

地质工程一体化的应用与发展

高思敏^{1*}, 罗煜恒², 郝立军², 樊泽鑫³, 杜庆福⁴, 黄学建², 张志伟², 樊明冲²

¹中国石油国际勘探开发有限公司(CNODC)乍得上游项目公司, 北京

²西部钻探工程有限公司井控实训中心, 新疆 阜康

³乌鲁木齐国盛汇东新能源有限公司技术部, 新疆 乌鲁木齐

⁴西部钻探工程有限公司钻井液分公司, 新疆 克拉玛依

收稿日期: 2022年9月8日; 录用日期: 2022年10月7日; 发布日期: 2022年10月17日

摘要

地质工程一体化, 是非常规油气田实现高效开发的有效途径, 率先在北美地区取得技术突破, 近10年来已经在世界各地得到了快速推广应用, 降本增效成果突出。国内迅速跟进, 先后在四川川南、鄂尔多斯、准噶尔、塔里木等盆地开始探索非常规油气田的规模化开发, 并积累了很多解决地面与地下更为复杂油气藏的工作经验和工作方法, 为一体化下步发展指明了方向。本文透过国内发展进程, 全面梳理了理论创新及其应用成果, 对下步发展提出了预测与建议, 为一体化理论研究和生产应用提供了积极的理论参考。

关键词

地质工程一体化, 非常规油气田, 品质要素, 协同管理, 跟踪决策

The Application and Development of Geology-Engineering Integration

Simin Gao^{1*}, Yiheng Luo², Lijun Hao², Zexin Fan³, Qingfu Du⁴, Xuejian Huang², Zhiwei Zhang², Mingchong Fan²

¹CNPC International (Chad) Co., Ltd., Beijing

²CNPC XDEC Well-Control Practical Training Base, Fukang Xinjiang

³Technical Department of Urumuqi Guosheng New Energy Co., Ltd., Urumuqi Xinjiang

⁴CNPC XDEC Drilling Fluids Sub-Company, Karmay Xinjiang

Received: Sep. 8th, 2022; accepted: Oct. 7th, 2022; published: Oct. 17th, 2022

Abstract

Integration of geology-engineering, an effective way to realize efficient development of unconven-

*第一作者。

文章引用: 高思敏, 罗煜恒, 郝立军, 樊泽鑫, 杜庆福, 黄学建, 张志伟, 樊明冲. 地质工程一体化的应用与发展[J]. 矿山工程, 2022, 10(4): 405-411. DOI: 10.12677/me.2022.104045

tional oil and gas fields, was the first to achieve a technological breakthrough in North America and has been rapidly promoted and applied worldwide in the last 10 years, with remarkable results in cost reduction and efficiency. China quickly followed suit and began to explore the large-scale development of unconventional oil and gas fields in southern Sichuan, Ordos, Junggar and Tarim and other basins, and accumulated a lot of work experience and methods to solve the more complex oil and gas reservoirs on the surface and underground, pointing out the direction for the next development of integration. Through the domestic development process, this paper comprehensively combs the theoretical innovation and their application achievements, makes predictions and suggestions for the next development, and provides positive theoretical references for integration theory research and production applications.

Keywords

Geology-Engineering Integration, Non-Conventional Oil and Gas Fields, Quality Factors, Collaborative Management, Follow Up and Make Timely Decisions

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 地质工程一体化的历史背景[1] [2]

油气田勘探开发就是对油气田地质认识不断深化与细化和对工程技术措施不断优化与改进的发展过程。国外,北美率先取得页岩油气田开发的技术突破,并于2011年提出“地质工程一体化”理念;国内,2013年,由国家能源局发布《页岩气产业政策》,四川、塔里木、准噶尔等盆地的非常规油气区块都取得了一系列应用成果。

2. 地质工程一体化的工作理念及其技术路线

2.1. 工作理念[3] [4] [5] [6]

工作理念就是人们在生产活动中所形成的思维方式与行为逻辑。地质工程一体化,实质上是油藏地质与油藏工程的一体化,其典型特征是:

① **以降本增效为目的**:从方案设计到钻井施工,直到完井压裂、试油试产全过程、全生命周期,以提高单井产量、降低综合开发成本为根本目标。

② **以地质研究为基础**:通过区域资料和实钻录测井资料,针对储层甜点分布,开展一系列刻画储层特性、优化工程措施等基础研究。

③ **以数模分析为工具**:运用信息化平台,建立地质、地震、工程等三维模型、实施数值模拟,通过实钻资料优化细化方案设计和全程跟踪决策。

④ **以深化优化为准绳**:以优化方案设计、科学组织实施为关键环节,通过深化细化、跟踪决策,实现方案最优化、实施实时化、决策科学化目标。

⑤ **以实时跟踪为特征**:实行多学科、多部门协调指挥及多专家跟踪决策。

2.2. 技术路线[3] [4] [7] [8]

2.2.1. “三品”的关系

1) **基本内涵**:在四川涪陵页岩气开发过程中,为了简化评价过程,吴琦等人首次提出影响非常规油

气田开发效果的储层品质、钻井品质和完井品质三要素。① **储层品质(RQ, reservoir-quality)**是优选地面与地下条件的依据,关键是要有足够的油气储量,要求找得准、展得开(即甜点设计到位)。② **钻井品质(DQ, drilling-quality)**是井眼轨迹、钻井工期、复杂事故时率等综合反映,关键是井眼质量好、施工周期短。要求打得快打得好(即钻井轨迹到位)。③ **完井品质(CQ, completion-quality)**是固井质量和储层改造结果的综合反映,要求压得开、撑得住(即压裂改造到位)。④ **单井品质(WQ, well-quality)**是综合成本和单井产量的直观反映,要求综合成本低、单井产量高(即提升综合效益到位)。

2) **相互关系(interralations)**: ① “三品”具有一个中心与两个基本点的三角关系(吴琦等)。② “三品”适应黑盒子理论。受影响因素众多,只有“三品”都做到最大化,单井品质(单井成本与出油能力)才能实现最大化(见图 1); ③ “三品”遵循 90 法则。只有三品都最大化了,单井品质才能最大化。例如,若三品各自都完成了自己最大化的 90%,则单井品质也只有自己最大化的 72.9%。

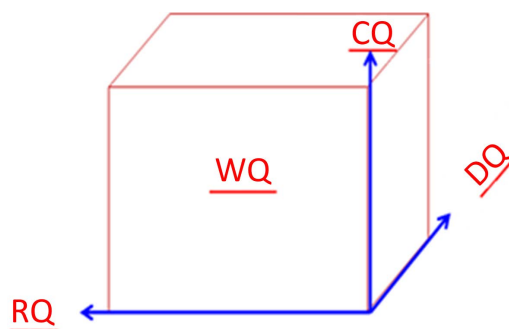


Figure 1. The interrelations of 3-quality factors in the integration

图 1. 一体化“三品”要素的相互关系

2.2.2. 技术路线

一般采取水平井钻井、大规模体积压裂、平台化管理、工厂化作业、一体化施工、立体化开采等综合措施与方案: ① **录取资料**: 优选钻井平台,先钻直井眼,全面录取地质录井、钻井工程与测井资料,分析钻井复杂、油藏展布、储层改造等“三品”资料; ② **分析研判**: 根据实际钻井完井的“三品”资料进行研判,深化优化技术对策; ③ **校正模型**: 导入“三品”评价数据,模拟校正三维模型; ④ **优化方案**: 根据实钻“三品”资料,模拟校正后进一步完善实施方案等; ⑤ **实时决策**: 协同作业,专家跟踪研究,上传信息,下达指令,实时决策。

2.2.3. 技术特点[9]

① **一大平台**: 模块化、模型化、共享化、一体化信息共享平台。例如,中油技服(CPTEC)的 EISS 平台和哈利伯顿的 RTOC 平台等。

② **二大对象**: 非常规的页岩油气田(储层以页岩为主)、致密油气田(包括砂砾岩、火成岩、碳酸盐岩储层等)。

③ **三大模式**: 大井丛工厂化作业、多层位立体化开采、多井型针对性布井。

④ **四大工程**: 钻井施工、完井压裂、试油试产、油气开发等基础工程。

⑤ **五大业务**: 是地质研究、工程优化、精益管理、现场管理和信息服务等。其中,地质研究是基础、工程优化是目标、精益管理是要求、现场管理是关键、信息服务是保障。

⑥ **六大指标**: 提速(强化技术参数,优化技术指标,实现施工周期最小化)、提效(科学管理,无缝衔接,降低复杂事故时率,实现效益和效率最大化)、提质(强化方案论证与规范操作,实现施工质量最优化)、

提产(优化方案, 科学排产, 实现单井油气产量与产能最大化)、控投资(预算要盈, 实现投资最小化)、降成本(科学降低综合成本, 追求利润最大化)。

⑦ **七大环节**: 油田数据信息化、基础建模(地质地层建模、工程力学建模等)、模拟分析、方案优化细化、平台化钻井设计、大位移水平井施工、高强度大规模体积压裂等。

2.2.4. 服务商操作平台(见图 2 和图 3)

1) **中油技服**: 2021 年在局处两级全面推行远程智能决策指挥系统信息化平台 EISS (Engineering Integrant Support System)。对探井与重点开发井实施方案论证、模板分析、会议决策、指导现场等运行机制, 率先实现了技术专家远程技术决策支持目标, 把传统项目管理模式中“专家驻井把关”变为专家利用 EISS 信息平台远程智能指挥, 已经取得了显著成果。

2) **东方物探**: 2019 年研发出基于 GeoEast-RE 平台的水平井导向跟踪模块 GBS, 并取得较好的应用效果, 实现了地震资料研究成果与工程实施的有效结合。

3) **哈利伯顿**: RTOC-地质工程协同作业与三维展示系统, 并在多个国家和地区取得了很好的应用管理经验与业绩。

4) **斯伦贝谢**: 2017 年建成 DELFI 环境, 围绕地质油藏、多学科多信息融合、多工程技术协同的管理和作业一体化模式, 发挥了其测井分析的技术优势, 为油藏描述的精细化、立体化、高效化树立了新的技术典范。

5) **其他公司**: 中石化、中海油都打造了自己的一体化技术平台, 也都取得了积极进展和应用效果。此外, 一些有实力的专业钻井公司也在努力打造自己的服务平台, 并不断完善其管理模式、提升其服务能力。

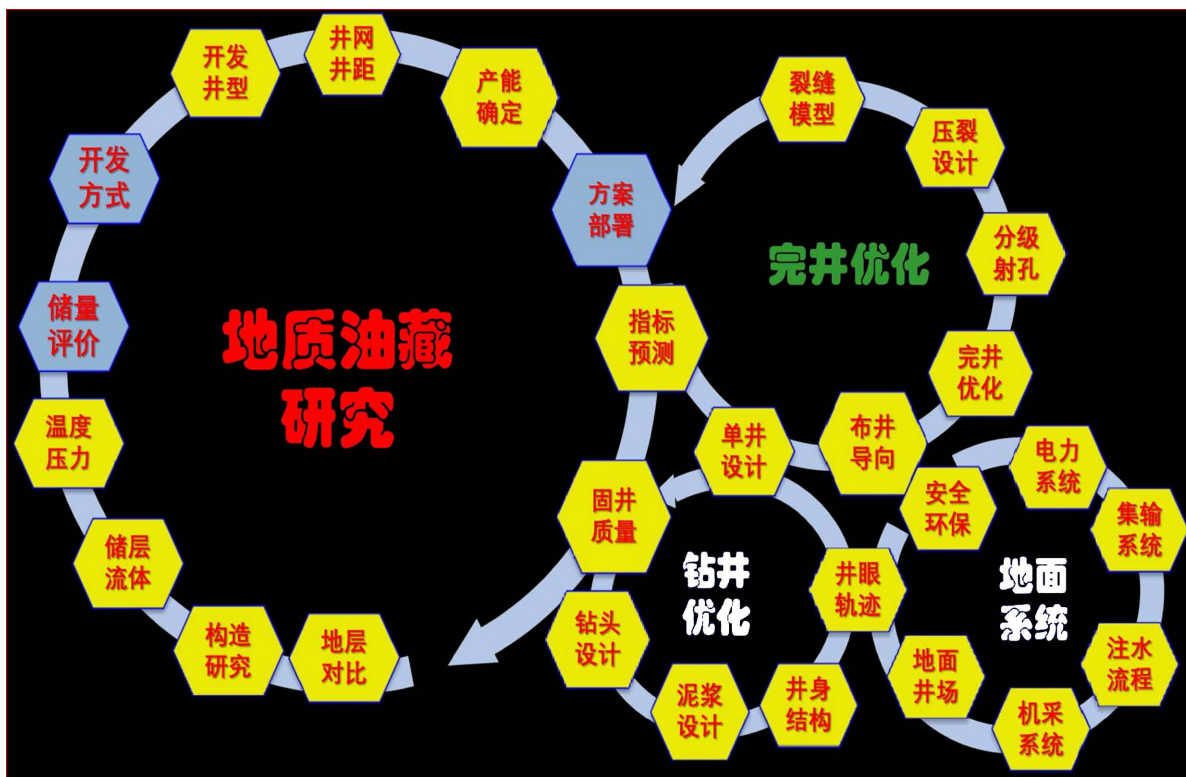


Figure 2. The design scheme of geology-engineering integration (from Meiquan Liu)

图 2. 地质工程一体化的设计方案(据刘梅全)

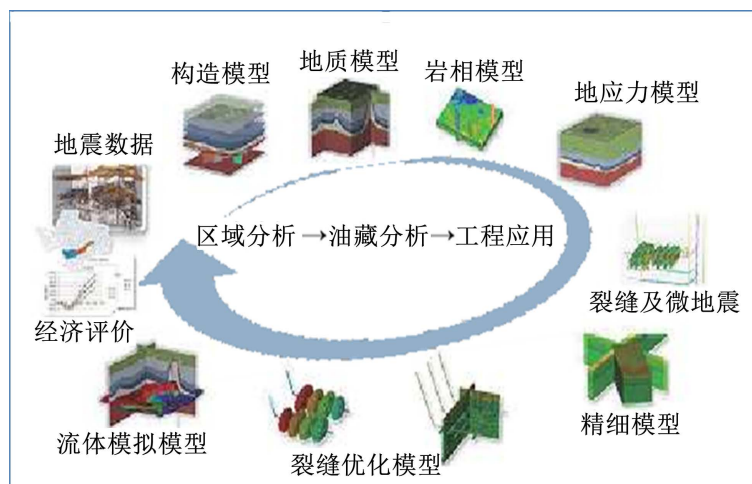


Figure 3. The simulation analysis system of geology-engineering integration [10]

图3. 地质工程一体化模拟分析系统[10]

3. 地质工程一体化的应用成果及其发展趋势

一体化工程的组织实施，涉及建设方、承包方和服务方等多部门、多专业，具有时效性、针对性强的特点。在项目实施的过程中，一般由建设方主导，由承包方协调，由服务方保障，由技术专家跟踪支持，需要建立和运行以下五个机制：① **协调机制**：承包方总体协调，满足建设方和服务方的需求。② **跟踪机制**：现场按方案施工，平台专家跟踪把关及时决策。③ **研判机制**：平台专家研判，联席会议决策，反馈现场执行。④ **响应机制**：专家跟踪指挥，信息上传，指令下达，快速响应，总结提升。⑤ **改进机制**：平台或模型需要进行全生命周期的学习，并在应用中逐步完善、不断提高。

3.1. 新疆油田致密油开发[8] [11]

在玛湖、吉木萨尔致密油开发中，玛湖在总体推进与分区试验效果显著，吉木萨尔在压裂施工中创造施工参数新纪录。其中，1) **玛湖致密油**：① **总体推进效果显著**：2016年至2019上半年间，坚持优选控制井、深化认识储层构造，及时更新地质模型，持续优化新井轨迹等，平均油层钻遇率由82.4%上升至93.1%，平均单井轨迹调整次数由13次下降至2.6次，钻井提速42.5%。② **分区试验效果显著**：2018~2019年间，结合地质认识、裂缝分析、压裂模拟与工程实践，其中，玛131小井距立体开发示范区，段簇优化提效10%，采油速度较前期提高两倍以上。2) **吉木萨尔致密油**：2017年06月，在JHW023井、JHW025井按设计完成54级、158簇压裂施工任务，创造了新疆油田压裂级、簇数最多、入井液量最多、加砂量最大、施工排量最高、单井平均压裂效率最高等多项国内及新疆油田压裂纪录。

3.2. 四川盆地南部长宁 - 威远地区[12] [13]

2012年启动川南页岩气国家级示范区项目。10年间经历了评层选区、先导试验、示范区建设三个探索阶段。尤其是在第三轮优化调整中，以精细建模为基础，全面推行钻井、压裂的方案设计、施工监测和作业后系统分析评估。在钻井、压裂、试产、生产四大工程中，通过实施一体化战略，实现了关键要素最优化：水平井箱体最优化、储层改造参数最优化、生产制度最优化、开发技术政策最优化，最终实现开发效益最大化目标。

3.3. 中国石化地质工程一体化应用领域及其实施成果[1] [14]

在隐蔽油气田、超深碳酸盐岩油气藏、致密油气田、页岩油气田都取得了显著成绩。2012年在四川

涪陵已经建成大型油气田。到 2019 年,中石化在四川(图 4)、胜利、鄂尔多斯等地已经累积生产页岩气 73.8×10^8 方。

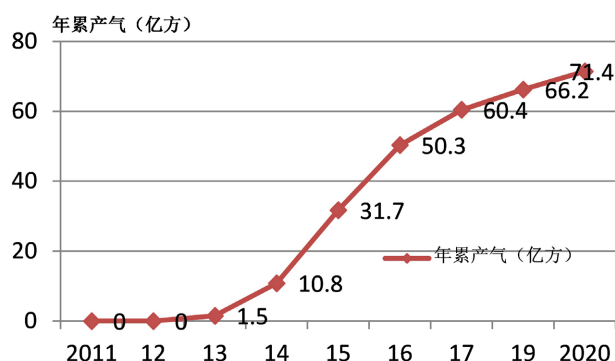


Figure 4. Fuling shale gas production growth in Sichuan basin (According to Huanquan Zhao and other revision)

图 4. 四川盆地涪陵页岩气田年产量(据赵焕泉等)

3.4. 发展趋势

未来地质工程一体化将会在以下 3 个方面继续深化细化:

1) 抓好组织实施过程中的 5 项保障[6] [10]:

- ① 人, 组织保障: 决策团队与管理团队的队伍建设和人才培养;
- ② 财, 投资保障: 先技术论证、效益评价, 再控制投资与降低成本并重;
- ③ 物, 后勤保障: 建立一体化数据基础、专业模型及其工作平台, 并运行改进;
- ④ 管, 机制保障: 建立健全协同化管理、市场化运作的合作与共赢机制, 营造良好的协同环境;
- ⑤ 推, 技术保障: 推进现场钻井完井、压裂改造、跟踪决策等生产实施。

2) 抓好方案优化的 5 项任务:

在方案设计与组织实施的优化细化过程中, 地质工程一体化的要求是:

① 深化认识, 地质先行: 深化成藏规律、储层构造、核心技术认识; 坚持地质先行, 地上服从于地下实施原则。

② 完善工艺, 优化方案: 注重方案优选, 完善配套钻井完井与压裂改造。

③ 标杆管理, 对标竞赛: 坚持对标、追标、达标、创标, 解决问题, 克服短板。坚持提速提质必提效, 强化协调, 无缝衔接。

④ 论证评价, 精益求精: 坚持“事前算盈、事中干赢、事后保盈”原则, 做到技术上可行, 经济上也可行。

⑤ 团结协作, 统筹协调: 在现场项目推进中, 建设方、承包方与服务方秉承“一家人、一条心、一盘棋、一起干”的思想, 运用战略思维、辩证思维、系统思维、底线思维, 摆正站位, 实现合作共赢。

3) 把握完善提高的 5 大发展趋势[15] [16]:

① 扩大应用规模: 要继续扩大非常规低效储量资源的动用规模;

② 完善应用平台: 针对生产中遇到的问题不断攻关、提升、完善;

③ 集成应用技术: 集成实用技术工艺, 对标管理, 不断提高单井产能;

④ 提升管理水平: 实现建设方、承包方、服务方利益最大化;

⑤ 增强保障能力: 市场化运作、多元化合作, 保持技术创新势头。

4. 结论

1) **多专业统筹兼顾是地质工程一体化的灵魂。**承包方要增强统筹协调能力。

2) **全油田信息共享是地质工程一体化的血液。**努力提升油田信息数字化、专业数据信息化、数模分析自动化、技术决策智能化、专业术语标准化和平台操作自动化水平。

3) **全流程平台管理是地质工程一体化的支撑。**运用地质工程一体化方法,不断优化细化方案设计,实现效益最大化。

5. 建议

为进一步加强地质 - 工程一体化应用, 特建议:

1) **坚守一体化理念:** 坚定理想信念, 拓展工作思路, 推进文化建设与人才培养。

2) **创新一体化管理:** 注重施工队伍建设, 培养一流团队, 推进工具开发与管理升级。

3) **强化一体化应用:** 创新技术思路和管理思路, 适应市场, 开拓市场, 推进市场开拓与技术应用。

参考文献

- [1] 孙焕泉, 周德华, 赵培荣, 李玉鹏, 冯动军, 高波, 等. 中国石化地质工程一体化发展方向[J]. 油气评价与开发, 2021, 11(3): 269-280.
- [2] 何骁, 周鹏, 杨洪志, 闻雯, 吴建发, 黄浩勇, 王梅, 等. 页岩气地质工程一体化管理实践与展望[J]. 天然气工业, 2022, 42(2): 1-10.
- [3] 吴琦, 梁兴, 鲜成钢, 李珣, 等. 地质工程一体化高效开发中国南方海相页岩气[J]. 中国石油勘探, 2015, 20(4): 1-23.
- [4] 刘清友, 朱海燕, 陈鹏举, 等. 地质工程一体化钻井技术研究进展及攻关方向——以四川盆地深层页岩气储层为例[J]. 天然气工业, 2021, 41(1): 178-188.
- [5] 鲜成钢. 页岩气地质工程一体化建模及数值模拟: 现状, 挑战和机遇[J]. 石油科技论坛, 2018, 37(5): 24-34.
- [6] 胡文瑞. 地质工程一体化是实现复杂油气藏效益勘探开发的必由之路[J]. 中国石油勘探, 2017, 22(1): 1-5.
- [7] 常颖. 地质工程一体化效益评价与创新[J]. 化工管理, 2019(6): 2-3.
- [8] 陈中普, 王芳, 苏沛强, 任立春, 赵聪会, 董峰, 刘坤, 胡丰波, 等. 油气勘探开发新型地质工程一体化平台构建思考[J]. 录井工程, 2020, 31(4): 1-9.
- [9] 朱杰, 宋涛涛, 李晶, 计董超, 等. 致密砂砾岩油藏开发中地质工程一体化实践与思考[J]. 勘探开发, 2021, 28(2): 139-140.
- [10] 赵福豪, 黄维安, 雍锐, 范宇, 黄浩勇, 江琳, 李国真, 等. 地质工程一体化研究与应用现状[J]. 石油钻采工艺, 2021, 43(2): 131-138.
- [11] 章敬, 罗兆, 徐明强, 江洪, 陈仙江, 王腾飞, 罗洪. 新疆油田致密油地质工程一体化实践与思考[J]. 中国石油勘探, 2017, 22(1): 12-20.
- [12] 张树东, 吉人, 王邦伟, 吴胜, 程建, 等. 地质工程一体化地质导向技术在提高页岩气水平井钻井质量中的应用[C]//2016年天然气学术年会. 2016: 1-10.
- [13] 舒红林, 王利芝, 尹开贵, 李庆飞, 张卓, 裸瑀峰, 等. 地质工程一体化实施过程中的页岩气藏地质建模[J]. 中国石油勘探, 2020, 25(2): 84-95.
- [14] 胥志雄, 张辉, 尹国庆, 徐珂, 王海应, 王志民, 六新宇, 董仁, 周建平, 等. 超深井安全提速提产地质工程一体化关键技术[J]. 天然气工业, 2011, 41(11): 104-114.
- [15] 郭克强. 我国非常规油气产业波及效应研究[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国石油大学(北京), 2017.
- [16] 谢红兵. 油气资源丰度模拟方法研究与应用[D]: [博士学位论文]. 北京: 中国石油大学(北京), 2011.