

DOI: 10.3969/j.issn.1672-7703.2017.01.003

新疆油田致密油地质工程一体化实践与思考

章敬¹ 罗兆¹ 徐明强¹ 江洪¹ 陈仙江¹ 王腾飞² 罗洪²

(1 中国石油新疆油田公司开发公司; 2 美国能新科国际有限公司)

摘要: 新疆油田近年来启动了致密油的勘探与前期开发试验,在取得了一定成绩的同时,也在技术及管理领域进行了更多的实践与尝试。数年的致密油开发经验表明,致密油储层特性导致不能采用常规的开发思路对致密油资源进行开发,需要应用非常规的理念、方法和技术,需要采用地质工程一体化的理念来保障该类储层的勘探开发效果。通过在项目管理中的大量经验与实践,摸索出一套具有实践意义的方法,将地质工程一体化的核心应用于生产项目中,通过项目运行中不同阶段需求的差异性,推进不同环节的一体化工作,从而逐步提升致密油开发综合效益。在2015年,依照地质工程一体化的思路及方法,对新疆油田玛湖凹陷致密油进行了现场实践并获得显著成效。以致密油产量提高为中心,借助多个学科的无缝协同,利用地质条件与工程技术的紧密结合,通过管理与技术结合的手段,切实实现优选甜点、保障储层钻遇率及最优化压裂设计等动态决策,从而推动致密油的规模效益开发进程。在一体化思路指导下,深入推进精细化技术管理,建产部署及施工中的关键环节实现最佳把控,最终取得更佳的经济效益,同时摸索了工程技术服务新的模式,通过工程技术服务一体化总包模式,为中国陆地致密油开发建立了更为坚实的实践基础。

关键词: 新疆油田;地质工程一体化;致密油;工程技术服务一体化;工厂化作业;精细化技术管理

中图分类号: TE313

文献标识码: A

Application of geology-engineering integration in development of tight oil in Xinjiang Oilfield

Zhang Jing¹, Luo Zhao¹, Xu Mingqiang, Jiang Hong¹, Chen Xianjiang¹, Wang Tengfei², Luo Hong²

(1 Development Branch of PetroChina Xinjiang Oilfield Company; 2 ENTI Corp.)

Abstract: In recent years, some exploration and early development tests of tight oil were satisfactorily carried out in Xinjiang Oilfield, and more practices and attempts were also implemented in technology and management. According to years of the tight oil development practices, it is found that tight oil reservoirs cannot be developed by conventional techniques due to the special reservoir properties. Instead, unconventional ideas, methods and technologies are required for unconventional reservoirs, and the model of geology-engineering integration is needed for ensuring the efficient exploration and development of such reservoirs. Accordingly, a set of practical methods was proposed after numerous practices in project management. Specifically, the core of geology-engineering integration is used in production projects. Based on various demands during different stages of project operation, the integration is followed in all steps. In this way, the composite benefits of tight oil development can be increased gradually. In 2015, based on the idea and procedure of geology-engineering integration, this set of methods was successfully applied in developing tight oil in the Mahu sag, Xinjiang Oilfield. For purpose of improving tight oil production, by means of seamless multi-discipline collaboration, combination of geological conditions and engineering technologies, and integration of management and technologies, dynamic decision-making was practically implemented in sweet-spot selection, assurance of reservoir drilling rate and optimal fracturing design, so as to promote the efficient and large-scale development of tight oil. Guided by the concept of "integration", fine technical management was pushed forward, and the optimal control was realized in key links of production deployment and construction, aiming at better economic benefits. Moreover, a new model of engineering-technology service was worked out. By virtue of the engineering-technology service integration model, a more solid foundation was established for practical tight oil development in China onshore areas.

Key words: Xinjiang Oilfield, geology-engineering integration, tight oil, engineering-technology service integration, factory-like operation, fine technical management

基金项目: 中国石油“新疆大庆”重大科技专项“试油及储层改造关键技术研究”(2012E-31-14)。

第一作者简介: 章敬(1966-),男,江苏如皋人,博士,2011年毕业于西南石油大学,高级工程师,现主要从事油气田开发技术及管理。地址: 新疆克拉玛依市天山路10号新疆油田开发公司,邮政编码: 834000。E-mail: zhangj688@petrochina.com.cn
收稿日期: 2016-08-27; 修改日期: 2016-12-05

世界范围内,以美国为代表的致密油商业性开发对全球能源结构、经济产生巨大影响^[1-3],为全球能源开发带来重大变革,更为处于探索阶段的、潜力巨大的中国致密油开发起到有益的借鉴作用^[4-8]。在借鉴国外勘探开发成功的基础上,新疆油田吉木萨尔凹陷、玛湖凹陷等致密油区块启动了勘探开发进程。其中玛湖凹陷斜坡区致密油于2010年获得突破;2012年,玛131井在玛北斜坡三叠系百口泉组试油获得工业油流^[9-11];2013年,玛北斜坡区三叠系百口泉组共提交控制石油地质储量近亿吨。2014年,又在玛湖凹陷西斜坡区发现并落实了玛18井—艾湖1井区亿吨级整装储量区块。目前,玛湖凹陷斜坡区百口泉组已圈定有利区面积超过2000km²,预计总资源量超过10×10⁸t。而吉木萨尔凹陷于2011年在芦草沟组获得工业油流,目前数口直井获得工业油流,一些水平井产量达到良好的效果,井控资源超过10×10⁸t^[12-13]。

尽管如此,要实现致密油的高效开发,尤其是油价较为低迷的现阶段,就必须通过一系列提产提效的技术及管理方法,进一步控制成本及提升效益。

地质工程一体化是近年来被中国石油行业较为重视的理念,是针对各种复杂油气藏的挑战应运而生的一系列方法^[14]。然而,想将多学科跨部门的技术成果集成并优化实施到生产实践中,还需要依靠技术层面以外的管理办法。因此,新疆油田在大量的生产项目管理实践中,尤其是针对致密油藏,总结出一系列技术与管理方法,本文以玛湖凹陷玛131井区致密油为例来阐述地质工程一体化项目的实施过程及成果。

1 新疆油田针对致密油气的技术服务现状

在新疆油田致密油勘探开发的早期,由于对地质条件、工艺技术还处于摸索阶段,因此大量借鉴北美的工程技术经验,实现了致密油的一系列发现。然而,油气行业整体的发展趋势是在控制综合成本、提高产能建设的同时,提升效益,因此,致密油的开发不可能长期依托于国外的昂贵技术,还需摸索更有适用性的技术及管理方法,在成本得以控制的同时,还能实现产能目标。最近两年,行业面临油价低谷,这种需求也就显得更为迫切。根据文献统计显示,由于面临的勘探开发目标日趋复杂,常规服务及作业已经无法保证产量的提升,大批的非常规油气井需要采用水平井钻井及压裂施工,因此,随着复杂油气藏的勘

探开发,平均建井成本也在提升中,这是行业内普遍存在的现象(图1)。然而,对于综合效益提升的目标,又需要时时刻刻通过系统化的方法,降低或者控制综合成本,提升平均单井产能。

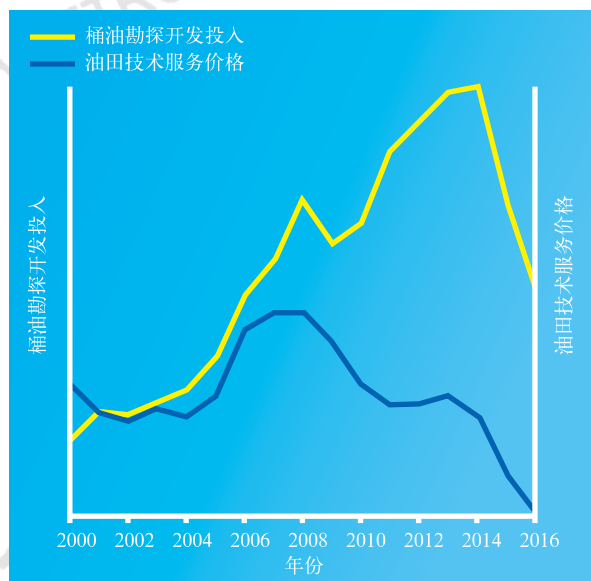


图1 近年来建井综合成本变化趋势图
(来源于BP、巴克莱和斯伦贝谢公司统计分析)

由于中国油气的复杂性,简单引入西方的技术并非长久之计,高昂的成本是制约油田经济效益最大化的阻力;但是一味拒绝国际先进的技术造成产能无法释放,也是极为不可取的。因此,在致密油项目中,关键是要通过技术及管理手段,对于技术的必要性、实用性进行有效的评估,从而制订出符合实际需求的地质工程一体化技术系列,为相应的区块开发提供最有针对性的支撑。

2 地质工程一体化的具体体现

地质工程一体化,是一个仁者见仁智者见智的课题,但是,其核心是显而易见的,就是需要将地质油藏的认识,得以更有效地运用于工程实施中,从而实现对于油气藏的优化开发。然而,各种近年来的实践也表明,受制于组织架构、学科交叉、动态生产多变性、管理办法等客观因素的制约,一体化在实践中遇到各种困难,以至于有些项目无法进行,或半途而废,或效果大打折扣。因此,如何将地质工程一体化的理想化目标,落实到可实施的层面,尤其是在生产实施项目管理中去把控,就是项目成败或者是效益优化的决定性因素。

新疆油田根据不同项目管理中积累的经验及实例,总结出依托于地质工程一体化理念的“五个一

体化”：①单项工程与系统配套一体化；②技术应用与设计理念一体化；③技术应用与投资效益一体化；④单项技术与区域适应性一体化；⑤方案部署与现场实施一体化。

项目实施中涉及的这“五个一体化”，仔细梳理一下，不外乎技术与管理两大领域。为了建立更为直观的体会，本文将通过具体实例加以阐述。

3 应用实例

新疆油田玛湖凹陷和吉木萨尔凹陷致密油储量丰富，其中吉木萨尔凹陷致密油在前期勘探阶段取得产能突破，之后在开发试验阶段，虽然有些水平井产量不太理想，但是通过致密油水平井钻完井工厂化工程实施，积累了丰富的经验，这些都为玛湖凹陷致密油开发奠定了基础。同时，在吉木萨尔凹陷致密油的探索中，进一步体现了地质工程一体化的必要性。

2012年吉木萨尔凹陷致密油勘探开发取得良好效果^[15]，其中吉172H井累计产油已达15000t以上。环玛湖凹陷三叠系百口泉组致密油连续获得工业产能，二叠系多点突破。玛湖凹陷三叠系、二叠系已成为新疆油田近期发现规模效益储量最现实的领域，其整体效益依然可以进一步提高。

与国外致密油开发相比，国内致密油开发还有着较大的差距，仍需进一步攻关。以美国Bakken页岩油区为例，2mile²平台井数已由2008年的8口提高到现在的17口（水平段长3000m）；钻井周期由2011年的45天缩短至现在的12~18天^[16]；钻完井成本从2012年到2015年下降了62%^[17]；在成本不变的情况下压裂已经由2008年的8段/口提高到2015年的50段/口^[17]。

综合考虑当前新疆油田致密油开发现状以及低油价形势，如何提高平均单井产能是新疆致密油效益开发的首要目标。同时，工厂化开发中，工程技术优化与综合成本控制仍然具有极大的改善空间。借鉴以往

非常规资源开发的成功经验^[18-20]，认为必须通过地质工程一体化思路，在提高平均单井产能的同时，提高施工效率，降低建产成本，从而达到提高综合效益的目标。本文主要针对玛湖凹陷致密油（玛131井区）进行分析论述。

3.1 玛131致密油项目实施特点：地质工程一体化

2015年新疆油田分公司在玛湖凹陷一共部署了6口开发试验水平井，其中在MaHW1324井、MaHW1325井两口井尝试并成功实施了地质工程一体化项目施工。两口井的施工具有如下特点：

(1) 两口井全部完成2000m水平段既定钻井任务，创新疆油田水平井最长水平段纪录，在储层条件发生变化、原定地质甜点尖灭、动态调整目标甜点的情况下，仍然得以实现90%的优质储层钻遇率，为单井提产提供了有力保障。

(2) 采用逆向设计思维，井眼轨迹光滑，小井眼2000m水平段常规套管顺利下入，固井质量较好，保证了较好的钻井品质与完井品质。

(3) 两口井预先采用交叉布缝、同步施工理念，体积改造最大化、施工效率最优化，成功实施了48段（144簇），施工组织无等停，衔接紧密，创造中国石油致密油水平井单井压裂26段纪录，成功实现“细分切割”体积改造。并且在极为低温的条件下，安全高效地完成此项复杂、多界面的施工（图2）。

(4) 排液求产制度合理，井口压力在20MPa以上采用2mm小油嘴控制排液，若12小时之后，井口压力仍在20MPa以上，则采用3mm油嘴排液，随后的排液则视情况进行调整。实际操作过程中，井口压力平稳，避免了因应力敏感性造成的地层渗透率伤害，增产、稳产效果显著。截至2016年8月20日，MaHW1324井日产油25m³，累计产油4480t；MaHW1325井日产油38m³，累计产油6813t。



图2 玛131区块工厂化压裂现场图

3.2 玛131致密油项目实施模式探索:工程技术服务一体化模式

鉴于行业油价形势严峻,在玛131致密油开发项目中,大胆采用了更为市场化的方法,以效果、成本综合优化为考量,选择具有经济效益目标的工程技术服务总包,以及地质工程结合的实施方案。此项尝试,也是该项目取得较好效果的基础保障。

在行业内,各种不同程度的一体化施工总包形式应运而生,较为常见的有交钥匙一体化总包、钻井总包、压裂总包,在这几类总包中,常常涉及施工服务必须以自有钻机、压裂设备为前提,从而得以参与项目实施。而这种情况势必造成在中国石油行业的内部波动,主要体现在两个方面:

(1) 油公司关联钻探集团与其他油服企业之间,存在一定程度的竞争关系,造成某些情况下作业及技术服务的选择,常常不是以技术服务实力、技术服务效果为导向,这对于油公司或者油田来说,尤其是针对致密油气建产稳产、提升效益来说,是极为不利的。

(2) 各类服务公司将大多数精力投于配备硬件设备,以达到参与工程施工的门槛设置,反而忽略了对于技术适用性、实用性等的把控,没有集中精力研究施工工艺优选及施工设计优化、施工管理及配套能力的建立,常常使得长水平井、大规模水力压裂施工没有体现到单井产量的效果上。

基于对于这些行业现状的分析及思考,在玛湖凹陷致密油项目中,开创性地提出了“工程技术服务一体化”的一种新型总包方式。油田项目部通过市场化的手段,选取最具有技术实施能力、管理实施能力的服务商,同时通过地质工程一体化的管理机制,优化使用钻探集团已经具备的极有实力的钻机设备、压裂机组设备等。通过油田项目部的全局管理,得以统筹规划,优先利用区域内的硬件资源以及行业内具有先进性、适用性的一体化工程技术,在优选使用技术的同时,保障了设备利用的优化,使得上面所列举的传统一体化总包方式产生的组织结构间、服务公司间的冲击得到缓解和弱化。更为重要的是,只有这样,才能最终为油公司创造更佳的综合效益提供具有适用性的商务及管理模式。该总包模式,也是玛131致密油项目得以成功的最为本质的基础保障。

在工程技术服务一体化总包的商务及管理模式确定并选取合适的服务提供商的同时,采用工厂化作业模式及逆向思维设计理念,使各个环节有机结合、效益最大化。即压裂改造方式决定完井方式;完井方式决定钻井方式;钻井方式决定井位部署;井位部署决定油藏地质评价;油藏地质评价则贯穿整个钻完井过程。简言之,需要单项工程与整体系统工程为纽带,互相之间达到协同;这也是贯穿工程技术服务一体化总包的技术方案设计、工艺优选、工程施工的思路及指导。

3.3 玛131致密油工程设计及实施核心:以提产为首要目标

由于玛131致密油项目采用一体化的思维和施工理念,因而在钻井、完井等工程阶段,其中的各个技术环节都不能孤立进行纯“工程施工”,而是需要把控住对于提产提效的最关键节点,做到最优化的工程设计及施工部署,实现最佳的提产目标。比如以下环节的一些精细化设计及实施:

(1) 钻井过程中需要精细地质建模和地质导向来保障储层的有效钻遇率;

(2) 压裂过程中需要利用测井、录井曲线分析及储层七性分析评价结果来优选射孔层段;

(3) 需要利用地质力学分析和限流射孔优化来保证分簇射孔的均匀进液;

(4) 平台井需要精细的地质模型和数值模拟技术来模拟井间干扰与缝间干扰;

(5) 需要利用生产动态历史拟合和储层应力敏感性分析来优化排液求产制度;

(6) 需要生产测井和水平段精细地质分析弄清油水关系及小层贡献率。

只有地质与工程的有机结合,才能保障工程实施的有效性。所以在致密油工厂化作业中地质工程一体化是该类储层高效开发的必需手段,也只有采用地质与工程相结合的技术思路才能取得良好的开发效果。

3.4 玛131致密油项目的技术优选:实用性先进技术组合

玛湖凹陷致密油地质工程一体化成功实施的关键可归结为3个方面:储层钻遇率的把控、钻井时效的大幅度提升、增产压裂的优化实施,这也是单井提产

控本的最关键方面。在储层钻遇率把控方面,由于近期有专业性文章阐述,本文不再赘述。而对于钻井方面的系统性增效、低温条件下的大规模压裂优化施工,通过该项目,新疆油田摸索出了新的技术及管理实施,具体举例如下:

(1) 通过三维地质导向,优化轨迹控制。

在玛131致密油项目中,由于储层条件仍然较为复杂,而且区块处于开发试验阶段,因此,轨迹控制是水平井施工的关键环节。在此项目中,由于目的层变化不确定性大且层薄,因此在使用合适的钻具组合的同时,最重要的是需要通过地质把控进行“产量导向”,通过Titan三维地质导向技术,钻前建立三维模型,钻井过程中实时调整,钻后更新模型(图3)。在项目实施过程中,工程技术服务一体化总包服务方与油田项目部动态结合,及时交流,实现快速决策,在保证目的层钻遇率的同时,也实现了钻井效率的提升。

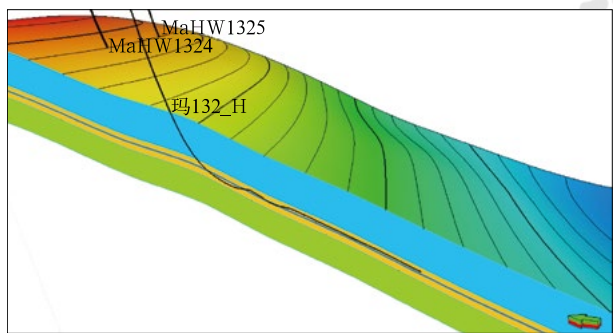


图3 三维地质导向轨迹控制

(2) 超性能水基钻井液技术为后期改造提供了良好井筒条件。

为了确保井筒条件及减少环保隐患及成本,经过大量调研、技术优选及实验室实验,本项目中MaHW1324井和MaHW1325井尝试采用ENPAQUA®超性能水基钻井液体系。该钻井液体系具有多元抑制性、环境友好性、超强稳定性、复合润滑性、凝胶流变性和井筒强化性等特点,虽然本身是水基钻井液,但性能却与油基钻井液相当。利用该钻井液体系在MaHW1324井和MaHW1325井的实施效果呈现出以下特点:

①井眼扩大率小。其中MaHW1325井测井结果显示三开平均井径扩大率仅为1.94%。

②能够迅速处理井眼呼吸性漏失。

③定向水平段井眼清洁程度高。MaHW1324井

水平段起下15趟, MaHW1325井水平段起下13趟,均起下安全顺利。

④润滑系数接近油基钻井液体系。

⑤维护量小,性能稳定。

⑥油气层保护效果好。

在钻井液体系的有效保障下,本项目中二开钻井时间得以大大缩短,整体建井周期也得到了明显改善(图4),同时建井综合成本得到有效控制。如在未大规模建产工厂化作业时期大量使用,可以实现进一步的直接及系统成本优化。

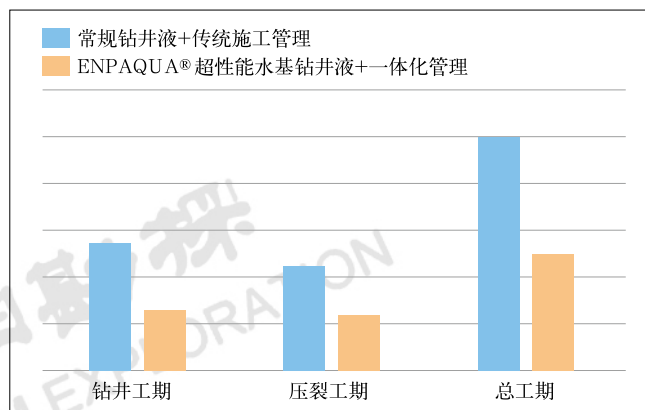


图4 一体化管理建井周期时间节省对比示意图

(3) 超级隔离液、弹性自愈合水泥浆体系和整体式扶正器技术。

MaHW1324井和MaHW1325井两口井在固井技术方面采用超级隔离液、弹性自愈合水泥浆体系和整体式扶正器技术。超级隔离液保障了交接面的润湿;弹性自愈合水泥浆体系能够提高水泥石的稳定性,保证水泥石在整个井生命周期中的完整性;整体式扶正器保证了套管的居中度,提高了固井效果。从现场实施结果来看,两口井的套管下入顺利、无遇阻、开泵和固井顺利,固井质量评价均为优或中等。

(4) 采用交错布缝、细分切割体积改造设计理念,大大提高了储层有效动用程度。

地应力差及岩石力学参数分析结果显示玛131井区具有水平主应力差值大、脆度低、天然裂缝不发育等特点,因此该井区水力压裂不利于形成复杂缝网,以单一裂缝为主。而该井区储层为典型的致密油储层,储层物性差,想要达到良好的增产改造效果,水力压裂必须要最大化油藏接触面积^[21-24]。因此为了提高储层改造体积,采用交错布缝、细分切割的体积改造方式(图5)。

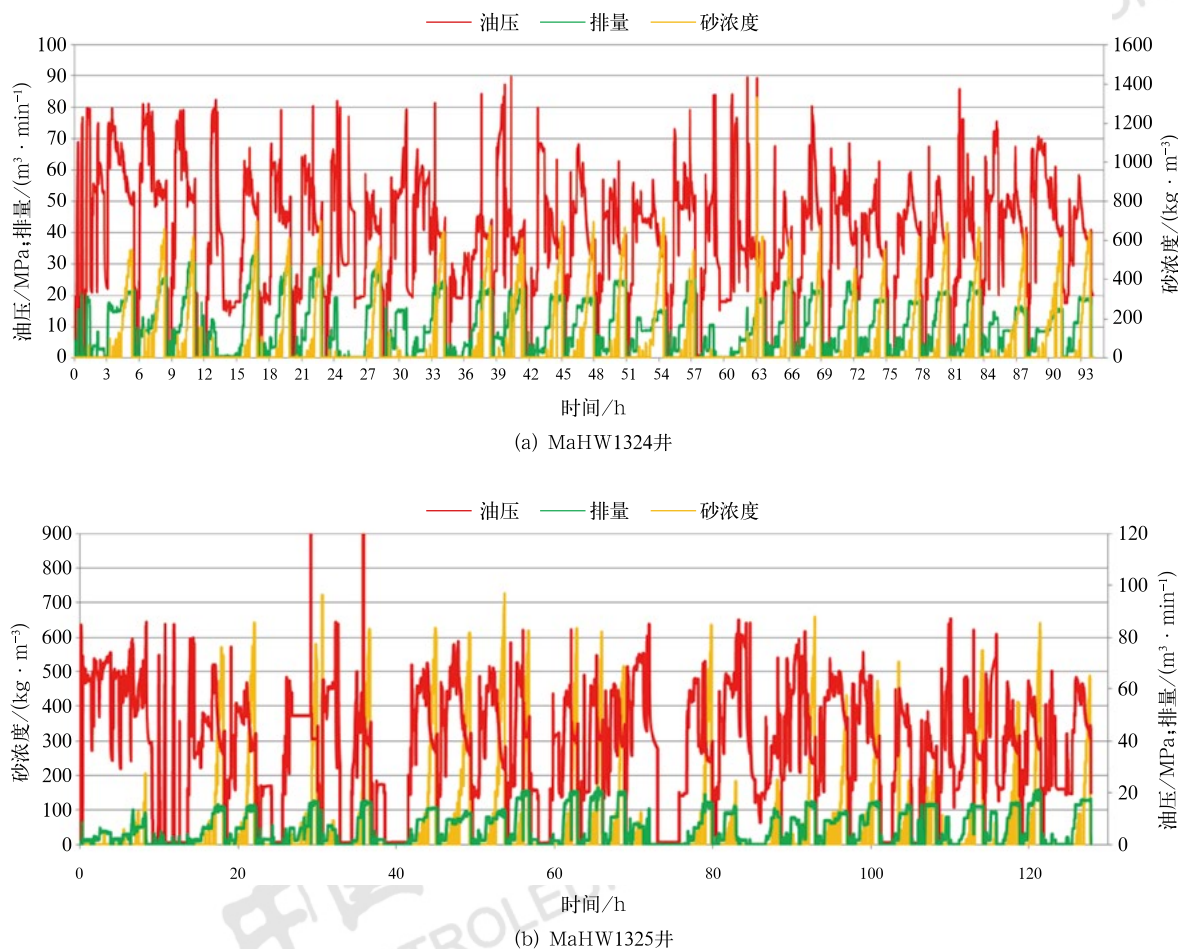


图5 两口井的压裂施工曲线

3.5 玛131致密油项目统筹布局、高效组织：一体化施工成功的有力保障

一体化作业牵涉的工程量多且跨度大，作业时间跨度长及施工合作单位多等，需要有高效的组织才能保证工作的顺利开展。准备工作的超前规划、涉及专业有机结合和工程施工有序衔接是玛湖凹陷致密油地质工程一体化项目管理成功的主要因素。

(1) 地质与钻井结合：在目的层出现相变和尖灭的情况下，通过地质建模分析，两口井最终均实现了近90%的钻遇率。

(2) 钻井与压裂结合：确保了井眼规则与固井质量，为后续压裂顺利进行奠定了基础。

(3) 作业时效优化：声幅测井后4天内即开始压裂施工，24小时作业，作业效率高。

(4) 现场快速决策：MaHW1324井第14段压裂施工时，邻井生产井玛132_H井出现压力升高、正钻井MaHW1323井和MaHW1320井出现溢流现象。

地质工程人员有机结合、快速反应，控制井间干扰现象的影响，调整施工及生产作业，保证了一体化项目的顺利实施。

3.6 玛131致密油项目的显著成果：产能提升与成本优化

MaHW1324井和MaHW1325井两口井通过地质工程一体化施工，不仅仅在建井效率上大大优于同地区通过传统模式实施的水平井，更为关键的是，其产量效果比较突出，井口压力稳定，增产后初产及稳产效果显著。截至目前，MaHW1324井和MaHW1325井油压稳定，累计产油超过11000t。同时按照地质工程一体化施工模式，单井成本得到了较大程度的降低，仅单井压裂成本就比计划成本节约近千万元，因此地质工程一体化施工为玛湖凹陷致密油的规模效益开发指明了发展方向。

依托于工程技术服务一体化总包的商务及管理模

式,通过“五个一体化”在不同环节的实践,实现了项目的初期进展,既完成了优质施工、控制成本的目标,更实现了砂砾岩致密油的提初产提稳产的目标,并且尝试了一些具有先进性和实用性的技术,验证了其区域适用性,为下一步区块建产提供了最为直接有力的技术及保障。

4 地质工程一体化中的精细化技术设计

在地质工程一体化的方向上,如何将每一个最关键的节点把控住,是油田、油公司管理者、技术管理者需要思考和实践的领域。新疆油田通过实践总结出

精细化技术管理的想法,即通过地质、钻井、完井不同方面的关键性精细化技术实施及管理,把控住建井、建产的效果。

4.1 地质油藏的精细化描述

任何工程施工都是以产能、效益为整体,而产量的前提是对地质油藏的整体认识。因此,精细化地描述储层信息、动态更新三维模型、优化施工设计、调整施工参数及工艺,是不断优化单井及区域效果的保障。因此,在玛湖凹陷致密油项目中,也是做了这个方面的尝试(图6)。

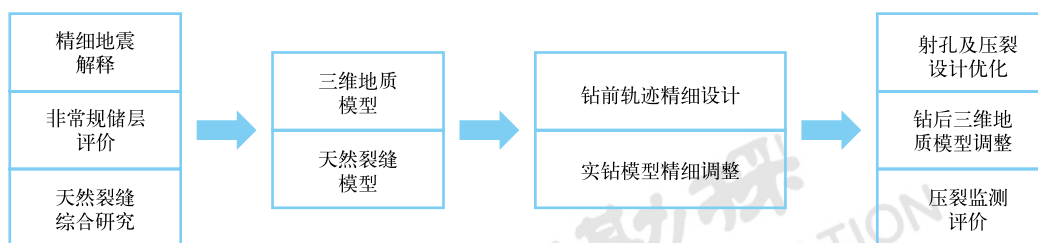


图6 精细化地质工程一体化流程

4.2 钻井提速、水平段有效长度、井眼光滑度指标的精细化设置

采用常规定向,井眼不规则、水平段浪费多,周期不确定性较低;采用旋转导向,井眼光滑,水平段利用程度高,但成本较高。因此在评价服务商时需对考核指标进行细化,量化每个指标,在同一标准下对比才能甄选优劣,达到综合效果优选。

4.3 钻井液选型、性能参数、储层识别、废弃物处理的精细化评价

工厂化作业是一个有机整体,抛开作业全程单看钻井液本身成本,从而忽略对储层识别以及后期处理等影响是不恰当的;钻井液的优化选择需要制订更详细的评价标准、核算原则,才能为钻井提速、后期增产效果以及钻完井总成本计算提供科学依据(表1)。

表1 不同钻井液类型的对比结果

钻井液类型	油基钻井液	水基钻井液	超性能水基钻井液
成本	高	低	适中
性能	好	一般	好(媲美油基钻井液)
对测井结果影响	存在一定影响	不影响储层识别	不影响储层识别
后期处理	处理复杂,费用高	处理简单,费用低	处理简单,费用低
环保风险	大	小	小

4.4 放喷排液与后期生产制度的精细化控制

从玛132_H井与相邻的MaHW1324井、MaHW1325井两口井对比来看,压裂结束时玛132_H井压力比另两口井高5MPa,压后6个月玛132_H井井口压力迅速降低,远低于MaHW1324井、MaHW1325井,不

利于长期稳产,因此针对致密油储层排液求产制度仍需要精细化研究。

5 地质工程一体化的思考

尽管新疆油田致密油地质工程一体化通过一系列实践已经获得成功实施,但仍然有需要优化改进的地

方,需要进一步的研究和探索。

(1)在技术上,针对致密油藏已经出现的一些情况,有如下的思考。

思考1:致密油储层需要多大的裂缝导流能力?支撑剂全部采用石英砂是否有效?

按照地层渗透率 0.01mD 、缝长 300m 估算,则储层导流能力约为 $3\text{mD}\cdot\text{m}$;支撑裂缝宽度按照4倍的支撑剂尺寸估算($30\sim 50\text{m}$),约为 0.002m ,支撑裂缝渗透率仅需达到 15D ,裂缝导流能力就可以达到 $30\text{mD}\cdot\text{m}$,已经是储层导流能力的10倍。按照中国石油天然气行业标准,采用石英砂($5\text{kg}/\text{m}^2$ 的铺置浓度),即便在 50MPa 闭合压力下,裂缝导流能力约为 $80\text{mD}\cdot\text{m}$,几乎是储层导流能力的27倍。玛湖区域的地层闭合压力在 $50\sim 60\text{MPa}$ 左右,在该区域压裂使用大规模陶粒是否合适?支撑剂费用在压裂成本中占比较高,如果改变支撑剂可以节约大量的作业成本,因此如何降低成本仍需深入思考。

思考2:高强度井口和套管是否支持体积改造?能否放宽储层的砂堵容错率?

从Bakken致密油核心区37口可对比井90天累计产量结果看^[25],大规模滑溜水和桥塞射孔体积改造效果最佳,我们是否具备这种实验条件还需要进一步实践。目前的现场作业现状是受井口、套管限制,施工限压一般设定为 80MPa ,而滑溜水加砂难度很大,很容易造成砂堵。因此,从工艺角度而言,是否能放宽对致密油储层加砂压裂的砂堵容错率,真正意义上在致密油储层中进行滑溜水体积改造试验还需要进一步的研究和验证。

(2)在管理上,为了进一步加深地质工程一体化的效果及进一步推广,本文提出如下认识。

认识1:一体化管理的关键在于人与技术的高度融合,一定要破除本位主义,由建设方、服务方及科研人员组成核心团队,树立核心理念、运用核心技术、实现核心管理、提高执行力,从前期策划、方案部署、现场实施、科研攻关和成果总结等方面建立起前端、中端及后端全程一体化机制。工程技术服务一体化总包是一种非常适合中国国情、组织架构的模式,是满足中国致密油气勘探开发的一种有益的尝试。

认识2:要坚定不移地推进致密油效益开发的标准化体系,使得技术系列应用标准化、现场实施运行标准化、价格体系预算标准化,通过建立标准井及一体化模式,实现技术集成、管理集约、效益集中的目标。

基于新疆油田已有的实践摸索,地质工程一体化

毋庸置疑是中国复杂油气藏的一条有效途径;然而,为了使得地质工程一体化的效果得以深化和广泛应用,从而体现在更大的综合效益提升的层面上,还需通过更有效的一体化管理模式及方法提供有力保障。形式与内容上的一体化是紧密相连的,是提高效率和效益的前提;从制度、职责和工作协同上贯彻落实一体化思路,在形成配套技术系列下发挥团队作用,是提高效率和效益的关键。新疆油田致密油的巨大潜力将通过更加深入的工作、更为系统的多方位一体化去挖掘。

参考文献

- [1] 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.
- [2] 杨华,李士祥,刘显阳.鄂尔多斯盆地致密油、页岩油特征及资源潜力[J].石油学报,2013,34(1):1-11.
Yang Hua, Li Shixiang, Liu Xianyang. Characteristics and resource prospects of tight oil and shale oil in Ordos Basin[J]. Acta Petrolei Sinica, 2013,34(1):1-11.
- [3] 孙向阳,李楠,王腾飞,等.美国致密油开发关键技术[J].科技导报,2015,33(9):100-107.
Yan Xiangyang, Li Nan, Wang Tengfei, et al. Key technologies for tight oil development in US[J]. Science & Technology Review, 2015,33(9):100-107.
- [4] 邹才能,朱如凯,吴松涛,等.常规与非常规油气聚集类型、特征、机理及展望——以中国致密油和致密气为例[J].石油学报,2012,33(2):173-187.
Zou Caineng, Zhu Rukai, Wu Songtao, et al. Types, characteristics, genesis and prospects of conventional and unconventional hydrocarbon accumulations; taking tight oil and tight gas in China as an instance[J]. Acta Petrolei Sinica, 2012,33(2):173-187.
- [5] 付金华,喻建,徐黎明,等.鄂尔多斯盆地致密油勘探开发新进展及规模富集可开发主控因素[J].中国石油勘探,2015,20(5):9-19.
Fu Jinhua, Yu Jian, Xu Liming, et al. New Progress in Exploration and Development of Tight Oil in Ordos Basin and Main Controlling Factors of Largescale Enrichment and Exploitable Capacity[J]. China Petroleum Exploration, 2015, 20(5):9-19.
- [6] 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.
- [7] 李忠兴,屈雪峰,刘万涛,等.鄂尔多斯盆地长7段致密油合理开发方式探讨[J].石油勘探与开发,2015,42(2):217-221.
Li Zhongxing, Qu Xuefeng, Liu Wantao, et al. Development modes of Triassic Yanchang Formation Chang 7 Member tight

- oil in Ordos Basin, NW China[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2015,42(2):217–221.
- [8] 李成, 淡卫东, 袁京素, 等. 鄂尔多斯盆地姬塬地区长 4+5 油藏控制因素及成藏模式[J]. *中国石油勘探*, 2016,21(2):45–52.
Li Cheng, Dan Weidong, Yuan Jingsu, *et al.* Controlling factors and hydrocarbon accumulation pattern of Chang 4+5 oil reservoirs in Jiyuan area, Ordos Basin[J]. *China Petroleum Exploration*, 2016,21(2):45–52.
- [9] 马永平, 黄林军, 滕团余, 等. 准噶尔盆地玛湖凹陷斜坡区三叠系百口泉组高精度层序地层研究[J]. *天然气地球科学*, 2015, 26 (增刊 1): 33–40.
Ma Yongpin, Huang Linjun, Teng Tuanyu, *et al.* Study on the high-resolution sequence stratigraphy of Triassic Baikouquan Formation in the slope zone of Mahu Depression in the Junggar Basin[J]. *Natural Gas Geoscience*, 2015,26(Supp.1):33–40.
- [10] 匡立春, 唐勇, 雷德文, 等. 准噶尔盆地玛湖凹陷斜坡区三叠系百口泉组扇控大面积岩性油藏勘探实践[J]. *中国石油勘探*, 2014,19(6):14–23.
Kuang Lichun, Tang Yong, Lei Dewen, *et al.* Exploration of fan-controlled large-Area lithologic oil reservoirs of Triassic Baikouquan Formation in slope zone of Mahu Depression in Junggar Basin[J]. *China Petroleum Exploration*, 2014,19(6):14–23.
- [11] 罗天雨, 贾海正, 许江文. 二次加砂工艺技术在玛北百口泉组砂砾岩的应用[J]. *中外能源*, 2014,19(7):48–51.
Luo Tianyu, Jia Haizheng, Xu Jiangwen. Application of secondary sand fracturing technology in Baikouquan Formation glutenite in Mabei sag[J]. *Sino-global Energy*, 2014,19(7):48–51.
- [12] 文乾彬, 杨虎, 孙维国, 等. 吉木萨尔凹陷致密油大井丛“工厂化”水平井钻井技术[J]. *新疆石油地质*, 2015,36(3):334–337.
Wen Qianbin, Yang Hua, Sun Weiguo, *et al.* Factory-like drilling technology of cluster horizontal wells for tight oil development in Jimusaer Sag, Junggar Basin[J]. *Xinjing Petroleum Geology*, 2015,36(3):334–337.
- [13] 鲍海娟, 刘旭, 周亚丽, 等. 吉木萨尔凹陷致密油有利区预测及潜力分析[J]. *特种油气藏*, 2016,23(5):38–42.
Bao Haijuan, Liu Xu, Zhou Yali, *et al.* Favorable area and potential analyses of tight oil in Jimsar Sag[J]. *Special Oil & Gas Reservoirs*, 2016,23(5):38–42.
- [14] 戴勇, 陈开明, 彭景云, 等. “科研+生产”一体化运作模式探索与实践[J]. *石油科技论坛*, 2015,34(2):10–15.
Dai Yong, Chen Kaiming, Peng Jingyun, *et al.* Integration of “Technological Research and Production” [J]. *Oil Forum*, 2015,34(2):10–15.
- [15] 章敬, 李佳琦, 史晓川, 等. 吉木萨尔凹陷致密油层压裂工艺探索与实践[J]. *新疆石油地质*, 2013,34(6):710–713.
Zhang Jing, Li Jiaqi, Shi Xiaochuan, *et al.* Fracturing technology for dense oil reservoir in Jimusaer Sag: probe and practice[J]. *Xinjing Petroleum Geology*, 2013,34(6):710–713.
- [16] Redden J. Drilling the unconventional: Shale focus shifts to increasing IP rates EUR[J/OL]. *World Oil*, 2014, <http://www.worldoil.com/magazine/2014/march-2014/shale-technology-review/drilling-the-unconventionals-shale-focus-shifts-to-increasing-ip-rates-eur>.
- [17] 赵志勇. 美国赫世集团副总裁谈独立石油公司如何面对行业寒冬[N]. *中国石油报*, 2016–05–13.
- [18] 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*, 2015,20(4):1–23.
- [19] 曾义金. 页岩气开发的地质与工程一体化技术[J]. *石油钻探技术*, 2014,42(1):1–6.
Zeng Yijin. Integration technology of geology & engineering for shale gas development[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2014,42(1):1–6.
- [20] 陈颖杰, 刘阳, 徐婧源, 等. 页岩气地质工程一体化导向钻井技术[J]. *石油钻探技术*, 2015,43(5):56–62.
Chen Yingjie, Liy Yang, Xu Jingyuan, *et al.* Integrated steering drilling technology for geology engineering of shale gas[J]. *Petroleum Drilling Techniques*, 2015,43(5):56–62.
- [21] 吴奇, 胥云, 王晓泉, 等. 非常规油气藏体积改造技术——内涵、优化设计与实现[J]. *石油勘探与开发*, 2012,39(3):352–358.
Wu Qi, Xu Yun, Wang Xiaquan, *et al.* Volume fracturing technology of unconventional reservoirs: connotation, optimization design and implementation[J]. *Petroleum Exploration and Development*, 2012,39(3):352–358.
- [22] 吴奇, 胥云, 张守良, 等. 非常规油气藏体积改造技术核心理论与优化设计关键[J]. *石油学报*, 2014,35(4):706–714.
Wu Qi, Xu Yun, Zhang Shouliang, *et al.* The essential theories and optimization design of volume stimulation technology for unconventional reservoirs[J]. *Acta Petrolei Sinica*, 2014,35(4):706–714.
- [23] 王腾飞. 转向重复压裂力学机理研究[D]. 成都: 西南石油大学, 2007.
Wang Tengfei. The research on mechanics mechanism of steering refracturing[D]. Chengdu: Southwest Petroleum University, 2007.
- [24] 严向阳, 王腾飞, 徐永辉, 等. 连续管坐塞与分簇射孔联作技术[J]. *石油机械*, 2015,43(5):107–110.
Yan Xiangyang, Wang Tengfei, Xu Yonghui, *et al.* Joint operation of coil tubing plugging and cluster perforation[J]. *China Petroleum Machinery*, 2015,43(5):107–110.
- [25] Pearson C M, Griffin L, Wright C, *et al.* Breaking up is hard to do: creating hydraulic fracture complexity in the Bakken Central Basin[C]. SPE, Hydraulic Fracturing Technology Conference, Woodlands, Texas, USA, February 4–6, 2013.