

出国考察和来华座谈报告
编号：〔81〕001 （总023）

赴加拿大、美国酸性天然气 勘探开发加工考察报告

化学工业部科学技术情报研究所

一九八二年一月

前 言

化工部高硫气田考察组于1980年10月中旬至11月上旬对加拿大和美国的高硫气田进行了技术考察。考察组在加拿大同十三家公司和院所进行了接触，参观了三个气田和天然气工厂；在美国访问了一家公司，参观了两个气田和天然气工厂。

考察组五人，由部矿山局、地研所和化肥司的人员组成，重点考察了美国和加拿大在开发高硫气田方面的经验，遇到的技术问题和解决办法。

通过考察，了解到国外在开发高硫气田方面已有二十余年历史，对于遇到的技术困难都已有了成熟的解决办法。他们不但解决了一般高硫气田的开发问题，而且掌握了开发深井（6700米深）、高压（1300—1400大气压）、高温（200℃）气田的开发技术。

现将有关情况分别整理如下：

目 录

前言

第一部分、地质概况

- 一、加拿大阿尔伯达省卡尔加里附近酸性天然气田地质简况.....(1)
- 二、美国杰克逊附近酸性天然气田地质简况.....(5)

第二部分、井的结构特点和测试

- 一、井的结构特点.....(11)
 - 1. Amoco 公司 East Crossfield 气田.....(11)
 - 2. Harmattan 气田.....(13)
 - 3. Okotoks 气田.....(14)
 - 4. Thomasville 气田.....(14)
 - 5. Bearberry 气田.....(20)
- 二、井的测试.....(21)
 - 1. Amoco 公司 East Crossfield 气田试井程序.....(21)
 - 2. Texasgulf 公司 Panther River 气田试井程序.....(21)
 - 3. PURSUE 公司在 Jackson 的气田测试情况.....(22)
- 三、井底采样工具.....(22)

第三部分、高硫气田开发过程中遇到的问题和解决办法

- 一、材料的腐蚀和氢脆.....(29)
- 二、硫磺堵塞.....(32)
- 三、水合物堵塞.....(36)
 - 1. Okotoks 气田.....(40)
 - 2. East Crossfield 气田.....(48)
 - 3. Harmattan 气田.....(49)
- 四、安全问题.....(49)

第四部分、各气田及天然气工厂简况

- 一、Okotoks 天然气工厂.....(55)
- 二、East Crossfield 天然气工厂.....(62)
- 三、Thomasville 气田和天然气工厂.....(68)
- 四、PURSUE 公司气田和天然气工厂.....(74)

第五部分、附录

- 一、得克隆斯海湾公司潘瑟河 5-23-30-11 井完井和评价建议书.....(78)
- 二、得克隆斯海湾公司与壳牌石油公司代表会议的记录.....(99)
- 三、得克隆斯海湾公司潘瑟河 5-23-30-11 井的完井和评价.....(107)

一、加拿大阿尔伯达省卡尔加里附近酸性天然气田地质简况

加拿大酸性天然气田主要分布于落基山脉以东的内陆地台 (Interior Platform) 区。内地台属北美地台的一部份, 南宽北窄, 宛若一头长颈鹿, 其南部宽处靠近加、美国边境线, 宽约1200km, 北部在育空地区大熊湖最窄, 宽仅250 公里, 南北长为2500公里。内地台以太古界或元古界的变质杂岩为基底, 上覆地层有古生界和中生界地层 (见表1-1)。基底之上的地层等深线大致呈南北方向平行舒展, 在靠近西部的落基山脉最深, 一般为-3200m (海拔), 卡尔加里市附近为-2800m, 向东, 逐次变浅, 近加拿大地质的边缘+200 m, 表明地台上的蓄层最深不超过3400m左右。

加拿大西北部平原区地层系统

表1-1

界	系	统	组 (段、群、层)	气 层
新生界	第四系		冲积层	
	第三系			
中生界	白垩系	上统	Wapiti 层	产 气
			Smoky 群	
		下统	Fort St. John 群	"
			Bullhead 层	
	侏罗系		Nikanassin 层	"
			Fernie 层	
	三迭系		Schooler Creek 组	"
			Daiker 组	

续表

界	系	统	组(段、群、层)	气层
古 生 界	二迭系		Belloy	"
	石炭系		Pennsylvanian 组	"
			Mississippian 组	"
	泥盆系	上统	Wabamun 组	"
			Winterburn 组	"
		中统	Woodbend	Ireton 层
			Leduc 层	产气
	寒武系	下统	Beaverkill Lake	
		中统	ELK Point 上部	产气
		下统	ELK Point 下部	
元古界	寒武系		中寒武统	
	前寒武系		前寒武统	

内陆地台区含气地层时代繁多,泥盆系,石炭系,二迭系、三迭系、侏罗系,白垩系均有产出,而且均有正在开发的有经济价值的气田,但含 H_2S 的酸性气田均赋存在时代比较老的泥盆系(距今4-3.5亿年)和石炭系(距今约3.5-2.8亿年)的地层内(表2)

表1-2 系据《Geology and Economic minerals of Canada》(1970)按气体

产层时代统计的。表中反映出泥盆系的天然气储量占28.9%，石炭系的天然气储量占27%，二者达56%，这是两个主要含酸性天然气的层位。其次是白垩系的天然气储量较多，但至今在加尚未发现该年代地层有酸性天然气存在。

西加拿大截至1966年12月31日各省各地质时代探明可回收的天然气储量（单位：万立方英尺，在压力一个大气压、温度15.5℃时）

（表1-2）

储气层时代		阿尔伯达省	萨斯喀彻温	不列颠哥伦比亚	西北地区 (N.W.T)	总计	%
上白垩统		864,848	86,032			950,880	7.3
下白垩统	VIKING	1,263,029	147,160	4,254		1,414,434	10.8
	MANNVILLE	1,567,537	25,187	106,125		1,698,849	13.0
侏罗系		140,651	9,339			149,790	1.1
三迭系		65,090		1,180,676		1,245,766	9.5
二迭系		24055		23,545		56,600	0.4
石炭系		3,503,257	3,679	28,300		3,535,236	27.0
上泥盆统	Wobamun	839,378		18,961		858,339	6.6
	Nisku	248,474				248,474	1.9
	Leduc	1,512,635				1,512,635	11.6
	Beaverhill Lake	391,672				371,672	3.0
	其它						
中泥盆统		18,112		626,279	33,111	677,502	5.2
Gilwood		73,580				73,580	0.6
未分层		273,661				273,661	2.0
总计		107,85,979	271,397	1,977,131	33,111	13,087,618	100.0
%		82.4	2.1	15.3	0.2		

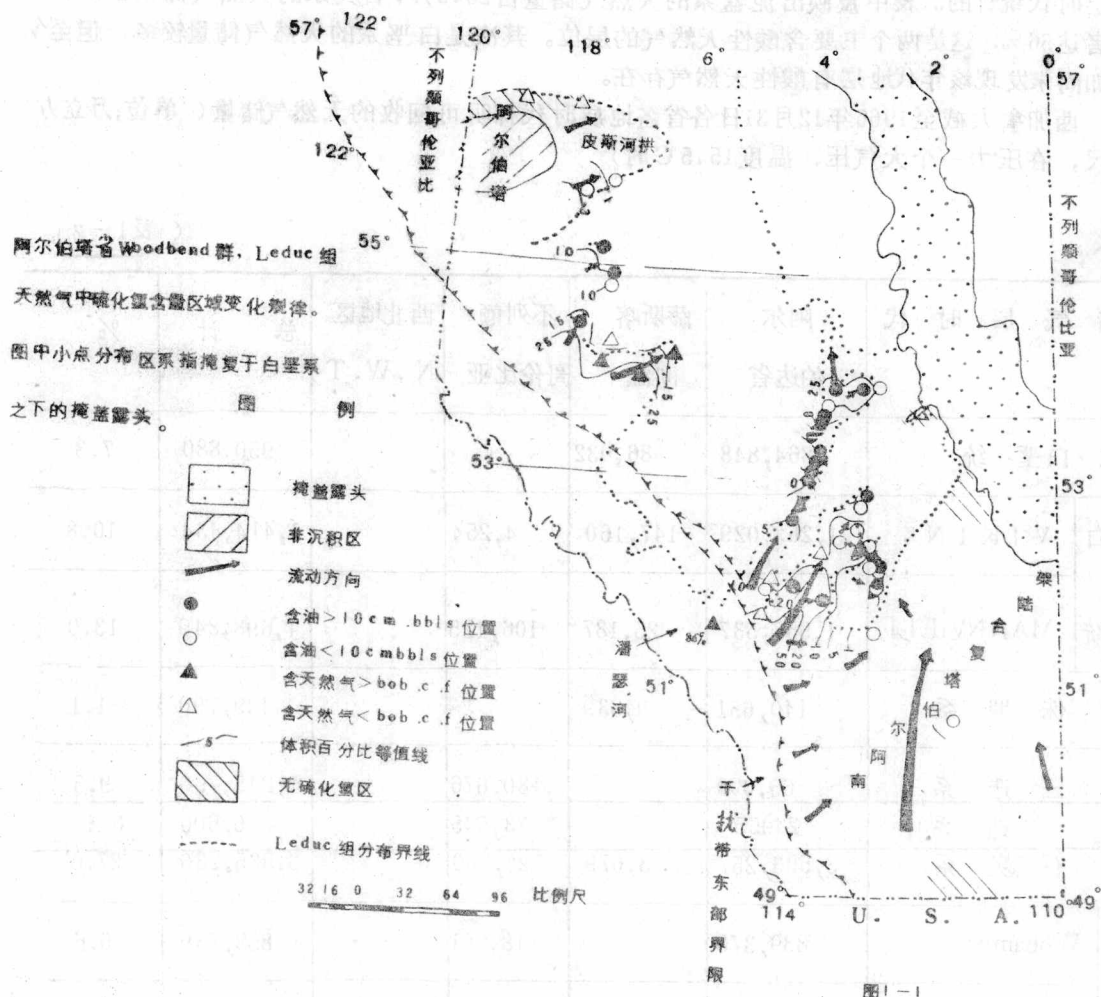


图1-1 上泥盆纪Leduc层 H_2S 含量等值线图

酸性天然气中 H_2S 的含量有向西靠近落基山脉高, 远距落基山脉向东渐低的趋势。图1-1为上泥盆统Leduc层中 H_2S 含量的等值线图, 可基本反映着这种趋势。

落基山东麓和内陆地台接壤处地质构造十分复杂, 存在着一系列走向北西倾向西的迭瓦式断层, 此类断层一方面破坏着矿区, 另一方面则造成地层多次重迭, 增加了气体产层层数和储量, 而同时成为储气储油的蓄层有利于成矿(图1-2)。泥盆系和石炭系含气层均为礁相的碳酸盐岩类岩石, 有礁体白云岩和礁体石灰岩。组成此类礁灰岩的有复体珊瑚、海百合, 苔藓虫等。对于礁体的研究无疑与找矿有重要的意义。

加拿大阿尔伯达省至1978年12月31日天然气及硫磺保有储量(表1-3)

从表1-3可看出含 H_2S 特高的气田在加拿大有两处: Panther River(潘瑟河)气田和Ricinus & Carbine气田。

Panther River气田在卡尔加里市北面, 靠近落基山脉。目前正由壳牌公司施钻,

至1980年10月已完井10口，正施工的一口，其中1，2，4，5，7号井见气较好；3，6号井见气不好；1，3号井已进行了试井工作。孔距采用一般4.8公里。产层为泥盆系和石炭系，泥盆系 H_2S 含量高，石炭系 H_2S 含量低，矿区为一系列走向北西倾向西的逆掩断层所切割，使产气地层重复出现，扩大了储量规模。该气田之 H_2S 87%，甲烷3-4%， CO_2 3-4%， N_2 2-4%（主要指泥盆系产层）。石炭系产层中 H_2S 含量一般在10%左右。

Ricinus & Caroline 气田即 Bearberry（贝尔贝利）气田，位于潘瑟河气田之东，与潘瑟河气田同属于一个气田的两部分。其产层和地质特征与潘瑟河气田相似。目前正由壳牌公司钻探。 H_2S 90.6%， CO_2 5.1%， N_2 0.6%， C_1 3.4%。

二、美国杰克逊附近酸性天然气田地质简况

在美国主要考察了密西西比州杰克逊之南28公里的托马斯维尔（Thomasville）和普修公司（Pusure）气田，此两气田同属一个气田的不同地段，产层为侏罗系斯马克维尔（Smackover）组。主要岩性为白云岩和石灰岩。路易斯安那一阿肯色的构造剖面可概略地反映了这一地区的构造和地层关系（图1-3）。

托马斯维尔气田 H_2S 27-44%， CO_2 9%， C_1 56%， C_2 0.1%， CoS 0.5%， N 0.1%。井深6700m，井口温度85℃，井底温度196℃，井底压力1230公斤/厘米²。壳牌公司已生产九年，产硫磺1260吨/日。

普修公司气田正进行第四口钻井。目前未试井，仅依据托马斯维尔的资料即行试采，设计日产硫磺1300吨。 H_2S 28-44%， CO_2 4-9%， CH_4 60-65%。

两气田的温度和压力较高，其他地面防喷防压安全措施和装置比较复杂。



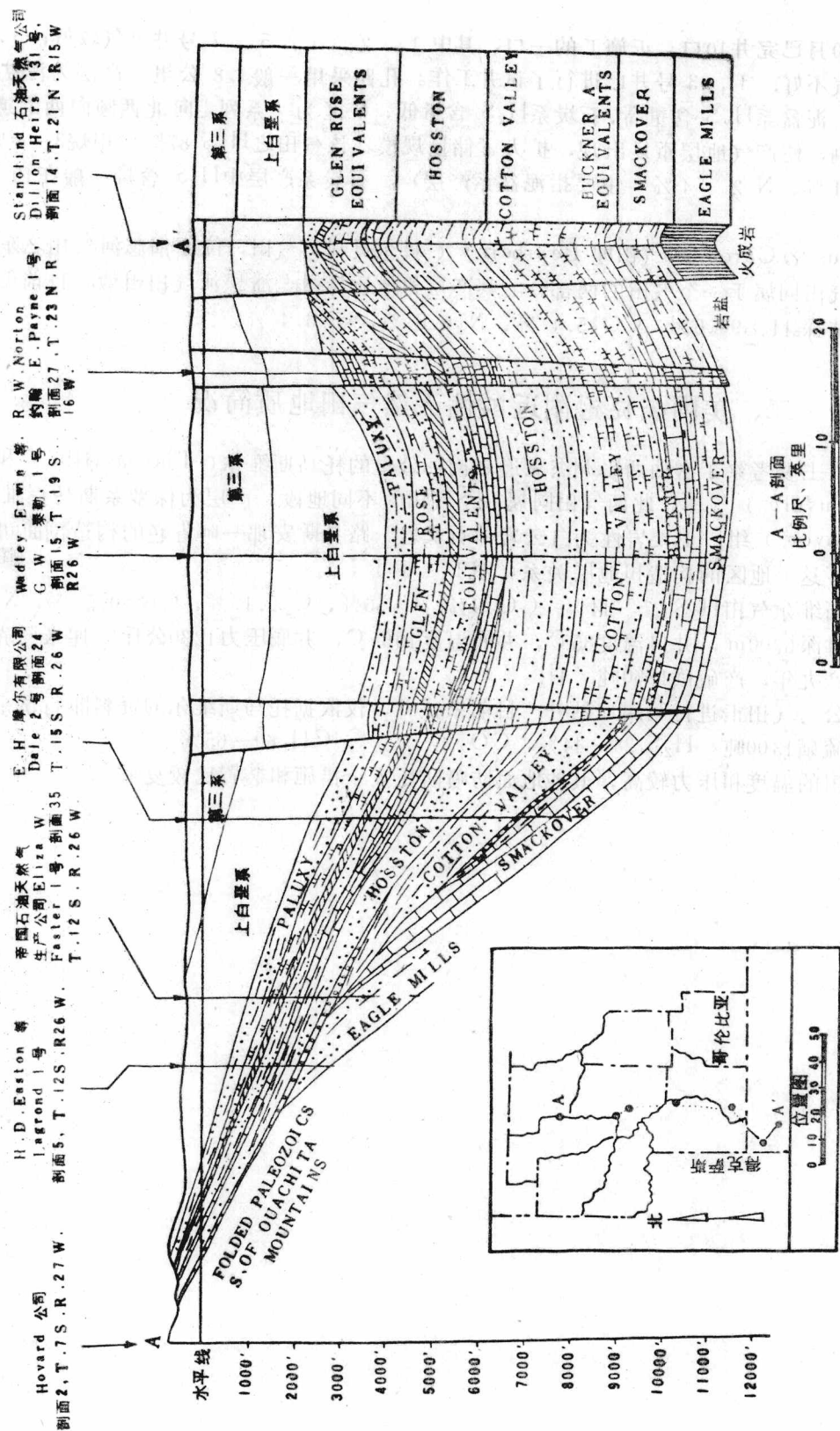


图 1 3 美国阿坎萨斯西南部至路易斯安那州西北部地质构造剖面:

表 1-3

厂名	气田名称	含气地层	原气库存 储量 (10 ⁶ m ³)	H ₂ S 含 量 (Mol/Mol)	回收 率 %	硫磺 产量 (10 ³ 吨)
Bigstone	Bigstone	Leduc	971	0.185	96.0	234
	Berland River	Wabamun & Leduc	5 449	0.160	95.0	<u>1 135</u> 1 369
Burnt Timber	Burnt Timber	Mississippian	19 910	0.066	96.0	1 721
	Hunter Valley	Mississippian	1 387	0.138	96.0	250
	Wildhorse Creek	Mississippian	989	0.070	96.0	<u>90</u> 2 06
Crossfield ^b	Crossfield	Blairmore & all Rundle except A & F	11 837	0.010	98.0	157
		Wabamun	11 782	0.300	98.0	4 697
		Wabamun	2 323	0.042	98.0	<u>130</u> 4 984
	Irricana	Wabamun				
Crossfield East	Crossfield East	Wabamun	20 504	0.365	98.0	<u>9 945</u> 9 945
Harmattan	Harmattan Elkton	Rundle	31 736	0.007	95.0	286
		Leduc	5 825	0.534	95.0	<u>4 007</u> 4 293
Jumping Pound	Jumping Pound	Mississippian	6 457	0.034	95.0	283
	Jumping Pound West	Mississippian	34 458	0.064	95.0	2 841
	Sarcee	Mississippian	1 912	0.043	95.0	<u>106</u> 3 230
Kaybob South ^a	Kaybob South	Triassic & Nisku	3 320	0.016	98.0	71
		Beaverhill Lake	65 378	0.132	98.0	11 468
		Mannville & Triassic	8 654	0.014	98.0	150
		Leduc	3 857	0.185	98.0	<u>948</u> 12 645
	Limestone	Mississippian	9 860	0.070	94.0	880
		Nisku & Leduc	4 579	0.160	94.0	<u>934</u> 1 814
Lone Pine Creek ^b	Lone Pine Creek	Wabamun & Nisku	8 390	0.093	95.0	1 005
		Leduc	2 073	0.143	95.0	<u>382</u> 1 387
Nevis ^b	Alix Clive Erskine Fenn-Big Valley Nevis Stettler	Nisku	77	0.150	95.5	1
		Nisku & Leduc	898	0.142	95.5	165
		Leduc	1 064	0.121	95.5	167
		Nisku & Leduc	1 149	0.027	95.5	40
		Devonian	20 678	0.072	96.0	1 944
		Nisku & Leduc	135	0.032	95.5	<u>6</u> 2 337
	Obed	Nisku	6 503	0.250	95.0	<u>2 094</u> 2 094
Okotoks	Okotoks	Wabamun	7 558	0.358	94.0	<u>3 449</u> 3 449

油田名称	含气地层	原气库容 (10 ⁶ m ³)	H ₂ S含量 (%)	回收率 (%)	地质储量 (10 ⁴ t)
Olds	Viking & Wabamun	5 437	0.148	96.0	1 047
					1 047
Panther River	Mississippian ^c	4 060	0.058	98.0	313
	Wabamun ^c	6 790	0.680	98.0	6 136
	Nisku	5 381	0.870	98.0	6 221
					12 670
Quirk Creek	Mississippian	9 614	0.090	95.5	1 120
					1 120
Ricinus & Caroline	Nisku ^c	90	0.220	98.0	26
	Leduc ^c	17 158	0.920	98.0	20 977
					21 003
Rosevear	Beaverhill Lake	12 088	0.075	94.0	1 160
					1 160
Coleman	Rundle A & Palliser A	5 643	0.220	96.0	1 616
Savanna Creek	Mississippian	2 779	0.146	96.0	528
					2 144
Ricinus	Leduc	10 892	0.270	98.0	3 908
Ricinus West	Leduc	26 205	0.350	98.0	12 188
Strachan	Leduc	18 050	0.093	97.0	2 208
					18 304
Waterton	Mississippian	41 588	0.192	98.7	10 687
	Wabamun	1 193	0.120	98.7	192
					10 879
Marlboro	Leduc	3 937	0.144	98.0	753
Prine Creek	Wabamun	2 753	0.320	98.0	1 171
	Leduc	1 723	0.240	98.0	550
Pine North-West	Mississippian & Leduc	2 339	0.194	98.0	3 845
					6 922
Subtotal					124 857
Other Reserves	Small Fields ^d				9 786
Total					134 643
					(132 517) ^e
Total reserves within economic reach ^f					134 643
Total reserves beyond economic reach					

第二部分

井的结构特点和测试

一、井的结构特点

高硫气田的开发往往出现金属材料的腐蚀和氢脆、硫磺沉积堵塞、水合物堵塞等问题，还要防止硫化氢逸出。因此，各个气田在井的结构上各有特点。现将几个气田井的结构分别介绍如下：

1. Amoco 公司 East Crossfield 气田

这一气田的气体成分如下(体积%)：

N₂ CO₂ H₂S CH₄ C₂H₆ C₃H₈ 异丁烷、正丁烷、异戊烷、正戊烷、己烷、庚烷
2.43 9.66 38.87 48.31 0.39 0.15 0.05 0.04 0.03 0.02 0.02 0.03

气体比重=0.8868(以空气为1)

8-15-28-29-W4M号井区的参数如下：

方钻杆补心标高	1135.0米；	总深度	2760.0米；
地面标高	1130.0米；	回堵深度	2748.0米。
地层压力	260公斤/厘米 ² ，		

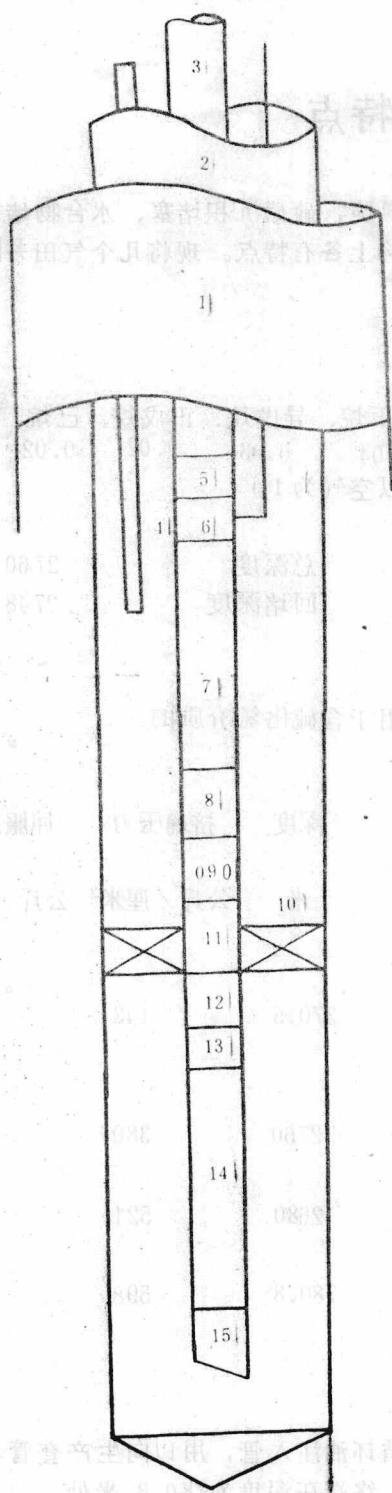
井的结构如图2-1 各部位参数如下：

井口装置 操作压力350 公斤/厘米²， 适用于含硫化氢介质的。

	尺寸	重量	级别	连接型式	深度	挤扁压力	屈服压力
	毫米	公斤/米			米	公斤/厘米 ²	公斤/厘米 ²
				长螺纹和接头			
表层套管	245	53.6	K-55	(L T & C	370.5	142	248
生产套管	178	38.7	N-80	同 上	2760	380	509
生产油管	89	13.8	J-55	A-95Hydril	2680	521	491
循环油管	42	3.6	J-55	C S Hydril	780.8	598	571

为了防止水合物堵塞，设有直径为42毫米的循环油注入管，用以向生产套管与生产管的环形空间中注入热油。循环油管从井口开始，终端在深度为780.8 米处。

在地面下34.4米处装有地下安全阀，有一直径为6.35毫米的液压管线从地面通向地下安全阀，用以控制地下安全阀的开关。



1. 表层套管、直径245 mm, 长370.5 m
2. 生产套管、直径178 mm, 长2760 m
3. 生产油管、直径89 mm
4. 循环油管、直径42 mm, 长780.8 m
5. Otis 接箍、直径89 mm, 长0.9 m
6. 井下安全阀、直径89 mm, 深度34.4 m
7. 油管、直径89 mm
8. 滑动旁开门、直径69.9 mm, 深度2668 m
9. 短节、直径89 mm 长1.7 m
10. 封隔器, Baker 85-40, 长3 m
FB-1 型, 深度2670 m
11. 填函组合 Baker 85-40, 深度2670 m
“G”型
12. 短节、直径89 mm, 长1.8 m
13. Baker “R” 短节, 内径69.9 mm 深度2674 m
14. 短节、直径89 mm, 长4.75 m
15. 斜口管鞋, 直径89 mm, 深度2680 m
16. 地下安全阀
液压管线, 直径6.35 mm, 深度34.4 m

8-15-28-29-W 4 M 井的结构简图

2. Harmattan 气田

这一气田气体成分如下(体积%)：

N_2 CO_2 H_2S CH_4 C_2H_6 C_3H_8 异丁烷

2.42 3.18 52.15 41.68 0.27 0.08 0.02

正丁烷 异戊烷 正戊烷 己烷以上

0.02 0.01 0.01 0.16

4-15-32-4 W5 M井区的参数如下：

方钻杆外心标高：1071米

总深度3371米

生产区段深度 3279-3352米

井底压力 333 公斤/厘米²

井底温度 110℃

这个气田有严重结硫问题，采用连续注入含有缓蚀剂的烃类的办法，减轻结硫和防止腐蚀。最初采用传统的井身结构，见图(2-2a)，结硫严重；后来改为套管内装两根管，一根为产气的油管，另一根向井底注入丙烷，直到井底永久封隔器的上方，丙烷在井底进入产气的油管中去(图2-2b)；由于套管尺寸较小，最后改为在产气的油管底部装一注入阀，利用套管与油管的空间送入丙烷，丙烷在井底永久封隔器的上面通过注入阀进入产气的油管(图2-2c)。

Harmattan 气田所用的金属材料都是按照当时API 油井用材料标准选用的，没有发生过任何损坏。目前政府规定的标准比当时的要求要高。

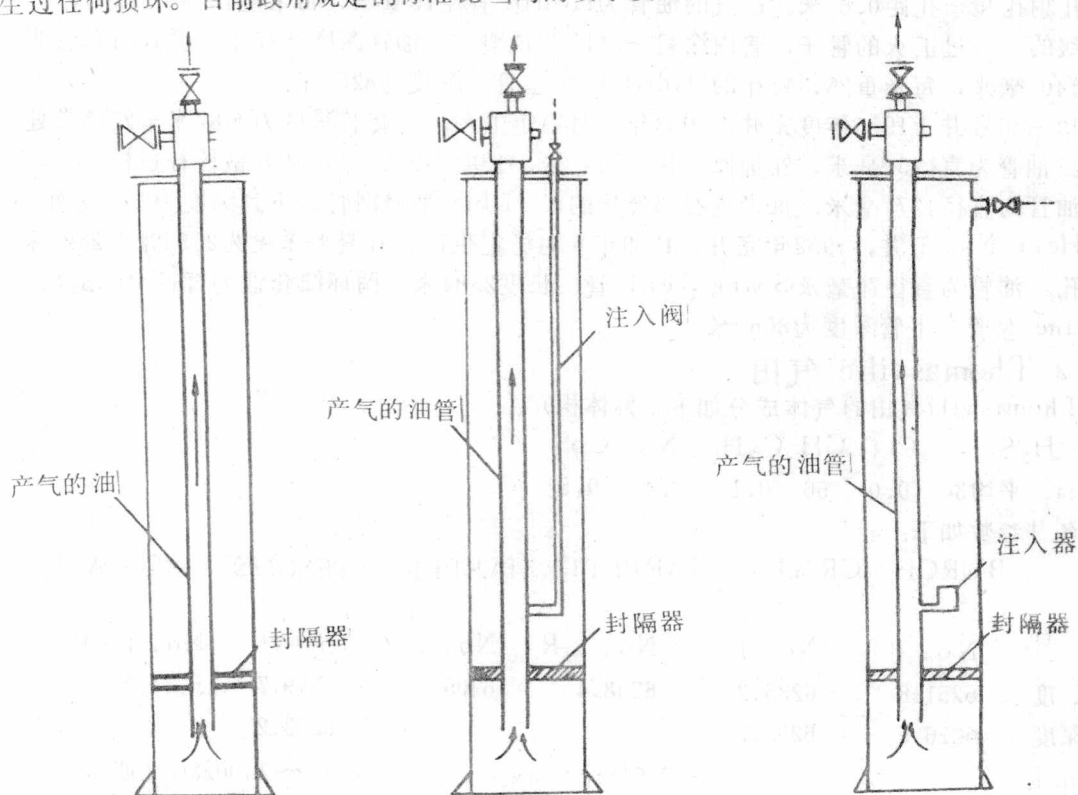


图 2-2 Harmattan 气田的井深结构简图

套管使用的是J-55级和N-80级钢管：油管使用的是C-75级和J-55级钢管，使用C、S、Hydril 优质接箍。

管线使用API 5L级碳钢，硬度控制在 $\leq \text{HRC } 22$ 。

法兰用ASTM标准105级Ⅱ类：其他部件用ASTM标准B级：阀件则按ASTM标准A216 WCB选用。

3. Okotoks 气田

Okotoks 气田的气体成分如下（%体积）：

N_2 CO_2 H_2S CH_4 C_2H_6 C_3H_8 异丁烷

1.21 10.95 33.94 52.72 0.57 0.17 0.05

正丁烷 异戊烷 正戊烷 己烷以上

0.05 0.03 0.09 0.22

1-19-21-28 W4 M井区的参数如下：

方钻杆补心标高	1065米
总深度	3200米
生产区段深度	2517-2560米
井底压力	253 公斤/厘米 ²
井底温度	79.4℃

Dev - Pal et al Okotoks 10-25号井的结构如下：

1959年完井、1960年3月稳定生产。套管为外径177.8毫米，深度为2576米，从2576米至2620米为140毫米直径的套管，每米长度重30公斤，这段套管是用来进行射孔的。采用8孔射孔枪，孔距0.6米。产气的油管为Hydril 直径76毫米，每米重13.8公斤，N-80等级的，经过正火的管子，管内涂衬一层HTP塑料。油管深度2557米。循环油套管为直径140毫米，每米重25.3公斤的Hydril CS型管、深度为825米。

10-36号井于1955年度完井，1963年4月稳定生产，在套管深度为2687米至2718米处射孔。油管为直径51毫米，外加厚（EUE）管，长度为2720米（从方钻杆补心标起），循环油套管为直径127毫米，每米重22.3公斤的X Line 型号钢管，下到深度为987米处。

Herr No. 1井，1952年完井，1959年6月稳定生产，在套管深度为2594米至2627米处射孔。油管为直径76毫米 Spang Seal 管，长度2584米；循环油套管为直径140毫米 X Line 型管，下管深度为806米。

4. Thomasville 气田

Thomasville 气田的气体成分如下（%体积）：

H_2S CO_2 CH_4 C_2H_6 N_2 CoS

27-44, 平均34 9.0 56 0.1 0.4 0.5

各井参数如下：

BURCH CRAIN GARRETT HARPER SPENGLER RIDGEWAR

井 号	No. 1	No. 1	No. 1-R	No. 1	No. 1	No. 1-R
总深度	6251.8	6233.2	6248.4	6405.4	6269.7	6774.2
回填深度	6226.5	6202.7			6233.2	
井底压力			~1266公斤/厘米 ²		~1400公斤/厘米 ²	
井底温度			~190℃		~200℃	