

湖北松滋下奥陶统大湾组碳酸盐岩压实作用

李建明 刘秉理 朱忠德 胡明毅

(江汉石油学院地质系, 湖北江陵 434102)

周 涛*

(江汉石油管理局测井公司, 湖北潜江 433124)

湖北松滋一带下奥陶统大湾组主要为一套盆地边缘—浅海陆棚相的含泥碳酸盐岩沉积, 以发育瘤状构造为特征。其中普遍发育机械压实与压溶现象, 包括化石颗粒变形、嵌入接触、缝合线及微缝合线、压溶粘土膜及束状粘土纹等标志。通过对角石类化石变形的定量研究, 计算出各类岩石的压缩量, 结果表明含泥碳酸盐岩的压缩量随着其中粘土矿物含量的增加而增加, 灰岩、含泥灰岩、泥质灰岩、灰质泥岩及泥(页)岩的压缩量分别为4.19%、10.02%、23.00%、51.49%、62.51%。认为瘤状灰岩为差异压实-压溶作用形成。

关键词 碳酸盐岩 压实作用 压缩量 化石变形 瘤状灰岩 大湾组

第一作者简介 李建明 男 31岁 副教授 沉积学

在碳酸盐岩中, 广义的压实作用是指碳酸盐沉积物在上覆物体(包括沉积物和水)的静压力下, 发生驱除去液体、孔隙度降低、沉积物体积减小、密度增加、颗粒变形甚至发生局部溶解的作用。过去人们比较忽略碳酸盐沉积物的压实作用, 认为碳酸盐沉积物胶结较早, 有时伴有白云石化作用, 使沉积物强度大大增加, 抑制了压实作用。近些年来的研究表明, 压实乃碳酸盐岩中的普遍现象^[1-5], 愈来愈受到人们的重视。

笔者通过对湖北南部松滋刘家场等地奥陶系沉积相及成岩作用的研究, 发现下奥陶统大湾组含泥碳酸盐岩中压实现象十分显著。本文拟就压实作用方面所取得的认识, 作一简要总结。

一、沉积特征

湖北松滋奥陶系具明显的扬子区沉积特征。在整个奥陶纪沉积史中, 扬子地台均具明显的稳定性^[6]。早奥陶世红花园期, 湖北松滋一带为开阔台地—台地边缘相的碳酸盐岩夹页岩沉积, 发育了藻岩隆礁。进入大湾期后, 受奥陶纪海侵的影响, 台地淹没, 沉积了一套低能的含泥碳酸盐岩。大湾组下部主要为一套灰色中层状泥晶生物屑灰岩、生物屑泥晶灰岩夹页岩, 含少量泥质, 可见微量海绿石。岩石中除含有大量的棘皮动物屑、腕足类屑及三叶虫屑等原地和

收稿日期: 1993-04-05

* 参加野外工作的还有李维峰、张立新、李新生等7名同志。

微异地埋藏的生物碎片外,还见有丰富的腕足类、三叶虫及少量头足类、双壳类等完整化石,生物群面貌以底栖和自游生物为主,岩石以颗粒支撑为主,但胶结物多为泥晶,应为与台缘邻近的盆地边缘沉积。大湾组中上部,主要为一套棕红色夹黄灰色的薄-中层瘤状泥晶含生物屑灰岩、泥质灰岩,夹少量泥页岩,以瘤状构造发育为特征(图版1-1)。该段生物化石十分丰富,古生物群特征表现为浮游、游泳和底栖生物混生,但以游泳的头足类大量繁衍为特点,计有12属30余种,包括 *Vaginoceras* sp., *Bathmoceras complexum* Barrande, *Dideroceras* sp., *Chisiloceras* sp., *Cochlioceras* sp., *Protocycloceras deprati* Reed, *Glenisteroceras sinense* (sp. nov) 等各种类型的角石。此外,还有较丰富的腕足类、腹足类、三叶虫、介形类及牙形石,见有少量笔石;生物碎屑则以棘屑、三叶虫屑、腕足类屑、介形虫屑为主。生物碎屑机械磨损现象不显著,表现为原地碎解、原地或微异地埋藏。除发育瘤状构造及少量水平层理外,未见明显的水下冲刷现象。以上特征表明,该段应属静水低能、盐度正常、氧化-还原界面以上为主的浅海陆棚沉积。

二、压实作用标志

众多的学者对碳酸盐岩中机械压实作用及化学压实(溶)作用的标志进行了论述与总结。常见的机械压实作用标志有:颗粒压折、颗粒错断、颗粒表皮撕裂、颗粒表皮脱落、颗粒破碎、颗粒变形、颗粒畸变、颗粒表皮揉皱、潜穴压扁、颗粒的点接触、线状接触、嵌入接触、微缝合线接触^[2,3]、晶体的重新排列^[3]、微窗孔孔隙的变形和减小^[4]等;压溶作用的标志主要有嵌合组构、压溶缝、缝合线、压溶粘土膜、白云质压溶膜^[3,5]等。由于机械压实与压溶是岩石压实过程中两个不能独立分割、相互联系、递变的作用,因此,许多压实现象是物理和化学压实联合作用的结果,如晶体的重新排列、颗粒的微缝合线接触、嵌入接触等。

松滋一带的大湾组碳酸盐岩中压实作用现象丰富,主要有如下几种标志:

1. 化石压扁、压碎(图版1-2)

研究区大湾组中头足类化石十分丰富,不仅种属多,而且个体大,最大的头足类化石(角石)长达130 cm。头足类化石的体腔中常见有不同的沉积物充填:头部段充填为同沉积的灰泥;尾部段常充填沉积期后的亮晶方解石;中部段常部分充填灰泥、部分充填亮晶方解石而呈示底构造。这些头足类化石均不同程度地被压扁或压碎,断面呈椭圆形、透镜状或不规则状,但常见椭圆形的断面形态。压扁程度明显地与其体腔内充填物岩性密切相关:泥质成分越多,变形率越大,同一个化石在其头部变形率最大。尽管人工压实试验表明,混杂在灰泥中的介壳化石受压后大部分保存完好^[1],但研究区角石类化石强烈地被压扁,这可能与头足类化石形体较大、体内充填物富含泥质、受压时间长有关。部分头足类化石体壳有被压碎、压折等现象。

2. 颗粒的微缝合线接触及嵌入接触

在部分富含生物碎屑的泥质灰岩中,原呈漂浮状分布于灰泥中的生物碎屑,受压后逐渐靠近、趋向于平行层面排列,并彼此接触。由于这些生物碎屑在岩石中起着“骨架”的作用,承受了较大的压力,从而使其接触部位呈微缝合线接触,或一个生物碎屑嵌入另一个生物碎屑内(图版1-3)。

3. 缝合线及微缝合线

缝合线是压溶作用在岩石中留下的直观效应之一。在研究区大湾组下部的生物碎屑灰岩中,发育了较丰富的缝合线构造,其波幅多在1—10 mm之间,形态多为帕克分类的缝合型^[3]

(图版 I-4)。此外,大湾组中上部的含泥碳酸盐岩中,还发育极其丰富的微缝合线(群)。微缝合线系指波幅小于1mm的缝合线^[3],有人也称它们马尾丝、假缝合线、粘土缝等。这种缝合线一般都非常细小而较短,形态多呈波状,产状杂乱,在颗粒周围成锯齿状边,可见有明显的溶蚀现象(图版 I-5)。缝间常有泥质残余物(即压溶粘土膜),侧向上可呈发散状逐渐消失于岩石中。这种微缝合线广泛发育于瘤状灰岩中。

4. 压溶粘土膜及束状粘土纹

压溶粘土膜由粘土等不溶残余物组成,其内也常含残余的钙质颗粒(图版 I-6),宽度从小于1毫米至数毫米不等,是微缝合线群的最终产物^[3]。横向上可与微缝合线过渡,然后呈发散状消失在岩石中,使残余的粘土呈束状分布(图版 I-5, 6),笔者称之为束状粘土纹。压溶粘土膜和束状粘土纹往往分割含泥碳酸盐岩成瘤体或瘤体的雏形(图版 I-6)。

5. 压实成因的瘤状构造

研究区大湾组的岩性以发育瘤状构造为特征。目前对瘤状灰岩的成因假设很多,计有如下8种:(1)不规则收缩裂纹底流搅动成因^[6];(2)一定水深碳酸盐沉积物受海流影响造成的不均匀海底胶结作用形成^[7];(3)早期成岩结核碳酸盐胶结成因^[8];(4)重力滑动破碎物差异压实改造成因^[9];(5)海解作用使连续的层局部破坏及遗留下来的不溶残余;(6)差异压实成因^[10];(7)压溶作用成因^[3];(8)周期性底流溶解作用成因^[10]。因此,“瘤状灰岩”是一形态名词,并不反映其成因,不同地区、不同层位瘤状灰岩的形成应视其特征进行具体分析。

研究区下奥陶统大湾组瘤状灰岩具有如下特征:(1)瘤状灰岩常夹有薄层状泥页岩或与薄层状泥页岩互层,泥页岩中的水平层理已受到强烈的扭曲变形;(2)瘤体由含少量泥质的含生物屑泥晶灰岩组成(图版 I-6),缺乏结核的内部构造(放射或同心状构造);(3)瘤体之间的基质富含粘土、生物碎屑;(4)瘤体及基质中发育大量的微缝合线、粘土膜及束状粘土纹等压溶标志(图版 I-1, 5, 6),微缝合线常切割瘤体成次一级的“角砾状”瘤体(图版 I-6);(5)瘤体、基质及其共生的泥页岩均显低能环境特点,瘤体形态大小不一,无分选和水流冲刷痕迹(图版 I-1);(6)富含泥质的瘤体形态多呈扁豆状、透镜状;贫泥质的瘤体多呈砾一角砾状(图版 I-1),瘤状灰岩中所含化石均有不同程度地被压扁、压溶现象(图版 I-2, 5)。笔者认为这种瘤状灰岩应为较典型的压实作用成因。薄层状富钙质与粘土质互层的沉积层,在压实过程中产生塑性变形、碎裂、微裂缝及沿裂缝的溶解所形成,即差异压实-压溶成因(图1)。含泥质较多的钙质层主要表现为塑性变形,贫泥质的钙质层则主要表现为碎裂及压溶。这种瘤状灰岩集中体现了机械压实、压溶作用的一般标志,在某种程度上来说,它是压实作用的一个标志。

除上述压实标志外,研究区大湾组含泥碳酸盐岩还发育少量晶体重新排列、层纹弯曲等压实现象。

三、压缩量计算

压缩量系指某一沉积物(体)因机械压实引起在地层厚度方向上减少的长度与其原始沉积厚度之比率,可表示为下式:

$$\text{压缩量}(K) = [(a-b)/a] \times 100\% \quad [11]$$

式中 a、b 分别代表原始厚度及压实后的厚度。

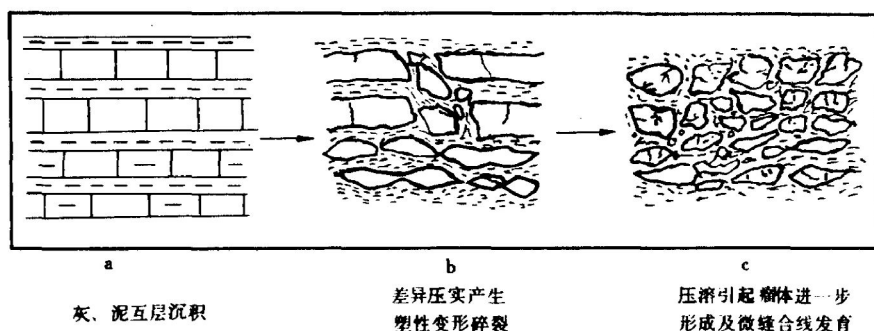


图1 瘤状灰岩成因图解

碳酸盐岩中机械压实作用的量主要是从某些化石或结核的变形而获知的。Zankl 曾采用瓣鳃类 *Pinna* 和 *Rolliere* 的介壳和印模的长/高比值, 作为压实作用衡量的标准^[12]。尽管众多的学者对碳酸盐沉积物的压实作用进行了探讨, 但如何定量计算压缩量及恢复古代地层的原始沉积厚度, 仍是一个尚待解决的问题之一。笔者利用头足类化石(角石类)的形变, 计算碳酸盐岩的压缩量及恢复地层原始沉积厚度等方面进行了一些探索。

我们知道, 头足类中许多角石类化石诸如壳角石 (*Cochlioceras* sp.)、米契林角石 (*Michelinoceras* sp.) 等的体壳在未被压扁时, 其横断面原始形状应为圆形^[13]。赋存于地层中的角石类化石在受机械压实后, 其断面形态可能产生很大的变化, 但其横断面的周长应基本保持不变。由被压扁的角石类化石的周长数据可计算出被压扁前的原始直径 (D), 原始直径与该化石被压扁后的短轴长度 (B) 之差, 即为机械压实引起的厚度减少量, 从而可计算出压缩量 K :

$$K = [(D - B) / D] \times 100\%$$

角石类化石的原始直径, 可用线段直接测量其周长然后经计算获得; 或者利用角石类化石被压扁的断面, 测量出压扁化石的长轴长度 (A) 和短轴长度 (B), 计算出椭圆形化石的周长 (L) 及原始直径 D :

$$D = L / \pi = 4 \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{\left(\frac{A}{2}\right)^2 \sin^2 \theta + \left(\frac{B}{2}\right)^2 \cos^2 \theta} \frac{d\theta}{\pi}$$

需要说明的是, 利用化石所求得的压缩量代表了化石体腔中充填物的压缩量, 只有当化石体腔中充填物的岩性与其围岩岩性一致时, 其压缩量才代表赋存化石岩石的压缩量。

由某种岩石的压缩量我们可以恢复出其原始沉积厚度:

$$\text{原始沉积厚度 } H = h / (1 - K)$$

上式中 h 和 K 分别代表已受压实的实测厚度和压缩量。

研究区大湾组中丰富的头足类化石, 为我们定量研究各类岩石的压缩量提供了基础。据观察, 角石类化石头部段多为同沉积灰泥充填, 压实过程中承受了较大的压力, 变形明显, 故体壳头部段变形与围岩最接近。笔者等在松滋刘家场雷家塌奥陶系剖面中, 利用上述方法进行了实例测量。共测量了大湾组中所含的角石类化石(包括 *Cochlioceras* sp., *Michelinoceras* sp., *Endoceras* sp., *Chisiloceras* sp. 等)体壳头部段的长轴长度、短轴长度或周长数据400余个, 按化石体腔中充填物的岩性分为灰岩(含粘土矿物5%—10%)、含泥质灰岩、泥质灰岩、灰质泥岩和泥(页)岩类五组数据, 用计算机对测量数据进行处理, 求得各角石类化石的压缩量、各类岩石的平均压缩量, 然后对各种岩石地层的原始沉积厚度进行了恢复(表1)。对于体腔中充

填物为纯灰质(含粘土 $<3\%$)的角石类化石,由于压扁变形甚微,在本次研究中未作测量统计分析。

此外,笔者还对有代表性的8个角石类化石体腔中充填物用盐酸浸泡,测定了不溶于盐酸的残渣(粘土矿物为主)含量(表2),对野外资料进行了补充与验证。

表1 松滋雷家场大湾组剖面各岩石厚度及压缩量表

岩 性	化石充填物压缩量(%)		岩 石 厚 度 (m)	
	统计化石数	平均压缩量	实测厚度	原始沉积厚度
灰 岩	8	4.19	7.4	7.7
含泥灰岩	42	10.02	10.4	11.6
泥质灰岩	70	23.00	61.8	80.3
灰质泥岩	84	51.49	19.9	41.0
泥(页)岩	7	62.51	11.4	30.4
累 计	211		110.9	171.0

表2 角石压缩量及体腔内充填物酸不溶残余物含量表

化 石 序 号	1	2	3	4	5	6	7	8
压缩量(%)	3.45	8.33	11.90	21.28	15.91	47.06	53.85	62.50
酸不溶残余物含量(%)	5.38	11.76	26.80	18.56	32.53	54.00	46.23	92.08

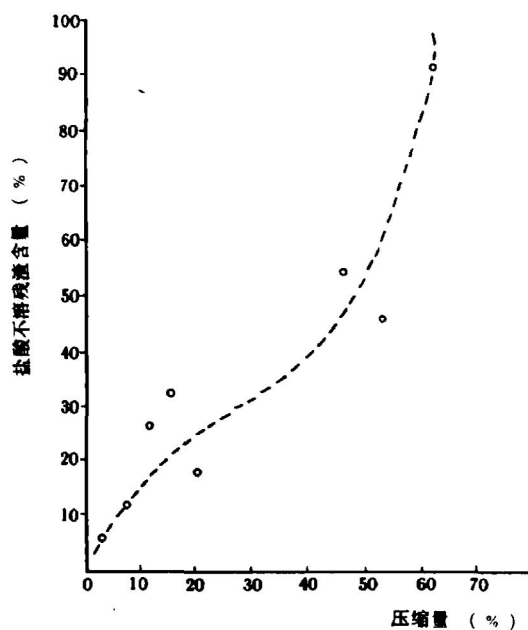


图2 角石体腔充填物盐酸不溶残渣含量与压缩量关系图

研究结果(表1, 2, 图2)表明,碳酸盐沉积物的压缩量随其中粘土矿物含量的增加而增加,并且增加的幅度随着向粘土岩的过渡有逐渐减小的趋势(图2)。在研究区实测的松滋雷家场大湾组剖面中,灰岩、含泥灰岩、灰质泥岩及泥(页)岩的平均压缩量分别为4.19%、10.02%、23.00%、51.49%、62.51%。据此计算得出大湾组原始沉积厚度为171.0 m,而实测厚度只有110.9 m,也就是说因机械压实作用使大湾组厚度减少了约60.1 m。由此可见,机械压实引起地层厚度的损失是多么的显著,且不同岩性其压缩量有着明显的差异。

由于赋存于灰泥、粘土沉积物中的钙质化石的壁,在压实过程中常起着薄壳结构的作用,在一定程度上减缓了化石的变形,故由化石形变计算得到的岩石压缩量,总是小于地层的实际压缩量,即由化石形变计算得到的岩石压缩量,是赋存化石的同期沉积物压缩量的下限值。

不仅机械压实作用引起地层厚度的大量损失,而且压溶作用也导致碳酸盐岩厚度的减

小。有关压溶作用引起的碳酸盐岩压溶量的计算有待进一步探讨。

结 语

(1) 压实现象在碳酸盐岩中普遍发育, 尤其是在含泥碳酸盐岩中最显著。压缩量随着其中粘土矿物含量的增加而增加。大湾组剖面中的灰岩、含泥灰岩、泥质灰岩、灰质泥岩、泥(页)岩的压缩量分别为4.19%、10.02%、23.00%、51.49%、62.51%。

(2) 含泥碳酸盐岩中的压实标志与成分较纯灰岩相比有所差异, 主要发育颗粒塑性变形、微缝合线、压溶粘土膜、束状粘土纹及压实成因瘤状构造等标志。

(3) 研究区大湾组中的瘤状(泥)灰岩的成因与压实作用有关, 为灰、泥互层的沉积物在压实过程中的塑性变形、碎裂、压溶形成。

(4) 古代沉积物因压实作用引起地层厚度的大量损失, 不同岩性其压缩量相差悬殊, 故在进行地层厚度对比、盆地水深、沉积物堆积速率计算及盆地构造演化分析时, 都必须考虑压实作用的影响, 否则其分析计算结果将与实际情况大相径庭。

致谢: 研究过程中得到贺自爱教授级高工的指教, 并提出了宝贵意见, 特深表谢意!

参 考 文 献

- 1 Shinn E A, Robbin D M. Mechanical and chemical compaction in fine-grained shallow-water limestone. *J. Sed. Petrology*, 1983, 53 (2): 595—618
- 2 侯方浩, 方少仙. 碳酸盐岩中的压实作用. 石油勘探与开发, 1981; (4): 18—25
- 3 王 尧. 碳酸盐岩中的压实和压溶作用. 见: 中科院地质研究所. 岩石学研究, 第一辑. 北京: 地质出版社, 1982; 134—137
- 4 叶德胜, Lasemi Z. 碳酸盐岩成岩作用研究现状及进展. 海相沉积区油气地质, 1988, 2 (1): 53—65
- 5 侯方浩, 方少仙. 再论碳酸盐岩中的压实作用. 海相沉积区油气地质, 1987, 1 (2): 36—48
- 6 陈 旭, 丘金玉. 宜昌奥陶纪的古环境演变. 地层学杂志, 1986, 10 (1): 1—15
- 7 Mullins H T *et al.* Nodular carbonate sediment on Bahamian slopes; possible precursors to nodular limestones. *J. Sed. Petrology*, 1980, 50: 127—132
- 8 Moller N K. The genesis of nodular limestones in the Ordovician and Silurian of the Oslo region (Norway). *Sedimentology*, 1988, 35 (3): 405—420
- 9 朱洪发, 王超一. 苏南、皖南三叠纪瘤状灰岩、蠕虫状灰岩的成因. 石油实验地质, 1992, 14 (4): 454—460
- 10 高计元. 中国南方泥盆系瘤状灰岩的成因. 沉积学报, 1988, 6 (2): 77—86
- 11 图克尔 M E. 沉积岩的野外描述. 韩书和译. 北京: 地质出版社, 1984; 81
- 12 恩格尔哈特 W V. 沉积物和沉积岩的成因. 王东坡等译. 北京: 地质出版社, 1982; 217
- 13 湖北省区域地质测量队. 湖北省古生物图册. 武汉: 湖北科学技术出版社, 1984; 300—321

COMPACTION OF CARBONATE ROCKS IN LOWER ORDOVICIAN DAWAN FORMATION IN SONGZI, HUBEI

Li Jianming Liu Bingli Zhu Zhongde Hu Mingyi

(Jianghan Petroleum Institute, Jiangling, Hubei)

Zhou Tao

(Jianghan Petroleum Administration)

Abstract

The sequence of Dawan Formation (O_1) in Songzi, Hubei Province is dominantly argilliferous carbonate rocks of basin margin-neritic shelf facies characterized by nodular structures. It was found that mechanical compaction and pressure solution, mainly including: 1. fossil plastic deformation and crushing; 2. grains inlaying contact; 3. stylolites and microstylolite; 4. pressure solution argillaceous laminae etc. are well developed. It was calculated through quantitative study of cephalopod (Nautiloidea) fossil deformation that the compaction amount of argilliferous carbonate rocks increases with the amount of clay minerals. The compaction amount of limestone, argilliferous limestone, argillaceous limestone, lime mudstone and mudstone (shale) are respectively 4.19%, 10.02%, 23.00%, 51.49%, 62.51%. The origin of nodular limestone in Dawan Formation is related to differential compaction-pressure solution.