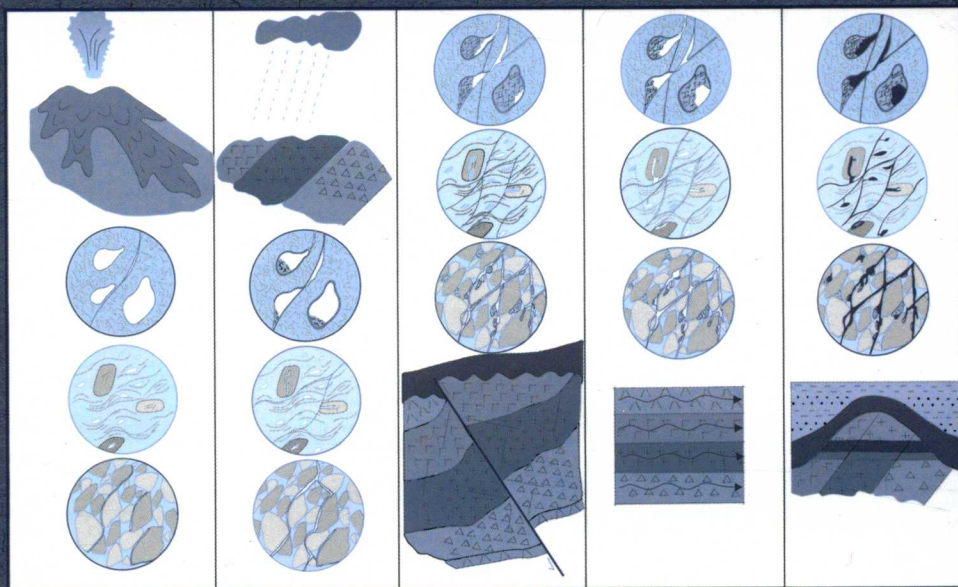


准噶尔盆地陆东地区 石炭系火山岩气藏成藏条件

张顺存 史基安 杜社宽 张生银 孙国强 鲁新川 张兆辉 著



科学出版社

准噶尔盆地陆东地区石炭系 火山岩气藏成藏条件

张顺存 史基安 杜社宽 张生银 著
孙国强 鲁新川 张兆辉

科学出版社

— 北 京 —

内 容 简 介

本书运用地质学、地球化学与地球物理学相结合的研究方法,研究准噶尔盆地陆东地区石炭系火山岩的岩石类型、成岩演化、孔隙类型及结构特征,阐明火山岩储层物性-孔隙演化的阶段过程及影响因素,查明石炭系火山岩喷发相演化序列及展布规律,建立火山岩储集体形成演化-成藏模式,确定陆东地区天然气藏的主要源岩及基本特征,提出石炭系的滴水泉组和巴山组烃源岩有机质沉积环境经历了滨海—残余海—咸水湖泊—淡水沼泽的演化过程,分析火山岩储层断裂-裂隙体系成因机制、发育时序及分布规律,探讨陆东地区石炭系油气藏成藏条件及主控因素。

本书可供从事石油地质和勘探开发的科研人员及高等院校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

准噶尔盆地陆东地区石炭系火山岩气藏成藏条件/张顺存等著. —北京:科学出版社,2018.1

ISBN 978-7-03-055415-4

I. ①准… II. ①张… III. ①准噶尔盆地-火山岩-岩性油气藏-成藏条件 IV. ①P618.130.2

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 279836 号

责任编辑:吴凡洁 冯晓利 / 责任校对:桂伟利

责任印制:肖 兴 / 封面设计:无极书装

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>

北京汇瑞嘉合文化发展有限公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2018 年 1 月第 一 版 开本:787×1092 1/16

2018 年 1 月第一次印刷 印张:14 1/4

字数:321 000

定价:158.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前言

准噶尔盆地位于我国新疆维吾尔自治区北部,东北为阿尔泰山、青格里底山、克拉美丽山,西北为扎伊尔山、哈拉阿拉特山,南部为依林黑比尔根山、博格达山,是我国西部一个长期发展的大型复合叠加含油气盆地。石炭纪是准噶尔地区从活动的盆山体系向较稳定的盆地体系发展过渡的关键时期,构造活动强烈,引发多期次、多火山口的火山活动。在准噶尔盆地石炭系中已发现了滴西、五彩湾、克拉美丽、车排子、三台、北三台等多个油田,勘探实践表明准噶尔盆地石炭系具有广阔的勘探前景。准噶尔盆地陆东地区石炭系火山岩油气藏的勘探始于21世纪初:2004年,DX10井在石炭系玄武岩中发现高产工业油气流;2006年,DX14井在石炭系火山岩中发现工业油气流并于次年提交了控制储量;2007年,在DX18井火山岩、DX17井火山岩中均发现高产油气流并提交了控制储量。这四口探井高产油气流的发现,奠定陆东地区石炭系油气藏的基础,拉开石炭系火山岩勘探的序幕,为准噶尔盆地油气勘探拓展新领域。

目前,准噶尔盆地陆东地区石炭系火山岩的研究主要包括火山岩储层特征及其控制因素、岩性岩相特征、成藏机制、岩石地球化学特征、火山岩发育的构造背景等,也取得了大量的研究成果。“十二五”期间,作者承担了国家科技重大专项课题“深层有效储集体形成、分布规律与预测技术(2011ZX05008-003-40)”的子课题“准噶尔盆地深层火山岩储集体形成演化与分布预测”,对准噶尔盆地陆东地区石炭系火山岩气藏进行了系统研究,取得的主要认识有:①提出研究区石炭系深层火山岩经历了五个演化阶段(形成阶段—风化淋滤—埋藏构造—溶蚀改造—油气聚集),阐明不同类型火山岩储层物性的主控因素,查明石炭系深层火山岩喷发序列及展布规律,建立深层火山岩储集体成岩-成藏模式。基于“旋回一期次—岩相”三级陆相火山岩地层单位,进行陆东地区石炭系富火山岩地层的填充旋回划分,重建火山岩喷发时空序列,并综合研究区火山岩年代学数据及火山岩体井震识别和追踪结果,描述研究区石炭系深层火山岩喷发相分布特征,建立石炭纪火山岩喷发相模式。②阐明石炭系滴水泉组和巴山组烃源岩的有机质类型、丰度及成熟度,确定陆东地区天然气藏的主要源岩为巴山组烃源岩,提出石炭系的滴水泉组和巴山组烃源岩有机质沉积环境经历了滨海—残余海—咸水湖泊—淡水沼泽的演化过程。③阐明火山岩储层断裂-裂隙体系成因机制及发育时序,研发深层火山岩储集体地质-地球物理综合识别技术,提出石炭系火山岩有利储集体及含油圈闭的勘探目标。本书是对该课题研究成果的提炼和总结,同时也借鉴了他人在该区火山岩研究方面的成果。

本书深入研究准噶尔盆地陆东地区石炭系火山岩类型、喷发序列及分布规律,建立火山岩储集体形成演化-成藏模式,确定天然气藏的烃源岩特征及形成演化条件,探讨火山岩储层断裂-裂隙体系成因机制,分析研究区石炭系油气成藏条件及主控因素。研究成果

对准噶尔盆地火山岩油气勘探具有重要的指导作用。本书的出版不仅会对准噶尔盆地(特别是陆东地区)石炭系火山岩的油气勘探产生积极影响,而且对丰富我国火山岩储层及石油地质学理论也有积极作用。

本书编写过程中得到中国石油新疆油田分公司勘探开发研究院及中国科学院地质与地球物理研究所兰州油气资源研究中心相关领导和专家的指导、支持和帮助;中国石油新疆油田分公司实验检测研究院及中国科学院油气资源研究重点实验室(甘肃省油气资源研究重点实验室)相关实验分析人员为本书的实验分析做了大量的工作,相关科研人员也对本书的编写给予了大量的帮助,在此一并表示诚挚的感谢。书中不当之处,敬请读者批评指正。

作 者

2017年3月

目录

前言

第一章 绪论	1
第一节 陆东地区石炭系区域地质概况	3
第二节 陆东地区石炭系火山岩油气藏勘探历程及研究现状	7
一、油气分布与勘探历程	7
二、研究现状	9
第二章 石炭系火山岩岩石学及地球化学特征	11
第一节 石炭系火山岩岩石学特征	11
一、玄武岩	11
二、安山岩	13
三、流纹岩	15
四、凝灰岩	17
五、火山角砾岩	18
第二节 石炭系火山岩元素地球化学特征	22
第三节 石炭系火山岩锆石年龄及成因分析	29
第三章 石炭系火山岩空间展布规律	34
第一节 火山岩测井岩性识别图版的建立	34
第二节 陆东地区石炭系重点钻井单井相分析	40
一、火山岩相的划分	40
二、火山岩单井相分析	41
第三节 陆东地区石炭系空间展布规律	47
一、火山岩剖面分布特征	47
二、火山岩平面分布特征	57
第四节 火山岩喷发序列及喷发相模式	58
一、火山喷发旋回及空间对比	58
二、火山喷发相模式的建立	61
第四章 火山岩储层物性特征、成岩过程及演化模式	67
第一节 火山岩储层物性特征	67
一、滴西地区火山岩物性特征	67
二、五彩湾地区火山岩物性特征	72
三、火山岩储集空间特征	77

第二节 火山岩储层成岩作用特征	82
一、火山岩形成阶段	82
二、风化淋滤阶段	83
三、埋藏构造阶段	84
四、溶蚀改造阶段	87
五、油气聚集阶段	90
第三节 火山岩储层成岩演化过程及演化模式	91
第五章 火山岩裂缝发育特征及分布规律	101
第一节 区域构造背景	101
一、区域构造特征	101
二、研究区构造特征	102
第二节 裂缝的评价方法	107
一、裂缝电成像识别	107
二、裂缝电成像评价	111
三、利用斯通利波信息判别裂缝的有效性	114
四、斯通利波信息对裂缝的响应	116
五、斯通利波的非裂缝响应特征	117
六、利用双侧向判别裂缝有效性评价	119
第三节 裂缝与岩性关系	121
一、岩性特征	121
二、裂缝与岩性关系	123
三、裂缝与岩性厚度关系	132
第四节 断裂与裂缝空间展布特征	134
一、断裂及裂缝的走向受构造应力场控制	134
二、天然裂缝往往与断裂伴生,受断裂规模 and 活动强度控制	137
三、断裂开启与有效裂缝关系	137
四、裂缝纵向发育特征	139
第六章 石炭系烃源岩地球化学特征	151
第一节 石炭系地层对比及烃源岩分布	151
一、烃源岩沉积地层分布	151
二、烃源岩分布特征	153
第二节 石炭系烃源岩有机地球化学特征及源岩评价	153
一、有机地球化学特征	153
二、烃源岩评价	171
第三节 石炭系烃源岩发育环境及气源分析	177
一、石炭系烃源岩沉积环境	177
二、石炭系天然气来源	177

第七章 火山岩气藏成藏条件及成藏规律·····	182
第一节 石炭系火山岩气藏成藏条件·····	182
一、火山岩气藏的储层物性 ·····	182
二、火山岩风化壳储层 ·····	184
三、区域内断裂发育 ·····	186
四、上覆二叠系盖层 ·····	189
五、凹陷内残余烃源岩 ·····	192
第二节 石炭系火山岩气藏成藏规律·····	195
一、典型油气藏特征 ·····	195
二、火山岩气藏成藏规律 ·····	209
参考文献·····	213

表 1.1 准噶尔盆地地层层序及构造演化阶段表

界	系	统	西北缘			东北缘			接触关系	演化阶段	构造运动								
			群、组	代号	地震波组	组	代号	地震波组											
新生界	第四系			Q	TQ ₁		Q	TE ₁ TK ₄	不整合	类前陆型 陆相盆地	喜马拉雅山 运动Ⅱ 喜马拉雅山 运动Ⅰ 燕山运动Ⅲ								
	新近系			N			N												
	古近系			E		TN ₁ TE ₁						E							
中生界	白垩系	上统	艾里克湖组	K _{2a}	TK ₂	东沟组	K _{2d}	TK ₃ TK ₂ TK ₁	不整合	振 荡 型 陆 内 拗 陷 型 盆 地	燕山运动Ⅱ								
		下统	吐谷鲁群	K _{1tg}		连木沁组	K _{1l}												
						胜金口组	K _{1s}												
						呼图壁河组	K _{1h}												
						清水河组	K _{1q}												
		侏罗系	上统	齐古组		J _{3q}	TK ₁ TJ ₄ TJ ₃ TJ ₂					齐古组	J _{3q}	TJ ₄ TJ ₃ TJ ₂ TJ ₁	不整合	燕山运动Ⅰ			
	中统		头屯河组	J _{2t}	头屯河组	J _{2t}													
			西山窑组	J _{2x}	西山窑组	J _{2x}													
	下统		三工河组	J _{1s}	三工河组	J _{1s}													
			八道湾组	J _{1b}	上八道湾组	J _{1b} ^b													
	下八道湾组				J _{1b} ^a														
	三叠系	上统	白碱滩组	T _{3b}	TJ ₁ TT ₃ TT ₂ TT ₁	郝家沟组	T _{3h}	TT ₂ TT ₁			不整合	印支运动							
		中统	上克拉玛依组	T _{2k₂}		克拉玛依组	T _{2k}						烧房沟组	T _{1s}					
															下克拉玛依组	T _{2k₁}	韭菜园子组	T _{1j}	
																			梧桐沟组
		古生界	二叠系	上统		上乌尔禾组	P _{3w}						TP ₅ TP ₄ TP ₃ TP ₂ TP ₁	平地泉组	P _{2p}	TP ₁₋₁ TP ₁	不整合	前陆盆地	晚海西Ⅴ 晚海西Ⅳ 晚海西Ⅲ 晚海西Ⅱ 晚海西Ⅰ
				中统		下乌尔禾组	P _{2w}							将军庙组	P _{2j}				
	夏子街组				P _{2x}														
下统	风城组			P _{1f}	金沟组	P _{1jg}													
	佳木河组			P _{1j}															
石炭系	上统			太勒古拉组	C _{2t}		石钱滩组	C _{2s}		不整合	前陆型海 相盆地	中海西运动							
			上八塔玛依 内山组				C _{2b^b}												
			下八塔玛依 内山组				C _{2b^a}												
	下统		包谷图组	C _{1b}	滴水泉组		C _{1d}												
					希贝库拉斯组		C _{1x}				塔木岗组		C _{1t}						

再生前陆盆地阶段。何登发等(2004)提出准噶尔盆地经历了晚石炭世—中三叠世前陆盆地阶段、晚三叠世—中侏罗世早期弱伸展拗陷盆地阶段、中侏罗世晚期—白垩纪压扭盆地阶段与新生代前陆盆地阶段的演化历史。鲁兵等(2008)认为准噶尔盆地形成于中石炭世末—下二叠世,为裂陷阶段,早二叠世末—三叠纪末为裂、拗过渡阶段,侏罗纪—新近纪渐新世末期为拗陷发育阶段。隋风贵(2015)认为盆地西北缘自早二叠世—三叠纪主要是挤压逆冲推覆构造的发育阶段,三叠纪前构造活动强烈,三叠纪之后构造趋于稳定。

总体上,准噶尔盆地构造格局雏形形成于晚古生代,盆地从晚古生代—中生代构造演化经历了三个阶段:①晚海西期前陆盆地发育阶段(晚石炭世—二叠纪);②振荡型内陆拗陷盆地发育阶段(三叠纪—白垩纪);③类前陆型陆相盆地发育阶段(古近纪—第四纪),多期构造运动造成的性质各异的盆地叠合形成大型复合叠加盆地(表 1.1)。

第一节 陆东地区石炭系区域地质概况

本书研究区是陆东地区,位于准噶尔盆地东部(图 1.2),该区主要由滴南凸起、滴北凸起、五彩湾凹陷、滴水泉凹陷、东道海子凹陷及莫北凸起部分、白家海凸起部分组成。本书的研究范围主要包括滴西地区及五彩湾地区,并以前者为主(野外样品采自白碱沟、帐篷沟、火福公路)(图 1.3),涉及层位为石炭系。滴西地区位于陆梁隆起的滴南凸起,东邻滴北凸起,西连石西凸起,南临东道海子凹陷,北接滴水泉凹陷,区域构造位置非常有利。滴西地区石炭系克拉美丽气田主要由四个气藏组成:滴西 17 井区气藏、滴西 14 井区气藏、滴西 18 井区气藏和滴西 10 井区气藏(图 1.4),五彩湾地区主要是五彩湾气田(秦志军等,2016)。

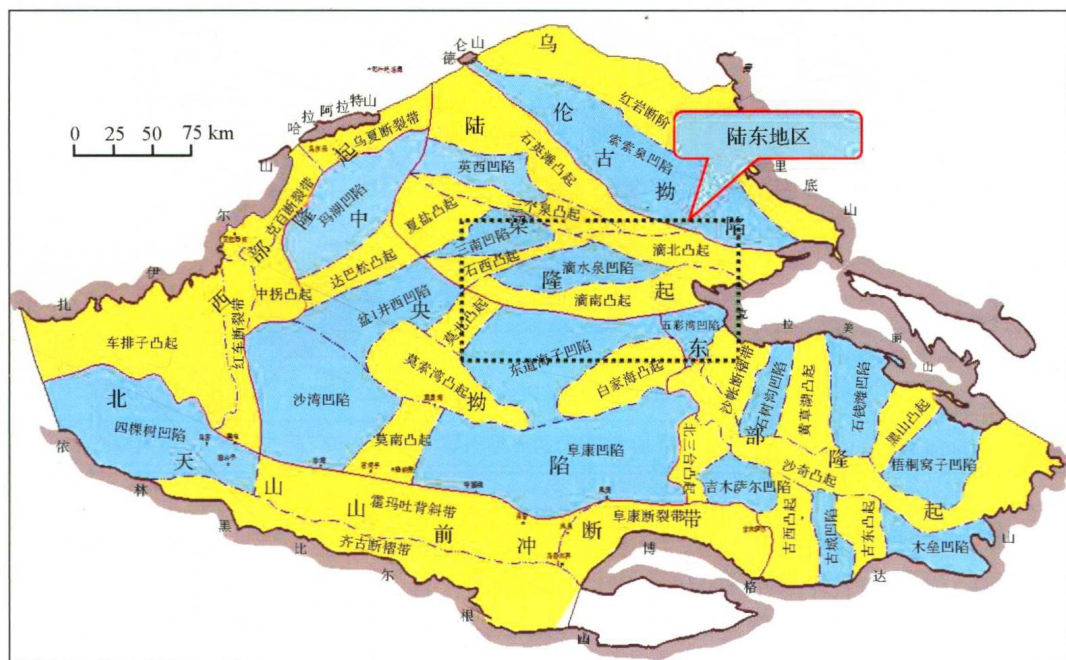


图 1.2 陆东地区在准噶尔盆地中的位置图



图 1.3 陆东地区范围图



图 1.4 滴西气田四个气藏的位置

滴南凸起形成于石炭纪末期,至早一中二叠世一直处于剥蚀夷平阶段,缺失中一下二叠统。由于受克拉美丽山隆升的影响,凸起呈东高西低背景。在滴西地区残留上二叠统上乌尔禾组,厚度为 100m 左右。三叠纪滴西地区接受了较广泛的沉积,晚三叠世、印支末期的构造运动使全区有所抬升并遭受剥蚀,陆南凸起受到一定的挤压、压扭应力场作

用,产生明显的冲断、褶皱活动,导致滴西构造带的产生。侏罗纪,湖盆扩大,该区沉积了一套河流相、三角洲和湖相地层,侏罗纪中晚期,燕山构造运动在该区表现得十分强烈,产生强烈的挤压上升作用,滴西构造带也于此时基本成型,侏罗纪早中期,由于构造运动使该区再次隆升遭受剥蚀,滴西地区缺失侏罗系上统及部分中统,并在侏罗系发育许多正断层和断块。白垩纪,构造运动相对变缓,但对早期形成的圈闭和油藏仍有一定的影响,一些正断层断至吐谷鲁群下部。白垩系向北超覆沉积于侏罗系的夷平面之上。喜马拉雅期区域性南倾使一些圈闭构造幅度减小甚至失去圈闭条件(张立伟等,2010)。

陆东地区自上而下钻揭的地层有白垩系吐谷鲁群(K_1tg),侏罗系头屯河组(J_2t)、西山窑组(J_2x)、三工河组(J_1s)、八道湾组(J_1b),三叠系白碱滩组(T_3b)、克拉玛依组(T_2k)、百口泉组(T_1b),二叠系上乌尔禾组(P_3w)和石炭系(C)。各地层岩相、岩性、地层厚度和接触关系如表 1.2 所示。该区石炭系地层从下到上依次划分为南明水组(C_1n)、滴水泉组(C_1d)、松喀尔苏组(C_1s)、巴塔玛依内山组(C_2b)(以下简称巴山组)、双井子组(C_2s),其中滴水泉组和上覆巴山组之间、双井子组和上覆地层之间都以角度不整合接触。滴西地区探井钻遇的石炭系火山岩主要是巴山组火山岩(钻揭双井子组的探井很少,可能大多数被剥蚀,钻遇滴水泉组的探井也很少)。

表 1.2 陆东地区地层简表

层位		层位 代号	厚度 /m	岩性岩相简述
系	组			
白垩系	吐谷鲁群	K_1tg	800~1700	上白垩统主要为灰色砂砾岩、粉砂岩、褐灰色含砾泥质粉砂岩、泥质粉砂岩夹灰褐色泥岩、粉砂质泥岩;下白垩统主要为灰色、灰褐色粉砂岩、细砂岩与棕色、褐色、灰色泥岩不等厚互层
侏罗系	头屯河组	J_1t	0~150	上部为棕红色泥岩和紫褐色砂质泥岩,下部为褐色灰绿色泥岩、灰色细砂岩、中砂岩交互沉积
	西山窑组	J_2x	0~180	灰绿色细砂岩、砂质泥岩和粉砂岩,中、下部含有煤层,其底部为砂岩
	三工河组	J_1s	150~250	上部为稳定的巨厚灰色、深灰色、灰绿色泥岩;中部为灰色、灰绿色细砂岩、砂质泥岩及粉砂岩;下部为灰绿色、灰色中细砂岩、泥质砂岩与灰色泥岩互层
	八道湾组	J_1b	250~350	中上部为灰色、灰绿色砂质泥岩、细砂岩和泥质砂岩,存在厚度不等的煤层;下部为杂色含砾砂岩和砾岩及薄煤层
三叠系	白碱滩组	T_3b	0~200	厚层状灰色、深灰色泥岩
	克拉玛依组	T_2k	0~150	灰色、绿灰色、杂色砂岩、砂砾岩与棕色泥岩不等厚互层
	百口泉组	T_1b	0~100	棕色砂质泥岩、泥质小砾岩、砂质小砾岩及砂砾岩
二叠系	上乌尔禾组	P_3w	0~200	灰色、褐色泥岩、砂质泥岩与灰色细砂岩、含砾细砂岩、砂砾岩、细砾岩互层,以底砾岩与下部地层分界。岩性自上而下由细变粗,颜色由红变灰
石炭系		C		以安山岩、英安岩、流纹岩、凝灰岩和火山角砾岩为主

陆东地区(特别是滴西地区)火山岩地层可分为上火山岩系和下火山岩系两套,两套火山岩厚度变化较大,在区域上分布不均。上火山岩系主要包括二叠系上茆茆槽子组、下茆茆槽子组,上石炭统双井子组、巴山组,火山岩主要分布于巴山组下亚组,其次在二叠系上茆茆槽子组和下茆茆槽子组也有分布。烃源岩主要发育于巴山组上亚组,岩性以凝灰质泥岩和暗色泥岩为主。在下火山岩系主要由松喀尔苏组、滴水泉组、南明水组和泥盆系组成,烃源岩主要发育于滴水泉组,岩性主要为凝灰质粉砂岩、凝灰质泥岩和暗色泥岩,其他层系主要为爆发相火山岩或火山碎屑岩及溢流相火山岩(表 1.3)。

表 1.3 陆东地区石炭系地层表

岩系	旋回	亚旋回	地层单位		岩相及岩石类型
上火山岩系	Ⅳ	Ⅳ ₃	二叠系上茆茆槽子组		喷发沉积相:泥、砂岩夹火山岩
		Ⅳ ₂			河湖沉积相:砂砾岩,泥灰岩
		Ⅳ ₁	二叠系下茆茆槽子组		陆相喷爆溢相:熔结角砾岩,火山岩
			双井子组	上亚组	滨浅海相碎屑岩、火山碎屑岩及碳酸盐
	Ⅲ	Ⅲ ₂	(C ₂ s)	下亚组	陆相碎屑沉积:砂、砂砾岩及泥岩
		Ⅲ ₁	巴山组 (C ₂ b)	上亚组(C ₂ b ²)	陆相碎屑沉积:砂砾岩及泥岩
				下亚组(C ₂ b ¹)	(C ₂ b ₁ ³)陆相溢流相:酸性熔岩及其火山碎屑岩
					(C ₂ b ₁ ²)陆相溢流相:中性熔岩及其火山碎屑岩
					(C ₂ b ₁ ¹)陆相溢流相:基性喷出岩为主
下火山岩系	Ⅱ	Ⅱ ₃	松喀尔苏组 (C ₁ s)	上亚组(C ₁ s ^b)	碎屑沉积相:凝灰质砾岩、粗砂岩夹砂岩、砾岩
				下亚组(C ₁ s ^a)	喷爆溢相:安山岩、流纹岩,火山碎屑岩及碎屑岩
			滴水泉组(C ₁ d)		碎屑沉积相:凝灰质砂、粉砂岩、泥岩
			南明水组 (C ₁ n)	上亚组(C ₁ n ^b)	沉积喷发相:火山碎屑岩、碎屑岩
				下亚组(C ₁ n ^a)	沉积相:浅变质岩、粉砂岩及浅成侵入岩
		Ⅱ _{1—3}	泥盆系(D)		晚期沉积喷出相:火山碎屑岩、火山熔岩、砂砾岩
		Ⅱ ₃			中期为爆发碎屑岩相:角砾岩、凝灰岩、硅质岩 早期为喷发沉积相:砂岩、粉砂岩夹灰岩、凝灰岩

前已述及,石炭系可以分为上、下两个统,根据古生物和岩性组合可厘定该区石炭地层年代,结合对取心井段火山岩的薄片鉴定、全井段测井分析,基本可查明陆东地区石炭系岩性序列及岩性特征。通过对滴西地区和五彩湾地区石炭系钻井岩性及测井分析,表明该区上石炭统以火山岩为主,岩性主要为玄武岩、安山岩、流纹岩、火山角砾岩和凝灰岩等,厚度大于 1400m。下石炭统由火山岩与沉积岩共同组成,主要发育的岩性以凝灰岩、凝灰质砂泥岩、暗色泥岩为主,夹有玄武岩、安山岩、火山角砾岩,厚度大于 600m。

陆东的滴西地区和五彩湾地区天然气藏(克拉美丽气田)主要分布于上石炭统巴山组,该组火山岩厚度及岩性变化非常大,总体来看,该组火山岩可分为上、下两个序列。

上序列以 DX5 井为代表,厚度一般小于 300m,主要为中基性火山岩,以玄武岩、玄武质安山岩、安山岩、安山质火山角砾岩和凝灰岩等为主。基性岩主要是玄武岩,分布在五

彩湾凹陷东北部 DN3 井附近,含量超过 70%,在白家海凸起北部和五彩湾凹陷东部地区有少许分布。岩石多为灰黑色,粗玄结构,气孔-杏仁构造;斑晶主要为基性斜长石和辉石,基质为微晶斜长石。斑晶绿泥石化、碳酸盐化现象普遍。中性岩类,包括安山岩和蚀变安山岩,主要分布在五彩湾凹陷东部彩 25 井—彩 29 井区周缘、滴南凸起南部 DN1 井及东南部滴 3 井区,另外在滴南凸起中部、西北部和东北部有少许分布。斑晶主要为中性斜长石和角闪石,中性斜长石具有明显的正环带或韵律环带,绿泥石化普遍;基质由微晶斜长石和玻璃质组成。爆发相安山质火山角砾岩分布较零散,主要集中在滴南凸起西部 DX3 井、五彩湾凹陷东部 C30 井和白家海凸起北部彩 34 井—彩参 2 井区周缘地区,在滴南凸起西北部仅有零星分布。安山质火山角砾岩多为绿灰色,火山角砾结构,无层理,主要为安山质岩屑,含少量晶屑和玻屑。凝灰岩主要为安山质凝灰岩和玻屑凝灰岩,分布范围广阔,主要集中在滴南凸起西部滴西 4 井—滴西 8 井周缘、东部滴 12 井—滴 4 井周缘、东北部 D8 井及白家海凸起北部彩 31 井—彩参 2 井周缘地区,在滴南凸起南部和五彩湾凹陷东部发育相对较少,其中安山质凝灰岩多为浅紫红灰色,凝灰结构,假流纹构造,主要为褐红色鸡骨状、弓状等玻屑及斜长石晶屑,含少量岩屑,与岩屑凝灰岩不同的是,斜长石含量较多;玻屑凝灰岩多为紫红灰色,凝灰结构,假流纹构造,主要为玻屑,含少量斜长石晶屑。

下序列以酸性火山岩夹沉积岩为特点,主要岩性为流纹岩、英安岩。主要分布在滴南凸起中部滴西 10 井区,含量达到 60% 以上,在滴南凸起南部和五彩湾凹陷东部发育较少。其中英安岩多为浅紫红色,霏细结构,块状、流纹构造;斑晶主要为酸性斜长石或钾长石、石英和菱铁矿,基质由斜长石和玻璃质组成。长石多发育钠长石双晶,无环带,碳酸盐化普遍,往往与石英组成长英质。流纹岩多为灰色,霏细结构,明显流纹构造。斑晶主要为石英、钾长石或斜长石和菱铁矿,基质由斜长石微晶和玻璃质组成。

陆东地区晚石炭世火山活动相对较强,形成了一套上石炭统巴山组火山岩,厚度较大,分布较广,较为发育,中部夹大套泥岩及薄层粉砂岩,局部含煤,其中泥岩、煤和沉凝灰岩为较好的生油岩。晚期主要发育中基性火山熔岩(玄武岩、安山岩、玄武质安山岩等)和火山角砾岩,可作为较好的储层。

上石炭统巴山组火山岩主要分布在五彩湾凹陷、滴西凹陷及滴南凸起广大区域,少量位于白家海凸起北部。区域内已钻遇火山岩厚度分布不均,在东部五彩湾凹陷较厚,彩参 1 井区钻遇的火山岩厚度达到 1151m,其次为中部滴南 1 井区,厚度达到 600m 以上,西部、南部和北部厚度较薄,厚度一般为 100~350m。火山岩厚度主要与当时的古地貌相关,与构造断裂关系不大,凹陷中部厚度大,凸起之上厚度相对较薄。

第二节 陆东地区石炭系火山岩油气藏 勘探历程及研究现状

一、油气分布与勘探历程

陆东地区石炭系火山岩油气藏的勘探开发在 21 世纪初取得了巨大的进展。2004 年,准噶尔盆地东部陆梁隆起 DX10 井石炭系第一层 3070~3084m,针阀试产,日产油

3.69t, 气 120780m^3 ; 石炭系第二层 3024~3038m、3042~3048m, 日产油 5.29t, 日产气 314400m^3 , 开辟了准噶尔盆地天然气勘探的新领域, 打开了陆东地区石炭系火山岩油气勘探新局面。2006 年 10 月 2 日, DX14 井射开石炭系 3652~3674m 井段, 经测试压裂日产油 12.8m^3 , 日产气 $15.79 \times 10^4\text{m}^3$ 。DX14 井是陆东地区继 DX10 井之后的又一新突破, 进一步证实陆东地区下组合二叠系—石炭系天然气勘探潜力巨大。2007 年滴南凸起部署了 D401 井、D402 井, 其中 D401 井石炭系显示活跃, 测井解释气层 3 层 45.5m, 在第三层 3859~3870m 针阀自喷控制试产, 日产油 0.890m^3 , 日产气 $3.09 \times 10^4\text{m}^3$ 。滴西 14 井区块石炭系气藏为受构造—火山岩岩性控制的层状凝析气藏, 储层岩性为火山碎屑岩, 气藏平均孔隙度为 17%, 为裂缝、孔隙双重介质的储层。滴西 14 井区块控制含气面积为 21.8km^2 , 控制天然气地质储量为 $565.96 \times 10^8\text{m}^3$ 。

2007 年 5 月对滴南凸起 DX18 井石炭系 3510.0~3530.0m 井段实施压裂, 日产气 $24.9 \times 10^4\text{m}^3$, 日产油 35.4m^3 。为了评价该气藏, 部署评价井 DX181 井、DX182 井, 其中 DX182 井气测显示活跃, 初步解释气层 4 层 42m, 差气层 2 层 29.8m。滴西 18 井区石炭系气藏类型为受构造—岩性控制的厚层状凝析气藏, 气藏天然驱动类型为弹性驱动, 储层岩性主要为花岗斑岩, 气藏平均孔隙度为 7.0%, 为裂缝、孔隙双重介质的储层。滴西 18 井区可控制含气面积为 12.4km^2 , 控制天然气地质储量为 $175.81 \times 10^8\text{m}^3$ 。同年 6 月对 DX17 井石炭系井段 3633.0~3642.0m 针阀控制第五制度试产, 日产油 25.83m^3 , 日产气 $26.22 \times 10^4\text{m}^3$ 。评价井 DX171 井石炭系 3670.0~3690.0m 井段针阀控制第四制度试产, 日产油 1.63m^3 , 日产气 $16.54 \times 10^4\text{m}^3$ 。滴西 17 井区石炭系气藏类型为受构造—岩性控制的层状凝析气藏, 受火山岩岩性控制的层状气藏, 储层岩性主要为玄武岩及玄武质角砾岩, 气藏平均孔隙度为 16%, 为裂缝、孔隙双重介质的储层。滴西 17 井区石炭系气藏含气面积为 15.8km^2 , 控制天然气地质储量为 $111.56 \times 10^8\text{m}^3$ 。

2006~2008 年相继在 DX14 井、DX17 井、DX18 井、DX24 井等井获得天然气发现, 表明该区石炭系具有良好的油气勘探前景, 展示了百里气区的天然气大场面, 标志为克拉美丽大气田发现, 克拉美丽气田申报石炭系凝析气探明储量为 $1074.19 \times 10^8\text{m}^3$, 其中天然气探明储量为 $1058.04 \times 10^8\text{m}^3$, 可采储量为 $629.76 \times 10^8\text{m}^3$; 凝析油探明储量为 $885.88 \times 10^4\text{t}$, 可采储量为 $264.83 \times 10^4\text{t}$ 。克拉美丽气田的发现拉开了石炭系火山岩勘探的序幕, 为准噶尔盆地油气勘探开拓了新领域。同时, 准噶尔盆地石炭系火山岩勘探研究也为新疆北部石炭系火山岩油气勘探全面展开奠定了良好的基础。

2011 年, 克拉美丽气田东西两端 DX176 井、DX33 井产气获得突破, 南部 KM1 井, 钻遇大套火山岩, 克拉美丽山前石炭系油气勘探领域得到扩展。2011 年 10 月 16 日对 DX33 井 3518~3526m 井段石炭系下序列角砾凝灰岩试油, 天然气日产量为 $4 \times 10^4\text{m}^3/\text{d}$, 油日产量为 $6\text{t}/\text{d}$, 含气面积为 20.6km^2 , 预测储量 $380 \times 10^8\text{m}^3$ 。对 DX176 井石炭系上序列玄武岩体 3640~3648m 试油, 天然气产量为 $9.51 \times 10^4\text{m}^3/\text{d}$, 油产量为 $5.6\text{t}/\text{d}$; 对下序列流纹岩体 3794~3812m 试油, 获气 $5.16 \times 10^4\text{m}^3/\text{d}$, 油 $2.67\text{t}/\text{d}$, 圈定含气面积 15.8km^2 。DX176 井为内幕的天然气藏, 其储层岩性为酸性流纹岩, 物性好, 其成藏的关键因素是发育有效沉积岩盖层, 上、下序列两套火山岩之间存在厚度为 30m 的沉积岩段,

泥岩隔层使上、下两套油气层各自成藏。DX33井也为石炭系内幕油气藏,储层为层状角砾凝灰岩,在层状沉积岩上、下均发育酸性火山岩体,表明具备同样的成藏模式。DX33井在石炭系下序列角砾凝灰岩获得油气层,表明在克拉美丽石炭系发现了新成藏组合,展现天然气新领域,向东拓展了克拉美丽气田。同时,DX33井、DX176进一步实践了克拉美丽气田“穿衣戴帽”成藏模式,为该区石炭系油气勘探指明了有利勘探方向。

二、研究现状

前人对陆东地区石炭系火山岩及其气藏特征进行了诸多研究。包括滴西地区火山岩储层特征及主控因素(王仁冲等,2008;胡鹏,2011;林向洋等,2011;康静,2012;赵宁和石强,2012;张生银等,2013;王洛等,2014;张生银,2014)、岩性岩相特征(石新朴等,2013;张勇等,2013)、成藏机制(王东良等,2008;杨辉等,2009;何登发等,2010b;达江等,2010;邹才能等,2011;张勇等,2013;柳双权等,2014;史基安等,2015)、岩石地球化学(苏玉平等,2010;史基安等,2012;王富明等,2013)、构造背景(赵霞等,2008;吴小奇等,2009;李涤等,2012;史基安等,2012;王富明等,2013;张顺存等,2015)等方面的研究。由于该区构造背景复杂多样,导致火山岩岩性复杂、火山岩及火山岩气藏特征复杂,因而前人的研究成果往往存在一些差异。如关于构造背景的研究,史基安等(2012)通过对白碱沟、帐篷沟野外样品的 U-Pb 年龄研究,认为帐篷沟流纹岩(约 336Ma)形成于火山弧或受到了部分岛弧物质混染的环境中,是早石炭世板块俯冲的结果,白碱沟流纹岩(323~315Ma)的形成和演化提供了准噶尔地区后碰撞幔源岩浆底侵作用导致大陆地壳垂向生长过程的信息,白碱沟正长斑岩(317~312Ma)为大陆环境,表明塔里木板块和西伯利亚南面克拉通合并于这个时期。王富明等(2013)通过对滴水泉一带早石炭世火山岩野外样品的 U-Pb 年龄 $[(338.3\text{Ma} \pm 5.2\text{Ma}) \sim (336.6\text{Ma} \pm 3.7\text{Ma})]$ 及地球化学特征研究认为,火山岩形成于板内环境,为后碰撞岩浆活动的产物,暗示准噶尔盆地东缘地区后碰撞岩浆活动至少从早石炭世就已经开始。李涤等(2012)通过 DX17 井巴山组玄武岩的岩石学、地球化学研究,认为该玄武岩为遭受到弧组分混染的后碰撞伸展环境下的产物。赵霞等(2008)通过对陆东-五彩湾地区中、基性岩心样品的岩石学及地球化学分析,认为该区晚石炭世火山岩可能为弧火山岩浆在造山后期伸展裂陷环境中的火山作用产物,这与晚古生代碰撞造山之后发生的区域性伸展作用相关,成盆动力学为造山期后伸展背景,应为陆内裂谷环境。吴小奇等(2009)通过对陆东-五彩湾地区巴山组四口钻井岩心样品的地球化学特征研究,认为该火山岩具有后碰撞期岩浆的特征,其形成环境不是岛弧,而是形成于后碰撞期,其所携带的弧岩浆特征继承自碰撞前的弧组分。这套火山岩形成于后碰撞期伸展背景下,是软流圈物质上涌并发生部分熔融,形成的岩浆在上升和侵位的过程中受到了晚石炭世之前弧组分混染的产物。再如关于天然气特征及其来源的研究,李林等(2013a)通过油-气-源综合对比,认为滴南凸起天然气主要来源于东海道子凹陷,表现出石炭系烃源岩和二叠系烃源岩多期混合特征,但主要为石炭系高-过成熟阶段产物。前人对准噶尔盆地东部石炭系、侏罗系和白垩系等多个层位天然气进行成因和成藏过程的基础研究,天然气以湿气为主, $\delta^{13}\text{C}_1$ 均值为 -32.12‰ ,且具有“早期聚集、晚期保存”的成藏特点,其中燕山期是该