



中国四川东部 高陵构造石炭系气田

胡光烈 彭成祥 主编

石油工业出版社

102000
P618.130.2
110

中国四川东部高陡构造石炭系气田

胡光灿 谢姚祥 主编



5/03/07

石油工业出版社

内 容 提 要

本书是第一部全面介绍中国四川东部高陡构造气田的专著,汇集了近20年来对川东高陡构造勘探的成果。

该书通过分析川东高陡构造5种褶皱变形模式,总结出高陡构造的垂向变异地质模式及变形机制;系统介绍了石炭系气藏的成烃模式及烃潜量、储层特征、烃类的运移及聚集、天然气的保存条件及气藏的成藏模式,指出了石炭系的富集规律并解剖了典型气藏;最后论述了高陡构造气藏的勘探难点及其解决办法。

本书可供从事复杂地区天然气勘探的科研、生产技术工作者使用,也可作为大专院校有关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

中国四川东部高陡构造石炭系气田/胡光灿,谢姚祥主编.
北京:石油工业出版社,1997.3

ISBN 7-5021-1894-2

I. 中…

II. ①胡…②谢…

III. 石灰岩-油气藏-地质构造-模式-中国-四川

IV. P618.130.2

中国版本图书馆CIP数据核字(96)第24108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)

石油工业出版社印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

*

787×1092毫米 16开本 12¼印张 7插页 298千字 印1—1000

1997年3月北京第1版 1997年3月北京第1次印刷

ISBN 7-5021-1894-2/TE·1594

定价:35.00元

序

四川人创造了古代卓有成效的钻井、采气工艺技术，这在英国科学家李约瑟（Joseph Needham）所著的“中国科学技术史”中已有详细的考证和论述。1957年和1965年四川石油管理局两次组织“自流井气田研究队”，集中数十名优秀的科学家和工程师，深入现场，总结自流井气田的地质规律和几百年来传统的钻井、采气工艺技术。加上自贡市盐业博物馆所收藏展示的大量实物工具和历史文献，使我们深感历代四川劳动人民和工匠技师的智慧勤劳和锲而不舍的奋斗精神。建立了四川独具特色的上游采气工业和下游制盐工业，经历数百年而维持生产至今。

建国以来，四川盆地的天然气和石油工业有了很大发展，发现了一百多个新气田和十多个新油田。1957年四川天然气年产量仅1.3亿 m^3 。1995年天然气年产量已增至72亿 m^3 。原油生产亦从无到有，1995年石油产量为17万吨。

四川盆地的油气勘探发展是经历了千辛万苦而呈波浪式前进的，我有机会两次参加石油工业部组织的四川油气勘探会战，第一次是1958年川中石油会战，第二次是1965年以威远红村为基地的四川开气找油会战。在与四川地质科学工作者的并肩作战中，深感四川盆地的天然气和石油工业任重而道远，已经取得的勘探开发成果来之不易。目前贯通四川盆地川南、川东、川北、川西的环形输气干线已建成，各项利用天然气作原料或燃料的下游工业，民用管网和炼油厂均已齐备。增储上产的需求将持续到下个世纪。

由胡光灿和谢姚祥两位四川资深地质家主编的“中国四川东部高陡构造石炭系气田”专著，解答了我们如何运用现代化的技术装备和先进的石油地质理论来勘探开发川东的石炭系气藏。自1977年在川东相国寺气田相18井井深2302~2318m发现13m厚的上石炭统黄龙组白云岩气藏，酸化后获日产76.4万 m^3 的高产气流以来，迄今共发现42个不同类型的石炭系气藏，探明加控制加预测储量共3734亿 m^3 。其中开江附近的五百梯石炭系气藏，探明天然气地质储量539亿 m^3 ，成为四川盆地迄今探明储量最大的气田。川东有10排巨型高陡构造带，目前仅在3个构造带勘探程度相对较高，今后勘探的领域尚很广。石炭系具有形成大中型气田的良好地质条件。

本书在地质理论方面总结了川东高陡构造这种变形特征及垂向变异地质模式，石炭系气藏成藏条件和石炭系气藏的成藏模式及富集规律。思路开阔，观点新颖，立论正确。总结了二十年来对付川东高陡构造石炭系气藏的一整套比较成熟的勘探工艺技术：

1. 川东地面高陡构造经受多期构造应力作用，形成构造的垂向变异及褶皱变形。其地腹深部的石炭一二叠系常转换为多个凸凹相间的次级构造。由于上、下构造不符，对地腹次级构造的组构、规模及形态已有一套比较可靠的地质评价技术。

2. 通过地震和测井资料，建立了石炭系储层的横向预测技术。解决了厚度仅数十米的石炭系储层厚度预测和储集性能分级等储层评价技术。

3. 用拟压力系数法（折算至某一基准面上的压力系数），解决了勘探早期仅有一口气井的情况下通过试井资料确定气水界面，解决了石炭系气藏的早期评价及储量计算方法。

4. 摸索出一套适应复杂地形条件和复杂构造条件的钻井技术。采用地质与物探、处理

与解释紧密结合的靶心论证技术，在复杂情况下实施定向侧钻分枝井工艺技术，大大提高了探井成功率。

本书是四川盆地天然气勘探工作中一份重要总结，不仅对石炭系气藏的深化勘探，扩大成果有了一套行之有效的地质、物探和钻采工艺技术方法，同时对四川盆地其它含油气层系的勘探也将起到重要的借鉴作用。为此我特向著者及四川广大参与勘探实践的同志们表示衷心的祝贺。预期今后四川盆地的天然气和石油勘探将会不断取得新的进展和重大发现。

李德生

1996年11月于北京

前 言

四川是世界上最早发现和利用天然气的地区,但是,天然气的大规模勘探开发则是在中华人民共和国成立之后。截至 1995 年底,共探明并开发气田 85 个,天然气年产量达 $71.8 \times 10^8 \text{m}^3$,约占全国产量的一半,已成为我国重要的天然气工业基地。

四川盆地天然气资源丰富,远景资源量为 $71851 \times 10^8 \text{m}^3$,但资源分散不集中;纵向上产层多,已发现的气田多为中、小型气田,气田平均储量仅有 $53 \times 10^8 \text{m}^3$;以碳酸盐岩储层为主,储集类型属低孔低渗,裂缝对储集性能的改善起重要作用。这些特点影响并控制了四川天然气工业的发展。

至 70 年代末期,四川天然气的勘探开发主要集中在川南、川西南地区,产层为二叠、三叠系,最高年产量达到 $64.7 \times 10^8 \text{m}^3$ 。以后由于缺乏后备产层,造成储采比失调,年产量逐年下降,盆地天然气的勘探开发处于困难时期,在 1977 年川东高陡构造发现石炭系气藏之后才扭转了形势。经过近 20 年的艰苦工作,使盆地天然气产量稳步增长,预计 2000 年年产量将达 $90 \times 10^8 \sim 100 \times 10^8 \text{m}^3$ 。川东高陡构造石炭系的勘探开发是四川天然气工业发展的重要里程碑。

川东高陡构造石炭系气藏的成藏条件复杂,勘探技术的难度很大。首先是地表条件差,地下构造复杂,应用地震勘探技术要可靠地查明地下构造形态存在一系列技术难题;再则是石炭系厚度小、变化大,埋深普遍超过 4000m,要掌握变化规律并可靠地预测厚度十分困难,钻井工程的难度也很大。因此,从 1977 年发现石炭系气藏以来近 20 年的勘探过程是一个不断实践、认识、再实践、再认识的过程;是一个不断解决勘探技术难题取得技术发展的过程;是一个时起时伏波浪状前进的勘探发展过程。在整个勘探过程中,科学技术的发展是关键,也是最活跃的生产活动。据统计与勘探石炭系有关的科研课题共有 94 项,其中“川东高陡构造天然气勘探研究”、“川东地区石炭系深化勘探方案研究”等 22 项获部、省级科技进步奖。1991—1995 年,我局承担了“四川盆地碳酸盐岩大中型气田形成条件及分布规律”的国家科技项目,以“川东地区高陡构造带天然气富集规律研究”专题为主,对已知大中型气田成藏条件、烃源、油气保存与破坏等进行了基础理论研究,综合研究了川东高陡构造石炭系气藏的成藏条件和富集规律。此外,1989—1993 年还开展了“大气田勘探方向及目标评价”研究。本书在以上成果的基础上,汇集近 20 年来四川石油管理局的勘探、科研成果,对川东高陡构造石炭系气藏进行了较为详细的论述。通过本书的编写,期望能回顾历程、总结经验、认识规律、发展技术、明确方向,进一步加速四川天然气工业的发展;并以此书献给从事川东高陡构造天然气勘探开发的全体工作者。

本书由胡光灿、谢姚祥主编。前言和第一章分别由蒋长安、胡光灿编写;第二章由杨先杰编写;第三章由黄籍中、路中侃编写;第四章由李一平、胡光灿编写;第五章由杨先杰、杨智仁、张红、韦进平、黄建章提供草稿,刘志鉴统编;第六章由胡光灿、谢姚祥编写。全书文稿由唐创基、张声瑜修编。参加绘制图件的有赖远志、廖乘风、于存政、薛翠珍、王琰、杨远、朱敏等。刘必浩、杨明、吴康参加了协调管理工作。

在编写过程中,中国石油天然气总公司、中国石油天然气总公司石油勘探开发科学研究

院的领导、专家给予了指导和帮助。中国科学院李德生院士为本书作序。李德生、戴金星院士及胡朝元、吴震权、关德范、包茨、王宓君、马兴峙、夏鸿辉、曾时田、冉隆辉、罗朝正、潘祖福、刘方槐、唐泽尧、陈子恩、张仲武、戴弹申、蒋太安、何天华、杨智仁、杨家琦、胡奇谋等对本书进行了审阅，在此深表谢意。

由于编写时间仓促、笔者水平有限，错误之处请批评指正。

目 录

第一章 概论	(1)
第一节 石炭系气藏的发现和勘探发展	(3)
一、石炭系气藏发现之前	(3)
二、石炭系气藏的发现	(3)
三、石炭系勘探的发展	(4)
第二节 勘探工作量和成果	(5)
一、地震	(5)
二、钻探成果	(5)
第二章 川东高陡构造褶皱变形特征及垂向变异地质模式	(8)
第一节 四川盆地基底结构及沉积盖层发育史	(8)
一、盆地基底结构概貌	(8)
二、沉积盖层发育史	(9)
三、盆地区域构造特征	(14)
第二节 川东高陡构造褶皱变形特征	(16)
一、第二弱岩组(雷口坡组—嘉二段)翼厚顶薄不协调褶皱变形模式	(18)
二、第一弱岩组(志留系)顶厚翼薄不协调褶皱变形模式	(24)
三、浅层(侏罗系—上三叠统)构造高陡褶皱变形模式	(30)
四、中层(嘉一段—石炭系)构造解体褶皱变形模式	(30)
五、深层(奥陶系—寒武系)构造Y字型断垒褶皱变形模式	(40)
第三节 川东高陡构造垂向变异地质模式及变形机制	(44)
一、川东高陡构造垂向变异地质模式	(44)
二、川东高陡构造变形机制	(44)
参考文献	(46)
第三章 石炭系气藏成藏条件	(47)
第一节 烃源与烃潜量	(47)
一、天然气成因类型	(48)
二、烃源分析	(55)
三、成烃模式及烃潜量	(56)
第二节 储层特征及孔隙演化	(63)
一、地层划分与岩性变化	(63)
二、沉积古地理	(65)
三、沉积相模式	(67)
四、孔隙结构与储渗类型	(70)
五、成岩作用与孔隙演化	(77)
六、储层发育的控制因素与储层评价	(84)

第三节 烃类运移与聚集	(86)
一、烃类初次运移	(86)
二、烃类二次运移	(89)
三、圈闭类型与天然气聚集	(91)
第四节 天然气的保存条件	(97)
一、直接盖层封闭机理	(97)
二、间接盖层封闭机理	(98)
三、水文地质垂直分带	(99)
参考文献	(101)
第四章 石炭系气藏的成藏模式及富集规律	(102)
第一节 石炭系气藏成藏史	(102)
一、用盆地数值模拟研究成藏史	(102)
二、石炭系气藏成藏史	(108)
第二节 石炭系气藏的成藏模式	(118)
一、早期聚集成藏模式(两次成藏模式)	(118)
二、晚期聚集成藏模式(一次成藏模式)	(119)
第三节 石炭系气藏的富集规律	(119)
一、高烃潜量强度分布区	(120)
二、有利沉积相带内的有效储层发育区	(121)
三、继承性大型古隆起	(121)
四、良好的圈闭	(122)
五、现今流体势的低势区	(124)
第四节 石炭系气藏的典型实例	(125)
一、大天池构造带五百梯石炭系气藏	(125)
二、大池干井构造带龙头—吊钟坝气藏	(130)
参考文献	(134)
第五章 高陡构造气藏勘探技术	(135)
第一节 高陡构造地震资料处理、解释程序化、模式化技术系列	(135)
一、高陡构造垂向变异模型的建立	(135)
二、高陡构造物理模式的建立	(138)
三、高陡构造偏移方法及偏移处理技术	(140)
四、高陡构造地震剖面精细解释方法	(154)
第二节 石炭系储层横向预测技术	(157)
一、石炭系厚度变化预测技术	(157)
二、石炭系储集性能分级预测	(165)
第三节 气水界面预测技术——拟压力系数法	(169)
一、拟压力系数法预测气水界面	(170)
二、拟压力系数的确定	(173)
三、应用实例	(175)
第四节 靶心论证及定向侧钻中靶技术	(176)

一、靶心论证技术·····	(176)
二、定向侧钻中靶技术·····	(176)
参考文献·····	(177)
第六章 综论与展望·····	(180)
第一节 综论·····	(180)
第二节 展望·····	(182)
一、天然气资源丰富·····	(182)
二、勘探领域广阔·····	(182)
参考文献·····	(185)
图版及图版说明	

第一章 概 论

中国四川东部高陡构造天然气区西以华蓥山为界，东至方斗山，北达城口—巫溪以南，南至南川—武隆以北，面积约 55000km²，简称川东地区（图 1-1）。多排北东向的条形山脉纵贯全区，海拔 700~1000m，其间为低丘、平坝，海拔 200~500m。本区南部靠近重庆市，公路发达，又有长江水运，交通方便；北部交通困难。

川东地区的构造以高陡构造为其特征。高陡构造在地貌上为正向高山，相对高差达 500~800m；构造核部多出露中、下三叠统碳酸盐岩，翼部地层陡峻，倾角 50°至直立倒转，上下构造差异大，属不协调褶皱；在平面上构成一系列平行的隔挡式褶皱，背斜狭窄，宽 5~7km，延伸超过 100km，向斜宽缓达 10~20km，分布侏罗系红色碎屑岩。在高陡构造带之间也有少数受力较弱的低陡构造及由地震发现的低潜构造。由于地形条件差，地下构造复杂，因而勘探难度大。

川东地区具有多产层特点，石炭系是主要产气层。勘探证实，石炭系是一套底超、顶削的碳酸盐岩，分布广泛，次生孔隙发育，储层条件较好，它与高陡构造构成了众多的含气圈闭。

川东地区已成为中国的主要气区，共探明 26 个气田，发现 28 个含气构造（有工业性气藏，待评价探明），获探明储量 $2371 \times 10^8 \text{m}^3$ ，控制加预测储量 $2149 \times 10^8 \text{m}^3$ 。石炭系 42 个气藏获探明储量和控制加预测储量分别占川东地区总量的 76% 和 89%。川东地区 1995 年产天然气 $43 \times 10^8 \text{m}^3$ ，其中石炭系占总产量的 73.3%。在今后 5~10 年内，石炭系年产量将达 $55 \times 10^8 \sim 75 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

本书以四川东部高陡构造天然气区石炭系气藏的成藏条件、分布规律和勘探技术为主要内容进行总结和论述。

①研究了川东高陡构造的垂向变异并建立了相应的地质模式。由于卷入褶皱地层强弱性差异，在构造主体部位脆性层形成同心褶皱与下三叠统膏盐层、志留系泥页岩形成的顶薄翼厚、顶厚翼薄褶皱在垂向上构成不协调褶皱。其中石炭—二叠系构造解体成陡、断、凹、凸构造模式，当石炭—二叠系硬层与上盘志留系软层接触时则形成阶梯形断层模式。这些地质模式为地震剖面的偏移（归位）及精细解释提供了基础。

②以源控论为主导、烃源体系为对象，建立了储层运移烃、烃源岩微量烃与气态烃的气源对比方法；采用低成熟岩类全岩热模拟实验结果来建立成烃模式；据甲、乙烷碳同位素特征编绘的四川盆地天然气成因分类图，确定石炭系天然气属有机成因；据有机质类型指数（TI）与 R_{max} 值确定有机相油气属性；用烃潜量强度值作为气田分级与评价预测标准。

③石炭系沉积微相、成岩作用和云南运动的剥蚀是控制储层发育的三大因素，据此对储层进行了分类评价，指出石炭系的储渗类型主要为裂缝—孔隙型；建立了志留系泥质岩压实模拟曲线，计算了烃类初次运移量；指出印支—燕山期古隆起上的地层—构造圈闭对烃类运聚有控制作用；计算了直接盖层和间接盖层的封闭能力，指出间接盖层压力封闭是石炭系天然气富集的重要条件；据水化学特征及三叠系膏盐层的保存完好程度划分了水文垂直分带；提出石炭系逆断层具开启性，高陡构造带主体背斜的气水界面受断层溢出点控制。

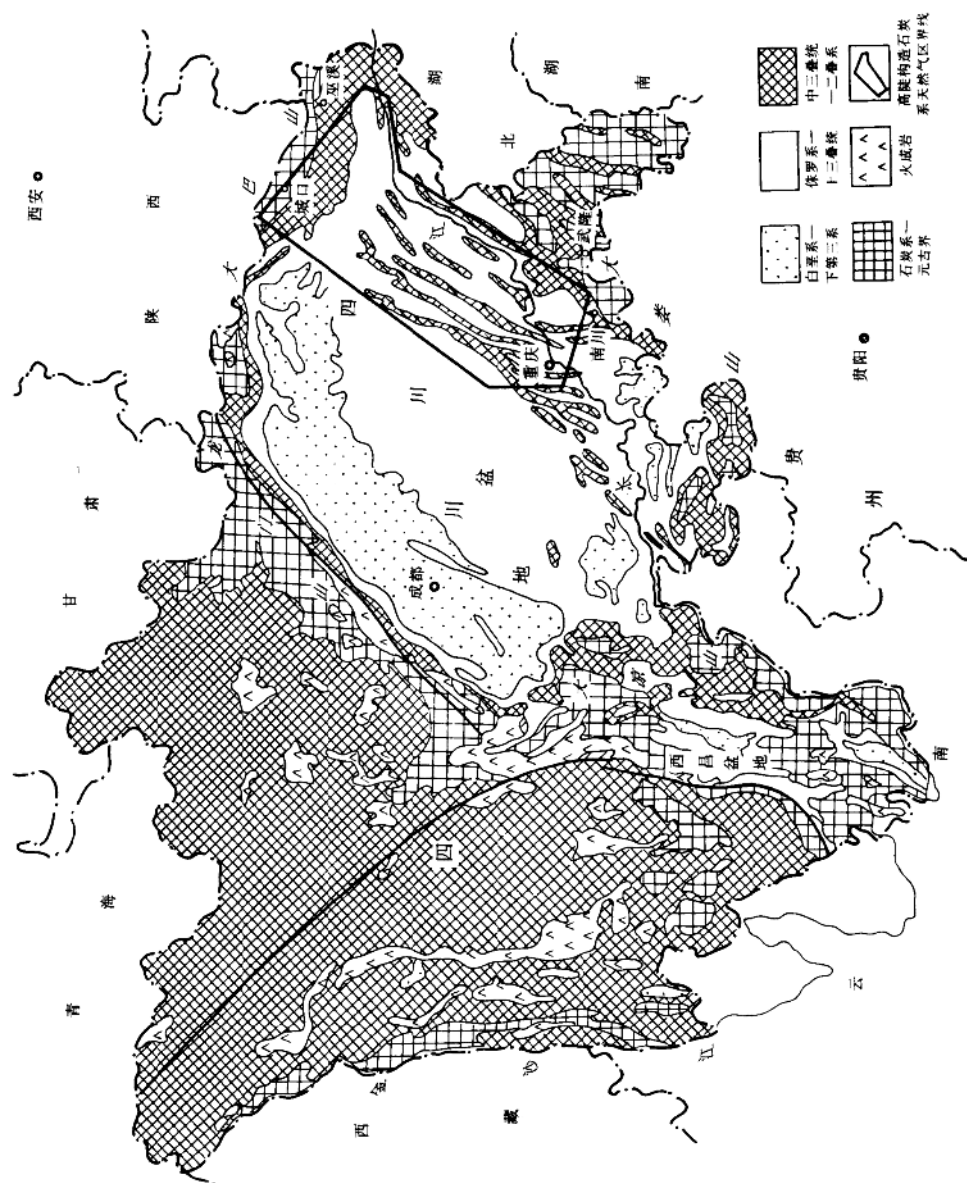


图 1-1 四川东部陡构造天然气区位置图
(据张继铭, 1989)

④用盆地数值模拟对川东石炭系气藏的成藏史进行了研究。石炭系气藏具有两次成藏过程，第一次成藏始于印支早幕，富集于燕山期，在继承性开江古隆起上形成大面积分布的构造—地层复合型古气藏；第二次成藏于喜山期，形成现今的气田群。据此建立了相应的成藏模式。川东石炭系天然气富集规律是：与高烃潜量强度值分布区相一致；在有利沉积相带背景下，大中型气田沿高陡构造端部、翼部的断层下盘圈闭呈串珠状分布；开江古隆起—地层复合型圈闭的天然气最富集；富集于现今流体低势区与高陡构造的叠合部位。

⑤通过反复实践和认识，在高陡构造石炭系勘探中逐步形成以下技术系列：高陡构造地质模式、物理模式的建立及地震剖面偏移（归位）处理与精细解释；石炭系厚度预测和储层性能预测；气水界面预测；在原井眼定向侧钻。

⑥指出川东高陡构造石炭系具有良好勘探前景。石炭系还有近 $10000 \times 10^8 \text{m}^3$ 的资源可供勘探，其中潜在资源量约为 $3439 \times 10^8 \text{m}^3$ 。目前石炭系已进入储量快速发现阶段，预计将延续到世纪初期，最终探明储量将达 $8000 \times 10^8 \text{m}^3$ ；勘探领域广阔，有喜山期构造圈闭、印支—燕山期大型古隆起多种圈闭及海西期隆起边缘多种圈闭。

第一节 石炭系气藏的发现和勘探发展

一、石炭系气藏发现之前

四川盆地在 1949 年之前已发现和初步查明地面构造约 120 个，到 1959 年已达 238 个，基本完成全盆地的地面地质调查工作。据地质调查，川南、川西南地区的构造受力适中，数量亦多，因此，70 年代之前天然气的勘探开发主要是在这两个地区进行，目的层是中、下三叠统和二叠系，1949 年之前仅发现圣灯山、石油沟气田，到 1959 年也只发现 11 个气田。

由于川东地区地形和地质条件复杂，构造褶皱强烈，出露地层老（77 个地面构造中有 50 个核部出露中、下三叠统及以下地层），油气地质评价低，因而开展油气勘探较晚，1959 年首选两排高陡背斜之间的卧龙河低陡构造进行钻探，卧 1 井于下三叠统嘉陵江组发生强烈气喷（因事故报废），由此揭开了川东地区的勘探序幕。1963 年完成卧 3 井，于嘉五¹层获气，测试日产气 $148 \times 10^4 \text{m}^3$ 。到 1977 年底，川东地区的勘探开发仅集中在以卧龙河气田为重点的少数几个低陡构造上，层位限于二叠、三叠系，在高陡构造中的黄泥堂、蒲包山均因钻入构造复杂带而失利。在此期间，共在 8 个构造上钻井 75 口（其中卧龙河钻井 41 口），发现卧龙河、相国寺、双龙、福成寨四个气田，产层为下三叠统嘉陵江组和二叠系阳新统，共探明储量约 $180 \times 10^8 \text{m}^3$ 。1977 年川东地区的天然气产量为 $9.3 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

二、石炭系气藏的发现

地质调查和钻探证实，四川盆地的大部分地区缺失石炭系和泥盆系。在川东，前人的地质调查曾提到可能存在泥盆或石炭系，如在《四川省区域地层表》中标明岳池县溪口镇华蓥山剖面于二叠系与志留系之间有 5.6m 白云岩，含上石炭统蜓科及有孔虫等标准化石。1965 年 9 月，蒲包山构造 1 号井于二叠系与志留系之间发现钻厚 40m 的白云岩，层位初定为泥盆系，测试产地层水。1977 年 4 月，相国寺构造 8 号井于二叠系之下钻遇 17.5m 白云岩并有气显示，据岩屑观察，白云岩溶孔发育，储集性能好，引起了地质家的重视。1977 年 10 月，决定在相 18 井加深钻探该套白云岩，白云岩钻厚 13.5m，完钻测试产天然气 $76 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ ，经鉴定层位为石炭系黄龙组。由于相国寺石炭系气藏的发现，川东地区的勘探开发进入了较快发展时期。

三、石炭系勘探的发展

石炭系发现之后的勘探发展是波浪式前进的, 基于勘探目标的变化, 相应的勘探技术由不适应到适应。勘探可划分为四个阶段。

第一阶段: 1978—1980 年为低潜构造勘探阶段。从相国寺石炭系气藏发现之后, 在全区展开勘探, 首选的目标是低潜构造。在这些构造上, 二叠、三叠系已发现气藏并正在开发。通过加深勘探, 陆续发现了福成寨、雷音铺、张家场、卧龙河等石炭系气藏, 共探明储量 $344 \times 10^8 \text{m}^3$, 为石炭系勘探成效显著的第一高峰期。

第二阶段: 1981—1986 年为高陡构造勘探失利阶段。在已发现的低潜构造勘探目标越来越少的情况下进入高陡构造勘探阶段。前三年在铜锣峡、黄泥堂、南门场等 9 个高陡构造上钻预探井 11 口, 全部钻入构造复杂带而失利, 仅发现相东、亭子铺、沙罐坪等 6 个以低潜背斜为主的石炭系气藏, 获探明储量 $156 \times 10^8 \text{m}^3$ 。后三年的效益更差, 只发现了一个小气藏, 控制储量 $21 \times 10^8 \text{m}^3$ 。石炭系的勘探处于低谷期。

这个阶段揭示出, 欲提高石炭系的勘探成效必须解决以下三个技术问题:

①解决高陡构造地震资料采集、处理、解释技术, 以提供准确的构造形态。

②解决石炭系的厚度预测技术, 查明岩性岩相变化。此阶段的钻探实践表明, 石炭系残厚变化在 0~70m, 有的地方缺失, 有的相变为石灰岩使储层变差, 造成一些探井失利。

③弄清石炭系气藏气水分布规律。

上述三个问题中, 以第一个问题最突出, 应着重攻关解决。

在这一阶段, 高陡构造上的预探井大多数是依据当时的单次模拟记录地震成果拟定的, 认为井位在浅层是构造高点, 到目的层石炭系也是构造高点, 但实际这批井在目的层均钻入构造陡带或断下盘凹部, 说明地震解释成果与地下实际不符。通过对失利井地质、地震资料的综合分析, 根据实钻资料恢复得出的构造剖面说明, 在正对地面高点的地腹二叠系、石炭系构造是陡带和断凹。断凹在地震水平剖面上反映为正对地面构造轴部的弧形回转波。因过去的速度结构模式不合适, 偏移处理方法不对, 断凹的回转波不能正确归位, 把断凹解释为正向构造而造成钻探失利。

通过研究, 建立起以正确的地质、物理模式为核心的一套地震处理、解释工作程序和方法, 使提供的地震成果逐渐逼近地下实际。与此同时, 1984—1986 年还对川东高陡构造重新进行了多次覆盖数字地震详查, 应用新的处理解释方法提交的地震成果清楚地说明, 地腹的二叠—石炭系构造解体为上盘正向构造、陡断带和下盘断凹、下盘正向潜伏构造三部分。这三部分在平面上形成彼此平行、相互伴生的三个带, 为勘探提供了正确的目标。

第三阶段: 1987—1989 年为高陡构造勘探成功阶段。利用新的地震成果在 10 个圈闭上钻预探井 11 口, 有 8 个圈闭获得工业性气藏 (2 个上盘主体背斜圈闭、2 个构造带端部低潜圈闭和 4 个下盘低潜圈闭), 获探明储量 $396 \times 10^8 \text{m}^3$ 、控制储量 $365 \times 10^8 \text{m}^3$, 出现了勘探成效显著的第二个高峰。

在这个阶段后期, 应用地震资料预测石炭系厚度的技术有了重大进展, 完成了川东全区石炭系厚度预测, 对石炭系的分布有了规律性的认识, 对勘探具有重大的指导作用。在继续进行构造圈闭勘探的同时, 提出了地层—构造复合圈闭是石炭系勘探的重要发展方向。

第四阶段: 1990—1994 年为地层—构造复合圈闭勘探阶段。探明大天池构造带五百梯、龙门等石炭系地层—构造复合圈闭气藏, 石炭系勘探继续处于储量增长高峰期。这一阶段共发现 17 个新气藏, 探明储量 $800 \times 10^8 \text{m}^3$, 控制储量 $400 \times 10^8 \text{m}^3$ 。其中五百梯石炭系气藏是

四川盆地迄今探明储量最大的气田。

第二节 勘探工作量和成果

一、地震

在川东地区的勘探中，地震勘探技术的发展对勘探起到了关键的作用。

川东地区的地震勘探始于 1967 年，至 1973 年期间均采用光点记录地震仪，1974—1980 年使用模拟地震仪，1980 年开始部分采用数字地震仪，1985 年以后全部采用多次覆盖数字地震。至今共完成二维地震 39350km，其中数字记录 27260km，模拟记录 10529km。完成三维地震 1390km²。

野外地震采集技术以卧龙河（低陡构造）、大池干井（高陡构造带）构造具有代表性，反映了川东地震技术的发展。

川东地区的地震勘探首先是从卧龙河构造开始的。该构造发现于 1957 年，是西陡东缓两翼不对称的“S”形长条背斜，地面出露侏罗系红色地层，圈闭面积为 254km²，闭合度为 1990m。地貌为低丘，野外地震条件较好。1967—1971 年采用光点仪单次详查，1975—1977 年采用模拟录制单次详查，1977—1983 年模拟六次覆盖详查，整个构造三轮地震共作二维 1307km。1986 年采用数字三维勘探，三维面积 846km²，点距 30×60m，覆盖次数 5×2。随着所采用地震技术的进步，对构造解释的精度也逐步提高。

大池干井构造带是川东山地高陡构造带地震勘探的先导，它的技术发展历程综合反映了整个川东山地地震的发展。该构造带地质调查始于 1938 年，1959 年完成了构造地质细测。它是狭长的典型高陡构造带，南北伸展长 93.5km，宽 4.6km，东陡西缓，地面核部出露三叠系。圈闭面积为 367km²，闭合高度为 1500m。地貌为高山深谷，野外地震条件困难。首选该构造进行山地地震，为川东地震勘探作先导。1971 年用光点仪详查。1973—1977 年在试验的基础上，先后进行了模拟单次和多次、由弯线到直线等距的详查，共作二维地震 600km，编制出整个构造带的目的层构造图，为大池干井构造第一批探井部署提供了依据。1983 年在构造带的端部万顺场高点发现石炭系气藏，但构造主体部位因解释成果不符合实际而使钻探失利。1984—1985 年再作数字多次详查，完成二维地震 1983km，在改进了地质、物理模型的基础上，采用新的偏移方法编制出新的构造图，在构造上盘主体背斜和下盘潜伏构造发现了三个石炭系气藏。

目前全区已基本完成数字地震连片详查，测线距 1~2km。编制了全区石炭系连片构造图及厚度分布图，发现和证实各类圈闭 101 个，其中主体背斜圈闭 17 个，低潜背斜圈闭 64 个，地层—构造复合圈闭 20 个。

二、钻探成果

到 1995 年底，共对 73 个石炭系不同类型圈闭进行了钻探（表 1—1），发现气藏 42 个（图 1—2），圈闭钻探成功率为 57.5%，其中以地层—构造复合圈闭钻探成功率最高，低潜背斜圈闭次之，主体背斜圈闭最低。以断层圈闭为目标钻探了 11 个，因断层的开启性未能构成遮挡而全部产地层水。

到 1995 年底，以石炭系为目的层钻探的井共 356 口，累计总进尺 145.98×10⁴m。其中钻遇石炭系的井 340 口，获工业气井 177 口，钻探成功率为 52.1%（表 1—2）。至今已发现石炭系气藏 42 个，其中 21 个气藏的探明储量为 1822×10⁸m³；另外 21 个气藏的控制加预

测储量为 $1912 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

表 1—1 石炭系各类圈闭钻探成功率表

圈闭类型	圈闭数	已钻数	获气数	成功率, %
主体背斜	17	15	6	40.0
低潜背斜	64	46	26	56.5
地层—构造	20	12	10	83.3
合 计	101	73	42	57.5
断层圈闭		11	0	0
石炭系缺失构造		6	0	0

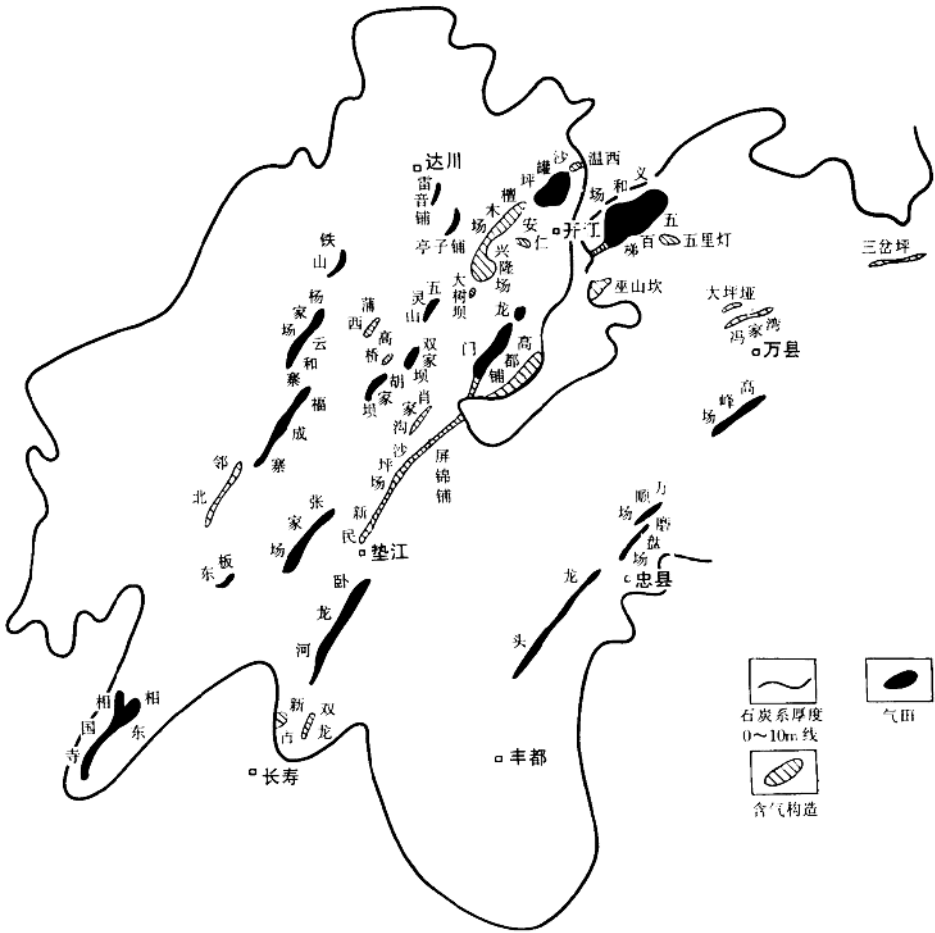


图 1—2 石炭系气田分布图

表 1—2 石炭系钻井情况简表

井 别	井 数	所占比例, %
气 井	177	52.1
水 井	84	24.7
干 井	67	19.7
其 它	12	3.5
合 计	340	
石炭系缺失井	16	