

ICS 75.010

E 11

备案号: 11563—2003

SY

中华人民共和国石油天然气行业标准

SY/T 5478—2003

代替 SY/T 5478—92

碳酸盐岩成岩阶段划分

The division of diagenetic stages in carbonate rocks

2003 - 03 - 18 发布

2003 - 08 - 01 实施

国家经济贸易委员会 发布

标准下载网(www.bzxzw.com)

目 次

前言	II
1 范围	1
2 术语和定义	1
3 成岩阶段划分的依据	1
4 成岩阶段的划分及其特征	2
4.1 成岩阶段的划分	2
4.2 各成岩阶段的特征	2
5 各成岩阶段的标志	2
5.1 同生成岩阶段	2
5.2 早成岩阶段	5
5.3 中成岩阶段	6
5.4 晚成岩阶段	7
5.5 表生成岩阶段	8

前 言

在碳酸盐岩成岩历史演化阶段中，其中的有机质成熟并形成烃类的演化阶段性很明显。且由于海平面升降及地壳运动使沉积物和碳酸盐岩处于暴露或埋藏，形成不同的成岩环境及其产物。

本标准以烃类演化的阶段性结合成岩环境、岩石学特征、次生空隙类型划分成岩阶段。与 SY/T 5478—92 相比主要变化如下：

- 增加了中成岩阶段；
- 补充了表生成岩阶段的内容。

本标准从生效之日起，同时代替 SY/T 5478—92。

本标准由石油地质勘探专业标准化委员会提出并技术归口。

本标准起草单位：中国石油天然气股份有限公司西南油气田分公司勘探开发研究院。

本标准主要起草人：孔金祥、李国蓉。

碳酸盐岩成岩阶段划分

1 范围

本标准规定了碳酸盐岩成岩阶段的划分、依据、标志和方法。

本标准适用于石油天然气行业碳酸盐岩成岩阶段的划分及特征研究。

2 术语和定义

下列术语和定义适用于本标准。

2.1

成岩阶段 diagenetic stage

碳酸盐沉积物沉积之后至碳酸盐岩变质之前的无机组分和有机组分在各种成岩环境中发生变化的历史阶段称为成岩阶段。

2.2

同生成岩阶段 syndiagenetic stage

沉积物沉积之后至被埋藏前所发生的作用与变化的时期称为同生成岩阶段。

2.3

早成岩阶段 early diagenetic stage

沉积物被埋藏并脱离海水、大气水和混合水的影响之后，在浅一中埋藏成岩环境中固结成岩石且伴之形成生物气的阶段称为早成岩阶段。

2.4

中成岩阶段 middle diagenetic stage

碳酸盐岩曾经或正处于中—深埋藏成岩环境，发生物理、化学变化，有机质演化达到形成原油—凝析油的阶段称为中成岩阶段。

2.5

晚成岩阶段 late diagenetic stage

碳酸盐岩曾经或正处于深埋藏成岩环境，有机质演化形成干气，岩石发生物理、化学变化并破裂直至变质前的阶段称为晚成岩阶段。

2.6

表生成岩阶段 epidiagenetic stage

因地壳运动抬升或海平面下降，使曾处于或正处于早成岩阶段至晚成岩阶段的碳酸盐岩出现一次或多次暴露及接近地表的成岩环境，发生物理、化学、生物风化（淋滤、溶蚀、侵蚀、剥蚀等）作用的时期称为表生成岩阶段。

3 成岩阶段划分的依据

a) 有机质热演化的阶段性。

b) 古温度：

1) 流体包裹体均一温度；

2) 由镜质体或沥青反射率 (R_o) 计算古温度；

3) 由氧稳定同位素计算古温度。

- c) 镜质体或沥青反射率 (R_o)。
- d) 岩石学标志:
 - 1) 碳酸盐自生矿物的分布、组构特征及生成顺序;
 - 2) 非碳酸盐自生矿物的分布、组构特征及生成顺序。
- e) 成岩环境。
- f) 次生空隙类型。

4 成岩阶段的划分及其特征

4.1 成岩阶段的划分

因构造运动造成不同地区成岩环境的差异,碳酸盐沉积物及碳酸盐岩经历的成岩阶段有所不同。

4.1.1 连续、渐进埋藏过程地区的成岩阶段分为:

- 同生成岩阶段;
- 早成岩阶段;
- 中成岩阶段;
- 晚成岩阶段。

4.1.2 非连续、间断埋藏和暴露过的地区的成岩阶段中还包括了表生成岩阶段。

4.2 各成岩阶段的特征

4.2.1 同生成岩阶段:分湖底、海底、潮上、大气淡水、混合水等成岩环境,为次生溶孔的主要形成阶段,有机质未形成烃类。

4.2.2 早成岩阶段:处于浅一中埋藏成岩环境,为生物气形成阶段。

4.2.3 中成岩阶段:处于中一深埋藏成岩环境,形成溶孔,为原油至凝析油形成阶段。

4.2.4 晚成岩阶段:处于深埋藏成岩环境,张开裂缝发育,为干气形成阶段。

4.2.5 表生成岩阶段:处于暴露及近地表成岩环境,为洞穴、暗河、风化缝主要形成阶段,有机质氧化降解。

5 各成岩阶段的标志

各成岩阶段的标志见表1。

5.1 同生成岩阶段

同生成岩阶段有各种成岩环境,其标志如下。

5.1.1 浅海海底同生成岩阶段

a) 生物成岩作用标志:

- 1) 生物钻孔;
- 2) 泥晶套;
- 3) 颗粒泥晶化。

b) 方解石胶结物:主要是文石或镁方解石胶结物新生变形的产物,化学组分中含碳酸镁可达 $1\text{mol} \sim 2\text{mol}$,其结构特征为:

- 1) 颗粒硬化:硬化的粪球粒、鲕粒、葡萄石等;
- 2) 薄边胶结:由微粒状、纤维状、马牙状(复三方偏三角面体)等晶粒组成;
- 3) 等厚环边胶结:由纤维状、马牙状、细柱状、叶片状等晶粒组成;
- 4) 球粒状胶结:由细晶镶嵌结构或粒状方解石组成球粒假象。

c) 交代的白云石和白云石胶结物:由咸水或渗透回流白云石化作用形成。一般为粉晶或细晶,半自形,自形,有序度低,富钙贫铁,晶体较混浊。呈斑块、透镜、纹层或层状,也可呈胶结物形态产出。白云岩中常发育晶间孔隙。

表1 碳酸盐岩成岩阶段划分及主要标志

[illegible]

- d) 自生石膏：板状、条状、放射纤维状，常与交代白云石共生。
- e) 自生海绿石：鲕状或显微晶粒状。
- f) 自生鲕绿泥石：多呈鲕状，也可呈鳞片状、纤维状。

5.1.2 潮上同生成岩阶段

- a) 交代的白云石：由蒸发泵或渗透回流白云石化作用形成。一般为泥晶、粉晶，半自形和它形，粒状或分散状，以富钙贫铁为特征，有序度低，常与石膏等蒸发矿物共生。可保持原岩或原组分的组构特征，常呈薄层状，有时可呈胶结物产出。
- b) 自生石膏：呈板状、条状、放射纤维状以及结核状。
- c) 鸟眼孔隙：未被充填的鸟眼构造，顺层分布。
- d) 伴生的潮上沉积构造：
 - 1) 鸟眼构造、虫孔构造；
 - 2) 藻席；
 - 3) 干缩缝、干裂角砾、干裂角砾间孔洞；
 - 4) 帐篷构造、泥板构造。

5.1.3 深水海底同生成岩阶段

- a) 方解石胶结物：原始成分为镁方解石和部分文石，成岩转化后成为泥晶、细粉晶方解石，还可呈置换的纤维状结构。碳酸镁含量有时可达 $3.5\text{mol} \sim 5\text{mol}$ 。
- b) 白云石胶结物：一般为泥晶、细粉晶的自形晶体。有时形成集晶粒状大晶体（晶径可达 $60\mu\text{m}$ ）。具有雾心，有时见环带结构。内部常有碳酸盐和非碳酸盐包裹物。偶见其交代方解石及生物骨壳。

5.1.4 湖底同生成岩阶段

- a) 生物成岩标志：
 - 1) 藻钻孔；
 - 2) 泥晶套；
 - 3) 颗粒泥晶化。
- b) 方解石胶结物：
 - 1) 颗粒硬化：硬化的粪球粒、鲕粒、球粒等；
 - 2) 泥晶、细粉晶粒状，或形成薄环边胶结；
 - 3) 马牙状薄环边胶结。
- c) 白云石胶结物及交代的白云石：泥晶、粉晶，自形至半自形晶粒，呈斑块、透镜、纹层或层状交代时常发育晶间孔隙。有时呈薄环边胶结。
- d) 自生石膏：板状、条状、纤维状等。
- e) 自生鲕绿泥石：多呈鲕状，也可呈鳞片状、纤维状。

5.1.5 大气淡水同生成岩阶段

- a) 方解石胶结物一般为无铁方解石，在还原的潜流带中可形成含铁方解石，其组构特征为：
 - 1) 小菱形等粒状或细马牙状薄环边胶结；
 - 2) 多期胶结物的连锁镶嵌结构：方解石胶结物呈粉晶、细晶或马牙状—叶片状—粗晶粒状的孔隙充填组构；
 - 3) 共轴胶结：在本环境中最发育，以棘屑的共轴增生最突出；
 - 4) 新月型胶结和重力（或悬垂）胶结。
- b) 白云石胶结物及交代的白云石：晶粒一般为粉晶—细晶，不同形成机制的白云石，其特征有一定区别：
 - 1) 大气淡水白云石：自形，透明，主要为胶结物；

- 2) 调整白云石：半自形至自形，具胶结和交代两种组构，交代白云石常呈分散状；
- 3) 混合水白云石：自形，常具雾心亮边或环带结构，具有胶结和交代两种组构；呈斑块状或透镜状交代时，常发育晶间孔隙。
- c) 镁方解石和文石组分的新生变形：镁方解石和文石质生物骨壳、颗粒及胶结物和基质等组方向方解石转化，常伴有重结晶现象。其原始组构能较好或部分地保存。
- d) 溶蚀孔隙：本环境的溶蚀孔隙是成岩阶段中所形成的最主要的次生孔隙，分布受沉积相控制，其产状特征为具有成层性，层位稳定。主要是滩相颗粒、礁云岩及藻云岩或石膏斑点被溶蚀所成。
 - 1) 组构选择性溶蚀孔隙：溶模（铸模）孔隙、粒内溶孔、粒间溶孔、晶间溶孔等；
 - 2) 非组构选择性溶蚀孔隙：溶孔、溶洞、溶缝。
- e) 渗流粉砂与渗流豆粒发育于渗流带中。

5.1.6 海水—淡水混合同生成岩阶段

- a) 方解石胶结物：
 - 1) 粉晶和叶片状胶结：形成于淡水端；
 - 2) 纤维状环边胶结：是镁方解石新生变形的产物，形成于近海水端。
- b) 白云石胶结物和交代的白云石：
 - 1) 混合水白云石：自形，常具雾心亮边。细至粗晶结构，具胶结和交代两种组构。呈斑块状、透镜状，层状交代的白云岩中常发育晶间孔隙；
 - 2) 调整白云石：晶体呈半自形、自形，较混浊。
- c) 交代的氧化硅矿物形成瘤状燧石，有时可形成自生石英。
- d) 溶蚀孔隙：晶间溶孔、粒内溶孔、粒间溶孔、溶孔、溶洞。

5.2 早成岩阶段

5.2.1 烃类演化阶段

有机质形成生物气。

5.2.2 有机质成熟度

未成熟—半成熟。

5.2.3 古温度

古常温 $\sim 85^{\circ}\text{C}$ 。

5.2.4 镜质体或沥青反射率 (R_o)

$R_o < 0.35\% \sim 0.5\%$ 。

5.2.5 岩石学标志

- a) 压实构造：
 - 1) 薄纹层、包粒皮壳及化石壳层的破裂、折断及错位；
 - 2) 颗粒的破碎、变形及定向排列；
 - 3) 颗粒的平面与曲面（凹凸）接触；
 - 4) 套叠构造；
 - 5) 泥裂、鸟眼及其它原生孔隙变形、封闭或消失；
 - 6) 有机质纹层破坏或变形为不规则细脉状。
- b) 压溶构造：
 - 1) 颗粒缝合接触；
 - 2) 平行层面的缝合线。
- c) 方解石胶结物及充填物一般为无铁方解石。含铁方解石形成于较深或富含二价铁离子的还原条件，组构特征为：

- 1) 晶粒状镶嵌结构：晶粒以细晶为主；
 - 2) 被置换的纤维状、球粒状、马牙状及叶片状组构；
 - 3) 粉晶、粉亮晶及稍粗的晶粒：见于原深海沉积的细孔隙中；
 - 4) 共轴环边胶结；
 - 5) 连晶胶结；
 - 6) 孔隙、溶洞、裂缝中被方解石部分或全部充填，具原生生物气包裹体。
- d) 白云石胶结物及交代的白云石：形成机制有埋藏、压实作用可能还有调整、热水白云石化作用，组构特征为：
- 1) 细晶粒状镶嵌结构；
 - 2) 半透明细晶自形白云石衬垫胶结；
 - 3) 有时见畸形的菱形晶体，呈斑块状、透镜状、层状的交代白云岩中常发育晶间孔隙；
 - 4) 孔隙、溶洞、裂缝中被白云石晶体部分或全部充填，具原生生物气包裹体。
- e) 石膏和硬石膏胶结物及交代的石膏和硬石膏：
- 1) 细—粗晶粒状镶嵌结构；
 - 2) 连晶胶结；
 - 3) 交代产状呈分散状、板状、条状、放射纤维状及斑块状、条带状、纹层状及层状；
 - 4) 有时孔隙、溶洞、裂缝中被石膏或硬石膏充填。
- f) 氧化硅矿物（玉髓—石英）充填物、交代的氧化硅矿物及自生石英：
- 1) 钙质生物骨壳及鲕粒等颗粒组分的假象；
 - 2) 结核和团块；
 - 3) 薄透镜状、条带状、纹层状及薄层；
 - 4) 粒状、纤维状、自形晶充填或半充填孔隙、溶洞、裂缝。
- g) 重结晶作用：矿物晶粒变大。
- h) 裂缝：构造缝为主，大部被充填。

5.3 中成岩阶段

5.3.1 烃类演化阶段

形成原油—凝析油。

5.3.2 有机质成熟度

成熟—高成熟。

5.3.3 古温度

古温度 $>85^{\circ}\text{C} \sim 175^{\circ}\text{C}$ 。

5.3.4 镜质体或沥青反射率 (R_o)

$R_o > 0.5\% \sim 2.0\%$ 。

5.3.5 岩石学标志

- a) 压溶构造：斜交或垂直层面的缝合线中的有机质的荧光显示明显。
- b) 方解石充填物：主要在裂缝及与裂缝连通的孔隙、溶洞中充填。
 - 1) 富含铁或不含铁；
 - 2) 粒状，连晶，粗亮晶，镶嵌，共轴；
 - 3) 具有原生液态烃包裹体。
- c) 白云石充填物及交代白云石：
 - 1) 裂缝、孔隙、溶洞中充填的白云石：可以出现波状消光的它形或畸形，多数为粒状、亮晶、自形；
 - 2) 沿缝合线、裂缝、断层分布的交代白云石：晶粒较粗大；

- 3) 具原生液态烃包裹体。
- d) 硬石膏充填物及交代的硬石膏：
 - 1) 粗晶粒状镶嵌结构；
 - 2) 连晶结构；
 - 3) 呈分散状、纤维放射状及斑块状交代。
- e) 其它充填物及交代矿物：
 - 1) 重晶石：呈板状、柱状、片状等。
 - 2) 天青石：呈板状、柱状、片状、纤维状、粒状等。
 - 3) 石英：呈粒状、自形锥柱状充填或交代。
- f) 自生萤石：多呈立方体形状。
- g) 溶蚀作用：有机酸或热卤水溶蚀形成粒间溶孔、晶间溶孔及溶缝。
- h) 裂缝：以构造裂缝为主，多被充填。

5.4 晚成岩阶段

5.4.1 烃类演化阶段

形成干气。

5.4.2 有机质成熟度

过成熟。

5.4.3 古温度

古温度 $>175^{\circ}\text{C} \sim 200^{\circ}\text{C}$ 。

5.4.4 镜质体或沥青反射率 (R_o)

$R_o > 2.0\% \sim 4.0\%$ 。

5.4.5 岩石学标志

- a) 压溶构造：继续发育斜交和垂直层面的缝合线，但其荧光显示不明显。
- b) 方解石充填物：主要在裂缝及与裂缝连通的孔隙、溶洞中充填。
 - 1) 粗亮晶、粒状及连晶；
 - 2) 等粒镶嵌结构；
 - 3) 压力双晶有时出现；
 - 4) 具有原生气态烃包裹体及沥青充填物。
- c) 白云石充填物及交代的白云石：
 - 1) 有畸形白云石：鞍状，粗粒，常含铁，具有弯曲解理面，波状消光，通常显二价铁及锰离子的浓度分带；
 - 2) 压力双晶有时出现；
 - 3) 晶粒镶嵌结构；
 - 4) 具有原生气态烃包裹体及沥青充填物。
- d) 硬石膏充填物及交代的硬石膏：与中成岩阶段相近，但量少。
- e) 其它充填物及交代矿物：重晶石、天青石、自生萤石与中成岩阶段相近，量渐少。
- f) 自生、交代、充填的石英：
 - 1) 钙质生物骨壳及鲕粒等颗粒的假象；
 - 2) 结核和团块；
 - 3) 条带和薄透镜体；
 - 4) 呈自形锥柱状环边或晶簇状充填，或呈粒状充填。
- g) 共轴交代环边：棘屑或方解石晶屑周围的泥晶基质，在压力作用下部分溶解，溶解物质围绕颗粒边缘重结晶，形成共轴增生的交代环边。

h) 重结晶作用: 形成粗大晶粒。

i) 裂缝: 最晚期裂缝一般为半充填或未充填的张开裂缝, 是油气的渗流通道。

5.5 表生成岩阶段

表生成岩阶段有多种成岩环境区域, 其成岩作用各不相同, 标志如下。

5.5.1 烃类演化阶段

本阶段属烃类演化的氧化降解阶段, 已形成的油气藏部分或大部逸散。

5.5.2 有机质成熟度

表生成岩阶段的有机质成熟度与岩石被抬升暴露前相一致。

5.5.3 温度

古常温或常温。

5.5.4 剥蚀区域表生成岩阶段

本成岩环境使碳酸盐岩主要遭受剥蚀作用, 致使地层厚度减薄至缺失, 或形成古河流、古沟谷、古洼地。若再有沉积作用发生, 则被上覆地层所充填。其成岩作用形成的溶蚀孔洞很少或被充填。

5.5.5 去白云石化、去石膏区域表生成岩阶段

白云岩夹石膏、硬石膏形成去白云石化、去石膏化的次生石灰岩。次生石灰岩的孔隙度很低, 为非储层。

5.5.6 古岩溶区域表生成岩阶段

在本成岩环境中, 碳酸盐岩遭受大气淡水的淋滤、溶蚀、侵蚀、沉淀、沉积、充填等作用, 形成地表及地下的古岩溶。其中未被全充填的古岩溶空隙是油气的重要储集空间。

5.5.6.1 地表古岩溶

- 古岩溶地貌: 古残丘、古台地、古台地斜坡、古洼地、古沟谷、古河流、平滑微有起伏的剥蚀面、溶沟纹、溶沟、溶蚀筒、溶蚀塘、落水洞;
- 古岩溶面特征: 古岩溶面岩石具有红色和橙色色斑;
- 古岩溶面上堆积物: 古土壤、风化层、钙结层、表生高岭石、铝铁土岩、残留砾石。

5.5.6.2 地下古岩溶空隙

- 古岩溶空隙: 溶模孔、溶孔、塌陷砾间孔洞、溶洞、溶缝、溶沟、管道、暗河;
- 古岩溶空隙结构: 渗流带以相互孤立的垂直槽形管道为主, 分布的非均质性极强; 潜流带为单层或多层曾连通的圆形、椭圆形溶洞、管道或暗河。古岩溶空隙无固定层位, 分布的非均质性最强。

5.5.6.3 古岩溶沉淀物

石钟乳、石笋、爆米花石、洞壁自形晶壳、洞壁铝和氧化物被壳、洞壁黑色锰矿物被壳、硅华、钙华、渗流豆粒。

5.5.6.4 古岩溶沉积物及充填物

粉砂、粘土的冲积沉积物、水成岩墙、岩沟、充填裂缝、示底沉积及沉淀、砾石残留沉积、塌陷角砾、槽道角砾、上覆地层的粘土、有机质、煤等充填物。

5.5.6.5 古岩溶的显微特征

- 溶孔中的淋滤土壤、粉砂和氧化铁粘土充填物;
- 方解石晶体被氧化铁和粘土所包围;
- 氧化铁交代石灰岩或生物;
- 黄铁矿等低价铁矿物向褐铁矿转化;
- 硬石膏水化为石膏及伴生的变形层理;
- 淡水白云石: 自形、透明、有序度高。
- 方解石胶结物: 粉晶、细—粗晶、叶片状、新月型及重力(或悬垂)胶结。

h) 玉髓或石英胶结物及充填物。
