

文章编号: 1000-0550(2003)01-0081-09

微亮晶 (臼齿) 碳酸盐岩: 21 世纪全球地学 研究的新热点^①

葛 铭¹ 孟祥化¹ 旷红伟¹ 蔡国印² 刘燕学¹ 刘为付¹

1(中国地质大学沉积盆地研究所 北京 100083) 2(中国矿业大学 北京 100083)

摘 要 国际地质对比计划委员会批准启动了 IGCP447—元古代臼齿碳酸盐岩和地球演化项目(2001—2005)^[1]。本文简要地回顾了臼齿碳酸盐岩的研究历史和最新进展。臼齿碳酸盐岩是一种具有类似大象臼齿的肠状褶皱构造的岩石,具有特殊的时限范围(中—新元古代)。试图解释其成因和可能用于古大陆地层对比是本项目研究的重要课题,其重要意义还在于它们是解决前寒武纪生物学和地球化学事件的关键。臼齿碳酸盐岩的发育和衰退关系到地球生命起源和海洋碳酸盐岩沉积地球化学的突变。⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 年龄同位素测定证明,微亮晶(臼齿)碳酸盐消失的时限很可能为 750 Ma。另外,中—新元古代碳酸盐岩地层具有重要的生烃潜力。

关键词 臼齿碳酸盐岩 中—新元古代 地球演化 烃源岩 IGCP447

第一作者简介 葛铭 女 1941 年出生 教授 沉积地质学

中图分类号 P588.24 5 **文献标识码** A

随着前寒武纪研究的进展,特别是全球事件、地层及古大陆再造研究的深入,近年来,中—新元古代地层中的臼齿碳酸盐岩(Molar Tooth Carbonates—简称 MT^[2])成了研究中—新元古代的火力交叉点^[3]。IGCP447 项目(中国地质大学孟祥化教授为主席,加拿大的 Darrel Long 教授和法国的 Robert Bourrouilh 教授为副主席)通过两年的工作,特别是 2002 年的国际学术会议,已取得了突破性的进展。

臼齿碳酸盐岩已在加拿大、美国、欧洲、非洲、澳大利亚、西伯利亚和中国等近 40 多个地区的地层中有所发现^[4],其中包括我国的吉林浑江地区、辽宁本溪、金州、复州、北京燕山、山东、河南、安徽及苏北等地(图 1)。我国的 MT 碳酸盐岩具有发育层位多、分布范围广和类型复杂的特点。中—新元古代的臼齿碳酸盐事件已经成为探索地球早期海洋碳酸盐沉淀作用和早期生命起源演化的新热点^[5]。

1 研究历史的回顾

1.1 臼齿碳酸盐岩的定义和时限

“Molar-Tooth”一词首先是被 Bauerman 命名的^[2],用来描述加拿大—美国北部边境附近 Belt 超群的碳酸盐岩中具有类似于大象臼齿特征的碳酸盐岩(图 2)。随后的一个世纪以来,许多科学家对它进行了

研究。Smith 等人将“MT”限定为 Belt-Purcell 超群中那些已明显呈弯曲状或线性的象脉一样垂直岩层产出的方解石构造。这些构造主要包括大体上垂直的褶皱肠状、分布于白云岩化的灰质泥岩中的良好结晶质方解石亮晶岩席^[6-8]。James 认为,臼齿是指发育在前寒武纪细粒碳酸盐中的一系列特殊的、具有肠状褶皱的微亮晶碳酸盐岩,主要位于中—新元古代(1500—650 Ma)的中—内斜坡和浅台地古环境中^[4]。

臼齿碳酸盐岩按其岩石组份、结构命名应为微亮晶碳酸盐岩。

文献证明,对世界上 24 个地点的 40 多个含有臼齿构造的地层文献资料的编辑和界定发现,臼齿构造是有时限的^[4]:该组构是中—新元古代(1700—650 Ma)的标志,只有一个例子出自早元古代地层^[9],文献中没有报导太古代的例子。Rossetite 报道的巴西白垩系地层中所谓的臼齿构造可能是一些后期充填的方解石脉,James 认为不是臼齿构造^[10];

全球范围内多数的臼齿构造都出现于中—新元古代的浅水碳酸盐岩中。在 600 Ma 以前的 Varanger / Marinoan 全球冰川作用期间,臼齿构造突然衰退。

1.2 微亮晶(臼齿)碳酸盐岩形成的古环境

Smith 指出,虽然臼齿构造富含在与聚环叠层石繁盛的相同环境中,但臼齿构造还发育在更深、更安静

① 国际地质对比计划委员会项目 IGCP447(批准号: SC/GEO/546/447)、科技部国家重点基础研究项目(001CB711002)和国家自然科学基金(批准号: 40172043)资助。

收稿日期: 2002-12-26 收修稿日期: 2003-01-10

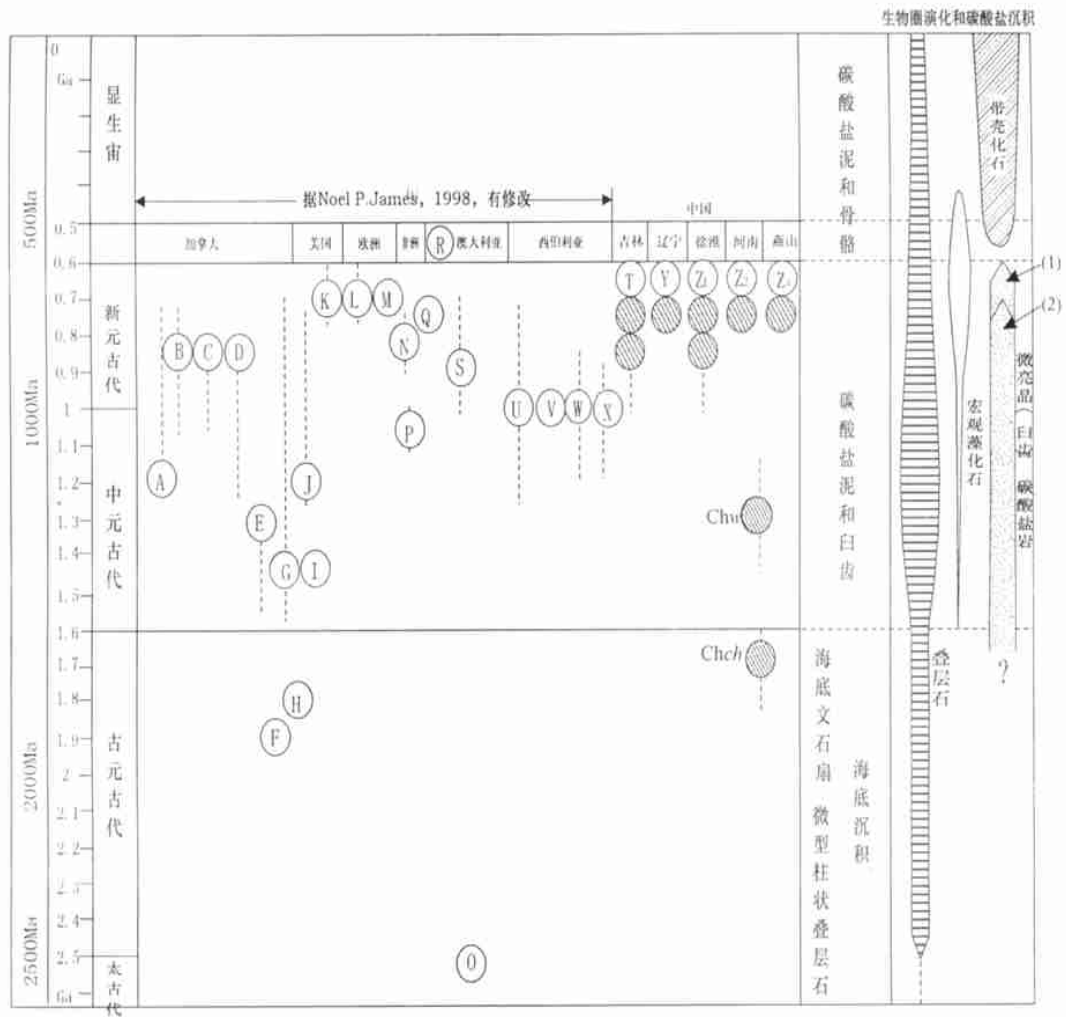


图 1 臼齿碳酸盐岩在年代地层中的分布时限及其它碳酸盐岩类的演化类型

Fig. 1 Range chart illustrating the temporal distribution of the Molar tooth carbonates and the evolutionary types of other carbonates

的环境^[11]。

James^[12, 13]认为臼齿碳酸盐岩是浅水潮下相的标志。臼齿碳酸盐岩通常发育在向上变浅旋回的下部,此旋回之上被环潮坪纹层所覆盖。麦肯齐山脉小达尔组是位于克拉通之上的陆相碎屑、碳酸盐和蒸发岩的连续沉积(1 083~ 779 Ma,可能是 800~ 850 Ma)^[14],它们形成一个典型灰岩的斜坡-盆地剖面。臼齿灰岩富集于内-中斜坡相的浅潮坪灰泥岩相中,一般出现在向上变浅旋回的下部,但在内斜坡潮上沉积和来自外斜坡的带状剥离灰岩中则明显缺乏^[15]。Rossetti在研究毛利塔尼亚的 MT构造时,也认为它分布于潮下浅水碳酸盐岩环境中^[18]。

有些学者认为 Belt超群含臼齿构造的碳酸盐是在浅水环境下间断暴露沉积的^[7, 19-24]。Pratt则认为沉积物一直处于淹没状态下,而且其周围的条件为低能。他估计 Helena组沉积的水深在透光区以内并低于风

暴浪基面即约水面以下 50~ 100 m^[25]。有的学者认为发育臼齿构造的地层也可以解释为潮下环境^[26, 27]。

本文作者等通过对我国吉辽地区臼齿发育层位沉积相的研究认为,吉辽地区新元古代臼齿构造发育于稳定克拉通台地边缘斜坡环境中,特别是中-上深缓坡向上变浅旋回的底部

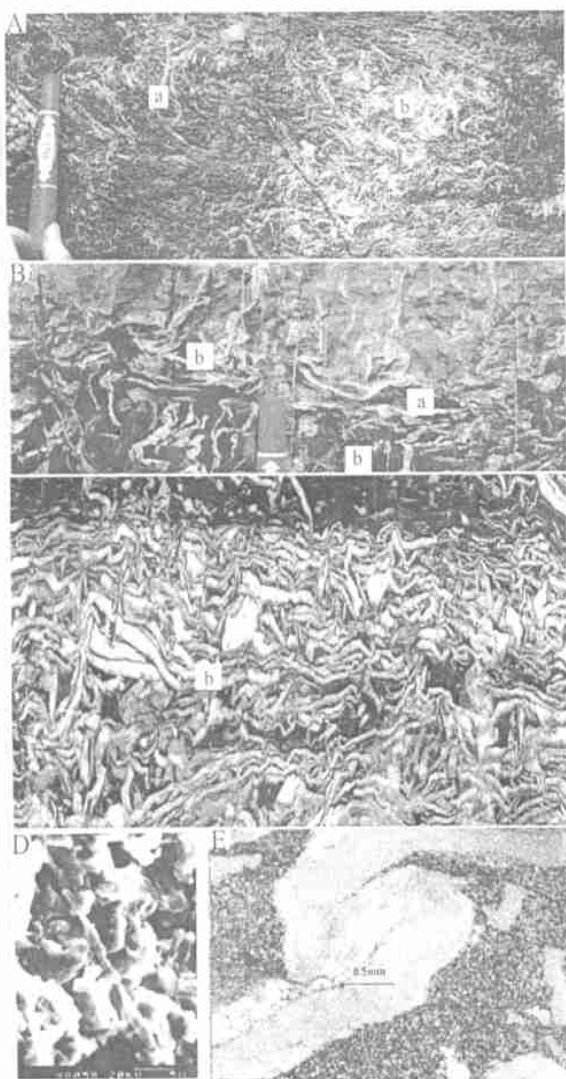
1.3 臼齿碳酸盐岩成因之谜探讨

自 1885 年 Bauerman 发现并命名 MT 碳酸盐岩 100 多年以来,许多学者对其成因提出了不同的解释,文献颇多。例如:臼齿构造最初被解释为构造脉^[28, 29]、同沉积的产物^[30, 6, 11, 31]等,也有人认为是有机质的,即非矿化的叶状藻或隐藻的(即微生物)的几种构造^[32]。

随着时间的推移,出现了更多的假说,归纳起来大致有:无机、有机和有机地球化学论:

1.3.1 无机论

有人认为臼齿的成因与生物作用关,而更多的是



A. 吉南青沟子万隆组, B. 辽南金石滩兴民村组,
C. 加拿大蒙塔拿 Belt 超群, D. 扫描电镜下的形态,
E. 单偏光镜下的形态

图 2 白齿构造的形态

Fig. 2 Forms of Molar Structure

A. the Wanlong Fm. in the Qinggouzi section of the
outhem jilin, B. the Xingmincun Fm. of Jinshitan
section of southern Liaoning, C. Belt Group
of M ontana in Canada, D. form of MT under SEM,
E. fom of MT under polarizing microscope

机械或外力作用造成的,如 Daly^[28]认为白齿构造类似于劈理; Eby^[33]称白齿构造是方解石结核和充填裂隙的蒸发岩,很可能是 CaSO_4 ; Knoll 认为白齿构造是陆表干裂的结果^[34];或水下收缩产生的孔隙^[35-38,26];

Pratt 的地震成因观点则认为 MT 构造是地震脱水作用造成的: 由于同沉积期的地震作用使海底粘土或灰泥等已胶结的沉积物发生脱水、收缩、产生裂缝,其后,裂缝被从基质中分离出来的均匀等粒灰泥颗粒充填,在压力和剪力作用下,使灰泥充填的裂隙变为肠状褶

皱,并在垂直和水平方向上发生重叠甚至断裂形成 MT 构造^[39,40,25]。国内也有学者认为白齿碳酸盐岩为地震成因的液化脉,并称其为震积岩^[41,42]。

1.3.2 有机论

有机论的发展也已有相当长的沿革,如 Gillson^[43]提出了有机(藻)成因“相信为藻成因”; Ross^[44]认为,“也许某些(白齿)构造直接或间接与产生石灰岩的原始灰泥中的原始有机物质的生命过程有关”; O Connor^[7,45]也再次描述了藻成因; Smith 认为 MT 构造最初是藻类沉淀于含水的粉砂及粉砂质灰、泥岩中,在海底沉积物表面以下小于 1.3 m 的范围内,由于准同生压实作用引起弯曲而形成; Pflug 从 Idaho-Montana 获得的样品分析发现,“MT”及环绕它的灰岩中含有同有机残留物混在一起的丝状体,他认为丝状体与蓝藻纲和绿藻纲的藻相似,甚至观察到所保存的 MT 构造的边缘表现了藻群的原始形态^[30],有力地支持了 Smith 微生物生长成因的观点; James 的生物成因观点更是值得重视^[4],他认为泥质碳酸盐海底在潮间和大部分潮下环境被微生物泡沫铺盖着,而限制在中元古代和晚元古代的事实,很可能反映适应这个环境的微生物群落的演化顶点。这个群落不延伸到深潮下或盆地背景,可能是因为光合自养的原因;近期生物学研究进展发现,生物酶蛋白质大分子结构存在微生物波^[46-48],认为生物波是生命活动的本质。生物酶能使微生物波被激活,既促进了 pH 值的提高,增加了 CO_2 的分压,又促进了 CaCO_3 生物化学沉淀作用。或许,微生物波理论有可能是进一步揭示白齿碳酸盐沉淀作用的另一个途径^[49]。

1.3.3 有机地球化学论

Horodyski^[35,50]认为,豆荚状的白齿构造是由于腐烂的有机物产生气泡形成的; Furniss 等^[8]指出:由于块状的碳酸盐岩地层中充填了气体如 CO_2 , H_2S 等,从而形成气泡裂缝, CO_2 , H_2S 来自还原硫酸盐细菌对石膏的分解,其中的 CO_2 进一步生成 CaCO_3 沉淀,即 MT; H_2S 则形成黄铁矿; Furniss 等的气泡成因理论仅限于斑点状的、垂直和水平条带状的 MT,他们认为条带状的 MT 形成于开放的空间,在此空间被细等粒的亮晶方解石充填之前,水和气体能够在此空间流动。他们通过下面的实验来证明他的气泡成因理论: 将熟石膏、粘土、水、醋和酵母的混合物放在一个玻璃缸内。酵母使醋发生代谢变化,产生 CO_2 气体。 CO_2 气体首先在泥浆中形成几乎与在 Belt 超群发育的 MT 斑点形状相同的气泡。随后气泡上升到混合物的表面并带出部分水分,从而使泥发生凝固。随后用石膏将泥的表面封起来,受到限制的气体在僵硬的泥中产生垂直的和

水平的扩张裂隙,这些裂隙的形状几乎与垂直的和水平的 MT 条带一致。最后,通过混合溶解 Na_2CO_3 和 CaCl_2 沉淀后获得细粒等径的钙质碳酸盐晶体。他们认为利用生物气所形成的近似于 MT 斑点状和条带状裂隙的实验,解释了斑点状和条带状 MT 的成因。并提出在 Chamberlain 和 Helena 组的一些条带状 MT 是由在处于沉积表面 1 m 内的泥中的气体缝隙,在压实之前部分的被细粒的钙质亮晶充填形成的,其它形状的 MT 构造也可能是在沉积的较深处形成的。

Frank T D 等人研究了 MT 条带中的 C 同位素的组成,支持 Furniss 等的观点^[51]。并通过 $\delta^{13}\text{C}$ 同位素数据表明,臼齿构造形成于成岩早期,其形成条件必须有利于方解石迅速沉淀; Graham A Shields 最新报导^[52],通过对 Sr 和 C 同位素研究发现了新元古代时期(约 565 Ma)岩石表面氧化作用增强,认为臼齿构造消失最可能的原因是海洋化学性质的变化,由于硫酸盐浓度升高抑制了方解石从海底中沉淀出来。

2 最新研究进展

2002 年 9 月 6~15 日于北京召开了首次 IGCP447 项目国际学术讨论会,来自 9 个国家的 30 多位专家学者出席了会议。本次会议的研讨主题^①有:

1),高频旋回层序地层与海平面变化:哑地层对比原则与方法;2),臼齿碳酸盐岩沉积学、分类和成因;3),碳酸盐岩地层的生物-超微生物化石遗迹学、生物标志物及生命起源演化;古土壤的作用和特征;4),碳酸盐岩地球化学、同位素地球化学、古海洋地球化学;5),碳酸盐岩烃源岩油气资源评价;6),大地构造、古构造、古大陆再造。本次会议取得了圆满成功。对一些长期争论的问题取得了基本一致的意见,例如,非微亮晶碳酸盐岩充填的任何裂隙如下寒武统大林子组等,即非 MT,也不是地震成因。随着 IGCP447 项目的启动和第一次国际研讨会的召开,对臼齿碳酸盐岩的研究取得了一些突破性的进展,这主要表现在以下几方面。

2.1 澄清了 MT 的定义

IGCP447 工作组详细阐述了 MT 的特征,如 MT 的组成和结构明显不同于基质。其基质灰岩一般由不纯的泥晶方解石组成,通常含有粘土和细粉砂颗粒及黄铁矿,MT 则是由纯的粒度约 $5\sim 15\mu\text{m}$ 的均匀等粒的微亮晶方解石集合体组成,与基质呈突变或呈溶蚀边接触,与其他胶结作用或新生变形的方解石不同。对臼齿构造和基质分别进行能谱分析发现,基质组分的 Ca, Mg, Al, Si, K, Cr 峰值非常突出,而臼齿构造仅仅是 Ca 出现峰值,还有少量硅质,为 MT 形成时的带人物。

2.2 对 MT 碳酸盐岩形成的大地构造背景取得了共识

会议认为,MT 碳酸盐岩为形成于稳定克拉通碳酸盐缓坡的沉积体系。孟祥化等编制的元古代-古生代的系列等时性岩相古地理图件^[53,54],证明了所谓的“古郯庐断裂带”是不存在的。排除了 MT 碳酸盐岩是活动构造背景下地震作用的可能性,并提出 MT 不同于震积岩:1)枕状构造是地震活动最强有力的证据^[55],但到目前为止,在我们的研究领域没有在 MT 碳酸盐岩中发现枕状构造的报导;2)MT 碳酸盐岩的出现和消失与地质历史上早期生物的演化相一致;3)多数 MT 垂直于纹层生长,通常中部较粗向两端变细,这种特征与泄水构造没有任何联系;4)褶皱状的 MT 是由于纹层状沉积物的差异压实作用引起的;5)MT 是由纯的微亮晶组成的,它们的结晶和固结要早于基质的泥晶灰岩,所以,在压实的过程中,MT 具有明显的边界,其形态为无定向或复杂型,这与地震成因的地震液化是完全不同的;8)根据现代碳酸盐岩沉积速率 $0.01\sim 2.5\text{m/ka}$,1 mm 厚单个纹层的形成时间大约为 $1\sim 2\text{a}$,而一个 MT 通常穿越几十个纹层,所以,MT 为地震成因是难以令人置信的,因为地震是一个瞬时事件。

2.3 成因机制、诱发因素

虽然到目前为止还没有公认的成因说,但是以下几种诱发因素引起了世界各国地质学家的重视:

2.3.1 细菌微生物的影响

美国的 Don Winston 等,利用生物气所形成的近似于 MT 斑点状和条带状裂隙的实验,解释了斑点状和条带状 MT 的成因(前已述及),并提出 Chamberlain 和 Helena 组的一些条带状 MT 是由处于沉积表面 1 m 内泥中的气体缝隙,在压实之前部分的被细粒的钙质亮晶充填形成的,其它形状的 MT 构造也可能是在垂向沉积的较深处形成的。

2.3.2 微亮晶臼齿构造与营光合自养的微生物作用

在 $1900\sim 550\text{Ma}$ 的漫长古老世界里,MT 成因问题是一个关系到早期地球和生命演化以及碳酸盐沉积等的重大前沿课题。更确切地说,它可能是与生物细菌相关的一种碳酸盐微亮晶沉淀作用突发期,它的突然衰退和终结则代表前寒武纪-寒武纪早期生物大爆发的前奏。臼齿碳酸盐岩形成于稳定的构造背景下,温暖的气候条件和浅水斜坡环境适宜于营光合自养的微生物群落生存;臼齿碳酸盐岩发育和消失的时限与地

① 孟祥化,葛铭,蔡国印,旷红伟,刘燕学. New Research, IGCP447 北京会议, 2002.

球上生物的演化阶段一致,与古海洋化学性质的变化密切相关;如果地层中的聚环叠层石是藻活动的结果,而白齿构造发育的地方,叠层石就不发育,反之也一样,也许表明了白齿微亮晶可能是与之相似的一种有机的,但可能不同与叠层石而是微生物成因的物质;白齿构造的特征组构—均匀、细粒的方解石集合体似乎也表明白齿构造的某种菌藻成因。Furniss等在白齿微亮晶中发现了一种可能的疑源类^[8],常形成与生物有关的球霏石,为白齿构造的生物成因论提供了直接的证据

2.3.3 白齿碳酸盐岩形成与全球海洋化学条件变化相关

MT的形成环境与风暴、水深和生物作用有关,在大的方向上与古地理环境和古海洋环境有关,适合MT构造形成的古海洋环境消失了,MT也消失了,并不是在寒武纪界线上而是在寒武纪之前的一段时间就消失了。

白齿碳酸盐岩对元古代地球特别是碳酸盐古海洋,古大陆的研究具有重要意义。Sr同位素为识别古海洋环境的重要标志。近期已经初步建立了从中元古代—新元古代 Sr⁸⁷/Sr⁸⁶同位素比值曲线(图3)这一比值的时限范围为 550—850 Ma至 1600 Ma

进一步应用地球化学指标进行元古代古海洋和古大陆(尤其是稳定克拉通台地边缘)的再造;MT碳酸盐岩及其共生的风暴沉积记录可为 Rodinia超古陆及其各组成地块方位的确定提供有价值的证据

2.3.4 应用 Sr同位素和生物地层进行元古代碳酸盐哑地层的对比,并提出了新的方案

Sr⁸⁷/Sr⁸⁶同位素比值在确定元古代的年龄上获得了较精确的值,如根据 Sr同位素对中朝板块新元古代的一些地层年龄值可能要较现在所认为的年龄要早。郑文武、杨杰东等^[56,57],郑文武^[58,59]应用古海水中 Sr/C同位素组成的变化曲线图解,与辽南苏皖北部上前寒武系 Sr/C同位素对比研究;孟祥化,葛铭,杨杰东(2002)对辽东、吉林发育白齿碳酸盐的营城子组、兴民村组和万隆组碳酸盐层序的 Sr/C同位素对比研究均表明,其年龄值大于 700—850 Ma,很可能中朝板块并不存在震旦系地层,上述地层可能属于南华系和青白口系。

2.3.5 元古代海相碳酸盐地层的生烃潜力引起国内外学者的普遍重视

国际上近十几年来,有机地质研究取得了较大的进展,提出应用有机质烃类生物标志物概念(Hydrocarbon biomarkers)^[60]。Kuznetsov V G系统地论述了俄罗斯西伯利亚克拉通盆地里菲地层生烃资源潜力,研究结果表明,有机碳总值 0.3%至 > 8%平均值为 1.2%~1.9%。并且研究资料还证明,在元古代碳酸盐岩中具有重要工业油流,并且早在 1973年就获得了工业原油。根据 1982年估算,西伯利亚克拉通及边缘盆地石油总量高达 $(2.1 \sim 8.47) \times 10^{11}$ t,天然气总量达 1.315×10^6 亿 m³^[61]。这为元古代海相老地层寻找石油提供了新的领域

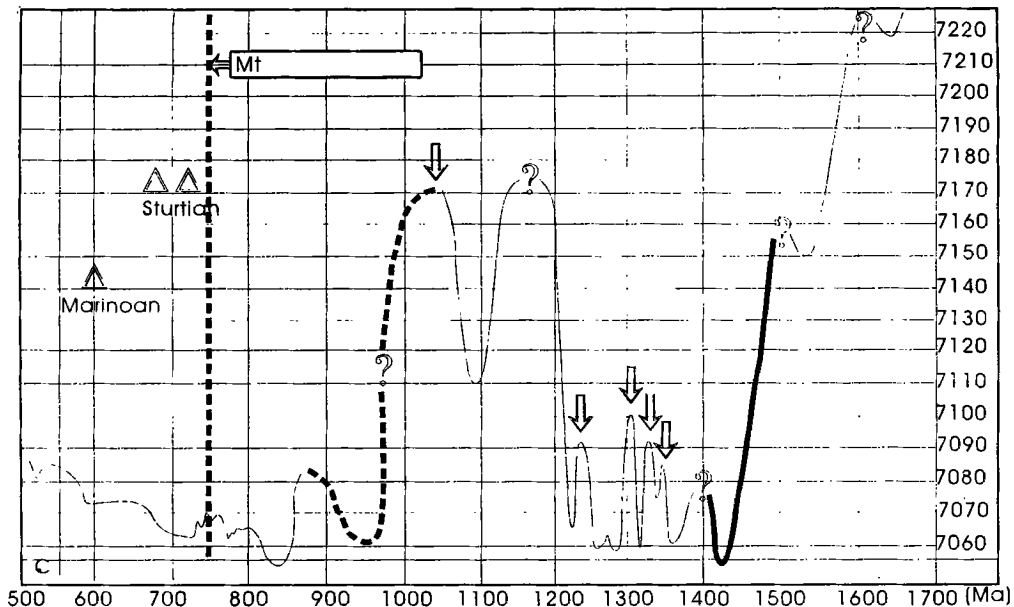


图 3 寒武纪—中元古代 Sr⁸⁷/Sr⁸⁶同位素演化

由图可见,元古代古海洋环境周期性变化的特征(550—850 Ma曲线依据 Graham Shields, 1999; 850—1600 Ma依据本文作者

Fig. 3 Sr⁸⁷/Sr⁸⁶ isotopic evolution from Cambrian to Middle Proterozoic and periodic change features of Proterozoic paleo-oceanic environment (550—580 Ma curve from Graham Shields, 1999 and 850—1600 Ma curve from authors)

3 研究意义

3.1 微亮晶碳酸盐岩具有鲜明的时限意义和古环境意义

白齿碳酸盐岩是一种具有全球性意义的沉积碳酸盐岩类。已发现的 MT 碳酸盐岩都出现在从 1 900~750 Ma 这一特定历史时期。它在中-新元古代特别是在早新元古代的大量发育,与地球历史发育过程中从无生命世界向有生命世界演化相关。MT 碳酸盐岩形成发育的历史阶段,恰恰介于太古代没有生命的海洋世界—一个从无机碳酸盐文石和文石火山灰沉积作用期与显生宙带壳生物骨骼碳酸盐沉积作用的生物大爆发期之间的过渡历史时期^[4]。根据作者及杨杰东、郑文武研究,中朝板块新元古代发育白齿碳酸盐岩的地层如万隆组、营城子组、兴民村组碳酸盐岩⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 同位素比值测定结果,其年代变化曲线的投点位置均大于 750 Ma (图 3)。果表明,微亮晶碳酸盐岩在地球上消失可能是 700 Ma 以前。

MT 碳酸盐岩分布范围广而且形态复杂多样,在前寒武纪台地浅海陆棚有广泛的发育环境,从浅滩下至较深浅海陆棚均有发育,因此,可以用它作为潮下浅水斜坡相的标志物,以利于前寒纪沉积相的划分。

3.2 白齿碳酸盐岩事件研究对元古代地层划分与对比具有重要意义

前寒武纪地层中由于缺乏像古生代那样丰富多采的古生物化石,长期以来给前寒武纪地层对比和划分带来很多困难。白齿碳酸盐层序的研究以及其中超微生物化石的不断发现,将有利于进一步应用超微生物化石、生物地层、层序地层及同位素地层学等综合方法的研究,提高元古界地层的对比水平。对于晚前寒武纪—早前寒武纪的 Sr/C 同位素地层学研究,已积累了丰富的资料,提高了等时性对比的可信度。基于“ $\delta^{13}C$ 的变化可能与生物生产率的变化等有关,其负波动与冰川作用或与其相关的底层不整合有关”和“全球古大洋海水中 Sr 同位素比率在任一时间阶段内是均一的”同位素地层学原理^[62],依据其 900~500 Ma 期间的古海水 Sr/C 同位素组成变化曲线图,郑文武、杨杰东等 (2001) 对辽南苏皖北部上前寒武系 Sr 同位素进行了对比研究,并对其可能的自然层序进行了分析和讨论^[56,57],为华北地台元古代地层对比研究开拓了新思路。孟祥化、葛铭、杨杰东、郑文武等对辽东、吉林发育白齿碳酸盐的营城子组、兴民村组和万隆组碳酸盐层序的 Sr/C 同位素对比研究均表明,其年龄值大于 700~850 Ma 并初步做了 850~1600 Ma 的⁸⁷Sr/⁸⁶Sr 同位素研究。如能把生物地层学、同位素地层学与宇地系

统观的旋回层序^[63,64]结合研究,无疑会提高前寒武纪综合地层学和沉积地质学研究水准。

3.3 微亮晶碳酸盐岩有机质和生烃前景

21 世纪中国石油的主战场将转向海相碳酸盐岩^[65,66],郝石生、赵澄林等都论述过华北地台中新元古代碳酸盐地层的生烃潜力和烃源岩前景^[67,68],并研究了中新元古代生命有机物质的存在丰度。但我国元古代碳酸盐岩生烃潜力和有机质研究还处于起步阶段。微亮晶碳酸盐岩的研究将大大地促进该领域的发展。

国际地质对比计划科学委员会在对 IGCP447 项目的评价中指出:该项目的目标是对中晚前寒武纪白齿碳酸盐岩的构造和成因进行调查,并评价白齿碳酸盐岩全球对比性,强调沉积作用、古环境(即用作深度和斜坡标志物)、生物地球化学、构造及地层学意义。试图解释这类褶皱状构造成因和它们可能用于古大陆、地层对比是一项有意义的研究。白齿碳酸盐岩更有意义的是在于它是前寒武纪生物学和地球化学事件的关键性标志,特别是它们的消失(demise)标志着新元古代碳含量的明显升高,它们可能是生物圈演化的一个环节。委员会还指出,该项目的社会效益还包括提高对泥及碳酸盐占主导的碳酸盐岩环境中生物地质过程的解释,追踪生命起源、地球古水圈、古海洋地球化学演化、碳酸盐岩沉积形成史以及提高对泥质碳酸盐生物沉积过程与古风暴、海啸、地震等环境异同的了解水平。该项目将获得重要成果,项目有助于了解地球早期历史,可能正是细菌微生物在前寒武纪生命演化起重要作用。会议强调今后应加强深入六个专题的研究,并建立了国际专题工作组。今后的工作重点在于应用白齿碳酸盐岩进行古海洋、古大陆再造、生物标志物、生烃潜力、碳酸盐沉积学研究以及 MT 成因的模拟实验等。

项目工作组还将陆续在美国(2003)、意大利(2004)、澳大利亚(2005)等地召开国际学术研讨会。

参考文献 (References)

- 1 News Reports. New IGCP Projects accepted and starting in 2001 [J]. Episodes, 2001, 24(1): 50
- 2 Baueman H. Report on the geology of the country near the fourth parallel of North latitude West of the Rocky Mountains [R]. Canada Geol Survey Rept Prog, 1882-1884, 1885, B 1-42
- 3 Winston D, Rittel John F, Fumiss George. Gas bubble and expansion on molar-tooth calcite structures in the Middle Proterozoic Belt Supergroup Western Montana—Reply [J]. Journal of Sedimentary Research, 1999, 69(5): 1140-1145
- 4 James N P, Narbonne G M, Sherman A G. Molar tooth carbonates shallow subtidal facies of the Mid to Late Proterozoic [J].

- Journal of Sedimentary Research, 1998, 68(5): 716~ 722
- 5 Meng Xianghua, Ge Ming. The Sedimentary Features of Proterozoic Microspar (Molar-tooth) Carbonates in China and Their Significance[J]. Episodes, 2002, 25(3): 185~ 196
 - 6 Smith A G. The origin and deformation of some "Molar-tooth" structure in the Precambrian Belt-Purcell supergroup [J]. Journal of Geology, 1968, 76 426~ 433
 - 7 O'Connor M P. Classification and environmental interpretation of the cryptalgal organosedimentary "molar-tooth" structure from the late Precambrian Belt-Purcell Supergroup[J]. Journal of Geology, 1972, 80(5): 592~ 610
 - 8 Furniss G, Rittle J F, Winston D. Gas bubble and expansion crack origin of "molar tooth" calcite structures in the Middle Proterozoic Belt Supergroup, Western Montana [J]. Journal of Sedimentary Research, 1998, 68(1): 104~ 114
 - 9 Ricketts B D, Donaldson J A. Sedimentary history of the Belcher Group of Hudson Bay [A]. In Campbell F H A ed. Proterozoic basin of Canada [C]. Geology Survey of Canada, 1981, 81(10): 235 ~ 254
 - 10 Rossetti D. de F, James N P, Narbonne G M, Sherman A G. Molar-tooth carbonates: shallow subtidal facies of the mid- to late Proterozoic; discussion and reply [J]. Journal of Sedimentary Research, 2000, 70(5): 1246~ 1249
 - 11 Smith A G, Barnes W C. Correlation of facies changes in the carbonaceous, calcareous, and dolomitic formations of Precambrian Belt-Purcell Supergroup [J]. Geological Society of America Bulletin, 1966, 77 1399~ 1426
 - 12 Jackson G D, Ianelli T R. Rift-related cyclic sedimentation in the Neohelikian Borden Basin, Northern Baffin Island [A]. In Campbell F H A ed, Proterozoic Basin of Canada [C]. Geological Survey of Canada, 1981, 81(10): 269~ 302
 - 13 Narbonne G M, James N P. Mesoproterozoic deep-water reefs from Borden Peninsula, Arctic Canada [J]. Sedimentology, 1996, 43 827~ 848
 - 14 Narbonne G M, Atken J D. Neoproterozoic of the Mackenzie Mountains, Northwestern Canada [J]. Precambrian Research, 1995, 73 101~ 121
 - 15 Aitken J D. Stratigraphy and sedimentology of the Upper Proterozoic Little Dal Group, Mackenzie Mountains, Northwest Territories [A]. In Campbell F H A ed, Proterozoic basins of Canada [C]. Geological Survey of Canada, 1981, 81(10): 47~ 71
 - 16 Rainbird R H, Jefferson C W, Hildebrandt R S, Worth J K. The Shaler Supergroup and Revision of Neoproterozoic Stratigraphy in the Amundsen Basin Northwest Territories [J]. Geological Survey of Canada, 1994, 94(1) A 61~ 70
 - 17 Rainbird R H, Menicoll V J, Theriault R J, Heaman L M, Abbott J G, Long D G F, Thorkelson D J. Pan-continent river system draining Grenville Orogen recorded by U - Pb and Sm - Nd Geochronology of Neoproterozoic quartzarenites and mudrocks northwest Canada [J]. Journal of Geology, 1997, 105 1~ 17
 - 18 Rossetti D F, Goes A M. Deciphering the sedimentological imprint of paleoseismic events: an example from the Aptian Codo Formation, northern Brazil [A]. In Shiki T, Cita M B, Gorsline D S eds. Seismoturbidites, seismites and tsunamites [C]. Sedimentary Geology, 2000, 135(1- 4): 137~ 156
 - 19 Horodyski R J. Sedimentary geology and stromatolites of the Middle Proterozoic Belt Supergroup, Glacier National Park, Montana [J]. Precambrian Research, 1983, 20 391~ 425
 - 20 Grozinger J P. Shallowing-upward cycles of the Wallace Formation, Belt Supergroup, northwestern Montana and adjacent areas [J]. Montana Bureau of Mines and Geology Special Publication, 1986a, 94 143~ 160
 - 21 Winston D. Sedimentology of the Ravalli Group, middle Belt carbonate and Washington [A]. In Roberts S M ed, Belt Supergroup: A guide to Proterozoic rocks of western Montana and Adjacent Areas [C]. Montana Bureau of Mines and Geology Special Publication, 1986b, 94: 245~ 257
 - 22 Winston D. A sedimentology and tectonic interpretation of Belt [A]. In Winston D, Horodyski R J, Whipple J W, eds. Middle Proterozoic Belt Supergroup, western Montana. Field trip guidebook T334 International Geological Congress 28th, Washington [R]. American Geophysical Union, 1989 46~ 69
 - 23 Winston D. Evidences for intracratonic, fluvial and lacustrine setting of Middle to Late Proterozoic Laurentia-Baltica [R]. Geological Association of Canada Special Paper, 1990, 38 535~ 564
 - 24 Schiber J. Facies and deposition of a mixed terrigenous-carbonate suite in a Middle Proterozoic epicratonic sea: The Newland Formation, Belt Supergroup, Montana, U. S. A [J]. Neues Jahrbuch Fur Geologie und Palaontologie Abhandlungen. 1992, 184 155~ 180
 - 25 Pratt B R. Molar-tooth structure in Proterozoic carbonates rocks: Origin from synsedimentary earthquake and implications for the nature and evolution of basins and marine sedimentary [J]. GSA Bulletin, 1998, 110(8): 1028~ 1045
 - 26 Calver C R, Baillie P W. Early diagenetic concretion associated with the intrastratal shrinkage cracks in an upper Proterozoic dolomite, Tasmania, Australia [J]. Journal of Sedimentary Petrology, 1990, 60 293~ 305
 - 27 Fairchild I J, Song Tianrui. Possible seismic origin of molar tooth structures in Neoproterozoic carbonate ramp deposit, North China [J]. Sedimentology, 1997, 44 611~ 636
 - 28 Daly R A. Geology of the North American Cordillera at the forty-ninth Parallel [J]. Canada Geol Survey Mem, 1912, 38, pts. 1, 2, and 3
 - 29 Fenton A J, Fenton M A. Geology and ground waters of the western part of San Diego County, California US [M]. Geol Survey Water-Supply, 1919. 446
 - 30 Plflug H D. Gesteinbildende organismen aus Molar Tooth Limestone der Beltserie (Praekambrium), Palaeontographica Abteilung B [J]. Palaeophytologie, 1968, 121: 134~ 141
 - 31 Bertrand-Sarfati J, Moussine A. Is cratonic sedimentation consistent with available models? An example from the upper Proterozoic of the west African craton [J]. Sedimentary Geology, 1988, 58 255 ~ 276
 - 32 Alt D, Hyndman. Roadside geology of Montana Missoula [M]. Montana Mountain Press, 1986. 427
 - 33 Eby D E. Carbonate sedimentation under elevated salinities and

- implications for the origin of "Molar-Tooth" structure in the Middle Belt Carbonate Interval (late Precambrian), northwestern Montana [R]. Abstracts with Programs - Geological Society of America, 1975, 7: 1063
- 34 Knoll A H. Microbiotas of the Late Precambrian Hunnberg Formation, Nordaustlandet Svalbard [J]. *Journal of Paleontology*, 1984, 58: 131- 162
- 35 Horodyski R J. Stromatolites of the upper Sych Limestone (Middle Proterozoic), Belt Supergroup, Glacier National Park, Montana [J]. *Precambrian Research*, 1976, 3: 517- 536
- 36 Plummer P S, Gostin V A. Shrinkage cracks: Desiccation or synaeresis? [J]. *Journal of Sedimentary Petrology*, 1981, 51: 1147 ~ 1156
- 37 Hofmann H J. The mid-Proterozoic Little Dal macrobiota, Mackenzie Mountain, north west Canada [J]. *Paleontology*, 1985, 28: 280- 300
- 38 Fairchild I J, Spiro B. Petrological and isotopic implications of some contrasting Late Precambrian carbonates NE Spitsbergen [J]. *Sedimentology*, 1987, 34: 973- 989
- 39 Pratt B R. Shrinkage features ("molar tooth" structure) in Proterozoic limestones: new model for their origin through syndimentary earthquake-induced dewatering. In: Geological Society of America, 1992 annual meeting. Abstracts with Programs - Geological Society of America, 1992, 24(7): 53
- 40 Pratt B R. Proterozoic syneresis cracks and molar-tooth structure: formation by syndimentary seismicity. Program with Abstracts - Geological Association of Canada [R]. Mineralogical Association of Canada; Canadian Geophysical Union, Joint Annual Meeting, 1993: 85
- 41 乔秀夫, 宋天锐, 高林志等. 碳酸盐岩振动液化地震序列 [J]. *地质学报*, 1994, 68(1): 16- 34 [Qiao Xiufu, Song Tianrui and Gao Linzhi et al. Seismic succession of oscillatory liquefaction in carbonate rocks [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1994, 68(1): 16- 34]
- 42 乔秀夫, 高林志. 华北中新元古代及早古生代地震灾变事件及与 Rodinia 的关系 [J]. *科学通报*, 1999, 44(16): 1753- 1757 [Qiao Xiufu and Gao Linzhi. Neoproterozoic and Early Paleozoic seismic disaster Events in the North China Platform and Their Relationship with Rodinia [J]. *Chinese Science Bulletin*, 1999, 44(16): 1753- 1757]
- 43 Gillson J L. Contact metamorphism of the rocks in the Pend Oreille district, northern Idaho U S [R]. *Geol Survey Prof Paper*, 1929, 158- F: 111- 121
- 44 Ross C P. The geology of Glacier National Park and the Flathead region, northwestern Montana U S [R]. *Geol Survey Prof Paper*, 1959, 296: 125
- 45 O Connor M P. 'Molar-tooth' structure; a probable Precambrian alga [R]. *Special Paper-Geological Society of America*, 1965: 340
- 46 Tomas E C. *Proteins: Structure and Molecular Principles* [M]. New York: W H Freeman and Company, 1984: 234
- 47 周康清. 生物波: 生命活动的本质— 试论酶催化的基础 [A]. 见: 石宝珩主编. 中国地质科学新探索 [C]. 北京: 石油工业出版社, 1998: 244- 250 [Zhou Kangqing. Biowave: Essence of living action [A]. In: Shi Baohang ed. *New Explorations of Geological Science in China* [C]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1998: 244- 250]
- 48 Fred W. 普赖斯基基础分子生物学 [M]. 上海: 上海科学技术出版社, 1989 [Fred W. *Price foundational molecular biology* [M]. Shanghai: Shanghai Scientific and Technologic Press, 1989]
- 49 孟祥化, 葛铭. 新元古代旋回层序地层: 海平面变化, 古地理及微亮晶碳酸盐事件. 见: 孟祥化, 葛铭主编. 中朝板块层序、事件及演化, 第五章 [M]. 北京: 科学出版社 (出版中), 2002 [Meng Xianguhua, Ge Ming, et al. *Cyclic sequence stratigraphy of Neoproterozoic: Sea level change, Paleogeography and Microsparite carbonate events* [M]. In: Meng Xianguhua, Ge Ming, *Sequence, events and its evolution of Sino-Korea Plate* (in press) [M]. Beijing: Science Press, 2002. Chapter 5]
- 50 Horodyski R J. Paleontology of the Middle Proterozoic Belt Supergroup [A]. In: Winston, D, Horodyski R J, Whipple J W, eds. *Middle Proterozoic Belt Supergroup, western Montana* [R]. *Field trip guidebook T334 International Geological Congress*, 28th, Washington, American Geophysical Union, 1989: 7- 26
- 51 Frank T D, Lyons-Timothy-W. "Molar-tooth" structures: a geochemical perspective on a Proterozoic enigma [J]. *Geology (Boulder)*, 1998, 26(8): 683- 686]
- 52 Shields, Graham A. "Molar-tooth microspar": a chemical explanation for its disappearance ~ 750 Ma [J]. *Terra Nova*, 2002, 14: 108- 113
- 53 孟祥化, 葛铭. 中朝板块旋回层序、事件和演化探索 [J]. *地质前缘*, 2002, 4(3): 125- 140 [Meng Xianguhua, Ge Ming. *Sequence, events and its evolution of Sino-Korea Plate* [J]. *Earth Science Frontiers*, 2002, 4(3): 125- 140]
- 54 孟祥化, 葛铭. 宇地系统观的沉积学及其意义 [A]. *油气盆地研究进展 (第一辑)* [C]. 北京: 石油工业出版社, 2002: 245- 253 [Meng Xianguhua, Ge Ming. *Earth-Cosmic sedimentology and its implication* [A]. *Petroleum basin research progress* [C]. Beijing: Petroleum Industrial Press, 2002: 245- 253]
- 55 Roep T B, Everts A J. Pillow-beds: a new type of seismites: An example from an Oligocene turbidite fan complex, Alicante, Spain [J]. *Sedimentology*, 1992, 39: 711- 724
- 56 郑文武, 杨杰东, 王宗哲, 陶仙聪. Sr-C 同位素对苏皖北部上寒武系时代的界定 [J]. *地层学杂志*, 2001, 25(1): 44- 47 [Yang Jiedong, Zhen Wenwu, Wang Zongzhe, Tao Xiancong. *Delimitating the time of upper Precambrian in the north part of Jiangsu and Anhui Province by Strontium and Carbon Isotope* [J]. *Journal of Stratigraphy*, 2001, 25(1): 44- 47]
- 57 郑文武, 杨杰东, 洪天求等. 辽南与苏皖北部上寒武系 Sr-C 同位素对比 [J]. *地层学杂志*, 2002, 26(4): 376- 382 [Zheng Wenwu, Yang Jiedong, Hong Tianqiu, et al. *Sr and C isotopic correlation of Upper Precambrian between the south part of Liaoning and the North part of Jiangsu and Anhui* [J]. *Journal of Stratigraphy*, 2002, 26(4): 376- 382]
- 58 郑文武. 论淮南群形成时期的古海水温度及其演化规律 [J]. *合肥工业大学学报*, 1994, 17(1): 152- 159 [Zhen Wenwu. *On marine water paleo-temperature and its evolution rules during deposition of Huainan Group* [J]. *Journal of Hefei University of Technology*, 1994, 17(1): 152- 159]

- 59 史继扬, 向明菊, 徐世平. 前寒武纪地层中的生物标志物与生命演化 [J]. 沉积学报, 2000, 18(4): 634~ 638 [Shi Jiyang, Xiang Mingju, Xu Shiping. Biomarkers and evolution of life in Precambrian [J]. Acta Sedimentologica Sinica, 2000, 18(4): 634~ 638]
- 60 Kuznetsov V G. Riphean hydrocarbon reservoirs of the Yurubchev-tokhom zone, Lena-Tunguska Province, NE Russia [J]. Journal of Petroleum Geology, 1997, 20(4): 459~ 474
- 61 Shields G A. Working towards a new stratigraphic calibration Scheme for the Neoproterozoic-Cambrian [J]. Eclogae Geologicae, Helvetiae, 1999, 92: 221~ 233
- 62 孟祥化. 沉积节律性及动力学研究 [J]. 地学前缘, 1997, 4(3- 4): 147~ 153 [Meng Xianghua. Depositional rhythms and its dynamics [J]. Earth Science Frontiers, 1997, 4(3- 4): 147~ 153]
- 63 Wang Hongzhen, *et al.* Sequence stratigraphy and sea-level changes of China-A scheme of hierarchy for sequence stratigraphy [J]. Earth Science Journal of China University of Geosciences, 1996
- 64 Li Guoyu. Review on Depositional Basin [M]. Petroleum Industrial press, 2001
- 65 Li Guoyu. ТЕОРИЯ СЕДНМЕНТНЦ АНОНИХ И БАССНН ЮВ [J]. Отпечатано в типографии Института геологии и разработки полезных ископаемых. 2002
- 66 郝石生. 冀辽拗陷中-上元古界原生油气远景 [J]. 石油与天然气地质, 1984, 5(4): 342~ 348 [Hao Shisheng. Prospect of primary oil and gas of the Middle-Upper Proterozoic in Hebei-Liaoning Depression [J]. Oil & Gas Geology, 1984, 5(4): 342~ 348]
- 67 赵澄林等. 华北中新元古界油气地质与沉积学 [M]. 北京: 地质出版社, 1997 [Zhao Chenglin, *et al.* Petroleum Geology and Sedimentology of the Middle and Upper Proterozoic in North China [M]. Beijing Geological Publishing House, 1997. 179~ 240]

Molar-tooth Carbonates Carbonate Research Highlight of the World in the 21st Century

GE Ming¹ MENG Xiang-hua¹ KUANG Hong-wei¹ CAI Guo-yin²
LIU Yan-xue¹ Liu Wei-fu¹

1(Institute of Sedimentary Basin, China University of Geosciences, Beijing 100083)

2(China University of Mining and Technology, Beijing 100083)

Abstract The IGCP 447 (Proterozoic Molar tooth Carbonates and the Evolution of the Earth) was approved in February, 2001 by the International Geological Correlation Program Scientific Board and marked the new progress of this field. The IGCP project 447 a successor of IGCP 319, aims to investigate the origin and structures of Middle to Late Precambrian microsparites and to assess their global correlation by stressing depositional, palaeoenvironmental, biogeochemical, geotectonical and stratigraphical significance (Episodes, New IGCP Projects was accepted and started in 2001). Molar-tooth carbonates are specialized and peculiarly named early diagenetic sedimentary features. The name of 'Molar-tooth' carbonates originated from their tapered, pygmatically folded texture comparable to an elephant's tooth. Molar-tooth structures (MTS) have a specified time range of 1900 to 550 Ma - (mainly developed in Mesoproterozoic to Neoproterozoic era), To try our best to interpret the origin of these enigmatic structures and their possible use in correlation is a significant object of this research. This project will undertake a thorough survey of the Proterozoic carbonates in China, Arctic Europe (Spitsbergen), Russia (South Siberia), North America (Mackenzie Mountains/Victoria Island.), West Africa and so on. MTS are significant for serving as the key Precambrian biological and geochemical events. They might be a link in the revolutionary changes of the biosphere, which heralded the appearance of the complex multi-cellular animals of the late Precambrian. There are more and more evidences which suggest that MTS probably originated from organic substance. Like a bridge, MTS connected the inorganic world with the organic one and is closely related to the evolution of the paleoseas, the atmosphere and the biosphere. Their development and/or recession are related to the origin of life and the abruptness of sedimentary geochemistry of marine carbonates. It was proved by the isotopic age of $^{87}\text{Sr}/^{86}\text{Sr}$ that the disappearance of the MT carbonate might be possibly occurred in 750 Ma. Based on the research of home and abroad, the Meso-neoproterozoic strata might be of important potential of hydrocarbon generation, and of a better reservoir as well.

Key words molar-tooth carbonates, Middle to Late Proterozoic, evolution of the earth, source rock, IGCP447