

**深层碳酸盐岩礁滩气藏储层
成藏机理及勘探开发对策研究**
——以川东北黄龙场地区为例



何 骁 赵 松 黄雪松 等 著
曾汇川 王 刚 任洪明



科学出版社

深层碳酸盐岩礁滩气藏储层成藏机理 及勘探开发对策研究

——以川东北黄龙场地区为例

何 骁 赵 松 黄雪松 等 著
曾汇川 王 刚 任洪明

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是一部介绍中国四川盆地川东北地区典型礁滩气藏黄龙场地区勘探开发的专著,汇集了黄龙场地区40年来的勘探开发成果。本书通过分析川东北地区典型礁滩气藏黄龙场地区的构造圈闭特征、沉积相特征,系统总结出礁滩气藏的成烃模式、储层特征及主控因素、烃类的运移及聚集、天然气的保存条件及气藏的成藏模式,指出礁滩气藏的富集规律,研究气藏生产特征、储量动用情况、水侵规律,提出气藏下步开发调整措施。本书采用理论与实践相结合的方法,具有较强的理论指导和实际应用价值。

本书可供从事复杂地区天然气勘探开发的科研人员、生产技术管理工作使用,也可作为石油天然气大专院校有关专业师生的参考书。

图书在版编目(CIP)数据

深层碳酸盐岩礁滩气藏储层成藏机理及勘探开发对策研究:以川东北黄龙场地区为例 / 何骁等著. —北京:科学出版社, 2017.3

ISBN 978-7-03-052456-0

I. ①深… II. ①何… III. ①碳酸盐岩油气藏-油气藏形成-研究-川东地区 ②碳酸盐岩油气藏-油气勘探-研究-川东地区 IV. ①P618.130.627.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 056133 号

责任编辑:张 展 黄 桥 / 责任校对:韩雨舟

责任印制:罗 科 / 封面设计:墨创文化

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

成都锦瑞印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年3月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2017年3月第一次印刷 印张:16 1/2

字数:380千字

定价:118.00元

(如有印装质量问题,我社负责调换)



《深层碳酸盐岩礁滩气藏储层成藏机理 及勘探开发对策研究

——以川东北黄龙场地区为例》编委会

主 编：何 骁 赵 松 黄雪松 曾汇川

王 刚 任洪明

副主编：刘 均 曹 刚 张 航 罗 轲

雷小华 袁迎中 黄小亮 李 丹

谭秀成 蒋 东 文华国 曹脊翔

胡作维

序

碳酸盐岩礁滩气藏的勘探开发是天然气复杂气藏勘探开发的世界级难题之一。这类气藏具有成藏模式复杂，礁、滩精细刻画难度大，储层低孔低渗、非均质性强，气水关系复杂，埋藏较深的特点，且普遍属中、高含硫气藏。

川东北地区天然气的勘探工作已历经半个多世纪，碳酸盐岩天然气藏的发现从无到有，分别在三叠系、二叠系、石炭系取得了一系列重大突破。礁滩气藏的探明储量已超过 7000 亿立方米。

黄龙场地区的地震勘探工作始于 1971 年，1986 年首钻黄龙 1 井在生物礁储层获气，2003 年投入开发生产，至今已有 40 余年的勘探开发历史。黄龙场作为中、高含硫气藏的典型代表，是川东北地区最早投入勘探开发的礁滩气藏，通过不断学习和借鉴国内外先进技术，在勘探开发方面取得了显著的成效。

川东北气矿自 2002 年成立以来就面临“低渗透气藏”“有水气藏”“高含硫气藏”等开发技术难题。为了更加高效优质地开发气田，深挖气井、气藏生产潜力，不断提高气藏的最终采收率。川东北气矿人以“科学发展”统领各项工作，多领域积极探索，应用新技术不断提高气田开发的整体效益。目前川东北地区已经成为西南油气田分公司的重要天然气上产区。

《深层碳酸盐岩礁滩气藏储层成藏机理及勘探开发对策研究——以川东北黄龙场地区为例》一书在地质理论方面总结了川东北地区礁滩气藏的成藏模式、主控因素、储层特征和富集规律，并结合开发生产进行了气藏生产特征、水侵规律、下步开发调整对策研究。形成了川东北地区礁滩气藏的一套成熟的勘探开发技术。思路开阔，观点新颖，立论正确，成果丰富具创新性。

该书是四川盆地天然气勘探开发工作中的一份重要总结，对国内外同类型气藏的勘探开发将起到重要的指导与借鉴作用。为此，我特向著者及广大参与川东北地区勘探开发实践的工作者表示衷心的祝贺，预祝川东北地区天然气勘探开发不断取得新的进展和重大发现，进一步开拓四川盆地天然气勘探开发的新局面。



2017 年 1 月

前 言

川东北地区礁滩气藏的勘探开发有其自身的特点。气田地表条件差,地下构造复杂,气藏具有边水,储层低孔、低渗、非均质性严重,裂缝对储集性能的改善起重要作用;礁滩气藏地震预测较为困难,利用地震勘探技术可靠地查明地下构造形态存在一系列技术难题,开采技术难度大。在此背景下,川东北地区的科研人员经过多年的不断探索和实践,创新工作方法,对该地区礁滩气藏基本规律的认识不断深化、完善与发展,形成了一系列成熟的、行之有效的技术,充分体现了科学技术是第一生产力,使川东北地区的天然气生产得到了可持续发展。树立了四川盆地礁滩气藏天然气勘探开发中的重要里程碑。

川东北地区高含硫气藏对外合作以后,随着老气田产量的衰减,急需寻找新的产能接替领域,以弥补产量持续递减的不利局面。礁滩气藏成了该地区重要的勘探开发领域。为此,通过持续深化“开江—梁平海槽”东西两侧的礁滩气藏的研究,发现海槽东侧黄龙场区块长兴组生物礁和飞仙关组鲕滩资源潜力巨大。但是前期勘探开发暴露出该区块构造复杂,断层认识不清,储层形成机理和分布规律不清,岩性油气藏的成藏机理不明确,气水分布复杂,以及高含硫气藏高效开发安全风险高等问题。针对川东北高陡复杂地区地震资料品质普遍较差,礁滩储层地震预测难度较大,地层及沉积相无统一的地质认识,严重制约长兴组生物礁与飞仙关组鲕滩气藏深化勘探开发等特点,运用复杂油气藏地质综合研究方法,将地质与地震勘探技术紧密结合,开展礁、滩体发育的受控因素、储层机理、展布规律研究,明确有利富集区带,优选目标,取得了显著的效果,实现了油气藏的高效环保经济的快速勘探开发,为同类复杂油气藏的勘探开发提供理论依据及技术支持,具有重大意义。

《深层碳酸盐岩礁滩气藏储层成藏机理及勘探开发对策研究——以川东北黄龙场地区为例》专著研究内容以黄龙场地区礁滩气藏为例,综合运用旋回地层学、现代沉积学、构造地质学、碳酸盐岩储层地质学、成藏动力学、油气藏描述、气藏工程、试井解释、有水气藏开采技术、数值模拟技术等学科的理论和方法,主要内容包括气藏地质特征研究、气藏生产特征研究、气藏水侵规律研究、气藏数值模拟研究、开发调整潜力评价及治水对策研究等,全面展示了川东北地区礁滩气藏高效勘探开发的成就和进步,可为该区以及国内同类中、高含硫礁滩气藏的高效安全勘探开发提供借鉴。

通过本书的编写,期望能总结经验、认识规律、发展技术、明确方向,进一步加快川东北地区下步天然气生产的高效勘探开发;并以此书献给从事川东北地区天然气勘探开发的全体工作者。

全书由序言、前言和相对独立的八章组成。第一章由何骁、曾汇川、黄雪松撰写;第二章由何骁、袁迎中、罗韧、谭秀成、文华国撰写;第三章由赵松、任洪明、张航、曹刚、胡作维撰写;第四章由黄雪松、刘均、黄小亮、曹脊翔撰写;第五章由赵松、李

丹、任洪明、曾汇川撰写；第六章由任洪明、雷小华、王刚、袁迎中撰写；第七章由曾汇川、黄雪松、黄小亮、赵松撰写；第八章由王刚、何骁、张航、蒋东撰写。

在编写过程中，中国石油西南油气田分公司、重庆科技学院、西南石油大学等单位、院校的领导和专家给予了指导和帮助。在此，向所有对本书提供指导、关心、帮助的领导、员工及引用参考资料的有关作者表示深深的谢意。

鉴于编者水平有限、编写时间仓促，错误之处请批评指正，特此表示衷心感谢。

作者

2017 年 1 月

目 录

第一章 气藏概况及开发历程	1
第一节 地理自然环境与区域构造位置	1
第二节 勘探历程	2
一、地震勘探简况	2
二、钻探试油概况	3
第三节 开发简况	6
第二章 气藏地质特征研究	7
第一节 精细地层对比与划分	7
一、地层简况	7
二、地层划分	8
三、地层对比	10
第二节 构造及圈闭特征研究	12
一、层位标定	12
二、断裂特征	16
三、构造概况与圈闭发育特征	19
第三节 沉积微相研究	21
一、区域沉积背景	21
二、长兴组沉积相特征	22
三、飞仙关组沉积相特征	28
四、长兴组、飞仙关组沉积演化史	38
五、长兴组、飞仙关组储层成岩作用	40
第四节 储层特征研究	43
一、长兴组储层特征	43
二、飞仙关组储层特征	52
第五节 储层主控因素研究	61
一、长兴组礁滩体发育受控因素及发育模式	61
二、礁、滩型储层主控因素及成因	69
第六节 礁滩气藏成藏条件和模式	78
一、烃源岩评价	78
二、长兴组生物礁气藏成藏条件分析	95
三、飞仙关组鲕滩气藏成藏条件分析	96
四、长兴组生物礁气藏成藏模式及成藏过程	98
五、飞仙关组鲕滩气藏成藏模式及成藏过程	102

六、成藏过程综合分析	106
七、天然气成藏富集规律与模式	108
第三章 气藏温度、压力系统及驱动类型	110
第一节 长兴组气藏温度、压力系统及驱动类型	110
一、流体性质	110
二、温度与压力系统	110
三、气水界面	115
四、驱动类型	119
第二节 飞仙关组气藏温度、压力系统及驱动类型	119
一、流体性质	119
二、温度与压力系统	120
三、气水界面	124
四、气藏类型	126
第三节 区域硫化氢气体分布规律	127
第四节 区域气水界面差异分析	127
第四章 气藏容积法地质储量计算	129
第一节 长兴组气藏储量计算	129
一、储量计算单元的确定	129
二、黄龙场主体构造储量计算	129
三、符家坡构造	131
第二节 飞仙关组气藏储量计算	132
一、储量计算单元确定	132
二、储量计算	133
第三节 容积法储量评价	135
一、黄龙场构造主高点长兴组气藏储量评价	135
二、黄龙场构造飞仙关组气藏储量评价	136
三、符家坡高点长兴组气藏储量评价	136
四、储量总体评价	137
第五章 气藏生产特征研究	138
第一节 产能评价研究	138
一、气井产能方程建立	138
二、气井产能计算	145
三、气井产能影响因素分析	149
四、气井的合理配产	153
第二节 生产动态特征分析	154
一、黄龙场主体构造长兴组气藏生产特征分析	154
二、飞仙关组气藏生产特征分析	161
第三节 产量递减规律分析	161
一、ARPS 产量递减模型	161

二、产量递减模型判断	162
三、气藏递减规律分析	163
第四节 储量动用程度研究	165
一、气井动态储量计算	165
二、气藏储量动用程度评价	173
第五节 采收率与剩余可采储量研究	174
一、采收率预测	174
二、可采储量计算	176
第六章 气藏水侵规律研究	178
第一节 水侵动态特征	178
一、产出水特征分析法	178
二、井口产量压力变化分析法	179
第二节 水侵模式判别	180
第三节 水侵量计算	182
第四节 水体大小计算	185
一、罐状水层模型法	185
二、Fetkovitch 法	185
第五节 水体活跃程度评价	189
第六节 驱动机制分析	191
第七章 气藏数值模拟研究	194
第一节 数值模型的建立	194
一、地质模型粗化	194
二、流体及岩石性质	196
三、生产动态参数	200
四、模型初始化	200
第二节 生产动态历史拟合	202
一、模型参数调整	202
二、整体指标拟合	203
三、单井指标拟合	206
第三节 剩余气饱和度分布	212
第八章 开发调整潜力评价及治水对策研究	217
第一节 长兴组气藏治水对策及开发潜力研究	217
一、国内外控水治水应用现状	217
二、开发潜力分析	220
三、基础方案分析及预测	221
四、治水技术对策及教学预测	228
第二节 飞仙关组气藏开发调整潜力评价	238
一、开发潜力分析	238
二、开发调整方案部署	240

三、开发调整方案指标预测 243

参考文献 248

第一章 气藏概况及开发历程

第一节 地理自然环境与区域构造位置

黄龙场构造位于四川省东北部的宣汉县境内，西南抵新农乡，西北至三河乡，东北至南坝镇，东南至上峡，东西长约 16km，南北长约 14km，面积为 191.33km²。在区域构造划分上，黄龙场构造位于四川盆地川东南中隆高陡构造区双石庙构造群南部，地面构造为鼻状构造，地腹构造在温泉井构造带上的一个潜伏构造，处于温泉井背斜西段北翼断下盘。该构造南以峡口场向斜与温泉井主体构造相隔，北以南坝向斜与渡口河构造相邻，东面连接石工坝—罗家寨潜伏高带，西面紧靠芭蕉场向斜(图 1-1)。地貌大致可划分为两种类型：一是东部侏罗纪砂泥岩沉积区典型的丘陵地貌；二是西侧上三叠统和中三叠统沉积区典型的高山地貌，地面海拔最低 400m，最高 1200m，相对高差达 800m，地势险恶，沟壑纵横，地形切割厉害，悬崖陡壁处处可见，在南部森林覆盖率高。县城附近常年平均温度为 13.4℃，夏季七月均温 23.4℃，冬季一月均温 2.5℃，气候温暖潮湿，雨量充沛，年降雨量 1207mm。人烟稠密，小水电较多，交通不发达，仅有县、乡级公路，大部分出露地层为侏罗系上、下沙溪庙组泥岩、厚层砂岩^[1,2]。

黄龙场内部集输管网完善，采输条件较好。

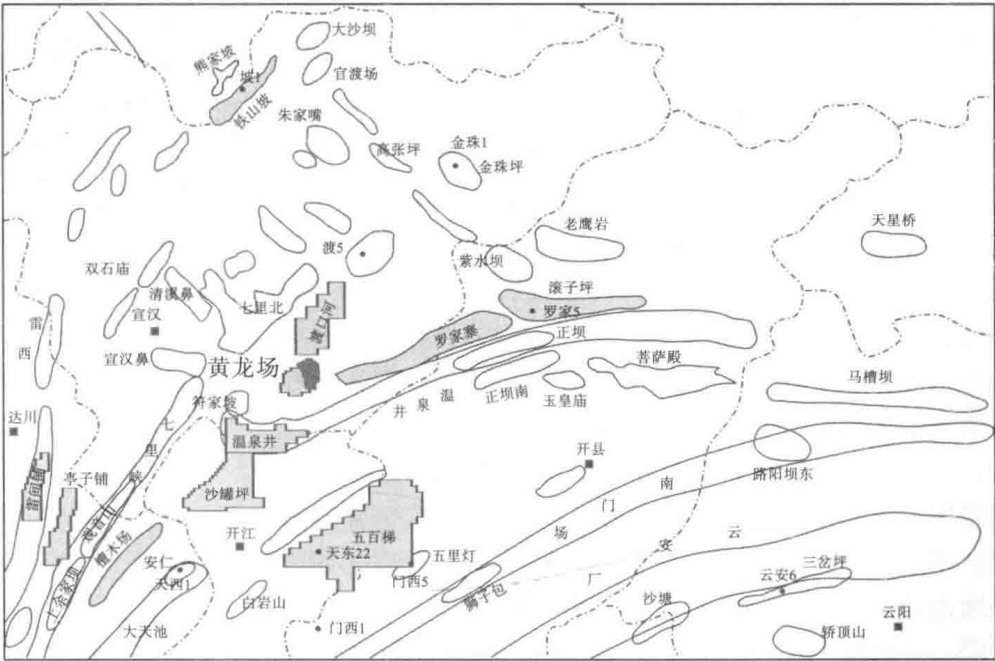


图 1-1 地理及区域构造位置示意图

第二节 勘 探 历 程

一、地震勘探简况

黄龙场构造地震勘探工作始于 1971 年，地震勘探工作量见表 1-1。1971~1973 年，西南石油地质局第二物探大队用光点记录仪在黄龙场构造进行地震详查，认为黄龙场构造地腹可能有圈闭存在。1977~1978 年，四川石油管理局地震 212 队在大盛场—大方寺向斜进行地震连片测量，证实了黄龙场潜伏构造的存在。

表 1-1 黄龙场构造地震工作量统计表

内容	类别	二维数字地震					三维地震/km	
	年度	1984 年	1985 年	1987 年	1994 年	2001 年	2004 年	2005 年
野外工作量		236.9km/ 9 条	165.885km/ 9 条	233.055km/ 15 条	77.64km/ 4 条			189.03
常规处理		236.9km/ 9 条	165.885km/ 9 条	233.055km/ 15 条	77.64km/ 4 条	224km/ 14 条	371km/ 26 条	189.03
特殊处理	高分辨/km	236.9	165.885	233.055	77.64	224		
	G-LOG/km	236.9	165.885	233.055	77.64			
	道积分/km	236.9	165.885	233.055	77.64	224		
	连续频谱/km	236.9	165.885	233.055	77.64	224		
	神经网络/km	236.9	165.885	233.055	77.64			
	模式识别/km	236.9	165.885	233.055	77.64			
	孔隙度反演/km	236.9	165.885	233.055	77.64			189.03
	Strata 速度反演/km						371	189.03
	自然伽马反演/km						371	189.03
	密度反演/km							189.03

1984~1995 年黄龙场构造上共进行了四轮地震工作，北侧渡口河地区部分测线延伸至研究区内，地震测线 37 条，长 713.48km，测线距 0.75~1.2km。1984~1985 年地调处采用多次覆盖方法，对构造区进行了地震详查和补充详查，编制了香溪群顶、阳新统顶、阳新统底、中奥顶等层构造图。四川石油管理局地调处于 1994~1995 年又增布测线对本区进行补充地震详查，并将新、老资料统一采用波形保真、顶点归位较好，不受速度陷阱影响的串级深度偏移归位以及 G-Log、道积分、连续频谱、模式识别、高分辨等特殊处理，对构造、储层、含流体性质等进行综合分析研究，取得了黄龙场二叠系长兴组生物礁气藏是叠合在构造上的岩性圈闭的重要认识，2001 年为进一步落实区内生物礁的分布，完成了 17 条测线约 224km 的地震老资料处理。

随着川东北地区飞仙关组勘探的不断深入，对黄龙场地区的飞仙关组勘探得到了重视。2004 年，黄龙 8 井、黄龙 9 井于飞仙关组获气后，西南油气田分公司委托四川石油管理局地调处，进行了地震老资料重新处理解释工作，编制了黄龙场地区飞四底地震反射构造图，并对鲹滩储层进行了 Strata 反演等定量解释工作。

2004 年，为了进一步明确黄龙场地区飞仙关组和长兴组等层构造细节和储层分布状况，西南油气田分公司对该地区开展了三维地震工作。并于 2005 年 9 月中旬处理解释完

成。该轮三维地震控制面积为 189.03km^2 ，满覆盖面积 109.03km^2 ，面元 $25\text{m}\times 25\text{m}$ ，覆盖次数 8 次 $\times$ 8 次。此轮地震工作查清了黄龙场地腹构造细节、圈闭规模、断层展布格局及构造间接触关系，编制了飞四段底、飞仙关组鲕滩储层顶等层构造图，上二叠统底构造图、长兴组生物礁分布预测图和长兴组生物礁储层预测图；在自然伽马反演及 Strata 速度反演的基础上，编制了飞仙关组鲕滩储层有效厚度等值线图。该轮地震成果报告名称为《四川盆地黄龙场构造三维地震勘探报告》。此轮成果还与罗家寨、渡口河三维地震成果进行了拼接，使黄龙场地腹构造更为落实、可靠。

2013 年 3 月，黄龙 009-H1 井在飞仙关获高产气流后，为了进一步扩大黄龙场构造油气勘探面积，落实黄龙场构造细节和飞仙关组鲕滩储层的特征，川东北气矿委托川庆物探公司重新对黄龙场构造黄龙 9 井区以及相邻的罗家寨、渡口河、温泉井—五百梯 3 个三维区块的部分三维地震资料重新进行水平叠加、叠前时间偏移及时深转换处理（满覆盖面积 110km^2 、控制面积 268.93km^2 ）。此轮地震老资料连片处理工作，明确了黄龙场—渡口河—罗家 6 井区断层展布、构造间接触、沉积相及储层之间的关系，编制了黄龙场—渡口河—罗家寨（罗家 6 井区）飞四段底构造图，飞仙关组鲕滩储层厚度、储层孔隙度及储能系数等值线图。

通过上述多轮的地震工作以及地震资料处理解释工作，黄龙场地区长兴组、飞仙关组地层取得了较丰富的地震成果和地质综合研究成果，查明了黄龙场地区长兴组、飞仙关组地层的地腹构造形态、圈闭规模、断层展布格局及构造间接触关系，明确了储层在平面上的分布，为黄龙场地区长兴组、飞仙关组气藏开发潜力评价奠定了坚实的基础^[3,4]。

二、钻探试油概况

黄龙场地区的钻探工作始于 1986 年部署的主探石炭系的黄龙 1 井，该井位于黄龙场构造高点南翼，设计井深 4537m。1987 年 11 月钻至井深 3926m，层位长兴组见井漏显示，钻至井深 3938m 时连续发现 8m 白云岩，随即进行取心，并对井段 3938~4069m 进行了中途测试，证实为气层。通过对所取得的资料进行分析、研究，认为该井已经钻获生物礁气藏，故于 1988 年 8 月提前完井。经酸化后测试获气 $22.56\times 10^4\text{m}^3/\text{d}$ ，由此拉开了黄龙场构造长兴组生物礁钻探的序幕。

黄龙场飞仙关组气藏的发现始于 2004 年 5 月完钻的黄龙 8 井，该井钻至井深 3212m，层位飞三段，循环见后效气侵，随即进行中测，获气 $18.45\times 10^4\text{m}^3/\text{d}$ ，完井测试产量为 $24.25\times 10^4\text{m}^3/\text{d}$ 。2004 年 4 月黄龙 9 井钻至井深 4240m，层位长兴组完钻，同年 6 月对飞仙关组井段 3736~3770m、3912~3924m 进行射孔，酸化后飞仙关组进行 APR 测试获气 $6.95\times 10^4\text{m}^3/\text{d}$ 。2005 年 4 月 8 日对黄龙 9 井再次进行放喷测试，并进行稳定试井，获得测试产量为 $6.17\times 10^4\text{m}^3/\text{d}$ 。

截至 2016 年 6 月底，地区共完钻井 17 口，获气 14 口（黄龙 1、黄龙 4、黄龙 6、黄龙 8、黄龙 9、黄龙 10、黄龙 001-X1、黄龙 001-X2、黄龙 004-2、黄龙 004-X1、黄龙 004-X3、黄龙 004-X4、黄龙 009-H1、黄龙 009-H2 井）。其中长兴组获气 10 口（黄龙 1、黄龙 4、黄龙 8、黄龙 10、黄龙 001-X1、黄龙 001-X2、黄龙 004-2、黄龙 004-X1、黄龙 004-X3、黄龙 004-X4 井），飞仙关组获气井 5 口（黄龙 6、黄龙[8]、黄龙 9、黄龙 009-H1、黄龙 009-H2 井），钻井测试情况见表 1-2、表 1-3^[2]。

续表

序号	井号	测试层位	测试井段/m	测试日期 (年-月-日)	测试产量		增产措施	试气结论
					气/ (10 ⁴ m ³ /d)	水/ (m ³ /d)		
10	黄龙 004-X4	P ₂ ch	3664~3684 3686~3742 3825~3832 3854~3864	2009-12-04	10.59	—	射孔酸化	气层
11	黄龙 5	P ₂ ch	4353~4377 4382~4399 4410~4423	未测试	—	—	射孔酸化	未测试(微气)
12	黄龙 005-C1	P ₂ ch	4574~4593 4598~4615	2006-08-25	微气(0.2)	产水(未 计算水量)	射孔酸化	测试未成功 (无工业气)
13	黄龙 8	P ₂ ch	3558~3576 3588~3628	2004-07-24	18.96	—	射孔酸化	气层
14	黄龙 10	P ₂ ch	4072~4112.5 4114~4131.5	2005-07-05	65.05	—	射孔酸化	气层
15	黄龙 6	P ₂ ch	4505~4510 4516~4527	未测试	—	—	射孔酸化	未测试(干层)
16	黄龙 9	P ₂ ch	4071~4087	2004-05-18	—	—	射孔酸化	干层
			4126~4129 4192~4205	2004-06-03	—	—		

表 1-3 黄龙场构造飞仙关组测试成果表

序号	井号	测试层位	测试井段/m	测试日期 (年-月-日)	测试产量		措施	试气结论
					气/ (10 ⁴ m ³ /d)	水/ (m ³ /d)		
1	黄龙 2	T ₁ f ³⁻¹	3989~3997	1989-03-23 1989-04-02	极微 微	— —	射孔酸化	干层
2	黄龙 3	T ₁ f ³⁻¹	3823.77~3880	1997-08-01	微气	—	—	干层
3	黄龙 6	T ₁ f ³⁻¹	4007~4058	2005-07-31	3.58	—	射孔酸化	气层
			4186~4190 4220~4226	2005-08-15 2005-08-15	3.214 2.495	— —		
				未测试	—	—	射孔酸化	未测试 (干层)
			3089~3212 (中测)	2004-05-22	20.26	—	—	气层
4	黄龙[8]	T ₁ f ³⁻¹	3150~3156 3162~3168 3174~3198 (完井测试)	2004-08-04	24.25	—	射孔酸化	气层
5	黄龙 9	T ₁ f ³⁻¹		2004-06-15	6.95	—	射孔酸化	气层
			3736~3770	2004-06-16	6.71	—		
			3912~3924	2004-06-17	5.03	—		
				2004-07-10	2.43	—		

续表

序号	井号	测试层位	测试井段/m	测试日期 (年-月-日)	测试产量		措施	试气结论
					气/ (10 ⁴ m ³ /d)	水/ (m ³ /d)		
6	黄龙 009-H1	T ₁ f ³⁻¹	4148~4746.43	2013-03-21	114.32	—	酸化	气层
7	黄龙 009-H2	T ₁ f ³⁻¹	3762~3824 3904~4254	2016-04-21	88.17	—	酸化	气层

第三节 开 发 简 况

2003 年 4 月 5 日黄龙 4 井投产，黄龙场长兴组生物礁气藏开始投入试采。随后黄龙 1 井也于 2003 年 4 月 12 日投入生产，试采井黄龙 1、黄龙 4 井，试采规模 25.0×10⁴m³/d，2005 年 2 月 21 日黄龙 8 井投入生产，该井采用油套分采方式开采飞仙关组和长兴组，2005 年 11 月黄龙 10 井投产后，气藏采气规模扩大至 100.0×10⁴m³/d。随着滚动勘探步伐的加快，之后部署的 6 口井相继投产，气藏规模增至最高的 170.0×10⁴m³/d，到 2009 年后开始递减，2010 年 1 月以后处于南翼低部位的黄龙 001-X1 井和北翼低部位的黄龙 004-X3 井开始产地层水，日产水规模 10~20m³，水体能量较弱，对气藏生产的影响小，至 2010 年 10 月气藏投入增压开采。气藏投产以来，取得了较丰富的动态资料。目前气藏各井产量稳定，生产正常。截至 2016 年 6 月，气藏开发历史过程共有 10 口井投入生产，目前生产井 8 口，日产气量 45.5×10⁴m³、日产水量 7.5m³，生产套压平均 3.56~6.21MPa、生产油压平均 2.25~3.12MPa，气藏累计采气量 43.56×10⁸m³，气藏探明地质储量采出程度为 60.58%，剩余探明地质储量 28.34×10⁸m³，累产水量 55091m³[5]。

截至 2016 年 6 月底，整个黄龙场区块飞仙关组气藏已完钻井有 5 口(黄龙 6、黄龙 8、黄龙 9、黄龙 009-H1、黄龙 009-H2 井)，其中高含硫井 4 口(黄龙 6、黄龙 9、黄龙 009-H1、黄龙 009-H2 井)，低含硫气井 1 口(黄龙 8 井)；因高含硫隐患治理，已将黄龙 6、黄龙 9 井进行封堵；黄龙 009-H2 井因管输原因未进行试采。目前黄龙场飞仙关组气藏仅有 2 口在生产井(黄龙 8、黄龙 009-H1 井)。黄龙 8 井于 2005 年 5 月 14 日投产，最初采取油套分采方式生产(油管产长兴组气，套管产飞仙关组气)，该井于 2013 年 5 月修井后采取油套合采方式生产，黄龙 8 井(套管)修井前日产气 0.2×10⁴m³，累产气量 0.30×10⁸m³，累产水量 34m³，关井套压 3.45MPa；黄龙 009-H1 井飞仙关组于 2013 年 12 月 24 日开始生产，受地面集输条件的限制，以 10×10⁴~20×10⁴m³/d 的产量生产，油压下降缓慢，截至 2016 年 6 月，该井已累计产气 1.30×10⁸m³，累产水量 322m³，生产油压平均 30.46MPa。截至 2016 年 6 月底，飞仙关组气藏累计产气 1.61×10⁸m³，累产水量 356m³[4]；黄龙场地区礁滩气藏累计产气 45.16×10⁸m³，累产水量 55447m³。