



国门安全系列丛书

“一带一路”沿线边境贸易产品检验检疫丛书

西部天然气概述 及质量检验

周 均 刘 俊 胡建民 主编

非外管



中国质检出版社
中国标准出版社



国门安全系列丛书

“一带一路”沿线边境贸易产品检验检疫丛书

西部天然气概述及质量检验

周 均 刘 俊 胡建民 主编



中国质检出版社

中国标准出版社

北 京

图书在版编目 (CIP) 数据

西部天然气概述及质量检验 / 周均, 刘俊, 胡建民主编.
—北京: 中国质检出版社, 2018. 1

(“一带一路”沿线边境贸易产品检验检疫丛书)

ISBN 978 - 7 - 5026 - 4492 - 5

I. ①西… II. ①周… ②刘… ③胡… III. ①天然气
输送—管道输送—化工产品—质量检验—中国 IV. ①TE832

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 252843 号

中国质检出版社 出版发行
中国标准出版社

北京市朝阳区和平里西街甲 2 号 (100029)

北京市西城区三里河北街 16 号 (100045)

网址: www.spc.net.cn

总编室: (010)68533533 发行中心: (010)51780238

读者服务部: (010)68523946

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

各地新华书店经销

*

开本 787 × 1092 1/16 印张 17.5 字数 409 千字

2018 年 1 月第一版 2018 年 1 月第一次印刷

*

定价 58.00 元

如有印装差错 由本社发行中心调换

版权专有 侵权必究

举报电话: (010) 68510107

编 委 会

主 任 李 军

副 主 任 徐 兵 曹正东 周 均

委 员 陈舒方 孙 军 刘绪斌 娇 娃 刘津森

徐立君 于瑞成 陆 平 哈 森 克依木

刘 俊 孟 茹 胡建民 李海伟

主 编 周 均 刘 俊 胡建民

副 主 编 雷红琴 李艳美

参 编 (按姓氏笔画排列)

于永良 王 璐 代思月 加娜尔 李 芳

李艳美 李晓岩 李延年 刘 俊 齐 鑫

朱 侠 闫海军 陈婷婷 罗 琼 孟 茹

杨国君 杨晓明 尚 爽 武 泽 张 珊

周 均 胡建民 胡晓明 赵卓敏 唐 伟

袁小雯 徐颖洁 常 青 黄 川 葛宝星

栗有志 谢 刚 雷红琴 路万军

检测工作是检验检疫的基础，是一项涉及职责和产品质量安全的工作。检测技术水平直接体现了检验检疫的工作质量，没有科学准确的检测，检验检疫工作就是无源之水，无本之木。

随着国外贸易保护主义日益严重，利用技术性贸易措施限制进口的领域和范围不断扩大，特别是在发达国家技术性贸易措施向实验室标准看齐的趋势下，谁拥有技术检测优势，谁就能掌握贸易主动权。突破国际技术壁垒、提升检测能力成为检验检疫工作的重中之重。

新疆伊犁哈萨克自治州地处祖国西北边陲，位于亚欧大陆腹地，与哈萨克斯坦、俄罗斯、蒙古国接壤，边境线长 2000 多千米，占全国陆地边境线的十分之一，自古以来就是祖国内地与中亚、西亚各国的交通咽喉和商贸集散地，是全国唯一的既辖地区、又辖县市的副省级行政单位。伊犁河谷属湿润大陆型中温带气候，素有“塞外江南”之美誉，水土光热资源丰富，是新疆重要的粮食、亚麻、油料、糖料、肉食、蛋奶、皮毛生产基地。

霍尔果斯市是中国西部最大的陆路口岸、战略能源通道，是我国对外开放的重要门户，是新欧亚大陆桥及向西开放的桥头堡和枢纽站。口岸通商历史悠久，与哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、土库曼斯坦等国家毗邻，这些国家拥有极其丰富的天然气、石油、有色金属、稀有金属、棉花、畜产品等资源，是我国重要的能源、资源进口基地。随着经济社会的持续快速发展，能源和资源短缺已成为严重制约我国经济社会发展的瓶颈，积极利用周边国家的油气资源，保障能源安全上升为我国的国家战略。与我国新疆毗邻的哈萨克斯坦、乌兹别克斯坦、土库曼斯坦等国家，则希望寻求长期而稳定的能源市场。随着“上海合作组织”成员国之间政治互信的加深和经济合作的进一步深化，增加向中国出口天然气的贸易量，成为这些国家亲中友好外交的一项重要举措。

多年来，州政府大力实施资源优势转换和外贸强州战略，伊犁外向型经济快速发展，重点发展食品、农副产品、建材、纺织品、木制品、塑料制品、汽车配件等出口加工产业。伊犁出入境检验检疫局现有酵母产品检测国家级重点实验室，动物检验检疫、浓缩果汁检测、天然气检测三个区域性中心实验室，拥有一批长期从事检验检疫工作的专业技术人员，在食品检验、动植物检疫等检测领域处于国内领先水平。



我们组织编写的“一带一路”沿线边境贸易产品质量检验——国门安全系列丛书是我局广大科技人员多年检验检疫技术工作的经验和技术创新的结晶，既有经典的检测方法，又有最新的检测技术。希望该书的出版能为相关检验检疫部门和生产企业在检测技术与产品质量控制中发挥积极的作用。

霍尔果斯出入境检验检疫局局长 李军

2017年7月

随着全世界环保意识提高,需求干净能源的呼声高涨,天然气被视为最干净的能源。天然气发电是缓解能源紧缺、降低燃煤发电比例,减少环境污染的有效途径。从经济效益看,天然气发电的单位装机容量所需投资少,建设工期短,上网电价较低,具有较强的竞争力。天然气是制造氮肥的最佳原料,具有投资少、成本低、污染少等特点,占氮肥生产原料的比重平均为80%左右。随着人民生活水平的提高及环保意识的增强,作为居民生活用燃料的天然气的的需求明显增加。以天然气代替汽车用油,具有价格低、污染少、使用安全等优点。天然气作为一种不可替代的能源,已经越来越被各国重视。

霍尔果斯是我国西部又一个集铁路、公路、管道运输为一体的综合性国际联运枢纽。随着已经建成的“中-哈”铁路的开通,也将为霍尔果斯口岸进出口液化气、石油产品等矿产品开辟了新航路,这也就意味着,霍尔果斯彻底打破了以往仅凭公路运输的交通瓶颈,实现了集公路、铁路、管道综合运输为一体的华丽变身,对进一步缓解我国天然气等能源短缺的紧张局面,优化能源结构,实现中国能源的可持续发展战略,扩大与中亚国家经济合作,促进国民经济发展具有重大的战略意义。

根据多年的实践经验和学科发展的需求,本书对天然气生产技术与安全检测分析方面的内容进行了整合和重新编排,首先介绍了我国西部主要天气的成因和中俄天然气分布与发展前景,其次对天然气的储运及净化工艺以及天然气的重要分析检测技术进行了较为详细的介绍。

本书分为天气的成因、中俄天然气分布与发展前景、天然气的储运及净化工艺、天然气的检测技术四部分,共四章。由伊犁出入境检验检疫局检验检疫技术中心和新疆出入境检验检疫局检验检疫技术中心统稿和定稿。编写分工如下:

第1章由闫海军、张珊、刘俊、栗有志、罗琼、胡晓明、杨国君、赵卓敏、袁小雯、加娜尔、杨晓明、朱侠、代思月、孟茹、葛宝星编写;

第2章由刘俊、闫海军、张珊、胡建民、雷红琴、齐鑫、徐颖洁、加娜尔、尚爽、杨晓明、王璐、常青、李晓岩、代思月、黄川编写;

第3章由张珊、刘俊、周均、栗有志、闫海军、罗琼、齐鑫、王璐、李艳美、胡晓明、陈婷婷、朱侠、于永良、李芳、武泽、唐伟、路万军编写;



第4章由周均、张珊、胡建民、雷红琴、李艳美、杨国君、袁小雯、徐颖洁、王璐、尚爽、赵卓敏编写。

本书的编写得到新疆师范大学、新疆大学化学化工学院、伊犁新天煤化工有限责任公司、伊犁师范学院化学与生物科学学院、新疆出入境检验检疫局技术中心的大力支持，在此表示谢意。并向所引用资料的编著者表示感谢。

由于编者水平有限，书中不妥之处，恳请读者批评指正，不胜感激。

编 者

2017年7月

第1章	天然气成因分析	1
1	东海平湖气田天然气运移地球化学特征	1
2	鄂尔多斯盆地中部奥陶系风化壳天然气的运移特征	5
3	白马庙气田侏罗系天然气地化特征	10
4	四川盆地中西部上三叠统天然气有利勘探区带	16
5	中国东部主要盆地天然气富集带形成及分布规律	20
第2章	俄罗斯、中亚、中国天然气分布与发展前景	29
1	俄罗斯东部天然气规划的实施进展及中俄合作前景	29
2	中亚管输进口天然气质量分析报告	38
3	中国天然气资源的分布特征及勘探前景	44
4	中国天然气资源开发利用展望	48
5	中国中西部前陆盆地天然气勘探前景	52
6	中国中西部天然气工业一体化经济研究	57
第3章	天然气的储运及净化工艺	62
1	高含硫天然气处理技术	62
2	高含硫天然气净化工艺技术进展	65
3	含硫天然气处理厂的废物处理	68
4	天然气储运关键技术研究及技术经济分析	73
第4章	天然气的检测方法	158
1	天然气取样导则	158
2	天然气中硫化氢及总硫含量的检测	179
3	离线气相色谱仪检测管输天然气	182
4	气体同位素质谱与色谱结合分析天然气组成	187
5	天然气水露点的测定 冷却镜面凝析湿度计法	191
6	天然气烃露点的测定 冷却镜面目测法	198
7	天然气发热量、密度、相对密度和沃泊指数的计算方法	200



8	氢解 - 速率计比色法测定天然气中总硫含量	220
9	紫外荧光光度法测定天然气中含硫化合物	226
10	火焰光度检测法测定天然气中的硫化物	232
11	冷原子吸收光谱法分析测定天然气中微量总汞	237
12	硫化学发光检测器检测天然气氢中毒	240
13	气相色谱法快速测定天然气中 14 种组分的含量	244
14	气相色谱法测定高含硫天然气中多种硫化合物	249
15	气相色谱法测定天然气中的硫化物	252
16	气相色谱 - 双等离子体硫化学发光检测器分析天然气中硫化物	255
17	气相色谱 - 同位素比值质谱法测定天然气水合物碳氢同位素	260
18	气相色谱法检测天然气中微量乙二醇	264

1 东海平湖气田天然气运移地球化学特征

平湖油气田位于东海盆地浙东坳陷西湖凹陷的西斜坡，西靠平湖主断裂，东临三潭深凹，是我国东海海域第一个投入开发的油气田。平湖油气田天然气具有明显的垂向运移特点，且充分表现了断裂与油气藏形成的密切关系。在垂向运移过程中，由于受运移、分馏作用的影响，天然气参数必然会发生一系列变化，这些参数变化可作为运移地球化学指标。

1.1 地质背景简介

平湖油气田断裂体系非常发育，通过对三维地震资料重新处理和解释，确认了放鹤亭构造和八角亭构造呈北东走向，雁行式排列，受平湖主断裂和放一断层、放二断层控制（见图 1-1）。

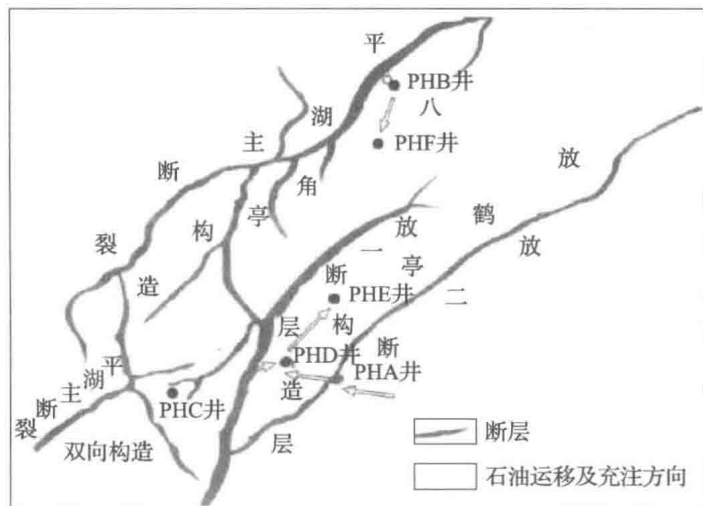


图 1-1 平湖油气田断裂系统及局部构造分布

平湖油气田共解释断层 19 条，均为正断层。断裂活动可能始于平湖组沉积早期，花港组沉积期断裂活动有所减弱。油气的运移和聚集都与断层有关。平湖油气田的构造具有复合特征，即下部构造为被一系列多期活动的张性断裂复杂化的平湖组断背斜、断鼻和断块，其上叠置压扭应力作用下形成的花港组上部完整背斜。

1.2 天然气组分变化特征

1.2.1 甲烷和 iC_4/nC_4 变化

在运移因素占主导地位时， iC_4/nC_4 在运移方向上呈增加趋势。平湖油气田垂向运移剖面上（以 PHD 井为例，见图 1-2），从深部至浅部（3379 ~ 2372m）， CH_4 含量从 82.5% 增至 89.56%， iC_4/nC_4 从 1.2 增加到 1.53，主要反映了垂向运移的特点。

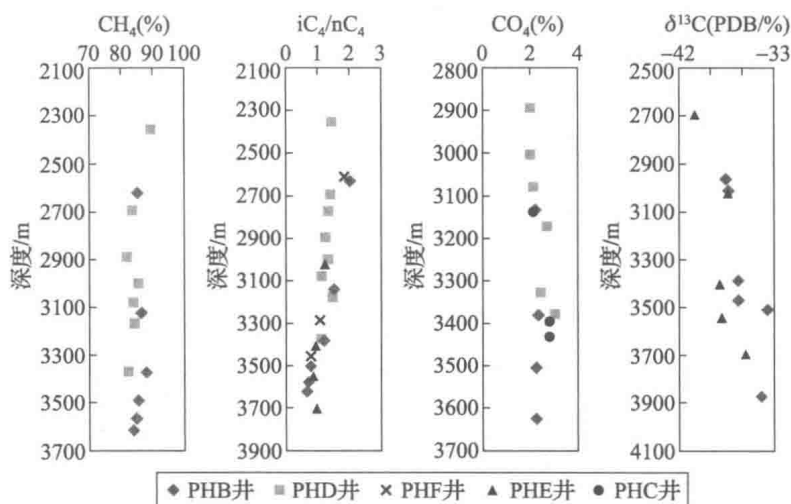


图 1-2 天然气组分及碳同位素组成变化图

1.2.2 N_2/C_2 、 N_2/C_3 变化

氮气分子直径比乙烷和丙烷小得多，在岩石孔隙中更易于扩散和运移。运移距离越长，氮富集越多，因此在运移方向， N_2/C_2 、 N_2/C_3 值增大。始新统平湖组 N_2/C_2 、 N_2/C_3 值基本按由深至浅各气层顺序 ($P_{12} \rightarrow P_{11} \rightarrow P_{10} \rightarrow P_8 \rightarrow P_6 \rightarrow H$) 逐渐增大，最上部的渐新统花港组气层 (H) 氮气最为富集，比值也最高，显示出明显的纵向运移的特征（见图 1-3）。

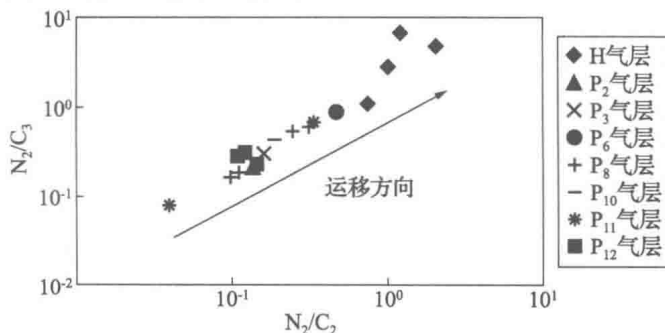


图 1-3 天然气 N_2/C_2 、 N_2/C_3 运移参数变化图

在高 CO_2 的气田中, CO_2 被认为是一个良好的天然气运移指标。与甲烷相比, CO_2 密度高, 不易运移, 因此沿着运移方向 CH_4 增加, CO_2 含量减少。在平湖油气田, 尽管各井的 CO_2 含量不高 (小于 4%), 但随着产层变浅, CO_2 有逐渐减少的趋势 (见图 1-2), 表明 CO_2 含量变化可以指示本区天然气的运移方向。

1.3 同位素的分馏效应

天然气在运移过程中, 同位素组成将沿着运移方向逐渐变轻, $\text{C}_2 \sim \text{C}_5$ 烷烃系列同位素也呈递减趋势, 但往往变化较 C_1 同位素组成平缓。平湖气田 PHB 井 P_{12} 气层 (深 3867m) 至 P_6 气层 (深 3018 ~ 3100m), $\delta^{13}\text{C}_1$ 值从 -34.0‰ 降为 -37.4‰ , $\text{C}_2 \sim \text{C}_5$ 烷烃系列同位素亦呈递减的趋势 (见表 1-1)。PHE 井 $\delta^{13}\text{C}_1$ 值也有随深度变浅 (3695 ~ 2703.2m) 逐渐变轻的明显趋势 (从 -35.6‰ 降至 -40.6‰ , 见图 1-2)。

表 1-1 天然气垂向运移同位素组成变化

气 层	井深/m	$\delta^{13}\text{C}/\text{‰}$				
		C_1	C_2	C_3	C_4	C_5
P_6	3018 ~ 3100	-37.4	-29.2	-28.2	-28.8	-27.5
P_{10}	3381 ~ 3439	-36.5	-29.4	-27.4	-28.6	-27.0
P_{11}	3460 ~ 3465.5	-36.5	-27.8	-27.1	-26.8	-27.9
P_{12}	3505	-33.6	-27.0	-27.0	-26.0	-27.3
P_{12}	3867	-34.0	-24.0	-20.0	-23.1	-25.4

1.4 原油性质垂向变化特征

平湖气藏为一典型的“蒸发分馏”作用形成的凝析气藏。早期形成的油藏被后期大量高成熟天然气注入, 发生油-气相互作用, 在压力降低的情况下, 油饱和的气从油中溶出, 导致气与油的物理分异, 若压力进一步降低, 气态烃将从油中释放出来, 油在其中不断溶解与析出, 导致最终的流体与原始流体在组成方面的差异, 表现为垂向明显的分异现象。在垂向剖面上, “蒸发分馏”作用形成的凝析油的物理化学性质变化与正常油气运移所造成的变化相反。如原油分子量较低的正构烷烃损失严重, 具有异常高含量的低分子量芳烃和环烷烃, 成熟度较低、密度较高的油出现在较深处。

平湖气田各井的凝析油是原油被过量天然气“气洗”的产物, 均具有蒸发分馏作用所具有的垂向分异的典型特点。图 1-4 为平湖油气田原油各参数纵向变化图, 自下而上, 可见密度、轻芳烃 (甲苯/ $n\text{C}_7$) 逐渐减小, 而反映原油成熟度的庚烷值自下而上逐渐增加。尽管这种垂向变化特征是“蒸发分馏”作用的结果, 却从另一个角度证明了油气垂向运移的存在。因为没有天然气的垂向运移, 就不可能有上述原油物理化学组成的垂向变化。

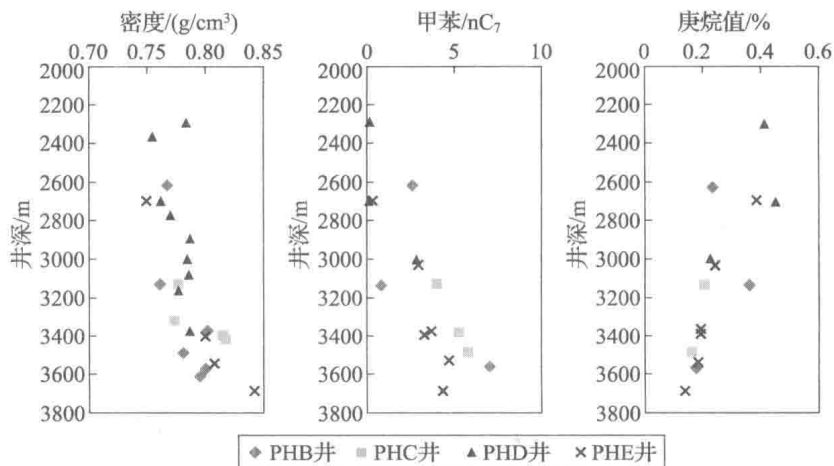


图 1-4 原油密度、芳烃和庚烷值运移参数垂向变化图

1.5 运移通道

1.5.1 运移及充注指标的选择

在油藏、油田内，可以依据纵向、横向原油成熟度的细微差别，研究和判断油气运移方向和途径。先期充注的石油成熟度偏低，后期充注的石油成熟度偏高，后期充注的石油呈“波阵面”式推动先期充注的石油向前运移，从而造成原油成熟度从高向低的变化，这种变化无疑可成为石油运移及充注方向与途径的示踪标志。根据本区原油的特点，经相关性分析，用原油芳烃成熟度参数甲基菲指数中的 MPI-1 和 MPI-2 参数作为油气运移、充注方向的判别指标。含氮化合物主要有甲基咪唑、二甲基咪唑、三甲基咪唑等系列化合物。在咪唑 1、8 两个碳位上联接有甲基的称为“屏蔽型”，只在其中一个碳位上联接有甲基的称为“半屏蔽型”，两个甲基均未联接在 1、8 碳位上的称为“暴露型”。油气在运移过程中，所经过的岩石对于极性强的暴露型咪唑和极性较强的半屏蔽型咪唑的吸附能力均大于屏蔽型咪唑。随运移距离增加，相对于半屏蔽型咪唑和暴露型咪唑的值，屏蔽型咪唑的值将增加，且原油中咪唑的绝对含量将降低。经过相关性对比分析，本区选的有效运移及充注指标为：1-MC/3-MC、1-MC/2-MC、1,8-DMC/1,3-DMC、1,8-DMC/1,7-DMC、1,8-DMC/2,7-DMC、1,8-DMC/2,4-DMC。部分井运移及充注指标数据见表 1-2。

1.5.2 油气运移方向及充注点的判断

八角亭构造 PHB 井和 PHF 井 H_4 油层原油的含氮化合物指标存在显著差异，PHF 井甲基咪唑的 1-MC/3-MC、1-MC/2-MC 比值和二甲基咪唑的 1,8-DMC/1,3-DMC、1,8-DMC/1,7-DMC、1,8-DMC/2,7-DMC 和 1,8-DMC/2,4-DMC 比值明显高于 PHB 井的（见表 1-2），说明 PHF 井原油的运移效应强于 PHB 井。从反映原油成熟度的甲基菲指数 MPI-1、MPI-2 看，PHB 井原油成熟度高于 PHF 井（见表 1-2），表明 PHB 井更接近油气充注点。两口井含氮化合物和原油成熟度的分布特征表现出从 PHB 井到 PHF 井的油气运移趋势（见表 1-2、图 1-1）。由此推断，平湖主断裂可能

为八角亭构造重要的油气运移通道。PHD 井的 H₂ 原油运移效应强于 PHA 井的 H₂ 层原油，充注方向由 PHA 井至 PHD 井；PHE 井 P₃ 层原油的运移效应强于 PHD 井的 P₃ 层原油，充注点在 PHD 井，且各自的充注点均靠近断层（见表 1-2，图 1-1），表明平湖构造放二断层和放一断层也是重要的油气运移通道。

表 1-2 原油含氮化合物运移参数及成熟度参数数据

气层	井号	甲基咪唑（MC）		二甲基咪唑（DMC）				甲基菲指数	
		1-MC/ 3-MC	1-MC/ 2-MC	1, 8-DMC/ 1, 3-DMC	1, 8-DMC/ 1, 7-DMC	1, 8-DMC/ 2, 7-DMC	1, 8-DMC/ 2, 4-DMC	MP1-1	MP1-2
H ₄	PHF	2.14	2.37	1.99	1.52	1.56	2.79	1.21	1.32
	PHB	2.07	1.96	1.1	0.88	1.2	2.33	1.24	1.35
H ₂	PHD	1.85	2.3	1.24	1.22	1.38	2.61	0.98	1.06
	PHA	1.66	1.85	1.14	1.01	1.26	2.22	1.03	1.08
P ₃	PHE	2.11	2.77	1.47	1.52	1.35	5.47	0.87	0.94
	PHD	2.06	2.53	1.0	1.44	1.04	5.71	0.94	1.0

西湖凹陷中央构造带和西斜坡带均有断裂沟通凹陷深部烃源岩，使中、下始新统生成的油气能不断地由断层向上运移聚集，天然气的垂向运移效应真实和客观地记录了这一运移、聚集过程。凹陷中始新统平湖组含煤地层分布广、厚度大，最大埋深可达 7800m，生烃强度最大和热演化适中的地区在凹陷的中南区（平均生气强度为 99 亿 m³/km²），现今演化已达到成熟—高成熟阶段。由于中中新世前凹陷内断层活动较弱，中央构造带尚未形成，油气以横向运移为主，从中央往边缘运移，因而油气运移与构造形成期的配套西斜坡带优于中央构造带，西斜坡带是油气长期运移的指向区。平湖气田恰处于凹陷南部地区的西斜坡带，广泛分布的天然气正是由高成熟气区沿断裂运移至平湖构造聚集的结果。

1.6 结论

平湖气田天然气运移是典型的垂向运移实例。油气中低分子正构烷烃、异构烷烃、芳烃、非烃、碳同位素组成及其物理性质等参数，均可作为较好的天然气运移地球化学指标。但运移指标的选择和判断需要结合各地区地质背景，同时重视研究多个地球化学指标及变化规律。平湖气田八角亭构造 PHB 井为油气充注点，油气运移方向从 PHB 井指向 PHF 井。放鹤亭构造 PHA 井和 PHD 井为油气充注点，运移方向从 PHA 井到 PHD 井，从 PHD 井再到 PHE 井。各充注点均靠近断层，说明断层为油气运移通道，平湖断裂是天然气垂向运移的主要通道。

2 鄂尔多斯盆地中部奥陶系风化壳天然气的运移特征

天然气由于其分子组成简单，运移过程中能反映其踪迹的特征较少，同时人们对这种发生在地质过程中的运移事件无法直接观察，又很难在实验室中进行模拟，故天然气运移

研究一直是油气地质界中比较薄弱的环节，是至今尚未攻克的难题之一。对鄂尔多斯盆地中部天然气的运移研究，比较常见的做法是根据天然气在运移过程中烃类组分和同位素等的变化进行，也有的依据流体包裹体中成分和可溶有机质组成变化来探讨。但是，由于鄂尔多斯盆地中部奥陶系风化壳天然气的混源十分普遍，不同区块上、下古生界天然气来源的混合比例有较大的差别，而常规地球化学运移参数指标有多解性，使其在天然气运移研究方面受到限制。本文拟在前人研究的基础上，运用地质地球化学资料，对该盆地中部奥陶系风化壳天然气的运移特征作进一步探讨。

2.1 地质概况

鄂尔多斯盆地是我国大型沉积盆地之一，处于华北地块的西缘，面积 $37 \times 10^4 \text{ km}^2$ 。它是一个稳定沉降、拗陷迁移、扭动明显、多旋回的克拉通盆地。盆地基底为太古宇和下元古界的变质岩系，其上的盖层经历了中新元古代拗拉谷、早古生代浅海台地、晚古生代近海平原、中生代内陆盆地和新生代周边断陷 5 大演化阶段，形成了下古生界海相碳酸盐岩、上古生界海陆过渡相煤系和中新生界内陆碎屑岩沉积三层结构。早古生代，受贺兰裂谷的影响，裂谷肩处发生均衡翘升，在盆地中部形成了近“L”型古隆起。早奥陶世后，加里东运动使盆地全面抬升，缺失志留系、泥盆系和下石炭统，奥陶系顶部经历了近 1.5 亿年的风化剥蚀，形成了对天然气聚集有重要意义的奥陶系风化壳。中部气田（即长庆气田）位于陕西省靖边——志丹——安塞一带，向北延伸至内蒙古自治区的乌审旗。现今构造为一区域西倾的大单斜，坡降为 $7 \sim 10 \text{ m/km}$ 。该气田为我国陆上最大的气田之一，已探明天然气的绝大部分储量分布于奥陶系顶部的风化壳之中。

2.2 奥陶系风化壳天然气运移特征

鄂尔多斯盆地中部区域构造稳定平缓，奥陶系储集岩多属低孔低渗层，地层水埋藏深，以滞流水文地质为特征，并且该盆地已探明的中部气田位于上、下古生界生气中心的叠合区及其附近（见图 1-5），说明古生界天然气的运移距离不长。

2.2.1 以靖边为中心的中部天然气运移有利区

一般认为在地下环境中，油、气、水总是从高势区向低势区运移。研究表明，中侏罗世末（生排烃峰值期），鄂尔多斯盆地中部气田的气势值低于 130 MJ/m^3 ，而其周缘则为高势区（ $138 \sim 150 \text{ MJ/m}^3$ ），构成气田周缘气势高、气田中部气势低的分布格局，受气场控制，造成以靖边为中心的中部气区成为天然气运移聚集的有利场所。

作者对鄂尔多斯盆地中部奥陶系的水化学研究证实了这一点。该盆地中部奥陶系地层水为 CaCl_2 型水，总矿化度一般大于 100 g/L ，处于比较还原的阻滞—停滞水文地质状态，封闭条件较好，有利于天然气的聚集与保存。研究表明，总矿化度、水型、地层水特性参数（ $r_{\text{Na}}/r_{\text{Cl}}$ ， $r_{\text{Cl}}/r_{\text{Mg}}$ 和 $r_{\text{Mg}}/r_{\text{Ca}}$ 等）、有机酸含量和酚含量等都与天然气运移聚集成藏有密切的联系，总矿化度高值区（ $> 150 \text{ g/L}$ ）、 CaCl_2 型水分布区、 $r_{\text{Na}}/r_{\text{Cl}}$ 低值区（ ≤ 0.3 ）、 $r_{\text{Cl}}/r_{\text{Mg}}$ 高值区（ > 15 ）、 $r_{\text{Mg}}/r_{\text{Ca}}$ 低值区（ ≤ 0.2 ）、有机酸含量高值区（ $> 40 \text{ mg/L}$ ）、酚含量高值区（ $> 2.0 \text{ mg/L}$ ），都与以靖边为中心的中部气区有较好的对应关系，也反映出

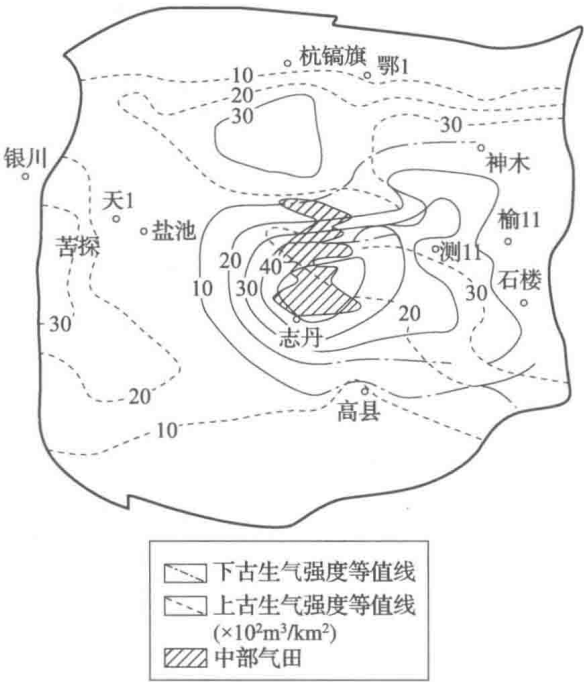


图 1-5 鄂尔多斯盆地中东部古生界生气中心与气田位置分布图

以靖边为中心的中部气区是天然气运移的有利指向区。

鄂尔多斯盆地中部奥陶系风化壳天然气的上述运移指向与其区域构造演化是紧密相关的。据研究，上、下古生界的生气中心主要发育于盆地中东部和西部。晚三叠世末天然气大量生成并运移，此时盆地的区域构造呈北高南低格局，南部环县—延安之间为一构造低地，生成的天然气主要往北运移，在吴旗—靖边鼻隆带、榆林—横山鼻隆带等高部位成为天然气运移的主要指向。早白垩世以后，区域构造格局转变为东高西低，天然气除在生气中心内部调整外，还向东、东北方向运移，在高部位的鼻隆带、局部古构造及古鼻隆与古隆起的交汇处成为天然气运移指向区，导致中部气区（以靖边为中心）成为最有利的天然气富集区。

2.2.2 奥陶系风化壳天然气的侧向运移特征

古风化壳不仅是有利的储集层，而且可成为天然气运移的有利输导层，外加古风化壳分布范围广泛，为研究区奥陶系风化壳天然气的侧向运移和聚集提供了便利的条件。如表 1-3 所示，鄂尔多斯盆地中部奥陶系风化壳天然气组分以甲烷占绝对优势，含少量重烃（ C_2^+ ）和非烃（ CO_2 ， N_2 ），干燥系数（ C_1/C_n ）超过 95%，属于高—过成熟天然气。

表 1-3 鄂尔多斯盆地中部气田奥陶系风化壳天然气组分数据 %（体积分数）

井号	CH ₄	C ₂ H ₆	C ₄ H ₈	C ₄	C ₈	CO ₂	N ₂	C ₁ /C _n
陕 5	97.25	0.49	0.06	0.012	0.000	1.65	0.33	99.43
陕 12	96.79	0.78	0.10	0.020	0.000	1.65	0.63	99.08
陕 17	93.87	0.72	0.08	0.020	0.007	4.55	0.62	99.12