

石油科学进展 7

沥青、地沥青和沥青砂

[美] G.V. 契林盖里 T.F. 尹德福 编

石油工业出版社

石油
工业出版社

071210

2618.1

(5402/30) 5402/15

石油科学进展 7

沥青、地沥青和沥青砂

〔美〕 G.V.契林盖里 T.F.尹德福 编

俞经方 译

石油工业出版社

内 容 提 要

本书从理论上阐述了沥青和重质原油的成因，并着重叙述了世界上一些地区开采沥青和重质原油的方法及其效果，对世界上一些主要沥青砂矿的分布作了介绍。

本书对从事重质原油勘探和热采工作的研究人员和现场技术人员有一定的参考价值。

G.V. CHILINGARIAN T.F. YEN
BITUMENS, ASPHALTS AND TAR SANDS
ELSEVIER SCIENTIFIC PUBLISHING
COMPANY NEW YORK 1978

石油科学进展 7

沥青、地沥青和沥青砂

【美】G.V. 契林盖里 T.F. 尹德福 编

俞经方 译

石油工业出版社出版

（北京安定门外安华里二区一号楼）

北京吴海印刷厂排版印刷

新华书店北京发行所发行

787×1092毫米 16开本 12³/₄印张 1插页 309千字 印 1—1,800

1988年5月北京第1版 1988年5月北京第1次印刷

书号：15037·2898 定价：2.60元

ISBN 7-5021-0047-4/TE·47

序 言

由于矿物性燃料的主要来源日益枯竭这一事实在世界范围内得到证实，勘探和开发地球上其它天然燃料的意义越来越重要。但是全世界都存在沥青、地沥青和沥青砂，这类天然矿藏可为日益减少的油、气资源提供可观的后备资源。这些潜在的燃料很久以前就引起过人们的注意，但当时态度比较轻率，没有对其进行系统的科学研究和分析。虽然某些石油公司和社会团体投入了很多资金来研究这类潜在的燃料，可是这些研究的结果很难得到。并且这方面的出版物又极少，这将会影响到今后沥青、地沥青和沥青砂的开发，并用其生产大量的燃料。

为了把人们的注意力吸引到这种燃料上，编者邀请了许多国际上知名的专家来总结沥青、地沥青及沥青砂的成因和开发方面的知识。编者希望本书能有助于从事此项研究的科学家和工程师们的工作，同时也希望能推动其他人员献身于这类燃料的研究和开发。尽管篇幅有限，但若本书能对此项研究有某些促进，都会使编者及作者感到欣慰。

编者愿在此向参加编写本书各章节的作者表示感谢，感谢他们的辛勤劳动，其次，编者有足够的耐心等待本书获得充分的评价。编者还想对C.S.魏、密奇尔·许、范里勒·亚历山大、玛丽.A.史密斯和凯茨·梅乃斯柯表示谢意，感谢他们为这本书的问世所作的努力。

G.V.契林盖里

T.F.尹德福

目 录

序言	
第一章 有机物及石油和沥青砂的成因	1
1. 石油和天然气的成因.....	1
2. 沥青砂.....	6
3. 沥青砂潜在含量综述.....	8
参考文献.....	10
第二章 天然重原油矿藏的地球化学及成因	13
1. 引言.....	13
2. 目前对石油生成和变化产物的概念.....	13
3. 重原油的鉴别.....	15
参考文献.....	17
第三章 天然地沥青的热转化	19
1. 引言.....	19
2. 天然地沥青的地球化学性质.....	20
3. 人工成熟度的概念.....	20
4. 室内试验结果.....	27
5. 地球化学关系.....	32
6. 结论.....	35
参考文献.....	36
第四章 世界主要沥青砂矿	39
1. 引言.....	39
2. 世界主要沥青砂矿的地质.....	40
3. 地质圈闭沉积层.....	54
4. 构造-地层圈闭沉积.....	54
5. 构造圈闭沉积.....	56
6. Athabasca, Edna、西斯巧克和 Santa Rosa 诸沥青矿.....	56
7. Selenizza (阿尔巴尼亚) 和 Derna (罗马尼亚) 两个矿.....	56
8. 世界其它沥青砂产地.....	57
9. 沥青砂的商业性开发阶段.....	57
参考文献.....	58
第五章 Athabasca 沥青砂: 产状及商业性开采方案	60
1. 引言.....	60
2. 产状.....	60
3. 商业性开采的历史.....	63
4. 商业性开采方案.....	69
5. 结论.....	76

附录	78
参考文献	78
书目	79
第六章 Athabasca 沥青的热裂化	80
1. 引言	80
2. 沥青的热改质	80
3. 产品性质	87
4. 提高沥青品位的商业性装置(生产合成原油)	88
参考文献	102
第七章 沥青的性质和结构	106
1. 引言	106
2. 沥青的性质	106
3. 沥青的结构	111
4. 结论	128
参考文献	128
第八章 油砂层内的原地开采法	132
1. 引言	132
2. 主要沥青砂矿的特性	132
3. 原地开采技术综述	133
4. 周期性注蒸汽	136
5. 蒸汽加热和乳化综合法(壳牌公司工艺)	140
6. 注蒸汽与各种添加剂相配合	140
7. 底水带内注入蒸汽	141
8. 火烧激化	142
9. 正向层内燃烧	142
10. 干烧加热, 随后用火烧—注水结合(阿莫柯公司工艺)	143
11. 注蒸汽与层内燃烧综合	143
12. 逆向层内燃烧	143
13. 注溶剂或稀释剂	144
14. 结论	144
参考文献	146
第九章 铜、委内瑞拉矿物性组类的关键	148
1. 引言	148
2. 地质和地球化学	148
3. 生态学	152
4. 石油经济	152
5. 第一代和第二代炼油业	153
6. 第三代石油炼制	158
7. 第四代加氢脱金属—加氢脱硫—催化裂化装置	158
8. 燃烧、气化及烟道气脱硫	161
9. 冶金学	162
参考文献	164

第十章 沥青质在炼油中的作用	168
1. 引言	168
2. 沥青质在炼油中的作用	168
3. 将沥青质转化成油溶性物质的工艺	170
4. 氢含量及氢气的利用	176
参考文献	177
第十一章 用地球物理测井技术对沥青砂进行地层评价	178
1. 地球物理测井简介	178
2. 评价沥青砂用的地球物理测井	178
3. 沥青砂地层评价中的基本考虑	180
4. 岩性分析方法	180
5. 用地球物理测井曲线评价沥青砂	181
6. 结论	188
参考文献	188
附录 油层岩石的压裂	191
1. 引言	191
2. 水力压裂	191
3. 核爆炸压裂	196
参考文献	198

第一章 有机物及石油和沥青砂的成因

G.V. 契林盖里和 T.F. 尹德福

1. 石油和天然气的成因

研究石油成因的科学家多数都摒弃无机生油论，主要是因为最近的研究工作提供了许多有关石油生物成因的证据。主要的证明是石油（其中各成分的组成及性质）和有机物组分的基本结构亚族间极为相似。石油成因的基本模式如下：

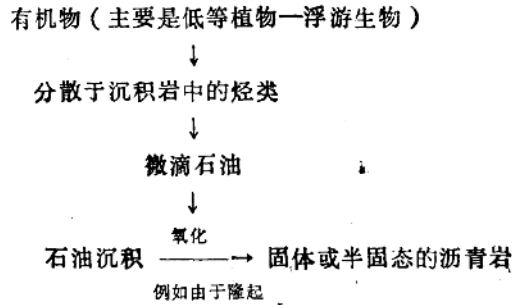


表 1-1 生物及石油的成分

第一部分：生物					
物 名	主要成分（重量%）				
	类 脂	蛋 白 质		碳 水 化 合 物	
绿色植物	2	7		75	
腐植土	6	10		77	
植物浮游生物	11	15		66	
动物浮游生物	15	53		5	
细菌（植物类）	20	50		20	
孢子	50	8		42	

第二部分：石油					
物 名	元素组成（重量%）				
	C	H	S	N	O
类 脂	80	10			10
蛋白质	53	7	2	16	12
碳水化合物	44	6			50
木 质	63	5	0.1	0.3	31
石 油	82-87	12-15	0.1-5	0.1-5	0.1-2

生物的组成见表 1-1。类脂化合物简单的脱羧基，（类脂化合物在细菌及孢子中的含量都很高）即可得到烃类。石油生成及成熟过程的图解见图 1-1。

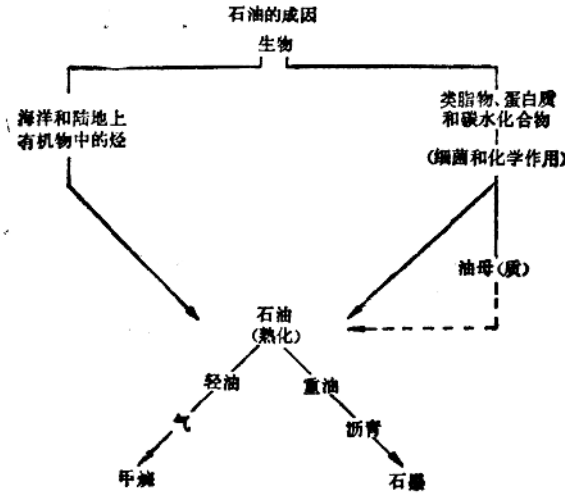


图 1-1 石油成因及成熟过程图解

某些碳酸盐岩石及页岩中残余的有机物及烃类列于表 1-2。生油地层中（页岩和碳酸盐岩都一样）散布的烃类要比油层中的烃类多，约为其 30~150 倍。

表 1-2 非储层岩石内烃类和有机物的分布（根据 Hunt〔1〕）

岩石类型	烃类 (ppm)	有机物 (重量%)
页岩		
路易斯安那, Wilcox	180	1.0
怀俄明, Frontier	300	1.5
俄克拉何马, Springer	400	1.7
加利福尼亚, Monterey	500	2.2
俄克拉何马, Woodford	3000	5.4
石灰岩和白云岩		
蒙塔那, Mission Canyon 石灰岩	67	0.11
阿尔伯达 (Alta.), Ireton 石灰岩	106	0.28
蒙塔那, Madison 白云岩	243	0.13
蒙塔那, Charles 石灰岩	271	0.32
丹麦, Zechstein 白云岩	310	0.47
北达科他, Bauff 石灰岩	530	0.47
石灰质页岩		
怀俄明, Niobrara	1100	3.6
密执安, Antrim	2400	6.7
阿尔伯达, Duvernay	3300	7.9
阿尔伯达, Nordegg	3800	12.6

可溶性有机物（在各种有机溶剂中，如苯和乙醚）可以用色层分离柱分成（1）烃类和（2）非烃类（沥青）〔2, 3〕。沥青中除碳和氢外还含硫、氮和氧等元素。残留的有机物（干酪根）已由许多作者详细介绍过（如参考文献〔4〕）。

天然气、石油、沥青和干酪根的代表性元素组成列于表 1-3。如该表所示，H/C 比按下列次序降低：天然气→石油→沥青→干酪根。原油平均含 30% 汽油（ $C_4 \sim C_{10}$ ），10% 煤油（ $C_{11} \sim C_{12}$ ），15% 粗柴油（ $C_{18} \sim C_{20}$ ），20% 润滑油（ $C_{21} \sim C_{40}$ ），和 25% 沥青（ $>C_{40}$ ），至于烃类组成，石油含 30% 石蜡族烃，50% 环烷烃，15% 芳香族烃和 5% 沥青。石油主要馏分的组成和沸点馏程见图 1-2。

表 1-3 天然气、石油、地沥青和干酪根的代表性元素组成

物 名	元素组成 (重量%)				
	C	H	S	N	O
天然气	76	23	0.2	0.2	0.3
石油	84	13	2	0.5	0.6
地沥青	83	10	4	1	2
干酪根	79	6	5	2	8

沥青系石油蒸馏后的直馏残渣或者是得自“减粘”热裂化塔底的产物。它们也可由原油残渣经“吹”气氧化过程氧化而成。沥青是一种由沥青质、石蜡和胶质组成的混合物，可以经风

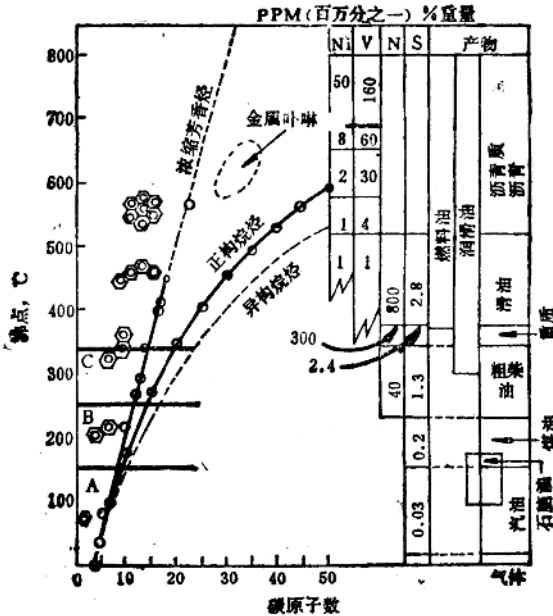


图 1-2 纯烃（左）沸点和碳原子数间的关系及各种石油馏分（右）的组分（根据 Erskine 和 Whitehead〔5〕）

化和变质〔6〕而转化成沥青岩或地沥青。如图 1-2 所示，沥青的特征是含有痕量元素镍和钒。

干酪根乃是生物成因的固体不溶性有机物，它混杂在沉积物中。它是一种交联的多聚合物〔4, 7〕，由和沥青相似的亚族组成。干酪根通常是生油岩和页岩中有机物的主要部分。

如氨基酸、糖、类脂化合物及酚这样的生物分子乃是生成干酪根的初始物料。干酪根是地壳沉积岩中有机碳的主体，分布极为分散。

成岩过程中，由原先的生物化学的大分子的裂解产物合成新的缩合物或聚合物。降解作用使生物原来的已定结构顺序变得无规律性。

地球的生物中有机碳的总含量为 2×10^{11} 吨，此值达到一年内生物生长的总数。其中 0.3×10^{11} 吨为植物浮游生物的初始产物。海洋含有 2.0×10^{12} 吨的有机碳、代表生物和生物尸体两者，它们可为溶解状或悬浮状〔8〕。同温层中的有机碳量约为 1.5×10^{16} 吨，其中 1.0×10^{16} 吨属于陆地，其余则属于海洋。全部煤炭中的有机碳约 30×10^{12} 吨，即约占同温层中有机碳的 0.3%，而油页岩则含 10×10^{12} 吨的有机碳。土壤含有有机碳 10^{12} 吨。沉积物中有 200×10^{14} 吨有机碳为原生的， $n \times 10^{14}$ 吨为外来的有机碳及外来的微油滴。至于读到的陆源的商业性石油沉积， 2.5×10^{12} 吨的有机碳来自石油， 2×10^{12} 吨有机碳来自天然气。海洋部分的石油沉积中预计 1.5×10^{12} 吨有机碳来自石油， 1.0×10^{12} 吨来自天然气。还应指出，海洋中溶解的有机物量仅为几毫克/升〔9〕。根据 Hunt〔10〕和 Gehman〔11〕的资料、页岩、碳酸盐岩和砂岩中总的有机物平均含量分别为 2.1%、0.29% 和 0.05%。

关于地球上碳的分布，沉积岩中（页岩和砂岩）干酪根的量，按 Skirrow 的统计〔12〕，至少要比活有机物的生物质多 1000 倍（表 1-4）。

表 1-4 地球上的碳分布（根据 Skirrow〔12〕）

来源	有机碳 C _{org} (克/厘米 ² 地表)
碳酸盐岩	2340
页岩和砂岩	633
海水(HCO ₃ ⁻ +CO ₂ *)	7.5
煤和石油	1.1
生物和溶解有机碳	0.6
大气	0.1

如表 1-5 所示，古老的页岩中烃类与有机物之比低于碳酸盐岩，然而，近代碳酸盐沉积中有机物的含量和近代粘土中的含量极为相近。可能，粘土主要含有褐煤和腐植质一类物质，这是压实和成岩作用时期的残存物，而碳酸盐岩则主要含蛋白质有机物，它在再结晶时水解。

成岩作用初期，各种有机化合物之间相互作用，并和金属铁、矿物表面相互作用。反应按热动力稳定度增大方向进行：

生物分子 → (成岩初期)^快 → 亚稳产物 — (成岩后期)^慢 → 地沥青、C、CO₂、H₂O、Cl₄ 等等。不过，始终没有达到有机物的热动力稳定度〔13〕。看来，生物分子的转化是处于成岩初期亚稳定组织形成在动力学方面所固有的。

表 1-5 近代沉积和古代沉积中烃类及有关有机物质的分布 (根据 Hunt [1])

沉积岩	烃类(ppm)	有机物(重量%)
粘土(近代)②	50	1.5
粘土(古代)②	300	2.0
碳酸盐岩(近代)①	40	1.7
碳酸盐岩(古代)①	340	0.2

①古巴贝特贝纳湾(Batabano)

②几个地区样品的平均值

1934年, Treibs [14] 首次从原油中鉴别出生物结构, 即氯化血红素和叶绿素的卟啉衍生物, 它们分别是动物血液和绿色植物的色素。原油中存在光学活性物质, 这是除了生物以外还没有形成过的, 乃是包含生命过程的良好证据。原油的典型组成列于表 1-6。

沉积物和原油中奇数正构石蜡族烃和偶数正构石蜡族烃之比列于表 1-7。根据这些结果, Bray 和 Evans [16] 得出如下结论: 如果生成的烃类足以使奇/偶比降到 1.2 这个原油中观察到的最大比值时, 这种沉积岩可看成是生油岩。

碳水化合物、蛋白质和类脂化合物在植物界和动物界从数量上讲比较重要, 而酚杂缩聚物、烃类和地沥青则在沉积岩内比较重要。E. T. Degens 提出一种分类计划, 它包括了主要的生物化学化合物: (1) 氨基酸及有关物质; (2) 碳水化合物及其衍生物; (3) 类脂化合物, 异戊间二烯化合物和甾族化合物; (4) 苯酚、喹宁酮及有关物质; (5) 杂环化合物; (6) 烃类及(7)地沥青及有关物质。

表 1-6 典型的原油组分 (根据 Hunt [15])

组 分	重量%	组 分	重量%
馏分(分子大小)		分子类型	
汽油(C ₄ -C ₁₀)	31	石蜡族烃	30
煤油(C ₁₁ -C ₁₈)	10	环烷烃	49
柴油(C ₁₈ -C ₂₀)	15	芳香烃	15
润滑油(C ₂₁ -C ₄₀)	20	沥青	5
渣油(>C ₄₀)	24		
	100		100

表 1-7 沉积物和原油中奇数正构石蜡族烃类和偶数正构石蜡族烃类之比 (根据 Hunt [15])

来 源	奇/偶正构石蜡族烃类之比
近代沉积	2.5~5.5
古代沉积	0.9~2.4
原油	0.9~1.2

Degens [17] 提出了有机成分的结构组成及一般的地球化学。沉积岩中的有机物要么是(1)经受了成岩作用(化学上相似于或等同于生物的有机分子), 或是(2)被成岩作用改变了(例如侧链烃类, 这不象生物化学的结构单元)。

有关早期成岩时影响生物分子转化因素的知识显然很缺乏。应该集中研究蛋白质和碳水化合物，因为它们占了大多数有机体中有机物的 40~80%。有机分子和金属铁（及矿物）之间可以发生各种反应，见图 1-3 所示，该图表示沉积岩中含碳水化合物和含蛋白质残渣的假想结构式。

石油和天然气生成深度和最大的油田埋藏深度间的关系列于图 1-4。该图画出了不同成

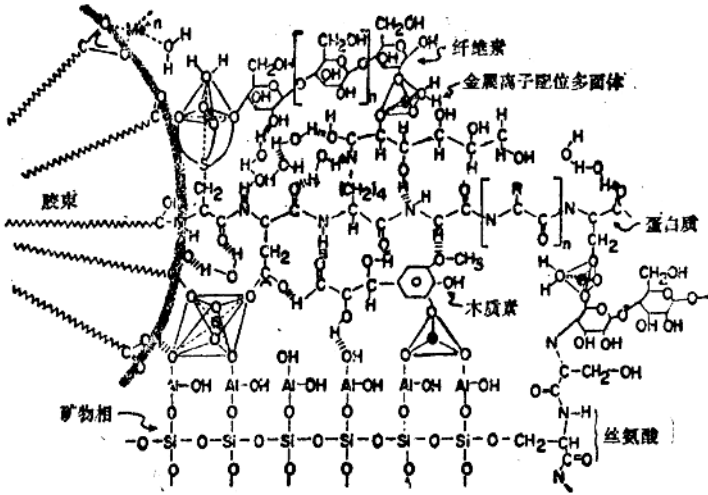


图 1-3 沉积物含碳水化合物和蛋白质残渣的假想结构式

岩阶段的烃类数量。制作此图时考虑了两个因素：（1）地热梯度差，以及总的沉积的热过程（两种深度比例）和（2）石油和天然气生成岩潜力的差异（烃类生成的两个接近于极端的比例）。

利用图 1-4，测定某一退化阶段前生成的烃类气体和/或石油的量只能表示一个大致的近似值。首先，必须考虑原始有机物的相-成因类别。例如，当其在“腐植”状态时，必须使用上限生成比例，在使用除甲烷外其它烃类的生成比例时应十分小心。其次，下述规则应用于测量水平分布，这可测定生成烃类的量：必须使用左侧比例 0.5 公里垂直距离和右侧比例 1 公里。这样得出的总数应缩小至 $\frac{1}{2 \sim 2.5}$ 。如果所用垂直间距分别为 0.25 和 0.5

公里，则得出的值应缩小至 $\frac{1}{4 \sim 5}$ 。不过，应记住上述流程并未把生成过程中大量损失的烃类考虑在内。

2. 沥青砂

沥青砂的定义是含有沥青（固态或半固态烃类）或其它重质石油的沉积岩（胶结的或非胶结的），它们在原有状态下，不能用普通的石油开采方法采出。这种条件常用于重度低于 12° API 的石油。

在一篇有关加拿大阿尔伯达省 Athabasca 河沥青砂内油源的文章中，Link [19] 指出

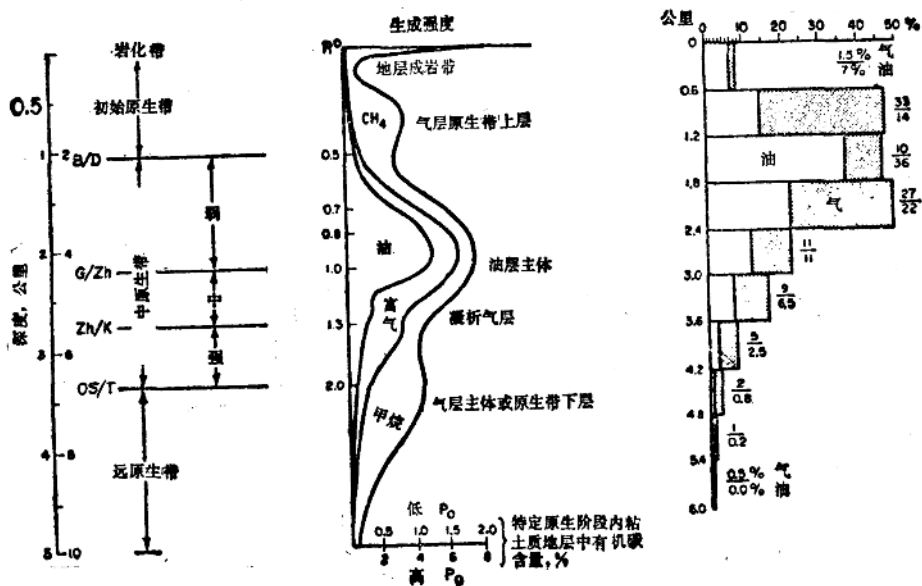


图 1-4 成岩时由有机物生成甲烷富集气体 ($C_2 \sim C_4$) 和石油的分段图解 (见文献 [18] p133)

B, D, G, Zh, K, OS, T=煤的等级, 用作有机物退化(变质)阶段的标志, 系苏联顿巴斯(Donbass)煤化阶段的标志; R^o =石油中镜煤素质的折射系数; P_o =生油岩潜力, 用 H/C 比作为初步的标志。煤的等级(苏联和美国分级几乎相同); D=亚型沥青质的至挥发性强的含沥青质的 C; G=高挥发质含沥青质的 C 至高挥发质的含沥青质的 B; Zh=高挥发质的含沥青质的 A; K=中等挥发性的含沥青质的; OS=中等挥发性的含沥青质的至低挥发性含沥青质的; T=低挥发性含沥青质的至半无烟煤。B.

1972 年 1 月 1 日

这些下白垩纪砂层可能是从下伏的上泥盆纪珊瑚礁油藏获得其所含的沥青。上泥盆纪和上覆的砂层在下白垩纪和泥盆纪间不整合处接触或近于接触。石油和天然气由泥盆纪油藏经裂隙和裂缝而逸入白垩纪沥青砂的现象发生于砂层沉积期和沉积期后。关于 Athabasca 沥青砂将于第五章详细讨论。

石英质沥青砂是河流冲积和湖相生成的，在分选良好的河流冲积净砂层中含沥青最多。最高的沥青状石油的含量占油砂重量的 18~20% [47]。含油孔隙空间高达 90%，砂层为水润湿性。下白垩纪的 McMurray 层为 10~13 米粗到极粗的河流冲积，上面为 30~45 米厚的砂和粉砂沉积。其下部一般为很粗的粗砂岩及固度很差的砾石组成的细砾岩层 [47]。

第四章讨论“沥青砂”这个术语并介绍世界各地大型和小型沥青砂矿的分布。还详细介绍了加拿大、委内瑞拉、马尔加什共和国、美国、阿尔巴尼亚、特里尼达、罗马尼亚和苏联等国二十个大型沥青砂矿的地层、岩性、相态及构造情况和已知储量。还讨论了沥青-原油带及地质位置和假定的、石油成因方面的关系。另外，对世界其它沥青砂矿和沥青砂商业性开采的现状也在该章做了简单介绍。

预计在 Fort McMurray 北部的 Athabasca 现有的油砂中的含油量超过 3000 亿桶 (577 亿米³)。加上阿尔伯达北部其它地区类似的沥青砂矿，其潜在的地质储量约为 5000~6000 亿桶。不过，根据 Conybeare [47] 的预测，把经济极限下的储量除去，还不到 2000 亿桶 (318 亿米³)。

在题为“用层内采油法开采阿尔伯达北部重油及 Athabasca 沥青砂矿采油”这篇著名的文章中，麦根 (Mungen) 和尼柯尔斯 (Nicholls) [48] 指出，除了阿尔伯达北部的 Athabasca、Wabasca 与和平河等地区内的油砂中存在大量的沥青外，其它地区如冷湖与 Marten 山还有大量的重油。虽然沥青和重油的化学性质极为相似，但其粘度不同。在油层温度下，沥青通常是不流动的，而重油则仍有一定的流动性。Athabasca 油砂及其所含沥青的性质列于表 1-8。

表 1-8 Athabasca 油砂及其沥青的性质 (根据麦根及尼柯尔斯 [48])

砂层	
粒径	~200 目
孔隙度	30~40%
绝大部分沥青砂带的渗透率	200~300 毫达西
沥青砂带内的净砂渗透率	几达西
粉砂带的渗透率	几毫达西
沥青含量	0~18 (重量%)
饱和度	0~90% 沥青
沥青	(其余为水; 有一点天然气或无天然气)
比重	1.08
粘度, 200°F	1000 厘泊
50°F	200000~5700000 厘泊
氢/碳比	1.44

地下开采工艺要求使用烃类溶剂或加热来降低沥青粘度。可以通过注入蒸汽直接加热或注入空气间接加热来实现,即燃烧地下一部分沥青。目前在室内和现场都在进行地下开采技术的一系列试验。

3. 沥青砂潜在含量综述

T. M. 道切尔

从某一具体的沥青砂矿生产合成原油的现实性乃是矿藏规模的指数函数。进一步考虑开采沥青的技术方法时,显然,文献中所载的沥青砂矿多数都是在近期内不可能做到经济地开发的。矿藏规模大,而且技术水平较先进的只有两个,即加拿大和委内瑞拉的沥青砂矿。

矿藏规模影响极大,因为沥青砂抽提及沥青的提高品位所需的基建投资高。当供应中心和销售中心的间距远时,这个问题更加严重。加利福尼亚海岸的地面沥青砂矿可生产 10000~15000 桶/日的拔顶馏分(用焦化或其它降粘法),它可以在落矶山(Angel's)或旧金山这类地区的炼油厂内进一步提高品位。把抽提和炼制设备考虑在内,这样的生产如维持二十年,需要 2 亿桶资源。如果离开炼制中心的距离超过几百英里,或者日产量大得多,则需在原地安装一套普通的炼油装置。这时,最低的资源基数由于要适应所需投资而上升到接近 10 亿桶才能合乎经济要求。如果沥青砂是地下矿藏,显然不能用露天采矿法开采时,则资源的最低限度要比上述的增加 50% 以上,因为开采地下原油总的商品采出率较低。

除了沥青砂储量外,另一个问题是用于地面抽提或地下开采时技术上的可行性。含沥青砂的岩石胶结良好时,采矿法是不经济的,因为剥离困难、采掘前需进行爆破,这都是经济负担。再者,因为只有热水抽提法是可行的地面抽提法,必须将矿石粉碎成谷粒大小的颗粒,以便进行沥青浮选。最后,即使 100% 饱和的岩石、孔隙度为 20% 时也只含不到 10% 的沥青(按重量计)。这样,胶结程度、孔隙度和沥青饱和度乃是从地面沥青砂矿回收合成原油时经济可行性的限制性因素。

对于能满足上述特点的那些沥青砂矿,剩下的一个难题是和这些沥青砂共存的“微粒”的性质和含量。如果这些微粒是粘土矿物,普通的热水分离技术不能将这些矿物除掉。相当一部分的粘土矿物仍将留下,残渣馏分中会含有一定百分数的这类矿物。结果是渣油不宜于做发电设备或蒸汽发生设备的燃料,它们的经济价值将为零。这些粘土对排出砂的质量也有明显的不良影响,砂中含有粘土会使采出矿物损失一部分,并影响到排污计划中的环保要求。提高热水抽提过程而进行的努力和此项研究的成功将可导致很大的经济收益。本文认为以现有技术和这类已积累的操作经验为基础,可以开发出最优的采矿方案及提高品位的方案。

至于用原地开采法从沥青砂矿开采沥青,迄今为止还未进行过大规模试验,虽然加拿大壳牌公司在十多年前即已一再要求批准进行一项预计产量为 100000 桶/日合成原油的试验。这些年来,这类方案所需的基建投资增加了好几倍,而合成原油的预计售价却比原来估算的价格增加不多。出于这些考虑,再加上这类试验仍需冒风险,以及对产品销售的限制更加严格,可能影响了对商业性试验方案的兴趣。

用原地开采法从沥青砂开采沥青时所遇到的技术问题是深奥的。至今提出的这类工艺都是通过加热来降低沥青的粘度。在高粘油藏中(如重度为 12°API 或更大些)虽然注蒸汽获得成功的范围更广,但火烧油层的成功率有限。这些工艺在用于开采沥青砂矿时,在工艺

方面都有很大提高。由于不存在充分的泄液带，往沥青砂矿注入蒸汽或空气时都需用高压，以求压裂或注入含水饱和度高的层段。不存在辅助作用时，高温必须达到储层内才能使沥青液化。绝大多数的沥青含硫高，其伴生盐水中含硫化物，结果是：（1）注入高压蒸汽时逸出一定数量的硫化氢，（2）火烧油层时产生大量的硫的氧化物。火烧油层采油工艺的气/油比极高，而注蒸汽采油则需要克服因产液温度高而引起的蒸汽闪蒸影响。所有这些因素都使技术困难增多，使驱扫效率及热效率降低，并在使用原地采油工艺从沥青砂矿开采沥青时总的经济可行性降低，对沥青砂的成功开采有待于开发出改进了的和新的原地开采工艺。

最后，必须记住在提出可靠的地质研究和机理概念、并以此为基础使原地开采工艺得以应用之前，不可能确切地预测出合成原油的可采储量。因为不知道矿藏的延续范围、最大和最小的储层厚度、最低沥青饱和度、孔隙度和渗透率，而这些又都是开发获得成功和经济效益的基本条件。因此，在研究和开发努力未获成功前，对有关原地开采工艺的潜力、地面采矿工艺的潜力、有关世界总储量中的可采储量方面的报导应持慎重态度。今后全世界对液体石油的需要量和某些已查明的沥青砂矿的储量，都需有关单位及政府部门对此项研究和开发给予全力支持。

参 考 文 献

- 1 J.M. Hunt, "Distribution of Hydrocarbons in Sedimentary Rocks", *Geochim. Cosmochim. Acta*, 22, 37-49 (1961).
- 2 J.M. Hunt and G.W. Jamieson, "Oil and Organic Matter in Source Rocks of Petroleum", *Bull. Am. Assoc. Pet. Geol.*, 40, 477-488 (1956).
- 3 G.T. Philippi, "Identification of Oil Source Beds by Chemical Means", *Int. Geol. Congr., 20th, Mexico, Rep.*, pp. 25-38 (1956).
- 4 T.F. Yen and G.V. Chilingarian, *Oil Shales*, Elsevier, Amsterdam, 289 pp. (1976).
- 5 R.L. Erskine and E.V. Whitehead, "Composition and Analysis of Marine Pollutants", *Iran. J. Sci. Technol.*, 3(4), 221-248 (1975).
- 6 T.F. Yen and S.R. Sprang, "ESR g-Values of Bituminous Materials", *Am. Chem. Soc., Div. Pet. Chem., Prepr.*, 15(3), A65-A76 (1970).
- 7 T.F. Yen, "Structure of Petroleum Asphaltene and Its Significance", *Energy Sources*, 1(4), 447-463 (1974).
- 8 N.B. Vasmoevich, A.A. Trofimuk, A.A. Godekyan, N.A. Eremenko and V.Ya. Trotsyuk (Editors), *Combustible Rocks (Problems of Geology and Geochemistry of Naphtides and Bituminous Rocks)*, Rep. Sov. Geol., Int. Geol. Congr., 25th, Nauka, Moscow, 144 pp. (1976).
- 9 E.D. Goldberg, "Marine Geochemistry", *Annu. Rev. Phys. Chem.*, 12, 29-48 (1961).
- 10 J.M. Hunt, *Some Observations on Organic Matter in Sediments*, Paper presented at the Oil Scientific Session, "25 Years Hungarian Oil", Oct. 8-13, Budapest (1962).
- 11 H.M. Gehman Jr., "Organic Matter in Limestones", *Geochim. Cosmochim. Acta*, 26, 885-897 (1962).