

白垩纪碳酸盐台地

王承书 译编

(成都地质矿产研究所)

一、引言

这篇关于碳酸盐台地的立项论文(position paper)建立在 GSGP 的“Fisher 岛文献”之上,并涉及这一文献的几个基本论题,如“全球地层韵律和事件”和“全球碳酸盐台地沉积相分析。”本报告的第二个主题是白垩纪的特殊性及其对碳酸盐台地的生长和消亡的影响。

越来越多的证据表明,显生宙时地球的外部条件以循环的而不是单向演化的方式变化着(例如图 1, Fischer, 1982),而第四纪和中白垩世为海洋——大气圈体系变化的两个端点。白垩纪的“温室地球”极不同于我们现在居住的“冰室地球”。研究白垩纪是对现实主义方法的严重挑战,但也提供了一个认识外部地球是怎样真正运转的机会。与第四纪碳酸盐台地相反,白垩纪台地是发育在一个没有大冰盖,因而海平面变动的型式极不相同的世界上。其气候,从极地到赤道的温度梯度只有现在的一半,大气循环似乎主要为季风而不是信风。温室地球与海洋和大气圈中上升的二氧化碳水平互相关联意味着碳酸盐的沉淀、溶解和成岩蚀变与现在的情况很不相同。

GSGP 的台地这一项目,受到各国现有的资金与人力的限制,同时还受到时间的制约——我们必须在 3—4 年内争取获得主要成果。

为了避免与进行中的其它计划或项目重复,还进行了一些限制。例如,法国的环地中海台地计划和 IGCP 第 262 号项目“特提斯白垩系的对比,”我们已与他们建立了联系。

我们期望与 GSGP 的其他工作组发展有意义的联系:第一工作组的碳酸盐海平面曲线;第二工作组的台地淹没—大洋缺氧之间的联系;第三工作组的可能的高分辨率地层学;第五工作组推荐的台地气候研究和碳酸盐沉积物可能体积的估算。

在确定台地专题讨论会活动的可能目标时,我们强调了基础编辑和全球汇编,避免从一开始就要求统一有争议的问题。工作组的基本职能是作为讨论的场所和推荐标准化的文献。

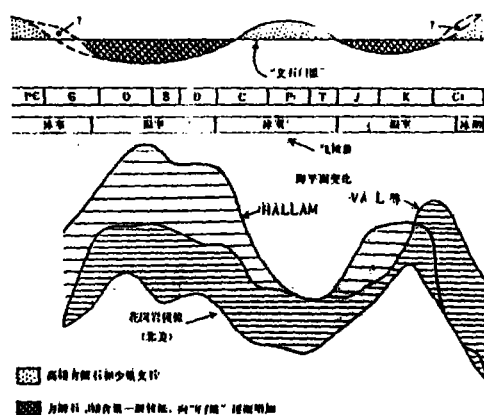


图1 显生宙的冰室—温室旋回及伴随的主要碳酸盐沉积物的成分变化(据 Fischer, 1982; Sandberg, 1985)。

二、碳酸盐台地上沉积物的产生、成分及相型式

白垩纪台地怎样发育? 哪些生物是主要的造沉积物生物? 这些沉积物的矿物成分和粒度怎么样? 白垩纪台地的再造相型式是什么? 以及如何将这些型式与现代或地质记录中的其它型式进行对比?

这些不是新问题,但鉴于上述白垩纪的特殊性,它们却是合理的,当然仅是白垩纪的很不完全的关键问题。此外,如果我们以台地作为气候、海平面和海洋环境的史书,那就必须不断加深对台地体系本身的了解。我们认为,对于象我们这样的小组来说,最有益的论题应围绕沉积物的产生和相型式。

1. 生长潜势

台地向上产生沉积物和向盆地推进的速率是控制台地兴亡及其生长期间几何形状的主要特征。我们认为,大量的资料都分散在社会上,经过整理,其中的大部分均可获得。应集中力量研究各种生物群的定量组成、细粒物质(例如泥成泥晶和胶结成的泥晶)的成因、鲕粒的不同丰度(及成分?)以及白垩纪碳酸盐的平均矿物成分;要根据沉积物的产生及诸如厚壳蛤之类的单个造架生物垂直上建和线性生长的速率(其生长量可以测定)来测定台地的生长速率。

2. 相型式

相型式是复杂自然现象的有用的抽象概括,其总是不完美的近似,并需要不断地改进。碳酸盐台地模式则更为复杂,即相的型式不但受物理-化学因素控制,而且在很大程度上受生命系统控制。这就将生物演化作为一种控制因素,其通常产生一种在时间上不重复的独特型式。

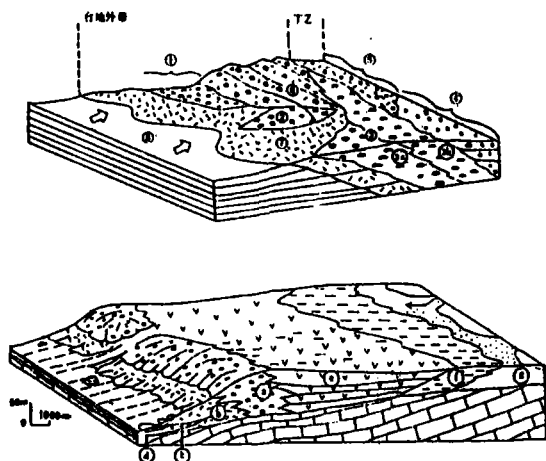


图2 白垩纪台地相模式(Masse 和 Philip, 1981.)

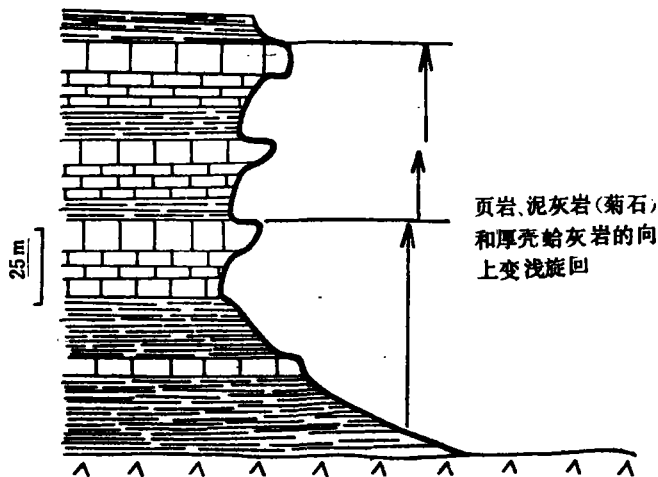


图3 向上变浅旋回呈垂直相序的重复型式,东非阿普第阶 Mustahil 组。深水泥灰岩向上变浅为厚壳蛤灰岩(据 Bosellini, 未刊)

业已表明,白垩纪台地大致可与威尔逊 1975(图 2)的标准相带相对比。可是,我们的全球计划使我们能用比迄今更为详细和好得多的区域控制因素去进行对比。特别应将注意力集中于作为台地和盆地间临界面的台地边缘、台地向硅质碎屑相的向陆过渡,以及作为特别常见的垂直相型式的向上变浅旋回(图 3)。对这些旋回的研究必将导致自旋回与他生旋回的广泛争论,即旋回产生于沉积体系内或受外部因素支配之争。

在位置和规模允许的任何地方,相的研究均应包括台地的露头 and 地震图象的比较。通过地震手段能“看见”的地球上的沉积物比在露头上容易得到的多得多,这些图象的沉积学解释主要取决于用于校准的地面控制。特别紧迫的问题是对台地的内部、边缘和侧翼的地震剖面 and 露头剖面进行比较(图 4)。“地震礁”如何与“地质礁”进行比较?“地震泻湖沉积”如何与露头上确定的泻湖沉积比较?我们刚试图将这些通常出露得很好的特提斯台地与埋藏于西太平洋或大西洋边缘上的台地进行比较时,诸如此类的问题就摆在了我们面前。

3. 研究建议

确定诸如厚壳蛤(其生态耐性比珊瑚大得多)、有孔虫小圆片虫类等特殊的白垩纪生物群的作用;编制台地生长速率和沉积物产生速率图,特别着重于小的、出露极好的台地;将台地的地震图象与露头中的对应物进行比较。相模拟中要解决的两个特殊问题是,台地和盆地的相互关系和浅水沉积物的详细地层问题。

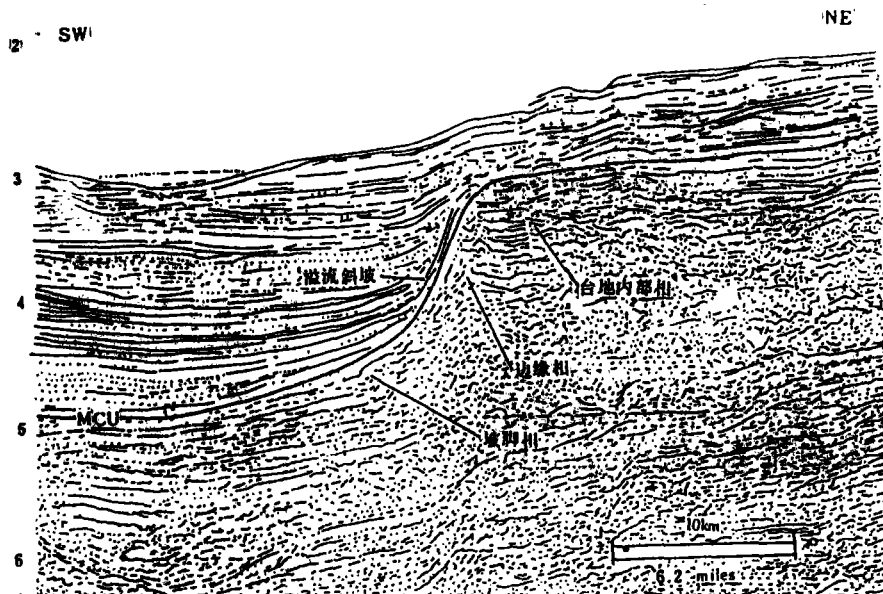


图4 白垩纪碳酸盐台地地震剖面(Corso, 1988),表示台地内部、边缘和侧翼的划分。根据反射特征进行的这种划分与沉积学上划分的相之间的对比需要综合研究地震图象和露头,包括露头的地震模拟。

三、时间控制

沉积学研究中有诸多阶段和活动,其时间控制是不太重要的。下述情况尤其是这样:不管地层时代如何,人们均可解释沉积物语言的字母表,即研究记录物理-化学作用的沉积构造。可是,当我们试图阅读这种冗长的原版信息时,显然必须依次排列成行,书页也应冠以适当的页码。这里提出的课题便属于这种类型——试图从解释字母表着手阅读历史书籍。因此时间控制是绝对不可缺的。我们对年代委员会的计划寄予厚望。

传统上,碳酸盐台地一直是经典地层学(其分辨率比具开阔大洋生物群的地层低得多)的一个薄弱点。在部分白垩系中,由于造成高能碳酸盐砂中良好地层的大有孔虫物种的迅速形成,使这种情况有所改善。此外,物理地层学和化学地层学的长足发展也值得一提,现讨论如下。

1. 古地磁

超导磁力仪的出现使得能够阅读浅水碳酸盐中细菌磁铁矿的微弱磁信号,这种技术已成功地运用于地质记录中(例如 Hurley 和 Van der Voo, 1987; McNeill 等,在印刷中)。它将提供超出白垩纪漫长的正常间隔(即白垩纪最早期和晚白垩)的重要地层控制因素。

2. 铷同位素

假定沉积浅水碳酸盐的海水中 $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ 比值几乎没有分馏。这一比值表明生宙时以大陆侵蚀和大洋玄武岩蚀变之间的不稳定平衡为基础的长期变化。白垩纪曲线提供的地层

分辨率比新生代的差,但却合理地显示了晚白垩世及侏罗—白垩界限处的梯度很陡(Koepnick 等,1985)。

3. 旋回地层学

旋回地层学即地球的轨道摄动(orbital perturbations)造成的沉积旋回的鉴定和对比,在过去5年来已取得惊人的进展。白垩纪大洋记录显示出特别突出的韵律性,频率条带为10,000—100,000年。在很多情况下,其轨道控制都最终得到证实并用于晚白垩世的陆间对比(见第三工作组的命题论文)。台地侧翼新第三纪沉积物的显著轨道韵律(Droxler 等,在印刷中)证明对在这种“台缘”环境中追踪白垩纪旋回持乐观态度是正确的。地球轨道的脉动是否在白垩纪台地层序中表现出来还是一个有魅力的问题,按理应与第三工作组合作,继续进行研究。关键的问题是,轨道变化怎样能在没有大的冰川性海平面升降变化的情况下产生台地旋回。

四、白垩纪碳酸盐海平面曲线

Vail 等 1977 在其根据沉积物几何形状判断海平面相对变化的开拓性努力中,未系统地区分硅质碎屑体系和碳酸盐台地。最近的研究已表明,台地对海平面的反应不同于硅质碎屑体系的反应。例如,在海平面高水位期,台地往往排出大部分沉积物,并改变高水位和低水位之间的沉积物的成分(Droxler 和 Schlager, 1985; Haak 和 Schlager, 在印刷中)。而且,台地构筑起有较高边缘和侧翼的特殊地形,这些边缘和侧翼通常太陡,以致于硅质碎屑不能沉积下来(Schlager 和 Camber, 1986)。因此,碳酸盐台地的淹没及其后被硅质碎屑沉积物的埋藏便产生了易与 Vail 等 1977 的低水位期不整合混淆的淹没不整合。我们建议完全根据碳酸盐序列作海平面曲线,以免造成这些失误,同时充分利用作为海平面运动记录者的碳酸盐台地的特性。

由日光和海洋最上部层海生物产生的碳酸盐台地,其往往在海平面上保持平顶,并忠实地记录了与这一理想位置的偏差。海平面的相对降低使其迅速暴露和喀斯特化;快速沉没引起沉积物成分的急剧变化,并最终使台地停止生长。在有利的条件下,台地也记录作为古潜水面的海洋的低水位期(图 5)。在简单的情况下,通过测量低水位和伴生的喀斯特层位之间的距离,提供了制约海平面下降幅度的一个机会,所提供的喀斯特剥蚀量可以估算。

如上所述,通过浊积岩和台缘泥的丰度和成分的变化,台地侧翼记录了海平面的变化(图 6)。根据被改造物质的年龄和成分,可以识别主要低水位期的深切侵蚀作用(Schlager 和 Premoli Silva, 1986)。岸顶和侧翼的联系提供了将海平面记录与全球浮游生物地层学连接起来的一个机会。而且,对不同沉降状况的台地进行比较,也提供了一种估测超区域的或全球海平面变动的速率和幅度的相当灵敏的手段(图 7)。

总而言之,台地无疑是海平面相对变化的极好的地质标志之一。但是,即使在最可能的情况下,台地——象其它任何沉积体一样,将代表全球的或区域的海平面运动的总和。分离全球海平面升降成分需要将构造要素预先模拟(Burton 等, 1987)。目前看来,洋中脊环境的模拟(例如 Watts 和 Ribe, 1984)比大陆看来要容易一些,这就突出了钻探西太平洋内地球上最老的(白垩纪)环礁的意义。

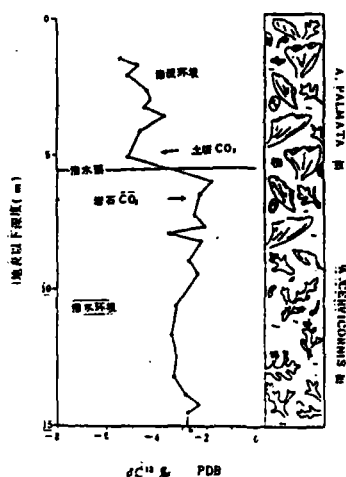


图5 古潜水面处的同位素跳跃是由渗流带内同位素轻的土壤水和较重的潜水(富含于溶解的碳酸盐主岩中)的注入造成的。更新世,巴巴多斯。(Allan 和 Matthews, 1982)。

由胶结物的成分和几何形状的研究所支持的同位素剖面可提供确定低水位期潜水面的位置,从而估算海平面下降幅度的一种方法。

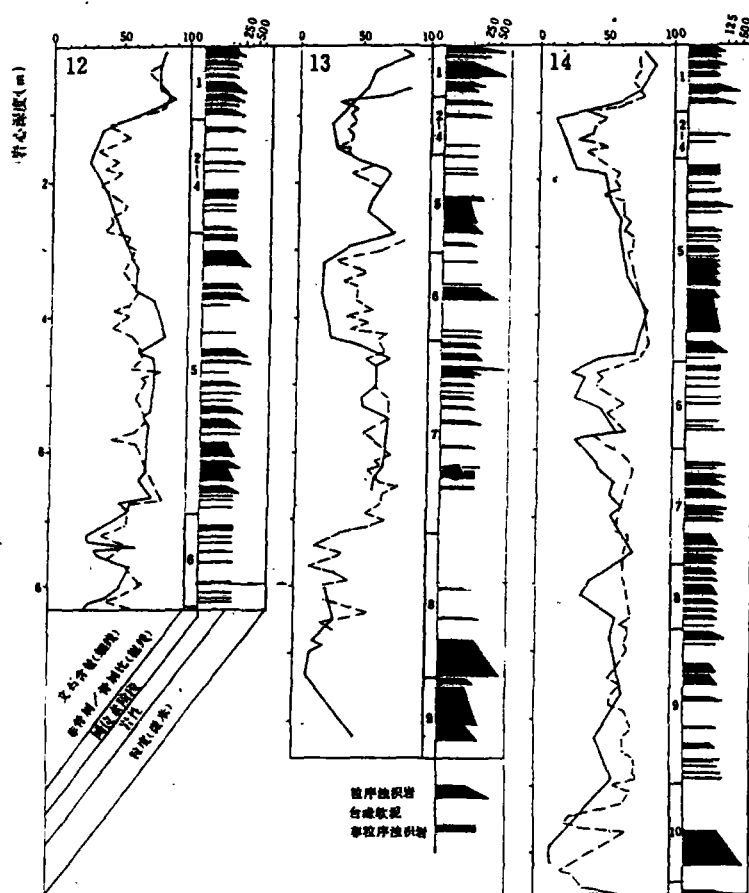


图6 碳酸盐台地侧翼记录的海平面,巴哈马更新统岩心。台缘软泥中文石的含量(细线)及浊积岩中球粒、鲕粒和葡萄石的百分数(粗线)在间冰期明显较高。在这些时期,岸顶被淹没,并输出沉积物。此外,浊积岩在间冰期(图右栏内的黑线条)较常见(“高水位束”)。据 Droxler 和 Schlager, 1985; Haak 和 Schlager (已提交)。

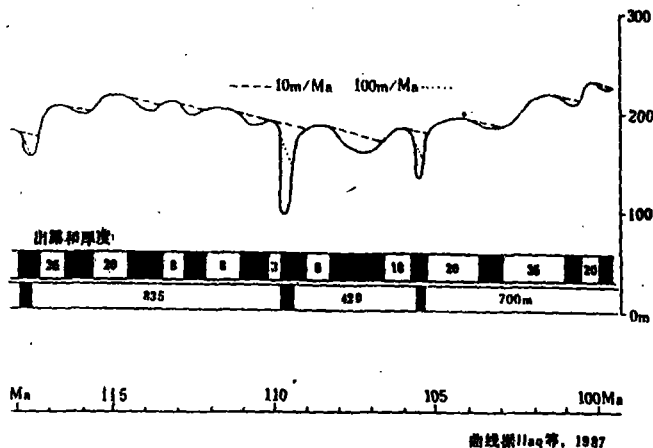


图7 通过比较不同沉降速率的台地的出露和淹没可检测海平面曲线。该实例表示 Haq 等 1987 的部分白垩纪曲线及其在沉降速率为 10m/Ma 和 100m/Ma 的台地上的假定纪录。当出露层被薄层海相沉积物分隔时,以 10m/Ma 速率沉降的台地将为记录所有假定的海平面降落数;以 100m/Ma 速率沉降的台地,于 11 次海平面降落中仅“见”3 次,海相间隔厚 1 或 2 个数量级。

研究建议

编写世界各地台地出露和生长的历史,把这些记录积累起来,并将其与海平面运动的另外两种测量(由地震剖面产生的海岸上超曲线(Haq 等,1987)和克拉通淹没记录(例如 Hancock 和 Kauffmann,1977))进行比较;

特别要研究同时代的远洋沉积物中已证实的轨道旋回的频率范围内出露和淹没的韵律;

综合有关喀斯特地区剥蚀率的资料,并改进根据野外观察来估算喀斯特剥蚀量的标准;这样的项目对地层对比的要求很高,可能首先需要的是限定能很好测定年龄的时间层(time slices)。

五、台地淹没和大洋缺氧

几方面的证据表明,健康台地的生长势比长期沉降者以及观察到的百万年内海平面变化速率高一至二个数量级(Schlager,1981)因此,令人迷惑不解的是,地质记录反复展现了世界范围内的台地淹没期。有几个这样的事件发生于白垩纪,在这些地方,台地的壮观生长期与世界范围的台地危机间隔交替出现。

鉴于健康台地的生长势较高,白垩纪台地的淹没看来可能是由降低台地生长势的环境的变化触发的。值得注意的是,台地淹没往往与大洋缺氧相吻合,这是极有趣的(图 8 和 Arthur 与 Schlager,1979)。Hallock 和 Schlager 1986 年以来使这一观察更进一步,并提出一种因果关系。他们提出,从洋中脊倒转(mid-ocean overturn)的营养洪水可能毁坏了自养碳酸盐底栖生物,将生物的产生转变为非碳酸盐产生的异养生物,从而降低了台地的生长势。洋中脊水体倒转在现代已属罕见事件,白垩纪海洋则被认为较容易倒转,因为盐度在这种海洋的密度层中起很大的作用,而且温度和盐度对水体密度的影响常常是相互对立的(Berger, 1979)。某些无冰海洋模式明确地提出了洋中脊水体倒转(例如 Wilde 和 Berry,1982)。

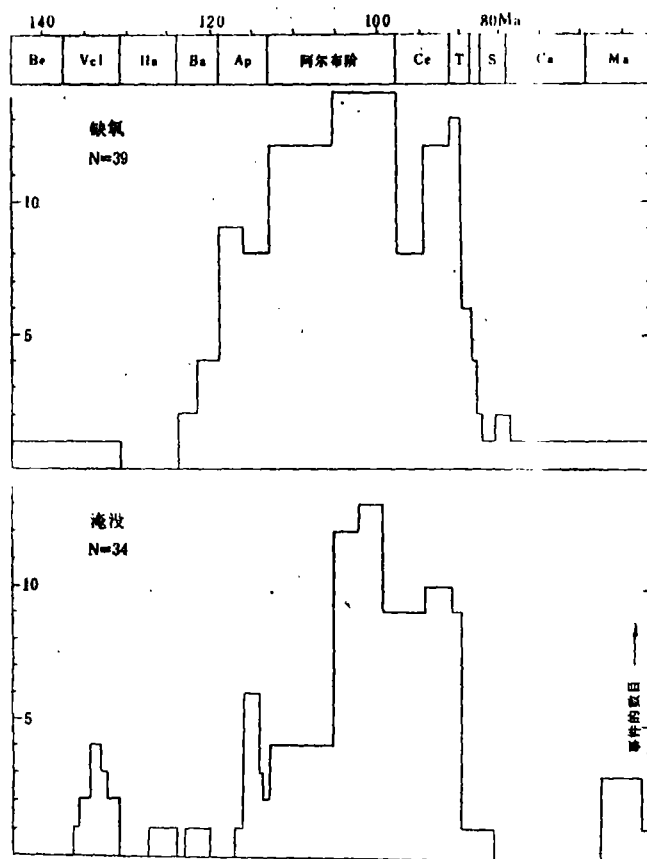


图8 白垩纪大洋缺氧事件(上图)和台地淹没(下图)的频率分布(大洋缺氧事件数据 Jenkyns, 1980)。这两种现象在时间上重合,需要详细证明并探讨其可能的因果联系。

Be 贝利亚斯阶; Vcl 凡兰吟阶; Ha 豪特里维阶; Ba 巴列姆阶; Ap 阿普第阶; Albian 阿尔布阶; Ce 森诺曼阶; T 土伦阶; S 桑托阶; Ca 坎佩尼阶; Ma 麦斯特里希特阶。

大规模的台地淹没的其它原因包括构造运动,特别是在特提斯海域,在那里,大陆碰撞始于中白垩世。通过与特提斯海域之外(如太平洋和北美西部)的台地进行比较,可以验证这一假说。另一种可能性是由于广泛的板块内火山作用(Schlanger 等, 1981),或由于大但一直封闭的南大西洋的干涸而引起的海平面脉动(Berger 和 Winterer, 1974)。

研究建议

精确地测定台地淹没和大洋缺氧事件的年代,证明其空间分布;调查能够研究淹没期间群落演替的台地的实例;通过填制事件特别是阿普第(K₁)、晚阿尔布(K₁)和森诺曼—土伦危机的分布图,验证可能的构造原因;估算保存有淹没事件的台地内具最高可能分辨率的堆积速率(旋回地层学?),以及调查海平面的快速脉动。

六、台地和气候

现在的地球外部的条件与白垩纪“温室地球”之间差异很大,这就提出了恢复白垩纪气候的特殊问题。在这里,碳酸盐沉积物以几种方式起着重要作用。第一,分泌碳酸盐的生物群随着日射和温度,即随着纬度的变化而变化。从热带碳酸盐到温水组合的变化可用来对比全球气候带(图9和图10)。第二,已经表明,潮坪能敏感地记录降雨和蒸发速率以及大风暴

在潮上带的经过(Ginsburg, 1975; Hardie, 1977)。诸如钙结砾岩之类的土壤和铝土矿也同样与降雨—蒸发速率有关。现代气候模式已对白垩纪的降雨型式进行了相当确切的预测, 碳酸盐台地内存在着一些临界特征(图 11; Parrish 和 Barron, 1986)。第三, 礁和台地边缘向风面和背风面通常不对称, 因而能记录主要的风向。而且, 礁的发育可能应该反映所推断的特提斯边缘沿岸上升洋流的负的影响。对风区和上升洋流的观察可供一个验证气候模式的预测的机会。季风, 即季节性转向的风而不是稳定的信风统治着白垩纪特提斯碳酸盐带的大部分地区。

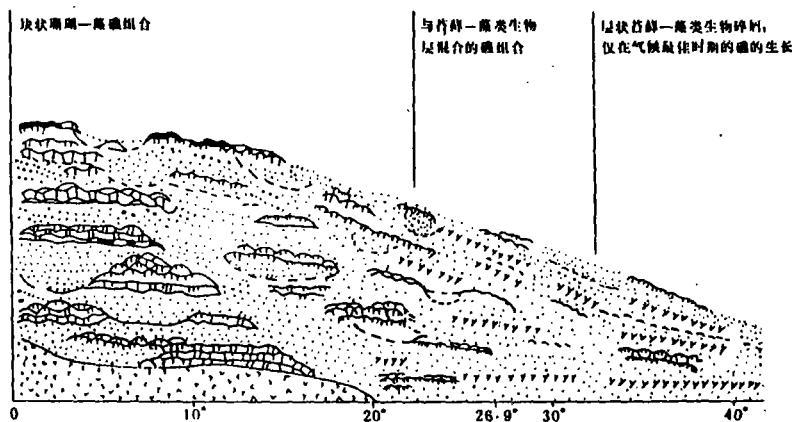


图 9 现代太平洋赤道到温带碳酸盐相的纬度变化(据 Schlanger, 1981)。需要描述并作出白垩纪各时代类似的可变图。

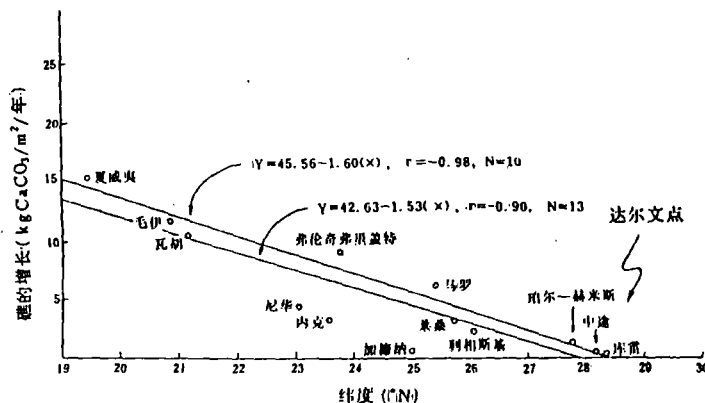


图 10 现代太平洋中礁的生长随着纬度的增加而减少(据 Grigg, 1982)。我们能确定并绘出白垩纪的达尔文点吗?

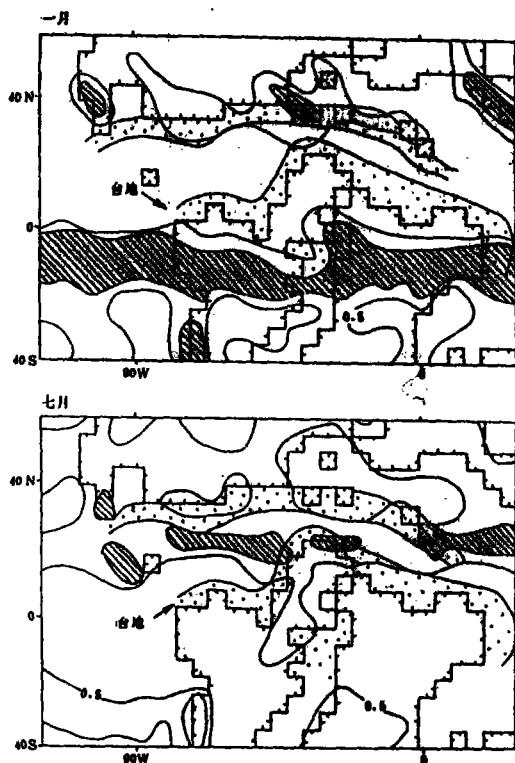


图 11. 特提斯台地和假定的白垩纪潮湿气候带和干旱气候带(据 Parrish 和 Barron 中的 Barron)。

阴影区—中、高降雨量;点画区—特提斯碳酸盐台地;角形等高线—海岸线,带点的一侧向陆。南、北台地带均断续地处于潮湿气候带内,是由中纬度低气压和广泛移动的热带大气辐合形成的。

研究建议

作出从热带碳酸盐台地到温水相的向极地过渡图;重新研究碳酸盐台地的野外临界区,搜集向风面—背风面不对称的实例,仔细地在野外证实,并反馈给气候模式建立者;探索按照气候模式的临界条件确定的风向和风区;搜集碳酸盐潮坪的记录,并与潮湿带、干旱带以及风暴带的模式预测进行对比。

七、早期成岩作用的途径

通过探索沉积信号揭开成岩作用的面纱,是所有沉积学家们都熟悉的日常工作。这里,我们不想对这个问题进行详尽的叙述。然而,除了作为一个障碍外,台地成岩作用,尤其是白垩纪台地的早期成岩作用也为地史学家们提供了值得研究的机会。

1. 胶结物的成分

普遍认为白垩纪大气圈和海洋,表面二氧化碳的水平比现在高得多(Arthur 等,1985),这可能降低了海洋表面碳酸盐的饱和,有利于方解石而不是文石在鲕粒和海底胶结物中的沉淀。这种“方解石优先”已在白垩纪记录中观察到(Sandberg, 1985; Wilkinson 等, 1985)。

2. 胶结物地层学和出露旋回

白垩纪台地是否在区域上曾受频率范围为10,000—100,000年的海平面旋回的影响,通过成岩作用研究和相的研究,对这个问题已有很好的论述(例如 Minero, 1988)。胶结物地层学的新进展对本课题特别有意义。在碳质灰岩中,韵律性出露已产生特有的胶结型式(Goldstein, 1988)。对白垩纪中存在有相似的、冰川-海面升降韵律很有争议(例如 Matthews, 1984),因此要求对白垩纪碳酸盐进行直接的观察。

3. 压实作用和堆积作用曲线

台地生长和沉积物堆积速率的估算被认为是评价台地生长势和探索海平面快速脉动的重要参数。这就要求去掉沉积体的压实作用。一些经验公式是有效的(例如 Schmoker 和 Halley, 1982),但对于它们在具特定矿物成分和沉积物成分的白垩纪碳酸盐台地的各种相中的应用尚待评价。

4. 研究建议

详尽地汇集文石、方解石和镁方解石的原生沉淀物实例,以及所使用的鉴定标志。然后证明成岩事件的序次,并将白垩纪早期成岩作用的途径与我们现代冰室地球中的进行对比;

探索地表成岩作用及旋回台地序列内的古潜水面,并与晚第三纪和二叠-石炭纪可证明的冰川-海面升降旋回中的成岩型式对比;

根据钻孔或露头研究编制台地序列的压实作用曲线图,并与已确立的压实作用公式进行对比。

八、训练和交换的可能性和需要

象这样一个全球性的研究计划必须依靠许多按不同传统训练过的、具不同背景和经验的地质学家的合作。我们有必要熟悉彼此使用的术语、交换分类标准、相互了解最喜欢的专题研究。1988年秋举行的这次专题讨论会,将通过相互熟悉而达到标准化这一过程的一个机会。关于这一主要问题的下一步骤,必将在讨论会上讨论。

李文汉审译