

# 康世恩的遗嘱

## ■ 谈谈

康世恩的一生，渗透着浓浓的对中国石油工业的热爱。1969年6月中旬，康世恩担任会战指挥部副指挥长，组织江汉石油会战。来到江汉平原，他对同志们说：“在江汉找不到油，我死也不闭眼，如果闭了眼，你们就用火柴棍给我撑起来。临死前，我也要大喊三声：油！油！油！”

一句决心的表白，却预言了他生命最后时刻的场景。但这个油字，康世恩并不是喊出来的，而是艰难地写出来的——身患重症的康世恩已无力高喊他热爱的这个字了。

1994年5月下旬，康世恩从四川调研归来时，突感身体不适，被诊断出了肺癌。由于年事已高，医院会诊后认为不宜手术和化疗，只能采取药物治疗，并配合放射疗法。

面对“死亡之症”，他镇静自如。他并不是第一次罹患癌症，他乐观地对身边的同志说：“有病就治，没有什么了不起！我80年代得了膀胱癌，战胜了它又活了10年；如果这次我能战胜肺癌，我还可以再活10年”。

患病期间，他最大的乐趣是谈工作、谈地质。他惦记着渤海湾的油气开发，多次询问油田的情况，对前来看望他的同事说：“对渤海湾的勘探开发，我思考了许久，又产生了新的想法。什么时候，找专家一起来，咱们再好好谈一次。”

这位已经被癌症折磨得骨瘦如柴、站都站不起来的老人，谈起渤海石油开发，双眼仍然是炯炯有神。但是，康世恩的病情不断恶化，呼吸极为困难，“再谈一次渤海”成了永远的遗憾。

1995年4月21日，过完80岁生日的第二天上午，康世恩已在弥留之际。身边人员看到他的手在微微抖动，知道他想写字，赶快拿来纸和笔。康世恩这时口、鼻和身上插着许多管子，身体已无法动弹，两眼只能望着天花板。他凭直觉握着铅笔，在一块纸板上艰难地歪歪斜斜地写下了他的遗嘱，这一生最后的一个字——“油”！身边的医护人员、工作人员和家属见此情景，一同失声痛哭。

4月21日下午2时55分，康世恩的心脏停止了跳动，但他对中国石油工业的热爱，却在中国能源大动脉中不息地奔流。

# 目录 | CONTENTS

## 卷首语 | PREFACE

康世恩的遗嘱 / 谈谈 1

## 关注 | INTEREST

海外油气明珠 / 王一端等 4  
——中国石油工业科技创新成果回眸之五



## 院士课堂笔记 | CLASS NOTES

邓运华与世界油气形成的三个体系 / 兰蕾 12

## 勘探开发 | PROSPECT DEVELOP

关于煤层气开发的问答 / 王濮 14  
魅力无穷的地球科学三维打印技术 / 王大锐 17  
断裂活动——油气成藏的“双刃剑” / 张金虎等 19

## 炼化世界 | REFINING WORLD

甲醇烯烃煤炭代油的新途径 / 崔玉波 20

## 油气储运 | STORAGE AND TRANSPORT

相国寺储气库 / 陈启兵 22

## 石化与生活 | PETROCHEMICAL AND LIFE

3分钟了解工业齿轮油 / 王昱 24  
车用润滑油应该这样换 / 翟宇佳 25

## 石油史 | HISTORY OF THE INDUSTRY

毛泽东主席因何倡导“工业学大庆”？ / 宫柯 26  
王进喜的视频资料是怎样保存下来的？ / 许俊德 29  
我国第一个丙烯酸类生产基地——东方化工厂 / 刘金海 31



## 揭秘 | REVEAL THE SECRET

二战中鲜为人知的德国防军“石油技术旅” / 郭永峰 34

## 专栏 | SPECIAL TOPIC

石油的奥秘 / 马新福 37  
——石油的自述·我的传奇之一

## 绿色话题 | GREEN TOPICS

LNG在绿色交通领域大显身手？ / 朱闻达等 40

## N个为什么 | HUNDRED THOUSAND WHYS

油品检测方法有哪些？ / 张电来 42  
如何判断润滑油是否变质？ / 王敏 42  
59式坦克加满一箱油大约需要多少钱？ / 佚名 43



什么是多级油的低温动力黏度？ / 伊然 51

# 石油知识

PETROLEUM KNOWLEDGE

主 管 中国科学技术协会  
主 办 中国石油学会 石油工业出版社有限公司  
编辑出版 石油知识杂志社  
顾 问 邓运华 刘 合 李 宁 李 阳 李根生  
苏义脑 郭才能 周守为 赵文智 郝 芳  
袁士义 高德利 黄维和 曹耀峰 谢在库

## 编辑指导委员会

主 任 刘志华  
常务副主任 于明祥 张卫国  
副 主 任 马新华 王玉华 王同良 王康友 古学进  
匡立春 吴长江 何治亮 何盛宝 张君峰  
张德有 张 镇 孟卫工 赵贤正 聂 红

## 委 员 (以姓氏笔画为序)

王一端 王大锐 王飞宇 云 露 申 炼  
田松柏 付金华 吕建中 朱光有 齐树斌  
关中原 李相方 金 强 周新桂 孟 伟  
赵志魁 侯读杰 宫 柯 姚 军 徐凤银  
唐廷川 章卫兵 廖广志 熊 英 撒利明  
魏登峰

社 长 熊 英  
主 编 张卫国  
执行主编 崔玉波 (010-64523711)  
责任编辑 何丽萍  
编 辑 王 瑞 王宝刚 王 伟 王长会 沈瞳瞳  
广告发行 董 檬 (010-64523812)  
编 务 陈 颖  
社 址 北京西城区六铺炕街6号  
编辑部地址 北京朝阳区安贞街道安华西里三区18号楼  
邮 编 100011  
电子邮箱 cnpcsyzs@163.com  
网 址 www.shiyouzhishi.com  
设计制作 北京文滴文化发展有限公司  
印 刷 北京中石油彩色印刷有限责任公司

中国标准连续出版物号 ISSN 1003-4609  
CN 11-4725/TE

国内发行 本刊发行部  
国外发行 中国国际图书贸易总公司 (北京399信箱)  
国外代号 BM-4027  
广告经营许可证 京西工商广字第0469号  
定 价 15.00元

什么是保税船供油? / 伊然 53

## 油品与市场 | OIL AND MARKET

世界氦气供需现状及发展趋势 / 秦胜飞 李济远 44

## 信息化应用 | INFORMATION TECHNOLOGY APPLICATION

基于AI人工智能化网络系统运维 / 纪宁 等 46

## 技术装备 | TECHNICAL EQUIPMENT

非常规油藏水平井产能预测方法与应用 / 于广明 等 48

大规模压裂水力锚设计 / 孙书晶 50

松南页岩油大规模加砂压裂技术 / 贾鹏飞 52

石油钻机天车防撞装置改进设计 / 殷宏 53

## 论文之窗 | DISSERTATION

饶阳凹陷肃宁油田沙河街组储层特征及控制因素 / 李邵楠 等 56

岔路河断陷万昌构造带成藏主控因素 / 马云凤 58

王府断陷小城子洼槽火石岭组致密储层特征 / 韩青林 60

## 油海书香 | BOOK RECOMMENDATION

通俗易懂的《石油的一家》 / 白智勇 62

500万吨级苏丹喀土穆炼油厂

平凡的荣耀 摄影 安然

广告 菏泽市新世纪电子技术有限公司  
昆仑数智科技有限责任公司

封面

封二

封三

封底

著作权使用声明: 本刊已许可中国知网、万方数据和  
中国石油外网以数字化方式复制、汇编、发行、信息网  
络传播本刊全文。本刊支付的稿酬已包含中国知网等上  
述著作权使用费, 所有署名作者向本刊提交文章发表之  
行为视为同意上述声明。如有异议, 请在投稿时说明,  
本刊将按作者说明处理。



# 海外油气明珠

## ——中国石油工业科技创新成果回眸之五

伴随着中华民族伟大复兴进程的加快，中国日益走进世界舞台中央，中国石油工业也开始了迈向海外、逐梦全球的旅程。

在20世纪70年代以前，中国石油工业的发展靠的是千方百计把外国的设备、技术、人才“引进来”，很少有人想过有一天会带着国产的技术和装备走出国门。

斗转星移，天地翻覆。改革开放以后的中国石油工业实现了“强起来”和“走出去”。1993年，中国石油率先实施“走出去”的国际化经营战略，带头试水国际石油勘探开发市场，取得了巨大的成功。在全球构建了亚太、欧洲和美洲三大国际油气运营中心，打造了横跨中国西北、东北、西南和东部海上四大国际油气战略通道，建成了中亚—俄罗斯、中东、非洲、美洲和亚太五大海外油气合作区。

截至2020年底，中国石油石化企业先后在全球多个国家和地区运作着上百个油气合作项目，其中仅中国石油海外油气业务就在全球35个国家管理运行着90多个合作项目，包括“一带一路”沿线20个国家和地区的52个油气投资项目。

策划：章卫兵

撰稿：王一端 闫建文 李 中 王长会 崔玉波





# 海外油气合作南美启航

从安第斯山脉的崇山峻岭，到亚马逊河流的纵横交错，从委内瑞拉马拉开波湖的波光粼粼，到巴西近海的一望无际，南美地区是中国海外油气合作起航的地方。

“走出去”伊始，中国海外石油公司充分发挥国内多年积累的精细勘探和复杂老油田开发技术优势，以油田开发和提高老油田采收率项目为主，进行低风险的小项目投资。这是开拓国际市场的“试验田”和“敲门砖”。

1993年3月，中标秘鲁北部塔拉拉油田七区块，是中国海外油气合作的第一标。

塔拉拉，西班牙语意为“布满荆棘的地方”，地上沙漠化的低地与丘陵相间，地下断层构造破碎复杂，其中塔拉拉六区块140.2平方千米范围内，地下断层就有400多条，被地质界称为“地质家的坟墓”。

塔拉拉七区块于1874年投入开发，六区块于1903年投入开发，两个区块都有上百年的开发史，可采储量采出程度高达97%，七区块平均单井日产油量仅0.4吨。

中国石油海外项目团队采用复杂断块油田滚动勘探开发综合评价、开发后期挖潜和低渗透油层改造等多项适用技术，生产技术上“一井一策一工艺、一层一策一方法”，取得很好的开发效果。

塔拉拉六区块4226井获得日产



2018年5月15日，巴西里贝拉项目首船深海份额油抵达大连港

443吨的特高产量，成为秘鲁历史上措施产量最高的一口井。塔拉拉七区块13209井在3109米处，打出了塔拉拉地区最深的优质储层，颠覆了西方专家关于“2652米以下为水层”的误判。

塔拉拉六区块和七区块的石油产量从最初进入时的232吨/天，升至1997年的最高产量938吨/天，充分展示了中国海外石油公司开发管理复杂老油田的技术实力，被秘鲁媒体称为“20世纪

秘鲁石油界的最大新闻”。

中国海外石油公司利用技术上的优势，通过小型项目的历练，迅速在国际市场站稳了脚跟，赢得了信誉，为后续从事大中型项目及高风险项目的运作打下了良好基础。

在委内瑞拉，中国海外石油公司研发超重油油藏泡沫油水平井冷采开发配套技术，使MPE3项目采收率提升2.6个百分点。水平井段油层钻遇率达到95%。储层动用程度提高10%以上，高效建成千万吨级超重油大油田，成为中委油气合作的典范。

在巴西，中国海外石油公司遇到了巨大的困难。巴西专家说，巴西不缺少石油，缺少的是将复杂地层中的石油采出来的技术。

项目团队对地质情况进行了深入研究，探索发现超深水盐下湖相碳酸盐岩沉积规律、集成盐下碳酸盐岩储层综合预测等五项特色技术，突破禁区，在巴西里贝拉项目主断裂以东地区，新扩含油面积40平方千米，新增石油地质储量近5亿吨。项目累计探明石油地质储量超过16亿吨，有望建成4000万吨级的海上大油田。



秘鲁项目“千桶井”纪念碑



在沙特阿拉伯作业的震源车队

# 中西非裂谷盆地探宝

非洲板块中西非裂谷系是世界上最大的被动裂谷盆地群。1995年至2008年,中国海外石油公司全面进入中西非裂谷系开展油气勘探,陆续在苏丹、南苏丹、乍得和尼日尔等国家运作8个油气项目。

1995年以来,在全年高温、热带疾病肆虐的非洲热带草原和沙漠腹地,中国石油建立起了上下游一体化、技术先进、规模配套的现代石油工业体系,带动资源国石油工业配套服务能力大幅提升,大大促进了当地的经济发展和民生,绘就了一幅绚丽的画卷。

“尼罗,尼罗,长比天河!”这句谚语道出了苏丹人民对于尼罗河的深厚感情。尼罗河,这条世界第一长河,发源自群山环绕的陆地,蔓延过丛林和沼泽,最后深入沙漠。穆格莱德(Muglad)盆地是尼罗河流域上一颗璀璨的明珠,面积超过15万平方公里,是中西非裂谷系诸多盆地中最大的一个。

穆格莱德盆地在苏丹/南苏丹境内被划分成1、2、4、5A、5B、6、B、C等多个合同区块。1995年9月,中国海外石油公司获得苏丹6区项目;1996年11月,中标苏丹1/2/4区项目;1997年7月,开始全面参与1/2/4区的地质研究和勘探工作。作为一家开展国际化经营还不到5年时间的公司,要想赢得合作伙伴的尊重和信赖,必须亮出超越竞争对手的“金刚钻”。



中外科研人员研究处理地震资料



中国石油捐资助建的苏丹麦罗维友谊大桥

苏丹1/2/4区第一项任务是在尤尼提地区部署一批新井位。以全国劳动模范苏永地为代表的地球物理攻关团队先后提出9口探井,口口出油,钻探成功率100%,被誉为“非洲神探”!

项目团队创新建立了穆格莱德被动裂谷盆地油气成藏模式,搞清了穆格莱德盆地早期裂陷控源灶、后期叠置裂谷控区域盖层、转换带控砂、反向翘倾断块富油、油源和断层侧向封堵等地质特征。集成发展了与盆地相适应的精细二维构造制图、连片三维地震、变速构造成像和低阻油层识别等技术,二维区探井成功率达60%以上,三维区探井成功率达90%以上。

苏丹4区新区带风险勘探先后发现2个亿吨级油区和1个五千万吨级油区,新增石油地质储量2.5亿吨。1/2区滚动勘探与甩开勘探相结合,发现了20多个油田,新增石油地质储量6.5亿吨。

苏丹1/2/4区于1999年正式投入开发,当年建成产能750万吨,2001年产量规模达到1104万吨,成为海外第一个千万吨级大油田,2004年达到高峰产量1574万吨。2001年至2008年,连续8

年作业产量保持在1000万吨以上。“苏丹Muglad盆地1/2/4区高效勘探的技术与实践”获2003年度国家科学技术进步奖一等奖。



“苏丹Muglad盆地1/2/4区高效勘探的技术与实践”获国家科学技术进步奖一等奖

在素有“世界火炉”之称的苏丹首都喀土穆,中国海外石油公司采用中国规范、中国标准、中国技术和装备,通过三期工程成功建成年加工能力500万吨的现代化炼油厂,生产的成品油满足了苏丹国内绝大部分成品油市场的需求,成为苏丹展示能源工业一体化、完整产业链的标志性工程,也是中国在海外合资建设的第一座大型炼油厂。

2007年2月,胡锦涛同志视察了中



国石油建设的苏丹喀土穆炼油厂,并称赞苏丹石油项目为中苏合作的典范。

苏丹石油工业的快速发展,大大带动了本国经济的发展,使其从一个传统的农业国,大步走上现代工业发展的道路。当地百姓从以游牧为主到进入定居点稳定生活,从薄弱的基础配套设施到现代化的医院、学校相继建成,生活水平大幅提升。

苏丹时任总统巴希尔曾说:“为苏丹石油工业的开创做出最大贡献的是中国,干得最出色的是中国石油。”

在南苏丹,以童晓光院士为首的项目团队,创新建立迈卢特裂谷盆地油气跨世代聚集的成藏模式,发现了一个5亿吨储量的世界级大油田。项目累计

探明石油地质储量8.7亿吨,建成1500万吨生产能力,2010年达到高峰产量1530万吨。南苏丹项目的成功,充分展示了中国海外石油公司的技术实力,也为日后大规模开展海外自主勘探奠定了坚实的基础。

在乍得,这个被称为“非洲死亡之心”的国家,项目团队锁定邦戈尔盆地,创新建立强反转裂谷成藏模式,探明石油地质储量5亿吨,建成600万吨产能油田、520千米输油管道和加工能力100万吨的炼油厂。2011年6月29日,乍得恩贾梅纳炼油厂建成投产,乍得时任总统代比亲临现场视察并题词:我们赢得了能源独立战役的胜利,而这些得益于与中国的合作。



乍得恩贾梅纳炼油厂

在尼日尔,中国海外石油公司把“只有荒凉的沙漠,没有荒凉的人生”的豪情壮志带到撒哈拉大沙漠腹地,针对特米特盆地创新建立海陆叠合裂谷成藏模式,探明石油地质储量5.15亿吨。建成年产百万吨的原油生产基地、462千米输油管道和加工能力100万吨的炼油厂。

## 共绘中亚能源合作蓝图

20世纪90年代,哈萨克斯坦等中亚国家实施对外开放政策,为了充分利用丰富的油气资源振兴经济,迫切需要将石油“黑金”变现,并谋求油气出口的多元化。

1997年,中国石油海外公司首先进入哈萨克斯坦,随后进入乌兹别克斯坦、阿塞拜疆、土库曼斯坦、塔吉克斯坦和阿富汗等国家,成功运营阿克纠宾、PK两个千万吨级油田项目和阿姆河千万吨当量气田项目,油气产量当量实现了由350万吨到2000万吨再到4000万吨的飞跃。

1998年,塔里木盆地的克拉2气田横空出世,“西气东输”世纪工程由此启动。但“西气东输”气源地能否持续充足供气尚有疑问,后备资源不足的风险依然存在。在此背景下,利用国外气源补充国内持续上升的天然气需求,上升到了国家战略,中国海外石油公司外引天然气的序幕就此拉开。



阿克纠宾项目钻井现场

哈萨克斯坦,这个郁金香的原产地、被称为天马故乡的国家,是陆上丝绸之路从中国向西延伸的第一站。滨里海盆地和南图尔盖盆地是哈萨克斯坦主要的含油气盆地和油气生产基地。

1997年5月,在滨里海盆地东缘阿克纠宾项目的招投标中,中国海外石油公司在与西方石油公司的激烈竞争

中获得成功,中标阿克纠宾项目。这是中国在中亚地区获得的第一个油气合作项目。1997年以来,阿克纠宾项目油气产量当量由1997年的319万吨上升至2010年的1000万吨以上,并实现1000万吨以上稳产10年。

2005年10月26日,中国石油成功收购哈萨克斯坦PK石油公司,是当时

中国企业走出国门最大的单笔投资项目和第一个大型上市公司整体并购交易，也是当年全球能源业第二大企业并购案。2005年10月31日，《人民日报》以《中石油式收购》为题，报道了这次海外投资活动。

项目团队创新南图尔盖裂谷盆地精细勘探技术和方法，在PK项目累计探明石油地质储量超过2亿吨，通过勘探新发现新建产能160万吨，自2006年开始，连续6年保持1000万吨产量规模，至2020年累计生产原油11265万吨、天然气171亿立方米。所属油田均位于哈萨克斯坦东部南图尔盖盆地，是距中哈原油管道最近的油区，可为中哈原油管道提供稳定可靠的油源。

2006年6月，中国海外石油公司与乌兹别克国家石油公司签署油气勘探合作协议。2007年7月，中国海外石油公司与土库曼斯坦签署了“中土天然气购销协议”和“土库曼斯坦阿姆河右岸天然气产品分成合同”，获得阿姆河右岸天然气合作项目。

阿姆河盆地与塔里木盆地同处于煤成气聚集区域，是中亚地区天然气资源最丰富的盆地，也是中亚天然气管道的主力气源区。阿姆河右岸项目位于

阿姆河盆地东北部，西南以阿姆河为界，东北以土库曼斯坦和乌兹别克斯坦两国国界为界，面积1.43万平方千米。

阿姆河右岸的油气勘探，经过半个世纪的探索，完钻探井、评价井192口，发现萨曼杰佩气田和几个零星含气构造，成功率小于30%。20世纪90年代末，埃克森美孚、壳牌等西方石油公司评价认为，阿姆河右岸斜坡点礁难以形成大型气田、投资风险高、开发难度大，最终放弃了进入该地区钻探。

阿姆河右岸萨曼杰佩气田地质储量850亿立方米，1986年至1993年投入开发，最高年产气33亿立方米，其他气田还处于预探阶段，远远不能满足项目建设170亿立方米产能、持续稳定向国内供应天然气的资源需求。如何通过勘探快速探明规模天然气储量就成了最为迫切的问题。当时的难题和挑战主要体现在“认不准、看不清、钻不下、采不出”。

“认不准”即台缘斜坡面积占合同区的4/5，按传统认识只发育“零星点礁”，不发育台缘礁滩规模储层。

“看不清”即碳酸盐岩储层上覆的巨厚盐膏岩对地震信号屏蔽严重，盐膏岩强烈变形导致下伏目的层“照明”不均、振幅畸变，造成地震成像难，储

层识别不清。

“钻不下”即浅层高压次生气藏钻井易井喷着火，盐岩易蠕变、盐溶、结晶，卡钻事故频发，前人钻遇高压盐水层报废率达73%，钻遇高压缝洞气藏多发生恶性漏喷事故，曾烧毁5台钻机，被划定为“钻井禁区”。

“采不出”即台缘斜坡储层基质物性差，基质渗透率小于1毫达西的储层比例达80%，高角度裂缝横向连通性差，导致直井产量低、储量动用及采出程度低，难以经济开采。

项目团队提出台缘斜坡可广泛发育缓坡礁滩复合体的新认识，突破前人台缘斜坡只发育“零星点礁”的传统认识，发现缓坡礁滩群、叠合台内滩和逆冲断块缝洞体三类新型规模储层，揭示中西部继承性隆起上缓坡礁滩群与叠合台内滩多期充注成藏、东部新生逆冲构造晚期充注成藏过程，建立了三类成藏模式，解决了“认不准”的难题。

研发双程波双向照明补偿逆时偏移成像技术，校正照明不足造成的成像振幅畸变，实现目的层高精度偏移成像，集成盐下缓坡礁滩体综合识别技术、薄储层预测和台内滩烃类检测技术、裂缝预测与综合评价技术，礁滩预测符合率和探井成功率大幅提升，解决了盐下碳酸盐岩储层“看不清”的难题。

结合含高压盐水盐膏层内0~80°的井眼定向轨迹控制、井身结构与泥浆和井控配套等单项技术，集成创新复杂高压地层安全钻井技术，实现了盐膏层下伏气藏与浅层高压次生气层安全钻进，解决了“钻不下”的难题。

集成创新复杂储层高效改造技术，自转向酸液体系实现大井段均匀改造，有效沟通了裂缝体系，平均增产2.5倍，解决了“采不出”的难题。

研发裂缝-孔隙型气藏整体大斜度井网优化技术，实现萨曼杰佩气田



哈萨克斯坦PK项目油气处理现场



单井产能及气田规模“双翻番”。针对产层高温、高压、高酸性“三高”特征，研发边底水碳酸盐岩“三高”气藏高效开发技术，实现气田规模上产。

阿姆河项目累计新发现气田45个，探明和控制天然气地质储量7811亿立方米，建成一期80亿立方米、二期90亿立方米，共计170亿立方米产能。

阿姆河项目2019年天然气产量达到141.4亿立方米，至2019年底累计生产天然气1004亿立方米，累计向国内供气929亿立方米，惠及华北、西北、长三角及珠三角8亿人口。



阿姆河第一天然气处理厂

## 北极圈上的能源明珠

“LNG”是英语“liquefied natural gas”的缩写，即液化天然气，其主要成分是甲烷，无色、无味、无毒、无腐蚀性，热值大、性能高，是一种清洁高效的能源。常压下气态天然气冷却至零下162摄氏度凝结成液体，使用时升高温度再变成气体，这样可大大节约储运空间。因此，业内有句话说得好：“气变液，流通全世界；液变气，全球送福利”。

亚马尔LNG项目位于俄罗斯北极圈西西伯利亚北部亚马尔半岛，是目前在北极地区建成的第一个世界级特大型天然气勘探、开发、处理、液化、运输和销售的上下游一体化项目，被誉为“北极圈上的能源明珠”。

每年冬天，冷空气从西西伯利亚长途奔袭到达欧亚大陆东部，给人的感觉极度寒冷，但地下蕴藏的油气资源却给人类带来了温暖。

西西伯利亚盆地是俄罗斯油气储量最大、产量最高的含油气盆地，常规油气资源总量超过1000亿吨油当量，位居世界第二位。亚马尔LNG项目所属南塔姆贝气田天然气可采储量1.3万亿

立方米、凝析油可采储量6018万吨。

亚马尔LNG项目投资超过美国“阿波罗载人登月计划”，所用钢铁可以建造4.5个鸟巢体育场，是世界LNG工厂的巅峰之作。亚马尔LNG项目也成为“一带一路”倡议提出后海外企业实施的首个特大型项目。

2013年9月5日，中国石油与诺瓦泰克公司在习近平主席和普京总统见证下，签署了亚马尔项目购股协议。2014年5月，中国海油成功中标亚马尔LNG项目EPC合同。

亚马尔半岛全年约有9个月时间是冬季，地表平均气温接近零下40摄氏度、最低零下52摄氏度，地下冻土层普遍分布且厚度不一，地质条件非常复杂，这种特殊的气候和地质条件给项目的实施带来了非常大的挑战。

中国石油项目团队创新形成海陆过渡沉积环境复杂气田群协同开发理论与技术，为建成年产280亿立方米天然气产能规模提供了有力支撑，并为未来稳产20年奠定了坚实的基础。

基于GeoEast研发三维地震资料

高精度处理技术，解决了冻土层厚度变化大，导致中深层地震资料成像品质差的问题，目的层系纵向分辨率整体提升15赫兹以上。

研发北极地区海陆过渡相砂体表征技术，建立了三维地质模型抽稀井砂体厚度，符合率达80%以上。形成了多层状复杂气田丛式水平井部署技术，建立了4种水平井部署模式，提出6种气藏布井方法，单井产能符合率100%。

针对研究区多层状砂岩气藏边底水发育情况，建立了不同水体大小、不同气藏规模的采气速度、采收率和稳产年限图版，形成了“一井一策、一藏一策”的复杂气藏群协同开发技术。

项目团队突破极寒焊接、泡沫玻璃切割和涂层超低温施工等关键工艺，成功掌握LNG核心工艺模块建造技术，首次对外输出LNG核心工艺模块，标志着“中国制造”打入国际高端油气装备市场。

突破极寒，全自动药芯焊、全自动氩弧焊及碳钢管线免焊后热处理焊接



亚马尔LNG项目生产线

等多项焊接工艺，最终解决了焊缝低温冲击韧性难题，成功开发出国内首套极寒焊接工艺。

由于寒冷，所有核心装备和管线都要穿上厚厚的“保温服”——泡沫玻璃。项目团队研制出泡沫玻璃半自动切割设备和一整套泡沫玻璃排版技术，将手动切割效率提升了3倍、材料切割损耗降低了22%，打破了国外公司对泡沫玻璃切割技术长期垄断的局面。

在北极地区这块待开发的处女

地，亚马尔LNG项目彰显了中国高端制造的能力。全厂42个模块中，中国制造供应了120个，占全部模块的85%。除了模块生产、装备制造充满中国元素，另一个遍布中国身影的是航道运输，亚马尔LNG项目中，7艘运输船的建造、15艘LNG运输船中14艘船的运营等都交给了中国企业，工程建设合同额达78亿美元，船运合同额达85亿美元。项目团队还参与了北极钻机制造、海运物流和设备材料研发等，实现了全价值链参

与，带动中国制造、中国服务共同“走出去”。

亚马尔LNG项目共计有四条生产线，2017年底第一条生产线投产，2018年8月第二条生产线投产，2018年11月第三条生产线投产，四条生产线全部投产后每年将生产LNG1740万吨、凝析油100万吨。

亚马尔LNG项目集油气开采、天然气处理、LNG制造和销售、海运为一体，地处俄罗斯亚马尔半岛北极圈内。这个全球纬度最高、规模最大的LNG项目建设，打破了“土地的尽头”的寂寥。项目建设前，这里只是拥有最原始地表环境的荒芜之地；如今，这里现代化的工厂设施林立，一盏盏电灯将亚马尔的夜晚照得如同白昼一般。

亚马尔LNG项目的成功运营，为中国参与北极航道运行和北极资源开发拓展了道路，被合作方誉为中国和俄罗斯能源合作的典范；因其对国内相关制造业巨大的示范拉动效应，成为“一带一路”，特别是“冰上丝绸之路”的重要支点。

## 逐鹿中东高端油气市场

炽热的阳光、广阔的沙漠、蔚蓝的大海、鳞次栉比的高楼大厦、浓郁的阿拉伯风情、繁荣的贸易、丰富的石油资源……这里就是中东。中东地区是陆上丝绸之路与海上丝绸之路贯穿东西的交汇点，在地缘政治和能源输出方面均有着极其重要的战略地位。

中东石油可采储量占全球的42.7%，石油产量占34.5%，在世界能源格局中具有不可替代的地位，一直是世界强国必争的高端油气市场。巨大的



伊拉克艾哈代布油田



资源优势、较低的开采成本和特殊的地缘政治环境使其成为世界石油巨头必争的高端油气市场,吸引了埃克森美孚、壳牌、道达尔和BP等国际大石油公司群雄逐鹿。在这场角逐中,中国海外石油公司在伊拉克运营的项目成为典范。2008年以来,先后获取了伊拉克艾哈代布油田、鲁迈拉油田和哈法亚油田等规模项目。

中东碳酸盐岩油藏具有储层巨厚(400~500米)、隔夹层隐蔽(与储层电性相近)、渗透率极差、孔喉结构复杂的特点。衰竭开采压降快,需注水补充能量。而国际油公司通常采用笼统注采,剖面动用差,含水上升快,高盐高硫流体加速设备腐蚀。同时,受合同条件及地缘政治等制约,提速、提产和增效挑战巨大。通过十多年持续攻关,创新了巨厚复杂碳酸盐岩油藏高效开发关键技术,解决了国际能源巨头久攻不克的世界难题,实现了作业产量亿吨级的跨越,取得了4项主要创新成果。

一是创新了巨厚复杂碳酸盐岩储层孔喉结构“多模态”地质理论认识,厘定了小孔细喉单模态的“隐蔽隔夹层”、大孔粗喉多模态的“贼层”等关键要素。首次发现了从陆表海缓坡到镶边台地再到储层的单模态-复模态-多模态孔喉结构,以及多种孔喉相互嵌套的微观特征,创建了隐蔽隔夹层及贼层空间刻画技术,提出了储层甜点的4种叠置模式,优质储层钻遇率由48%提高到86%。

二是全球首次提出了在巨厚复杂碳酸盐岩油藏内利用“隐蔽”隔夹层分层系开发,并研发了配套的高效注水技术。创新了多模态储层差异流场水驱油理论,利用沉积成岩共同控制的相互交叉叠置的隐蔽隔夹层将主力层划分为4套层系,发展了均衡驱替、边缘递



伊拉克哈法亚油田

进及重力托浮等三种高效开发模式,提出了有效规避和合理利用贼层的改善剖面动用技术,纵向动用程度由35%提高到80%以上,合同期末采出程度由21.0%提高到28.5%,预计增油5亿吨。

三是攻克了提速、提产和提效的快速建产关键技术。漏卡诊断及并筒安全构建技术使非作业时间降低60%,非均匀差异酸化改造及并筒生产控制一体化工艺技术使低效井日产量由50吨增至120~200吨,静电聚结代替电脱的油水分离技术实现模块化和快装化,动态防腐技术突破了含水率30%关井的界限。

四是创新建立考虑时间维度和风险因子的多目标优化快速建产方法。建立了基于甜点预测的多井型立体并网优化技术,构建了平面分区、纵向分层、储层分类、建产分期的多阶段建产方法,创新了规避风险的速度、规模、效益相互匹配的定量优化技术,使哈法亚项目仅用一半的井数提前15个月建产500万吨,并快速上产到1000万吨,内部收益从9%提高到

15%。

国际石油巨头久攻不克的世界级难题被攻克,实现了中东地区作业产量亿吨级规模的跨越,创造了中东地区的“中国速度”,被资源国称赞为“速度最快、执行最好的项目”。

在群雄逐鹿的中东高端油气市场,中国海外石油公司依靠自身的技术积淀和创新发展,从“初到新手”快速转变为“行家里手”,赢得了资源国和合作伙伴的信任和尊重,为进一步做大中东油气合作市场奠定了信誉基础。

“中东巨厚复杂碳酸盐岩油藏亿吨级产能工程及高效开发”项目荣获2019年度国家科学技术进步奖一等奖。

随着“一带一路”倡议与沿线国家和地区发展战略的深度融合和对接,能源合作的深度和广度也得到进一步拓展,中国石油将持续为全球能源行业发展贡献中国技术、中国标准、中国方案和中国理念,积极为项目所在资源国和当地人民创造中国价值,推进人类命运共同体建设迈向新高度!

授课时间: 2021年8月8日  
 授课方式: 访谈  
 授课人: 中国工程院院士邓运华  
 记录人: 兰蕾



邓运华院士(右1)与作者兰蕾(左1)在交谈

## 邓运华与世界油气形成的三个体系

### 课前预习 邓运华院士和《试论世界油气形成的三个体系》

邓运华, 1963年2月出生。1985年毕业于江汉石油学院, 1988年获中国石油勘探开发研究院石油地质专业硕士学位。曾任渤海油田副总地质师、副总经理, 现任中国海洋石油集团有限公司副总地质师、中海油研究总院副院长。2009年被评为全国杰出专业技术人才, 2015年当选中国工程院院士。

2021年2月, 邓运华院士的新书

《试论世界油气形成的三个体系》正式出版。这是邓运华院士继《中国近海两个油气带地质理论与勘探实践》及《浅层油气藏的形成机理:以渤海油区为例》之后的第三本专著, 也是邓运华院士担任中海油研究总院副院长以来, 在十五年海外油气勘探研究实践过程中的思索。在这本书中, 他主要论述了世界油气形成的三个体系, 即河流-



湖泊体系、河流-海湾体系、河流-三角洲体系。为了让大家更好地了解这三个体系, 作者对邓运华院士进行了专访。

### 院士语录 沉积盆地内生物生长所需的营养物质主要来源于河流

世界上有98%的地方都曾经是沉积盆地, 但世界油气分布却极其不均。世界上已发现油气70%分布于大陆边缘盆地, 30%分布于大陆内部的湖相盆地。这种分布规律是由烃源岩形成条件决定的。

烃源岩发育受控于生产力和保存条件。生产力是烃源岩发育的基础。影响生产力的因素很多, 比如温度、营养、水体清洁度、含盐度等, 其中营养元素是关键。天然降水注入湖泊和海

洋时几乎不含营养物质, 湖泊和海洋中生物生长需要的营养物质只能来自河流。经典石油地质学认为, 海洋水生生物生长的营养物质是来自大洋上升流。通过深入、系统的研究, 邓运华院士认为, 大洋上升流确实为极少数盆地内生物的生长带来了营养物质, 但大洋上升流只能为其对应的开阔海岸盆地带来矿物质, 从而促使藻类大量生长, 而世界上的大多数海相含油盆地是靠近大陆的海湾盆地, 如波斯湾盆地、西西伯

利亚盆地、墨西哥湾盆地、马拉开波盆地、北海盆地、南大西洋盆地、锡尔特盆地等, 这些盆地在其烃源岩形成时都是近岸的海湾型盆地, 大洋上升流不能到达海湾。而海湾是河流的入海口, 邓运华院士认为河流才是营养物质更加重要的来源。

河流带来了丰富的矿物质, 促使藻类等水生生物生长并大量繁殖。邓运华院士说: “正如农作物的生长取决于肥料, 养鱼养虾取决于饲料, 以及



‘民以食为天’一样，从古至今，一切生物的生长都受控于营养。那么，沉积盆地内控制生物生长的营养物质来源于

何处？又受什么因素控制呢？通过对全球主要含油气盆地的系统研究，认为沉积盆地内生物生长所需的营养物质主

要来源于河流。地球上油气主要分布于三个体系，即河流-湖泊体系、河流-海湾体系、河流-三角洲体系。”

## 划重点啦

### 三大体系是陆相石油、海相石油和天然气分布的主要场所

河流-湖泊体系是陆相石油分布的主要场所。邓运华院士介绍说，湖相烃源岩形成的主要条件，是湖盆在演化过程中有一段或几段时间沉降速度大于沉积速度，可容空间增大，为欠补偿沉积，湖水变深，同时湖盆周边的河流带来了丰富的矿物质，使藻类大量繁殖，藻类死亡后在半深湖-深湖区保存下来，形成有机质丰度高的烃源岩。如果河水中营养物质不丰富，则藻类不能大量生长；如果湖盆一直处于过补偿或补偿沉积，湖水浅，有机质保存条件差，也不能形成优质烃源岩。多数湖泊水的含盐度比海水低，在其他条件相同时，含盐度高则利于有机质保存。因为在淡水湖盆中，需水体较深，湖底缺氧，有机质才能保存，而在咸水中，水体较浅，有机质就能保存。随着世界石油勘探的深入，在湖相盆地发现的石油越来越多。近10年在西非海岸深水区和巴西深水区发现了许多大油田，这些大油田的石油绝大部分来自于下白垩统的湖相烃源岩，巴

西深水区的石油几乎全部来自于下白垩统的湖相烃源岩。目前，世界上湖相含油盆地主要分布于中国的东部、中部，印度尼西亚的西部，非洲大陆及大西洋两岸。据统计，世界已发现石油储量中，湖相生成的石油约占30%。

河流-海湾体系是海相石油分布的主要场所。海洋犹如更大的湖泊，从营养物质的来源、生物的生长、烃源岩的形成来看，海洋与湖泊并无明显差别，只不过海洋比湖泊面积更大、水体更深。大洋深处有火山喷发，是矿物质的重要来源，有的湖泊内也有火山或岩浆作用（如鄂尔多斯盆地）带来矿物质，但是大洋中火山喷发带来的矿物质很容易被稀释。大洋上升流确实为少数盆地内生物的生长带来了营养物质，但大洋上升流只能为其对应的开阔海岸盆地带来矿物质，从而促使藻类大量生长，海湾相对闭塞，与大洋交换受阻，水中的矿物质可以保持较高浓度，使得水生生物能够长时间大量生长；另外，海

湾风浪小，也有利于有机质保存。波斯湾盆地、西西伯利亚盆地、墨西哥湾盆地、北海盆地等都是全球主力产油区，在这些富含油气的盆地，主力烃源岩的形成环境正是河流-海湾体系。

世界上分布最广、储量最多的天然气是由煤系烃源岩生成的煤型气，尼罗河三角洲、密西西比三角洲、南里海、库泰、北卡那封、萨哈林、孟加拉湾、塔里木、东海、琼东南等盆地（区域）中的天然气主要由煤系烃源岩生成。中国70%的天然气属于煤型气。大的煤型气区分布于河流-三角洲体系。因源远流长的河流带来了大量泥沙，在入海口沉积下来，形成了肥沃的土壤，加之温湿的气候利于高等植物生长，植物死亡后被薄层海水覆盖在还原环境下发生腐殖化、凝胶化、泥炭化，并形成了煤、碳质泥岩和暗色泥岩，即为煤系地层，经深埋后生成天然气。三角洲地层储层发育，储盖配置好，有利于天然气富集。因此，河流-三角洲体系是煤型气分布的主要场所。

## 课后思考

### 世界油气形成三个体系的现实意义与海外新区块的评价

近十年来，中国的石油公司相继走出国门开展海外油气勘探。海外油气勘探大致可分为两类，一类是成熟盆地的勘探，一类是新盆地的勘探。成熟盆地的生储盖条件已经被证实，并发现了油气田，通常情况下，这类盆地已经被勘探和研究了较长时间，油气的勘探程度较高，主

力油气田已被找到，勘探潜力不大，风险较低，再发现大油气田的概率很小，进入的门槛也很高。新盆地的勘探研究程度很低，生储盖条件仍未被证实，尤其是生烃条件未被钻井所揭示，这类新盆地的勘探风险大，但发现大油气田的潜力也大，进入的门槛低。不断进行新盆地勘

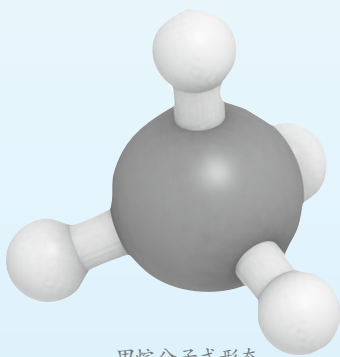
探，才能保持勘探活力，才能不断发现新的大油气田。而寻找新的含油气盆地必须首先寻找烃源岩。沉积盆地是否发育烃源岩，既是石油地质的理论问题，更是油公司面临的现实问题。世界油气形成的三个体系的提出，为海外战略选区、新区块评价提供了方法和思路。

# 关于煤层气开发的问答

■ 王濮

## 什么是煤层气?

煤层气是一种由煤层生成并主要以吸附状态富集于煤层中的非常规天然气,主要成分是甲烷(95%~98%),因此被称为煤层甲烷,在煤矿中又俗称“瓦斯”,主要吸附在煤基质颗粒表面、部分游离于煤孔隙中或溶解于煤层水中,是煤的伴生矿产资源,是近二十年在国际上崛起的洁净、优质能源和化工原料。



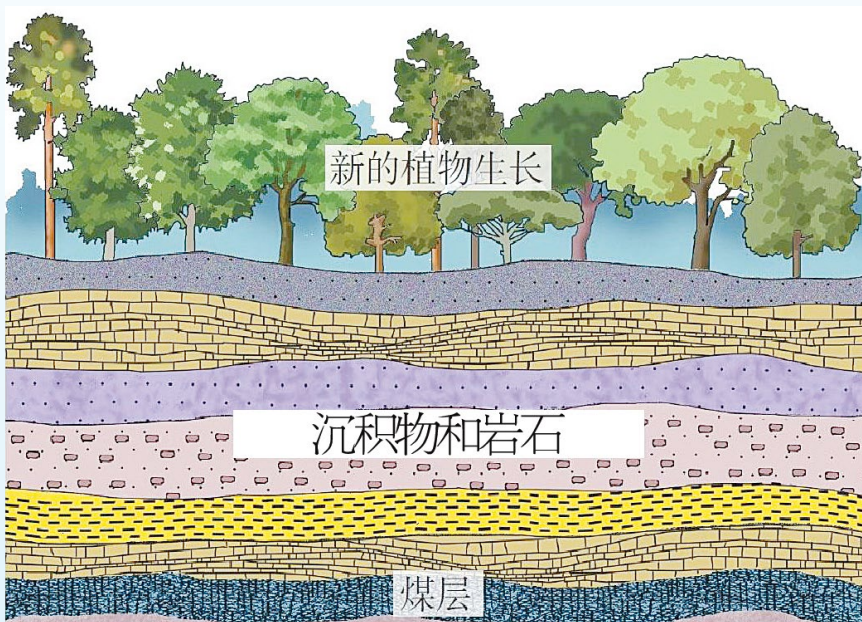
甲烷分子式形态

## 煤层里为什么会有气?

煤是由植物埋藏地下,经过漫长的地质年代和地壳运动,在隔绝空气的情况下,在细菌、压力和温度的作用下,逐步演变而成的。煤的原始有机物质主要是碳水化合物、木质素,成煤作用由泥炭化和煤化作用两个阶段完成。

## 煤的形成过程十分漫长

在绿色有机体转变为煤炭的成煤过程中,经过生物化学热解作用,会以吸附或游离状态,在煤层及固岩里产生一种以甲烷为主的自储式气体。这种气体就是煤层气,按其成因类型可分为生物成因气和热成因气。这种气



煤炭的形成过程十分漫长

体的大量聚集,就形成了煤层气藏。煤层气藏形成需具备五个条件,即煤层厚度、煤变质量度、封盖条件、水文地质条件和煤层埋藏深度。

## 金丝鸟可以预防瓦斯爆炸?

瓦斯气体是英文音译词,英文是gas,是一种易爆炸的气体。在煤层气名词出现前,煤层里的气体一般称为瓦斯气。它在矿井中爆炸,是一种热链式反应(也叫链锁反应),俗称“瓦斯爆炸”。

当爆炸混合物吸收一定能量(通常是引火源给予的热能)后,反应分子的链即行断裂,离解成两个或两个以上的游离基(也叫自由基)。这类游离基具有很大的化学活性,成为反应连续进行的活化中心。在适合的条件下,每一个游离基又可以进一步分解,再产

生两个或两个以上的游离基。这样循环不已,游离基越来越多,化学反应速度也越来越快,最后发展为燃烧或爆炸式的氧化反应。所以,瓦斯爆炸就其本质来说,是一定浓度的甲烷和空气中的氧气在一定温度作用下产生的激烈氧化反应。

这种爆炸,必须同时具备三个基本条件:瓦斯的浓度、充足的氧气含量和足够能量的点火源。点火源如明火、煤炭自燃、撞击火花、电火花等。

瓦斯爆炸直接威胁矿工的生命安全,一直是煤矿安全生产的主要威胁之一,是困扰采矿业的重重大难题,造成巨大损失和重大伤亡的事故屡有发生。因此,瓦斯爆炸被称为“瓦斯恶魔”。

为了预测“瓦斯爆炸”,躲避采煤





17世纪煤矿工人常常手持金丝雀，以辨别工作场所的空气是否适合呼吸

风险，早在科技尚不发达的17世纪中叶，英国的威尔士地区和法国北部，矿井工作在采取一些必要安全措施外时，有的矿工会提着一个装有金丝雀的鸟笼下到矿井，把鸟笼挂在工作区内。因为金丝雀对“瓦斯”或其他毒气特别敏感，只要有非常淡薄的瓦斯产生，对人体还远不能有致命作用时，金丝雀就已经失去知觉而昏倒。矿工们看到这种情景后，会立即撤出矿井，避免伤亡事故的发生。

### 瓦斯气就是煤层气吗？

瓦斯是古代植物在堆积成煤的初期，纤维素和有机质经厌氧菌的作用分解而成。在高温、高压的环境中成煤的同时，由于物理和化学作用，继续生成瓦斯。瓦斯是无色、无味、无臭的气体，但有时可以闻到类似苹果的香味，这是由于芳香族的碳氢气体同瓦斯同时涌出的缘故。在煤炭界，习惯上指矿井瓦斯。

煤层气是指赋存在煤层中以甲烷为主要成分、以吸附在煤基质颗粒表面为主、部分游离于煤孔隙中或溶解于煤层水中的烃类气体，是煤的伴生矿产资源。煤层气和瓦斯的主要成分都是 $\text{CH}_4$ （甲烷）。瓦斯和煤层气基本没什么区别，都是可燃可爆且对人具有窒息作用的无毒无色无味气体。煤矿上将那些呈游离状态的甲烷和其他混合性有毒有害气体统称为瓦斯。

### 煤层气就是天然气吗？

煤层气和天然气属于同一个家族。常说的天然气是常规天然气，而煤层气是非常规天然气。细致分析，他们有“四个不同”：

(1) 储集机理不同。常规天然气是以游离状态储集在储层的孔隙空间当中，在气源充足的情况下，其聚集量主要与孔隙空间的大小有关。煤层气则以吸附状态赋存在孔隙的表面之上，其聚集量与煤层的吸附性密切相关。

(2) 成藏过程不同。常规天然气由烃源岩生成后，经过一定距离的一次运移和二次运移在储层中聚集成藏，运移方向受流体动力场控制，即天然气主要是在浮力和流体压力的驱使下进行运移；煤层气由煤源岩生成之后直接被煤储层吸附而聚集，这种聚集不受流体动力场的控制而受温压场的控制。

(3) 气藏边界不同。常规天然气有明显的气藏边界，并且气藏边界内外天然气含气是具有“有”和“无”质的变化；而煤层气藏与常规天然气藏最大的区别之一就是气藏边界不确定，只要有煤就有煤层气的存在，在某些地质条件下，煤层气相对富集形成煤层气藏。因此，煤层气藏内外是含气丰度的差别，而不是有气和无气的差别。

(4) 流体状态不同。常规天然气藏和煤层气藏都有气、水两相存在，但二者所处的状态不同：常规天然气藏一般以气相为主，即储集空间被游离的气相所占据，存在少量束缚水，水主要以边水和底水的形式存在于气藏的边部和底部，具有统一的气水界面；而煤储层中大的孔隙空间主要是被水所占据，水中含有一定量的溶解气，部分孔隙中存在游离气相，气藏中的大部分气体以吸附相存在，占80%以上，即煤层气藏中有吸附气、游离气和溶解气三

种存在形式。

### 煤层气的主要用途是什么？

煤层气的热值与甲烷( $\text{CH}_4$ )含量有关。地面抽采的煤层气甲烷含量一般大于96.5%，高热值为每立方米38.9311兆焦，低热值为每立方米34.5964兆焦。井下抽采的煤层气目前一般将甲烷含量调整到40.8%后利用，此时煤层气的高热值为每立方米16.24兆焦，低热值为每立方米14.63兆焦。

每标准立方煤层气大约相当于9.5度电、3立方米水煤气、1升柴油、接近0.8千克液化石油气、1.1~1.2升汽油。另外，煤层气燃烧后几乎没有污染物，因此它是非常便宜的清洁型能源。它可以用作民用燃料、工业燃料、发电燃料、汽车燃料和重要的化工原料，用途非常广泛。如家庭的生活用火、工厂发、汽车燃烧等都将其作为动力。当前，我国煤层气利用率较低，所以煤层气的开发利用，是当前我国乃至世界能源界亟待解决的问题。

### 为什么要开采煤层气？

开发煤层气，有三个方面的的重要意义：

(1) 降服“瓦斯恶魔”，变害为宝，保障煤矿的安全生产，改善煤炭生产经济效益。在煤炭开发生产过程中，频频发生瓦斯爆炸，既造成严重的人员伤亡、财产损失，又造成大量的能源浪费。我国国有重点煤矿中高瓦斯矿井占47%。据统计，1950—1990年，我国发生瓦斯事故1500余起，约占世界瓦斯突出事故的40%，历年因瓦斯事故死亡的人数为世界总死亡人数的30%~40%。仅1983至1994年间，我国就发生瓦斯事故675起，死亡4571人，直接经济损失150亿元，造成了严重的生命与财产损失。从这一点来讲，开采煤

层气是煤矿开采的首要安全保障,也是国务院一直强调的,要想开发煤矿,必须先开发煤层气,将瓦斯浓度降低到一定的安全范围内才允许开发煤矿。

(2) 改善国家能源结构,促进国民经济的发展。我国的能源结构与世界发达国家相比极为不合理,煤炭占比大,石油仅为世界平均水平的三分之一,天然气为十分之一。我国能源紧缺,不能满足高速发展的国民经济对能源的需求,只有大力发展煤层气等新型清洁能源,才能弥补我国能源的缺失。

(3) 减少大气污染,保护人类的生存环境。甲烷的温室效应大约是二氧化碳的20倍以上,据粗略估计,我国每年向大气排放的煤层气甲烷约为60亿立方米,占世界的三分之一,既浪费了能源,又对环境造成了极大的破坏。开发煤层气,不仅能改善我国的能源结构,还可以减少大量瓦斯排放造成的环境污染,并加速我国以煤为主的能源系统逐渐向环境无害化的可持续发展模式的过程转化,实现碳中和、碳达峰的承诺目标,树立遵守国际公约,保护地球环境的良好国际形象。

### 中国的煤层气“难成大器”吗?

中国2000米以浅的煤层气资源量约为36.81万亿立方米,大有开发利用的潜力。但是,开发利用初期出现了“产量少、利用率低、勘探投入不足、产业发展低于预期”的局面,于是有人便产生了煤层气“难成大器”的悲观情绪。随着国家对煤层气逐步重视,中国的煤层气急速增长。

中国42个主要含气盆地埋深2000米以浅的煤层气地质资源量36.81万亿立方米,主要分布在华北和西北地区(占总资源量84.4%),与陆上常规天然气资源量38万亿立方米基本相当。

我国煤层气已进入快速发展轨

道,全国煤层气探明储量达到1700亿立方米,与2005年相比,增长70%;累计施工煤层气井3600多口,增长5倍;年产量达7亿立方米,增长18倍,产能达到25亿立方米。

2009年累计抽采煤层气64.5亿立方米,利用19.3亿立方米,其中地面煤层气产量10.1亿立方米,利用量5.8亿立方米,与2005年相比,五年时间煤层气抽采量、利用量增加了约3倍,煤层气抽采利用不断取得进展。

中国的煤层气不是“难成大器”,而是“大器晚成”。

### 中国煤层气的开发利用经历了哪三个阶段?

人类发现和使用煤炭已有3000多年的历史(12世纪到17世纪得到广泛应用,17世纪初期“蒸汽动力”被应用于工业机器,甚至发动火车等,蒸汽机发明之后,进入煤炭时期。18世纪的工业革命,煤炭被广泛用作各种工业生产的燃料)。但是,利用煤层气是近些年的事情。

随着中国经济的快速发展,能源短缺的问题进一步加剧,煤层气受到中国政府的高度重视。中国的煤层气开始在“六五”期间(1981—1985年)开始启动,“十五”期间(2001—2005年)写入国家煤炭工业规划。

截至2020年底,先后经历了三个发展过程:一是20世纪80年代至2000年,在地质研究上为寻证,在勘探上为寻找,在开发上为探索;二是2001至2002年,在地质研究上为探因,在勘探上为普查,在开发上成绩不大;三是2003至2020年,在地质研究上为求源,在勘探上为详查,在开发上为商业化生产。2020年,累计探明煤层气地质储量7500亿立方米,开发煤层气田25个,煤层气年产量达到了55亿立方米。

### 中国煤层气的开发利用前景如何?

煤层气的开发利用是一举多得的民生工程,具有广阔的发展前景。

(1) 具有良好的资源和政策条件。我国煤层气资源十分丰富,在区域分布、埋藏深度等方面也有利于规划开发。我国已基本形成了国家支持煤层气抽采利用的政策体系,并且支持力度不断加大,各地和企业的积极性空前高涨,煤层气抽采利用的政策环境、社会环境十分有利。

(2) 市场需求巨大。在中国的一次性能源消费结构中,煤炭约占74.6%,处于主导地位,石油占17.6%,而天然气仅占2%,远低于23%的世界平均水平。随着终端能源需求逐步向优质高效洁净能源转化,燃气的需求迅速增长,市场供应缺口较大。开发利用煤层气,可以节约资源,有效弥补我国常规天然气供用量的不足,优化能源结构,煤层气利用市场潜力很大。

(3) 适应低碳经济与环境保护的要求。煤层气与石油、煤炭相比,同样热值下释放到大气中的CO<sub>2</sub>比石油少50%,比煤炭少75%。每利用1亿立方米甲烷,相当于减排150万吨CO<sub>2</sub>。2009年,我国利用煤层气19.3亿立方米,共减少排放2880万吨CO<sub>2</sub>。煤层气的开发利用不仅可以有效降低甲烷的排放量,而且能够大大减排温室气体CO<sub>2</sub>,保护大气环境,这正是目前低碳经济所倡导的。

(4) 保障煤矿安全生产。煤层气的开发不仅可以利用新能源获得巨大的经济效益,而且可以改善瓦斯环境,减少矿井事故,提高煤田勘探程度,为煤层顶板管理、火灾防治、煤尘爆炸等提供依据。在目前国内煤矿事故频发的情况下,可以通过煤层气的开发,加强煤矿地质安全保障,有效地降低煤矿事故,促进煤矿安全生产。



# 魅力无穷的地球科学三维打印技术

■ 王大锐

“三维(3D)打印”技术可以随时随地将数字化设计转变成三维的物理对象,而且成本十分低廉。许多工业界、学术界和政府机构中具有前瞻性的思想家和远见者都看到了三维打印的价值。大到飞机、汽车配件,小到人体器官、牙齿等,三维打印技术的应用几乎无处不在,而其在地球科学和石油天然气工业中的应用范围也正在迅速扩大。

## 三维打印技术优势突出

三维打印出来的物理对象(三维打印品)是数字演示和可视化工具的补充,它们提供了三维几何体的物理表示,可以起到增强交流效果的作用。数字化模型只能在屏幕上观看,而一件三维打印品则可以通过所有感官来体验、感受:可以观看它、操作它、嗅出它的气味、尝它的味道,更重要的是可以在实验室中用它进行实验。三维打印技术提供了一个快速检验新概念的方法,可以生成不同尺度的不同物理对象,并且具有很高的准确性和可重复性。

目前已经实现了三维打印在石油工业工程上的应用。设计上的灵活选择和材料的多样性支持了钻头和钻具的三维打印,比如内置流动监测的钻套、井下流体分析工具内的精细网孔、用于水下油井增产措施和酸化的水力管汇和水力管线。三维打印机和开源软件的成本降低,以及数字模型库的免费访问,为许多研究领域开辟了新的途径。其中,地球科学领域已经准备好采用三维打印技术来缩小计算机分析和实验分析之间的差距。由于认识到了这个机遇,本文介绍了三维打印技术在

地球科学领域和石油工业的科研和教学应用方面的概况、局限性及其潜在应用。

## “打”出的岩石代替物

3D打印与多尺度数字化捕获岩石三维结构方法的结合,为地球科学领域的研究创造了新的机会。主要的研究焦点是为达到实验目的(例如,润湿性实验)而进行的具有可控的固体和表面性质的岩石内部结构(例如,孔隙结构和裂缝)的复制。这些复制品称为“岩石代替物”。岩石代替物的尺寸可以是数量级的变化,从纳米尺寸到三维打印机的尺寸。除此之外,多个岩石代替物的组合可以产生一个规模更大的模型(例如,储层岩石的三维岩相打印)。岩石代替物是由数字模型产生的,它们为建立数值模拟与实验室实验之间的联系提供了一种新方法。

油气地质研究中,这“打”出来的岩石代替物可以从事流体运移(例如,孔隙度、渗透率、润湿性和运移能力)、电学响应(例如,电阻率)、机械性能(例如,杨氏模量和泊松比)、化学作用和声学特性(例如,声波速度)等岩石性质和动态特征的定量评价。在实验室实验过程中,可以利用岩石代替物替代天然岩石样品,在岩石结构和环境的系统变化条件下进行重复测量,三维打印技术为在代表天然岩石内部结构的近乎相同的孔隙网络内进行破坏性测试实验提供了可能性。

岩石代替物的高级应用要求被复制的天然岩石与它们的三维打印岩石代替物之间具有非常高的相似度。将来的研究需要尽量将与三维打印、人

为因素和会影响实验结果的不准确几何形状相关的误差降到最小。天然岩石的精确复制取决于图像分辨率、图像数据处理以及三维打印的方法和材料。岩石图像的分辨率不断提高,能够捕捉岩石非常精细的特征,但是它们不能代表大尺度上的岩石性质,因此,学者难以将岩心栓尺度和岩心尺度的岩石性质与测井、地震和野外露头数据相结合。

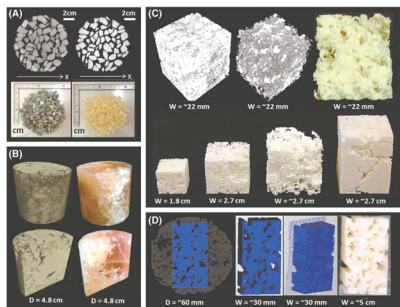
打印出来的岩石代替物的准确度受到三维打印方法、使用的打印材料、打印参数(例如,层厚度)、后处理方法、图像分辨率、数字模型的尺寸,以及数字模型对三维打印对象的缩放程度等因素的影响。最大的精度和分辨率取决于与每种三维打印方法相关的机械过程。

三维打印机可以选择的打印材料有很多,包括塑料、金属、树脂、陶瓷、矿物粉末、纸张和生物材料。尽管目前没有可用的材料可以同时复制天然岩石所有的相关性质,但不同的材料会影响岩石代替物的可实现的分辨率。目前,对于一个特定的模型来说,可根据打印材料分别在各个特性(流体性质、电学性质、声学性质和力学性质)研究中的适用性来选择打印材料。

金属是目前可用于岩石代替物力学性质研究的最坚硬的三维打印材料之一。虽然它们在电学实验和声学实验中仍有应用潜力,但是进行金属打印的三维打印机的价格尚未达到商业化水平。此外,这些三维打印机的分辨率还不够高,在不进行缩放的情况下,无法三维打印多孔岩石。

树脂是一种有机材料,可以通过

混合其他树脂成分、添加色素颜料和改变后处理步骤来调整它的物理性质和化学性质。这种材料支持三维快速打印,例如,4个小时就可以打印出一个岩心栓。



三维打印产生的岩石样品

除了岩石代替物的精度、准确性和材料方面的挑战之外,三维打印机仍然需要进一步发展以满足岩石代替物的规格要求。了解三维打印岩石代替物中固体成分和液体成分的接触角度,将有助于预测多相流动实验中的相对渗透率。多材料三维打印机可广泛应用于具有非均质结构的天然岩石代替物的制造。多材料打印需要结合两种或更多种三维打印方法,但是其优点是可以独立设计每种材料的物理、化学性质,例如,金属粉末和合金油墨。大多数三维打印方法的另一个发展领域是后处理。需要更有效地去除喷墨式、基于粉末的粘结剂喷射式和光聚合式三维打印机中支撑材料的方法。

### 基础研究、教学与应用的利器

在石油工业中,微流控装置(通常称作微模型)可以追溯到20世纪50年代。微流控装置经常用来研究不混溶流体驱替原油和其他两相流、三相流现象。微模型研究能够帮助人们深入认识渗流过程、油水相对渗透率,这些因素都会影响原油采收率。

微流控模型的发展与孔隙尺度成像、三维打印结合,为日后的地球科学研究奠定了基础。这项研究可以促进

常用于研究流体和岩石之间物理化学相互作用的流体实验的研究。在多相流研究中,如提高石油采收率或是碳捕捉和富集,润湿性的复刻是至关重要的。通过模型设计中定义的润湿性分布特征的先验知识,可以更好地理解流体的捕捉和流动。同样地,具有真实化学性质的岩石代替物的产生可以改善人们对真实运移过程的了解。可以通过改变岩石代替物中某些特定位置的化学组成来完成,例如,复制打印的颗粒表面;也可以使用三维打印技术来研究流动过程中的缩放比例关系,例如,渗透率的变化。

一些三维打印材料还提供了一种研究其物理性质对流体流动影响的方法(例如,由碳酸盐岩中具有较宽孔径分布范围的微孔隙引起的影响)。因此,打印出来的、固态的、仍具有微孔隙的粉末可以模拟碳酸盐岩中的微晶颗粒,并且可以提供一个系统地控制岩石代替物内部微孔隙数量和分布特征的方法。

### 地球科学中应用前途光明

三维打印可以在岩石变形和破坏性实验分析中提供岩石代替物。一个关键的优势是其可以控制岩石结构并产生具有均质性质的相似岩样,从而可以使用相同的岩石进行重复实验,同时系统地改变实验条件。三维打印还可以在多个几乎完全相同的测试样品上系统地包含多种非均质性,例如,微裂缝、缝合线、接缝和孔洞。通过了解和控制样品间关于孔隙度、裂隙网络、粒度分布和密度分布等特征的多样性,岩土材料的三维打印为以下工作提供了有价值的工具:验证数值模拟结果,建立标度率和本构关系,量化孔隙几何形状、裂隙网络特征和结构非均质性对宏观性质的影响程

度。这对于理解变形对基本的流体流动过程(例如,相对渗透率或毛细管压力)的影响也变得至关重要,而且这也使得新一代储层地质力学实验能够被设计用于验证嵌入在模拟模型中的耦合过程。

三维打印技术的进一步发展需要进一步的研究工作,以创造能代表不同岩石类型和矿物的材料和材质。打印分辨率的提高使得岩石代替物中可以包含特定的裂缝和非均质性,以研究应变局部化的地质控制因素。类似的方法已经被用于设计岩石代替物中的裂缝网络。通过这种方法,我们设想了测量声学性质变化特征的实验,这些实验可以在离散型裂缝网络模型中设计出复杂的裂缝组合和网格。除了打印多相或多材料模型,新材料还需要能够承受高温高压实验条件。三维打印具有为地球科学提供新的基础知识的巨大潜力。

三维打印技术可用于生成可缩放的地表、地下形貌,以及行星体表面起伏的表征。三维打印出来的地貌表征是计算机生成模型的补充,并为交流、教学和科学研究提供了重要工具。

古生物标本的描述、分类和保存也受益于三维打印技术。在对一头侏儒象遗体的研究过程中,科学家通过激光扫描原始骨骼来获得表面形态,并将骨骼表面形态组合到3D打印代替物中。古生物学家用断层扫描技术进行数字化信息提取,并且在破坏蛋壳的情况下三维打印出了隆鸟蛋的胚胎骨骼。这种方法在避免了破坏原始标本风险的前提下,为对比和研究形态学提供了便利。通过允许非专业人员接触数字化或三维打印的高质量标本而不需要前往遥远的博物馆或者接受专业的培训,三维打印将有助于实现研究型馆藏的大众化。



# 断裂活动

## ——油气成藏的“双刃剑”

■ 张金虎 高永进 杨有星

断裂是地壳岩石(地质体)中顺破裂面发生明显位移的一种破裂构造,是地壳表层岩石的一种脆性破裂,包括劈理、节理、断层、深大断裂和超壳断裂等。断裂活动又称断裂构造运动,是地质构造的最基本形式之一。

地球表层的岩层和岩体,在形成过程及形成以后,都会受到各种地质作用力的影响,当作用力超过岩石本身的抗压强度时就会在岩石的薄弱地带发生破裂。断裂活动不仅对区域内的沉积构造起控制作用,从油气生成到最终聚集成藏,断裂活动都起着非常重要的作用。例如,郯庐断裂对渤海油气成藏的影响,塔里木盆地顺北断裂带对深层油气藏的控制,以及近年来在塔里木盆地腹地发现的以满深1井为首的区域级富含油气断裂带。

上述油气藏的重大发现和突破,都与断裂活动息息相关。在地下七八千米的深处,油气藏在地质学家的脑海里就像一幅苹果树图,主断裂带像树干,分支断裂带像树枝,而油气的储集空间就是一个个苹果。因此,准确认识断裂系统分布特征,探讨其与油气成藏之间的关系,是地质学家关注的重要课题。

断裂活动对油气藏形成的控制作用主要包括油气运移、聚集、保存和分布等多个方面,而后期的断裂容易破坏油藏,也会散失一部分油气到地面上来,所以断裂活动对油气运聚成藏有

重要的控制作用,可以是建设性的,也可以是破坏性的。若盆地发生过大规模断裂活动,深层烃源岩生成的油气可以沿主断裂带运移,先排到上面的储集层中,然后再沿着分支断层运移到浅层的地层中聚集成藏,形成多套含油层系。换句话说,在平面上,主要含油气带沿断裂分布;在垂向上,油气主要沿断裂带向上运移,纵横断裂交汇部位是油气勘探的重点地区,所以断裂带也是油气的聚集带,这是断裂活动对油气成藏的“利”。

与此相对,断裂活动往往破坏了油气藏盖层的完整性,使油气的分布层位较为复杂,而且盖层的破坏程度也受到断裂规模影响,断裂规模越大,即断距越大,盖层被错断的程度越高,断层两侧盖层对接的厚度越小,从而失去了有效阻烃作用,并且晚期活动的断裂更是对油气的保存条件起到不利的影 响,这是断裂活动对油气成藏的“弊”。

虽然断裂活动对油气成藏的作用有利有弊,但地质学家们仍然喜欢“铤而走险”,因为断裂活动对油气成藏的关键因素起到决定性作用。首先是对

圈闭条件的控制。受重力均衡作用影响,在前期发育断裂的基础上发育众多次级断裂,沿次级断裂带形成断块、断背斜、断鼻、低幅度背斜等多种类型的圈闭,说明各类相关类圈闭发育,受各级断裂的控制。其次是对储集条件的控制。油气赋存与构造裂缝的发育相关,储集油气的孔、洞、缝空间往往与构造裂缝共存,在其构造裂缝路径上发育有溶蚀孔洞,而在溶蚀孔洞及构造缝中含油,说明断裂活动产生的构造裂缝改善了储层储集条件。最后是对运移条件的控制。断层的封闭能有效遮挡下伏油气的运移,断层的开启能使油气发生运移或者发生再次运移,但也能导致油气散失,说明断裂封闭性的差异变化使得运移的油气免遭完全破坏。

虽然断裂活动对油气成藏可能起到破坏作用,但它作为油气成藏中连接生烃与圈闭的“桥梁与纽带”,在某种程度上决定着含油气盆地内各种圈闭最终能否成为油气藏及油气聚集的数量,而且还决定着油气在地下向何处运移、在何处成藏及成藏类型,所以说断裂活动是油气成藏的“双刃剑”一点不为过。

# 甲醇制烯烃 煤炭代油的新途径

■ 崔玉波

世界上大部分炼厂乙烯工业生产的主要方法是采用管式炉裂解技术,通过烃类裂解和炼厂回收气生产乙烯。但在中国,更多的乙烯生产路线被开辟出来,尤其是在甲醇制烯烃技术路线上取得了重大突破,写下了光辉的一页。

## 甲醇制烯烃技术率先取得突破

中科院大连化学物理研究所(简称大连化物所)从20世纪80年代一直致力于煤代油技术的研究,并取得了丰硕成果。在合成气经由二甲醚制低碳烯烃(SDTO)工艺取得成功的基础上,大连化物所于2006年6月完成了世界首次万吨级甲醇制烯烃(DMTO)技术工业性试验,装置规模和技术水平均居世界领先地位,开辟了我国乃至全球以煤为原料生产烯烃的路线。它不仅为新型煤化工掀开了新的一页,而且也是对传统以石油为原料的石化产业的一场创新性革命,为我国实现能源多元化起到巨大作用。

2015年1月9日,DMTO技术带头人之一、大连化物所刘中民在人民大会堂从国家主席习近平手中接过国家技术发明奖一等奖证书,那一刻,全场掌声雷动。这是中国煤化工产业最为自豪的时刻。这一来之不易、30年创新坚持不懈、四代人奉献情系家国,才有了这样的高光时刻。

用煤炭替代石油生产烯烃的技术,首先用煤炭制成合成气,再将合成气制成甲醇,然后用甲醇制成烯烃。在这个技术链条中,只有甲醇向烯烃转化的技术没有在国际上实现工业生产,其他技术环节都有比较成熟的生产工艺。要想走通煤制烯烃的技术路线,就必须攻下甲醇制烯烃这一技术链条上所缺失的环节。

大连化物所的研究人员在解决了催化剂等技术难题后,在研发投入和技术放大等问题上出现了困难。1997年,借到洛阳交流甲醇制烯烃中试技术成果的机会,刘中民找到了中国石化炼油化工专家陈俊武,希望借鉴流化床技术经验开发甲醇制烯烃技术。

在陈俊武的支持下,洛阳石化公司与大连化物所展开了对中国煤化工

和乙烯业都具有历史意义的合作。在陈俊武院士的指导下,该项目克服了无法控制反应器温度等问题,完成了从实验室、工业中试和工业示范装置的“两次一百倍”工程化技术开发,技术也从DMTO进步到了DMTO-II,于2010年8月在内蒙古自治区包头市建成了世界首套、当时全球规模最大的年产60万吨DMTO工业示范装置,投料试车一次成功,装置运行平稳,甲醇单程转化率100%,乙烯加丙烯选择性大于80%,反应结果超过了预期指标。随着神华包头项目正式进入商业化运营,我国率先实现了甲醇制烯烃的核心技术及工业应用“零”的突破。

目前,DMTO已完成26次技术转让,DMTO三代技术开发正在全面提速。三代DMTO技术,是在双方合作开发的一代、二代技术基础上,开发了性能更加优越的新一代催化剂,在工程上设计适应新催化剂反应要求的新型反应器和再生器,开展能量优化等技术创新,以确保在DMTO领域的领先地位。

## 甲醇制烯烃

### 全流程技术(SMTO)再攀高峰

在DMTO技术荣获国家技术发明奖一等奖两年之后,煤制乙烯技术再创里程碑式的新成就,2017年度“高效甲醇制烯烃全流程技术”和“煤制油品/烯烃大型现代煤化工成套技术开发及应用”,双双获国家科技进步奖一等奖。在中国煤化工主乙烯工业的历史上再次攀上了新的高峰。

甲醇制烯烃(DMTO)技术,是一种以煤或天然气合成的甲醇为原料,借助类似催化裂化装置的流化床反应形式,生产低碳烯烃的化工技术。中国富煤缺油,加快发展以煤直接液化、煤制烯烃为代表的大型现代煤化工技术,实施石油替代战略,对我国经济发展





神华集团包头煤制乙烯装置外景



“高效甲醇制烯烃全流程技术”获国家科学技术进步奖一等奖

和能源安全具有重大战略意义。

SMTO项目发轫于2000年。在项目带头人谢在库院士引领下，项目团队进行了十余年的持续研究和创新，大家满怀热情，在梦想的星空下稳健地向前行进，探索着前行的未知。2005年，终于建成了甲醇处理量每年12吨的MTO循环流化床热模试验装置。试验运行结果表明，甲醇转化率大于99.5%，乙烯+丙烯的选择性大于80%，乙烯+丙烯+丁烯的选择性大于90%，吨烯烃甲醇

单耗3吨左右。

万事开头难，在成功的路上，他们迈出了可喜的第一步。但如何进行技术放大，同时匹配自主开发的MTO反应产物深冷分离工程技术并实现工业化应用又成了摆在他们面前的难题。2011年10月，采用本项目技术的中原石化60万吨/年甲醇制烯烃装置投料开车一次成功，并于7个小时后取得了合格的乙烯、丙烯产品，总体技术指标达到国际领先水平。

铸剑十年，终换来宝剑锋从磨砺出。该项目已连续运行6年以上，装置运行稳定，经济效益显著，成为国内甲醇制烯烃技术的样板工程。但是，创新团队在成绩面前并没有减缓创新的步伐，2016年，世界最大规模的360万吨/年SMTO工业装置，在中天合创能源有限公司建成投产，标志着中国石化SMTO全流程技术迈上新的台阶。

该项技术的突破，实现了我国自主研发的甲醇制乙烯、丙烯全流程工艺的产业化，不仅为煤化工发展提供了先进、成套、可靠的技术支撑，更为我国实施石油替代战略开辟了一条新路。该项技术的成功开发使我国成为世界上第一个掌握自主知识产权全流程

MTO技术的国家，具有标志性意义。

### “煤制油品/烯烃大型现代煤化工成套技术开发及应用”成果丰硕

在2017年，有两项煤制烯烃技术同获得国家科技进步奖一等奖，不仅表明中国煤制烯烃成果显著，也说明二者在技术比拼上旗鼓相当。

项目由神华集团有限责任公司等21家单位参与完成。经过三十多年研发，攻克了首次工程放大、关键超大超厚设备研制、系统集成稳定性及可靠性、安全稳定长周期运行、二氧化碳捕集封存（CCUS）与监测等一系列世界性技术难题，成功建设运营了世界首个百万吨级现代煤直接液化和60万吨级煤制烯烃工程，标志着我国成为全球率先掌握以煤制油品/烯烃为代表的大型现代煤化工成套技术的国家。

该成果应用于鄂尔多斯、包头等地的18套装置中，奠定了中国现代煤化工产业发展的基础，推动了西部区域经济协调发展，占领了世界现代煤化工的制高点，巩固了中国在现代煤化工领域的世界领导地位。



# 相国寺 储气库

■ 陈启兵

世界各国包括自身油气生产富裕的国家，都有油气储备，以预防战争、灾难、突发事件等不确定因素造成国家或地区能源短缺，致使国家经济不稳乃至停顿的恶果。故世界天然气生产和消费大国，都把地下储气库建设作为整个天然气上下游一体化利用的一个重要组成部分进行总体规划，西欧国家和俄罗斯地下储气库利用量分别达到20%与30%。美国在20年前战略油气储备是19年，也就是说，美国在不动用近海与本土油气的基础上，不产油气不进口油气仅储备油气就可维持国家19年的需求，而同期中国的油气储备仅半年。亚洲国家油气储备最富裕的当推日本。简而言之，油气储备的多少，是一个国家对能源不测事件免疫力强弱与维护国家油气战略物资安全保障、国家能源正常运转的试金石。出于国家重大战略和西部区域的日益崛起以及中

国石油自身发展的需求，决定在西南区域建立首座地下储气库，也是我国首座碳酸盐岩大型地下储气库。

地下储气库是利用天然气采出后地下留出孔隙、裂缝，将天然气重新注入储备起来，首要任务是创造条件将注入地下的天然气足量地储备好，不让它们有任何泄漏、跑掉的机会。相国寺气田位于重庆市主城区郊外约50公里，改写川渝油气区勘探开发史的石炭系气藏，就是在20世纪70年代于相18井撩开神秘面纱，实现了从裂缝圈闭气藏到裂缝-孔隙型构造圈闭气藏的重大转变，结束了川渝区域“有气无田”的历史。世上任何事，都有发生、发展、兴盛、衰减的历程，同其他油气田一样，相国寺气田经过35年的开采，产气量由盛到衰逐年递减。当地下资源开采完毕就会关闭废弃，谁也不愿目睹这个功勋卓著的气田走到那一步，但这是谁

也无法阻挡的自然规律。

历史的书卷，再度给相国寺气田谱上新篇章。经反复科考、筛选，西南首座战略储气库最终落址相国寺。该气藏构造形态为狭长梳状背斜，长轴22.51公里，短轴1.24公里，闭合面积25.2平方公里，采出程度91.23%，压力系数仅0.1。经过反复科考论证，相国寺气田具备注入气量的地质条件。由于相国寺储气库在国家油气战略物资安全中不同寻常的地位、功能、作用，被列为国家重大战略工程。

2010年10月，《相国寺地下储气库工程可行性研究报告》获得批复，是中国石油2010年开建的6座地下储气库之一。2011年10月18日，相国寺储气库建设项目举行了隆重的开工仪式。相国寺储气库工程浩大，牵涉广泛，难关繁多。工程建设者以敢教日月换新天的博大胸襟，一一攻克。据相关资料表明，在



相国寺储气库建设管理中,要运用的十大高新技术分别是:大眼井钻井、低压储层保护、薄储层水平钻进导向、老井处理锻铣、注采井井下控制、压缩机电机、J-T阀脱水、远程控制、全过程动态监测、全周期数值模拟以及一批高新工艺,其中一些高新技术、高新工艺,不仅在川渝油气区就是在整个中国石油,都是首次运用。并于国内首次建立起地下、井筒、地上一体化三维数值模拟系统,实现了储气库生产运行技术的智能化。

2013年6月29日,是中国石油尤其是川渝油气区值得载入史册、铭记不忘的重大纪念日。经过广大工程建设者历时3年多冬冒严寒、夏顶烈日的辛勤奋战,相国寺储气库第一阶段试注投运取得圆满成功。国家职能部门,中国石油天然气集团公司、重庆市政府、西南油气田公司等,所发贺电纷至沓来。

一般而言,大型工程均会对所在地环境造成不同程度的影响,但相国寺储气库却是将大型现代工程与环境保护完美融和。集注站是相国寺储气库的核心区块,置身其间,目睹的是现代设备与环境绿化合为一体。列列铺陈的宽阔绿化带,镶嵌在林立的塔罐、纵横的管道、巡检的路径之间。连片的草坪,碧绿葱翠,赏心悦目,草坪下面建的是污水池。产生的工业废水,全部流储其间进行处理。偌大的生产装置区,整齐洁净,不见污水污物。更令人感叹的是,其间没有传统工业那种机声轰鸣,建立的噪声三维模拟模型,为有效解决噪声提供了技术支撑。即使站在噪声处置门外,也不影响人与人的交谈。不仅是集注站环境怡人,整个相国寺储气库的7个注采井站及相关单位,均是泻玉铺绿,花草绰约,绿化面积超50%。环顾四周,青山叠翠,林木森森,鸟鸣声声。现代工业与环境保护

如此和谐共荣,可谓珠联璧合。

相国寺储备库为保障国家油气战略物资安全、调剂供气平衡,具有前所未有的不可替代的独特功能。纵观我国天然气管网分布,北面系从新疆到上海的西气东输干线,南面系从邻国缅甸到中国广西南宁、桂林的中缅干线,两大干线被誉为我国能源的主动脉。两大干线南北呼应,但却未能贯通连接。而相国寺储气库则位于两大干线的中间点,它的北面从西气东输干线途经宁夏中卫联线,南面从中缅干线途经贵阳联线。一个相国寺储气库就将西气东输干线、中缅干线贯通连接起来,它既可接纳中亚土库曼斯坦通过西气东输干线送来的气量,又可接纳缅甸通过中缅干线送来的气量。同时还可将我国新疆、长庆、川滇黔桂几大气区的气量连接成块。相国寺储气库项目总设计天然气容量40亿立方米,年调峰规模20亿立方米。它既可容纳南北两大干线气量,又可在我国任何区域出现能源短缺时,将容纳气量应急调剂输送出去。

目前,相国寺储气库仍在进行扩容达产工作,已连续安全正常运转了8年有余,其各项技术参数、经济数据,均达设计标准或上级下达指标数,实现了“八注七采”,现正在进行第9期注气。历年累计注气超过114亿立方米,采气超过85亿立方米,日最高注气量达1435万立方米,日最高采气量达2510万立方米,扛起了“国家天然气调峰保供”的大旗。尤为值得圈点的是:农历戊戌年早春二月的北京城,根据市政规划,实施煤改气工程,此时出现了天然气供输缺口。倘若供输跟不上出现气荒,北京地区的生产和人民生活无疑会受到负面影响。国家发改委发出指令,快速由相国寺储气库调剂气源,连续20余天,平均每天以1500万立方米



相国寺开工仪式

气量通过长输管道输供北京。位于渝境崇山峻岭的相国寺储气库,地理上虽是远离京城几千里,却与京城气息相关,填补了京城煤改气工程的气源缺口,切实保障了京城市民炉盘火苗旺盛,工矿炉火通红,环境持续向好。

受惠相国寺储气库最大的当推西部重镇重庆市,目今重庆市所有区县均用上了天然气,天然气占能源消费总量的10.3%,高于全国3.8%的平均水平。现在重庆已发展成为享誉全球的大都市,能源在其间起到砝码与添加剂的作用。以前,每当出现气荒之际,重庆城内的工业、民用、商业用气,均要出现短缺甚至停气的不良态势。自相国寺储气库建成运转后,一旦重庆市出现气荒,相国寺储气库便会迅速发挥功能,快速做出调剂,消除不良态势。

马克思有句名言:“哲学家们只是用不同的方式解释这个世界,而问题在于改变世界”。天然气从地下开采出来是高科技,把采出的天然气重新注入地下储备起来更是高科技。相国寺气田从原来的地下采出到注入地下再向各地应急调峰的华丽转身,不仅反映其枯木逢春,再度承续其历史的辉煌,更是折射出现代中国石油求变求强求不懈进取持续发展。相国寺储气库,国之重器,不负国家经济厚望,高歌迈进,惠泽华夏,谱写出浓墨重彩的耀目华章。

# 3分钟了解工业齿轮油

■ 王昱

传动方式多种多样,比较常用的有机械传动、气体压缩传动、电传动和液压传动。虽然,机械传动存在调速困难、操作不易、结构复杂、运动惯性大、有脉冲等缺点,但作为传统的传动方式却有其不可替代的地位,迄今在工业机械设备中仍不可或缺。齿轮传动是机械传动的一种重要形式。

工业齿轮油,按照ISO 6743.6即GB/T 7631.7《工业齿轮润滑剂分类标准》所述:工业齿轮油用于齿轮或蜗轮蜗杆的润滑,产品符号CK,其中,齿轮传动的作用是改变转动部件的转数(速),蜗轮蜗杆的传动作用是改变转动部件的方向。

## 工业齿轮油与车辆齿轮油的区别

(1) 使用场合不同。前者用于固定的工业设备齿轮箱润滑,后者用于移动的车载齿轮箱润滑。也就是说,后者用油的环境温度变化大,又系流动设备,高低温要求相对亦高。

(2) 中负荷、重负荷的车辆齿轮一般为双曲线齿轮,较之常为圆柱形或锥形的工业齿轮承载要求更高。因此,中负荷车辆齿轮油的

承载能力相当于重负荷工业齿轮油。故相当黏度等级的中负荷车辆齿轮油可以替代重负荷工业齿轮油,如90 GL-4或85W/90 GL-4可替代220 CKD。

(3) 车辆齿轮油的黏度等级是按美国汽车工程师协会SAE的规定分类,测定的是

100℃时的运动黏度。而工业齿轮油是按照国际标准化组织ISO的规定分类,测定的是40摄氏度时的运动黏度,因此替代须经换算。

(4) 分类方面,ISO只规定了工业齿轮油的分类符号C,并没有特别规定车辆齿轮油的分组符号。我国采用API使用GL-3、GL-4、GL-5分类。

## 工业齿轮油的特性

(1) 合适的黏度及良好的黏温性。黏度是齿轮油最基本的性质。流体动力膜和弹性流体润滑膜的形成与齿轮油黏度关系密切,油品的黏度大,形成的油膜厚,抗负载的能力就强。黏温性好,则黏度随温度变化而变化的程度小。油膜厚薄的变化也小。

(2) 足够的极压抗磨性。极压抗磨性好的油品会在齿轮机构高速、低速重载或冲击负荷下,形成边界吸附膜或化学反应膜。可防止齿面磨损、擦伤和胶合。

(3) 良好的氧化安定性和热安定性。齿轮油工作时,与空气、金属、杂质接触,在温度较高的情况下,易于氧

化变质,使油品使用寿命缩短。

(4) 良好的抗乳化性。齿轮油工作时,常有与水接触的可能性,油水相混,易发生乳化变质。

(5) 良好的抗泡沫性。带循环油箱的齿轮传动系统,运行时油流被搅动,容易产生泡沫,从而减少实际工作油量,以致影响散热,或引起油膜破损而增加机械磨损。

(6) 良好的防锈防腐性。油品氧化产物或因添加剂的作用常会引起齿轮的腐蚀,而水汽的存在则使金属产生锈蚀。下表为工业齿轮油的组成、特性及使用方法。

工业齿轮油的黏度越大,能承受的负荷能力也越大,但黏度越大,其流动性越差,阻力越大,自动形成油膜的速度也越慢,因此,黏度的高低要取得平衡,相互兼顾,尤其是在接触压力达到极压润滑条件时,提供保护的主力是极压添加剂而不是油膜本身,所以没必要片面追求高黏度;但总的来说齿轮油的黏度偏高于大多其他工业润滑油。

工业齿轮油的组成、特性及使用方法

分级	现行名称	组成、特性及使用方法
L-CKBM-抗氧化防锈型	普通工业齿轮油	由精制矿物油加入抗氧化、防锈添加剂调配而成,有严格的抗氧化、防锈、抗泡性能要求,适用于一般轻负荷齿轮润滑
L-CKC极压型	中负荷工业齿轮油	由精制矿物油加入抗氧化、防锈、极压抗磨剂调配而成,比CKB具有较好的抗磨性,适用于中等负荷的齿轮润滑
L-CKD极压型	重负荷工业齿轮油	由精制矿物油加入抗氧化、防锈、极压抗磨剂调配而成,比CKC具有更好的抗磨性和热氧化安定性,适用于高温下操作的重负荷的齿轮润滑
L-CKE蜗轮蜗杆	蜗轮蜗杆油	由精制矿物油或合成烃加入油性剂等调配而成,具有良好的润滑特性和抗氧化、防锈性能,适用于蜗轮蜗杆润滑
L-CKT合成烃极压型	低温中负荷工业齿轮油	以合成烃为基础油,加入同CKC相似的添加剂,性能除具有CKC的特性外,有更好的低温、高温性能,适用于高低温环境下的中负荷齿轮之润滑
L-CKS	合成烃齿轮油	以合成油或半合成油为基础油加入各种相应的添加剂,适用低温、高温以及其他特殊场合的齿轮传动润滑



# 车用润滑油应该这样换

■ 翟宇佳

对于汽车来说,润滑油的作用不可忽视,可以说有零件摩擦的地方就需要润滑油。那么,汽车润滑油加注方法有哪些呢?

## 发动机油

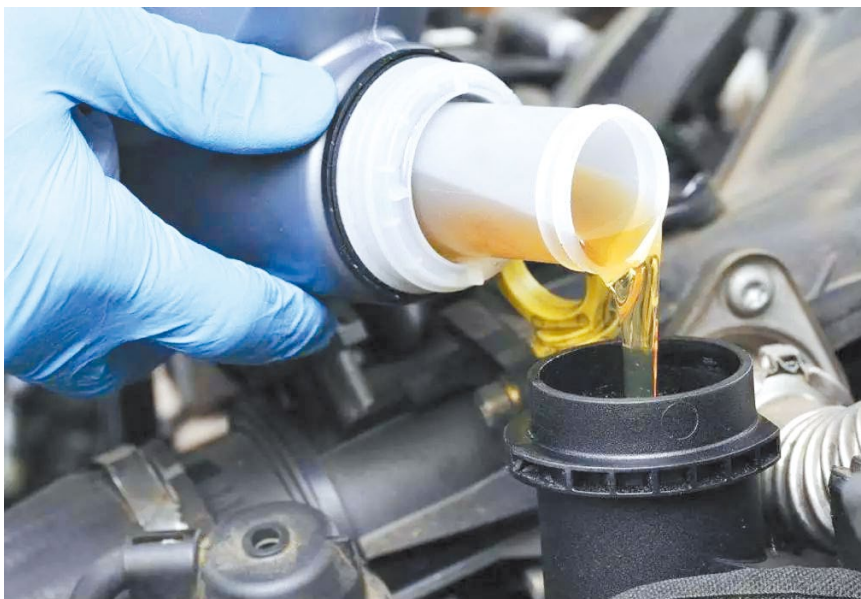
老司机都知道,发动机可以说是汽车最关键的部位,堪称是“汽车心脏”,而发动机油常被比喻为“汽车血液”。当汽车启动后,活塞和气缸之间、主轴和轴瓦之间均存在着快速摩擦,发动机油的一大作用就是在两个摩擦表面间形成油膜,油膜会将两个摩擦的零件表面隔开,从而达到减少磨损的目的。大家要养成定期更换发动机油的习惯,建议每5000公里一次。

## 刹车油

不少司机朋友都知道要检查刹车片、刹车盘的磨损情况,在刹车系统中,还有一个需要养护的重要角色——刹车油!刹车油又称制动液,刹车油在汽车刹车系统中起到传动作用。如果刹车油出现问题,制动效果势必会大打折扣,有时候甚至出现刹车失灵的情况。一般建议更换刹车油的周期是两年或行驶里程达到四万公里左右时,但是根据使用车况不同,需要进行具体判断。

## 自动传动液

为什么自动挡汽车启动时能够做到平稳、加速均匀?这是因为有自动传动液加持。自动传动液又叫ATF,是一种多功能、多用途的特殊高级润滑油。它用于汽车自动变速器中,当汽车从停



止、低速到高速行驶时,自动传动液提供动能给传动装置扭矩转换器,增大发动机功率,使发动机处于最佳工作状态,确保汽车起步平稳、加速迅速均匀、乘坐舒适。自动变速箱中ATF的换油期通常为三万公里,当行驶里程达到换油周期时,应及早更换。换油的最好方法是使用自动变速箱循环清洗器,可以把变速箱油完全换新,保证安全行驶。

## 转向机油

大家在开车时有没有觉得爱车的方向盘越来越重?这种现象很有可能是转向机油出了问题引起的。转向机油是汽车助力转向泵里面用的一种特殊的油液。通过液压作用,起到使方向盘变轻等作用,与自动变速箱油、刹车油等类似。转向机油在汽车保养中也是不可忽视的。如果长期没有更换转向机油,方向盘的手感就会变重,影响开车体验,增加车主的疲劳度。不同车型所

需的转向机油有所差别,所以最好按照车辆说明书上所指示的转向机油类型进行添加。个别汽车用的自动变速箱油也可以用作转向机油。汽车转向机油建议一年或者两万公里彻底更换一次。

## 润滑脂

润滑脂其实就是我们常说的“黄油”,是一种稠化的基础油。润滑脂半固态的形态使它能够用于液体润滑油容易流失的需润滑部位,从而能时刻保护该部位的零部件。车辆上不宜使用液体润滑剂的部位,如轮毂轴承、各拉杆球节、发动机、水泵、离合器轴承等,均使用润滑脂。例如,汽车底盘处在汽车最底部,是最容易受到外界影响的部位,水、泥土、杂质都容易对底盘造成损害,这时就需要润滑脂出马,更好地保护汽车底盘的密封性。不同汽车部位的润滑脂更换周期是不同的,建议大家遵守车辆说明书按时护理。

# 毛泽东主席因何倡导 “工业学大庆”？

■ 宫柯

## 终结了全盘学习苏联的模式

黑暗的旧中国，饱尝了落后就要挨打的苦头。1949年新中国成立后，为了迅速摆脱没有现代化工业的困境，毛泽东主席立即出访社会主义阵营的盟主，到苏联寻求技术和经济援助。经过几番艰苦的谈判，两国政府达成共识，于1950年2月缔结了为期30年的《中苏友好同盟互助条约》，中国由此开启了全面学习苏联的工业建设模式。在履行条约的十年蜜月期间，在矿山开采、金属冶炼、机械制造、电气化工等诸多领域，中国总共引进了156个工业基础建设项目，形成了初具规模的工业体系。

这一时期，毛泽东主席意气风发，指点江山，激扬文字，1953年，亲自为奠基开工的长春第一汽车制造厂题写了厂名。1956年，毛泽东主席在武汉游泳，看到苏联帮助建造的万里长江第一桥浮出水面，感慨万千，欣然赋诗“一桥飞架南北，天堑变通途。”1957年6月，毛泽东主席再次到武汉视察，亲自登上即将竣工通车的长江大桥从北岸步行到南岸。为根治困扰中国数千年的黄河水患，毛泽东主席亲自听取苏联列宁格勒水电设计院总工程师柯洛略夫关于三门峡水利工程的设计方案论证，指示水电部一定要把黄河第一坝这件关系国计民生的大事办好。

20世纪50年代，苏联援建的工业项目在一贫如洗的中国大地上纷纷落

户扎根，全盘参照苏联工业化的建设模式，暴露出不适合中国国情的种种弊端。早在1956年，毛泽东主席就敏锐地意识到中国的工业道路不能脱离实际，因此在当年4月25日召开的政治局扩大会议上做了《论十大关系》的报告，警醒全党注意：“学习任何国家的经验都不能照抄照搬，要有分析有批判地学，不能盲目学。”

果然不出所料，毛泽东主席的担忧很快应验。苏联共产党总书记赫鲁晓夫上台后，出于本国利益考虑，傲慢地向中国提出了一些有损主权和伤害自尊的无理要求，毛泽东主席断然拒绝，维系了十年的中苏友好关系出现了不可调和的裂痕。山雨欲来风满楼，中央政治局于1960年5月18日在上海召开扩大会议，研究中苏关系破裂后的应对措施。毛泽东主席心情沉重，做了《十年总结》的长篇发言，针对以往全盘学习苏联的深刻教训反省：“思想方法不对头，忘记了实事求是”，尤为严肃地指出：“前8年照抄外国经验，没有找到一条适合中国发展工业的路线。”从这一刻起，中国共产党决心不再依靠带有霸权倾向的苏联，开始独立自主地探索适合中国国情的工业化建设道路。

万事开头难，独辟蹊径的中国工业建设到底应该怎么搞？当时并没有成

熟的思路，而且还受到以美国为首的反华势力严密封锁，与西方发达国家均无外交关系，连一份刊载先进技术信息的杂志也得不到，可谓千头万绪，困难重重。面对举步维艰的局面，党中央提出了“鼓足干劲，力争上游，多快好省，建设社会主义”的总路线，领导全国人民毅然踏上了奋发图强、自力更生的创新征程。

## 中国工业化道路的探索

1916年，夺取了南满铁路控制权的日本人，在东北的鞍山一代发现了储量丰富的铁矿和煤矿，满铁株式会社出资开办了制铁所，进而形成了亚洲第一的钢铁联合企业。新中国成立前虽然惨遭战争的破坏，在十余万鞍山工人的努力下很快恢复了生产，成为当时全国规模最大、产量最高的骨干企业。

继续发展，重现活力的鞍钢，汲取在苏联被称为“马钢宪法”的马格尼托哥尔斯克冶金联合工厂的管理经验，在公司党委的领导下冲破了“一长制”的束缚，大搞群众运动，取得了快速恢复鞍钢、建设鞍钢的显著成就。1960年3月11日，鞍山市委向中央呈送了《关于工业战线上的技术革新和技术革命运动开展情况的报告》。毛泽东主席阅后甚为高兴，大加赞赏，亲笔写下了一段很长的批示，3月22日转发全国各地、



1964年2月5日，一份中共中央文件下发全国各地，告知各级党政部门：“大庆油田的经验不仅在工业部门中适用，在其他部门也适用，或者可作参考。”由此，在全国掀起了轰轰烈烈的工业学大庆运动。在十多年的社会主义建设中，许多工矿企业成就斐然，为什么偏偏后起之秀的大庆油田独占鳌头？毛泽东主席因何将其树立为全国工业战线学习的榜样？破解这个谜题，要从新中国建立之初的时代背景说起。

各部门参照学习。毛泽东主席将鞍钢的具体做法归纳为“鞍钢宪法”，推广到全国所有的工矿企业试行。

“鞍钢宪法”是我国20世纪60年代初总结的第一套工业企业管理经验，核心内容是“加强党的领导，坚持政治挂帅，开展技术革命，大搞群众运动，实行两参一改三结合。”其中，两参是指干部参加生产劳动，工人参加企业管理；一改是指改革不合理规章制度；三结合是指领导干部、技术或管理人员与工人相结合，实行党委领导下的厂长负责制。根据“鞍钢宪法”确立的基本原则，1961年颁布了内容详实的工业管理70条。从此，中国的工业建设有了明晰的指导思想，摒弃了苏联“马钢宪法”中规定的“一长制”和“专家治厂”等僵化观念，着重凸显党的领导、政治挂帅和群众运动三大主题，开始了独立自主发展工业的尝试。

1960年5月，中苏两党公开论战，7月份苏联政府单方面宣布停止援助，

### 石油工业部一战成名

历经三年的艰苦鏖战，一个超乎想象的特大型油气田横空出世，一举改变了中国百年贫油落后的危局。1963年末，在北京人民大会堂召开的第二届全国人大四次会议上，余秋里代表石油工业部报告了开展松辽石油大会战的基本情况和取得的辉煌战果，首次揭开



当年宣传工业学大庆、农业学大寨的海报

撤走了全部在华专家，背信弃义的行径激发了中国共产党人不屈服任何外来压力，坚定走社会主义道路的自信。此刻，由石油工业部党组领导的松辽石油大会战，正按照“鞍钢宪法”指引的方向，在困难的时间、困难的地点、困难的条件下迈着坚定的步伐，挺进苦寒绝塞的巨古荒原。

了大庆油田神秘的面纱。周恩来总理庄严宣布：“我国需要的石油，现在可以基本自给了！”一石激起千层浪，群情激奋的热烈掌声经久不息。

1963年岁尾拨云见日，中国共产党领导全国人民顶住了外部的各种压力，战胜了内部连续三年的自然灾害，

经济状况日益好转。12月26日这天是毛泽东主席的70岁寿诞，在京的中共中央核心层领导人齐聚丰泽园，以聊天的方式畅谈大好形势，为毛泽东主席祝寿。兴高采烈的毛泽东主席提议把余秋里请来，要听他谈谈石油大会战。

匆匆赶到中南海的余秋里，看到在京的政治局常委都在座，不知道发生什么重大事情，紧张得有点不知所措。一听毛泽东主席让他讲一讲烂熟于心的石油大会战，顿时一块石头落了地，一口气讲了三个来小时。毛泽东主席听得津津有味，尤其对两论起家的提法特别感兴趣，风趣地说：“我那两本小书还有这么大的作用啊！《实践论》比较好看，《矛盾论》比较难读。”余秋里回答：“我们主要学基本观点，掌握认识论和方法论。我觉得这两本书



人民日报刊发《大庆精神大庆人》截图

的作用很大嘞!”

在座的其他党和国家领导人听了余秋里的介绍,一致称赞石油工业部组织领导的松辽石油大会战搞得很好,大长了中国人的志气,有创新、有干劲,堪称是贯彻“鞍钢宪法”和社会主义建设总路线的典范。一直在思考中国的工业到底该怎么搞的毛泽东主席更是眼前一亮,心花怒放,感到石油工业部组织领导大庆石油大会战的做法正中下怀,完全符合中国的国情,当即表态:“我看这个工业,就要这个搞法,向你们学习,要学大庆嘛!”。满面春风的毛泽东主席一锤定音,确立了“工业学大庆”的指导方针。

1964年新年伊始,万象更新。2月5日,中共中央办公厅向全国各地发出了《关于传达石油工业部关于大庆石油

会战情况的报告的通知》。同一天,毛泽东主席在接见外宾时谈到大庆油田,动情地说:“用比较少的投资、比较短的时间,全部自己制造设备,三年找到一个油田,建设了600万吨的炼油厂,比苏联还先进。”欣喜之情溢于言表。2月19日正月初七,在人民大会堂召开的春节座谈会上毛泽东主席再次号召:

“学解放军、学石油部的大庆经验。”中共中央宣传部闻风而动,立即派出一个阵容庞大的记者团到大庆油田采访。4月20日《人民日报》头版头条刊出:“学习大庆经验把革命干劲和科学精神结合起来”的通栏标题,发表了新华社记者袁木、范荣康合写的通讯《大庆精神大庆人》。这篇笔触生动、人物鲜活的报道,迅速在全国引起强烈反响,由此引发了轰轰烈烈的工业学大庆运动。

### 毛泽东主席赞赏的精髓

中苏关系破裂后,中国共产党在探索工业建设如何继续发展的过程中,石油工业部交上了一份特色鲜明的答卷。当时总结的主要经验共有9条:

- (1) 社会主义的现代化,必须革命化;
- (2) 高度的革命精神与严格的科学精神相结合;
- (3) 现代化企业要认真搞群众运动;

(4) 认真做好基础工作,狠抓基层建设;

(5) 领导干部亲临前线,一切为了生产;

(6) 积极培养和大胆提拔年轻干部;

(7) 培养一个好作风;

(8) 全面关心职工生活;

(9) 全面地学习人民解放军的政

治工作。

毛泽东主席之所以倡导工业学大庆,最主要的原因是大庆油田的开发建设没有任何历史因素的纠葛和外来观念的影响,是纯粹的中国独创。毛泽东主席特别赞赏余秋里把解放军的传统作风和政治工作经验成功移植到工业建设之中的新做法,为贯彻落实“鞍钢宪法”的精髓找到了切实可行的途径。甩开洋拐棍之后的1960年到1963年,其他部门的工业建设成就虽然也有许多可圈可点的华彩,但是与大庆油田的成功相比,或多或少都有不尽人意的缺憾,唯独大庆油田的建设经验完全符合毛泽东主席立志独立自主、奋发图强的心愿,为中国继续走工业化发展道路的既定目标树立了政治挂帅的样板,既有利于促进领导干部克服官僚主义的严格制度,又有相信群众、依靠群众、大搞群众运动的蓬勃亮点。这套青出于蓝而胜于蓝的系统经验,是“鞍钢宪法”具体化的成功实践。毛泽东主席倡导工业学大庆的核心要义,就是要求工矿企业时刻不能脱离党的领导,保持健康发展的势头,快速赶超世界先进水平,开创出具有中国特色的工业化奇迹。

时至今日,大庆红旗依然鲜艳夺目。在庆祝大庆油田发现60周年之际,习近平总书记致电殷切勉励:“希望大庆油田全体干部职工不忘初心、牢记使命,大力弘扬大庆精神、铁人精神,不断改革创新,推动高质量发展,肩负起当好标杆旗帜、建设百年油田的重大责任,为实现‘两个一百年’奋斗目标、实现中华民族伟大复兴的中国梦做出新的更大的贡献!”

历经半个多世纪的栉风沐雨,不褪色的大庆红旗充分彰显了中国共产党的执政能力和创新能力,毛泽东主席号召“工业学大庆”的高瞻远瞩,为中国的工业化进程打下了永续发展的坚实基础。



在大庆铁人王进喜纪念馆第二展厅,有一块大屏幕,当讲解员讲到铁人王进喜跳泥浆池的故事时,屏幕便播放出一段铁人王进喜带伤跳泥浆池用身体搅拌泥浆制服井喷的视频。常有观众带着怀疑的目光小声嘀咕:“难道铁人王进喜跳泥浆池时,提前放好了摄像机?”进而有观众怀疑铁人王进喜跳泥浆池的真实性,也曾有观众就此疑问主动向馆内讲解员或者馆内工作人员咨询。那么王进喜的荧屏影像到底是怎样留下的呢?



1964年王进喜与大庆战歌导演孙永平合影

《大庆战歌》背后的故事——

## 王进喜的视频资料是怎样保存下来的?

■ 许俊德

1959年9月26日,松辽盆地三号基准探井喷油,标志着大庆油田的诞生。1960年2月20日,经党中央批准,一场史无前例的石油大会战拉开了帷幕,当年生产原油97万吨。到1963年底,建成了年产原油500万吨的生产能力,三年累计生产原油1166.2万吨,占同期全国原油产量的51.3%,撑起了中国石油的半壁江山。1963年11月17日,全国人大二届四次会议公报宣告:“我国需要的石油及石油产品,现在已经可以基本自给了。”大庆石油会战一直处于对外保密阶段,三年多的苦战,成就辉煌,毛泽东主席在1964年1月25日向全国发出“工业学大庆”号召,让大庆的名字名扬天下。

从1964年开始,中央各大媒体开始大力宣传大庆精神、大庆人。周恩来总理指示,要拍摄一部反映大庆石油会

战的电影纪录片,于是才有了《大庆战歌》这部片子,而这部片子里,留下了大量铁人王进喜的珍贵影像镜头。那么这部片子又是如何拍摄出来的呢?它又经历了哪些波折呢?

2011年盛夏的一天,笔者和同事有幸在上海拜访了81岁高龄的上海电影集团演员、导演孙永平先生。老人向我们讲述了《大庆战歌》的拍摄经历。

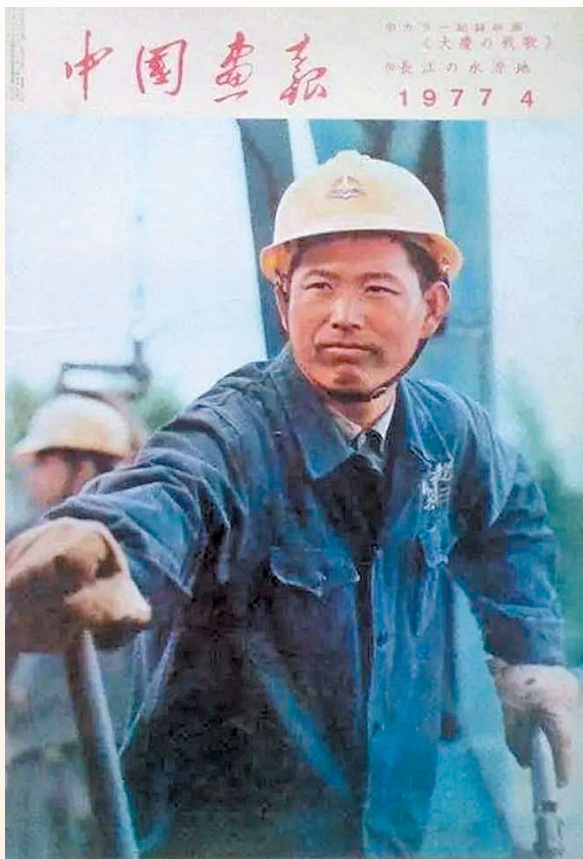
1964年11月,34岁的孙永平受命来到大庆体验生活,准备拍摄一部反映大庆会战的电影。后来,周总理指示拍摄一部艺术性纪录片。孙永平一头扎进了1205钻井队。他和工人一起吃住,一起劳动。哪里的活最累,他就到哪里。他从来没有把自己当导演。钻井队的工人都很喜欢他,都亲切地叫他在《渡江侦察记》中扮演的角色



接受采访的孙永平

“小马”。劳动让他和1205钻井队的工人结下了深厚的友情,成为终生的好朋友。

孙永平第一次见到王进喜,是1965年6月之后,当时王进喜已经是钻井指挥部副指挥。孙永平记得是在大庆政



当年大庆战歌宣传海报

治部宣传部为海燕电影制片厂组织的一次座谈会上,请铁人王进喜介绍1960年初如何从玉门油田来大庆参加会战的情况。编剧王苏江、叶丹把孙永平介绍给王进喜。后来孙永平跟王进喜谈起周总理指示拍摄纪录片《大庆战歌》的事,需要铁人和1205队配合,当一回演员。王进喜说:“我哪会演电影啊?我就懂得钻井搞油。”孙永平解释说:“王副指挥,不是叫你演电影,是把你们过去做过的事重新演示一遍,然后拍下来。”王进喜还是不太理解:“过去的都过去了嘛,你怎么叫它倒回来?”孙永平说:“比如,你们过去人拉肩扛安装钻机。现在找一口井,让你带领1205钻井队的钻工,重新拉一次,我们拍下来。”“是这样。”铁人明白了。和铁人接触多了,孙永平就不再称呼“王副指挥”,而是叫“老铁”,显得更加亲切。

《大庆战歌》剧本定下后,1966年上海电影局副局长、导演张峻祥开始拍摄。在拍摄铁人王进喜跳泥浆池搅拌泥浆压井喷时,孙永平意见不统一。孙永平认为,这是片中的重头戏,一定要多拍一些素材可供挑选。张峻祥认为,片子里用不了几个镜头,拍够用就行了,拍多了浪费时间浪费胶片。孙永平得知铁人马上要出访阿尔巴尼亚,一旦拍摄得不理想,铁人不在家,没法补拍。所以坚持多拍。铁人本来就不希望把自己拍摄太多,当得知两个导演的分歧后,就找到孙永平说:“老孙,不要把

我拍太多。”孙永平那年才34岁,铁人就称呼他“老孙”。孙永平本来因为和张峻祥局长的分歧而生气,见铁人来找他,就气不打一处来:“王老铁,我不是拍你王进喜,我是拍王铁人,非拍不可。我们的事你别干预。我是导演,你听我的。”铁人笑着说:“噢,噢。”表示听从导演安排。

后来,影片送到北京给周总理审看后,总理看到铁人跳泥浆池这段,称赞说:“王铁人就是王铁人!”

但影片的拍摄并不是一帆风顺。在片子拍摄到五分之三时,张峻祥和另一位导演遭到冲击被调回上海。剩下的任务落到孙永平一个人身上。但很快,二号院的墙上就贴满了批判孙永平的大字报。孙永平的压力很大。宋振明得知后找到孙永平,鼓励他说:“你不要管他!你呀,放心干。大庆工委相信你,大庆人全力以赴地支持

你,你要怎么拍就怎么拍,我保证你拍的顺利。这个任务是总理交给咱们的,咱们不完成行吗?一定要完成!”孙永平深受鼓舞,坚定地说:“铁人宁肯少活二十年,拼命也要拿下大油田,我少活二十年也要拿下《大庆战歌》。”

拍摄完成后,由于上海动乱,无法做后期,孙永平就到北京新闻电影制片厂找了一间剪辑室,完成了初剪。为了片子不受到人为的破坏,孙永平把剪辑好的片子存放起来。直到1976年结束动乱后,该片才有机会和观众见面。当年参加会战的工人和指挥会战的石油部领导们,激动地流下了热泪。此时铁人王进喜已经去世6年,他永远看不到自己的镜头了。

回忆起铁人,81岁的孙永平老人流泪了。“如果没有铁人,没有康部长、余部长,没有宋振明,没有大庆,就拍不成《大庆战歌》。”

是的,没有孙永平,就不会有《大庆战歌》,没有《大庆战歌》,就不会有我们今天看到的铁人和他的队友们的真实影像,就不会有我们今天看到的当年那些珍贵的历史镜头——那是一段活着的历史,饱含着孙永平等一批艺术家的心血和真情。

我们对老人充满敬意,也充满感激。

由于其对宣传大庆做出了特殊贡献,2010年1月,孙永平被大庆油田党委、油田公司授予“大庆油田荣誉职工”称号。他说:“我对其他的荣誉都没那么重视,就这个我很高兴。”临别时,老人高兴地把他精选并珍藏了40多年的《大庆战歌》胶片赠送给大庆的客人,他说,放到铁人纪念馆才能充分发挥这些老镜头的作用。

就在我和同事采访完孙永平老人的当年11月,老人因病去世。他的口述也成了铁人纪念馆珍贵的资料。



# 我国第一个丙烯酸类生产基地

## 东方化工厂

■ 刘金海

北京炼焦化学厂、北京化工二厂、北京化工实验厂相继建成投产后，北京从此有了以焦炭、焦油为原料的有机化学工业产品的生产。但是，由于当时受设备和技术等制约，生产的品种不多，主要是电石乙炔、苯酚、苯、萘、甲醇、甲醛等产品，还不能生产丙烯酸类产品。丙烯酸类产品属有机化工原料，20世纪60年代国外开始大量生产，并广泛用于纺织、造纸、建筑、医药等十几个行业。过去，我国只能从国外进口，每年进口量约万吨，耗资1000万美元。

为了填补此项空白，国家有关部门同意北京市筹建以生产丙烯酸类产品为主的化工厂，并从日本引进了年产3.8万吨丙烯酸类产品的成套装置。1978年9月，北京市开始筹建该厂，并命名为东方化工厂，这是我国建设的第一个丙烯酸类生产和科研基地。到1998年12月，该厂累计完成固定资产投资54.1159亿元。

### 停建不下马

东方化工厂位于北京市东南通州区张辛庄化工区，京津公路北侧的古运河畔。这里原是一片荒滩沙丘，寸草不生，数里之内荒无人烟。1972年，北京市将这块不毛之地定为化工区，开始建设和迁来一些小化工厂。1980年4月，东方化工厂在这里开工建设。按设计，它是北京市化学工业系统规模最大、技术最为先进的大型化工厂，计划投资约2.7亿元。北京市化工局党组



昔日的东方化工厂厂区

把这项工程作为发展首都化学工业的一项战略措施，抽出3名副局长担任筹建处的领导，同时从全系统抽调400余名中青年技术骨干和管理人员参加筹建。

1980年11月19日，国务院根据全国人大五届三次会议对国民经济进行调整的决定，停建了东方化工厂。此时，前期2600多万元投资已经付出，已完成了“三通一平”（通水、通电、通路，平整后的场地），已铺设32公里地下管道，从外国购进的3787箱（件）、总量5907吨的各种设备，都沉睡在各个角落里。从日本引进的大型设备——两件重量超百吨的反应器正运往北京。尤其使人焦心的是，这两件庞然大物属于铁路运输的超限设备，运输不便。在这种情况下，北京市化工局领导赶到现场召开紧急会议，提出10条措施，要求全体职工坚决贯彻国务院决定，坚守

岗位，保护好国家财产。筹建处一方面组织施工队伍撤离，合理安排设计和施工人员封存资料，保护现场。另一方面组织力量运输那两个“庞然大物”。

筹建处组织人员对运输两个“庞然大物”的路线——大沽至北京的公路沿途13座桥梁的通过能力，200余处高压线、电力线、电话线允许通过高度，进行了勘测，并会同京津两市的市政、公安、设计等部门，对运输车辆的轴转变半径、车队要经过的单行路段进行了测量、计算。1980年10月，天津市经委联运办公室、北京市经委运输指挥部分别召开专门会议，制定了这两个“庞然大物”的启运、故障排除、车辆配置、交通疏导等各种措施。11月4日，200吨浮吊停泊在大沽口岸，将代号分别为RO01、RO02的两个“庞然大物”从货船吊装到有12根轴的大型平板车上。由先导车、运输车、押运车、架线车、

油罐车组成的车队经过近50个小时的运行,比计划提前一天抵达东方化工厂施工现场,3787箱重达5907吨的设备、材料件件完整无损。经过开箱检查,共查出大小问题18000个,其中向外方提出索赔的有500多个。到1981年3月,两个“庞然大物”的接运工作全部完成。全体留守职工在十分困难的情况下,用心血和汗水认真保护着这些设备。1982年复建时,这些设备完好无损地呈现在广大施工者面前。

### 复建抢时间

1982年3月,国家计划委员会决定,将东方化工厂作为国家发展国民经济第六个五年计划期间的重点工程恢复建设,但是要缩小规模。此时,从日本引进装置的机械保证期只剩下18个月的时间,逾期后,日方对设备发生的问题将不再承担责任。如按合理工期安排施工,需要30个月。经过多方面调查研究,反复协商、讨论,决定赶在18个月机械保证期满前,即在1983年10月前建成引进装置和相应的公用辅助工程。

筹建处仅用16天准备时间就决定开始建设,并“关死后门、倒排进度”,以18个月建成试车为目标,对工程实施统筹控制,日夜施工。1983年9月,工期如期竣工,110个单项工程的优良品率达93.6%,总投资2.7451亿元。但在联动试车时发现部分设备、仪表不符合要求,日方需要一段时间处理,所以化工投料试车推迟到1984年5月19日,并将此日定为建成投产时间。由于事先准备周密,到了这一天,氧化、精制、甲酯、乙酯、丁酯、辛酯及废气、废液处理等也全部一次试车成功。按照国家计划委员会下达的《计划任务书》开列的东方化工厂建设内容、生产能力和投

资规模为:引进年产3.8万吨、6个品种丙烯酸及酯类产品的成套设置,国内配套年产3.6万吨多品种丙烯酸树脂装置,总投资2.7亿元人民币。后来,东方化工厂又对丙烯酸酯及丙烯酸树脂类生产装置进行扩建,到1990年9月,先后建设了年产3000吨的溶液型丙烯酸树脂、年产2000万平方米的压敏胶制品、年产6000吨的三元共聚树脂、年产6500吨的丙烯醛改丙烯酸乙酯、年产1500吨的丙烯酸羟基酯等生产装置,每个工期一般在一年至两年半,最低投资仅895万元,最高投资2660万元。上述5项工程共投资7143万元。从1989年3月起,东方化工厂建成了年产1.5万吨的第二套丙烯酸生产装置(2AA)。从1996年起,又扩建年产丙烯酸3万吨、丙烯酸丁酯3万吨的第三套丙烯酸生产装置(3AA)。上述两项工程共投资8.7585亿元。

从日本引进的第一套丙烯酸及其酯类装置建成投产后,结束了我国该产品长期依赖进口的局面。进入20世纪90年代,东方化工厂扩大规模,陆续从国外引进第二套和第三套丙烯酸及酯类装置,成为我国目前规模最大、品

种最全、质量最优的丙烯酸及酯类产品的生产、科研、开发基地,近20个产品在同类产品中名列前茅,享誉海内外。

1990年至1994年,东方化工厂采用荷兰动力技术国际公司新开发的GK-V型炉,建设了6台乙烯裂解炉,这种装置裂解性高、热效率高,对原料选择具有一定灵活性。裂解分离采用意大利TPL公司工艺流程,不仅节能而且设备造价低。除引进上述生产装置外,还采用美国科学设计公司技术,安装了年生产能力达1864吨的环氧乙烷和年产4万吨的乙二醇生产装置。这些装置具有自动化水平高、原料和能源消耗低、安全性能好等特点,1992年6月动工,1995年1月竣工,两项投资共38.3365亿元。1997年12月至1998年12月,东方化工厂以本厂生产的环氧乙烷为原料,与法国罗纳普朗克公司合资生产的非离子表面活性剂技术装置竣工投产,年产乙基氧化物3万吨,磺化物2.25万吨,投资金额1.9524亿元。

从1993年起,东方化工厂还先后与美国和法国的外商合资,建成了两个合资工厂:国内最大的丙烯酸树脂工厂——东方罗门哈斯有限公司,先进的



东方化工厂拆除前原貌



表面活性剂工厂——东方罗地亚化工有限公司。

东方化工厂厂区占地面积128万平方米,有员工1847人,固定资产原值48亿元。2002年12月26日,东方化工厂与中国石油化工集团大规模资产重组的工作基本完成,正式成立北京东方石油化工有限公司。从此,原属北京化工集团的乙烯系列81.34亿元的债权转为股权,东方化工厂作为北京东方石油化工有限公司的龙头,正式并入中国石化。

### 主要产品

东方化工厂采用石油化工企业提供的丙烯为基础原料,生产在我国尚属空缺的丙烯酸类系列产品,不仅为我国有机化学原料的生产填补了空白,也结束了丙烯酸类系列产品长期依赖进口的局面。同时,北京有机化学原料工业作为化工生产的一个强大门类,也开始了新的发展阶段。东方化工厂主要产品有丙烯酸(及酯)乙炔、环氧乙烷三大系列产品,产品种类达数十种,年总物流量百万吨。丙烯酸及其酯类产品广泛用于建材、纺织、涂料、黏合剂、水处理、卫生材料、农业等10多个行业,应用开发前景极好。东方化工厂的“云燕”牌丙烯酸及酯类产品曾获国家金质奖章,成为国家出口免检产品,畅销全国,远销亚、欧、美三大洲。2000年7月,北京质量技术监督局和北京市经委授予“云燕”牌聚合级丙烯酸,丙烯酸甲、乙、丁酯和乙二醇“北京市名牌产品”称号。2004年9月,丙烯酸及其酯类环氧乙烷、乙二醇等产品,被评为北京市名牌质量。

### 重大伤亡事故

东方化工厂在1997年6月27日晚21



火灾现场

时左右,发生了重大爆炸事故,共造成9人死亡,39人受伤,直接经济损失1.17亿元。

事故共烧毁油罐10座,其中1万立方米原料罐6座,轻重油罐4座。乙烯B罐解体成7块残片飞出,其中被炸飞最重的一块残片为46吨,飞出234米;另一块残片13吨,飞到厂外840米远的麦田里。乙烯A罐被炸倒在地,顶部爆有裂口,乙烯C、D罐出入口管线均已烧毁,戊烷罐腰部爆开了一个大口子,其余10多个油罐和球罐都有不同程度的烧损。油罐和球罐保温材料脱落,铁皮被炸飞,半地下油泵房爆炸倒塌。火车卸油站台的油罐车烧损,铁轨移位变形,多处管线管架倒塌烧毁。操作室天花板、门窗和表盘炸塌炸损。罐区周边的房屋及建筑物部分被摧毁,强烈的辐射热将罐区近5平方公里内的树木全部烤焦。

这次重大事故是怎样造成的?据专家组调查,6月27日上午,原料罐区进行石脑油卸油作业,晚上8时前交接班

后,铁路油罐车开始向原料罐区卸轻柴油。由于操作工开错了阀门,把该送到轻柴油B罐中的轻柴油送到了已装满石脑油的A罐中。因为石脑油A罐已装满,导致大量的石脑油冒顶外溢,挥发成可燃气体,很快在整个罐区弥漫起高浓度的石脑油油气,遇到明火即发生爆炸,随后引起乙烯爆炸及整个罐区大火。

这次特大爆炸事故,造成北京化工集团所属东方化工厂有机化工厂、化工二厂、助剂厂7套化工生产装置全面停产,为其配套的北京普莱克斯空分装置被迫半负荷运行。经过复建,直至1998年6月22日,北京乙烯装置才全面恢复生产。

伴随着产业转型升级、生态环境保护要求不断加强,2012年东方化工厂完成历史使命,正式停产。经过两年的时间,东方化工厂及周边棚户区完成了搬迁腾退。化工厂搬迁后,相关部门实施了土壤修复和地下水专项治理。

# 二战中鲜为人知的德国防军 “石油技术旅”

■ 郭永峰

在近代国家军队编制中，新中国建立初期组建的“石油师”，即中国人民解放军“石油工程第一师”，以其对于中国近代石油工业发展的卓越贡献与显赫成就，而巍然屹立在世界各国军种系列之中。近70年来，由原来中国人民解放军西北野战军19军57师的8000名官兵组建的“石油师”，参与建国后国内各个大型油气田的开发与建设，为成就享誉世界的大庆油田、胜利油田、辽河油田等，立下汗马功劳。

然而，国内民众之前很少知晓，在世界近代史中，德国国防军也有一支正规的石油专业部队，即“石油技术旅(TBM, Technology Brigade of Mineral)”，曾在第二次世界大战中执行石油专业特殊任务。

## 二战中德国国防军 为何组建“石油技术旅”

### 1. 德国征服别国的战略特征

1940年5月，德国开始攻打法国，并于1个月后获胜，进而开始进攻英伦岛。德国空军对英国的轰炸，遭遇英军战斗机编队的顽强抵抗。德国统帅部经过测算得出结论，如要打下英国，德国需要大量石油供应。而德国由于自身地质条件，能够拿出手的石油不多。所以，德国首先需要打下苏联，占领苏联产油区，为最后彻底攻占英国，赚取必要的石油储备。

### 2. 德国自身石油产能低下

德国具有丰富的煤炭资源，但缺乏石油资源。二战期间，德国原煤年产量5.8亿吨，石油年产量仅275万吨，大约相当于当前中国油田排名第21位的新疆吐哈油田年产量。二战中，德国年消耗石油800万吨，而每年进口石油525万吨，其中进口石油占其国内总需求量的66%。

德国的石油工业年产量不高，甚至无法满足自身军队50%的需求。这些因素直接促使德国统帅部提出“闪电战”的战略与战术理念。德军提出“闪电战”的先决条件，是德国没有充足的石油储备，所以必须在战役的第一阶段，将集团军全部油料提供给先头装甲部队，驱动坦克、装甲车、摩托车等向敌方进行短暂的致命一击。德军不打“闪电战”是不行的，其战场上的油料无法打“持久战”。

### 3. 德国军队“装甲化率”偏低

二战中，德国军队中装甲师占有率为18%，而英美两国军中装甲师占有率均为24%。相比较而言，德国军队中装甲师所占比例最低。更为奇特的是，德国平均每个步兵师配有5375匹马。在整个战争期间，德国军队高达70%的补给运输，仍然是马拉实现的。这也从侧面揭示德国军队极端缺乏石油燃料的实情。

在二战中，德国政府以争夺石油出产地为目的的全球战略，促使其着手考虑在战场先头集团军中，配备石油专业建制军团，以便在其占领敌国油田之后，能够迅速恢复油田产能，

为主力军团继续向纵深作战提供燃油保障。

## “石油技术旅”的前身 “石油突击队”

在德军组建“石油技术旅”之前，曾成立过“石油突击队”建制。

### 1. 波兰战役“石油突击队”牛刀小试

1939年9月，德国军队展开入侵波兰战役。作为先头部队，德军第22军团首先冲向波兰东南部，以便夺取波兰加利西亚(Galicia)的油田与炼油厂。

战役开始前，德国陆军司令部经济科，特地委任战前来自德国石油行业的陆军少校埃里希·威尔(Erich Will)组建一支“石油突击队(Oil Commandos)，跟随第22军团进入波兰，负责占领加利西亚油田与炼油厂后的石油产能恢复工作。

于是，一支由50名石油勘探和开发专家组成的便衣突击队，随着先头部队进入油田外围城镇，并在当地设立前线基地。不巧的是，苏军抢先进入波兰油田，德国只获得30%的波兰石油。后来，德国经过与苏联谈判，不得不向苏联购买其余70%的波兰石油。这一环节构成日后德苏“反目”，德国大举进攻苏联的“借口”。

### 2. 法国战役“石油突击队”接管油田

在德军攻占法国战役中，“石油突击队”接到命令，随军进入法国，夺取



法国东北部的Pechelbronn油田。这个油田有650口油井和4座炼油厂。1940年6月21日,在法国“法奸”组织的帮助下,“石油突击队”挫败法国抵抗组织爆破油井设备的计划,未开一枪就成功占领油田。

在这次战役中,德军“石油突击队”不仅在法国油田储存了50万吨石油,而且在几个月内恢复了法国油田全部产能。除此之外,突击队还在法国油田夺取了欧洲其他国家大量石油地质资料,包括苏联油田地质报告。突击队的石油地质专家在快速浏览之后,将全部资料打包运回柏林,企图为日后德军进攻苏联油田作技术准备。

3. 德国军方决定在“石油突击队”基础上组建“石油技术旅”

尽管德军入侵波兰并没有达到预先占领油田的目的,但希特勒听取“石油突击队”汇报后,还是非常高兴。遂命令空军少将,时任德国空军总司令的埃里希·霍姆伯格(Erich Homburg)组建“石油技术旅”(图1)。



图1 二战中德军空军总司令兼“石油技术旅”旅长埃里希·霍姆伯格(Erich Homburg)空军少将



图2 二战中德军“石油技术旅”在苏联战俘帮助下修复占领区被苏军拆毁的铁路

### 德国国防军“石油技术旅”的建制与活动

#### 1. “石油技术旅”的建制与人员组成

表1 德国国防军“石油技术旅”的组成与建制

建制名称	服务内容	人数
旅司令部及参谋部		150
第一营	第一连	600
	第二连	
	第三连	
第二营	综合技术营	1800
第三营	天然气技术营	800
第四营	水资源技术营	800
第五营	石油工程师营	500
第六营	通讯营	300
大型设备运输连		150
原油输送连		100
人员运输连		100
野战医院		80
总计		约5500

“石油技术旅”的正式建立是在1942年3月29日,主持成立仪式的是德国元帅戈林。戈林任命空军少将埃里

希·霍姆伯格为石油技术旅旅长;陆军少校埃里希·威尔为旅参谋长,负责石油技术工作。

“石油技术旅”的总兵力为5500人,巅峰时期人数多达15,000人,增加的主要是非编制人员,大部分是德军战场俘获的欧洲战俘,其中多数是苏联战俘(图2)。“石油技术旅”的任务是在德军占领敌国油田后,迅速恢复油田原油生产,并向战场的德国装甲部队提供石油。

#### 2. 二战期间“石油技术旅”的基本活动

二战期间德军“石油技术旅”的多数工作,是以“分遣队”形式,向“东线”与“西线”的各个战场派遣各种石油专业特遣小分队,在新占领的油田从事油井产能恢复工作。特别是对于



图3 二战中德军“石油技术旅”在攻占苏联迈科普(Maikop)油田后恢复油田产能

敌对国家撤退前有意损毁的油田设备，“石油技术旅”要进行原有设施的拆除或者恢复，耗费了“石油技术旅”大部分人员与精力(图3)。

为了有效开展工作，“石油技术旅”建立石油装备与材料后勤支持基地。基地设在位于德国与波兰边境的德国小镇布雷斯劳(Breslau)。仅为了支持德在苏战场新占领苏联油田的产能恢复工作，“石油技术旅”通过铁路将8万吨石油设备运往黑海，再装上渡轮运到新占领油田(图4)。而在另一些时候，“石油技术旅”的特遣小分队所需装备，则通过飞机空运，到达其作业的油田。



图4 二战中德军“石油技术旅”在苏联迈科普(Maikop)油田雨季施工

德军“石油技术旅”的工作，没有达到德国统帅部原有期望与要求。1942年11月21日，戈林元帅会见“石油技术旅”旅长，对其工作业绩表示不满。2个月后，戈林决定调派相当部分“石油技术旅”人员到爱沙尼亚开采页岩气(图5)。



图5 二战中德军“石油技术旅”在爱沙尼亚气田开采页岩气

对于德军来说，“石油技术旅”的工作也并非一无是处。在德军代号为“雪绒花”行动中，德军攻克了苏联三大油田之一的迈科普(Maikop)油田。“石油技术旅”在油田建立基地。不幸的是，在夺取油田作战中，“石油技术

旅”阵亡20人，受伤60人(图6)。



图6 二战中德军“石油技术旅”在苏联迈科普(Maikop)油田冒着苏军飞机轰炸进行火车石油外输

虽然苏军撤离油田之前彻底摧毁迈科普油田的油井设备，但“石油技术旅”很快恢复油田生产，并且在1942年12月至次年1月，取得了令人鼓舞的产量业绩(图7)。后来由于苏军展开高加索战役，1943年1月17日“石油技术旅”接到命令撤离迈科普油田。直至1月24日，“石油技术旅”销毁迈科普油田1万吨油井设备，给苏军重新占领油田后恢复产油设置多重障碍，造成巨大困难。

### 德国国防军“石油技术旅”的完结与影响

随着1945年5月9日德国政府在投降协议上签字，德军战败投降，德军的“石油技术旅”也“寿终正寝”了。

从客观上看，“石油技术旅”占领

苏联油田后的恢复产能作业，将许多德国独有钻井、采油与炼制工艺带入油田，而苏联反攻后重新占领这些油田，利用德国技术用于提高石油开发水平，苏联石油技术也由此获得长足进展。

1951年，苏联石油专家根据中苏协议进入中国新疆油田与甘肃玉门油田，帮助新中国勘探与开发油田，将这些德国石油技术带到中国。所以，国内石油史书籍常提起的1950年代引入中国的苏联及罗马尼亚石油钻井技术，实际上是德国石油技术；甚至到中国的部分苏联石油专家，也曾是“二战”德军俘获的战俘。

在国内石油史学界，有一种看法认为中国20世纪50年代成立“石油师”时，有可能参考了40年代德国“石油技术旅”的模式。其理由是40年代玉门油田进口多部德国制造的钻机，当时中德两国石油业之间交往较为密切。另一个理由是1952年2月毛泽东主席签发命令，将中国人民解放军西北野战军19军57师改编为“解放军石油工程第1师”，而解放军石油师的内部建制，与德国“石油技术旅”的内部建制极为相似。解放军石油师下属3个团，第一团为钻井团，第二团为炼油与基建团，第三团为运输团。但要得出最后结论，还有待于进一步研究。



图7 二战中德军“石油技术旅”在苏联迈科普(Maikop)油田进行石油泵车作业





# 石油的奥秘

## ——石油的自述·我的传奇之一——

■ 马新福 | 石油工业出版社编辑、副编审，策划出版《地质之美》等多部科普作品。

我叫石油，还有一个孪生兄弟，叫天然气。

一千多年前，沈括在他的《梦溪笔谈》中根据我“生于水际砂石，与泉水相杂，惘惘而出”正式给我起了这个名字。不仅如此，他老人家还对我进行了细致的考察，做出了“……盖石油至多，生于地中无穷，不若松木有时而竭”的大胆判断，预言我将“后必大于世”。

应该说，他的预言在千年之后成真了。在现代社会，我的作用称得上呼风唤雨了吧。不服吗？人们的衣、食、住、行哪一样少得了我？

世人常常惊叹于我的神通变化，却不知道我的奥秘，借此机会，我就先做一个自我剖析吧！

### 有机物是我的灵魂

有机物通常是指由碳、氢元素组成的化合物及其衍生物，是有机化合物的简称。我主要是由碳、氢两种元素组成，按质量计算，碳占83%~87%，氢占12%~14%，剩下的1%~3%中，有硫、氧、氮元素，还有极微量的磷、钒、钾、镍、硅、铁、钙、镁、钠等元素。所以，我是由多种碳氢化合物及其衍生物组成的混合物。

目前人类已知的有机化合物达上百万种，而无机物的数量仅仅有5万种。可以说，纷繁复杂、斑斓多彩的世界更多的是有机物的展现，而与人类生活息息相关的现代化工大多数也是石油化工的体现。



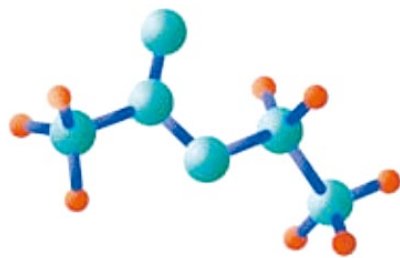
石油的构成

### 烃是我的本质

由于我的组成元素主要是碳和氢，人们便把“碳”中的“火”和“氢”中的“丕”组合在一起，写为“烃”。“烃”这一个字就道出了我的本质。

烃的结构可以分为链式结构和环状结构。相传这两种结构都是德国化学家凯库勒“梦”到的。凯库勒有一次前往伦敦的路上，在车上打了一个瞌睡。睡梦中他好像看见碳原子在眼前翩翩起舞，手牵着手，连成长排。于是烃的链式结构诞生了。

可是这一结构好像不适合某些化合物，例如苯，分子式为 $C_6H_6$ 。凯库勒无法解释这个分子式的结构，冥思苦想了7年没有进展。怎么办呢？难不成还要接着做梦？果然，有一天晚上，他梦到一条蛇咬



链式结构图



环状结构图

到了自己的尾巴，等他醒来突然领悟到这就是烃的另一种结构——环状结构。

## 五彩缤纷是我的本色

在人们的印象中，我是黑黝黝的，就像煤炭的颜色。实际上，绚丽多彩才是我的本来面目，从无色、淡黄色、黄褐色、深褐色、黑绿色至黑色，哪一种颜色我都是本色出演。

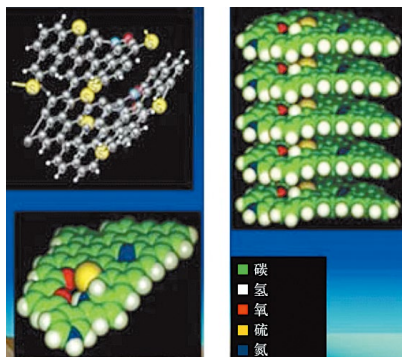
我国古代的《富顺县志》上对石油的颜色已有了记载：“井里出的油，米汤油色白，绿豆油色清，梔子油色黄，墨漆油色黑，白者为上选。”在四川黄瓜山和天津大港油田都曾产出无色石油，玉门油田曾产暗绿色石油，克拉玛依油田产棕黄色、深褐色石油，四川自流井油气田产黄绿色石油等。其实，我纯正的颜色是无色或白色的，如同石蜡的颜色。

石油的不同颜色，与一种称为胶质和沥青质的物质有关。胶质和沥青质是石油中结构最复杂、相对分子质量最大的物质。在其组成中，除含碳、氢元素外，还有硫、氮、氧及其他一些微量元素。

石油中的胶质和沥青质如同人的皮肤中的黑色素，让人看起来有的皮肤白，有的皮肤黑。胶质和沥青质的颜色为深棕色至暗褐色，具有很强的着色能力，石油的颜色主要由于胶质和沥青质的存在而引起。而且，胶质和沥青质含量越高，石油的颜色也越深。

既然我的色彩这么丰富，那么这一特性是不是能为人类做点什么呢？没错，就是用来合成人工染料。

说起染色，我国早在春秋战国时期，人们便知道用紫草染衣服。帝王将相为了显示自己的尊贵，纷纷用紫绸子做衣服，正所谓“满朝朱紫贵”。而在欧洲，人们从海螺中提取紫色染料。美洲先人从仙人掌和霸王树上收集胭脂虫制得胭脂红



胶质、沥青质结构示意图染料。

而人类第一次研制出人工染料称得上是一段阴差阳错的故事。1856年，英国皇家化学学院院长霍尔曼让年仅18岁的柏琴研究能够从煤焦油中提取有效治疗疟疾的奎宁的方法。柏琴从煤焦油中提取了一种苯胺盐，再加上重铬酸钾进行氧化时，在实验的烧瓶底部得到了一种黑色的黏稠液体。当他用酒精清洗烧瓶时，却得到了一种颜色鲜艳的紫色液体，放进去一块布料也染成了同样的色彩。柏琴制出的黏稠液体就是世界化学史上第一种合成染料——苯胺紫。后来，英国女王维多利亚穿上了由苯胺紫染色的服装，紫色就成了那个时代的流行色。

继柏琴制成苯胺紫后，人们又得到了多种合成染料。最大的染料家族是偶氮染料。偶氮染料是因在染料分子中含有两个以上偶数的以双键相连的氮原子而得名的。偶氮染料的品种非常多，占所有人造染料品种总数的一半以上。偶氮染料具有红、橙、黄、绿、青、蓝、紫七种颜色，从深到浅，样样齐全。另一类染料叫硫化染料，它的特点是颜色比较深，价格低廉，制造容易。几乎大部分黑色的布都是用硫化黑染的。除了硫化黑，还有硫化棕、硫化蓝、硫化绿等。

## 我的密度比水小

常温下液态的石油里面，化合物的相对分子质量一般都大于丁烷的58，而水的相对分子质量是18。但为什么水的密度会大于石油呢？

原来，这与烃和水各自的内聚能有关。内聚能是衡量分子间相互作用力强弱的一种能量，烃的分子之间的间距相对于水分子大得多，石油的内聚能比较小，所以石油的密度就比较小。

根据石油行业的标准，石油可分为轻质油、中质油、重质油、超重质油。一般而言，轻质油密度小于0.87克/立方厘米；中质油密度在0.87~0.92克/立方厘米；重质油密度在0.92~1.0克/立方厘米；超重质油密度大于1.0克/立方厘米。

因为原油密度的差异，有的地方产出的轻质油，只需要简单的加工处理，就可以直接加到汽车里当汽油用，而像南美洲委内瑞拉的重质油，其加工难度和加工成本就要成倍增长。



重质沥青



## 我的黏度之谜

黏度是指液体移动时受到的内部摩擦阻力,通常以每秒1米的速度通过面积为1平方米、长1米的通道所产生的阻力,称为1帕斯卡·秒。单位一般用毫帕斯卡·秒表示,1帕斯卡·秒=1000毫帕斯卡·秒。黏度大小决定着石油在地下以及在输送管道中的流动性能。

石油黏度受温度、压力和石油的化学成分制约,随温度升高,石油黏度降低,所以,石油在地下深处的黏度比其在地面黏度小,且易流动。密度大颜色暗的石油黏度大,轻质石油黏度较低。石油黏稠的程度,与石蜡的含量多少相关,石蜡越多,就越黏稠,也越容易凝固。

稠油是指那些黏度比较高的油。通常把地面密度大于0.943克/立方厘米、地下黏度大于50毫帕斯卡·秒的原油叫稠油。因为稠油的密度大,也叫重油稠油。之所以稠,主要是由于油中的沥青质和胶质含量较高,原油中的沥青质含量越高,油的黏度就越大。

稠油黏度大,流动性差,给开采带来许多困难。由于油稠,所以抽油机的负荷就很大,不仅耗电量大,而且机械故障(如断抽油杆、断悬绳等)也随之增加。由于油稠,有时连抽油杆也下不去,影响正常生产。而且,油稠还增加了原油外输的困难。

## 油海飘香不是传说

一提到石油,大家很容易想起臭鸡蛋气味,这是因为里面含有毒性的硫化氢气体的缘故。其实,我想告诉大家的是,这真的是一颗老鼠屎毁了一锅汤的“悲惨”故事。实际上,我更多的成分能够发出扑鼻的芳香气味。

石油中能够飘香的物质大多是芳香族化合物和酯类化合物。芳香族化合物是苯及其衍生物的总称。酯类化合物是指用酸和醇为原料通过酯化反应合成的有机化合物。像乙酸乙酯具有香蕉味,乙酸异戊酯具有梨香味,丁酸乙酯具有凤梨香味,异戊酸戊酯具有橘香味,异戊酸异戊酯具有苹果香味……



石油也会有水果的味道

石油中这些具有香味的成分仅仅是好闻这么简单吗?当然不是,它们还具有杀菌的作用。平常当我们走进医院,总闻到一股消毒水的味道,它的主要成分是石炭酸,也叫苯酚。医院喷洒石炭酸是为了杀菌、消毒。而常用的柠檬醛的杀菌效力比石炭酸高4倍,香叶醇比石炭酸高6倍,留兰香油则比石炭酸高27倍!牙膏是留兰香型的,能有效地杀死口腔中的病菌。

## 燃烧是我的狂野表现

照亮世界的石油



石油的燃烧性质,就不用过多介绍了,只要看看媒体上不时曝出的国外某某油田大火的新闻,就知道我有多狂野了。还有街上疾驰而过的小汽车,呼啸而来的大卡车,哪一个不是燃烧石油驱动的?

古代人类发现石油,也是因为石油的燃烧性能。现代人们对石油的利用,每年绝大多数的石油产量都是作为燃料消耗掉了。可以说,我燃烧了自己,推动了人类的进步。

# LNG

## 在绿色交通领域大显身手

■ 朱闻达 朱小松 王镜舟

液化天然气(LNG)主要成分是甲烷,是洁净的化石能源。无色、无味、无毒且无腐蚀性,其体积约为同量气态天然气体积的1/625,其制造过程是先将气田生产的天然气净化处理,经一连串超低温液化后达到-162摄氏度,利用LNG船舶运输。LNG燃烧后对空气污染非常小,而且放出的热量大,所以LNG是优质清洁能源。

### LNG在车辆、船舶领域 应用前景广阔

近年来,LNG作为交通领域车辆、船舶的动力燃料,越来越受到用户的关注和喜爱,具有明显的环境效益和社会效益,与传统燃油相比,车辆使用LNG的综合排放减少约85%,其中,一氧化碳减排约90%、碳氢化合物减排70%~80%、氮氧化物减排30%~40%、二氧化碳减排15%~25%,而且几乎没有颗粒物排放,不含苯、铅及硫化物。天然气车辆在排放升级方面有更大的技术和成本优势,2019年7月1日实施的发动机国六排放法规,天然气车辆对氮氧化物排放的控制效果更好,还可

完全消除柴油车的氨排放问题,以及汽油机节能技术带来的颗粒物排放问题。天然气的燃点和爆炸下限较成品油高且密度比空气轻,使用更安全,是陆地及海洋交通领域能源清洁化的首选。

截至2020年底,中国LNG车辆保有量为58万辆,主要是LNG重卡、公交车、水泥搅拌车、渣土运输车等,其中LNG重卡有46万辆。同期国内加气站数量约6700座,其中LNG加注站约3200座,2020年LNG车辆消费量达到1543万吨,占总消费量的38.7%,主要得益于LNG价格持续低位且供应相对充足,较柴油价格经济性优势突出。截至2020年底,国际远洋LNG动力燃料船舶191艘,LNG消费量约170万吨,预计2025年LNG消费量可达450万吨。LNG动力燃料船舶在国内还处于起步阶段,截至2020年底,国内LNG动力燃料船舶约300艘(均为小型船舶,大部分在1000吨级以下),在建及建成LNG船舶加注站21座,运行4座,预测2025年LNG消费量124万吨,2030年LNG消费量296万吨。基于宏观经济增速与天然气市场结构增速,预计2025年LNG消费量可达3128万吨,占消费总量的45.6%,"十四五"期间年均复合增长率为15.1%,2030年消费

量可达3992万吨。

### 推动LNG在车辆、船舶领域 应用的思考

LNG车船产业发展虽然取得了一定的成绩,但是发展现状仍然难以适应国家治理大气污染和建设交通强国新形势的要求,仍面临诸多问题和挑战。为此,建议各相关方形成合力,团结一致,发挥各自优势,通过技术创新及产业升级,共同推进天然气车船产业高质量发展,从以下几个方面加大力度,推动LNG在车辆、船舶领域的应用及发展。

(1) 编制好LNG车船加注发展专项规划,在"十四五"期间形成有效的车船加注网络。围绕国内主要港口、物流通道打造LNG重卡加注网络,实现车辆加注站点"卡点布局"。船舶LNG加注围绕国内和国际2个主要市场进行布局。国内市场主要围绕长江、西江(珠江水系)、京杭运河和沿海区域进行规划布局。根据区域特点,灵活采用槽罐车、岸基站和趸船站为LNG燃料动力船舶提供加注服务。国际市场主要是在环渤海、长三角、珠三角和海南岛建设4个国际船舶LNG加注中心,利用LNG移动加注船对远洋集装箱船、铁矿石货轮和油轮等大型船舶实现"一对一"的



LNG加注服务。

(2) 保障LNG资源供应。目前国内沿海从海南省至辽宁省建成运营了22座LNG接收站, 2020年进口LNG达到6669万吨, 2020年国内LNG产量为1601万吨。利用沿海运营的LNG接收站进口液态资源和国产LNG资源, 可有效保障车船加注站点LNG资源供应。

(3) 保证LNG资源价格有竞争力, 推动形成车船用液化天然气燃料价格指数。利用一体化商务解决方案, 为合作伙伴提供优质、低价的LNG资源, 确保LNG与0号柴油相比, 价格长期有竞争力。研究打造对全国乃至全球LNG资源采购价格产生重要影响的中国LNG车船价格指数, 作为LNG车船行业公开透明的价格指导, 并逐步引领LNG车船行业健康、有序、可持续发展, 从而保障LNG车船资源长期稳定供应和价格有竞争力。过去5年, 国内车用LNG零售价格与0号柴油的零售指导价比例由76%降至55%, 后者与国际原油期货价格指数保持较强关联(可决系数高于0.98)。基于惠誉评级对未来5年国际原油期货价格指数的评估, 预计国内0号柴油零售指导价格的年均水平为7400元/吨至8000元/吨, 车用LNG的零售价格的年均水平为4900元/吨至5300元/吨, 与0号柴油保持约65%的价格比例。

(4) 利用互联网和信息化手段, 打造全国性互联网终端销售平台。当前国内加注零售业的数字化解决方案呈现两种趋势。一是基于开放式平台构建产业生态, 例如, 满帮集团货车司机注册会员数量超过1000万, 利用车货匹配平台解决货找车、车找货和运费支付结算痛点, 拓展油气加注、ETC、金融

等衍生服务; 能链团油整合国内2.5万座民营加油站, 通过大中台软件服务化(SaaS)给司机搭建团购渠道, 实现引流增量。二是基于差异化产品打通细分市场渠道, 例如, 中国海油“海气通”平台立足LNG重卡细分市场, 打造“保供、保质、保价”的“海气无忧”加注产品, 车用LNG销量达到70万吨/年。上述案例显示, 挖掘数字化营销潜力, 多管齐下快速做大产业规模, 做精做强产业生态, 提升企业在物流市场的整体份额和综合服务产品的竞争力, 已成为当前能源行业与服务行业的战略共识。

(5) 发挥中国沿海LNG接收站布局优势, 打造中国沿海国际加注中心, 投资建设LNG移动加注船, 为大型LNG船舶提供高质量的移动加注服务。在国际上, 全球已运营LNG加注船30艘, 主要在欧洲区域服务, 约70%舱容量大于5000立方米。在国内, 国际远洋船舶新造订单中, 有20%采用LNG动力。为满足国际航运企业加注需求, 增强国际LNG船舶加注话语权, 浙江舟山港、深圳盐田港、海南自贸港等提出建设LNG船舶国际加注中心, 如果建成, 将为中国船舶产业发展提供新动能。目前国内在建及潜在的LNG加注船数量还难以满足环渤海、长三角、珠三角和海南岛国际加注中心建设发展需求, 预计到2030年上述4大港口集群区域将有约8艘LNG加注船的需求。在政策方面, 已经开展了船对船过驳和同步加注作业等方面的技术研究, 还需要进一步加强配套LNG保税罐和相应的商务财税支持政策。

(6) 推动信息化交通大数据在

LNG车船领域的应用。联合国相关部门, 根据船舶行驶轨迹数据、陆上物流通道车流数据, 分析潜在LNG车船改造与燃料需求, 精准定位LNG车船大客户, 引导其响应和支持绿色交通环保政策, 使用LNG燃料, 减少污染物排放, 服务国家绿色交通建设。

(7) 组建LNG车船产业联盟, 共同推动产业发展。联合物流公司、船东公司、车船制造厂家、发动机厂家、低温设备厂家、科研院所及高等院校、车船加注公司、LNG资源供应公司、金融服务公司、车船类电子商务平台公司等加入联盟, 按照优势互补、资源共享、互惠互利、合作共赢的原则, 共同推动LNG车船产业发展, 为建设绿色交通做出贡献。目前, 中国海油已经联合国内78家单位, 在2019年成立了“中国海油LNG车船产业联盟”。

## 结语

我国秉承“绿水青山就是金山银山”的绿色发展理念, 坚持走生态优先、绿色低碳的发展道路, 力争2030年前实现碳达峰、2060年前实现碳中和。随着我国不断加大对沿海、内河船舶大气污染控排区监督管理力度, 以及对柴油货车污染治理攻坚战行动计划的落实, 在交通领域大力推进LNG这一清洁能源的高效利用, 有利于实现国家交通运输产业的绿色发展, 有利于打赢“蓝天保卫战”和“污染防治攻坚战”, 有利于早日实现碳达峰、碳中和目标, LNG在交通领域应用发展前景广阔。

# 油品检测方法有哪些？

■ 张电来

齿轮油检测、液压油检测、发动机油检测技术就是将采集到的设备润滑油或工作介质样品，利用光、电、磁学等手段，分析其理化指标、检测所携带的磨损和污染物颗粒，从而获得机器的润滑和磨损状态的信息，定性和定量地描述设备的磨损状态，找出诱发因素，评价机器的工况，预测其故障，并确定故障部位、原因和类型。为大家介绍5种油品检测的方法：

(1) 齿轮机试验。采用SH/T0306标准方法。试件为齿轮副。试验时齿轮浸在试油中，通过弹簧轴对齿轮加载，共分12级，载荷逐级增高。每级运转15分，根据齿轮磨损量测定试油的极压抗是一种相关性较好的模拟试验方法。

(2) 热氧化安定性试验。分别采用SH/T0123和美钢200标准方法。试验时在特制的玻璃管中加入300毫升试油，分别在95摄氏度和121摄氏度下，以10升/小时的速率向管内通入空气3121升，以测得的试油黏度上升率表示试油的热氧化安定性。试验黏度上升率小，说明油品的使用寿命较长。

(3) 四球机试验。采用GB/T3142及SH/T0204标准方法。4个直径相同的钢球其中3个浸在装有试油的油盒中，上面一个固定并与下面3个构成点接触。在一定的温度、负荷、转速下旋转。根据负荷、磨迹、烧结点测定试油的极压性和抗磨性。一般来说，磨迹直径与齿轮实际使用中的磨损有一定的相关性。

(4) 抗乳化性试验。采用GB/T8022标准方法。在量筒形分液漏斗中加入一定量的试油和蒸馏水，特制的螺旋桨搅拌器在82摄氏度下以2500或4500转/毫升的转速搅拌漏斗内内容物5分。静置5h后测定自然分离水、离心分离水、乳化液、油中水的量，根据几项结果评价试油的抗乳化性。

(5) 梯姆肯试验。采用GB/T11144标准方法。试件由钢制的圆环及长方体块组成。试验中试环以800转/毫升的速度与试块的一面形成线接触，间断递增的负荷通过杠杆传递到试件，试油循环浇注润滑。根据试件产生擦伤的负荷测定试油的极压抗磨性。梯姆肯通过负荷高的油品，其在使用中所耐的极压负荷也高。

# 如何判断润滑油是否变质？

■ 王敏

机油在使用一段时间后，机械杂质的污染，来自外界的灰尘，运转机件磨损下来的金属屑以及零件受侵蚀而形成的金属锈都会使机油变质。机油变质后呈深黑色、泡沫多并出现乳化现象，滴在手指上无黏稠感，发涩或有异味，滴在白试纸上呈深褐色，无黄色浸润区黑点很多。若不及时更换会加速零部件的磨损，影响使用寿命，甚至发生安全事故，因此，经常检查机油是否变质并及时更换尤为重要，这里介绍几种简易鉴别方法：

(1) 油流观察法：取两只量杯，其中一个盛有待检查的润滑油，另一只空放在桌面上，将盛满润滑油的量杯举高离开桌面30~40厘米并倾斜，让润滑油慢慢流到空杯中，观察其流动情况，质量好的润滑油流动时应该是细长、均匀、连绵不断，若流动忽快忽慢，时而有大块流下，则说明

润滑油已变质。

(2) 手捻法：将润滑油捻在大拇指与食指之间，较好的润滑油手感到有润滑性、磨屑少、无摩擦，若感到手指之间有砂粒，有较大摩擦感，则表明润滑油内杂质多，不能再用，应更换新润滑油。

(3) 光照法：在天气晴朗的日子，用螺丝刀将润滑油挑起，与水平面成45度角。观察油滴情况，在光照下，可清晰地看到润滑油中无磨屑为好，可继续使用，若磨屑过多，应更换润滑油。

(4) 油滴痕迹法：取一张干净的白色滤试纸，滴油数滴在滤试纸上，待润滑油渗漏后，若表面有黑色粉末，用手触摸有阻塞感，则说明润滑油里面杂质很多，好的润滑油无粉末，用手摸上去干而光滑，且呈黄色痕迹。



# 59式坦克加满一箱油 大约需要多少钱？

■ 佚名



近年来，随着各种陆军武器的提升，对于坦克的防御能力和打击能力要求越来越高，它的重量也就越来越重，同时坦克的机动性能也在不断加强，而这一切都是用巨大的油料消耗换来的。

坦克的油箱装置主要分成柴油系统和燃气涡轮系统两种，其中燃气涡轮系统的性能要更好，但是耗油量也要高出30%~70%。不过不管使用的是哪个系统，和其他武器相比，坦克的油耗量都是排在前列的。比如我国的59式坦克，它的最大马力为520千瓦，主油箱能装812升的柴油，正常行驶下每一百公里要消耗180~190升柴油，所以满油情况可以连续行驶400多公里。但要知道一辆普通小轿车的油耗不过是每百公里7升左右，59式的油耗足足是它的二十多倍。而且以目前的柴油价格来算，要想装满59式的油箱，费用大概需要5237元，普通人要工作一个月才能加满它，甚至可能还不够。

59式坦克是我国参照苏联T54A坦克研制出来的陆战武器。它的前身是苏联的T54，这个型号是二战之后苏联军方研发的坦克，以产量高而闻名世界。据了解，T54系列坦克总产量估计有10万辆，有很多仿制和衍生款，T54A就是其中的改进版本。我国在1955年从苏联引进了一些T54和T54A。第二年我国成立了第一家坦克制造厂，当时苏联向我国提供了关于T54A的设计图纸和生产技艺。于是我国通过两年的学习，终于制造出自己的T54A坦克。这款坦克在1959年的国庆阅兵上亮相，之后便正式改名为59式坦克，至今为止已经服役了60年。

59式坦克重34吨，最快的速度可以达到每小时50公里，装备了一门100毫米的火炮，除此之外，在炮塔的顶部还装载了一支12.7毫米的高平两用机枪。和苏联的T54A相比，因为当时技术的局限性，我国的59式取消了红外夜视的装置，减少了火炮稳定器的部分，还把高锰合金的装甲外钢改成稀土合金的材质。因此，59式坦克的火控系统比较落后，装甲的防护力也有缺陷。正是因为59式的重量不是很重，性能方面也一般，所

以耗油程度不算很高。

和59式相比，很多重型坦克的耗油量更大。像我国目前在役的99式就是一款重型坦克，它的重量为51吨，使用的是883千瓦的涡轮柴油机，油箱满载量为4160升，油耗量为410升/百公里，正常情况下的行驶距离大概是600公里。按照这样的数据，给99式加满一箱油要27000多元，很多人几个月工资都不够加一次。

除了我国的99式外，在世界各国的重型坦克中，俄罗斯的主战坦克T-80使用的是燃气涡轮系统，最大的内部装载量为1千升，每百公里的耗油量为250升，最大行驶距离为400公里。德国的豹2A6使用的是MTU公司制作的中冷柴油机，最大马力为1500千瓦，油箱可以装载的油量为1200升，油耗量为219升/百公里，正常情况下可以行驶550公里。而美国的M1A1使用的是AGT-1500燃气发动机，最大的燃油装载量为1907.6升，平均每100公里的耗油量为383升，最大行驶路程为498公里。但是这些都只是在平地的数据，要是碰到比较恶劣的行程环境，耗油量只会更多。

而且在实际作战中，绝对不会只有一辆坦克，大多都是集群出战的，因此当坦克出行的时候，很多坦克都会带着一个副油箱，除此之外，在军队后方还会配备专门加油的后勤补给部队。一旦行驶中没有油了，就得停下来加油，然后再出发。以美军86年整编的装甲师为例，整个师一共拥有320多辆坦克，400多辆装甲战车，在作战的时候每天要耗费600多吨油料，而这直接导致后勤部队要配备将近2000辆的补给车辆。这就是为什么在战斗中，后勤部队被袭击的次数最多。毕竟如果没有后勤部队的及时补给，再好的坦克也不能发挥出真实的性能。

# 世界氦气供需现状及发展趋势

■ 秦胜飞 李济远

氦气由于其化学惰性、分子量小、低沸点、强渗透性、高导热性等特点，广泛用于航空航天、低温超导、医疗、高科技以及民用高科技领域。氦是宇宙中第二丰富的元素，仅次于氢，在宇宙中质量分数占23%。但在地球和大气中，氦气含量却很低，大气中的平均含量仅百万分之五，在天然气中氦含量变化较大，但绝大多数气藏属于低氦气藏，只有少数气藏氦气含量较高。目前全球市场所用的氦气主要来自富氦天然气藏以及低氦天然气经过液化后的闪蒸气（BOG）。全球氦气资源比较匮乏，供不应求，然而，随着科技的发展，对氦气的需求量呈增加的趋势。

## 全球氦气资源、储量

据美国地质调查局（USGS）2020年调查报告的数据，全球氦气总资源量约519亿立方米，主要分布在美国、卡塔尔、阿尔及利亚和俄罗斯，上述四国氦气资源占全球总资源量的88%（图1）。全球氦气总探明储量约74亿立方米（近20年累计采出约32亿立方米），剩余储量仅可满足20余年的需求。

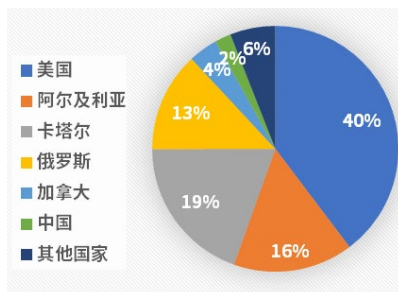


图1 世界各国氦气资源量预测图 (数据来自U.S.Geological Survey,2021)

## 全球氦气需求

2007年以来，随着高新技术产业和科学研究的发展，全球对氦气的需求逐年增加，特别是高端制造业、低温超导和第四代核反应堆冷却气的需求等，出现了氦供不应求的局面。目前全球氦气年需求量约为2亿立方米，但年产量仅1.6亿立方米左右。据俄罗斯相关机构预测，2030年全球氦气需求量将达到2.2~3.0亿立方米，如果不进行新区块的勘探和开采，2030年世界氦气产量将下降到1.34亿立方米，缺口将达1.66亿立方米以上。

俄罗斯之声报道，亚洲与太平洋地区氦气需求旺盛，每年需求增长为5%~6%。根据新思界产业研究中心公布的《2019—2024年氦气行业市场深度调研及投资前景预测报告》显示，2017年亚洲氦气市场，日本、韩国、中国的总使用量达到5280万立方米。中国增长最快，氦气需求年均增长率高达10%以上，主要来源于医疗、微电子与工业领域的需求。受制于氦气资源匮乏、提取氦气的成本较高，我国氦气一直依赖进口。

## 全球氦气产量

全球每年生产氦气1.35~1.75亿立方米，目前主要产氦国为美国、卡塔尔、阿尔及利亚、俄罗斯、波兰和澳大利亚。美国是第一产氦大国，氦气主要

分布在Cliffside气田、Hugoton气田、Panhandle气田、Greenwood气田、Keyse气田和Riley Ridge气田。如今美国将氦气列为重要的战略资源加以保

护，限制了对新区块的开发。2012年之前，美国氦产量一直接近全球产量的80%，之后开采量以每年约10%的速度下降。受此影响，世界氦气供应整体呈逐渐减少的趋势，价格快速大幅度升高。第二大氦气产出国为卡塔尔，主要产自北部气田液化天然气（LNG）的闪蒸气。第三大氦气产出国为阿尔及利亚，氦气也是产自液化天然气，主要来自Hassi R' Mel气田。波兰的氦气主要来自Odolannowg气田，年生产氦气1~3百万立方米，主要供应欧洲市场。俄罗斯的富氦气田包括Orenburg气田、雅库特地区的Chayanda气田、西伯利亚东部（Eastern Siberia）地区的Kovykta气田，每年除满足自身一百万立方米的需求外，剩余部分液化后可以出口他国。俄罗斯的氦气资源潜力较大，但开发程度低，一家公司正在建设一座年产6000万立方米的氦加工厂，预计将于2024年底完工。澳大利亚在达尔文建立的液化天然气工厂投产，提取多个盆地中的氦气。

中国尚未形成自己的氦气工业，氦气主要依赖进口。20世纪70年代，成都天然气化工总厂以四川盆地富氦的威远气田为气源，在自贡建成国内第一个天然气提氦装置，最高年产氦气仅3万立方米。因气田开发措施问题以及氦气成本高于国外价格，该厂于2004



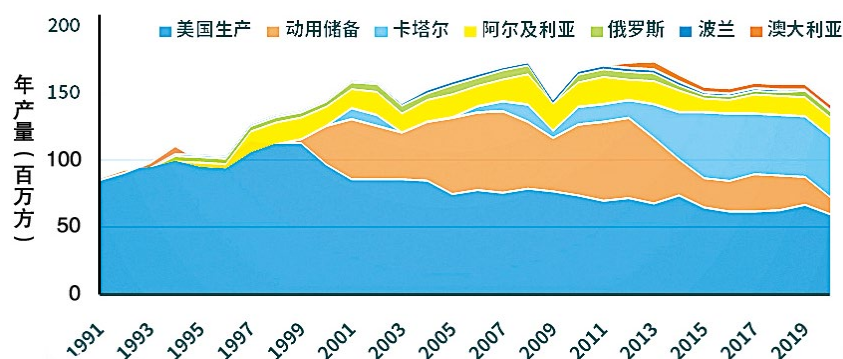


图2 1991—2020世界氮气产量变化趋势(E代表预测;数据来自U.S.Geological Survey, 2021)

年关闭。2012年,经过技术攻关和综合治理,气田恢复生产,重新在四川荣县建立天然气提氮装置开始提氮,在设备满负荷运转情况下,按照该气田天然

气中氮气平均含量0.2%计算,一年最多可生产氮气30万立方米,不足中国年氮气进口量的1.5%。目前该气田产气量较小,多数开发井关闭,气田几近停产。

### 全球氮气供应链

全球氮气供应链由美国及美国的资本所控制。1903年,美国发现大型富氮气田后就垄断了全球氮气生产和销售。1925年,美国立法停止向外国和非政府机构出售氮气,美苏冷战期间,为了进行太空竞赛,美国政府高价收购油气公司分离出的氮气,将氮气注入堪萨斯州的Cliffside气田中,作为战略储备,至1981年已储存最低10亿立方米氮气。1991年苏联解体,美国储备的氮气失去了原先的价值。20世纪90年代,随着氮气应用领域的不断扩大,需求不断增加,美国政府决定花20年的时间以成本价出售储备的氮气,缓解了全球氮气市场

供应紧张的局面。美国的储氮库在2018年夏天拍卖后剩余的氮气不到8千万立方米,截至2020年9月,仍有6千万立方米的储备氮气。今年4月,美国宣布计划在2021年9月之前处置剩余的联邦氮库存和资产,之后总务署将完成处置过程。联邦内部供应用户将继续获得氮,直到2022年9月30日,储氮库关闭。

卡塔尔目前是仅次于美国的第二大氮气生产国,氮气资源量虽仅次于美国,但天然气中氮含量很低,约为0.04%,依靠LNG烃类液化后的尾气中氮富集程度提高才能达到商业价值。由于卡塔尔的提氮设备和

技术来自美国,其销售必然受美国的控制。

随着氮气的运用越来越广泛,资源的稀缺度日益凸显,各产氮气大国为保护各自的利益都出台了一系列文件禁止出口或禁止向中方出口氮气。

2018年2月16日,美国总统特朗普签署第13817号令,要求美国内政部和国防部公布一份对美国利益至关重要的35种关键矿产目录,其中氮气赫然在列。2019年4月,澳大利亚联邦政府发布《澳大利亚关键矿产战略2019》,列举了对国防、太空、能源和先进制造非常重要的24种关键矿产,其中也包括了氮气。俄罗斯也在积极推动《氮法》的建立,将氮气作为战略资源禁止出口。因此,实现我国氮气供应链的核心环节点自主可控,是我国走向高端产业链的必由之路。

### 发展趋势

未来卡塔尔与俄罗斯的氮气产量会超过美国,卡塔尔将成为世界最大的氮气输出国。2020年受疫情影响,全球经济不景气,导致氮气需求降低了10%,因此仅仅产生了约3%的供给不足。如果按照2019年的需求增长水平,2020年本可能会产生13%的供需不足,2021年将出现9%的供应不足(而不是4%的供应不足)。不过短期来看,预计从2022年开始,俄罗斯和卡塔尔的大型项目应该会进入新的阶段。俄罗斯天然气工业股份公司(Gazprom)2020年12月向市场宣称其提氮装置进展顺利,最后阶段应在2024年底开始生产。卡塔尔石油公司宣布,将增加第四家氮工厂,到2028年氮气产量每年将再增约3.4千万立方米。到2026年,仅这两个国家每年就可能为全球增加约1亿立方米的氮气,那时氮气供应紧张的局面或许会得到缓解。

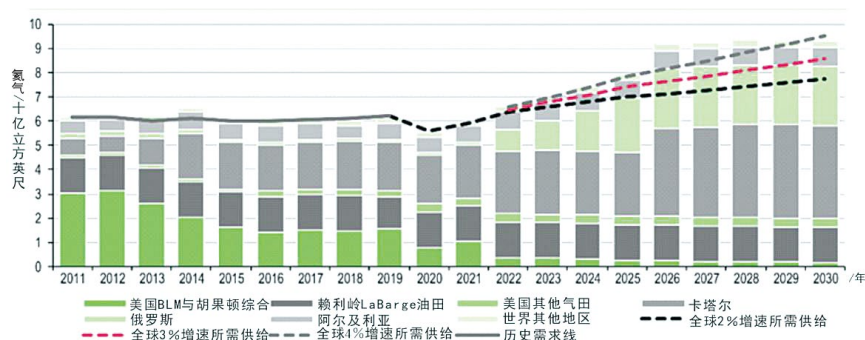


图3 世界氮气供需预测(资料来源:爱迪生投资研究)

# 基于AI人工智能化网络系统运维

纪宁<sup>1</sup> 张华伟<sup>1</sup> 刘远岗<sup>1</sup> 李佳<sup>2</sup>

(1. 中国石油勘探开发研究院 北京 100089;

2. 中国石油天然气管道通信电力工程有限公司 河北廊坊 065000)

**摘要:** 随着信息技术的不断发展,信息化应用水平不断提升和增多,随之而来的运维工作也在不断增加。信息化应用基于硬件与软件结合,以达到智能化、自我学习的工作模式,提高工作效率。为了保证信息化应用的稳定可持续使用,对于硬件与软件运行环境监控尤为重要,随时发现或预判软件与硬件的运行状态及可能出现的故障情况。传统的监控办法需要人为检测核实,随着信息化应用的普及,各个应用的运维检测工作量增加,随之提出人工智能化监控平台主机与应用服务运行状态的解决方案。通过人工智能化监控体系各种应用监控探针,采集主机与应用的运行数据并判断,随时发现故障,及时上报或解决故障等一系列智能化操作。

**关键词:** 人工智能; 监控探针; 网络运维

人工智能(Artificial Intelligence)是研究、开发用于模拟、延伸和扩展人的智能的理论、方法、技术及应用系统的一门新的技术科学。借助人工智能技术来帮助网络运维工作,不仅解放劳动力而且提高生产效率。使得运维故障的发现和修复时效得到大幅提升。

## 1 监控结构

网络运维监控是在机房基础建设之上的,不包括机房的风、水、电等基础建设的监控。网络运维监控主要分为三大领域,即基础环境监控、安全监控、应用监控。基础环境监控针对数据中心所有运行的服务器、数据库、存储、网络设施的运行状态的监控,如CPU/内存/磁盘空间使用率、网络延迟、带宽占用、数据库死锁、磁盘KIPS等,可理解为IaaS层的监控;安全监控包括对内网用户访问的审计和外部攻击的监控等<sup>[1]</sup>。对于金融企业而言,信息安全永远是最重要的话题之一,所以要单独把安全监控列出来,作为单独的一个领域。应用监控是在基础环境监控和安全监控之上的领域,侧重应用系统的运行指标,如访问量、交易



图1 采集应用模块

时长、交易占比、业务指标等,可理解为PaaS或SaaS层的监控<sup>[2]</sup>。

基础环境监控、安全监控、应用监控是最主要的三大领域,撑起这些领域的是广泛部署的监控探针。就像汽车的传感器,道路的摄像头一样,探针作为监控系统的末梢,接入大量的被采集服务器,肩负起获取最原始监控数据的重任。再好的监控算法、再牛的实时计算平台,若无法准确、实时获取原始数据,都是白费<sup>[3]</sup>。

## 2 监控方法

针对应用平台的机器与软件的运行状态数据的监控,通过引入探针的概念,在终端应用上安装探针来采集相关运行状态数据,再转发到后台监控平台,通过采集数据分析硬件与软件运行状态。

### 2.1 创建探针程序

监控的核心部分是末梢的探针采集程序,针对不同的开发语言可开发多种版本,本文主要通过Go语言实现。目前所实现的采集应用模块如图1所示。

**操作系统:** 主机服务器运行操作系统,包括Windows、Centos、Ubuntu、Redflat等,硬件包括机器相关型号与参数。

**应用软件:** 关系型数据库管理系统MySQL, Web应用服务器Tomcat, 轻量级的Web服务器/反向代理服务器及电子邮件(IMAP/POP3)代理服务器NGINX。

### 2.2 采集数据并发送

通过创建的探针程序来监控云主机和各个应用服务。首先采集到主机和应用服务的指标参数,再上报到后



端监控综合分析平台,通过对指标参数值的分析,达到监控和预警目的<sup>[4]</sup>。

### 3 人工智能告警与预警

前面提到监控探针、采集指标数据,有了这些数据就可以根据指标参数值分析机器和应用系统的运行状态。<sup>[5]</sup>借助人智能化综合分析平台,可以对网络运维工作起到告警与预警启示。所以云平台机器和应用系统的运行状态可以分人工智能告警与人工智能预警两大类。

#### 3.1 智能告警

所谓智能告警就是在系统发生故障后或指标达到预设的阈值后发出告警,阈值是事先固定的,当探针采集到的指标参数值超过或低于系统默认配置的阈值,智能告警启动,会以系统、邮件、短信等不同方式发出告警信息。

采集到的指标数据都可以配置告警阈值,设置报警条件,性能指标在多少分钟内,平均值、至少一次、总是、总计,大于、等于、小于某个值时,触发报警。

云平台宕机条件设置:超过多少分钟,平台不上报数据时,初步判断该平台宕机。每个成功安装探针客户端的平台,都会向后端上传心跳值。若后端没有收到该心跳值,可以初步判定该平台已经宕机。

#### 3.2 智能预警

在系统发生故障后或指标达到预设的阈值后发出告警,阈值是事先固定的,例如CPU使用率超过85%,是一个固定的值,不会随着系统及时间的变化而变化。固定值会有一个问题:假如我们设定CPU使用率超过85%就告警,那么系统在凌晨没什么人使用的时候,CPU使用率超过了50%,系统是正常还是异常的?按照固定阈值算法,CPU使用率未超过85%,系统正常,不触发

告警。但是用常识想一想,业务闲时系统的CPU使用率也超过50%,明显不正常啊!

遇到这样的问题可以对告警阈值进行动态调整,闲时设低一点,忙时设高一点。这个想法不错,但是会有两个问题:

- (1) 怎么识别闲时和忙时。
- (2) 每个指标都动态调整,自定义的量太大。

所以,智能预警就非常重要。简单地说,所谓智能预警就是根据该指标的历史数据,动态调整当前的告警阈值,做到早发现、早追踪、早处理。智能预警引入了时间的维度,利用大数据和实时计算技术,将之前几周甚至几个月的指标进行聚合计算,得出当前时间的动态告警阈值,并根据时间的变化而不断调整。如果说监控是看现在,那么智能预警就是观过去、测未来,做到防患于未然,把系统或应用服务故障,扼杀在摇篮里。

### 4 实验与结果分析

人工智能化网络运维服务,成功地在河北省廊坊市国家经济技术开发区智慧云+城市云主机监控及NET.廊坊各应用系统的运行状态监控中实施应用。在运行过程中,大大减少了运维人员的工作量,同时提高了工作效率,在系统稳定不间断运行中,智能预警起到很重要的作用,在故障发生之前,通过智能预警机制发现问题所在,运维人员第一时间解决隐患,确保云平台稳定,应用系统运行状态良好。在智能告警方面也同样对运维帮助很大,当故障不可避免地发生后,及时通知智能告警机制,第一时间通知运维人员,及时



图2 监控管理平台

处理故障,提高故障处理时效,缩短故障时间,为整个云平台和应用系统保驾护航。监控管理平台如图2所示。

### 5 结论

监控的目的是更早、更准确地预测及发现系统故障,为运维人员争取恢复时间。通过人工智能手段提高运维效率,保证云平台安全稳定运行。随着科技的进步与人工智能技术的不断提升,越来越多地解放运维工作,同时更智能地解决和维护系统平台的稳定。人工智能不仅在网络运维方面,今后各行各业都能够更好地体验人工智能带来的方便与快捷。

### 参考文献

- [1] 史倩玉.浅析人工智能在网络运维中的应用[J].信息记录材料.2020,21(12).
- [2] 郭文荣,贺妍.智能远程运维技术支持系统开发[J].科技与创新.2020(24).
- [3] 艾伦A.A.多诺万.Go程序设计语言.
- [4] 石磊.基于人工智能化IT运维服务解决方案[J].电子技术与软件工程,2018.
- [5] 尹隆波.基于网络探针采集数据,采用粒子群SVM实现网络安全态势感知·电脑知识与技术[J].2020,16(33).

# 非常规油藏水平井产能预测方法与应用

于广明 李畅

( 中国石油吉林油田分公司油气工程研究院 吉林松原 138000 )

**摘要:** 随着采油技术的飞速发展,一些非常规油藏相继投入开发。为了更好地适应非常规油藏水平井采油技术的发展,应用Topaze生产分析软件,根据预先设定好的油藏参数、井的参数、层的参数、模型参数等数据,由假设一组流压的生产历史进行试井设计,依据生成的试井数据结果对非常规油藏水平井进行产能预测。准确合理的产能预测,可以辅助水平井采油工程方案设计的优化和调整。

**关键词:** 非常规油藏; 水平井; Topaze; 产能预测

在20世纪20年代,国外就开始尝试利用钻水平井来提高油气田采收率,20世纪70年代水平井钻井技术有了较大突破,特别是80年代发展了导向钻井技术,引起了水平井开采技术革命。水平井的开采效果优于直井,一般来讲,水平井的产能是直井产能的2~3倍,在复杂低渗透油气藏中,传统直井已经达不到预期开采效果。为了提高原油采收率,最大限度开采剩余油,必须大力发展水平井开采技术。水平井开采虽然可以有效地提高单井产能,但影响水平井开发效果的因素很多<sup>[1-2]</sup>,如油藏物性、流体性质、夹层等,而目前人为控制的因素只有水平段长度、位置、方向、轨迹、完井方式和工作制度调整等,因此,水平井优化设计,尤其是对水平段的长度、水平段位置、射孔参数的优化设计就显得非常重要,这是防止过早见水并实现水平井高效开发的基础和关键。本文介绍如何利用Topaze生产分析软件进行试井设计,并对非常规油藏水平井进行产能预测。

## 1 Topaze软件功能简介

Topaze生产分析软件功能之一

是通过处理生产数据(产量、流压)来解释地层动态参数(地层系数、表皮系数)<sup>[3]</sup>,还可以确定单井控制地质储量、剩余储量、采收率、废弃时间、井废弃时的累积采收量等<sup>[4]</sup>。另一功能是通过进行试井设计,以一定的生产流压为基础,依据分析井的地层条件、井身结构、压裂参数等数据,设计定压生产,生成理论上的试井设计曲线,以判断分析油井的生产能力。

## 2 阿尔普斯递减分析

阿尔普斯在1945年给出了产量曲线递减分析方法<sup>[5]</sup>,多年来已经成为分析预测产量的常规技术。递减曲线有三种类型:双曲递减、指数递减和调和递减。递减类型分析是以产量—时间、累积产量—时间关系方程为基础。

**递减分析的用途:**通过非线性回归拟合可以直接得出初始产量、递减率和递减指数,再依据产量和累积产量的表达式,就可以根据给定的废弃产量计算对应的废弃时间,以及废弃时的采出量。

阿尔普斯递减曲线已经得到广泛应用,但是,必须强调指出,递减曲线

有许多限制条件:井底压力必须非常稳定;井况是稳定的,比如表皮不随时间变化;井的泄流面积是稳定的;仅适用于不稳定段已经结束的情形,比如边界控制流动段。

### 2.1 双曲递减

双曲递减时,  $b \in (0, 1)$ , 产量表达式可以写作:

$$q(t) = \frac{q_i}{(1 + bD_i t)^{\frac{1}{b}}}$$

累积产量表达式可以写作:

$$N_p(t) = \frac{q_i}{D_i} \ln(1 + D_i t) [1 - \exp(-D_i t)]$$

### 2.2 指数递减

指数递减时,  $b=0$ , 产量表达式可以写作:

$$q(t) = q_i e^{-D_i t}$$

累积产量表达式可以写作:

$$N_p(t) = \frac{q_i}{D_i} [1 - \exp(-D_i t)]$$

### 2.3 调和递减

指数递减时,  $b=1$ , 产量表达式可以写作:

$$q(t) = \frac{q_i}{(1 + D_i t)}$$



表1 实例井产量递减分析结果

流压 (MPa)	递减模型	递减指数 (b)	初始产量 (m <sup>3</sup> /D)	递减率 (1/year)	废弃产量 (m <sup>3</sup> /D)	可采储量 (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	地质储量 (10 <sup>4</sup> m <sup>3</sup> )	采收率 (%)
6	Hyperbolic	0.58	82.21	4.29	0.080	2.36	17.09	13.81
8	Hyperbolic	0.56	141.68	4.65	0.141	2.52	17.09	14.73
10	Hyperbolic	0.51	101.49	4.22	0.101	2.31	17.09	13.53
12	Hyperbolic	0.59	96.13	4.27	0.096	2.46	17.09	14.42
14	Hyperbolic	0.65	82.49	4.66	0.082	2.43	17.09	14.22
16	Hyperbolic	0.52	63.09	3.68	0.063	2.25	17.09	13.17

累积产量表达式可以写作:

$$N_p(t) = \frac{q_i}{D_i} \ln(1 + D_i t)$$

式中,  $q_i$ 为初始产量 (m<sup>3</sup>/d);  $D_i$ 为递减率 (1/year);  $b$ 为递减指数, 它决定曲线的递减类型。

#### 2.4 实例应用

某油井饱和压力7.59Mpa, 以该饱和压力和压力为基准, 上下浮动20%、40%、60%的流压值作为初始值, 开展Arps递减分析。评价不同流压下, 初始产量、可采储量、采收率等相对优势, 明确合理流压值。为试井设计确定初始流压。

输入该油井的相关设计参数后, 通过软件计算出不同流压条件下递减分析结果见表1。结果表明, 当流压8Mpa时, 初始产量141.68m<sup>3</sup>/d, 可采储量2.52×10<sup>4</sup>m<sup>3</sup>, 采收率14.73%, 各项结果最优, 所以8Mpa流压为试井设计最佳初始流压。

### 3 产能预测

水平井的产能是受很多因素影响的, 如何预测水平井的产能对水平井参数的设计而言是十分重要的。

应用Topaze生产分析软件完成试井设计之后, 通过软件Forecast功能选择不同的产能预测方式, 有定压、压力递减、变压力和变产量预测四种方式可供选择。

#### 3.1 产能预测方法

非常规油气井生产动态分析中, 生

产数据分析方法被广泛用于产能预测。

(1) 假定油气井的生产满足定压条件, 某一生产时间段, 以一个固定流压生产。

(2) 假定油气井的生产满足压力递减条件, 某一生产时间段, 以一个流压降低的变化生产。

(3) 假定油气井的生产满足多压力条件, 某一生产时间段, 以多个流压的变化生产。

(4) 假定油气井的生产满足多产量条件, 某一生产时间段, 以多个产量的变化生产。

#### 3.2 实例应用

某油井井深3747m, 水平段长度847m, 压裂改造12段50簇, 同时基于该井地质参数, 开展定压产能预测。通过阿尔普斯递减分析, 认为定压6MPa下, 递减率相对较低, 可采储量及采收率较高。开展定压法产能预测, 预测产能较实际产能存在一定误差, 趋势基本相近(图1)。

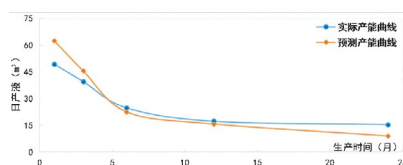


图1 预测产能与实际产能趋势对比

### 4 结论

水平井采油技术虽然可以提高单井产能, 但影响该技术的因素多而复杂, 因此, 通过试井设计软件综合分析

各因素对产能的影响, 为水平井采油的优化设计与应用提供了技术支撑。

(1) 通过阿尔普斯递减分析确定合理流压, 为试井设计提供依据, 准确预测水平井产量。

(2) 通过不同方法的产能预测, 预测不同阶段的油井产量, 为水平井后期选择增产措施时机提供决策。

(3) 准确的产能预测能为采油方案的参数设计提供依据, 同时, 为举升参数优化提供参考, 包括抽油机机型、抽油杆、泵径、泵挂等数据, 保证泵效、系统效率等值更加合理。

### 参考文献

- [1] 陈文龙, 吴迪, 尹显林, 等. 水平井在凝析气田开发中的应用及效果评价 [J]. 天然气地球科学, 2004, 15 (3): 290-293.
- [2] 相建民. 塔里木油田水平井优化设计方法及跟踪效果评价 [J]. 天然气地球科学, 2006, 17 (4): 435-438.
- [3] 李忻洪, 宋林珂. Topaze 软件应用过程中的几点认识 [J]. 西部探矿工程, 2010, 34 (12): 34-35.
- [4] 米瑛. Topaze 生产分析软件在建南气田的推广应用 [J]. 江汉石油科技, 2013, 23 (2): 44-49.
- [5] Arps, J.J. Analysis of Decline Curves [J]. Trans., AIME (1945) 160, 228-247.

# 大规模压裂水力锚设计

孙书晶

(大庆油田有限责任公司第一采油厂 黑龙江大庆 163000)

**摘要:** 在大规模压裂施工中, 针对水力锚锚爪挤压变形及套管应力变化大, 采用仿真分析方法, 对大规模水力锚进行数值模拟发现, 优选合适材质并优化锚爪尖角宽度、角度, 直径及高度, 同时研究锚爪对套管影响, 研究结果表明材质为20CrMo, 爪尖角宽度为5mm, 角度为90度, 直径47mm, 高度25mm时设计最为合理。

**关键词:** 压裂; 水力锚; 锚爪; 套管

近年来, 由于受地层影响, 大规模压裂已成为发展趋势, 在大规模压裂施工过程中, 由于压力高、排量大, 较大的活塞效应、膨胀效应及螺旋弯曲效应会使管柱伸缩, 同时管柱会出现剧烈振动, 因此采用水力锚将管柱与套管进行锚定, 可大大减小管柱蠕动, 保护封隔器胶筒破损并提高封隔器密封性能<sup>[1]</sup>。因此对水力锚进行材质优选, 结构优化, 可大大提高施工安全性及成功率。

## 1 水力锚结构参数设计及材质优选

### 1.1 结构参数设计

在压裂施工过程中, 锚爪与套管接触。通过锚爪与套管之间的锚定力, 实现管柱纵向锚定, 锚爪的结构参数对管柱稳定起着至关重要的作用, 同时锚爪合理的结构参数, 可以释放水力锚内部径向空间, 增大内通径, 降低流速减小磨蚀。传统的解析法主要针对简单结构进行分析, 主要采用比较简单的强度计算和根据现场经验惊醒研究<sup>[2]</sup>。水力锚结构复杂, 如采用解析法计算精度低, 因此本文对水力锚进行仿真研究。通过有限元分析, 在合理空间范围内, 实现最大锚定性能。

#### (1) 水力锚锚爪理论分析

水力锚锚爪在工作过程中, 受到

套管施加的外部力产生变形, 当外力较小时, 弹簧爪为弹性变形, 随着外力逐渐增加, 弹簧爪出现塑性变形, 这时弹簧爪应力-应变为非线性关系。这种关系不仅与弹簧爪的材料、结构参数及外力有关, 还与环境条件有关。对于弹簧爪的塑性非线性变化, 主要研究其应力-应变关系。

#### (2) 水力锚锚爪计算空间方程

在有限元中通常支持三种形式接触: 点-点、面-面及点-面, 水力锚锚爪与套管接触主要表现为点-面的接触, 接触单元主要为锥形或者三角形等, 其锚爪与套管内壁的接触属于弹性力学空间问题。

$$\text{位移变化函数: } \{r\} = \begin{Bmatrix} u \\ v \\ w \end{Bmatrix} = [N]\{\delta\}^e$$

其中,  $u, v, w$ 分别为 $x, y, z$ 三个方向的位移;  $N$ 为系数矩阵;  $\delta$ 为位移分量;

单元应变:

$$\text{单元应力: } \{\epsilon\} = [\epsilon_x, \epsilon_y, \epsilon_z, \gamma_{xy}, \gamma_{yz}, \gamma_{zx}]$$

$$\{\sigma\} = [\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}] = [D][B]\{\delta\}^e - [D]\{\epsilon_0\} + \{\sigma_0\}$$

式中,  $[D]$ 为弹性矩阵,  $[B]$ 为子矩阵,  $\{\epsilon_0\}$ 为单元初应变,  $\{\sigma_0\}$ 为单元初应力,  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z$ 分别为 $x, y, z$ 方向主应力,  $\tau_{xy}, \tau_{yz}, \tau_{zx}$ 分别为 $xy, yz, zx$ 平面剪应力。

#### (3) 水力锚锚爪仿真计算

由于锚爪属于轴对称结构, 因此可对其二分之一模型进行仿真分析。其

中的锚爪弹性模量为200GPa, 泊松比0.3, 套管的弹性模量为205GPa, 泊松比为0.29。

仿真结果表明, 爪尖角宽度为5mm, 角度为90度, 直径47mm, 高度25mm时。(如图1所示)锚爪最大应力发生在锚爪尖部, 最大应力为918MPa, 最大应力处1mm外部应力下降到40MPa(如图2所示), 只有锚爪尖部有稍微变形, 应力将立即释放, 所以在压裂过程中锚爪是安全的。

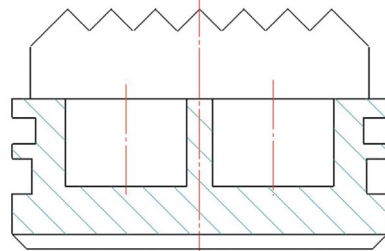


图1 水力锚锚爪结构示意图

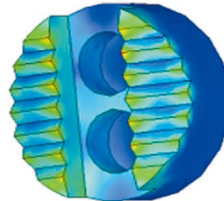


图2 锚爪VON MISES应力计算结果

### 1.2 材质优选

锚爪尖角的宽度、角度、直径及高度优选后, 锚爪的材质对其性能也至关重要, 锚爪既要有一定的硬度, 但硬度又不能太高, 如果锚爪硬度高, 坚硬



的锚爪对套管会造成严重伤害,特别在一些老井压裂过程中,造成套管套损或套漏。根据经验筛选了20CrMo作为锚爪材料,该材质的淬透性好,造成冷裂倾向极小,同时可切削性和冷应变塑性好。通常用于调质及渗碳淬火条件下。锚爪加工过程中,首先将锻件进行退火,然后再切屑加工,这样可以消除锚爪内应力,由于锚爪牙齿部分承受力较大,因此对压齿处进行渗氮处理,渗碳厚度1.0-1.2mm,最后高频淬火。

## 2 水力锚锚爪对套管有限元分析

水力锚锚定过程中,锚爪与套管长时间接触,这将会导致套管周围的应力变大<sup>[3]</sup>。同时套管的变形及压力非均匀分布,因此采用有限元分析,研究水

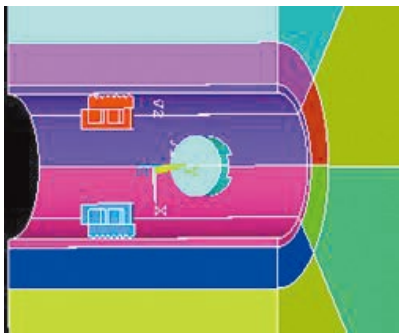


图3 水力锚受力分析计算模型

表1 锚爪与套管受力分析结果

		$\sigma_{\max}$ (MPa)	$\sigma_{\min}$ (MPa)	VON MISES (MPa)		Ux (mm)	Uy (mm)	Uz (mm)
				$\sigma_{\max}$	$\sigma_{\min}$			
锚爪	无温度影响	-996	-19	918	8	0.04	2.91	1.36
	180℃	-993	-41	902	38	0.07	2.96	1.34
套管	无温度影响	-276	3	161	0.3	0.03	0.02	0.02
	180℃	-278	3.3	159	0.3	0.03	0.02	0.02

力锚对套管的接触应力和变形规律,套管及锚爪均属于对称三维实体模型,在x-y面上建立其二分之一模型即可。在模型建立过程中套管的长度通常是锚爪直径的4倍。对此模型采用三维实体接触单元49和三维实体单元45分析,对于套管与锚爪接触面存在弹性库仑摩擦(如图3所示)。

对锚爪与套管接触处有限元模拟分析,通常选择两种工况:一种是在并温180℃条件下,一种是无温度情况下,仿真计算结果如表1所示。通过表1可以看出温度对套管和锚爪影响很小。在压裂施工过程中,套管所受的应力很小,不会受到伤害。

## 3 结论

(1) 锚爪结构参数为爪尖角宽度

为5mm,角度为90度,直径47mm,高度25mm时,在压裂过程中锚爪是安全的。

(2) 温度对套管和锚爪影响很小,在压裂施工过程中,水力锚不会对套管造成损伤。

## 参考文献:

- [1] 张鑫. 水力锚承受拉力的实验研究[J]. 中国科技纵横, 2013, 10(1): 176.
- [2] 张尚君. 新型压裂用防砂水力锚试验研究[J]. 石油矿场机械, 2010, 39(12): 54-56.
- [3] 岳澄, 王燕群等. 高温封隔器胶筒与套管接触压力的实验研究[J]. 石油矿场机械, 2009, 41(7): 25-30.

# 什么是多级油的低温动力黏度?

伊然

润滑油厂家出具的产品合格单上有时会出现“低温动力黏度”这项指标。多级油的低温动力黏度是多级油在低温、高剪切速率条件下测得的内摩擦力的大小的量度,用冷启动模拟实验机(CCS)来测定。CCS模拟发动机汽缸套-活塞部分冷启动时的工况,与发动机的冷启动有良好的

相关性,因而低温动力黏度可作为预示发动机在低温条件下能否顺利启动的黏度指标。

黏度是衡量油液抗流动能力的参数。例如,与蜂蜜相比,水的黏度很低。在这个例子中,蜂蜜在同样的温度下具有比水更高的黏度。壳牌喜力系列产品具有不同的黏度规格,适合各种引擎和车况。

大多数润滑油是多级黏度的,例如“5W-40”,这意味着无论高温或低温,它都能保持性能。第一个数字(后面跟有表示冬天的“W”)表示该润滑油在较低温度下的黏度。第二个较大的数字表示润滑油在较高温度下的黏度。多级润滑油可以最大程度减少温度变化导致的黏度差异。

# 松南页岩油大规模加砂压裂技术

贾鹏飞

( 中国石油吉林油田分公司油气工程研究院 吉林松原 138000 )

**摘要:** 松辽盆地南部页岩油资源分布领域广、多层系、资源丰富,具有较大勘探潜力及前景,但物性条件极差,压裂是提高此类资源动用率的有效利器。针对松辽盆地南部页岩储层塑性较强、支撑剂嵌入严重的问题,开展了系统评价及现场试验,通过高砂比大规模加砂压裂有效解决支撑剂嵌入导致导流能力下降问题,压后见到好的提产效果,为国内外该类储层有效动用提供技术借鉴。

**关键词:** 松南页岩; 支撑剂嵌入; 蠕变; 高砂比; 加砂压裂

吉林油田页岩油资源分布领域广、资源丰富,具有较大勘探潜力及前景,但储层条件较差,主力层系平均有效孔隙度在4%左右,渗透率在几百纳达西,自然产能极低,大规模体积压裂是动用此类非常规资源的利剑<sup>[1]</sup>。吉林油田通过地质工程一体化研究,确定大情字井区外前缘长英质页岩为地质工程甜点区,并开展压裂提产相关机理研究及现场试验,取得了一定认识。

## 1 室内机理研究

通过岩板导流能力评价、蠕变曲线测试等机理研究,认识到松南页岩储层塑性较强,存在支撑剂嵌入现象,为松南页岩油大规模加砂压裂技术提供理论依据。

### 1.1 导流能力评价

导流能力指在储层地应力的作用下,充填支撑剂的裂缝可以通过流体的能力,一般用裂缝支撑带的渗透率(Kf)与支撑缝宽(wf)的乘积(Kfwf)来表示<sup>[2]</sup>。影响裂缝导流能力的主要因素有支撑剂的物理性质、支撑剂在裂缝中的铺置浓度、裂缝闭合压力、储层岩石的力学性质,以及压裂液对支撑带的伤害等。松南页岩油岩板导流能力实验表明,随着闭合压力增加,导流能力下降明显,不同岩性样本差异较大,在10MPa闭合压力下,24小时导

流能力下降80%,泥页岩段为粉砂岩段50%。观察导流实验后岩板,支撑剂(300~600 $\mu\text{m}$ )嵌入比较明显,最大嵌入深度约为200 $\mu\text{m}$ (见图1),说明松南页岩储层存在嵌入现象,需要考虑提高加砂量及砂浓度,从而保障足够的导流能力。

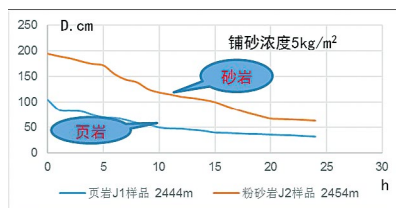


图1 H258井岩心导流能力实验(上为岩板支撑剂嵌入,下为砂岩与页岩导流能力对比)

### 1.2 蠕变曲线测试

蠕变指固体材料在保持应力不变的条件下,应变随时间延长而增加的现象,只要应力的作用时间相当长,固体材料在应力小于弹性极限施加的力时也能出现应变<sup>[3]</sup>。蠕变机制有扩散和滑移两种。在外力作用下,质点穿过晶体内部空穴扩散而产生的蠕变称为纳巴罗-赫林蠕变;质点沿晶体边界

扩散而产生的蠕变称为柯勃尔蠕变;由晶内滑移或者由位错促进滑移引起的蠕变称为滑移蠕变,也称魏特曼蠕变。松南页岩蠕变属于滑移蠕变,蠕变测试表明松南页岩储层塑性较强,需要考虑大规模加砂减少支撑剂嵌入程度。

## 2 矿场现场实践

2020年,松南页岩油完成压裂9口井,结合室内分析及现场测试,明确松南页岩储层塑性较强,通过提高加砂量及砂浓度,有效解决支撑剂嵌入导致导流能力下降问题<sup>[4]</sup>,形成了松南页岩大规模加砂压裂工艺技术,现场试验效果较好。

### 2.1 压裂测试分析

通过停泵曲线形态分析,可以间接验证页岩储层塑性较强。理论认为,常规砂岩停泵曲线为“L”形特征<sup>[5]</sup>,表明脆性较强,而塑性储层停泵曲线呈“弧形”特征,松南页岩油压后停泵曲线大部分为“弧形”特征,表征其塑性较强。

### 2.2 大规模高砂比加砂压裂试验

松南页岩储层黏土矿物含量高、塑性强,支撑剂嵌入严重,保障有效导流能力是提产关键因素。通过提高加砂量及砂浓度,有效解决支撑剂嵌入导致导流能力下降问题,H87-7、H130



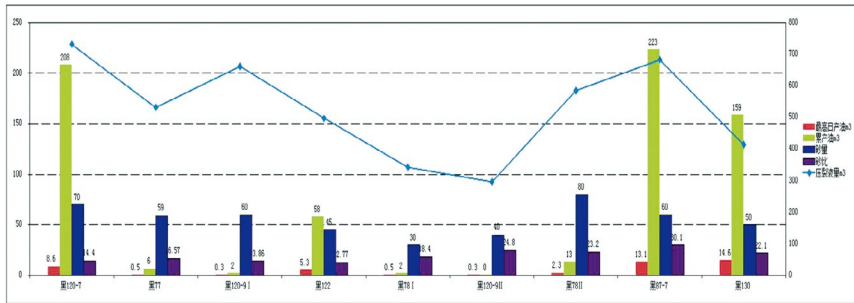


图2 大规模高砂比加砂井与低砂比加砂井试油效果对比

先导试验见到好效果。

(1) 参数设计: 单井施工排量 8~5m<sup>3</sup>/min, 液量494m<sup>3</sup>, 砂量58m<sup>3</sup>, 最高加砂速度达到2.1m<sup>3</sup>/min, 平均砂比提升至25%, 较以往提高10%。

(2) 效果分析: 松南页岩油井大规模高砂比加砂压裂施工, 提高支撑剂铺置浓度, 有效增加裂缝导流能力, 改造效果好, 两口先导试验井H87-7、H130均采用大规模加砂压裂技术, 平均日产量11m<sup>3</sup>, 对比2019年陶粒低砂比压裂井, 技术适应性较强(图2)。

(3) 经济效益: 开展大规模加砂压裂试验, 配套石英砂多倍替代陶

粒+二次加砂技术, 支撑剂单方降低成本4132元, 2020年应用9口井, 加砂759m<sup>3</sup>, 替代陶粒500m<sup>3</sup>, 节省材料费151万元, 压裂综合费用节省240万元, 具有较高的经济效益。

### 3 结论

(1) 通过岩板导流能力实验及蠕变测试表明, 松南页岩储层塑性较强, 存在支撑剂嵌入现象, 严重影响裂缝导流能力;

(2) 通过提高加砂量及砂浓度, 采用大规模高砂比加砂压裂技术, 有效降低页岩储层嵌入程度, 提高支撑

剂铺置浓度, 增加裂缝导流能力, 进而提高单井产能。

### 参考文献

- [1] 吴奇, 胥云, 王晓泉, 等. 非常规油气藏体积改造技术[J]. 石油勘探与开发, 2012, 39(3): 352-358.
- [2] Economides, M J, Nolte, K G. 油藏增产技术(第三版)[M]. 张保平等译. 北京: 石油工业出版社, 2002.9.
- [3] 李新景, 胡素云, 程克明. 北美裂缝性页岩气勘探开发的启示[J]. 石油勘探与开发, 2007, 8(4): 392-400.
- [4] 蒋廷学, 李斐. 高砂比压裂技术研究[J]. 钻采工艺, 1998, 21(2): 13-15.
- [5] 万仁博. 采油技术手册: 第9分册[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994.

## 什么是保税船供油? ■ 伊然

保税船供油是指国家按照国际通行惯例, 为国际航行的船舶提供免税油品供应。保税船供油应具备以下7个特点:

(1) 保税: 保税油经营企业可直接从国际进口燃油, 不占国内燃油进口配额, 免征进口环节的关税、消费税、增值税。

(2) 市场化: 由于远洋船舶的特殊性(船东可以哪里的油便宜去哪里加油), 保税船供油是国际上市场化程度最高的一种燃料商品。

(3) 加油点: 通常在港口范

围内, 也可以在近海或者公海海域。

(4) 入行门槛: 我国对经营保税油业务企业的要求相当高。目前我国有资质进行保税油经营的公司有6家, 分别是中燃、中石化中海、中石化舟山、中燃、深圳光汇和中油泰富。

(5) 功能灵活: 保税油可与内贸油资源相互调剂和转换, 经营具有灵活性。

(6) 船供油种类: 远洋船舶的燃油主要分为两大类, 轻油和重油, 重油就是我们常说的380CST和180CST等, 用于海上正常航行; 轻油是船用柴油, 就是MGO和MDO等, 主要用于机动航行

使用, 比如进出港、进出狭窄航道、大风大浪天气等。因此这类船舶整个燃油系统分为两个完全独立的系统——高黏度燃料油系统和柴油系统。当然也有些远洋船舶仅以重质燃料油为原料, 不使用柴油, 这类船舶在加油时必须考虑限制硫含量的影响, 尤其是当目的港有硫排放限制时。

(7) 燃油标准: 无论远洋船舶的注册地是国内还是国外, 通常都执行国际公认的ISO标准(国际标准化组织)和ASTM标准(美国材料与试验协会)。

# 石油钻机天车防撞装置改进设计

殷宏

( 中国石油长庆油田分公司第六采油厂 陕西西安 710200 )

**摘 要:** 为延长钻机天车使用寿命,降低维护保养的难度,石油钻机天车在设计过程中,往往借助于防撞装置模块,来应对不同场景下的天车使用需求。文章以石油钻机天车防撞装置作为研究核心,通过系统分析现阶段石油钻机天车防撞装置设计缺陷,采取针对的应对手段,做好改进设计工作。

**关键词:** 石油钻机; 天车防撞装置; 改进设计; 技术方案

钻机天车作为石油钻机硬件设施的重要组成部分,在整个钻机运行、石油开采等环节发挥着关键性作用。文章从多个层面,探讨石油钻机天车防撞装置改进设计的基本方法,通过防撞装置结构与构建的优化,弥补现阶段天车防撞装置存在的问题,旨在为石油开采工作营造良好的生产环境。

## 1 石油钻机天车防撞装置设计现状

对现阶段石油钻机天车防撞装置设计情况的梳理,使得相关技术人员从整体层面,准确把握天车防撞装置存在的缺陷、不足,进而为后续石油钻机天车防撞装置改进设计方案的确定优化提供了方向性引导,增强了改进设计方案的实用性,满足石油钻机天车使用需求。

从实际情况来看,目前多数油田所使用的石油钻机天车防撞装置结构较为简单,主要由防撞梁、气控阀、防撞钢丝等组成。在石油钻机天车运行过程中,上行的天车对防撞钢丝产生碰撞,碰撞钢丝在受到碰撞后牵引气控阀,通过气控阀完成最终的天车碰撞防护<sup>[1]</sup>。这种传统的石油钻机天车防撞装置在使用过程中,暴露出一定的问题,这些问题如果没有得到妥善解决,势必对石油钻机运行的安全性、稳定性以及天车日常维护管理产生消极作

用。具体来看,石油钻机天车的安装位置较高,在天车维护保养工作过程中,工作人员需要进行高空作业,开展相应的工作,无形之中增加了天车运行管理的安全风险。石油钻机天车防撞装置灵活性较差,防撞的高度无法有效进行调节,因此导致天车防撞装置的实用性无法满足钻机使用需求,造成了钻机整体成本投入的增加,对石油企业整体的经济收益产生了不利影响。<sup>[2]</sup>同时石油钻机运行过程中所使用的钢丝绳与防撞钢丝绳存在交叉的情况,在实际的设备运行过程中,容易出现防撞钢丝绳卡在钻机滑轮内的情况,导致天车无法正常运行,影响整个钻机的正常使用。

石油钻机天车防撞装置改进设计工作的有序开展,要求相关技术人员立足于实践,在掌握现阶段石油钻机天车防撞装置基本情况的基础上,结合石油钻机天车使用的环境,从元器件选型、配重块计算等层面出发,完善石油钻机天车防撞装置。

## 2 梳理天车防撞装置改进思路

为进一步提升石油钻机天车防撞装置改进设计方案的成效,在实际设计改进工作中,技术人员应当准确、全面掌握目前现有石油钻机天车防撞装置基本构成以及装置在使用过程中存在的问题缺陷。以此为基础,立足于

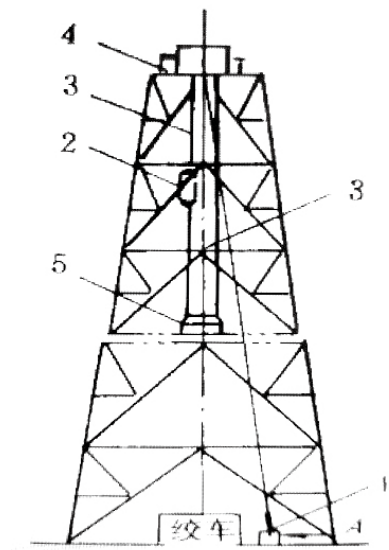


图1 双重锤式防撞天车装置  
1-下重锤 2-上重锤 3-信号绳 4-定滑轮 5-游车

石油钻机天车防撞装置使用的相关需求,将需求作为设计导向,吸收借鉴过往有益经验,通过对已有技术手段的合理高效使用,理顺石油钻机天车防撞装置改进设计的基本思路,为后续相关改进设计工作的开展提供方向性引导<sup>[3]</sup>。

出于提升石油钻机天车防撞装置可控性、安全性的目的,可以在原有天车防撞装置的基础上,通过增加三通气控阀、配重块、导向轮等组件,完成天车防撞装置结构优化。具体来看,在整个改进方案中,通过增加配重块,天车防撞装置能够根据钻机对于防撞高度的需要,进行必要的固定,大大增



强了整个防撞装置的可调控性。同时借助于钢丝,将配重块的另一端绕过钻机井架上预先安装的导向轮,与气控阀相连,这种连接方式,使得工作人员在石油钻机天车操作过程中,可以通过气控阀的有效控制,调整石油钻机天车的运行状态,尤其当钻机天车处于上升状态时,通过控制气控阀的开合,间接调控钢丝绳的松紧程度,顺利完成石油钻机天车运行状态的改变。借助于这种方式,天车的可控性大大提升。例如当工作人员阻断气控阀之后,天车刹车状态解除,在运动过程中,钢丝绳在配重块的作用下,再次将气控阀拉紧,为后续刹车操作提供了便利。

这种石油钻机天车防撞装置改进设计方案,通过气控阀、配重块等组件对防撞梁的有效替代,从而大大简化了天车防撞装置的整体结构,对于现有天车防撞装置的升级或者新天车防撞装置的制造有着极大的裨益,生产成本、生产难度得到有效控制。同时,改进后的石油钻机天车防撞装置的日常检修环节,可以在低位进行,规避了高空作业带来的风险,有效弥补了现阶段石油钻机天车防撞装置在设计方面存在的缺陷,大大增强了其实用性,满足了石油钻机运行的相关要求,对于石油开采工作的开展有着极大的裨益。

### 3 天车元器件的科学选型

石油钻机天车防撞装置在元器件选型的过程中,考虑到各个组件的功能与使用场景,需要着重做好气控阀以及配重块的选型工作。具体来看,在气孔控阀门选型的过程中,技术人员需要充分认识到,石油钻机天车防撞装置在运行过程中,是通过天车带动钢丝绳,钢丝绳在撞击作用下,对气控阀

门产生一定的拉扯作用,气控阀门产生相应的动作,最终完成刹车作用。基于这种防撞原理,技术人员对气控阀门进行选型的过程中,可以使用二位三通气控阀门,这种阀门的优势在于,阀门可以在不受外力作用的情况下,进行气路的自我调节,保证气路的连通性,而在气控阀门受到外力作用时,气控阀门能够快速断开,有着极强的灵敏度。

为保证二位三通气控阀门在天车防撞环节充分发挥作用,技术人员有必要在科学性、实用性原则的引导下,合理选择气控阀门的各项参数<sup>[4]</sup>。例如,确保二位三通气控阀门的工作压力保持在 $-0.95 \sim 10$ ,对于温度的耐受度为 $-10 \sim 60^{\circ}\text{C}$ ,只有符合上述参数要求,才能够保证气控阀门能够适应不同场景下的使用需求。除了进行上述阀门参数、类型的筛选之外,技术人员还需要做好阀门的改进工作,例如通过适当延长或者缩短钢丝绳的长度,使得气控阀门的调节精度得到进一步保障,同时还可以采取压板延长的方式,对气控阀门内部结构进行完善,充分发挥气控阀门在整个石油钻机天车防撞装置中的作用。

### 4 天车配重件的准确计算

对于石油钻机天车防撞装置配重块的选择,主要集中于重量计算等相关方面。从受力角度来看,配重块借助于钢丝绳对气控阀门产生力的作用,基于这种实际,为保证配重块作用的有效发挥,技术人员需要做好配重块最小重量的计算工作,例如,配重块的总重量( $G$ )=气控阀门驱动力( $F_1$ )+钢丝绳重量( $F_2$ ),通过这种计算,技术人员能够在较短的时间内,快速判定石油钻机天车防撞装置配重块的重量,为后续相关设计优化工作的开展奠定了坚

实基础<sup>[5]</sup>。除了要进行配重块的计算之外,技术人员还应当对整个配重结构进行优化,在结构优化环节,技术人员必须确保配重块能够在钢丝绳上,流畅的进行上下运动,最大限度地减少配重块与钢丝绳之间的摩擦力,同时还需要保证配重块安装、拆卸的便捷度,通过这种方式的优化,工作人员能够在短时间内,快速完成配重块的安装、拆卸工作。

### 5 结论

通过必要的结构优化以及装置调整,石油钻机天车防撞装置操作难度得到有效控制,工作人员可以依据需求,快速灵活地完成石油钻机天车防撞装置高度的调节,满足不同场景下,防撞装置的使用需求。借助于改进设计,整个石油钻机天车防撞装置的生产成本得以控制,安全系数得到提升,因此具有更加广阔的使用前景。

### 参考文献

- [1] 王议,张瑞娟,张鹏飞.石油钻机天车防撞装置改进设计[J].中国设备工程,2017(15):77-78.
- [2] 张亚鹏.传统天车防撞技术浅析及新型防撞装置在石油钻机中的应用设想[J].石化技术,2017(12):14-14.
- [3] 杨子平.红外线报警器在石油钻井防撞天车中的应用[J].中国设备工程,2018(16):53-54.
- [4] 高小红,朱光虎.石油电动钻机智能防撞系统的研究[J].电气传动自动化,2017(6):49-52.
- [5] 张彦廷,刘振东,陈帅.海阳浮式钻井天车升沉补偿实验教学平台研制[J].实验技术与管理,2019(4):20-24.

# 饶阳凹陷肃宁油田沙河街组 储层特征及控制因素

李邵楠<sup>1</sup> 马云露<sup>2</sup> 李京京<sup>3</sup> 王政国<sup>2</sup> 薛琦<sup>4</sup>

(1. 中国石油华北油田分公司经济技术研究院 河北任丘 062552;

2. 中国石油华北油田分公司第三采油厂 河北河间 062450;

3. 中国石油华北油田分公司第二采油厂 河北霸州 065700;

4. 中国石油华北油田分公司第四采油厂 河北廊坊 065000)

**摘要:** 综合运用岩心、薄片、实验测试等资料,对肃宁油田沙河街组储层特征及控制因素进行综合研究。研究表明,研究区沙河街组储层以长石砂岩和岩屑长石砂岩为主,储集空间类型包括原生孔隙和次生孔隙,储层物性较差,以低孔低渗、特低孔特低渗为主,具有典型的孔隙型储层特征。优质储层受沉积、成岩及油气充注等作用的控制。储层面孔率与石英、长石含量具有较好的正相关关系,而与岩屑、杂基含量为负相关关系;压实和胶结作用为破坏性成岩作用,溶蚀作用改善了储层物性;油气充注作用改变了成岩环境,抑制了碳酸盐胶结物的发育。

**关键词:** 储层特征;控制因素;优质储层;沙河街组;饶阳凹陷

肃宁构造带位于饶阳凹陷中部,油气资源量丰富,目前发现的主要含油层系为东营组、沙河街组<sup>[1]</sup>。肃宁油田以小断块油藏为主,由于小断裂发育、构造特征复杂,其增产稳产难度较大。近年来,国内外学者对肃宁油田沙河街组储层特征研究较少,开发过程中多参考邻区或同类型油藏的开发经验,储层特征不清,储层控制因素不明确,严重阻碍了油藏的开发。

## 1 地质概况

肃宁油田在构造上位于饶阳凹陷中央隆起带中南部,东西侧分别为河间一窝北洼槽和肃宁—饶阳洼槽,对其周边构造带如薛庄、八里庄及赵皇庄等均进行了开发。根据钻井显示,研究区地层由老到新分别为高于庄组、雾迷山组、沙三段、沙二段、沙一段、东营组、馆陶组、明化镇组等8套含油层系,沙河街组是最主要的油气产层<sup>[2]</sup>。研究区沙河街组主要经历了湖盆演化的三个阶段,即扩张期、鼎盛期和消亡期,沉积相主要为瓣状河三角洲相和湖泊相,岩性为浅灰色、灰色砂岩夹泥岩,厚度在1000~1800m。

## 2 储层基本特征

### 2.1 岩石学特征

根据岩心及实验分析,研究区沙河街组储层主要为灰色、灰白色的中-细粒岩屑长石砂岩和长石砂岩(图1)。石英碎屑颗粒含量占比23.55%~66.78%,平均58.94%,主要发育单晶石英;长石颗粒含量占比17.56%~67.88%,平均42.41%,主要为斜长石和碱性长石;岩屑含量相对较低,平均为19.33%,主要为变质岩和岩浆岩岩屑。碳酸盐胶结物包括方解石、白云石和铁白云岩,颗粒分选中等-好,次圆状,为线接触和点-线接触。储层填隙物整体含量较低,其中杂基分布在1.52%~22.47%,平均3.66%,主要为泥质杂基;胶结物主要分布在1.78%~39.67%,主要为钙质和高岭石,

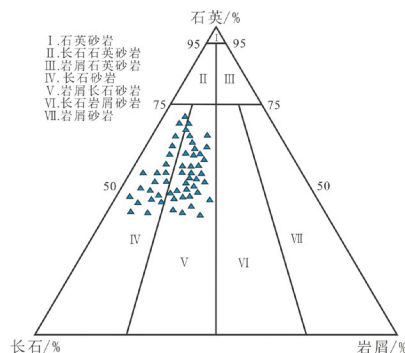


图1 研究区沙河街组砂岩成分三角图

伊利石少量。

### 2.2 储集空间特征

根据岩石薄片鉴定可知,研究区沙河街组储层储集空间以原生孔隙、次生孔隙及微裂缝为主,原生孔隙主要发育粒间孔、粒内孔和少量微孔,次生孔隙类型较多,包括粒间溶孔、粒内溶孔、晶间孔和铸模孔等(图2)。

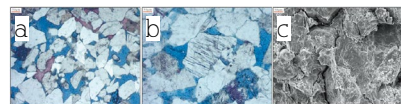


图2 研究区沙河街组储集空间微观照片

图2a,原生孔隙,S1井,3795.47m;图2b次生孔隙,粒间孔、粒内孔和粒间溶孔均发育,S2井,4119.63m;图2c粒间微缝发育呈网格状,S1井,3802.32m。

总体而言,研究区储集空间以孔隙型为主,裂缝发育程度较低。具体而言,沙一段、沙二段以次生孔隙为主,分别占比为59.55%、56.19%,储集空间类型为次生-原生型;而沙三段则主要为原生孔隙,占比达65.22%,次生孔隙为30.97%,储集空间类型为原生-次生型。

### 2.3 物性特征

研究区沙河街组储层孔隙度主



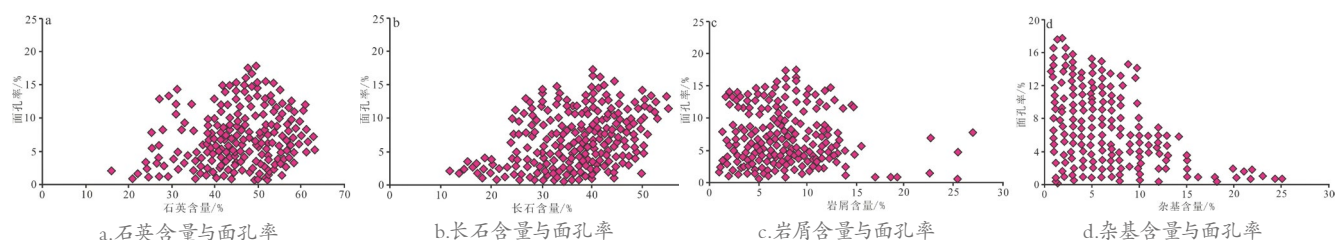


图4 研究区沙河街组储层岩石组分和面孔率相关关系。

要分布在3.1%~21.5%，孔隙度平均为9.85%，其中中孔隙、低孔隙、特低孔隙储层分别占比为12.5%、33.8%及42.3%，另外还存在11.4%的超低孔储层，整体上，研究区主要为低孔和特低孔储层；渗透率主要在0.10~210mD之间，平均值为3.46mD，中渗透率、低渗透率、特低渗透率及超低渗透率储层分别占比为1.1%、6.5%、26.7%以及65.7%，主要为特低渗透率、超低渗透率储层，储层孔隙度和渗透率具有较好的相关性(图3)。

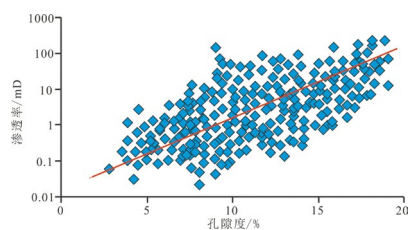


图3 研究区沙河街组储层孔隙度和渗透率相关关系

### 3 储层控制因素

#### 3.1 沉积作用

根据岩石薄片观察，分别统计了储层面孔率与石英、长石、岩屑及杂基含量的相关关系可知：(1) 储层面孔率与石英、长石含量具有较好的正相关关系(图4a、4b)，石英作为储层中的刚性颗粒，其含量将直接影响储层抵抗上覆岩层压力的能力，长石会被有机酸等酸性流体溶蚀，从而产生次生孔隙；(2) 储层面孔率与岩屑、杂基含量具有明显的负相关关系(图4c、4d)。岩屑含量越高，储层越容易压实，统计发现当其含量在4%~9%时，部分样品物性较好；一般分选差的储层杂基含量也较高，不利于原始孔隙度的保存，储层杂基含量是衡量砂岩洁净程度的重要

指标，研究区杂基含量大于10%时，储层面孔率和杂基含量具有最明显的负相关关系。

#### 3.2 油气充注

一般认为，早期油气充注对储层原生孔隙的保存、储层品质的提升具有积极作用。前人研究证实，研究区沙河街组储层油气充注可分为两期，第一期约20Ma，为早期充注，第二期在10 Ma左右，成藏时间以新近纪为主。第一期油气充注的规模较大，改变了成岩环境，岩石由水润湿相向油润湿相转化，并进一步暂时停止了成岩作用，原生孔隙得以保存。镜下观察可知，发生过油气充注的孔隙对应碳酸盐岩胶结性较差，其中以铁方解石、铁白云石这类晚期胶结物最少，油气充注改变了成岩环境。显然，早期油气充注降低了碳酸盐胶结物的含量，对储层原生孔隙有良好的保护作用，利于形成优质储层。

#### 3.3 成岩作用

研究区成岩作用对储层物性的影响主要表现在压实、胶结和溶蚀作用。压实作用是使得储层物性变差的最主要原因，不同时期胶结作用对储层物性的影响不同，溶蚀作用可较好地改善储层物性。

研究区自古近纪后经历了长期的埋藏阶段，新近纪以来开始快速埋深，颗粒之间主要以线接触为主，具有较强的压实作用。根据薄片和扫描电镜观察，研究区碳酸盐岩胶结现象明显，主要的碳酸盐胶结物为方解石、白云石和铁白云石，主要以细-粗晶颗粒存在于粒间孔隙中，嵌晶结构偶见。晚期胶结作用使得储层物性被严重破坏，

其原因为有机酸的充注往往早于晚期胶结物的形成，这类胶结物被改造的可能性更小。另外，研究区储层溶蚀作用明显，镜下多见早期大气淡水淋滤导致的长石溶蚀和晚期酸性流体导致的长石沿节理缝溶蚀。早期的长石溶蚀主要形成高岭石，高岭石会随着埋深的增加转化为伊利石。根据包裹体测温可知，研究区沙河街组地层温度主要位于76~118℃，这个温度区间非常利于有机酸大量生成并保存，增强了溶蚀作用。

### 4 结论

(1) 肃宁油田沙河街组储层岩石类型以长石砂岩和岩屑长石砂岩为主，储集空间类型包括原生孔隙和次生孔隙，不同层位储层孔隙空间类型存在较大差异，其中沙一段、沙二段主要为次生孔隙，沙三段以原生孔隙为主。

(2) 研究区沙河街组储层的控制因素主要为沉积作用、成岩作用及油气充注作用。沉积作用主要通过影响岩石的骨架组分和成分成熟度，从而控制优质储层发育，成岩作用中压实和胶结作用破坏储层物性，溶蚀作用增加储层物性，油气充注作用有效抑制了碳酸盐胶结物的发育。

#### 参考文献

- [1] 张建山, 于海军, 陈京原, 等. 单位孔隙体积烃总量计算方法在肃宁-大王庄构造带的应用[J]. 录井工程, 2020, 31(3): 80-85.
- [2] 张新桂. 饶阳凹陷沙河街组储层碳酸盐胶结物形成机制及其对储层质量的影响[D]. 成都理工大学, 2018.

# 岔路河断陷万昌构造带成藏主控因素

马云凤

( 中国石油吉林油田分公司勘探开发研究院 吉林松原 138000 )

**摘要:** 本文通过开展伊通盆地岔路河断陷万昌构造带的烃源岩、构造、储层、盖层、成藏模式等成藏要素研究,在对重点区块油藏解剖的基础上,总结油气富集条件,指出油气富集成藏受控于区域盖层、断裂与储层的配置关系。研究表明,本区存在两套区域盖层——永二段底至奢一段顶和双一段泥岩盖层,凹陷生成的油气通过断裂、不整合面和基岩裂缝储层作为输导,向基岩至古近系的有效圈闭内聚集成藏,在凹陷区、斜坡带和万昌构造主体区形成多种类型的油气藏。综合对比分析,万昌构造双一段底砾岩与基岩为近期主要勘探层系和攻关方向。

**关键词:** 万昌构造; 烃源岩评价; 双一段; 成藏模式

伊通盆地岔路河断陷<sup>[1]</sup>地层由下而上依次发育基岩,前第三系(局部发育),始新统双阳组(一至三段)、奢岭组一段(局部缺失二段)、永一段、永吉组(二至四段),渐新统万昌组(一段、二段)、齐家组、岔路河组和第四系地层。万昌构造带位于岔路河断陷的中东部,为继承性基底穹隆构造,东南为盆地边界,西北为凹陷区,勘探面积140km<sup>2</sup>,钻探16口井。自1984年发现万昌构造以来,钻探发现H2、H15两口工业油气流井,其余探井均未获得新的工业发现,勘探成效比较差。该区纵向含油气显示层段多,储层物性较好,构造形态较为完整,是伊通盆地效益勘探的前景区带,但油气主控因素不明确,成藏模式研究滞后,影响其勘探潜力的评价。

## 1 万昌构造带基本成藏条件

### 1.1 烃源岩特征

岔路河断陷<sup>[2]</sup>主要发育双阳组、奢岭组、永吉组3套烃源岩,岔路河断陷47口探井的岩性统计揭示,双阳组泥岩厚度在24~719m,平均厚度为244m;奢岭组泥岩厚度在31~635m,平均厚度为232m;永吉组泥岩厚度在130~1011m,平均厚度为510m。3套烃源岩有机质丰度均达到中等到好的级别,其中双阳

组烃源岩丰度最高,其次为奢岭组和永吉组。双阳组泥岩有机碳含量大于1%的占49.2%,大于2%的占8.7%,达到很好的标准;奢岭组泥岩有机碳含量大于1%的占72.7%,大于2%的仅占3.9%。双阳组烃源岩有机质类型主要为Ⅱ2型,少部分为Ⅱ1型和Ⅲ型;奢岭组有机质类型主要为Ⅱ1型和Ⅱ2型;永吉组烃源岩有机质类型主要为Ⅲ型,少部分为Ⅱ2型。从Ro与深度演化关系来看,岔路河断陷源岩在埋深达到2000m时进入低熟阶段,在埋深达到2500m时进入成熟阶段,在埋深达到3550m时进入高熟阶段。双阳组大部分源岩进入成熟阶段晚期~高熟阶段,奢岭组烃源岩主体处于成熟阶段,永吉组大部分烃源岩处于未成熟~低熟阶段,万昌构造主体区源岩处于未成熟~低熟阶段。总体上岔路河断陷烃源岩单层连续厚度大,以湖相泥岩为主,生烃潜力较大,烃源岩条件优越。

### 1.2 构造特征

万昌构造带位于岔路河断陷新安堡凹陷与梁家构造带的东侧,平面上呈大型鼻状构造,其东南为盆地边界断层。万昌构造带前缘发育两鼻状分支,分别伸向新安堡凹陷和波泥河-太平凹陷,特别是西支断鼻伴有数条张性(或张扭性)断裂发育,连通新安堡生烃凹陷。

### 1.3 储层展布特征

万昌构造带钻井年度跨度大,近10年没有针对性研究,本次研究以凹陷区H27井为标准井,开展由凹陷区向盆

表1 万昌构造主要层段砂岩厚度数据表 单位:米

井名	永四段	永三段	永二段	奢一段	双三段	双二段	双一段
H1	85.6	79.8	107	34.2			
H2	11.6	19.2	103.6				
H4	38.4	86.4	101.6	344.5	212	232	69
H15	91.4	122.6	108.2	212	77.5	108.5	84
H17	103.4	15.4	0	352.5	189.5	140	63.5
H18	104.4	180.4	3.2	166	125	222.5	9
H20	106.6	79.8	3.2	341.5	195.5	115.5	88
H21	147.8	80.4	32.4	32.5			
H23	39.8	0	43.4	62.2			
H27	3.6	4.6	84.8	90.8	25.8	290.7	35.7
H34	21.2	断失	46	2	0	84.4	
H38	30.1	79.4	125.7				
H101	75.8	70.8	78.8				
H103	50	77.8	0	162.8			
H104	47.6	68.8	99	323	65.6	87.2	5
H102	23.4	44.6	71				
HW1	35.6	0	65.4	84.2	153.8	109.2	33.4



地边部对比,重新进行地层划分和对比,统计各主要层段砂岩厚度(表1),编制储层研究的基础图件。从砂岩对比图可以看出,盆地边部砂地比普遍偏高,凹陷区至斜坡位置,砂地比明显降低,储层横向变化明显变大。

本区有两个物源方向:东南和西北。永吉组沉积时期,永四段及永二段均为双向物源汇入,永三段仅为东南方向物源汇入,奢岭组沉积时期仅有东南物源汇入,双阳组沉积时期,双三段和双一段均为东南方向物源汇入,双二段为双向物源汇入。

#### 1.4 盖层条件

万昌构造地区永吉组、奢岭组、双阳组均有大套的泥岩发育,可作为区域盖层。研究发现本区发育两套稳定泥岩,永二段底-奢一段顶和双一段,紧邻油气显示层,可以说,盖层条件决定了本区的油气显示的分布。永二段底-奢一段顶泥岩段厚度在40~180m, H38井附近泥岩厚度最小,为43m;双一段泥岩厚度在145~300m,整体厚度较大。老井油气复查结果显示,连续泥岩厚度至少50m才能起到对油气的封隔作用。

## 2 油藏特征解剖与区域成藏模式分析

### 2.1 典型井油藏解剖

#### 2.1.1 构造顶部油藏解剖—H15井

H15井奢一段试油获得高产,从录井看,油气显示为荧光,岩性为

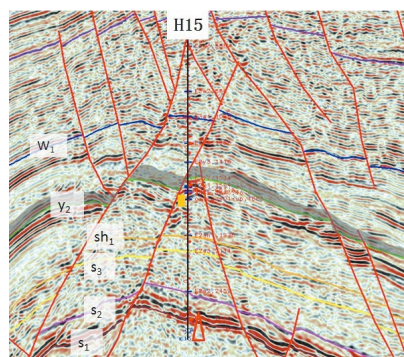


图1 H15井地震剖面图

粉砂岩,孔隙度15%~22%,渗透率0.8l~65lmD,永一段地层厚度56m,没有砂岩沉积,全部为灰色泥岩。从地震剖面看,发育一套泥岩盖层,被两条断层切割,局部形成“凹中隆”构造圈闭,侧向对接永一段泥岩遮挡(图1)。

#### 2.1.2 斜坡带油藏解剖—H2井

H2井永四段底部试油获得高产,从录井看,油气显示为荧光,岩性为灰白色细砂岩,永四段地层厚度236m,砂岩厚度11.6m,砂地比低,泥岩厚度大,可作为盖层。从地震剖面看,上倾方向有反向正断层遮挡,断层两侧有永三段、永四段泥岩遮挡(图2)。

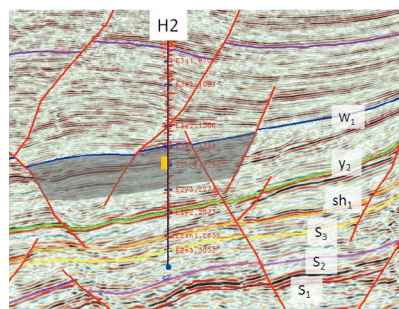


图2 H2井地震剖面

#### 2.1.3 凹陷区内部油气藏解剖—H34井

H34井永二段、双二段试油获得高产。从录井看,永二段油气显示为荧光,岩性为灰色含砾不等粒砂岩,永二段地层厚度192m,砂岩厚度46m,砂地比低。奢岭组、双三段以泥岩为主,可以作为盖层,双二段为灰色含砾粉砂岩。从地震剖面看,构造背景有利,断垒特征,永二段上倾方向有断层遮挡;双二段侧向断层遮挡。

### 2.2 万昌构造油气成藏模式

综合烃源岩、构造、储层、盖层、疏导条件及相互配置关系研究,建立岔路河断陷万昌构造油气成藏模式。本区油气源主要来自新安堡凹陷与波太凹陷的双阳组、奢岭组灰黑色泥岩,输导体系主要是断裂、砂体与不整合面,盖层主要是奢岭组顶部与双一段两套

区域性发育的泥岩,局部地区万昌组顶部、双二段顶部发育局部盖层。在断层和基底持续性隆升作用下,万昌构造主要地震反射层均存在大型构造圈闭,但是圈闭的有效性较差,仅仅是局部厚层区域盖层发育区,具备反向正断层的断鼻构造油气成藏条件较好(比如H15)。整体形成大的构造圈闭背景下,发育小型油气藏的特征,油气主要受控于盖层与侧向泥岩遮挡条件,圈闭高部位为油气层,低部位为水层。

### 2.3 有利勘探区预测

根据油气成藏模式分析,预测万昌构造油气藏纵向上主要分布于永吉组、奢岭组、双阳组及基岩,平面上看,油气主要集中在分布于围斜部位和构造顶部。从区域盖层条件分析,围斜部位主要勘探层系为奢岭组和永吉组,构造高部位主要勘探层位为奢岭组、双一段及基岩。

## 3 结论

对比奢一段、双一段及基岩两套层系,优选具有连续性较好盖层的双一段底砾岩及基岩为主要勘探层系,在基岩构造高部位部署了HG2井。从凹陷区到东南缘构造高部位连井地层对比可以看出,双一段泥岩全区发育,底砾岩发育,物性好,风化壳显示连续,断裂没有断穿基岩。总的来说,盖层、储层、运移、保存条件均良好,预测HG2井双一段底砾岩和基岩均发育油层,适于近期勘探部署。

## 参考文献

- [1] 康伟力,等. 吉林探区油气勘探理论与实践[M].北京:石油工业出版社,2007.
- [2] 侯启军,赵志魁,陈红汉,江涛. 伊通盆地演化与油气成藏动力学[M].北京:石油工业出版社,2009.

# 王府断陷小城子洼槽 火石岭组致密储层特征

韩青林

( 中国石油吉林油田分公司勘探开发研究院 吉林松原 138000 )

**摘要:** 近年来松辽盆地南部的源内勘探理论及实践证实了其理论的可操作性。王府断陷为松辽盆地南部的二级断陷带,其勘探主战场为小城子洼槽带、东侧的构造带及再东侧的山东屯构造带的延伸区域。小城子构造带次生气藏勘探程度较高,原生气藏特别是非常规能源勘探重要程度日益突显。对小城子洼槽的原生气藏进行剖析可见源储配置好的气藏存在有效储层,即可富集成藏。本文对火石岭组储层特点进行研究,评价其优劣,明确优质储层,对小城子洼槽致密气勘探有一定的参考价值。

**关键词:** 松辽盆地;王府断陷;小城子洼槽;火石岭组;储层特征

近年来源内勘探理论及松辽盆地南部部分断陷中的实践为深层致密气藏的勘探指出方向。王府断陷WF1井的突破初步展现了千亿立方米的勘探前景。钻井揭示王府断陷烃源岩发育在火石岭组和沙河子组,烃类气则在除营城组外白垩系下统地层中均有富集<sup>[1,2]</sup>。本文旨在通过火石岭组致密气藏的研究阐述火石岭组致密储层特征。

## 1 储层特征

### 1.1 沉积及演化

火石岭组沉积早期发生了大规模、多期次的火山喷发,形成隆洼相间的构造格局<sup>[3]</sup>。钻井揭示早期为大套中性火山岩。中期地层发生掀斜,断陷东部抬升,隆起剥蚀,邻近物源的山间洼地沉积一套扇三角洲-半深湖相地层,岩性为沉角砾岩、沉凝灰岩与黑灰色泥岩互层组合;断陷西部为快速沉降区,沉积一套半深湖相、扇三角洲相的泥岩夹火山碎屑、砂砾岩的岩性组合。

### 1.2 地层、岩性组合及地震相特征

火石岭组一段主要以早期的中基性火山岩为主,发育在洼槽的东部缓坡带;火二段主要以火山喷发间歇期的火山碎屑岩及晚期的酸性流纹质火山

岩为主,也是火石岭组暗色泥岩富集层段,将其分为三个砂组:Ⅰ砂组顶部为煤层,下部为砂岩、泥岩、流纹质凝灰熔岩、火山碎屑岩;Ⅱ砂组为厚层泥岩夹薄层凝灰质砂砾岩。Ⅲ砂组以火山碎屑岩为主(图1)。

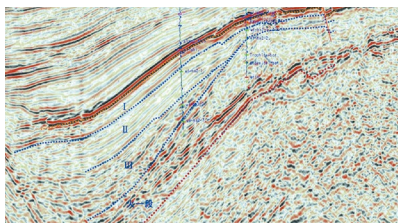


图1 火石岭组地震相特征

### 1.2 储层特征

小城子洼槽火二段发育两种储层:下部火山碎屑岩储层(Ⅲ砂组为主、Ⅱ砂组薄层分布、Ⅰ砂组)和上部流纹质岩储层(Ⅰ砂组)。

#### 1.2.1 Ⅲ砂组火山碎屑岩储层

目前钻遇火二段Ⅲ砂组火山碎屑岩的探井有CS4井和CS38井。在CS4井区,Ⅲ砂组底部和中上部发育两套沉角砾凝灰岩,中间夹薄层粉砂质泥岩、凝灰质泥岩和沉凝灰岩。孔隙度平均1%,渗透率平均为0.06mD,储层物性相对较差,属低孔特低渗储层。

#### 1.2.2 Ⅱ砂组火山碎屑岩储层

Ⅱ砂组火山碎屑岩体储层不发

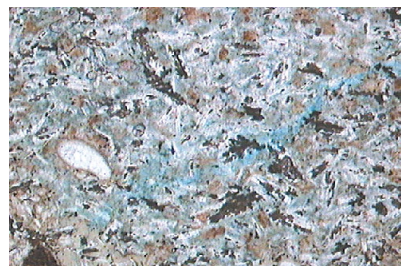


图2 CS12井2867.8m微孔隙、微裂隙



图3 CS10井2708m微孔隙

育,呈薄层透镜状分布于湖相烃源岩之中,主要岩性为火山角砾岩、沉火山角砾岩及沉凝灰岩,储层物性相对较差,气层孔隙度平均5.3%,渗透率平均为0.04mD。在含气井段内,储层物性相对好一些,气测录井有一定显示,含气饱和度相对较高;反之,储层物性差,气测录井显示较差或无气测显示,含气饱和度较低。因此,储层岩性、物性控制含气性。储集类型主要为基质溶孔,其次为微裂缝(图2~5)。根据3口井12块物性分析样品,火山碎屑岩孔隙度平均5.3%,渗透率平均为0.04mD,为中孔



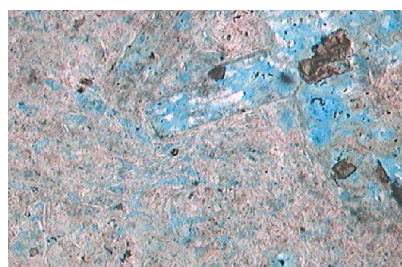


图4 CS10井2708m微孔隙

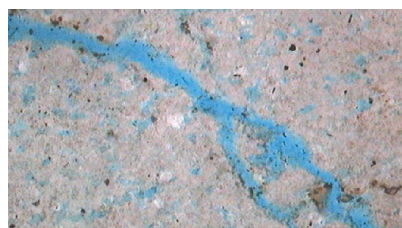


图5 CS10井3106m微孔隙、微裂隙

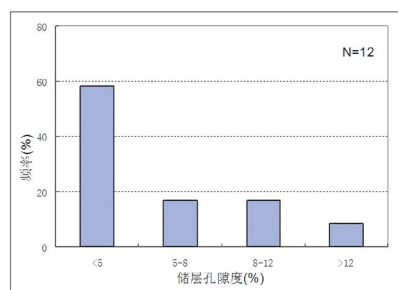


图6 火山碎屑岩储层孔隙度直方图

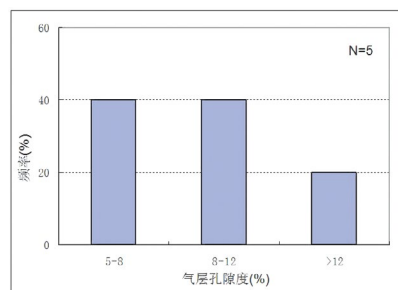


图7 火山碎屑岩气层孔隙度直方图

特低渗储层(图6, 图7)。

由于以火山角砾或者火山碎屑为储层的骨架抗压性强, 因此物性受埋深影响小, 随着深度的变化物性基本不变, 相比于常规碎屑岩物性相对较好。火山碎屑岩的物源区为东部较高部位, 离物源越远储地比越低。火山碎屑岩体有效储层厚值区位于CS12井的东侧, 最厚可达70m以上, 一般厚度为10~50m。

### 1.2.3 I砂组流纹岩储层

29口探井揭示流纹质火山岩具有平面分布广、纵向厚度薄的特点, 除

CS11、CS5井区剥蚀外, 其他地区均有分布, 断层下降盘比上升盘厚, 厚值区分布于CS601、CS604、CS12和WF1四个井区, 厚度30~40m, 薄值区主要分布在上升盘, 厚度一般10~20m。利用岩心分析资料刻度测井资料, 火山岩储层在测井的响应特征表现为中低电阻、低密度特征, 中子和密度组合曲线、密度与纵横波速比形成明显的交汇幅度。同时结合火山岩试气资料开展流纹质火山岩储层划分, 储层厚度一般5~15m, 最厚发育在WF1与CS10之间, 厚度30m, 单机储层连通性好, 机构间储层连通性差。

根据岩心、岩屑描述和薄片鉴定成果, 同时结合常规测井、ECS元素俘获测井和FMI成像测井等资料, 确定火二段流纹质火山岩储层共发育5种岩性: 流纹岩、流纹质角砾熔岩、流纹质凝灰熔岩、流纹质凝灰岩和沉凝灰岩。

通过对17口钻井岩心、岩屑及铸体薄片的观察, 把火二段流纹质火山岩储集空间按成因分为3种类型: 原生孔隙、次生孔隙和裂缝。原生孔隙包括原生气孔、矿物炸裂纹和解理缝隙, 次生孔隙包括基质溶孔、晶间溶孔, 裂缝指构造缝和溶蚀缝。FMI成像测井裂缝主要为高导构造缝、高导微裂缝, 高阻缝不发育。流纹岩储集空间的特点是类型多、孔隙结构复杂、次生孔隙发育。

根据4口井34块物性分析样品, 流纹质火山岩储层孔隙度一般为5%~12%, 平均为8.5%, 渗透率一般小于0.1mD, 为中孔特低渗储层。

## 2 气藏特征

火二段原生气藏主要受源岩控制, 集中在洼槽的主体部位, 北部火二段碎屑岩与湖相泥岩互层, 形成自生自储岩性气藏, 有效储层处即富集成藏, 南部火二段储层与沙河子源岩断层侧

向对接, 近源储层富集成藏, 东坡南北向断层保存条件差, 整体含气饱和度低, 试气较易出水。

流纹岩气藏为下生上储上盖、下倾断裂+侧向供烃, 有效储层成藏, 断背斜、断鼻富集; 粗面岩侧向对接构造成藏, 高部位饱和度好; 页岩气有效源岩和微孔隙决定成藏。火二段II、III砂组致密气储层“甜点”成藏。I砂组流纹岩分布较广且稳定, 除CS5井、CS6井、CS606井外, 均揭示流纹质熔岩20m~50m, 均见气层, 展示连片分布的特征, 构造高部位富集, 远离主洼槽气藏含水多。

## 3 结论

(1) 小城子洼槽火石岭组储层主要发育在火二段, 在致密储层范畴内由于火山角砾或者火山碎屑储层的骨架抗压性强, 优于常规碎屑储层;

(2) 整体来看, 火二段储层属于低孔-中孔、特低渗储层, 其中顶部的I砂组流纹岩储层物性最好, 为中孔特低渗储层;

(3) 火二段I砂组流纹岩储集空间类型复杂, 原生孔隙、次生孔隙和裂缝均有发育, 其中次生孔隙为主要储集空间;

(4) I砂组流纹岩储层在王府断陷小城子地区广泛发育, 流纹岩气藏受源岩控制, 存在有效储层即成藏, 为自生自储式气藏。

## 参考文献

- [1] 高瑞祺. 松辽盆地白垩系石油地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 1994.
- [2] 杨万里. 松辽陆相盆地石油地质[M]. 北京: 石油工业出版社, 1985.
- [3] 侯启军, 赵志魁, 王立武, 等. 火山岩气藏[M]. 北京: 科学出版社, 2009.



# 通俗易懂的 《石油的一家》

白智勇

《石油的一家》是《少年百科丛书》系列之一，1978年5月，由中国少年儿童出版社于北京出版。作者叶永烈是我国知名科普作家。

作者写作此书的目的，是为了帮助广大民众了解发展石油工业的重大意义和石油工业的发展情况，为国民经济提供强大的物质保障。该书以通俗易懂的语言，从1973年10月的中东战争讲起，详细介绍了石油的发展史、石油的用途以及石油产品的种类等。书中指出，在古代，由于生产水平和科学水平的限制，石油没有得到广泛的应用。把石油变成宝加以利用是在200多年以前，人们用蒸馏的方法加工提炼。通过蒸馏的方法，人们得到三种物质：汽油、煤油和重油。1000升的原油，可以提炼大约400升煤油、100升汽油和500升重油。开始的时候，人们用煤油来点灯，把汽油和重油当作废物，资本家为了赚取利润，把汽油掺在煤油中销售，经常引起爆炸，造成火灾。内燃机发明以后，汽油才被人们重新认识。尤其是在汽车出现后，汽油得到了大规模的使用。于是，汽油这种“废物”不但找到了出路，还渐渐变得供不应求。

重油在人们解放思想、重新认识石油的过程中也变成了抢手的宝贝。人们发现，采用“减压蒸馏法”，把重油重新加工后，可以得到柴油、润滑油、沥青、焦炭、石蜡等许多有用的物质。汽油、煤油、重油普遍使用后，另一个问题产生了，就是煤油废气的处理。开始在蒸馏的时候，会产生许多比汽油还容易着火的气体，不妥善处置，会引起严重火灾，人们只好把它烧掉。在仔细分析了废气的化学成分后，人们发现它是非常宝贵的化学工业原料，利用这些原料，可以生产塑料、合成纤维、人造橡胶，以及染料、香料、药物、洗衣粉等产品。并由此诞生了一个崭新的工业——以石油为主要原料的“石油化学

工业”。

我国作为最早发现石油的国家，由于长期受到封建制度的束缚，特别是鸦片战争后的一百多年来，受到帝国主义、封建主义、官僚资本主义三座大山的压迫，生产停滞不前，石油工业发展缓慢。新中国成立后，广大石油地质工作者应用李四光提出的地质理论，发现了大庆油田。1963年，周恩来总理在第二届全国人民代表大会第四次会议上，庄严地向全世界宣布：我国需要的石油，过去绝大部分依靠进口，现在已经可以基本自给了。此后，中国的石油工业进入了一个新的发展阶段。

《少年百科丛书》是新中国成立后第一套以少年为对象的大型知识性丛书。丛书从1978年开始编辑出版，国内知名专家、学者及科普名家参与编写，代表了当时我国少儿百科出版物的整体水平，相当全面地介绍了文理各学科（包括语言、文学、历史、数学、物理、化学、生物、天文、星际航行、地理、生理卫生以及科学史等）的基础知识和一些现代成就。丛书坚持“启发思想、丰富知识、培养能力、引起兴趣”的编辑方针，既注意科学内容的准确性和先进性，又注意文字表达的艺术性和趣味性，问世以来，一直受到广大少年读者的欢迎。丛书对青少年起到了“启发思想、丰富知识、开阔眼界、引起兴趣”的作用，被专家、学者誉为“通向知识海洋的窗口”“哺育巨人的乳汁”。1978年出版以来，累计发行5000万册，1990年获“中国图书奖”一等奖，1993年获第一届“国家图书奖”提名奖，1993年获“全国优秀畅销书奖”。



## 《石油知识》

## 全国理事会

## 理事长

中国石油天然气集团公司原副总经理、中国石油学会理事长 赵政璋

## 常务副理事长

大庆油田有限责任公司副总经理	王玉华	中国石油天然气集团公司信息管理部总经理	古学进
中国石油天然气股份有限公司勘探开发研究院院长	马新华	中国石油天然气集团公司科技管理部总经理	匡立春
中国海洋石油总公司科技信息部总经理	周建良	陕西延长石油集团副总经理	王香增

## 副理事长

中国石油天然气集团有限公司咨询中心副主任	张德有	国家管网集团北方管道有限责任公司总经理	王国涛
中国石化润滑油分公司总经理	宋云昌	中国石油塔里木油田公司总经理	杨学文
胜利石油管理局有限公司执行董事	孔凡群	中国石油吐哈油田公司执行董事	支东明
中国石油大庆石油管理局副总地质师	王渝明	中国石油吉林石化分公司执行董事	金彦江
中国石油吉林油田分公司总经理	姜鹏飞	中国石油大连石化公司执行董事	庞晓东
中国石油辽河油田分公司执行董事	李忠兴	中国石油大庆石化公司总经理	王一民
中国石油西南油气田公司原总经理	谢军	中国石化中原油田分公司总经理	张庆生
中国石油青海油田分公司总地质师	张永庶	中国石油华北油田分公司执行董事	修景涛

中石油燃料油有限责任公司副总经理	谭立村	中国石油集团石油管工程技术研究院院长	刘亚旭
中国华油集团有限公司总经理	石清俊	中国石油宁夏石化公司分公司总经理	陈 坚
中国航空油料有限责任公司副总裁	陈开彬	中石化石油工程技术服务股份有限公司总经理	孙清德
中国寰球工程有限公司执行董事	魏亚斌	中国石油浙江油田分公司副总经理	梁 兴
中石油煤层气有限责任公司执行董事	齐振林	中国石油长庆石化公司副总经理	廉金龙
中国石油云南销售公司总经理	赵剑春	中石油云南石化有限公司执行董事	吴 凯
中国石油抚顺石化分公司总经理	李天书	中国石油长城钻探工程公司原总工程师	刘乃震
中国石油新疆油田分公司总经理	霍 进	中国石油大港油田分公司副总经理	周立宏
中国石油集团东方地球物理勘探有限责任公司党委副书记	王治富	中国石油天然气股份有限公司石油化工研究院院长	何盛宝
中国石化集团国际石油勘探开发有限公司党委书记	郭月良		

### 常 务 理 事

中国石油广西销售公司执行董事	曹景军	中国石油润滑油公司执行董事	肖宏伟
中国石油黑龙江销售公司执行董事	梁生光	陕西延长石油集团研究院院长	魏登峰
中国石油内蒙古销售公司总经理	郭 春	中国石油江苏销售公司总经理	张 永
中国石油辽河石化公司总经理	姜昌泉	中国石油海南销售公司总经理	韩 非
中国石油呼和浩特石化公司总经理	刘至祥	三峡燃气集团董事长	谭传荣
中国石油西北销售公司总经理	刘守德		

### 秘 书 长

中国石油学会石油知识杂志社社长 熊英