

文章编号: 1000-0550(2009) 06-1138-09

鄂尔多斯盆地延长组凝灰岩夹层展布特征及其地质意义^①

邱欣卫 刘池洋 李元昊 毛光周 王建强

(大陆动力学国家重点实验室 西北大学含油气盆地研究所 西安 710069)

摘要 鄂尔多斯盆地延长组凝灰岩夹层分布广泛,通过众多凝灰岩夹层的实际岩心观察,归纳总结出凝灰岩夹层的常规测井曲线表现为具有相对低电位、高自然伽马、高电阻率、高声波时差值的特征,并且高值常略低于致密泥岩段;单井分析凝灰岩夹层与上、下部岩石整合接触,较少发育同沉积构造,以典型的火山尘灰大气降落沉积产物为主,但也偶见凝灰岩与砂泥岩一起发育扰动构造,明显经受了水动力改造;连井剖面分析说明延长组长 1—长 9 皆有凝灰岩分布,横向上可对比性凝灰岩主要有 4 套,分别为长 9₁、长 7₃底、长 7₂、长 7₁期,以盆地西南部长 7₃期最发育;凝灰岩平面展布特征整体呈北西向展布,由南西—北东向凝灰岩厚度逐渐变薄,并且与烃源岩、放射性异常展布形态一致,因此认为凝灰岩的沉积作用所引起的元素迁移和古环境变化,可能对延长组优质烃源岩的发育具有重要意义。

关键词 鄂尔多斯盆地 延长组 凝灰岩夹层 展布特征 地质意义

第一作者简介 邱欣卫 男 1982 年出生 博士研究生 沉积盆地分析与能源地质 E-mail qxweil@126.com

中图分类号 P588.21 **文献标识码** A

0 引言

凝灰岩是指火山喷发产生的火山灰(粒径 < 2 mm)在空中通过风力搬运,风力逐渐减弱而降落形成的具有凝灰或尘屑结构的岩石,由岩屑、晶屑和玻屑组成^[1]。火山灰层由于其空间分布的广泛性和可对比性,常常被用于地层划分的标志层^[2~5]。随着各种定年技术的飞跃发展,火山灰层的精确年龄成为确定关键地质事件发生的重要依据^[6~8],同时也是探讨大地构造环境和古气候环境的重要指标,近年来,引起了国内外学者的广泛关注^[9~15]。

鄂尔多斯盆地延长组凝灰岩夹层测井曲线独特,因此人们以往关注的多,而深入研究的少,过去仅把这些夹层作为地层划分对比的标志层,未对其纵横向展布规律和分布特征进行研究。由于研究区凝灰岩与烃源岩常互层产出,因此深入研究凝灰岩的展布特征,为探讨其形成机制及其在烃源岩演化中所起的作用,具有重要的理论和实践意义。

另外,通过大量测井资料调查和实际岩心伽马值测定,发现鄂尔多斯盆地延长组烃源岩中存在明显的放射性异常现象,测井伽马曲线表现为异常正高值,层间可对比性强,深入研究发现,这种异常主要是由

放射性铀元素引起的^[16],但是铀源问题尚不明晰。自然界各种共存现象总是息息相关,深入调查发现,与富铀烃源岩共存有多套凝灰岩夹层,凝灰岩与火山活动有关,具有火成岩的性质,通常铀元素含量相对较高,是否为上述放射性异常的铀源值得进一步研究,因此,凝灰岩的展布特征可能为揭示盆地内中深部放射性异常的原因提供合理解释。

1 区域地质背景

鄂尔多斯盆地为我国大型的中生代沉积盆地,盆地内石油、天然气、煤及铀矿等多种能源矿产共存富集,是我国当前重要的能源基地,也是研究有机—无机相互作用,探索多种能源矿产共存耦合规律的天然实验室^[17,18]。上三叠统延长组历来是该区油气勘探的重点层段之一,发育多套有利的生储盖组合配置。延长组内不同层位发育有多层单层厚度不等的凝灰岩夹层(表 1),由于其测井特征的独特性和沉积的短时性,可以把其作为地层划分对比的优质标志层。

论文通过大量钻井的实际岩心观察和测井资料调查,总结了凝灰岩夹层的测井曲线特征,分析了其单井、连井和平面上凝灰岩夹层的展布特征,并初步探讨了凝灰岩夹层与长 7 烃源岩和放射性异常的关

^①国家重点基础研究发展计划(973)项目(编号:2003CB214600),国家自然科学基金(重大研究计划)重点项目(批准号:90814005),教育部长江学者和创新团队发展计划项目(JRT0559)资助。

收稿日期:2008-11-30 收修日期:2009-01-19

表 1 鄂尔多斯盆地延长组地层划分及凝灰岩发育情况

Table 1 Strata compartmentalization and tuff distribution of Yanchang Formation in Ordos Basin

系	统	组	段	油组	小层	凝灰岩发育情况				
						描述	典型井号	深度 /m	累计厚度 /m	
三 叠 系	延 长 组	五段 T _{3j} ⁵	长 1	-	长 1 底深灰色泥质凝灰岩	元 83	1440.10	1.3		
				2 ₁	长 2 顶深灰色泥质凝灰岩	元 83	1445.73	0.6		
			四段 T _{3j} ⁴	长 2	2 ₂					
					2 ₃					
					3 ₁	灰黄色凝灰岩、泥质凝灰岩	镇 36	1831.10	0.3	
		长 3	3 ₂							
			3 ₃							
		长 4+5	4+5 ₁	黄褐色凝灰岩、粉砂质凝灰岩	池 29	2512.10	0.15			
			4+5 ₂							
		三 叠 系	延 长 组	三段 T _{3j} ³	长 6	6 ₁	-	-	-	-
						6 ₂	深灰色凝灰岩、泥质凝灰岩	ZJ54	1741.40	0.6
						6 ₃	深灰色泥质凝灰岩	固 6	1628.50	0.4
						7 ₁	灰白色粉砂质凝灰岩	庄 9	1552.74	0.5
						长 7	7 ₂	灰黑色泥岩夹黄绿色凝灰岩	正 11	961.50
				7 ₃	灰褐色、褐色凝灰岩		正 8	1288.30	0.6	
长 8	8 ₁			深灰色泥质凝灰岩	峰 3	2253.55	0.8			
	8 ₂			-	-	-	-			
二段 T _{3j} ²	长 9				灰绿色凝灰岩、泥质凝灰岩	峰 4	2324.50	0.2		
一段 T _{3j} ¹	长 10	-	-	-	-	-				

系,这些为进一步分析凝灰岩的成因机制及其在烃源岩发育过程中所取的作用提供了可借鉴的证据。

2 凝灰岩夹层测井曲线特征

数字测井曲线深度采点间隔通常为 0.125 m,常规测井有自然伽马、自然电位、声波时差、电阻率等。鄂尔多斯盆地延长组凝灰岩夹层单层多数小于 0.125 m,测井曲线反映不明显,只有大于 0.125 m 厚的凝灰岩测井曲线才有意义,但是有些井凝灰岩夹层数繁多,累计厚度 30 cm~3 m 内沉积多于百层,因此,纵向上较薄层内发育多层凝灰岩的井,其累计厚度所对应的测井曲线特征,也能基本代表凝灰岩夹层的特征,所以测井异常特征解释厚度应为含凝灰岩密集层段厚度,而不是凝灰岩的真实厚度。

通过油田岩心库凝灰岩样品实际观察记录,使岩心取样深度对应测井图,分别选择有代表性并且在长 6—长 9 段发现凝灰岩的井,分析凝灰岩夹层的测井曲线特征,从图 1 可以看出,除固 6 井长 6 段凝灰岩测井曲线特征与上下砂泥岩没有明显异常(可能说明固 6 井凝灰岩与砂岩发生过混染作用,整体表现为砂岩测井曲线特征)外,其它各段凝灰岩测井曲线特征都与上下砂泥岩明显不同,总体表现为相对低电位、高自然伽马、高电阻率、高声波时差值。造成这种

异常的原因可能是火山灰降落后常与泥岩等混染而形成凝灰质泥岩(或泥质凝灰岩),使其性质多具泥岩特征;并且凝灰岩通常与致密性泥岩(炭质泥岩)互层,而泥岩对放射性元素有较强的吸附能力,表现为自然伽马值较高。同时凝灰岩整体蚀变严重,其产物粘土矿物也具有一定的吸附能力,最终使凝灰岩夹层反映的测井曲线特征具有相对低电位、高自然伽马、高电阻率、高声波时差值的特征,并且高值常略低于致密泥岩段。

3 凝灰岩夹层单井与连井剖面特征

3.1 单井分析

通过作者多次现场观察岩心,盆地内有 30 多口钻井不同层段已发现有凝灰岩夹层,岩心中凝灰岩夹层颜色多样、鲜艳,以深灰色、灰黄色、灰褐色、灰色为主,少量为浅绿色,长 1—长 9 均有分布,单层厚度 3 mm~40 cm,累计厚度 30 cm~3 m,尤以盆地西南部长 7 段最发育,层数多,厚度相对较大,由于凝灰岩的沉积与砂、泥岩沉积作用同时进行,因此夹层的主体岩性表现为凝灰质砂、泥岩,或砂、泥质凝灰岩,纯凝灰岩较少。凝灰岩夹层单层尽管厚度不大,但是分布广,岩性特征明显,电测曲线独特,易于识别,可以作为区域性地层对比的可靠标志。

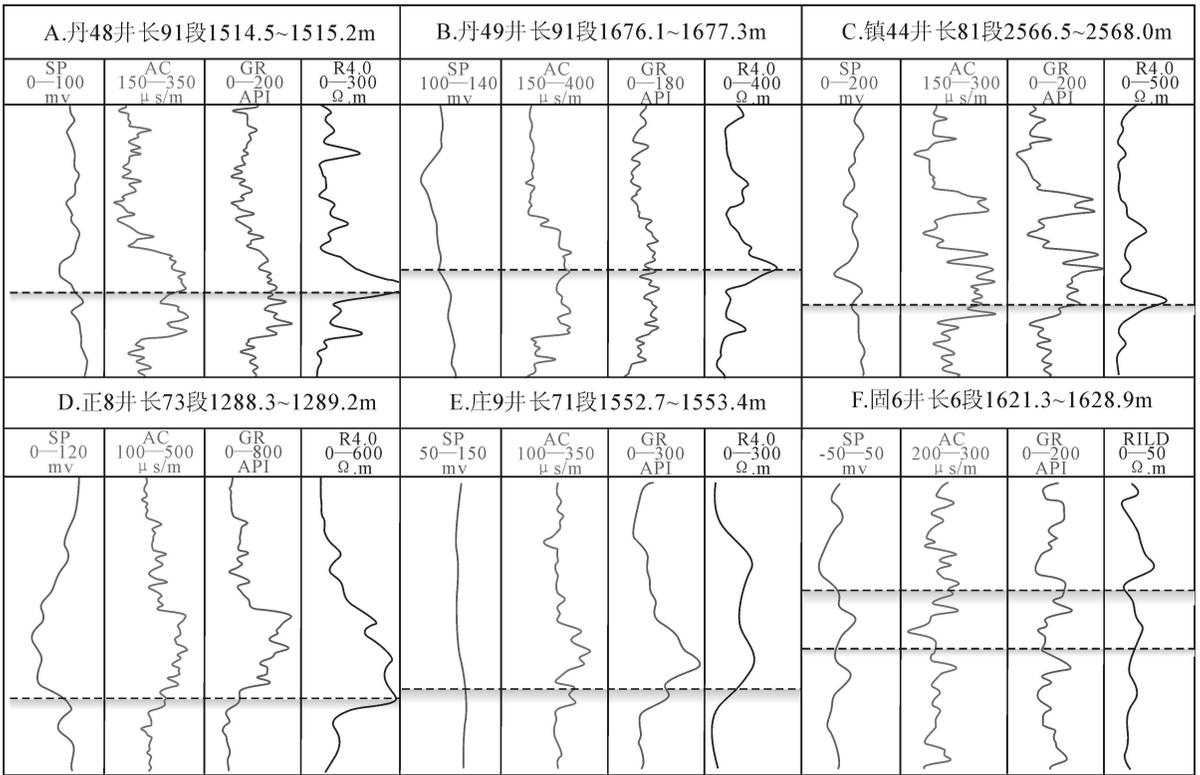


图 1 延长组凝灰岩夹层测井曲线特征

Fig 1 Well-logging characteristics of tuff interlayer in Yanchang Formation

在研究区,凝灰岩夹层的产出从下到上既有“泥岩—凝灰岩—泥岩—砂岩—凝灰岩—泥岩—凝灰岩”组合(图 2),也有较单一的“泥岩—凝灰岩—泥岩—凝灰岩”或“砂岩—凝灰岩—砂岩—凝灰岩”组合(图 3),这说明火山喷发具有多期多旋回性,而且凝灰岩可发育于不同的沉积环境中。

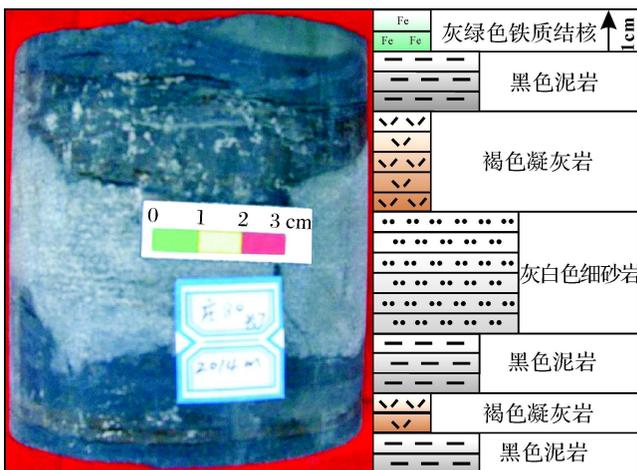


图 2 庄 80 井长 7 凝灰岩—砂岩—泥岩互层 (2 014.0 m)

Fig 2 Chang 80 tuff-sandstone-mudstone interbeds

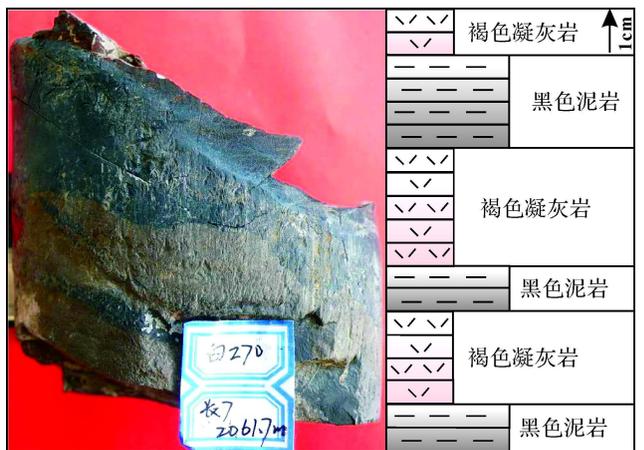


图 3 白 270 井长 7 凝灰岩—泥岩互层 (2 061.7 m)

Fig 3 Chang 7 tuff-mudstone interbeds of Well Bai 270

尽管通常凝灰岩夹层产状多为平缓,但也多处发现同砂岩、泥岩一起发育揉皱或滑塌现象(图 3),甚至形成包卷层理和交错层理,由于这类凝灰岩常与水动力关系密切,也被称为水携型凝灰岩。这可能有两种解释,一种是凝灰岩沉积时构造活动较强烈,发育同沉积构造;另一种是凝灰岩沉积后在某触发条件和环境下与砂、泥岩一起发生重力滑动,出现滑塌、泥石

流、浊流等再沉积作用。

为深入研究凝灰岩夹层垂向上的分布特征,选择了含凝灰岩层数较多、厚度较大,有代表性的里 51 井进行解剖研究,重点分析凝灰岩对应测井曲线特征与形态,及其与上下岩层的相互关系等。

里 51 井位于鄂尔多斯盆地伊陕斜坡,地理位置为甘肃省环县八珠乡。通过岩心详细观察与描述,分别在长 7₃段 2 267.5~2 270.2 m 和长 8₁段 2 281.5~2 282 m 处发现两套多层凝灰岩,2 267.5~2 270.2 m 处凝灰岩以灰褐色—灰黄色为主,石英质含量较高,单层厚度 3~10 cm,其测井特征表现为相对高自然电位、中等声波时差和自然伽马值(图 4),凝灰岩与上、下部岩石整合接触,岩性分别为炭质泥岩和泥质粉砂岩,未发现同沉积构造,是典型的火山尘灰大气降落沉积产物。从能谱测井分析结果中,可以看出凝灰岩中 Th 含量为异常高值区, Th/U = 0.25~1.20 凝灰岩夹层所指示的古环境为氧化向还原过渡区或弱还原向强还原过渡区,可能说明了凝灰岩夹层在古氧化还原环境的变化中起了重要作用。

为对比凝灰岩与泥岩的地球化学特征,特选择凝灰岩及其上下泥岩进行了主微量元素地球化学测试,

结果见表 2 上、下部样品岩性为炭质泥岩和泥岩。

微量元素中,炭质泥岩的 SO₂、MgO 含量明显低于凝灰岩和泥岩,而烧失量(LOI)、TF₂O₃、CaO 含量高于凝灰岩和泥岩;凝灰岩中 TO₂、Na₂O、P₂O₅含量均低于炭质泥岩和泥岩。

凝灰岩 ΣREE 低于炭质泥岩和泥岩,在球粒陨石标准化配分图中(图 5 左),可以看出炭质泥岩和泥岩具有弱的 Eu 负异常, LREE 相对富集, HREE 曲线平坦,属典型沉积岩右倾型曲线,而凝灰岩具有强的 Eu 负异常, LREE 相对富集, HREE 相对亏损,曲线形态为右倾型;在北美页岩标准化配分图中(图 5 右),炭质泥岩和泥岩的 REE 配分曲线基本处于水平状态,含量与北美页岩相当,而凝灰岩具有强的 Eu 负异常,同时 Er、Tm、Yb、Lu 等 HREE 元素也相对北美页岩亏损。

从凝灰岩与泥岩微量元素分别以球粒陨石和北美页岩标准化的蛛网图中(图 6),可以看出,凝灰岩比炭质泥岩和泥岩更富集 Th、Ta 元素,而更亏损 Y、Tm、Yb、Sc、Cr、Ni 元素;炭质泥岩比凝灰岩和泥岩更亏损 Nb、Ta、Zr、Hf、Th 元素,而更富集 U 元素。能谱测井解释结果也表现为炭质泥岩中的 U 含量高于凝

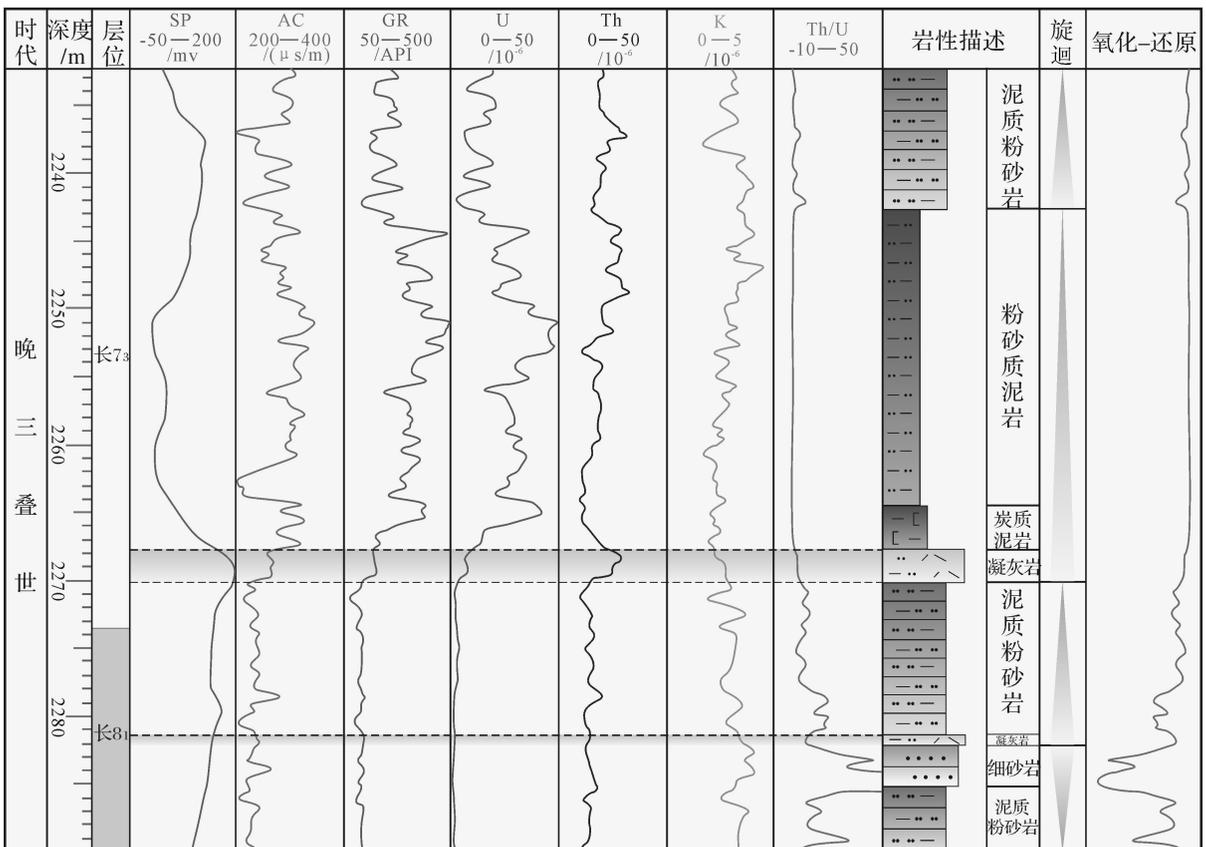


图 4 里 51 井延长组凝灰岩赋存层位测井曲线特征图

表 2 里 51 井凝灰岩与泥岩常量、微量元素分析结果

Table 2 Major and trace elements content of tuff and mudstone with in Well Li 51

编号	岩性	常量元素 $\omega_B / \%$											LOI	TOTAL
		SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	TFe ₂ O ₃	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅			
L151	长 7 ₃ 凝灰岩	68.43	0.08	17.15	2.57	0.01	1.40	0.36	0.37	3.28	0.02	5.85	99.52	
L151-1	凝灰岩下部泥岩	63.53	0.84	18.92	3.63	0.03	1.69	0.40	1.57	3.59	0.15	5.16	99.51	
L151-2	凝灰岩上部炭质泥岩	43.11	0.46	10.32	9.88	0.04	0.61	2.02	1.05	2.13	1.14	28.89	99.65	

编号	微量元素 $\omega_B / 10^{-6}$																	
	La	Ce	Pr	Nd	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lu	Li	Sc	V	Cr
L151	25.3	59.7	6.72	23.6	5.15	0.23	4.19	0.68	3.76	0.66	1.54	0.22	1.50	0.22	21.9	5.35	1.84	9.74
L151-1	39.2	78.0	8.51	32.0	5.83	1.15	4.65	0.71	4.45	0.96	2.74	0.42	2.82	0.43	36.6	16.4	127	88.7
L151-2	30.2	56.9	6.96	29.8	6.14	1.46	5.84	0.85	5.17	1.15	3.22	0.48	3.24	0.52	19.2	15.2	237	32.8

编号	微量元素 $\omega_B / 10^{-6}$																	
	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Cs	Ba	Hf	Ta	Pb	Th	U
L151	23.7	4.20	2.90	51.3	21.4	1.30	107	344	14.1	152	21.5	4.56	943	5.99	2.54	51.0	41.2	9.15
L151-1	14.5	36.0	43.4	103	25.7	1.87	152	271	27.1	195	13.3	7.77	801	5.16	0.91	26.6	12.3	3.10
L151-2	34.0	48.8	211	107	16.1	1.21	103	526	37.3	91.6	7.53	3.92	860	2.07	0.34	23.3	5.96	35.8

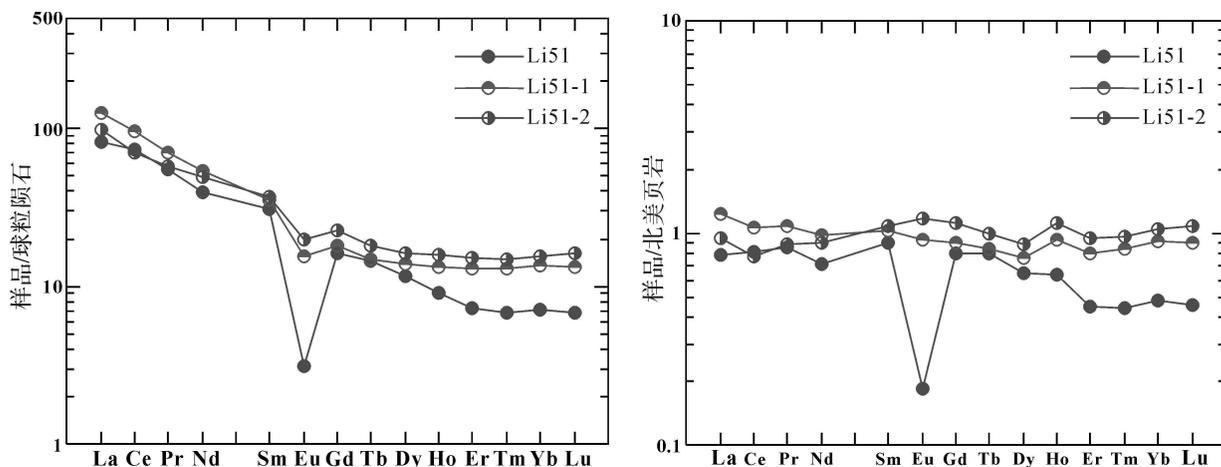


图 5 里 51 井长 7₃—长 8₁段凝灰岩与泥岩 REE 配分图

(球粒陨石标准化数据据 McLennan^[19]; 北美页岩标准化数据据 Boynton^[20])

Fig 5 REE distribution diagram of tuff and mudstone in Chang 7₃—Chang 8₁ of Well 51

(Chondrite normalization data from McLennan, 1989; and North America Shale data from Boynton, 1984)

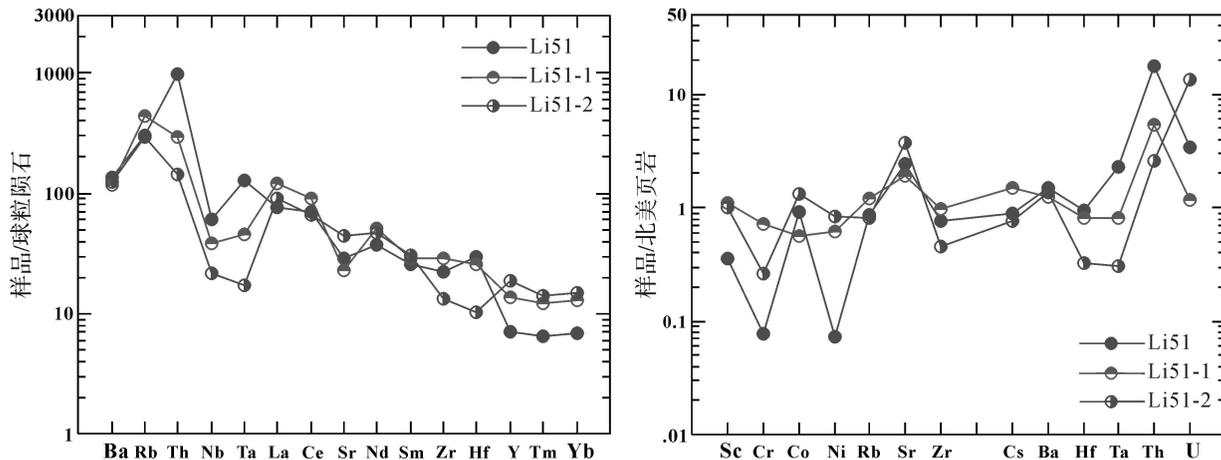


图 6 里 51 井长 7₃—长 8₁段凝灰岩与泥岩微量元素蛛网图 (标准化数据同图 5)

Fig 6 Trace elements spider diagram of tuff and mudstone in Chang 7₃—Chang 8₁ of Well 51

灰岩,这是由于炭质泥岩具有强烈的吸附 U 的能力;而凝灰岩中 U 的含量高于泥岩,可能反映了凝灰岩原始岩浆中的 U 含量较高,同时蚀变后形成的粘土矿物也具有吸附 U 的能力。

通过以上单井剖面综合分析,再次印证了凝灰岩夹层的测井特征总体为相对低电位、高自然伽马、高电阻率、高声波时差值的特征,并且高值常低于致密泥岩段;揭示了凝灰岩具有多期多旋回的特征,同时也说明凝灰岩的发育可能对延长组碎屑岩沉积有重要影响。

3.2 连井剖面分析

为了研究凝灰岩夹层横向上的变化特征,根据已调查的凝灰岩井位,区域上,延长组凝灰岩夹层全盆地皆有分布,以盆地西南部最为密集且凝灰岩层数多。设计了三条分析凝灰岩夹层横向展布特征的连井剖面。试图通过井间对比,确定凝灰岩的重点发育层段、不同方向横向上厚度变化、火山喷发旋回及凝灰岩相等。因篇幅所限,仅以横穿盆地沉积中心的剖面为例研究其横向上展布规律(图 7)。

该剖面从南东—北西向分别为正 11—正 8—正 6—固 6—庄 9—里 57—里 51—池 29 井,凝灰岩夹层相对单层较厚,大部分在 5~40 cm 之间,且一套凝灰岩中出现很多期与砂泥岩互层。从连井剖面中可以看出,横向上可对比的凝灰岩明显存在两套,分别为长 7₃底和长 7₂层段,同时长 6 长 4+5 也发现有厚度为 5~10 cm 厚的凝灰岩,其中固 6 井和庄 9 井长 7₂没有对应的凝灰岩夹层,可能是由于浊流或古地震作用^[21]的影响而使其缺失。长 7₃底凝灰岩夹层最发育

且可对比性强,厚度 5~40 cm 层皆有。纵向上凝灰岩测井曲线有明显一致的异常特征,表现为长 7₃凝灰岩分布于低自然电位、高自然伽马的下部,长 7₂凝灰岩分布于低自然电位、高自然伽马的上部。

另外两连井剖面分析也存在两套对比性较强的凝灰岩夹层,分别为长 9 和长 7₁,因此横向上可对比性凝灰岩主要有 4 套,分别为长 9₁、长 7₃底、长 7₂、长 7₁期,以盆地西南部长 7₃期最发育,其中分布于湖盆中心南部的凝灰岩常较厚,层数较多,可对比性最强;而湖盆中心北部长 7₃期凝灰岩不发育,以长 9₁和长 7₁期为主,并且凝灰岩常较薄,层数较少,可对比性弱;湖盆中心北东向各层段凝灰岩发育很少。可能指示了延长期凝灰岩发育时的风向为南西—北东向,随风的能量逐渐减弱,凝灰岩厚度逐渐变化。

4 凝灰岩夹层平面分布特征

凝灰岩夹层平面分布特征可能为探讨其成因机制,及其在烃源岩发育中所起的作用有重要意义,因此通过详细的岩心观察和描述,总结凝灰岩的测井特征,调查盆地内众多井的测井资料,针对凝灰岩相对较发育的层段,在单井、连井剖面分析的基础上,考虑到连井剖面上横向可对比性最强的特征,绘制了长 7₃底凝灰岩夹层累计厚度等值线图(图 8)。

长 7₃底凝灰岩夹层累计厚度等值线图总体表现为:凝灰岩相对发育区位于盆地南部的正宁—姬塬地区,安边—甘泉的西南部,在正宁附近存在凝灰岩相对沉积中心,其中宁 33 井累计厚度达 3m;整体形态

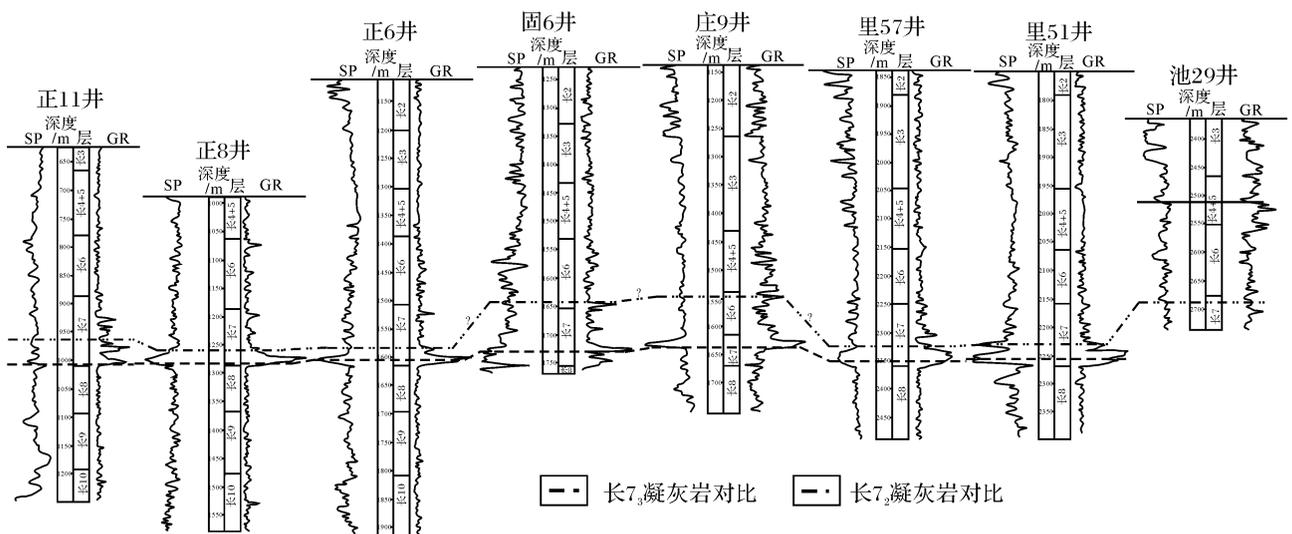


图 7 延长组凝灰岩夹层连井剖面展布图

Fig. 7. Multiwells section diagram of tuff interlayers in Yanchang Formation

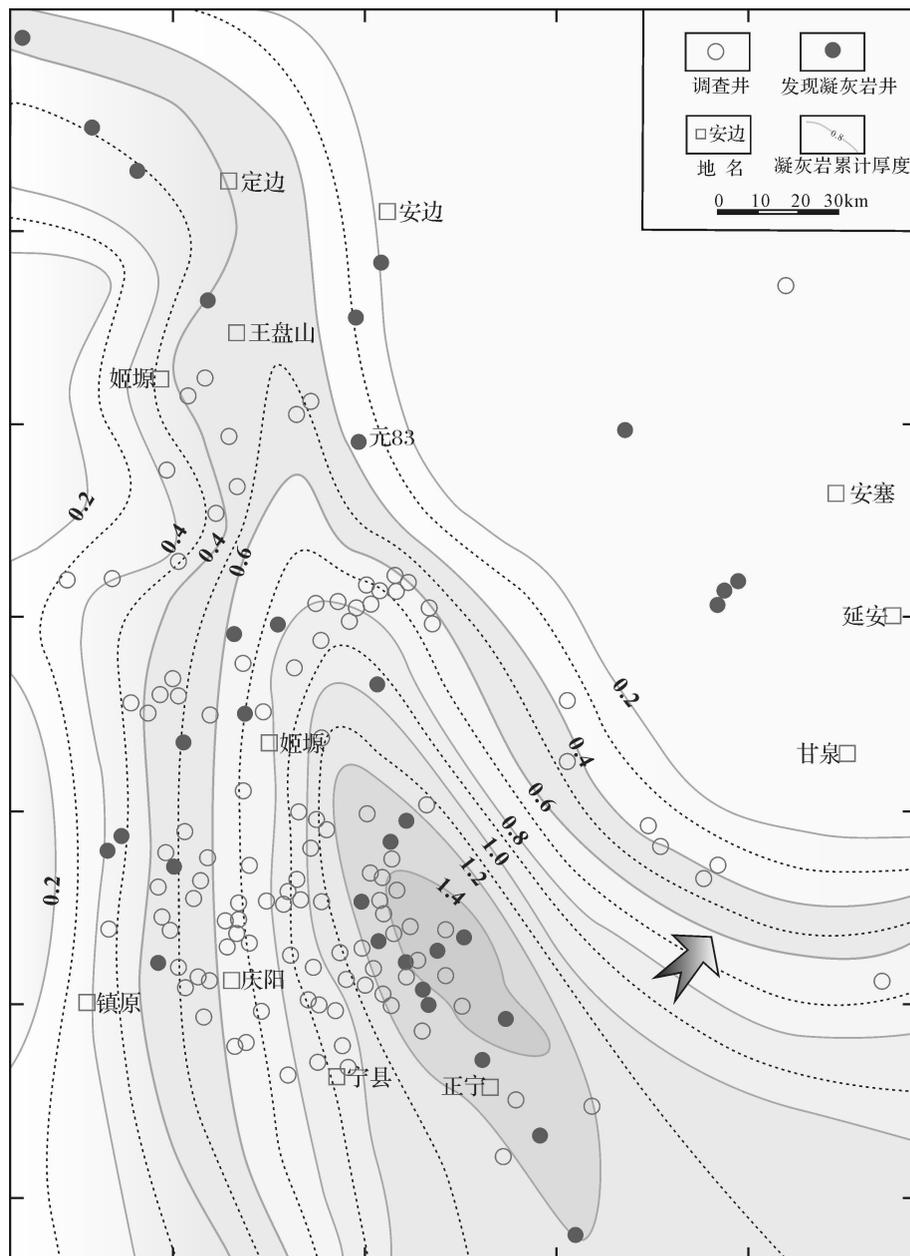


图 8 延长组长 7₃ 底凝灰岩厚度图

Fig 8 Tuff thickness contour map at the bottom of Chang 7₃ of Yanchang Formation

呈北西向展布, 由南西—北东向凝灰岩厚度逐渐变薄, 根据空降型火山灰成因机制, 可能反映了凝灰岩的物质来源于盆地外的西南或南方向, 邓秀芹等^[22]也认为长 7 底凝灰岩有由南西向北东方向变薄的趋势。

5 地质意义

对比前人对长 7 烃源岩的展布特征的研究^[23], 发现长 7 期凝灰岩与烃源岩在展布形态上具有良好

的一致性^[24], 反映了空中降落的火山灰沉积与深湖相泥岩沉积同时进行, 互层产出, 沉积后部分凝灰岩与优质烃源岩共同发育扰动构造, 说明凝灰岩沉积时也正是烃源岩发育期; 尽管凝灰岩的单层厚度不大, 而其沉积期相对短暂, 因此仍能在深湖相保留下来也说明当时区域性火山活动强烈, 大规模的火山灰短期内沉积, 使深湖相沉积物与氧隔离, 最终可能为烃源岩的发育提供了短暂性的缺氧环境, 同时凝灰岩是火山喷发的产物, 常具有较高的放射性 U、Th、K 含量,

热流值较高,因此凝灰岩的沉积也可能使地温升高,进而促进烃源岩热演化。后期凝灰岩发生了一系列的水解蚀变作用,蚀变作用过程及其产物可能具有重要的石油地质意义,需要进一步深入研究。

参考最新研究成果^[16,25],鄂尔多斯盆地延长组存在铀元素引起的放射性异常,明显异常区与凝灰岩的较厚分布区展布基本一致^[24]。晚三叠世该区正是发生沉降期,水动力条件发生改变,因此,凝灰岩夹层中的铀元素可能发生过迁移,并且可能是延长组放射性异常的铀源。

凝灰岩的展布形态总体与烃源岩、放射性异常展布形态一致,相对短期形成的凝灰岩也可能为烃源岩的发育提供必要的氧化还原环境,而放射性异常所生成的热又对烃源岩的演化具有重要作用。进一步深入研究将为优质烃源岩的发育条件提供更多更直接的证据,同时也为解释延长组放射性异常提供思路。

6 结论

(1) 鄂尔多斯盆地延长组凝灰岩夹层分布广泛,通过众多凝灰岩夹层的实际岩心观察,归纳总结出凝灰岩夹层的常规测井曲线特征表现为具有相对低电位、高自然伽马、高电阻率、高声波时差值的特征,并且高值常略低于致密泥岩段,具有重要的地层对比意义。

(2) 凝灰岩夹层单井分析表现为与上、下部岩石整合接触,较少发育同沉积构造,以典型的火山灰大气降落沉积产物为主,但也偶见凝灰岩与砂泥岩一起发育扰动构造,经受了较强的水动力改造,凝灰岩具有多期多旋回的特征,元素地球化学特征有别于泥岩和炭质泥岩。连井剖面分析说明延长组长 1—长 9 皆有凝灰岩分布,横向上可对比性凝灰岩主要有 4 套,分别为长 9_k、长 7₃底、长 7₂、长 7₁期,以盆地西南缘长 7₃期最发育;凝灰岩平面展布特征整体呈北西向展布,由南西—北东向凝灰岩厚度逐渐变薄,可能反映了凝灰岩的物质来源于盆地外的西南或南方向。

参考文献 (References)

- O'Brien R T. Classification of tuff [J]. *Journal of sedimentary petrology*, 1963, 33: 234-235
- 钟蓉, 孙善平, 陈芬, 等. 大青山、大同煤田太原组流纹质沉凝灰岩的发现及地层对比 [J]. *地球学报*, 1995, 5: 291-301 [Zhong Rong Sun Shanping Chen Fen, et al. The discovery of Rhyolite tuffite in the Taiyuan formation and stratigraphic correlation of the Daqingshan and Datong coalfields [J]. *Acta Geoscientia Sinica*, 1995, 5: 291-

- 301]
- 3 钟蓉, 孙善平, 傅泽明. 山东及邻区晚石炭世一早二叠世火山事件沉积及地层对比 [J]. *地质学报*, 1996, 70(2): 142-152 [Zhong Rong Sun Shanping Fu Zeming Volcanic event deposits and stratigraphic correlation of the late Carboniferous-early Permian in Shandong and adjacent regions [J]. *Acta Geologica Sinica*, 1996, 70(2): 142-152]
- 4 Helge JH, Harald F, Ole JM. Paleogene tuffaceous intervals Gane Field (Block 25-11), Norwegian North Sea: their depositional petrographical geochemical character and regional implications [J]. *Marine and Petroleum Geology*, 2000, 17(1): 101-118
- 5 Desmarest D, Grosheyn D, Beaudoin B, et al. High resolution stratigraphic record constrained by volcanic ash beds at the Cenomanian-Turonian boundary in the Western Interior basin, USA [J]. *Cretaceous Research*, 2007, 28: 561-582
- 6 Dong H L, Hall C M, Halliday A N, et al. ⁴⁰Ar/³⁹Ar illite dating of Late Caledonian (Acadian) metamorphism and cooling of K-bentonites and slates from the Welsh basin, UK [J]. *Earth and Planetary Science Letters*, 1997, 150: 337-351
- 7 Forman B Z, Rogers R R, Deino A L, et al. Geochemical characterization of bentonite beds in the two Medicine Formation (Campanian, Montana), including a new ⁴⁰Ar/³⁹Ar age [J]. *Cretaceous Research*, 2007, doi:10.1016/j.cretres.2007.07.001
- 8 Su Wenbo, Zhang Shihong, Huff Warren D, et al. SHRIMP U-Pb ages K-bentonite beds in the Xianaling Formation: Implications for revised subdivision of the Mesozoic-Neoproterozoic history of the North China Craton [J]. *Gondwana Research*, 2008, doi:10.1016/j.gr.2008.04.007
- 9 Marfil R, Hall A, Garcia-Gil S, et al. Petrology and geochemistry of diagenetically altered tuffaceous rocks from the middle Triassic of central Spain [J]. *Journal of Sedimentary Research*, 1998, 68(3): 391-403
- 10 Kramer W, Weatherall G, Offer R. Origin and correlation of tuffs in the Permian Newcastle and Wollumbi Coal Measures, NSW, Australia using chemical fingerprinting [J]. *International Journal of Coal Geology*, 2001, 47: 115-135
- 11 Grevenitz P, Carr P, Hutton A. Origin, alteration and geochemical correlation of Late Permian airfall tuffs in coal measures, Sydney Basin, Australia [J]. *International Journal of Coal Geology*, 2003, 55: 27-46
- 12 Alb W A, Murray H H. Mineralogy, chemistry and potential application of a white bentonite in San Juan province, Argentina [J]. *Applied Clay Science*, 2004, 25: 237-243
- 13 Hints R, Kirsinae K, Samelar P, et al. Chloritization of Late Ordovician K-bentonites from the northern Baltic Paleobasin: influence from source material or diagenetic environment? [J]. *Sedimentary Geology*, 2006, 191: 55-66
- 14 Astini R, Icardo A, Collo G, Idda M, Martina Federica. Ordovician K-bentonites in the upper-plate active margin of Western Gondwana (Famatina Ranges): Stratigraphic and paleogeographic significance [J]. *Gondwana Research*, 2007, 11: 311-325

- 15 Huff W D. Ordovician K-bentonites: Issues in interpreting and correlating ancient tephra [J]. *Quaternary International* 2008, 178: 276-287
- 16 Tan Chengqian, Liu Chiyang, Zhao Junlong *et al*. The radioactive abnormality characteristics of typical regions in Ordos basin and its geological implications [J]. *Science in China Series D: Earth Science* 2007, 50 (Supp II): 174-184
- 17 刘池洋, 赵红格, 桂小军, 等. 鄂尔多斯盆地演化—改造的时空坐标及其成藏(矿)响应 [J]. *地质学报*, 2006, 80(5): 617-638 [Liu Chiyang, Zhao Hongge, Gui Xiaojun, *et al*. Space-time coordinate of the evolution and reformation and mineralization response in Ordos basin [J]. *Acta Geologica Sinica* 2006, 80(5): 617-638]
- 18 Liu Chiyang, Qiu Xinwei, Wu Bolin, *et al*. Characteristics and dynamic settings of the Central-east Asia multi-energy minerals metallogenetic domain [J]. *Science in China Series D*, 2007, 50 (Supp II): 1-18
- 19 McLennan S M. Rare earth elements in sedimentary rocks: influence of provenance and sedimentary processes [C] // Lipin B R, and McKay G A, eds. *Geochemistry and Mineralogy of Rare Earth Elements: Review of Mineralogy*, 1989, 21: 169-200
- 20 Boynton W V. Geochemistry of the rare earth elements: meteorite studies [C] // Henderson P, ed. *Rare Earth Element Geochemistry*. Elsevier, 1984: 63-114
- 21 李元昊, 刘池洋, 王秀娟. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组震积岩特征研究 [J]. *沉积学报*, 2008, 26(5): 772-779 [Li Yuanhao, Liu Chiyang, Wang Xiujuan. Discovery and significance of siltites in late Triassic Yanchang Formation of Ordos basin [J]. *Acta Sedimentologica Sinica* 2008, 26(5): 772-779]
- 22 邓秀芹, 蔺昉晓, 刘显阳, 等. 鄂尔多斯盆地三叠系延长组沉积演化及其与早印支运动关系的探讨 [J]. *古地理学报*, 2008, 10(2): 159-166 [Deng Xiuqin, Lin Fangxiao, Liu Xinyang, *et al*. Discussion on relationship between sedimentary evolution of the Triassic Yanchang Formation and the early Indosinian movement in Ordos basin [J]. *Journal of Paleogeography*, 2008, 10(2): 159-166]
- 23 杨华, 张文正. 论鄂尔多斯盆地长7段优质油源岩在低渗透油气成藏富集中的主导作用: 地质地球化学特征 [J]. *地球化学*, 2005, 34(2): 147-154 [Yang Hua, Zhang Wenzheng. Leading effect of the seventh member high-quality source rock of Yanchang formation in Ordos basin during the enrichment of low-penetrating oil-gas accumulation: geology and geochemistry [J]. *Geochimica* 2005, 34(2): 147-154]
- 24 邱欣卫. 鄂尔多斯盆地延长组凝灰岩夹层特征和形成环境 [D]. 西北大学硕士论文, 2008 [Qiu Xinwei. Characteristics and forming environments of tuffs in Yanchang Formation in Ordos basin [D]. Master's Thesis of Northwest University, 2008]
- 25 李琼. 鄂尔多斯盆地西南地区深部放射性异常及其对烃源岩演化的影响 [D]. 西北大学硕士论文, 2007 [Li Qiong. The radioactive anomaly in the deep strata and its impacts on source rocks evolution in southwest Ordos basin [D]. Master's Thesis of Northwest University, 2007]

Distribution Characteristics and Geological Significances of Tuff Interlayers in Yanchang Formation of Ordos Basin

QIU Xin-wei LU Chiyang LI Yuan-hao MAO Guang-zhou WANG Jian-qiang

(State Key Laboratory of Continental Dynamics (Northwest University), Institute of Petroleum Basins of Northwest University, Xi'an 710069)

Abstract Tuff interlayers distributing widely in Yanchang Formation in Ordos Basin, lots of cores which containing tuff interlayer were observed, then summarized the log curves characteristics of tuff which represent by relatively low SP, high GR, R and AC, and usually lower than compacted mudstone. Single cores analysis of tuff interlayers suggest that the tuffs conformity contact with up and down rocks which were typical sediments of volcanic ash carried by atmosphere then fall off, but there were perturbation structures that tuff accompanied with sandstone or mudstone which underwent hydrodynamic reformation evidently. Well-tie profiles analysis indicate that tuff occurred in from Chang 1 to Chang 9, there are four layers can be contrasted in lateral which are Chang 9₁, bottom of Chang 7₃, Chang 7₂ and Chang 7₁, and the tuff in Chang 7₃ is most. Tuff plane distributing characteristics is northwest trending and from southwest to northeast the tuff gradually became thinner, which distributing characteristics are similar with source rock and radioactivity anomaly. So, the tuffs sediment process may induced elements migration and paleoenvironment change, which may play an important role in developing excellent source rock in Yanchang Formation.

Key words Ordos Basin, Yanchang Formation, tuff interlayer, distributing characteristics, geological significances