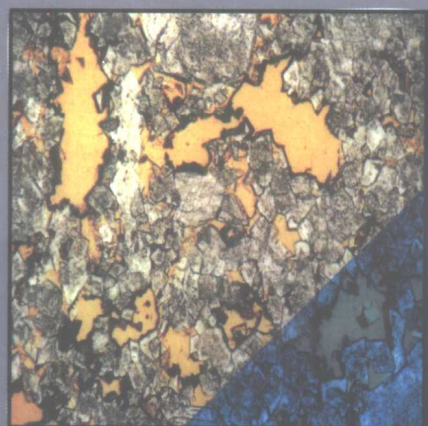
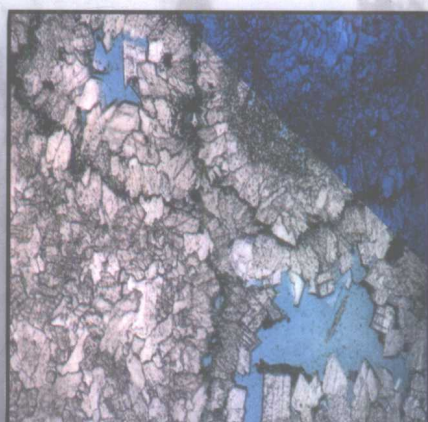
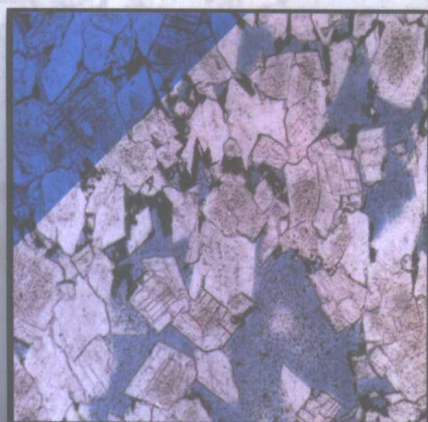


TANSUANYANYAN CHENGYAN ZUOYONG JI CHUCENG

碳酸盐岩成岩作用及储层

——以中国四川东部石炭系为例

钱 峰 黄先雄 等著



学(北京)

8.24

05

石油工业出版社
PETROLEUM INDUSTRY PRESS

碳酸盐岩成岩作用及储层

——以中国四川东部石炭系为例

钱 崢 黄先雄 等著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书在川东石炭系大地构造背景、沉积物埋藏史及沉积环境分析的基础上,通过对大量岩心样品的实验测试和综合分析,较系统地研究了碳酸盐成岩环境对成岩作用及储层的影响。按碳酸盐岩成岩过程中地层及孔隙水的演变,可分为海水域、大气淡水域及地层水域成岩作用带,并可进一步识别出6种差别较大的成岩环境。研究表明,在烃源岩热演化过程中释放的有机酸对地层水成岩环境孔隙影响较大;早期及表生期大气淡水成岩环境对储层物性改造明显,本书通过实际资料建立的成岩模式是储层预测的理论基础。

本书对从事碳酸盐岩地区石油天然气勘探的科研、生产技术人员有重要的参考价值,可供大专院校有关专业师生使用。

图书在版编目(CIP)数据

碳酸盐岩成岩作用及储层:以中国四川东部石炭系为例/钱峥等著.
北京:石油工业出版社,2000. 4
ISBN 7-5021-2956-1

I. 碳…

II. 钱…

III. ①碳酸盐岩-成岩作用-研究

②碳酸盐岩-储集层-研究

IV. P588.24

中国版本图书馆CIP数据核字(2000)第16073号

石油工业出版社出版

(100011 北京安定门外安华里二区一号楼)

北京密云华都印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米16开本 8.625印张 4插页 192千字 印1—1000

2000年4月北京第1版 2000年4月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-2956-1/TE·2293

定价:20.00元

前 言

根据天然气田(藏)的地质特征及天然气资源的分布状况,我国可划分为六个天然气(油)区,即中部气区、东部油气区、西部气油区、海域气油区、南方天然气远景区和青藏油气预测区;四大含气领域:以碳酸盐岩为主的下古生界—前寒武系含气领域、以碳酸盐岩和煤系为主的上古生界—三叠系含气领域、以陆相碎屑岩为主的中生界—下第三系含气领域、以生物气和生物—热催化过渡带及次生气藏为主的上第三系—第四系含气领域(王庭斌,1996)。中部气区以四川盆地及鄂尔多斯盆地为主,是中国天然气层气的主要分布地区,以碳酸盐岩天然气和煤成气为主,主要赋存在下古生界—前寒武系含气领域及上古生界—三叠系含气领域,其中65%的天然气资源赋存在三叠系—石炭系,34%赋存于奥陶系—震旦系,只有1%赋存在侏罗系中。四川盆地是目前我国最大的天然气盆地,探明储量占全国天然气总量的36.46%,产量占全国总产量的45%,而四川盆地的主要产气区在川东地区石炭系。

川东地区石炭系自1977年发现工业气流以来,已成为我国重要的大中型天然气产区之一,并对此地区陆续进行了多学科、多方位的研究,其中对双家坝、大池干井、五百梯等天然气田进行了储层综合研究,在“八五”期间对川东石炭系进行了较为全面的区域储层研究。但是,对具广阔分布面积的川东石炭系碳酸盐储层来说,有效储层类型多样、成岩作用复杂,深入开展成岩作用与储层的研究,对于认识川东大中型天然气田成藏机制及成岩圈闭的形成及分布规律,具极为重要的现实意义。

在川东天然气区勘探初期的1977—1983年期间,主要寻找背斜圈闭为主的构造天然气田,发现了9个中小型天然气田;到1987年为止,从地震及概念模式上对高陡背斜进行了重新认识,又成功地发现了5个大中型天然气田;目前主要在明月峡及华蓥山以西寻找勘探目标,已不容易从大的含气构造寻找突破口,需要研究大中型天然气田成藏机理以及成岩作用对储层的控制来考虑下一步勘探方向。

随着碳酸盐岩储层研究的不断深入,日益显示出碳酸盐岩成岩作用在孔隙演化过程中不可忽视的影响。相关学科的引进及储层测试新技术的应用,使得深入研究碳酸盐沉积物形成后的演化过程对成气成藏的控制作用成为可能。首先,在川东地区对石炭系构造、地层及岩性圈闭研究及认识达到一定程度后,对碳酸盐岩储层成岩史的研究,不仅仅是寻找成岩圈闭的迫切需要,更是研究由于成岩改造对已形成的构造及岩性圈闭的储集性能所产生重要影响的要求。综合运用电子探针、扫描电镜、阴极发光及包裹体等多种实验测试手段,确定成岩作用序列、划分成岩阶段,建立不同成岩环境的成岩模式;从胶结物形态、胶结物分布类型及与颗粒的接触关系方面,结合地球化学方法,进行川东石炭系碳酸盐成岩作用研究。其次,开展碳酸盐次生孔隙的形成机理研究,划分孔隙成因类型,以典型成岩圈闭为例探讨成岩作用对储层展布的控制,并根据不同成岩环境建立的成岩模式进行储层预测。本书的研究成果将为川东地区石炭系天然气工业深化勘探和扩大勘探新区提供理论依据。

由于川东大部分地区石炭系仅存上统黄龙组(C_2h),因此,确定为本次研究层位的石炭系实际上主要是黄龙组。作为主力天然气产层的上石炭统黄龙组为超覆在泥盆系和志留系之上的一套白云岩夹灰岩层,富含蓝绿藻和生物碎屑,岩溶角砾岩分布普遍,溶蚀孔、洞和裂缝发育,残余厚度一般在20~44m,黄龙组上段区域对比标志自然伽马呈双峰高值,全区分布稳定,上覆盖层为下二叠统梁山组。

通过成岩作用及储层孔隙演化的系统研究,针对川东石炭系大面积分布同生干裂角砾白云岩及颗粒白云岩条带状展布的特点,结合黄龙组沉积、古生物及地球化学特征,建立了“蒸发膏盐湖—潟湖—陆表海”碳酸盐岩沉积相模式,较好地解释了川东石炭系黄龙组沉积相展布规律。并且在大量薄片、扫描电镜观察(结合电子探针、X衍射、包裹体等测试手段)的基础上,结合川东石炭系碳酸盐埋藏历史、有机质演化及孔隙流体性质的变化,针对川东石炭系成岩作用特点,将川东石炭系碳酸盐岩成岩作用划分为4个阶段、3个成岩环境带及6种类型成岩环境。通过胶结物形态、微量元素、碳和氧同位素等进行成岩标志的识别,分布系数 D 值计算微量元素孔隙水中的浓度,进行了成岩环境的定量恢复。

川东石炭系碳酸盐成岩作用对储层的形成及演变具重要的影响作用。大气淡水成岩环境及有机酸影响的埋藏溶解作用,在川东石炭系碳酸盐岩储集孔隙演化过程中起到了十分关键的作用。在川东石炭系碳酸盐岩储层储集空间的结构—成因分类的基础上,充分考虑孔隙、裂缝、喉道及溶洞对孔渗性的影响,划分出7种孔隙结构类型、5种典型岩性储层及4类储层。通过卧龙河、明月峡构造成岩圈闭实例的解剖,阐述了川东石炭系成岩圈闭形成机理,可较好地解释川东石炭系气水界面复杂的原因之一;通过建立大气淡水孔隙演化成岩模式及埋藏溶解作用孔隙演化模式,可进行碳酸盐岩储层预测。

本书主要由钱崢博士执笔和统编,参加具体编写有关章节及部分工作的还有黄先雄(石油勘探开发科学研究院)、李淳(石油大学)、孔金祥(四川石油管理局勘探开发研究院)、徐卿莲(胜利石油管理局地质科学研究院)、李任伟(中国科学院)、姜在兴、邱隆伟、赵立芳、潘慧芳、鲁洪波(石油大学)。在研究过程中得到了中国科学院叶连俊院士、李任伟研究员的指导,还得到了四川石油管理局勘探开发研究院领导和有关人员、石油勘探开发研究院陈丽华教授,石油大学赵澄林教授、郝石生教授、中科院地质所罗晓容、研文贵的大力帮助和支持,同时得到了中国科学院重点项目“KZ952-S1-428”的资助,在此一并表示感谢。

由于笔者水平所限,书中不足及错误之处,敬请读者不吝赐教。

作 者

1999年8月于石油大学(华东)

Carbonate Diagenesis and Reservoirs of the Carboniferous in the East Part of Sichuan Basin, China

Abstract

Based on investigations of the geotectonic, burial history, depositional environment and facies architecture of the Carboniferous in the east part of the Sichuan basin, this book describes carbonate diagenesis and reservoir characterization comprehensively by microscope observations, cathode luminescence, X-diffraction and fluid inclusions analyses, cement geochemistry. Four diagenetic stages were postulated for the Carboniferous carbonate in the studied area, which included singenesis-hyposingenesis, eogenetic, hypergene and mesogenetic stages. The author made a great contribution to identification of the diagenetic remarks in geological history of the carbonate, which include the petrography-cement morphology, distributional patterns, stable isotopes compositions, trace elements and so on. The formation waters were studied in detail so that the waters in the diagenetic environments were divided into shallow water normal marine, evaporative marine, meteoric, meteoric in mature, mineralogically stable, burial diagenetic environment. The diagenetic model of meteoric and meteoric in mature, mineralogically stable were built up in this study, which provided a theoretical foundation to reservoir prediction. Trace element incorporation was controlled by the distribution coefficient D in the diagenetic waters. Oxygen and carbon isotopes composition were applied to analysing the paleo-temperature, salinity of pore water and meteoric and biochemical influences, which are useful for restoration of diagenetic environment.

The porosity of carbonate were controlled by diagenetic environment. During the thermal evolution of organic matter in burial diagenetic environment, a great quantity of organic acids released from source rock can increase the porosity obviously. The meteoric diagenetic environment also has great influence on the porosity of carbonate rock. Based on the fabric and original classification of carbonate porosity, there are seven porosity structures, five types of carbonate rock and four types of reservoirs of the Carboniferous in the east part of Sichuan basin, on consideration of pores, caverns, throat and fractures. Two case studies of the Wuolonghe and Mingyuexia structure revealed the forming mechanism of diagenetic traps. The reservoir distribution of the Mingyuexia is predicted by combining the diagenetic models with geophysics data.

目 录

第一章 川东石炭系地质概况	(1)
第一节 地层	(1)
一、川东石炭系	(2)
二、区域地层对比	(4)
第二节 构造背景	(6)
一、基底地质特征	(6)
二、构造发展史	(7)
第二章 川东石炭系沉积相及沉积环境	(9)
第一节 沉积相	(9)
一、岩石学标志	(9)
二、古生物标志	(10)
三、地球化学标志	(11)
第二节 沉积环境及相模式	(12)
一、沉积环境	(12)
二、沉积相模式	(14)
第三章 川东石炭系碳酸盐成岩环境	(19)
第一节 概述	(19)
一、成岩环境带及其控制因素	(19)
二、成岩孔隙水演化模式	(21)
第二节 海水成岩环境带	(24)
一、蒸发海水成岩环境	(24)
二、正常浅海成岩环境	(26)
第三节 大气淡水成岩环境带	(27)
一、大气淡水成岩环境	(27)
二、表生期大气淡水成岩环境	(34)
第四节 地层水成岩环境带	(36)
一、概述	(36)
二、成岩作用特点	(37)
三、有机酸对次生孔隙形成的作用机制	(39)
第四章 川东石炭系碳酸盐成岩阶段与孔隙演化	(42)
第一节 川东石炭系成岩阶段	(42)
一、成岩阶段划分	(42)
二、胶结物地球化学特征	(45)
三、烃源岩有机质演化	(50)
四、白云石有序度特征	(52)
第二节 川东石炭系孔隙演化与成岩史	(53)
一、孔隙演化	(53)

二、成岩史	(55)
第五章 川东石炭系碳酸盐岩孔隙分类及储层评价	(60)
第一节 碳酸盐岩储层孔隙分类	(60)
一、原生孔隙与组构选择	(60)
二、次生孔隙与非组构选择	(62)
第二节 储集空间结构类型及储层评价	(66)
一、储集空间结构类型	(66)
二、储层评价	(68)
第六章 川东石炭系成岩圈闭形成机理及储层预测	(71)
第一节 成岩圈闭形成机理及实例	(71)
一、成岩圈闭形成机理	(72)
二、成岩圈闭实例	(73)
第二节 明月峡构造储层预测	(79)
一、成岩相展布	(79)
二、地下裂缝渗透率的求取	(81)
三、储层物性纵向分布特征	(83)
四、储层物性平面分布特征	(88)
附录 A：碳酸盐岩成岩阶段划分依据	(97)
附录 B：碳酸盐岩储层岩心描述内容	(105)
参考文献	(115)
图版及图版说明	

CONTENTS

CHAPTER 1. GEOLOGICAL SURVEY OF CARBONIFEROUS IN THE EAST PART OF SICHUAN BASIN, CHINA	(1)
STRATA	(1)
Carboniferous in the East Part of Sichuan Basin	(2)
Strata Correspond in Regional	(4)
TECTONIC BACKGROUD	(6)
Geological Characteristics of Basin Basal	(6)
Evolution of Tectonic Movements	(7)
CHAPTER 2. DEPOSITIONAL ENVIRONMENTS AND FACIES	(9)
Depositional Facies	(9)
Facies signs of lithology	(9)
Facies signs of paleontology	(10)
Facies signs of geochemistry	(11)
Depositional Environment and Facies modes	(12)
Depositional environment	(12)
Depositional facies modes	(14)
CHAPTER 3. DIAGENETIC ENVIRONMENTS	(19)
SURVEY	(19)
Diagenetic Environments and the Dominating Factors	(19)
Evolution of Pore Water in Diagenesis	(21)
MARINE ENVIRONMENT REALM	(24)
Evaporative marine diagenetic environment	(24)
Shallow water of normal marine environment	(26)
METEORIC DIAGENETIC ENVIRONMENT REALM	(27)
Meteoric Diagenetic Environment	(27)
Meteoric Diagenetic Environment in Mature	(34)
BURIAL DIAGENETIC ENVIRONMENT REALM	(36)
SURVEY	(36)
Characteristics of Burial Diagenesis	(37)
The Effect of Organic Acids to Secondary Porosity	(39)
CHAPTER 4. DIAGENETIC STAGES AND EVOLUTION OF SECONDARY	(42)
POROSITY	(42)
Digenetic Stages	(42)
Geochemistry of Cements	(45)
Thermal Evolution of Organic Materials	(50)
Degree of Order in Dolomites	(52)
EVOLUTION OF SECONDARY POROSITY AND DIAGENETIC HISTORY	(53)

Evolution of Secondary Porosity	(53)
Diagenetic History	(53)
CHAPTER 5. THE CLASSIFICATION OF CARBONATE POROSITY AND RESERVOIR VALUATION	(60)
THE CLASSIFICATION OF CARBONATE POROSITY	(60)
Primary Porosity and Fabric Selectivity	(60)
Secondary Porosity and Not Fabric Selectivity	(62)
STRUCTURE PATTERNS OF RESERVOIR PORE SPACES AND RESERVOIR VALUATION OF	(66)
Structure Patterns of Reservoir Pore Spaces	(66)
Natural Gas Reservoirs Valuation	(68)
CHAPTER 6. FORMATION MECHANISM OF DIAGENETIC TRAPS AND RESERVOIR PREDICTION	(71)
FORMATION MECHANISM OF DIAGENETIC TRAPS AND EXAMPLES	(71)
Formation Mechanism Of Diagenetic Traps	(72)
Examples of Diagenetic Traps	(73)
RESERVOIR PREDICTION OF MINGYUECIA STRUCTURE	(79)
Diagenetic Facies Distribution	(79)
Calculation of Subsurface Fissure Permeability	(81)
Vertical Distribution of Reservoirs Physical Property	(83)
Plane Distribution of Reservoirs Physical Property	(88)
A. DIAGENETIC STAGES DIVIDING IN CARBONATE ROCKS AND THE PRINCIPLES	(97)
B. DESCRIPTION OF DRILLING CORE IN CARBONATE ROCK RESERVOIR	
PHOTO PLATE (I-VIII)	(105)
REFERENCES	(115)

第一章 川东石炭系地质概况

第一节 地 层

依据所处大地构造位置,川东石炭系属扬子地层区中下扬子地层分区川东地层小区,其地理分布见图 1-1。川东石炭系是介于下伏志留系与上覆二叠系两个侵蚀面之间的碳酸盐岩残层,东部的下扬子区石炭系沉积较全,位于西侧的上扬子区则分布不全。石炭系沉积范围西界可达川中东部广安、渠县之西,南界位于重庆、涪陵之北,北界位于平昌附近至宣汉、开县之北,东界位于鄂西的七跃山,东北角为一窄道从云阳向东与下扬子区相连(图 1-2)。

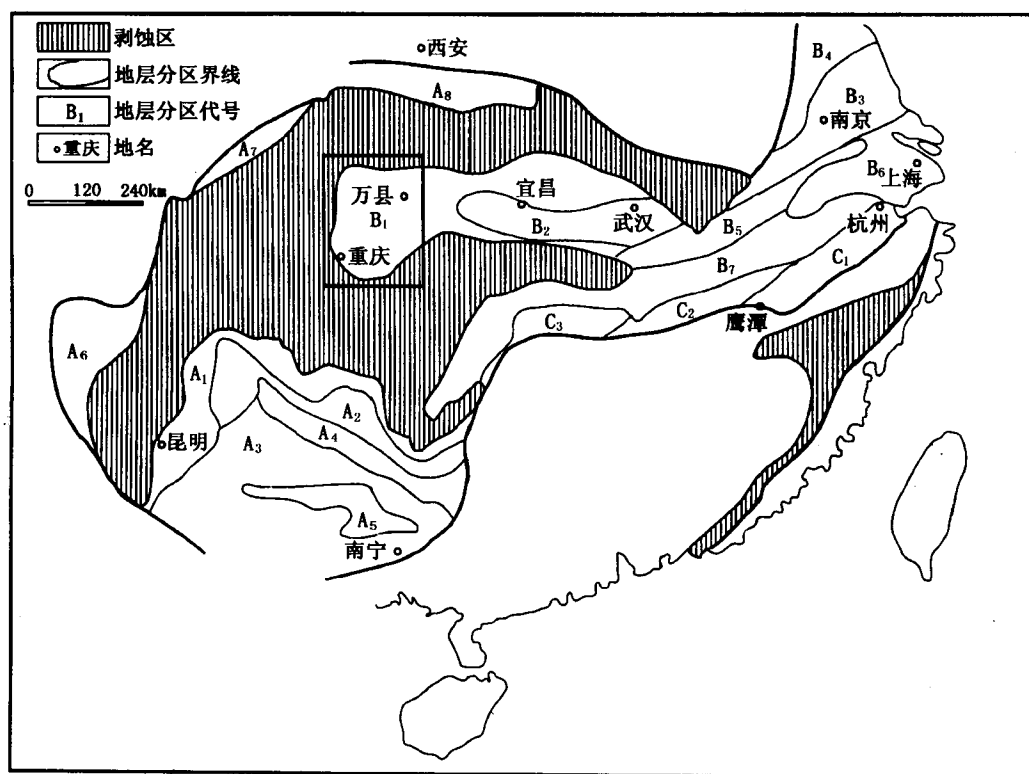


图 1-1 川东地区石炭系地理位置及扬子地层分区图

上扬子地层分区: A₁—乌蒙—雪峰地层小区, A₂—威宁—罗城地层小区, A₃—南盘江—桂中地层小区, A₄—罗甸—南丹地层小区, A₅—广南—百色地层小区, A₆—金沙江地层小区, A₇—龙门山—大巴山地层小区, A₈—南秦岭地层小区; 中下扬子地层分区: B₁—川东地层小区, B₂—鄂西地层小区, B₃—滨海—洪泽地层小区, B₄—南京—巢州地层小区, B₅—铜陵地层小区, B₆—宜兴—宣城地层小区, B₇—屯溪—修水地层小区; 长沙—杭州地层分区: C₁—钱塘江地层小区, C₂—高乐地层小区, C₃—湘长地层小区

1. 下石炭统和州组

顶部为浅灰褐色砂质白云岩，上部至下部为灰色至灰白色细一中粒云质砂岩及石英砂岩夹褐灰色砂质白云岩。砂岩分选及磨圆均较好，硅质或云质胶结，残余厚度为0~5m，仅出现于东部云阳、忠县一带。

2. 上石炭统黄龙组

川东地区石炭系黄龙组主要为潟湖沉积，为白云岩、角砾白云岩、石灰岩及角砾灰岩，下部夹有石膏岩，岩性复杂，横向变化快。沉积后曾遭严重剥蚀，各地残存层位和厚度很不一致，局部可缺失，最厚的雷2井钻厚达91m。通过对工区取心井段岩心系统描述、薄片观察及古生物资料分析，黄龙组可划分为下、中、上三段。

1) 黄龙组下段 (C₂h₁)

以雷2井为代表，岩性以灰白色石膏岩及石灰岩为主，夹薄层白云岩、生物碎屑白云岩及生物碎屑灰岩。川东广大地区主要以深灰—灰黑色角砾灰岩及石灰岩为主，夹白云岩、角砾白云岩及石膏岩。

石膏岩主要分布于达县雷音铺、亭子铺、垫江张家场、开江沙罐坪及万县高峰场等地；角砾灰岩及石灰岩以泥、粉晶结构为主，具白云石化标志；薄层白云岩及角砾白云岩主要分布在下部，主要见于开江—垫江一线以东地区，泥、粉晶结构。除有蓝绿藻外，罕见其它生物。常具膏模、盐模、叠层石、砾中砾、“帐篷”、“鸟眼”、示底构造等。“云/方”（岩石化学分析白云岩与方解石含量之比）与“锶/方”（指同一岩样光谱分析的锶元素含量与岩石化学分析的方解石含量之比）比值相对较低，比较稳定。硅铝含量相对较高，见少量陆源石英碎屑。纹理较发育，多呈平行连续状。底部常有志留系风化残积物。

厚度除雷2井23.6m因石膏岩增厚较特殊外，一般在3~8m之间，具西部厚、东部相对较薄的趋势。

2) 黄龙组中段 (C₂h₂)

以灰褐色夹深灰色角砾白云岩及泥粉晶白云岩为主，常见生物碎屑角砾白云岩和生物碎屑白云岩，偶见鲕粒白云岩、晶粒石灰岩、生物碎屑灰岩、生物碎屑角砾灰岩或鲕粒灰岩等。

角砾白云岩与泥粉晶白云岩以泥、粉晶结构为主，偶见中粗晶。角砾大小不一，砾径一般为1~5cm。生物碎屑白云岩与生物碎屑角砾白云岩横向变化快。鲕粒白云岩与各种石灰岩多呈薄层状，主要夹于中上部，侧变更快。生物门类和含量各地相差甚大，常见者为蓝绿藻及有孔虫，其余门类有红藻、絮类、棘皮类、腕足类、腹足类、双壳类、介形虫、珊瑚、苔藓虫及钙球；获 *Profusulinella* sp., *Eostaffella chongzuoensis*, *E. irenae*, *Schubertella* sp. 及 *Millerella* cf. *umbilicata* 等絮类化石, *Choristites* sp., *Dielasma* sp., *Martinia* sp. 及 *Cleiothyridina* sp. 等腕足类化石, *Bradyina* sp., *Carbonella* sp., *Plectogyra* sp., *Globivalvulina* sp. 等16个非絮有孔虫属（其中以 *Tolypammina* sp., *Glomospira* sp. 及 *Palatextularia* sp. 较普遍），以及 *Dvinella* sp. 等化石。目前仅见于本段的有 *Profusulinella* sp. (茆1井), *Millerella* cf. *umbilicata* (池9井), *Choristites* sp. (池9与雷9井), *Dielasma* sp. (茆1井), *Martinia* sp. (茆1井), *Cleiothyridina* sp. (茆1井), *Carbonella* sp. (门2井), *Plectogyra* sp. (池9井), *Lituotuba* sp. (成2井) 和 *Nodosaria* sp. (卧48、门2井) 等化石。常具干裂、纹理、砾中砾、生物搅动、叠层石、“鸟眼”、生物钻孔，以及泥晶套、核形石、“帐篷”、交错层理、冲刷面、示底等沉积构造。“云/方”与“锶/方”比值相对较高，起伏波动较大；Fe/Mn 比值与硅、铝含量一般下部低，上部相对较高，近顶部常有一较高区；断续状纹理较发育。

厚度以门2井—池9井一带最厚,分别为41.1m及40.7m,向四周则逐渐变薄,一般厚为10~25m。

3) 黄龙组上段 (C₂h₃)

以浅灰、深灰色石灰岩、角砾灰岩及生物碎屑灰岩为主,夹白云岩、角砾白云岩及生物碎屑白云岩。雷2井顶部夹有薄层鲕粒灰岩,鄂西官店口一带则为浅灰色块状生物碎屑灰岩夹灰岩。

干裂、水平纹理、鸟眼构造由西向东渐少,结构以泥、粉晶为主,偶见中粗晶。生物门类增多,除中段所见化石外,还见三叶虫及海绵骨针,且单个门类的数量也增多,有蓝绿藻、有孔虫、絮类、棘皮类及腕足类等;获 *Fusiella* sp., *Fusulinella* sp., *Schubertella sichuanensis*, *S. gracilis* 等絮类化石,以及15个非絮有孔虫属,常见者有 *Glomospira* sp., *Tolypammina* sp., *Palaeotextularia* sp. 及 *Bradyina* sp. 等化石,但变化亦较大,如雷2与板1井 *Tolypammina* sp. 均较普遍,而间于其间的成2井则无。川东目前仅见于本段者,有 *Fusulinella* sp. (成2井), *Fusiella* sp. (雷2、张2井), *Tournayella* sp. (成2井) 及 *Ammoboculites* sp. (门2、雷2、成2井) 等化石。东至鄂西官店口潮下沉积区,絮类骤增,有 *Fusulinella bocki*, *F. protracta*, *Profusulinella pseudorhomboides*, *P. cf. rhomboides*, *Fusiella* sp., *Fusulina schellwinei* (staff), *Eostaffella* sp., *Schubertella lata* var. *elliptica*, *T. laxa* 及 *T. laxa* 等非絮有孔虫化石。“云/方”与“铈/方”比值较低并且稳定,硅铝含量一般较高,Fe/Mn 比值常呈连续的高值。厚度以西部较大,雷2井与板1井最厚,分别为41.7m及40.5m,一般在10~20m之间。

综上所述,川东石炭系黄龙组下段以石灰岩为主,常夹白云岩、石膏岩,色深,纹理较发育,生物稀少;中段以白云岩为主,夹少量薄层石灰岩,纹理断续,生物较丰富;上段以石灰岩为主,夹白云岩,纹理较少,生物丰富,石灰岩的大套出现则是上段的明显标志。

二、区域地层对比

川东上石炭统黄龙组分段特征明显,在研究区内具较好的对比性,在扬子地层区范围内与黔西威宁阶所建的三个絮带相吻合,并可进行区域性对比(表1-1)。

1. 黄龙组下段

相当于黔西滑石板组,在川东地区与下伏中志留统呈平行不整合,鄂西及其以东与下伏老地层呈平行不整合或角度关系。向东至鄂西建始官店口,下部为灰色砂质条带角砾灰岩及灰质砂岩,上部为含砾、砂屑粉晶灰岩,获 *Bradyina* sp., *Globivalvulina* sp., *Climacammina atava* 等,再向东经长阳、嘉鱼、黄石至安徽怀宁,环江南古陆经皖南贵池、铜陵、泾县、广德、宜兴、吴县、桐庐至高安,共同特征皆为灰白色白云岩和角砾白云岩,偶夹石灰岩及角砾白云质灰岩,江南古陆北缘常有底砾岩,生物稀少,厚度一般小于10m。

安徽巢县至宁镇山,浙江嘉兴至浙西江山;前者生物骤增,后者岩性突变。巢县一带以浅灰色姜块状石灰岩为主,底为钙质砂质泥岩和含白云质灰岩,产 *Aulina rotiformis*, *Arachnolasma* sp., *Dibunophyllum* sp., *Chaetetes cf. rossicus*, *Linoproductus* sp., *Striatifera* sp. 等宁镇地区,以灰白色灰质白云岩为主,含燧石结核,于龙潭等地获 *Lithostrotion mccoynum*, *L. irregulare asiaticum*, *L. marginocystatum*, *Clisiophyllum cf. Modavense*, *Arachnolasma irregulare*, *A. aff. equiseptatum*, *Yuanophyllum kanouense* var. B 等。

2. 黄龙组中段

相当于黔西威宁组的 *Profusulinella* 带。以 *Profusulinella* 的出现为下限,上界止于 *Fusu-*

linella 或 *Fusulina* 的出现。

鄂西建始官店口和宣恩长潭河黄龙组中段均为白云岩或角砾白云岩, 向东至长阳马鞍山变为白云质灰岩, 再向东至江汉盆地海 12 井变为白云岩与石灰岩不等厚互层, 过嘉鱼经鄂东黄石至皖南怀宁、铜陵, 环江南古陆边缘鄂东南通山, 赣北彭泽、高安、苏南吴县、浙北桐庐, 皆为白云岩, 时有硅质结核或条带。鄂北京山金泉寺和宜昌梯子口亦为白云岩或角砾白云岩, 含硅质结核或条带。仅江南古陆东北缘苏南宜兴及皖南泾县至广德一带, 上部为石灰岩或粗晶灰岩。黄石螺壳山获 *Staffella pseudosphaeroidea*, *Profusulinella marblensis*, *Pseudostaffella composita*, *Eofusulina* cf. *trianguliformis*, 怀宁平头岭获 *Staffella* aff. *degmarae*, *S. pseudosphaeroidea*, 宜兴丁蜀青龙山获 *Profusulinella* sp., *P. wangyui* var. *yentaiensis*, *Eofusulina triangula*, *Pseudostaffella* sp. 等, 宜兴丁蜀获 *Lithostrotionella belinskiensis*, *L. stylaxia*, *Caninia lipoensis*, *Chatetes lungtanensis* 等珊瑚, 厚度一般为 20~40m。

宁镇地区、安徽巢县及浙北嘉兴一带, 黄龙组中段为灰白色块状石灰岩, 特征为常具粗晶灰岩。于江宁金丝岗获 *Profusulinella atelica*, *P. simplex*, *P. paratimanica*, *P. constans*, *P. montichomata*, *P. parva*, *P. spicata*, *Taitzehoella* sp., *Eofusulina rasdorica*, *Lithostrotion* sp., *Choristites* sp. 等, 厚 10~20m。浙西兰溪至江山一带, 变为以碎屑岩为主, 夹少量泥灰岩和石灰岩。兰溪柱杆山获 *Profusulinella* sp.; 江山何家山获 *Caninia* sp., *Protomichelina* sp., *Sinopora* sp., *Spirigerella media*, *Hustedia* cf. *deminuta*, *cleiothyridina* *kiangshanensis*, *Choristites abnormalis*, *C.* cf. *nikitiformis*, *Terebratuloidea* sp., *Dielasma* sp., *Eomarginifera* sp., *Productella* sp., *Dictyoclostus* sp. 等。

因此, 扬子区黄龙组中段岩性除下扬子至浙西一带为石灰岩或碎屑岩较特殊外, 皆以白云岩为主, 厚度变化不大, 一般为 10~40m。生物较下段丰富, 保存较好。*Profusulinella* 的出现与岩性密切相关, 主要见于石灰岩中, 如江宁金丝岗和宜兴丁蜀青龙山, 甚至在浙西兰溪黄龙组中段为一套粗碎屑岩沉积, 而于其所夹石灰岩中亦获有该带化石; 白云岩中虽亦获 *Profusulinella*, 但甚少, 粗晶灰岩中则无, 此二者可能与白云石化和重结晶作用有关, 生物已遭不同程度的破坏。

3. 黄龙组上段

相当于黔西威宁组 *Fusulinella-Fusulina* 带。始于 *Fusulinella* 或 *Fusulina* 的出现, 顶与船山组(川东地区为梁山组)呈平行不整合或整合接触。川东地区生物门类增多, 除中段所见外, 尚见三叶虫及海绵骨针, 常见有蓝绿藻、有孔虫、絮类、棘皮类及腕足类等。在扬子区, 上段均为灰—灰白色厚层、块状石灰岩, 仅局部地区时有鲕粒或假鲕粒灰岩, 含硅质结核或条带, 近古陆边缘偶有少量碎屑岩。生物丰富, 以絮和有孔虫为主, 次为腕足类和珊瑚, 偶有瓣鳃类。厚 40~100m, 以浙北桐庐冷坞 181m 最厚。上段除川东地区外, 以岩性单一, 石灰岩致密、质纯, 生物丰富为其特征, 有絮类 15 个属, 有孔虫 15 个属, 腕足类 13 个属, 珊瑚 8 个属 1 个亚属。

第二节 构造背景

一、基底地质特征

石炭纪时期由扬子陆块、华夏陆块和钦防残余洋三部分组成了南方板块。扬子陆块在晋

宁运动固结,加里东期克拉通化。加里东末期除龙门山和滇东外,全部隆起为陆。晚古生代初转为拉张,扬子陆块发生构造分异,周边不同程度地裂谷化变为被动陆缘或克拉通边缘断陷。中下扬子拗陷区系在泥盆纪拗陷盆地上发展起来的板内克拉通盆地,地层较薄,岩相分布较稳定,延伸近千公里,其岩性、生物群均酷似,上石炭统的全区可对比性强。因具有一定活动性的克拉通特点,亦称之为“准地台”,它对川东石炭系天然气成藏具有重要的控制作用。

①因川东属相对稳定的准地台,不像地槽那样过于活动而破坏油气藏,也不像地台那样过于稳定以致于基底盖层太薄或沉积盖层极平缓不利于油气的运移、聚集。川东介于二者之间而更接近地台,故沉积了10km左右的沉积盖层,具有多个天然气生、储、盖组合,形成了石炭系作为区域性天然气储层的基础。

②川东基底为上元古界板溪群的浅变质岩、板岩。该基底较川中的刚性基底软,较北部大巴山加里东褶皱带的基底硬。此特点决定了志留纪末的晚加里东运动使川东上升为陆时,成为地形平坦但略有起伏,这种微地貌特征是控制黄龙组沉积时期微相展布及颗粒白云岩大面积分布的重要因素之一。

由于川东基底较软,喜山运动使川东成为四川盆地内褶皱最强的地区,形成了天然运移的裂缝通道及聚集保存天然气的圈闭。

二、构造发展史

中国南方石炭纪时存在四大板块分立的构造格局,每一板块均由一个克拉通及其边缘的加里东褶皱带组成。尽管两个构造属性不同的地质单元已经汇聚为一个板块,但一定程度上它们仍各自保留着其原有的一些特征,诸如基底断裂系的方位、基底活动性等,以致同一板块上存在着不同的构造体系,不同性质的基底,不同类型的沉积盆地,并形成不同的建造类型。因此,各构造单元的特征仍应以二级构造单元为准。同沉积断裂又将各地块分成隆拗相间的次级构造单元。

研究区位于四川盆地东部,属于扬子准地台的三级大地构造单元。在加里东期及海西期,地壳运动是以与张裂活动伴生的升降运动为特色,未发生过与挤压活动有关的断褶运动。晚加里东运动对四川盆地来说,是一次影响深远且涉及范围颇广的地壳运动,地壳持续抬升,志留系遭受了长期的风化、剥蚀,致使盆地内川东地区普遍缺失了泥盆系。川东地区的石炭系沉积就是在风化夷平后的志留系顶面上发育起来的,早石炭世时川东地区古地形的总体特征是西高东低、略有起伏不平。自西向东呈古地形低缓凸起带与低洼带相间分布的北北东及北东向条带状格局,其中相国寺→邻北→福成寨及长寿东→梁平→开江为缓凸起;而卧龙河→七里峡→雷音铺→沙罐坪→大天池及高峰场→云安厂→碚村西为低洼带,在缓凸起与低洼带内还有次级凸起及洼地。另外在相国寺东、高峰场有两条同生古断层,云安厂构造带之南为可能的古断层,古断层高盘边缘成为小陡坎。凸起带与低洼带间的相对高差一般为2~5m,最大不超过12m。石炭纪末期的云南运动在本区表现为短暂的抬升,在整个晚石炭世期间,工区内古地形具有继承性。

经云南运动形成的二叠纪初期的陆相含煤沉积,与下伏石炭系呈平行不整合接触。东吴运动的主要表现是地壳的张裂活动,以大规模的玄武岩喷发为特征。研究区内部分地区在二叠系底部见到的玄武岩可以证明该期构造运动的影响。在玄武岩喷发的同时,地壳形成裂缝,区内发育的拉张断裂亦属该期产物,这些断裂的延伸方向与现今构造线的走向近似。