

天然气勘探开发丛书》·第3卷



天然气

NATURAL GAS

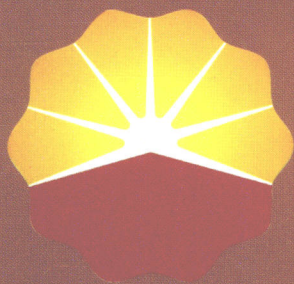
- 天然气地质与勘探
- 天然气开发与开采
- 新能源与可再生能源
- 天然气储层改造
- 天然气储存与运输
- 油气科研管理

1

2007

中国石油勘探开发研究院廊坊分院 主编

石油工业出版社 出版



天然气

NATURAL GAS

主 办:

中国石油勘探开发研究院廊坊分院

编辑出版印刷:

石油工业出版社

名誉主任委员: 王 涛

主 任 委 员: 邱中建

副主任委员: 贾承造 胡文瑞

常 务 委 员 (以姓氏笔画为序):

史兴全 史训知 沈平平 苏义脑

罗英俊 胡见义 郭尚平 韩大匡

翟光明 戴金星

委 员 (以姓氏笔画为序):

马新华 卢林生 冉新权 李文阳

李景明 李道品 朱开成 刘希俭

刘振武 刘玉章 刘 磊 苏士峰

张家茂 单文文 陈永武 赵文智

赵政璋 胡朝元 高瑞祺 袁士义

阎存章 黄维和 雷 群 甄 鹏

主 编: 雷 群

副 主 编: 李景明 朱开成

技 术 审 核:

钱 凯 卢林生 戚厚发 欧阳永林

图书在版编目 (CIP) 数据

天然气. 第三卷. 第1册 / 中国石油勘探开发研究院廊坊分院. —北京: 石油工业出版社, 2007.3

(天然气勘探开发丛书)

ISBN 978-7-5021-5986-3

I. 天…

II. 中…

III. ①天然气—油气勘探—研究②天然气开采—研究

IV. TE

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2007) 第 032509 号

常 务 理 事

王道富	中国石油长庆油田分公司
李鹭光	中国石油西南油气田分公司
黄立功	中国石油青海油田分公司
孙龙德	中国石油塔里木油田分公司
陈新发	中国石油新疆油田分公司

理 事

孟 明	中国石油勘探开发研究院廊坊分院
魏国齐	中国石油勘探开发研究院廊坊分院
丁云宏	中国石油勘探开发研究院廊坊分院
宁 宁	中国石油勘探开发研究院廊坊分院
焦贵浩	中国石油勘探开发研究院廊坊分院天然气地质所
陈建军	中国石油勘探开发研究院廊坊分院天然气开发所
欧阳永林	中国石油勘探开发研究院廊坊分院地球物理所
李 剑	中国石油勘探开发研究院廊坊分院新能源综合室
胥 云	中国石油勘探开发研究院廊坊分院酸化压裂中心
刘先贵	中国石油勘探开发研究院廊坊分院渗流所
张昱文	中国石油勘探开发研究院廊坊分院储库研究中心
赵庆波	中国石油勘探开发研究院廊坊分院煤层气经理部
汪绪刚	中国石油勘探开发研究院廊坊分院海外研究中心
申瑞臣	中国石油勘探开发研究院廊坊分院完井所
魏伶华	中国石油勘探开发研究院廊坊分院工程造价中心
杜卫东	中国石油勘探开发研究院廊坊分院环保所
陈孟晋	中国石油勘探开发研究院廊坊分院鄂尔多斯分院

煤层气项目经理部



中国石油勘探开发研究院廊坊分院煤层气项目经理部(以下简称经理部)是中国石油天然气股份有限公司所属的专门从事煤层气勘探开发及中国石油煤层气勘探开发综合研究和发展规划的综合性机构。经理部成立于1994年,由原中国石油天然气总公司新区勘探事业部组建,负责全国煤层气勘探。2000年划归中国石油勘探开发研究院廊坊分院管理。十多年来,经理部着眼于全国,充分发挥与院校的战略伙伴作用、与有关兄弟单位的战略联盟作用和与分院科研院所的战略协作作用,实施科研、生产、现场试验一体化攻关,形成多学科联合攻关体,取得了丰硕成果。

在上级主管部门和廊坊分院领导下,总投资3.5多亿元,先后在山西、陕西、河北、新疆等地9个地区进行了煤层气钻探,累计钻井178口,建立了晋城、大宁、宁武3个煤层气试验区。发现并探明了中国第一个大型煤层气田——沁水煤层气田,也是世界上第一个高煤阶煤层气田,获三级地质储量1300亿立方米;发现并控制了大宁—吉县地区千亿立方米以上规模大型煤层气含气区,获三级地质储量803亿立方米;发现一个具有较高渗透性的宁武南煤层气含气区,获预测储量230亿立方米;2006年在新疆昌吉地区低煤阶勘探取得重要进展,并优选了一批有利勘探目标,同时探索了江西、湖南及华北多个有利目标区,落实了经济可采资源量。

经理部下设3个科研生产管理室:部署研究室、综合研究室和工程管理研究室。拥有全国一流水平的煤层气实验室和煤层气勘探开发队伍,是我国煤层气勘探开发的重要力量。多年来,经理部坚持走研究、勘探、开发相结合的道路,针对中国煤层气分布的特点,探索和总结出中国煤层气成藏条件和分布规律,丰富了煤层气地质理论;经过不断实践认识,初步形成了煤层气地质实验分析评价技术、煤层气成藏模拟技术、煤层气选区评价技术、煤层气多分支井钻井技术、煤层气注入压降测试技术、煤层气压裂改造及排采技术等配套勘探开发特色技术。先后组织了中国石油天然气总公司“九五”、“十五”煤层气科技攻关和煤层气勘探生产项目300余个,获国家及省部级奖12项,获国家专利6项,编写专著16部,在国内外发表学术论文160多篇。

煤层气勘探开发业务已进入关键时期,经理部坚持“一部三中心”的定位方针,秉承“以人为本,科技创新”的理念,以煤层气产业化为己任,争取为煤层气业务的大发展做出更大的贡献。

联系电话: 010-69213108/3223

通讯地址: 河北省廊坊市44# 煤层气项目经理部

电子邮箱: zhqib@petrochina.com.cn yangsf69@petrochina.com.cn

中国石油勘探开发研究院廊坊分院

煤层气项目经理部科技专家



赵庆波



孙平

赵庆波，1950年生于山东烟台，中共党员，高级工程师。1974年毕业于华东石油学院石油地质专业，同年分配到辽河油田研究院，任助理工程师、工程师、天然气室综合组组长、室负责人。先后参加了“六五”国家煤层气项目和“七五”国家天然气项目攻关，长期从事天然气勘探研究工作。

1989年1月—1994年3月：廊坊分院天然气所高级工程师，国家“八五”“渤海湾盆地新生界天然气富集条件及勘探目标评价”和总公司“中国大中型气田富集规律及目标评价研究”课题负责人。

1994年4月至今：主要从事股份公司煤层气勘探，任廊坊分院煤层气勘探项目经理部经理（其中1994—1998年原为总公司新区勘探事业部煤层气项目经理部经理），总公司“九五”七大科技工程项目之一“煤层气勘探技术与试验”项目长，股份公司“十五”煤层气选区评价及开发技术研究、国土资源部“煤层气战略选区”课题负责人。尤其擅长煤层气成藏条件、成因类型、目标评价及勘探部署研究。

现任中国石油学会煤层气学组副组长，中国地质大学兼职教授、国家香山科技会议第268次学术研讨会执行主席，并做大会首席发言，“中国煤层气”杂志编委会委员。在中国石油学会、中国地质学会等全国性大型权威会议上有5次做学术报告。

主要从事天然气和煤层气勘探研究，主持完成了多项国家和股份分公司级重大科技攻关项目，组织实施了百余个科研、生产项目。“煤层气勘探技术与试验”曾获国家科技进步二等奖（第一完成人），参加了科技奖励大会并与党和国家领导人合影留念，省部级科技进步奖5项，局级奖13项。在国内外核心刊物发表科技论文35篇，其中国际论文8篇，出版著作9部。

孙平，1963年8月出生，出生于甘肃省平凉市，中共党员，高级工程师。毕业于西南石油学院勘探系石油地质专业，获学士学位。1982—2005年7月在华北油田工作，历任地质勘探公司副总地质师、总地质师、副经理兼二连勘探项目经理和党支部书记、勘探部副经理兼冀中勘探项目经理。2005年8月调入廊坊分院煤层气经理部工作，现任党支部书记兼副经理。多次被评为先进工作者，其中二次被评为股份公司勘探项目管理先进工作者。

自参加工作以来，先后转战二连、华北冀中、山西沁水三大探区，先后从事前期地质综合研究、勘探技术管理工作，积累了丰富的油气勘探经验，掌握勘探各项工程技术的主要环节，具备较强的生产组织能力，在发现阿南、哈南、扎布、乌兰诺尔、扎拉格、宝饶、海留特、宝力格、东乌、州16、留西、大王庄等油田中做出了重大贡献，特别是在华北油田地层岩性油气藏的勘探中做出了突出贡献，先后五次获得油田重大发现奖。

在长期的地质综合和勘探技术研究中曾负责或独立完成总公司、局、处课题40多项，获省部级科技进步奖二等奖四项、三等奖二项，局级一等奖四项，这些成果在油田的勘探中发挥了巨大作用，特别是针对二连探区的区带综合评价技术、隐蔽油气藏勘探评价技术，对推动股份公司隐蔽油气藏的勘探起到了积极的作用。近年来主要从事煤层气勘探开发研究及现场实施工作。

中国石油勘探开发研究院廊坊分院

煤层气项目经理部科技专家



李安启

李安启，男，1955年出生于山东省定陶县，高级工程师。1982年元月毕业于华东石油学院开发系采油专业。1982年至1991年在吉林油田管理局井下作业处从事压裂设计、施工管理及试油（气）工作，期间所从事的整体压裂增产改造项目和压裂设计软件的应用分别获管理局一、三等奖。

1991年调入廊坊分院压裂酸化中心从事增产措施研究及现场技术服务工作，参加了吐哈石油会战，先后负责了冀东、江苏、延长等低渗透油田的压裂改造方案的编制和实施。1993年至今，一直进行煤层气井的增产措施、开发试气方案的研究工作。组织编写了大城、晋城、大宁—吉县、宁武等地区的煤层气压裂试气（开发）方案并参与现场实施以及综合研究工作。曾获得国家科技进步二等奖1次、北京市科技奖1次、中国石油总公司一等奖1次、勘探开发研究院一、三等奖各1次。2003年参加了国家973项目“煤层气开采机理研究”的研究工作。发表论文18篇。中国石油学会煤层气学组一、二届委员。

2001年6月转入煤层气项目经理部工作，先后任总工程师、副经理职务。

主办单位：中国石油勘探开发研究院廊坊分院

承办单位：石油工业出版社

编辑委员会

名誉主任委员：王 涛

主任委员：邱中建

副主任委员：贾承造 胡文瑞

常务委员（以姓氏笔画为序）：

史兴全 史训知 沈平平 苏义脑 罗英俊

胡见义 郭尚平 韩大匡 翟光明 戴金星

委员（以姓氏笔画为序）：

马新华 卢林生 冉新权 李文阳 李景明

李道品 朱开成 刘希俭 刘振武 刘玉章

刘 磊 苏士峰 张家茂 单文文 陈永武

赵文智 赵政璋 胡朝元 高瑞祺 袁士义

阎存章 黄维和 雷 群 甄 鹏

常务理事：长庆油田分公司 王道富

西南油气田分公司 李鹭光

青海油田分公司 黄立功

塔里木油田公司 孙龙德

新疆油田分公司 陈新发

编辑部组成

主 编：雷 群

副 主 编：李景明 朱开成

编 辑：华爱刚 林永汉 邸雪峰

技术审核：钱 凯 卢林生 戚厚发

欧阳永林

地 址：河北省廊坊市 44 号信箱

邮 编：065007

电话 / 传真：(010)69213540, (010)64523540

E-mail: huaaigang69@Petrochina.com.cn

网址: www.cogtj.cn

排 版 印 刷：河北天普润印刷厂

国 内 发 行：石油工业出版社

国 内 定 价：30 元 / 册（含邮资）

天然气地质与勘探

- 1 大中型气田研究促进了天然气工业的大发展 胡朝元 李景明 李东旭 等
4 非洲油气资源及与中国的关系 关增森 华爱刚 关 辉
9 火山岩储层构造裂缝的主要表征参数研究及其应用 邓 攀 于兴河 邓宏文 等
15 塔里木盆地喀什凹陷北部油砂分布特征 魏 伟 杨海军 杨芝林 等
18 泥灰岩模拟生烃过程中 H_2S 形成机理的新认识 谢增业 张光武 李志生 等
23 二维横向各向同性介质地震波场偏移 辛广柱 彭建亮 刘 赫 等
26 三维叠前时间偏移连片处理技术在大庆探区的应用 田旭红 田桂荣

天然气开发与开采

- 32 气顶油藏注剂隔障数值模拟研究 郑兴范 杨正明 何应付 等
36 复合射孔技术在浅层气防砂中的应用 汤学志 侯庆军
38 吉林油田双坨子地区气井固井技术研究与应用 齐奉忠 申瑞臣 吴国明 等
43 跨国大油公司年度投资预测方法探讨 黄伟和

新能源与可再生能源

- 46 山西省沁水盆地南部煤层气商业性开发理论进展及工作建议 李景明 王红岩 赵 群 等
49 中国新能源资源潜力及发展前景 王红岩 李景明 李 剑 等
51 高、低煤阶煤层气成藏的水化学场差异及其对煤层气勘探的指导意义 王 勃 王红岩 陈振宏 等
54 煤储层孔隙系统模型研究现状及其发展方向 刘洪林 王红岩 李景明 等
58 煤层气目标区模糊综合评价模型及其 GIS 的开发应用 李贵中 李景明 王红岩 等

天然气储层改造

- 61 新疆克拉玛依油田八区下乌尔禾砾岩油藏缝高主控因素研究 孟祥燕 陈 作 杜长虹 等
65 煤对压裂液吸附特性的研究 丛连铸 陈进富

天然气储存与运输

- 70 金坛盐穴储气库单腔库容分析及溶腔运行模拟 丁国生
75 盐穴储库油水界面测量系统的软件设计 乔 磊 申瑞臣 袁光杰 等
77 地下储气库天然气迁移泄漏的环境危害分析与控制措施 吴东平 潘红磊 谢 萍

油气科研管理

- 81 科研单位项目管理模式浅析 赵 清



Sponsored by: Langfang Branch of Research
Institute of Petroleum Exploration and Development

Published by: Petroleum Industry Press

Editorial Committee

Honorary Chairman: Wang Tao

Chairman: Qiu Zhongjian

Vice Chairmen: Jia Chengzao, Hu Wenrui

Standing Members

Shi Xingquan Shi Xunzhi Shen Pingping

Su Yinao Luo Yingjun Hu Jianyi

Guo Shangping Han Dakuang Zhai Guangming

Dai Jinxing

Standing Directors

PetroChina Changqing Branch Company: Wang Daofu

PetroChina Xi'nan Branch Company: Li Luguang

PetroChina Qinghai Branch Company: Huang Ligong

PetroChina Tarim Branch Company: Sun Longde

PetroChina Xinjiang Branch Company: Chen Xinfu

Editorial Board

Editor-in-Chief: Lei Qun

Vice Editors-in-Chief: Li Jingming and

Zhu Kaicheng

Editor: Hua Aigang, Lin Yonghan and Li Wei

Technical Examiners: Qian Kai, Lu Linsheng,

Qi Houfa and Ouyang Yonglin

Publisher: Petroleum Industry Press

Address: No.44, Langfang city, Hebei Province

Tel/Fax: 86-10-69213540, 86-10-64523540

E-mail: huaaigang69@Petrochina.com.cn

NATURAL GAS GEOLOGY AND EXPLORATION

- 1 Faster Natural Gas Development Advanced By Major Gas Field Studies-Hu Chaoyuan, Li Jingming and Li Dongxu, *et al.*
- 4 African Hydrocarbon Resources and Its Interrelationship with China-Guan Zengmiao, Hua Aigang and Guan Hui
- 9 Research of Principle Features of Volcanic Reservoir and Its Application-Deng Pan, Yu Xinghe and Deng Hongwen, *et al.*
- 15 The Characteristic of Oilsand Distribution in the North Part of Kashi Depression Tarim basin-Wei Wei, Yang Haijun and Yang Zhilin, *et al.*
- 18 New Advances on the Mechanism of H_2S Generation in the Pyrolysis Experiments of Marl-Xie Zengye, Zhang Guangwu and Li Zhisheng, *et al.*
- 23 Seismic Wave Field Migration of 2D Lateral Isotropism Medium-Xin Guangzhu, Peng Jianliang and Liu He, *et al.*
- 26 Application of 3D Time Migration Before Stack Treatment Method in Daqing Exploration Area-Tian Xuhong and Tian Guirong

NATURAL GAS DEVELOPMENT AND PRODUCTION

- 32 Numerical Simulation of Barrier Injection Flooding for Gas Cap Reservoir-Zheng Xingfan, Yang Zhengming and He Yingfu, *et al.*
- 36 Combination Perforation Method for Preventing Sand of Shallow Gas Reservoir-Tang Xuezhi and Hou Qingjun
- 38 Research and Application of Gas Well Cementing in Shuangtuozi Area of Jilin Oil Field-Qi Fengzhong, Shen Ruichen and Wu Guoming, *et al.*
- 43 Analysis of Forecast Method on Annual Investment in International Leading Oil Companies-Huang Weihe

NEW FORMS OF ENERGY AND RENEWABLE ENERGY

- 46 Theory and Practice of CBM Commercial Development in South Qinshui Basin in Shanxi Province-Li Jingming, Wang Hongyan and Zhao Qun, *et al.*
- 49 The Development Prospect & Resource Potentiality of New Energy in China-Wang Hongyan, Li Jingming and Li Jian, *et al.*
- 51 Compared the Ground Water Geochemistry of High-low Rank CBM Reservoir-Wang Bo, Wang Hongyan and Chen Zhenhong, *et al.*
- 54 CBM Reservoir Pore System Model Study and Its Trend-Liu Honglin, Wang Hongyan and Lin Jingming, *et al.*
- 58 Fuzzy Synthesis Evaluation Model of Coalbed Methane Target Area and Its GIS Realization-Li Guizhong, Li Jingming and Wang Hongyan, *et al.*

NATURAL GAS RESERVOIR STIMULATION

- 61 The study of primary controlling factors for fracture-height in conglomerate reservoir, Wuerhe, Eight Area of Keramay Oil field-Meng Xiangyan, Chen Zuo and Du Changhong, *et al.*
- 65 Study on Coal Adsorption Features of Fracturing Fluid-Cong Lianzhu, and Chen Jingfu

NATURAL GAS STORAGE AND TRANSPORTATION

- 70 Analysis of Single Cavern Capacity in Jintan Salt Underground Storage and Cavern Work Modelling-Ding Guosheng
- 75 Design of Software About Oil-water Measuring System in Salty Cavern Storage-Qiao Lei, Shen Ruichen and Yuan Guangjie, *et al.*
- 77 Environmental Crisis from Underground Gas Leakage and Its Control Methods-Wu Dongping, Pan Honglei and Xie Ping

SCIENTIFIC AND TECHNICAL MANAGEMENT

- 81 Analysis of Scientific Project Management-Zhao Qing

大中型气田研究促进了天然气工业的大发展

胡朝元¹ 李景明² 李东旭² 郑德文²

(1 中国石油集团公司咨询中心, 北京 100724; 2 中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北省廊坊市 065007)

摘要:大中型气田勘探方向及目标评价研究是一个科研与生产密切相结合的攻关项目, 历时 10 年, 取得了显著效果。本文系统地回顾了天然气研究与大发展前夕的决策过程; 总结了天然气研究的特点、经验与体会; 展示了天然气研究的显著成果。

关键词:大中型气田; 天然气工业; 天然气研究

1982 年 2 月, 根据胡耀邦同志对戴金星提出关于开展煤成气研究与勘探工作建议的批示, 国家计委及能源委联合召开了“加快天然气勘探开发座谈会”。这是一次具有里程碑意义的盛会。会议一致认为必须改变“天然气勘探是石油勘探附属品”的理念, 要加强煤成气及其他天然气专项研究和勘探工作。座谈会后不久, 原石油部勘探司下文并召开专门会议, 要求各油田逐步在 2~3 年内普遍建立起专门的天然气科研和生产管理机构, 天然气专项勘探工作也在各地陆续展开, 为全国天然气攻关研究创造了条件。

经过一段时间准备, 国家科技部支持的国家天然气研究攻关重大项目在 1983 年正式启动^[1]。此后连续 20 年的攻关研究, 取得了许多重大科研成果, 为我国天然气勘探工作做出了巨大的贡献。特别是煤成气理论的引进和发展、完善以及一批天然气成藏规律的研究成果, 为我国天然气工业快速腾飞与天然气地质理论的发展奠定了坚实的基础。

1 历史回顾

天然气勘探与石油勘探有相同之处, 但也有较大差别。中国石油天然气总公司从天然气兼探转变到大规模专探, 就面临不少地质与工程难题。为了更好地满足国家对天然气快速增长的紧迫要求和天然气勘探生产实践中面临的各种问题, 在国家开展天然气攻关研究的同时, 1988 年中国石油天然气总公司领导多次指

示拨出专款, 要求勘探局、科技局抓好大中型气田地质攻关研究工作。据此, 当时的勘探局、科技局两次组织在京有关专家进行选题座谈。根据天然气地质和资源条件确定近期以四川、鄂尔多斯盆地为主攻地区(塔里木会战项目另有安排)。经过较充分的准备, 中国石油天然气总公司勘探局、科技局和石油勘探开发科学研究院廊坊分院于 1989 年 3 月中旬在成都举办了“大中型气田勘探方向及目标评价研究”课题招标会。石油、地矿、科学院、院校系统 32 个单位的代表参加了会议。经过评标由 23 个单位组成的 10 个联合体中标。签定了 10 个课题研究合同。经过近两年的紧张工作, 1991 年 4 月进行了成果评审验收, 胜利地结束了首期研究工作。

通过总结, 认为该项工作对生产与研究均有显著成效, 这种做法需要继续进行。1991 年 10 月在成都组织安排了第二轮研究 7 个课题。加上后来增加的开江古隆起及五百梯气田储层孔隙演化及气藏描述、陕甘宁中部气区北部古地貌及储层分布和气田勘探方法研究等, 围绕大中型气田勘探方向与目标评价, 共开展了 11 个课题的综合研究工作。经过 1994 年 3 月的评审, 对优秀成果进行了奖励^[2]。

2 大中型气田攻关研究的特点、经验与体会

两轮大中型气田勘探方向及目标评价研究中, 先后共有 30 多个单位近千名专家和科技人员协同攻关。这是特定历史条件下的一次科研生产浑然一体的“短、

第一作者简介: 胡朝元(1932 年生), 教授, 资深石油天然气地质勘探专家, 原中国石油集团公司天然气司副司长, 联系电话: 010-82023270。



平、快”研究的成功实践。当时国家攻关课题侧重基础性研究,一般以2年,甚至更长为周期提交成果,而大中气田研究课题主要侧重生产性研究,半年到一年提交成果,并且在课题设置方面,事先与包括国家攻关项目研究的众多专家进行讨论,二者基本没有重复。这种双轨制的做法既吸取了大庆会战中科研工作与生产紧密结合的有益经验,又避免了对基础性长远课题有所忽视的弊端。从下面大中气田攻关研究的特点,可以看到它与国家科技攻关课题基本上是相辅相成的。

(1) 大中气田研究只重点深入研究川、陕两天然气勘探主要盆地。没有全国性的研究课题,在川陕盆地内也突出大中气田有利区块研究。

(2) 大中气田重点研究储层及构造等基础地质条件并进行大比例尺工业制图。综合地震、钻井、测井、地质各种信息,研究多种有效技术和方法,提高评价参数精度。有时甚至采用由多家独立平行研究,编同一张图件的办法,以收到异曲同工、取长补短之效。解决这些难题,对陕甘宁中部气田、五百梯等气田的发现与快速探明起了十分重要的作用。如在川东3万多平方千米大面积内,主要用地震资料,结合钻井资料提取厚度信息,编出近5000m深度的石炭系薄储层大比例尺预测图,经钻井检验精度在80%以上,这在国际上也是很少见的。

(3) 大中气田研究急生产所急,生产中的难点就是研究工作的重点。如靖边气田小层对比研究,就发扬了大庆会战中地层对比的做法,将古生物、粘土矿物、微量元素等分析信息,结合岩性、电性等多种资料找出三个一级标志层,将马五₁—马五₅细分为厚度3~8m的14个小层,在全气田进行逐井对比,对现场卡层取心等生产工作有十分重要的指导作用。对及时认识主力气层的稳定分布,对地震地质结合编制古地貌图、古地质图准确预测古沟槽、潜台和气层发挥了重要作用。以这些图件为基础计算的储量,已完全为开发实践证实,精度为85%左右。

(4) 大中气田研究专门设置了直接影响勘探效益高低的优化勘探方法研究,量化了天然气稀井广探方法。由于天然气易运移的特点,天然气藏的开发井网很稀,而且集中在高渗透区,天然气探井的井距一般较大,稀井广探是实现天然气高效勘探的必经之路。如鄂尔多斯盆地中部风化壳厚度、储层 $H\phi$ 值、单井无阻流量三种因素与井距之间的关系曲线表明(图1),由于其不均质性较强,12~10km井距控制的形态仍与实际

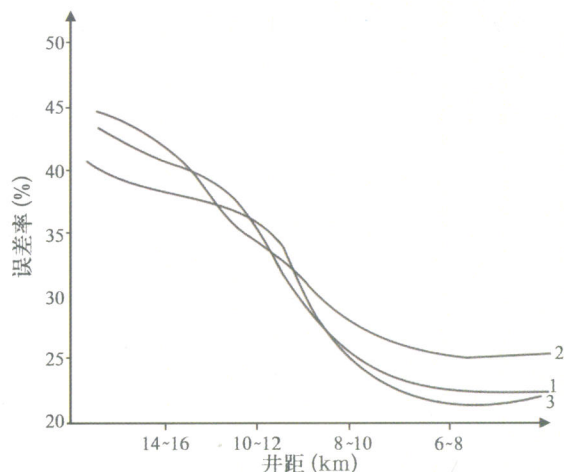


图1 井距控制地质单因素误差率曲线
1— $H\phi$ 值等值线; 2—无阻流量等值线; 3—风化壳厚度

有较大出入,误差较大,至10~8km井距以后,曲线趋于平缓,能够合理而有效地控制中部气田各地质因素的最大井距为6~10km。采用此井距稀井广探,靖边气田在1992年初上交储量 $632 \times 10^8 \text{m}^3$,探明含气面积1032km²,仅用探井42口,单井探明储量提高10倍以上,效果异常显著。

(5) 勘探工艺技术是发现气田、拿下气田的重要环节。在川、陕复杂地质气田地区,对开拓新的找气领域和提高效益起关键作用。因此在做好气田地质规律研究的同时,加强地震测井及测试技术方面的研究课题,同时进行黄土塬与高陡构造地震采集与处理技术等攻关试验,解决了气层识别评价、薄储层预测、逆冲高陡构造制图、气层增产等技术难题。

(6) 大中气田研究课题通过招标或委托协商安排,打破部门界限,除中国科学院及高校外,也对地质部的科研单位开放招标,收到较好效果。如在第一轮招标中,西南石油管理局研究队承担了川中古隆起的有利勘探目标研究。由该队的康义昌同志提出在资阳地区震旦系存在印支期古隆起,并预测在现今威远构造北翼的斜坡上保存着由古圈闭控制的岩性气藏。在江油成果验收会上,我们对此很感兴趣。经核查落实后,会上立即组织地震队伍去加密地震测线,并结合老测线的重新处理以验证研究成果。很快查明了古构造高点准确位置上钻勘探,在大面积上获得多口工业气井。虽然气水分布比较复杂,储量计算困难,但这是一个新的气藏类型,是一个勘探新思路,值得今后注意。

(7) 在大中气田形成条件与分布规律研究方面,也

取得了系列成果。这是国家项目的重点研究内容。我们的工作主要是加速重点成果的研究并迅速地转化为生产力。四川盆地石炭系、鄂尔多斯盆地奥陶系大中型气田有很多类似的形成条件，分别围绕川东志留系生气中心及鄂尔多斯盆地中东部的石炭一二叠系含煤地层和奥陶系碳酸盐岩生气中心分布，储层均为侵蚀面附近的孔隙型白云岩。两区均有稳定分布的盖层，多旋回构造沉积导致二区多种气藏类型，在开江古隆起和庆阳古隆起的上斜坡带，既有背斜构造型气藏，更有构造、地层岩性型气藏。

天然气成藏规律认识愈早，对勘探部署的指导作用愈大。如靖边气田勘探初期，就以“探规模，定类型”为勘探目标，经过不到一年的时间，在1990年中，根据少数几口井及地震地质综合研究，就提出沟槽控制气藏分布的成果，有力地指导了探井与地震测线的设计与正确部署。再如，1990年10月在江油召开的大气田研究成果验收会上，根据石炭系尖灭线与构造线结合的地层一构造圈闭，我们当即确定在义和场上大天池2号探井，很快获得高产，统一压力系统也证实这个气田与五百梯气田连片含气，使整个气田面积增加两倍以上。

大中型气田研究中的其他类似的“短、平、快”的研究课题，均要求快速提交成果，一般每年1~2次，是对中国石油天然气集团公司直管天然气勘探项目部门的及时有效技术支撑。如靖边气田探井部署周期约为半年，根据研究成果和探井跟踪动态分析，每3~6月新设计一批井位，重新调整，及时施工，仅用两年时间就探明含气面积和储量，探井成功率80%以上。对地质条件比较复杂的气田，有如此高的速度和成功率，较好地体现了依靠科学研究，实现了高效勘探的原则。

3 大中型气田攻关研究成效显著

1989~1993年间大中型气田研究课题的成果，有力地促进了天然气勘探的快速发展。在国家攻关项目的共同努力下，在勘探战线全体职工的创造性劳动和各级领导的精心经营下，较好地发挥了科技为第一生产力的作用。进入20世纪90年代以来，我国天然气储量有了成倍的增长。1981年起的“六五”期间，全国年增储量 $260 \times 10^8 \text{m}^3$ 。“七五”期间年增储量 $600 \times 10^8 \text{m}^3$ ，其中陆地 $420 \times 10^8 \text{m}^3$ 。“八五”以后，以四川、长庆为主已连续4年每年新探明地质储量 $1000 \times 10^8 \text{m}^3$ 以上，4年共增加储量 $4735 \times 10^8 \text{m}^3$ ，比5年前翻两番。“九年”期间新发现大中型气田15个，与前几十年间发现的

大中型气田数目相等，其中陕甘宁中部气田为目前中国最大的气田，五百梯气田为四川盆地历史上发现的第一个大气田。上述重大突破表明我国天然气勘探已进入快速发展的新阶段。

同时，也提出了一批新的大中型气田重点勘探区带。两轮研究，在四川、鄂尔多斯两盆地共评价出30个目标区带，圈闭资源量近 $2 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。30个区带中I类9个，II类12个，为最有利和有利勘探地区，资源量 15587m^3 。在这些区带完成工作较多，现已探明储量 $13219 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

经过近10多年的勘探工作，已经见到很好的结果，在鄂尔多斯盆地已拿到近数千亿立方米储量的大气田；四川东部大天池构造带探明和控制储量已超过千亿立方米，四川盆地找到了迄今最大的整装大气田。

四川盆地在两轮大气田攻关中评价出的22个大中型气田勘探目标中，目前已发现大中型气田的区带包括大池干、大天池、云安场、七里峡、铁山、磨溪—龙女寺、金华—八角场、平落坝—大兴西等8个目标区，累计探明地质储量 $3486 \times 10^8 \text{m}^3$ ；鄂尔多斯盆地在两轮大气田攻关中评价出的8个大中型气田勘探目标中，目前已发现大中型气田的区带包括靖边古潜台、子洲—佳县、刀兔—马家邦（榆林）、定边古潜台（苏里格）等4个目标区，累计增加探明地质储量 $9733 \times 10^8 \text{m}^3$ （表1）。

表1 大中型气田勘探方向与目标评价研究优选区带增加储量统计表

盆地	区带	探明地质储量(10^8m^3)
四川盆地	大池干	237
	大天池	1150
	云安场	93
	七里峡	412
	铁山	222
	磨溪—龙女寺	379
	金华—八角场	351
	平落坝—邛西	642
	小计	3486
鄂尔多斯盆地	靖边古潜台	3048
	子洲—佳县—刀兔—马家邦	1349
	定边古潜台(苏里格)	5336
	小计	9733
合计		13219

(下转第42页)



非洲油气资源及与中国的关系

关增森 华爱刚 关 辉

(中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北省廊坊市 065007)

摘 要: 非洲大陆发育5类盆地: 内陆拗陷盆地、裂谷盆地、大陆边缘盆地、三角洲盆地、褶皱带盆地和前陆盆地。前4类盆地为主要的含油气盆地。在非洲大陆, 1863年发现石油, 1953年发现天然气, 现在石油储量 1405210×10^4 t, 天然气储量 137575×10^8 m³。石油主要分布在非洲的北部和西部, 天然气主要分布在非洲北部和东部。非洲是世界上油气产量增长较快的地区。2005年石油产量为 44171.5×10^4 t, 天然气产量为 1408.12×10^8 m³。非洲未来在中国的能源战略格局中将占有举足轻重的地位。

关键词: 非洲大陆; 非洲海洋; 油气地质; 油气资源; 储量; 产量

非洲共有56国家和地区, 中国已经全部与他们建立了联系。近几年来, 中国高层领导人先后访问了非洲。非洲大陆已经成为中国未来重要的能源目标区之一。国家主席胡锦涛访问的摩洛哥、尼日利亚、突尼斯, 国务院总理温家宝访问的埃及、加纳、刚果(布)、安哥拉、南非、坦桑尼亚、乌干达, 这10个国家在石油和天然气的开发与利用方面已经或将要与中国有一个良好的合作。此外, 国家领导人吴官正也访问了卢旺达、马达加斯加、博茨瓦纳、加蓬四个国家。

非洲油气的发现较晚, 1863年埃及首先在苏伊士湾陆上的古姆萨附近发现了浅层石油; 1953年阿尔及利亚首先在阿赫奈特盆地发现了贝加气田。

1 非洲大陆的形成及盆地类型

1.1 非洲大陆的形成

全球古大陆在元古代相对集中。早古生代寒武纪古陆碰撞, 形成东、西冈瓦纳古陆。奥陶纪古陆向南移动, 导致古陆南部形成冰川。志留纪冈瓦纳古陆仍然移动。石炭纪各个冈瓦纳古陆碰撞, 最后碰撞的各古陆联合, 形成了全球的联合大陆(图1)。

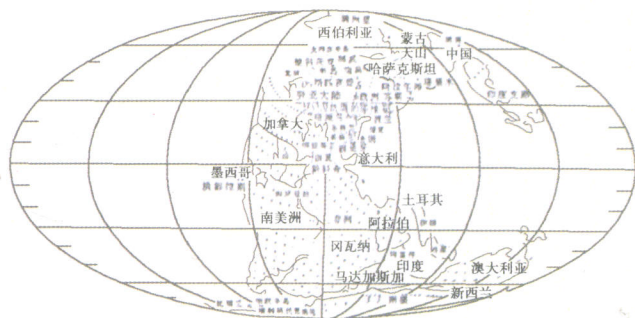


图1 石炭纪全球的联合大陆(据 Scotese 等)

二叠纪和三叠纪已形成的联合大陆开始分离, 到白垩纪已经分开。侏罗纪非洲西北部与北美洲分离, 形成了北大西洋; 非洲西南部与南美洲分离, 形成了南大西洋。而非洲东部也开始与印度、澳大利亚、南极洲分离。

第三纪北大西洋开始拉开, 逐步扩张, 其北部形成北冰洋。印度离开非洲后, 碰撞欧亚板块形成喜马拉雅山。新西兰与澳大利亚分离后, 形成了全球意义上的六大洲(图2)。

到第四纪, 非洲与南美洲进一步分离, 南大西洋继

第一作者简介: 关增森(1935年生), 男, 1955年大学毕业, 先后在玉门油田、大庆油田、吉林油田等地方工作, 教授级高级工程师, 资深石油天然气地质家。



图2 第三纪现代各洲基本形成 (据 Scotese 等)

续扩大。非洲的东部形成了印度洋和太平洋。

1.2 非洲地层与盆地类型

全球古大陆在前寒武纪形成的地层, 南美洲、印度、澳大利亚均有分布, 非洲主要分布在南部。中生代非洲与其他大陆分离, 地层具有独特性, 与其他各洲不尽相同。

中生代三叠纪地层开始在非洲沉积, 主要分布在非洲北部, 南部有少量分布。该地层是北非最重要的油气产层之一。

侏罗纪, 在非洲西部、南部、东部和马达加斯加岛均分布了浅海相地层。

白垩纪, 非洲遭受大西洋海侵, 形成了海相地层, 主要分布在大陆边缘盆地和陆上裂谷盆地。白垩纪地层是非洲古生界油气地层之后的第二套含油气地层。

新生代第三纪地层在非洲分布并不广泛, 但含油情况却非常理想, 主要分布在尼日尔三角洲、尼罗河三角洲、埃及的苏伊士盆地、利比亚的锡尔特盆地、加蓬的滨海盆地。

非洲中部主要是第四纪地层, 截至目前尚无发现油气。

非洲大陆共有沉积盆地 83 个, 盆地面积 $1515 \times 10^4 \text{ km}^2$, 占非洲大陆面积 $3030 \times 10^4 \text{ km}^2$ 的一半。非洲海域盆地的数量和面积尚未确定。

非洲陆上 83 个盆地可分为 5 类: 内陆拗陷盆地、裂谷盆地、大陆边缘盆地、三角洲盆地、褶皱带盆地和前陆盆地。在这 5 类盆地中, 内陆拗陷盆地和褶皱带盆地和前陆盆地是形成在冈瓦纳泛大陆上的。裂谷盆地、大陆边缘盆地、三角洲盆地形成于冈瓦纳泛大陆分离后。

(1) 内陆拗陷盆地: 此类盆地主要位于非洲大陆北部, 中部、南部地区居次, 东部只有一个。非洲大陆此类盆地共有 14 个, 面积较大, 占非洲总盆地面积

的 29%。

(2) 裂谷盆地: 此类盆地为长形, 面积较小, 主要分布在陆上和大陆边缘。大西洋和印度洋两侧的裂谷盆地占非洲大陆该类盆地的一半。陆上利比亚的锡尔特盆地是最大的裂谷盆地分布区, 此类盆地占非洲总盆地面积的 18%。

(3) 大陆边缘盆地: 此类盆地位于大陆边缘, 与大陆和海洋边沿走向平行。大陆分离前, 非洲边缘的裂谷引发该类盆地的形成。大陆分离后, 裂谷盆地导致大陆边缘盆地发育, 并具有油气远景。

在非洲西部的海域与南美洲的海域, 此类盆地具有相同的地层层序。非洲东部的海域, 此类盆地也存在裂谷发育阶段并有海相沉积。

此类盆地分布在非洲西部和东部, 共有 23 个, 占非洲盆地总面积的 35%。

(4) 三角洲盆地: 非洲仅发现了 2 个三角洲盆地, 一个是位于非洲西部大西洋边缘尼日尔三角洲盆地; 另一个是非洲北部埃及尼罗河三角洲盆地。这两个盆地仅占非洲盆地总面积的 2%。

(5) 褶皱带的内部盆地和外部的陆前盆地: 非洲大陆内部没有褶皱带, 仅在北部和南部边缘有两个褶皱带, 这两个褶皱带内有一些盆地。前陆盆地仅在非洲北部, 预测前景良好。

此类盆地可能占非洲盆地总面积的 16%。

2 非洲石油与天然气状况

2.1 非洲油气产量增长情况

非洲是世界上油气产量增长较快的地区。2005 年石油储量为 $140.521 \times 10^8 \text{ t}$, 产量为 $4.41715 \times 10^8 \text{ t}$; 天然气储量为 $13.7575 \times 10^{12} \text{ m}^3$, 产量为 $1408.12 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

20 世纪非洲油气产量增长可分为以下三个阶段。

第一阶段: 1900~1953 年。1930 年前, 埃及、阿尔及利亚、摩洛哥三国的石油产量仅有 $20 \times 10^4 \text{ t}$ 。1945 年达到 $100 \times 10^4 \text{ t}$ 。此间未发现天然气。

第二阶段: 1950~1970 年。石油产量大幅增长, 阿尔及利亚增长最快。利比亚锡尔特盆地发现了大油田。尼日利亚、安哥拉、加蓬、刚果(安)都发现了油田。

1965 年非洲石油产量达到 $1 \times 10^8 \text{ t}$, 1970 年达到 $3 \times 10^8 \text{ t}$ 。此间天然气产量为 $250 \times 10^8 \text{ m}^3$ 。

第三阶段: 1980~1999 年。非洲东部苏丹发现了 7



个油田。1999年石油产量达到 $3.31 \times 10^8 \text{t}$ 。此阶段，非洲西部石油产量超过北部，尼日利亚、安哥拉成为非洲产油量最高的地区。同时，天然气产量达到 $3860.7 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

第四阶段：21世纪，非洲油气产量将大幅增长，进入了一个新的阶段（表1）。

表1 非洲油气产量增长情况

年 份	石油 (10^8t)	天然气 (10^8m^3)
2001	3.427	1168.5
2002	3.408	1112.6
2003	3.655	1164.62
2004	4.0566	1285.5
2005	4.41715	1408.12

2.2 非洲主要油气产区和盆地

20世纪末，非洲56个国家和地区，发现油气储量的有27个国家和地区，但投产的仅有17个国家。除了非洲北部和西部外，仅有非洲东部的苏丹和南部的南非两个国家的油气田投入了开发。

非洲北部油气区以古生界内陆拗陷盆地为主，其次为中、新生代的裂谷盆地和新生代的三角洲盆地。北部油气区的主要3个国家是阿尔及利亚、利比亚和埃及。

非洲西部油气区以中、新生代板块边缘的裂谷盆地和大型三角洲盆地为主。主要油气生产国是：尼日利亚、安哥拉、加蓬、刚果（布）。

非洲北部和西部的主要盆地见表2。

20世纪90年代以前，非洲北部盆地的油气田十分

表2 非洲北部和西部的主要盆地

非 洲 北 部	盆地名称	所属国家
	三叠盆地	阿尔及利亚
	锡尔特盆地	利比亚
	伊利兹—古德雷斯盆地	阿尔及利亚、利比亚、突尼斯
	苏伊士盆地	埃及
	伊拉杰盆地	利比亚、突尼斯
非 洲 西 部	尼日尔三角洲盆地	尼日利亚
	滨海盆地	安哥拉、加蓬、刚果（布）
	加蓬盆地（南、北二个次盆地）	加蓬
	里奥穆尼盆地	赤道几内亚
	宽扎盆地、埃托沙盆地、欧科范果盆地	安哥拉

重要，当时的储量占非洲的60%。20世纪的后10年，非洲西部成为大型油气区并成为世界热点。非洲的10个大型盆地，西部的尼日利亚和安哥拉就占有4个，北部的阿尔及利亚占有3个，利比亚和埃及各占1个，东部的苏丹占1个。

2.3 非洲天然气的发现与开发前景

非洲第一个发现天然气的国家是阿尔及利亚，第二个是埃及。

阿尔及利亚1953年发现了贝加气田，1956年在伊利兹盆地发现了因阿迈纳斯气田、哈西迈萨乌气田和哈西勒迈勒大气田。20世纪60年代天然气产量为 $1 \times 10^8 \text{m}^3$ ，70~80年代为 $170 \times 10^8 \text{m}^3$ ，90年代为 $176 \times 10^8 \text{m}^3$ 。阿尔及利亚还是世界上第一个LNG出口国，1964年首先出口英国，以后又向欧洲出口。

埃及1967年发现阿布马迪气田、1969年发现阿布奈尔气田、1978年发现NAF气田、1985年发现喀拉—卡拉拉气田、1989年发现西阿布奈尔和北阿布奈尔气田、1993年发现东巴尔蒂姆气田，以上气田均分布在尼罗河北部三角洲盆地和陆上的南三角洲盆地。

进入21世纪后，埃及在东三角洲近海区域又发现了凝析气田：蒂姆萨气田、邦乃赫—1气田、福德港气田、瓦卡尔—1气田、喀什—1气田、阿布扎肯气田。

2002年埃及的天然气产量达到 $280 \times 10^8 \text{m}^3$ ，2003年埃及在西部沙漠区发现一个储量较大的新气田—“XI”气田，2017年产量预计达到 $520 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

尼日利亚20世纪70年代前天然气产量较低，年产量仅1亿多立方米，1980年达到 $52 \times 10^8 \text{m}^3$ ，90年代初25%的天然气被利用，75%的天然气被放空燃烧。1993年开始用LNG方式出口到欧洲和美国。尼日利亚还计划通过管道向贝宁、多哥、加纳供气。

安哥拉1998年天然气产量为 $5.77 \times 10^8 \text{m}^3$ ，在非洲居第5位。

南非发现了7个油田、14个气田，F-A气田首先投入开发。

21世纪非洲天然气开发进展神速，估计非洲大陆拥有 $101 \times 10^{12} \text{m}^3$ 天然气，相当于世界总储量的7.2%，但是天然气产量仅占世界总产量的4%，所以非洲天然气产量尚有很大发展余地。

3 非洲主要油气生产国情况

中国从非洲进口的石油已经占进口总量的1/3。非

洲在中国能源格局中的地位越来越举足轻重。中国石油公司已投资数10亿美元,购买了尼日利亚、苏丹、安哥拉的油气开发权,并与刚果(布)、埃塞俄比亚等国签定了许多勘探协议。中国与非洲的关系也日益密切。

在非洲56个国家和地区中,已有28个国家和地区发现了油气,其中有18个国家和地区的油气投入了开发和利用,其余10个国家和地区的油气资源因为各种原因尚未投入开发。

18个油气生产国中,产量高于 $1000 \times 10^4 \text{t}$ 的主要生产国有9个:利比亚、阿尔及利亚、埃及、刚果(布)、赤道几内亚、尼日利亚、安哥拉、加蓬、苏丹。产量低于 $1000 \times 10^4 \text{t}$ 的生产国有9个:突尼斯、摩洛哥、喀麦隆、刚果(金)、科特迪瓦、加纳、乍得、毛里塔尼亚、南非。

非洲东部发现了一些气田,但尚未投入开发。它们是:①埃塞俄比亚欧加登盆地卡卢布气田,储量为 $765 \times 10^8 \text{m}^3$;②莫桑比克近海岸的陆上发现了3个气田:布慈气田、潘迪气田、蒂马尼气田,其中潘迪气田早在1961年就初步证实了;③坦桑尼亚1974年就发现了Songo大气田,虽然这是该国的唯一气田,但尚未开发;④马达加斯加的穆伦达瓦盆地和马任加盆地,预测天然气储量约为 $2878 \times 10^8 \text{m}^3$;⑤卢旺达的水溶天然气分布在湖区,湖区面积 $2400 \sim 1460 \text{km}^2$,湖水深度为500m,水溶天然气资源量为 $5800 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

3.1 非洲石油产量高于 $1000 \times 10^4 \text{t}$ 的主要生产国的情况

(1) 尼日利亚。尼日利亚位于西非东南部,面积 923768km^2 ,是非洲的一个大国,资源非常丰富,能源领域尤为突出。尼日利亚给中国发放了4个油田开发许可证。在能源合作中,中国将向尼日利亚提供技术支持和技术援助。

除了陆上,尼日利亚海域也具有广阔的远景。世界上三大深海油区包括:巴西近海、美国墨西哥湾、非洲西部海区。这三大海域被称之为世界海上油气区的“金三角”。西非的几内亚湾包括尼日利亚、赤道几内亚、喀麦隆、安哥拉,该“金矩形区”面积 4856km^2 ,水深超过1500m。

尼日利亚共有油田175个,其中陆上131个,海上44个。油田面积小,只有 $7 \sim 30 \text{km}^2$,但油品好、产量高。该国向西班牙和法国供应LNG,向贝宁、多哥、加纳输送管道天然气。

目前,尼日利亚石油储量 $49.15 \times 10^8 \text{t}$,居世界第10位;天然气储量 $5.23 \times 10^{12} \text{m}^3$,居世界第7位。石油产量 $1.2125 \times 10^8 \text{t}$,天然气产量 $149.57 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

(2) 阿尔及利亚。阿尔及利亚位于非洲西北部,面积 $238.1741 \times 10^4 \text{km}^2$,是非洲第二大国,拥有丰富的油气资源。2003年中国与阿尔及利亚合作开发了阿德拉尔油田;2004年中国已经成为该国油气领域的主要投资者之一,涉及油气田勘探、开发、炼厂建设、工程技术服务、设备制造、人员培训等。

20世纪,该国石油储量为 $12.6 \times 10^8 \text{t}$,天然气储量为 $5.4 \times 10^{12} \text{m}^3$;2005年该国石油储量为 $16 \times 10^8 \text{t}$,天然气储量为 $5.8 \times 10^{12} \text{m}^3$;石油产量为 $6750 \times 10^4 \text{t}$,天然气产量达到 $899.94 \times 10^8 \text{m}^3$,居世界第6位。

(3) 安哥拉。安哥拉位于非洲西南部,面积 $124.67 \times 10^4 \text{km}^2$,资源丰富,是现在非洲第二大石油生产国,但天然气产量很低,只有 $8.61 \times 10^8 \text{m}^3$ 。其石油向美国、法国、比利时、卢森堡、南斯拉夫出口。

安哥拉是中国的石油进口国,占进口量的14%,仅次于沙特阿拉伯。

安哥拉大部分油田位于海上,美国、法国、英国都参与开发了该国的海上油田,美国还计划在安哥拉铺设一条1000km长的输油管道。

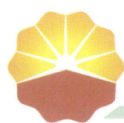
中国将为安哥拉提供30亿美元贷款,帮助修建基础设施;并帮其修建1300km长的铁路,使西海岸城市与东部资源区连接起来。

安哥拉目前的石油产量为 $6125 \times 10^4 \text{t}$,天然气产量为 $7.22 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

(4) 埃及。埃及位于非洲东北部,面积 $100.2 \times 10^4 \text{km}^2$ 。该国20世纪90年代在尼罗河三角洲的两个区块发现了21个气田,并向土耳其出口LNG。海域6个区块发现了大气田,沙漠地区天然气储量为 $11.6 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。目前,埃及是世界上天然气资源最丰富的国家之一,并将成为天然气出口大国。中国长城钻井公司已进入埃及市场。

目前,埃及石油储量为 $5.068493 \times 10^8 \text{t}$,天然气储量为 $1.656545 \times 10^{12} \text{m}^3$;石油产量为 $3480 \times 10^4 \text{t}$,天然气产量为 $140.82 \times 10^8 \text{m}^3$ 。

(5) 利比亚。利比亚位于非洲北部,面积 $12.594 \times 10^4 \text{km}^2$,油气资源丰富。20世纪,该国发现了292个油田,储量为 $178 \times 10^8 \text{t}$,天然气储量为 $1.31312 \times 10^{12} \text{m}^3$ 。石油产量为 $7038 \times 10^4 \text{t}$,天然气产量为 $61 \times 10^8 \text{m}^3$ 。



21 世纪, 该国陆上和海上 14 个油气区块, 总面积 9.9437km^2 将向国外招标; 中国已经进入该国的录井市场和管道市场。目前, 该国石油储量 $5304 \times 10^8\text{t}$, 产量 $7750 \times 10^4\text{t}$, 天然气储量 $1.47 \times 10^{12}\text{m}^3$, 产量为 $71.03 \times 10^8\text{m}^3$ 。

(6) 苏丹。苏丹位于非洲东北部, 面积 $250.58 \times 10^4\text{km}^2$, 是非洲面积最大的国家; 境内有 3 个盆地, $138 \times 10^4\text{km}^2$ 。中国多家石油公司已经进入该国石油市场, 并在麦卢特盆地发现了一个世界级大油田。

目前, 苏丹石油产量为 $1450 \times 10^4\text{t}$, 天然气产量很低。

(7) 刚果(布)。刚果(布)位于非洲中西部, 面积 $34.2 \times 10^4\text{km}^2$, 共发现 19 个油田, 陆上 3 个, 海上 16 个, 14 投产。石油储量为 $2.062877 \times 10^8\text{t}$, 产量为 $1200 \times 10^4\text{t}$; 天然气储量 $368.12 \times 10^8\text{m}^3$, 产量 2000

$\times 10^4\text{m}^3$ 。

(8) 加蓬。加蓬位于非洲中西部, 面积 $26.7667 \times 10^4\text{km}^2$, 1992 年开发的油田有 43 个, 其中陆上 18 个, 海上 25 个。

目前, 加蓬石油储量 $3.423488 \times 10^8\text{t}$, 天然气储量为 $339.8 \times 10^8\text{m}^3$; 石油产量为 $1170 \times 10^4\text{t}$, 天然气产量为 $1.03 \times 10^8\text{m}^3$ 。

(9) 赤道几内亚。赤道几内亚位于非洲中西部, 面积 2805km^2 。目前, 石油储量为 $164.38 \times 10^8\text{t}$, 居非洲第 15 位, 天然气储量为 $369 \times 10^8\text{m}^3$, 居非洲第 13 位; 石油产量为 $1600 \times 10^4\text{t}$ 。

3.2 非洲石油产量低于 $1000 \times 10^4\text{t}$ 生产国简况

非洲石油产量低于 $1000 \times 10^4\text{t}$ 的生产国情况如表 3 所示。

表 3 非洲石油产量低于 $1000 \times 10^4\text{t}$ 生产国简况

国 家	面积(10^4km^2)	石油储量(10^4t)	天然气储量(10^8m^3)	石油产量(10^4t)	天然气产量(10^8m^3)
喀麦隆	47.5442	5478.45	1104.36	900.00	
突尼斯	16.4150	4213.12	778.72	360.00	24.65
科特迪瓦	32.250	1369.80	283.17	150.00	
刚果(金)	234.00	2561.64	9.91	130.00	
南 非	121.10		0.28	120.04	
加 纳	23.80	226.03	237.86	30.00	
摩洛哥	45.90	14.65	16.90	1.50	
乍 得	128.40	20547.95		900.00	
毛里塔尼亚	103.00		2006年出口的第一船 $97 \times 10^4\text{bbl}$ 石油由中国石化购买的		

4 认 识

中国目前与非洲的关系表明, 非洲未来在中国的能源战略格局中将占有举足轻重的地位。中国能源安全的保证, 除了别的因素之外, 进口能源的多元化和多源化是一个重要举措, 非洲是不可忽视的能源基地。

非洲油气地质及油气资源研究表明, 非洲大陆及其海上广大区域, 油气的勘探与开发程度都比较低。他们在资金、人才、技术、环境上都存在着不同程度的困难, 需要与外部合作。而中国一方面需要油气资源, 另一方面也有资金、人才和技术上的优势, 这就使得中国与非洲的合作既有必要也有可能。同时非洲在寻求合

作的过程中也可以发展自己。

中国与非洲在政治、经济上的合作有着良好的历史, 这也为进一步的能源合作奠定了雄厚的基础。所以中国与非洲的能源合作是一件双赢的事情。

参考文献

- [1] Bosworth W. Overview of African sedimentary basins, 1993
- [2] Keith D. Patton. Petroleum exploration opportunities in African and Countries beyond. 1995
- [3] Alain Perrodon. Overview of African petroleum systems. Oil & Gas Journal, 1993

火山岩储层构造裂缝的主要表征参数研究及其应用*

——主要以辽河油田为例

邓攀¹ 于兴河¹ 邓宏文¹ 杨泳²

(1 中国矿业大学, 北京 100083; 2 中国石油勘探开发研究院廊坊分院, 河北省廊坊市 065007)

摘 要:我国拥有相当数量的裂缝性储层的油气地质储量, 储层中构造裂缝占主导地位, 对油气盆地致密储层构造裂缝空间分布规律的合理预测与有利区评价, 无疑对我国油气勘探及开发起到科学的指导作用。辽河油区是我国火山岩油气藏勘探历史较早且勘探潜力较大的油田。但作为油气藏主体的储层则较为复杂, 为了提高本区火山岩油气藏的勘探成功率, 在对潜山火山岩储层构造裂缝的主要表征参数进行了细致全面的研究基础上, 可以进一步研究构造裂缝储层的分布规律、建立三维地质模型、评价裂缝性储层, 从而达到对裂缝性储层进行定量预测和评价。

关键词:辽河油田; 火山岩储层; 构造裂缝; 表征参数

近年来火山岩油气藏的发现已成为辽河油田增储上产的重要组成部分。但是, 对火山岩储层的评价一直是储层评价的难题。解决这个问题, 对油气勘探具有重要指导意义。到目前为止, 国内外还没有统一的方法可以对火山岩储层构造裂缝进行定量预测与评价。

1 构造裂缝的分类

储层构造裂缝的分类方法很多, 一般按构造应力

场作用的范围、力学性质, 裂缝开度等进行分类(表1)。

1.1 按控制裂缝形成的构造应力场的作用范围分类

根据控制构造裂缝形成的构造应力场的分布情况可分为区域构造裂缝和局部构造裂缝两类。区域构造裂缝是指其形成受区域构造应力场直接控制的裂缝。局部构造裂缝一般是指其形成与局部构造事件相伴生或受局部构造应力场控制的裂缝, 主要是与断层构造

表 1 构造裂缝分类及其特征

分类依据	类 型	特 征
应力场作用范围	区域构造裂缝	在地壳上大面积分布、方位变化较小、产状较陡、常与层面垂直或近垂直, 几何形态较简单且与局部构造无关。这种裂缝对油气的研究意义不大
	局部构造裂缝	又可分为与断层构造有关的裂缝, 与褶皱构造有关的裂缝及与其他构造(如刺穿构造等)有关的裂缝等
力学性质	张裂缝	缝面粗糙不平, 常有绕颗粒而不切割颗粒现象; 裂缝的产状不稳定, 平面上常呈锯齿状延伸, 且延伸不远; 裂缝两壁张开, 有时被矿物充填, 矿物生长线方向与两壁直交; 尾端常呈树枝状分叉或具杏仁状结环
	剪裂缝	缝面平直光滑, 常切割颗粒; 裂缝产状稳定, 平面上呈直线延伸, 且延伸较远; 缝面上有擦痕, 有时还有微小的错开现象, 若裂缝内有纤维状矿物生长, 则矿物生长线平行缝壁分布; 尾端有尾折、菱形分叉或菱形结环等现象
	张剪性裂缝	由两种应力复合而成, 具有张性缝和剪切缝特征; 在有纤维状矿物充填的裂缝中纤维方向与裂缝壁斜交, 有时甚至出现弯曲; 裂缝面上常具羽饰现象
裂缝开度	宏观裂缝	>0.1mm (>100 μm)
	微裂缝	0.01~0.1mm (10~100 μm)
	显微裂缝	0.0001~0.01mm (0.1~10 μm)
	超显微裂缝	≤0.0001mm (≤0.1 μm)

* 中国石油天然气集团公司“九五”科技攻关项目“前梨园洼陷南侧深层油气成藏条件研究”的部分研究成果。
第一作者简介: 邓攀(1964年生), 男, 博士, 长期从事石油天然气综合地质研究工作。



有关的裂缝,由于断层两盘岩块的相对剪切运动,在断层周围产生应力扰动现象而形成。它包括与断层平行或近平行的裂缝,与断层共轭的剪切缝以及与断层呈大角度相交的张性缝。局部构造裂缝是我们研究的重点,对油气的研究具有直接意义。

1.2 按力学性质分类

构造裂缝都是一定的岩石应力条件下产生的,根据直接形成裂缝的应力,可将构造裂缝分为三种:张应力作用下形成的张裂缝,在剪切应力作用下形成的剪裂缝以及在同一次构造变形过程中由张应力和剪切应力两种力学性质复合形成的张剪性裂缝(有人把此类裂缝归入具一定方向位移的剪裂缝或斜向张裂缝之列,B.E.Hobbs等,1976;Dennis,1975)。

1.3 按裂缝的开度进行分类

根据裂缝的规模大小,一般可将裂缝分为宏观裂缝和微观裂缝。宏观裂缝是指肉眼能清晰识别的裂缝,而微观裂缝是指必须依靠显微镜才可识别的裂缝。

在表征裂缝的三个主要参数中,即裂缝的开度、延伸度及间距,三者之间呈正相关关系,裂缝的开度大小基本上反映了裂缝的规模大小。而裂缝开度在储层中的主要作用是改善孔隙度和渗透率。通过对裂缝性储集层的大量研究,我们提出了适应于裂缝性储集层的分类方案(表1)。在分类方案中除根据其形态、开度分类外,还考虑到了油气在缝隙中运移的有效性。据有关研究资料表明,油气运移有效缝隙的开度应大于 $0.1\mu\text{m}$,因为在缝隙中,由于束缚水薄膜厚 $0.05\mu\text{m}$,在 $0.1\mu\text{m}$ 的缝隙中正好被束缚水充满,没有多余的空间为油气充填,所以当开度小于 $0.1\mu\text{m}$ 为超显微裂缝的上限值。超显微裂缝对于油气储集及运移没有意义。

2 构造裂缝储层的主要表征参数

构造裂缝储层的主要表征参数包括裂缝的组系、方位、倾角、裂缝的力学性质、充填状况,裂缝的密度或间距、平面上延伸长度、纵向上切穿深度及开度等参数,它们是研究构造裂缝储层分布规律、建立三维地质模型、评价裂缝性储层的基本地质参数。

2.1 构造裂缝的组系与方位

利用岩石磁学方法进行岩心定向判断裂缝方向。

2.1.1 古地磁定向的基本原理

岩石或沉积物中铁磁矿物具有记录和保存地磁方向的能力,地磁场长期作用的结果使地球具有轴向地心偶极子磁场性质。在实验室内,通过磁清洗(退磁方法),可获得岩心定向所需的原生剩磁、天然剩磁和次生剩磁等磁矢量。现代地磁场作用下叠加的粘滞剩磁(VRM)即属于次生剩磁,现代地磁场的水平分量与地理北极之间存在一个地区性磁偏角,在辽宁沈阳附近,该磁偏角为北偏西 $7^{\circ}44'$ (中国科学院地球物理所,1987)。因此,在获得粘滞剩磁VRM矢量后,即可将岩心进行定向。

2.1.2 古地磁定向方法

将钻孔岩心按上下顺序放好,并在其侧面平行母线方向任画一直线作标志线,以岩心截面中心指向标志线方向为x轴,垂直向下方向为z轴,建立一个绕垂直轴运动过的样品相对坐标系(图1)。先测量每块样品的天然剩磁(NRM),然后进行系统的交变场退磁和热退磁清洗,在交变退磁仪和热退磁仪上测量每块样品在相对坐标系下不同温度和不同磁场强度时的磁偏角和磁倾角,以及其磁化强度,再用差矢量分析法和主矢量分析法分别求得在样品坐标系中滞粘剩磁(VRM)和原生剩磁的磁偏角(D_0)与磁倾角(I_0)。在每口取心井段用多块样品测量结果可统计出粘滞剩磁和原生剩磁的平均磁偏角(D)和平均磁倾角(I)。则该区域现代地磁场的磁偏角(北偏西 $7^{\circ}44'$)与粘滞剩磁的平均磁偏角(D)之差($-7^{\circ}44' - D$)即为岩心上标志线相对于现代地理北极的方位角。这里取顺时针为正,逆

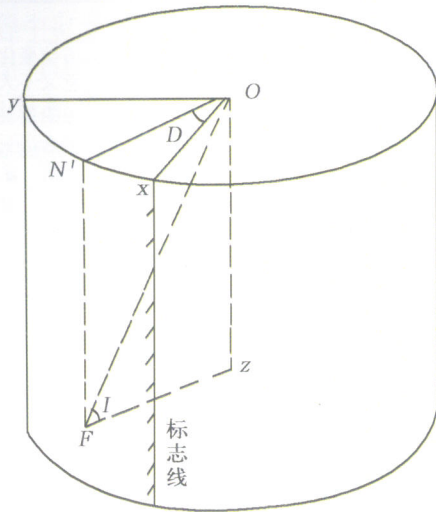


图1 粘滞剩磁岩心定向示意图