

**Natural Gas Exploration of Permian-
Triassic Reef & Oolite in Sichuan Basin**

四川盆地二叠—三叠系 礁滩天然气勘探

杜金虎 等著



石油工业出版社

四川盆地二叠—三叠系 礁滩天然气勘探

杜金虎 徐春春 汪泽成 沈 平 何海清
杨 雨 李志荣 罗 忠 周进高 等著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是近几年来四川盆地长兴组—飞仙关组礁滩体油气地质研究与勘探实践的总结和升华。本书以等时层序格架下的岩相古地理研究为基础,以礁滩体分布、礁滩体储层特征与礁滩气藏特征的系统解剖为主线,系统总结了四川盆地长兴组—飞仙关组礁滩气藏的成藏地质认识与分布规律,以及一系列新的适合四川盆地深层礁滩体天然气勘探的关键技术,并指出了天然气勘探的主攻方向与重点区带。

本书可供从事海相碳酸盐岩油气地质勘探与研究的专业人员参考,也可作为高等院校相关专业师生的阅读书目。

图书在版编目(CIP)数据

四川盆地二叠—三叠系礁滩天然气勘探/杜金虎等著.
北京:石油工业出版社,2010.5

ISBN 978-7-5021-8475-9

I. 四…

II. 杜…

III. 四川盆地—油气勘探

IV. P618.130.8

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2010)第 093278 号

出版发行:石油工业出版社

(北京安定门外安华里 2 区 1 号 100011)

网 址:<http://www.petropub.com.cn>

编辑部:(010)64523543 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京市前进印刷厂

2010 年 5 月第 1 版 2010 年 5 月第 1 次印刷

787 毫米×1092 毫米 开本:1/16 印张:10.5

字数:268 千字

定价:76.00 元

(如出现印装质量问题,我社发行部负责调换)

版权所有,翻印必究

前 言

二叠系长兴组及下三叠统飞仙关组礁滩型储层广泛发育,是四川盆地重要的勘探层系。20 世纪 90 年代中后期,川东北渡口河飞仙关组鲕粒白云岩气藏的发现,拉开了礁滩气藏规模勘探的序幕。此后,相继发现了罗家寨、铁山坡、普光等一批构造型大气田。2006 年龙岗 1 井在长兴组生物礁及飞仙关组鲕滩体均获高产工业气流,岩性气藏勘探取得重大突破,把礁滩体的勘探推向了一个新的阶段。为了整体认识礁滩体的地质特征、成藏条件、油气分布及富集规律、勘探潜力和勘探方向,中国石油勘探与生产分公司按照“统一组织、统一立项、统一设计、统一要求、联合攻关”的思路,组织西南油气田分公司、中国石油勘探开发研究院等多家单位,系统开展了礁滩天然气藏地质综合研究和工程技术攻关工作,取得了多项地质认识创新和先进实用的勘探配套技术等重要成果,在推动礁滩天然气勘探中发挥了重要作用。

《四川盆地二叠—三叠系礁滩天然气勘探》这部专著,是近几年该领域地质综合研究、工程技术攻关、勘探成果的总结与升华,丰富和发展了礁滩气藏勘探理论。创新提出了台缘控制礁滩体油气藏的分布及富集。台缘控制烃源岩发育,控制礁滩体及沉积微相的展布,控制有利储层的分布,控制油气的形成分布与富集。礁滩体岩性油气藏呈“一礁、一滩、一藏”沿台缘展布特征。配套形成了礁滩体的勘探思路、勘探流程、勘探方法及关键技术。明确指出了礁滩体下步的勘探方向和重点目标。

该成果来源于生产,应用于生产,并取得了很好的效益。本书是一部科研与生产紧密结合的著作,更是一部礁滩勘探理论、实践、技术、方法的集成。地质认识对于礁滩沉积、储层及成藏研究具有一定的理论价值,勘探思路、勘探技术、勘探方法对礁滩体勘探具有一定的借鉴作用。勘探区带和目标评价的建议对未来的勘探部署具有一定指导意义。

全书共分六章。绪论简述了四川盆地油气地质特征及礁滩气藏勘探历程、地质研究新认识及勘探技术新进展;第一章重点阐述了长兴组与飞仙关组层序地层划分与层序地层格架;第二章阐述了“三隆三凹”古地理格局,描述了沉积相类型及其分布,建立了沉积演化序列,阐述礁滩类型及分布规律;第三章在礁滩储层类型、形成机理分析基础上,总结了储层形成主控因素;第四章在气藏解剖、烃源条件、储层条件分析基础上,总结了礁滩气藏成藏主控因素与分布规律;第五章总结了礁滩气藏勘探评价流程与勘探配套技术系列;第六章提出有利勘探区带,分析勘探潜力并指出了勘探方向。

该成果是在中国石油勘探与生产分公司统一组织下完成的,参加单位有中国石油勘探开发研究院、西南油气田分公司、川庆物探公司和东方地球物理公司等。本书是在杜金虎教授组织与指导下,首先确定专著框架与提纲,然后分工编写完成。具体章节编写分工如下:前言和

绪论由杜金虎完成,第一章由汪泽成、李秋芬完成;第二章由杜金虎、汪泽成完成;第三章由杨雨、罗忠、周进高完成;第四章由杜金虎、汪泽成、王铜山完成;第五章由徐春春、李志荣、沈平完成;第六章由杜金虎、徐春春、何海清完成。全书由汪泽成、杜金虎统稿,最终由杜金虎定稿。张延充、张兴阳、江青春、殷积峰、谢芬、周慧、邓胜徽、张建勇、彭才、谷志东、刘满仓、赫毅等参加了研究工作。高瑞祺教授、邹才能教授、赵化昆教授、冉隆辉教授、顾家裕教授等专家对书稿编写及审查提出了具体修改建议。在此一并表示衷心的感谢。

本书是一部理论性、实践性、实用性、信息性很强的专著,适合于广大地质勘探人员、石油地质综合研究人员及地质、石油类院校的学生阅读参考。由于礁滩勘探的复杂性,加之作者水平有限,书中定有诸多不妥之处,敬请广大读者批评指正。

目 录

绪论	(1)
第一章 长兴组—飞仙关组层序地层	(6)
第一节 地层特征	(6)
第二节 层序地层	(10)
第二章 岩相古地理与礁滩体分布	(19)
第一节 “三隆三凹”古地理格局	(19)
第二节 沉积相类型及沉积演化	(27)
第三节 礁滩体类型与分布特征	(44)
第三章 礁滩体储层特征	(66)
第一节 储层类型	(66)
第二节 成岩作用	(74)
第三节 礁滩储层主控因素与分布预测	(86)
第四章 礁滩气藏特征与分布规律	(92)
第一节 礁滩气藏类型	(92)
第二节 典型礁滩气藏特征	(95)
第三节 礁滩气藏分布规律与富集主控因素	(107)
第五章 礁滩气藏勘探评价技术	(117)
第一节 生物礁及鲕滩体宏观分布预测技术	(118)
第二节 层序控制下的礁滩体预测技术	(122)
第三节 沉积相控制下的礁滩体储层预测技术	(130)
第四节 叠前地震信息的礁滩储层流体预测技术	(135)
第六章 长兴组—飞仙关组礁滩勘探前景	(144)
第一节 礁滩勘探潜力与方向	(144)
第二节 开江—梁平海槽及台缘带礁滩	(146)
第三节 城口—鄂西海槽台缘带	(152)
第四节 川中台内礁滩	(155)
参考文献	(160)

绪 论

四川盆地地理位置位于四川省的东部和重庆直辖市,是一个四周被山系环抱的构造盆地,盆地面积约 $18 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。经过 50 余年的油气勘探开发,截至 2009 年底已累计探明天然气地质储量 $1.99 \times 10^{12} \text{ m}^3$,探明石油地质储量 $8118 \times 10^4 \text{ t}$,是我国西南地区重要的天然气工业基地。

一、四川盆地油气地质基本特征

四川盆地属于大型叠合含油气盆地。盆地基底为前震旦系,经历了震旦纪—中三叠世的克拉通拗陷盆地和晚三叠世—新生代前陆盆地两大阶段。地层发育齐全,震旦系—中下三叠统为海相地层,以碳酸盐岩为主,厚度 $6000 \sim 7000 \text{ m}$;上三叠统一白垩系以陆相沉积的碎屑岩为主,厚 $2000 \sim 5000 \text{ m}$ 。盆地周缘构造复杂,西缘为龙门山前陆褶皱冲断带,北缘为米苍山—大巴山弧形褶皱冲断带,东以齐耀山为界与湘鄂西箱状褶皱带相邻,南接峨眉山—凉山断块、娄山断褶带。盆地内部由 5 个二级构造单元组成,从西南向东北划分为川西拗陷带、川中低缓构造带、川南低陡构造带、川东高陡构造带、米苍山—大巴山前缘构造带。

在漫长的地质历史演化过程中,四川盆地发育多套生储盖组合和多套含油气层系。基本石油地质特征概括如下:

(1)发育 6 套主力烃源岩层系。其中优质烃源岩有 4 套,包括下寒武统泥质岩烃源岩(厚度 $50 \sim 425 \text{ m}$)、下志留统黑色页岩和深灰色泥岩烃源岩(厚度 $100 \sim 700 \text{ m}$)、上二叠统龙潭组煤岩和泥岩烃源岩(厚度 $10 \sim 125 \text{ m}$)、上三叠统须家河组煤系和泥质岩烃源岩(厚度 $15 \sim 1240 \text{ m}$)。优质烃源岩不仅生气强度高,而且分布面积大,生气强度大于 $20 \times 10^8 \text{ m}^3/\text{km}^2$ 的烃源岩分布面积达到 $(8 \sim 13) \times 10^4 \text{ km}^2$,是盆地天然气资源的主要贡献者。

(2)发育多种类型储层。海相碳酸盐岩储层纵向分布层系多,从震旦系到中三叠统均有分布,储层岩石类型包括白云岩、鲕粒灰岩、礁灰岩等,储集空间以裂缝—孔隙型为主,孔隙度一般为 $2\% \sim 5\%$ 。优质储层受礁、滩相和白云化作用控制。碎屑岩储层发育在上三叠统一侏罗系,总体为低孔低渗、特低孔特低渗特征,孔隙度多在 $6\% \sim 8\%$ 。相对高孔渗储层主要受三角洲河道砂体和绿泥石胶结、溶蚀成岩相控制。

(3)发育构造、地层岩性、复合三大类型气藏。其中构造油气藏主要发育在川东、蜀南、龙门山前陆冲断带、大巴山前缘等构造带;地层岩性油气藏发育层位多、类型多,上三叠统一中下侏罗统发育砂岩岩性气藏、介壳灰岩岩性油藏;震旦系—中下三叠统发育白云岩气藏、生物礁气藏、鲕滩气藏以及风化壳气藏。岩性、复合型气藏单体储量规模大,是大中型气田的主要气藏类型,主要分布在盆地内构造平缓区,高陡构造斜坡及向斜区也有分布。

(4)勘探目的层和工业油气层系多。从震旦系至侏罗系,已有 21 个层系获工业油气,除侏罗系主产油外,其余层系以产气为主。油气储量与产量主要来自石炭系、二叠系及三叠系,累计探明地质储量占盆地总探明储量的 87% ,天然气产量的 95% 以上来自三套层系。

(5)天然气气质类型多。总体而言,碎屑岩层系天然气组合中不含硫;海相碳酸盐岩层

系天然气组分中普遍含 H_2S , 其中石炭系与震旦系天然气低含 H_2S , 长兴组、飞仙关组、雷口坡组、嘉陵江组等层系天然气高含 H_2S 。

(6) 以天然气资源为主, 总体勘探程度低, 未来勘探领域广。新近完成的资源评价, 天然气资源总量为 $10.6 \times 10^{12} \text{m}^3$, 其中海相碳酸盐岩天然气资源占 67.5%, 主要分布在寒武系、石炭系、二叠系及中下三叠统。盆地总资源探明率为 18.1%, 勘探程度较高的层系分别为中下三叠统(探明率为 40.9%)、石炭系(探明率为 17.8%)、上三叠统(探明率为 13.4%)。未来油气勘探重点领域包括礁滩、须家河组、石炭系、下古生界、下二叠统、侏罗系、页岩气等。

二、四川盆地油气勘探历程

勘探工作历经半个世纪的探索, 大致可以分为四个阶段。

第一阶段(1953—1977 年): 地面构造与裂缝性气藏勘探。在川南、川西南地区发现了一批碳酸盐岩缝洞型气藏, 以及卧龙河、威远、中坝等裂缝孔隙型整装气藏, 新增天然气探明储量 $1611 \times 10^8 \text{m}^3$ 。到 1977 年天然气年产量为 $54 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

第二阶段(1978—1994 年): 川东石炭系气藏勘探。以川东高陡构造石炭系为主探目标, 发现了大池干井、五百梯等一批大中型整装气藏, 新增天然气探明储量 $2534 \times 10^8 \text{m}^3$ (其中石炭系探明储量 $1439 \times 10^8 \text{m}^3$), 到 1994 年天然气年产量达到 $70.67 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

第三阶段(1995—2004 年): 川东北飞仙关组鲕滩气藏勘探。以川东北构造带飞仙关组鲕滩为主探目的层, 先后发现了渡口河气田(1996 年)、铁山坡气田(1999 年)、罗家寨气田(1999 年)、金珠坪气田(2001 年)、滚子坪气田(2002 年)、普光气田(2003 年)、七里北气田(2004 年)、毛坝气田(2004 年)等。至此, 在川东北地区勘探发现了构造圈闭为主的飞仙关组鲕滩大气田群, 累计发现储量规模超过 $6000 \times 10^8 \text{m}^3$ 。到 2004 年天然气年产量突破 $100 \times 10^8 \text{m}^3$, 实现“川气东输两湖”。

第四阶段(2005 年至今): 礁滩及须家河组砂岩为主的岩性气藏勘探。发现了广安、合川、安岳等须家河组大气田以及龙岗礁滩大气田。新增探明储量 $4982 \times 10^8 \text{m}^3$ (其中须家河组 $4108 \times 10^8 \text{m}^3$)。同时, 气藏的开发建设和投产节奏加快, 天然气产量快速增长, 到 2006 年西南油气田已跨入千万吨级大油气田行列, 2009 年天然气年产量超过 $150 \times 10^8 \text{m}^3$, 成为我国西南地区重要的天然气供应基地。

三、近年来礁滩勘探成果

1. 整体勘探开江—梁平海槽西侧台缘带, 发现龙岗大气田

2006 年龙岗 1 井在长兴组—飞仙关组礁滩体发现无阻流量超过 $900 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 的高产工业气流, 实现了开江—梁平海槽西部斜坡、岩性、深层勘探三大突破。近几年来, 按照“整体部署、整体勘探”的勘探思路, 完成三维地震的整体覆盖和多轮次的钻探工作, 多口井获工业气流, 基本控制了龙岗气田的储量规模。与此同时, 勘探开发紧密结合, 建成 $15 \times 10^8 \text{m}^3$ 的试采能力。

2. 区域甩开勘探城口—鄂西海槽台缘带, 发现新的台缘礁滩体

地质露头研究, 在万源到奉节一带发现了盘龙场、红花、沙陀等多个长兴组台缘生物礁。综合研究认为城口—鄂西海槽西侧台缘带规模超过 200km。对黑楼门—马槽坝构造进行地

震攻关,实施宽线和高密度采集各1条测线。地震成像品质得到明显改善,发现了生物礁地震异常。2009年部署奉1井,在长兴组中下部钻遇礁灰岩和礁云岩,厚约100m,证实了台缘带礁滩体的存在。

3. 探索台内礁滩体,获得新发现

利用二维地震资料搜索台内礁滩体,发现了广安—公山庙、磨溪—中江、江津—涪陵区等礁滩分布带。部署8口探井,获气井3口。其中,磨溪1井在长兴组测试获工业气流,龙16井与天成1井在飞仙关组获工业气流,但是3口井的测试产量不稳。

四、礁滩气藏地质研究新认识

通过近年来的科技攻关,在四川盆地长兴组—飞仙关组礁滩气藏形成的地质理论研究方面,取得了以下重要新认识。

1. 基底断裂活动控制长兴期—飞仙关早期“三隆三凹”古地理格局

在对四川盆地重、磁力资料重新处理解释以及层序地层建立的基础上,依据基底断裂分布、地层展布、单因素图件编制、区域构造背景分析等,恢复了长兴期—飞仙关期岩相古地理。长兴期扬子板块西缘与北缘受古特提斯域拉张活动影响,处于拉张构造环境。受其影响,四川盆地及邻区北西向基底断裂发生张扭活动,从盆地北缘向盆地内部分别形成了城口—鄂西海槽、开江—梁平海槽以及南充—绵阳台凹。飞仙关早期继承了长兴期古地理格局,中晚期进入台地发育期。改变了以往认为开江—梁平海槽以西为区域大缓坡的看法,同时为城口—鄂西海槽台缘带展布预测提供区域构造背景依据。

2. 古地理环境控制礁滩体类型与分布。海槽两侧台缘带生物礁与鲕滩叠置发育,是最有利的沉积相带

在井震统一的层序地层格架建立的基础上,依据沉积相分析、地震相模式建立、地震属性提取、古地貌分析、体系域为单元的沉积相图编制等,基本搞清不同时期礁滩体宏观分布规律。长兴期在海槽两侧发育台地边缘礁,三期生物礁加积生长;龙岗台缘带堤礁为主;龙岗西台缘带岛礁—堤礁链状分布,呈“雁行式”向海槽延伸;台凹两侧台隆带发育点礁群及生屑滩。飞仙关早期台缘鲕滩发育,厚度大,连片性强;中晚期台内鲕滩发育,互层状分布,层薄但叠合面积大。深化了礁、滩体分布规律与主控因素的认识,明确提出了台凹周围的高隆带发育大面积礁滩体,并精细刻画了大龙岗台缘带的生物礁与鲕滩的空间展布,在推动大龙岗台缘带礁滩体快速勘探以及台内礁滩风险勘探中发挥了重要作用。

3. 沉积相控制了礁滩储层类型与分布。台缘带礁滩储层以白云岩为主,物性条件好、厚度大,是优质储层分布区

在大量岩石薄片鉴定、储层物性统计的基础上,建立沉积微相与储层物性的相关关系,对比分析了台缘带与台内礁滩储层差异性。台缘带生物礁储层以白云岩为主,厚度多在20~40m,部分井白云岩储层厚度超过80m,孔隙度多在3%~6%;台缘鲕滩储层以残余鲕粒白云岩和晶粒白云岩为主,厚度6~90m,川东北部分井达到200m,孔隙度多在6%~10%。台内礁滩发育白云岩和石灰岩两类储层,但以石灰岩为主,厚度多在2~20m,孔隙度多在2%~5%。深化了礁、滩体有效储层分布规律的认识,明确了海槽两侧台缘带是优质储层发育的有利地区,为台缘带寻找大气田提供储层依据。

4. 沉积微相、白云石化及埋藏溶蚀是礁滩储层形成的三大主控因素

在礁滩体储层地球化学分析的基础上,建立了长兴组与飞仙关组白云石化模式,综合分析礁滩储层形成机理。高能环境发育的有利沉积微相是储层形成的重要物质基础,生物礁复合体的生屑滩相、台缘高能滩以及台内高能滩是礁滩储层发育最有利的沉积微相。同时,高能环境下大气淡水溶蚀作用形成的溶蚀孔隙是礁滩储层形成的关键环节;回流—渗透云化与埋藏云化是白云岩储层形成的有利途径;深埋环境下 TSR 反应产生 H_2S 、 CO_2 酸性流体的溶蚀作用有利于深层优质储层的形成。揭示深层礁滩体仍发育良好储层,拓展了深层礁滩体勘探领域。

5. 礁滩气藏以岩性与构造—岩性复合两类气藏为主。受礁滩体分布与储层非均质性控制,礁滩气藏分布具“一礁、一滩、一藏”的地质特点

通过对已知礁滩气藏的解剖,生物礁气藏以岩性气藏为主,受生物礁复合体中有效储层控制,可分为台缘礁滩气藏和台内礁滩气藏。飞仙关组鲕滩气藏受构造因素影响较大,以构造型和构造—岩性复合型为主。龙岗台缘鲕滩气藏分布受单个滩体控制,储渗体内的气水分布受低幅局部构造控制。台缘鲕滩与构造叠合区,发育构造气藏或岩性—构造复合气藏。该认识深化了礁滩气藏类型及其分布特征,明确了岩性气藏是平缓构造区礁滩体的主要气藏类型,推动了全盆地礁滩勘探部署。

6. 烃源条件、有效储层及构造背景是礁滩气藏形成的关键要素,台缘带控制天然气富集

在气源对比、生储盖条件分析基础上,对比研究台缘与台内成藏条件。烃源条件、有效储层规模、断层/裂缝发育程度是礁滩体成藏的三个关键要素。龙潭组烃源岩是礁滩气藏的主力烃源岩,在盆地中北部生烃强度高,可达 $(20 \sim 40) \times 10^8 m^3/km^2$ 。海槽区发育大隆组泥质岩具有良好烃源条件,厚度 10~30m,有机碳含量高。环开江—梁平海槽台缘带及城口—鄂西海槽台缘带具备两源供烃、礁滩体叠合发育、断层与裂缝发育等有利成藏条件,是天然气富集的有利地区。

7. 环开江—梁平海槽台缘带以及城口—鄂西海槽台缘带,是寻找中—高丰度大气田的有利目标

通过长兴组—飞仙关组剩余资源分布、成藏条件分析,评价提出“两缘、两带、一滩”是未来勘探的重点领域,包括环开江—梁平海槽两侧台缘带、城口—鄂西海槽台缘带、台凹两侧的高隆带以及“海槽”飞三段鲕滩。优选 12 个有利区带,对今后的勘探工作具有重要的指导价值。

五、礁滩勘探技术进展

针对四川盆地长兴组—飞仙关组的地质特征,通过三年的持续攻关,初步形成了适合于礁滩勘探的关键技术系列,主要包括礁滩体宏观分布预测技术、礁滩体识别技术、礁滩体储层评价与烃类检测技术,有力地支持了礁滩气藏的勘探。

1. 岩相古地理控制下的礁滩体宏观分布预测技术

(1) 应用重磁资料的处理与解释技术,搞清基底断裂展布。

(2) 利用野外露头、钻井、测井资料,划分层序地层;井震结合,搭建层序地层格架。

(3) 利用区域地震大剖面,采用层拉平技术,确定古地貌单元。

(4) 系统编制单因素图件(包括地层厚度、不同岩性(石灰岩、白云岩、鲕粒岩、生屑灰岩、泥质岩等)厚度及含量等值线等),综合编制岩相古地理图,搞清生物礁、鲕滩宏观分布的有利区带。

2. 层序控制下的礁滩体分布预测技术

利用钻井与测井资料标定地震层位,在沉积模式指导下标定地震相,确定不同沉积相带的地震相响应特征;在地震层序控制下,利用地震反射结构、地层厚度、振幅属性、相位属性等,确定生物礁、鲕滩体分布;在烃源、储层等实验测试分析基础上,结合区域地质资料,开展成藏条件综合地质研究,评价有利区带。

3. 相控模式指导下的生物礁与鲕滩储层定量预测技术

在确定生物礁、鲕滩体分布的基础上,利用成像测井资料,评价储层;利用地震属性反演,结合岩心实验分析与测井解释,定量预测储层厚度、物性。

4. 叠前地震信息的礁滩储层烃类预测技术

叠前地震反演的烃类预测技术,包括 AVO 属性反演、叠前弹性参数反演、叠前弹性阻抗反演等。在有利勘探目标定性与定量预测的基础上,开展礁滩含气性预测,优选钻探目标。

第一章 长兴组—飞仙关组层序地层

层序地层划分与层序地层格架的建立是岩相古地理研究与有利沉积相带预测的重要基础。前人针对四川盆地长兴组—飞仙关组的层序地层划分做了大量研究,提出了多种层序地层划分方案(许效松等,1997;王一刚等,2000;马永生等,2005)。但长兴组—飞仙关组同期异相、层序划分不统一等问题一直未解决。本次研究采用地质—测井—地震“三位一体”地层划分对比的分析技术,进行层序地层划分,并建立层序地层格架。在经典露头剖面系统采样基础上,建立了牙形石化石带,并进行了区域对比,为层序地层划分提供了古生物证据;利用区域基干井的测井资料,准确标定地震层位;利用地震大剖面,采用层拉平和地震相分析技术,建立盆地范围内的层序地层格架。大量的基础工作,不仅为层序地层划分,更为岩相古地理重建以及礁滩体分布预测,提供了可靠的依据。

第一节 地层特征

一、长兴组

上二叠统长兴组通常指华南上二叠统龙潭组与下三叠统之间以碳酸盐岩沉积为主的地层。四川盆地及邻区与长兴组同期异相的岩石地层组名有 3 个,分别为宣威组、长兴组和大隆组(图 1-1)。本书将所有上二叠统长兴阶时限地层统称为长兴组。

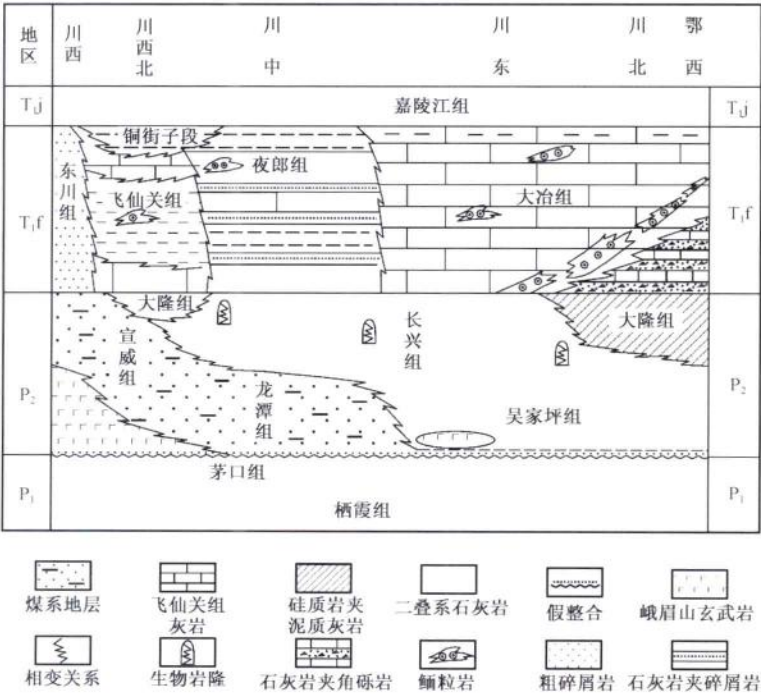


图 1-1 四川盆地上二叠统一下三叠统对比图

长兴组由石灰岩、生物灰岩、含燧石灰岩、泥灰岩夹次生白云岩及泥岩组成,生物极其繁盛,富含筳科、有孔虫、海绵、珊瑚、藻类等多种门类的生物,以发育生物礁灰岩、礁白云岩为特征。这套地层主要分布在川中、川东及川北部分地区。川中地区长兴组与下伏龙潭组煤系假整合接触,川北、川西北地区长兴组与下伏的吴家坪组含燧石条带、燧石团块灰岩整合接触,与上覆下三叠统飞仙关组整合接触。

长兴组在台地相区主要为富含各种生物的生物灰岩,含较多的硅质团块(结核)或条带,局部有不含或少含硅质的礁灰岩。长兴组地层岩性组合及厚度变化与生物礁的发育程度有着密切的关系,无礁剖面厚度一般为100m左右,有礁剖面厚度多大于200m。非礁相剖面中长兴组地层三分性明显。根据岩性、沉积旋回及生物组合特征,自下而上可划分为长一、长二和长三段。在盆地东部地区,长兴组的三段特征反映了沉积时海水由深逐渐变浅再变深的沉积过程,其下部长一段为中—薄层状褐灰—深灰色生物泥晶灰岩,含燧石结核;中部长二段灰岩层厚增加,生物含量增加,色变浅,燧石含量相对减少,有的剖面局部还有斑状亮晶胶结物出现;上部长三段石灰岩又变为暗色薄到中层状生物泥晶灰岩,泥岩夹层、燧石结核或条带增加,有的还具有风暴作用形成的递变层理或假“眼球”状构造。通常长二段生物丰富,分异度较高,以富含孔虫 *Glomospira* sp. 等(“黑群”组合)为特征。

海槽区长兴组(原名为“大隆组”)为一套硅质岩、泥灰岩及黑色页岩,产大量浮游类菊石、放射虫及海绵骨针等深水相生物,另见有腕足类、筳类和孔虫等。其中以见有菊石 *Pseudotirolites*, *Paratirolites*, *Iranites* 等的出现证明其时代为长兴期。典型剖面为广元上寺长江沟剖面。地层主要分布在四川盆地北部的广元—旺苍一带以及四川盆地东北部地区的重庆巫溪和鄂西地区,向北延至秦岭地区。

川西南陆相长兴组(原名为“宣威组”)主要为一套碎屑岩沉积,岩性以灰、灰绿色砂岩、粉砂岩为主,夹泥岩及煤层、煤线,厚55m,产植物化石。与上覆下三叠统飞仙关组整合接触,与下伏玄武岩整合或假整合接触。地层分布在四川盆地西南部,主要包括乐山市沙湾区、峨眉山市、雅安市。

四川盆地及周边地区长兴组厚度分布与古地理格局密切相关。海槽区内长兴组最薄,海槽两侧台缘带长兴组厚度最大。开江—梁平海槽两侧台缘带长兴组平均厚度约300m,海槽区长兴组厚度一般小于50m。川中和川西大部分地区长兴组属于开阔台地相区沉积,厚度约为60~150m。其中,台凹区长兴组厚度多小于80m,台凹边缘高隆带长兴组厚度多在150m左右(图1-2)。

二、飞仙关组

飞仙关组下伏地层为上二叠统长兴组,二者在盆地内未见明显沉积间断。从生物发育情况看,飞仙关组与长兴组存在明显差异。大多数二叠纪的生物种属都未能延续到三叠纪,三叶虫、筳及大多数腕足、钙藻灭绝,瓣鳃则繁盛起来。飞仙关组与上覆地层嘉陵江组为整合接触。

受康滇古陆的影响,飞仙关组在四川盆地内自西向东存在着明显的岩性变化,由陆源碎屑为主的沉积向东逐渐演变为碳酸盐岩为主。岩石地层组名分别称为飞仙关组、夜郎组和大冶组(图1-3)。飞仙关组发育在康滇古陆两侧,分布在旺苍、三台、威远、宜宾到贵州毕节一线以西,以紫红色碎屑岩占80%以上为显著标志。夜郎组分布在盆地中部成都—泸州—重庆一带,向东延伸到遵义,以红色碎屑岩和碳酸盐岩交互出现为特征,两类岩石比例

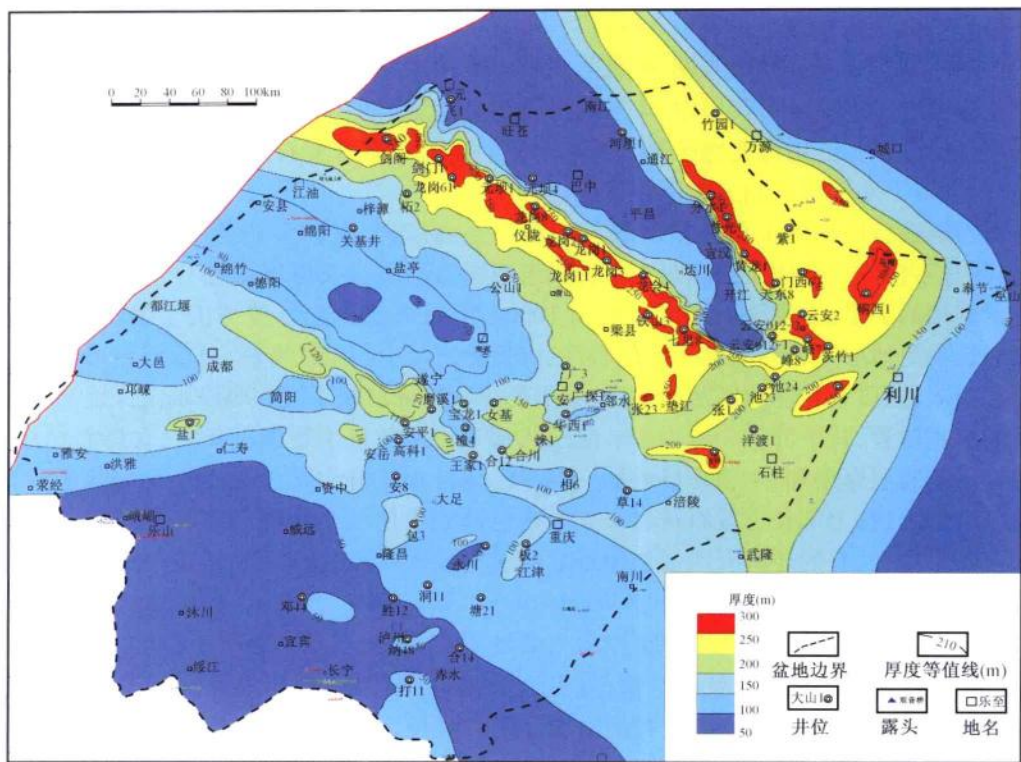


图 1-2 四川盆地长兴组厚度分布略图

接近 1:1。大冶组发育在川东、鄂西一带,以碳酸盐类为标志。为了统一起见,本书将下三叠统印度阶时限地层统称为飞仙关组。

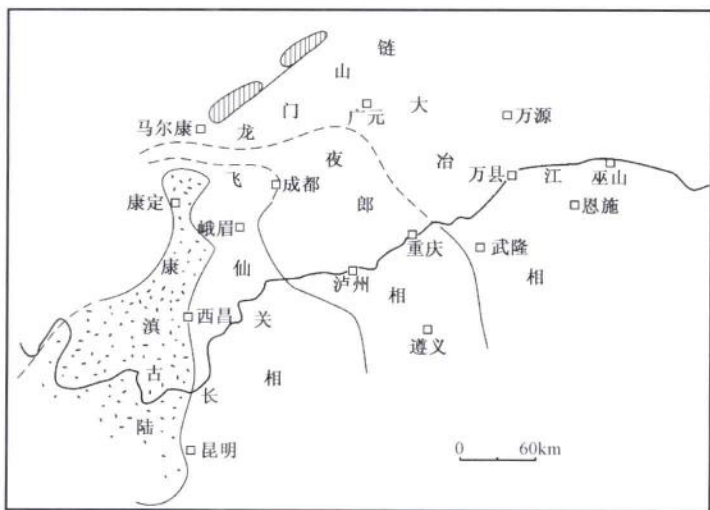


图 1-3 四川盆地及邻区飞仙关组岩相分区图

在重庆以西地区(夜郎组)和川西北部分地区飞仙关组的岩性四分性明显,可以此自下而上进一步划分为 T_1f^1 — T_1f^4 四个岩性段。其中 T_1f^2 、 T_1f^4 段以泥质沉积为主, T_1f^1 、 T_1f^3 段

以碳酸盐岩沉积为主。

飞四段(T_1f^4):紫红色页岩、薄层泥灰岩为主,夹薄生屑灰岩、泥晶白云岩、石膏岩化石为 *Eumorphotis multitoymis* 组合类型。

飞三段(T_1f^3):浅灰色中—厚层状泥晶灰岩、鲕粒灰岩、砂屑灰岩和生屑灰岩。化石为 *Claraiaaurita* 组合类型。

飞二段(T_1f^2):灰紫色、暗灰色泥灰岩夹薄层生屑泥晶灰岩,化石为 *Claraia Stachei* 组合类型。

飞一段(T_1f^1):紫色、灰色薄至中—厚层状灰岩、泥灰岩,顶部为鲕灰岩,化石为 *Claraia wangi* 组合类型。

飞一段、飞三段、飞四段在重庆以东、以北的大部分地区岩性较为稳定,可区域对比。飞二段向北、向东泥质含量逐渐降低,龙岗及其以北的碳酸盐台地相区飞二段均不含或少含泥质,加之缺乏相应的古生物标志,飞一段—飞三段划分难度大。考虑到飞仙关组总体上是一个由下自上变浅的旋回,尽管以上各区飞仙关组的岩性、电性特征有所不同,但变化趋势基本一致,可根据变化对盆地大部分地区的 T_1f^1 — T_1f^4 进行大致的对比划分。

四川盆地飞仙关组分布同样受古地理格局影响。与长兴组不同的是,海槽内的飞仙关组厚度大,而海槽两侧变薄。最厚区位于开江—梁平海槽,飞仙关组的厚度均在 800m 以上,海槽向外侧厚度快速递减,至川东和川中大部分地区厚度已降至 400~450m,川南大部分地区厚约 500m。川西地区德阳向西至雅安厚度依次递减,德阳—资阳一线厚约 350m,成都—仁寿—乐山—沐川—绥江一线厚约 300m,都江堰—崇州一线厚约 250m,邛崃—洪雅一线厚约 200m,雅安地区厚度已经小于 200m(图 1-4)。

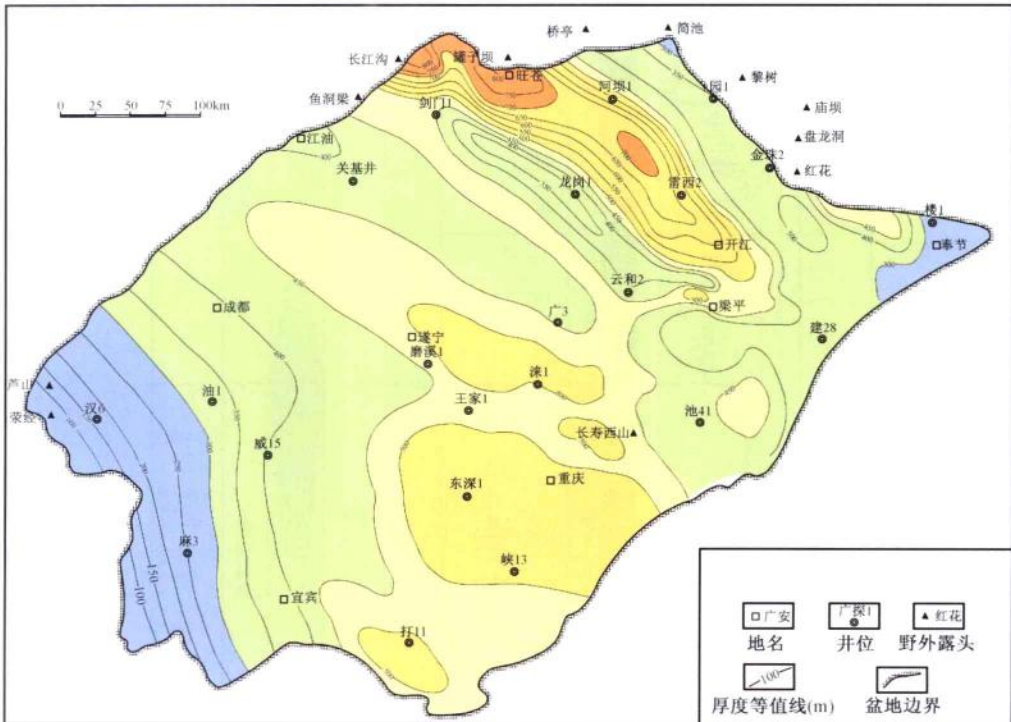


图 1-4 四川盆地飞仙关组厚度分布略图

第二节 层序地层

一、层序划分

以 Vail 层序地层学理论为指导,开展层序地层划分,建立全盆地层序地层格架。长兴组—飞仙关组可划分为 3 个三级层序,从下至上依次为层序 1(SQ1)、层序 2(SQ2)和层序 3(SQ3),详见图 1-5。以下重点讨论各个层序界面特征。

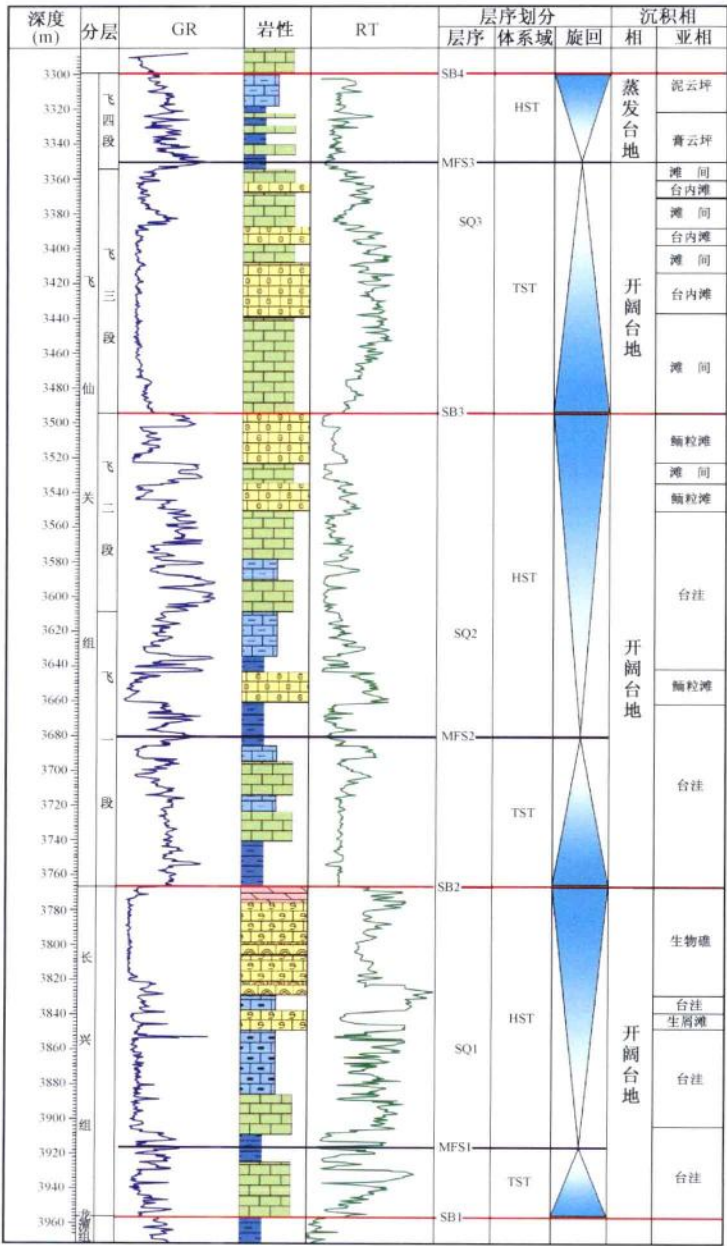


图 1-5 长兴组—飞仙关组层序地层划分

1. 层序1(SQ1)底界面

层序1底界位于长兴组底,与下伏龙潭组为连续沉积,其界面性质为岩性突变面。

龙潭组是一套海陆过渡相含煤沉积,在盆地的不同地区岩性表现差异较大。在川中台内成都、南充一带的磨深1井,界面之下龙潭组顶部发育陆相粉砂岩、泥岩沉积,界面之上长兴组灰色灰岩(图1-6);位于台缘带的龙岗1井,界面之下龙潭组顶部为粉晶白云岩以及页岩、泥灰岩,含燧石结核,界面之上长兴组为礁灰岩、生屑灰岩;而位于开江—梁平海槽区的龙岗10井,界面之下吴家坪组为凝灰质粉砂岩,界面之上大隆组为硅质灰岩、页岩及碳质页岩,岩相突变。同时盆地内不同地区的井的测井曲线的层序界面位置响应特征也非常明显,长兴组石灰岩质地较纯,少含泥质,含燧石结核或燧石条带,电测曲线表现较平直,特别是自然伽马曲线表现为明显的低平,而龙潭组顶部的自然伽马值明显较高,即界面之上为电阻突然增高,自然伽马突然降低,为突变面。

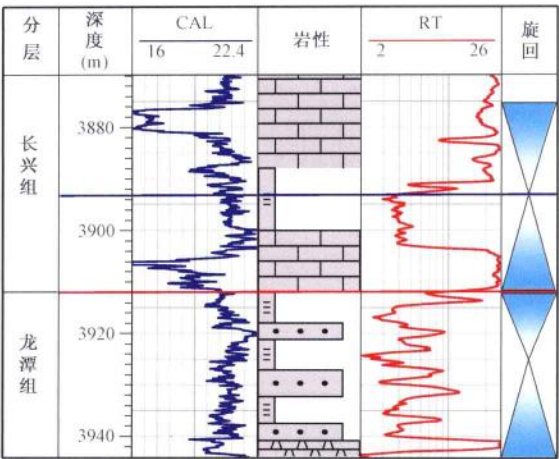


图1-6 龙潭组与长兴组间层序界面(磨深1井)

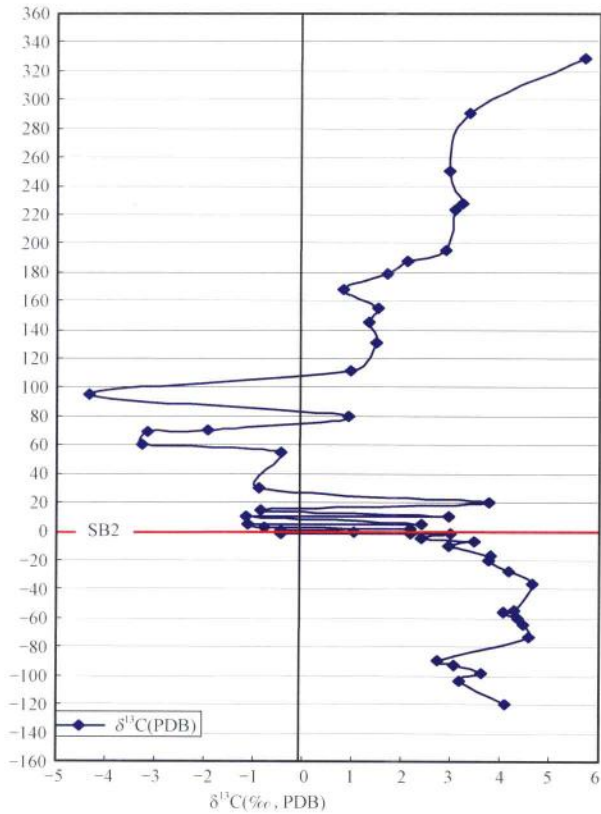


图1-7 长兴组—飞仙关组碳同位素变化图(通江剖面)

2. 层序1(SQ1)顶界面

层序1顶界面是长兴组与飞仙关组的分界。该层序顶界是二叠系与三叠系分界线,是一个全球重要的地质事件界面。

(1)二叠纪末生物大规模灭绝,一些门类如筴、四射珊瑚、床板珊瑚、三叶虫、软舌螺等完全消失,主要海生动物在二叠系/三叠系界线都有突然式的更替,种的绝灭高达95%以上。

(2)界面上下稳定同位素也发生了突变,通江剖面系统样品分析表明,长兴组 $\delta^{13}\text{C}$ 为正值,而飞仙关组 $\delta^{13}\text{C}$ 为负值,出现明显的转折点(图1-7)。

(3)长兴组/飞仙关组界线为一重要的岩性突变面。在四川盆地海相碳酸盐岩沉积区,上二叠统长兴组顶部为厚层块状含燧石灰岩或生物礁灰岩、云岩,下三叠统飞仙关组底