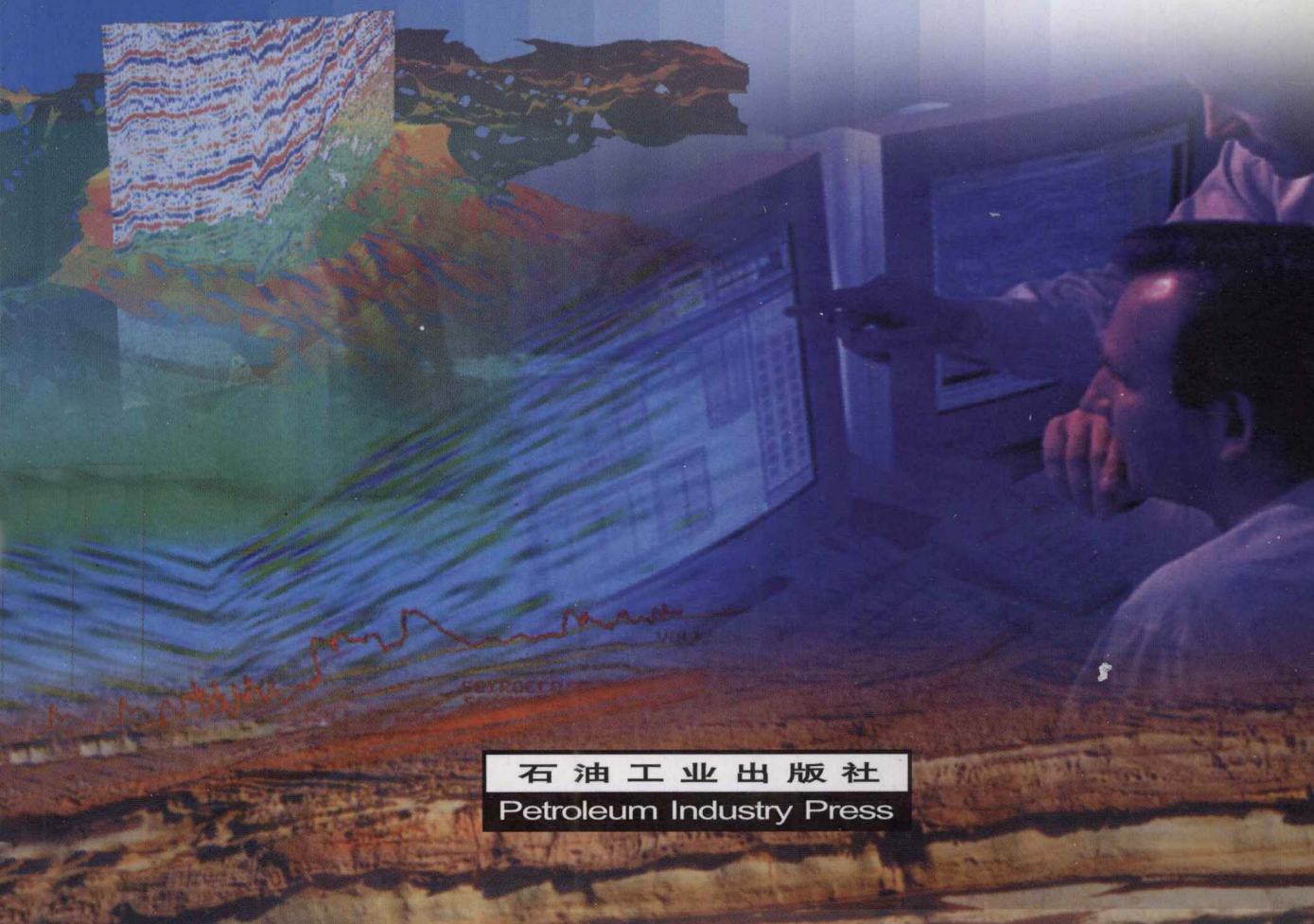


复杂油气田勘探开发技术

新进展

文集

周玉琦 主编



石油工业出版社
Petroleum Industry Press

内 容 提 要

本文集共收录论文 28 篇,它集中了新星石油公司 2002 年度科技交流会的主要成果,反映了新星石油公司新疆塔河、川西、鄂尔多斯、松辽盆地南部、苏北和江汉盆地西南缘等探区当前的技术水平。文章依技术不同分为 4 类,其中反映石油地质研究的论文 9 篇;反映地球物理勘探的论文 5 篇;反映油气开发与储层保护的论文 5 篇;反映钻井工艺的论文 9 篇。文集反映的工作对象复杂多样,采用的技术方法得当,科技成果显著,对我国复杂油气田的勘探与开发具有重要的参考价值。

本书可作为大中专院校石油勘探开发专业的老师、学生及国内各油田相关工程技术人员的参考书

图书在版编目 (CIP) 数据

复杂油气田勘探开发技术新进展文集/周玉琦主编.

北京:石油工业出版社,2003.8

ISBN 7-5021-4357-2

I. 复…

II. 周…

III. ①复杂地层-油气田-油气勘探-文集

②复杂地层-油气田-油田开发-文集

③复杂地层-油气田-气田开发-文集

IV. TE3-53

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2003) 第 072984 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 15.75 印张 400 千字 印 1—1200

2003 年 8 月北京第 1 版 2003 年 8 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5021-4357-2/TE·3048

定价: 48.00 元

序 言

新星石油公司现已走过近半个世纪的发展历程，作为一支专业的石油勘探开发队伍，曾长时期担负着全国陆上和海上石油天然气地质普查任务，相继对全国 76 个沉积盆地进行了油气普查与地质评价，并在其中 21 个盆地中实现了工业油气流，发现了一批重要的油气田和特殊类型的油气藏（田），丰富和发展了油气勘探开发的地质理论和技术方法，为我国石油天然气工业的发展做出了重大的贡献。

油气勘探开发具有高风险、高技术、高投入、高回报的特点，是一项需要群体智慧支撑的经济活动。在新星石油公司漫长而曲折的发展历程中，始终贯彻着一个重要的思想方法，即以人为本，技术民主，科学决策。这是新星公司及其前身（原地质矿产部石油地质海洋地质局）在近半个世纪的发展中所以能取得一个又一个辉煌的重要原因，也是新星公司在继承原地矿系统优良传统的基础上进一步发展和完善的，具有鲜明特色的思想方法和工作方法的重要原因。尊重科学，尊重科技工作者的研究工作，遵循学术民主，遵守科学的勘探开发程序，使新星公司探索出了一条特色的油气勘探开发之路，并针对各探区的油气地质特点，形成了有针对性的部署思路和方法技术系列，使公司始终保持了低投入、高产出的良性发展态势。新星公司从小到大、从弱到强的发展雄辩地证明了邓小平同志“科学技术是第一生产力”的英明论断。

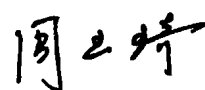
这次汇集出版的《复杂油气田勘探开发技术新进展文集》共 28 篇文章。它集中了新星公司 2002 年度科技成果交流会的主要内容，是对公司近几年来科技工作在油气勘探开发方面所作的总结，体现了新星公司近年来科技工作的发展状况和水平。公司勘探开发的每一步进展都离不开科技工作的支持，方法技术已经不仅仅是战术手段问题，方法技术的进步不仅促进了地质认识的深化，而且促进了更多的油气发现，并带来更好的经济效益。川西地区致密砂岩天然气的勘探开发，提出了储渗体的概念，并形成了识别储渗体差异性的方法和描述技术，有效地指导了开发井的部署和产能建设，使新场气田开发井成功率由原来的 43% 提高到现在的 93%。对低孔低渗储集层的大型压裂和以整体水力加砂压裂为基础的储集层改造技术和双重介质缝堵技术的实施，为川西坳陷致密砂岩储集层的成功改造，保持天然气产量的持续增长做出了贡献。塔里木盆地塔河油田的发现和成功开发，很大程度上得益于正确的部署思路和方法技术的进步。针对该油田奥陶系碳酸盐岩储集层埋深大，极端非均质性特点，建立了一套以储集层预测与油气藏识别为目的的以地球物理方法为主的技术系列，包括地震属性提取技术、相干技术、三维可视化解释技术、地震联合反演技术及多参数聚合分析含油气预测技术；以油气层保护为目的的钻井、完井技术，包括水平井、欠平衡钻井、定向井、先期完井和固井技术；以提高油气产量和最终采收率为目的的储集层改造技术，包括酸化、压裂技术等。这些技术的实施在塔河油田的勘探开发过程中发挥了巨大的作用，加快了塔河油田勘探开发步伐。鄂尔多斯盆地上古生界天然气的发现是我国近年来在天然气勘探上的重大进展，然而，由于该层系具有低渗、低压、低储量丰度的特点，导致单井产量偏低，影响了大规模开发利用的部署决心。针对提高单井产量这一关键问题，我们组织了专题攻关，研究了探区内石炭、二叠系的沉积相、砂体分布和储集层特征，研究并实施了钻井过程

中以屏蔽暂堵技术为主的储集层保护技术，研究了以大型加砂压裂为主的储集层改造技术，从而取得了良好的攻关效果，使该区天然气单井日产量由攻关前的几百至几千立方米，上升到几万至十几万立方米，甚至高达几十万立方米，为大规模开发利用鄂尔多斯北部天然气资源提供了依据。除此之外，由于科技的进步和油气勘探开发技术方法的提高，在苏北盆地、松南地区、江汉盆地西南缘等油气探区，形成了一套与探区特点相适应的地质理论和方法技术系列，这些地区也相继出现了一批新的油气成果，产生了良好的经济效益和社会效益。实践证明，每一次对客观地质规律认识的深化和方法技术的进步，都会带来新的油气成果。

科技工作要为生产服务，要与油气勘探开发的实际相结合，解决生产实践中出现的理论问题和技术方法问题，这样的科技工作才有生命力，才能推动油气地质工作的发展。就当前而言，在油气勘探开发领域内，我们还面临着许多需要解决的理论问题和急需突破的技术方法障碍，如塔里木盆地稠油的开采与运输，凝析气田的开发，盐下勘探，高压气井的钻井完井工艺等问题；四川盆地深层储集层识别和裂缝带的预测，须家河组圈闭评价，浅层气藏的稳产等问题；鄂尔多斯盆地古河道砂体的精确预测和追踪，含气砂层的识别，圈闭的识别和评价，上古生界与下古生界的立体勘探开发，进一步提高和稳定单井产量等问题；松辽盆地南部十屋中央背斜带深层勘探，含气层的识别，储集层改造的问题；苏北盆地地下构造层储量动用，断块圈闭的精确刻画等问题。这些理论及方法技术的问题均是我们当前急需解决的问题，这些问题的存在已经阻碍或延缓了我们在油气勘探开发方面的步伐，要通过进一步深化地质规律的认识和方法技术的进步加以解决。因此，新星公司的广大科技工作者仍然是任重而道远。让我们在加大科技投入力度的同时，继续保持和发扬新星公司“求真务实、团结拼搏”的优良传统，坚持正确的思想方法和工作方法，坚持科技创新，加强科技管理，开创科技工作的新局面，为公司整体实力的提高，为我国石油工业持续稳定发展做出新的贡献。

借《复杂油气田勘探开发技术新进展文集》出版之际，向新星公司全体科技工作者表示亲切的问候和诚挚的感谢，祝科技工作兴旺发达，祝油气勘探开发硕果累累！

中国石化新星石油公司副总经理



2003年2月10日

目 录

石油地质研究

川西坳陷陆相天然气富集规律	叶 军 陈昭国 (3)
塔河油田成藏条件与富集规律	云 露 蒋华山 王英 (10)
大牛地复式气田基本地质特征	刘忠群 陈俊亮 杨超华 (20)
大牛地气田多层叠合岩性圈闭的发育特征及其勘探潜力评价	李 良 (30)
识别天然气储集层的特征参数法	陈玉魁 (38)
塔河油田碳酸盐岩储集层及含油气预测技术的应用效果	李家蓉 韩革华 李宗杰 (47)
松辽盆地南部长岭凹陷岩性油气藏特征及识别方法	钱桂华 李建青 王 芳 (56)
江汉盆地西南缘低孔渗油层的识别方法	张小英 林甲忠 王伟克 (63)
川西坳陷致密砂岩气藏预测技术研究	李显贵 张 虹 甘其刚 (70)

地球物理勘探

高分辨率三维地震采集技术研究	孙大明 (83)
全波资料分析处理技术及应用	陈必孝 张 筠 吴智勇 胡华伟 (90)
三维地震勘探技术在江汉盆地西南缘的应用	邹家建 周震质 (101)
地震勘探技术在大型矿集区深部精细结构研究中的应用	黄东定 周正东 钱桂华 匡朝阳 冯如进 唐成鸽 (112)
大牛地气田上古生界储集层地震预测方法技术与效果	李文玉 戈复兴 秦 锐 (119)

油气田开发与储层保护

复杂断块高含水油田剩余油综合评价及开发技术	刘 伟 周荔青 汪 琛 杨 皋 (129)
复杂小断块油田三次采油矿场试验	刘 伟 王金渝 王晓蕾 潘金明 (137)
松辽盆地南部复杂气田开发研究	徐雁军 贾宏伟 胡亚军 (146)
塔河油田碳酸盐岩油藏稳油控水措施探讨	马旭杰 袁玉玲 (153)
四川盆地西部致密砂岩储集层新型暂堵保护技术的研究及应用	张 军 (162)

钻 采 工 艺

苏北复杂小型断块油田钻井工艺技术——应用钻井液、定向、固井新技术、新工艺 提高钻井效率与质量	张晓荣 吴明强 伍仁贵 李 锋 (171)
---	-----------------------

天山南气田库 1 井钻井工程实践	杨兰田 (180)
鄂尔多斯北部低压低渗气藏保护储集层屏蔽暂堵钻井完井液技术研究及其应用	李志刚 郝蜀民 邢振辉 熊汉桥 (187)
塔河油田储集层酸压改造技术新进展	袁 栋 劳胜华 周 敏 (194)
塔河油田稠油开采工艺新进展	李新勇 (203)
川西侏罗系气藏水力压裂技术	林 辉 王世泽 (210)
苏北盆地低渗储集层压裂工艺技术研究与应用	俞 凯 张奉东 钱 勤 (218)
鄂北塔巴庙地区上古生界低压致密气藏压裂工艺技术研究与应用	邢振辉 李志刚 尤欢增 (225)
江汉盆地西南缘鄂深 9 井新沟嘴组低孔低渗异常高压砂泥岩薄互层压裂 工艺技术研究	卢亚平 王永辉 王红强 (235)

石油地质研究

川西坳陷陆相天然气富集规律

叶 军 陈昭国

(中国石化新星西南石油局)

摘要:本文在四川盆地西部坳陷天然气成藏地质综合研究,尤其是“八五”以来国家重点科技攻关研究成果基础上,总结了川西坳陷陆相致密碎屑岩天然气成藏地质规律,主要认识有:①气藏类型和气藏纵向分布受成矿系统控制;②大型古隆起带是大中型天然气田的富集场所;③气藏圈闭类型以多因素复合型为主;④有利的沉积成岩相带展布决定了气藏形态;⑤储渗体是油气富集的基本单元。这些规律对于指导川西地区大中型气田的勘探实践,推进非常规致密低渗透天然气成藏地质理论的发展具有十分重要的意义。

川西坳陷历经几十年的艰苦勘探,以其致密低渗透超压含气特征成为我国重要的天然气生产基地。与世界上主要致密砂岩含气盆地相比,其独特的、非常规的、更加复杂的地质条件决定了在该区取得大型天然气田的突破具有更高的难度。通过长期的油气勘探实践,特别是“八五”以来国家重点科技攻关项目实施,对川西坳陷陆相碎屑岩领域油气富集规律已形成了初步认识,且随着油气勘探、开发实践向纵深发展,对该区油气富集规律的认识还将继续深化和完善。

1 三大成矿系统控制着气藏类型和气藏纵向分布

川西坳陷致密碎屑岩领域的天然气藏,宏观上具有 3 个明显的特点^①。

(1) 气藏分布广阔:在研究区内北起九龙山气田、南至汉旺场气田、西自中坝气田、东达八角场气田,南北向长约 350km,东西向宽约 120km,面积约 42000km² 的区域内致密碎屑岩气田(藏)星罗棋布。

(2) 气藏层位多,深度跨度大:在下白垩统(K_1)、蓬莱镇组(J_{3p})、遂宁组(J_{3s})、上沙溪庙组(J_{2s})、千佛崖组(J_{2q})、白田坝组(J_{1b})、须家河组五段(T_{3x}^5)、须家河组四段(T_{3x}^4)、须家河组二段(T_{3x}^2)等 9 个层位近 50 余套砂体都有天然气分布,其所在深度从 200 多米至 4800 多米,跨度达 4600 余米。

(3) 气藏在纵向上既有与源岩同一层系的上三叠统近源气藏,也有与主力烃源岩相距较远的侏罗系远源气藏。

上述众多含气层位,由于其沉积环境不同,经历的沉积、成岩和构造演化历史也不同,因此岩石致密化进程和致密程度存在很大差异,由浅到深储集层一般呈现出常规的、准致密的、致密的和超致密的多种类型。已有的研究表明,川西地区现今的油气分布格局和复杂的

① 杨克明等,川西及邻区碎屑岩大中型气田勘探新目标研究,“九五”国家重点科技攻关项目研究成果报告,1991。

气藏类型宏观上受控于不同的成矿系统，而成矿系统的形成与特征又直接受构造演化史所制约。

1.1 受峨眉地裂运动控制的碳酸盐岩台地油气成矿系统

该系统包括 S、D、C、P、T₁、T₂ 含气层系。该系统烃源岩以腐泥型有机质为主，储集层分布稳定，厚度较大。气藏类型以碳酸盐岩孔隙裂缝型为主，既有孔隙性的针孔白云岩、鲕状灰岩，也有裂缝性灰岩，气藏规模以中、大型为主。该领域气藏由于埋深大，超高压，物探、钻探、采气工程要求高，属高风险，高效益领域。

1.2 受印支期构造旋回控制的海陆过渡相碎屑岩、碳酸盐岩油气成矿系统

该系统包括上三叠统马鞍塘组 (T_{3m})、小塘子组 (T_{3t})、须家河组二段 (T_{3x²})、须家河组三段 (T_{3x³}) 含气层系，已发现新场、中坝、平落坝、合兴场等气田。该成矿领域的气藏以构造—裂缝型为主，烃源岩丰富，母质类型 I、II、III 型均有；以须家河组二段为主的储集层埋深小于 5000m，普遍超致密化，分布广、厚度大，单层厚度可达 200m 以上，系滨海三角洲分流河道沉积；上覆 T_{3x³} 含煤泥页岩既是主力烃源岩，也是区域性盖层。新 851 井在 T_{3x²} 获测试气产能 160 万 m³/d 的重大突破再次展示了该领域巨大的勘探前景。由于超深超压、裂缝控气等特征，勘探开发难度均较高，是一个高投入、高风险、高回报的领域。

1.3 受燕山期构造旋回控制的陆相碎屑岩油气成矿系统

该系统包括 T_{3x⁵}、T_{3x⁴}、J_{1b}、J_{2q}、J_{2s}、J_{3p}、K_{1j} 含油气层系。该系统目前已发现近十个气田，仅新场气田就发现近千亿立方米的地质储量。由于该成矿系统中的河、湖环境变迁频繁，相变快，加之早晚期不同幕次构造运动的叠加、流体活动对储集层产生的成岩改造，决定了这一系统中的气藏圈闭类型复杂。侏罗系以上，基本不具生烃能力或具微弱生烃能力，气源主要来自下伏上三叠统煤系源岩；储集层厚度小，分布不稳定，单井产量低。致密化程度差异较大，上侏罗统蓬莱镇组及其以上层位多属常规储集层，中侏罗统至须家河组四段属准致密—致密储集层；具有多套储盖层组合，属湖、河沉积碎屑岩系统；全区分布广泛，埋藏浅（埋深小于 3800m），勘探难度小，风险小。

综上所述，不同的油气成矿系统具有不同的油气成藏环境，从而控制了油气藏的纵向分布和气藏类型。

2 大型古隆起带是大中型天然气田的富集场所

全世界油气田勘探的经验表明，除了气藏形成需要的一般性成藏条件外，大型油气田形成的关键要素之一是烃类生成高峰与大型隆起带形成时期上的匹配。川西坳陷也不例外，尽管在油气生成之后它经历了复杂多期次构造运动，但仍然在通过艰苦的勘探之后能够找到大中型气田，根本原因之一是在该地区存在着与烃类生成运移高峰期相匹配的大型隆起带。

上三叠统煤系地层是川西坳陷的主力烃源岩，据“八五”国家重点科技攻关研究（邓康龄、李汶国等，1995.6）成果^①：由于 T_{3x³} 时古地温梯度较高，在 3.2~3.5℃ 之间，加上 III 型干酪根生烃门限较 I、II 型早，致使上三叠统烃源岩在侏罗纪中晚期就已达到生烃高峰。由表 1 可见，晚侏罗世末（燕山中期）的累计生气量已达到总生气量的 84%，到早白垩世末（燕山晚期）该比例上升到 95%。天然气的活动能力极强，已经生成的大量天然气

① 邓康龄等，四川盆地地质结构与天然气藏勘探新领域区划研究，“八五”国家重点科技攻关项目研究成果报告。

由于流体场的动平衡，必然要向此时的低势区运移，从而使得区内已经形成的或与排烃期同步形成的正向构造以及斜坡带成为天然气运移的有利指向带。

表 1 四川盆地 T₃—J₁ 烃源岩主要阶段生气量表

地 史 期	T ₃ x ³ 末	J ₁ 末	J ₃ 末	K ₁ 末	E 末	备 注
源岩中部埋深 (m)	1000	2000	2000	4000	5000	6000
生气量 (10 ¹² m ³)	50	70	242	50	20	总生气量 432

“八五”研究（安凤山等，1995）^① 证实，在川西坳陷内存在着三个近北东向的燕山期大型隆起带，即江油—九龙山隆起带、绵竹—盐亭隆起带、邛崃—新津隆起带，由于其形成期与油气运移高峰相匹配，称之为适时古隆起。正因为这些适时古隆起的存在，为川西坳陷形成大中型气田提供了聚气带，从而成为大中型气田形成的主要条件（图 1）。目前，川西坳陷已发现的大中型气田及大量的含油气构造（如中坝气田、八角场气田、新场气田、平落坝气田等）均位于这几个隆起带上。

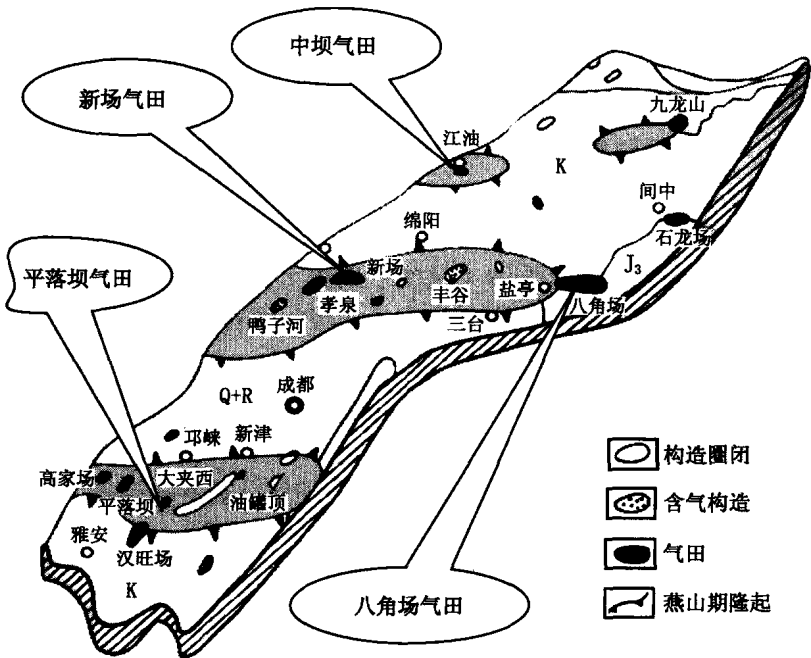


图 1 川西坳陷燕山期隆起带分布示意图

3 气藏圈闭类型以复合型为主

川西坳陷烃源岩早熟和储集层致密化具有普遍性，印支期、燕山中晚期构造，已被确认为制约大中型气田形成与富集的区域背景，而这一古构造格局由于叠加了后期喜马拉雅运

① 安凤山等，四川盆地西部碎屑岩领域天然气富集规律及大型气田预测与评价，“八五”国家重点科技攻关项目研究成果报告，1995。

动的强烈改造,加上地层、岩性、成岩作用、流体等一系列非构造因素,直接导致了川西坳陷的油气藏富集以古构造基础上发展的复合圈闭类型为主的结果。目前,勘探实践已发现的圈闭类型大致有五类^①:

(1) 古今叠合构造型:不同时期形成的背斜构造同轴叠加,这是一类储集层品质好,油气充满程度高,储量大的圈闭类型。典型气藏有平落坝气田的香二气藏、中坝气田须二气藏。

(2) 古构造岩性型:气藏范围受古构造圈闭内的有利储集相带(古河道、河口坝等)控制,有利储集相与构造圈闭两个因素缺一不可。在构造圈闭外,即便存在好的河道砂体仍不能成藏,如孝泉气田 J_2s 气藏。

(3) 古构造一成岩型:新场气田 J_2s 气藏的精细描述成果,揭示了此圈闭类型的典型实例。新场 J_2s 的现今构造,是一个东倾西抬的鼻状构造,尽管向西抬起的幅度不大,仅约 1° ,但是敞开的,而气藏并未因此散失。燕山运动后期的新场地区是一个近东西向的穹隆背斜。闭合面积 60.5km^2 ,闭合高 140m 。是一个很好的有效圈闭。受烃类等运移流体与岩石相互作用的影响,储集层内部致密带与相对高渗带非均匀分布,原型层状气藏被改造为4类储渗体,形成了古构造一成岩型天然气圈闭。

(4) 古构造一裂缝型:上三叠统储集层在早白垩世末(燕山运动晚幕)普遍进入超致密化阶段,储集层致密化以后,天然气难以再发生规模运聚。因此,天然气聚集成藏的关键时期是与生排烃高峰相匹配且储集层又尚未完全致密化的燕山运动中、晚期(J_3-K_1)。超致密化前的流体低势区应是天然气富集的有利区,即印支—燕山期形成的早期构造是适时古构造。但由于储集层超致密化作用,天然气受到的巨大毛细管阻力使之不能渗流,早期富集的天然气被“冻结”。因此,需要叠加裂缝系统使早期圈闭富集的天然气重新活动、重组,形成依靠自然渗流就能产出工业性气流的气藏^[1],这种气藏被定义为古构造一裂缝型圈闭气藏。其圈闭机制是构造作用形成裂缝网络,连同疏导范围内的岩体形成储集实体,在实体外缘,由破裂终止或裂缝闭合形成封堵。典型圈闭实例如新场须二气藏、合兴场须二气藏。

(5) 构造一岩性型:在川西地区 J_3p 气藏,基本上都是这一类型。这是因为 J_3p 储集层至今尚未完全致密化,仍处在有效聚集期孔隙阶段,即使低幅度的构造,也能驱动油气;另一方面,由于 J_3p 在沉积时正值深部上三叠统主力烃源岩的成烃高峰期,整个沉积成岩过程都有被油气充注的机遇,故有利的相带诸如分流河道、河口砂坝等均首当其位,而天然堤是较为逊色的相带,其含气性迅速变差,显示了岩性的制约作用。气藏的分布范围不严格受正向构造圈闭控制,后者仅仅是背景而已,相对隆起部位和斜坡地带为流体运移提供了低势区,但岩性圈闭对天然气成藏起绝对的控制作用。典型气藏如新场、洛带、新都气田的 J_3p 气藏。

4 有利的沉积成岩相带展布决定了气藏形态

油气聚集的圈闭作用,本质上是动力学问题而不是几何学问题。在一般常规储集层条件下,油气的浮力超过储集层的毛细管阻力,以致油气相对活跃,总是趋向低势部位以求平

^① 杨克明等,川西及邻区碎屑岩大中型气田勘探新目标研究,“九五”国家重点科技攻关项目研究成果报告,1991。

衡,只要浮力大于阻力的条件不改变,早期已集中的油气仍然会再次运移以适应新的构造格局,因此,背斜圈闭及其几何形态的系统认识,在勘探中一直发挥着重要作用。但是,在川西致密砂岩领域里,多数储集层的毛细管阻力远大于油气的浮力,致使油气活动相对停滞,已形成的聚集将因此被“冻结”,即使构造发生变动,只要储集层孔隙结构不改变,已聚集的油气不会随构造变动而重新调整(安凤山,2002.4)^①,这就使得气藏形态并非主要取决于构造形态。相对于常规储集层气藏的形态主要由构造形态决定而言,川西坳陷的气藏形态要复杂得多。有利的沉积成岩相带展布决定气藏形态是该区油气富集的一个明显规律。

5 储渗体是油气富集的基本单元

川西坳陷的圈闭类型以复合圈闭为主,不同的圈闭类型具有不同的气藏形态。但就有利沉积成岩相带决定的某一形态气藏来说,天然气在储集层中并非是均匀充满的,储渗体是油气富集的基本单元。

川西坳陷的储集层,由于原始矿物成分、岩石结构上的非均质性,加之其后的致密化作用及裂缝作用的参与,使气层的层状属性受到较大改变,某些部位因孔渗性变坏而使气藏“肢解”,由层转化为相对分隔的储集体(储渗体)。与通常的储集层概念不同,在致密砂岩中的储集层是由同层位的若干储集体组成的。

川西坳陷的储集体(储渗体)具有如下定义和内涵(尹凤岭、王胜^②、安凤山^③等):

(1) 储集体是指气层的层状性质遭受了某种程度改变的那些富气实体,储集体和储集层之间为一种过渡关系并无严格界线;

(2) 储集体可以出现在厚大砂岩层内部,也可以出现在砂泥岩互层的剖面中;

(3) 储集体或储渗体是致密砂岩天然气赋存的一种普遍形式,二者均是由储集层演化而来,后者更强调渗透率在提高工业性产能上的关键作用。

川西坳陷的勘探实践表明,除了上侏罗统蓬莱镇组及其以上气层外,其下气层基本上都是以储集体(储渗体)形式出现。储集体(储渗体)的形成机制可概括为三方面,即:

(1) 构造裂缝作用;

(2) 与天然气多期次运移充注同步进行的成岩作用;

(3) 气层形成后的成岩改造作用;

5.1 构造裂缝作用^④

当构造挤压占主导地位时,岩石发生塑性变形,从而使气层孔隙度降低,随着气层储集空间的不断被压缩,迫使孔隙压力上升,当压力系数超过某一临界值时,地层中某些部位,如应力集中的岩性变化带、结构软弱带,特别是沿含气砂体边部的泥质岩将先破裂,高压气流就势沿这些新通道进入“新居”,使泥质岩充气,直到压力平衡为止,然后又进入下一个新的循环。这种作用的实质是气层在构造挤压或其他类似作用中的调整性平衡,其总趋势是驱使气藏向易于产生裂缝的部位迁移。川西坳陷构造用的多期次,对应这种破裂也将是多期

① 安凤山,川西地区深层须家河组成藏机制探讨,新星西南分公司、西南石油局深层勘探研讨会,2002.4。

② 王胜等,四川盆地超低压孔渗碎屑岩储层天然气富集规律及勘探领域的研究,“七五”国家重点科技攻关项目研究成果报告,1990.9。

③ 安凤山等,四川盆地西部碎屑岩领域天然气富集规律及大型气田预测和评价,“八五”国家重点科技攻关项目研究成果报告,1995。

次，从而形成规模和特征均不相同的多个储集体。在“八五”期间查明，孝泉上沙溪庙组气藏是由 23 个大小不等、形态各异、自成压力体系的储渗体构成。

5.2 与天然气多期次运移充注同步进行的成岩作用

伴随多期次的生烃超压排烃作用，天然气也将发生多期次的运移充注，在这一系列过程中的水岩相互作用必然导致差异成岩作用发生，由此极大地改变储集层物性，从而将层状连片分布的连通储集层改变成厚层砂岩中孤立分布的储集体。由图 2 可见，天然气向低势区运移时，必然对储集层中原始充填的孔隙水发生趋替作用，同时使原始水介质环境发生改变而呈酸性。在水相往构造低位迁移过程中，部分不稳定矿物（如长石等）发生溶蚀，水体中矿物离子浓度增高，当达到过饱和时，必然发生矿物沉淀胶结作用，于是形成第一期致密封隔带以及相应的局部残余地层水。当再次充气作用发生，又会形成第二期储渗体和第二期封隔带及气水界面。伴随着天然气的多期运移作用，地层中周而复始地进行着溶蚀与沉淀胶结作用，最终使原来相对均一的储集层被改造成为非均质性极强，内部由若干不同级别的储渗体与致密体穿插分布的储气块体。新场气田沙溪庙组气藏由上沙溪庙组厚大砂岩内部四类不同级别的储渗体构成，就是由上述地球物理化学机制产生的结果。

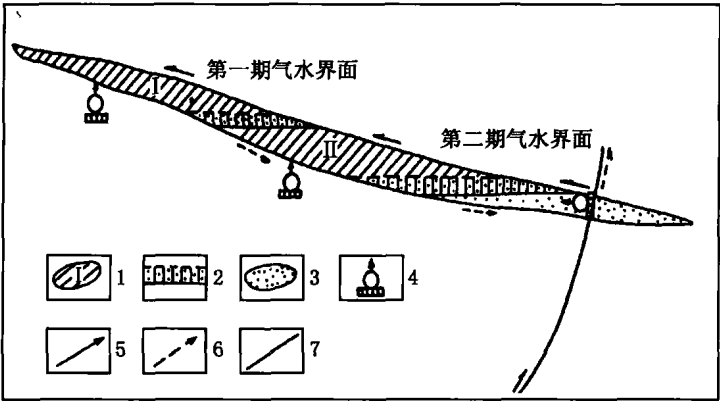


图 2 天然气多期次充注储渗体形成模式（据陈彦华，1996. 修改）

1—气层；2—封隔带；3—输导层；4—进气窗；5—气运移方向；6—水运移方向；7—断层

5.3 气层形成后的成岩改造作用①

从生产角度看，天然气储集层由产层段和含气段组成，产层段对应于有效储集体，而含气段则由于致密原因，尽管饱含天然气，射开后却无工业产能。在合理开发时，其中的某一部分也完全有可能向产层段缓慢补给，但单独射开却不会有工业产能，除非采用成功的储集层改造工艺措施。

在川西坳陷须家河组的勘探钻井中发现，须家河组二段顶部大多存在一段石英次生加大的超致密砂岩，如川合 100 井须二段顶部 60m、中坝气田平均 25m、平落坝气田平落 1 井 25m、丰谷 1 井 78m。经分析后认为，须二段顶部砂岩段变得非常致密的原因正是成岩改造的结果。其机理是须二段顶部紧邻上覆须三段泥质岩，优先领受了饱含氧化硅的排出水，这

① 安凤山等，四川盆地西部碎屑岩领域天然气富集规律及大型气田预测与评价，“八五”国家重点科技攻关项目研究成果报告，1995。

些水渗入气层顶部且离子浓度达到过饱和时, 氧化硅就会沉淀出来形成石英增生和胶结作用。当石英增生作用继续向气层推进时, 层状气层就被改造成若干叠置的储集体了。储集体的规模除了本身岩石学上的原因外, 主要受制于演化强度。演化强度愈大, 则储集体的规模趋于小型化, 且流体压力愈高; 反之, 储集体规模增大, 层状特性保持愈多而渐为气层。

6 结论

川西坳陷复杂的形成与构造演化历史, 导致了烃类相态和赋存方式、岩石的结构及孔渗性能、区域形变类型、变形强度、异常地压的形成及调整等均发生多次改变, 其结果是在区内呈现多期次、多类型、多压力系统的复杂成藏局面, 储集层致密非均质、圈闭类型多样, 构造充满度较低, 沉积一成岩控制作用很强, 地质预测困难。构成同一气田的各气藏其控制因素、储量商业化水平、含气丰度、产能可以极为悬殊, 勘探难度极高。该区油气富集规律十分复杂, 对其认识经历了十分漫长的过程, 本文综合概括了“七五”——“九五”新老两代地质工作者对川西地区油气成藏辛勤研究的成果, 力求能够全面、客观地揭示川西坳陷天然气富集规律。尽管在认识方面还存在分歧, 阐述的规律也不尽全面, 但是在今后的研究中, 通过认识—实践—再认识—再实践, 对川西坳陷天然气富集规律的认识必定会逐渐趋于完善, 分歧也会不断达到统一。

参考文献

- 1 王金琪. 川西坳陷须家河组气藏再认识. 天然气工业, 2002, 22 (2) :6

Natural Gas Accumulation Rule of Continental Facies in West Sichuan Depression

Ye Jun Chen Zhaoguo

(Southwest Bureau of Petroleum Geology, CNSPC, SINOPEC)

Abstract: Based on the study of geologic characteristics of gas reservoirs in west Sichuan depression, the gas accumulation rules on tight continental clastic in west Sichuan depression was summarized, which include as followings:

1. gas reservoir type and its vertical distribution were controlled by petroleum system;
2. distribution of large to mid scale of gas fields was determined by paleo-uplift;
3. gas trap type was dominated by complex traps with multiple elements;
4. gas pool shape was determined by favorable sedimentary facies distribution;
5. “reservoir body” is the basic unit for gas accumulation.

Those rules are useful to guide the exploration practice on gas fields in west Sichuan depression and push the theoretic development of gas reservoir on tight sandstones.

塔河油田成藏条件与富集规律

云 露^① 蒋华山 王 英

(中国石化新星西北石油局勘探开发规划设计研究院 乌鲁木齐 830011)

摘要:塔河油田位于塔里木盆地北部沙雅隆起阿克库勒凸起,其基本构架是奥陶系碳酸盐岩大型不整合—岩溶缝洞圈闭油藏具有大面积连片不均匀含油特点,形成塔河油田主体;其上叠加成带分布的石炭系、三叠系低幅度背斜圈闭、岩性圈闭及复合型圈闭,由断裂、不整合沟通形成次生油藏。纵向上具有“复式”成藏组合特征。塔河油田成藏条件:处于古克拉通盆地斜坡部位,在巨大生烃坳陷的边缘,巨大的资源量是形成大油田的物质基础;长期发育的大型鼻状凸起控制油气运移、聚集与成藏,多期大型不整合面是油气侧向运移的通道;断裂、裂缝及岩溶作用,形成了孔、洞、缝网络状储集体;良好的储盖组合是大油田形成的重要条件;长期生烃和多期次构造运动造就了现今复杂的油气聚集景观。塔河油田成藏规律:区域构造格架控制着油气的聚集分布,储集体发育程度控制着油气富集,古阿克库勒凸起轴部与岩溶缓坡的叠合部位是油气的主要聚集带;断裂、不整合面控制了油气的聚集成藏;长期的油源供给,多期次油气充注、成藏形成了奥陶系油藏复杂的油气分布特点,总体上随着距油源距离变小,受后期改造程度强,油质变轻。综上所述,塔河油田奥陶系寻找经济效益较好的正常—轻质油藏应以靠近烃源区的南部地区为主要目标,北部于奇地区应以重质油为主,应为第二层次的勘探目标。

1 区域地质背景

塔河油田位于塔里木盆地北部沙雅隆起中段南翼阿克库勒凸起上,南临满加尔生烃坳陷。阿克库勒凸起是以寒武系—奥陶系为主体的、长期发育的大型古凸起。该凸起于加里东中晚期形成凸起雏形,海西早期受区域性挤压抬升形成向西南倾伏的北东向展布的大型鼻凸,凸起主体缺失志留系—泥盆系及中上奥陶统,下奥陶统也受到不同程度的剥蚀,形成了大量的岩溶缝洞储集体;海西晚期运动使该区再次抬升、暴露,形成了一系列近东西向的褶皱和断裂,大部分地区仅保留下石炭统,缺失上石炭统及二叠系,局部地区下石炭统亦剥蚀殆尽;印支期—燕山期该区构造运动相对较弱,主要表现为整体升降,使该区缺失中上侏罗统;至喜马拉雅期,受库车前陆盆地的影响,该区北部强烈沉降,阿克库勒凸起最终定型^[1-3]

目前塔河油田是指在阿克库勒凸起的背景上,北以轮台断裂为界,以下奥陶统顶面6500m构造等深线所圈定的具有大致相似成藏特点的范围(图1)。

塔河油田的基本构架是:纵向上以奥陶系、石炭系、三叠系三套含油层系叠合。奥陶系碳酸盐岩大型不整合—岩溶缝洞圈闭油藏具有大面积连片整体含油、不均匀含油特点;其上叠加成带分布的石炭系、三叠系低幅度背斜圈闭、岩性圈闭及复合型圈闭,由断裂、不整合

① 云露(1972.11—),男,汉族,新疆奎屯人,硕士,工程师,主要从事石油地质综合研究工作。

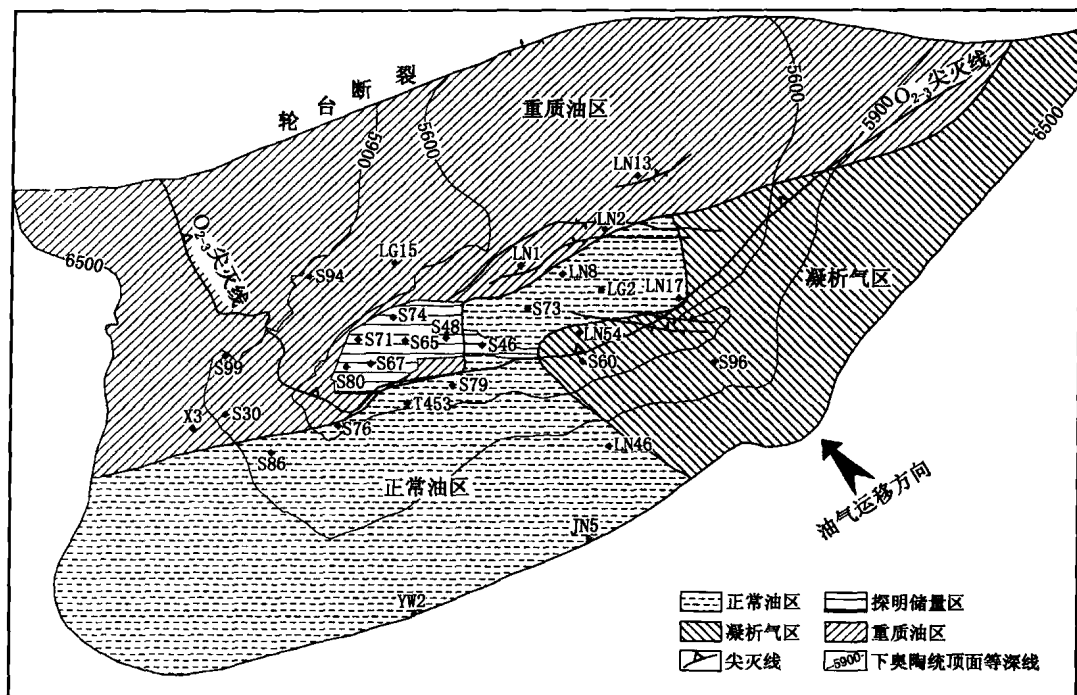


图1 塔河油田奥陶系地层不整合—岩溶缝洞型油气藏展布范围示意图

勾通形成次生油藏。纵向上具有“复式”成藏组合特征（图2）。

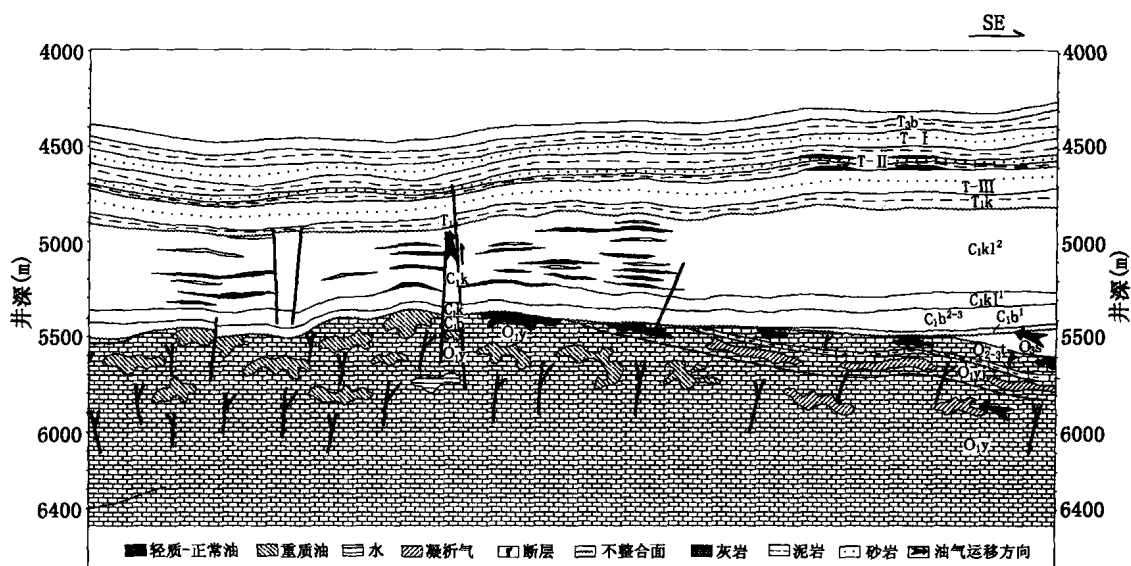


图2 塔河油田成藏模式图

下奥陶统大型地层不整合—岩溶缝洞油藏是塔河油田主要组成部分。储集空间以岩溶缝洞和构造裂缝为主，主要沿下奥陶统顶面 T_7^4 不整合面发育，发育深度在 300m 以内。储集空间的发育程度主要受控于构造变形与岩溶作用的发育程度，且构造变形与岩溶作用又相辅相成。塔河油田奥陶系油藏勘探证实，其油气分布特征不受残丘构造顶面形态及闭合高度控制，而受阿克库勒凸起区域构造背景、储集体发育程度控制，主要分布在风化面以下 300m