

中国古生界 海相碳酸盐岩岩溶储集体地质特征

◎ 康志宏 康志江 编著

地质出版社

中国古生界海相碳酸盐岩 岩溶储集体地质特征

康志宏 康志江 编著

地质出版社

· 北 京 ·

内 容 提 要

中国古生代海相碳酸盐岩分布范围广、厚度大,油气资源潜力巨大。笔者在前人工作的基础上经过多年的生产实践,系统研究总结了古生界海相碳酸盐岩储集体特征;提出了5种岩溶储集类型,建立了5种岩石储集空间类型,论述了岩溶储集体充填特征,分析了岩溶储集体形成的因素,总结了岩溶储集体分布规律,进一步丰富和发展了古生界海相碳酸盐岩成藏理论。

本书可供从事碳酸盐岩油藏勘探开发的研究人员及大专院校石油地质等相关专业的学生阅读参考。

图书在版编目(CIP)数据

中国古生界海相碳酸盐岩岩溶储集体地质特征/康志宏,康志江编著. —北京:地质出版社,2015.4

ISBN 978-7-116-09227-3

I. ①中… II. ①康… ②康… III. ①古生代—海相—碳酸盐岩—储集层特征—中国 IV. ①P588.24
②P618.130.2

中国版本图书馆CIP数据核字(2015)第068350号

责任编辑:贾桂芬 柳 青 陈 磊

责任校对:关风云

出版发行:地质出版社

社址邮编:北京海淀区学院路31号,100083

咨询电话:(010) 66554643;(010) 66554615(编辑室)

网 址: <http://www.gph.com.cn>

传 真:(010) 66554686

印 刷:北京地大天成印务有限公司

开 本:787 mm×1092 mm^{1/16}

印 张:10.5

字 数:256千字

版 次:2015年4月北京第1版

印 次:2015年4月北京第1次印刷

审图号:GS(2014)1321号

定 价:68.00元

书 号:ISBN 978-7-116-09227-3

(如对本书有建议或意见,敬请致电本社;如本书有印装问题,本社负责调换)

前言

中国古生代海相碳酸盐岩沉积分布范围广、厚度大,油气资源潜力巨大。据目前油气资源评价的初算结果,全国海相油气资源约为 $359 \times 10^8 \text{t}$ 油当量,其中原油 $135 \times 10^8 \text{t}$,天然气 $22.4 \times 10^{12} \text{m}^3$,油气资源探明程度不足总探明程度的 10%。1984 年,塔里木盆地北部沙雅隆起雅克拉构造带钻探的沙参 2 井在井深 5391.18m 的奥陶系白云岩中获高产油气流,实现了我国古生代海相碳酸盐岩油气勘探的首次重大突破,揭开了古生代海相油气勘探开发的序幕。其后,在塔里木、鄂尔多斯、四川、准噶尔等盆地又陆续发现了一批古生界大中型油气田,如塔里木盆地塔河特大油田、塔中油气田、轮南油气田等;在四川盆地发现普光大气田、龙岗气田、元坝气田、新场气田等;鄂尔多斯盆地发现靖边气田等。塔河油气田的发现使古生代油气勘探进入了一个新阶段,并已成为我国油气资源接替的重要领域之一。

我国古生代海相油气地质条件十分复杂。中国古生代海相沉积盆地经历了多期构造运动的改造,现今多为残留盆地。烃源岩经过长期演化和复杂生烃过程,热演化程度高;油气储层经过多期次埋藏、隆升、剥蚀等强烈改造作用,储集类型多样且普遍埋藏较深。

目前,古生代海相碳酸盐岩岩溶储集条件和分布预测是这类油气藏勘探重大难题之一,为适应当前和今后碳酸盐岩油气勘探开发工作的需求,笔者在前人工作的基础上,经过几十年的生产实践,系统研究总结了古生界海相碳酸盐岩储集特征。本书按照如下内容编排:第一,古生界碳酸盐岩岩溶储集体的沉积特征;第二,研究现代地表和古生界深层碳酸盐岩岩溶发育特征;第三,古生界碳酸盐岩储集类型及储集空间类型;第四,深层岩溶储集体充填类型及机理;第五,古生界深层岩溶储集体地球物理响应及预测;第六,古生界碳酸盐岩岩溶储集体形成的地质因素;第七,以塔里木盆地、四川盆地、鄂尔多斯盆地及渤海湾盆地为重点,并以典型古生界海相碳酸盐岩岩溶油气田为例,进行理论和认识总结。

中国古生界海相碳酸盐岩岩溶储集体岩石类型主要为石灰岩类和白云岩类。这两套碳酸盐岩主要沉积环境是浅海陆棚相、台地边缘相、台地相、局限台地相、潟湖相和浅滩相等。古生界碳酸盐岩岩溶分布广泛,纵向上多时代多层系,遍布全国各大盆地。现代地表岩溶与深层岩溶有相似的特征及形成条件,不同就是深层岩溶储集体的后期改造强烈,充填较严重。岩溶储集体类型有 5 种:地表岩溶型、礁滩型、鲕粒滩型、白云岩型和裂缝型。岩溶储集空间类型有 5 种:缝-溶洞型、洞-缝型、孔-缝型、缝-孔型及复合型。岩溶储集体充填类型有 3 种:物理充填(垮塌物、残积物、地下河沉积物等)、化学充填(方解石、白云石、黄铁矿等)、热液充填(即深部岩浆活动的热液,由于温度压力变化在已有的岩溶缝-孔-洞中沉淀形成或热溶矿物充填,如萤石、方解石、黄铁矿等,充填期次一般为 2~4 期)。岩溶储集体形成的控制因素有沉积环境和相类型、构造运动(抬

升和断裂)、成岩作用、有机酸作用及岩浆作用等。岩溶储集体分布规律为古风化壳岩溶主要分布在加里东期和海西期地层之间的不整合面之下,易形成岩溶洞穴型或缝+洞型储集体;断裂带附近岩溶发育,往往沿断裂带进行溶蚀,形成溶蚀缝洞等,断裂交叉处古岩溶发育,生物礁、鲕粒滩、颗粒-碎屑滩由于岩石结构特点在同生和成岩过程中被溶蚀并形成物性较好的储集体。

上述认识,进一步丰富和发展了古生界海相碳酸盐岩成藏理论,对当前和今后碳酸盐岩油气勘探开发具有重要指导意义。

参加本专著编写的有:中国地质大学(北京)康志宏(第一章、第五章、第六章、第八章),中国石化石油勘探开发研究院康志江(第二章至第四章、第七章),中国地质大学(北京)硕士研究生柳洲、周磊、陈夷、杨小峰、徐元强、李雪、郭瑞琴、蒋祺、童雪飞、门红坤、王成、胡佳乐、张子壹等做了大量的文字编辑和图片清绘工作。全书经康玉柱院士审阅,并提出了修改意见。

总之,古生界碳酸盐岩岩溶储集体形成、演化及识别是油气勘探中世界性难题,需要不断探索研究,弄清其特征及分布规律,为提高油气勘探成果及高效开发作出贡献。

目 录

前 言

第一章 中国古生界海相沉积体系概述	(1)
一、古生代地层区划	(1)
二、古生代海相沉积体系特征	(3)
第二章 中国古生界海相碳酸盐岩地表岩溶特征	(10)
一、地表岩溶分布	(10)
二、典型地表岩溶	(16)
第三章 中国古生界海相碳酸盐岩深层岩溶储集体特征	(51)
一、岩溶储集体的时代	(51)
二、古岩溶储集体纵向特征	(54)
三、岩溶发育的期次	(57)
四、岩溶储集体类型	(58)
五、储集空间类型	(60)
第四章 古生界碳酸盐岩岩溶充填特征	(64)
一、碳酸盐岩岩溶充填类型	(64)
二、缝洞充填程度	(67)
三、缝洞充填的期次	(68)
第五章 碳酸盐岩深层岩溶形成因素	(71)
一、沉积环境对储集体的控制	(71)
二、构造运动对储集体的控制	(71)
三、成岩作用因素	(72)
第六章 古生界碳酸盐岩岩溶储集体地球物理响应特征	(76)
一、储集体成像测井	(76)
二、储集体常规测井响应特征	(78)
三、储集体地震属性响应特征	(82)
第七章 典型油气田岩溶储集体特征	(88)
一、塔里木盆地塔河油田碳酸盐岩岩溶储集体特征	(88)

二、塔里木盆地塔中油气田碳酸盐岩岩溶储集体特征	(108)
三、四川盆地普光气田岩溶储集体特征	(119)
四、鄂尔多斯盆地靖边气田岩溶储集体特征	(130)
五、渤海湾盆地济阳坳陷潜山油田碳酸盐岩岩溶储集体特征	(139)
第八章 结论	(148)
参考文献	(149)

第一章 中国古生界海相沉积体系概述

一、古生代地层区划

地层区划，是地层学的基础，是对区域性地层特征的综合。地层的形成是地球内、外地质作用的综合产物，决定区域地层特征和变化的基本因素是：地壳活动性（大地构造）、古地理特点、古气候条件、古生物变化，其中地壳活动性特点是主导因素。20世纪50年代末，黄汲清（1962）根据上述原则进行全国地层总结和区划工作，并将区划等级体制确定为地层大区、地层区、地层分区、地层小区4个等级。其中地层大区通常与I级大地构造单元和古生物区一致，可能包括不同沉积类型的地层区，大区边界一般为地块结合带或断裂带。而地层区则为同一大地构造单元控制的、大范围的、稳定型沉积或不稳定型沉积区，其边界是不同类型的区域构造边界，也可以是俯冲带或大断

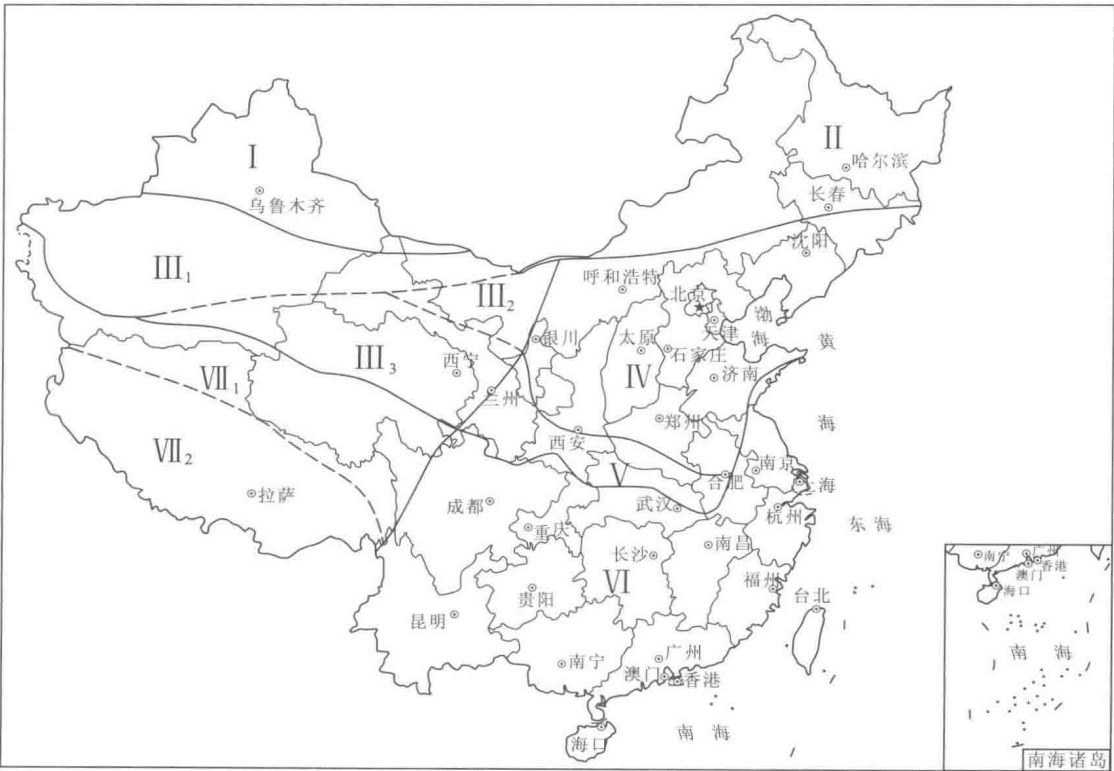


图 1-1 中国地层区划略图

I—准噶尔地层大区；II—内蒙古-兴安地层大区；III—塔里木-走廊地层大区；IV—华北地层大区；
V—东秦岭-大别地层大区；VI—华南地层大区；VII—青藏地层大区

裂带。

目前，中国的地层综合研究和区划工作已取得巨大成绩，而且根据地质特点，大部分地区是以古生代海相地层为主体进行划分的，这就为海相地层的研究提供了十分有利的条件。通常将我国地层划分为7个地层大区（王鸿祯，2000）（图 1-1）和若干地层区、地层分区，不同地层大区的基本特征简述如表 1-1。

表 1-1 中国地层大区的层序地层划分表

地质年代 Ma			构造 阶段	构造 运动	大层 序	中 层 序																
						华北		塔里木		扬子		青藏		准噶尔								
						升	0m	升	0m	升	0m	升	0m	升	0m							
显生宙	新生代Cz	新近纪N	23	喜马拉雅阶段	喜马拉雅运动 I	VIII			12				16									
		古近纪E	65		燕山运动 III								15									
	中生代	白垩纪K	145	燕山阶段	燕山运动 II	VII		12				14		6								
					燕山运动 I											13						
		侏罗纪J	200	印支运动 II	VI		11				12		5									
		印支运动 I		11																		
	三叠纪T	251								10												
	晚古生代	二叠纪P	299	印支-海西阶段	天山运动	V	9	{	10	{	12	{										
		8	9						11		▲						▲	▲	▲			
		石炭纪C	359		IV		8	▲	10	▲	9	▲	▲	▲	3	▲						
		泥盆纪D	416				7	6	8	▲	8	▲	2	▲								
		早古生代	志留纪S		444	加里东阶段	广西运动	III	3	{	5	{	7	{	6	{	▲	{				
			奥陶纪O		484						4		▲		5		▲		4	▲	1	▲
	寒武纪Є		Pz ₁	2	1						▲		3		▲		4		▲	3	▲	1
1																						
元古宙PT	新元古代Pt ₃	震旦纪Z	542	形成阶段	I			1		2		▲										
		630						1														
		南华纪Nh	800																			

注：I-VIII：层序代号；▲ 主要烃源岩。

二、古生代海相沉积体系特征

（一）沉积体系的概念

沉积体系（Depositional system）的概念最早由 Fisher Brown 和 MC Gowen 等，于 20 世纪 60 年代后期提出，并不断应用于沉积盆地分析中。不同的学者对沉积体系内涵的表述略有差异，Fisher 和 MC Gowen（1967，1969）认为沉积体系是相关的相、环境及伴随过程的组合；李思田（1992）认为沉积体系是成因上被沉积环境和沉积过程联系起来的相的三维组合。

每一种沉积体系可以包含多种沉积环境，每一种沉积环境以自身特有的沉积物、动物群、植物群及相关过程为特征。沉积体系和沉积相都是沉积体，沉积相是沉积体系的基本建造块体或单元。这些建造块体代表了特定的沉积环境，而这些成因相关的建造块体（沉积相）的组合体构成一个沉积体系。而两个以上反应相关的沉积体系过程或成因联系的沉积体系的成因组合就构成了沉积体系组（Depositional system assemblage），沉积体系和沉积体系组作为沉积盆地的生成、发展、演化过程的产物，它们反映了沉积盆地的构造背景及性质的演变过程。

（二）沉积体系类型划分

沉积体系的划分继承了沉积相划分的思想，是沉积相划分的继续和发展。油气储层评价技术（裴亦楠等，1997）强调了古气候（潮湿、过渡、干旱）、距离海洋的远近（近海内陆）、盆地类型（坳陷、断陷）等因素对划分盆地类型和沉积体系的控制作用。

Fisher 和 Brown（1972）划分和描述了自然界中 9 种主要的沉积体系，包括：①河流沉积体系；②三角洲沉积体系；③障壁岛—海岸平原沉积体系；④潟湖、海湾、河口湾和潮坪沉积体系；⑤大陆克拉通内陆架沉积体系；⑥大陆和克拉通内斜坡及盆地体系；⑦风化沉积体系；⑧湖泊沉积体系；⑨冲积扇和扇三角洲体系。WE 盖洛韦等（1989）提出了将陆源碎屑沉积体系划分为 8 种体系：①冲积扇体系（旱地扇、湿地扇和扇三角洲）；②河流体系；③三角洲体系；④碎屑海滨带体系；⑤陆源陆架体系；⑥陆源陆坡和盆地体系；⑦湖泊体系；⑧风成体系。

虽然沉积体系分析方法的运用已经非常广泛，但是对于沉积体系的划分却没有完全的同归方案（关士聪等，1984；刘宝珺等，1986；李思田等，1992；姜在兴，2003；陈洪德，2004）。其中具有代表性的分类有以下几种（表 1-2、表 1-3）

表 1-2 中国古生代海相沉积体系分类

相组（沉积体系组）	相区（沉积体系）	相带（相）
过渡相组	无障壁体系	三角洲相带
		滨海陆屑滩相带
		滨海沼泽相带
	有障壁体系	滨海陆屑相带
		潮坪潟湖相带
		沿岸滩坝相带

续表

相组（沉积体系组）	相区（沉积体系）	相带（相）
台棚相组	台地相区	闭塞台地相带
		半闭塞台地相带
		开阔台地相带
		凹槽台地相带
	台地边缘相区	台地边缘滩相带
		台地边缘礁相带
		台地前缘斜坡相带
	浅海盆地相区	陆棚内缘斜坡相带
		浅海陆棚相带
		陆棚边缘盆地相带
槽盆相组	浅海槽盆相区	
	深海槽盆相区	

（据陈洪德等，2004）

表 1-3 沉积体系分类

沉积体系组	沉积体系		相类型
大陆沉积体系组	沙漠		
	冲积扇		湿地扇、旱地扇
	河流		曲流河、辫状网、网状河
	湖泊三角洲		曲流河三角洲、辫状河三角洲、扇三角洲
	湖泊		硅质碎屑湖泊、碳酸盐岩湖泊、蒸发岩湖泊
海陆过渡沉积体系组	三角洲		河控三角洲、浪控三角洲、潮控三角洲、扇三角洲
	河口湾		
海洋沉积体系组	碎屑岩沉积	陆漂碎屑海岸	无障壁海岸、障壁海岸
		浅海陆棚	潮控陆棚，风暴浪控陆棚和海流控陆棚
		大陆斜坡	斜坡扇、滑塌堆积、进积复合林
		深海盆地	盆底扇、远洋浊流、远洋沉积
	碳酸盐岩沉积	浅水碳酸盐岩	碳酸盐岩台地、碳酸盐岩缓坡
		碳酸盐岩斜坡	沉积型斜坡、沟槽型斜坡、侵蚀型斜坡
		远洋盆地	盆底扇、远洋浊流、远洋沉积

（据陈洪德等，2005）

（三）沉积特征

1. 中新元古代

中新元古代为长城纪—青白口纪，经历了大约 $10 \times 10^8 \text{a}$ 的漫长历史。古元古代吕梁运动导致南北地壳发展差异，其构造格局控制了中新元古代的古地理轮廓及沉积岩相的差

异和分布。

中新元古代为泛海洋期，全国范围内海水浩瀚。中蒙边界为新蒙海域，塔里木至华北为北方海域，其南为昆秦海域，青海、西藏地区为青藏海域，中国南方为华南海域。古陆范围小而少，且多见于北方海域之内或边缘，自西而东主要古陆有塔里木陆、阿拉善陆、内蒙古陆、鄂尔多斯陆、鲁西陆、东北陆及其他一些小型陆地。

就海域性质而言，北方海域属浅海。其环境类型主要为潮坪、潟湖、台地和浅海。常见的沉积相为砂坪、泥坪、混合坪、开阔台地及浅滩。华北地区主要由各种类型的碳酸盐岩和砂泥岩组成，碳酸盐岩中富含叠层石及微古植物。豫西、晋南、陕南一带主要为火山岩夹碎屑岩，局部见碳酸盐岩。其他地区主要为碎屑岩夹碳酸盐岩。华南海域北区为台地相，南区为深海相，多数已变质的复理石相。中新元古代有4种主要沉积类型：第一种类型为长城系—蓟县系—青白口系，分布在燕山—太行山南端、豫陕至鲁南及贺兰山一带，沉积物主要为滨海浅海相砂泥质碎屑岩和碳酸盐岩，是沉积在早期固结的稳定陆核基底之上的裂隙槽构造环境的沉积组合；第二种类型是前震旦系褶皱基底地层，分布在塔里木地块和扬子地块地区，在古老的结晶基底之上连续沉陷的海盆里，发育了巨厚的过渡类型砂泥质碎屑岩和碳酸盐岩沉积，深凹陷中时有中基性火山岩喷发，在经历了强烈的晋宁运动之后，构成了第二个褶皱基底构造层，是一套中浅变质的地层；第三种类型分布在稳定地块伸向深海盆地斜坡的过渡地带，是以会理群为代表的半深海型沉积，由陆源碎屑岩、碳酸盐岩及少量火山岩组成；第四种类型是以盐边群为代表的深海型沉积，主要由复理石浊流沉积建造及中基性火山岩组成。

2. 震旦纪

震旦纪是中国地质发展的一个转折期。晋宁运动后的古地理面貌决定了震旦纪及其以后的海陆变迁。

在晋宁运动（塔里木运动）的影响下，海水大面积退出中国大陆，早震旦世海侵时期，仍留有大片陆地。中国北方天山至华北地区，为一东西走向的连片陆地，称北方陆，南方上扬子地区也未接受沉积，称上扬子陆。晚震旦世海域范围扩大，北方陆仅存华北一带，称华北陆；南方上扬子陆缩小为大理至个旧一带的岛屿。其他如塔里木陆、柴达木陆、羌塘陆等，范围均较小。

震旦纪的海域主要有4个，北方为新蒙海，青藏地区为青藏海，塔里木至青海一带为昆秦海，南方为华南海。从沉积特征分析，昆秦海域属浅海—深海，华南海域属半深海—深海（图1-2）。

早震旦世海域可分为滨海环境、台地环境、浅海环境和深海环境。滨浅海环境主要出现于古陆和岛屿周缘，沉积物主要为碎屑岩及冰川砾石，偶见少量碳酸盐岩。台地浅海环境出现于塔里木至青海、甘肃、藏南的广大地区，沉积物主要为石灰岩、白云岩和藻白云岩；深海环境存在于新蒙海、青藏海，以及华南海，为以硅质岩、泥质岩为主的非补偿盆地静水沉积或以类复理石为特征的槽盆沉积。

需要指出，晚震旦世的岩石类型与早震旦世有较大差别。晚震旦世扬子陆沉没为海，广泛发育台地相，在古陆周缘存在河流环境和大陆冰川环境沉积。

3. 寒武纪

寒武纪基本上继承震旦纪末期的古地理和构造格局，在稳定区如华北、塔里木和扬子

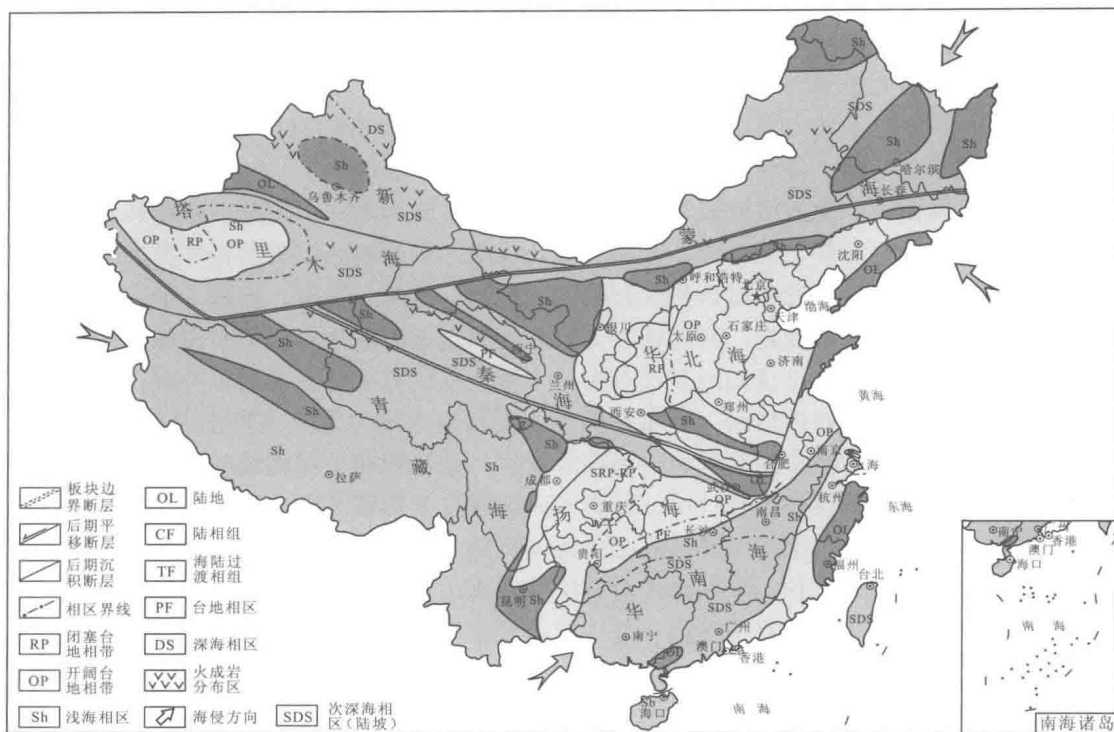


图 1-2 中国震旦纪岩相图
(据牟书令等, 2009, 修改)

等地区均为陆表海相沉积。自稳定型沉积区向其四周的边缘海、岛弧海乃至深海, 演变为过渡型和活动型的沉积区。

寒武纪海域范围较震旦纪进一步扩大, 最为突出的是华北陆沉没于水下。同时, 华北、扬子和塔里木之间被深水区隔开。中国北方主要有阿拉善陆、东胜陆及阴山—燕山岛; 南方主要有松潘陆、康滇陆、大别陆、江南岛及闽浙岛群。海域主要有北方的新蒙海、西南部的青藏海、西部的塔里木海、中部的昆秦海、东部的华北海、扬子海和华南海。

从中、晚寒武世的沉积特征分析: 华北海以台地相区为主, 除东胜陆以南分布有泥坪之外, 主要为浅滩和开阔台地, 沉积物主要是各类碳酸盐岩。扬子海以台地相区为主, 包括开阔台地相、闭塞台地相和台地边缘相。开阔台地相分布于昆明、贵阳、武汉一带, 主要岩石类型为碳酸盐岩; 闭塞台地相分布于昆明、成都、重庆地区, 岩石类型为石灰岩、白云岩及石膏; 台地边缘相位于都匀—常德一线。

华南海域属深水环境, 广西田东—湖南祁阳—江西丰城—玉山一线为盆地相, 主要为细碎屑岩、碳酸盐岩夹硅质、泥质岩; 西北侧及东南侧为浅海陆棚相, 发育碎屑岩、碳酸盐岩。

塔里木海域基本属台地与浅海, 但库南 1 井—满西 1 井—塔东 1 井一线以东为深水环境, 岩石类型近似于华南海盆地相, 为泥质岩夹硅质岩。

昆秦海域浅海—深海环境为类复理石与碳酸盐岩沉积。

4. 奥陶纪

奥陶纪在我国分布颇为广泛，尤其是早、中奥陶世海域辽阔，在地质历史上形成了最大的海侵期，其与下伏寒武纪地层之间大多表现为整合接触。海陆分布的大致轮廓与海侵范围基本上继承了晚寒武世的古地理格局。

奥陶纪的海陆分布与寒武纪大体相同，只是个别陆地范围缩小，如川滇陆缩小为康滇岛。但是，早奥陶世之后，华北（包括鄂尔多斯主体）地区整体上升为陆。

奥陶纪的海域有新蒙海、青藏海、塔里木海、昆秦海、华北海、扬子海和华南海。主要的陆有柴达木陆、羌塘陆、阿拉善陆、阴山燕山陆、大别陆。

华北海、塔里木海和扬子海为台地与浅海环境，昆秦海和华南海为深海环境，新蒙海近年见有深海沉积的报道。青藏海的属性尚不清楚。

扬子台地沉积相主要有3种类型：闭塞台地相分布于云南东川—四川自贡—绵阳一线以西，常见的岩石类型是泥质岩、细碎屑岩、白云岩和石灰岩；该线以东为开阔台地相，多为碳酸盐岩和少许碎屑岩组成；广西百色—贵州都匀—湖南常德—江西九江—安徽石台一线为台地边缘相，主要岩性为发育生物碎屑滩的碳酸盐岩。

华北台地，主要为碳酸盐岩潮坪、开阔台地及浅滩相。塔里木台地，主要为闭塞台地海—开阔台地相，其沉积剖面主要由碳酸盐岩和碎屑岩组成。

华南海深水沉积可分出两种类型，广西柳州—桂林—江西赣州—浙江金华一线以北为次深海相，以南为深海相。前者的岩石主要为泥晶灰岩、泥质岩和细碎屑岩，后者主要为碎屑复理石。昆秦海域属以碎屑复理石为特征的深海环境。塔里木海东部库南1井—满西1井—塔东1井以东仍为深水沉积区。

5. 志留纪

奥陶纪晚期中国普遍发生海退，在尚存残留海水之际，志留纪海侵随之而至。早志留世同奥陶纪晚期相比，有些地区海陆轮廓大体相似，有些地区变化明显，但志留纪总的趋势是陆地面积逐渐扩大，海域面积则相对较小。

志留纪的海陆格局大体与晚奥陶世相同。海域主要有新蒙海、塔里木海、昆仑海和扬子海。陆地主要有华北陆、羌塘陆、柴达木陆、西南陆和华夏陆。

昆秦海属深海环境，主要沉积为碎屑复理石。塔里木海和扬子海为海陆过渡相与台地环境，主要为砂泥坪、混合坪、三角洲及浅海陆棚碎屑岩。

扬子浅海沉积剖面的下部，常见厚约100 m的半封闭滞留海盆暗色笔石页岩沉积。滇北、黔北一带早志留世晚期，海侵扩大，沉积碳酸盐岩，并见珊瑚礁灰岩和有孔虫点礁。

6. 泥盆纪

泥盆纪的古地理与早古生代相比发生了很大的变化，主要是陆地面积扩大。由于志留纪末期的加里东运动，使祁连海槽与华南海槽封闭或缩小，上升为陆，致使塔里木、柴达木、华北地台和上扬子、江南、华夏古陆分别连成一片，组成广阔的中华陆和华南陆。华北古陆一直处于隆起剥蚀状态，古陆内部无沉积。塔里木—柴达木古陆（包括祁连山）沿其周围的山间盆地或近海平原，发育有陆相红色碎屑岩，并有海相夹层。上扬子陆与康滇古陆南北连成一体，并向东与下扬子陆和江南古陆连接。华夏古陆（可能包括福建东部及台湾）为早古生代早、中期褶皱隆起，至中、晚泥盆世，古陆的北、西、南三面才

接受陆相或海陆交互相的沉积。志留系沉积之后，在中国大陆范围发生大规模的海退。泥盆纪是古生代海域范围最小的时期。泥盆纪的海主要有新蒙海、秦岭海和南方海。新蒙海在早、中泥盆世向西与准噶尔一带的海连为一个海域，至晚泥盆世才退至东北一隅。

南方海在早泥盆世海水仅侵至滇黔桂交界的南盘江一带，中泥盆世向西北扩展至黔南，向东北扩展至湘中粤西一带，至晚泥盆世海域进一步扩大，向西达滇东。向东、向北侵入闽西南、赣西、鄂中，直到下扬子地区。

泥盆纪古陆不多，但面积大。华北与塔里木连为一体，构成中华陆；南方最主要的是扬子陆、浙赣陆及羌塘陆。此外，在新蒙海中，于现今的准噶尔盆地和松辽盆地的位置各有一小块陆地。在古陆内部或其周缘，时见陆相的泥盆系。

海相泥盆系主要见于秦岭海和南方海。秦岭海域主要为深海环境，主体部位为厚度巨大的变质碎屑岩夹大理岩及中、基性火山岩，在近古陆的部位为浅水碎屑岩和碳酸盐岩。南方海的深水区主要位于黔南、滇东、广西及湘中、湘南一带，由深水区向外依次为浅海、台地、闭塞台地、海陆过渡沉积。

泥盆纪南方海域的深水盆地与早古生代的深水盆地有所不同，呈现由若干个孤立台地和裂陷台盆组成的孤立台地与台—盆相间的古地理格局。裂陷台盆内的沉积主要是泥质岩、硅质岩和泥晶灰岩；孤立台地上主要为石灰岩、生物碎屑灰岩、鲕粒灰岩和白云岩。在孤立台地的边缘还常发育有生物礁或滩，如广西中泥盆世沉积。

7. 石炭纪

石炭纪是在泥盆纪的背景上发展起来的，除阴山古陆、秦岭古陆、塔里木古陆、上扬子古陆、华夏古陆、江南古陆、羌塘古陆、佳木斯古陆等继续隆起遭受剥蚀外，其余广大地区均遭受到程度不同的海水侵漫，或在隆起的边缘与海侵的过渡地带具有陆相或海陆过渡相沉积，但其分布范围、沉积类型和所处的古地理位置及古构造的格局有密切的关系。概括地说，在广阔的地台上，如华北地台、华南地台、塔里木地台和藏北、藏南地区，多属稳定类型沉积，而昆仑—秦岭、藏中—滇西、天山—兴安等地区，为活动类型沉积；介于两个类型之间的过渡地带，则为过渡类型沉积。石炭纪沉积类型比较齐全，海相、陆相、海陆交互相均有完整的剖面。早石炭世的海陆格局与晚泥盆世相近。至晚石炭世，发生了自晚奥陶世以来最大的海侵，连片的大型古陆消失，尤其华北至塔里木连片的北方陆全部沉没于水下。

石炭纪的海主要有新蒙海、北方海和南方海；陆区主要有华北陆、准噶尔陆、塔里木陆、柴达木陆、陇西陆、华夏陆和扬子陆。

石炭纪的沉积环境，除新蒙海域东段和青藏海域的环境属性尚不够清楚之外，其他主要为台地与浅海，深水区范围较小，仅见了南盘江地区、塔里木西缘和川藏南缘，以及吐鲁番一带（图 1-3）。

南方海域的深水区与泥盆纪一样，深水中也存在着若干个孤立台地，各台地间为深水裂陷槽。孤立台地的岩石主要为块状灰岩、生物灰岩；裂陷台盆内主要为泥晶灰岩、页岩和硅质岩。南方海域的其他地区为台地与浅海环境，石炭纪早期一般水体浑浊，有较多的泥质岩和碎屑岩；晚期水体较清澈，主要为碳酸盐岩。

北方海主要为海陆过渡相沼泽、三角洲、河口坝、沙坝、海湾潟湖，局部有碳酸盐岩台地相。

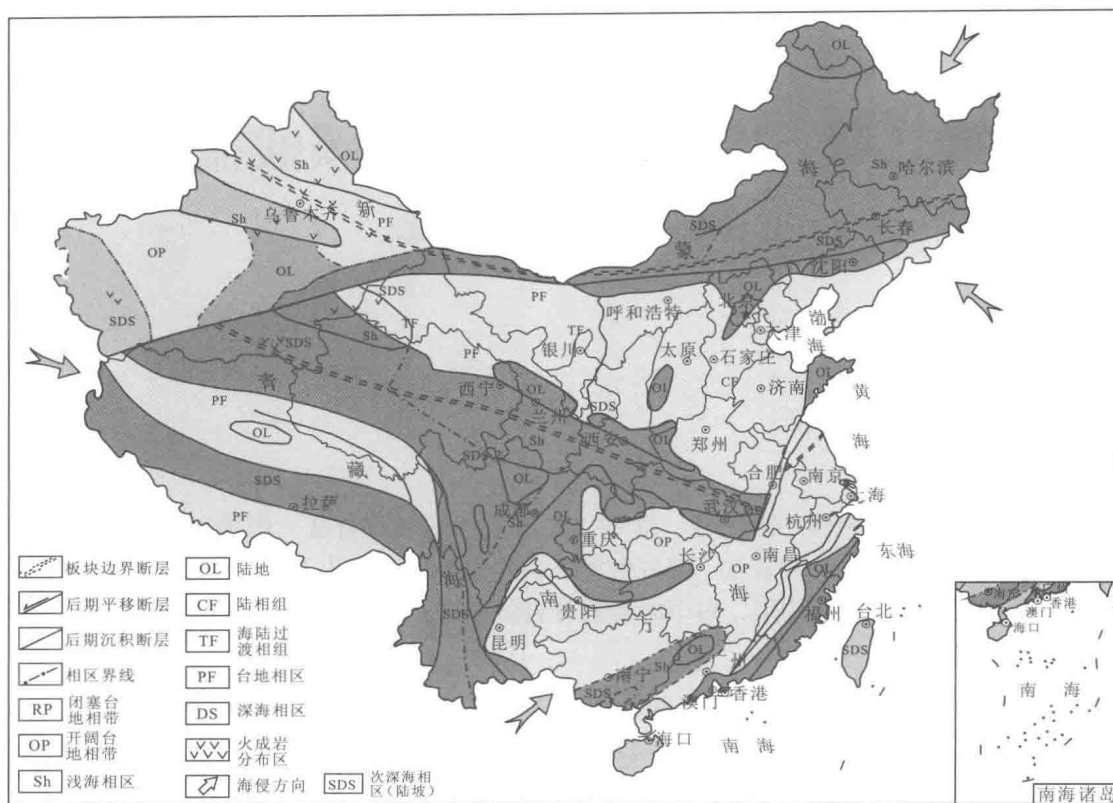


图 1-3 中国石炭纪岩相图
(据牟书令等, 2009, 修改)

塔里木海主要为海陆过渡相和发育蒸发岩的闭塞台地相, 如沙 10 井周缘。

石炭纪地层分布广泛, 根据沉积特征和生物群落的标志, 可将我国石炭纪气候分为北部温带潮湿区、中部热带—亚热带干旱—潮湿交替区和西南寒温区。

8. 二叠纪

二叠纪是我国地史上的一个重要的变动时期, 海西晚期的构造运动使二叠纪的海陆变迁发生了新的变化。华北—塔里木古陆继续上升为陆地; 在这个陆地上, 河流纵横、湖泊遍布, 形成陆地沉积环境。而华南与藏南地区, 则是稳定的陆棚海沉积环境。在活动的海槽区, 如准噶尔—兴安海槽和滨太平洋海槽, 其变动尤为突出; 早期海相沉积巨厚, 晚二叠世挤压褶皱, 包括稳定地区亦发生抬升运动, 导致海水全部退出, 陆地面积不断扩大, 海盆不断缩小。

第二章 中国古生界海相碳酸盐岩 地表岩溶特征

一、地表岩溶分布

(一) 地表溶岩特征

1. 在时间上分布

在时间上具有长期性、阶段性、继承性和新生性的发育特征。中国以南方地区（表 2-1），特别是桂林地区发育最佳。晚古生代末期的构造运动成陆之后，经历了印支期、燕山期、喜马拉雅期的岩溶作用，每个时期都有岩溶形成。以晚三叠世、晚白垩世及第四纪为主要发育期。

表 2-1 中国南方主要岩溶省（区）喀斯特化阶段划分对比

地区		湖北	贵州	云南	广西
第一 喀斯特化期	白垩纪末—渐新（中新）世	鄂西期 标高 1300 ~ 2100 m, 山脊天际线，喀斯特洼地，槽谷	大娄山期 标高 1600 ~ 2500 m, 残丘洼地，红色砾岩堆积	高原期 标高 2500 m 以上， 天际线，最高分水岭。洼地漏斗、峰林	凤凰期（峰丛期） 标高 500 m 以上。 以峰丛地形为特征
第二 喀斯特化期	渐新（中新）世—更新世初	山盆期 标高 800 ~ 1200 m, 开阔谷地，洼地坟丘，叠置洼地漏斗	山盆期 标高 1000 ~ 1500 m, 大型洼地，坡立谷、洞穴、峰林地形，可分两个亚期	石林期 标高 1500 ~ 2000 m, 地形平坦开阔，大型洼地，坡立谷、峰林地形，高原面上分布石林	峰林期 标高 500 m 以上。 以峰林地形为特征
第三 喀斯特化期	更新世—全新世	三峡期 地壳强烈抬升，河谷深切，多层洞穴	乌江期 河谷深切、反平衡剖面，阶地及成层洞穴，厚的包气带形成	南盘江期 标高 300 ~ 400 m, 峡谷、洞穴	孤峰期（红水河期） 河流显著下切，孤峰，洞穴

除前印支期的岩溶，尚不知确切地质年代外。印支期已发现 22 处，多数属晚三叠世形成的，规模小。燕山期 350 多处岩溶，形成于晚白垩世的有 344 处，分布广，规模较大。喜马拉雅期仅有几处主要形成于第四纪，但出露地表者，规模较小。

在不同岩溶发育期，在时空上岩系呈连续叠复发育者为继承性，反之，为新生性。因此，大范围内不同时期的岩溶是新生性，以致全区广泛分布各时期的岩溶；局部地方，岩