

文章编号 :1000-0550(2001)04-0617-05

大庆长垣以东地区深层天然气成藏的控制因素及成藏模式

付广 薛永超 付晓飞

(大庆石油学院 黑龙江安达 151400)

摘要 通过长垣以东地区深层天然气分布特征研究,提出了深层天然气成藏的4种控制因素,即气源条件、盖层条件、断裂和不整合面,并对它们在气藏形成中所起作用进行了深入分析。在此基础上,提出了该区深层天然气成藏的4种模式。即天然气沿不整合面短距离运移基岩风化壳成藏模式,天然气沿裂缝运移源区内火山岩成藏模式,天然气沿不整合面或砂体和断层长距离运移古隆起之上各种类型圈闭成藏模式,天然气沿砂体侧向运移地层超覆圈闭成藏模式。最后指出了该区深层有利钻探靶区。

关键词 长垣以东地区 深层 天然气藏 控制因素 成藏模式 气源条件 盖层条件 断裂 不整合面

第一作者简介 付广 男 1962年出生 副教授 石油及天然气地质与勘探

中图分类号 TE122.3⁺1 **文献标识码** A

1 前言

大庆长垣以东地区是松辽盆地北部深层天然气勘探的重点地区,该区自西向东包括安达—肇州背斜带、徐家围子断陷、肇东—朝阳沟背斜带和莺山断陷带两个正向深层二级构造单元和两个负向深层二级构造单元,面积约为9 500 km²,如图1所示。

截止到目前为止,该区深层共完成钻探井70余口,其中17口探井获得了工业气流,发现了汪家屯、升平、肇州西、昌德工业气藏和一些含气区,充分展示了深层天然气勘探的前景。然而,由于深层地质条件的复杂性以及人们认识水平的局限性,致使该区深层天然气的勘探进展非常缓慢,成效较低,分析其原因主要是人们对深层天然气成藏的控制因素及成藏模式缺乏深入的理解和认识。因此开展该区深层天然气成藏的控制因素和成藏模式研究,对于该区深层天然气的下一步勘探将具有重要意义。

2 天然气的分布特征

深层天然气的勘探成果表明,该区深层天然气主要储集于基岩风化壳、下白垩统的沙河子组—营城组火山岩和登娄库组及泉一、二段致密砂岩和粉砂岩中,天然气主要来源于沙河子组—营城组气源岩,少量来源于下白垩统登二段气源岩,天然气的封盖层主要为登二段和泉一、二段发育的两套泥岩。

由图1可以看出,该区天然气主要分布于徐家围子和莺山两个断陷周围的古隆起上。工业气流井主要分布于安达—肇州背斜带和徐家围子北部的升平汪家屯构造上,而肇东—朝阳沟背斜带南部、徐家围子东部和莺山断陷的南部则主要为一些少量工业气流井。总的来看,该区深层天然气分布具有围绕着徐家围子断陷呈半环状分布的特点。

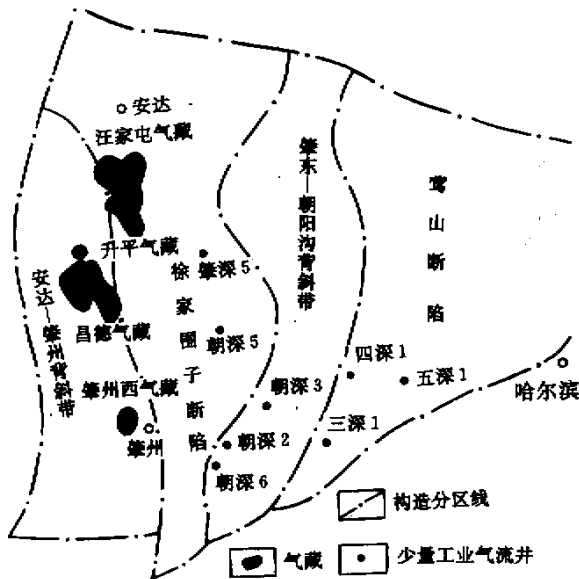


图1 大庆长垣以东地区深层构造单元及天然气分布图

Fig. 1 Structural units and distribution of deep strata in Daqing placanticline and its eastern area

3 天然气成藏的控制因素

大量研究结果表明,天然气的运聚成藏除了要具备生、储、盖和圈等静态地质条件外,还需要这些地质条件在时间和空间上有机匹配方可形成。根据该区天然气成藏条件及其与气藏分布关系研究得到,该区深层天然气成藏应主要受到以下几个因素控制。

3.1 气源条件

源岩是气藏形成的物质基础。长垣以东地区气源岩主要发育于沙河子组—营城组内,最大暗色泥岩厚度大于 500 m,主要分布于徐家围子和莺山两个断陷内,由两个断陷中心向其四周暗色泥岩厚度逐渐减小,在断陷边部厚度减小为 50 m。

地化指标研究表明,该区沙河子组—营城组泥岩有机碳含量为 0.3%~3.3%,平均为 1.311%,氯仿沥青“A”为 0.01%~0.07%,平均为 0.0231%,有机质类型以Ⅲ型为主,其次为ⅡB型,有机质演化目前已经达到了过成熟阶段(R_o 平均为 2.14%)。由图 2 中可以看出,两个断陷中心为好气源岩,向外变成较好气源岩,仅在东北边界为中等气源岩。

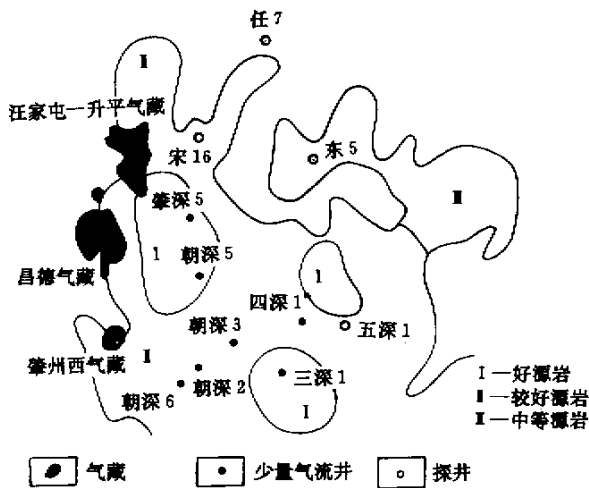


图 2 大庆长垣以东地区沙河子组—营城组源岩与气藏分布关系

Fig.2 The relationship between K_1 source rock and gas reservoirs in Daqing placanticline and its eastern area

由图 2 中可以看出,该区目前已发现的气藏和少量的工业气流井均分布于好和较好气源岩区内及其边部。由此不难看出,该区深层天然气的成藏明显受气源条件的控制。

3.2 盖层条件

盖层条件是气藏形成的关键,该区盖层对天然气的控制主要表现为以下两个方面:

(1) 优质盖层的分布控制着天然气的分布

该区深层发育有登二段和泉一、二段两套泥岩盖层,登二段泥岩盖层除了具有较强的毛细管封闭能力外,还具有替代烃浓度封闭作用。而泉一、二段泥岩盖层则只具有毛细管封闭能力^[1]。

由表 1 可以看出,该区深层气藏或气井与盖层特征关系可以看出,天然气藏的形成与优质盖层分布有着密切的关系,工业气流井和少量气流井除昌五基岩风化壳气藏和薄荷台登娄库组少量工业气流的盖层为中等和较好~中等封盖能力外,其余皆为较好封盖能力。这充分说明了优质盖层对气藏形成有着重要的控制作用。

(2) 盖层封闭能力形成期控制着天然气的富集程度

盖层封闭能力形成时期只有早于或与气源岩的大量排气期同期,其才能封闭住气源岩排出的大量游离相天然气,否则,盖层所能封闭住的气源岩排出的游离相天然气量的大小则取决于二者时间差的大小,二者时间差越小,盖层所能封闭气源岩排出的游离相天然气的量越大;反之则越小^[2]。

由图 3 中可以看出,登二段泥岩盖层的封闭能力形成时期早于沙河子组—营城组气源岩的大量排气期,对于封闭沙河子组—营城组气源岩排出的大量游离相天然气应是有效的,但泉一、二段泥岩盖层封闭能力形成时期相对晚于沙河子组—营城组气源岩的大量排气期,对于封闭沙河子组—营城组气源岩排出的游离相天然气是不利的。这可能就是该区登二段泥岩盖层所能封闭的天然气藏的数量明显多于泉一、二段泥岩盖层所封闭的天然气的数量(表 1)的一个重要原因。

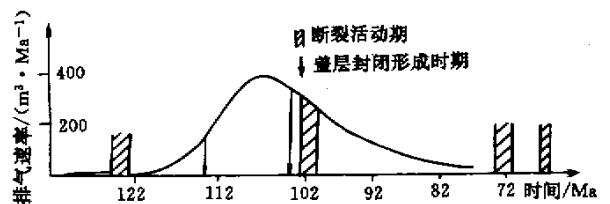


图 3 大庆长垣以东地区深层源岩排气期、盖层封闭和断裂活动期配置关系

Fig.3 The match relation among expulsion period of source rock, sealing periods of cap rocks and active period of faults in Daqing placanticline and its eastern area

3.3 断裂

断裂在该区深层天然气的运聚成藏中起着重要的控制作用,主要表现在以下几个方面。

表1 长垣以东地区气藏或气井与其盖层特征对应表

Table 1 the relationship between gas reservoirs or gas wells and characteristics of caprock in Daqing placanticline and its eastern area

气藏或气井	产气层位	天然气显示情况	盖层层位	厚度/m	排替压力/MPa	评价
升平火山岩	$K_1 sh + yc$	工业气流	$K_1 d_2$	50 ~ 100	8 ~ 10	较好
昌德	$K_1 d_{3+4}$	工业气流	$K_1 q_{1+2}$	120 ~ 200	9 ~ 10	较好
昌德东	$K_1 d_1$	工业气流	$K_1 d_2$	50 ~ 100	10 ~ 12	较好
肇州西	基岩	工业气流	$K_1 d_2$	50	8 ~ 10	较好
汪家屯	$K_1 d_{3+4}$	工业气流	$K_1 q_{1+2}$	60 ~ 240	9 ~ 10	较好
昌五(肇深5)	$K_1 d_1$	少量工业气流	$K_1 d_2$	50	10 ~ 12	较好
四站(四深1)	$K_1 d_1$	少量工业气流	$K_1 d_2$	150 ~ 200	8 ~ 9	中等
三站(三4)	$K_1 q_2$	少量工业气流	$K_1 d_2$	200 ~ 250	5 ~ 6	好
二深1井	基岩	少量工业气流	$K_1 d_2$	200 ~ 250	10 ~ 12	较好
汪家屯	基岩	工业气流	$K_1 d_2$	50 ~ 100	8 ~ 10	较好
昌德	基岩	工业气流	$K_1 d_2$	50	10 ~ 12	较好
薄荷台(朝深2、4井)	$K_1 d_{3+4}$	少量气流	$K_1 q_{1+2}$	120 ~ 200	7 ~ 9	较好—中等

(1) 断层作为天然气运移通道,连接源岩与圈闭

断层作为天然气运移的通道,主要是通过其内及其附近的裂缝网络系统进行的。它可使纵向上相距较远的源岩与圈闭连接起来,尤其是穿层系源岩与圈闭连接的桥梁,是天然气在纵向上穿层系长距离运移的重要途径^[3]。①断层作为天然气垂向运移的通道,可以直接连接源岩和圈闭使天然气成藏,该区昌德构造登娄库组背斜气藏、汪家屯构造登娄库组断块气藏、薄荷台构造登娄库组断鼻气藏、四站构造登娄库组一段岩性—构造气藏、昌五构造登娄库组岩性—断层气藏均是由断层连接源岩与圈闭形成的天然气藏。②断层还可以与砂体或不整合面配合连接源岩与圈闭使天然气成藏,该区汪家屯构造泉头组一段背斜气藏、昌德构造登娄库组背斜气藏、汪家屯构造登娄库组的断块气藏、三站构造泉头组二段断鼻气藏、薄荷台构造登娄库组断鼻气藏、四站构造登娄库组一段岩性—构造气藏、昌五构造登娄库组岩性—断层气藏均为由断层与砂体或不整合面配合连接源岩与圈闭形成的天然气藏。

(2) 断层空间延伸层位控制天然气在垂向上运聚层位

由上可知,断层是天然气运移的通道,它的空间延伸层位应控制着天然气在垂向上运移的最大距离,在一定程度上也就决定了天然气在空间上运聚成藏的范围。该区深层从 T_5 层断至 T_3 层的断裂在平面上的分布存在着明显的差异性,其主要分布于升平—汪家屯地区和朝长地区,而昌德地区仅仅发育断穿 T_4 层的断

层,如图4所示。断层作为该区沙河子组—营城组生成的天然气向上运移的通道,使沙河子组—营城组生成的天然气由下向上运移至不同的层位中。昌德地区由于仅仅发育断穿 T_4 层断层,沙河子组—营城组生成的天然气沿断层只能向上运移至登娄库组内,在其内运聚成藏,形成了昌德及昌德东登娄库组气藏。而升平—汪家屯和朝长地区由于发育由 T_5 或 T_4 断至 T_3 层的断层,沙河子组—营城组生成的天然气沿断层向上除可以运移至登娄库组外,还可以向上运移至泉一、二段储集层中,故在该区除在登娄库组形成了升平、汪家屯、薄荷台、四站气藏外,还在泉一、二段中形成了汪家屯和三站气藏。这充分说明了断层在空间上的延伸层位控制着天然气在垂向上运聚层位。

(3) 断层活动时期控制着天然气的垂向运聚时期

由上可知,断层只有处在活动时期时,方可成为天然气大量运移的通道,因此,从这个意义上讲,源岩大量生烃期后的断裂活动时期就应是天然气垂向运聚时期。该区断层活动史研究表明,该区在沙河子组—营城组沉积时期和登娄库组沉积时期、泉头组沉积末期—青二、三段沉积中期、嫩江组沉积末期和明水组沉积末期断层活动开启,成为天然气垂向运移通道。由文献^[4]资料可知,该区沙河子组—营城组气源岩在其沉积末期开始生烃,在泉二段沉积末期达到生气高峰。综合上述分析可知,该区天然气垂向运移时期应为登娄库组沉积时期、泉头组沉积末期—青二、三段沉积中期、嫩江组沉积末期和明水组沉积末期四个时期,如图

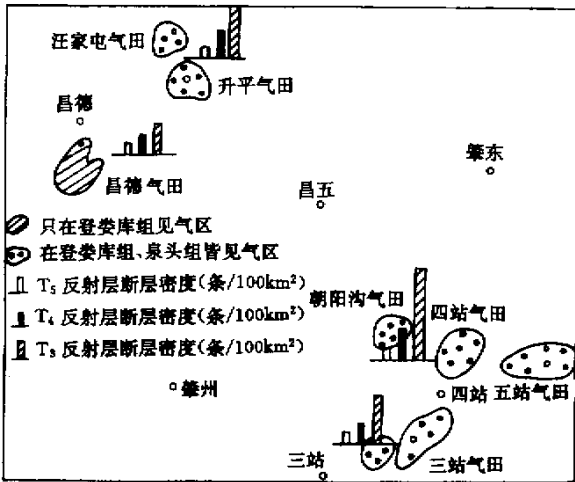


图 4 大庆长垣以东地区断裂与气藏分布层位关系

Fig.4 The relationship between faults and distribution

horizon of gas in Daqing placanticline and its eastern area

3 所示。

由上可知,该区登二段、泉一、二段两套泥岩盖层封闭能力分别于登三段沉积末期、泉一、二段沉积末期开始形成。由此结合上述天然气垂向运移期可以得到,该区天然气的主要聚集期应为泉头组沉积末期—青山口组沉积中期,因为此时期该区泉头组一、二段区域性盖层开始具封闭能力,且源岩开始进入大量生排气期,所以有利于沙河子组—营城组天然气在其下运聚成藏,如图 3 所示。而登娄库组沉积时期,虽然登二段泥岩盖层在登三段沉积末期已开始形成封闭能力,但其分布范围明显小于泉一、二段,且此时源岩尚未进入大量生排气期,故其不应是该区天然气的主要聚集期,如图 3 所示。嫩江组末期和明水组沉积末期,虽然两套盖层均已形成封闭能力,但此时沙河子组—营城组源岩的大量生排气期已过,不能形成大规模的天然气聚集,也不是该区的主要天然气聚集期。

3.4 不整合面

不整合面在该区深层天然气运聚成藏中所起的作用主要表现在以下两个方面:

(1)不整合面作为天然气侧向或斜向运移通道,连接源岩与圈闭

不整合面作为该区深层天然气运移通道,①可以直接连接源岩与圈闭控制基岩风化壳天然气藏的形成。徐家围子断陷中生成的天然气沿着不整合面斜向古隆起顶部的基岩风化壳圈闭中运移聚集,形成了基岩风化壳天然气藏,昌德构造昌 401 井、昌 102 井、二站构造的二深 1 井、汪家屯构造的汪 902 井、汪 9—12

井和肇州西构造肇深 1 井等基岩风化壳气藏。②不整合面还可以与连通砂体或断层配合来连接源岩和圈闭控制天然气的形成。汪家屯泉头组一段背斜气藏、薄荷台构造登娄库组断鼻气藏、四站构造登娄库组一段岩性—构造气藏、昌五构造登娄库组岩性—断层气藏均是由不整合面与连通砂体或断层配合连接源岩和圈闭形成的天然气藏。

此外,由于不整合面的存在,它可跨越不同时代的岩层,从而使得不同层位的不同岩性、不同储集层、不同类型的圈闭同生油岩更广泛地联系起来,导致多体系的天然气聚集,例如昌德气藏,由于不整合面的存在,导致沙河子组—营城组、登二段二套源岩生成的天然气沿着不整合面由沙河子组—营城组、登娄库组不同的砂砾岩储层向古隆起之上的基岩风化壳圈闭中运移形成基岩风化壳气藏。

(2)不整合面的存在为天然气聚集提供了有利场所

不整合面的存在,虽然其本身不能成为天然气聚集的场所,但它却为天然气聚集场所的形成创造了有利条件。

该区受不整合面控制形成的圈闭主要发育在古隆起之上,是古隆起顶部较老地层长期遭受风化剥蚀以及地下水淋滤作用而形成的储集空间被后来的年轻盖层覆盖所形成的天然气聚集场所。该区深层肇州西构造的肇深 1 井基岩风化壳气藏、昌德构造昌 401 井、昌 102 井基岩风化壳气藏、汪家屯构造汪 902 井—汪 9—12 井基岩风化壳气藏均属于天然气在受不整合面控制形成圈闭中聚集形成的气藏。

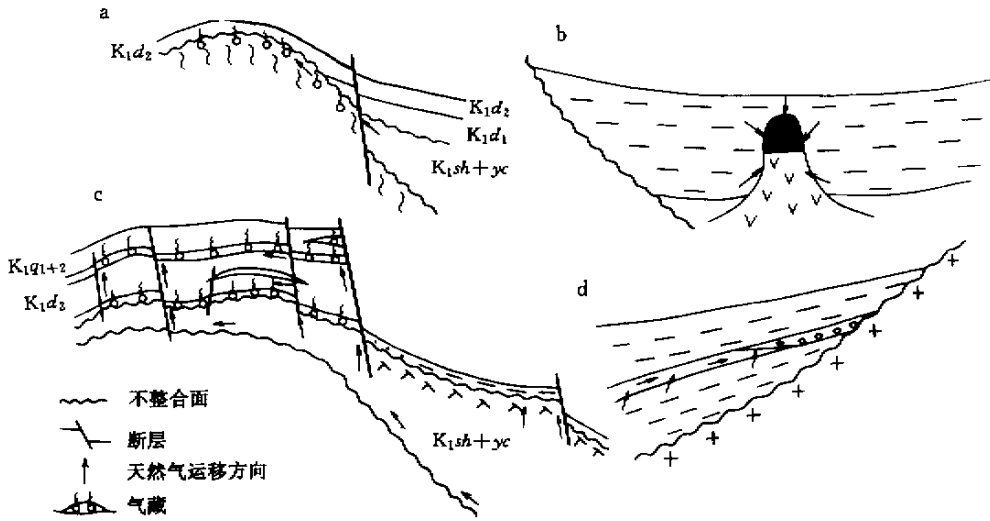
4 天然气成藏模式

天然气成藏模式应该是以圈闭类型划分天然气藏类型为前提,综合天然气藏形成的生、储、盖、圈等诸多地质静态要素的时空匹配关系,以及天然气运移—聚集动态过程的天然气藏地质模型。

根据本区已发现天然气藏类型,并结合长垣以东地区深层具体的天然气地质条件,总结出四种主要的天然气成藏模式。

4.1 天然气沿不整合面短距离运移基岩风化壳成藏模式

断陷边缘基岩凸起上因地壳抬升、遭受风化剥蚀物性大大改善而形成基岩风化壳圈闭。沙河子组—营城组气源岩排出的天然气即可沿不整合面的裂缝与孔隙网络系统斜向运移到基岩风化壳圈闭中聚集,在登二段泥岩的封盖下即可形成基岩风化壳气藏,如图 5 所示。目前已发现的基岩风化壳气藏主要有:昌 401



a. 天然气沿不整合面向短距离运移基岩风化壳成藏模式 b. 天然气沿裂缝运移源岩内火山岩成藏模式；
c. 天然气沿不整合或砂体和断层长距离运移古隆起之上各种类型圈闭成藏模式 d. 天然气沿砂体侧向运移地层超覆圈闭成藏模式。

图 5 大庆长垣以东地区天然气运聚成藏模式

Fig.5 The gas migration and accumulation models of deep strata in Daqing placanticline and its eastern area

井基岩气藏、昌 102 井基岩气藏、二深 1 井基岩气藏、汪家屯构造基岩气藏、肇洲西基岩气藏。

4.2 天然气沿裂缝运移源岩区内火山岩成藏模式

断层活动在沙河子组—营城组火山岩中产生大量的伴生裂缝，改善了火山岩体的储集空间，同时也为天然气向火山岩储集空间中运移提供了通道条件。沙河子组—营城组气源岩生成排出的天然气只需沿断裂缝初次运移便可进入火山岩体，从而形成火山岩天然气藏，目前已发现的火山岩气藏主要有芳深 6、芳深 7、芳深 8、芳深 9 火山岩气藏和升深 1、升深 2 火山岩气藏。

4.3 天然气沿不整合面或砂体和断层长距离运移古隆起之上各种类型圈闭成藏模式

断层与砂体组合在古隆起之上形成断背斜、断鼻、岩性—断层圈闭，这些圈闭随着青山口组沉积中期断层活动停止而定型。沙河子组—营城组气源岩生成排出的天然气伴随断层活动沿不整合面和断层进行侧向和垂向运移，途中遇到适合的圈闭（断块、断鼻、岩性—断层背斜）而形成天然气藏，如汪家屯构造登娄库组、泉一段和三站泉二段断块气藏，薄荷台登娄库组、三站泉二段断鼻气藏，昌德登娄库组、升平登娄库组断背斜气藏以及昌五登娄库组岩性—断层气藏。

4.4 天然气沿砂体侧向运移地层超覆圈闭成藏模式

在断陷四周的古隆起斜坡上常形成地层超覆圈

闭，营城组沉积末期圈闭定型，此时气源岩已达到生烃门限，生成的天然气经初次运移进入连通砂体输导层，只需沿着这些砂体侧向运移即可以在地层超覆圈闭中聚集成藏，如图 5 所示。如昌德东沙河子组—营城组地层超覆圈闭气藏。

5 有利勘探靶区的选择

综合上述天然气成藏的控制因素及成藏模式可以得到，徐家围子断陷和莺山断陷四周古隆起上及两侧尚未钻探的基岩风化壳、地层超覆圈闭和沙河子组—营城组源岩内的火山岩体应是该区深层下一步天然气勘探的有利目标。

参 考 文 献

- 1 付广，薛永超，杨勉. 大庆长垣以西地区深部及中下部油气封盖条件差异性分析[J]. 大庆石油地质与开发, 2000, 19(3): 8~12
- 2 吕延防，付广，高大岭等. 油气藏封盖研究[M]. 北京：石油工业出版社, 1996. 4~30
- 3 付广，吕延防，薛永超，杨勉. 油气运移通道及其对成藏的控制[J]. 海相油气地质, 1998, 24~31
- 4 庞雄奇，陈章明，陈发景. 含油气盆地地史、热史、生排烃史数值模拟研究及烃源岩定量评价[M]. 北京：地质出版社, 1993. 54~58

Factors Controlling the Formation of Gas Reservoirs and Gas Accumulation Models in Daqing Placanticline and Its Eastern Area

FU Guang XUE Yong-chao FU Xiao-fei

(Daqing Petroleum Institute Anda Heilongjiang 151400)

Abstract

Through studying gas distribution characteristics of deep strata in Daqing placanticline and its eastern area , this paper puts forward four factors controlling the formation of gas reservoirs in deep strata. They include conditions of gas source rock , caprock , fault and surface of unconformity. And furthermore we analyzed their controls the formation of gas reservoirs. Based on these , the paper delineates four kinds of gas accumulation models in deep strata , including the accumulation models of gas migration shortly through surface of unconformity into weathering crust of basement , gas migrating through fracture into volcanic rock in gas source rock , gas migrating through surface of unconformity or sandbody and fault into all kinds of traps over the ancient uplift , as well as the accumulation model of gas migrating laterally through sandbody into stratigraphic overlap traps , finally this paper prospect the favorable gas exploration targets in deep strata.

Key words Daqing placanticline and its eastern area , deep strata , gas reservoirs , controlling factors , accumulation models , conditions of gas source rock , conditions of caprock , fault , unconformity