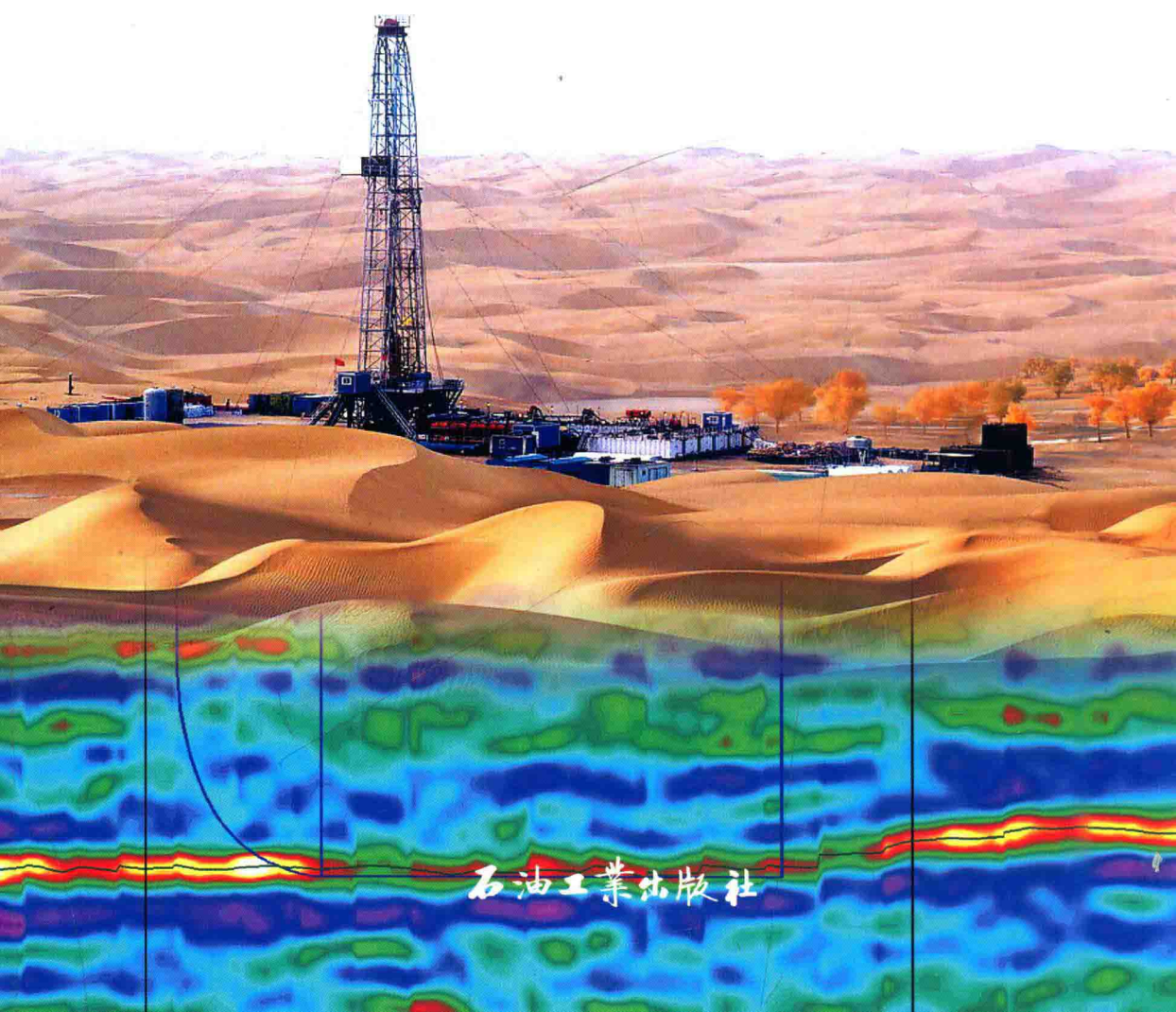


碳酸盐岩油气藏高效勘探开发 “筋脉”理论与实践

第二版

刘建勋 著



石油工业出版社

碳酸盐岩油气藏高效勘探开发 “筋脉”理论与实践

(第二版)

刘建勋 著



石油工业出版社

内 容 提 要

本书提出了碳酸盐岩油气藏高效勘探开发的“筋脉”理论,阐述了在“筋脉”理论指导下碳酸盐岩油气藏的精细评价、储量计算、精细控压安全钻井和开发技术政策,分析总结了该理论在塔里木油田的应用实例,具有很高的理论意义和实用价值。为了满足读者的要求,本书在第一版的基础上,新增了“筋脉”理论指导勘探开发实践和“筋脉”理论实现油气藏系统整体效益开发的概率推导两部分内容,使其理论体系与方法更加完善实用,内容更加丰富、详实。

本书可供从事油气勘探、开发、工程等专业的管理人员、研究人员和技术人员及相关院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

碳酸盐岩油气藏高效勘探开发“筋脉”理论与实践/刘建勋著. -2版.
北京:石油工业出版社,2015.5

ISBN 978-7-5183-0707-4

I. 碳…

II. 刘…

III. 碳酸盐岩油气藏-油田开发-研究

IV. TE344

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2015)第 090125 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

编辑部:(010)64523541 发行部:(010)64523620

经 销:全国新华书店

印 刷:北京晨旭印刷厂

2015 年 5 月第 2 版 2015 年 5 月第 2 次印刷

787×1092 毫米 开本:1/16 印张:16.25

字数:420 千字

定价:160.00 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

我国深层碳酸盐岩油气的勘探开发,普遍面临着储量资源的有效评价和高效勘探开发利用的难题。20世纪70年代,华北任丘震旦系雾迷山组的开发就遇到了产量递减过快的问题,整体(近 4×10^8 t的原油储量,中深层)开发的效果也不理想。近20年来,中国以塔里木盆地为代表,又着手开始了深层(5000~7000m)碳酸盐岩油气勘探开发的探索,主要参加单位有中国石油塔里木油田公司、中国石油西南油气田公司以及与塔里木油田毗邻的中国石化西北分公司。西北分公司虽已形成了年产超 500×10^4 t的原油规模,但利用的储量资源已超过 10×10^8 t,显然,并未实现资源高效利用与开发的目标。塔里木油田公司和西南油气田公司都相继遇到一些难题。但值得欣慰的是塔里木油田公司自2008年初至今在塔里木盆地塔中地区开展的勘探开发一体化项目攻关,取得了实质性、突破性的进展,并在实践中针对深层碳酸盐岩油气藏的高效勘探开发,创立了一套全新的理论体系和方法,称之为“筋脉”理论,并有效地指导了塔中地区的高效勘探开发。

仅用了两年多的时间,勘探开发形势取得了全面突破与发展,探明储量超过了 3×10^8 t油气当量,平均探井成功率大于70%,开发井成功率达到了100%,选用两口开发水平井试采,实现了高产稳产的目的。尤其是近两年,利用“筋脉”理论的成藏理论研究,将塔中I号坡折带的总体勘探开发轮廓细分为“三带两块”,即:台缘带(塔中85—中古2区带)、中古10—中古21区带、中古44—中古51区带、中古15区块和中古29区块,整体控制油气面积近 2500km^2 ,结合对储层的进一步分析与研究成果,通过井的优化钻探,勘探开发的综合钻探成功率达到了90%以上,并取得了一系列勘探开发成果。两年来,在勘探投资削减了50%的情况下,勘探成果较往年不降反增,中古15区块新增控制油气面积 86km^2 ,原油储量超过 2000×10^4 t,中古10—中古21区带鹰山组新增控制油气面积大于 100km^2 (ZG503井、ZG502井和ZG516井3口井滚动扩边成果),中古44—中古51区带多口井在良里塔格组新获重大发现,控制油气面积大于 500km^2 (ZG441-1H井和ZG441-2H井以及ZG435H井等多口井获得高产工业油气流),ZG29井一间房组的突破,又新增控制油气面积 400km^2 。以上勘探成果,由于勘探投资的限制,有80%以上属开发投资的兼探成果。另外,中古8—中古43区块的 200×10^4 t建设项目,开发井的钻探成功率大于85%,平均单井日产能力大于90t油当量,达到了方案设计要求。

本书结合勘探开发实践成果,对“筋脉”理论的原理与应用方法进行了深入分析和系统介绍,包括油气藏分类,储层分类与判别,“筋脉”理论的方法、原理,“筋脉”理论的运用与实践及其要点,储量计算,“筋脉”理论对工艺技术的指导应用以及该理论与方法对其他类型油气藏开发的拓展应用等,从方法论角度讲,不仅对碳酸盐岩油气藏,而且对其他类型的油气藏以及一些复杂类型油气藏的勘探开发都有很大的指导意义。本书为修订版,理论体系与方法更加完善实用,内容更加丰富、详实。本书的出版,能对我国深层碳酸盐岩油气勘探开发有所裨益。

在刘建勋的统筹下,塔里木油田公司多位专家参与了第二版的编写工作:邓兴梁参与了第一章、第三章、第四章和第六章的编写,蔡振忠、韩剑发、胥志雄、李怀忠、彭建新、刘会良、朱绕云、康延军、何思龙、黄龙藏、丁志敏参与了第四章的编写,汪如军、施英参与了第五章和第六章的编写,宋玉斌参与了第一章、第六章的编写,朱绕云、刘会良、伍文峰参与了第六章的编写,海川参与了第二章的编写。另外,汪如军、宋周成、潘文庆、邓兴梁、刘会良、施英、张浩、伍文峰、宋玉斌等专家参加了本书的修订与审核工作,伍文峰、宋玉斌全面负责书稿的修订及稿件整理工作。

在塔中碳酸盐岩油气藏勘探开发的实践与理论的创新过程中,中国石油天然气集团公司副总经理赵政璋在政策和技术方面给予了宏观指导,并得到了中国石油勘探与生产分公司吴奇、王元基、任东、张守良、汤林、谭健等领导 and 专家的指导、帮助与支持;特别是西南油气田公司总经理马新华,从理论的建立与实践,给予了全面的技术指导与把关;塔里木油田公司相关领导提供了极大的帮助与支持,在此一并表示由衷的感谢!同时,也感谢项目攻关实践与理论创新中参与具体工作的同志们所付出的艰辛与努力!

由于笔者水平有限,书中难免有疏漏和不妥之处,恳请读者批评指正。

目 录

第一章 概述	(1)
第一节 引言	(1)
第二节 “筋脉”理论概述	(2)
第二章 “筋脉”理论基本原理	(6)
第一节 碳酸盐岩油气藏高效勘探开发“筋脉”理论的解析	(6)
第二节 “筋脉”理论的勘探开发指导原则	(7)
第三节 “筋脉”理论的油藏认识	(9)
第四节 碳酸盐岩油气藏储量计算方法	(18)
第三章 “筋脉”理论指导勘探开发实践	(23)
第一节 井位论证部署形成标准化工作程序	(23)
第二节 形成水平井钻井过程控制规范	(30)
第三节 “筋脉”理论助推与指导“三带两区”发现	(33)
第四章 “筋脉”理论指导技术应用	(36)
第一节 塔中 I 号气田总体概况	(36)
第二节 油气藏综合地质精细评价技术应用	(38)
第三节 水平井随钻地质导向技术应用	(49)
第四节 深层长延伸水平井钻井技术应用	(55)
第五节 水平井分段改造高效完井技术应用	(88)
第五章 开发技术政策及管理对策	(125)
第一节 开发技术政策	(125)
第二节 管理对策	(137)
第六章 单井实例分析与总结	(150)
第一节 TZ62-6H 井和 TZ62-7H 井喜忧参半	(152)
第二节 TZ26-2H 井和 TZ26-4H 井不无遗憾	(158)
第三节 TZ62-5H 井再利用分析	(164)
第四节 TZ62-11H 井工艺获得突破	(167)
第五节 TZ62-10H 井教训深刻	(170)
第六节 ZG162-1H 井“筋脉”理论实践的典型	(174)
第七节 TZ721-5 井死井变活井	(177)
第八节 TZ721-2H 井单井分析	(181)

第九节	TZ26 - 5H 井有成功有不足	(185)
第十节	TZ62 - H12 井单井分析	(188)
第十一节	TZ623 - H1 和 TZ623 - H2 加密井成功典范	(189)
第十二节	TZ26 - H6、TZ26 - H7 和 TZ26 - H8“弱反射”高效井	(196)
第十三节	TZ26 - H9 井“一层之差满盘皆输”	(205)
第十四节	ZG5 - H2 井中国陆上最深水平井	(209)
第十五节	ZG111 - 1H 井、ZG11 - H3 井和 ZG15 - H6 井单井分析	(212)
第十六节	TZ201 - 1H 井地质成功完井工程失败	(218)
第十七节	ZG441 - 1H 井和 ZG441 - 2H 井一种新类型的突破	(222)
第十八节	ZG157H 井、TZ45 - H1 井和 ZG162 - H2 井小“串珠”大成就	(225)
第十九节	ZG29 井“筋脉”理论把“水井”变油井	(232)
第二十节	ZG262 井断裂破碎带成功的典范	(235)
第七章	“筋脉”理论实现油气藏系统整体效益开发的概率推导	(238)
第一节	直井开发的开采方式	(238)
第二节	水平井分段体积改造的开采方式 1	(240)
第三节	水平井分段体积改造的开采方式 2	(241)
第四节	“推导”说明	(242)
第八章	理论要点、拓展应用与完善	(243)
第一节	“筋脉”理论要点	(243)
第二节	“筋脉”理论应用评价	(244)
第三节	“筋脉”理论发展完善	(248)
后记	(252)

第一节 引言

一、世界碳酸盐岩油气资源现状

1. 世界碳酸盐岩油气储量

碳酸盐岩分布面积占全球沉积岩总面积的 20%，所蕴藏的油气储量约占世界总油气储量的 50.4%（据 HIS 和 C&C 数据库，截至 2009 年底）；世界碳酸盐岩油气探明可采储量为 1434.5×10^8 t 油当量，其中石油探明可采储量 750.1×10^8 t，天然气探明可采储量 684.4×10^8 t 油当量。截至 2009 年，世界共发现碳酸盐岩油气田 320 个，其中油田 211 个，气田 109 个。

2. 世界碳酸盐岩油气产量

世界碳酸盐岩储层的油气产量约占油气总产量的 60%。中东地区石油产量约占全世界产量的 2/3，其中 80% 的原油产自碳酸盐岩。碳酸盐岩油田的产量较高，世界目前已确认的 7 口日产量达到 1×10^4 t 以上的油井都产自碳酸盐岩油气田，而日产量稳产千吨以上的油井，绝大多数也分布在碳酸盐岩油气田中。

二、中国碳酸盐岩油气资源现状

中国有近 300×10^4 km² 的碳酸盐岩分布，约占沉积岩分布面积的 55%，其中在塔里木盆地、四川盆地、鄂尔多斯盆地和华北地区广泛发育，为潜在的碳酸盐岩油气勘探区。中国在碳酸盐岩中累计探明石油地质储量 15.2×10^8 t，探明率为 6.5%，探明天然气地质储量 1.36×10^{12} m³，探明率为 28.65%。

塔里木盆地碳酸盐岩油气资源丰富，在新生界、中生界、古生界均有分布，主力产层为奥陶系。主要的油气田有位于塔北隆起的哈拉哈塘油田（产层奥陶系）、轮古油田（产层奥陶系）、英买力潜山油田（产层寒武—奥陶系），塔中隆起的塔中 I 号气田，巴楚隆起的和田河气田（产层石炭系、奥陶系）、乌山气田（产层奥陶系），西南坳陷的巴什托普油田（产层石炭系）。截至

2012年底,塔里木盆地碳酸盐岩油气藏探明石油地质储量 4.38×10^8 t,占塔里木盆地总探明石油地质储量的53%,天然气 4675×10^8 m³,占塔里木盆地总探明天然气地质储量的33%。塔里木盆地近几年发现的碳酸盐岩油气藏占很大比例,预计今后碳酸盐岩也是主要的勘探目标之一,碳酸盐岩油气藏同时也是塔里木盆地油气产能建设的主力,特别是原油产能建设的主力。2009年,碳酸盐岩油田原油产量只有 70×10^4 t,占当年塔里木油田原油产量的13%;2012年上升到 160×10^4 t,占油田原油产量的28%。

三、碳酸盐岩油气资源勘探、开发技术

目前,国内外碳酸盐岩油气勘探方法有地质综合法、地球物理勘探法、地球化学勘探法、钻井法,采用多学科综合勘探是碳酸盐岩油气勘探的发展方向。

碳酸盐岩油气开发技术主要有多分支井技术、定向射孔技术、压裂酸化技术等。近年来,成像测井和随钻测井技术的发展及扫描系列仪器的问世,推动了碳酸盐岩地层评价技术的进步,改善了碳酸盐岩地层的天然裂缝评价、内部结构研究和含油饱和度评价。

上述方法和技术虽然在碳酸盐岩油气藏的勘探开发中得到有效应用,但要真正实现碳酸盐岩油气藏的高效勘探开发,尚缺乏一套系统的理论方法指导,而“筋脉”理论的提出和发展就是为了指导碳酸盐岩油气藏的高效勘探开发。尤其是近年来开展的对古构造应力场的深入反演研究,对“筋脉”理论体系和方法的应用提供了更加强劲有力的支撑“平台”,这也是应用效果大幅提升的主要原因之一。

目前,我国碳酸盐岩油气勘探、开发的技术水平基本与国外先进水平相当,但勘探开发的效果却并不理想。缺乏将技术集成应用,实现碳酸盐岩油气藏高效勘探、开发的理论和方法。而“筋脉”理论正是在这种情况下诞生的:它是塔里木油田为突破深层碳酸盐岩油气藏效益开发的瓶颈,实现碳酸盐岩油气藏高效勘探开发,在塔中地区深层碳酸盐岩油气藏试验开发重大攻关项目中,广大技术人员通过多年的艰苦探索而创立的一套油气藏地质与工程技术相结合的理论和方法。它成功地指导了塔中碳酸盐岩油气藏高效勘探开发实践。

自2012年初以来,随着“筋脉”理论体系与方法的不断完善和工程技术的不断进步,塔中地区碳酸盐岩油气勘探开发的钻探成功率(探井+开发井)达到了90%以上,其中高产高效井比例(单井稳定日产油气当量大于100t)超过了50%。在高效勘探开发“瓶颈”取得全面突破的同时,勘探新获控制油气面积超过1000km²,探明加控制油气储量当量超过 3×10^8 t,勘探开发的实践成果,充分展示了其理论体系与方法的强大生命力。

第二节 “筋脉”理论概述

随着我国复杂油气藏勘探开发技术攻关的全面展开,碳酸盐岩油气藏规模效益勘探开发正是其中重要的攻关课题之一,尤其是我国西部深层碳酸盐岩油气藏的勘探开发更是世界级难题。

碳酸盐岩油气藏不同于碎屑岩油气藏。虽然其油气藏的形成条件、储盖组合的控制因子大致相同,但是,其储层的成因有别,储集空间的内幕结构更是截然不同,油气开采时的油气渗流方式也不一样(表1-1)。所以,碳酸盐岩油气藏勘探开发不能套用碎屑岩油气藏的老模式,这也是我国西部深层碳酸盐岩油气藏规模高效勘探开发多年来未取得实质性突破的主要原因之一。

表 1-1 碳酸盐岩油气藏与碎屑岩油气藏的差别

类别	碳酸盐岩油气藏	碎屑岩油气藏
油气藏主控因子	生、储、盖、圈闭组合等因子控制,断层分割、遮挡,岩性遮挡	与碳酸盐岩油气藏基本相同
油气储集空间	缝洞为主,孔隙、微小缝次之,主要为次生孔	孔隙为主,微小缝为辅,主要为原生孔
油气藏类型	以块状、潜山隆起复合型为主,断块分割常见,欠完整,空间差异性明显,流体性质不稳定	以背斜或半背斜圈闭成藏为主,断裂分割常见,成藏完整性好,空间差异性小,常有统一的油气水界面,流体性质相对稳定
储层成因	以构造成因的裂缝和风蚀、岩溶作用的洞穴为主,压溶及成岩作用的孔隙为辅	以沉积作用的孔隙为主,构造成因的内幕微小裂缝为辅

碳酸盐岩油气藏的储集空间主要由天然裂缝和借助裂缝通过地表风蚀、水蚀作用,深层岩浆侵入或喷发造成的热液岩溶作用形成的洞、穴,以及压溶和其他成岩作用形成的孔隙(晶间孔、粒间溶蚀孔等)构成。通过对地面溶洞的观察及成因分析,可以得出这样一个结论:没有缝,就没有洞,有洞必有缝。如果把“构造+岩溶”作用形成的空间储集体“人性化”描述,可以这样描绘:缝是“筋脉”,是“精、气、魂”,洞穴是“器官”,是“形、体、肢”,孔隙和微小缝只能算人体的“毛细血管”;针对油气藏的开发,我们只能打井,就好似给人扎针,而一针下去,能通遍全身的只有“筋脉”,任何“器官”恐怕都难当此任。这种“筋脉”对“器官”的主导性原理,我们称之为“筋脉”理论。

这里“筋”乃枢纽与控制之意;“脉”乃导引与导流之意。故而,“筋脉”理论就是充分利用自然形成与人工改造有机结合之共同作用,采取最经济的办法,达到区域控制、实现高效勘探开发碳酸盐岩油气藏之目的系统理论。

“筋脉”理论认为,为了最大限度地提高油气藏开发的效果,就要最大限度地发挥“筋脉”对“器官”和“毛细血管”的控导作用。而无论是“筋脉”、“器官”还是“毛细血管”,都要受到“人体场”(古构造应力场)的控制,就是扎针后的人造“筋脉”(人造裂缝)的植入,仍属当前应力场控制的范畴,所以,扎针(打井)时,不主张直孔(直井)一点扎入,而倡导高角度斜插多条“筋脉”水平(水平井)扎入,并辅以人工改造,植入人造“筋脉”,借助“天然筋脉”和“人造筋脉”的共同作用,充分发挥“筋脉”、“器官”和“毛细血管”的综合效应,从而最大限度地提高单井的产量和控制储量(扎针效果),达到油气藏高效勘探开发的目的,既追求单井效益的最大化,也可有效提高探井发现的成功率。

当今世界,相对论与新能源技术、基因论与生物工程技术、系统论与系统管理方法、信息论与信息技术的兴起,推动了人类社会的大发展。表面看来,“筋脉”理论似乎与它们毫不相关。其实不然,“筋脉”理论正是利用了一个完整的系统中事物都是普遍联系的相关原理,从系统论的认识出发,以油藏大系统为背景,将若干彼此相关的子系统规整为一个整系统,并充分依靠石油工程技术的渗透,尽可能打通各子系统间的关联渠道;同时,利用“基因遗传”学和信息学的原理,强调古构造应力场和当前应力场的研究,去尽量捕捉油气藏“原生态”的信息,从众多杂乱无序的结构展布中,提取一些规律性的特征信号,依此建立一套有效的控制体系,从而实现油气藏整个系统的全面控制开发。可以说“筋脉”理论有效地运用了这些科学方法和

原理,充分结合石油勘探开发相关的专业知识而构建的一套针对碳酸盐岩油气藏如何实现高效勘探开发的理论体系,也是从实践中归纳与总结出的一套理论方法,以下用图 1-1、图 1-2 加以说明。

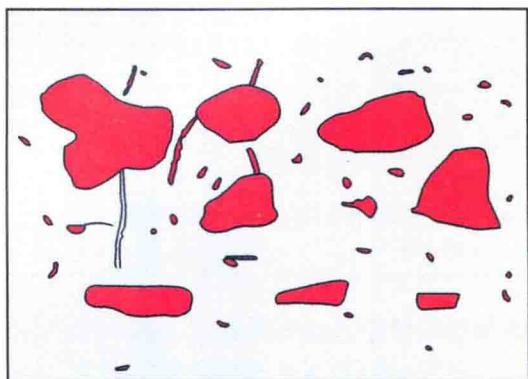


图 1-1 碳酸盐岩储层储集空间原始状态



图 1-2 加入沟通渠道和主线后的碳酸盐岩储层储集空间示意图

假设图 1-1 是油气储层的“原生态”,各缝洞体、孔穴体、微裂缝与孔隙,因沉积压实充填等作用,虽处于一个大系统中,但彼此间的联系却是十分微弱的,分布也十分杂乱,似乎难以梳理;但是,我们一旦人工植入一条主线(图 1-2),并提供一些新的沟通渠道,这些新的渠道与“原生态”下的联系共同作用,似乎就有规律可循了。通过新的沟通系统,在一定的压差导引下,流体向主轴线汇流,就形成了一个统一的控制系统;而如果在整个油藏背景下依据不同的地质结构特点,把油藏切割成若干区域系统,经个性化的科学设计,建立各自的控导开采系统,它们一起就构成了对整个油藏的整体开采系统。也就是从局部杂乱的现象中寻找规律,构建体系,然后汇集构建整体的系统网络体系。这是考虑到碳酸盐岩油气藏储集空间结构差异性十分突出的特点而采取从系统的整体布局→区域的个性化优化设计→整体系统的高效勘探开发的一种循环设计思路。它不同于碎屑岩均质油气藏均匀布井的设计思路,而要充分考虑工程技术应用的地质条件,科学设计每一个单元的控采子系统。所以,“筋脉”理论特别要求对古构造应力场的研究,并与岩溶作用和沉积环境的研究相结合,以强化对油气藏“原生态”的认识。目前,这方面的研究还有待加强。“筋脉”理论强调对事物“原生态”的深入认识,于混乱中寻找规律性,将杂乱无序的状态,通过人工的改造与引导,变成可控而有序的系统,这正是“筋脉”理论的精髓所在。对于勘探而言,利用这一理论方法,可有效提高钻遇天然缝洞系统的成功率,尤其是针对一些以孔、穴为主,内幕天然裂缝欠发育的储层,经分段改造后,更加有效(我们对过去一些直井钻探未获工业油气流的这类储层,经水平井钻探,分段改造后获得较好的效果)。

依据以上认识,“筋脉”理论不强调对单一储集体结构形态的精雕细刻(从技术层面上讲也难以做到这一点),而是将复杂问题简单化,充分注重储层特征规律性的判断与空间系统展布的“精准”预测,从技术层面上讲,也完全能够做到这一点,这就为“筋脉”理论的应用提供了坚实的基础。以往的实践中,人们往往热衷于对单一缝洞体的精雕细刻,而忽略了对系统规律

性的认识,这不利于对事物的整体把握,是“筋脉”理论所不倡导的。这里还有一点需要说明的是,书中之所以采用人体科学的概念词,是因为人体对于每个人来说再熟悉不过了,这样,既形象又使读者易于理解和掌握。

鉴于以上的“筋脉”理论认识,综合多年来塔里木油田针对塔中 I 号坡折带勘探开发一体化项目实践的总结、分析与研究成果,形成理论和方法体系,谨供从事深层碳酸盐岩油气勘探开发的同仁们斟酌与参考,以期通过抛砖引玉,对我国深层碳酸盐岩油气规模高效勘探开发瓶颈问题的攻关有所裨益。

“筋脉”理论基本原理

“筋脉”理论抓住事物的本质,充分强调油气藏的系统性和完整性,同时,将复杂问题以大局的眼光使其简单化和显性化,使人们更易于理解和掌握理论之精要,更加有利于实践与应用。本章从理论解析、勘探开发指导原则、油气藏的储层认识及成藏分类和储量计算等四个部分对“筋脉”理论进行了系统、全面的阐述。

第一节 碳酸盐岩油气藏高效勘探开发“筋脉”理论的解析

任何理论的提出,首先必须充分了解其研究的对象,而“筋脉”理论研究的对象是碳酸盐岩油气藏。碳酸盐岩油气藏最主要的特征表现是非均质性和储集空间排列的杂乱性,而且,每个油气藏的特征都各不相同,就是单一油气藏的內部也是千变万化的,这是较之碎屑岩油气藏最主要的区别和表现形式。虽然,两种油气藏的油气聚集过程及其主控因子大体相同,但其油气藏的形成却大不相同。碎屑岩油气藏主要依靠后期构造运动形成圈闭,并由岩石颗粒支撑形成的孔隙以及后期运动形成的微小裂缝构成储集空间,以原生孔隙为主;碳酸盐岩油气藏则主要依靠先期构造运动加之岩溶、变质和风化淋滤等地质作用形成的孔、洞、穴和裂缝等构成储集空间,以次生孔隙为主,然后,由后期构造运动和沉积覆盖而形成圈闭。也正是通过对两种油气藏特征差异性的分析(表1-1),编制了碳酸盐岩油气藏高效勘探开发“筋脉”理论解析图(图2-1)。

解析图解释如下。

针:即“井”,储层太深,人力难至,只能打孔,似行医扎针。针有铁针、银针、金针,但无论用何种针,针入药到病除,方显神奇,则可视为“神针”。

铁针:可谓“差”,一针下去,虽立竿见影(出油气),但病根难除,即刻复发(油气无影或规模有限),针废(井废),此乃头痛医头,脚痛医脚,实为庸医也!此等医术能不谓差呼?虽然一次投入不高,但实际代价惨痛,真不值,冤!

金针:一针下去,一功多效,可消局部疼痛(不似铁针的只消一点痛),但金针依的是贵金自身功效,乃奢侈品,且虽消局部病痛,但病根不能除(油气规模受限,而且人工改造有限、资源浪费严重),这样的代价太贵!不值!

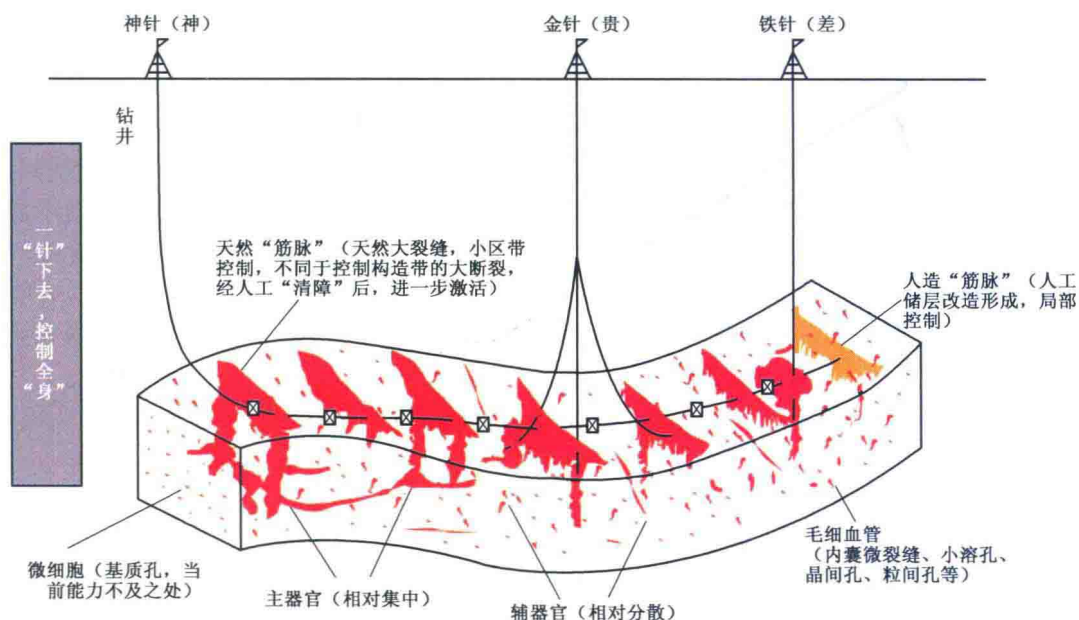


图 2-1 “筋脉”理论解析图

神针：一针下去，通达全身，再经药力辅佐（分段改造），打通自身“筋脉”（天然“筋脉”清障），并与人工植入“筋脉”（人造“筋脉”改造）共同作用，药到病除，一劳永逸（资源充分利用，且达高效开发目的），医术之高，岂不谓神呼！纵有代价，但比金针低得多，值！

通过以上分析，我们提出了高效勘探开发的十六字方针——缝洞串联（人工加天然），点面兼顾，区域控制，系统开发。同时，“筋脉”理论充分强调油气藏地质背景的认识和工程技术应用地质条件的研究，并确定了地质基础研究的方向：通过古构造应力场的研究，反演古构造运动、风蚀作用、岩溶作用、变质作用、热液岩溶作用等，并利用地震资料的反演和精细解释，以及油气藏早期综合地质精细评价，进行深层储层发育区的精准预测、储层区带分类和油气藏类型的准确判断，充分结合钻探资料的分析研究，不断加深对含油气区带构造地质背景的认识；同时综合当前应力场的研究成果，依此制定合理的勘探开发方式和指导水平井勘探开发的优化部署，并通过强化动态测试资料的录取，进行动静结合的综合地质精细评价，科学地制定相适应的勘探开发政策和相关技术对策。

在此需说明的一点是，对于探井而言，以求发现为主，对于一些裂缝十分发育的缝洞带，可个性化地设计直井钻探，而开发井只能在技术受限的情况下，个性化考虑，但无论从地面的观察和地下的钻探结果来看，都只能作为小概率事件的个例。

第二节 “筋脉”理论的勘探开发指导原则

“筋脉”理论在把油气藏作为一个完整的系统进行综合考虑的前提下，制定以下开发指导原则。

一、把诊关键:地下迷宫错综复杂,抓住主题,找准切入点十分关键

油藏地质研究决定把诊问脉的水平,地质学家是油气藏的诊断医师,从“生”管到“死”。“筋脉”理论要求油藏地质应充分注重油气储层的精准预测和静、动态结合的油气藏综合地质精细评价,尤其强调油气藏构造地质背景的深化认识。这里并不强调单一缝洞体的精细刻画,因为它既耗精费神又难以实现,而且意义不大。碳酸盐岩油气藏勘探开发的总体原则不能违背油气藏勘探开发的基本原则,目标不宜针对单一的缝洞体,而应把整个(或预测)含油气区带视为准层状系统进行勘探开发更为合适,即:没有洞,没有所谓“串珠”也能出油气,也能出高产油气。勘探更要强化区域地质背景下的成藏分析和储层识别,针对不同的油气藏和储层类型,合理地确定井位和井型的优化设计。具体分析如下:

(1)在5000m深度,通过综合地质预测把储层预测误差控制在30m以内,是可以实现的,误差率为0.6%,不能说不精准。

(2)深层地质刻画,假设单一洞(缝)高10m,若误差2m(这已经很小了),但相对10m的洞(缝)高,误差率可达20%,加之物探资料误差至少30m以上,其误差率更可达到300%,谈何精细?并且,对于缝洞单元内的充填状况也难以说的清楚,深层缝洞形态的精细刻画更是难于上青天。对于充填的情况,无论探井还是开发井,提高钻探的成功率,水平井是不二的选择。

(3)静、动态结合的综合地质精细评价,不究其缝、洞形态,着眼于其成因条件和区带规模,当十拿九稳,误差率控制在5%以内并非难事,也可谓精细。

二、插针关键:一点插入是“铁针”,多点插入是“金针”,只有高角斜入方可变腐朽为神奇,当为“神针”

一井多效,连片控制,系统开发,才是高效。水平井开发要尽量延长水平井段,最大限度地提高单井控采面积和高产、稳产的物质基础,减少井数的投入;水平井段的方位设计要高角度斜插区带主应力方向。当然,垂直插入是理想状态,但在实际布井时,要兼顾到缝洞发育带,故设计为高角度斜插是比较合理的。这样既可最有效穿插更多的天然“筋脉”,又能有效植入人造“筋脉”,也有利于油气井的智能完井和后期调整开发。而对于勘探而言,不但有效提高发现成功率,同时,还可有效提高单井产量效益,有效转入后期开发利用。

三、医术关键:针入“筋脉”,不伤器官,不污血管,不毁体格,方是高深医术之道

钻井沿洞顶边缘走,只穿洞顶缝,可防漏失,不伤器官;精细控压作业,有效保护储层,不伤血管;合理的井身结构设计和防塌措施可确保井腔安全,不毁体格。当然,实际钻井过程中,因穿越多条天然“筋脉”或由于储层预测精度误差,有时也难免发生漏失,除采用井控措施外,还需要采取一定的堵漏措施。为了油井的高效勘探开发,要严禁使用非酸溶性固体堵剂,工程技术的应用必须服从地质目的的需要。目前,精细控压钻井技术的应用,结合综合地质精细评价技术有效地缓解了这一“医术”的“瓶颈”。

四、用药关键:一针下去,病情了然,体情好转,药力所及,通身舒坦,病体安康

酸化压裂改造既要创造纵深效果,又不得伤害井腔,所以,采用分段酸化压裂改造,变密度、变黏度、变浓度、变排量、变液量,一体化、个性化地优化配置酸化压裂工艺。天然免疫(天

然缝)与人工抗体(人造缝)双管齐下,方可充分确保“药力”效果,经济实用,做到“药到病除”。与此同时,还要有效控制缝高以规避底水的加快侵入,这样既能有效扩大泄油气半径,又可有效延长油气井寿命,也可有效提高最终采收率。

采用生物技术配制的自生酸液体系,如果技术与经济可行,有望进一步改善与提高酸化压裂作业的纵深改造效果。目前,因生物技术配置的自生酸液技术有待完善,拟采用的化学自生酸技术,有效减缓了纵向滤失,一定程度上提高了深度改造效果。

第三节 “筋脉”理论的油藏认识

油气藏的认识不外乎两个方面,即油气藏构造地质背景和油气储集空间内幕结构的认识。我们通过对碳酸盐岩油气藏和碎屑岩油气藏差异性的分析、研究,重新认识与划分了碳酸盐岩储层类型和油气藏类型。

一、储层分类

根据储集空间的特点,从勘探开发的角度出发,依据主控因子,可将碳酸盐岩储层主要分为5类。

1. 缝洞型(图2-2)

以大型裂缝和溶洞为主要储集空间,小孔、小洞和微小裂缝依然存在。钻井过程中普遍有钻具放空或大量钻井液漏失;试井曲线呈视均质型或复合型特征(高渗);开采过程呈两段式,前期高产,大部分不能稳产,后期低压低产,生产压差大,反映微小裂缝、孔穴供液;地震反射剖面特征主要以“串珠状”及“杂乱”反射为主,但有30%左右的情况下为弱反射或空白反射带。属Ⅰ类储层,改造以“清障”扩缝为主。注意:地震反射特征无法区别充填“泥洞”,有10%~20%为非储层;同时,又有一部分无法反映出来,我们称之为“隐形”缝洞体。

2. 缝穴型(图2-3)

裂缝发育,但因溶蚀作用不强所限,未能形成大型和巨型溶洞,主要发育了一些中、小规模溶洞。钻井过程中普遍有钻井液漏失;试井曲线呈复合型特征(高渗);开采过程前期高产稳产,生产压差小,反映主缝洞体供液特征,后期低压低产,生产压差大,反映微小裂缝、孔穴供液;地震剖面偶有“小串珠状”或“杂乱”反射特征,但通过钻探水平井发现,弱反射与空白带也属于此类储层。属Ⅰ、Ⅱ或Ⅲ类储层(隐形缝洞体的存在),利用水平井开发连片控制,仍可获得高产,并相对稳产,酸化压裂以扩缝和改造兼顾。

3. 孔穴型(图2-4)

裂缝欠发育,主要是一些微小裂缝以及一些岩溶、风蚀作用和岩变作用形成的晶间孔、粒间溶蚀小孔、小洞(穴),相对分散,但有相当潜力。钻井过程中无放空漏失或有少量漏失,可能有溢流或钻时加快;试井曲线呈中、低渗复合型特征;开采过程呈长期中、高或低产稳产特征;地震没有异常特征反映。测井解释为Ⅱ、Ⅲ类储层,直井开发效果极差,只有依靠长延伸水平井,才有明显的经济效果,酸化压裂以改造为主,而且必需分段改造(深度体积改造),方见奇效。这类储层,在实际钻探中普遍发育,潜力巨大。

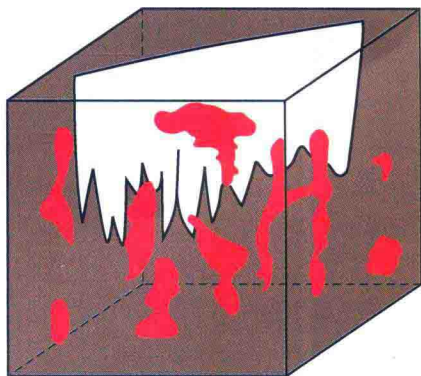


图 2-2 缝洞型储层示意图

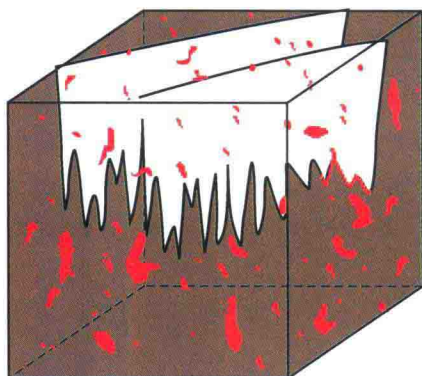


图 2-3 缝穴型储层示意图

4. 基质孔隙型(图 2-5)

以基质微孔隙为主,少有小孔、小洞,综合孔隙度一般在 1% 以下,以目前的工艺与技术水平无法做到经济有效开发。

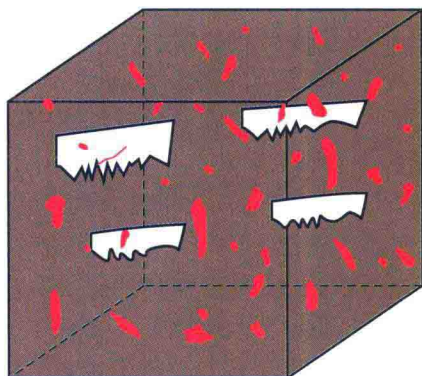


图 2-4 孔穴型储层示意图

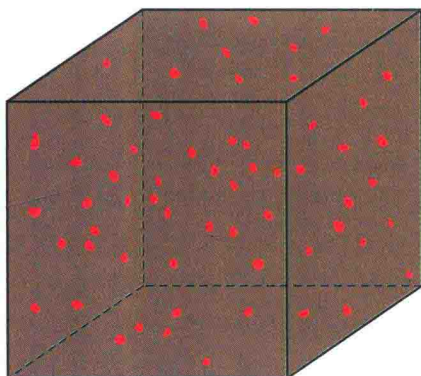


图 2-5 基质孔隙型储层示意图

5. 充填型(图 2-6)

原有缝洞体被泥质或其他物质充填,已没有有效的储集空间。但由于岩性的变化,地震属性图上仍有“串珠”反射特征。但是往往在周边有好储层发育,所以,碳酸盐岩油气藏水平井勘探开发应是不二的选择,直井钻探无论是勘探还是开发,成功率和单井效益都不会好,显然是不可取的。

综上所述,碳酸盐岩储层总体上可划分为 5 类(表 2-1),前 3 类为有效储层,应作为我们开发的主要对象。储集空间主要以次生的孔、穴、洞、缝为主,明显有别于碎屑岩储层。

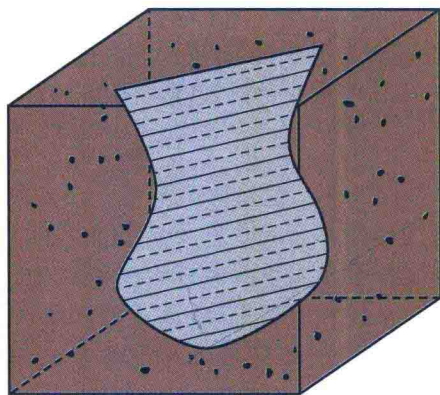


图 2-6 充填型储层示意图