DOI:10.13278/j.cnki.jjuese.2007.04.018
第37卷 第4期 吉林大学学报(地球科学版) Vol.37 No.4
2007年7月 Journal of Jilin University(Earth Science Edition) July 2007

松辽盆地庆深气田火山岩储层的微观结构研究

曲延明[1],舒 萍[1],纪学雁[1], 田新[1],白雪峰[1,2],王璞珺[2]
1.大庆油田勘探开发研究院,黑龙江 大庆 163712
2.吉林大学 地球科学学院,长春 130061

摘要:松辽盆地营城组火山岩是庆深气田主要的储层。火山岩储集空间主要有4种组合类型,其中溶蚀孔+微孔隙型最为常见。孔隙是主要的储集空间,裂缝平均孔隙度为0.101%,主要起连通作用。通过火山岩样品的压汞分析,将毛细管压力曲线分为Ⅰ~Ⅴ类。最大孔喉半径为4.9μm,分选系数为0.3~2.6,孔喉歪度为粗歪度。综合储层微观结构研究成果和试气结果分析认为:(1)火山通道相的火山角砾岩和角砾熔岩、喷溢相上部亚相的气孔流纹岩和侵出相内带亚相的球粒流纹岩和珍珠岩为好储层;(2)研究区储层孔隙结构以微孔喉为主、孔喉比大、孔喉的连通性及渗流能力较弱等特点,储层以Ⅱ、Ⅲ类孔喉为主,大部分气井需大型压裂改造,才能达到工业气流。

关键词:松辽盆地;火山岩储层;微观结构;特征参数
中图分类号:P618.13 文献标识码:A 文章编号:1671-5888(2007)04-0721-05

Micro-fabrics of Reservoir Volcanic Rocks in the Qingshen Gas Field of the Songliao Basin

QU Yan-ming[1], SHU Ping[1], JI Xue-yan[1], DING Ri-xin[1], BAI Xue-feng[2], WANG Pu-jun[2]
1. *Daqing Exploration & Development Institute, Daqing, Heilongjiang* 163712, *China*
2. *College of Earth Sciences, Jilin University, Changchun* 130061, *China*

Abstract: The volcanic rocks of the Early Cretaceous Yingcheng Formation are the main reservoir rocks in the Qingshen gas field of the Songliao Basin. Reservoir space is classified as fissure and pore, the latter is premier and the former serves as main tunnels for fluid migration. There are 4 types of reservoir spaces, and the most common one is combined disoloved emposieu and micropore. By mercury penetration analyzing of volcanic samples, capillary pressure curves are on a scale from Ⅰ to Ⅴ. Volcanic breccias and breccias lava developing from volcanic conduit, vesicle rhyolith developing from intrafacies on top of effusion facies, and pyromeride or pearlite from inner zone intrafacies of intruded facies, are suggested to be the best reservoirs. Their sorting coefficient is from 0.3 to 2.6, coarse skewness, maximum pore throat's radius is 4.9 μm, thus being of better reservoir's physical properties. In all the ways, reservoir's pore structure of the region is featured by dominance of micropore throat, big proportion of pore and throat and wider distribution range. These reservoirs need commonly extensive fracture treatment so that commercial gas flows can be gained.

收稿日期:2006-09-10
基金项目:国家自然科学基金项目(40372066);高等学校博士学科点专项科研基金项目(20030183042)
作者简介:曲延明(1977-),男,黑龙江齐齐哈尔人,工程师,主要从事火山岩气藏开发地质研究,Tel:0459-5508173,E-mail:quyanming@petrochina.com.cn
通讯联系人:王璞珺(1959-),男,黑龙江绥滨人,教授,博士生导师,主要从事油气地质勘查、火山岩储层和沉积学研究,Tel:0431-88502620,E-mail:wnagpj@jlu.edu.cn。

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

Key words: Songliao Basin; volcanic reservoir; micro-fabrics; feature parameter

庆深气田位于松辽盆地徐家围子断陷的中部,主要由兴城、升平、昌德和汪家屯4个区块组成。庆深气田储层主要为营城组一段和三段的火山岩。岩石类型为熔岩和火山碎屑岩,熔岩主要有流纹岩、英安岩、粗面岩和粗安岩等,火山碎屑岩主要有凝灰岩、火山角砾岩和集块岩等,另外还有熔结集块岩、熔结角砾岩和熔结凝灰岩等熔岩与火山碎屑岩的过渡类型[1,2]。储集空间由裂隙和孔隙组成,不同岩性孔、缝配置关系不同,总体上看主要有4种类型。

目前,对庆深气田的研究重点已从勘探阶段转向开发阶段。庆深气田是特大火山岩气藏,国内外对这类大型特殊气藏开发还缺少实践。为了防止在开发过程中对气藏的破坏和提高气藏的采收率,需要对气藏的储层微观结构进行详细的研究。本次研究从岩心观察、普通薄片入手,采用高压压汞和恒速压汞等多种技术手段,对庆深气田火山岩储层的微观孔隙结构进行了深入的分析和研究。这些研究成果为庆深气田设计开发方案的实施方法和步骤提供科学的地质依据。

1 火山岩储层储集空间特征

由于火山岩储层具有孔隙、裂缝双重介质特征,孔、缝配置关系复杂[3],其储集空间的形成演化过程是非常复杂的,其中构造作用和溶蚀作用是控制火山岩储层发育的主要因素。构造运动使得非常致密的火山岩产生了许多裂缝。火山岩越致密,脆性越强,构造裂缝越容易形成和保存,这些裂缝不但使孤立的原生气孔得以连通,而且还增大了火山岩的储集空间;而淋滤溶蚀作用在大多火山岩中也较为常见,主要为长石晶屑被溶蚀现象,大大改善火山岩储集层的物性[4~6]。

1.1 孔隙发育特征

各类孔隙是火山岩储层主要的储集体,通过岩心和铸体薄片的观察,研究区主要火山岩孔隙类型包括以下几种:气孔、气孔被充填后的残余孔、杏仁体内孔、流纹质玻璃脱玻化产生的微孔隙、长石溶蚀孔、火山灰溶蚀孔、碳酸盐溶蚀孔、石英晶屑溶蚀孔、砾内砾间孔等类型。其中气孔、流纹质玻璃脱玻化产生的微孔隙、长石溶蚀孔、火山灰溶蚀孔和砾内砾间孔等是主要的孔隙类型。

各类储集空间一般不单独存在,而是以某种组合形式出现。流纹岩主要为气孔和脱玻化孔,其次有少量长石溶蚀孔;流纹质熔结凝灰岩中以气孔和火山灰溶孔为主,并有一定含量的长石溶孔;流纹质凝灰岩主要为火山灰溶蚀;火山角砾岩以砾内砾间孔为主,粗面岩主要为长石溶蚀,其次是气孔。

1.2 裂缝发育特征

裂缝是本区火山岩储层流体运移的主要通道,根据岩心观察,本区火山岩储层的裂缝主要以构造裂缝、炸裂缝、冷凝收缩缝和溶蚀缝为主,对储层具改造作用的是构造裂缝和溶蚀缝。储层的构造裂缝大致可分为3期①:早期和中期一般为方解石和泥质等充填或半充填的裂缝;晚期一般为未被充填的裂缝。

通过大量的岩心和薄片资料,开展了储层裂缝描述和统计分析,未被充填的开启缝为有效缝,占裂缝总量的68%。本区火山岩储层裂缝密度平均为3.4条/m,裂缝宽度平均为0.09 mm,裂缝平均孔隙度为0.101%,产状主要为高角度裂缝。裂缝主要起连通作用,常切穿气孔,使多个气孔相互连通,成为良好的渗流通道。从岩性上看,熔结凝灰岩、晶屑凝灰岩和角砾熔岩的构造裂缝发育程度较高,熔结凝灰岩的成岩缝最为发育。

1.3 储集空间类型

本文将研究区火山岩的储集空间组合类型主要归为以下4种:(1)粒间孔+溶蚀孔+裂缝型,储集空间以粒间孔、溶蚀孔为主,微孔隙次之,宏观裂缝较发育,裂缝主要起连通作用,是最有利的储集空间组合类型,常见于流纹质角砾岩中;(2)溶蚀孔+微孔隙型,储集空间以较小溶蚀孔隙为主,微孔隙次之,见少量粒间孔缝,主要见于风化壳流纹质凝灰岩中,比与裂缝结合的孔隙类型差一些;(3)微孔隙+微裂缝型,储集空间以微孔隙为主,少量溶蚀孔及微裂缝,主要见于凝灰岩及少部分集块岩中,是较差的储集空间组合类型;(4)微孔隙,储集空间只以微孔为主,主要见于凝灰岩中,是最差的储集空间组合类型。本区以第二种储集空间组合类型为主。

2 火山岩储层的微观结构

应用压汞毛细管压力曲线可定性研究储层孔隙

① 中石油勘探开发研究院,大庆油田有限责任公司.徐深气田兴城开发区徐深1区块初步开发方案.2006.

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

结构类型, 定量研究储层孔隙结构特征参数。毛细管压力曲线上任意一点, 都代表了一定的孔隙喉道半径, 而孔隙、喉道又直接影响储层的孔隙度和渗透率, 为此, 利用毛细管压力曲线可以研究储层的储集性质或孔隙结构。

2.1　毛细管压力曲线特征

对研究区火山岩样品所做的压汞分析[7] (表 1), 将储层毛细管压力曲线划分为 5 种类型(图 1), 分别是: Ⅰ 类曲线向图的左方靠, 凹向左, 歪度较粗, 证明以粗孔隙为主, 曲线出现一近似平台, 表明孔喉大小较集中, 分选性较好; Ⅱ类曲线倾斜, 平台不明显, 孔喉分布歪度较细, 分选较差; Ⅲ类曲线向图的右上方靠, 凹向左下, 平台不发育, 为细歪度, 分选性差; Ⅳ类曲线向图的右上方靠, 凹向左下, 无平台发育, 歪度较细, 分选差; Ⅴ类曲线向图的右上方靠, 凹向左下, 无平台发育, 歪度极细, 分选差, 不能做储层。从毛细管压力曲线形态变化特征角度看, Ⅰ 和 Ⅱ类属于平台类, 该类反映的储层物性最好。Ⅲ、Ⅳ 和 Ⅴ类属于斜坡类, 该类储层物性较差或非储层。Ⅰ 和 Ⅱ类储层岩性主要为火山通道火山颈亚相的流纹质角砾熔岩、隐爆角砾岩亚相的火山角砾岩、喷溢相上部亚相的气孔流纹岩和侵出相内带亚相的球粒流纹岩和珍珠岩等。

表 1　庆深气田典型岩性和岩相的火山岩压汞数据表

Table 1　Mercury penetration datum of typical lithology and facies of volcanic in Qingshen gas field

评价	井号	深度 /m	岩　性	岩　相	渗透率 /$10^{-3}\mu m^2$	孔隙度 /%	毛细管压力孔隙结构特征					备 注
							R_a	S_p	S_{kp}	D_m	P_{cd}	
Ⅰ	徐深 8 井	3 703~3 767	流纹质角砾熔岩	火山通道火山颈亚相	8.14	16.47	4.522	0.303	0.199	0.945	0.52	气水同层
	徐深 6 井	3 834~3 860	流纹质角砾熔岩、流纹岩	侵出相内带亚相	3.58	9.54	4.854	1.264	0.491	0.783	2.94	气水同层
	徐深 9 井	3 586~3 616	气孔流纹岩	喷溢相上部亚相	2.87	8.937	0.182	1.540	−0.004	0.066	2.63	气层
	徐深 1 井	3 578~3 705	流纹质含集块火山角砾岩	火山通道隐爆角砾亚相	0.56	6.38	1.867	0.529	0.171	0.334	2.61	气层
	徐深 1—1 井	3 408~3 413	灰色流纹质沉凝灰岩	爆发相热碎屑流亚相	0.11	8.23	0.366	0.072	1.753	0.048	5.44	气层
Ⅱ	徐深 601 井	3 515~3 545	流纹质含凝灰熔结角砾岩	侵出相外带亚相	0.24	7.00	0.259	1.481	0.547	0.104	3.02	气层
	徐深 902	3 754~3 761	致密流纹岩	喷溢相中部亚相	0.17	5.98	0.508	1.260	−0.378	0.073	8.82	—
	徐深 8 井	3 635~3 686	流纹质晶屑熔结凝灰岩	爆发相热碎屑流亚相	0.03	6.98	0.224	1.083	0.450	0.102	3.96	气层
Ⅲ	徐深 601 井	3 551~3 585	流纹质晶屑凝灰岩、角砾岩、流纹岩	爆发相空落、热碎屑流亚相和喷溢相下部亚相	0.02	5.50	0.087	1.632	0.619	0.035	8.42	气层
	徐深 5 井	3 666~3 673	流纹质晶屑熔凝灰岩	爆发向热碎屑流	0.05	3.32	0.040	2.031	1.247	0.004	19.95	气层
	徐深 9 井	3 876~3 883	细晶流纹岩	喷溢相下部亚相	0.04	4.52	0.260	1.640	−0.088	0.062	5.49	气水同层
	徐深 1 井	3 447~3 523	流纹质含火山角砾晶屑凝灰岩	火山通道火山颈亚相, 爆发相热碎屑流亚相	0.19	6.52	0.351	2.508	0.331	0.154	2.59	气层
	徐深 401 井	4 178~4 190	绿色火山角砾岩	爆发相热碎屑流亚相	0.14	6.75	1.500	2.579	−0.231	0.237	3.96	气水同层
Ⅳ	徐深 602 井	4 019~4 026	流纹质集块岩	爆发相空落亚相	0.07	3.43	0.037	0.728	−1.000	0.008	22.58	—
	徐深 9 井	3 706~3 806	英安质角砾熔岩	喷溢相下部亚相	0.04	2.31	0.576	2.033	−0.500	0.122	9.12	—
Ⅴ	徐深 502 井	3 989~4 088	含角砾晶屑浆屑熔结凝灰岩	爆发向热基浪亚相	0.01	2.30	0.027	2.387	−1.00	0.004	27.53	—

注: R_a. 最大孔喉半径(μm); P_{cd}. 排驱压力(MPa); D_m. 平均孔喉半径(μm); S_p. 分选系数; S_{kp}. 歪度; — 未试气

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

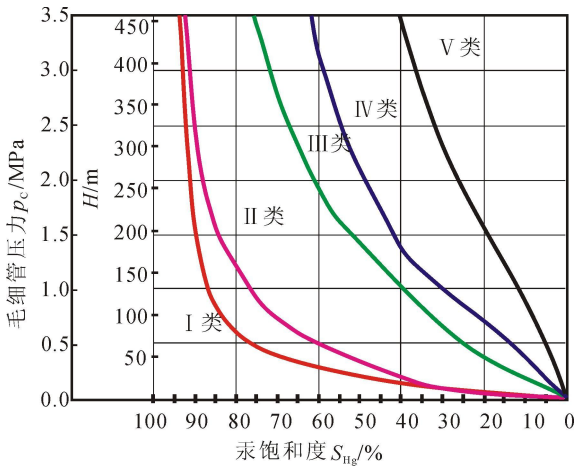

图1　庆深气田火山岩储层分类气水毛管压力曲线图

Fig. 1　Capillary pressure curves of volcanic reservoirs in Qingshen gas field

2.2　储层孔隙结构的定量分析

在研究储层孔隙结构时，除应用毛细管曲线形态外，更重要的是从曲线及其衍生图件提取定量特征参数[8]，数据见表1。

2.2.1　孔喉大小参数

利用恒速压汞检测结果，能够提供岩样内部的喉道发育程度、孔隙发育程度及孔隙与喉道之间的配套发育程度等微观孔隙结构特征详尽信息。研究区储层的R_a为0.02～4.9 μm，从整体上看Ⅰ类和Ⅱ类储层的最大孔喉半径为4.9 μm，反映孔隙结构孔喉相对较粗的特点，喉道发育程度较好(图2a)。其它三类的最大孔喉半径小于0.4 μm，其孔隙结构为细孔喉，喉道发育程度、孔隙发育程度均较差(图2b)。

2.2.2　孔喉分选性的参数

(1)分选系数S_p反映孔喉大小均一程度的参数。孔喉大小越均一，其分选性越好，S_p越接近于零，此时，毛细管压力曲线就会出现一个平台，其累积频率曲线十分陡峭；反之，分选性越差，S_p越大，此时，毛细管压力曲线弯曲幅度变小，其累积频率曲线变平缓。一般$S_p > 3.0$时，分选性极差。

(2)孔喉歪度S_{kp}为孔喉大小分布的对称性参数，反映众数的相对位置。众数偏向粗孔喉一端称为粗歪度，反之为细歪度。对于储层来说，当$S_{kp}=0$时为对称分布，$S_{kp}>0$时为粗歪度(正偏态)，$S_{kp}<0$时为细歪度(负偏态)。

研究区分选系数在0.3～2.6，Ⅰ和Ⅱ类储层的分选系数为0.3～1.5，反映分选性较好，其它三类储层的分选系数大于1.5，反映分选性差。从整体上看，歪度值大部分都大于零，反映其孔喉歪度为粗歪度，主要集中在Ⅰ和Ⅱ类储层。少数为细歪度主要集中在后三类储层。

2.2.3　孔喉连通性和渗流能力的参数

排驱压力P_{cd}为非润湿相流体开始进入岩石最大连通孔隙喉道所需要的压力值，P_{cd}越小，最大连通孔隙喉道就越大，孔喉的连通性及渗流能力就越好。研究区的P_{cd}为0.52～27.53 MPa，Ⅰ类和Ⅱ类储层的P_{cd}为0.52～8.82 MPa，反映孔喉的连通性及渗流能力较强。后三类储层的排驱压力大多数大于8 MPa，反映孔喉的连通性及渗流能力弱。

通过前面对储层孔隙结构分析，总体认为研究区储层非均质性严重，以微孔喉为主、存在孔喉比大、孔喉的连通性及渗流能力较弱等特点，表明大孔隙被小喉道控制，这对孔隙中气体的采出是不利的，开发过程中储层具有潜在的水锁伤害。

2.3　储层分类评价

火山岩储层的发育受构造因素、火山喷发和成岩作用的影响，储层厚度和物性变化大，条带明显，受断裂的控制明显，火山头附近Ⅰ类、Ⅱ类储层发育，是优质储层发育区。

根据大量的测试分析资料，并结合试油、试采资

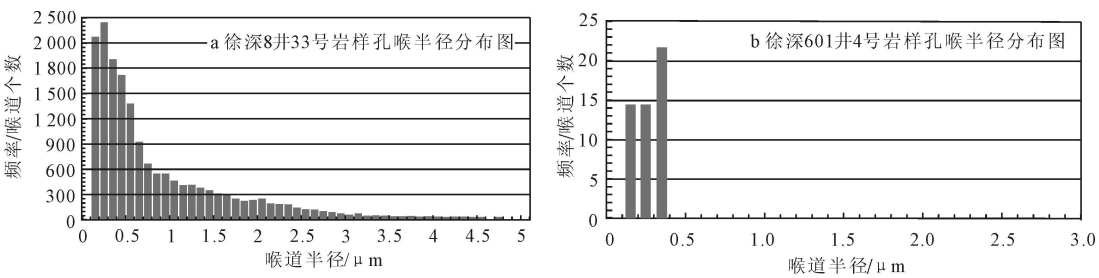

图2　恒速压汞反映的孔隙结构特征

Fig. 2　Pore architectural features reflected by constant rate mercury-injection method

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

料及储层条件分析结果, 建立了适合本区的储层分类表(表 2); 储层以Ⅱ、Ⅲ类为主, Ⅱ类约占 25%, Ⅲ类约占 40%, 大部分气井需大型压裂改造, 才能达到工业气流。

表 2　火山岩储层分类评价表

Table 2　Classified evolution of volcanic reservoir

储层分类	有效厚度/m	孔隙度/%	含气饱和度/%	渗透率/$10^{-3}\mu m^2$	平均孔喉半径/μm	岩石密度/(g·cm^{-3})	试气产能
Ⅰ	＞50	＞8	＞60	＞0.5	＞0.3	＜2.4	自然产量高产
Ⅱ	50～30	8～6	60～55	0.5～0.1	0.3～0.15	2.4～2.45	压后产量高产
Ⅲ	30～10	6～3	55～50	0.1～0.05	0.15～0.03	2.45～2.5	压后产量工业
Ⅳ	＜10	3～2	50～40	0.05～0.03	＜0.03	2.5～2.53	压后低产
Ⅴ	＜10	＜2	＜40	＜0.03	＜0.03	＞2.53	干层

3　结　论

综上所述, 本区火山岩储层有以下几个特点:

(1)研究区火山岩储层具有孔隙、裂缝双重介质特征, 孔隙是主要的储集空间, 裂缝主要起连通作用, 储集空间主要有 4 种组合类型, 其中溶蚀孔＋微孔隙型最为常见。

(2)火山通道火山颈亚相的流纹质角砾熔岩、隐爆角砾岩亚相的火山角砾岩、喷溢相上部亚相的气孔流纹岩和侵出相内带亚相的球粒流纹岩和珍珠岩储层物性最好。

(3)研究区储层非均质性严重, 以微孔喉为主、存在孔喉比大、孔喉的连通性及渗流能力较弱等特点, 表明大孔隙被小喉道控制, 这对孔隙中气体的采出是不利的, 开发过程中储层具有潜在的水锁伤害。

(4)庆深气田火山岩储层以Ⅱ、Ⅲ类孔喉为主, 大部分气井需大型压裂改造, 才能达到工业气流。

参考文献(**References**):

[1] 蒙启安, 王璞珺, 杨宝俊, 等. 松辽盆地断陷期超层序界面的地质属性刻画及其油气地质意义[J]. 地质论评, 2005, **51**(1): 46－52.
MENG Qi-an, WANG Pu-jun, YANG Bao-jun, et al. Geological signatures of sequence boundary of the Songliao Basin: New interpretation and their relation to gas accumulation[J]. Geological Review, 2005, **51**(1): 46－52.

[2] 刘启, 舒萍, 李松光. 松辽盆地北部深层火山岩气藏综合描述技术[J]. 大庆石油地质与开发, 2005, **24**(3): 21－23.
LIU Qi, SHU Ping, LI Song-guang. Integrated description technique for deep volcanic gas reservoir in Northern Songliao Basin[J]. Petroleum Geology & Oil Field Development in Daqing, 2005, **24**(3): 21－23.

[3] 赵澄林. 特殊油气储层[M]. 北京: 石油工业出版社, 1997.
ZHAO Cheng-lin. Special oil-gas reservoir[M]. Beijing: Petroleum Industry Press, 1997.

[4] 刘万洙, 王璞珺, 门广田, 等. 松辽盆地北部深层火山岩储层特征[J]. 石油与天然气地质, 2003, **24**(1): 28－31.
LIU Wang-zhu, WANG Pu-jun, MENG Guang-tian, et al. Characteristics of deep volcanic reservoirs in Northern Songliao Basin[J]. Oil & Gas Geology, 2003, **24**(1): 28－31.

[5] 王璞珺, 迟元林, 刘万洙, 等. 松辽盆地火山岩相: 类型、特征和储层意义[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2003, **33**(4): 449－456.
WANG Pu-jun, CHI Yuan-lin, LIU Wan-zhu, et al. Volcanic facies of the Songliao Basin: classification, characteristics and reservoir significance[J]. Journal of Jilin University (Earth Science Edition), 2003, **33**(4): 449－456.

[6] 王璞珺, 吴河勇, 庞颜明, 等. 松辽盆地火山岩相: 相序、相模式与储层物性的定量关系[J]. 吉林大学学报(地球科学版), 2006, **36**(5): 805－812.
WANG Pu-jun, WU He-yong, PANG Yan-ming, et al. Volcanic facies of Songliao Basin: sequence, modle and the quantitative relationship with porosity & permeability of volcanic reserveoir[J]. Journal of Jilin University(Earth Science Edition), 2006, **36**(5): 805－812.

[7] 蔡国钢, 张坤, 刘立. 辽河盆地东部凹陷中部火山岩储层特征研究[J]. 海洋石油, 2003, **23**(2): 32－37.
CAI Guo-gang, ZHANG Kun, LIU Li. The reservoir characteristics of the middle section volcanic rock of the eastern sag on Liaohe Basin[J]. Offshore Oil, 2003, **23**(2): 32－37.

[8] 洪秀娥, 戴胜群, 郭建宇. 应用毛细管压力曲线研究储层孔隙结构——以卫城油田 Es_4 储层为例[J]. 江汉石油学院学报, 2002, **24**(1): 53－54.
HONG Xiu-e, DAI Sheng-qun, GUO Jian-yu. Study on reservoir pore structure by using capillary pressure curve— taking Es_4 reservoir in Weicheng oilfield as an example[J]. Journal of Jianghan Petroleum Institute, 2002, **24**(1): 53－54.

?1994-2016 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net