工作计划书

泰山学者特聘专家工作计划书

一、背景概述

1、研究领域及国内外发展水平

本研究的领域为油气井多相流动理论与井筒压力控制。

在油气钻探中，井筒压力安全控制是永恒的主题。据统计井筒压力控制不当导致的钻井安全事故占钻井总事故的 67%。目前深水（水深超过 500m 的海域）、“三高”（高温、高压、高含酸性气体）等复杂油气藏成为国际油气勘探开发的重要领域。这些油气藏在钻探过程中地层流体侵入后井筒多相流动规律复杂，井筒压力安全控制困难，钻井事故易发。

深水井筒温压场复杂多变，在海底泥线附近存在低温高压环境，天然气进入该区域会形成固态的天然气水合物，并随钻井液上返，而当离开其生成区域后又会重新分解为气体，此种气-固-气的相变过程往往伴随着气体体积的剧烈变化，给井筒安全压力控制造成极大困难；同时生成的水合物一旦沉积在管壁上还会引起管线堵塞，造成严重安全事故，墨西哥湾深水油气田每年在水合物防治方面的花费高达 5 亿美元。在“三高”气井钻探过程中，天然气侵入井筒后会处于超临界态，超临界流体具有密度高、溶解度大的特点，气侵后不易被发现，当上升至井筒上部，随着温压环境的改变会发生相变及脱溶，大量气体析出，井喷突发性强，井筒压力极难控制。由于水合物和超临界流体相变的存在，使得气侵具有隐蔽性，井喷具有突发性，常常造成井眼“打不成”，甚至演化成为墨西哥湾深水地平线和重庆开县“12.23”特大井喷的恶性事故。

井筒压力安全控制的关键在于井筒压力的准确计算。当前国际上常用气液固三相流动模型来描述井筒内的多相流动过程，由于没有考虑水合物、超临界态等流体相变对多相流动过程的影响，井筒压力最大计算误差超过 30%（J HYDRODYN, 2013, 25(2): 264-273），难以满足深水、“三高”气井的井筒压力安全控制的要求。国际水合物研究奠基人之一美国科罗拉多矿业大学 Sloan 教授指出：“多相流动环境下水合物的相变及其对流动压力的影响是深水流动保障中亟待解决的难题”（Fluid Phase Equilibria, 2012, 228: 67–74）。国际流体力学专家美国弗吉尼亚大学 Paul Allaire 教授也指出：“酸性气体超临界条件下物性变化呈现非线性，气液多相流型变化复杂，井筒压力准确计算难度大”（The 5th International Symposium-Supercritical CO_2 Power Cycles. March 28-31, 2016, San Antonio）。考虑水合物及酸性气体超临界态相变的井筒压力准确计算已成为制约深水、“三高”气井的井筒压力安全控制的瓶颈，也是当前国际学术研究的热点。因此，开展深水、“三高”气井的井筒多相流动机理研

究，建立一套能够科学描述水合物相变和超临界态相变的井筒多相流动数学模型，提高油气井筒压力计算的准确性，对井筒压力安全控制尤为重要，也是防止灾难性井喷事故发生实现安全高效油气钻探的关键。

2、申报人选及团队在国内外本学科领域所处的地位或具有的影响

申请人一直致力于油气井多相流动理论及应用的研究，发展了油气井多相流动数学模型，使其由传统的气液固三相流动模型突破为考虑水合物相变、超临界态相变、气体组分溶解/析出的多组分多相流动数学模型，提高了油气井筒中多相流动参数计算的准确性，为井筒压力安全控制提供了理论依据。

发表学术论文 79 篇，其中 SCI 收录 19 篇、EI 收录 24 篇；获得省部级科技进步一等奖 3 项（排名：3/15、3/15 和 4/11）、二等奖 1 项（排名：1/9）；授权国家发明专利 18 件、授权美国发明专利 4 件，获得软件著作版权 10 件；合作出版英文著作 1 部、中文著作 2 部；《Journal of Hydrodynamics》（SCI 期刊）编委，《水动力学研究与进展》（中文核心）编委；2016 年获得**国家优秀青年科学基金资助，**入选**教育部青年长江学者**。

（1）针对深水钻井井筒内存在水合物相变，多相流动参数难以准确计算，井筒压力安全控制难的问题，创建了含水合物相变的井筒多组分多相流动模型，为深水井筒压力控制和水合物防治提供了依据。

① 研制了全尺寸高压温控可模拟流体相变的井筒多组分多相流动实验装置（如图 1 所示），实验揭示了天然气水合物相变对环空多相流动的影响规律，首次从理论上解释了水合物相变使得深水气侵初期具有“隐蔽性”，后期具有“突发性”的多相流动现象；将多相流体动力学与物理化学、传热传质理论相结合，把水合物相变函数引入传统的多相流控制方程，创建了含天然气水合物相变的井筒多组分多相流动模型，与国际通用的气液固三相流模型相比，井筒压力最大计算误差由 20%降低至 10%以内（如图 2 所示），为深水井筒压力控制及水合物防治提供了理论基础。

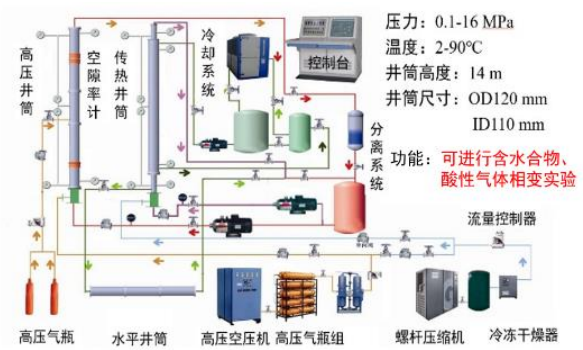

图 1 多组分多相流动模拟实验装置示意图

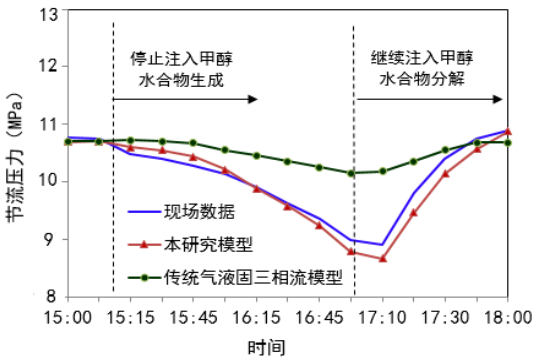

图 2 深水气井节流压力计算数据对比图

② 考虑深水井筒低-高温大温差交变温度场、地层窄安全密度窗口、天然气水合

物相变对井筒多相流动的影响等因素，建立了深水钻井和井控压井水力参数优化设计方法，发明了基于井筒多相流动计算的井筒压力控制技术（流程如图 3 所示），开发了配套软件 5 套，与国内外先进技术相比，本研究考虑了深水复杂海洋环境、地层条件及井筒多相流动特性，更符合海洋深水钻井的实际工况，有效解决了深水钻井井筒压力精细控制的难题，保证了钻井安全。成果在渤海、南海东部、南海西部、缅甸 AD、西非 JZD 等国内外海洋油气田（区块）得到应用，已成为我国深水钻井水力学设计的主流方法和软件，打破了国外的技术垄断。在 219 口海洋井的水力参数设计及井筒压力控制施工中推广应用，减少了井下复杂情况，平均缩短钻井周期 21.2%；在 69 口井的 93 次溢流的压井设计与施工中应用，提高了压井施工效率，压井成功率 100%。

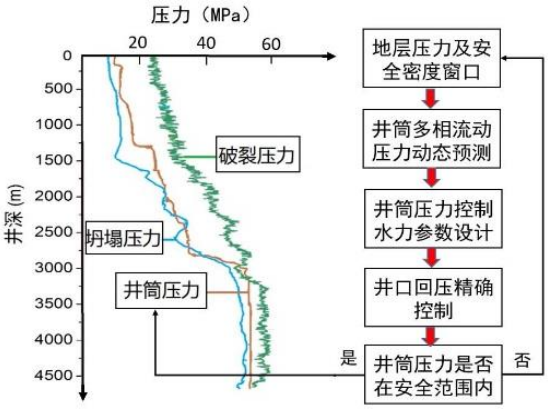

图 3 深水井筒压力精确计算和控制流程图

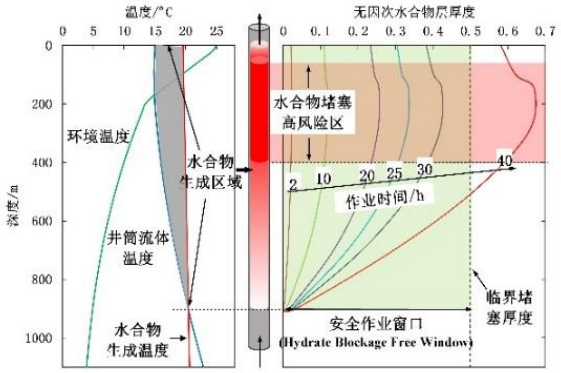

图 4 深水测试管柱内水合物沉积厚度分布

③ 建立了深水井筒内水合物生成区域动态变化的定量预测方法，建立了深水气井测试管柱内水合物非线性沉积堵塞模型，揭示了环雾流条件下水合物的生成、运移、沉积及堵塞规律（如图 4 所示），克服了以往模型以水合物平均沉积厚度来衡量水合物堵塞情况的不足；提出了扩展水合物堵塞安全作业窗口（如图 5 所示）的水合物防治新思路，指导发明了低抑制剂用量的深水气井测试用水合物防治方法及装置（如图 6 所示），开发了配套软件 2 套，改变了传统的过量使用抑制剂的防治思路，节省抑制剂用量达 40%以上，实现了水合物的高效防治。

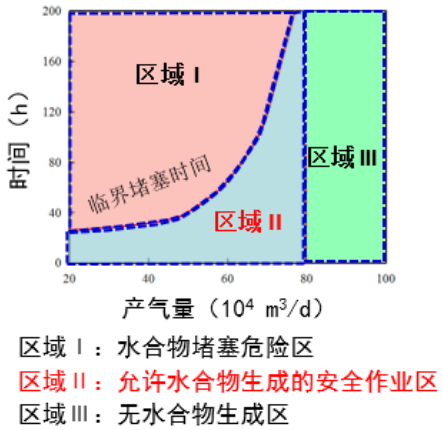

图 5 水合物堵塞安全作业窗口示意图

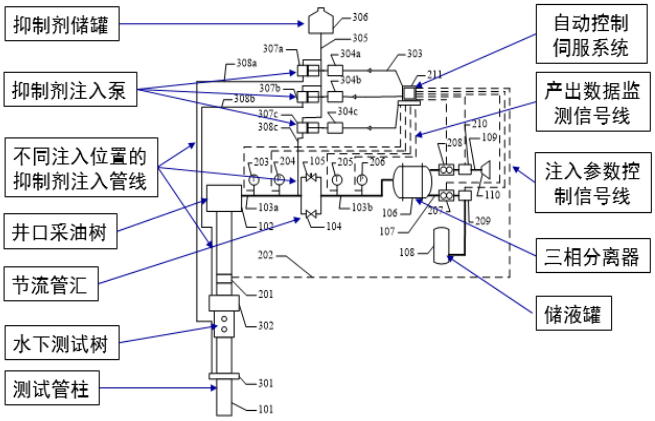

图 6 深水气井测试用水合物防治装置示意图

成果在南海东部、南海西部等国内主力深水油气田得到应用，并推广到缅甸、几内亚、刚果（布）、西非等海外区块，成功实现了深水气井测试水合物防治的自主设计与施工，打破了国外技术垄断。近三年在33口井48个层位的气井测试中进行了应用，水合物防治成功率100%。

④ 支撑材料

代表性文章：*CHEM ENG SCI*, 2017(163): 145-154（JCR 1 区）；***ENERG FUEL,*** 2016, 30(6): 4653-4666（JCR ENGINEERING CHEMICAL 类 1 区）；***J HYDRODYN***, 2014, 26(4): 568-576；***J HYDRODYN***, 2014, 26(1):94-103 等；

授权国家发明专利 9 件： ZL20140276128.0 、 ZL201410579567.9 、ZL201310129007.9、ZL201310129098.6、ZL201210171680.4、ZL201310039066.7、ZL201310129919.6、ZL201210305533.1、ZL201310221334.7；

获得软件著作版权 7 件： 2016SR119768、2016SR119784、2010SR004170、2011SR103830、2008SR05684、2014SR145750、2016SR028158；

获得省部级获奖 2 项：“七组分井筒多相流动计算技术及应用”获山东省科技进步一等奖（排名：4/11）、“海洋钻井井筒安全压力设计方法及关键技术”获海洋工程科学技术奖二等奖（排名：1/9）。

（2）针对三高气井中存在超临界态相变，致使井筒压力变化大、控制难的问题，创建了考虑超临界态相变、组分溶解及脱溶的井筒多组分多相流动模型，提高了三高气井井筒压力预测及控制的准确性。

① 在超临界态条件下，特别是在临界点附近，酸性气体的物性参数会出现突变，有效表征酸性气体在超临界态条件下的物性参数有助于更准确地描述含超临界流体相变的环空多相流动过程。实验揭示了临界点附近酸性气体物性参数随温度压力的突变规律，建立了酸性气体全相态域的密度及摩阻系数计算新模型，最大计算误差从 10%以上降低至 5%以内，提高了酸性气体物性参数计算的准确性。

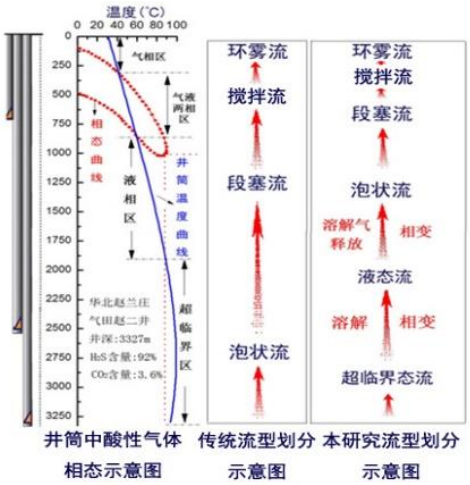

图 7 考虑超临界态多相流型转化示意图

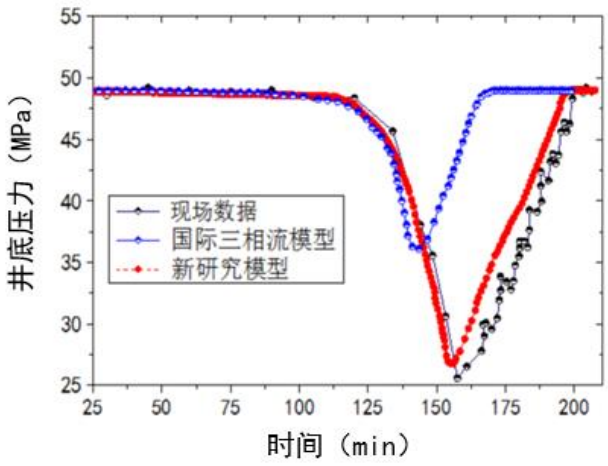

图 8 高含硫化氢气井循环排气井底压力变化曲线

② 研究揭示了高含酸性组分流体侵入井筒后的多相流型转化新规律，流型演化从井底到井口为：超临界态流、液态流、泡状流、段塞流、搅拌流、环雾流（如图 7 所示），而此前传统观点不包含超临界态流和液态流；发现了长井筒复杂温压条件下多相流型的偏移、缺失、跳跃和突变现象，构建了考虑温压和流体相态变化的井筒多相流型转化判据，建立了流型转化判据，提高了流型划分的准确性，解决了基于传统流型演化认识的流动参数计算误差大的难题，为含超临界态相变的井筒多相流动模型的建立提供了理论依据。

③ 将酸性气体相变函数引入传统的多相流动方程，创建了考虑酸性气体超临界态相变、气体组分溶解及析出的井筒多组分多相流动模型，与国际通用三相流动模型相比，本模型的井筒压力最大计算误差由 30%以上降低至 10%以内（如图 8 所示），为高含酸性气体气井井筒压力安全控制奠定基础；揭示了井筒内酸性气体的运移膨胀规律，指导发明了通过优化井口回压抑制酸性气体突发膨胀的井筒压力控制方法，开发了配套软件 3 套，克服三高气井压井过程中井口回压初期过高、后期不足的缺点。

成果在川东北、塔里木、准格尔等油气田推广应用 246 口井，将压井施工一次成功率不足 64%提高至 85%以上，最终压井成功率 100%，减少了井下事故，防止了恶性井喷事故的发生，保证了钻井安全。

④ 支撑材料

代表性文章：*INT J GREENH GAS CON,* 2014 (25):151-161（JCR 1区）; ***SPE J,*** 2016(12):1491-1500（JCR 1区）; ***J HYDRODYN***, 2013,25(2):264-273; ***OIL GAS SCI TECHNOL***, 2014,69(7):1269-1281等；

授权国家发明专利9件：ZL20110172246.8、ZL201210093291.4、ZL201310131816.3、ZL201210337203.0、ZL201210093434.1、ZL201210584318.x、ZL201310221100.2、ZL201410350749.9、ZL201510641282.2；

获得软件著作版权4件：2010SR004324、2010SR057411、2011SR103830、2008SR05683；

获得省部级获奖2项：“多组分多相复杂流动理论及其在油气井工程中的应用”获国家能源局科技进步一等奖（排名3/15）、“复杂钻井工况下井筒压力精确控制与工作液关键技术”获中国石油和化学工业联合会科技进步一等奖（排名3/15）。

（3）在国内外本学科领域所处的地位及影响

申请人的研究揭示了含水合物相变、超临界态相变的井筒多相流动规律，建立了考虑流体相变的井筒多组分多相流动模型，提高了井筒压力预测精度，发展完善了井筒多相流动理论；发明了基于井筒多相流动计算的井筒压力控制方法、低抑制剂用量水合物防治方法、抑制酸性气体突发膨胀的井筒压力控制方法等，**近五年在国内外 20 余个油气田应用推广 498 口井**，避免了恶性井喷事故，保证了深水和“三

高”气井的钻井安全，打破了国外技术垄断。

2015 年中国海洋工程咨询协会鉴定评价：“发现了海洋深水钻井井筒中天然气水合物相变对环空多相流动的影响规律，创建了含水合物相变、气体组分溶解/析出的多组分多相流动模型”、“**成果整体达到国际先进水平，其中在天然气水合物相变对环空多相流动的影响研究方面处于国际领先水平**”。

2016 年中国石油和化学工业联合会鉴定评价：“揭示了多相流型转化机制与流动规律，建立了考虑天然气水合物相变、超临界态相变、气体组分溶解/析出的多相流动模型，发展了井筒多相流动理论”、“成果整体达到国际先进水平，其中含天然气水合物相变、超临界态相变、气体组分溶解/析出的多组分多相流动模型有重要创新”。

澳大利亚科廷科技大学化学与石油工程学院院长 Vishnu Pareek 教授评价：“Wang 等建立了深水钻井气侵过程中考虑水合物相变的环空水力学模型，…**揭示了含有水合物相变的环空多相流动特性**”（INT J MECH IND ENG, 2013,3(1):119-129）。

美国弗吉尼亚大学机械与航空工程系主任 Paul Allaire 教授评价：“Wang 等建立的模型解决了超临界二氧化碳密度随温压非线性变化预测的难题，计算结果与实验数据非常吻合”（The 5th International Symposium-Supercritical CO_2 Power Cycles. March 28-31, 2016, San Antonio, Texas）。

国际多相流动领域专家印度国家技术学院 Sinha S. L.教授评价：“在考虑水合物相态变化的基础上，Wang 等建立了环空及钻柱内的多相流动控制方程、温度场方程以及水合物热动力学方程”（ NAFTA, 2011, 62（5-6): 164-173）。

国内深水油气专家柯珂高工评价：“（国内外学者）无法针对深水钻井多温度梯度环境下复杂的多相流压力场准确的对井筒中水合物可能形成的区域进行预测。王志远等人在针对上述研究难点，提出了天然气水合物形成区域的预测方法”（科学技术与工程, 2012, 29(12):7485-7492）。

中海石油（中国）深圳分公司的评价：“该技术作为深水测试的关键技术之一，它的成功研发，使我公司摆脱了国外公司在该技术上的垄断。”

中国石油集团钻井工程技术研究院评价：“进行了 288 口井的井筒压力控制水力参数设计与施工，避免了井下复杂情况，**减少井涌等复杂事故 90%以上**。”

二、总体思路和计划

1、总体思路

（1）拟开展的研究内容

2016年我国原油进口量高达38101万吨，对外依存度超过65%，远高于国际石油

安全警戒线，油气供给面临极大挑战。我国南海油气资源丰富，70%蕴藏于深水区。国家“十三五”规划纲要明确提出要加强深水油气勘探开发。这不但是保障国家能源安全的重要举措，同时也是维护海洋权益，建设海洋强国的必然选择。

在深水海洋环境及地层条件下，钻完井井筒温压场复杂，安全密度窗口狭窄，井筒压力精细控制难，易出现漏、涌、喷、塌等现象，极大地制约着我国深水钻完井作业的安全和高效。传统的井筒多相流动规律无法准确表征深水复杂条件下井筒的多相流动过程，使得深水井筒压力控制难度大；深水钻井液在井筒低-高温交变条件下的流变性变化规律复杂，使得流型转化机制不清楚，影响着井筒压力预测的准确性和井筒压力控制的精度；当前国际上控制压力钻井工艺刚开始在深水钻探中应用，其相关理论及工艺还需要进一步研究。

因此，本项目拟进行“海洋深水井筒多相流动机理与压力控制方法”研究，该问题是实现海洋深水安全高效钻完井的关键，是“油气井多相流动理论与井筒压力控制”研究领域的进一步延伸，也是当前国际学术界研究的热点问题之一。

主要包括以下四个方面的研究内容：

① 深水钻井液流变学及井筒多相流流型转化机制

针对深水井筒复杂条件，通过室内实验及理论分析，研究深水钻井液流变规律，构建深水钻井液流变本构方程；研究深水钻井井筒多相流型转化规律，揭示深水井筒多相流型转化机制，提出流型转化判据。

② 含相变的非稳态多相流动模型

考虑深水钻井油气和水合物相态变化、温压场复杂、地层流体组分混杂、工况多变等因素，建立深水钻井非稳态多相流动模型，揭示深水钻井非稳态多相流动规律。

③ 地层压力不确定条件下井涌诊断与评估方法

针对深水地层压力不确定性，基于深水井涌特征参数，建立地层流体侵入状态反演方法，推演地层压力不确定条件下的井筒压力变化规律，得到地层压力不确定条件下井涌诊断与评估方法。

④ 深水钻井井筒压力控制方法

在以上研究内容的基础上，研究深水井筒压力预测方法，优化井涌后的压井方式及参数；基于深水地层窄安全密度窗口特征，建立深水钻井井筒压力的精细控制方法。

（2）技术路线

针对深水钻完井井筒复杂环境，进行环境表征，包括海水-地层温度场描述、浅部地层欠压实作用下的地层孔隙压力、破裂压力分布等，形成深水钻完井环境定量

描述方法。通过高温高压流变仪、同轴圆筒旋转粘度计等设备开展深水钻井液流变实验，得到强交变温度条件下钻井液流变参数变化特征，结合非牛顿流体力学理论，构建涵盖“低温-高温”温度范围的深水钻井液流变本构方程，为深水钻井多相流动研究奠定基础；以“深水油气流动与传热模拟实验装置”为实验平台，通过“高压可控温井筒气液两相流动实验系统”开展非定常流动条件下的深水井筒多相流流型转化实验，研究深水钻井井筒多相流型转化规律，揭示流型转化机制，提出流型转换判据；通过“水合物环路及相态实验装置”进行深水钻井井筒中水合物生成与分解实验及含水合物相变的多相流流动实验，揭示含水合物相变的多相流动规律。

在以上实验研究的基础上，借助多相流理论分析，考虑钻井液、地层产出油、气、水、岩屑等组分以及油气相变、水合物相变，建立含相变的井筒非稳态多相流动模型，结合模型特点构建求解算法，进行模拟计算，揭示深水钻井非稳态多相流动规律。依据实验及模型结果，研究深水井筒压力预测方法，优化井涌后的压井方式及参数；考虑深水钻井窄安全密度窗口等苛刻条件，结合工程实际，探究窄安全密度窗口条件下井筒压力精细控制方法；考虑深水钻井地层压力的不确定性，基于深水井涌特征参数，建立地层流体侵入状态反演方法，推演地层压力不确定条件下的井筒压力变化规律，得到地层压力不确定条件下井涌诊断与评估方法。

以“海洋石油981”为平台依托，通过现场试验及工程应用对上述理论与方法进行验证、完善，最终形成深水井筒非稳态多相流动理论与井筒压力精细控制方法。

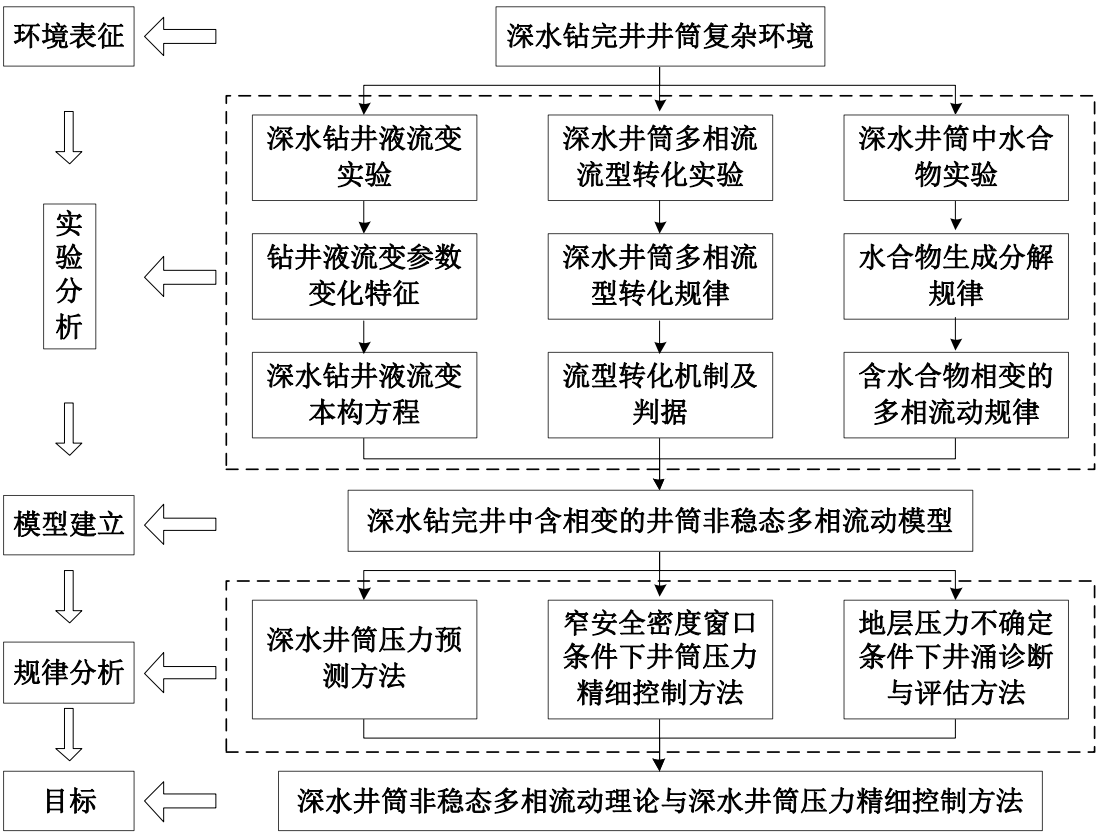

图 9 技术路线

（3）拟突破的关键技术

① 深水井筒多相流动压力精确预测技术

井筒压力精确控制是井筒压力安全控制的基础。得到深水钻井井筒多相流型转化规律，揭示深水井筒多相流型转化机制，提出流型转化判据。建立考虑深水钻井油气和水合物相态变化、温压场复杂、地层流体组分混杂、工况多变等因素的深水钻井非稳态多相流动模型，开发深水井筒多相流动压力精确预测技术。

② 地层压力不确定条件下井涌诊断及评估技术

发掘深水井涌特征参数，建立地层流体侵入状态反演方法，推演地层压力不确定条件下的井筒压力变化规律，得到地层压力不确定条件下井涌诊断与评估技术，为井筒压力精细控制提供依据。

③ 基于深水井筒多相流动参数精确计算的井筒压力控制技术

形成深水井筒多相流动模型，建立井筒压力精确预测方法，开发基于深水井筒多相流动参数精确计算的井筒压力控制技术，保障深水钻完井作业安全高效进行。

2、工作计划

年度	研究内容	预期目标
第一年	1）针对深水井筒复杂条件，通过室内实验及理论分析，研究深水钻井液流变规律； 2）研究深水钻井井筒多相流型转化规律。	1）构建深水钻井液流变本构方程； 2）揭示深水井筒多相流型转化机制，提出流型转化判据。 3）发表 SCI、EI 论文 3 篇以上，申请国家发明专利 2 项以上。
第二年	1）考虑深水钻井油气和水合物相态变化、温压场复杂、地层流体组分混杂、工况多变等因素，研究深水钻井非稳态多相流动模型； 2）研究深水钻井非稳态多相流动规律。	1）建立深水钻井非稳态多相流动模型，揭示深水钻井非稳态多相流动规律； 2）发表 SCI、EI 论文 4 篇以上，申请国家发明专利 2 项以上，取得软件著作权 1 项以上。
第三年	1）针对深水地层压力不确定性，基于深水井涌特征参数，研究地层流体侵入状态反演方法，推演地层压力不确定条件下的井筒压力变化规律； 2）研究地层压力不确定条件下井涌诊断与评估方法。	1）建立地层流体侵入状态反演方法，得到地层压力不确定条件下井涌诊断与评估方法； 2）发表 SCI、EI 论文 5 篇以上，申请国家发明专利 2 项以上。
第四年	1）研究深水井筒压力预测方法； 2）进行井涌后的压井方式及参数优化研究。	1）得到优化后深水井筒压力预测方法及井涌后压井方式选择及参数设计方法。 2）发表 SCI、EI 论文 4 篇以上，申请国家发明专利 2 项以上，取得软件著作权 1 项以上。

第五年	基于深水地层窄安全密度窗口特征，进行深水钻井井筒压力的精细控制方法研究。	1）得到考虑深水地层窄安全密度窗口的深水钻井井筒压力精细控制方法； 2）发表 SCI、EI 论文 4 篇以上，出版专著 1~2 部，申请国家发明专利 2 项以上，培养 2-3 名中青年学术带头人； 3）在我国深水区块完成 1~2 口井的钻完井工程实际应用。

三、目标任务

1、科研攻关目标

针对深水油气钻探的工艺特点，考虑深水井筒低-高温交变温度场中钻井液的流变特性，构建深水井筒非稳态多相流动模型，揭示深水井筒内的多相流动规律，建立地层压力不确定条件下井涌诊断与评估方法，形成适用于深水窄安全密度窗口的钻井井筒压力精细控制方法，提升我国深水钻井井筒压力安全控制能力，为我国深水油气开发提供技术支撑。

2、科技成果目标

在本学科领域开展原创性、基础理论和实践问题研究，申请省部级以上重大课题3项以上，获得省部级及以上科技奖励2项以上，发表高水平论文20篇以上，其中SCI检索10篇以上，EI检索10篇以上，申请国家发明专利10项以上。力争在“海洋深水井筒多相流动机理与压力控制方法”方向取得国内外同行高度认可的创新性研究成果。

3、团队建设目标

依托“海洋油气钻完井理论与工程”教育部创新团队，在“油气井多相流动理论与井筒压力控制”方向发挥学术带头人的作用，积极培养学术骨干，打造一支高水平的青年创新队伍，成为我国海洋油气工程领域高层次人才的重要后备力量，推动团队成为国际上有重要影响力的协同创新团队；同时申请人具备成功申报“长江学者”特聘教授或国家杰出青年科学基金的综合实力。

4、学科平台建设目标

组织好“油气井多相流动理论与井筒压力控制”方向的发展的规划，在实验平台建设、国际合作方面有所突破，为海洋油气工程学科、高校学科创新引智基地、

水下设备试验和检测国家工程实验室、山东省海洋油气工程高校重点实验室等学科平台的建设与发展做出实质性贡献，努力推动本学科成为国际上有重要影响力的一流学科。

5、经济社会效益目标

通过本研究丰富发展了井筒多相流动理论，推动深水井筒压力控制理论的进步，形成我国海洋井筒多相流动控制技术研发基地。

通过本项目成果的研发，形成一套深水井筒压力精细控制方法，引领深水井筒压力控制技术的发展，打破国外公司在该项技术上的垄断，节省购置高价设计软件、设备及相关服务费用，有效降低作业成本，有利于我国独立掌握安全高效钻完井技术，有助于带动我国海洋复杂井筒安全高效钻井技术的发展，提升我国企业的国际竞争力。通过该技术培养海洋井筒压力安全控制设计人员，培养海洋井筒压力安全控制施工队伍，形成我国有重要影响力的海洋井筒压力控制技术人员的培训基地。在国内主力海洋油气田推广应用，实现井筒压力的安全控制，实现安全高效钻完井作业，减少井筒复杂情况的发生，缩短建井周期，取得显著经济效益，此外还可有效保护油气层，提高油气发现率，并大幅度增产，进一步提高经济社会效益。

该成果是实现深水油气安全钻探的关键技术之一，随着南海深水油气以及海外深水油气区块的不断拓展，会有更广阔的应用空间，对国民经济和社会发展产生更大的助推作用！

四、保障措施

1、实验室及仪器设备保障

申请人所在单位中国石油大学（华东）是教育部直属全国重点大学，拥有重质油国家重点实验室、水下设备试验和检测国家工程实验室、教育部石油工程重点实验室、山东省海洋油气工程重点实验室、CNPC海洋工程重点实验室等实验室（如表1所示），将多相流理论与应用作为重点研究方向，在深水井筒多相流动与压力控制实验方面具有良好的设备条件，建立有多套相关实验设备，如表2所示。其中，依托教育部985优势学科创新平台项目建成了“深水油气流动与传热模拟实验装置”。实验装置主要由模拟钻井条件的“高压可控温井筒气液两相流动实验系统”、“井筒传热实验系统”、“水平井筒流动模拟系统”等组成，可以模拟深水钻井条件进行井筒传热及多相流动规律研究。“水合物环路及相态实验装置”可以模拟钻井井筒中水合物生成与分解规律。部分实验设备如图10-图14所示。

表1 代表性实验室平台

实验平台类别	名称
国家重点实验室（1个）	重质油国家重点实验室
国家工程实验室（3个）	深水油气开发装备及井筒安全测试研发实验室
	油气钻井技术国家工程实验室-高压水射流研究室
	水下设备试验和检测国家工程实验室
教育部重点实验室（1个）	教育部石油工程教育部重点实验室
山东省教育厅重点实验室	山东省海洋油气工程高校重点实验室
中国石油天然气集团公司重点研究室（2个）	CNPC海洋工程重点实验室
	深水井筒工作液与水合物控制研究室
中国石油大学（华东）（1个）	中国石油大学（华东）海洋石油工程研究中心

表2 代表性实验设备及性能参数

名称	主要性能参数
深水油气流动与传热模拟实验装置	温度：0-60 ℃；压力：0-10 MPa
高压可控温井筒气液两相流动实验系统	温度：0-80 ℃；压力：0-10 MPa
水平井筒流动模拟系统	温度：0-80 ℃；压力：0-2 MPa
可视化气液两相流动模拟实验系统	规格：15 m × Φ 0.1 m 温度：0-60 ℃；压力：0-5 MPa 气体流量：0-120 m^3/h；液体流量：0-50 L/min
天然气水合物环路实验装置	温度：0-60 ℃；压力：0-10 MPa 气体流量：0-60 m^3/h；液体流量：0-50 L/min 角度可调：0-90°
天然气水合物相平衡实验系统	温度：-5-80 ℃；压力：0-20 MPa

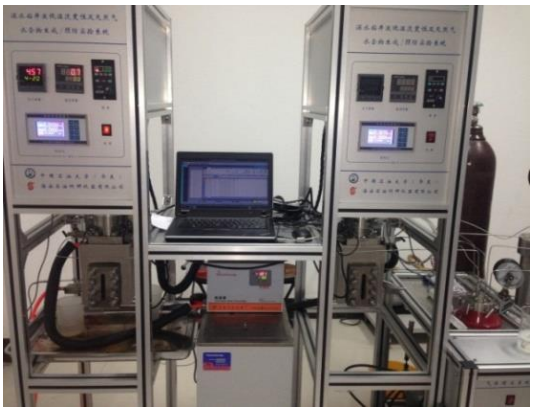

图 10 天然气水合物相平衡实验系统

图 11 天然气水合物环路实验装置

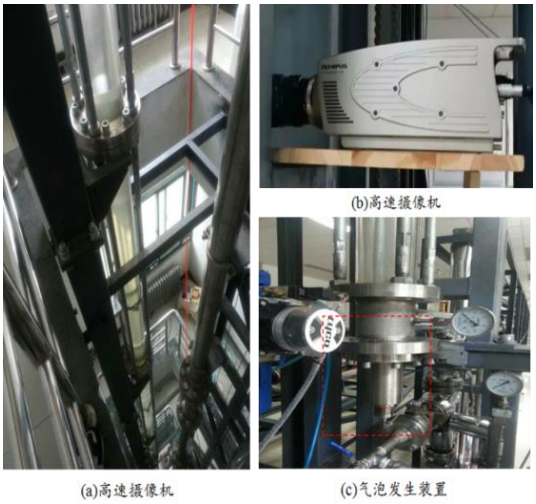

图 12 可视化气液两相流动模拟实验系统

图 13 高压气体运移实验装置

图 14 高压气液两相流动模拟实验系统

2、配套资金保障

团队通过国家“973”计划课题、国家重点研发计划课题、国家十三五重大专项课题、国家优秀青年基金以及中石油、中石化、中海油等科研立项等，当前已拥有科研项目总经费超过1000万元；预计建设期内拟申请科研项目经费800万元以上。同时，中国石油大学（华东）已为该团队配套科研经费300万元，用于科研设备的升级改造。因此，该团队有充足的配套资金，保障拟开展研究的顺利进行。

3、人员团队保障

申请人为中国石油大学（华东）“油气井压力控制”方向学术带头人，同时也是教育部青年长江学者、国家优秀青年科学基金获得者。本团队主要由海洋油气井

工程和海洋工程等领域的中青年教授、博士组成，拥有“973”首席科学家、长江学者特聘教授等高层次人才。团队以国家重点学科、省部级重点实验室和优势学科创新平台建设为依托，联合开展海洋油气井钻完井理论与工程的基础理论及应用等方面的研究，在海洋钻井工程设计及风险评价理论与方法、深水钻井装备及作业安全理论与技术、深水钻井液技术，特别是深水井筒压力控制理论和技术等方面形成了特色和优势。近几年承担国家“973”、“863”、油气重大专项、国家自然科学基金等国家级科研项目40余项，获国家科技进步奖2项、省部级科技成果奖10多项，授权国家发明专利60多项，发表被SCI、EI收录的高水平论文80余篇，出版专著和教材4部，与国外多所大学和研究机构建立了长期的联系与合作，国际影响力不断提升。团队充分利用自身的特色研究方向和优势，以符合国家能源发展重大需求为导向，将室内实验、模拟计算、理论分析及工程应用有机结合，及时将理论研究成果应用于指导油田生产，已在国内30余个油气田，海外10余个区块推广应用，取得了显著的经济效益和社会效益，极大推动了我国安全高效油气钻完井技术的发展，形成了具有国际影响力的油气钻完井技术研发基地。

团队十分重视对青年人才的培养，极力构建利于团队建设和青年人才成长的机制，倡导梯队优化、多学科交叉、协同发展，开展基础和原创性研究理论和技术创新，加强年轻人才的国际交流与合作，扩展学术视野，提升国际学术影响力。在团队的支持下，申请人一直致力于油气井多相流动理论及应用的基础研究，在长期科研合作中形成了一支年龄和学缘结构合理、稳定和谐、科学思维活跃、创新能力强的学术队伍。力争经过五年的努力和发展，在“油气井多相流动理论与井筒压力控制”领域取得重大突破，获得具有国际领先水平的研究成果，使本团队创新能力和学术水平全面跻身国际先进行列，成为国家在本学科领域进行重大科技攻关、高级人才培养及国际科技合作等方面一支完全可以信赖的优秀学术团队。主要成员简介如下：

王志远：男，1981年生，博士，教授，教育部青年长江学者、国家优秀青年科学基金获得者。一直致力于油气井多相流动理论及应用的研究，发展了油气井多相流动数学模型，使其由传统的气液固三相流动模型突破为考虑水合物相变、超临界态相变、气体组分溶解/析出的多组分多相流动数学模型，提高了油气井筒中多相流动参数计算的准确性，为井筒压力安全控制提供了理论依据。主持及参与国家自然科学基金、国家973计划、国家重点研发计划、国家863计划、国家重大科技专项及国家支撑计划国家级课题11项；发表学术论文79篇，其中SCI收录19篇、EI收录22篇；获得省部级科技进步一等奖3项（排名：3/15、3/15和4/11）、二等奖1项（排名：1/9）；授权国家发明专利18件、授权美国发明专利4件，获得软件著作版权11件；合作出版英文著作1部、中文著作2部；《Journal of Hydrodynamics》（SCI期刊）编委，《水动力学研究与进展》（中文核心）编委。

孙宝江：男，1963年生，理学博士，教授，博士生导师。973首席科学家，2009年度被评为“长江学者特聘教授”，现任中国石油大学（华东）石油工程学院院长，海洋石油工程研究中心主任，教育部“海洋油气井钻完井理论与工程”创新团队负责人，教育部石油工程重点实验室副主任，CNPC海洋工程重点实验室副主任，国家科技部“十二五”863计划“海洋油气资源开发技术”主题专家组专家，教育部海洋科学与工程类专业教学指导委员会委员，《Journal of hydrodynamics》、《中国海上油气》、《石油钻探技术》等杂志编委。获国家科技进步二等奖1项（排名第2），山东省科技进步一等奖2项，国家能源科技进步一等奖1项，中国石油石化联合会科技进步一等奖1项，国家发明专利优秀奖1项。发表学术论文近200篇，获得中国发明专利30项，授权美国专利9项，出版专著3部。

刘刚：男，1960年生，博士，教授，博士生导师。主要从事油气井力学、油气井控安全评价理论及方法、油气井出砂监测理论与技术、丛式井防碰监测理论与技术、钻井安全和风险评价理论及方法等方面的研究。中国石油标准化委员会钻井标准化委员会委员，中国石油学会会员；作为负责人，承担了国家973计划、国家重大科技专项、国家863计划以及国家支撑计划等重大攻关课题20余项；发表学术论文60余篇，其中SCI、EI检索近20篇；获省部级科技进步二等奖和三等奖多项；获得国家发明和实用新型专利近20项；出版专著、教材3部。

徐加放：男，1973年生，博士，教授。从事新型钻井液处理剂和体系研发及其作用机理研究、井壁稳定、防漏堵漏、储层敏感性评价及保护、水合物形成机理及防治、分子模拟与微流控技术等方面的研究。先后在《Molecular Physics》《J. Molecular Structure》、《石油学报》、《中国石油大学报》等期刊发表论文40余篇，其中SCI检索7篇、EI检索3篇，出版学术专著1部，在教学类核心期刊发表论文3篇；分别承担973专题1项，油气重大专项专题1项，山东省自然科学基金1项，参与863自然科学基金重点项目，自然科学基金项目等20余项，承担山东省本科教学改革项目1项，研究生教育创新项目1项；申请国家发明专利18项；获省部级以上奖励6项，其中，中国石油与化工联合会科技进步二等奖1项、中国石油与化工联合会科技进步三等奖1项、山东省科技进步一等奖1项；连续三年被评为中国石油大学优秀班主任。担任《石油学报》、《Molecular Physics》、《石油钻探技术》等杂志审稿人。

高永海：男，1977年生，博士，副教授。作为负责人，承担国家自然基金2项，国家重大专项子课题1项，国家重点研发计划专题1项，国家863子课题1项，国家支撑计划子课题1项，山东省自然基金1项；作为骨干，参加国家自然基金2项，国家油气重大专项2项，国家863重大专项1项，973课题1项。承担、参与横向课题40余项。作为主要完成人，获得山东省科技进步一等奖1项，中国石油和化学工业联合会科技进步奖一等奖1项，三等奖1项，中国海洋协会科技进步二等奖1项，国家能源局科技进步一等奖1项，教育部科技进步二等奖1项，中国专利奖优秀奖1项。发表论文40篇，

第一作者和通讯作者20篇；其中SCI、EI检索15篇，授权发明专利12项，实用新型专利1项。协助石油工程学院海洋油气工程系完成本科专业申请、硕士博士学位点申报的材料编写工作，协助完成山东省海洋油气工程重点实验室的申报与建设。作为骨干成员，入选“海洋油气井钻完井理论与工程”教育部长江学者和创新团队发展计划创新团队。

4、生活保障

中国石油大学（华东）为团队提供优良的工作环境，不断提高生活保障和服务水平，按照有关文件规定，在交通、住宿、医疗等方面做好服务保障工作。特聘专家在做好科研的同时，为团队成员提供良好的生活保障条件，使团队成员心无旁骛，多出成果。