



关于中国页岩气持续开发工程科学研究的一点认识



郑哲敏

力学家、爆炸力学奠基人之一，中国科学院力学研究所研究员。1924年10月生于山东济南，1952年获加州理工学院博士学位。1980年当选中国科学院院士，1993年当选美国工程科学院外籍院士，1994年被选聘为中国工程院院士。2012年度国家最高科学技术奖获得者。

北美发生的一场页岩气革命，使商业化、大规模生产页岩气成为现实。近年来，我国页岩气开发也有了成功的实例，引起了我国政府、工业界、科学界和工程界的广泛兴趣。

页岩气的成功开发基于两个技术：水平井技术和水力压裂技术。对油气界来说，水平井技术并不新，例如，在海洋油气开发中经常被使用。但页岩气开发所应用的水力压裂技术与常规油气开发所使用的有质的不同，前者使用大量的（每次上万吨级）、低黏度压裂液，其目的是在页岩中产生为数众多的、相对密集的、形成网络的开放型裂纹，从而有效克服页岩渗透率低的核心困难。后者的目标仅限于在地层中挤出一条裂缝，使用黏性较大的压裂液，用量不过数吨。

20世纪中叶以来，以Griffith理论为先导，力学界和材料科学界对裂纹的研究取得了巨大的进展，在力学科学中形成了一门独立的分支学科——断裂力学。它所提供的理论、计算方法和程序，为解决实际工程问题起到了重大的作用，这已是不争的事实。断裂力学的深入研究又导致微、细观力学的产生，积累了许多宝贵的知识。

因此，我国力学界对参与页岩气的开发工作，特别是水力压裂，有一种特别的责任感和亲近感，普遍认为在这一领域内力学可以大有作为。例如，力学可以提供基于观测数据的、描述含随机分布天然裂纹的页岩力学性质的统计模型；提供包括射孔弹作用在内的静、动态裂纹裂开与压裂液跟进的全程模拟计算，其真实性可通过现场微地震测量加以验证；提供包括吸附气释放在内的渗流模型，其可靠性可通过产气量测量加以验证。另一方面，对页岩的力学性质，特别是对其断裂行为认识甚少，亟需加强研究。建议地质、地球化学和力学三方面合作，共同研究页岩气形成的历史过程，探讨成熟度、储量、天然裂纹的形成机理，地震和构造运动的作用，可采量等。并以此为契机，形成多学科的长期合作。

水力压裂固然有效，但耗水量很大并带来不少环境问题，这正是当前争论的问题。我国是一个水资源缺乏的国家，必须要问：这种在国外形成的技术，在我国是否具有可持续发展的前景？

我们必须未雨绸缪，及早着手研究其他可供选择的方案。世界已进入遥控机器人、无人地下工厂和绿色生产的时代，在钻岩和破岩技术方面也有其他技术可供参考，如何组织有望达成这个目标的多学科研究队伍，给予稳定和持续的政策和经费支持，是摆在我们面前的重要任务。

第517次香山科学会议于2014年12月10~11日在北京召开，其主要目的旨在倡导和发展钱学森工程科学，充分发挥工程科学家的作用，明确我国页岩气开发研究的方向和技术路线；探讨页岩气开发主体学科与工程技术瓶颈，促进学科交叉，集中优势资源，开展页岩气开发基础理论研究、页岩气开发技术瓶颈与基

础理论研究成果交流、缩短基础研究成果与技术开发的进程,加快微观破裂机理、宏观本构关系、致密介质中的渗流理论、工程尺度数值模拟、监测新方法等成果转化为页岩气开发技术的理论依据的进程。

本期报道第517次香山科学会议报告中的一部分成果,集中在页岩气开发中的力学问题方面的讨论,主要包括页岩气开发中页岩体的破坏与本构关系^[1,2]、渗流理论与方法^[3,4]、破裂理论研究方向^[1,2,5,6]以及钱学森先生关于工程科学思想^[1]的讨论。

郑哲敏

中国科学院力学研究所,北京 100190

参考文献

- 1 Li S H, Duan W J, Zhou D, et al. Several key problems of modern mechanics in shale gas exploitation (in Chinese). Chin Sci Bull, 2016, 61: 47–61 [李世海, 段文杰, 周东, 等. 页岩气开发中的几个关键现代力学问题. 科学通报, 2016, 61: 47–61]
- 2 Zhuang Z, Liu Z L, Wang T, et al. The key mechanical problems on hydraulic fracture in shale (in Chinese). Chin Sci Bull, 2016, 61: 72–81 [庄茁, 柳占立, 王涛, 等. 页岩水力压裂的关键力学问题. 科学通报, 2016, 61: 72–81]
- 3 Zhang D X, Yang T Y, Wu T H, et al. Recovery mechanisms and key issues in shale gas development (in Chinese). Chin Sci Bull, 2016, 61: 62–71 [张东晓, 杨婷云, 吴天昊, 等. 页岩气开发机理和关键问题. 科学通报, 2016, 61: 62–71]
- 4 Lu D T, Zhang L J, Zheng D W, et al. Shale productivity prediction and fracturing optimization based on compositional simulation (in Chinese). Chin Sci Bull, 2016, 61: 94–101 [卢德唐, 张龙军, 郑德温, 等. 页岩气组分模型产能预测及压裂优化. 科学通报, 2016, 61: 94–101]
- 5 Xie H P, Gao F, Ju Y, et al. Novel idea of the theory and application of 3D volume fracturing for stimulation of shale gas reservoirs (in Chinese). Chin Sci Bull, 2016, 61: 36–46 [谢和平, 高峰, 鞠杨, 等. 页岩气储层改造的体破裂理论与技术构想. 科学通报, 2016, 61: 36–46]
- 6 Ju Y, Yang Y M, Chen J L, et al. 3D reconstruction of low-permeability heterogeneous glutenites and numerical simulation of hydraulic fracturing behavior (in Chinese). Chin Sci Bull, 2016, 61: 82–93 [鞠杨, 杨永明, 陈佳亮, 等. 低渗透非均质砂砾岩的三维重构与水压致裂模拟. 科学通报, 2016, 61: 82–93]