

塔河油田碳酸盐岩 深层稠油油藏开发实践

王世洁 林江 梁尚斌 主编



中國石化出版社

塔河油田碳酸盐岩 深层稠油油藏开发实践

王世洁 林 江 梁尚斌 主编

中国石化出版社

内 容 提 要

塔河油田裂缝溶洞型碳酸盐岩稠油油藏具有埋藏深、储层严重非均质、油水分布规律性差、油质差异大等特点,开采难度很大,国内外尚无可借鉴的成熟经验。本书以中国石化西北分公司塔河采油二厂多年来丰富的深层裂缝溶洞型碳酸盐岩稠油油藏开发实践为基础,从油藏地质、采油工程、油田化学、油气储运、企业管理等方面,较为全面深入地总结了深层缝洞型碳酸盐岩稠油油藏开发的理论、方法和技术。它不仅再现了深层缝洞型碳酸盐岩稠油油藏开发的探索历程,同时也展示了在艰难探索中所取得的丰硕成果。对于从事油田开发特别是碳酸盐岩稠油油藏开发的技术人员,具有有益的借鉴和参考价值。

图书在版编目(CIP)数据

塔河油田碳酸盐岩深层稠油油藏开发实践/王世洁, 林江, 梁尚斌主编.—北京:中国石化出版社, 2005.8
ISBN 7-80164-851-X

I.塔… II.①王…②林…③梁… III.碳酸盐岩油
气田-油田开发-新疆 IV.TE344

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 097475 号

中国石化出版社出版发行

地址:北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编:100011 电话:(010)84271850

读者服务部电话:(010)84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail:press@sinopec.com.cn

北京中石华光文化有限公司排版

河北天普润印刷厂印刷

新华书店北京发行所经销

*

787×1092 毫米 16 开本 18.5 印张 398 千字

2005 年 8 月第 1 版 2005 年 8 月第 1 次印刷

定价:40.00 元

《塔河油田碳酸盐岩深层稠油油藏开发实践》

编写委员会

主任：甘振维

副主任：朱建国 王世洁 余满和

委员：王世洁 余满和 林 江 梁尚斌 涂兴万 赵普春
王平德 张维鑫 李海军 杨延东 毛欠儒 刘成禹
李荣强 王夏田 宋 刚 李兆军 程 宁 杨劲松
邹国君 赵海洋 蒋 勇 李占坤

主 编：王世洁 林 江 梁尚斌

副主编：涂兴万 赵普春 王平德 杨延东 赵海洋 蒋 勇
毛欠儒 蔺海生 程 宁

前 言

塔河油田的发现是塔里木盆地石油勘探史上的重大成果。作为一个整装高产但又非常复杂的大型油田,塔河油田的开发是塔里木盆地石油开发史上的重要篇章,更是西北石油人 10 多年来在塔里木盆地实施滚动勘探开发方针的重大成功。塔河油田碳酸盐岩储集体缝洞分布的随机性很强、油水关系规律性差,油藏碳酸盐岩基质部分基本不含油,油气的有效储集空间均为岩溶缝洞,油藏埋深达 5350~6450m,既有含硫、高蜡的中质油,也有高硫、高蜡的重质油,这是迄今为止国内外少见的一种特殊油气藏类型。它的发现让几代石油工作者付出了无比艰辛的劳动和汗水,它的发现又给石油人带来了无比的喜悦和期盼。

四年来,塔河采油二厂石油人走过了艰难的道路。面对塔河地区复杂的地质条件和恶劣的生存环境,二厂石油人充分发扬“敢为人先、创新不止”的塔河精神,以“锲而不舍、刻苦攻关”的工作态度和主人翁的高度责任感,披荆斩棘、勇往直前,在油田地质、油藏工程、采油工程、油田化学、油气储运、经营管理等领域取得了令人瞩目的成绩。二厂石油人以油藏经营为宗旨、以现代企业管理为手段,实现了超深层严重非均质碳酸盐岩稠油油藏的有效开发,2005 年全厂原油年产量将达到 225 万吨,为西北石油局的发展、为中国石化的西部战略做出了积极贡献。

二厂科技人员四年来完成了近百个油田开发科技项目,多次获得中国石化及局级科技进步奖。为了能对这些年来塔河油田开发工作所取得的成果进行初步总结,我们发动工程技术人员在撰写学术论文的基础上编撰此书,并从事不同方面不同层次选出 50 篇论文,编纂成这本《塔河油田碳酸盐岩深层稠油油藏开发实践》,其中油藏地质 12 篇,采油工程 13 篇,油田化学 7 篇,油气储运 8 篇,企业管理 10 篇。这些论文比较真实地反映了塔河采油二厂的开发历程,它既是作者辛勤劳动的成果,又是集体智慧的结晶。可喜的是在几十位

作者中,35岁以下的年轻科技人员就占了90%。新生力量的崛起,是塔河油田腾飞的希望,是迎接21世纪挑战的主力军,这无疑使人振奋。在这50篇论文中,有水平较高的佳作,也有稍显稚嫩的文章,但这些都是攀登新的科学高峰的阶梯,是攻克新的科技壁垒的武器,同时也可以为同类型的油田开发提供借鉴。本书的作者都曾为塔河油田的发展出力建功,而且还会继续为塔河油田的发展做出贡献。

在创业的过程中,西北石油局其他单位和有关院校的科技工作者与我们共同战斗,同饮塔河水、齐心创辉煌,科技成果中也有他们的心血和汗水。

在编纂过程中,作者们根据本书的统一要求,对原成果进行了认真的修改、浓缩,使其精华显露,更具可读性与实用性。为了本书能顺利出版,编委会做了大量的工作,圆满地完成了任务,在此谨表谢意。由于篇幅和编辑水平有限,有些优秀论文可能遗漏,入选论文中也可能出现错误,为此谨表歉意并敬请读者给予批评指正。

编者

2005年6月

目 录

第一章 油藏地质

1. 塔河油田下奥陶统碳酸盐岩缝洞型油藏测井响应特征研究	(3)
2. 异常超压的成因机理与油气成藏研究	(12)
3. 塔河油田西南部碎屑岩储层测试评价研究	(16)
4. 塔河油田碳酸盐岩油藏首次发现 300m 长的放空井段	(20)
5. 塔河六区奥陶系碳酸盐岩油藏采收率影响因素研究	(24)
6. 塔河油田单井注水吞吐实践与认识	(29)
7. 单井注水吞吐采油在塔河油田六区的应用	(35)
8. 塔河油田碳酸盐岩油藏单井注水吞吐的物质平衡计算	(39)
9. 塔河油田碳酸盐岩油藏挤油开采机理分析	(42)
10. 确定合理采油速度的最优化方法	(48)
11. 抗震 DPT 测压技术在塔河油田稠油油藏的应用	(53)
12. 油井自喷能力的分析方法	(56)

第二章 采油工程

1. 塔里木盆地塔河油田深层稠油采油工艺技术发展现状	(63)
2. 碳酸盐岩油藏深井堵水工艺技术研究与应用	(70)
3. 高能多脉冲压裂技术的研究与应用	(78)
4. 液力反馈串联式抽稠泵在塔河油田深层稠油井的应用	(83)
5. 空心杆泵下掺流体技术与应用	(88)
6. 螺杆泵在塔河六号油田的适应性分析	(91)
7. 射流泵采油工艺技术在塔河油田的研究与应用	(96)
8. 塔河油田四区奥陶系油藏控水稳油措施的探讨	(101)
9. 浅谈塔河油田化学堵水的几点认识及建议	(111)
10. 塔河油田超深稠油井井筒掺稀降粘技术研究及应用	(117)
11. 低泵效稠油井示功图分析	(124)
12. 机械清蜡在塔河油田八区超深轻质油井中的应用	(128)
13. 塔河油田单井流程硫化氢腐蚀与防护工艺研究	(134)

第三章 油田化学

1. 乳化降粘在塔河油田深层稠油中的应用现状(145)
2. ZDT 型乳化降粘剂在超深稠油井的应用前景(151)
3. 化学降粘剂配合机抽掺稀降粘工艺技术在塔河油田 S66 井的应用(156)
4. 塔河油田八区部分油井原油乳化问题探讨(161)
5. 塔河油田重油破乳过程的影响因素分析(165)
6. 油井化学解堵剂 TK0A 的研制与应用(167)
7. 硫化氢的危害及 HCS-II 除硫剂的应用(172)

第四章 油气储运

1. 单井原油产量计量误差分析(183)
2. 天然气计量中存在的问题及对策(188)
3. 临时流程中含 H_2S 原油计量方法探索(191)
4. 联合站原油自动化盘库系统设计(195)
5. 油罐气微压自控回收技术在塔河油田的应用(200)
6. 变频器常见故障及处理(204)
7. 塔河油田生产系统腐蚀现状研究分析(208)
8. 浅谈塔河油田二号联合站阴极保护系统(213)

第五章 企业管理

1. 企业文化与企业竞争力研究(219)
2. 关于国有企业领导班子机制建设的几点思考(231)
3. 努力把企业创建成学习型组织(242)
4. 建立协调、稳定的劳动关系是企业高速发展的基础(246)
5. 加强思想政治工作 促进油田快速发展(250)
6. 对油田安全无伤害事故管理的探讨(254)
7. “要我安全”与“我要安全”
——浅谈企业职工的安全素质和安全教育(260)
8. 塔河油田单井硫化氢防护与评价(264)
9. 科技进步与应用对经济发展的作用(274)
10. 加强内部会计监督是保持良好经济秩序的重要保证(282)
- 主要作者简介(286)

第一章

油藏地质

塔河油田下奥陶统碳酸盐岩 缝洞型油藏测井响应特征研究

卢宇峰 梁 锋 李海燕 杜春晖

摘 要 文章介绍了对塔河油田下奥陶统碳酸盐岩缝洞型储层取岩心井段的研究情况,首先根据洞穴型储层、风化裂隙型储层和构造裂缝型储层的岩石学特征来判断、识别储层类型;其次是根据钻井录井资料,依据各井在不同井段井喷、井涌、井漏、钻时加快等现象来识别储层类型;然后对比研究测井曲线特征,研究不同储层的测井响应特征。

关键词 洞穴型储层 风化裂隙型储层 构造裂缝型储层 测井响应特征

1 前言

塔河油田位于塔里木盆地塔北隆起南坡阿克库勒凸起西南斜坡上,即艾协克-桑塔木地区,面积约 1500km²。塔河油田是中国石化西北分公司的主力油田,其主要含油层位为三叠系、石炭系和奥陶系,以奥陶系为主。塔河油田成为塔里木盆地第一个被证实的地质储量大于 1×10⁹t 的大型油气田,也是中国第一个海相自生自储的大型油田。

阿克库勒凸起是一个以寒武系-奥陶系碳酸盐岩为主体的、长期发育的大型古隆起,经历了多期构造运动。加里东中、晚期-海西早期,受区域上北西-南东向挤压作用,形成向西南倾伏的北东向展布的大型鼻凸。总体表现为南西低,北东高,形成阿克库勒凸起的锥形。经长期抬升暴露风化剥蚀,凸起的大部分地区缺失志留系-泥盆系和中、上奥陶统。下奥陶统也遭受了不同程度的剥蚀。海西晚期,阿克库勒凸起受近南北向挤压作用,使凸起再次抬升剥蚀,形成一系列近东西向展布的褶皱和断裂系统,使海西早期北高南低的构造格局进一步加强,阿克库勒凸起基本定型。喜玛拉雅期受水平挤压作用,致使中生界及其以上地层形成明显的北低南高的北倾单斜构造格局,阿克库勒凸起最终定型。

2 塔河油田下奥陶统碳酸盐岩储层基本特征

2.1 碳酸盐岩岩石学特征

塔河油田下奥陶统碳酸盐岩矿物成分主要为方解石,含量达 99%以上。依据岩石的成分、结构和成因特征,塔河油田六号区块下奥陶统碳酸盐岩可分为微晶灰岩、颗粒灰岩、(含)云灰岩、藻粘结灰岩、岩溶岩等 5 类。

2.2 碳酸盐岩基质孔渗性

碳酸盐岩基质指岩石中除裂缝、洞穴、溶洞以外的基块部分,塔河油田主产层下奥陶统为一套致密碳酸盐岩台地。通常认为,用岩心栓测定的孔隙度和渗透率可近似代表碳酸盐岩基质的孔渗性。

下奥陶统碳酸盐岩基质的孔隙度分布特征为:孔隙度在 0.1%~25% 范围内变化,65.78% 的样品基质孔隙度小于 1%,基质孔隙度平均值为 0.65%。下奥陶统碳酸盐岩基质的渗透率分布特征为:渗透率在 $0.001\sim 0.1\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 范围内变化,69.4% 的样品渗透率小于 $0.1\times 10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。

2.3 储渗空间类型

根据约 10 口井的钻井岩心和 6 口井的铸体薄片观测结果,在前人研究成果的基础上,可以将塔河油田下奥陶统灰岩段储集和生产油气的有效储渗空间划分为孔、洞、缝 3 大类。

(1) 孔:包括粒内溶孔和铸模孔、残余粒间孔、晶间孔,以溶蚀孔洞为主。

(2) 洞:主要指塔河油田下奥陶统发育的大型溶蚀洞穴(直径大于 100mm 的溶洞),此外包括一些中、小型溶洞(直径介于 5~100mm 的溶洞)。

(3) 缝:根据岩心、薄片观察分析,塔河油田下奥陶统碳酸盐岩中的裂缝可划分为构造裂缝、风化裂隙型裂缝和缝合线。

从表 1 可以看出,C7、C6 井取心井段裂缝、孔洞是非常发育的,而 C8 井的裂缝异常发育,在几米的岩心上发育了几百条裂缝;从表 2 可以看出 C42 井、C6 井裂缝的发育状况。

表 1 塔河油田 C6、C7、C8 井下奥陶统碳酸盐岩岩心观察裂缝、孔洞统计

井 号	井段/m	心长/m	裂缝/条	孔洞/个
C6	5461.31~5474.86	13.55	45	5
	5477.51~5481.37	3.86	5	
	5588.55~5593.18	2.5	8	2
	5650.52~5654.00	3.48	11	10
	5665.00~5676.00	3	4	2
C7	5510.00~5513.00	3	13	54
	5513.65~5517.25	3.6		17
	5526.20~5527.34	1.14	13	3
	5527.46~5530.18	2.72	29	25
	5735.00~5740.50	5.5	16	13
C8	5721.32~5727.64	5.4	266	
	5758.21~5772.65	13.1	457	
	5797.92~5805.30	7.4	233	
	5842.76~5849.00	6.2	213	

表 2 塔河油田 C42 井、C6 井岩心上裂缝发育状况统计

井 号	裂缝发育井段/m	裂缝发育特征		
		产 状	裂缝间距/mm	充填状况
C42	5519.98~5523.50	斜交缝	5~8	部分充填
		立 缝	>50	部分充填

续表 2

井 号	裂缝发育井段/m	裂缝发育特征		
		产 状	裂缝间距/mm	充填状况
C6	5670~5673.50	立 缝	20~>50	未充填
	5588.55~5593.18	立 缝	破碎~>50	未充填
		斜交缝	30~50	部分充填
	5477.51~5481.37	斜交缝	50	部分充填
		立 缝	>50	部分充填
	5471.68~5474.86	立 缝	>50	部分充填
		斜交缝	>50	部分充填
	5471~5471.68	斜交缝	>50	部分充填
	5468~5468.45	立 缝	>50	部分充填

可以看出,塔河油田下奥陶统碳酸盐岩裂缝空间是相当发育的,孔洞、裂缝相当丰富,极有利于形成大型油气藏。

2.4 碳酸盐岩储层类型划分

根据塔河油田下奥陶统储渗空间类型,从有利于油气储集、运移的方面划分储层类型,可以把塔河油田下奥陶统储层划分为 3 类。

- (1) 洞穴型储层:储集空间主要为大型洞穴系统(直径大于 100mm 的洞穴),包括一部分溶蚀孔洞(直径介于 5~100mm 的溶蚀孔洞)、风化裂隙、构造裂缝。
- (2) 风化裂隙型储层:储集空间主要为不规则密集发育的网状风化裂隙系统,此外包括一部分溶蚀孔洞、构造裂缝。
- (3) 构造裂缝型储层:储集空间主要为高角度斜交层面或垂直层面的部分充填、未充填构造裂缝系统,此外包括一部分溶蚀孔洞、风化裂隙。

3 塔河油田下奥陶统碳酸盐岩缝洞型储层测井响应特征研究

对塔河油田下奥陶统碳酸盐岩缝洞型储层测井响应特征的研究,首先是以取岩心井段为研究对象,根据洞穴型储层、风化裂隙储层和构造裂缝型储层的岩石学特征,判断、识别储层类型;其次是根据钻井录井资料,查看选定井段在钻井过程中是否有井喷、井涌、井漏、钻时加快等现象,以及这些现象的规模、大小;最后,依据该测井曲线上相应井位的曲线特征,研究这一类储层的测井响应规律。根据这一研究思路,可以认为区内缝洞型储层测井响应特征总体划分为 3 大类。

3.1 洞空型储层测井响应特征

3.1.1 未充填洞穴型储层测井响应特征

C65 井取心井段 5618.5~5632m,岩心上大部分为微晶灰岩,洞穴、孔洞发育。C65 井在钻至 5620.79m 时发生放空、井漏,漏失泥浆 56m³、油田水 1491m³,说明 C65 井 5620.79m 以下存在一个巨大的洞穴。对比 C65 井测井曲线(见图 1)可以发现,深浅双侧向电阻率突然降低,声波时差急剧升高,自然伽马不变。C61 井钻至 5508~5516m 井段时发生井喷、井涌,并有泥浆漏失。对比 C61 井测井曲线(见图 2),发现与 C65 井测井曲线有相同的变化。

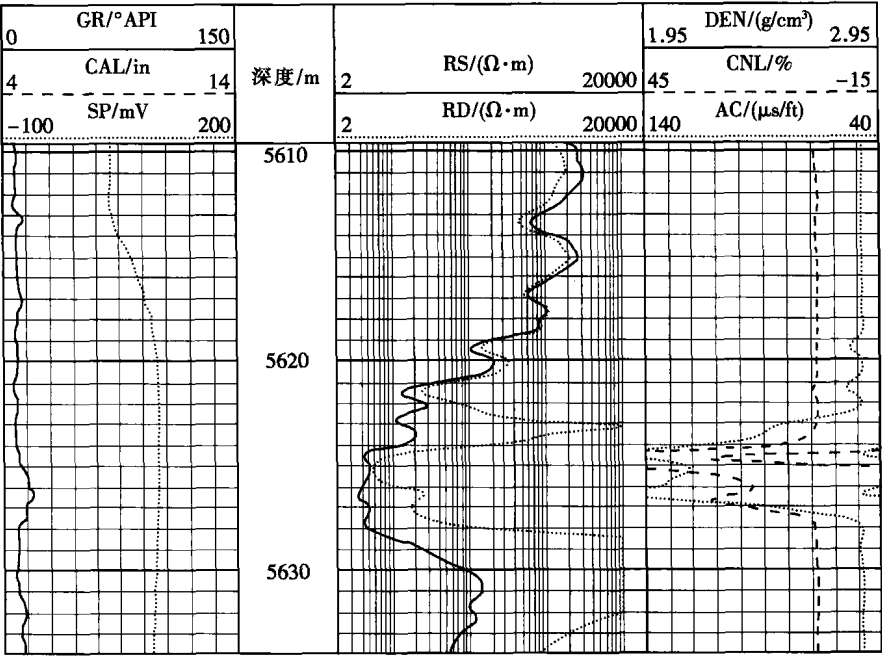


图 1 C65 井未充填洞穴型储层测井曲线

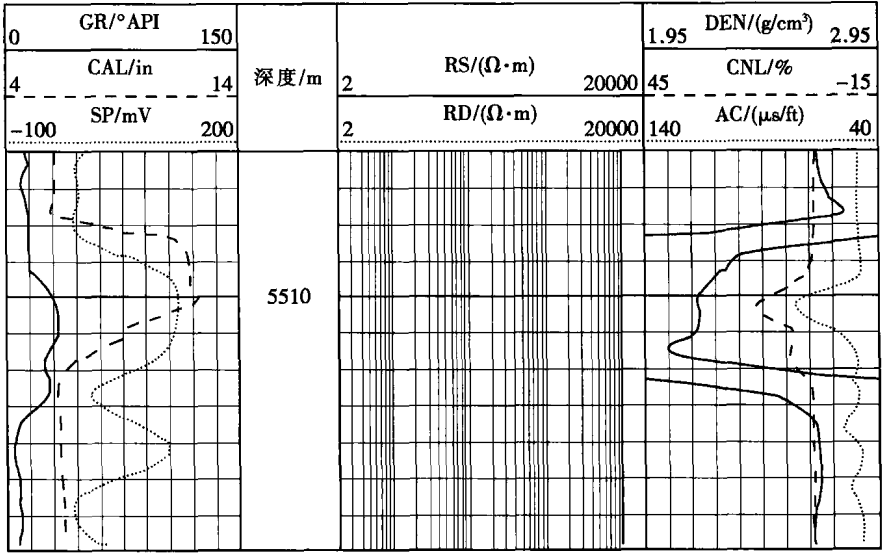


图 2 C61 井未充填洞穴型储层测井曲线

综合 C65 井和 C61 井这两个井段的测井曲线，可以认为未充填洞穴层总的测井响应特征为：低自然伽马(15~25°API)，与灰岩围岩一致；高自然电位；低深浅双侧向电阻率；声波时差明显增大，可增至 60~80μs/ft，有时甚至大于 100μs/ft；高中子孔隙度；密度值异常降低，往往由 2.65g/cm³ 迅速降至 0.8~1.65g/cm³。

3.1.2 部分充填(岩溶垮塌角砾岩、暗河沉积物)洞穴型储层测井响应特征

部分充填岩溶垮塌角砾岩洞穴型储层的岩心上普遍发育风化裂隙角砾岩、岩溶垮塌角

砾岩、钙屑砂岩等岩石,裂缝、孔洞都比较发育。C60 井 5533~5568m 井段(见图 3)、C7 井 5521~5534m 井段岩心上具有以上特征。

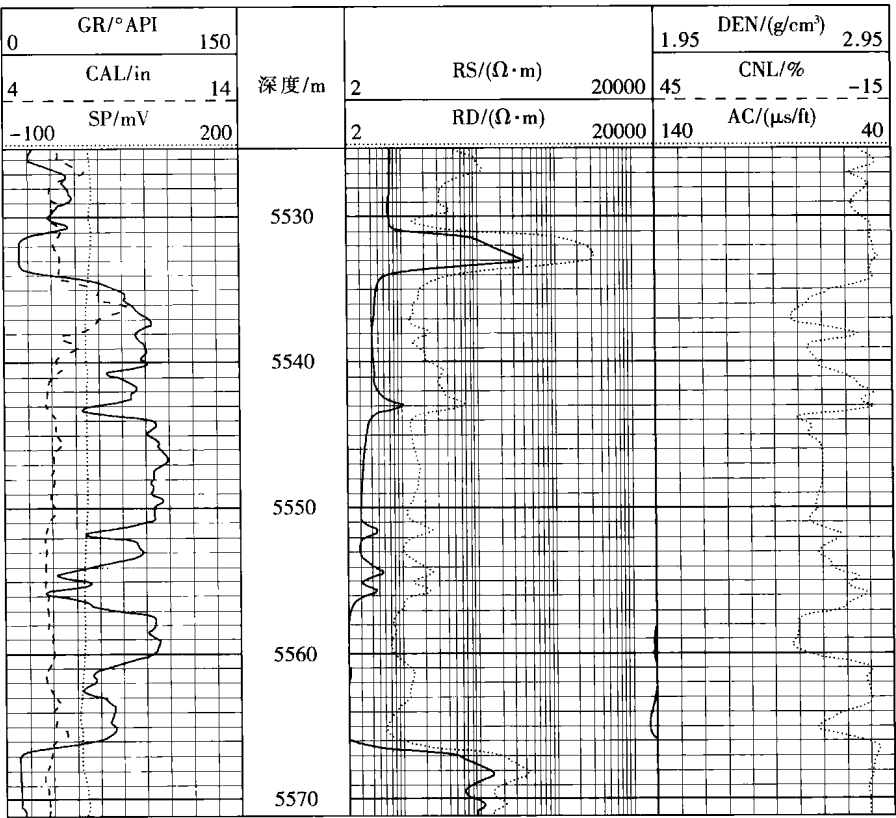


图 3 C60 井角砾充填洞穴型储层测井曲线

对比两口井相应取心井段的测井曲线,可以发现部分充填(岩溶垮塌角砾岩)洞穴型储层测井响应特征为:高自然伽马(85~90°API),低自然电位(4~6mV);低深浅双侧向电阻率,小于 10Ω·m;高声波时差(60~75μs/ft),井径可出现扩大,但扩大幅度相对较小。

综合以上认识,可以认为部分充填洞穴型储层总的测井响应特征为:高自然伽马;低深浅双侧向电阻率,具有正幅度差;高声波时差。在钻井过程中同样可能发生放空、井涌、井喷、井漏等现象,只是这些现象发生的几率与强度比未充填洞穴型储层小得多。

3.1.3 化学沉积物(巨晶方解石)充填洞穴层测井响应特征

地下大型洞穴除了发育岩溶垮塌角砾岩和地下暗河沉积物外,也可以因方解石化学沉淀而充填,因此岩心上一定厚度的巨晶方解石充填体可表示洞穴层的存在,在岩屑录井中则表现为方解石晶屑(晶体)的富集。岩心资料表明,C7 井 5681.57~5687.57m 井段(见图 4)存在巨晶方解石充填体。

此类洞穴型储层的测井响应特征表现为:与围岩测井曲线相比没有明显的区别。此类洞穴层不能仅仅依靠测井曲线来判断、识别,而要结合岩心、钻井、物性资料综合对比来判断、识别。

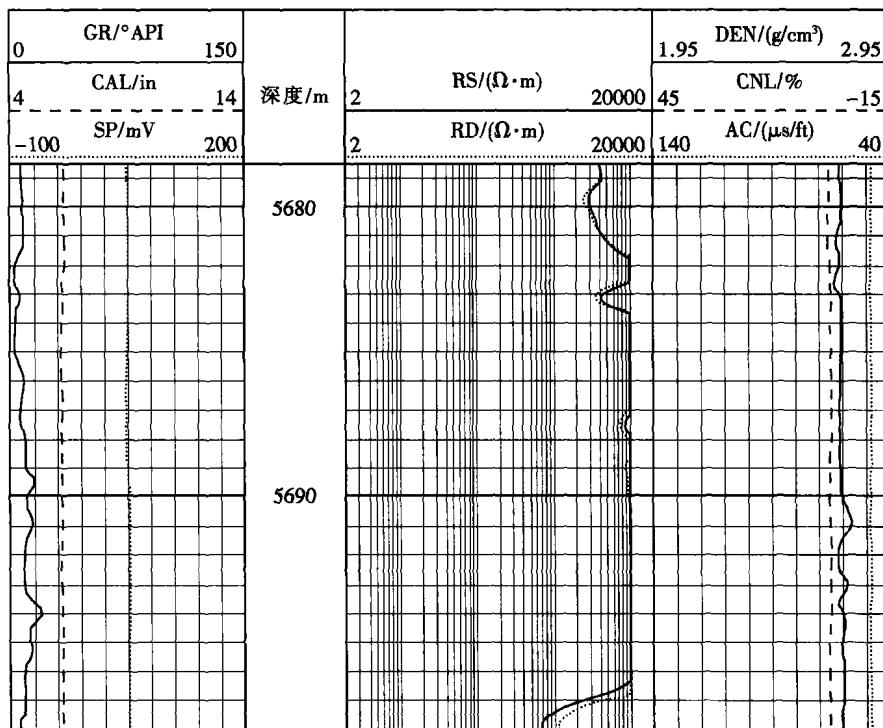


图4 C7井巨晶方解石充填洞穴型储层测井曲线

通过对以上三种洞穴型储层测井响应的研究,可以认为洞穴型储层测井响应特征为:自然伽马高或不变,低深浅双侧向电阻率,高声波时差。

3.2 风化裂隙型储层测井响应特征

塔河油田下奥陶统中发育的风化裂隙包括两类:一种是垂直层面或高角度斜交层面的风化裂隙,另一种是不规则密集发育的网状风化裂隙,其中后者是主要类型,基本上决定了塔河油田下奥陶统风化裂隙型储层的测井响应特征。在C41井5360~5373m、5376~5387m井段及C42井5363.65~5377.75m井段(见图5)岩心上,可识别出不规则密集发育的网状风化裂隙系统。而且C42井钻至5363.65~5377.75m井段时出现泥浆漏失现象。

对比C42井相应井段的测井曲线,可以认为风化裂隙型储层的测井响应特征为:(1)低自然伽马值,与灰岩围岩一致;(2)深浅双侧向电阻率值高,略低于灰岩围岩;(3)声波时差略高于灰岩围岩;(4)密度略低于灰岩围岩。

3.3 构造裂缝型储层测井响应特征

构造裂缝主要指产状为垂直或高角度斜交层面的裂缝,岩心上裂缝平直,延伸远,多数充填方解石;在钻井过程中与洞穴型储层、风化裂隙型储层一样,发生漏失、放空、钻时下降等现象。C42井5510~5536m井段(见图6)具有以上特征,其测井响应特征为:(1)自然伽马值低,与灰岩围岩一致;(2)深浅双侧向电阻率低于灰岩围岩,高于洞穴型储层,有明显的正幅度差(深侧向电阻率明显高于浅侧向电阻率);(3)声波时差略高于灰岩围岩;(4)密度略低于灰岩围岩。

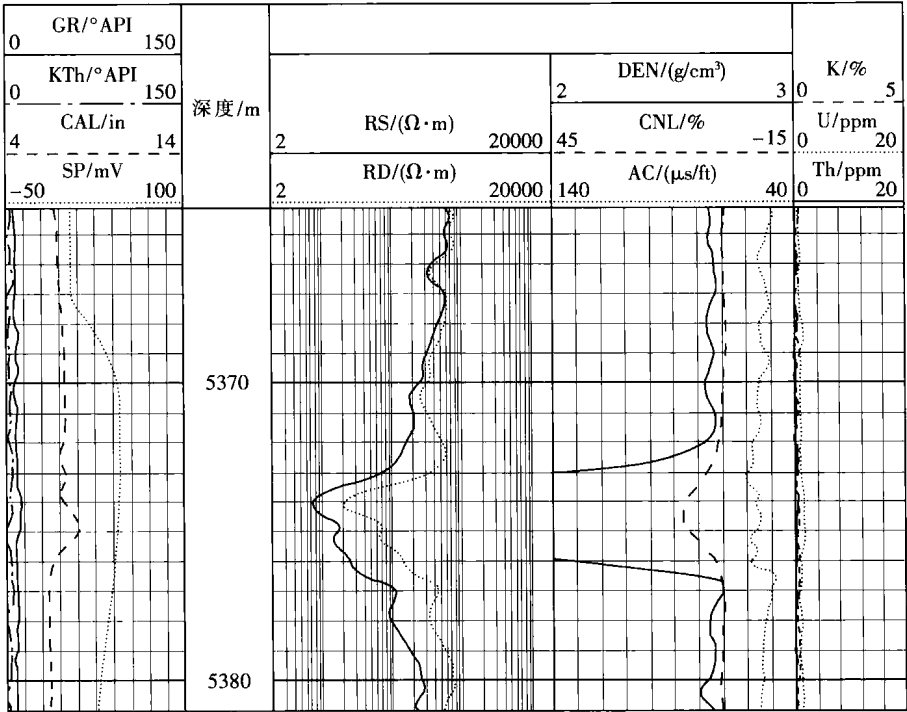


图 5 C42 井风化裂隙型储层测井响应

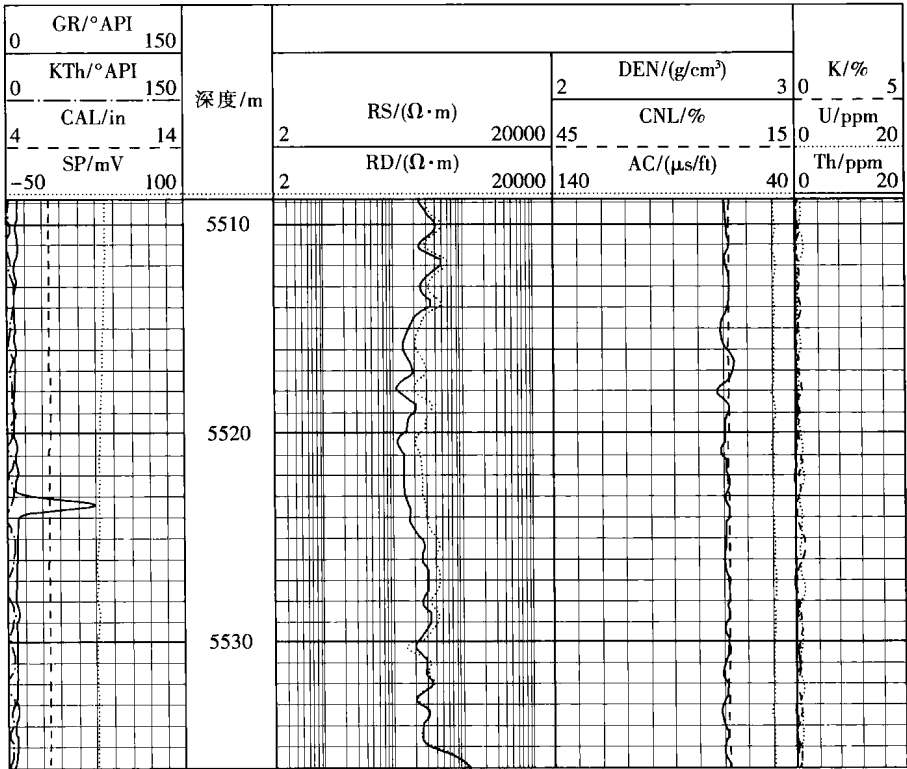


图 6 C42 井构造裂缝型储层测井响应