

文章编号: 1001-6112(1999)04-0364-05

塔里木盆地重质原油形成过程中轻组分损失量估算

饶丹, 刘毅

(中国新星石油公司实验地质研究院, 江苏无锡 214151)

摘要: 塔里木盆地广泛分布着多种类型的重质原油, 尤其是海相氧化残留油, 已达相当规模。本文作者经过研究, 用地化指标估算了原油损失的百分比, 以便摸清古油藏聚集规模, 为盆地油气资源量计算提供可靠的数据, 并在结合其形成原因、时期以寻找与其伴生的其它类型的油气藏或有用的矿产方面起到积极作用。

关键词: 重质油; 饱和烃轻组分; 含硫量; 损失量; 估算; 塔里木盆地

中图分类号: TE122.1

文献标识码: A

1 引言

重油又称稠油, 属于非常规的石油资源, 它在塔里木盆地的分布非常广泛。横向上从塔北、塔中到塔

西南, 纵向上从奥陶系、志留系至石炭系、二叠系、三叠系、侏罗系等诸多层位, 均有重质油分布(表 1)。对它进行重点研究, 不仅有利于我们了解早期原油损失的程度, 也利于我们结合重油的成因, 寻找与其伴生的烃类及其它与之相关的矿产资源。

表 1 塔里木盆地重质原油的分布及物理性质

Table 1 Distribution and physical properties of heavy crude oil in the Tarim Basin

地区	井号	层位	井深 /m	密度(ρ_{20}) /g·cm ⁻³	粘度(V_{50}) /mPa·s	凝固点 /°C	含蜡量 /%	含硫量 /%	非烃+ 沥青质 /%
塔中	塔中 4	C		0.9166	62.47	- 21.5	4.19	0.94	29.3
	塔中 1	C							
	塔中 10	S		0.89					
	塔中 11	S	4417~4435	发现工业稠油层, 厚 18m, 日产稠油 16.3m ³					
	塔中 31	S	4579~4597	低产稠油层, 日产稠油 1.632m ³					
塔西	英买 1	O ₁	5359~5357	0.96	363	- 16	2.8	1.9	18.3
	沙 13	O	5045~5100	0.9575	439.9			2.19	27.47
	沙 18	T	4737~4747	0.9447	992(V_{30})	- 7.8	3.4	2.1	10~21.49
	轮南 1	T						1.43	16.3
	轮南 22	T		0.93		- 11~+ 8.5	4.3~4.5	1.4~0.3	8.9~27.7
	轮南 44	T		0.94		- 7.8~- 18	1.3~3.4	2.1~0.9	13.5
	轮南 1	O ₁	5038~5052	0.966	3430(V_{30})	20	2.35	1.66	26.7
	轮南 11	O ₁	5278~5309	0.96	472.7	+ 9.0	3.95	1.74	23.2
	沙 48	O	5357~5364	0.949	938.8(V_{30})		1.6	2.26	
	沙 14	O ₁	5280~5380	0.86	> 101(V_{30})	31.5	9.78	0.3	3.8
	沙 17	O ₁	5305.1~5505.8						
	沙 23	O ₁	5424.3~5526.6						
	沙 9	O ₁	5034.8~5308.8	0.8882	22.67(V_{30})	- 5.5	2.09	0.36	5.51
	沙 30	O ₂₋₃	5751~5795.4						
塔北	沙 15	J ₁	5317						
	沙 5	T ₃	5424.9~5410.9						
	沙 5	C ₁	5410.9~5415.6						
	东河 2.3	J							
阿瓦提	胜利 1	P ₁ - S ₂₋₃	4998.2~6211.7						

收稿日期: 1999-03-11.

作者简介: 饶丹(1966-), 女, 四川乐至人, 工程师, 石油地质.

前人在“七五”、“八五”期间已对塔里木盆地重质原油的成因进行过详细研究^④。从物理性质、化学组成及碳同位素等多方面证实,盆内重油以氧化降解重油为主,如塔中4井(C)、轮南1井(O₁、T)等;次为运移残留重油,如沙14井(O₁)。上述已发现的海相氧化残留油均是地史过程中受海西、印支、燕山等构造运动影响,地层隆升剥蚀,早期油气藏受挥发、水洗、氧化、生物降解等物理、化学作用的改造,后又埋藏演化至今的重油,并不是被破坏初期的本来面貌,它们是改造后的原油随地史进一步埋藏、演化,重组分又不断产生轻组分,再加上外来油气的介入而成为现今所见的稠油的^[1]。这可以从它们的轻烃结构组成分布(图1)上得到验证^④。沙13井、英买1井、轮南1井、塔中4井稠油都保留有完整的正烷烃系列(而直链烷烃系列的抗生物降解能力最弱,是

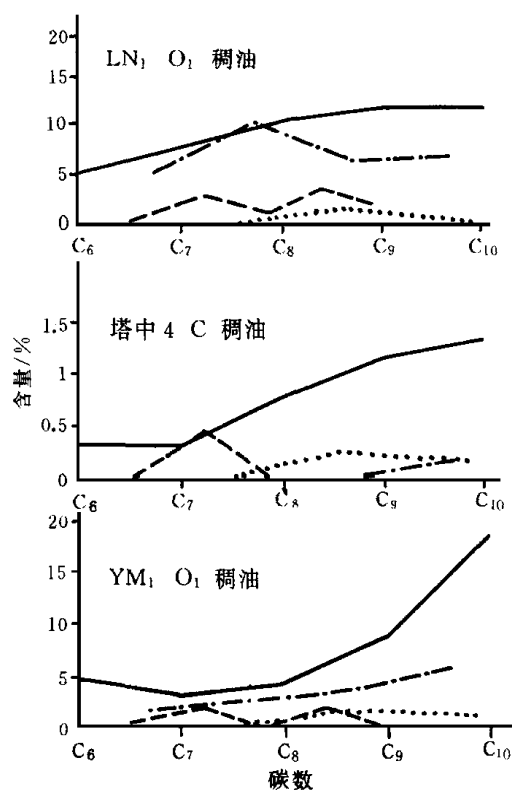


图1 塔里木盆地重质原油轻烃(C₆-C₁₀)结构组成分布特征对比

1. 正烷烃; 2. 支链烷烃; 3. 环烷烃; 4. 芳烃

Fig. 1 Comparison of composition distributive characteristics for the light hydrocarbon structure of heavy crude oil in the Tarim Basin

最易损失的部分),在全烃色谱图上nC₆都可见,并在轻烃结构组成中仍保留了正构烷烃对异构烷烃的优势。虽然重组分相对富集,呈后峰型分布,但仍然具有正构烷烃>支链烷烃>环烷烃>芳烃的正常组合序次分布。由于未做模拟实验没有具体的实验指标支撑、不了解稠油原始状态的原油性质以及氧化与演化的方向是

相反的等诸多原因,仅根据现今的稠油很难准确估算原始原油的损失比例。因此,我们只能寻找残留油气藏附近同层系、相同岩性的保存好的油气藏代表其原生油藏,通过反映后生变化最灵敏的参数指标与现今稠油进行比较,粗略估算重质原油的损失比例。

2 后生变化灵敏参数指标

2.1 含硫量

Orr(1978)认为稠油和沥青中硫含量呈二到三倍的增加是已存在的原生油中硫化物浓缩的结果,并不是外来物源硫增加的结果。也就是说由于重质油中轻组分的损失而使硫的相对含量大大提高了。例如英买1井奥陶系重油的含硫量为1.29%,而位于其西北方向的英买7井奥陶系正常原油的含硫量仅有0.05%(表2),说明英买1井奥陶系稠油中硫的相对含量增加了约96%,反映出英买1井古油藏的绝大部分都损失掉了;沙13井也如此。阿克库勒地区的损失比例比沙西地区低,反映其古油藏遭受破坏的程度次于沙西。含硫量的估算是重油物理性质变化的反映,还应结合化学结构组成进行综合研究。

2.2 饱和烃轻组分

石油是由多种化合物组成的很复杂的混合物,它具有很高的能量。在地质条件下,石油在热力学上是属于亚稳态的物质。所以,石油进入储层中储存以后容易发生蚀变。塔里木盆地广泛存在地史期因地壳多次破裂升迁、沉降所形成的多期稠油,它们的存在都可能和目前的或古时的表层带有关。因为凡是接近地表的储层和容易得到地表来源的水的储层中,都会发生生物降解作用和水洗作用。古油藏在暴

陈正辅,等. 新疆塔里木盆地东北地区生油层评价及油气源研究. 1990.

④ 罗宏,等. 新疆塔里木盆地北部油气成因类型及分布规律研究. 1994.

④ 章平澜,等. 塔里木盆地油气聚集条件与选区评价研究. 1995.

表 2 塔北地区稠油与正常油含硫量比较

Table 2 Comparison of sulphur content for viscous oil with that for normal oil in the Tarim Basin

地区	井号	层位	井深 / m	原油性质	密度 (ρ_{20}) / $\text{g} \cdot \text{cm}^{-3}$	粘度 (V_{50}) / $\text{mPa} \cdot \text{s}$	含硫量 / %	损失比例 / %
沙雅西	YM1	O	5355~5379	稠油	0.97	363	1.29	96
	YM7	O	5212.69~5277.19	正常原油	0.83	5.41	0.05	
	S13	O	4968~4972	稠油	0.96	440	2.19	97.7
阿克库勒	LN11	O	5278.4~5309.4	稠油	0.96	472.7	1.74	85.6
	LN1	O	5038~5052	稠油	0.966	3430(V_{30})	1.66	85
	S18	O	5157.49	凝析油	0.7715	1.35(V_{30})	0.25	

露地表的同时还存在着挥发作用与无机氧化作用。其中水洗和生物降解两个过程都是通过流动的地下水的的作用引起的,两个过程可以独立地发生,但显然在大多数情况下它们是相互平行地进行的。虽然各个作用的机理及发生的物理、化学变化不同,但它们使原油向相同的方向变化,即使得原油变重。根据“七五”原油冷变质模拟试验,可以从中了解各种不同作用对原油成分的影响趋势,寻找最敏感的地化标志。

2.2.1 挥发作用

原油经自然挥发后表现为低碳数正烷烃的损失, C_{11} 、 C_{12} 、 C_{13} 在色谱图上均已消失,主峰碳位置后移至 C_{16} , C_{15} 以前的轻正烷烃从原样的 58% 降至 31%, 损耗 27%; 异烷烃的变化与正烷烃相同,也是低分子量的轻异烷烃损失较多; 芳烃变化幅度较小,表明其抗挥发作用的能力稍强。

2.2.2 氧化作用

石油在氧化作用下,一般比重粘度逐渐增大,轻馏份含量不断减少,烷烃含量亦逐渐减少,而环烷烃和高分子芳香烃逐渐增加(由于烷烃较易破坏),胶质-沥青质含量不断提高,氧、氮、硫等元素逐渐增多。

2.2.3 水洗作用

原油经水洗后, $nC_{15} / \sum nC_{\text{总}}$ 的比值从原油的 59% 降低到 49%, 即经水洗作用的原油 nC_{15} 的轻正烷烃减少 10%; nC_{15} 以前轻的异烷烃也容易被洗去; 苯、萘、茚、联苯等轻芳烃极易受水洗作用的影响,在原油中几乎可以全部被洗掉。

2.2.4 生物降解

需氧和(或)厌氧微生物的生物降解作用的结

果,造成正烷烃、略带支链的烷烃、还可能有低环数环烷烃及芳香烃等组部分地或全部地消失,不同强度的生物降解作用和不同的持续时间,使得原油表现出不同程度的蚀变。被细菌选择性利用的烃类大致有以下顺序: 正构烷烃(C_{25} 以下)、类异戊间二烯烷烃、低环数环烷烃和芳香烃。

总之,挥发作用、氧化作用、水洗作用及生物降解作用都会使原油中的烃类(饱和烃、异构烷烃、芳烃等)发生变化,变化的总趋势是损失掉轻组分,使油质变重,而降解的次序依然是饱-异-环-芳。即饱和烃是烃类中最易损失掉的物质,尤其是 C_{15} 以前的轻烃对环境的开启程度极其灵敏,不失为一个比较古今油藏的重要参数。

图 2、图 3 及表 3 是我们对塔北阿克库勒及沙雅西地区重质原油与正常原油饱和烃碳数分布所作

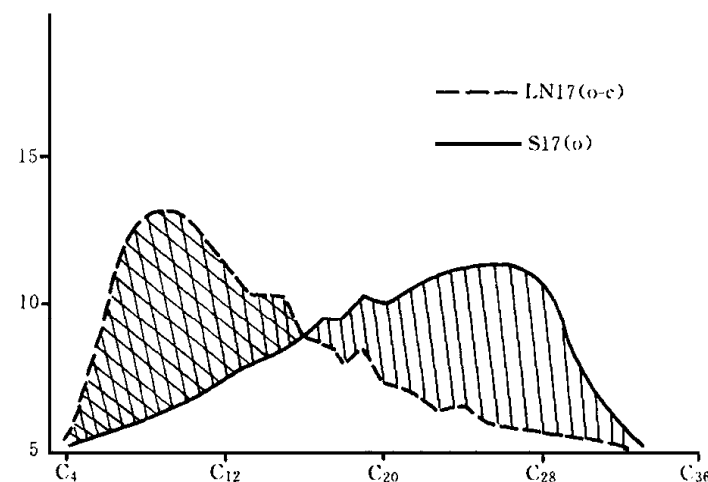


图 2 阿克库勒地区重质油与正常油饱和烃碳数分布比较图
Fig. 2 Comparison of saturated hydrocarbon carbon number distribution for heavy oil with that for normal oil in Ackule area

表 3 塔里木盆地重质油与正常油饱和烃轻组分比较

Table 3 Comparison of saturated-hydrocarbon light components for heavy oil with those for normal oil in the Tarim Basin

地区	井号	井 深 /m	层位	原油性质	主峰碳	$h = C_{15} / C_{15}$	损失比例: $\frac{h_{正} - h_{重}}{h_{正}}$ / %
阿克库勒	S17		T	正常油	C ₉	2.33	
	S18	4749.5~4758.4	T	稠油	C ₁₃	0.88	62.2
	LN17	5530~5579.6	O-C	正常油	C ₉	2.60	
	S17	5274~5385	O	稠油	C ₁₉	0.42	83.8
沙雅西	YM1	5348~5379	O	稠油	C ₁₅	0.44	63
	YM7	5212.7~5277.2	C-O	正常油	C ₁₀	1.19	
塔 中	TZ1		C	稠油	C ₁₅		

$h_{正}$ 为正常原油的 C_{15} / C_{15} , $h_{重}$ 为重质原油的 C_{15} / C_{15}

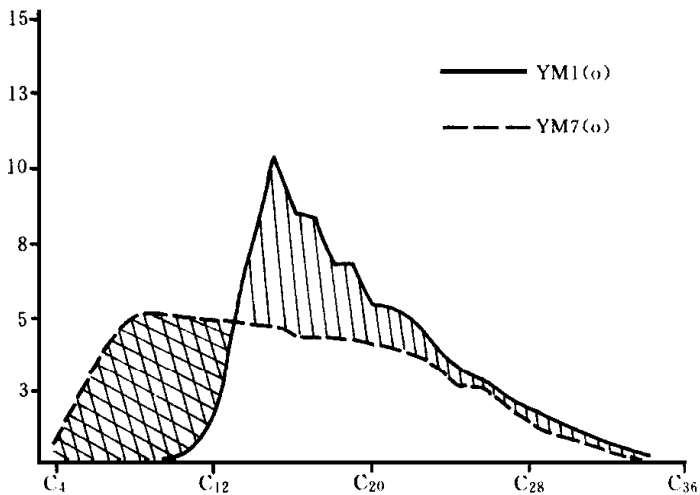


图 3 沙雅西地区重质油与正常油饱和烃碳数分布比较图

Fig. 3 Comparison of saturated-hydrocarbon carbon number distribution for heavy oil with that for normal oil in West Shaya area

的比较。首先将同一地区、同一层位的正常原油(如轮南 17 井奥陶系、英买 7 井奥陶系)近似地看作重质油(沙 17 井奥陶系、英买 1 井奥陶系)未遭受破坏之前的原始状态的原油(虽然这种人为的模拟手段与自然界所发生的过程不可能完全相比,要单纯得多,而真实的情况却错综复杂,相互参叠,但取其单纯的一面可以从中了解变化的趋势、探索变化规律、选择最敏感的地化标志,以便与自然界实际遭受改造的重质油所反映的地化规律相互对照和验证),然后提取各自全烃色谱图中的正构烷烃组分,做成如图所示的正构烷烃曲线分布图。图 2 中轮南 17 井的主峰碳为 C₉,呈前峰型,轻烃始于 C₃ 或 C₄,轻重比

C_{15} / C_{15} 为 2.60,反映出原油保存条件良好、演化程度较高的特征。而同一地区沙 17 井奥陶系重油的主峰碳则为 C₁₉,呈后峰型,虽然轻烃也始于 C₄,但所占比例却大大降低,使原来的主峰碳位置向高碳数位移,前面轻的正烷烃由于遭受蚀变而大部分损失,而后一组出现的高碳数正烷烃含量则大大增加,它们是由于氧化等作用,伴随着聚合、重排等作用,经两次化学反应而生成的,相应的轻重比 C_{15} / C_{15} 也降低到 0.42,据此我们估算出阿克库勒地区奥陶系古油藏的 83.8% (表 3) 被破坏了。同理,沙西地区英买 7 井奥陶系的正烷烃呈前峰型分布,主峰碳为 C₁₀,轻烃始于 C₃ 或 C₄, C_{15} / C_{15} 比值为 1.19,保存条件良好;英买 1 井奥陶系重油则呈后峰型,主峰碳后移至 C₁₅,轻烃始于 C₇ 或 C₈,且含量极低,C₆ 以前的轻组分几乎损失殆尽,高碳数的重质组分则相应增加,轻重比 C_{15} / C_{15} 比值仅剩 0.44,明显反映出保存条件差,轻组分损失,重组分增加,估算其损失百分比为 63%。塔中地区由于缺乏正常原油的全烃图谱而未作比较、计算,仅从塔中 1 井石炭系稠油的主峰碳为 C₁₅ 便可预知它与塔北地区的原油存在同样的变化规律。

3 结论

综合含硫量及饱和烃轻组分反映出的损失比例,考虑到后期重质油的进一步降解及外来油的加入,估算原油损失百分比应高出轻组分所反映出的损失比例。初步断定原生油的 70%~90% 必定是被破坏了。此外还因为选择时只排除正构烷烃在容量

上是不够的,异构的、环烷烃及芳烃的损失一定也包括在内,以后将进一步就此开展工作。

依据公式 $Q_{\text{残余稠油}} = \text{含稠油面积} \times \text{稠油层厚度} \times \text{稠油饱和度} \times \text{稠油比重}$, 可计算出古油藏原油聚集量 $Q_{\text{聚}} = Q_{\text{残}} \times K$, 其中 K 为换算系数, 根据重质油损失比例换算而得。

在评价石油资源中准确地了解确切生成的烃量是具有重要意义的。我们仅仅能确定目前被圈闭了的已知储量, 两个数量之差即为损失掉了或是尚有待发现的。塔里木盆地绝大部分重质原油的形成是在它的生成、运移、聚集成藏过程中经受物理、化学蚀变的结果, 无疑在重油成藏的过程中必然伴有一些其它类型油气藏的形成。一般情况下, 重质油藏和正常油藏有着不可分割的成因联系。纵向上浅层重油藏之下或其一侧通常都有正常的油气藏存在; 平面上同一个油藏在靠近断层处为重质油, 远离断层处则为正常油。另外, 还可能存在着与重油共生的氧

化降解型天然气藏、与重油伴生的浅层轻质油和凝析油气藏以及重油或沥青封堵的浅层天然气藏等。例如陈正辅等 1988 年根据对沙 14 井奥陶系分异运移残留重油的系统研究, 及时提出在其邻近地区有出现次生分异性质的轻质油气聚集的可能, 这一观点已为邻近沙 18 井高气/油比石炭系油气的出现所证实。总之, 本研究提示我们应重视被破坏掉的部分, 了解其分布现状, 分析其形成原因, 计算其损失比例。预测是否存在与之伴生的其它类型的油气藏或有用矿产, 将为塔里木盆地油气的稳产、增产提供新的找矿思路。

参考文献:

- [1] 邱蕴玉, 等. 扬子区海相储层沥青成因类型划分及其在油气运移、聚集、保存条件研究上的应用[A]. 钱志浩, 等. 石油地质实验测试技术新进展[C]. 北京: 地质出版社, 1994.

ESTIMATION OF LIGHT COMPONENT LOSSES DURING THE FORMATION OF HEAVY CRUDE OIL IN THE TARIM BASIN

RAO Dan, LIU Yi

(Research Institute of Experimental Geology, CNSPC, Wuxi, Jiangsu 214151, China)

Abstract: Various kinds of heavy crude oil is widespread in the Tarim Basin, especially in marine oxidized residual oceans where its distribution is to a considerable scale. In this paper, geochemical indexes are used to estimate the percentage of crude oil losses so as to find out about the accumulation scales of paleo-pools and to provide reliable data for the hydrocarbon reserve calculation of the basin. Heavy crude oil plays an active role in searching other types of accompanying pools or useful mineral resources together with its forming reasons and periods.

Key words: heavy oil; light components of saturated hydrocarbon; sulfur content; losses; estimation; the Tarim Basin