天山东部晚石炭世碳酸盐岩隆类型及其特征

张 维 廖卓庭④

(中国科学院地质研究所, 北京 100029; ④中国科学院南京地质古生物研究所, 南京 210008)

摘要 天山东部石炭纪地层出露广泛, 并发育规模不等、类型不同的碳酸盐岩隆. 经研究确认, 该地碳酸盐岩隆主要为生物丘, 它们的形成与生物及古环境格局相关, 已在岩隆内发现钙藻类、凝块石、苔藓虫、棘皮类、有孔虫、海绵动物等众多生物. 生物类型、生物组合特征及生物数量可作为确定天山东部晚石炭世碳酸盐岩隆的基本依据. 碳酸盐岩隆同欧洲瓦尔索坦(Waulsortian)的岩隆特征相似, 具有一定的对比意义.

关键词 **天山 晚石炭世 碳酸盐岩隆 古生物学**

1 天山东部晚石炭世碳酸盐岩隆的分布

本文所指天山东部地区, 指西至艾维尔沟, 东至木垒县的天山南北两麓约 200 km^2 的范围, 该区石炭系多为丘状隆起, 应作为规模不等的各种类型碳酸盐岩隆.

本文作者之一廖卓庭曾在该区进行过详细的生物地层及区域地质的调查, 在此基础上, 开展了碳酸盐岩隆的踪迹的详查, 再次观测了天山东部木垒、英格堡、大东沟、白杨沟、祁家沟、艾维尔沟、鱼儿沟、桃西沟、桃东沟等上石炭统剖面, 确定了碳酸盐岩隆的性质, 获得了新的认识.

天山东部碳酸盐岩隆主要斌存在上石炭统祁家沟组, 少量出现在上石炭统柳树沟组上部, 据已有资料, 此套地层产有 *Fusulinella*, *Beedeina* 等, 时代为莫斯科阶中期, 层位大致与中国南方威宁阶相当[1]. 在本区内, 碳酸盐岩隆多以透镜状、丘阜状、楔状等展布于巨厚的火山岩地层中, 大的透镜体厚达数百米, 延伸数十公里, 巨厚灰白色的块状灰岩嵌缀于暗色的火山岩中, 形成颇为醒目的地貌景观.

对天山东部石炭系碳酸盐岩隆, 以往的研究者已发现它们与标准地层剖面的同期地层相比有许多不同, 但考虑到造山带地层的特殊性及北疆构造格局的复杂, 尚未提出充足证据说明它们是碳酸盐岩隆, 对它们的研究及对新疆北部地壳演化历史和环境演变的意义也缺乏应有的认识.

碳酸盐岩隆(Carbonate buildups)是一种丘状或具有一定隆起幅度的碳酸盐岩地质体, 具有独特的内部结构和组成, 最早由 Stanton 提出后广为引用[2]. 作者认为, 碳酸盐岩隆是一个广义的概念[3], 通过深入的研究, 可以区分岩隆的不同类型并确定其性质.

生物丘(mound)是一种主要的碳酸盐岩隆, 发育较好的生物丘见于木垒县英格堡地区, 呈浅灰色、灰白色, 厚层或块状, 不显层理, 厚度 50~ 250 m. 灰岩内含丰富的藻类、苔藓虫、腕足类等化石, 栉壳结构、藻包壳结构发育. 类似的生物丘还见于大东沟、白杨沟、桃西沟等地. 此外, 发育较好的生物滩(bank)分布于木垒县林场剖面及艾维尔沟等地, 主要为一套薄层状生物碎屑灰岩, 生物碎屑的组成复杂, 计有棘皮动物、珊瑚、腕足类、瓣鳃类、藻类等. 另有特征明显的生物层(biostrom)发育于祁家沟、桃东沟等地, 主要为一套薄层-中厚层状介壳灰岩, 产有群体珊瑚、腕足类、海绵类等正常海相化石, 厚度略厚于其它地区的同期地层.

2 生物与岩隆的关系

天山东部晚石炭世碳酸盐岩隆产有丰富的钙藻类、有孔虫、多孔动物、珊瑚、苔藓虫、腕足类、双壳类、棘皮动物、三叶虫以及分类位置未定的疑难微体化石等,但在不同地点组合面貌及含量有所不同.

2.1 主要生物类型

(1) 钙藻类. 在鱼儿沟、桃西沟生物丘及桃东沟等地生物层中钙藻分布普遍,包括骨骼型钙藻和非骨骼型钙藻,骨骼型钙藻中有的种类结构构造复杂(如红藻类),以鱼儿沟生物丘的科米藻(*Komia*)为代表,科米藻是乌拉尔及北美石炭纪常见的钙藻化石,具有柱状或分枝状的外形及复杂的细胞组织. 非骨骼形钙藻主要是蓝绿藻等. 本区还有数量众多的凝块石(Thrombolite).

(2) 有孔虫. 有孔虫可零星见于艾维尔沟、鱼儿沟等地,但桃西沟生物丘内数量最多,以底栖类型为主,微相分析显示,壳体成份为低镁或高镁方解石,壳壁可显示波纤或微粒结构. 受成岩作用影响,有孔虫保存较差,可识别的属为 *Nodosaria*, *Pseudoglandulina* 等.

(3) 多孔动物. 大东沟、桃西沟生物丘内赋存大量海绵骨针,由此得知,海绵是这些地区十分常见的底栖动物. 骨针基本为钙质的单轴针,分单射和双射两类,构造简单,彼此平行排列,个体微小,长度仅几十微米,但少量长近 1 mm,这种形态单一、结构简单的骨针,推测为纤维海绵骨纤中散落的骨针. 纤维海绵大量繁盛于晚古生代至中生代,是重要的造礁生物化石[4],但在本区内未发现完整的纤维海绵化石.

(4) 苔藓虫. 常见的有变口目和隐口目,后一类数量最多且分布广泛. 变口目苔藓虫的硬体骨骼结构明显,主要产于祁家沟生物层内.

隐口目苔藓虫(如窗格苔藓虫)多为不完整的分枝,尽管所获标本均为小碎片,但它们数量极为丰富,出现在鱼儿沟、桃西沟、艾维尔沟及祁家沟生物层内,构成天山东部晚石炭世碳酸盐岩隆的重要生物组分.

(5) 棘皮动物. 数量极丰富,在层面上肉眼可见,主要是海百合类,偶有海蕾及海胆碎片等.

海百合主要以茎化石为主,多为分离状,在成岩作用下,海百合及海蕾的茎板均由大的方解石单晶组成,极易确定,有时内部结构可由暗色物质充填.

棘皮动物碎片大量出现在木垒县林场剖面及艾维尔沟、桃西沟等地.

除上述生物外,腕足类几乎分布于所有碳酸盐岩隆内,以石燕贝、长身贝类为主. 群体珊瑚主要见于木垒县林场剖面、英格堡、白杨沟、祁家沟、桃西沟等地,以 *Acrocyathue*(尖杯珊瑚)等为主. 薄片中还见有疑难微体化石,这类分类位置难以确定的化石也应作为晚石炭世碳酸盐岩隆中不容忽视的生物组分.

2.2 生物与碳酸盐岩隆的关系

许多生物均与碳酸盐岩隆的形成有关,研究区内的生物丘为揭示这种关系提供了研究基础.

野外观察及室内分析表明,在天山东部地区,苔藓虫与钙藻类是两类重要的生物. 苔藓虫通常个体较小,群体结构松散,它们在高能环境中难以生存,因此不能成为典型的造礁生物,少数种类(如窗格目 Fenestrata)群体较大,具有一定的抗浪能力,但数量较少,难以形成优势. 一

般认为, 发育粗大的块状及层状苔藓虫可生活在潮间带, 而细小的枝状苔藓虫, 特别是具枝间节的种类均生活在静水区. 由此可知, 尽管苔藓虫在天山东部地区分布广泛, 但却很难通过大量繁殖形成坚固的抗浪结构.

而钙藻类具有分泌、沉淀或吸附钙质微粒的能力, 骨骼型钙藻还可通过钙化作用形成硬体, 它们在适宜的环境下可快速繁殖. 本区出现的科米藻与翁格达藻(*Ungdarella*) 不仅结构相似, 且生存环境与时代分布也基本相同, 后者在我国南方北部湾石炭系中是重要造礁生物. 本区的科米藻数量虽不够丰富且分布局限, 但在英格堡、大东沟生物丘内, 灰泥含量局部可达 40%~ 60%, 可以推测, 碳酸盐岩隆中大量灰泥的出现, 可能不仅与科米藻有关, 与其它菌藻类的活动也有密切联系[5, 6].

微相分析发现, 在灰泥中分布大量的凝块石, 其个体多在 50~ 100μm 之间, 有些甚至在 100μm 以上, 形态不规则, 边缘不整齐, 镜下观察颜色深暗, 缺乏复杂的结构. 凝块石既可孤立地存在于球粒泥晶、生物屑之间, 又可成断续的层状、松散的团聚状成片或成带出现.

对凝块石的认识以有机成因为主, Pratt, Webb 等均认为凝块石可能为一种隐藻结构[7, 8], 他们在研究凝块石的内部微结构时观察到三种类型: 即雾状结构、蠕虫状结构和灰泥结构, 尽管在当前的藻片观察中未能分辨出众多的微细结构类型, 但作者仍倾向于本区凝块石生物成因的推断. 基本依据是: (1) 与球粒等相比形态复杂; (2) 颜色深暗表明其有机质的属性; (3) 成片或成带分布所表现的与某些藻类相似的生态习性.

棘皮动物与腕足类可直接参与生物滩的形成, 前者见于艾维尔沟、桃西沟, 数量丰富的海百合茎构成 100~ 200m 厚的滩相沉积; 后者见于祁家沟, 以腕足动物为主的介壳滩也有相当的规模.

综上所述, 可依据生物类型、生物数量及生物组合特征等确定天山东部晚石炭世碳酸盐岩隆的性质: 生物丘分布于研究区内鱼儿沟、桃西沟、大东沟、英格堡等地, 以钙藻类(包括凝块石) 、苔藓虫和棘皮类等大量出现为特征, 含量一般为 25%~ 55%. 生物滩主要发育在艾维尔沟和木垒林场等地, 以棘皮类、腕足类为主. 生物层见于桃东沟及祁家沟等部分地区, 通常富含珊瑚等化石.

3 有关碳酸盐岩隆成因的探讨

英格堡生物丘是所发现的规模最大的生物丘, 分布面积十余平方公里. 其核部沉积主要是通过生物(如藻类、凝块石、苔藓虫等) 的捕获及障积作用而形成的. 古环境格局也有重要影响, 在火山锥的障积下也可积垫部分灰泥. 苔藓虫-钙藻障积岩构成生物丘的主体. 生物丘发育的晚期, 由于海水的迅速变浅, 大量生物屑堆积于丘核的顶部和翼部, 最后消亡于火山质的浅滩沉积中.

桃西沟生物丘规模小于英格堡生物丘, 成因机制类似英格堡生物丘, 但基底可能是火山锥或为起伏的海底台地, 丘核相的生物组分主要是苔藓虫及藻类, 但丘核顶部和丘翼部位的岩层由灰泥质、火山质及大量的海百合骨片和腕足类碎片组成, 这种滩相结构代表沉积环境显著变浅.

白杨沟、鱼儿沟等地的碳酸盐岩隆仅在地貌和构造形态上呈孤立的圆丘状, 由于保存很不完整, 未观察到生物丘顶部和侧翼的变化, 它们与周边地层均为断层接触, 显然, 这些碳酸盐岩隆经历了重力滑塌或后期的构造破坏.

木垒林场和艾维尔沟等地的生物滩和桃东沟、祁家沟等地的生物层, 在地貌和构造形态上均未形成丘阜或成为孤立块体, 与周边岩层的关系亦呈过渡和指状的交叉关系, 但它们与下伏基底和上覆盖层的岩石组成和形成机理是绝然不同的, 这些以颗粒岩为主的碳酸盐岩, 其中的生物群大多以属于原地或近原地生活的浅水型底栖生物类型为主, 局部地段的碳酸盐岩则以这类生物的碎屑物和藻屑、牙形类、海绵骨针、放射虫等组成. 作者推断, 这些生物滩和生物层应形成于相对稳定的浅滩间的沉积区, 沉积环境可以从浅水到较深水环境.

天山东部晚石炭世碳酸盐岩隆形成明显受区域环境的制约.

晚石炭世, 博格达弧[9]处于弧后消减阶段向碰撞造山阶段转变时期, 天山东部晚石炭世碳酸盐岩隆的形成、演化与区域大地构造和古地理环境的变迁有密切的关系, 其岩石组合、沉积类型和构造关系具有如下特征:

(1) 区内至今未发现有确凿化石依据的下石炭统, 上石炭统最下部的柳树沟组, 是一套未见底的巨厚中基性火山岩和火山碎屑岩沉积组合, 广泛发育深水相的火山岩质浊积结构构造, 也见有枕状熔岩. 但该组的顶部岩层已出现浅水相含化石的少量砂岩, 粉砂岩和灰岩透镜体, 反映沉积环境已逐渐改变, 水体变浅. 该组与上覆的祁家沟组在区域上大多为连续的渐变关系. 碳酸盐岩隆就是在此基础上逐渐发育形成的.

(2) 天山东部上石炭统的中上部(柳树沟组顶部、经祁家沟组至奥尔吐组), 是一套沉积速率较大, 沉积厚度相对较小, 火山岩和火山碎屑岩骤减而碳酸盐岩成分明显增加的复杂多样的沉积组合, 区域上浅水相和半深水相、深水相沉积并存. 由于晚石炭世整个天山海槽已处于持续海退阶段, 博格达地区的海水东撤而变浅, 因此, 碳酸盐岩隆的形成和发育过程是短暂的, 在整套上石炭统沉积序列中, 仅发育在中上部层位.

(3) 由此可见, 研究区内的碳酸盐岩隆鼎盛于莫斯科中期(*Fusulinella-Beedeina* 带), 莫斯科晚期以后, 碳酸盐岩隆迅速衰退, 以至奥尔吐组沉积组合普遍缺乏厚度较大(> 5m)的碳酸盐岩层. 另外, 本区碳酸盐岩隆(特别是生物丘内)的生物类型多样, 除浅水相类群外, 局部地段(如在生物丘的翼部及碳酸盐岩隆之间的间隙地带)也见有海绵骨针、放射虫、牙形刺等化石, 从区内生物群的属种组分, 组合类型和区系性质分析, 它与北哈萨克斯坦-库兹涅茨-准噶尔-蒙古地区的同期生物群相似, 而与塔里木-中国南部地区同期生物群差别较大, 关系较疏.

(4) 对比研究表明, 分布于欧洲比利时以及英格兰、爱尔兰、南威尔士等地迪南阶(Dinantian)的瓦尔索坦岩隆(Waulsortian buildups)中, 富含钙藻类、棘皮动物、苔藓虫、腹足类及海绵化石等[10, 11], 其生物组合面貌与我国天山晚石炭世碳酸盐岩隆十分相似, 微相分析也证实了两地碳酸盐岩隆的岩石类型、成岩作用及相类型的近似. 作者认为, 两地岩隆具有显著的对比特征. 由于瓦尔索坦岩隆一般发育于亚透光带的水下斜坡部位, 与处于浪击面的礁显著不同, 这也从另一侧面印证了我国天山晚石炭世碳酸盐岩隆的性质.

致谢 在室内资料分析上得到中国科学院地质研究所范嘉松研究员的热情帮助, 仅此致谢. 此项工作得到中国科学院院长基金资助.

参 考 文 献

1 廖卓庭. 新疆北部石炭纪生物地层研究新进展. 见: 涂光炽主编. 新疆北部固体地球科学新进展. 北京: 科学出版社,

1993. 79~ 94
2 Stanton R J. Factors controlling shape and internal facies distribution of organic carbonate buildups. Bull AAPG, 1967. 51(12): 2462~ 2467
3 张 维, 张孝林. 中国南方二叠纪生物礁与古生态. 北京: 地质出版社, 1992. 1~ 157
4 Rigby J K, Fan Jiasong, Zhang Wei. Inozoan calcareous Porifera from the permian reefs in south China. J Paleont, 1989, 63(6): 778~ 800
5 Mamet B L. Carboniferous Calcareous Algae. In: Riding R. et al. Calcareous Algae and Stromatolites. Springer-Verlag. 1991. 370~ 451
6 Mamet B L, Roux A, Nassichuk W W. Algues Carboniferes et Permiennes de L' Arctique Canadiea. Geol Sur Canada Bull, 1987, 342: 52~ 53
7 Pratt B R. Stromatolitic framework of carbonate mud-mounds. Jour Sed Petr, 1982 52(4): 1203~ 1227
8 Webb G E. Late Mississippian thrombolite bioherms from the Pitkin formation of northern Arkansas. Geol Soc Amer Bull, 1987, 99: 686~ 698
9 李继亮. 准噶尔残留弧后盆地与天山造山带的大地构造关系. 沉积学报, 1989, 7(增刊): 53~ 62
10 Lees A, Hallet V, Hibo D. Facies variation in Waulsortion buildups, Part 1: a model from belgium. Geol Jour, 1985, 20: 133~ 158
11 Lees A, Miller J. Facies variation in Waulsortian buildups, part 2: Mid-Dinantian buildups from Europe and North America. Geol Jour, 1985, 20: 159~ 180

(1998-07-08 收稿, 1999-03-10 收修改稿)

波-流共同作用下的三维悬沙扩散方程

丁平兴 史峰岩 孔亚珍
(华东师范大学河口海岸国家重点实验室, 上海 200062)

摘要 依据质量守恒定律, 将流场和悬沙场分别分解成 3 种不同时间尺度的速度和悬沙浓度的叠加, 从理论上较严密地导出了适合于河口海岸区域, 在波-流共同作用下一般形式的三维悬沙扩散方程; 通过对脉动扩散项与波动扩散项的参数化, 给出了适合于具体计算的三维悬沙扩散方程. 与以往扩散方程不同的是, 新给出的方程中能清晰地反映波浪、水流同时对悬沙扩散的影响.

关键词 河口海岸 波浪 水流 悬沙扩散方程

众所周知, 河口海岸地区, 波浪与水流是引起泥沙输运的主要动力因素, 因而国内、外有不少学者对波-流共同作用下的泥沙运动进行研究. 早期研究较多的是遵循河流输沙的研究途径, 以波-流共同作用下的床面剪切应力替代河流泥沙输运公式中的剪切应力[1,2]. 现有不少研究者采用流场模型, 但在悬沙扩散方程中采用波-流共同作用下的挟沙能力, 从而讨论波-流共同作用下的泥沙输运[3~6], 或在潮流方程中引入辐射应力, 然后结合二维悬沙扩散方程, 讨论波-流共同作用下的泥沙扩散[7~9]. 这些研究在一定程度上改善了河口海岸地区泥沙输运计算的精度, 但目前大多数河口海岸的输沙数学模型是二维的, 特别是模型中均引用传统的水流作用下的扩散方程, 仅是在源函数中引入波浪影响, 少数在确定涡动扩散系数时考虑波浪作用[10~12], 以表示波-流共同对悬沙的影响; 对于波-流共同作用下的三维泥沙输运研究较少.