

沉积学的进展

碳酸盐岩

[美] G. V. 奇林格等主编

石油化学工业出版社

沉积学的进展

碳酸盐岩

〔美〕G. V. 奇林格等主编

冯增昭等译



石油工业出版社

231758

内 容 提 要

本着“洋为中用”的原则，本书译自《Carbonate Rocks》(Developments in Sedimentology) “9A”的全部以及“9B”中的两章。

中译本全书共十章。主要介绍碳酸盐岩的分类、成因、产状、研究及分析方法、碳酸盐岩中石油的生成以及碳酸盐储集岩等。

主要可供石油地质技术人员、科研人员和有关院校师生参考。

主编 G. V. Chilingar, H. J. Bissell and R. W. Fairbridge

副主编 冯增昭等

G. V. Chilingar, H. J. Bissell and R. W. Fairbridge
[Editors]

CARBONATE ROCKS

(Developments in Sedimentology, 9A, 9B)

Elsevier Publishing Company Amsterdam London New York 1967

沉积学的进展

碳酸盐岩

冯增昭等译

*

石油化学工业出版社出版

(北京和平里七区十六号楼)

石油化学工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行

*

开本 787 × 1092¹/₁₆ 印张 22³/₄ 字数 54.6 千字印数 1—3,750

1978 年 9 月北京第 1 版 1978 年 9 月北京第 1 次印刷

书号 15063 · 油116 定价 1.80 元

译 者 的 话

我们本着“洋为中用”的原则,将《Carbonate Rocks》(Developments in Sedimentology, 9A, 9B) (《碳酸盐岩》(沉积学的进展, 9卷上、下)一书中的《9A》全部译出,《9B》选译了两章,并将章次作了适当调整,供从事石油地质工作的同志及其他有关的地质工作人员参考。

第一章绪论,译自《9A》第1章,但其中第二节的第七、八两部分系译自《9B》第1章的相应部分。参考文献包括《9A》和《9B》第1章。本章为原书的三位主编对碳酸盐岩的概括介绍以及对各章的评述。

第二章现代碳酸盐沉积物,译自《9A》第2章。主要是对现代碳酸盐沉积物研究近况的简介。

第三章碳酸盐岩的岩石学及岩类学,译自《9A》第3章。本章作者是法国和意大利人,所举实例多限于欧洲,故本章可反映欧洲关于碳酸盐岩石学及岩类学方面的近况。

第四章沉积碳酸盐岩的分类,译自《9A》第4章。

第五章石灰岩的成因和产状,译自《9A》第5章。

第六章白云岩的成因及产状,译自《9A》第6章。

以上第四、五、六章是本书的主要部分,内容比较丰富,观点比较明确,值得一读。

第七章碳酸盐岩与古气候,译自《9A》第8章。本章涉及的学科较多,如沉积岩石学、古气候学、古地理学、地史学、古生物学、大地构造学、地球化学以及地球起源学说等,所论述的问题范围也较大,而且这些问题在当前的研究成果也还不够成熟;因此,本章乃属探讨性学术论文。

第八章沉积碳酸盐的研究和分析方法,译自《9B》第8章。本章也是本书主要部分之一,内容比较丰富,值得参考借鉴。

第九章碳酸盐岩中石油的生成,译自《9B》第7章。

第十章碳酸盐储油岩,译自《9A》第7章。

总的看来,除九、十两章中有的内容(如碳酸盐岩孔隙的分类)与当前的科学水平相比,略嫌过时外,本书基本上反映出了近二十多年来碳酸盐岩石学的发展水平,是一部较全面的碳酸盐岩石学专著。

本书第三章为王尧、潘正蒲、黄育才同志翻译;第五章的第四节为范嘉松、方少仙、强子同同志翻译;第八章的第十二节为赵幼航同志翻译;第九章为李祐佑同志翻译;第十章为罗蛰潭同志翻译;其余各章节为冯增昭同志翻译。全书的统一校订及定稿工作由冯增昭同志担任。

在本书的翻译及定稿过程中,范嘉松、陈孟莪、曾允孚、叶连俊、方少仙、余伯良、郝石生、杨式溥、王鸿桢、赵幼航、黄泽华、沙庆安、何镜宇、李康、王涵云、黄柏岭、冯宝华、李家驹、李继亮、赵希涛、李祐佑等同志曾审阅部分译稿,提出许多宝贵意见,特此致谢。

由于我们水平有限,译文中的错误和不妥之处在所难免,希读者批评指正。

目 录

第一章 绪论.....	1	第二节 目的.....	36
第一节 绪论.....	1	一、岩石学记录的建立.....	36
一、概述.....	1	二、岩相.....	37
二、碳酸盐岩的成因问题.....	1	三、空间结构.....	37
三、白云岩的成因问题.....	4	第三节 方向和方法.....	40
四、碳酸盐岩与蒸发岩的成因 关系问题.....	7	一、岩类学的组构.....	40
五、分类术语问题.....	9	二、岩类学组构(层序分析).....	42
第二节 其它各章简介.....	10	三、岩类学组构与物性之间的关系.....	42
一、现代碳酸盐沉积物.....	10	四、岩石学与岩类学之间的关系.....	44
二、碳酸盐岩的岩石学和岩类学.....	10	第四节 实例.....	44
三、沉积碳酸盐岩的分类.....	12	一、法国维尼的“豆粒石灰岩”.....	44
四、石灰岩的成因及产状.....	13	二、意大利西西里岛东南杰拉地区 西北三叠纪和侏罗纪礁的岩类学.....	50
五、白云岩的成因及产状.....	14	第五节 结论.....	56
六、碳酸盐岩与古气候.....	15	参考文献.....	57
七、碳酸盐岩的研究和分析方法.....	17	第四章 沉积碳酸盐岩的分类.....	61
八、碳酸盐岩中石油的生成.....	18	第一节 绪言.....	61
九、碳酸盐储油岩.....	19	第二节 石灰岩的分类.....	61
参考文献.....	21	一、概述.....	61
第二章 现代碳酸盐沉积物.....	24	二、成分分类.....	62
第一节 绪言.....	24	三、结构分类.....	63
第二节 现代碳酸盐沉积物的分布.....	24	第三节 白云岩的分类.....	75
第三节 深海软泥及浊流沉积.....	24	一、概述.....	75
第四节 陆棚沉积物.....	25	二、成分分类.....	76
第五节 碳酸盐沉积物的化学成分及 矿物成分.....	27	三、白云岩的成因类型.....	77
第六节 矿物成分、化学成分与颗粒 大小的关系.....	28	四、白云岩的综合分类.....	77
第七节 同位素成分.....	29	五、关于“原生”白云岩与“次生” 白云岩.....	80
第八节 碳酸盐沉积物的成岩作用.....	30	第四节 推荐的石灰岩及白云岩分类.....	81
第九节 问题.....	31	一、推荐的石灰岩分类.....	81
参考文献.....	32	二、推荐的白云岩分类.....	84
第三章 碳酸盐岩的岩石学和岩类学.....	35	图版 I~XVI 及其说明.....	86
第一节 绪言.....	35	参考文献.....	102
一、概况.....	35	第五章 石灰岩的成因及产状.....	108
二、碳酸盐岩.....	35	第一节 绪言.....	108
		第二节 对石灰岩有关历史文献的评论.....	108

第三节 石灰岩的成因	111
一、原来岩石中的碳酸钙结晶作用	111
二、碳酸钙沉积物的石化作用	113
三、其它物质（主要是硫酸钙和 石英）被碳酸钙的交代作用	122
第四节 石灰岩的产状	123
一、引言	123
二、非海洋碳酸钙沉积	127
三、浅海和边缘海碳酸钙沉积	137
四、广海碳酸盐沉积	149
第五节 结束语	159
参考文献	160

第六章 白云岩的成因及产状

第一节 绪言	177
第二节 对白云石与白云岩有关文献的 评论	177
第三节 白云石与白云岩的成因和破坏	181
一、概述	181
二、白云石质点的胶结作用	182
三、近代和更新世的白云石	184
四、碳酸钙被白云石的交代作用	193
五、去白云化作用	198
六、白云岩的显微结晶结构与组构	199
七、白云石的实验合成	201
第四节 白云岩的产状	202
一、同生白云岩	202
二、碎屑白云岩及石灰岩中的碎屑 白云石	213
三、成岩白云岩	214
四、后生白云岩	215
第五节 白云石与白云岩形成作用的统 一模式	218
参考文献	221

第七章 碳酸盐岩与古气候

第一节 气候指标	232
第二节 现代海洋碳酸盐的分布	235
第三节 现代大陆碳酸盐的分布	236
一、灰质土壤	236
二、风成砂屑石灰岩	237
三、湖泊泥灰岩	237
第四节 现代海洋碳酸盐的地球化学 特征	237

一、Ca/Mg比率	238
二、Ca/Sr比率	238
三、Ca/Fe/Ti比率	239
第五节 古代海洋碳酸盐的地球化学 特征	239
第六节 地质历史中的生物学问题及 最早的碳酸盐	242
一、大变动 I	242
二、大变动 II	242
三、大变动 III	244
四、大变动 IV	245
五、大变动 V	245
六、一些生物学的问题	246
第七节 古地理问题	247
一、大地构造的大变动与宁静期相互 交替	247
二、海平面的升降运动	247
三、海平面的大地位移	249
第八节 大地构造及行星问题	249
第九节 结论	250
参考文献	251

第八章 沉积碳酸盐的研究和分析

方法	256
第一节 绪言	256
第二节 野外研究法	257
第三节 酸蚀法	258
第四节 染色法	260
第五节 揭片法	269
第六节 不溶物分离法	270
第七节 光性鉴定法	274
第八节 电子显微镜研究法	276
第九节 统计法及微相研究法	277
第十节 X射线放射照像法	278
第十一节 阳离子的点滴试验法	278
第十二节 碳酸盐矿物和岩石的化学 分析	280
第十三节 差热分析法	293
第十四节 热重分析法	299
第十五节 X射线衍射法	300
第十六节 热发光法	301
第十七节 放射性碳测定年龄法	302
第十八节 同位素研究法	303

参考文献	305
------	-----

第九章 碳酸盐岩中石油的生成	317
----------------	-----

摘要	317
----	-----

第一节 绪言	317
--------	-----

第二节 石油的生成	317
-----------	-----

一、生物体中的烃类	318
-----------	-----

二、由有机质生成的烃类	319
-------------	-----

第三节 石油的运移	321
-----------	-----

第四节 碳酸盐生油岩实例	322
--------------	-----

一、美国威利斯顿盆地	322
------------	-----

二、沙特阿拉伯阿布奎克-贾瓦尔油田	323
-------------------	-----

三、中东其它油田	323
----------	-----

四、其它实例	323
--------	-----

第五节 碳酸盐生油岩中有机质的分布	324
-------------------	-----

第六节 鉴别碳酸盐生油岩的地球化学技术	327
---------------------	-----

第七节 结论	329
--------	-----

参考文献	331
------	-----

第十章 碳酸盐储油岩	334
------------	-----

摘要	334
----	-----

第一节 绪论	335
--------	-----

第二节 孔隙度及渗透率的定义	335
----------------	-----

一、孔隙度	335
-------	-----

二、渗透率	335
-------	-----

第三节 原生孔隙	336
----------	-----

一、概述	336
------	-----

二、格架孔隙	336
--------	-----

三、泥孔隙	337
-------	-----

四、砂孔隙	338
-------	-----

五、胶结作用	338
--------	-----

第四节 次生孔隙	338
----------	-----

一、概述	338
------	-----

二、溶解作用	339
--------	-----

三、多代现象	339
--------	-----

四、裂缝、层面及不整合	340
-------------	-----

第五节 糖粒状白云岩孔隙	340
--------------	-----

一、白云化作用	340
---------	-----

二、原生沉积物组成的影响	341
--------------	-----

三、白云石-孔隙度-渗透率的相互关系	342
--------------------	-----

四、选择性的去方解石	344
------------	-----

第六节 孔隙几何学	344
-----------	-----

一、孔隙塑料铸模的制作	344
-------------	-----

二、测量	345
------	-----

三、渗透率与孔隙几何学	345
-------------	-----

四、油及水的运动	346
----------	-----

五、水银毛细管压力曲线	346
-------------	-----

六、孔隙几何学及石油的运移	347
---------------	-----

第七节 碳酸盐储集岩的岩石学及古生态学	349
---------------------	-----

一、萨斯喀彻温东南部密西西比系碳酸盐储集岩	349
-----------------------	-----

二、得克萨斯西部宾夕法尼亚-二叠系马蹄环礁	351
-----------------------	-----

三、犹他及科罗拉多伊斯美油田宾夕法尼亚系碳酸盐储集岩	351
----------------------------	-----

四、阿尔伯达中部泥盆系天鹅山储集岩	354
-------------------	-----

五、阿尔伯达中部泥盆系红水礁组合	354
------------------	-----

第八节 结论	358
--------	-----

参考文献	358
------	-----

第一章 绪 论

R. W. 费尔布里奇、G. V. 奇林格和 H. J. 比塞尔

第一节 绪 论

一、概 述

石灰岩是由大于 50% 的碳酸盐矿物〔主要是方解石和（或）文石〕所组成的岩石。石灰岩可以呈白色、灰色、暗灰色、淡黄色、淡绿色、兰色，有时也可呈黑色。少量的粘土质点和有机质混入物可使石灰岩呈灰色。淡绿色是由于粘土矿物、海绿石或细分散的低价铁组分的混入物所引起的；而淡红色或褐色则是由于高价铁离子的存在而造成的。鲁欣 (Rukhin, 1961, 第 173 页) 曾指出，粗粒石灰岩的颜色常较浅（多与强氧化条件有关），细粒石灰岩的颜色则较深（多表示早期成岩阶段的较深水或还原条件）。石灰岩中的不纯物质有碳酸镁、白云石、氧化硅、海绿石、石膏、萤石、菱铁矿、硫化物、铁和锰的氧化物、磷酸盐、粘土以及有机质等。

碳酸钙含量小于 50% 的岩石常被定为灰质砂岩、灰质页岩等。这种岩石中的碳酸盐组分，常遭受差异风化作用，因此这种岩石看起来也很象石灰岩；而其中的不溶组分如石英颗粒等，在风化过程中则很少变化，并易于被离析出来。某些灰质风成岩 ($\text{CaCO}_3 < 30\%$) 还常具有喀斯特和石灰岩的其他特征。

白云岩主要是由白云石矿物 $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$ 所组成的岩石。纯白云石矿物由 45.7% 的 MgCO_3 和 54.3% 的 CaCO_3 组成，或者由 47.8% 的 CO_2 、21.8% 的 MgO 和 30.4% 的 CaO 组成（均为重量%）（见图 1）。白云岩中的不纯物质有石膏、硬石膏、硫化铁、天青石、蛋白石、玉髓、氧化铁、菱镁矿、萤石以及有机质等。白云岩在外貌上与石灰岩很相似，因此用肉眼是很难加以区分的。

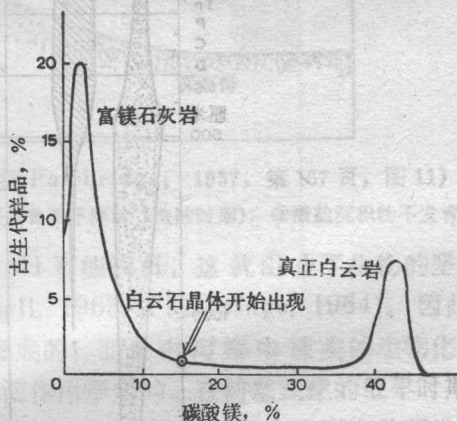


图 1 古生代碳酸盐中的 MgCO_3 的集中情况(据 Fairbridge, 1957, 第128页, 图 1)

图中有两个明显的富镁的高峰(据蔡夫, Chave, 1954 的资料), 请注意, 由于选择性的白云化作用的结果, 高镁方解石 (MgCO_3 达 15~35%) 是不存在的, 从而使石灰岩中的 MgCO_3 小于 15%。 MgCO_3 含量大于 15% 的古生代石灰岩都有一种白云化的趋向

二、碳酸盐岩的成因问题

绝大部分的沉积碳酸盐岩都是海洋沉积的，而且主要是海滨地槽 (Paraliageosyncline)

● 本节中的这一级标题是译者加的。——译者

和平原地槽 (Antogeosyncline) 的浅海环境的产物。在深海环境中, 或者在深海中的珊瑚环礁环境中, 也可以有碳酸钙的堆积, 但是其规模就远不能和浅滩、台地以及陆棚相比拟了。关于白垩纪以前的深水碳酸盐堆积具有大面积分布的问题, 还几乎没有什么令人信服的证据。但是, 40 年前由沃恩 (Vaughan, 1924, 第 313 页) 编辑的“挑战者”号 (Challenger) 关于现代深海沉积物的报告中, 却指出碳酸钙竟占深海沉积物平均含量的 32.2%, 这些沉积物主要是抱球虫和翼足类软泥, 也有珊瑚泥和砂。童豪富 (Twenhofel, 1943, 第 285 页) 曾指出: “碳酸钙在深水沉积物中的这种富集, 一定会被其他一些地方的其他沉积物所平衡, 象在大陆和三角洲环境的沉积物中, 石灰质就是很缺乏的”。很可能, 古生代和前寒武纪的深海沉积物中是很缺乏碳酸钙的, 因为在那时, 分泌石灰质的浮游生物和自游生物很少甚至是不存在的。

斯特拉霍夫等 (Strakhov et al., 1954, 第 720 页) 曾指出, 碳酸盐岩的演化在许多方面是和其他沉积 (例如铁矿) 有所不同的 (图 2)。由于碳酸盐岩主要发育在地台区而不是在正地槽区, 其发育的时间又是正当浅地台面积逐渐扩大和深地槽逐渐缩小的时候, 因此

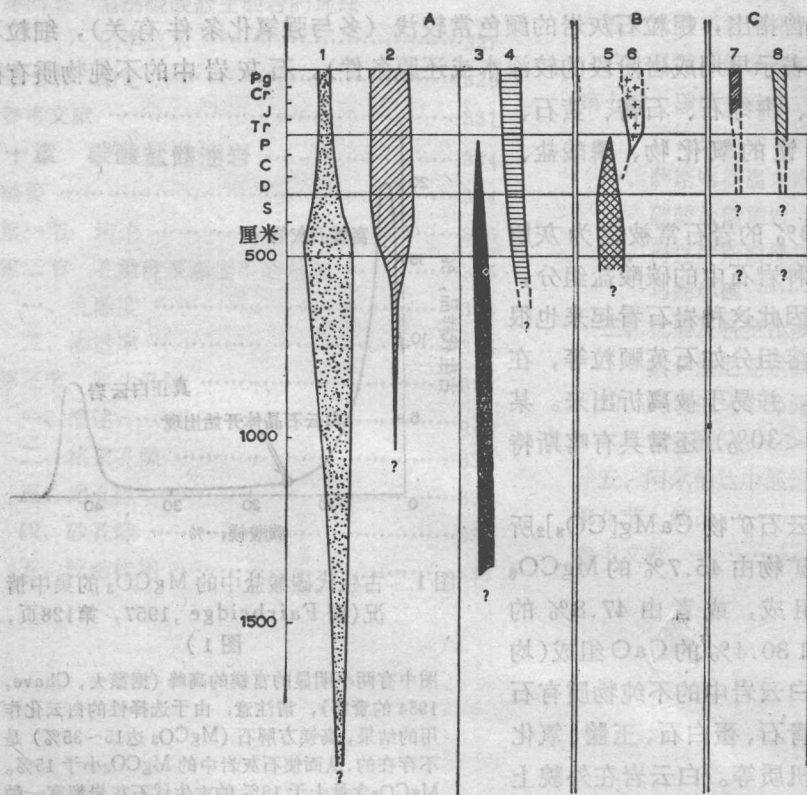


图 2 碳酸盐岩的演化模式图 (据 Strakhov et al., 1954, 第 720 页)
(纵座标的绝对时间单位为百万年)

- A. 正常咸度海: 1—化学方解石建造; 2—生物方解石建造; 3—原生化学白云石建造; 4—成岩白云石建造
B. 碳酸盐泻湖: 5—原生白云石建造, 在泻湖历史中一定有这一建造的生成阶段; 6—白云石建造, 在泻湖历史中是否有这一建造的生成阶段, 取决于一定的自然地理条件
C. 干旱带的湖泊: 7—碳酸镁型的湖泊; 8—钠型的湖泊

在地史的后几个纪中，碳酸盐的形成是愈来愈有利的。关于碳酸盐岩的含量是否因时间而有很大的变化的问题，现在还很难定论。在已出露的前寒武纪地层中，碳酸盐岩是较少的，但是，还必须知道，现在所保存下来的前寒武纪地层大都是深水地槽相的，其浅海相的地层大都被剥蚀掉了。在地质历史中，有些时期出现广阔的内陆海或陆表海(epicontinental sea)，从而有利于浅海碳酸盐岩的发育，例如奥陶纪和白垩纪就是这样；而在另一些时期，却不利于碳酸盐岩的形成，例如晚石炭世、三叠纪就是如此（参看图3）。在前寒武纪的尚未变质的碳酸盐岩中，灰质藻类（例如同圆藻等）的遗迹是非常发育的。即使在那些已全被硅质交代的前寒武纪的碳酸盐岩中，也仍然可以清楚地辨认出那些灰质藻类；构造作用是决不能形成这种十分清楚的“卷心菜”式的构造的（Fairbridge, 1950）。前寒武纪的大理岩还常含有石墨，这可能表示生物的存在。

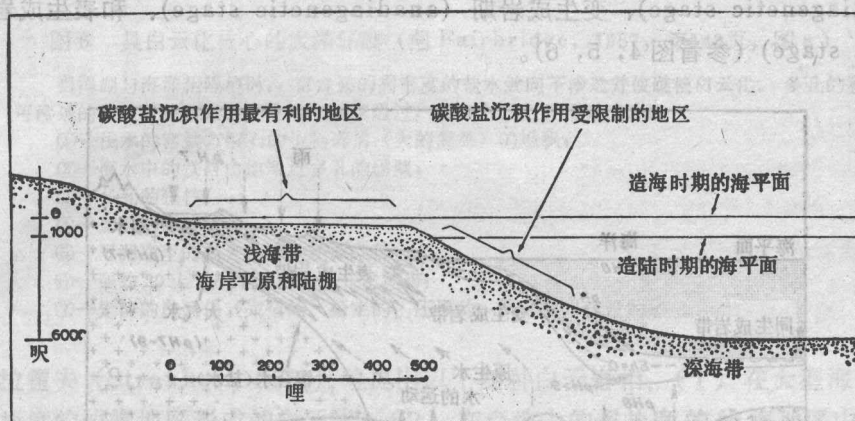


图3 地史中碳酸盐沉积物的发育与海平面升降关系图（据 Fairbridge, 1957, 第 157 页, 图 11）
当海平面普遍上升时（造海时期），碳酸盐沉积物最发育；当海平面普遍下降时（造陆时期），碳酸盐沉积物不发育

在前寒武纪的海水中， Mg/Ca 比率可能较高， pH 可能较低，这就阻止了生物的坚硬骨骼的形成（奇林格和比赛尔, Chilingar and Bissell, 1963; Fairbridge, 1964）。因此，在前寒武纪，碳酸盐岩显然不是由生物分泌的介壳形成的，而是由泻湖中藻类的生物化学（ pH ）控制作用形成的，或者是由海水的直接化学沉淀作用形成的。在前寒武纪的很早时期，藻类就是重要的沉淀灰质的生物了（例如在最古老的罗得西亚岩石中，就发现了这种藻类）；只是在寒武纪时，各种动物才开始发挥其重要作用，从而使碳酸盐从海水中沉淀出来。当然，在后来，生物成因的碳酸盐岩逐渐超过了化学或生物化学成因的碳酸盐岩。

现代海洋中的碳酸盐沉积物是由机械作用、生物作用、化学作用 and 无机作用生成的；广泛分布的纯石灰岩、较纯石灰岩，尤其是细粒结构的岩石，都是中等浅海到很浅海的产物。有些碳酸盐沉积是仅仅由化学作用形成的，而另一些则是由于物理化学作用和生物作用形成的。介壳石灰岩现在正在形成，而生物碎屑碳酸盐岩的厚度和分布也都是很可观的。白云岩、白云质石灰岩以及富镁的碳酸盐岩，在现代海洋中并没有形成厚的堆积；只有很少数的产状曾被下列的人报导过，如奥尔德曼和斯金纳（Alderman and Skinner, 1957, 第 561~567 页），萨宾斯（Sabins, 1962, 第 1183~1196 页），斯金纳等（H. C. W. Skinner et al., 1963, 第 335~336 页），塔夫脱（Taft, 1961, 第 561~562 页），塔夫脱和哈博（Taft and Harbough, 1964, 第 58~66 页），冯德博奇等（Von der Borch et al., 1964, 第 1116~1118 页），

以及其他。这些人都指出，白云岩、白云质石灰岩，以及富镁碳酸盐岩在浅海中的生成均需要很特殊的物理化学条件，例如沉积介质的 Mg/Ca 比较高。

三、白云岩的成因问题

近年来的实际观察、实验技术以及分析资料已使白云石的形成问题比较清楚了。但是还仍然有些问题尚待解决。例如在古生代的海中，在低温、低压的“自然”条件下，是否有直接化学沉淀的原生白云石的问题，还仍然没有肯定。有关次生白云化作用的许多问题，例如关于孔隙度与白云化程度之间的关系问题，还仍然没有解决。奇林格等 (Chilingar et al., 1966) 最近对这些问题进行了详细的探讨，并确定出极早期成岩的、早期成岩的、晚期成岩的和后生的（石化以后的）白云石。费尔布里奇 (Fairbridge, 1966) 还确定出同生成岩期 (syndiagenetic stage)、变生成岩期 (anadiagenetic stage)、和表生成岩期 (epidiagenetic stage) (参看图 4, 5, 6)。

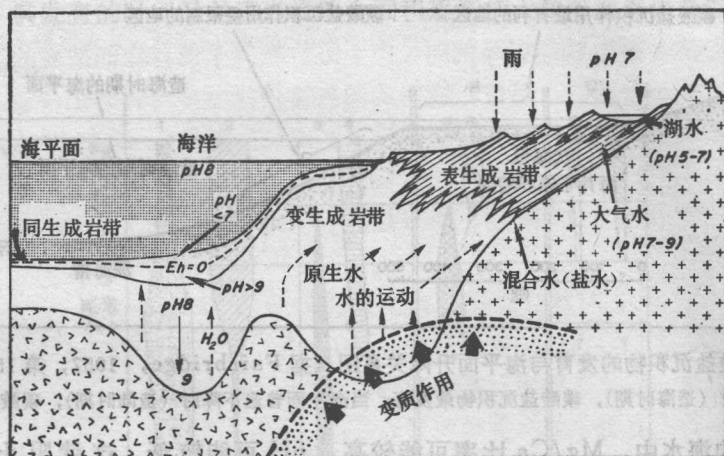


图 4 成岩期、同生成岩期、变生成岩期和表生成岩期 (据 Fairbridge, 1966)

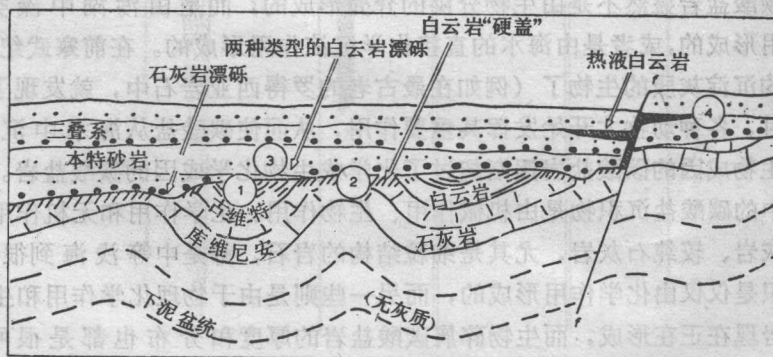


图 5 不同成岩期的白云岩。德国艾弗尔地区的一个假想剖面
(据 Fairbridge, 1957, 第 162 页, 图 13)

(1) 泥盆系吉维特白云岩——同生成白云岩；(2) 库维尼石灰岩 (中泥盆统)——受表生成岩作用的影响，此表生成岩作用相当于三叠纪以前的陆地表面 (过去的“硬盖”)，但深度并不大；(3) 三叠系底砾岩，含有两种白云岩的漂砾和石灰岩的漂砾；(4) 热液白云岩，可能受沿断层面上升的深处的原生水溶液的影响

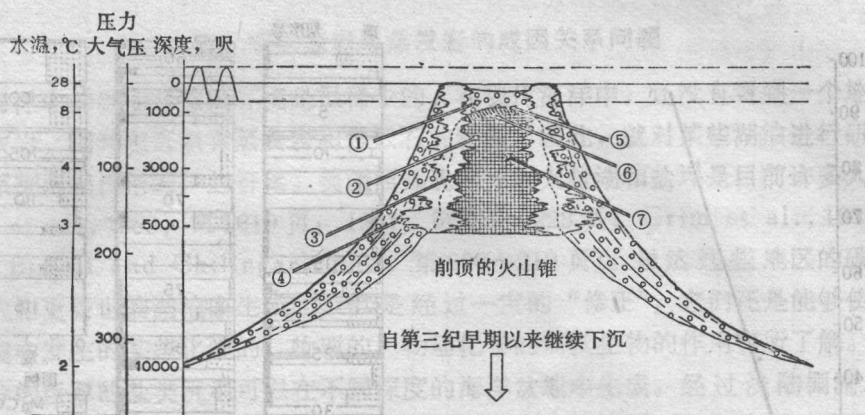


图6 具白云化核心的大洋环礁 (据 Fairbridge, 1957, 第148页, 图8)

当泻湖与海洋相隔绝时, 富含镁的高密度的盐水就向下渗透并使礁核白云化。多孔的和可渗透的礁壁可使富镁的回流溶液继续通过, 直到白云化作用完成为止

- ①—浅水的富镁方解石的生物碎屑 (大的藻类) 的堆积;
- ②—海水中的镁自由地通过多孔的礁壁;
- ③—多孔的礁核;
- ④—多孔的礁旁碎屑;
- ⑤—泻湖底下的高含盐度的还原条件;
- ⑥—在约 20 大气压下的共生白云化地带;
- ⑦—先前的白云化 (完全的、稳定的、还原的、快速被水淹没的)

斯特拉霍夫 (Strakhov, 1956) 曾提出以下四种白云岩相: (1) 在大型海盆 (主要是台地) 超盐度的边缘地区形成的白云岩; (2) 在台地上的超盐度的浅海地区中部形成的白云岩; (3) 正常海白云岩, 如阿尔卑斯东部上三叠统的白云化生物礁; (4) 在干旱地区的泻湖或浅海湾 (又被河水淡化) 中形成的白云岩。

捷奥多罗维奇 (Teodorovich, 1958) 也曾提出以下的白云岩类型: (1) 正常海灰质白云岩和交代白云质石灰岩; (2) 原生的、泥状的 (细粒结构的) 白云岩和硬石膏白云岩; (3) 超盐度海、礁泻湖、周期性变干的潮间带灰泥环境的灰质白云岩; (4) 在大陆湖泊 (干热季节的) 中生成的原生的、化学的、细粒结构的灰质白云石泥。第 (2) 类型的白云岩是在超盐度的泻湖中生成的, 它可与硬石膏、石膏层或透镜体成互层; 它们也可以是原生的较均一的碳酸盐-白云质岩石。

关于古生代白云岩的分布, 费尔布里奇 (Fairbridge, 1957) 曾指出, 在非蒸发岩相的碳酸盐岩中, 在近岸地区多为白云岩, 在远离海岸的方向, 白云岩就逐渐变为具有冷深水沉积特征的石灰岩。假如这两种岩石交互出现, 那一定是海平面的周期性的升降所引起的。近岸的白云化碳酸盐岩中富含陆源不溶物和初期的富镁的藻核, 而远离海岸的非白云化的碳酸盐岩则缺乏这种富镁的藻核。许多作者也都指出, 白云化作用与碎屑堆积都是在近岸地带更为发育 (参看图 7、8、9)。在绘制古地理图时, 这是一个很重要的依据。当然, 关于这个问题还是有不少工作需要进一步研究的。

在一些深水石灰岩中, 也会出现较高的不溶组分, 但是这些岩石却并不容易白云化。这些不溶残余物很象是自生的石英或燧石, 它们是细粒的硅质质点或远海放射虫或硅藻的次生产物 (Chilingar, 1953)。

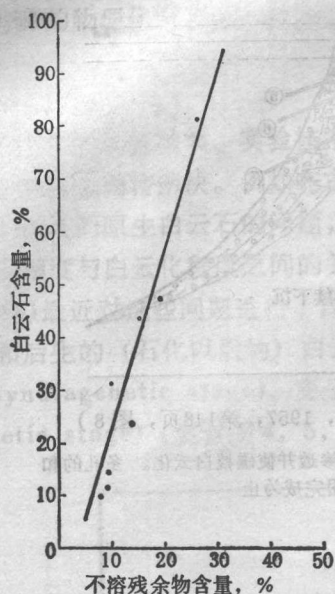


图7 在含有粘土的灰质白云岩和白云质石灰岩中,不溶残余物含量与白云石含量的相互关系图 (据 Zelenov, 1956, 第 42 页)

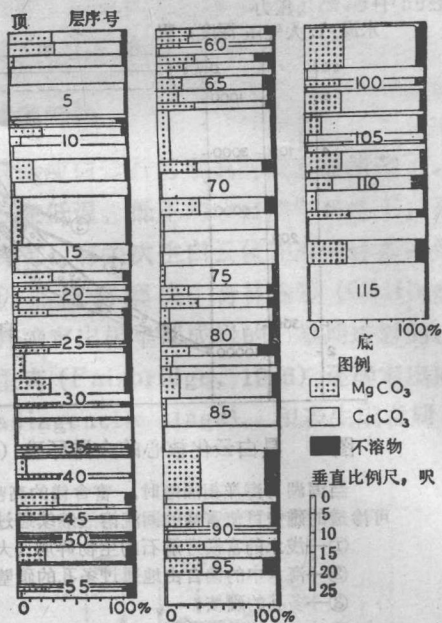


图8 不溶陆源颗粒 (近岸的指标) 含量与白云化程度的相互关系图 (据 Fairbridge, 1957, 第 155 页, 图 9, Lesley, 1879 的分析资料)

较纯石灰岩含不溶物及 $MgCO_3$ 均很少, 表示远离海岸。美国宾夕法尼亚州哈里斯堡附近的一个下奥陶统剖面

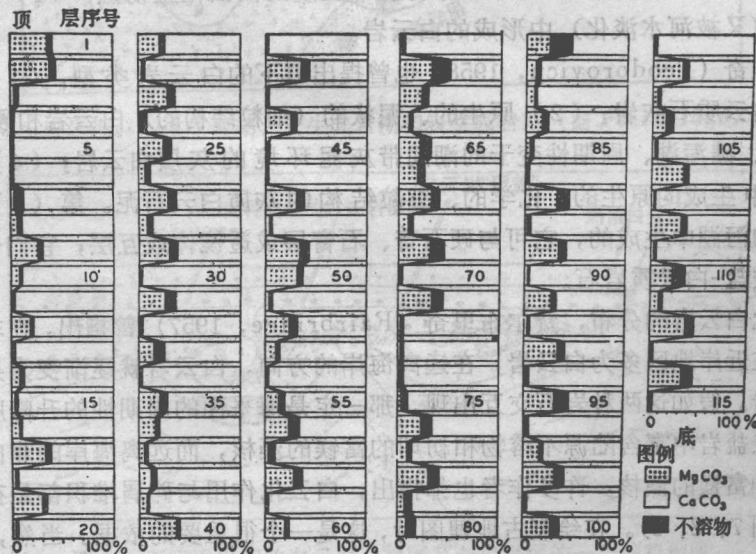


图9 美国宾夕法尼亚州哈里斯堡西部的下奥陶统地层,白云化与非白云化石灰岩呈韵律性地交替 (据 Lesley, 1879 的分析资料, 据 Fairbridge, 1957, 第 156 页, 图10) 白云化作用常与陆源不溶物质的最大含量一致, 因此, 可以认为它们更靠近原来的海岸线

四、碳酸盐岩与蒸发岩的成因关系问题

现代海洋中的碳酸盐生成环境是很稀少的。在现代海洋中，还没有看到一个地区既沉积有各种石灰岩，同时也沉积有蒸发岩和白云石的物质。因此，就对某些湖泊进行研究以便得到蒸发岩系列沉积作用的一些答案。美国西部犹他州的大盐湖和盐坪是目前许多人研究的对象 (Graf et al., 1953, 第 1610 页; 1961, 第 219~223 页; Grim et al., 1960, 第 515~520 页; Bissell and Chilingar, 1962, 第 200~210 页)。虽然这些地区的碳酸盐都仅仅是在现代和更新世的湖泊中生成的，但是经过一定的“修正”，它们还是能够使我们了解古代海洋环境中发生的某些化学的、物理的、物理化学的以及生物的作用有所了解。例如，不同化学成分的巨厚的盐类沉积可以在不同深度的海洋盆地中生成。经过浅陆棚流入的海水，在分别到达各种不同的溶解盐类的饱和点以后，在一定的 Eh 和 pH 条件下，就可以生成相互超覆的沉积相。在构造条件比较稳定的很浅的陆棚上，逐渐提高的饱和度可以产生很好的分异沉积作用。在海水浓度很高的、可形成盐类沉积的特定环境中，并不一定会有碳酸钙的沉积，硫酸钙也可能不存在或者很少。然而，构造作用的不同程度的变化可以造成完全不同的沉积条件，与此相应的则是不同沉积岩的互层或穿插，例如微晶石灰岩和藻类石灰岩、微晶白云岩、软藻微晶白云岩、沥青石灰岩和白云岩、泥质石灰岩和白云岩、硬石膏和石膏 (石膏岩)、盐岩以及其他岩石等，都可以在封闭或半封闭的环境中堆积。有时，还可能有碎屑物质从邻近的陆地搬入，例如混杂有红色泥、红色粉砂以及红色的富含 NaCl 的沉积物，就是这样生成的。

大规模的海水可以在陆棚上的沉积地区畅通无阻地循环流动，其水深一般都超过几厘米，很可能是几十米；这些陆棚的大地构造条件通常都是不稳定 (下沉) 的。当水流通过陆棚边缘、水下隆起、礁、海岭或其他浅滩地区时，能促使海水达到饱和状态，从而引起溶解盐类按一定的顺序沉淀下来。通常，碳酸钙最先沉淀，然后是各种盐类的沉淀，其沉淀顺序与海水深度的逐渐而缓慢的增加是一致的。各种盐类的沉淀作用主要取决于蒸发作用所损失的水深和整个水深的比率。但是，这并不是说在开阔的深海中就进行着这种盐类的沉积分异作用，这种分异作用只是在浅海的地形起伏不平的入口处才发生的。封闭盆地的加深可以阻止最浓缩的溶液与较浅处的溶液相混，因此可使盐类沉积限制在深水环境中。在盆地的深处，水可能处于停滞状态，因而在这里可沉积暗色 (局部含沥青的) 盐岩，其厚度可达 100 呎甚至 1000 呎 (参看 Scruton, 1953, 第 2498~2512 页; Adams and Rhodes, 1960, 第 1912~1929 页)。

碳酸盐岩石学的研究者早就怀疑，现代海水的化学条件，与古生代和中生代的含有盐类沉积 (也含有碳酸盐岩的互层和夹层) 的沙坝盆地海水的化学条件，是有所不同的。在深水盆地中，碳酸钙和硫酸钙的沉积作用似乎超过了氯化钠的沉积；而在局部地区，则可能只有石膏和硬石膏，而几乎没有碳酸盐的沉积。然而，在浅陆棚和台地地区，氯化钠可能是分布最广的沉积；但在另一方面，也可以具有适合于巨厚石膏沉积的环境，这种石膏沉积 (石膏岩) 在中等的埋藏压力下可以转变为硬石膏。沥青石灰岩和 (或) 白云岩、红层也可能出现。红层的物质是陆源的，它们代表这一沉积地区的碎屑混入物。在这种台地沉积中，钾盐很少见，甚至不存在。在对古代的蒸发岩系列进行详细的观察以后，能够得出的唯一的合乎逻辑的结论是：这些盐类沉积都不是蒸发作用很完全的海水盆地的产物 (Borchert and

Muir, 1964)。海水中的大多数盐类溶液，在其到达氯化钠的饱和浓度以前，可能以回流的形式返回海洋中（参看图 10）。这一规律也适用于局部封闭盆地的氯化钠溶液，在这种盆地中，沉积 Ca、Mg 的盐类，如 CaCO_3 、 MgCO_3 、 CaSO_4 等。不同的台地和陆棚，特别是受比较和缓的构造作用（下沉）所控制的台地和陆棚，都有蒸发岩系列，如 CaCO_3 、 $\text{CaMg}[\text{CO}_3]_2$ 、 $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 、 NaCl 、 MgCl_2 、 KCl 等，它们的沉淀顺序是与其溶解度大小的顺序相反的。但是，必须认识，每种盐类的沉积位置都是时进的，因此只有在随着时间变化而有侧向移动的剖面上，才能测量出每一种盐类的最大厚度。简单地说，盐层在纵横向上都有变化。

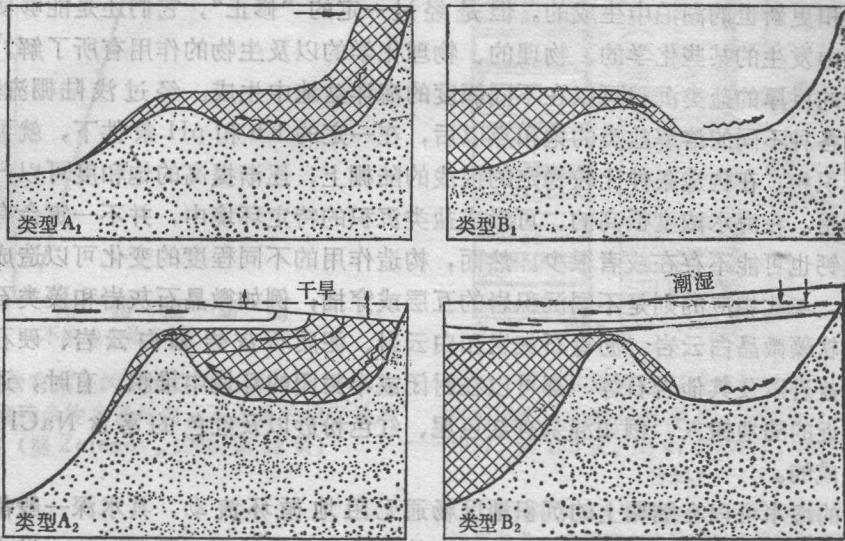


图10 表示密度较大的水（画方格处的）的四种类型的沙坝盆地（据 Dietrich, 1963, 略加修改）只有 A₂ 类型才适合于化学的（蒸发的）碳酸盐岩的形成

类型 A₁: 拉布拉多海——戴维斯海底山——巴芬海
或北太平洋——千岛海底山——鄂霍次克海
或南大西洋——海底山——丰德尔海

类型 A₂: 大西洋——直布罗陀海底山——地中海
印度洋——曼德海底山——红海
印度洋——霍尔木兹海底山——波斯湾

类型 B₁: 南太平洋——莫拉尼西亚海底山——塔斯曼海
北大西洋——安的列斯海底山——加勒比海
挪威海——南森海底山——北冰洋

类型 B₂: 大西洋——峡湾海底山——挪威峡湾
爱琴海——博斯普鲁斯——黑海
北海——达斯/德罗格丹海底山——波罗的海

在浅陆棚上，由于蒸发作用比深水地区大，所以在陆棚边缘地区的流入水首先达到饱和程度，从而在平行陆棚的边缘地区，沉积的碳酸钙呈带状分布。通常在向陆地的方向是块状石膏沉积，而重的氯化物溶液却顺着底流流向盆地的深处。当盆地浅处的流入水继续蒸发和浓缩的过程中，在盆地（或不稳定的陆棚）深水部分中，各种盐类溶液可能按照各自的密度呈层状分布；这些盐类从溶液中析出，当然要按照溶液中的离子比率。其结果是，盆地的外缘为化学碳酸盐沉积，其次为硫酸盐带，盆地中央为氯化物。但是，这一理想的分带现象是很少见的；在这种环境中产生的浅海相的盐类，大都（假如不是全部的话）呈旋回性的沉积；即使在盆地的中央，所有的岩相也可能同时出现于一个旋回中。

在某些盆地的较深部分，特别是在沉积开始的相中，碳酸盐和硫酸盐呈现出纹理特征，也可能含有沥青。这种结构和成分，与浅水环境沉积的礁碳酸盐、“原生的”或其他的白云岩、斑状和波状纹理的石膏等，有显著的区别。表 I 总结了其中的某些概念，并试图恢复其古地质相。在美国西部亚利桑那州的西北部和南部，在一个台地—陆棚—盆地的环境中沉积的二叠—三叠纪地层中，就似乎呈现出上述的现象。由麦基(McKee, 1938, 第 129~132 页)所恢复的托罗维普组和凯巴布石灰岩的沉积环境，也似乎是与上述现象一致的；此托罗维普组和凯巴布石灰岩位于亚利桑那州北部和犹他州南部，具有很明显的碳酸盐、石膏和红层的韵律层。在这个二叠系的地层中，麦基的理想韵律层为：

- (1) 红层和石膏(顶)；(2) 化学沉淀石灰岩；(3) 海相石灰岩，含软体动物或腕足类；(4) 化学沉淀石灰岩；(5) 红层和石膏(底)。

五、分类术语问题

从事碳酸盐岩(也包括现代浅海碳酸盐沉积物)岩石学的人们，已经建立了一套复杂的描述术语，这些术语可以对沉积环境有所启示。在这个绪论中，并不打算评论这些术语，也没有必要急于在术语字典中查阅这些众所周知的名称的含义，象砂屑石灰岩、粉屑石灰岩、石华状碳酸盐岩、珊瑚藻石灰岩、苔藓藻石灰岩、葡萄岩、硬藻石灰岩、微晶石灰岩、微晶白云岩、砂屑白云岩、介壳石灰岩以及其他名称等。术语和岩石名称是沉积岩石学者的标签，年青的岩石工作者应该熟悉这种语言。

表 I 蒸发岩系列沉积相中的碳酸盐岩的古地质分布

浅色碳酸盐岩	陆棚
浅色石灰岩和(或)白云岩，与砂屑石灰岩和(或)红层互层 白云岩、硬石膏、藻类结构的和粗结构的鲕粒石灰岩或白云岩 藻类白云岩，藻片石灰岩，生物碎屑石灰岩，粗粒到细粒鲕粒石灰岩和白云岩 斑状硬石膏或石膏，与微晶石灰岩、微晶白云岩、和(或)藻类石灰岩呈薄互层 块状硬石膏，具白云石的云雾状斑块和瘤 波状纹理的硬石膏，具微晶白云岩和微晶石灰岩的小扁豆层和薄互层；可能含沥青 瘤状和眼球状硬石膏，海绵状白云岩和石灰岩 薄层硬石膏和白云岩或石灰岩的互层，含沥青 纹状硬石膏，白云岩和沥青石灰岩 石灰岩，含薄层硬石膏(岩石均为沥青质的) 沥青碳酸盐岩，硬石膏或石膏很少甚至无	↓ 盆地
暗色碳酸盐岩	盆地

分类是研究碳酸盐岩的自然结果。现在，已有许多种石灰岩和白云岩的分类，每一种分类都有其优点。当然，每一种分类都是通过特定地区或地理区的研究成果并根据研究者个人的观点提出来的。地质学家也和其他科学家一样，常常有地方性；因此，每个人都倾向于认为他自己的分类系统是没有缺点的。初学者必须明白，假如他过分地强调某一种分类方法，那么将会在研究工作中遇到困难。有经验的岩石学家都知道，现代碳酸盐沉积物是不可能按照一个固定不变的提纲进行分类的，现代正在流行的任何一种分类，都不可能解决古代碳酸盐岩在成因、环境、成岩作用以及沉积作用方面的所有可能出现的分歧。

第二节 其它各章简介*

一、现代碳酸盐沉积物

本书第二章为现代碳酸盐沉积物，由塔夫脱 (W.H. Taft) 编写。塔夫脱指出，除了最深的海洋以外，在几乎所有的沉积环境中，都可能存在现代碳酸盐沉积物。但是，由于物理和化学条件的严格限制，现代碳酸盐沉积物的多少和保存情况，都是不大相同的。

绝大部分的现代海洋碳酸盐都是生物成因的。对于极细粒的碳酸盐，由于鉴定的困难，其成因还有些怀疑。但是，根据一些同位素的研究成果，已经知道至少某些泥屑石灰岩仍是生物成因的。但在另一方面，绝大部分的潮间带和大陆碳酸盐、海滩岩石（以及泡拉壳石^①）、土壤壳（钙质土壤壳或钙质层）、泉水沉积（石灰华、钙泉华）以及蒸发岩，都是无机成因的。

现代碳酸盐环境中的主要矿物为：（1）低镁方解石（深海有孔虫和绝大部分的深海沉积的特征矿物；在温暖的浅海地区也有，但不是主要的）；（2）高镁方解石（大都发现于灰质藻类和许多无脊椎动物的外部骨骼中，特别是在温暖地区的）；（3）文石（六射珊瑚和某些软体动物介壳的典型矿物，也主要是温暖地区的；在潮间带的海滩岩的无机胶结物中。也可有文石）；（4）白云石（相当热的潮间带的无机产物；在深海中也有少量的晶体出现）。

现代碳酸盐沉积物一旦暴露在淡水中，将很快地发生成岩作用。因此，海滩岩的胶结物（大都是几千年以前生成的）都转变为方解石了。现代的碳酸盐沉积物（浅海的和深海的）大都是尚未胶结的，但是也都正在进行着缓慢的变化，关于这种变化还需要进一步的研究。

二、碳酸盐岩的岩石学和岩类学

碳酸盐岩的岩石学和岩类学已在第三章进行了讨论，作者是一批富有经验的法国及意大利的地质学家古布勒以及伯特兰、马塔维利、里齐尼、帕西加。作者反映了两种颇有意义的趋势：（1）法国及意大利的有关部门对愈来愈认识到研究的重要性；（2）在西欧（阿基坦及西西里岛）、北非及中东含油、气盆地中，碳酸盐岩起着主要的作用。

岩石学主要是研究碳酸盐岩的几何体、沉积学、层理、层内构造以及野外产状。而岩类学则与此相反，主要是指在显微镜下可见到的微细特征的描述：包括显微沉积构造、胶结物以及颗粒的详细情况。岩类学的研究为完成岩石学的图像提供了必要的资料。统计综合分析方法是英布里及珀迪 (Imbrie and Purdy, 1961) 提出的。

碳酸盐岩属于多成因的岩石，它们由化学的、生物化学的及碎屑的组分组成，一般呈此三种组分的不同程度的混合物。在主要的碳酸盐矿物中，主要的阳电荷有 Ca^{2+} 、 Mg^{2+} 及 Fe^{2+} 。次要的组分则包括粘土、氧化硅、磷酸盐、氧化物及硫化物。

碳酸盐岩具有三个基本特征：

（1）生物作用，由于生物能直接或间接地改变 pCO_2 ，所以这些生物（尤其是营光合作

* 此标题是译者加的。

① “泡拉壳石”为暂译名，原文为“Pelagosite”；它是一种不纯的方解石，其成分除 CaCO_3 以外，还含有 MgCO_3 、 SrCO_3 、 CaSO_4 以及 SiO_2 等；它是潮间带的产物，呈灰质壳产出。——译者