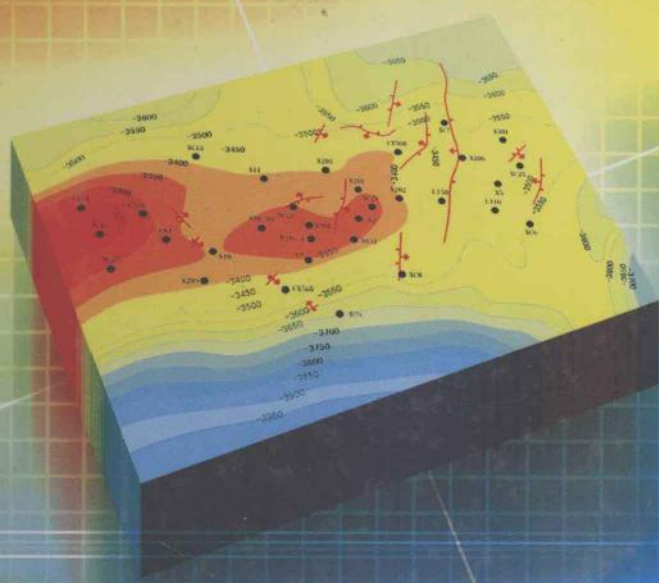


川西坳陷须家河组 致密砂岩气藏

蔡希源 杨克明 等著



石油工业出版社

川西坳陷须家河组 致密砂岩气藏

蔡希源 杨克明 等著

石油工业出版社

内 容 提 要

本书全面、系统、翔实地论述了川西坳陷须家河组天然气藏基本地质特征,并剖析了川西坳陷须家河组典型气藏——新场和大邑的成藏条件及气藏特征,还阐明了川西前陆盆地须家河组天然气富集规律及对勘探目标的评价的影响,同时对须家河组的成藏机理和成藏模式作了论述。

本书可供石油地质类科研人员及大专院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

川西坳陷须家河组致密砂岩气藏 / 蔡希源, 杨克明等著.

北京: 石油工业出版社, 2011.3

ISBN 978-7-5021-8312-7

I. 川…

II. ①蔡…②杨…

III. 砂岩油气藏—研究—川西地区

IV. TE343

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 032758 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: www.petropub.com.cn

编辑部: (010) 64251362 发行部: (010) 64523620

经 销: 全国新华书店

印 刷: 石油工业出版社印刷厂

2011 年 3 月第 1 版 2011 年 3 月第 1 次印刷

787×1092 毫米 开本: 1/16 印张: 10.75

字数: 260 千字

定价: 100.00 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

序

我欣喜地看到了蔡希源、杨克明等撰写的《川西坳陷须家河组致密砂岩气藏》书稿，这是一本难得的好书。故当作者邀请我为该书作序时，我欣然允诺。

现今全球已发现或推测发育致密砂岩气藏的盆地超过 70 个，致密砂岩气储量占已发现天然气可采储量的 24%，致密砂岩气已成为国内外天然气勘探的重点领域。川西坳陷须家河组致密砂岩气藏具有“超深、超压、超致密和超晚期构造”四超的难点，经过半个世纪不懈的探索终于获得成功，于 2009 年在新场须家河组二段找到了探明储量超千亿立方米的大气藏，此专著反映了这一艰辛探索的历程和取得的成果。

作者以大量翔实的第一手资料刻画出了川西坳陷须家河组致密砂岩气藏的基础地质背景，如地层、构造、烃源岩、储层、盖层及资源量等的现今面貌及其发展变化的历程。本书的亮点及精彩处在于作者对那些动态的成藏条件（如天然气是如何运移、聚集、保存而最终形成气藏）及气藏是什么年代形成等难题给出了明确的、令人信服的答案，提炼出了川西深层须家河组致密砂岩气藏的成藏模式，并且以新场须家河组气藏等为实例对每类成藏模式的地质背景、成藏要素、成藏过程、主控因素及分布特征作了明确的论证。这一答案不单指导了川西坳陷须家河组气藏的成功勘探，同时也丰富了致密砂岩天然气藏成藏地质理论。

我国对致密砂岩气藏的研究已近半个世纪。本书全面、系统、深刻地总结了川西致密碎屑岩的研究成果，它代表了我国当前致密砂岩气藏研究的高水平，正是关心和从事致密砂岩气的勘探家们所需要的。

我相信本书的问世，定将对我国四川、鄂尔多斯、吐哈、东濮等致密砂岩含气盆地勘探事业蓬勃的发展起到推动作用。

刘宝瑞

2010 年 9 月 20 日

前言

随着国民经济的持续高速发展和民生需求的快速增大,常规天然气越来越难以满足现实需求,非常规致密砂岩天然气的勘探开发显得越来越重要。

川西坳陷上三叠统须家河组蕴含丰富的致密砂岩气,经过半个世纪的勘探开发,已成为我国重要的天然气基地,至2009年底,仅中国石化探采矿权区已累计获天然气三级储量 $5373.44 \times 10^8 \text{m}^3$ 。然而这一成功却是来之不易的,它是经历了两代人艰苦卓绝的探索和钻研才取得的。虽然早在20世纪70年代初就发现了中坝须家河组二段气藏,但随后在孝泉、安县等构造上实施的勘探并未获得预期油气成果,面对须家河组具有的“四超”(超深、超压、超致密和超晚期构造)难点,当时的地质认识和勘探技术明显难以适应,使深层须家河组的勘探陷入长时间的徘徊,其间虽在合兴场、平落坝等局部构造上发现了须家河组气藏,但都没有形成规模。勘探在徘徊,但科技攻关却在持续,“八五”、“九五”、“十五”的刻苦攻关深化了地质认识,创新性地提出了“有效储渗体”的新认识和“早聚、中封、晚活化”的成藏理论,建立了超致密储层裂缝和高产富集带地震预测技术(特别是3D3C地震勘探技术),并配套了以储层改造和储层保护为核心的工艺技术,终于在“十一五”期间取得了重大突破,于2009年在新场须家河组二段提交了 $1211.12 \times 10^8 \text{m}^3$ 天然气探明储量,并有望在新场构造带须家河组探明 $3000 \times 10^8 \text{m}^3$ 天然气储量。

本书是集半个世纪来对川西坳陷须家河组致密砂岩气的勘探、开发成果的高度总结、提炼。书中全面阐述了其勘探历程、现状、形成致密气的基本地质特征及其含气系统,着重论述了致密气藏的特征、成藏模式及气富集规律。最后还指出了新的勘探目标。作者期盼本书能对我国致密气的扩大、深入勘探有所启迪和裨益,为我国天然气事业蓬勃发展贡献微薄之力。

本书由蔡希源、杨克明总策划并提出编写思路,由蔡希源、杨克明、李书兵、吕正祥、朱宏权、张克银、曹波、柯光明、张世华、杨长清、罗啸泉、李剑波编写完成,最后由蔡希源、杨克明审查定稿。

著者

2010年8月

目录

1 川西坳陷须家河组勘探概况

1.1 勘探历程	1
1.1.1 勘探突破阶段 (1960—1986 年)	1
1.1.2 勘探徘徊阶段 (1986—2006 年)	2
1.1.3 高效勘探阶段 (2006 年至今)	2
1.2 川西坳陷中段须家河组资源现状	4
1.2.1 资源量分布特点	4
1.2.2 圈闭 (局部构造) 分布	5
1.2.3 储量分布情况	5

2 川西坳陷须家河组天然气藏基本地质特征

2.1 晚三叠世以来构造特征及构造演化	6
2.1.1 地层划分与对比	6
2.1.2 构造特征	8
2.1.3 构造演化	24
2.2 沉积相与层序地层特征	27
2.2.1 沉积相特征	27
2.2.2 层序地层特征	30
2.2.3 层序—岩相古地理特征	35
2.2.4 沉积演化与沉积模式	45

2.3	上三叠统烃源岩特征	47
2.3.1	上三叠统烃源岩展布特征.....	47
2.3.2	上三叠统烃源岩地球化学特征.....	48
2.3.3	上三叠统烃源岩评价.....	55
2.3.4	上三叠统烃源岩资源量计算.....	58
2.4	川西坳陷须家河组储层特征	67
2.4.1	岩石学特征.....	67
2.4.2	主要成岩作用.....	70
2.4.3	储集空间类型.....	74
2.4.4	物性特征.....	74
2.4.5	储层分类评价.....	76
2.4.6	相对优质储层发育成因.....	78
2.5	上三叠统含气系统.....	80
2.5.1	含气系统划分.....	81
2.5.2	含气系统特征.....	87

3 川西坳陷前陆盆地须家河组典型气藏特征

3.1	新场须家河组气藏特征.....	92
3.1.1	基本地质特征.....	92
3.1.2	气藏特征.....	99
3.1.3	成藏年代.....	100
3.1.4	天然气富集主控因素.....	104
3.2	大邑须家河组气藏特征.....	107
3.2.1	基本地质特征.....	107
3.2.2	气藏特征.....	116
3.2.3	天然气富集带预测.....	118

4 川西坳陷须家河组天然气富集规律及勘探目标评价

4.1 须家河组成藏机理与成藏模式.....	120
4.1.1 成藏机理.....	120
4.1.2 成藏模式.....	132
4.1.3 川西前陆盆地须家河组天然气富集规律.....	135
4.1.4 “早聚、中封、晚活化”成藏地质理论.....	142
4.2 须家河组重点勘探目标评价	144
4.2.1 评价方法的选取.....	144
4.2.2 评价模板的建立及参数研究.....	144
4.2.3 圈闭综合评价.....	149
4.2.4 勘探目标优选.....	155

参考文献.....	157
-----------	-----

1 川西坳陷须家河组 勘探概况

1.1 勘探历程

四川盆地上三叠统须家河组分布范围广,有利勘探面积达 $7.7 \times 10^4 \text{km}^2$,根据 2007 年的油气资源评价和研究成果^①,盆地内上三叠统天然气总资源量达 $38000 \times 10^8 \text{m}^3$,天然气资源丰富。

四川盆地上三叠统须家河组的油气勘探,经历了半个世纪,在背斜找油理论、复式成藏理论及隐蔽油气藏理论的指引下,已对盆地内 50 个局部构造或潜伏构造以及岩性—构造复合圈闭进行了钻探,发现了 9 个气田和 9 个含气圈闭,圈闭钻探成功率为 36%。

四川盆地上三叠统须家河组的油气勘探历程艰难曲折,历经几度轮回,每一次勘探的突破都经历了多年的艰苦探索,都是实践—认识—再实践—再认识的过程。归纳起来,大致可分为以下三大阶段。

1.1.1 勘探突破阶段(1960—1986 年)

从 20 世纪 60 年代起,上三叠统须家河组的油气勘探在川西坳陷逐步展开。在充分利用地面地质调查、重磁勘探资料、光电地震、模拟地震研究成果的基础上,运用传统的背斜控藏理论的勘探思路,在龙泉山、苏码头、三苏场、盐井沟和雾中山等褶皱明显的背斜构造上开展钻探工作,其钻探结果并不理想,没有获得良好的油气成果。直到 20 世纪 70 年代初,位于中坝构造的 Z4 井,在须二段获得了日产天然气 $58 \times 10^4 \text{m}^3$ 、日产油 19t 的工业产能,从而发现了中坝须二段气藏^[1],取得了上三叠统须家河组油气勘探的首次重大突破。位于米仓山前缘九龙山构造带上的 L4 井,于 1979 年 5 月 12 日开钻,于 1985 年 8 月 11 日完钻深度 6026m,层位为下二叠统茅口组。在钻井过程中,有 24 层发生井喷、井涌、气浸和井漏的油气显示,其中在须家河组井深 3513 ~ 3544m 处发生强烈井喷,井喷高达 28m,点火焰高 15 ~ 20m,经中途测试,日产天然气 $100.36 \times 10^4 \text{m}^3$,发现了九龙山构造须家河组气藏。

① 郑冰,曾华盛,等.中石化西南油气分公司科研报告,《川西坳陷二叠系—上三叠统油气资源量计算》,2007.12;
易海永,罗潇,等.中石油西南油气田分公司勘探例会内部报告,2007.11。

但在随后针对上三叠统须家河组的背斜圈闭勘探中,效果并不理想。虽然在孝泉构造上部署的 CX93 井发现了孝泉须四气藏,但后续的勘探评价尽管有所发现但未获得预期的油气成果;在安县部署实施了 C34 井、C36 井、C40 等井,在鸭子河构造上部署的 CY91、CY92、CY95 等井未达到预期的效果,致使上三叠统须家河组的油气勘探进入低谷。随着 1984 年 8 月以须家河组为目的层的 CX104 井在钻达遂宁组,发生井喷,环空测试日产气 $3.4295 \times 10^4 \text{m}^3$,发现了遂宁组气藏,由此针对陆相碎屑岩的油气由上三叠统须家河组逐渐转向侏罗系遂宁组、蓬莱镇组及沙溪庙组。

1.1.2 勘探徘徊阶段(1986—2006 年)

20 世纪 80 年代初期,针对上三叠统须家河组找油气工作中的关键难题,提出“四超”问题(目的层埋藏超深、地层压力超高异常、储层超致密化、对生排烃时期而言构造形成期超晚)。尽管上三叠统存在着四超难题,通过艰苦的科技攻关与勘探实践,勘探思路由早期传统的背斜找气逐渐转化成寻找形成时间早、古今构造叠合、褶皱适中的构造圈闭,同时更加强调了裂缝在成藏过程中的作用,认为裂缝是气藏形成中的主要运移通道,构成了一种特殊的运移输导系统。这些成果的取得及勘探思路的转变,促进了上三叠统的天然气勘探,并相继在合兴场、平落坝、邛西、大兴西等局部构造上取得了一系列新的进展。

1984 年油气勘查部署论证时,认为邻近坳陷主体部位的合兴场构造,位于两组构造线的交叉地带,是一具有较好远景的构造,决定在构造高点附近布置一口普查勘探井——CH100 井。1986 年 9 月开钻,1987 年 6 月钻至雷口坡组终孔,1988 年 2 月,对须家河组二段三个裂缝发育段进行射孔测试,用 $\phi 26 \text{mm}$ 油嘴, $\phi 30 \text{mm}$ 孔板求产,在套压 47.18MPa,油压 46.4 MPa 条件下,日产天然气 $20.1 \times 10^4 \text{m}^3$,实现了川西坳陷勘探的重大突破,发现了须家河组二段气藏。在该构造上随后实施的 CH127 井、CH137 井均获得了高产工业气流。

平落坝构造位于川西南部成都西南 80km 的邛崃市境内,属龙门山推覆体前缘断褶构造带南段,构造形态与中坝构造类似,其东南侧为一倾向北西的大断层所控制,为背斜圈闭气藏,圈闭面积 56km^2 ,闭合高度 590m。1987 年 10 月开始钻探 PL1 井,1989 年 1 月在须二段获工业气流,日产天然气 $35.03 \times 10^4 \text{m}^3$,发现了平落坝须二段气藏。到 2007 年底为止,共获须二段、须四段、沙溪庙组、遂宁组、蓬莱镇组等五个气藏。其中须二段为主力气藏,探明储量 $145.24 \times 10^8 \text{m}^3$,可采储量 $101.67 \times 10^8 \text{m}^3$,至 2007 年底累产天然气 $36.44 \times 10^8 \text{m}^3$ [2]。

尽管针对上三叠统须家河组的古今构造叠合圈闭的勘探取得了系列可喜的成果,但同时也出现了一些新的问题。合兴场构造在实施三维地震勘探后部署的 CH138 井、139 井、140 井均未取得预期的效果;之后在丰谷构造带部署的 CF125 井、CF131 井、CF175 井,在知新场—石泉场构造带上部署的 CQ128 井、CQ171 井、CQ173 井也未取得预期效果。因此,上三叠统须家河组的油气勘探再次跌入低谷,随着陆相碎屑岩的勘探开发重点转移至中浅层侏罗系,上三叠统须家河组的勘探暂时处于停滞状态。

1.1.3 高效勘探阶段(2006 年至今)

进入“十五”以来,复式成藏理论和隐蔽油气藏理论有了较大的发展,并得以广泛的应用。针对川西上三叠统须家河组的油气勘探形成了“早聚、中封、晚活化”的致密碎屑岩天

然气成藏理论,建立了致密碎屑岩的天然气成藏模式,明确了致密碎屑岩气藏的成藏主控因素,在此理论指导下,取得了新场、大邑、高庙子—丰谷须家河组等一系列大型目标的重大突破。针对川中地区平缓构造带,以岩性油气藏的勘探理论为指导,并在广安、合川—安岳以及金华等地区取得了勘探的重大突破,形成了规模、高效的勘探场面。

在物探技术系列方面,形成了以三维地震资料、3D3C 资料为基础的有效储层的预测技术、裂缝预测技术、含气性检测技术及高产富集带的预测技术。特别是在川西地区建立了有效储层的“强相位中断、杂乱弱反射”地震响应模式,形成了 3D3C 的“PP 暗点”与“PP、PS 暗点”两种有效储渗体联合识别技术。

在测井技术方面,通过成像测井等新技术的应用,初步形成了针对川西深层须家河组裂缝性储层的识别及评价技术;进一步完善了全波、能谱等特殊测井资料的处理及地质应用,逐步形成了针对致密砂岩储层识别评价和储量参数计算等的较为完善的测井分析系列技术。

在钻井工程工艺方面形成了以气体钻井、欠平衡钻井为核心的钻井技术;形成了以“燃爆诱导压裂+酸预处理技术、网络裂缝酸化技术、大型加砂压裂技术”为特色的储层改造技术。在勘探理论和勘探技术的不断进步下,取得了以下主要油气勘探成果。

(1) 新场须家河组天然气勘探取得重大突破。

位于新场构造的 X851 井于 2000 年元月开钻,10 月 22 日完钻。于 11 月对井深 4823 ~ 4846m 须家河组二段进行测试,获高产天然气流,单井绝对无阻每日流量达 $325.9 \times 10^4 \text{m}^3$,在井口控制压力高达 61MPa 的条件下,日输气量达 $49.9 \times 10^4 \text{m}^3$ 。这是继 1988 年合兴场须家河组二段气藏发现之后,又一重大发现,再次掀起了新场深层须家河组油气勘探的高潮。尔后相继部署的 L150、X853、CX560、CX565、CG561、CL562 等一批预探井,则是喜忧参半,制约新场深层须家河组油气勘探的关键技术并没有得以解决,针对这一瓶颈技术,西南油气分公司于 2004 年自主引进、创新应用了 3D3C 技术,建立了基于全波属性的碎屑岩裂缝性气藏高渗带预测、含气性识别与表征的新技术,该项技术的成功应用,大大提高了新场须二气藏的钻井成功率,自 2006 年以来,新场须二气藏的探井成功率达 85% 以上,有力地推动了新场须二气藏千亿方探明储量的整体提交。

(2) 大邑须家河组勘探获得重大突破。

2005 年底,在大邑构造部署实施了第一口以须家河组为目的层的钻井——DY1 井,该井 2006 年 12 月 14 日完钻,完钻井深 5160m,完钻层位须家河组二段。该井在须家河组获得了良好的油气显示,完井测试在须家河组二段获得天然气无阻流量 $53 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 的高产工业气流。实现了龙门山前大邑构造须家河组天然气勘探的重大突破。随后分两批陆续部署了的 13 口预探井及开发评价井,在须家河组四段至二段均获得了较好勘探效果。截止 2008 年底,新增天然气控制储量 $704.75 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

(3) 广安须家河组气藏勘探取得重大进展。

广安气田位于川中低缓褶皱带东部的广安断裂背斜构造上,地处南充市以东约 30km、广安市以北约 10km。该气田上三叠统须家河组的勘探工作始于 1958 年,由于储层为低孔低渗—特低孔特低渗辫状河三角洲砂岩,而且具有很强的盐敏、水敏和速敏等特性。因此在 2005 年之前该区须家河组的勘探一直没有大的进展。2005 年 2 月,在对新采集处理的二维地震资料精细解释的基础上,结合先进的钻井和试油工艺,以寻找岩性构造复合型圈闭的观念为指导,部署实施的 GA2 井,在须六段获得日产天然气 $4.21 \times 10^4 \text{m}^3$,由此发现了须六段气藏,在随后相继部署完钻的 30 多口探井捷报频传。截至 2007 年底,广安气田上三叠统须家

河组须六段、须四段上报天然气探明地质储量达 $1355.58 \times 10^8 \text{m}^3$, 成为目前四川盆地上三叠统须家河组发现的最大气田。

(4) 合川—安岳地区须家河组勘探获重要新进展。

合川—安岳地区位于四川盆地中部, 区域位置属于川中古隆中斜平缓构造区川中—川南过渡带, 西起威远背斜的东斜坡, 东至川东南中隆高陡构造区的交界处, 包括合川、潼南、安岳和荷包场区块, 勘探面积约 10000km^2 。区内须二构造总体上为一由南西向东北方向下倾的单斜, 局部构造较发育, 但多以小规模低缓构造为主。近年的勘探和研究表明, 该区须家河组属三角洲平原亚相水上分支河道, 砂岩单层厚度大, 品质优, 储层发育, 须二段是主要产层。

2005 年以来, 以岩性油气藏理论为指导, 中石油西南油气田分公司加大了地震勘探力度, 在该区开展二维地震详查加密工作, 完成工作量达 10682.49km , 二维地震测网达到 $1.5 \text{km} \times 1.5 \text{km}$ 。并用滚动的方式开展储层预测工作, 采用自然伽马、波阻抗、孔隙度联合反演, 量化预测储层厚度、孔隙度、储能系数, 地震成果显示, 须二储层总体上具有大面积分布、局部地区优质储层发育的特征。以孔隙度大于 7% 计算, 储层厚度大于 20m 的范围达 6250km^2 。由于地震预测成果及时用于勘探部署中, 因而取得了良好的钻探效果, 预测符合率达 85% 以上。

勘探实践进一步证实合川—安岳地区在大单斜背景下, 须家河组具有大面积含气的岩性气藏特征。截至 2007 年底, 在合川、潼南、安岳、荷包场区块 1814km^2 的含气面积内, 已获天然气三级储量 $3032.98 \times 10^8 \text{m}^3$, 外围储层有利发育区域面积达 3500km^2 , 可见该区须二气藏勘探潜力巨大, 已成为西南油气田分公司增储上产的重点地区。

(5) 川西南部莲花山构造须家河组气藏勘探取得新进展。

莲花山构造位于川西龙门山南段山前构造带, 紧邻邛西气田, 圈闭面积 48.960km^2 。2005 年 LH1-1 井须二段测试日产气 $19.2 \times 10^4 \text{m}^3$, 证实了该构造须家河组具有良好的含油气条件。2007 年, 莲花山构造实施钻井 5 口, 包括 1 口探井 (LH101 井) 和 4 口滚动勘探开发井。LH101 井采用欠平衡钻井, 在须二段见井漏及气侵显示, 点火焰高 5 ~ 7m。2007 年 6 月完成的 LH001-1 井须二段测井解释 9 段气层, 单层厚 1.3 ~ 6.5m, 累计厚度 31m, 平均孔隙度 5.60%; 对须二井段 3927 ~ 3940m、3995 ~ 4002m、4028 ~ 4035m、4051 ~ 4062m、4084 ~ 4088m 试油, 产气 $10.179 \times 10^4 \text{m}^3/\text{d}$ 。

2007 年在莲花山—张家坪构造须二气藏上报天然气控制储量 $237.96 \times 10^8 \text{m}^3$ 。莲花山构造带长 120km, 宽 7 ~ 25km, 面积约 2000km^2 , 储集条件较好, 储层厚 30 ~ 50m, 孔隙度 4% ~ 6%, 裂缝发育。圈闭众多, 目前须二有圈闭 17 个, 圈闭面积 276.01km^2 , 估算圈闭资源量 $1677 \times 10^8 \text{m}^3$ 。进一步展示了莲花山构造带须二具有良好勘探前景。

1.2 川西坳陷中段须家河组资源现状

1.2.1 资源量分布特点

根据 2007 年的资源评价研究成果, 川西坳陷中段西南油气分公司探区勘探面积

10570.16km²，主要包括孝泉—新场—合兴场、绵竹—绵阳、温江—中江及彭州—大邑等四个天然气勘查项目，天然气总资源量为 $31646.98 \times 10^8 \text{m}^3$ 。其中，中浅层侏罗系天然气资源量为 $6317.98 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占总资源量的 19.96%；上三叠统须家河组天然气资源量为 $11984 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占总资源量的 37.88%；海相天然气资源量为 $13345 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占总资源量的 42.16%。

川西坳陷中段上三叠统须家河组资源量具有如下分布特点：

(1) 勘探项目的资源分布特点：孝泉—新场—合兴场地区为 $4077.08 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占 34.02%；温江—中江地区为 $1994.19 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占 16.64%；绵竹—绵阳地区为 $2268.12 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占 18.93%；彭州—大邑地区为 $3644.61 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占 30.41%。

(2) 构造带资源分布特点：新场—丰谷低缓断褶带为 $5208.17 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占 43.46%；安县—鸭子河—大邑断褶带为 $4318.1 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占 36.03%；知新场—石泉场断褶带为 $1204.95 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占 10.05%；成都凹陷为 $789.24 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占 6.59%；龙门山冲断滑脱构造带为 $305.61 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占 2.55%；梓潼凹陷为 $157.93 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占 1.32%。

由此可见，川西坳陷中段上三叠统须家河组的天然气资源量主要分布在新场—丰谷低缓断褶带及安县—鸭子河—大邑断褶带，是近中期增储上产的重点区带。

1.2.2 圈闭（局部构造）分布

截至 2008 年底，川西坳陷中段上三叠统须家河组共发现圈闭 22 个，圈闭面积 2559.76km²，圈闭资源量 $11935.13 \times 10^8 \text{m}^3$ 。其中 I 类圈闭 9 个，圈闭面积 2027.28km²，圈闭资源量 $9657.99 \times 10^8 \text{m}^3$ ；II 类圈闭 13 个，圈闭面积 532.48km²，圈闭资源量 $2277.14 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

在勘探区带上，孝泉—新场—合兴场地区发育圈闭 2 个，圈闭资源量 $3774.79 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占 31.63%；彭州—大邑地区发育 6 个，圈闭资源量 $3127.14 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占 26.2%；绵竹—绵阳地区发育 5 个，圈闭资源量 $2752.99 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占 23.07%；温江—中江地区发育 9 个，圈闭资源量 $2280.21 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占 19.1%。

1.2.3 储量分布情况

截至 2008 年底，西南油气分公司在川西坳陷中段上三叠统须家河组共提交天然气三级储量 $5385.94 \times 10^8 \text{m}^3$ 。天然气三级储量主要分布在孝泉—新场—合兴场，共提交 $2751.79 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占 51.1%；其次分布在彭州—大邑地区，共提交 $1324.06 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占 24.6%；绵竹—绵阳地区共提交 $1310.09 \times 10^8 \text{m}^3$ ，占 24.3%。

2 川西坳陷须家河组 天然气藏基本地质特征

2.1 晚三叠世以来构造特征及构造演化

2.1.1 地层划分与对比

四川盆地是扬子古板块上的一个多旋回沉积盆地，震旦纪—中三叠世为海相沉积，中三叠世末发生的印支运动使上扬子板块结束了自震旦纪以来的海相沉积历史，进入陆相沉积盆地发展演化阶段，随后不断隆起的龙门山构造带一直作为陆相中新生代四川盆地西部最重要的物源区^①。除晚三叠世早期盆地西部马鞍塘组和小塘子组为海相或海陆过渡相沉积外，晚三叠世须家河期至新近纪整个四川盆地堆积了巨厚的陆相地层^[3-7]（图 2-1-1）。最大厚度可达 8000 余米，总体特征是西厚东薄，北厚南薄。

根据地层对比分析（表 2-1-1），川西地区须一段（相当于马鞍塘组与小塘子组）、须三段、须五段以泥岩为主，须二段、须四段以砂岩为主，纵向上分段性清楚^[7]；而盆地中、东部及川西南部香溪群一段、溪群三段、溪群五段均以泥页岩为主，香溪群二段、香溪群四段均以砂岩为主，而须五段上部的砂砾岩则相当于香溪群六段。

马鞍塘组相对于香溪群一段下部碳酸盐岩性段，厚度 49 ~ 100m。下部主要为浅灰色、灰白色鲕粒灰岩、含泥质条带灰岩、核形灰岩，生物灰岩、骨屑灰岩，夹灰色页岩、泥灰岩；上部主要是灰色、深灰色页岩、砂质页岩、灰质（白云质）页岩与粉砂岩互层，夹细砂岩和灰岩（泥灰岩）。

小塘子组相当于香溪群一段上部碎屑岩段，厚度 212 ~ 637m。岩性为灰色岩屑石英砂岩、岩屑砂岩、石英砂岩、粉砂岩与灰色—深灰色泥岩、灰质（白云质）泥岩互层，夹泥灰岩、介屑灰岩，含双壳类、植物碎屑化石，偶见腹足类。

须二段相当于香溪群二段，厚度 530 ~ 720m。主要为灰色、浅灰色细—中粒长石岩屑石英砂岩、岩屑石英砂岩、长石石英砂岩、岩屑砂岩，夹粉砂岩、深灰色泥岩、砂质泥岩和煤线。

① 陈洪德，姜平等．中石化西南油气分公司项目《龙门山前缘中三叠统一侏罗系层序地层研究及有利储集相带预测》，2005。

地层系统						岩性剖面	地质 年龄 Ma	岩性简述	构造幕	
界	系	统	组	段	代号				主要构造 运动	构造 期次
新生 代	新近系	上新统	大邑砾岩				23.3	陆相粗碎屑堆积	喜马拉雅运动	喜马 拉雅 期
	古近系	始新统	庐山组		E ₁ l		32			
		古新统	名山组		E ₁ m		65			
中生 代	白垩系	上统	灌口组		K ₂ g		96	棕红色泥岩、泥质粉砂岩	燕山 V 运动	燕山 期
			夹关组		K ₂ j		96		燕山 IV 运动	
		下统	剑阁组		K ₁ g		144	钙质碎屑砂岩与砂泥岩互层		
			汉阳铺组		K ₁ h		144			
			剑门关组		K ₁ j		144		燕山 III 运动	
		上统	蓬莱镇组	二段	J ₃ p		154	厚层块状长石石英砂岩与灰绿色细砂岩、粉砂岩、紫红、棕红色泥岩不等厚互层		
				一段	J ₃ p		154			
			遂宁组	二段	J ₃ sn		156	紫红色湖相泥岩、粉砂质泥岩与薄层粉砂岩韵律互层		
				一段	J ₃ sn		156		燕山 II 运动	
			上沙溪庙组		J ₂ s		172	泥岩与细粒长石石英砂岩互层		
			下沙溪庙组		J ₂ x		175	长石石英砂岩与粉砂岩、泥岩不等厚互层		
	侏罗系	中统	千佛崖组		J ₂ q		189	绿灰色泥岩与浅灰岩屑砂岩		燕山 I 运动
			白田坝组 (自流井组)	大安寨段	J ₁ b ⁴		208	含钙质泥质长石粉砂岩		
				马鞍山段	J ₁ b ³		208	粉砂质钙质泥岩、粉砂岩		
				东岳庙段	J ₁ b ²		208	粉砂质泥岩夹钙质粉砂岩		
				珍珠冲段	J ₁ b ¹		208	岩屑砂岩、粉砂岩、泥岩	印支 III 运动	印 支 期
		上统	须家河组	五段	T ₃ x ⁵		210	深灰、灰黑色页岩、碳质页岩与灰色岩屑砂岩、粉砂岩不等厚互层，夹煤层（线）		
				四段	T ₃ x ⁴		210	长石石英砂岩、砂砾岩与黑色泥岩互层，底部为砂砾岩	印支 II 运动 (安县运动)	
				三段	T ₃ x ³		217	深灰、灰黑色页岩、碳质页岩与灰色砂岩、粉砂岩不等厚互层，夹煤层（线）		
				二段	T ₃ x ²		217	灰白、浅灰色砂岩与黑色碳质页岩不等厚互层，夹煤层（线）		
			小塘子组		T ₃ t		223	黑色页岩夹灰色粉砂岩、粘土岩与煤线		
			马鞍塘组		T ₃ m		230	灰色钙质泥岩与生物灰岩、泥灰岩互层，上部粉砂质泥岩	印支 I 运动	
		中统	天井山组		T ₂ t		230	灰色灰岩，下部夹云质灰岩		
			雷口坡组		T ₂ l		230	浅灰色白云岩夹石膏		
	三叠系	上统	须家河组	五段	T ₃ x ⁵		210	长石石英砂岩、砂砾岩与黑色泥岩互层，底部为砂砾岩		印 支 期
				四段	T ₃ x ⁴		210	深灰、灰黑色页岩、碳质页岩与灰色砂岩、粉砂岩不等厚互层，夹煤层（线）		
				三段	T ₃ x ³		217	灰白、浅灰色砂岩与黑色碳质页岩不等厚互层，夹煤层（线）		
				二段	T ₃ x ²		217	黑色页岩夹灰色粉砂岩、粘土岩与煤线		
		中统	小塘子组		T ₃ t		223	灰色钙质泥岩与生物灰岩、泥灰岩互层，上部粉砂质泥岩	印支 I 运动	
			马鞍塘组		T ₃ m		230	灰色灰岩，下部夹云质灰岩		
			雷口坡组		T ₂ l		230	浅灰色白云岩夹石膏		

图 2-1-1 川西及周缘地区中生代以来地层综合柱状图

表 2-1-1 川西及周缘地区上三叠统地层对比

系	统	组										地震反 射界面
		川西北		川西南		川中		川东北		川东南		
侏罗系	下统	白田坝组		自流井组		珍珠冲组		白田坝组		自流井组		T_{Tj}^1
三 叠 系	上统	须家河组		香溪群	六段	香溪群	六段	须家河组	五段	须家河组	五段	T_{Tjx}^5 T_{Tjx}^4 T_{Tjx}^3
			五段		五段		五段		四段		四段	
			四段		四段		四段		三段		三段	
			三段		三段		三段		二段		二段	
			二段		二段		二段					
		小塘子组		一段	小塘子组						T_{Tjm}	
		马鞍塘组										
	中统	天井山组										
		雷口坡组		雷口坡组		雷口坡组		雷口坡组		巴东组		

须三段相当于香溪群三段，厚度 1000 ~ 1750m。为灰色、深灰色泥岩、砂质泥岩与灰色、浅灰色岩屑砂岩、岩屑石英砂岩和粉砂岩略等厚互层，中、下部夹碳质页岩、煤层（线），并且大量出现碳酸盐岩岩屑，靠近山前剖面发现有海相化石分布，可与香溪群三段对比，反映了须三段时期水侵规模较大。

须四段相当于香溪群四段，厚度 440 ~ 680m。为灰色细一中粒岩屑砂岩、富岩屑砂岩、砂砾岩、砾岩、粉砂岩与灰色、深灰色泥岩、砂质泥岩略等厚互层，夹煤线，含丰富植物碎屑。川西北部砾岩发育，但因剥蚀而多残缺不全。川西南部一般无砾岩层，仅见含砾砂岩，岩屑成分以碳酸盐岩为主，且砂岩单层厚度薄，砂、泥岩频繁略等厚互层。

须五段主体相当于香溪群五段，其顶部粗碎屑岩段相当于香溪群六段。岩性主要为灰色、深灰色泥岩、砂质泥岩与灰色细粒岩屑砂岩、富岩屑砂岩、长石岩屑砂岩、粉砂岩略等厚互层，含植物化石和煤线。川西北段普遍被剥蚀，中段残厚 0 ~ 200m，南段可达 400m。川西南部顶部发育一砾岩段相当于香溪群六段，主要岩性为砾岩、砂砾岩、砂岩夹灰色泥岩（局部为紫红色泥岩），厚度一般为 0 ~ 200m。

2.1.2 构造特征

2.1.2.1 区域构造特征

龙门山构造带位于青藏高原东缘松潘—甘孜褶皱带与扬子板块接合部位^[8-10]（图 2-1-2），北东与昆仑—秦岭东西向构造带斜向相接，南西与康滇南北向构造带相连，西与松潘—甘孜褶皱带相伴，东以北川—映秀断裂带为界与四川盆地相分隔，东南侧是一个晚三叠世由于松潘—甘孜海盆封闭产生的周缘前陆盆地^[11、12]，即川西前陆盆地。

1) 扬子板块北缘

震旦纪—早奥陶世，扬子板块北缘为北部秦岭古商丹洋南侧的被动大陆边缘盆地；中奥陶世—志留纪由于古商丹洋向北俯冲、古华南海向东南俯冲、华夏板块向西北逆冲，扬子板块北缘仍为被动大陆边缘盆地，而其东南缘转变为前陆挠曲盆地；泥盆纪—中三叠世随着古商丹洋

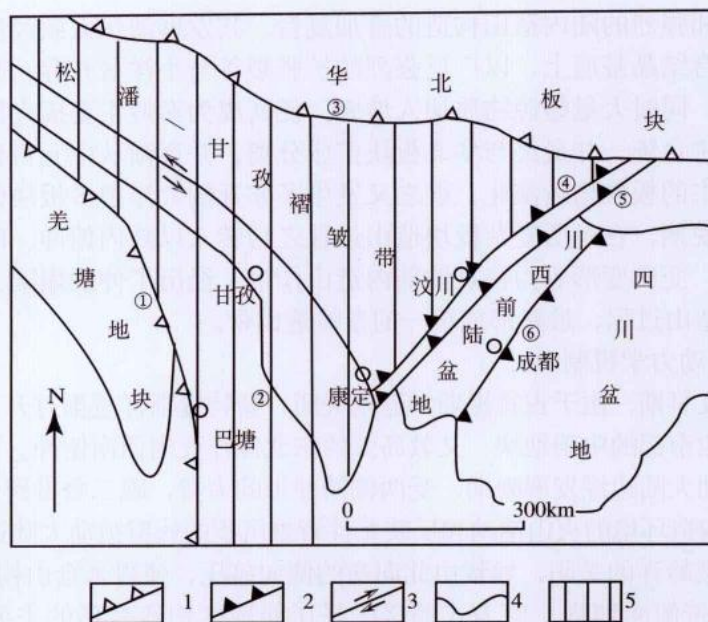


图 2-1-2 龙门山大地构造位置图 (据赵锡奎等, 2006)

- 1—蛇绿混杂带；2—逆冲断裂带；3—走滑断裂带；4—四川盆地边界；5—松潘—甘孜褶皱带；
①金沙江蛇绿混杂岩带；②甘孜—理塘蛇绿混杂岩带；③阿尼玛卿蛇绿混杂岩带；④汶川—茂汶断裂带；
⑤北川—映秀—小关子断裂带；⑥龙泉山西缘断裂带

向北继续俯冲、扬子板块北部在原被动陆缘背景下沿勉略带扩张成新的有限洋盆，使得南秦岭从扬子板块北缘分离，成为独立的秦岭微板块。扬子板块北缘受南北侧新的板块构造与陆内构造作用的控制，转变为勉略洋的被动大陆边缘盆地，而东南缘则为板内陆表海盆地；中三叠世之后，受特提斯构造域构造作用的影响，勉略洋与商丹洋相继关闭，华北与秦岭、扬子与华南完成最终拼合造山，进入陆内演化阶段，相应形成晚三叠世—侏罗纪前陆盆地^①。

受秦岭造山带和华南褶皱系同期相向挤压、逆冲推覆作用控制，扬子板块北缘的川东北地区成为二者所夹持的向东汇聚、向西撒开的三角区，同时，还受到龙门山构造作用影响，形成复杂的复合叠加构造变形^[13, 14]。

2) 秦岭造山带

秦岭造山带呈近东西向狭长带状展布，横亘于中国大陆中部，往东大幅度收敛、构造叠置、抬升，收缩为大别山造山带，西去则撒开，分别连接祁连、昆仑和松潘、龙门造山带。在四川盆地北部，秦岭造山带呈东西两头宽、中间窄的“哑铃”状。在南北向剖面上主体则呈现为不对称扇形陆壳叠置结构^[15]，自北而南依次以秦岭造山带北缘指向北的逆冲推覆构造系、以商丹洋带为主断裂由北向南的北秦岭叠瓦逆冲推覆构造系和以大巴山弧形断裂为总拆离滑脱界面的南秦岭多层次逆冲推覆构造系等为东西向的主体构造，并以南北边缘相向造山带内的巨大陆内俯冲构造为边界，共同构成现今秦岭造山带地壳上部北翼窄而陡、南翼宽而缓的不对称扇形结构剖面的总体形态。

秦岭造山带的形成与演化倍受关注^[16-24]。综合分析表明，秦岭造山带的形成、演化与现今基本结构特征是由三个板块（华北、扬子及其间的秦岭板块）沿两条缝合带（商丹带与勉

① 李书兵，陈昭国，陈洪德等. 中石化项目《龙门山前缘石油地质特征及有利勘探区块评价》，2005。