉积物时,凝缩层就变得越来越隐蔽了。

很清楚,在序列内的相和叠置在序列界面上的相的特征有重要的侧向变化。我们着重指出:根据孤立的测量剖面,在露头上不可能成功地进行层序地层学的研究,而必须对局部和区域范围内的物理面填图才行。我们预测,露头研究最易犯的错误,是把海侵面和其它海水淹没面错误地解释为序列界限。

(三)测井中的层序地层学

测井提供了比例尺介于地震剖面和地表露头之间的区域地层资料。如果有很多测井可用,就可对地层几何形态获得极佳的三维控制。如同地震资料一样,如果缺乏钻孔,就更难解释沉积相。如果井距小于10km就极易对测井进行成功地分析,以便最大限度地减少那些被局部侵蚀掉的或与其它层位合并的层位在对比上的错误。测井对比不应简单地当作类型匹配练习,而应该把层序地层学的原理记在心头去进行。例如,在页岩类单元中,以及从海水淹没面的对比中,可得到最可靠的地层和时间对比关系。与相间断相伴的序列界限面在电测井图上可显示为清晰的向上跳跃,而不是逐渐地向上变浅(shoaling)。层序地层学的最佳之处是不单纯依赖单一类数据组合,而是综合考虑来自地震剖面、测井和露头的观察资料。

(四)在确定序列界限成因上的实际问题

全球海面变化不整合面的基本特点是其全球稳定性。在试图把这类不整合和局部意义的不整合(如与构造、沉积物供给、或变化的古海洋地理条件有关的不整合)区别开来的工作中,如某一给定盆地明显缺乏“全球”的序列界限,一般就认为这是否定全球性海面升降成因的证据。但运用这一准则必须小心。在同一盆地中,不同的地层学工作者会主观地选择不同的不整合来进行对比,甚至可能不用同样的原则选择序列界限;许多不整合逐渐过渡为相关的整合,以及在地震地层学的实例中,即使知道了某一特点的不整合的存在(比如说,根据生物地层学资料),但不一定就是地震波可分辨的。要想排除某一不整合是全球海面变化形成的,仅仅指出该假定的全球性不整合面的时间与给定盆地内一突出的但是局部性的构造事件时间相一致是不够的,因为局部的构造和全球海面变化是相互独立的现象。另一方面,不同盆地中局部性不整合可能偶然有近于相同的年龄,因之可能被不正确地对比,以为是全球海面变化的信号。为了客观地解决这些问题,十分重要的是:用来比较的每一盆地的地层学均建立在露头、测井和地震剖面的数据逻辑一贯的详细解释基础之上,并且这些数据是高质量的。除石油工业以外,很少有这样综合的解释。同样绝对必要的是:不但要对序列界限的年龄获得最佳可能的估计,而且要考虑每一界限所能达到的地质年代学的精度。所要考虑的问题是:不只是表明给定盆地的地层学与某一假定的全球性不整合的特定方案一致或不一致,而且要检验该方案可能真实的分辨率。

简言之,通常认为构造沉降的变化是长时间性的(>10百万年级别的),而相对海面的高频振荡则归因于全球性海面变化。这是一个合理的工作假说,尚有待地质观察资料最后证

实。Cloetingh 等(1985), Cloetingh(1986)和 Karner(1986)已经从理论研究提出,岩石圈内的水平应力可引起几十米级的垂直运动,其速率与构造沉降的典型速度(1cm/1000 年)可比较,其时间规模相当于相对海面变化的三到四级旋回(<5 百万年)。现行工作方法是利用纽芬兰宏岸区(Grand Bank)的白垩系地层资料来检验这一机制。不管这些研究工作的结果如何,还可发现短期性海面变化的其它机制,但频率显然不是区分全球性海面变化和构造控制的海面变化的合适准则。如果没有十分矛盾的依据,最好将全球性海面变化、沉积物供给以及构造沉降都作为发生在各种时间规模级别上的连续变化。

五、目标(的)小结

CRER 第 1 工作的最终目的是估计全球海面变化在白垩纪时形成不整合面限定的沉积序列中的作用,和估价在非专利版权出版物上发表的显示全球性海面的振荡幅度和时间的海面平面曲线,以及这样估价中的可能误差。近期内,大概在今后 3 年,我们将主要集中解决时间的确定问题,如本文所示,重点放在中白垩纪的序列。按 Haq 等(1987)的意见,白垩纪中段,大约从阿普第阶之底到桑托阶之顶,包含有大多数白垩纪的主要的全球性序列界面。限定短期目标是为了确保尽快获得实质性成果,也因为,在没有确立全球性海面变化存在的事实之前,开始海面波动的横式研究是毫无意义的。

1988 年 9 月法国迪涅会议的目的在于:确定长、短期目标、通过方法学、为继续或开始专题研究制定计划,并讨论出版成果的形式。我们也将建立一种与其它 CRER 工作组课题联系的机构(制)。

(一)方法学

各个课题无疑要使用各种各样的不同质量,不同时空范围的地表和地下的资料。因此,工作组成员采用共同的方法有实质性意义。若非如此,则盆地之间将难以进行可靠对比,因之我们的目标也不大可能实现。上面所总结的概念格架并不能代替更全面的文献的阅读。而且它还会有可争议的因素,因之有待工作组的讨论。我们建议,没有序列地层学工作经验的人要寻求正式的指导。我们还建议,随着 CRER 计划的进行,工作组的权威性小组去访问关键地点,较仔细地检查关键的数据。

(二)白垩纪海面变化年代学的工作模式

图 3 为 Haq et al(1987)发表的对白垩纪海面变化的解释。^①该图总共有 8 个超级旋回或二级边界,其中七个为类型 1。这 8 个边界是:贝利亚斯末、中豪特里维、早阿普第、阿尔布初、晚阿尔布、晚土仑、中坎佩尼、晚麦斯特里希特。三个附加的序列界限为类型 1,其年龄定为早凡兰吟,中森诺曼和晚桑托。Haq et al(1987)认为,白垩纪最突出的界限是早阿普第,中森诺曼,晚土仑和晚麦斯特里希特。其中三个,以及十个类型 1 序列界面中的 6 个都存在于中白垩世,即从阿普第之底到桑托之顶,跨时约 3000 万年。我们提议,在今后三年内瞄准这个间隔进行工作。选择该间隔唯一的严重问题是它相应于白垩纪的正极性的磁平静带,因之磁性地层学对地质年代学将不会有多大帮助。

① 译编者注,该图原为二幅,其中的生物地层学栏,因字迹不能辨认,故略去,而把剩下部分合为图 3。

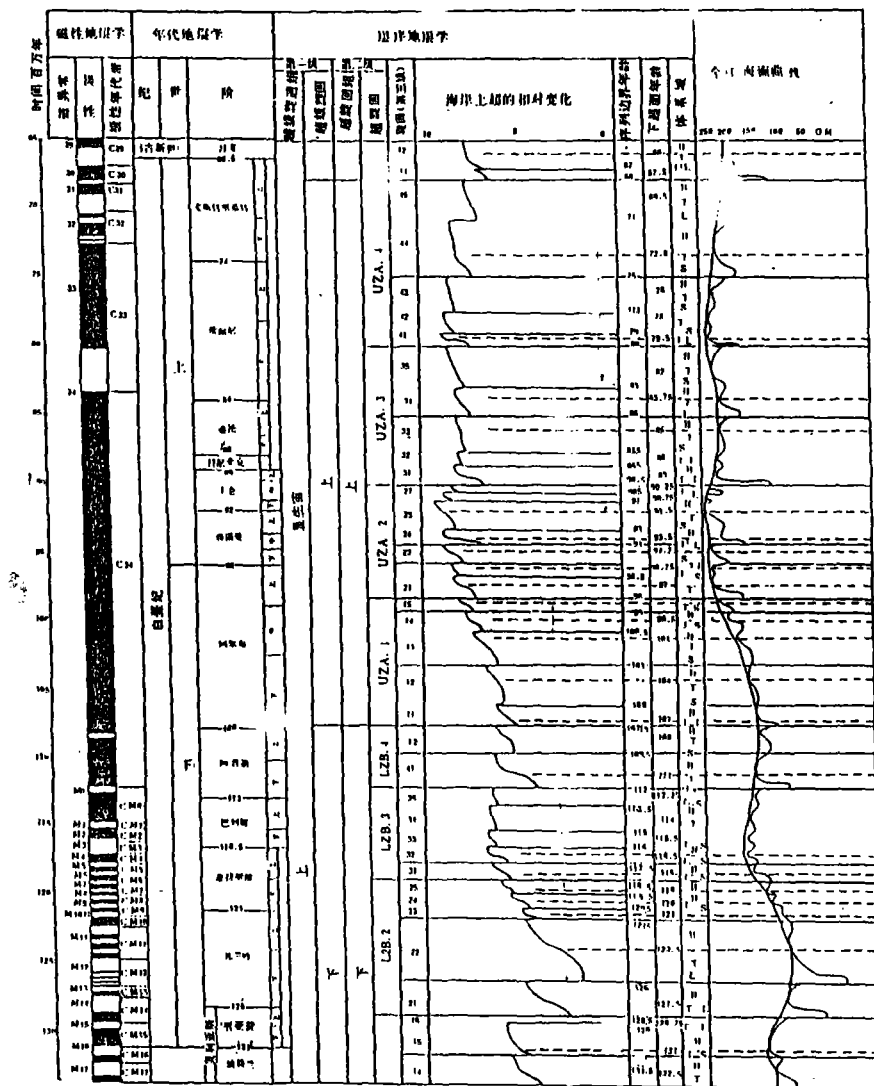


图 3

图 例

H: 高水位体系域; T: 海侵体系域; L: 低水位楔形体系域; S: 陆棚边缘楔形体系域。fl: 扇叶状体; iv: 深切谷充填

(三) 沉积盆地的选择

必须尽一切努力使研究工作集中在这样的盆地内, 它们为获取序列界限的高度精确的年龄资料及层序地层学的客观解释提供最佳机会。选择盆地要依据地层学的完整性; 简单的构造史(如克拉通内盆地、缺乏底辟作用的被动大陆边缘); 而对地下研究课题, 则要考虑到现在或将来可获得的高分辨率地震剖面、全取心钻孔, 和地球物理测井以及标定界限的 V

形图象。重要的是关键时间间隔必须完整,而不要求一个盆地就代表了整个白垩纪。此外,虽然构造简单的盆地对解释全球性海面变化最为有用,但也有必要包括不同年龄,成因,和古地理态势的盆地,以保证我们的结论不因构造背景影响而有偏见。比如,全球性海面变化在下列不同构造作用的背景条件下到底有多大的不同;缓慢沉降的“老”被动大陆边缘与快速沉降的年轻被动边缘之间;或者构造活动盆地(如地堑、走滑盆地和前陆盆地)与被动边缘之间。年代地层学的控制应综合多种因素,诸如生物地层学,同位素(稳定的和放射性的),和磁性地层学资料。为此,中纬度盆地提供了生物地层学和磁性地层学技术间的最为充分的交流。

(四)成果出版

对于 CRER 课题的目的来说,要紧的是,所有的数据资料都是可公开出版和用于科学界的考察。这样就不可避免地要排斥某些可能很重要的数据组(主要是地下数据)。然而如果没有这样一条规定,CRER 课题的科学目的就不能实现。可以预料,各别的科学家愿按照自己的研究的秩序和时间表,独立地发表自己的成果,但我们期望,这些个别的研究成果在汇总成综合性出版物时将是有益的,其中每个科学家都有供稿。

李文汉 审译