

Progress of
Petroleum Engineering Technology

石油工程技术

新进展

路保平 主编

中国石化出版社

[HTTP://WWW.SINOPEC-PRESS.COM](http://www.sinopec-press.com)

石油工程技术新进展

路保平 主编

中国石化出版社

图书在版编目(CIP)数据

石油工程技术新进展 / 路保平主编. —北京:
中国石化出版社, 2014. 6
ISBN 978 - 7 - 5114 - 2858 - 5

I. ①石… II. ①路… III. ①石油工程 - 工程
技术 - 文集 IV. ①TE - 53

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2014)第 117605 号

未经本社书面授权, 本书任何部分不得被复制、抄袭, 或者以任何形式或任何
方式传播。版权所有, 侵权必究。

中国石化出版社出版发行

地址: 北京市东城区安定门外大街 58 号

邮编: 100011 电话: (010) 84271850

读者服务部电话: (010) 84289974

<http://www.sinopec-press.com>

E-mail: press@sinopec.com

北京柏力行印刷有限公司印刷

全国各地新华书店经销

*

787 × 1092 毫米 16 开本 32 印张 794 千字

2014 年 6 月第 1 版 2014 年 6 月第 1 次印刷

定价: 138.00 元

前 言

党的十八大报告指出，科技创新是提高社会生产力和综合国力的战略支撑，必须摆在国家发展全局的核心位置。实施创新驱动发展战略，提高科学研究水平和成果转化能力，大幅提升科技进步对经济增长的贡献率。十八大报告为科技工作者和科研机构创新指明了方向。

2009年6月26日，中国石化党组决定成立中国石化石油工程技术研究院（以下简称工程院），主要业务范围是以井筒技术为主，从事石油钻井、完井、测井、录井、测试、储层改造及海洋石油工程等的发展规划、科研攻关、产品研发、推广应用。成立伊始，工程院就以“建设世界一流研究院”为目标，以服务勘探开发，支撑石油工程发展为己任，求实创新、追求卓越、凝心聚力、攻坚克难，倾力打造“作风过硬、技术精湛、参谋到位、支撑有力”的石油工程科技铁军，为中国石化油气资源战略的实施及石油工程技术发展发挥越来越重要的作用。

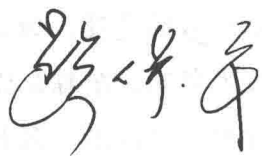
创新是企业发展的原动力，更是科研单位生存的灵魂。石油工程技术研究院作为集团公司石油工程技术发展的参谋部、石油工程高新技术研发中心、国内外石油工程技术支持中心，工程院将按照集团公司的统一部署，加快海外研发中心和技术中心的建设，加大国际高层次人才的引进力度，加强技术合作，强化基础前瞻技术研究，跟踪先进技术，瞄准前瞻技术，突破关键技术“瓶颈”，培育打造非常规工程技术、深井超深井钻井技术、复杂结构井钻完井技术、特殊储层识别与改造技术和深海/极地钻完井工程技术等5项核心技术，打造特殊钻井液、复杂地层固井和钻完井井下工具3个国际品牌技术，建设1套石油工程信息与决策支持平台，逐步实现从“跟随者”向“领跑者”的转变。

持续提高成果转化能力，为勘探开发提供技术保障。工程院根据中国石化油气勘探开发部署，针对勘探开发中的技术难题，发挥工程院的整体技术优势，强化成果转化和技术集成，持续提升技术支持和保障能力。在国内，加强与油田企业的战略合作，以“五大会战”和全面钻井提速为重点，为勘探开发提供一揽子石油工程解决方案和一体化的技术支持与服务，为集团公司增储上产提供全方位技术支持；在海外，深化与国勘、工程公司的合作，以海外石油工程技术中心为

纽带，做好技术支持，开拓高技术含量和高附加值的技术支持与服务项目，为中国石化打造“半壁江山”、壮大石油工程技术市场提供技术支持。

加快新产品研发应用，打造关键载体系列。以打造核心技术、发展特色技术和强化技术手段为目的，加快新产品、新工具和新材料的研发步伐，研制开发随钻测量系统、高效破岩工具、新型纳米油田助剂、智能压裂工具和完井工具、设计解释评价软件等，加快高新技术产品的产业化进程，形成油田助剂、井下工具、工程软件和标准操作规程等关键载体系列，为促进中国石化油气勘探开发进程、提升石油工程技术的水平和市场竞争力提供高端技术载体保障。

2009年以来，为了活跃学术气氛，搭建相互交流的平台，工程院每年举办一届“石油工程新技术学术报告会”，邀请国内外和院内相关专家进行学术报告，集中展示了国内外石油工程技术进展、最新研究成果，至今已经成功举办四届。2014年恰逢工程院建院五周年，现将部分学术报告编著成书，收集了建院以来五届“石油工程新技术学术报告会”的专家论文61篇，主要涉及石油工程发展前景及战略、钻井完井技术与理论、储层改造及测录井技术、石油工程技术管理等内容，这些报告凝聚了各位专家宝贵的研究成果和丰富的实践经验，展示了石油工程领域的新成果、新技术、新方法和新思路，希望能够为广大石油工程技术研究工作所借鉴。



目 录

石油工程发展前景及战略

创新思维与石油工程技术创新	路保平/3
中国石化页岩气工程技术进步及展望	路保平/11
信息化与智能化为石油工程技术发展带来的机遇与挑战	赵金洲/22
关于固完井工具发展的战略思考	马开华/30
非常规油气井完井面临的挑战与发展思考	连经社 赵 旭 陈 作/37
石油工程全球战略形势分析	张映红 姚云飞 孙 键/44
水平井分段压裂技术现状与发展趋势	陈 作/50
水平井分段压裂新技术进展	陈 作 曾义金/59
井眼轨道几何学研究进展	刘修善/66
水力压裂裂缝监测技术进展	张保平/78
国外压裂酸化技术新进展及对我们的启示	蒋廷学 贾长贵 秦钰铭/84
随钻测井技术进展与展望	陆黄生 谢关宝 李永杰/97
中石化试油测试专业现状分析与建议	张同义 杜 娟 毛 军/105
美国 Barnett 页岩气开发中应用的钻井工程技术分析与启示	赵金海 王 华 杨培叠/114
分支井技术及国内研究进展	王敏生 马清明/123
现代完井工艺及完井工具发展建议	何祖清/132
测井行业技术现状及发展趋势	赵文杰/139
页岩油气录井新技术进展与发展设想	王志战/145
对美国页岩气开发的几点认识	付道明/151
膨胀波纹管技术应用现状与进展	陶兴华 涂玉林 刘 鹏 胡彦峰/162

钻井完井技术与理论

元坝超深井定向施工几个关键问题探索	刘汝山 刘匡晓 郭瑞昌 王 果 张 辉/171
空间圆弧轨迹的井斜演化规律及控制方案设计方法	刘修善/180
新型 XPJQ 系列下套管漂浮减阻器的研制与应用	张明昌 张新亮 高剑玮/189
涪陵页岩气开发钻井技术难题及对策	牛新明/197
关于钻井井控若干问题的思考	牛新明/205
元坝地区超深水平井钻井技术	牛新明 刘匡晓 郭瑞昌 刘卫东 刘建华 陈小峰/212
新型抗高温 DC200 胶乳防气窜水泥浆体系研究与应用	丁士东/220
超高密度钻井液体体系构建方法与应用研究	林永学/232
页岩气井产能评价方法研究及应用	张同义 杜 娟 庞 伟/244

13Cr 系列不锈钢及其防腐性能	吴姬昊/252
分流式自动垂直气体钻井工具设计	赵金海/260
遇水自膨胀封隔器的研制与应用	马兰荣 杨德锴 刘 阳 韩 峰/267
高性能旋转尾管悬挂器关键技术研究	马兰荣 阮臣良 郭朝辉 冯丽莹/274
超高密度水泥浆研究与应用	周仕明/284
新型聚胺钻井液体系在塔河复杂泥岩段的应用研究	刘贵传/290
利用背散射光技术评价水泥发泡剂的稳定性	刘 伟/301
新型微裂缝封堵模拟评价技术研究	石秉忠/308
深层侧钻水平井膨胀套管钻井封堵技术研究	唐 明 吴柳根 赵志国 蔡 鹏/318
钻井管柱自动输送装置的研究应用	李进付/325
天然气水合物钻探取样器研究	许俊良/330
东濮凹陷非常规油气藏长水平井钻井关键技术	
..... 兰 凯 刘明国 张建华 晁文学 孔 华/337	
非常规钻井液技术	李午辰 刘明华 司西强 马文英/345
35MPa 高压喷射钻井技术研究与应	侯树刚 蒋金宝 王惠文 王甲昌/353
川东北气体钻井技术研究与应	侯树刚 刘东峰/360
雾化及可循环空气泡沫钻井技术	孙 举 苏雪霞 马文英/369
中原深井超深井钻井配套技术	刘东峰 侯树刚 杨晨涛/380

储层改造及测录井技术

井眼周围应力状态与储层力学伤害研究	路保平/391
水平井分段压裂地应力变化分析研究	曾义金/403
岩石脆性与评价方法	张保平/412
基岩酸化技术	王宝峰/416
页岩气水平井分段压裂排采机理研究	蒋廷学 卞晓冰 王海涛 刘致屿/426
页岩气水平井分段压裂优化设计新方法	蒋廷学 卞晓冰 袁 凯 周林波/434
井间电磁成像测井技术研究与应	赵文杰/442
川东北碳酸盐岩地层异常压力随钻监测方法探讨	王志战/450
声学测井技术在石油工程中的应用探索	吴海燕/456

石油工程技术管理

关于石油工程研发体系管理及技术创新的思考	路保平/465
钻井现场技术支持工作要点	路保平/471
石油工程技术发展形势分析方法研究	
..... 张映红 蒋海军 赵汨凡 思 娜 李 婧 赵 阳/481	
非常规油气工程技术创新体系的构建与管理	丁士东/487
巴西国家石油公司的深水技术研发与管理	王敏生 闫 娜 孙 健 光新军/492
知识管理在石油石化领域的应用初探	肖 莉 黄军雷/498

石油工程发展前景及战略

创新思维与石油工程技术创新

路保平

(中国石化石油工程技术研究院, 北京 100101)

摘 要 创新思维是指以新颖独创的方法解决问题的思维过程,是长期知识积累、智能训练、素质磨砺的结晶,是推理、想象、联想、直觉等思维活动的结果,是科技创新的源泉。创新思维它可分为理论思维、多向思维、侧向思维、逆向思维、联想思维和形象思维等。创新思维方法主要有组合创新、观察创新、需求创新、转换创新、替代创新、挖潜创新和变异创新7种方法。石油工程技术的创新首先需要有创新思维、需要相关学科的技术成果的启迪、移植和转化,以石油工程的成功案例与新技术的探索案例论证了石油工程技术创新,更应重视思维模式的创新。

关键词 创新思维;思维方法;石油工程;技术创新

在油气勘探开发中,石油工程是确切地了解地下地质情况,正确判断储油构造,形成油气到地面的通道和提高油气采收率的最基本手段。在油田可持续发展中,石油工程技术创新已经成为一个决定性的生产力。技术创新不是凭空想象出来的,是经过深思熟虑产生的,是文化知识的积累,是多因素的叠加与组合,其思维过程是有规律可循的。一切创新活动,不仅需要知识和经验,更需要创新意识和创新思维。可以说,创新思维是技术创新活动的灵魂,正如爱因斯坦所说:“人是靠大脑解决一切问题的”。

创新思维不是逻辑上循序渐进地从经验材料中推导出假说、概念和理论,而是通过形象化构思、想象和直觉等特有的思维形式,跳跃式地直接抓住事物本质的思维过程。它依据于经验,又通过积极主动的创新意识和不懈的思考,使研究成果超出了经验,是一种顿悟、直觉性的思维。它具有创造性、连动性、多向性、综合性等特点。它对当代石油工程技术工作者来说,是一个极为有效的思想武器。

1 创新思维

创新思维是指以新颖独创的方法解决问题的思维过程,这种思维能突破常规思维的界限,以超常规甚至反常规的方法、视角去思考问题,提出与众不同的解决方案,从而产生新颖的、独到的、有社会意义的思维成果。创新思维是一种具有开创意义的思维活动,它可以想别人所未想、做别人所未做,敢于突破原有的框架,从原有规范交叉处着手,或反向思考问题,取得创造性、突破性成就。因而可以开拓新领域、创建新理论、发明新技术。创新思维不仅表现为新发现和新发明的思维过程,还表现于思考的方法和技巧上,从某些局部结论和见解中取得具有新奇独到的思维创造。

创新思维的形式在于多角度、多侧面、多方向地看待和处理事物、问题和过程。创新思维可分为理论思维、多向思维、侧向思维、逆向思维、联想思维和形象思维等。

1.1 理论思维

理论思维是指人们依据事物的内在规律,进行理性认识、系统分析、客观思维的一种基本思维形式。思维过程主要步骤是:观察事物——应用理论知识——探索物质特征——探寻客观规律——发现功能和作用。如:人们发现地球是圆形体,就会按照已有的圆形体的特性和规律,计算出地球的直径、周长和体积。又如:人们看到鸟有翅膀能在天空中飞翔,就想到鸟儿的翅膀结构、功能,通过探索鸟儿翅膀几何结构与空气动力以及飞行功能等相似原理,人类发明了飞机。再如牛顿从苹果落地发现了自然界中任何两个物体都是相互吸引的万有引力定律。引力的大小与两物体的质量的乘积成正比,与两物体间距离的平方成反比,后人以万有定律为基础不断探索太空星体关系,推算出了宇宙第一速度和第二速度,研发出了火箭、卫星、宇宙飞船等航天工具,成就了现代航天技术。

1.2 多向思维

多向思维也叫发散思维、辐射思维或扩散思维。是指对某一问题或事物的认识思考不受方式、方法、规则和范围的约束,从现有信息中尽可能向多方向扩展,从扩散思考中求得常规和非常规的多种设想的思维方式。思维过程的主要表现为:多端、灵活、精细、新颖。如:石油钻井工程技术中的岩石可钻性评价方法,科技工作者先是发明了实测岩心求取岩石可钻性方法,后来从多项思维的角度提出了测井时差、测井多参数求取岩石可钻性的方法该方法^[16]。通过应用多领域特性思维和技术组合形成了综合性的岩石可钻性评价技术大幅度提高评价精度。

1.3 侧向思维

侧向思维也称横向思维,是指不按思维逻辑推理,通过转换思维角度,另辟蹊径的思维方法。侧向思维的主要方式有:侧向移入、侧向转换、侧向移出等。如:磁性轴承的发明。在通常情况下,提高轴承性能的方法是改变轴承结构、滚珠形状、轴承材质或润滑剂性能等,按照这种惯性思维制造的轴承在性能上不可能有质的突破。然而科学家从侧向思维的角度发现生活中磁性材料相互排斥相向运动时几乎没有摩擦的事实,他们把这一原理运用于轴承研究发明电磁轴承。电磁轴承利用通电线圈产生相互排斥磁场,使相向运动的物体不接触,即使不用润滑剂,轴承的摩阻系数也几乎为零。

1.4 逆向思维

逆向思维也称反向思维,是指转换思维视角,应用与通常思维问题相反的方法思考问题。欠平衡/控压钻井技术的发展与应用就是一个典型的逆向思维的范例。在钻井过程中,当钻遇高压油气层时,由于地层压力与井筒液柱压力失衡,时常发生井涌、井喷钻井事故,轻则污染环境、损失油气资源,重则损伤钻井设备和人员。为了避免事故的发生,通常的解决办法是提高钻井液密度和井筒液柱压力,再高压油气层实施过平衡钻进。这种方法虽然保证了钻井施工安全,可严重污染了油气层,不利于油气发现与油气产量的提高。于是科技人员从反向思维的角度出发提出通过控制地下流体流出来的速度和数量,让地层流体流入井筒会更有利于油气发现的思路。通过长期的实践,研发了系列装备、仪器、工具和工艺,实现

了地层流体流的有效控制，发展形成了目前的欠平衡钻井/控制压力钻井技术，既保护了油气层又提高了钻井速度。

1.5 联想思维

联想思维是指由某一事物联想到另一种事物而产生认识的思维过程，即由所感知或所思的事物、概念或现象的刺激而想到其他的与之有关的事物、概念或现象的思维过程。联想思维类型可分为：相近联想、相似联想、相反联想。例如旋冲钻井技术应用。在深井超深井钻井过程中，特别是深部地层钻井，由于岩石强度高、可钻性差，存在钻井速度慢、钻井成本高等问题。在日常生活中，人们发现在混凝土等较硬墙体打孔过程中应用旋转冲击方式钻孔的速度明显快于旋转钻孔方式钻孔。于是，石油工程技术人员就设想若能把冲击钻孔方式引入深井超深井是不是也可提高钻井速度，为此研制了适用于石油钻井使用的射流冲击器、旋转扭力冲击器等辅助破岩工具，形成了旋转冲击钻井技术，大幅度提高了深井超深井钻井速度。再如瓦特从观看烧开水壶，联想到蒸汽能够产生动力，研究发明了蒸汽机，开创了动力时代的新纪元，推动了世界第一次工业革命，促进了人类社会的快速发展。

1.6 形象思维

形象思维是依据客观事物的外在特点和具体形象在头脑中的反映。表现形式：想象思维、联想思维。例如分支井与鱼骨井技术的发展与应用，人们认识到提高油气产量的主要手段是增大井筒在油气藏过流面积，为了实现这一目的，人们就想方设法增加油藏中的井眼数量并从鱼骨标本中得到启示，从而发展形成了多分支井钻井技术、鱼骨井钻井技术，大幅度提高了油气采收率。

2 创新思维的方法

创新思维方法主要可分为组合创新、观察创新、需求创新、转换创新、替代创新、挖潜创新和变异创新7种。

2.1 组合创新法

组合创新法主要有主体添加法、同物自组法和异类杂交法。如：在钻井中使用的PDC牙轮钻头就是组合了PDC钻头和牙轮钻头的结构和性能，满足了不同地层钻井的需要。

2.2 观察创新法

观察创新法主要有奇特洞察法、重复考查法、精细观察法、动态发现法、变换视角法、目标转移法等。如：静止的矩形框，从侧面看可以认为是一个条状，旋转看起来可以认为是一个圆柱体，用到旋转门上可以起到了限流的作用。

2.3 需求创新法

需求创新法主要有缺点列举法、希望列举法、需求引申法、兴趣创造法和市场细分法。如：家用电视机。发明之初是电子管成像，既笨重图像又不清晰，随着科学技术的进步和人

们生活需求的提高,目前生产的 LED 电视机体型超薄、图像清晰,有的电视机厚度只有 1cm 左右,极大的满足了人们观看视角的舒适度。

2.4 转换创新法

转换创新法主要有经验转换法、原理转换法、自然转换法、类比转换法和移植转换法等。如:石油钻井技术的发展。最初钻井方法是顿钻,就是利用物体的重力进行掘进,掘进是间断进行并且速度非常慢;20 世纪初人们发明了旋转钻井,依靠人力和其他力量在重力的作用下旋转钻井,钻进连续进行并且钻进速度大有改观;通过不断的改进和发展,形成了目前的机械旋转钻井和电动旋转钻井,极大的提高了钻井速度和成井效率,满足了现代油气勘探开发的需要。

2.5 替代创新法

替代创新法主要有材质替代法、以假乱真法和提升替代法。该创新方法普遍应用现实生活中,如:现代飞机家族,20 世纪 20 年代,飞机刚走进人们生活时只有螺旋发动机的单翼飞机,飞行速度慢且应用范围有限;随着科学技术进步和新材料的涌现,现在的飞机家族不断壮大,航天飞机、高速飞机、预警飞机、大型运输飞机等得到了极快发展,满足了不同功能的需要,极大的缩短了时空距离,为人类提供了便利条件。

2.6 挖潜创新法

挖潜创新法主要有废物巧用法、古为今用法、自助设计法、参数优化法、化繁为简法和去粗取精法等。如:人们日常丢弃的易拉罐,有人通过废物利用,制作了不同造型和不同功能的艺术品,美化了环境。

2.7 变异创新法

变异创新法主要有立体设计法、屈伸设计法、有声有色法、放大缩小法和美观设计法。该创新方法广泛应用于生活的各个方面,从日常衣食住行使用的手机、电脑和生活用品性能提升,大到航空母舰的更新换代,小到分子结构的组合、嫁插都是不断创新的结果。

3 创新思维在石油工程技术创新中的应用

创新思维是科技创新的源泉。石油工程技术是多学科、多领域、多专业技术的集成、发展的成果,石油工程技术的进步与发展离不开材料工程、信息工程、生物工程和航天技术等新学科、新技术的发展,更需要创新和自身发展,石油工程技术创新过程也是创新思维的成果。

3.1 相关学科发展对石油工程技术的促动

石油工业的每一次大进步都是将当代科学技术的新理论、新方法、新材料、新装备引入的结果。随着对材料性能的不断了解,人们逐渐具备了制造具有特定特性材料的能力,包括热活化材料、电活化材料、磁活化材料和化学活化材料。智能材料的研究是斯伦贝谢道尔研

究中心的最新研究方向之一。新型智能材料已经在自愈合水泥、可膨胀聚合物、梯度材料焊接、耐磨及耐腐蚀工具表面处理等领域成功应用。全球主要的石油公司和技术服务公司都在进行纳米材料技术的研究,并极大地促进了井筒及注入流体、纳米材料反应剂、井下工具及管材表面处理技术的发展,但目前仍处于应用的早期阶段,主要困难在于井下恶劣的作业环境,包括高温、高压以及各种的腐蚀性流体。物联网、云计算、增强现实等技术的应用,为个作业单元的智能互联、远程检测与控制提供了实现手段。同时,仿生学、微生物学、化学、高能物理等领域的研究成果,为新一代建井技术,以及微型化、反应型智能载体技术的研发提供了有益的借鉴。

而这些非油气领域相关学科的技术成果如何在石油工程领域得到移植和转化,都离不开技术工作者的创新思维活动。

3.2 成功案例

在石油工程技术领域成功的新技术、新产品、新工艺案例很多。

3.2.1 地震物理勘探技术

声、电、磁波在介质中成直线传播,在传播过程中遇到介质的改变会发生折射和反射作用,而且不同介质中传播速度也各不相同,这是是基本规律。油气勘探的目的是找油气藏,由于油气深埋在地下看不见、摸不着,用什么方法才能找到发现油气藏是人们一直探索的难题。根据已掌握的声、电、磁波的规律,并把这一规律应用到油气勘探上发展成为目前的地球物理勘探技术。通过增加波源次数、改变波源频率,在不同时间段实施作业,地震勘探技术形成二维、三维、四维、高精度、高密度地震勘探技术系列,满足了不同地层、不同环境油气勘探的需要,大幅度提高了油气藏勘探的成功率。

3.2.2 井眼轨迹测控技术

火箭在太空飞行定位依靠的是陀螺及磁通门技术。石油钻井是为了最大程度的开发地下油气资源,井眼在油层穿越的距离越长越能提高单井产量,由于钻头在几千米地下运移,钻头的轨迹、方位没有人能看得见、说的清。能否应用一种技术能够很好地描述地下钻头运移的轨迹和方位成为人们研究寻找的目标,于是人们想到了火箭用于定位的陀螺及磁通门技术,并成功将其移植到石油钻井技术中,发展成为目前的井眼轨迹测控技术,满足了高温高压深层钻井井眼轨迹的测控需要,大幅度提高了油气层的钻遇率。目前,有学者甚至提出了制导导弹钻井的技术设想^[1]。

3.2.3 振动采油

当人们在河岸边用脚轻轻地不断踩踏黏稠泥浆(稀泥)时,往往使稠的泥浆逐渐变稀,久而久之影响的深度和范围不断加大。由此我们可寻找到振动采油技术创新的思维起因。振动采油是由人为的振动作用于地表层,地表层受到脉冲振动,再往下传递,作用于油层,使地层原油逐渐降低黏度,提高了流动性能;同时,由于振动还可改善油相渗透率和地层毛细管效应,使油水重力分离加快进行。原油中脱出的伴生气,对未动用的油区起到层内驱替作用,扩大注水增能驱油受益波及范围。振动采油成为提高油藏采收率的新措施,作用原理是物理、化学方法的集成。而人为的振动又是靠振动源连续发出的,大功率机电型地面振动源就是常用的一种类型。俄罗斯西伯利亚地区7个油田均试用过振动采油技术,见到成效^[2]。

再如,U型连通井、鱼骨状分支水平井、掺纤维加砂压裂、掺纤维固井、修井印模、易

熔金属封隔器、超弹性金属封隔器、热敏封隔器等^[3-7]，它们都是因某种事物、现象、情态而诱发人们的思维，产生灵感，萌发创的冲动，形成创新的方案，做出创新的成果。

3.2.4 RFID 在井下工具中的应用

随着现代科技的不断发展，新的技术不断产生，旧的技术不断得到改进，这些都影响了石油工程的设计与施工。为了提高油气井长期有效性、作业效率以及降低油气井的建井成本，新技术在石油工程中的应用显得越来越重要。近年来 RFID 技术得到了迅速发展，已被广泛应用于工业自动化、商业自动化、交通运输控制管理等众多领域。其中，在石油领域的应用取得了一定的进展，目前主要是将 RFID 应用于钻杆标记，特种车辆及仪器的跟踪等。在井下工具的自动控制方面，RFID 具备实现管柱全通径、开关状态随时可控、大大缩短施工周期和作业成本等优势，将 RFID 应用与井下工具中可以带来巨大的经济效益^[8-10]。由于井下特殊的环境，目前国外对 RFID 在井下工具中的应用还处于前期研发阶段，最近国内相关科研机构也开始着手研究。

3.3 正在进行的探索

尽管研发的侧重点有所不同，国际知名的油公司和油田服务公司在商业化新技术的同时，都在积极开展新一代石油工程新技术，以期在未来激烈的技术竞争中拔得头筹。

3.3.1 仿生井技术

树是自然界最普遍的植物，生长在平原、丘陵、大山等不同环境，其生长之源在于发达的根系和生长的环境，在土地肥沃的地方树根发达、树木叶茂生长旺盛，在土地贫乏的区域树根萎靡、树木生长缓慢。油气钻井的目的是把油气从地下开采出来，怎样多采油气、怎样安全施工，树根的生长给我们很大的启示。若施工的油气井具有树根的功能，就可以实现自动钻进、自动寻找高丰度油气藏，自行汲取，最大限度的提高单井油气产量和油气藏采收率。为了达到这一目标就要发展完善多底多目标地质导向技术、井壁固化技术、油气藏识别评价侦测系统和智能完井技术，实现油气在什么地方、什么地方的油气丰度高，井眼就往哪里钻，最多、最快的采掘油气资源。

3.3.2 智能液技术

在自然界中变色龙随环境变化身体颜色最大限度的适应环境，自然状态的水随着温度变化能形成气、液、固形态。在油气井施工过程使用的钻井液、固井液、完井液、压裂液等多种流体满足了施工需要，但功能比较单一。若能通过分子设计和功能移植开发出能随环境条件变化改变自身性能的物质，钻井液、固井液、完井液和压裂液将成为一种功能流体能满足不同工况的需求，将大幅度提高施工效率和施工质量，该技术还是一种设想有待研究验证。巴西石油目前正在进行润湿改性剂的研究，通过筛选用于盐下储层的水溶性润湿改性剂，以显著提高取决于油藏不均质性和亲水程度的最终采收率^[11]。

3.3.3 基于信息获取的油藏描述技术

在战争中侦查兵潜入敌后摸清敌方情况和信息是制胜的法宝，对于油气勘探开发来说要派侦察兵深入地下把油气藏情况弄清楚是不可能的事情，一是人没有入地的本领，二是人没有在地下生存在的能力。如何才能把深埋地下的油气藏认识清楚，把握油气分布和丰度情况一直是石油工程技术人员追求的目标，为了实现这一目标，人们利用现代技术，研究制造了研制纳米机器人和油藏信息侦查技术，通过流体把机器人直接注入到油气层收集油气藏信

息,再通过信息分析绘制出油藏空间分布图,能清楚地了解油气藏特性和流体分布状况,为制定油气生产措施提供可靠的信息依据,该项技术已有成功的案例,要达到侦察兵深入敌区看得清、摸得准的效果还需进一步完善。沙特阿美石油公司未来 20 年的研发重点就包括可深入储层的纳米级侦测技术、油藏开发全过程控制技术等^[12]。

3.3.4 无钻机钻井技术

目前,大型钻机装备搬按工序复杂,耗力、耗时,钻井费用高。为了解决这一问题,正在研究利用化学方法、微生物方法、高压电能、井下微爆等无钻机钻井技术。挪威开发了獾式钻探器^[13],该钻井方式使用电能靠其自身重量自动钻进,不用陆地钻机或海上钻井平台;不用钻杆,不需要起下钻;不用泥浆,井筒内无外来流体,岩屑用于充填井筒或被挤入地层裂缝及孔洞;通过电缆实现双向通讯,数据传输量大、质量高、速率快,有利于及时发现油气,提高探井成功率;钻达目的层后,钻探器可留在井底继续监测地层,实现成井、油藏评价一体化,大幅度节约钻井成本。该技术尚处在试验阶段,还需进一步完善。

3.3.5 海底钻井技术

海洋风高浪大、环境恶劣,海上钻井极易发生海洋平台倾斜、沉没和人员伤亡事故。为了避免和减少海洋环境对钻井作业的干扰,国外提出了海底钻机钻井的设想,该钻井技术不用海上钻井平台或钻井船,也不用隔水管,不受海况、水深和天气的限制,直接在海底钻井施工,能够实现全自动化钻井、完井和修井。该套系统配有压力补偿的密闭装置,无需人值守,操控人员只需在小型浮式辅助船上进行遥控,成本费用远低于海上钻井平台和钻井船钻井方式,并大幅度提高了海洋钻井的安全指数。目前,Maris International 及 Robotic Drilling System AS 公司研发的海底钻机正在进行地面单元试验^[14,15]。

4 结束语

创新思维是长期知识积累、智能训练、素质磨砺的结晶,是推理、想象、联想、直觉等思维活动的结果。应用创新思维的创造性,可以突破科研工作中的重大技术难题。利用创新思维的联动性特点,可以在研究工作中不断推出新认识。运用不同的创新思维方法,有利于探寻研究的新思路和新方法。发挥创新思维的综合性特点,有利于多角度看待和研究问题。

石油工程技术创新,首先是视思维模式的创新,石油工程技术的发展离不开非油气领域相关学科的技术成果的启迪、移植和转化,需要技术工作者的创新思维活动。

创新是人类发展的动力,社会前进的基石,国家兴旺发达的不竭动力。石油工程技术研究院聚集了一批理论知识深厚、知识视野广阔、专业技术扎实、洞察力锐利、思想活跃、勇气超越的科研人员,用好创新思维武器,理论与实践相结合,定能结出越来越多的创新成果。

参 考 文 献

- 1 陈如恒. 钻采装备发展规律及创新思维[J]. 石油矿场机械, 2004, 33(3): 5~9
- 2 魏文全, 吴月先. 采用可控体振动源的方法提高石油采收率的矿场试验效果[J]. 世界石油工业, 1998, 5(5): 52~53
- 3 吴月先. 中国陆上油气水平井技术成效及新思考[J]. 石油钻探技术, 2007, 35(2): 83~86

- 4 刘伟. 控制水力压裂支撑剂返排的玻璃短切纤维增强技术[J]. 石油钻采工艺, 1997, 19(4): 77~80
- 5 李早元. 提高油井水泥环力学形变能力的途径及其作用机理研究[J]. 石油钻探技术, 2004, 32(3): 44~46
- 6 吴月先. 金属密封封隔器的开发研制技术现状综述[J]. 石油矿场机械, 2006, 35(4): 47~49
- 7 胡玉志. 大通径金属密封封隔器的研究与应用[J]. 石油矿场机械, 2005, 34(4): 78~80
- 8 Carl Morris. If tesco can do it, why can't We?: The challenges and benefits of implementing RFID and mobile computing in upstream environments [J]. SPE112038, 2008
- 9 Tough J, Mason J, Biedermann R. Radio frequency identification of remotely operated horizontal frac[R]. SPE 143940, 2011
- 10 光新军, 王敏生, 叶海超, 等. RFID 在井下工具中的应用[J]. 石油机械, 2013, 41(5): 25~28
- 11 Orlando Ribeiro, Juliana Castro, Ricardo Beltrão, PROCAP FUTURE VISION: Applying unconventional hightech to achieve radical innovation, 20th World Petroleum Congress, Doha, 2011
- 12 Sigmund Stokka. Drilling Device[P]. US2004/0011558A1. 2004
- 13 Haugom Per Olav. Method and Device for Erecting a Drill Rig on a Sea Bed[P]. WO2008100149. 2008-08-21
- 14 Lars Raunholt. Innovative Seabed Drilling Rig[J]. Scandinavian oil-gas Magazine. 2007: 24~25
- 15 Haugom Per Olav. Method and Device for Erecting a Drill Rig on a Sea Bed[P]. WO2008100149. 2008-08-21
- 16 路保平, 张传进, 鲍洪志. 利用多测井参数求取岩石可钻性[J]. 石油钻探技术, 1998, 03: 6~8, 62

作者简介: 路保平(1962—), 男, 1982年毕业于华东石油学院钻井专业, 2001年获石油大学(北京)博士学位, 现任中国石化石油工程技术研究院院长, 教授级高工, 国家级有突出贡献中青年专家, 主要从事石油工程技术科研及管理工作。

联系方式: 电话: 010-84988676, 邮箱: lubp.sripe@sinopec.com。