页岩气地质工程一体化产能优化研究

蒋克成，周刚， 刘胜
昆仑数智科技有限责任公司智慧油田事业部，北京，100040

关键词：页岩气；地质工程一体化；产能优化；机器学习

页岩气井的产能是地质、油藏、工程等方面众多参数的综合反映。页岩气开发过程中，产能的准确预测和优化对降本增效具有重大意义。然而，产能影响涉及方面广、因素多，常规方法进行的单因素分析拟合度较差，各影响因素相互关系难以确定。有些研究人员采用多属性进行非线性拟合的方法也很难尽如人意，而且这类方法一般都只是对已经施工的井进行产量预测，无法开展产能评价，更无法在工程作业前进行优化模拟和方案指导。

随着油气行业数字化转型、智能化发展的推进，油气田公司在研究过程中获得数字化资源的方式越来越便捷。可以使用大量实际勘探生产数据和工程数据进行分析和挖掘，结合开发方案在工程作业前对产能建设方案进行优化，以最经济有效的方案来开发。在页岩气地质工程一体化过程中，通过采用“大数据”和“人工智能”技术，结合地质、地球物理和工程数据，建立区域页岩气井产量预测模型，再根据不同改造方案和开发成本进行产能预测，为勘探开发决策提供依据。

1 页岩气勘探开发面临的产能预测问题

1.1 页岩气高产井比例低

油气勘探开发的趋势是越来越多的开发井需要进行人工改造才能获得更经济的产量。如果人工改造的成本超过生产井实际油气产量带来的利润，该生产井就不具备经济性。从油气田勘探开发实际生产情况的统计来看，对于需要改造的油气田生产井来说，对实际总产量贡献最有效的井数量在总钻井数量中占比很低。以美国 Barnett 页岩气为例，大约 50%的产量来自于 10%的那些日产量在 3000 Mcf 以上井（表 1）。因此，如果能使高产井的比例上升，只开发最有效的井，那么只需要五分之一的实际井数量就可以达到全部生产井同样的产量。也就是说，页岩气勘探开发过程中，迫切需要有可靠的手段提前对单井产能进行有效的预测，选择最优方案，降低开发风险和工程成本，使高产井的比例提高，实际钻井和工程压裂的费用减少。

1.2 页岩气产量影响因素多

页岩气勘探开发实际经验表明，大斜度井，水平井及丛式井，并结合人工改造措施是开发生产的趋势，需要根据地质、储层、工程和改造等各方面因素来评价产能。但是，生产中产能影响因素多（图 1），相互之间关系复杂，主控因素难以确定。

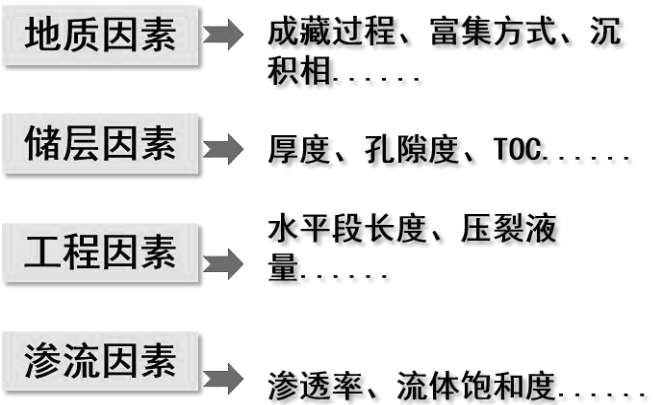

图 1 页岩气产能影响因素

2 页岩气地质工程一体化产能预测方法

目前页岩气产量预测技术大多基于先分析水平井各参数和产量的关系（图 2），再结合主要储层属性和地质参数进行多元线性回归来预测产量，

收稿日期：2023-12-10；改回日期：2024-02-05；责任编辑：李明。DOI：10.16509/j.georeview. 2024. s1. 177
作者简介：蒋克成，男，1982 年生，本科，主要从事勘探开发业务领域信息化建设；Email: jiangkecheng@126.com。通讯作者：周刚，男，1977 年生，博士，工程师，主要从事地震智能解释应用及信息技术研究；Email：zhougang06@cnpc.com.cn。

表 1　美国 Barnett 页岩气作业公司产量统计表[1]

序号	作业公司	高产井数	平均产量（Mcf/d）	水平井总数	百分比(3000 Mcf/d 以上)
1	DALE OPERATING COMPANY	8	5875	16	50.00%
2	RANGE PRODUCTION COMPANY	5	5276	27	18.52%
3	METROPLEX BARNETT SHALE LLC	2	5012	34	5.88%
4	DENBURY ONSHORE LLC	2	4489	58	3.45%
5	BURNETT OIL CO. INC.	2	4452	6	33.33%
6	ARRINGTON DAVID H. OIL & GAS INC	3	4027	39	7.69%
7	ANTERO RESOURCES I LP	14	4080	172	8.14%
8	HALLWOOD ENERGY CORPORATION	9	4233	65	13.85%
9	WILLIAMS PROD GULF COAST LP	4	4139	16	25.00%
10	EOG RESOURCES INC.	92	4194	315	29.21%
11	FAGADAU ENERGY CORPORATION	1	3901	3	33.33%
12	XTO ENERGY INC.	67	3811	241	27.80%
13	FOUR SEVENS OPERATING CO. LTD.	14	3799	60	23.33%
14	CHESAPEAKE OPERATING INC.	36	3743	210	17.14%
15	EXPRO ENGINEERING INC.	2	3710	4	50.00%
16	DEVON ENERGY PRODUCTION CO LP	42	3716	1307	3.21%
17	CHIEF OIL & GAS LLC / CHIEF OPERATING LLC	13	3636	304	4.28%
18	ENCANA OIL & GAS (USA) INC.	3	3399	169	1.78%
19	EAGLE OIL & GAS CO.	1	3381	34	2.94%
20	HUGHES DAN A. COMPANY	1	3265	8	12.50%
21	DTE GAS RESOURCES INC	2	3210	34	5.88%
22	J-W OPERATING CO.	3	3158	47	6.38%
23	SULLIVAN HOLLIS R. INC.	1	3090	34	2.94%
	合计	327	3982	3203	10.21%

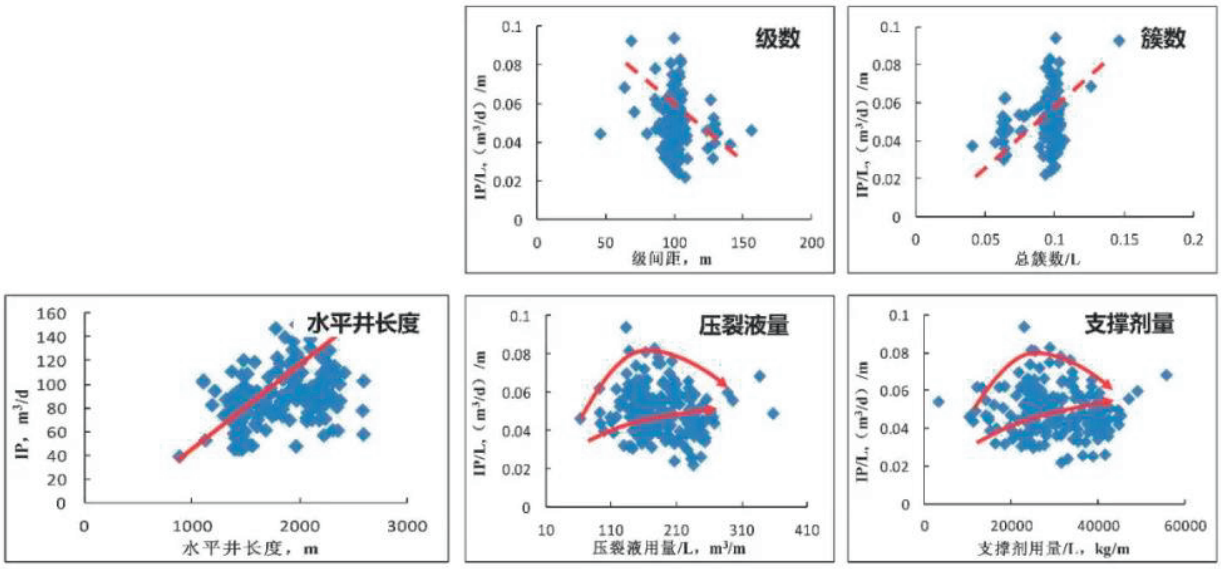

图 2　Barnett 页岩气产能影响因素分析

也有采用机器学习根据储层属性来预测产量的探索，但都没有结合工程改造成本从经济性对产能进行模拟和评估。

因此，需要打破传统被动预测产量的方式，结

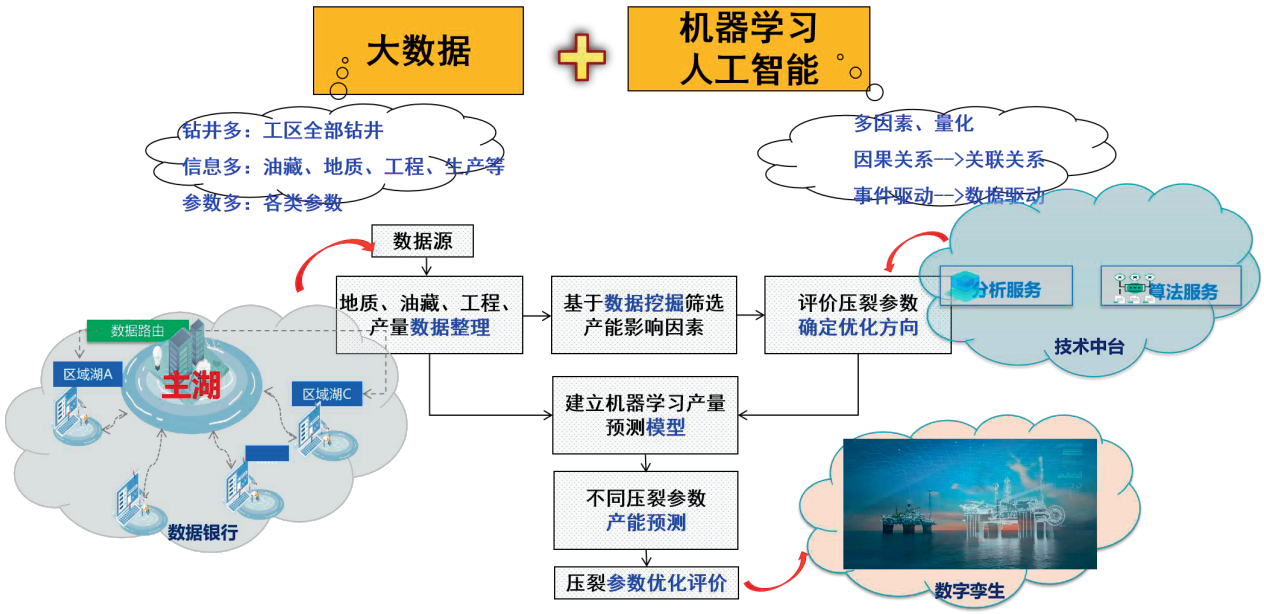

图 3　页岩气地质工程一体化产能优化技术流程

合改造方案和成本估算，采用“大数据”和“人工智能”技术，主动进行不同组合改造方案条件下的产能预测和方案优劣评价。在油气田公司构建梦想云区域湖和集团主湖形成连环湖，统一管理页岩气工区全部钻井，油藏、地质、工程、生产等数据以及各类参数的基础上，首先，通过技术中台提供的算法和服务对多因素进行归一化和量化分析，以数据驱动的方式分析产能与各因素的关联关系。其次，基于数据挖掘筛选产能关键影响参数，评价压裂改造参数的优化方向，建立机器学习产量预测模型。最后，根据不同压裂改造参数方案进行产能预测，并优化压裂改造参数，形成最终方案（图 3）。整个产能优化流程根据地质工程一体化的研究过程迭代进行，甚至可以结合数字孪生技术形成更高级的应用场景。

3　结语

基于梦想云构建的连环湖和业务中台，使用各油田海量勘探开发数据，先对产能及其影响因素进行量化，并基于数据挖掘对人工改造措施和参数（压裂参数）进行分类，再基于不同参数优化方向评价改造成本并预测产能，最后根据评价结果优选最佳方案。通过迭代产能预测和人工改造措施及参数，在油气田数字孪生一体化应用中迭代更新。该技术的使用将使非常规开发（如致密气开发、页岩气开发）生产的单井效能最大化，提升全区产量的同时降本增效，支撑开发生产，满足非常规油气勘探开发地质工程智能一体化诉求，辐射数字孪生一体化应用需求。

注　释 / Note

❶ Railroad Commission of Texas data. 2019. NGI’s Shale Daily calculations.

参　考　文　献 / References

郭旭升，赵永强，申宝剑，魏祥峰，卢龙飞，潘安阳，李宇平. 2022. 中国南方海相页岩气勘探理论：回顾与展望. 地质学报, 96(1): 172~182.

李海，陈孝红，彭中勤，陈林，刘安，罗胜元. 2022. 湘鄂西地区下寒武统牛蹄塘组页岩气储层特征. 地质学报, 96(4): 1421~1433.

廖东良. 2020. 页岩气层“双甜点”评价方法及工程应用展望. 石油钻探技术, 48(4): 94~99.

刘卫彬，徐兴友，张君峰，陈珊，白静，刘畅，李耀华. 2022. 陆相页岩地层地质—工程一体化水平井精确钻探技术——以松辽盆地吉页油 1HF 井为例. 中国地质, 49(6): 1808~1822.

赵福豪，黄维安，雍锐，范宇，黄浩勇，江琳，李国真. 2021. 地质工程一体化研究与应用现状. 石油钻采工艺, 43(2): 131~138.

JANG Kecheng, ZHOU Gang, LIU Sheng: The optimization technique for well productivity potential of shale gas geology-engineering integration

Keywords: shale gas; geology-engineering integration; well productivity potential optimization; machine learning