文章编号：1004—5589（2017）01—0195—07

塔木察格盆地南贝尔凹陷塔Ⅱ油层组火山碎屑岩储层特征研究

师江波

大庆油田有限责任公司 勘探开发研究院，黑龙江 大庆 163712

摘要：蒙古国塔木察格盆地南贝尔凹陷下白垩统塔Ⅱ油层组的主要岩石类型为岩屑长石砂岩和凝灰质砂岩，其储层物性、成岩作用特征与正常沉积岩相比具有独特性。应用偏光显微镜、扫描电镜及X射线衍射分析等测试手段，对研究区储集层的岩石学特征、物性特征、成岩作用及演化等进行了详细研究。结果表明：粒间孔、杂基间微孔、粒间溶孔等是塔木察格盆地南贝尔凹陷塔Ⅱ油层组的主要孔隙类型；塔Ⅱ油层组储层成岩阶段以中成岩阶段A期为主，压实作用和胶结作用是造成储层孔隙度降低的主要因素，长石和凝灰质物质的溶蚀溶解作用有利于次生孔隙的形成。

关键词：塔木察格盆地；南贝尔凹陷；火山碎屑岩；成岩作用；储层特征

中图分类号：P618.130 **文献标识码**：A **doi**：10.3969/j.issn.1004-5589.2017.01.017

Characteristics of volcaniclastic rock reservoirs of Ta Ⅱ Formation of South Buir Sag in Tamtsag Basin, Mongolia

SHI Jiang-bo

Exploration and Development Research Institute, Daqing Oil field Ltd Co., Daqing 163712, Heilongjiang, China

Abstract: A set of volcaniclastic rocks were developed in the Lower Cretaceous Ta Ⅱ Formation of South Buir Sag in Tamtsag Basin of Mongolia. The main rock types are lithic arkose and tuffaceous sandstone, of which the reservoir physical properties and diagenesis are different from normal sedimentary rocks. Detailed studies were carried on the petrology, physical properties, diagenesis and evolution of reservoirs, using polarizing microscope, scan electron microscope and X ray diffraction. The results indicate that intergranular pore, micropore among matrix and intergranular dissolution pores are the main pore types of Ta Ⅱ Formation. The main diagenetic phase belongs to stage A of middle diagenesis phase. Compaction and cementation were the main factors reducing reservoir porosity, and the secondary porosity zone was developed because of erosion-dissolution of feldspar and tuffaceous material.

Key words: Tamtsag Basin; South Buir Sag; pyroclastic rock; diagenesis; reservoir characteristics

0 引言

随着油气勘探工作的深入，火山碎屑岩储层成为油气勘探的新领域[1]。与火山岩及正常碎屑岩相比，火山碎屑岩在储层物性、成岩作用等方面具有明显差异[2]。塔木察格盆地是大庆油田首次收购和独立勘探开发的海外油田区块，也是大庆油田稳产的重要接替区块[3]。

塔木察格盆地位于蒙古国东部地区，与海拉尔盆地属于同一沉积盆地[4]，其中南贝尔凹陷是中

收稿日期：2016-04-18；**改回日期**：2017-01-10
基金项目：国家油气重大专项“岩性地层油气藏成藏规律、关键技术及目标评价”（2011ZX05001）资助.

国贝尔凹陷向南的延伸部分（图 1）。塔Ⅱ油层组地层属于上白垩统南屯组的一个地层单元，厚度范围 70 ~ 90 m，以凝灰质砂岩和粉砂岩夹薄层泥岩为主体，单层砂体厚度较大，一般 6 ~ 10 m，局部夹 1 ~ 2 cm 凝灰岩薄层，凝灰质成分的发育对储层物性具有较大影响，影响油气的运聚[5]。因此，寻找良好的火山碎屑岩储层就成为勘探的关键。

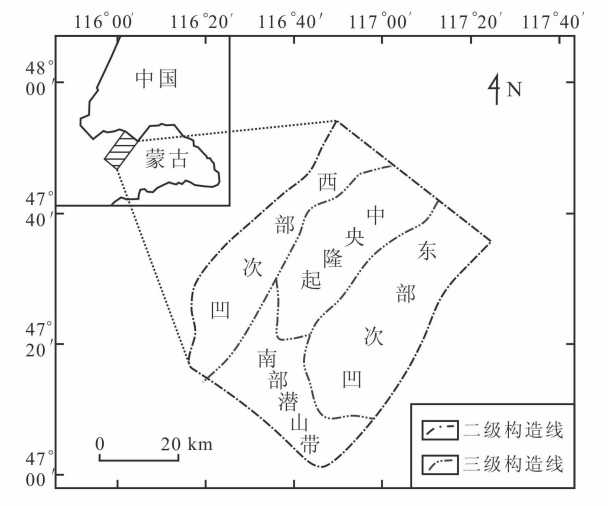


图 1 塔木察格盆地南贝尔凹陷区域图

Fig. 1 Regional position in South Buir Sag of Tamtsag Basin

目前对塔木察格盆地的储层研究多以凹陷或地层组为单元开展研究[2,4,5]，笔者通过对南贝尔凹陷塔Ⅱ油层组火山碎屑岩储层的岩石学特征、孔隙类型及成岩作用特点等方面的研究，分析主要成岩作用事件对火山碎屑岩储层物性的影响，为深化塔木察格盆地火山碎屑岩储层和成藏研究提供岩石学依据。

1 岩石学特征

岩矿分析表明：塔Ⅱ油层组储层主要岩石类型为岩屑长石砂岩和凝灰质砂岩，岩屑组分以火山岩岩屑为主，包括凝灰岩岩屑、安山岩岩屑及玻璃质岩屑等，含量达 60% ~ 80%，岩屑成分以石英和长石及长英质集合体（火山玻璃）为主，含有少量铁镁质矿物，组分稳定性较差，因此在成岩过程中极易发生次生变化。

砂岩储层填隙物组分总体含量不高，胶结物含量大于杂基含量。胶结物以硅质胶结和碳酸盐胶结为主，其中硅质胶结物发育较普遍，以石英次生加大和硅质充填的形式存在，含量为 0 ~ 16.0%，平均 4.3%；碳酸盐胶结以方解石为主，含量为 1.0% ~ 40.0%，平均 14.3%，其次是泥晶碳酸盐，胶结类型以孔隙式为主[6]。杂基主要为凝灰质杂基，含量为 1.0% ~ 30.0%，平均 5.9%，在成岩过程中，由于凝灰质成分的脱玻化、重结晶等作用，导致杂基含量变化范围较大，有自生矿物形成，绿泥石最发育，其次是伊利石和高岭石。

2 储集层的孔隙类型与物性特征

通过对研究区岩石薄片分析、扫描电镜和图像等综合分析，并依据次生孔隙识别标准[7]和碎屑岩储层次生孔隙分类方法[8]，得出研究区南屯组塔Ⅱ油层组的主要孔隙类型为粒间孔、杂基间微孔、粒间溶孔等。

表 1 为塔Ⅱ油层组储层的孔隙类型分类表，由表 1 可见，在原生孔隙中，杂基孔数量较多，连通性好，因此总体孔隙体积较大，对储层贡献较大。同时，粒间孔和残余粒间孔也具有重要作用。次生孔隙中，由于研究区在白垩纪末期强烈隆升，原有部分地层被剥蚀，形成不整合面[2]，大规模的次生溶蚀孔隙，具有积极作用。

对塔Ⅱ油层组大量孔隙度、渗透率数据的分析（图 2）表明，孔隙度值分布范围是 0.6% ~ 31.8%，平均 13.3%，主要为 10% ~ 20%；渗透率分布范围是（0.01 ~ 115.90）$\times 10^{-3}$ μm^2，平均 17.6×10^{-3} μm^2，主要为（0.05 ~ 10）$\times 10^{-3}$ μm^2，总体上为低孔低渗储层，同时该油层组的孔

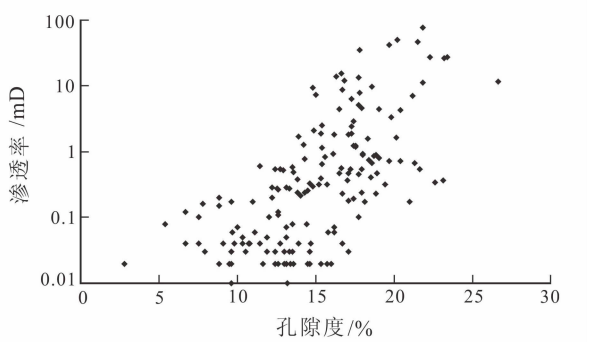


图 2 塔Ⅱ油层组储层孔隙度-渗透率关系图

Fig. 2 Relational graph of porosity and permeability of sandstone of Ta Ⅱ Formation

表 1　塔Ⅱ油层组储层的孔隙类型分类表

Table 1　Classification table of pore types of Ta Ⅱ Formation

	孔隙类型	孔隙特征	所占比例/%	孔隙大小	有效性
原生孔隙	粒间孔	三角形粒间孔 不规则形状粒间孔	10	大	很好
	残余粒间孔	微晶石英沉淀残余粒间孔 次生石英加大残余粒间孔 黏土矿物残余粒间孔	15	大	较好
	粒内孔	玻屑粒内孔	5	小	较差
	杂基间微孔		15	小	较好
次生孔隙	粒内溶孔	长石粒内溶蚀孔 长石铸模孔 玻屑粒内溶蚀孔	10	较大	一般
	粒间溶孔		20	较大	较好
	溶蚀微孔隙	方解石溶蚀孔	10	较小	一般
	溶蚀孔洞		10	大	较好

隙度与渗透率呈明显的正相关关系。综合分析，塔Ⅱ油层组储集层受沉积相带及成岩作用等控制因素的影响，其内部小层的物性特征有较大差别。

3　成岩序列与成岩阶段的确定

根据自生矿物或成岩事件首次出现的先后次序、自生矿物的种类及组合关系，结合镜质体反射率特征、最高热解温度、黏土矿物组合等划分标志，参照中国石油与天然气行业标准《碎屑岩成岩阶段划分（SY/T5477–2003）》，认为本区塔Ⅱ油层组储层处于早成岩阶段 B 期和中成岩阶段 A 期，以中成岩阶段 A 期为主，并归纳研究区的成岩演化序列、成岩阶段划分及孔隙演化曲线（图 3）。塔Ⅱ油层组储层镜质体反射率 *R*o 测定值为 0.48% ~1.34%，属于有机质成熟期，古地温范围为 60℃ ~120℃，岩石最高热解温度范围 440℃ ~460℃。砂岩中典型的黏土矿物组合由伊利石 + 伊蒙混层 + 高岭石 + 绿泥石组合（I + I/S + K + C）和伊利石 + 伊蒙混层 + 绿泥石 + 高岭石组合（I + I/S + C + K）组成，微晶石英、石英次生加大和方解石普遍发育，钠长石、长石次生加大和白云石相对发育，长石溶解普遍。

4　成岩作用及其对储层物性的影响

成岩作用在砂岩的成岩演化过程中对储层物性的破坏和改善起关键性作用[9]。笔者认为研究区塔Ⅱ油层组砂岩储集层在埋藏成岩过程中主要经历了脱玻化作用、压实作用、胶结作用和溶蚀溶解作用等成岩作用，并在早期由于渗滤作用导致该区骨架颗粒中普遍发育有黏土矿物包壳（图版 I – a）。

4.1　脱玻化作用

在火山玻璃脱玻化转变为玉髓及石英过程中，脱玻化作用导致矿物的体积收缩，形成微孔隙，同时脱玻化作用形成的铝硅酸盐等矿物在酸性流体的作用下又发生溶蚀，产生了溶蚀孔隙，有助于微小喉道的形成和发育。本区的脱玻化作用导致玻璃质成分重结晶形成鸡肋状的长英质物质或微晶石英（图版 I – b、I – c），并发生于整个成岩作用时期。

4.2　压实作用

本区的压实作用主要表现为抗压性弱的碎屑颗粒（云母、泥岩等）的塑性变形，刚性碎屑颗粒（石英、长石等）间的错动变形，以及火山碎屑岩中浆屑和玻屑变形形成“假流纹构造”。显微镜下观察塔Ⅱ油层组储层颗粒之间以线状接触关系为主，表明压实作用强度为中–强。

根据初始孔隙度和图像分析的相关数据，在 Houseknecht[10] 图解上投点（图 4），图中虚线表示粒间孔隙度（粒间孔隙度 = 粒间体积 – 胶结物含量），虚线将图中样品分开，表示压实作用和胶结作用在减少储层孔隙度中的相对重要性，图中 92%

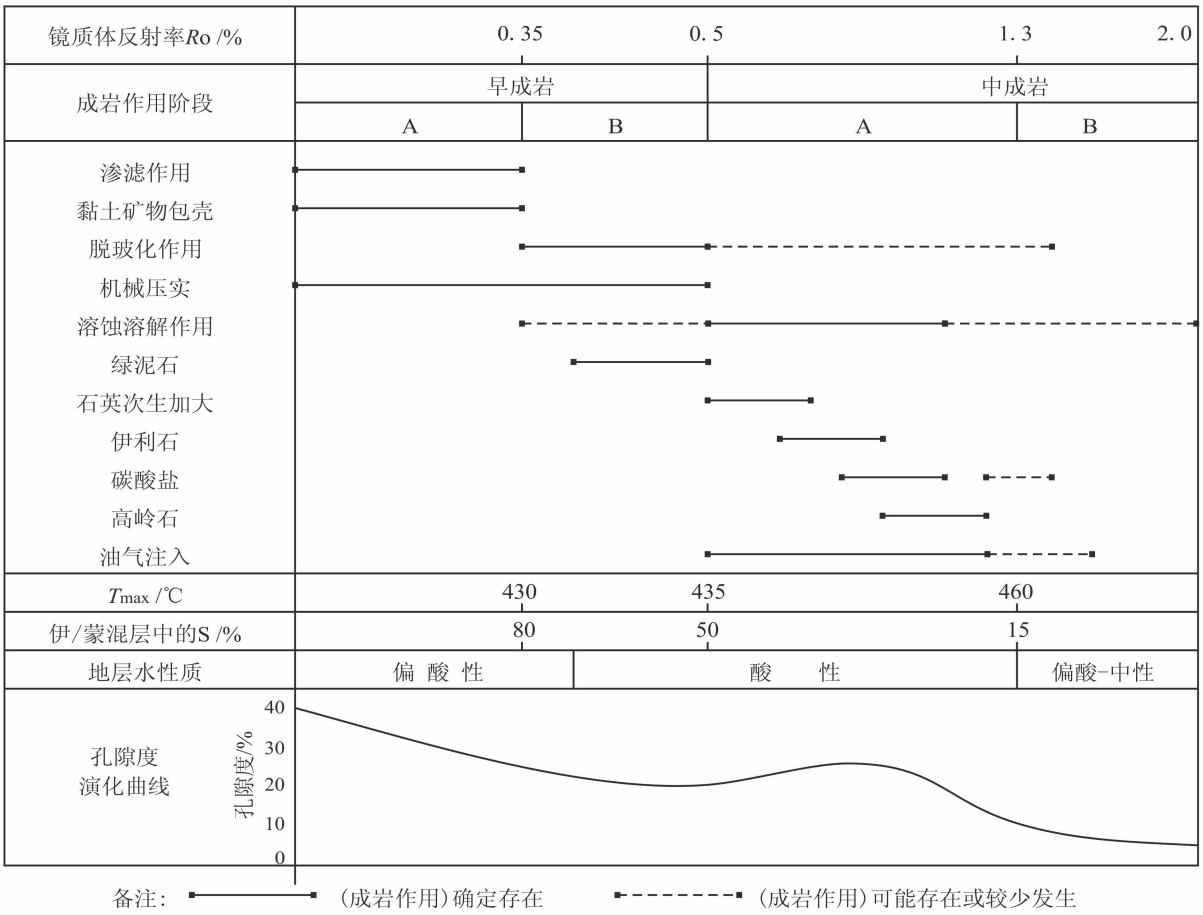


图 3 塔Ⅱ油层组储层成岩共生序列及孔隙演化图

Fig. 3 Diagenetic paragenesis and pore evolution of Ta Ⅱ Formation

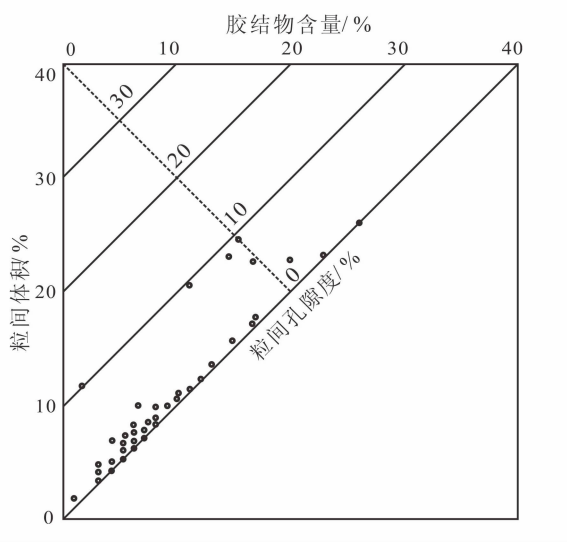


图 4 塔Ⅱ油层组粒间体积与胶结物含量关系图

Fig. 4 Relational graph of intergranular volume and cement contents of Ta Ⅱ Formation

的数据点都落在图框的左下角处，表明压实作用损失的原始孔隙要比胶结作用损失的原始孔隙多。根据数据分析，假定储层的初始孔隙度是 40%[10]，塔Ⅱ油层组储层由于压实作用损失的原始孔隙在 30.7% ~11.4%之间；并且塔Ⅱ油层组绝大部分数据点位于粒间孔隙度 0% 刻度线附近，反映了低孔隙度特征，因此，压实作用是早成岩阶段储层孔隙锐减的主要原因[11]。

4.3 胶结作用

研究区胶结作用主要以硅质胶结和碳酸盐胶结为主，以及凝灰质杂基形成的自生黏土矿物（伊利石、高岭石、绿泥石）胶结。

4.3.1 *硅质胶结*

硅质胶结有 2 种形式：一种是发育局部次生加大，并在次生加大石英和碎屑石英相间的黏土沉积物中发育绿泥石包体，显示次生加大石英的形成晚

于自生绿泥石；另一种是硅质充填，以自形晶形式充填于粒间孔隙（图版Ⅰ－d），有时沿碎屑颗粒表面连续分布形成碎屑颗粒包壳，其发育于凝灰质砂岩中，其形成可能与凝灰质成分的脱玻化作用或长石的溶蚀溶解作用有关。

4.3.2　*碳酸盐胶结*

碳酸盐胶结作用是储层物性变差的重要因素。薄片鉴定表明，南贝尔凹陷塔Ⅱ油层组储层中的自生碳酸岩矿物包括方解石、片钠铝石、铁白云石等。

方解石是塔Ⅱ油层组储层中的主要胶结物。方解石按照产状可细分为微晶方解石、粗晶方解石和嵌晶方解石 3 种类型。其中，微晶方解石在偏光显微镜下难以分辨单个晶体，往往围绕碎屑颗粒周围沉淀；而在强压实后的残余孔隙空间内往往发育粗晶方解石；嵌晶方解石一般是在强压实后伴随交代作用产生，钠长石亦往往被方解石或片钠铝石交代（图版Ⅰ－e）。铁白云石呈菱形，有时见有交代粗晶方解石和嵌晶方解石，说明铁白云石的形成晚于方解石（图版Ⅰ－f）。铁白云石普遍分布于火山碎屑岩和砂岩中。

4.3.3　*自生矿物*

自生黏土矿物普遍发育，包括伊利石/蒙皂石混层和自生的伊利石、绿泥石、高岭石。伊利石/蒙皂石混层主要以碎屑颗粒包膜形式产出，表现为伊利石/蒙皂石混层呈毯状包覆玻屑等火山碎屑颗粒。绿泥石往往生长于伊利石/蒙皂石包膜之上（图版Ⅰ－g），说明绿泥石的形成晚于伊利石/蒙皂石混层包膜。伊利石/蒙皂石包膜是在近地表或地表处由玻屑等火山碎屑颗粒及火山灰水解形成，而后在埋藏成岩作用过程中皱裂，皱裂边缘趋于向自生伊利石转化。

研究区绿泥石较发育，绿泥石贴附在颗粒表面会抑制石英次生加大，从而保护原生孔隙，微晶石英包膜和伊利石包膜也有同样的效应，从而减少石英次生加大对孔隙的破坏作用，对储层物性做出有利贡献，同时黏土矿物的频繁转化产生的酸性流体，极大促进了次生孔隙的发育。

4.4　溶蚀溶解作用

溶蚀溶解作用是形成次生孔隙、改善储层物性的主要成岩作用方式[12]。

塔Ⅱ油层组储层成岩阶段为中成岩 A 期，有机质热演化产生大量酸性流体。本区塔Ⅱ油层组储层中的易溶组分特别是长石、凝灰质成分和岩屑的溶解使储层的物性得到改善。长石一方面作为刚性颗粒，可以抵抗压实作用，保留一定的原生粒间孔隙；另一方面长石相对不稳定，易发生溶蚀而产生次生孔隙，因此，长石含量越高越有利于次生孔隙的形成，而凝灰质物质在流通性好的酸性水条件下，随凝灰质含量的增大，溶蚀作用增强[13]。凝灰质物质的溶蚀能够提供大量的次生孔隙，是含油气盆地储层物性改善的重要因素[14]。相对于长石粒内溶蚀来讲，岩屑粒内溶蚀作用程度相对较低，多数岩屑粒内仅微弱溶蚀，但凝灰岩、安山岩等岩屑更易溶蚀，这与火山碎屑本身的性质有关。

通过薄片、扫描电镜等观察，本区塔Ⅱ油层组储层见有火山灰填隙物、火山泥球以及浮岩岩屑中脱玻化形成的长英质物质被溶解（图版Ⅰ－h）的现象，溶解强烈时形成铸模孔（图版Ⅰ－i）。与普通砂岩相比，火山碎屑岩中的长石和岩屑不稳定组分相对较多、易于形成次生孔隙。研究表明，本区塔Ⅱ油层组储层中溶蚀孔隙主要为填隙物溶孔（主要为凝灰质物质溶孔）、溶蚀粒间孔、溶蚀粒内孔（长石溶蚀）。

5　结论

（1）塔木察格盆地南贝尔凹陷塔Ⅱ油层组储层主要岩石类型为岩屑长石砂岩和凝灰质砂岩，岩屑组分以火山岩岩屑为主；填隙物组分以硅质胶结物、碳酸盐胶结物和凝灰质杂基为主。粒间孔、杂基间微孔、粒间溶孔等是塔木察格盆地塔Ⅱ油层组的主要孔隙类型。

（2）塔木察格盆地塔Ⅱ油层组储层的成岩序列为：渗滤作用→脱玻化作用→压实作用→溶蚀溶解作用→绿泥石包壳、次生加大石英、蒙皂石→伊利石、微晶石英包壳、高岭石→钠长石、绢云母、铁方解石沉淀；塔Ⅱ油层组储层砂岩处于早成岩阶段 B 期和中成岩阶段 A 期，并且以中成岩阶段 A 期为主。

（3）塔木察格盆地塔Ⅱ油层组储层经历的成岩作用主要有脱玻化作用、压实作用、胶结作用和溶蚀溶解作用，其中压实作用和胶结作用是造成储层孔隙度降低的主要因素，长石和凝灰质物质的溶蚀溶解有利于形成次生孔隙发育区。

参考文献：

[1] 黄玉龙，王璞珺，邵锐. 火山碎屑岩的储层物性：以松辽盆地营城组为例［J］. 吉林大学学报：地球科学版，2010，40（2）：227-236.
HUANG Yu-long，WANG Pu-jun，SHAO Rui. Porosity and permeability of pyroclastic rocks of the Yingcheng Formation in Songliao Basin［J］. Journal of Jilin University：Earth Science Edition，2010，40（2）：227-236.

[2] 张丽媛，纪友亮，刘立，等. 火山碎屑岩储层异常高孔隙成因：以南贝尔凹陷东次凹北洼槽为例［J］. 石油学报，2012，33（5）：814-821.
ZHANG Li-yuan，JI You-liang，LIU Li，et al. Origin of anomalously high porosity in pyroclastic reservoirs：a case study on the northern region of the east sub-sag in Nanbeier sag［J］. Acta Petrolei Sinica，2012，33（5）：107-116.

[3] 李庆，孙铁民，由杰. 塔木察格油田开发建设技术路线的探讨石油规划设计［J］. 石油规划设计，2010，21（3）：12-14.
LI Qing，SUN Tie-min，YOU Jie. Technical approaches for the development and construction of Tamtsag Oilfield［J］. Petroleum Planning & Engineering，2010，21（3）：12-14.

[4] 郭欣欣，刘立，蒙启安，等. 火山碎屑岩储层特征及控制因素：以塔木察格盆地塔南凹陷铜钵庙组—南屯组为例［J］. 世界地质，2013，32（2）：290-298.
GUO Xin-xin，LIU Li，MENG Qi-an，et al. Reservoir characteristics and controlling factors of pyroclastic rocks of Tongbomiao Formation and Nantun Formation from Tanan Depression in Tamtsag Basin，Mongolia［J］. Global Geology，2013，32（2）：290-298.

[5] 张雅晨，刘财，范晓敏. 多元回归分析方法在火山碎屑岩储层孔隙度计算中应用［J］. 世界地质，2012，31（2）：377-382.
ZHANG Ya-chen，LIU Cai，FAN Xiao-min. Application of multivariate regression analysis method in porosity calulation of volcanic clastic rock［J］. Global Geology，2012，31（2）：377-382.

[6] 常桂华. 海拉尔盆地呼南地区南屯组沉积特征［J］. 大庆石油地质与开发，2013，32（3）：52-57.
CHANG Gui-hua. Sedimentary characteristics of nantun formation in Hunan area of Hailar basin［J］. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing，2013，32（3）：52-57

[7] Shanmugam G. Significance of secondary porosity in interpreting sandstone composition［J］. AAPG Bulletin，1985，69（3）：378-384.

[8] 邸世祥. 中国碎屑岩储集层的孔隙结构［M］. 西安：西北大学出版社，1991：20-26.
DI Shi-xiang. Pore textures in clastic reservoir of China［M］. Xi'an：Northwest University Press，1991：20-26.

[9] Dixon S A，Summers S D M，Surdam R C. Diagenesis and preservation of porosity in Norphlet Formation（Upper Jurassic），southern Alabama［J］. AAPG Bulletin，1989，73：707-728.

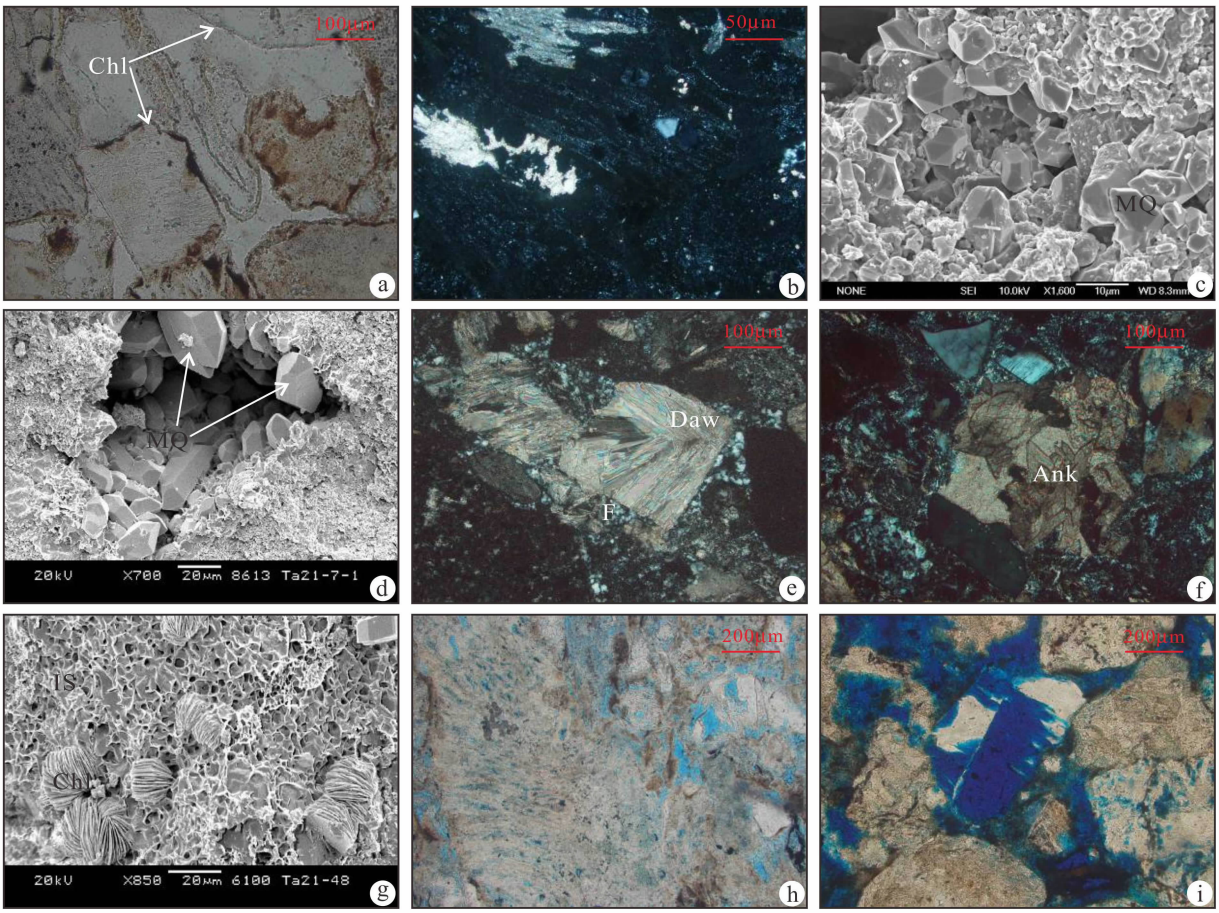
[10] Houseknecht D W，Hathon L A. Relationships among thermal maturity，sandstone diagenesis，and reservoir quality in Pennsylvanian strata of the Arkoma Basin［J］. AAPG Bulletin，1987，71：568-569.

[11] Bread D C，Weyl P K. Influence of texture on porosity and permeability of unconsolidated sand［J］. AAPG Bulletin，1973，57（2）：349-369.

[12] Surdam R C，Crossey L J，Hagen E S. Organic-inorganic interaction and sandstone diagenesis［J］. AAPG Bulletin，1989，73（1）：1-23.

[13] 张革，孙效东，刘赫，等. 塔木察格盆地塔南凹陷南屯组储层特征［J］. 大庆石油地质与开发，2014，33（6）：26-31.
ZHANG Ge，SUN Xiao-dong，LIU He，et al. Characteristics of nantun formation reservoirs in Tanan Sag of Tamtsag Basin［J］. Petroleum Geology and Oilfield Development in Daqing，2014，33（6）：26-31.

[14] 蒙启安，刘一丹，吴海波，等. 海拉尔塔木察格盆地中部断陷带油气形成条件及富集规律［J］. 吉林大学学报：地球科学版，2014，44（6）：1737-1746.
MENG Qi-an，LIU Yi-dan，WU Hai-bo，et al. Formation and accumulation rules of oil and gas in middle fault depression belt of Hailar－Tamtsag Basin［J］. Journal of Jilin University：Earth Science Edition，2014，44（6）：1737-1746.



图版说明

a. 绿泥石包膜(T21 -20 井,1 872.09 m,南屯组一段,晶屑岩屑凝灰岩,单偏光);b. 玻屑脱玻化的长英质集合体(T21 -35 井,1 466.8 m,南屯组一段,流纹质晶屑玻屑凝灰岩,正交偏光);c. 玻屑脱玻化形成的微晶石英(T21 -33 井,1 669.78 m,南屯组一段,流纹质玻屑晶屑凝灰岩,扫描电镜);d. 微晶石英孔隙充填(T21 -7 -1 井,1 959.37 m,南屯组一段,凝灰质粉砂岩,扫描电镜);e. 片钠铝石交代长石晶屑(T19 -4 井,1982.53m,南屯组一段,凝灰岩,正交偏光);f. 铁白云石交代方解石(T21 -56 井,1 635.56 m,南屯组一段,细砂岩,正交偏光);g. 伊/蒙混层与绿泥石共生(T21 -48 井,2 346.42 m,南屯组一段,砂质砾岩,扫描电镜);h. 塑性玻屑粒内孔(T21 -21 井,1 648.59 m,南屯组一段,凝灰质细砂岩,单偏光);i. 长石铸模孔(T21 -50 井,1 765.66 m,南屯组一段,粉砂岩,单偏光)。