

DOI: 10.3969/j.issn.1672-7703.2017.01.001

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

胡文瑞

(中国石油咨询中心)

摘要:近年来,随着国内新发现油气资源品质的劣质化和老油田开发进入中后期,勘探开发面临巨大挑战,急需破解这些难题的新理念、新技术、新实践。美国非常规油气大规模开发的成果,极大地推动了多学科融合、多技术集成的一体化创新和发展之路。面对目前低油价的挑战和“效益勘探开发”的基本要求,地质工程一体化模式应运而生,为中国油气田(特别是非常规油气田和复杂油气田)效益勘探开发探索出了一条新途径。目前地质工程一体化的组织思路和作业模式已在中国西部塔里木库车、四川海相页岩气、中东部低孔低渗油气藏开发中得到较成功的应用。文章阐述了地质工程一体化的基本概念、核心内涵、适用领域,探讨了地质工程一体化实施的 3 个必要条件;并提出了推动地质工程一体化发展的建议,即在扩大应用领域及规模的同时,通过建立学习曲线,摸索更有针对性的技术,在地质工程一体化管理模式上创新和实践,敢于突破体制界限,推进市场化及多元企业协同,实现整合技术优势,推进中国复杂油气藏提产增效的实质性效果。

关键词:地质工程一体化;复杂油气藏;页岩气;致密油;实践;创新管理模式

中图分类号: TE122

文献标识码: A

Geology-engineering integration – a necessary way to realize profitable exploration and development of complex reservoirs

Hu Wenrui

(PetroChina Consulting Center)

Abstract: In recent years, as newly-discovered oil and gas resources become more and more inferior while old oil fields in China enter into the middle-later development stages, great challenges emerge to the exploration and development. Under this circumstance, new ideas, techniques and practices are urgently needed to solve these problems. Successful large-scale development of unconventional resources in the United States has significantly promoted the integrated innovation and development which combines multiple disciplines and multiple technologies. Accordingly, the geology-engineering integration is proposed in response to the challenges induced by current low oil price and the basic requirement of “profitable exploration and development”. This model represents a new way to realize profitable exploration and development of oil and gas fields (especially the unconventional and complex oil and gas fields) in China. The organization idea and operation pattern of such geology-engineering integration have been successfully applied in developing low-porosity and low-permeability reservoirs in the Kuqa area of the Tarim Basin in western China, the Sichuan Basin (marine shale gas), and central-eastern China. This paper described the concept, connotation, and applicable scope of the geology-engineering integration, and presented three prerequisites for implementing this model. Moreover, some suggestions were put forward for promoting the development of the geology-engineering integration. To be specific, in addition to expanding the application scope and scale, learning curve should be established to develop more pertinent technologies. Innovation should be made in management model of geology-engineering integration, and market-based and cross-enterprise coordination should be applied beyond traditional systems to integrate the advantages of technologies. In this way, it is expected to substantially enhance production and profitability of complex reservoirs in China.

Key words: geology-engineering integration, complex reservoir, shale gas, tight oil, practice, innovation in management model

改革开放近 40 年来,中国经济快速发展,对于能源的需求尤其是对油气资源的需求呈井喷式增长,使中国从 1993 年成为石油净进口国,2016 年中国石
对外依存度达 60.6%,创历史新高,预计未来也将保持这一态势与水平。中国对于油气资源的需求是一种刚性需求,不会因为世界油价动荡而发生大的起伏,这

基金项目:中国工程院重点咨询项目“中国致密油发展战略研究”(2014-XZ-20)。

作者简介:胡文瑞(1950-),男,甘肃平凉人,中国工程院院士,博士生导师,教授级高级工程师,主要从事低渗透油气与非常规油气勘探开发技术研究和工程管理工作。地址:北京市西城区六铺炕街 6 号,邮政编码:100724。E-mail:hwr@petrochina.com.cn

收稿日期:2016-12-06

就要求我们必须持续寻找和开发更多的油气资源。然而,近年来中国石油资源劣质化和油气开发对象复杂化趋势明显,油气勘探开发工程作业难度越来越大,再加上当前油价的持续低迷,使效益勘探开发的挑战显得更为突出,亟待通过技术管理创新探索出一条既能有效提高油气勘探开发效果、又能有效降低工程作业成本的新路。

1 行业背景及国内外对比

随着北美地区页岩油气成功的开发和地质理论的发展,人们逐渐认识到暗色页岩发育丰富的纳米—微米级孔隙,可以大量成烃、储烃,形成自生自储型油气聚集。通过优选核心区、实验分析、测井评价、水平井钻探、多级水力压裂、体积压裂等先进技术的应用,成功实现了页岩中的油气开采^[1]。目前,页岩已成为全球油气勘探开发的新目标,在北美、亚太甚至中东地区,已经开始得到重视,各个区域的不同作业者,借鉴北美已经取得的大量经验,采用地质工程一体化的思路,正在对非常规油气勘探开发进行积极的探索。页岩气和致密油的开采给世界油气勘探开发带来了重大变革,正逐渐影响着世界能源供需的格局。北美页岩油气的不断突破(例如美国最具代表性的致密油聚集区带——Bakken, Eagle Ford 和 Barnett),长段水平井和多级压裂等技术的应用带来了平均单井产能的提升,使原来认为没有效益的低品位资源得到效益动用,这些成果也激励了世界各国的油气工作者纷纷启动了对于非常规油气的探索和实践。与此同时,中国也进入了多种非常规油气勘探开发的实践阶段。中国非常规复杂油气藏资源丰富^[2-4],同时复杂的地表条件、多变的地下储层,为中国油气勘探开发工作增添了更多的挑战。我们应该如何突破,如何发展,如何在如此复杂的挑战下,开拓出新的契机,挖掘出更多的油气潜力,是需要不断思考的问题。近几年来,一批批技术及管理工作者们,开始大胆尝试新的思路、新的方法,来破解“低品位资源高效益开发”的难题,地质工程一体化工作思路的提出及尝试,显现了新的生机,为诸多复杂的油气藏效益勘探开发带来了新的希望。地质工程一体化在不同的复杂油气藏中,已经表现出强大的生命力并取得相当可喜的成绩,已经逐渐被人们普遍接受和认同,成为复杂油气藏效益勘探开发的必由之路。

然而,不同地质条件、不同地表环境、不同工程特征的油气藏,对地质工程一体化实施过程中的要求也不尽相同;同时在组织结构设置上,北美的各种作业者与中国油公司之间,也具有很大的差别。因此,实践过程不可能千篇一律,我们必须充分考虑中国的具体情况,根据自身的不同特点,探索出适应中国地

质、地表和油田生产特点的技术体系与管理模式,逐步寻找和总结适合中国特色的地质工程一体化发展之路。

近3年来,随着塔里木深层致密气、四川盆地海相页岩气等复杂油气藏的开发,一批具有开拓精神的勘探开发工作者在地质工程一体化方面进行了有益的探索,过程虽然艰难,甚至困难重重,但确已见到明显的效果,证明了方向的正确性。与此同时,在更大范围内,众多油田在面对复杂油气藏勘探开发的过程中,仍然存在着学科割裂、管理粗放、技术落后等不足,不能满足效益勘探开发的需要。可喜的是,越来越多的决策者们,已经敏锐地认识到,要解决各种复杂油气藏的难题、提升整体效益,必须探索出一条以油藏研究为中心,多学科多信息相融合,多种工程技术相协同的管理和作业模式,也就是必须用地质工程一体化的思路来组织和指导生产。

2 地质工程一体化是复杂油气藏经济有效开发的必由之路

地质工程一体化,就是围绕提高平均单井产能这个关键问题,以三维模型为核心、以地质—储层综合研究为基础,在油气藏勘探开发的不同阶段,针对遇到的关键性挑战,开展具有前瞻性、针对性、预测性、指导性、实效性和时效性的动态研究和及时应用。配合有效的组织管理和作业实施,对钻井、固井、压裂、试采、生产等多学科知识及工程作业经验进行系统性、针对性和快速的积累和丰富,对钻井、压裂等工程技术方案进行不断调整和完善,在区块、平台和单井3种尺度,分层次、动态地优化工程效率与开发效益,实现提产增效的中长期目标^[5]。

由于地质工程一体化技术上涉及多个学科,管理上涉及组织结构中的多个部门,因此,完整地组织好地质工程一体化,不仅是一个技术领域的话题,更是一个管理领域的课题,后者对于成败所起的作用可能更具决定性。

一些业界人士也认为,我们数十年来一直运行的组织架构与实际操作也是地质工程一体化的模式。然而,真正的地质工程一体化,一定是打破了原有“技术条块分割、管理接力进行”的模式,一定要真正实现地质与工程的“换位思考、无缝衔接”。在当前组织架构下,我们还有明显的差距,实现起来也绝非易事,因此说我们还有很长的道路需要探索。

2.1 地质工程一体化作业模式的核心内涵

所谓一体化工作方式,是指依托新的工作流程,实现跨学科协作,从而更快地做出更好更有效的决策。

具体地讲，是把原来若干个相对独立、相互分散的单元和要素，运用一体化的理念整合到一个平台，相互促进、协同互动，从而达到有效控制、迅速反应、快速决策的目的。一体化的最大优势是消除组织上的工作障碍和技术上的人为切割，工况得到及时准确的监测和控制，任何人均可在任何地方查看实时数据和调整自己工作状况，使之符合工作流程的要求。

地质工程一体化作业模式，是指以提高勘探开发效益为中心，以地质—储层综合研究为基础，优化钻完井设计，应用先进的钻完井技术工艺，采用全方位项目管理机制组织施工，最大限度地提高单井产量和降低工程成本，实现勘探开发效益最大化。其主要内容是地质—油藏—方案研究一体化，钻井和完井设计—施工工艺一体化，质量—安全—环保—评价全过程管理一体化。

地质工程一体化作业模式，是在目前技术、工艺、管理等条件已基本成熟，并充分借鉴美国非常规油气开发成功做法，结合中国油气田开发特点而不断探索、创新、发展形成的全新模式，是应对当前资源劣质化和低油价的必由之路。

2.2 应用领域

近几年，几个油气富集且工程技术挑战较大的油区，已经在地质工程一体化项目运作中开展了有益的尝试。

中国西部的塔里木油田库车地区，以超深超高压著称，较高的建井投资，对于平均单井产能具有更高的要求，因此，自 2012 年起，就启动了多学科的地质工程一体化工作，取得了显著的成效，使得单井产能提升 3~5 倍以上，同时还具有进一步提升综合效益的空间。当然，随着产能增加，复杂工况的超深井又面临新的挑战，需要持续攻关，这也就是地质工程一体化的魅力所在，动态调整、高效往复，持续提升建产水平和综合效益！

中国西南地区四川盆地的海相页岩气，不仅仅是区域，更是国家能源战略中重要的接替领域。然而现实挑战与理想之间的差距，需要技术及管理者们脚踏实地地去克服与逾越。自 2013 年起，几批具有开拓精神的团队在此耕耘，通过多轮实践，实现了单井产量提升、作业成本控制的目标。当然，复杂的地表与地下条件，也需要持续不断优化模型、完善实施，加深推进地质工程一体化工作，不断克服新的挑战和更多的工程难题。

中国中东部地区例如鄂尔多斯盆地低渗特低渗的油气藏，由于迫切需要水平井提高单井产量，也面临

着地质与工程的挑战，同时，地表复杂、征地困难等都对井场设计提出了要求。如何突破常规设计，采用“超大平台”布井方式，开始被尝试，并且取得了一定效果。

地质工程一体化，是一种具有实用性的理念及方法，因此，其应用领域较广泛。虽然对于地质工程一体化的探索起始于非常规油气藏的早期开发阶段，但是其应用领域其实可以拓展到整个油田、区块、井组以及单井的全生命周期。从勘探、评价，到开发、稳产，以及提高采收率，地质工程一体化都具有用武之地。当然，针对不同的挑战，需要进行具体的分析研究，制订不同的地质工程一体化工作流程，建立具有针对性、创新性的工作方法，以及运用具有实用性的工程技术、配套工艺，并且伴随着这一过程，多学科一体化的团队可以摸索出更多科研及工程技术的新成果。

由于越来越复杂勘探开发对象的客观存在，让每一位油气工作者认识到，现在以及未来，都必须通过非传统的思维及方法来实现新的突破。同时，近几年的一些成功的尝试，让地质工程一体化被更广泛的认可和接受。

3 地质工程一体化的必备条件

近年的实践证明，顺畅高效地组织一个地质工程一体化项目，至少具备以下条件：一是具有一体化理念和决心的决策者及团队；二是协同作战的管理构架；三是必要的多学科数据基础与工作平台。

3.1 决策者及团队

地质工程一体化是一件具有意义但也充满挑战的事业，对于参与其中的决策者（可能是多组织结构的决策者们）以及团队成员，需要有面对挑战、迎难而上的准备，积极乐观的态度，以及坚定的信心及意志。这些品质绝不是口号，而是要真正体现和落实在项目的启动、实施以及优化改良的一系列环节中。并且，由于复杂的客观因素，必须避免每位参与者因专业背景不同而出现“以己为重”、“自我为中心”的情况。一个能够成事的地质工程一体化团队，需要开放的心态，宽阔的思维，有力的沟通，以及多界面交互式的工作方法，换位思考很重要，这是促进地质工程一体化的必备条件，是避免地质工程一体化流于形式，无法实质性开展的重要保障。

3.2 一体化的管理

一体化的管理不仅仅指一体化办公或者一体化协作，更重要的是，通过严谨的地质工程一体化项目目标制订，使得团队，或者互相协作的各个组织单位，

具有协同化、统一化的目标,针对不同阶段、不同环节,制订一系列的工作考核指标,让参与项目的团队既有一体化的整体目标,又有各尽其责的针对性目标,并且让目标与绩效考核、奖罚措施形成一定的关联性,使得团队得以依靠管理体系开展工作,思想上互相协同的同时,也具有体制上的管理办法;避免“目标高远,行动松散”的形式主义。

3.3 一体化的数据基础与工作平台

地质工程一体化的自身特点,决定了它一定是多学科的,相对复杂的,动态的,以及具有相当难度的。因此,为了保障一体化项目能够开展、深入、实施,并取得效果,一体化的团队一定需要高效及技术性较强的一体化软件工具,或者说一体化的工作平台。根据不同的项目特点,如油气藏类型、具体挑战,可以有针对性地配备一体化的工具,而整体上,团队需要一套或一个系列的工作软件;但更根本的是,需要一个多学科一体化的数据平台,即使使用不同的软件,依托于一个整合性、兼容性强大的数据平台,技术团队可以实施一体化的相关工作,使得多学科数据、研究、探索最大化地整合使用。通过近期的实践,我们也观察到,能够有效使用一体化数据的团队,可以在极为复杂的项目中,实现事半功倍的效果。

具备以上3个关键要素的地质工程一体化项目,一定会通过不断的探索、扎实的工作,实现对于不同油气藏复杂问题的解决,最终体现在油气藏资源的提产增效勘探开发成果上。

4 推进地质工程一体化快速发展的建议

既然地质工程一体化已经被行业内普遍认为是中国复杂油气藏的一条必由之路,那么如何能够更快地推进,更深入地实现,以及更优地带来增储上产,提升效益的实质性成果,本文也提出一些发展的建议和想法。

4.1 扩大应用领域和规模

目前地质工程一体化作业模式主要应用在非常规油气田勘探开发领域,虽然已经取得了一定成果,这个理念也被更多同行者认同,但至今为止,应用领域及应用规模仍然十分有限,下一步要在各类复杂油气藏,以及复杂油气藏的各个阶段、各个领域扩大应用,力争产生规模效应,形成百花齐放、百家争鸣的新局面,促进行业技术及实质性成果的不断获取。同时,也摸索在一些高含水等常规老油田开发中的应用,以及探索在深层、异常压力等新领域勘探开发中的应用。通过扩大领域和规模,依托地质工程一体化的方法,逐

步实现一定程度的批量化、标准化,从而实现工厂化模式的高速开发,以及综合成本控制,整体效益提升^[6]。

4.2 应用学习曲线,不断提升“最”短板

学习曲线是指在一个合理的时间段内,连续进行有固定模式的重复工作,工作效率会按照一定的比率递增,从而使单位任务量耗时呈现一条向下的曲线。学习曲线效应是在两种因素的共同作用下产生的:一是熟能生巧,连续进行有固定套路的工作,操作会越来越熟练,完成单位任务量的工作时间会越来越短;二是规模效应,钻1口油井与10口油井所需要的生产准备时间、各环节间的转换时间是一样的,因此一批次钻井越多,分摊到每口井上的准备时间和转换时间越少,钻井效率越高。

应用学习曲线,围绕影响地质工程一体化作业模式的关键因素,持续开展技术攻关和管理创新,不断优化钻完井工艺,使地质工程一体化作业模式的综合成本不断下降,进而使这一模式让更多公司掌握,成为一项“大众”模式。在这个过程中,依据“二八法则”(只要能控制具有重要性的少数因子即能控制全局)组织技术攻关^[7],或者应用“木桶原理”(一只水桶能装多少水取决于它最短的那块木板),发现和及时弥补“最”短板,从而提升整体实施效果,深化一体化的实质作用。

4.3 集成实用性技术工艺,不断提高单井产能

技术发展永无止境,工艺装备创新没有完成时。当某一先进的新技术或装备出现后,采取“拿来主义”,尝试集成到目前的地质工程一体化作业模式中,使这一模式更加先进、日臻完善,并且在实践中摸索出最具有实用性的技术系列组合,抛弃依赖“高大上”硬件仪器的惯性方式。依托于深入扎实的地质工程一体化工作,摸索、甄选、开发具有油气藏实用性、经济实用性的技术工艺,从而最大限度地提高单井产能,取得不断提升的综合效益。例如,在高油价时期或者油气藏前期开采时期,可以利用最先进的井下设备提高水平井钻遇率,但其昂贵的投资,势必在大规模开发阶段成为可以精简的成本;而依托于地质工程一体化研究、方法、数据和精细模型,可以在保障钻遇率的同时,摆脱对昂贵设备的依赖,在低油价阶段这是必需的举措,即使油价攀升,这也仍然是必然的举措,从而不断提升效益空间。

4.4 创新管理模式,实现目标归一化、考核针对化

地质工程一体化,绝不仅仅是技术领域的话题,

它同样是管理领域的关键课题。管理创新也是生产力，而且有时管理体制机制的创新比技术或设备创新更困难。针对在中国开展地质工程一体化的实际情况，我们可以毫不犹豫提出，要想获取油气产出上的成果，首先必须克服管理上的一系列挑战，因此，通过项目管理体制机制的创新，降低项目运行过程中的各种“内耗”，是地质工程一体化的必备条件。油公司需要加强前期规划、动态实施、绩效考核等不同管理工作，达到各个参与方具有统一的目标，以及有针对性的考量要求，依靠管理手段，实现项目的高效性。

4.5 突破体制界限，市场化及多元企业协同，整合技术优势

由于中国国有企业，或国有体制下运行的油公司、油田，具有相对完整、闭环运行的管理及技术设置，一方面可以使得油公司所需的各类技术服务得到比较全面、及时和相对独立的满足，但另一方面，对来自于体制外的新型技术、先进理念、实用性解决方案等具有比较明显的体制屏障，在每一轮的低价时期，这个矛盾也体现得更为突出。然而，中国要想实现不断突破各类复杂油气藏的中长期目标，除了依托于地质工程一体化的理念及方法，同时还要大胆地突破体制界限，进一步扩大市场化的范围和深度，以更为开放的心态，引导多元企业参与工程技术服务，通过市场竞争机制，实现人、财、物的合理配置，使资源利用效率达到最大化，最大限度地降低总开发成本。苏里格气田“5+1”合作开发模式中，就大量体现了国有企业与有实力的民营企业协同参与的积极推动作用，对于中国石油产业更具有挑战的其他复杂油气藏具有借鉴意义。同时，需要把握好“产量及效益”为目标的核心驱动力，开展更为灵活和具有使用性的商务模式，以实现地质工程一体化的最佳实施方案。例如，在2016年5月份的“第一届油气地质工程一体化论坛”上，新疆油田就提到了在地质工程一体化的思路下，创新性使用的“工程技术一体化总包模式”（即通过市场化选取具有先进实用性技术的服务商提供关键性技术服务，同时利用区域内钻探集团具有的钻机、压裂机组等大型硬件设备，达到最大化利用资源及优化实施效果和提升综合效益），使得具有地质工程双重挑战的致密油建井建产工作得到了综合效益显著的提升。

5 结语

面对中国复杂油气藏需要持续性取得突破的形势，地质工程一体化是必不可少的理念及方法。在有

针对性的管理制度，有坚定理念的决策者，严谨协作精神的一体化团队，以及高效实用的一体化数据平台等要素的保障下，针对不同油气藏的具体挑战，大胆尝试，创新模式，突破学科和组织界限，地质工程一体化必将释放巨大的潜力，引领低油价效益革命，为复杂油气藏高效勘探开发保驾护航。

参考文献

- [1] 赵文智, 董大忠, 李建忠, 等. 中国页岩气资源潜力及其在天然气未来发展中的地位[J]. 中国工程科学, 2012,14(7):46-52.
Zhao Wenzhi, Dong Dazhong, Li Jianzhong, *et al.* The resource potential and future status in natural gas development of shale gas in China[J]. Engineering Sciences, 2012,14(7):46-52.
- [2] 林森虎, 邹才能, 袁选俊, 等. 美国致密油开发现状及启示[J]. 岩性油气藏, 2011,23(4):25-30.
Lin Senhu, Zou Caineng, Yuan Xuanjun, *et al.* Status quo of tight oil exploitation in the United States and its implication[J]. Lithologic Reservoirs, 2011,23(4):25-30.
- [3] 庞正炼, 邹才能, 陶士振, 等. 中国致密油形成分布与资源潜力评价[J]. 中国工程科学, 2012,14(7):60-67.
Pang Zhenglian, Zou Caineng, Tao Shizhen, *et al.* Formation, distribution and resource evaluation of tight oil in China[J]. Engineering Sciences, 2012,14(7):60-67.
- [4] 张国生, 赵文智, 杨涛, 等. 我国致密砂岩气资源潜力、分布与未来发展地位[J]. 中国工程科学, 2012,14(6):87-93.
Zhang Guosheng, Zhao Wenzhi, Yang Tao, *et al.* Resource evaluation, position and distribution of tight sand stone gas in China[J]. Engineering Sciences, 2012,14(6):87-93.
- [5] 吴奇, 梁兴, 鲜成钢, 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.
Wu Qi, Liang Xing, Xian Chenggang, *et al.* Geoscience-to-production integration ensures effective and efficient South China marine shale gas development[J]. China Petroleum Exploration, 2014,19(6):14-23.
- [6] 贾承造, 郑民, 张永峰. 中国非常规油气资源与勘探开发前景[J]. 石油勘探与开发, 2012,39(2):129-136.
Jia Chengzao, Zheng Min, Zhang Yongfeng. Unconventional hydrocarbon resources in China and the prospect of exploration and development[J]. Petroleum Exploration and Development, 2012,39(2):129-136.
- [7] 胡文瑞, 鲍敬伟. 探索中国式的页岩气发展之路[J]. 天然气工业, 2013,33(1):1-7.
Hu Wenrui, Bao Jingwei. To explore the way of Chinese-style shale gas development[J]. Natural Gas Industry, 2013,33(1):1-7.
- [8] 高世葵, 董大忠, 王红军, 等. 致密油基本特征与商业化勘探开发实践——以巴肯为例[J]. 非常规油气, 2014,1(1):65-74.
Gao Shikui, Dong Dazhong, Wang Hongjun, *et al.* Essential characteristic of tight oil and its exploration & development commercial practices—Bakken as an example[J]. Unconventional Oil & Gas, 2014,1(1):65-74.
- [9] 贾承造, 邹才能, 李建忠, 等. 中国致密油评价标准、主要类型、基本特征及资源前景[J]. 石油学报, 2012,33(3):343-350.
Jia Chengzao, Zou Caineng, Li Jianzhong, *et al.* Assessment criteria, main types basic features and resource prospects of the tight oil in China[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012,33(3):343-350.
- [10] 杜金虎, 何海清, 杨涛, 等. 中国致密油勘探进展及面临的挑战[J]. 中国石油勘探, 2014,19(1):1-9.
Du Jinhui, He Haiqing, Yang Tao, *et al.* Progress in China's tight oil exploration and challenges[J]. China Petroleum Exploration, 2014,19(1):1-9.