

塔里木盆地玉北地区奥陶系储层成因及分布

林新, 龚伟, 余腾孝, 刘少杰, 于静芳

中国石化西北油田分公司勘探开发研究院

摘要 基于岩心观察、薄片鉴定、成像测井及物性等资料,结合地球化学分析,塔里木盆地玉北地区奥陶系岩溶储层具有明显的“上下分层、东西分异”特征。纵向上储层可以分为3套,分别为表层(以鹰山组上段为主)、鹰山组下段和蓬莱坝组,表层储层储集空间以裂缝型为主,鹰山组下段以裂缝-溶蚀孔洞型为主,蓬莱坝组则以溶蚀孔洞型为主。平面上储层特征具有明显差异,东部断褶区的断裂带,储层发育,以裂缝型为主,东部断褶区的断洼区、中部平台区及西部斜坡区,储层相对较差。纵向上按成因分类,将储层划分为2种类型:表层风化壳岩溶型和内幕断控岩溶型。建立了玉北地区储层发育地质模式。表层风化壳岩溶储层主要分布在南部斜坡区、中部平台区、东部断褶区的断裂带、西部斜坡区罗斯2井区的断裂带等古构造高部位,断控岩溶储层主要沿规模断裂分布。指出中部平台区为下一步有利勘探区带。

关键词 塔里木盆地; 玉北地区; 奥陶系; 储层成因; 储层分布; 风化壳; 岩溶储层

中图分类号: TE122.2

文献标识码: A

碳酸盐岩储层在世界范围内储量大,开采潜力大,一直被公认为油气勘探的重要领域^[1]。多年的勘探研究表明,塔里木盆地地下古生界奥陶系蕴藏着丰富的油气资源^[2-3],其中,塔西南玉北地区奥陶系屡获工业油气流,展现了该区良好的勘探潜力。随着勘探的不断推进,前人对玉北地区奥陶系储集层开展了大量的研究工作,主要集中在成岩作用、岩溶储层特征以及主控因素方面。钱一雄等^[4]、张亚美等^[5]、蒋海军等^[6]对玉北地区奥陶系成岩作用类型与阶段、成岩演化序列与储层的关系作了比较细致的研究。乔桂林等^[7]、吴礼明等^[8]对玉北地区岩溶作用类型与期次,以及储集空间和储层类型进行了详细阐述,并建立了岩溶发育模式。牛君等^[9]从玉北地区奥陶系碳酸盐岩风化壳岩溶储层特征入手,分析了风化壳储层的分布规律以及主控因素。刘忠宝等^[10]从储层成因的角度,将麦盖提斜坡奥陶系碳酸盐岩储层划分为潜山缝洞型、不整合面岩溶型、顺层深潜流岩溶型等3种类型。

随着玉北地区断裂系统研究工作的不断深入,发现断裂及裂缝作用贯穿于奥陶系储层发育的整个地质过程。本文在对玉北地区奥陶系岩心、薄片、成

像测井及物性等资料进行分析的基础上,辅以地球化学分析等手段,结合该区断裂的最新解释成果,从古构造、古地貌、断裂-裂缝作用及埋藏溶蚀作用等多种地质因素之间的关系出发,从储层成因的角度,将奥陶系储层纵向上划分为表层风化壳岩溶型和内幕断控岩溶型2种类型,建立了储层发育模式,指出了下一步有利勘探区带,以期对该区的油气勘探有所裨益。

1 地质概况

玉北地区位于塔里木盆地麦盖提斜坡东段,北与巴楚隆起南缘的玛扎塔格构造带相接,南临塔西南坳陷的叶城凹陷,西接麦盖提斜坡西段,向东与塘古巴斯坳陷过渡^[11-12](图1)。依据奥陶系鹰山组顶面(海西早期古构造及现今构造)特征,玉北地区平面上可划分为东部断褶区(包括断裂带和断洼区)、中部平台区、南部斜坡区及西部斜坡区等4个区带(图1)。

塔西南地区经历了加里东期和海西期的多次构造运动和海平面变化,并受后期构造运动的叠加改造。由于受和田古隆起演化的影响,加里东中期Ⅲ

收稿日期: 2017-06-12; 改回日期: 2018-01-29

本文受中国石油化工股份有限公司科技攻关项目“塔里木盆地寒武系—中下奥陶统储层发育模式研究”(编号: 2016KYSH03)资助

林新: 女, 1986年生, 2012年毕业于西南石油大学, 硕士, 工程师, 主要从事碳酸盐岩沉积和储层研究。通信地址: 830011 新疆乌鲁木齐齐市新市区长春南路466号中石化西北石油科研生产园区勘探开发研究院; E-mail: girllinxin@163.com

幕,发育北东向盖层滑脱逆冲“弧形”断裂体系(图1),加里东晚期—海西晚期,发育东西向盖层滑脱逆冲“弧形”断裂体系、北东向走滑断裂体系,喜马拉雅期发育北西向逆冲断裂体系^①。

不同区带的地层结构有差异(图2),东部断褶区、中部平台区的奥陶系被石炭系巴楚组所覆盖,南部斜坡区则被石炭系上部地层直接覆盖,而西部斜坡区的奥陶系被志留系覆盖。

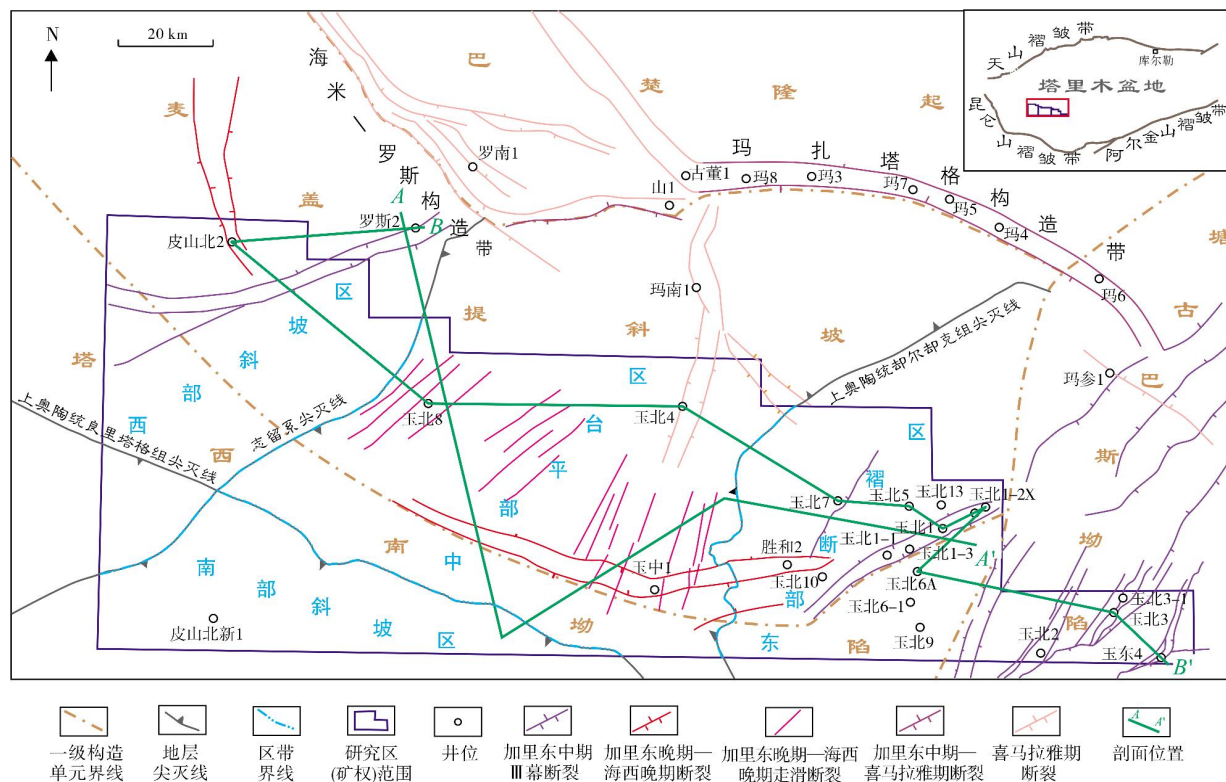
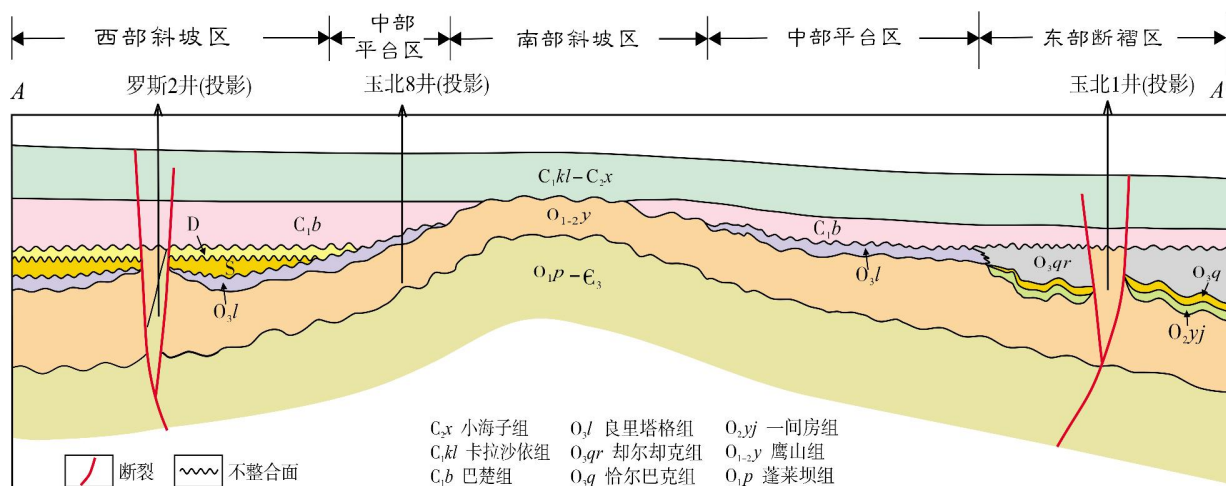


图1 塔里木盆地玉北地区构造区带划分



A—A'剖面位置见图1

图2 塔里木盆地玉北地区区域地层结构剖面

① 岳勇,刘少杰,张长建,等. 玉北立体勘探项目2017年度综合研究工作总结报告[R]. 乌鲁木齐:中国石化西北油田分公司,2017.

区内奥陶系蓬莱坝组与下伏的上寒武统呈连续沉积,为局限台地沉积;鹰山组沉积初期,延续蓬莱坝组的沉积特征,下部发育局限台地相,随着水体逐渐加深,鹰山组上部发育以台内滩为主的开阔台地相沉积;一间房组仅在东部断褶区发育水体较深的开阔台地相沉积;良里塔格组在中西部为开阔台地—台地边缘—斜坡相沉积,而在东部则为同期异相的却尔却克组(图2)陆棚相沉积^[13]。

2 玉北地区奥陶系储层特征

2.1 储层发育层位

基于玉北地区27口钻井的实钻情况和分析化验等资料,认为奥陶系发育岩溶缝洞型储层。根据地层接触关系,纵向上储层可以分为2套:表层和内幕。前者主要指鹰山组上段及以上地层,至于局部地区,由于构造运动导致地层剥蚀较多,而造成石炭系巴楚

组直接覆盖在鹰山组下段之上,故将这里的鹰山组下段储层也归为表层储层;后者指鹰山组下段和蓬莱坝组储层。

从玉北地区不同区带的奥陶系储层对比图(图3)可以看出,储集空间特征和储层类型具有明显的“上下分层、东西分异”特征。表层储层的储集空间以裂缝型为主,主要分布在东部断褶区的断裂带(以下简称东部断裂带)、罗斯2井区断裂带,而东部断褶区的断洼区(以下简称东部断洼区)、中部平台区及西部斜坡区裂缝型储集空间明显变少。横向上,根据不同区带地层结构和储层发育层位的差异(图3),可将表层储层细分为3种类型:西部斜坡区、中部平台区为良里塔格组和鹰山组上段,东部断洼区为一间房组和鹰山组上段,东部断裂带为鹰山组上段,局部地区(如断裂带发育部位)由于构造运动导致奥陶系被剥蚀较多,巴楚组盖层直接与鹰山组下段储层接触,如罗斯2井、玉北1-2X井所揭示。

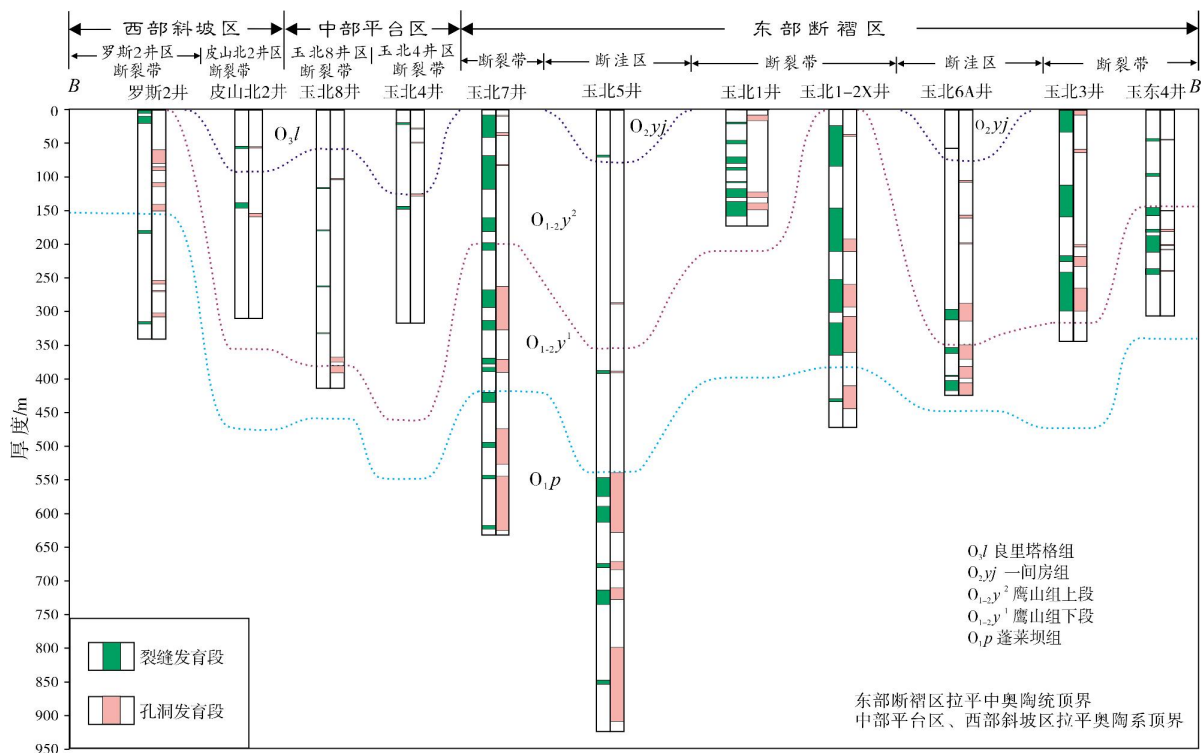


图3 塔里木盆地玉北地区不同区带奥陶系储层对比剖面

2.2 岩石学特征

通过对玉北地区17口井的录井岩性、岩心和薄片等资料的观察统计,发现:表层储层岩性以颗粒灰

岩及泥晶灰岩为主(图4a1),含少量结晶白云岩;鹰山组下段—蓬莱坝组储层以结晶白云岩为主(图4b1,4c1),还可见砂屑灰岩、泥晶灰岩以及硅质岩等,从蓬莱坝组到鹰山组,白云岩含量整体逐渐减少。

项目	储集空间类型		
	(a) 表层储层(鹰山组上段)	(b) 鹰山组下段	(c) 蓬莱坝组
岩心	 <p>(a1) 灰色油浸泥晶灰岩, 立缝与平缝、微裂缝交织成网状, 黄褐色原油外渗。玉北1井5 615.27~5 615.53 m</p>	 <p>(b1) 灰色含灰质中品白云岩, 溶蚀孔洞沿裂缝发育。玉北8井7 174.06~7 174.16 m</p>	 <p>(c1) 中品白云岩, 见孤立的、沿裂缝发育的溶蚀孔洞。玉北5井6 741.61~6 741.86 m</p>
薄片	 <p>(a2) 砂屑泥晶灰岩, 见三条裂缝, 未充填裂缝切割被方解石全充填裂缝。玉北3井5 370.14 m。单偏光</p>	 <p>(b2) 细—中品白云岩, 溶蚀孔洞较发育, 黑色沥青半充填。玉东4井5 545.16 m。单偏光</p>	 <p>(c2) 中品白云岩, 白云石被溶蚀, 硅质呈玛瑙纹产出。玉北5井6 739.60 m。单偏光</p>
成像测井	 <p>(a3) 玉北2井6 008~6 011 m (a4) 玉北8井6 935~6 938 m</p>	 <p>(b3) 玉北6A井6 693~6 695 m (b4) 玉东4井5 623~5 625 m</p>	 <p>(c3) 玉北5井6 644~6 645 m (c4) 玉北7井6 330~6 331 m</p>

图 4 塔里木盆地玉北地区奥陶系储集空间特征

2.3 储集空间类型

对玉北地区钻井岩心、薄片和成像测井所反映的储集空间进行分区、分段统计, 结果表明:

表层储层以裂缝型为主。东部断裂带的裂缝型储集空间占绝对优势, 以发育中—高角度裂缝为主(图4a1), 多数充填油、有机质或方解石(图4a2), 成像测井上可见洞穴发育(图4a3); 东部断注区发育裂

缝型、溶蚀孔洞型储集空间; 中西部地区同样以裂缝型储集空间为主, 也发育部分溶蚀孔洞。东部断注区、中部平台区及西部斜坡区发育的裂缝以水平缝为主, 且充填泥质和方解石(图4a2), 成像测井上见水平纹层发育(图4a4)。

鹰山组下段的储集空间以裂缝-溶蚀孔洞型为主, 也发育裂缝型储集空间。岩心上可见多数溶蚀孔洞沿裂缝发育, 且未被充填(图4b1), 镜下可见白云

石多呈自形—半自形晶,见大量的晶间孔、溶蚀扩溶孔及沥青质充填孔的特征(图4b2),成像测井上见溶蚀孔洞沿着裂缝发育(图4b3,4b4)。

蓬莱坝组的主要储集空间为溶蚀孔洞型,其次为裂缝型。岩心中可见沿裂缝发育的溶蚀孔洞(图4c1),被沥青质半充填;镜下可见溶蚀孔洞呈串珠状分布,被沥青半充填,可见多期硅质充填和马鞍状白云石等(图4c2),成像测井上见蜂窝状溶蚀孔洞发育(图4c3,4c4)。

2.4 储层物性特征

对玉北地区表层储层样品(205个,取自14口井)的孔隙度与渗透率进行统计,结果表明储层基质物性总体表现为特低孔特低渗的特点,同时表现出“东西分异”的特征,按储层物性优劣的递减次序为:东部断裂带、东部断洼区、西部斜坡区、中部平台区。具体表现为:东部断裂带孔隙度0.1%~5.2%,平均1.9%,渗透率 $(0.001\sim3.0)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$,平均 $0.21\times10^{-3}\mu\text{m}^2$;东部断洼区孔隙度0.1%~4.1%,平均1.45%,渗透率 $(0.001\sim0.51)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$,平均 $0.044\times10^{-3}\mu\text{m}^2$;西部斜坡区孔隙度0.7%~3.2%,平均1.2%,渗透率 $(0.003\sim0.46)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$,平均 $0.042\times10^{-3}\mu\text{m}^2$;中部平台区孔隙度0.6%~1.4%,平均1.0%,渗透率 $(0.005\sim0.18)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$,平均 $0.03\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。东部断裂带上的玉北1井、玉北1-1井、玉北1-2X井、玉北3-1井及玉北2井等的表层储层均出现不同程度的井漏、放空,这进一步证实了东部断裂带表层储层最为发育。

鹰山组下段储层样品(15个,取自玉北6A井、玉北8井、玉东4井)的孔隙度和渗透率统计结果表明,储层基质物性表现为特低孔特低渗的特点,孔隙度范围0.6%~10.8%,平均4.0%,渗透率范围 $(0.001\sim87.5)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$,平均 $7.54\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。其中,玉北8井、玉北6A井物性较好,明显好于所在井区表层储层的样品。

蓬莱坝组储层样品(15个,取自玉北5井、玉北7井)的孔隙度和渗透率统计表明,储层基质物性表现为特低孔特低渗的特点,孔隙度1%~5.3%,平均2.4%,渗透率 $(0.004\sim0.95)\times10^{-3}\mu\text{m}^2$,平均 $0.171\times10^{-3}\mu\text{m}^2$ 。玉北5井、玉北7井测井解释的储层发育,而玉北7井在蓬莱坝组上部6380.9m处出现井漏,也说明玉北地区蓬莱坝组储层较发育。

3 玉北地区奥陶系储层成因类型及模式

从目前塔里木盆地5000~7000m以下深部碳酸盐岩的钻探结果来看,奥陶系碳酸盐岩储层主要有石灰岩储层(风化壳型、内幕岩溶型、高能礁滩体型)和白云岩储层^[14-16]。由于表生期岩溶作用所形成的溶蚀孔洞、裂缝,最终还要经历后期的埋藏溶蚀作用,因此碳酸盐岩储层都具有复合型岩溶的特点。由于多期构造运动的叠加改造,玉北地区奥陶系形成了多期次、规模不一的断裂和裂缝,多期次、多成因类型的岩溶作用叠加,造就了岩溶储层类型的多样性。对于碳酸盐岩储层而言,应以主控因素分析为基础,来划分岩溶储层的成因类型^[10]。笔者根据玉北地区奥陶系碳酸盐岩储层的形成与古构造、古地貌、断裂-裂缝作用及埋藏溶蚀作用等多种地质因素之间的关系,从储层成因的角度,将奥陶系储层从纵向上划分为表层风化壳岩溶型和内幕断控岩溶型等2种类型,并建立了储层发育地质模式。

3.1 表层风化壳岩溶型储层

在盆地地质演化过程中,奥陶系碳酸盐岩地层长期暴露地表,遭受风化剥蚀、大气降水淋滤,沿不整合面发生强烈溶蚀作用,所形成的孔、洞、缝等储集空间在后期构造运动、断裂、流体活动等因素影响下发生充填、溶蚀扩大等作用,并最终深埋保存下来。根据研究区奥陶系的剥蚀程度差异,不同区带发育了不同地层结构,按表层风化壳岩溶储层发育层位的不同,相应形成了不同的类型,如中部平台区、西部斜坡区的良里塔格组+鹰山组上段,东部断洼区的一间房组+鹰山组上段,东部断裂带的鹰山组上段,局部发育的鹰山组下段(如西部罗斯2井区、东部玉北1-2X井区)。区内表层风化壳岩溶型储层发育主要受古构造、古地貌、断裂-裂缝作用的共同控制和影响。

(1) 古构造和古地貌

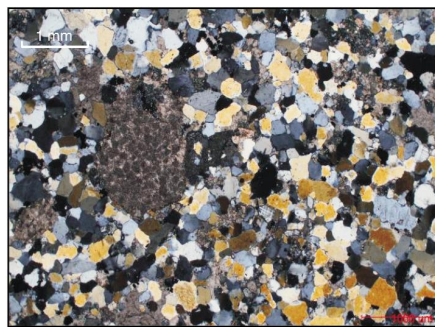
古构造是决定地层抬升、剥蚀并遭受岩溶作用的主要因素,它控制了岩溶古地貌单元的总体格局^[9],而古地貌控制了表层风化壳岩溶储层的空间分布^[17]。和田古隆起加里东中期—海西早期持续抬升,导致玉北地区主体位于岩溶斜坡部位,局部位于岩溶残丘等地貌单元,如东部玉北7井区、玉北1井区、玉东2井区所处的构造带。玉北7井区鹰山组顶部发育

岩溶角砾岩(图5a)和0.75 m厚的溶洞充填物,充填物的岩性为长石石英砂岩(图5b),与皮山北2井泥盆系东河塘组样品的稀土元素分布(图5c)对照,两者具有可对比性(图5c,5d),均表现为轻稀土轻微富

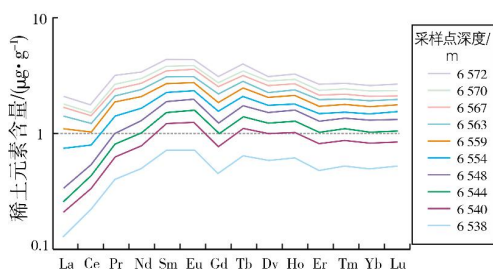
集,轻重稀土分馏不明显,Eu为轻微正异常,Ce为负异常,因此推测玉北7井区的溶洞可能形成于海西早期,充填物来源于东河塘组,海西早期古地貌高部位发育储层。



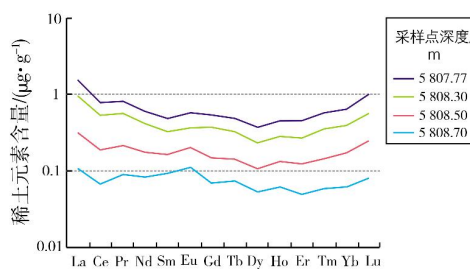
(a) 黄灰色泥晶砂屑灰岩,发育岩溶角砾。玉北7井 5 807.6 m, 鹰山组上段。岩心



(b) 溶洞充填物,岩性为细中粒含钙质长石石英砂岩。玉北7井5 808.73 m, 鹰山组上段。薄片,正交偏光



(c) 皮山北2井泥盆系东河塘组稀土元素配分模式图



(d) 玉北7井鹰山组上段溶洞充填物稀土元素配分模式图

图5 塔里木盆地玉北地区奥陶系表层风化壳岩溶储层特征

(2) 断裂和裂缝

断裂展布型式控制了岩溶地貌分区,断裂和裂缝是岩溶水的主要渗滤通道^[18-20]。在东部断裂带上部署的玉北1井、玉北3-1井等多口井在钻遇表层风化壳储层时出现不同程度的漏失和放空现象,这与断裂及裂缝发育密切相关。加里东中期Ⅲ幕,在玉北地区皮山北2井区以南,以及东部形成了一系列北东向展布的逆冲断裂带;加里东晚期—海西早期,中部平台区主要发育东西向逆冲断裂和北东向走滑断裂,都具有多期次继承发育的特征(图1)。

依据储层测井响应特征,将研究区各断裂带上已钻井的表层风化壳储层划分为Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ类,其中:Ⅰ类为裂缝型、裂缝-孔洞型和洞穴型储层,储集空间非常发育,并相互联通,储集性能最好;Ⅱ类为裂缝型和裂缝-孔洞型储层,裂缝、孔洞较发育,多数

未充填,少数孤立存在,储集性能次之;Ⅲ类为裂缝型储层,有的被充填,有的孤立存在,属欠发育储层^②。对断裂带上已钻井的表层风化壳储层厚度进行统计(图6),结合地震剖面上断裂规模、断裂期次的研究认识(图7),以及断裂带钻井成像测井的裂缝走向分析,认为断裂规模、断裂期次及裂缝发育程度控制了岩溶储层的发育规模。

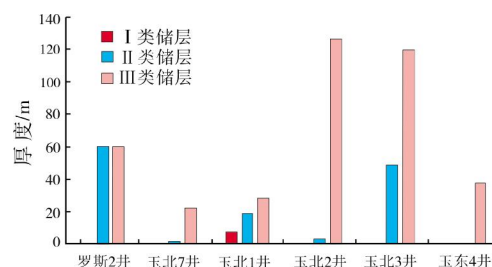


图6 塔里木盆地玉北地区表层风化壳型储层厚度统计

② 樊政军,柳建华,高秋涛,等.新疆塔里木盆地塔河油田奥陶系碳酸盐岩储层测井评价研究[R].乌鲁木齐:中国石化新星西北分公司,2001.

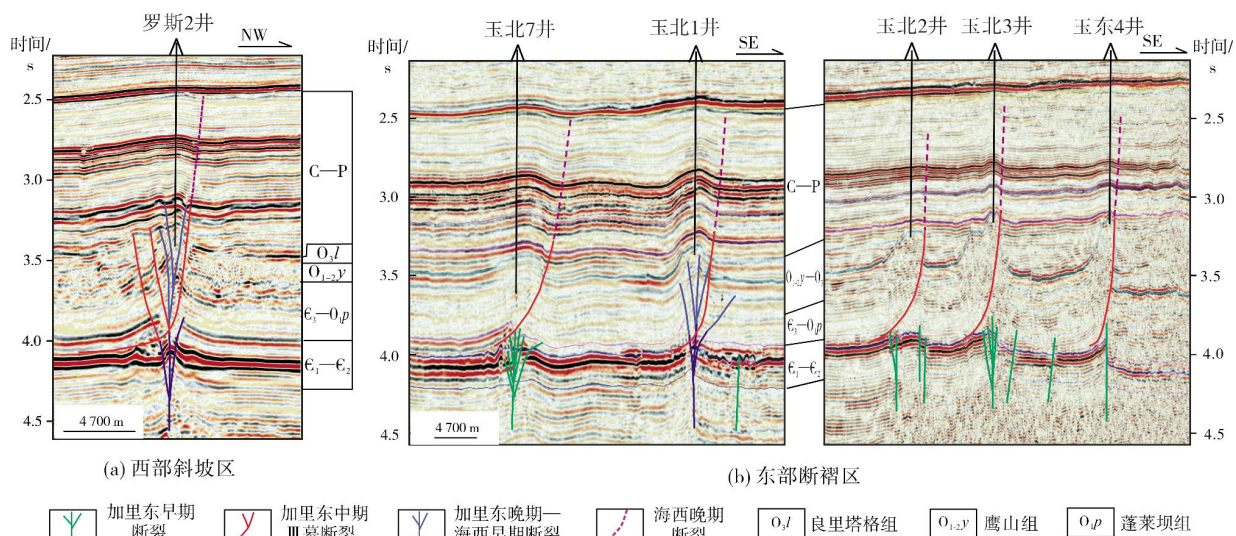


图7 塔里木盆地玉北地区垂直断裂带地震剖面

统计表明,罗斯2井区、玉北1井区表层风化壳储层发育,断裂带规模较大,断裂多期活动叠加,早期以加里东中期Ⅲ幕逆冲断裂为主,叠加加里东晚期—海西早期走滑断裂,海西晚期断裂继承性活动,大规模、多期活动的断裂具有重要的控缝、控储作用,井区构造裂缝走向与构造带走向具有一致性,均为北东向,有利于大气淡水下渗而促进裂缝发育。

3.2 内幕断控岩溶型储层

该类型储层主要发育于鹰山组下段—蓬莱坝组,与不整合面及峰丘地貌无关,没有地层的剥蚀和缺失,总体分布于断裂发育区,尤其是背斜核部,受断裂控制而导致缝洞发育跨度大,沿断裂呈栅状分布,断裂诱导岩溶作用的时间发生于断裂形成之后^[21],其发育主要受控于断裂规模和流体两大因素。

(1) 断裂规模

断裂规模和断裂期次对岩溶储集体的发育起着重要的控制作用^[22]。较大规模的特别是多期活动叠加的断裂,其延伸长、断距大、断面宽,破碎带越发育,就越有利于流体的运移。通过对玉北地区内幕储层厚度的统计发现,位于断裂带上的井区储层明显较发育(图8),其中部署在断裂带上的玉北7井、玉东4井出现泥浆漏失现象,同时由于玉东4井区断裂带规模大于玉北7井区(图7b,玉东4井区奥陶系断距较大),使得玉东4井储层好于玉北7井,具体表现为玉东4井测井解释的Ⅰ类储层厚度

为3 m、Ⅱ类储层厚度25.5 m,而玉北7井的分别为3 m、4.5 m(图8)。

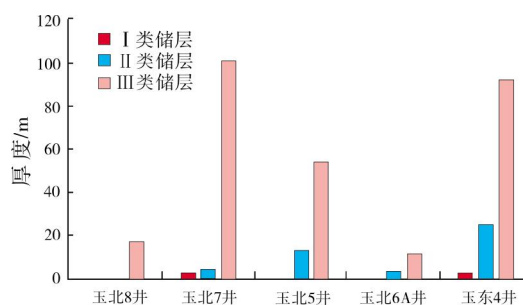


图8 塔里木盆地玉北地区内幕储层厚度统计

(2) 流体

流体是发生溶蚀作用的先决条件,溶蚀期次越多,储层越发育。玉北地区除了大气淡水之外,还存在其他流体,比如,在埋藏溶蚀作用过程中, H_2S 、 CO_2 等酸性流体和硅质热液,都会对储层进行溶蚀改造而形成油气的有效储集空间^[23]。东部断褶区多口井测试时含 H_2S (表1),地层水水型多数为氯化钙型,仅有玉北6A井部分水型为硫酸钠型,分析认为玉北地区发生了TSR化学反应(TSR是指高温条件下,烃类和硫酸盐反应,硫酸根离子被还原,烃类被氧化,生成 H_2S 和 CO_2 ^[24])。塔里木盆地寒武系发育多套膏岩地层,这为TSR反应提供了丰富的硫酸根物质来源^[25]。表1中各井段测试结果基本上为油层、水层、含气水层,未见干层,可见TSR作用有利于优质储层的发育。

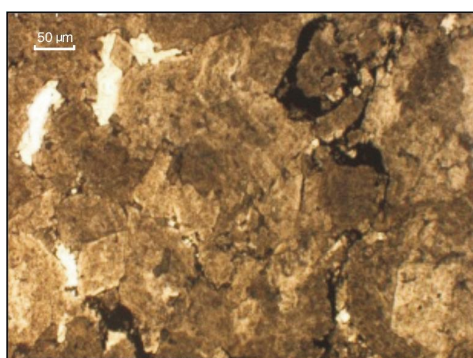
表 1 塔里木盆地玉北地区东部断褶区钻井测试阶段硫化氢含量及水型统计

井名	层位*	测试井段/ m	厚度/ m	灌口硫化氢 质量体积浓度/ ($\text{mg}\cdot\text{m}^{-3}$)	水型	测试结果
玉北 1-2X	O_{1-2}y^1	5 105.00~5 450.00	345.00	221.0	氯化钙	油层
	O_{1-2}y^1	5 105.00~5 190.00	85.00	4.5~34.5	氯化钙	油层
玉北 1-1	O_{1-2}y^2	6 234.63~6 309.00	74.37	0~10.5	氯化钙	水层
玉北 1-3	O_{1-2}y^2	5 809.97~6 382.00	572.03	302.5	氯化钙	油层
玉北 6A	O_{1-2}y^1	6 307.78~6 750.00	442.22	—	硫酸钠	水层
	O_{1-2}y^1	6 307.78~6 420.00	112.22	18.0	氯化钙	油层
玉北 7	O_1p	5 804.72~6 414.00	609.28	300.0	氯化钙	含气水层
胜和 2	O_3l	6 322.50~6 734.54	412.04	150.0	氯化钙	含气水层

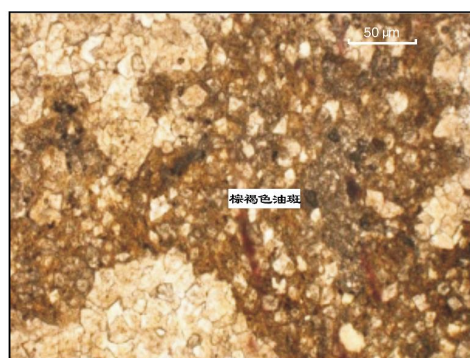
* O_3l 良里塔格组; O_{1-2}y^2 鹰山组上段; O_{1-2}y^1 鹰山组下段; O_1p 蓬莱坝组。井位参见图 1

对玉北地区奥陶系储层成岩作用与孔隙演化的关系进行研究,发现至少存在2期埋藏溶蚀作用,第1期埋藏溶蚀作用形成的孔、洞、缝,充填了沥青质(图9a),第2期埋藏溶蚀作用形成的溶孔被轻质油侵染(图9b)。

此外,玉北地区存在硅质热液,如罗斯 2 井蓬莱坝组见硅质角砾岩(图9c);玉北5井蓬莱坝组薄片上见硅质呈玛瑙纹产出(图4c2),同时在该井硅质的稀土元素配分模式图上可以看出, Eu 出现正异常(9d)。



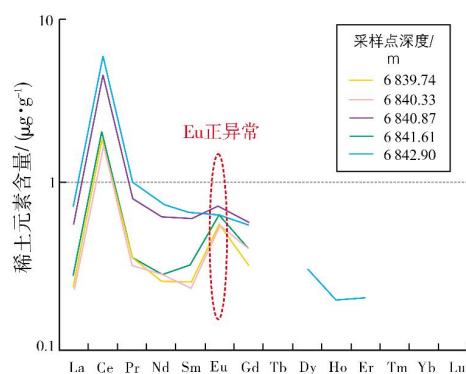
(a) 中—粗晶白云岩,缝合线溶蚀扩大,充填沥青质。玉北6A井6713.47 m,鹰山组下段。薄片,单偏光



(b) 细晶白云岩,轻质油侵染白云石晶间孔、晶间溶孔。玉北1-2X井5444.42 m,鹰山组下段。薄片,单偏光



(c) 中晶白云岩,见硅质角砾岩。罗斯2井5745.65~5 745.81 m,蓬莱坝组。岩心



(d) 玉北5井蓬莱坝组硅质的稀土元素配分模式图

图 9 塔里木盆地玉北地区断控岩溶型储层特征

3.3 岩溶储层发育模式

基于上述研究,本文建立了玉北地区岩溶储层发育模式(图10)。

表层风化壳岩溶型储层的发育,受古构造、古地貌、断裂及裂缝的共同控制和影响,具有多期岩溶作用叠加的特征,储层规模较大,主要分布在东部断褶区的断裂带、南部斜坡区、中部平台区、西部斜坡区的罗斯2井区断裂带等部位(图3,图10)。

内幕断控岩溶型储层的发育,受断裂带和流体两大因素控制,沿规模断裂带分布。在断裂带发育区,按流体介质的差异,断控岩溶型储层的溶蚀作用主要有5种类型:(1)地表大气淡水沿不整合面发生强烈的表层风化壳岩溶作用,在断裂和裂缝发育处,大气淡水在重力作用下沿断裂下渗,随着大气淡水的不断供给,溶蚀的范围和深度扩大,进而对内幕储层起到一定的溶蚀作用;(2)TSR化学反应形成的酸性流体沿断裂及裂缝向上运移;(3)烃类热演化形成的有机酸沿断裂及裂缝向上运移;(4)含硅热液沿断裂及裂缝向上运移;(5)前几种流体的混合溶蚀作用。流体在纵向运移过程中也会沿不整合面、岩性界面等

发生顺层溶蚀,在这5种溶蚀作用的共同作用下,缝洞发育跨度大,沿断裂呈栅格状分布,有利于规模储层的形成。注意到东部断褶区有钻井在表层储层测试过程中发现 H_2S (表1),在玉北3井、玉北1-2X井表层储层取心见硅质矿物,较为合理的解释是,TSR化学反应形成的酸性流体和含硅热液的溶蚀作用会随着流体沿断裂及裂缝的不断供给而增强,不仅内幕储层发生强烈溶蚀,对表层储层也有一定的影响。

综合古地貌、断裂期次与断裂规模,以及地质演化过程中岩溶作用的叠加,认为目前勘探程度较低的中部平台区是玉北地区下一步勘探的有利部位。加里东中期—海西早期,中部平台区位于岩溶斜坡部位,具备岩溶作用发育的古地貌背景;加里东晚期—海西早期,东西向逆冲断裂和北东向走滑断裂发育,它们在海西晚期、喜马拉雅期均有继承活动;断裂不仅与岩溶期次相匹配,它们还为后期埋藏溶蚀作用的发生提供了通道,流体不仅会对前期储集空间作进一步溶蚀扩大改造,而且还会对新的储集空间的形成起到建设性作用。目前需加强中部平台区的次级岩溶地貌单元和断裂体系的研究,优选古地貌高、叠加规模大、多期次继承发育的断裂带作为有利靶区。

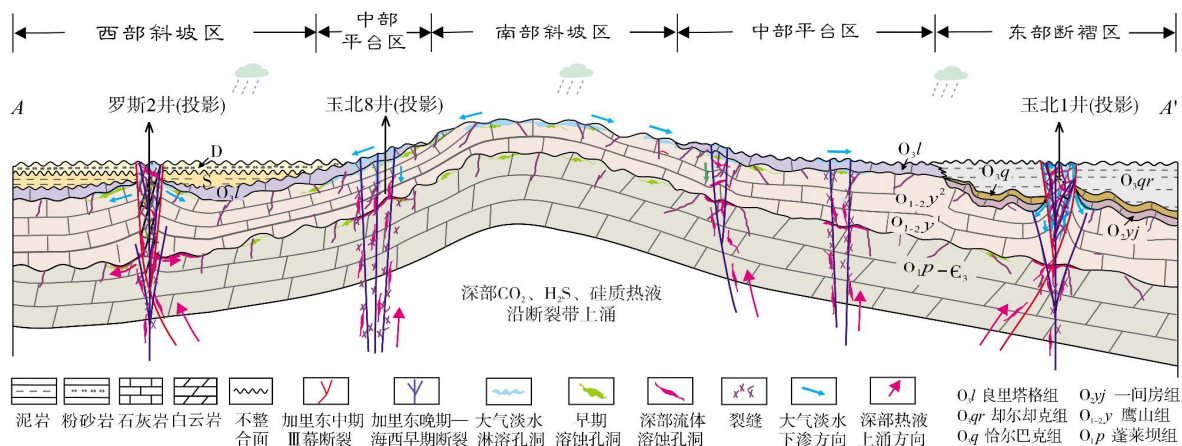


图10 塔里木盆地玉北地区奥陶系储层发育模式

4 结论

(1)塔里木盆地玉北地区奥陶系储层具有“上下分层”特征,表层储层以裂缝型为主,同时发育溶蚀孔洞型储层,鹰山组下段—蓬莱坝组的储层以裂缝-孔洞型、孔洞型为主。

(2)综合古构造、古地貌、断裂-裂缝作用及埋藏溶蚀作用等地质因素间的关系,从储层成因的角度,将

奥陶系储层纵向上划分为表层风化壳岩溶型和内幕断控岩溶型等2种类型,建立了储层发育地质模式。

(3)表层风化壳岩溶型储层主要分布在南部斜坡区、中部平台区、东部断褶区的断裂带、西部斜坡区的罗斯2井区断裂带等古构造高部位,内幕断控岩溶型储层主要沿规模断裂分布。目前勘探程度较低的中部平台区,具备规模储层发育的条件,可作为下一步勘探的有利部位。

参考文献

- [1] 金之钧,蔡立国. 中国海相油气勘探前景、主要问题与对策[J]. 石油与天然气地质, 2006, 27(6): 722-730.
- [2] 赵文智,沈安江,胡素云,等. 中国碳酸盐岩储集层大型化发育的地质条件与分布特征[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(1): 1-12.
- [3] 漆立新. 塔里木盆地地下古生界碳酸盐岩大油气田勘探实践与展望[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(6): 771-779.
- [4] 钱一雄,余腾孝,周凌方,等. 麦盖提斜坡东部构造带奥陶系岩相、成岩作用带与储层成因[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(6): 870-882.
- [5] 张亚美,黄文辉,丁文龙,等. 塔里木盆地玉北地区奥陶系碳酸盐岩成岩演化[J]. 地质科技情报, 2014, 33(5): 33-42.
- [6] 蒋海军,林新,岳勇,等. 塔里木盆地玉北地区奥陶系成岩作用研究[J]. 新疆地质, 2015, 33(1): 78-83.
- [7] 乔桂林,钱一雄,曹自成,等. 塔里木盆地玉北地区奥陶系鹰山组储层特征及岩溶模式[J]. 石油实验地质, 2014, 36(4): 417-428.
- [8] 吴礼明,蒋海军,林新,等. 塔里木盆地玉北地区奥陶系岩溶作用[J]. 新疆地质, 2015, 33(4): 504-509.
- [9] 牛君,黄文辉,蒋文龙,等. 玉北地区奥陶系碳酸盐岩风化壳岩溶储层特征及其主控因素[J]. 东北石油大学学报, 2016, 40(1): 1-13.
- [10] 刘忠宝,高山林,岳勇,等. 塔里木盆地麦盖提斜坡奥陶系储层成因与分布[J]. 石油学报, 2014, 35(4): 654-663.
- [11] 黄太柱. 塔里木盆地玉北地区断裂系统解析[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(1): 98-106.
- [12] 谭广辉,邱华标,余腾孝,等. 塔里木盆地玉北地区奥陶系鹰山组油藏成藏特征及主控因素[J]. 石油与天然气地质, 2014, 35(1): 26-32.
- [13] 罗少辉,李九梅,张旭光,等. 塔里木盆地玉北地区奥陶系沉积相与沉积演化模式[J]. 海相油气地质, 2017, 22(3): 23-29.
- [14] 郑剑锋,沈安江,潘文庆,等. 塔里木盆地地下古生界热液白云岩储层的主控因素及识别特征[J]. 海相油气地质, 2011, 16(4): 47-56.
- [15] 张朝军,贾承造,李本亮,等. 塔北隆起中西部地区古岩溶与油气聚集[J]. 石油勘探与开发, 2011, 32(2): 199-205.
- [16] 赵文智,沈安江,胡素云,等. 塔里木盆地寒武—奥陶系白云岩储层类型与分布特征[J]. 岩石学报, 2012, 28(3): 758-768.
- [17] 游生刚. 塔里木盆地玉北地区古构造演化对奥陶系岩溶储层的控制作用[D]. 北京: 中国地质大学(北京), 2013.
- [18] 朱光有,张水昌,王欢欢,等. 塔里木盆地北部深层风化壳储层的形成与分布[J]. 岩石学报, 2009, 25(10): 2384-2398.
- [19] 李映涛,袁晓宇,叶宁,等. 塔里木盆地玉北地区鹰山组储层特征及主控因素[J]. 海相油气地质, 2014, 19(4): 9-18.
- [20] 李景瑞,梁彬,于红枫,等. 中古8井区断裂与鹰山组岩溶储层成因关系[J]. 中国岩溶, 2015, 34(2): 147-153.
- [21] 赵文智,沈安江,潘文庆,等. 碳酸盐岩岩溶储层类型研究及对勘探的指导意义——以塔里木盆地岩溶储层为例[J]. 岩石学报, 2013, 29(9): 3213-3222.
- [22] 韩长城,林承焰,鲁新便,等. 塔河油田奥陶系碳酸盐岩岩溶斜坡断控岩溶储层特征及形成机制[J]. 石油与天然气地质, 2016, 37(5): 644-652.
- [23] 杨海军,韩剑发,孙崇浩,等. 塔中北斜坡奥陶系鹰山组岩溶型储层发育模式与油气勘探[J]. 石油学报, 2011, 32(2): 199-205.
- [24] 赵雪凤,朱光有,刘钦甫,等. 深部海相碳酸盐岩储层孔隙发育的主要控制因素研究[J]. 天然气地球科学, 2007, 18(4): 514-521.
- [25] 戴金星,陈践发. 中国大气田及其气源[M]. 北京: 科学出版社, 2003.

编辑:董庸

Origin and distribution of the Ordovician carbonate reservoir in Yubei area, Tarim Basin

LIN Xin, GONG Wei, YU Tengxiao, LIU Shaojie, YU Jingfang

Abstract: The Ordovician reservoir has a good potential for oil and gas exploration in Yubei area, Tarim Basin. Based on the cores, thin sections, imaging logging, physical property data, and geochemical data, the karst reservoirs of Lower-Middle Ordovician in Yubei area have obvious features of "stratification from upper to lower and differentiation from east to west". Longitudinally, there are three sets of reservoirs: the upper section of Yingshan Formation, mainly fracture type; the lower section of Yingshan Formation, mainly fracture-vug type; and the Penglaiba Formation, mainly vug type. Horizontally, the reservoirs developed in the eastern fault zone, mainly fracture type, while it is relatively poor in the central and western regions. According to the palaeo-geomorphology and fracture evolution, the Ordovician reservoir can be divided into two genetic types: weathering crust karst reservoir, mainly distributed in the high parts of palaeo-structures, and fault-controlled karst reservoir, mainly distributed along larger scale fractures. The model of Ordovician reservoir is established in Yubei area, by which the central platform of Yubei could be the next favorable play.

Key words: reservoir genesis; reservoir type; weathering crust karst reservoir; fault-controlled karst reservoir; Ordovician; Yubei area; Tarim Basin

LIN Xin: MSc, Geology Engineer. Add: Research Institute of Exploration and Development, Northwest Oilfield Company, Sinopec, 466 Changchun Nan Rd., Urumqi, Xinjiang 830011, China