

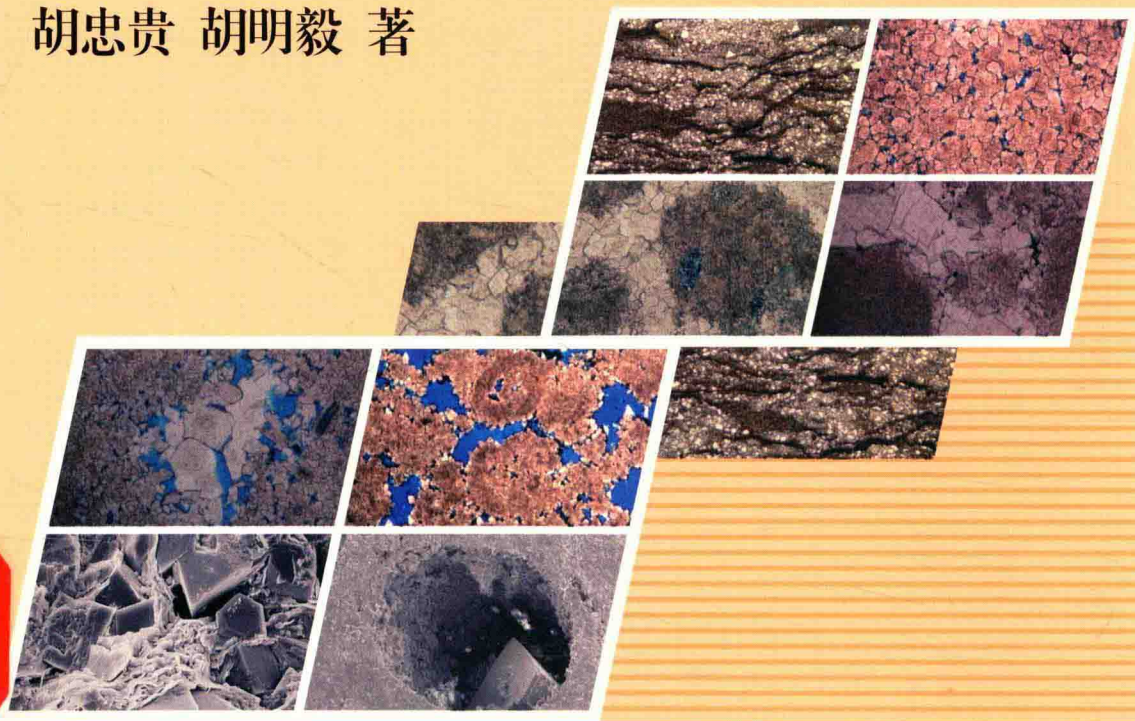
川东地区

石炭系白云岩成因及储层特征

CHUANDONG DIQU

SHITANXI BAIYUNYAN CHENGYIN JI CHUCENG TEZHENG

胡忠贵 胡明毅 著



石油工业出版社

川东地区石炭系白云岩 成因及储层特征

胡忠贵 胡明毅 著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书以川东地区石炭系为研究对象,在沉积相和层序地层分析的基础上,建立了相模式,落实了岩相古地理和古岩溶背景;采用岩矿、沉积地球化学分析手段,深入研究了石炭系黄龙组白云岩的成因类型及形成机理,建立了白云岩成因模式;以物性分析资料为基础,剖析了黄龙组白云岩储层物性特征;结合白云岩储层发育主控因素,预测了川东地区黄龙组有利储集发育区带。

本书可供研究白云岩成因问题和从事白云岩相关储层勘探的专业人员参考,也可作为高校相关专业师生的参考书目。

图书在版编目(CIP)数据

川东地区石炭系白云岩成因及储层特征/胡忠贵,胡明毅著.
北京:石油工业出版社,2016.12

ISBN 978-7-5183-1535-2

I. 川…

II. ①胡…②胡…

III. ①白云岩-矿物成因-研究-四川

②白云岩-储层特征-研究-四川

IV. P588.24

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2016)第 245658 号

出版发行:石油工业出版社

(北京市朝阳区安华里 2 区 1 号楼 100011)

网 址: <http://www.petropub.com>

编辑部:(010)64523579 图书营销中心:(010)64523633

经 销:全国新华书店

排 版:北京乘设伟业科技有限公司

印 刷:北京中石油彩色印刷有限责任公司

2016 年 12 月第 1 版 2016 年 12 月第 1 次印刷

787 毫米×1092 毫米 开本:1/16 印张:8 插页:12

字数:240 千字

定价:69.00 元

(如出现印装质量问题,我社图书营销中心负责调换)

版权所有,翻印必究



前 言

川东地区的油气勘探从 19 世纪 30 年代就已经开始了,20 世纪 80 年代前以二叠系、三叠系裂缝性储层气藏为勘探目标,此后进入石炭系孔隙型储层气藏勘探阶段。川东地区石炭系在华蓥山溪口、丰都狗子水等地有出露,但因出露厚度仅为 10m 左右,在 20 世纪 30 年代至 50 年代并没有引起地质工作者的注意而被忽视,所以长期以来人们都认为石炭系在川东地区甚至四川盆地大部分地区基本上都缺失。1965 年 8 月在川东蒲包山背斜上钻的第一口探井,于二叠系和志留系之间钻获 39m 厚的溶孔白云岩,完钻测试产水 $3.38\text{m}^3/\text{d}$,但未获工业气流,故对本层也未引起重视,仅对层位的归属进行了简单的讨论,误认为是泥盆系。1977 年前后,为石炭系储层的气藏的重要发现时期,当年 5 月在相东潜伏构造高点开钻相 8 井时又在二叠系和志留系之间钻遇了一层厚 17.5m 的白云岩,这是川东地区第二次在下二叠统梁山组以下钻获的孔隙型白云岩储层,从而引起了广大石油地质研究人员的密切关注。该段白云岩溶孔发育,储集物性好,对比邻区资料,认为可能属于石炭系,但未经化石定层,当时定为“石炭系?”或命名为“哑层”。为落实该段白云岩的层位和含气情况,决定在相国寺构造主体上钻相 18 井,钻探目标即为该层白云岩。1977 年 10 月在钻穿二叠系后,钻遇的该层白云岩厚 13m,溶孔非常发育,单层测试获 $85.05 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 高产气流,而后根据薄克氏小纺锤虫等化石鉴定证明该产层属于石炭系黄龙组。经过进一步的勘探和试采,获得了相国寺石炭系气藏,从而揭开了广大川东地区天然气勘探史上崭新的一页。

近 40 年来,围绕川东石炭系黄龙组白云岩储层的勘探已经取得巨大成效,超过该区天然气探明储量的 50%,因而在川东地区乃至整个四川盆地的勘探中占有举足轻重的地位。根据已有勘探开发资料,石炭系黄龙组储层几乎全为白云岩,即使是岩溶角砾岩储层,也以白云质岩溶角砾岩的物性更好,表明黄龙组储层与白云石化作用关系极为密切,因此白云石化作用机理、形成时期、发育程度和产出特征无疑是控制黄龙组储层发育和区域分布的关键因素。

白云岩的成因问题是碳酸盐岩岩石学中最复杂、争论时间最久、最难解决的问题之一。20 世纪 50 年代以来,人们通过对许多地区现代白云岩和古代白云岩的大量研究,提出了多种白云岩成因模式。白云岩的岩石学特征及地球化学特征、空间分布规律、沉积相类型及岩相古地理特征是建立白云石化模式的基础。根据多年来前人的研究成果,古代白云岩的成因大致归纳为多种模式,每一种白云石化作用机理均具有不同性质的白云石化流体、流动方式及地质背景,在同一背景及同一地层中可以存在几种白云石化作用。近年来,众多学者对川东地区在内的黄龙组白云岩储层成因进行了较为深入的研究,将其解释为准同生(蒸发泵)、渗透回流、混合水和埋藏白云石化等多种成因模式,但仍然观点不一、存在争议。此外,对于该区黄龙组碳酸盐岩储层,前人以白云岩为专题研究的成果相对较少。因而,为了弄清川东地区石炭系白云

岩成因机理,建立适合于本地区的白云岩成因模式,以及对白云岩与储层发育的关系进行分析,有必要通过系统的岩矿分析、地球化学分析及物性分析手段开展白云岩成因和白云岩储层研究,为解决白云岩成因问题提供研究实例,也为川东地区深化白云岩相关的储层勘探提供参考。

本书共分八章。第一章阐述了川东地区石炭系的构造—沉积演化和地层划分及特征;第二章阐述了石炭纪沉积相类型、层序地层特征及层序格架内岩相古地理演化规律,建立了晚石炭世黄龙期碳酸盐潮坪—海湾陆棚沉积相模式,重点论述了黄龙组白云岩发育的沉积古地理背景;第三章阐述了黄龙组的岩溶相特征,重点叙述了白云岩受到古表生期岩溶作用改造后的岩石学特征及发育的岩溶地貌背景;第四章阐述了黄龙组白云岩岩石学特征,通过各类型白云岩宏观和微观特征的识别,将白云岩划分为四种成因类型,其中成岩期埋藏成因的白云岩发育最为普遍;第五章在分析国内外白云岩成因机理的基础上,利用碳氧锶稳定同位素、微量元素、稀土元素等地球化学分析手段,阐述了不同成因类型白云岩的成因机理;第六章通过分析白云石化作用的主控因素,建立了川东地区黄龙组白云岩的形成模式;第七章利用薄片鉴定、扫描电镜、物性分析等手段,重点阐述了白云岩储层的岩石学特征、储集空间类型及物性特征等;第八章在储层主控因素分析的基础上,结合黄龙组气源条件、储集条件、运移条件、保存条件和圈闭条件等分析,对川东地区黄龙组有利储集发育区带进行了预测评价。

本书由胡忠贵和胡明毅编写完成。统编和定稿工作由胡忠贵完成。参加野外工作和室内研究工作的还有蔡全升、代龙、黎荣、韩露、左洛滔、腾飞、秦鹏等。在研究过程中,得到了成都理工大学沉积地质研究院郑荣才教授的精心指导,成都理工大学沉积地质研究院文华国教授,中国石油勘探开发研究院廊坊分院副院长魏国齐教授级高工、地质所书记杨威教授级高工、室副主任刘满仓高工,中国石油西南油气田公司郑超高工、周刚高工,以及重庆气矿相关专家的指导和帮助,在此一并表示最诚挚的感谢。

本书是笔者在多年来从事川东石炭系相关研究的基础上总结的重要成果。本书的出版得到了国家自然科学基金(41402090)、湖北省自然科学基金创新群体项目“碳酸盐岩岩溶储层成因机理及分布预测研究(2015CFA024)”、长江大学“长江青年人才基金(2015cqr09)”和“长江青年科技创新团队基金(2015cqt04)”的共同资助,紧缺战略矿产资源协同创新中心和非常规油气湖北省协同创新中心也给予了经费资助。

由于笔者水平有限,书中定有诸多不妥之处,敬请广大读者批评指正。

著 者
2016年6月

目 录

第一章 区域地质背景	(1)
第一节 区域构造背景	(1)
第二节 地层特征	(8)
第二章 层序—岩相古地理特征	(13)
第一节 沉积相特征	(13)
第二节 层序地层学特征	(22)
第三节 层序地层格架内岩相古地理特征	(35)
第三章 岩溶相特征	(44)
第一节 岩溶相标志	(44)
第二节 岩溶相划分	(47)
第三节 古岩溶地貌特征	(48)
第四章 白云岩岩石学特征	(52)
第一节 白云岩类型及特征	(52)
第二节 白云岩成因类型划分及特征	(54)
第三节 白云岩矿物学特征	(56)
第五章 白云岩成因机理	(60)
第一节 白云岩成因研究现状	(60)
第二节 白云岩的地球化学特征及成因解释	(66)
第六章 白云岩成因模式	(82)
第一节 白云石化作用的主要控制因素	(82)
第二节 白云岩的形成模式	(83)
第七章 储层特征与成岩作用	(86)
第一节 岩石类型及特征	(87)
第二节 储集空间类型	(89)
第三节 储层物性与孔隙结构	(92)
第四节 储层成岩作用	(100)
第八章 储层控制因素及有利区带预测	(105)
第一节 储层主控因素	(105)
第二节 有利储集区带分布	(111)
参考文献	(114)
图版	(123)

第一章 区域地质背景

第一节 区域构造背景

一、区域构造分区

四川盆地位于四川省龙门山断裂以东及重庆市境内,周缘出露下古生界和元古宇,四周由高山围绕,北为米仓山、大巴山,南为大凉山、娄山,西为龙门山、邛崃山,东以七曜山为界。以现在陆相地层分布边界计算,盆地面积约 $18 \times 10^4 \text{ km}^2$ (汪泽成等,2002)。盆地周缘地形具有西高东低、北陡南缓的特点。该盆地属于“扬子准地台”上的一个次级构造单元,是中—新生代以后发展起来的大型构造和沉积盆地。根据盆地内部现今构造展布特点,可将其分为川东南断褶带(斜坡高陡构造区)、川中地块区(平缓构造区)和川西断褶带(坳陷低陡构造区)等三个大的分区(图 1-1),还可进一步分为川北低褶带、川西低隆褶皱带、川中平缓褶皱带、川西南低陡褶皱带、川东高陡褶皱带和川南低陡褶皱带等六个次级构造区。

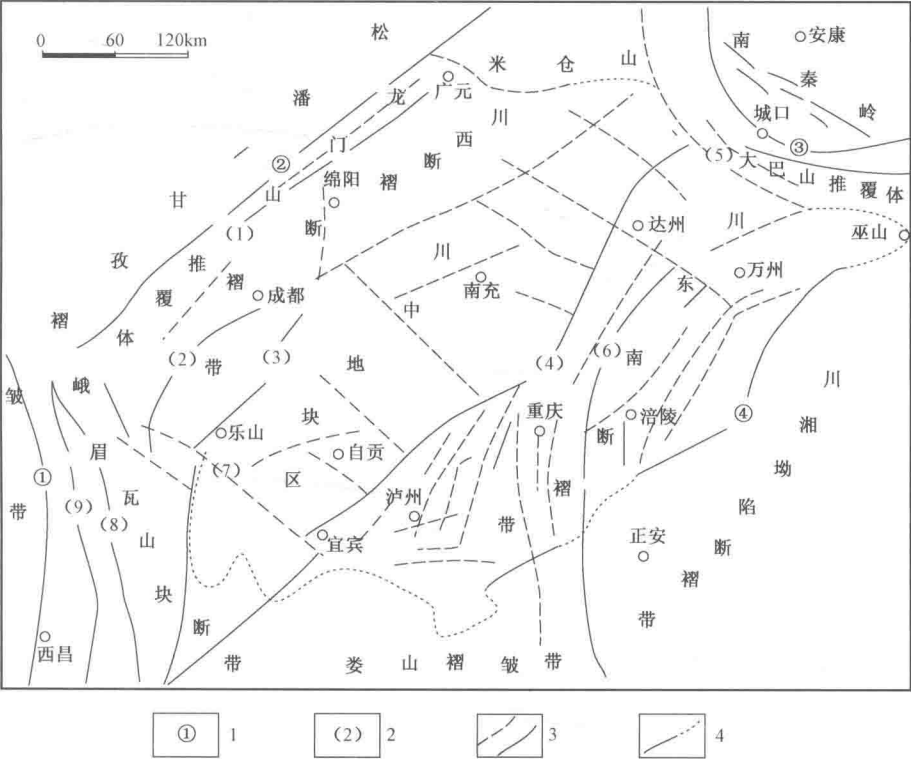


图 1-1 四川盆地构造纲要及构造分区示意图(据童崇光,1992)

1—岩石圈深大断裂:①安宁河,②龙门山,③城口,④七曜山;2—地壳深大断裂:(1)彭灌,(2)熊坡,(3)龙泉山,(4)华蓥山,(5)巫溪—铁溪,(6)黄泥堂,(7)峨眉—瓦山,(8)甘洛—小江,(9)普雄—普渡河;3—盖层深大断裂(含基底断裂);4—盆地范围

二、川东断褶带特征

川东断褶带也叫川东弧形褶皱带,西起华蓥山,东至七曜山,南达南川—开隆一线,东北以万源断裂带与大巴山相接,面积约 $5.5 \times 10^4 \text{ km}^2$,是四川盆地稳定地块中相对活动的构造区(胡光灿等,1999;徐国盛等,2005)。区内自西向东发育有 NE—NNE 向隔档式褶皱构造,由于其地貌反差大(背斜成山,向斜成谷),地层倾角陡,因此,被形象地称为高陡构造或高陡背斜(图 1-2)。

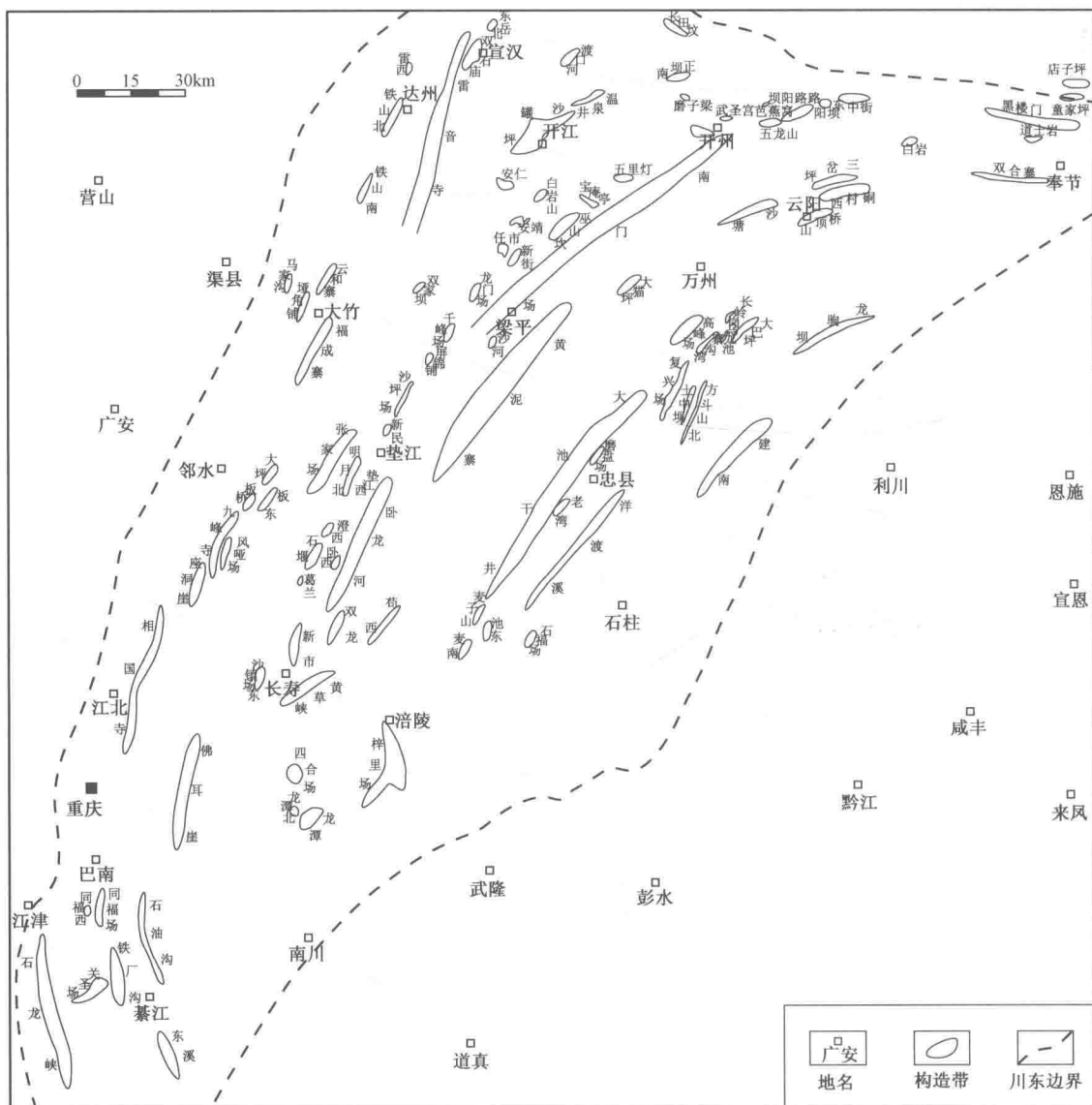


图 1-2 川东弧形褶皱带构造分布图

川东弧形褶皱带西以华蓥山深大断裂带与川中平缓构造区分界明显,东至七曜山深大断裂带,区内具双重基底结构,基底埋深 9~10km,是长期地史发展中的区域古斜坡。晚三叠世前,本带为向东南倾斜的古构造斜坡,其后转向西北倾斜。本带褶皱强烈,与川中地区构造面

貌截然不同。在华蓥山深大断裂带西侧的接壤带,三叠系及以下地层虽被深大断裂带叠掩,但仍保持川中平缓构造特色,仅浅层受深大断裂带向西逆冲牵引的影响而变陡。

喜马拉雅期,来自太平洋板块向西北俯冲的强大挤压力,通过川东的弱磁性基底和沉积盖层传递到长期隆起的川中刚性基底,受该基底的抵挡而派生出大小相等、方向相反的构造作用力,致使川东地区在褶皱变形过程中长期持续对峙挤压,造就出以北东—南西轴向为主的一系列近于平行的线形梳状褶曲。因构造作用力的方向变换,两翼倾角既有西陡东缓,也有东陡西缓,还有两翼近于对称的箱状背斜。就区内构造受力状况来看,或因挤压构造作用力的不均匀,或因接壤带两侧基底刚硬不一,或受周边山系构造线的制约,水平力偶扭动而使构造轴线作S形或反S形扭曲。与大巴山相邻的构造因受大巴山北西向转为东西向弧形山系的影响,构造轴线渐转为北东东甚至东西向,而在开江以北造就出北东与北西向构造线的十字形复合型式,显现出川东地区无论在内部还是周边均存在多期次构造力的干扰复合,是典型的挤压扭动型褶皱变形区。以下仅就川东弧形褶皱带基底特征、断裂特征及褶皱特征分述如下。

(一)基底特征

从基底特征来看,在川东地区与震旦系不整合接触的下伏地层为浅变质的一套褶皱地层,磁场特征显示为平静的负异常,基底岩系以华蓥山深大断裂为界,与川中块体的刚硬基底岩系有明显区别。川东块体的磁性特征向南可延至贵州、滇东、湘西及桂西北地区,说明基底岩系中有相当于湘黔地区的板溪群、云南地区的昆阳群,推测为板溪群分布区,基底埋深6~10km,中心位于石柱—涪陵一带,范围一直扩展到滇东、贵州、桂中及湘西地区,总体显示为平静的负磁场背景,与川中地区有明显差别。从地壳测深剖面上看,板溪群以下的结晶基底埋深7~23km,地震波速度为6.0~6.1km/s,而在川中地区连续存在的结晶基底的更坚硬的花岗岩层(地震波速度为6.2~6.3km/s)则缺失,从而使上地壳刚性相对薄弱,这可能控制了川东及湘、鄂西强烈的褶皱变形。

(二)断裂特征

四川盆地断裂构造非常发育,但川东地区地表断裂构造出露较少,主要出现于高陡背斜的轴部,呈北东向断续分布。根据大量地震剖面的解释,地腹断裂构造非常发育,常出现在背斜的轴部或陡翼,断面倾向复杂,既有倾向北西,也有倾向南东的。多组断裂剖面上常组成冲起构造和构造三角带,其中位于川东褶皱带西部边界的华蓥山断裂和东部边界的七曜山断裂最为醒目和重要。

1. 华蓥山断裂

华蓥山断裂北起万源,经达州南达宜宾,在华蓥山天池、宝顶一带连续出露50km以上,其他地段多隐伏于地下或断续出露,全长达500km。在地表出露部分,华蓥山断裂由主断裂与次级分支断层组成。主断裂由2~3条断层组成,构成的断裂带走向为NE25°∠40°,断面倾向南东,倾角大于45°,一般为60°左右。该断裂带在平面展布上,具有向北汇拢、向南散开的特性。断层上盘最老地层为寒武系,剖面上可见上寒武统推覆在下三叠统飞仙关组之上,地貌上形成高崖,断距达2000m。断裂带内发育构造密集劈理带、构造碎裂岩,以及密集节理带。在华蓥市水泥厂一带,构造碎裂岩主要由雷口坡组的角砾状碳酸盐岩组成,角砾岩又被密集的劈理带所切。这一现象表明,该断裂具有两期活动,早期可能具有张性特征,晚期表现为压性。

卫星图片上,该带显示非常明显的线性特征,是川东褶皱带与川中地块的分界线(赵裕辉,2005)。重力、磁力资料均表明沿此带为异常转换带和梯度带。重力图上,该断裂带分布

于-95mGal至-115mGal的异常带上。航磁资料表明,北西侧为宽缓正异常,南东侧为宽缓平静的负异常。据地震资料,在川南古佛山地区震旦系灯影组之下有厚250m的板溪群,向北20km至荣昌附近即全部尖灭,说明该断裂带对板溪群有控制作用。古生代,川中为隆起,川东为坳陷,地层厚度差异显著。中生代,各系陆相地层岩石粒度南东侧粗,北西侧细。断裂带两侧地表构造变形样式存在明显差异:南东侧为川东北东向隔档式褶皱区;北西侧为川中低缓的穹隆和短轴褶皱区。在华蓥山,有峨眉山玄武岩分布,表明该断裂带在二叠纪已达硅镁层。

2. 七曜山断裂带

七曜山断裂带位于川东南金佛山、七曜山(也称齐岳山)一带,向北可达巫山附近。该带南东侧古生代地层广泛出露,并出现少量板溪群;北西侧为中生代地层分布区。断裂带对古生代地层及岩相控制均较为明显。在重力异常图上,本带是一梯度变化带。航磁异常图上,该带位于不同磁异常分区界线上。卫星图片上,断裂的线性影像特征明显,两侧地貌、山系、水系和构造线方向均呈角度交截。两侧构造形态差异明显,北西侧为典型隔档式褶皱,南东侧为背斜与向斜近等宽的城垛状褶皱。

(三)褶皱特征

在川东地区,构造线走向主要为北东—南西向。西部的弱变形带(向斜)相对较窄,东部弱变形带逐渐变宽。高陡背斜带两翼极不对称,其中缓翼地层倾角 $20^{\circ}\sim 30^{\circ}$,陡翼地层倾角 $40^{\circ}\sim 70^{\circ}$ 或地层直立倒转。绝大多数背斜带轴面倾向北西或北北西,仅华蓥山背斜带及少数背斜轴面倾向南东东。有的高陡背斜带轴面呈扭凹状,如铜锣峡背斜带在长江以南轴面东倾,长江以北轴面变为西倾,向北至蒲包山背斜轴面又变为东倾,展示出形成褶皱的构造应力场极为复杂。

1. 华蓥山背斜

华蓥山背斜位于中部构造分区的西部边缘,呈北北东—南南西向延伸,全长130km左右,向北到达州西侧分支出渡市向斜和铁山背斜,向南在合川以南分支为沥鼻峡背斜、温塘峡背斜、中梁山背斜、龙王洞背斜等四个背斜构造。

华蓥山背斜为一轴面东倾的斜歪—倒转复式背斜。背斜向北逐渐倾伏,并表现为一简单的斜歪背斜;向南枢纽抬升,充分显示为斜歪—倒转复式背斜的特征。华蓥山大断裂,为一由东向西的逆冲断裂带,在庆华镇东山最为发育,向北、向南组成断裂带中的逆冲断层都逐渐减少且两断层之间的间距加大,并且都逐渐转变为隐伏断裂(层)。华蓥山背斜及华蓥山大断裂,为川东褶皱带与川中穹盆构造区的分界。

2. 铜锣峡背斜

铜锣峡背斜位于华蓥山背斜之东侧,呈微具弯曲的北北东—南南西向延伸,长230km左右。铜锣峡背斜的轴面在北、中段为向东倾到南段转为向西倾,同时大体出现在核部及靠陡翼部位的逆冲断层,其断层面倾向由北段的向东倾而后转为向西倾,到南段也是向西倾。这说明铜锣峡背斜在构造变形时所受到的挤压应力是不均匀的,在大竹县之东北是以向西挤压为主,大竹之东南是以向东挤压为主,邻水一带又是以向西挤压为主,而到渝北一带则又是以向东挤压为主,这种沿走向挤压应力的变化与背斜轴迹沿走向发生向北西和向南东稍有凸的变化是相对应的。

3. 明月峡背斜

明月峡背斜位于铜锣峡背斜之东侧,呈北东—南西向延伸,长240km左右。背斜是以早

三叠世嘉陵江组(T_1j)石灰岩为核,以雷口坡组(T_2l)、须家河组(T_3x)为两翼的斜歪背斜。该背斜之轴面沿走向基本上都是向西倾斜,同时在其转折端到东翼部位断续出现了高角度正断层,西盘(下盘)抬升,这说明该背斜在构造变形时受到自西向东的挤压和自下向上抬升的联合作用。

4. 黄泥塘背斜

黄泥塘背斜位于中部构造分区的中部,呈北东—南西向延伸,也是云安场背斜向西南的延伸部分,长80km左右。该背斜轴面向西倾斜,在转折端靠近东翼(陡翼)部位,断续出现有断面西倾的逆冲断层,这些构造特征沿背斜走向是比较稳定的。

5. 大池干井背斜

大池干井背斜位于中部构造分区的中部偏东,为方斗山背斜向西南的一个分支背斜,长100km左右。该背斜轴面向西倾斜,在转折端靠近陡翼(东翼)部位发育有断面向西倾的逆冲断层。这些构造特征沿背斜走向同样也是比较稳定的。

上述情况说明,在垫江至忠县一带,高陡构造带(背斜)的构造变形具有自西向东的挤压和自下而上的抬升联合作用的特点。

6. 方斗山背斜

方斗山背斜位于中部构造亚区的东侧,呈北东—南西向延伸,长130km左右。早三叠世石灰岩组成背斜之核部,中三叠世及晚三叠世地层为其两翼。方斗山背斜在万州南山为一轴面倾向西北的斜歪背斜,向西南到忠县东山则表现为轴面东倾的斜歪背斜,再向西南到石柱西山又表现为轴面西倾的斜歪背斜。方斗山背斜在构造变形时,既有断层西侧的统一自下向上的抬升,又有沿走向挤压作用不均一的两种构造应力联合作用的特征。

7. 七曜山背斜

七曜山背斜全长约130km,核部由寒武纪石灰岩、白云质灰岩所组成,西翼地层出露相对较完整,由东向西依次出现奥陶纪石灰岩夹页岩、志留纪页岩夹砂岩、泥盆纪砂岩、二叠纪石灰岩夹砂岩及页岩、早三叠世石灰岩夹页岩、中三叠世石灰岩、晚三叠世砂岩及页岩。西翼岩层局部发育有次一级的小褶皱。该背斜之核部总体表现为宽缓、圆滑,但其中发育许多次一级小褶皱。

8. 弱变形带一向斜构造

在两个高陡构造背斜之间为一弱变形带一向斜。这个部位一般变形都非常微弱,在西部弱变形带较窄,二者宽度之比仅为1:1或1:2;在中部及东部,弱变形带逐渐变宽,二者宽度之比可达1:3或1:4。这可能反映了这一带基底断块由西向东、由窄变宽的基底断块构造特征。

由于高陡构造带与弱变形带的构造应力场和构造形迹特征有很大的不同,因而油气在不同地段的运移、储藏的构造条件和构造部位也有所不同。

三、构造—沉积演化特征

川东地区在区域构造上位于川东弧形褶皱带的西南缘,因此,川东弧形褶皱带的空间展布与形成演化对该区各地层的构造—沉积演化具有极其重要的控制作用。

四川盆地的沉积基底是在前震旦纪变质岩的基础上发育而成的。从第一个沉积盖层——震旦系的沉积开始,至今的川东台地先后沉积保存了震旦系—中三叠统以碳酸盐岩为主的海相地层及上三叠统一新近系以砂泥岩为主的陆相地层,累计沉积厚度达到8000~12000m

(图 1-3), 其间经历了以加里东、海西、印支、燕山及喜马拉雅运动为主的多期次区域构造(造山)运动。以燕山运动为界, 川东地区构造作用可以分为性质明显不同的两大阶段: 燕山运动以前以升降运动为主的构造阶段和燕山运动及其以后以水平运动为主的构造阶段。燕山运动以前, 区内 Z_2 —T 地层经历了加里东、海西和印支三大构造旋回。在这三个旋回中, 构造

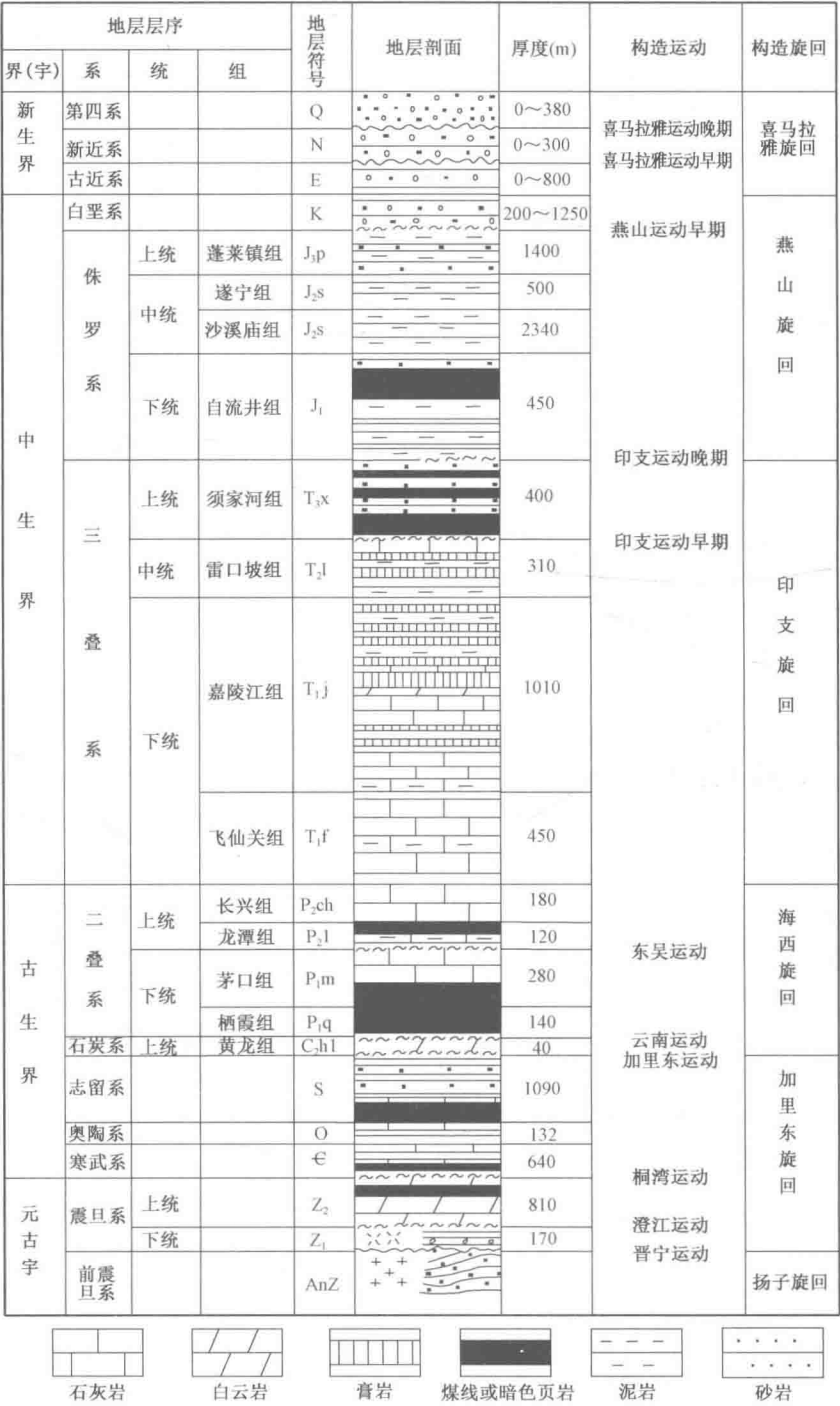


图 1-3 川东地区构造—沉积演化旋回图

运动均以升降作用为主,局部隆升和下降的交替以及继承性活动是这三个时期主要的构造现象。在燕山及其以后的喜马拉雅运动期间,区内遭受了来自大巴山构造带、米仓山构造带和武陵—雪峰构造带强烈的陆内水平挤压作用,导致地层强烈褶皱和断裂。多期次区域构造(造山)运动使川东地区震旦系—中三叠统这套海相地层的沉积存在复杂多样性,各个时期不同区域形成的沉积物在沉积、成岩后生过程中演化成不同的储集岩类型,纵向上发育多套生储盖组合,其中形成了包括黄龙组白云质岩溶岩系、长兴组生物礁、飞仙关组鲕滩等在内的重要储层类型。

(一)加里东期构造旋回

寒武纪晚期,四川中部广元—康定—攀枝花一线以西开始隆升。到奥陶纪,该带已形成一个窄长条形的古隆起,将寒武纪沉积分为东、西两区。到志留纪早期,古陆向东扩大到南充附近,四川中部隆起已具雏形;到志留纪末加里东期,四川东部全面隆升遭受剥蚀,形成西高东低的态势。志留纪剥蚀面貌为西部残留薄,东部残留厚;加里东期末地壳大范围抬升,地层遭受长期剥蚀,在四川盆地中部形成庞大的北东向乐山—龙女寺古隆起,在川中核部二叠系与下寒武统直接接触。川东高陡构造位于该隆起东端南翼斜坡,残存志留系 500~1200m。加里东期(震旦纪—志留纪),在总体伸展构造背景上,秦岭地区产生裂陷台间槽,南秦岭大巴山一带演化成扬子台地的被动大陆边缘,沉积了一套海相类复理石沉积建造。川东北其他地区主要为地块区的陆表海及滨海、浅海环境,沉积了以稳定型内源碳酸盐岩为主的沉积建造。盆地范围内该沉积期及剥蚀期均呈现出“一隆两凹”的区域古构造格局,明显受基底构造格架的控制。

(二)海西期构造旋回

海西期川东北盆地再次处于伸展构造体制,早期盆地范围内继承加里东期“一隆两凹”的格局演化,川中隆起区缺失泥盆系—石炭系,川东地区开始全面海退,石炭系接受广泛的侵蚀,在川东高陡构造带及与之紧邻的华蓥山西侧地区有石炭系残存,此时的川东台地为准平原化地貌。二叠纪早期,上扬子台地整体下降,并接受最广泛的海侵,在川东地区沉积了一套富含各种大小生物的海相碳酸盐岩及泥页岩。其间,包括在整个川东台地分布稳定的、具有良好区域标志层的梁山组发育滨海相的泥页岩夹层及煤线;栖霞组发育半深海相的硅质灰岩、燧石结核等;茅口组发育浅海相的生物灰岩。二叠纪晚期,海侵规模逐渐减小,形成了龙潭组滨海相的泥页岩及煤系地层,以及长兴组浅海相的中厚层石灰岩、生物灰岩及礁灰岩。长兴沉积末期发生的峨眉运动在川东台地形成大量的拉张性及剪切性断裂,造成一些裂谷性坳陷,沿北东基底断裂局部有水下玄武岩喷溢,尤其是在邻水、铁山、雷音铺、五百梯、高峰场一带分布较普遍。这种水下玄武岩的分布造就了独特的微地貌景观,从而为长兴组生物礁发育奠定了基础,而生物礁的存在又为飞仙关组鲕滩沉积间接提供了良好的水下环境,铁山构造的长兴组生物礁与飞仙关组鲕滩储层的共生现象就是这种沉积特征的例证。

(三)印支期构造旋回

印支期(三叠纪),是中国大陆完成其主体拼合的重要演化阶段。三叠纪早期,上扬子台地继续接受海侵沉积。由于下伏存在不同的地貌及构造因素,川东台地所沉积的飞仙关组在各地区的沉积厚度、岩性、结构等都存在差异,主要表现为浅海相及滩相地层在纵向与横向上呈过渡性演化,滩相地层形成鲕粒灰岩经成岩后生作用可形成鲕粒白云岩,而浅海相地层主要形成泥晶及细粉晶灰岩。至三叠纪中—晚期,上扬子台地开始断续海退的过程,陆续沉积了嘉陵江组、雷口坡组海相及潟湖蒸发相地层,岩性主要为一套碳酸盐岩夹膏盐地层。

印支期后,扬子地块作为中国大陆重要组成部分和现今欧亚板块的东南边缘部分,以及欧亚与印度—澳大利亚板块相互作用的活动陆缘的后部,先后经历了复杂的西太平洋俯冲作用和喜马拉雅碰撞造山作用,表现出板块俯冲碰撞的区域构造框架下的陆内构造的叠加复合与演化。这种陆内构造发展出的特征、性质和演化既受到板块边缘作用向陆内的传递,又有深部构造动力的影响,可以划分出挤压和挤压—隆升两种构造模式,分别对应于燕山期和喜马拉雅期。

(四)燕山期构造旋回

燕山期,川东地区继承了晚三叠世的古地理格局,沉积了内陆河湖相砂泥岩及石灰岩地层,大套的紫红色泥岩使侏罗系成为川东地区的主要盖层。早侏罗世(自流井群沉积时期)沉积环境比较稳定;进入中侏罗世(沙溪庙期),四周古陆上升幅度开始增大,地层接受陆源物沉积;中侏罗世晚期(遂宁组沉积时期),环境又趋稳定,此后古陆再度活跃而动荡。侏罗纪末,早燕山运动使川东地区强烈抬升,造成侏罗系上部地层大幅度被剥蚀,并形成了川东地区地层褶皱的基础。

(五)喜马拉雅期构造旋回

喜马拉雅期,川东地区受北西、南东向的挤压以及北面大巴山弧的控制,震旦系以上的地层强烈褶皱,形成了川东地区现今的构造格局,表现为以北东向为主体的高陡狭长背斜带和宽缓向斜相间组成的“隔档式”构造格局。

川东地区在喜马拉雅期形成了一系列北北东向为主体的高陡背斜带,自西向东有华蓥山—铁山、邻北、板桥、座洞崖、相国寺、相东、铜锣峡、环山、明月峡—大天池等近平行的高陡背斜带呈雁列分布,背斜宽度约5~7km,向斜宽度约10~20km,也呈高陡狭长背斜带和宽缓向斜相间组成的“隔档式”构造格局展布(图1-2)。

第二节 地层特征

一、区域地层研究现状

四川盆地石炭系分布范围一直存在争议。1989年出版的《中国石油地质志·四川油气区》记载:“石炭系……在华蓥山亦有零星分布。近年来经钻探证实在川东腹地亦普遍存在,可与鄂西的石炭系连为一体,但仅存留了石炭系黄龙组。”“中—晚石炭世……鄂西至川东一带海侵范围扩大,向西延伸至达县(现达州市)、广安附近,为浅海台地相沉积……”“从石炭纪沉积相的分布看,华蓥山以东地区,由于鄂西海向西的侵进,造成晚石炭世三面环陆的局限海湾环境,留下了大片典型潮坪白云岩沉积,为天然气的储集提供了良好场所”,并作出了四川盆地中—晚石炭世沉积相图[图1-4(a)]。

从上面论述及图1-4(a)可以看出,在20世纪90年代以前,认为黄龙组的分布仅限于华蓥山构造(断裂)带以东,华蓥山区仅有“零星分布”。随着华蓥山以西(川中—川东地区)石炭系黄龙组中工业气流的显示,以及钻探资料增多,有研究提出:海西早—中期,海水“经川鄂边界向川东、川中呈渐进侵入”,“至晚石炭世早期海水遍及川东大部分地区,浸延到川中,并逐渐扩大加深。最终因北面的大巴山古陆、南面的上扬子古陆及西边的乐山—龙女寺古隆起的围限而使整个研究区在大背景上处于三面环陆、水域广阔的潟湖环境接受沉积。”

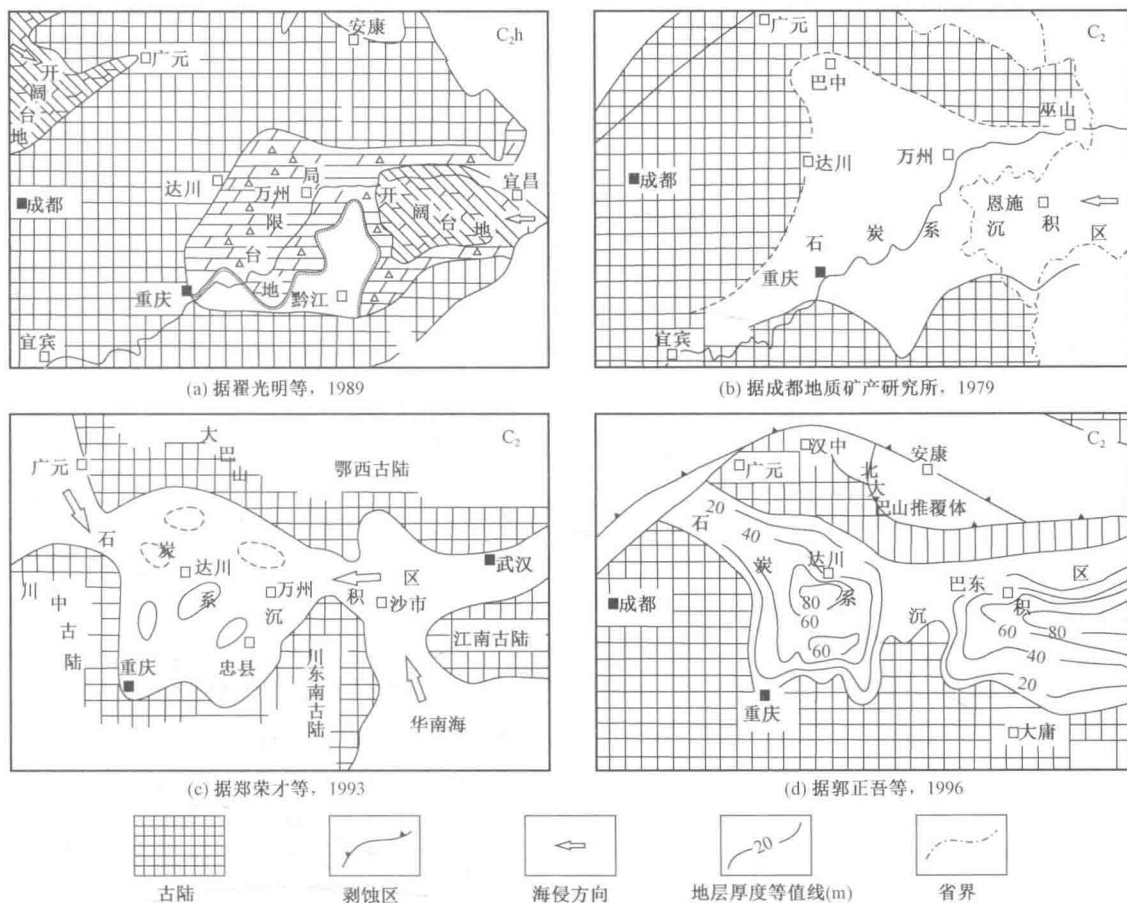


图 1-4 四川盆地晚石炭世沉积分布区及岩相古地理成果图

按上面的认识,华蓥山以西黄龙组分布区位于水域广阔的潟湖的最西部位。那么,川中的环境应较川东更为闭塞,海水的盐度应更高。但事实恰好相反。对华蓥山以西的岩心研究表明,当时沉积盆地的海水盐度远较华蓥山以东的海水盐度低。

1979 年成都地质矿产研究所根据龙门山前石炭系出露齐全的特征,意识到在巴中、仪陇之间可能与龙门山连接,海水可能东西沟通[图 1-4(b)]。

1993 年成都理工学院郑荣才提出,海水既来自沙市、万州一带,又来自广元以南马角坝方向,形成一个统一的潟湖海盆[图 1-4(c)]。

1996 年西南石油地质局郭正吾等认为,晚石炭世,拗陷向西延伸,海水西侵至重庆、达州、通江、苍溪、梓潼等地,经镇巴、下高川一带与秦岭海域连成一体,上石炭统普遍超覆于志留系之上[图 1-4(d)]。

从图 1-4(b)和图 1-4(c)看出,原地矿部系统认为,四川中一晚石炭世沉积拗陷区为一整体,海水来自东西两个方向。重庆—达州(即华蓥山位置)恰好位于拗陷中心,华蓥山东、西两侧沉积相应一致(至少类同)。但对华蓥山以西各井的岩性研究发现,与华蓥山以东存在极大的差异,说明华蓥山东、西两侧当时不是一个统一的沉积盆地。

方少仙等(1999)通过华蓥山地区石炭系研究后认为,华蓥山断裂带是自寒武纪以来的继承性活动带,岩石学特征说明川中—川西地区与川东地区有一定的差异,平面沉积相展布规律

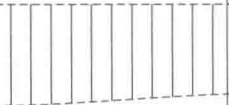
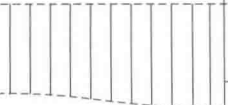
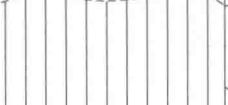
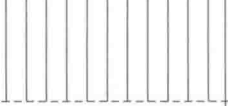
表明华蓥山以西盆地由南向北盐度逐渐减小。因此华蓥山以西上石炭统黄龙组分布区当时为一独立的潟湖—海湾沉积环境,海水主要由龙门山向东南侵进,称为“华蓥西潟湖—海湾”,以区别于“华蓥东(川东)潟湖—海湾”。

二、研究区地层特征

川东地区层系除泥盆系缺失外,其他沉积层系基本齐全,具有沉积厚度大、旋回多、变质弱的特点(图 1-3)。震旦系、寒武系主体为浅海碳酸盐岩沉积;奥陶系以海相碳酸盐岩和陆源碎屑岩为主;志留系仍以海相沉积为主,是区域上的重要烃源岩层系。在志留系顶部侵蚀面之上的石炭系、二叠系及中一下三叠统主要为海相沉积的石灰岩、白云岩、膏岩、泥页岩,并夹有滨海相、陆相的成煤层系,纵向上形成了多套生储盖组合,是盆地内最重要的天然气储层段。上三叠统、侏罗系和白垩系主要为陆相砂岩、泥岩沉积,偶夹陆相煤层;古近系和新近系因风化剥蚀而缺失。

川东地区由于受晚志留世的加里东运动和晚石炭世的云南运动影响,石炭系部分地层缺失,形成了研究区石炭系以广泛发育的白云岩为基础、残存厚度薄的古岩溶岩系及储层。晚志留世,由于受加里东运动影响,川东地区隆升为陆,早古生代地层广泛暴露并遭受 15~20Ma 的风化剥蚀作用,形成坡度相对平缓但高低变化频繁的低矮丘陵地貌景观。至早石炭世,海水逐渐向扬子板块内部侵进,但在川东地区海水入侵范围仍限于云阳以东地区,晚石炭世早期海水才开始大规模由东北向西南阶梯状侵进川东地区,形成向古陆超覆的上石炭统蒸发岩和碳酸盐岩地层。晚石炭世的云南运动使川东地区再次隆升为陆,沉积物经短暂的浅埋藏固结成岩作用改造后,旋即进入古表生暴露期,遭受风化剥蚀作用,形成黄龙组顶部高低不平的古岩溶地貌景观和各种岩溶岩系。川东地区石炭系由于受加里东运动影响,大部分仅残存不完整的上石炭统黄龙组,船山组缺失,川东西部、靠近鄂西局部少数相对低洼部位沉积下石炭统河洲组,整个石炭系不整合超覆于中志留统韩家店组暗色泥页岩之上(表 1-1)。

表 1-1 川东及周缘地区石炭系地层划分表

地区 地层			鄂西	渝东—鄂西	川东—川中	川西	
						前龙门山	后龙门山
P ₁			马鞍山组	马鞍山组	梁山组	梁山组	
石 炭 系	宾夕法尼亚亚系	马平阶	船山组			马平组	
		威宁阶	黄龙组			黄龙组	黄龙组
	密西西比亚系	大唐阶	河洲组			总长沟组	总长沟组
			高骊山组				
		岩关阶	金陵组				马角坝组
D ₃ /S ₂			上泥盆统 写经寺组	上泥盆统 写经寺组	中志留统 韩家店组	上泥盆统 黑岩窝组	

河洲组(C_1h)主要为碎屑—混积滨岸环境,岩性以浅灰色粉砂岩为主,矿物成分主要为石英,靠上含灰质,中下部含泥质,零星见黄铁矿。测井曲线形态上,底以双侧向高值降低、自然伽马升高半幅点所对应的浅灰色粉砂岩与下伏志留系灰色泥质粉砂岩假整合接触。黄龙组(C_2hl)主要为碳酸盐岩潮坪环境,发育白云岩、角砾状白云岩、石灰岩及角砾状灰岩,下部夹有石膏岩,岩性复杂,横向变化快。黄龙组沉积后曾遭受严重剥蚀,各地残存层位和厚度很不一致,局部缺失(图1-5)。通过对川东地区取心井段岩心及野外剖面系统描述、大量的薄片观察及古生物资料分析,把黄龙组由下而上划分为三段,即黄龙组一段(C_2hl^1)、黄龙组二段(C_2hl^2)和黄龙组三段(C_2hl^3)。

(一)黄龙组一段

黄龙组一段沉积超覆在中志留统灰绿色或杂色泥岩之上,厚0~20m。岩性以去膏化次生灰岩、次生灰质岩溶角砾岩为主与微—粉晶白云岩、纹层状白云岩和干裂角砾状白云岩的组合,生物罕见。部分地区底部出现薄层白云质泥岩或白云质砂岩。本段在硐村西一带变为以瀉湖和潮坪沉积为主的砂屑微晶白云岩、微晶白云岩和泥晶白云岩,见少量有孔虫和棘屑。底部以泥灰岩与下石炭统白云质石英砂岩整合接触。由本段的岩石类型和生物特征可以看出, C_2hl^1 沉积时期,川东大部分地区处在炎热气候、水体盐度较大的潮上蒸发环境。

(二)黄龙组二段

该岩性段整合沉积于 C_2hl^1 段之上。在靠近古陆边缘地区,该段超覆在中志留统之上。该段厚0~50m。岩性为微晶白云岩、粉晶白云岩、含颗粒白云岩、颗粒微晶白云岩、微晶颗粒白云岩、亮晶颗粒白云岩以及干裂角砾状白云岩、干裂破碎角砾状白云岩和各类白云质岩溶角砾岩,局部夹次生石灰岩和次生灰质岩溶角砾岩。在粉晶白云岩、各类颗粒白云岩和白云质岩溶角砾岩中,溶蚀孔洞、溶蚀洞穴及溶蚀缝等极其发育,且大部分孔、洞、缝无充填物或未完全充填,储渗性好,是石炭系极为重要的储集岩和储集层位。本段的岩性及生物组合特征表明, C_2hl^2 沉积时,海侵范围扩大,全区基本上都接受沉积,但水体循环不畅通,盐度较大,属局限性沉积环境。

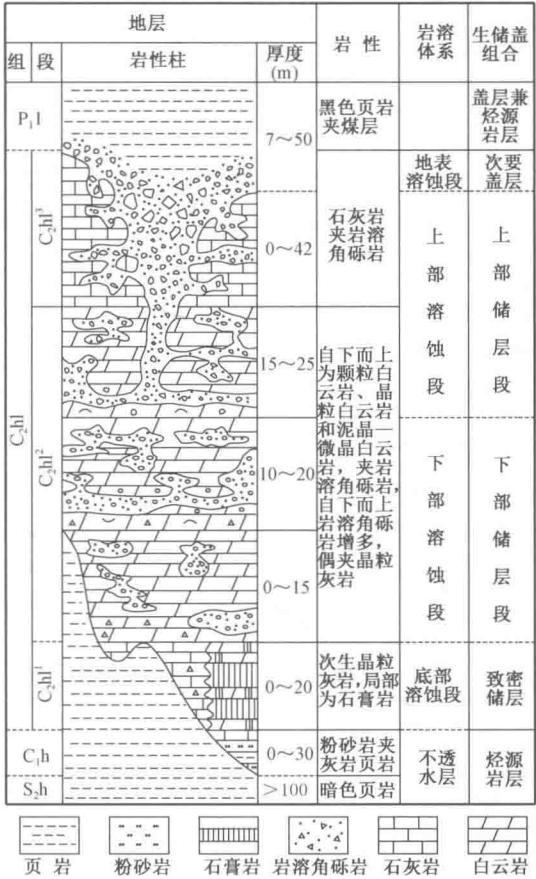


图1-5 川东地区石炭系岩性与古岩溶体系综合柱状图(据郑荣才,2003)