

济阳坳陷渤南—孤北地区 深层天然气成藏期分析

蒋有录, 刘 华, 李宗亮

(中国石油大学地球资源与信息学院, 山东 青岛 266555)

摘要:通过气源岩热演化生烃史、储层流体包裹体均一温度、天然气轻烃及构造活动综合分析,探讨了济阳坳陷渤南—孤北地区深层天然气藏的形成时间和期次。研究表明,孤北潜山带存在2期不同成因天然气的充注过程:煤成气于新近纪馆陶沉积晚期充注、油型气于新近纪明化镇中期充注;渤南洼陷油型气藏存在沙一末至东营末期和明化镇期至现今的2次充注过程,以第二期充注为主。不同构造部位、不同层系的成藏期有明显差异,构造低部位气藏形成时间早于高部位。

关键词:深层气;成藏时间;生烃史;流体包裹体;渤南洼陷

中图分类号:TE122.3

文献标识码:A

文章编号:1672-1926(2009)05-0678-05

0 引言

渤南—孤北地区位于渤海湾盆地济阳坳陷沾化凹陷的中部,北靠埕东凸起,南连陈家庄凸起,西邻义和庄凸起,向东缓坡过渡至孤北洼陷,研究区包括渤南洼陷和孤北潜山带2个毗邻的不同构造单元(图1)。该区深层主要指埋深大于3 500 m的沙三段以下地层及前古近系^[1-2]。孤北潜山带深层已发现煤成气藏,在渤南地区也发现了大量深层油型气。但目前对该区深层天然气的成藏时间和期次还缺乏深入研究。本文利用气源岩生烃史、储层流体包裹体均一温度、天然气轻烃及构造活动综合分析等多种方法,对该区深层气藏的成藏时间和期次进行了探讨。

1 气源岩热演化生烃史

研究区主要发育渤南洼陷沙四上亚段、沙三下亚段I—II₁型烃源岩和孤北石炭—二叠系III型煤系烃源岩等3套气源岩^[3]。烃源岩的主要生排烃时间代表了油气藏形成的最早时间,因此,可根据研究区3套气源岩的生烃史确定气藏形成时间的下限。

渤南洼陷深层主要气源岩包括沙三下亚段、沙四上亚段暗色泥岩。研究区的干酪根类型多为I型

或II₁型。研究区采用的烃源岩热演化指标为:0.7%< R_o <1.0%为成熟油阶段,1.0%< R_o <1.3%为成熟油和伴生气阶段,1.3%< R_o <2.0%为凝析气阶段, R_o >2.0%为干气阶段。渤南洼陷中心地区的义115井埋藏史及热演化生烃史模拟结果表明(图2),沙四上亚段底部在沙三段沉积中晚期开始生油,在沙二段沉积初期达到生油高峰,开始大量生成原油及伴生气,在沙一段沉积中期开始生凝析气,在馆陶组沉积初期开始生干气。沙三下亚段底部烃源岩在沙二段沉积中期开始生油,在东营组沉积中期达到生油高峰,开始大量生成原油及伴生气,在馆陶组沉积初期开始生凝析气。

孤北潜山带气源岩主要为石炭—二叠系煤系地层,有机质类型以III型为主,模拟采用热演化指标为:0.5%< R_o <1.3%为伴生气阶段,1.3%< R_o <2.0%为高熟气阶段, R_o >2.0%为干气阶段。孤北潜山带构造低部位的义135井埋藏史及热演化生烃史模拟结果表明,石炭—二叠系底部煤系源岩主要有2次生烃过程(图3)。三叠纪初期处于潜山带下倾部位的义135井的石炭—二叠系煤系开始生伴生气;晚三叠世印支运动期,石炭—二叠系遭受抬升剥蚀,随后又继续接受沉积,热演化程度稍有提高,但仍然处于生伴生气阶段。发生于晚白垩世的燕山运

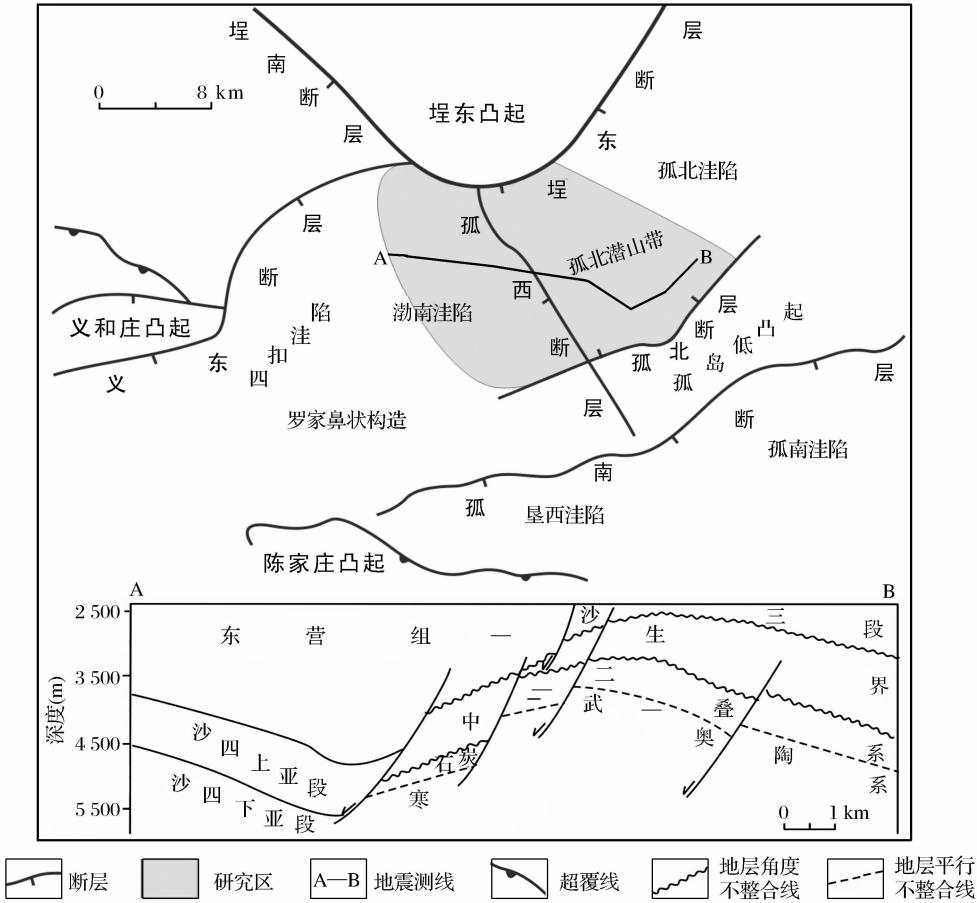


图 1 渤南—孤北地区区域构造位置及剖面

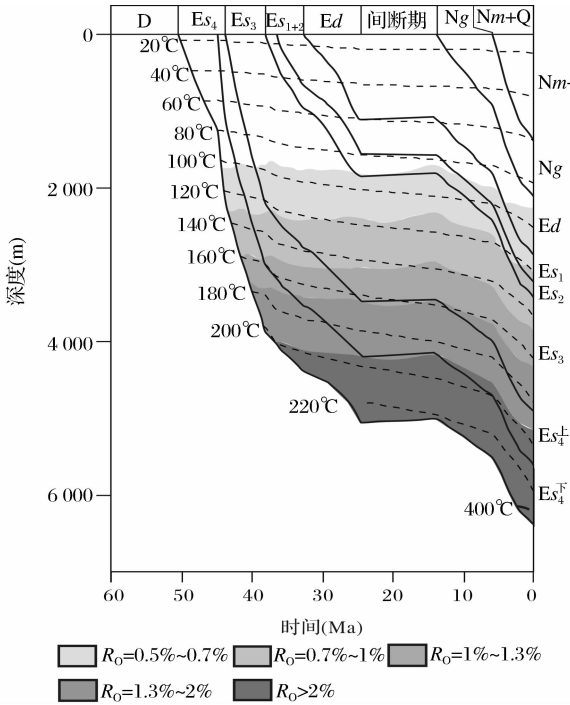


图 2 义 115 井埋藏史及热演化史

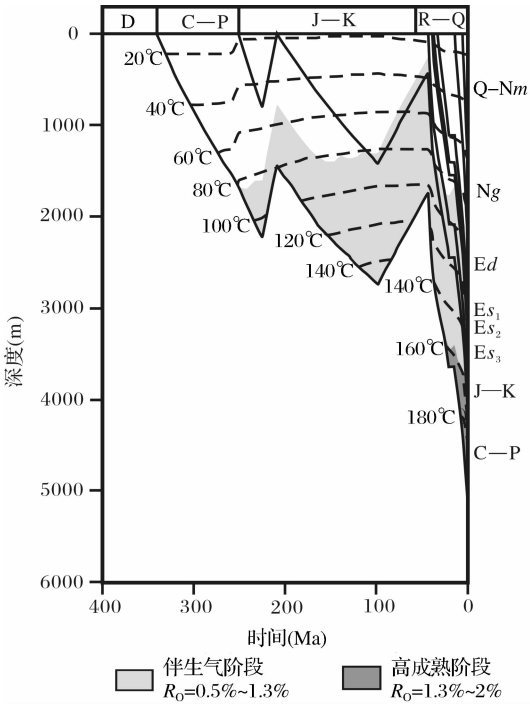


图 3 义 135 井埋藏史及热演化史

动,使石炭—二叠系再次遭受抬升剥蚀,生气作用停止,而且先期形成的天然气藏也遭到破坏。新生代

以来,地层再次沉降,热演化程度逐渐增高,当气源岩埋藏深度大于中生代最大埋深时,煤及暗色泥岩

开始二次生气。在东营组沉积中期,石炭—二叠系开始达到高熟气阶段,在馆陶组沉积时期达到生气高峰,生成了大量高成熟度的煤成气。

埋藏较深的中生界底部煤系于东营期—馆陶期开始进入生伴生气阶段,馆陶末期—明化镇期进入生气高峰,但由于进入生气高峰的煤系地层分布较局限,生气规模不大。因此,石炭—二叠系煤系源岩从馆陶组沉积时期直到现今的二次生烃期是孤北潜山带煤成气的主要生成时期。

2 构造活动分析

通过构造活动分析恢复圈闭的发育史,进而判定油气成藏期。渤南—孤北地区中新世经历了印支运动、燕山运动、喜马拉雅运动 3 次大的构造运动,经历了多次抬升、剥蚀、沉降过程。孤北潜山带经过潜山发育前期(早—中侏罗世)、潜山发育期(晚侏罗世—白垩纪)、潜山改造定型期(古近纪)和潜山成藏期(新近纪—第四纪)4 个主要阶段。古近纪北东向断层的断块掀斜运动将中生代晚侏罗世—白垩纪形成的北西向潜山带切割、改造,其改造、定型后的潜山为新生代的生油洼陷所包围,具有良好的油源条件^[4]。古近纪末期的东营运动使研究区发生抬升剥蚀,从新近纪至第四纪,研究区构造活动趋于稳定,有利于孤北潜山带的天然气聚集成藏。前述烃源岩热演化及生烃史分析表明,伴随着油型气和煤成气的大量生成,不同时期均发育良好的圈闭条件,因此,孤北潜山带的各类圈闭可以作为研究区各套烃源岩生成的不同类型天然气的聚集场所。

根据渤南地区断层活动史分析,明化镇组沉积时期渤南洼陷中的大部分断层都已经停止活动,断层对天然气主要起遮挡作用,洼陷区的气源岩生成的天然气可以充注到与断层有关的圈闭中聚集成藏。而受断层遮挡的影响,渤南洼陷生成的油型裂解气不利于在明化镇组沉积后期沿着断层向孤北潜山带运移成藏。

3 流体包裹体特征

利用储层流体包裹体均一温度,并结合沉积与构造演化史、生排烃史确定油气藏形成时间,已成为油气成藏史研究的一种重要方法^[5-10]。通过对渤南—孤北地区不同构造带储层流体包裹体均一温度分析,探讨了渤南—孤北地区天然气成藏时间和期次特征。

渤南洼陷主要发育沙四段砂岩储层,孤北潜山带发育下古生界碳酸盐岩和上古生界砂岩储层。对

研究区不同含气层储层样品进行的包裹体分析结果表明(表 1),研究区流体包裹体发育,二叠系砂岩样品中流体包裹体主要赋存于石英颗粒的内裂缝中,少数位于石英次生加大边中。均一温度主要分布在 106~130℃和 140~163℃两个温度区间,部分井样品只存在一期包裹体充注显示。根据包裹体均一温度,结合各井储层的埋藏史,推断了天然气的主要充注时间(表 1)。

位于孤北潜山带构造高部位、孤西断层附近的孤北古 2 井二叠系 2 块包裹体样品分别赋存于石英内裂缝(3 692.8 m)和裂缝中的方解石脉(3 546.9 m)中。其中石英内裂缝中的包裹体均一温度为 117~141℃,主要为 130~135℃,表明油气从馆陶末期开始充注,在明化镇初期充注量达到最大;裂缝中方解石脉的包裹体均一温度为 124~142℃,主区间为 135~140℃,表明天然气从明化镇中期开始充注,在明化镇末期充注量达到最大(图 4)。气源对比结果表明,孤北古 2 井区存在渤南洼陷油型气的混入^[11-12]。结合地质背景分析认为,孤北古 2 井赋存于石英颗粒的包裹体可能代表了孤北潜山带煤成气充注成藏的时间,为馆陶末期到现今;而裂缝中的包裹体均一温度对应的油气充注时间较晚,为明化镇中期至今,代表了渤南洼陷的油型气沿着孤西断层及伴生裂缝充注到孤北潜山带二叠系储层的时间。

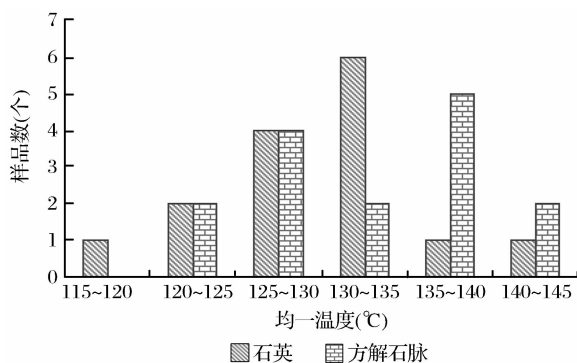


图 4 孤北潜山带孤北古 2 井包裹体均一温度分布特征

综上所述,孤北潜山带二叠系储层在中生代存在少量天然气充注,但由于早期形成的圈闭在抬升剥蚀过程中被破坏,早期形成的气藏可能已散失。古近纪以来该区存在明显的 2 期油气充注过程,分别对应于馆陶末期至今的煤成气充注和明化镇中期至今渤南洼陷的油型气充注,其中明化镇沉积时期 2 种气体同时充注,充注量最大。此外,不同构造部位受距离烃源岩远近及输导体系的差异影响,充注时间有所不同,构造低部位油气充注时间较早,构造

高部位油气充注时间较晚。

对渤南地区 8 块主要为 E_{s_3} 储层的样品进行的包裹体均一温度分析表明,该地区成藏时间与期次不同于孤北地区,渤南深洼带沙三段以及埋藏较浅的断阶带沙四下亚段储层的包裹体均一温度主要分

布在 148~161℃之间(表 1)。结合单井埋藏史及烃源岩热演化史分析可知,渤南深洼带沙三段储层和断阶带沙四下亚段油气充注时间较晚,主要在明化镇沉积末期至今。由此推断,深洼带沙四段储层的成藏时间可能稍早。

表 1 渤南—孤北地区流体包裹体均一温度及天然气主要充注时间分析

地区	构造位置	井号	层位	埋深(m)	岩性	均一温度(℃)		主要充注时间
						温度区间	平均值	
孤北地区	构造低部位	义 155	E_{s_3}	3 761.7	中砂岩	161~169	163.5	Nm 末
		义 155	E_{s_3}	3 863	中砂岩	168~170	169.5	Nm 末
		义 135	$P_1 sh$	4 892.3	灰质砂岩	165~200	195.5	Ng 末
		孤北古 1	$P_1 sh$	4 403.9	细砂岩	98~149	126.5	J—K、Ed
						161~163	162	Nm 中
		孤北古 3	$P_2 x$	4 090	中砂岩	106~108	107	J—K、 E_{s_1} 末
						137~145	141	Nm 中—Nm 末
	构造高部位	渤 930	$P_1 x$	3 623	细砂岩	114~139	123.46	K、Ed 中—Ed 末
		渤 930	$P_1 x$	3 625	细砂岩	111~126	122.2	K、Ed 中—Ed 末
						145~159	152.5	Nm 中—Nm 末
		渤 930	$P_1 x$	3 674.7	粗砂岩	117~129	122.6	K、Ed 中—Ed 末
		义 132	$P_1 x$	3 598.5	细砂岩	118	118	Ng 末
						138~152	140.3	Nm 末—现今
		义 132	$P_1 x$	3 599.5	细砂岩	118~127	120.6	Ng 末—Nm 初
						136~148	140.5	Nm 末—现今
		义 136	$P_1 x$	3 715.2	含砾砂岩	164~177	170.6	Nm 末—现今
		孤北古 2	$P_1 sh$	3 692.8	细砂岩	117~141	130.4	Ng 末—现今
		孤北古 2	$P_2 w$	3 546.9	细砂岩	124~142	133.4	Nm 中—现今
渤南地区	深洼带	义 115	$E_{s_3 s}$	3 503.8	含砾砂岩	155~161	158.7	Nm 末—现今
		义 115	$E_{s_3 x}$	3 946.8	中砂岩	156~160	158.7	Nm 末—现今
		渤深 3	$E_{s_3 z}$	3 543.8	含砾砂岩	139~157	150.2	Nm 末—现今
		渤深 3	$E_{s_3 z}$	3 549.2	细砂岩	148~153	152	Nm 末—现今
	断阶带	渤深 4	$E_{s_4 x}$	4 893.8	细砂岩	181~187	184.2	Nm 末—现今

4 天然气轻烃特征

通常情况下,气藏中的天然气是气源岩中生成的天然气直接进入圈闭形成的,因此气藏中天然气的轻烃化合物组成也可以反映出源岩当时的演化程度。Thompson^[13]研究表明,随着有机质成熟度增加,天然气轻烃中庚烷值(H)和异庚烷值(I)2 个参数有规律地变化,从不成熟到过成熟的生烃阶段,异

庚烷值从 0.75 升高至 6.0,庚烷值从 5%增加到 30%。因此,可以采用天然气轻烃成熟度参数反推天然气所对应源岩的演化程度及其地温,然后结合源岩的埋藏热演化史推断出源岩的生气时间,进而推断天然气成藏史。

根据孤北地区天然气轻烃参数推断,天然气对应气源岩的演化程度为成熟阶段晚期($R_o=1.0\% \sim 1.3\%$),平均地温在 125~140℃之间(表 2)。结

表 2 天然气轻烃成熟度参数及对应源岩的生气时间

井名	层位	井深(m)	异庚烷值	庚烷值(%)	演化阶段	平均温度(℃)	生气时间
义 155	P	4 528.8~4 574	1.26	18.39	成熟	140	Ng
孤北古 1	P	4 020.85~4 139.5	1.14	12.82	成熟	135	Ng
孤北古 2	P	3 689~3 731	2.9	18.48	成熟	135	Nm
渤 93	P	3 230~3 249	1.85	15.74	成熟	125	Nm

合各井气源岩的埋藏史可知,主生气期始于馆陶组沉积末期到明化镇组沉积末期,且不同构造部位生气时间有所差异:构造低部位的义 155 井和孤北古 1 井成藏期对应气源岩生气时间较早,在馆陶组沉积末期;而构造高部位的渤 93 井和孤北古 2 井天然气成藏期对应气源岩生气时间较晚,在明化镇组沉积中期,即由潜山带的构造低部位到构造高部位天然气成藏时间逐渐变晚。

5 结论

根据气源岩热演化生烃史、储层流体包裹体均一温度、天然气轻烃及构造活动综合分析表明,渤南—孤北地区深层存在多期天然气充注过程,不同构造单元成藏期有差异:渤南洼陷区存在沙一末期—东营末期和明化镇期—现今 2 期成藏,以晚期为主;孤北地区多次生烃、2 期成藏,古近纪以来该区存在 2 期天然气充注成藏,分别为馆陶末期至今煤成气充注和明化镇初中期至今渤南洼陷的油型气充注。由于明化镇期 2 类气体同时充注,是该区混合气藏的主要成藏期。相同储层不同构造部位充注时间有所差异,构造低部位天然气充注时间较早,构造高部位天然气充注时间较晚。

参考文献:

[1] 谯汉生,方朝亮,牛嘉玉,等.渤海湾盆地深层石油地质[M].北京:石油工业出版社,2002.

- [2] 樊庆真,杨显成.济阳坳陷深层资源潜力和有利勘探方向[J].石油勘探与开发,1998,25(1):8-10.
- [3] 王力,金强,林腊梅,等.济阳坳陷孤北—渤南地区渤古 4 潜山天然气地球化学特征及气源探讨[J].天然气地球科学,2007,18(5):715-749.
- [4] 林会喜,方旭庆,李凌,等.鲁北济阳坳陷沾化凹陷东部潜山的发育及油气成藏控制因素[J].地质通报,2006,25(9-10):1160-1167.
- [5] 施继锡,傅家谟,刘德汉.有机包裹体及其与油气的关系[J].中国科学:B辑,1987,17(3):318-325.
- [6] 蒋有录,刘华,张乐,等.东营凹陷油气成藏期分析[J].石油与天然气地质,2003,24(3):215-218.
- [7] 米敬奎,肖贤明,刘德汉,等.利用包裹体信息研究鄂尔多斯盆地上古生界深盆气的运移规律[J].石油学报,2003,24(5):46-51.
- [8] 刘新社,周立发,侯云东.运用流体包裹体研究鄂尔多斯盆地上古生界天然气成藏[J].石油学报,2007,28(6):37-42.
- [9] 刘德良,陶士振,张宝民.包裹体在确定成藏年代中的应用及应注意的问题[J].天然气地球科学,2005,16(1):16-19.
- [10] 冯子辉,任延广,王成,等.松辽盆地深层火山岩储层包裹体及天然气成藏期研究[J].天然气地球科学,2003,12(6):436-441.
- [11] 王力,金强,万丛礼,等.沾化凹陷孤北渤南地区深层天然气成因类型及其控制因素[J].中国石油大学学报:自然科学版,2008,32(1):35-40.
- [12] 林武,李政,李钜源,等.济阳坳陷孤北潜山带天然气成因类型及分布规律[J].石油与天然气地质,2007,28(3):419-426.
- [13] Thompson K F M. Light hydrocarbon in subsurface sediments [J]. Geochimica et Cosmochimica Acta, 1979, 43: 647-627.

Timing of Deep Gas Accumulation in Bonan and Gubei Areas of Jiyang Depression

JIANG You-lu, LIU Hua, LI Zong-liang

(College of Geo-Resources and Information, China University of Petroleum, Qingdao 266555, China)

Abstract: The formation time and stage of the deep gas reservoirs in the Bonan and Gubei Areas of Jiyang Depression are ascertained by a set of analysis techniques, including the hydrocarbon generation history, fluid inclusion homogenization temperature, light hydrocarbon characteristic and structure movement analysis. Two periods of different original gas charging are established in the Gubei buried hill belt, coal-formed gas charging in late stage of Ng and oil-formed gas charging in middle stage of Nm. At the same time, there are two accumulation periods which include from late stage of Es₁ to late stage of Ed and from the stage of Nm to nowadays in oil-associated gas reservoirs in Bonan sub-sag, the late stage accumulation plays an important part. There are different periods at different structure location and strata. The formation period of gas reservoir at downstructure location is earlier than that of gas pool at upstructure location.

Key words: Deep gas; Hydrocarbon charge time; Hydrocarbon generation history; Fluid inclusion; Bonan sub-depression.