

美国下白垩统前陆盆地中的丹佛盆地区的层序地层学和古构造

秦锡虎 编译

(成都地质矿产研究所)

绪 言

美国西部内陆的白垩纪盆地是一个前陆盆地,它的东部是相对稳定的克拉通,西部为活动冲断-褶皱带。拉拉米运动把这个大盆地改变成许多小构造盆地。丹佛盆地就是在克拉通背景上发展起来的典型盆地。

对下白垩统地层事件的重建,揭示出海相和非海相地层在整个前陆盆地成交错相变。早期描述的以不整合面隔开的区域性海进和海退事件,现在能够在层序地层学的格架中得到解释。层序地层学是研究由不整合面或与其相当的整合面为界的成因有关的地层 (Vail et al., 1977)。一个不整合面被定义区域性的沉积构造,在那里,二组岩石被一个侵蚀面所隔离,侵蚀作用可以是陆表的或是海下的。

丹佛盆地(图1)是应用层序地层学新概念研究下白垩统的一个良好场所。盆地西部边缘有良好的露头和丰富的地下岩心,样品及测井资料。在这里登出的丹佛盆地剖面的解释能应用于所有西部内陆的白垩纪盆地东侧下白垩统地层。

沉积层序

在丹佛盆地下白垩统(阿尔布阶)100m的剖面中,可以观察到三个沉积层序(图2):层序1是非海相 Lytle 组;层序2包括 Plainvii 砂岩的海岸平原沉积、上覆海相 Skull Creek 页岩和该页岩有成因联系的三角洲相和海相砂岩,但为了制图的目的,将上覆层放在 Muddy 组中;层序3一般包括 Muddy 组的深切谷充填沉积(图2)或海岸上超沉积和上覆的海相 Mowry 页岩、Graneros 页岩、Greenhorn 灰岩和 Codell 砂岩底部侵蚀面之下的部分 Carlile 页岩。Mowry 组以上地层都划为上白垩统。

在 Muddy 组内或组接触处可以看到两种主要类型的侵蚀面。每一种类型侵蚀面和海平面的主要变化有关,但侵蚀作用的强弱可能受局部构造事件所影响。第一种类型为层序界面,称之为低位侵蚀面(LSE),它与基准面下降引起陆地暴露和排水系统切入到较老沉积物中的刻蚀作用有关;第二种类型是海进侵蚀面(TSE),它与滨线和临滨(海洋)侵蚀作用有关,这一侵蚀作用又与上升的海平面和水的变深有关。与 TSE 伴生的不整合面产生于沉积层序中。

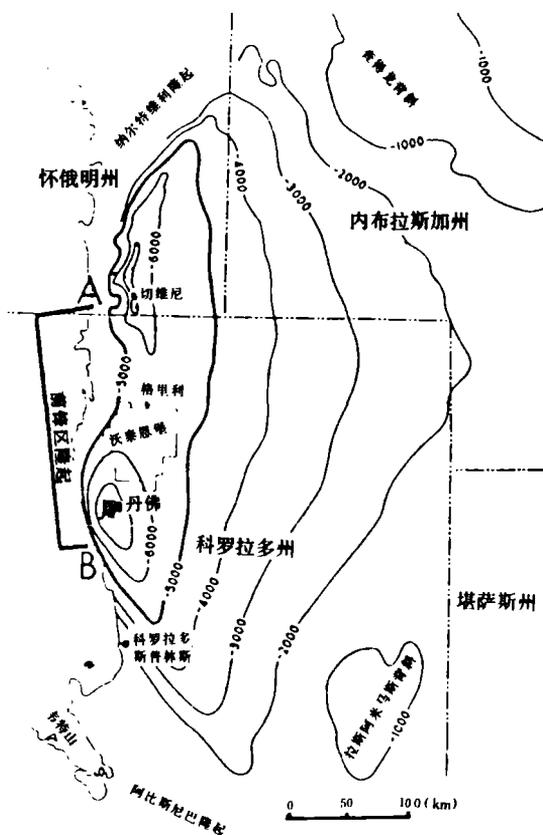


图1 位于前寒武系顶部的丹佛盆地构造等高线图

(A—B剖面线说明见图2)

对美国东海岸区和海湾沿岸晚第四纪历史的研究，揭示了有关这两类侵蚀面的成因和作用过程 (Demarest 和 Kraft, 1987; Nummedal 和 Swift, 1987): 位于全新统底部的层序界面是一个低位侵蚀面，它是由更新世冰川作用期间海平面下降引起的。具海岸上超的海岸平原沉积发生在冰川期后的海平面上升时期。滨线后退，当临滨侵蚀作用移到海岸平原沉积物上时，发育了海进侵蚀面，这种过程持续至今。

在沉积环境中，与沉积作用有关的小侵蚀面称之为沉积间断（如水道底的冲刷）。

有时，能够确定第三类面，它与可能具小侵蚀作用的无沉积作用有关。若有此类面，它一般出现在高有机物含量的海相凝缩层中，如 Skull Creek 页岩的中部（图2）。小的冲刷可以聚集贝壳或海绿石和磷酸盐的滞留沉积。膨润土可产出在此面上下的页岩中。在层序地层学中，这样的面曾被称为最大海进面、最大淹没面或最大饥饿面。

下白垩统中的3个层序，与海平面变化有关的侵蚀面曾用来进行区域填图。层序2被用来作为与露头 and 近地表层序地层学分析有关的术语的实例（图2）。在成因上与下伏和上覆砂岩有关的海相 Skull 溪页岩是高位沉积物，该页岩中下部（图2单元A）主要是较深水条件下的海进页岩沉积物（TD——代号见图2说明，下同）。一个有机物含量高（矿源层）的凝缩层（CS）存在于上部3—6m或单元A中。斯库克溪组上部（单元B和C）和上覆 Muddy 组中的 FC 段（Fort Collins Member）主要是与水变浅和进积有关的海退页岩和砂岩

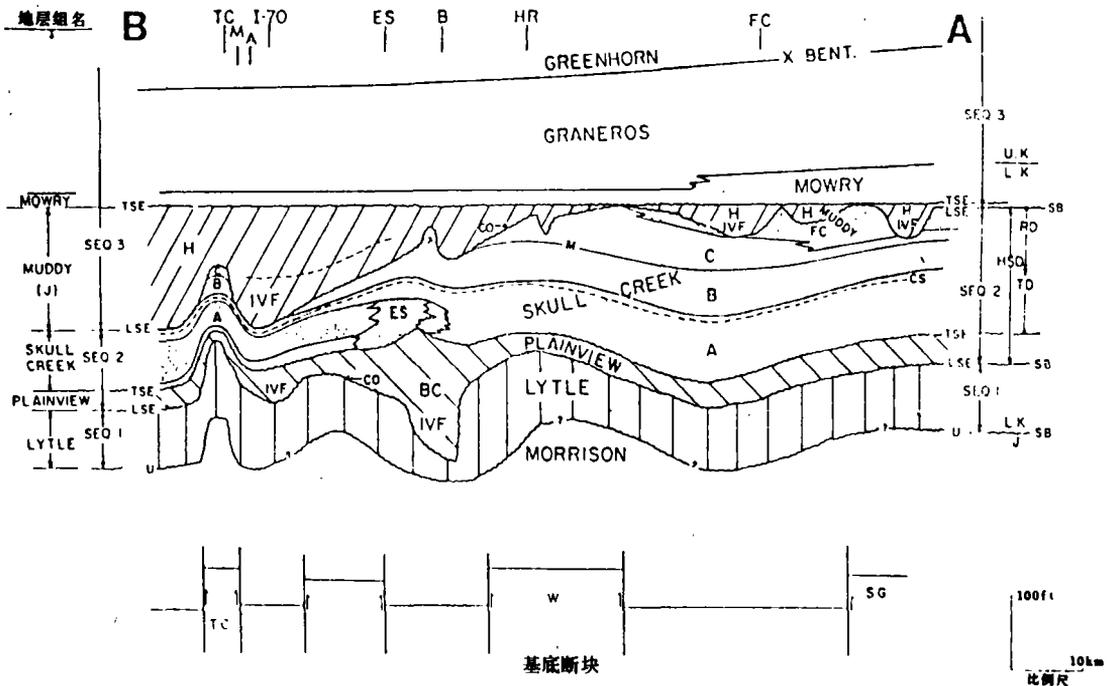


图2 沿前缘区隆起, 从科罗拉多-怀俄明州界至科罗拉多莫利逊, Dakota 群的露头剖面 and 近地表的地质剖面复原图

地层代号: Muddy 组; FC-Fort collins 段; H-Horsetooth 段; Skull creek 组; A、B 和 C 单元; M-区域标志层; ES-Eldorado Springs 砂岩; Plainview 组; BC-Bear Canyon 砂岩。

层序地层术语: SEQ-层序; HSD-高位沉积; TD-海侵沉积; RD-海退沉积; CS-凝缩层;

SB-层序界限; LSE-低位侵蚀面; TSE-海进侵蚀面; IVF-深切裂谷充填; CO-海岸上超。基底断块: TC-土耳其溪; W-沃泰恩堡; SG-希恩古尔奇。地理位置: FC-福特科利恩斯; HR-海吉恩路; B-博尔德; ES-埃尔多拉多斯普里斯; I-70 州际 70 号公路; A-阿勒美德; M-莫利逊; TC-土耳其溪

沉积 (RD)。标志层 (M) ——Skull 溪组中的单元 B 和单元 C 之间的接触带, 是测定层序 2 和层序 3 之间在海平面低位时与深谷切割有关的下切深度的重要参考资料。在 Boulder 南部露头区, 单元 C 和单元 B 的大部分在 Muddy 组 H 段 (Horsetooth Member) 的深切谷中充填沉积 (IVF) 之前曾被侵蚀搬运。另外单元 A 中的黑色易碎裂页岩向南变成海相砂岩 (图 2 中的 ES 砂岩) 和生物扰动砂岩, 在州际 70 号公路和土耳其溪地区变为粉砂岩和页岩。

Waage 和 Eicher (1960) 报导了 Skull 溪页岩中的古生物, 该页岩中部 (图 2 中的单元 A 上部和单元 B 下部) 是 Dakota 群中唯一含有共同和有化石的一段, 大型化石有 *Inoceramus Comancheanus* 动物群, 小型化石有 *Ammobaculites euides* 和 *Haplophragmoides gigas* 带中的 *Verneulinoides Kansasensis* 生物相。Mackenzie (1965) 和 Chamberlain (1976) 描述 Skull 溪和 Muddy 组中的遗迹化石。Eicher (1965) 描述了 Mowry 和 Graneros 页岩中的有孔虫类和生物地层学。所有上述资料都支持了 Skull 溪、Mowry 和 Graneros 组地层为海相地层的解释。

地质模式

Skull Creek 页岩高位海进沉积之后, 一海退事件沉积了三角洲滨岸砂岩和浅海砂岩沉

积, 与下伏 Skull Creek 页岩呈渐变接触 (图 3)。位于基底断块——轻微的断块运动影响其地形和沉积作用——之上的沉积模式取决于下沉速率和沉积物的供给。河流及其伴生的三角洲位于构造的和地形的低洼处 (地堑), 三角洲边缘或三角洲间的沉积作用沿构造地垒断块之上的多弯海岸发生, 三角洲前缘和临滨砂从滨线向海延伸的距离受有效浪基面控制, 滨线向海推进至 T_1 位置 (第二次海退线), 并在广大地区沉积了席状砂体 (FC 段——Wattenberg 矿区的含矿砂岩, Weimer 等, 1986, 图 2)。这些沉积型式为海平面静止或稍低时的高位海退沉积。

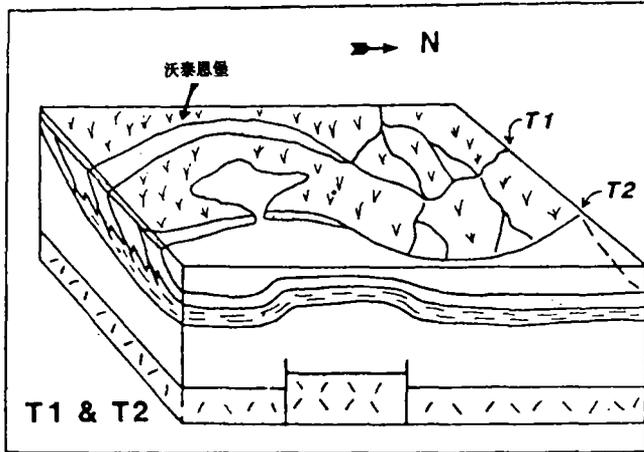


图 3 在具准同生断裂运动基底断块上的高位海退作用的沉积和构造模式示意图

(据 Weimer, 1984)

T_1 —第一次岸线; T_2 —第二次岸线。沉积物供给速度大于盆地下降速度或淹没。

沉积盆地大部分地区被排干 (水) 时期 (T_3) 海平面下降, 河流水系切入较老地层, 特别是在相当于地堑断块区的低洼处尤为强烈 (图 2、4)。丹佛盆地的大部分地区, 切蚀基底是在 T_1 或 T_2 期砂复合体上 (FC 段)。侵蚀面局部切入到 Skull Creek 页岩。丹佛盆地中裂谷下切的深度为 6m 至 40m 以上。海平面的下降与 Vail 等 (1977) 所报导的大致 97—98Ma 前发生的全球范围内海平面下降有关。Muddy 砂岩古水系图 (图 6) 和露头复原剖面 (图 2) 上表示了低水位期主要深切裂谷的地理分布。古裂谷区是由 Muddy 砂岩主要为淡水和半碱水沉积物来确定的, 其沉积厚度一般 $>30m$ 。

在深切裂谷变化和充填河流与河口湾砂岩、粉砂岩和页岩时, 海平面出现上升 (图 5T₁)。深切谷沉积物可成带分布——下部为淡水沉积物; 上部是半碱水至海相沉积物。成带性反映了加积充填和与在低位侵蚀面上的海岸上超伴生的滨线 (海进) 的向陆运动。

随着海平面的不断上升, 海岸平原 (滩地) 沉积物被滨线和临滨环境超覆和在广大地区形成一个相关的侵蚀面。在 Muddy 砂岩顶部某些露头剖面上, 可以观察到薄层状 (3m) 细到粗的含砾砂岩透镜体 (Mackenzie, 1965)。虽然它包含在 Muddy 组中, 但此层是与 Mowry 期海进有成因联系的残留的或变余的砂岩 (Rojas, 1980)。含砾砂岩出现于与海进侵蚀面伴生的小型冲刷凹陷中。在缺失粗沉积物的地方, 海进沉积物是一种薄层状细粒砂岩, 并被海洋生物强烈潜穴。

在滨线和海岸平原沉积物上海进期间沉积物再搬运的记录和广泛分布的 Mowry 组地

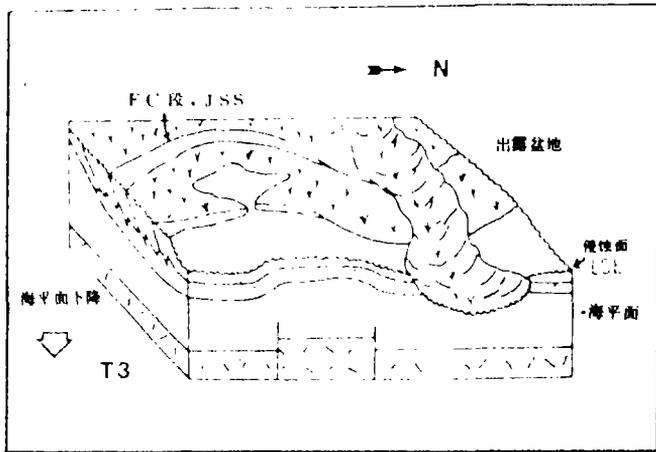


图4 低位海平面 (T₃ — 第三次) 表示由于地表出露 (主层序界面) 引起盆地范围的侵蚀面 (LSE), 在出露的海相页岩和砂岩上形成根围 (据 Weimer, 1984)

层的薄层性, 显示了海进时期丹佛盆地中、西部地区海水快速而均匀的变深。虽然局部有 20% 的地层变薄可说明有较小的断块运动, 但没有大的构造运动。低水位面和海进面在河间分水岭 (构造高点) 上的会聚, 表明滨线和临滨附近地区的侵蚀作用强于裂谷区的侵蚀作用 (图 2、5、6)。

T₄ 之后, 整个地区接受海相纹层状粉砂岩和页岩沉积 (Mowry 组和 Graneros 页岩)。富含有机质黑色页岩是在海底缺氧条件下形成的, 此时碎屑物输入缓慢, 有机物聚集增加。形成的凝缩层在页岩层中具有高含量有机碳。

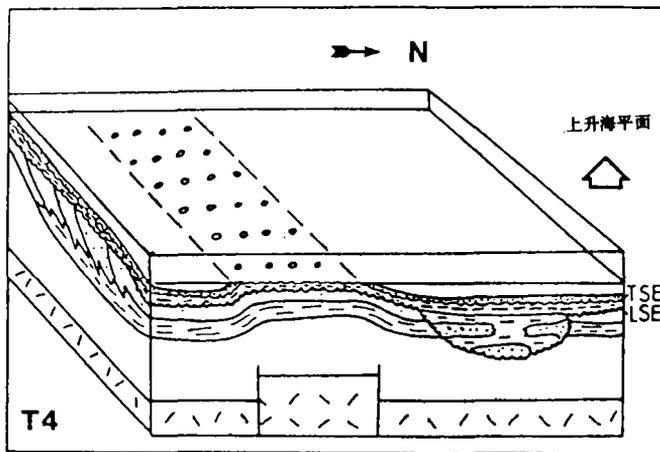


图5 T₄ 时的海平面上升, 有深切裂谷充填和海相页岩、砂岩沉积。一薄层状 (厚度一般小于 0.3m) 海进滞留沉积出现在裂谷充填物顶部的海进侵蚀面上, 有时带有粗粒物质
TSE-侵蚀海进面; LSE-侵蚀低位面 (据 Weimer, 1984)

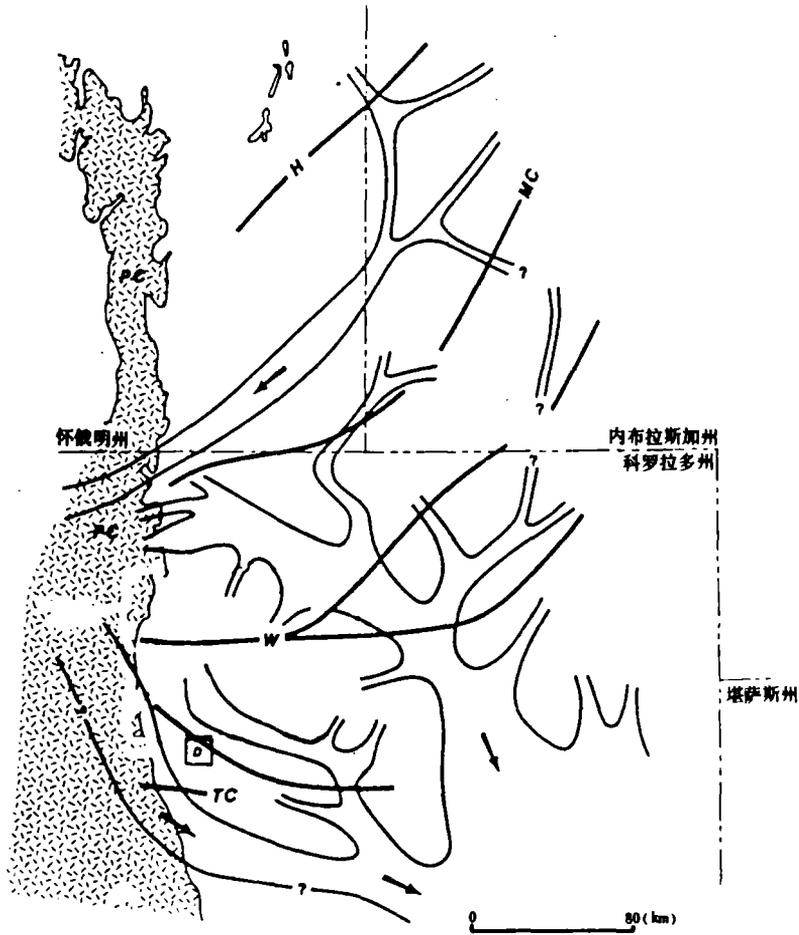


图6 丹佛盆地北部古裂谷分布图

剪头表示水流方向；影响排水网络和 Muddy 砂岩厚度的古构造高点：W-沃泰恩堡；TC-土耳其溪；MC 莫罗县；H-哈特维尔；PC-前寒武系前鋒区嶺头；D-丹佛

结论

丹佛盆地下白垩统地层的三个层序，在美国西部内陆盆地的大部分地区是典型的。有亲缘关系的海进和海退沉积旋回包括三种类型的侵蚀面：低位侵蚀面、海进侵蚀面和沉积间断。只有陆表暴露的低位面能够用作层序界限。在不整合面上的地形起伏，如古裂谷、褶皱形成的构造起伏、厚度变化和地层的相分布，是阿尔布期上可至 20m 的准同生构造造成的。

李文汉审译