

张芬娜,张皓,綦耀光,等. 共采技术现状与在煤系气共采中的适应性分析[J]. 煤炭学报,2017,42(S1):203-208. doi:10.13225/j.cnki.jccs.2017.0075

Zhang Fenna,Zhang Hao,Qi Yaoguang,et al. Adaptability analysis and co-exploration technology status summary in coal-bearing gas[J]. Journal of China Coal Society,2017,42(S1):203-208. doi:10.13225/j.cnki.jccs.2017.0075

共采技术现状与在煤系气共采中的适应性分析

张芬娜¹,张皓¹,綦耀光¹,朱洪迎¹,孟尚志²,张健²,杨勇¹,潘隆¹,毛正义¹

(1. 中国石油大学(华东)机电工程学院,山东青岛 266580; 2. 中联煤层气有限责任公司,北京 100011)

摘要:我国多数煤系气地区成藏致密,层间呈叠置状,单层开发难度较大且经济效益不显著,于是提出开发适用于煤系气多气共采的技术尤为必要。从共采的角度分析,共采技术分为同压力体系共采和同井筒分压力体系共采两类。对目前油气田常用的同井筒分压共采技术进行了总结和分类,分别从抽油泵、井下管柱及排采方式的不同对现有分压共采技术现状进行了归类整理,给出其特点和在煤系气开发中的适用性;并通过类比这些技术的特征并结合煤系气自身特性,得出了现有技术共采煤系气将可能出现的问题,提出了侧重构造井下压力体系及优化产物流体通道的研究方向,给出了煤系气共采技术管柱设计需要注意的问题,这对于煤系气多气共采,有所帮助。

关键词:共采技术;煤系气;压力体系;适用性分析;管柱结构

中图分类号:P618.11

文献标志码:A

文章编号:0253-9993(2017)S1-0203-06

Adaptability analysis and co-exploration technology status summary in coal-bearing gas

ZHANG Fen-na¹,ZHANG Hao¹,QI Yao-guang¹,ZHU Hong-ying¹,MENG Shang-zhi²,
ZHANG Jian²,YANG Yong¹,PAN Long¹,MAO Zheng-yi¹

(1. Mechanical and Electrical Engineering College, China University of Petroleum, Qingdao 266580, China; 2. China United Coalbed Methane Co., Ltd., Beijing 100011, China)

Abstract: Most coal-bearing gas reservoirs in China are densely packed with overlapping layers. Single-layer development is difficult and its economic benefits are not significant. Thus, it is necessary to develop the technology for coal gas. From the perspective of co-mining, a co-mining technology is divided into the same pressure co-mining system and the sub-pressure co-mining system with two types of wells. This paper summarizes and classifies the common wellbore partial pressure technology commonly used in oil and gas field, and classifies the current partial pressure co-extraction technology from the different aspects of the oil pump, downhole string and discharge mode, and provides its characteristics and its applicability in the development of coal-bearing gas. By comparing the characteristics of these technologies and combining the characteristics of coal-bearing gas, the existing problems of coal mining gas system will be brought forward. The paper provides the direction of pressure system construction and the optimization of the product fluid channel, and also gives the problems that need attention in the design of coal column gas extraction.

Key words: simultaneous extraction; coal-bearing gas; pressure system; adaptability analysis; column structure

一般常见的非常规油气包括煤层气 (coal-bed methane)、页岩气 (shale gas)、致密砂岩气 (tight gas), 若烃源岩均为煤层, 则统称为煤系“三气”。根据煤系气成藏特征可知, 煤系非常规天然气

收稿日期:2017-01-04 修回日期:2017-04-14 责任编辑:韩晋平

基金项目:国家油气科技重大专项资助项目(2016ZX05066004-002,2017ZX05042003-001)

作者简介:张芬娜(1982—),女,山东菏泽人,讲师,博士。通讯作者:张皓(1991—),男。E-mail:412101795@qq.com

埋深较深、储层较致密、渗透率较低,而煤系地层具有多层系、垂向上复合气藏共生共存的特点,单一储层开采不仅产量低、开发难度大,而且开发成本高,不宜进行单层开采^[1-2],因此对于煤系气的共采研究显得尤为重要。

在国外,单相非常规油气的开发技术已经较为成熟,尤其在北美地区,自 20 世纪 90 年代一直到 2008 年,单是页岩气的开发就将美国天然气的储量提高了 30%^[3],到了 2010 年,美国致密气年产量达到了 $1\ 754 \times 10^8\ \text{m}^3$,占天然气总产量的 26%^[4]。由于美国、加拿大等地区的非常规油气成藏地层条件较好,相对于国内超低渗透的非常规油气藏而言,单井单项开发完全可以满足其应有的经济效益,所以美国对于非常规油气的共采,也仅仅在 2001 年之后的几年时间内在皮森斯盆地白河隆起完成了由煤层气与致密砂岩气共采的共采测试,并未采取大规模的研发生产^[5]。

在国内,由于油层压力低、油藏含水量高等地层原因,使得国内的常规油合采技术较为成熟。2012 年,郭本广、许浩等在国内提出了煤系气共采的思想,随后中国矿业大学的秦勇、侯晓伟及傅雪海等先后基于煤系气的共采,分别从煤系地层的兼容性、压裂裂缝布展及煤系气资源特征等方向做出了相关研究^[6-9]。但是根据现有研究表明,除去深部煤层,国内常见煤层的压力普遍在 0.5 ~ 4.0 MPa,深度在 800 ~ 2 000 m 不等^[10]。而致密砂岩气层与页岩层的压力普遍在 18 ~ 32 MPa,其深度通常要大于 2 000 m^[11]。若想要实现煤系气的共采,必须要有一套针对性的,适用于煤系地层且满足不同排采工艺的共采工艺技术及配套的井下结构。

笔者在本文中通过分析国内外现有的共采技术及相对应的井下结构,将其进行总结归类,并根据现有共采技术对煤系气的共采做出适应性分析,总结出适用于煤系气共采技术的工艺条件及井下结构特点。

1 现有共采技术及工艺结构的划分

目前,由于地层条件不同,大多共采技术均用于俄罗斯部分地区及国内的常规油气开发共采中,其种类多,但目前还没有较为笼统的分类。基于此问题,笔者按照泵的数量将其划分为:单泵共采技术和多泵共采技术;按照井下油管的数量将其划分为:单管柱共采技术和多管柱共采技术;按照开采方式将其划分为:分采分出共采技术和分采混出共采技术。以通过井下泵数和管柱数量划分可判别出井下采油树的结构特点,并通过开采方式不同判别共采工艺中各部分

空间的压力体系(图 1)。

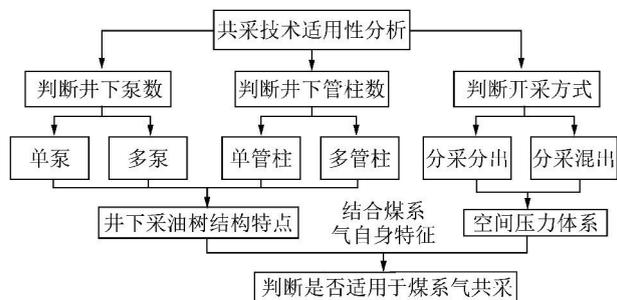


图 1 煤系气共采技术适用性分析

Fig. 1 Analysis on applicability of coal-bearing gas co-mining technology

2 单泵共采技术与多泵共采技术

2.1 单泵共采技术及其适用性分析

2.1.1 分采泵分层共采技术

分采泵分层共采技术是由俄罗斯鞑靼石油公司开发出的适用于西西伯利亚大型叠置油田的多油层共采技术^[13]。通过上、下冲程泵筒的位移与侧阀的闭合开启相配合,避免了两油层间因压力不同产生的不兼容问题,实现共采。其优点在于设计巧妙,适用于大多双采叠置油层;其存在的问题在于泵体本身内部结构较为复杂,除去生产加工难度大的问题外,还存在不易检修,对地层压力条件要求苛刻等问题,且在生产工艺上较为繁琐,前期准备工作量大。

2.1.2 配产器调压共采技术

配产器共采技术是国内胜利油田经过设计、现场试验研发出的一种通过配产器截流改变层间流压,从而实现不同压油层调压共采的技术,也称为单泵定压配产器共采技术^[14]。其结构主要包括封隔器、单向阀、及配产器,由封隔器封隔油层,单向阀防止产液回流井底,配产器接于对应油层位置的油管内,通过地面抽油,实现多油层共采产油(图 2)。其优点表现为:结构较为简单,油层兼容性强;但是此种技术通常用于自喷井或井下压力较高产油气井^[15],对油井自身条件要求较高,用于产层压力较低的生产井及渗透率较小的非常规油气井,其工艺效果不显著。

2.1.3 桥式分采器共采技术

此技术为长庆油田李大建、甘庆明等根据长庆油田纵向油层叠置的地质特点,通过设计桥式分采器来实现三油层共采的采油工艺^[16](图 3)。其原理类似于配产器调压共采,实质是将配产器优化,以桥式过流的方式将其设计为桥式分采器,再通过“桥式分采器+Y211 封隔器+Y111 封隔器+普通管式抽油泵”的组合方式可实现原油的 3 层共采工艺,且与配产器调

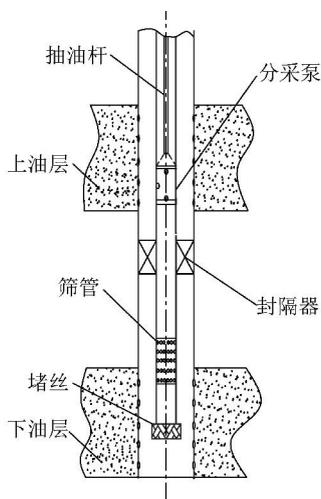


图 2 配产器调压共采技术

Fig. 2 Technology of adjusting pressure to co-mining in distribution device

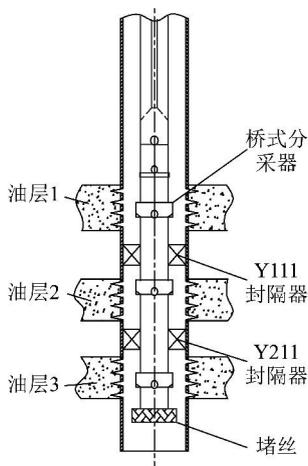


图 3 桥式分采器共采技术

Fig. 3 Technology of co-mining in bridge oil production device

压共采技术不同,此工艺适用于低层压产油井的共采作业。

经现场测试应用,桥式多层合采工艺管柱不但可以增加油田产量且生产成本相较于同采 3 层井降低了 58%。但是,此工艺管柱在油井产物上受到了一定的限制,若开采含气量较高的产油井,桥式分采器易发生气蚀、气锁等现象,增加管泵维修、设备替换等生产维修成本。

2.2 多泵共采技术及其适用性分析

2.2.1 分抽泵分压共采技术

分抽泵分压共采技术是通过设计双泵筒配合空心抽油杆及杆管环空构造出两个不同压力体系的油流通道,以两个泵筒分别为动力在不同的通道内分压共采(图 4)。此技术最早用于俄罗斯高加索地区,在国内的辽河油田也用此技术进行稠油的共采^[17]。此

技术分压共采,适用于非深井的普通原油及稠油的共采,据锦州采油厂千 12 块千 72-452 井反馈的数据来看,现场不但免除了层间不兼容问题,并且在产量有所提高,达到了日增产 15 m³/d。

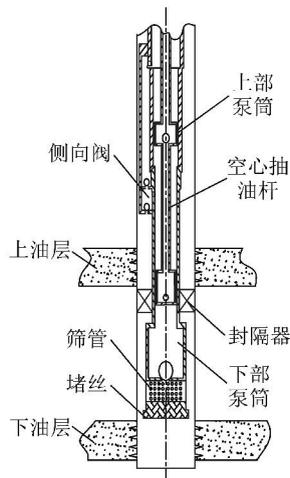


图 4 分抽泵分压共采技术

Fig. 4 Technology of partial pressure co-mining in sub-pumping pump

但非常规气井,特别是煤系气共采井,其深度可达到 3 000 m 以下,对于这样的深井以及超深井而言,复杂的井下结构(包括设计与空心抽油杆连接的上泵筒及侧阀)由于狭小的井下空间造成安装难度大,下放工艺繁琐等问题,故不适于深井油气层的共采开发。

2.2.2 离心泵与杆式泵配合的双泵共采技术

离心泵与杆式泵配合的双泵共采技术是俄罗斯 РОСНЕФТЬ 石油公司针对当地下油层为高产层的叠置油田开发的石油共采技术^[6]。其原理是通过封隔器将上下油层封隔,利用有杆泵开采上油层,用离心泵开采下部高产油层,实现共采。

该技术的工艺管柱与多数共采技术管柱相同,都具有结构复杂的特点,并且相对分抽泵分压共采技术而言,其工艺成熟度不高,是一种只适用于下油层为高产层的油层共采技术,并且其工艺适用度不高,只作为测试井进行应用,并未得到广泛的生产推广。

2.2.3 两级螺杆泵分层共采技术

两级螺杆泵分层共采技术是大庆油田针对扶余油区油层间的干扰问题^[18](图 5),设计研发的一种利用上、下两级螺杆泵通过重力坐封式锚定封隔器分隔来实现分层共采的技术。在共采作业中,下层螺杆泵将下层油液采至两级螺杆泵间环空,与上油层产液混合后再由上层螺杆泵采出。

此种技术是利用螺杆泵调节油层压力实现共采。其优点是:螺杆泵共采技术相较于有杆泵共采技术,其

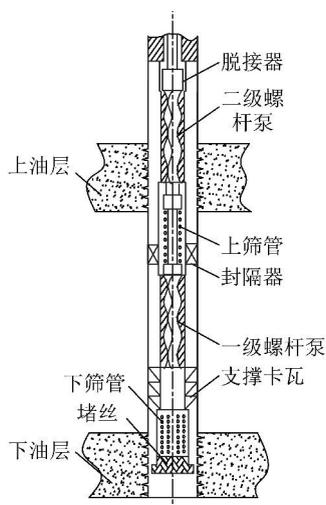


图5 两级螺杆泵分层共采技术

Fig. 5 Technology of sub-oil layer co-mining in two-stage screw pump

泵效更高,可用于含气油层防止气锁;但是其缺点表现也很显著,两级螺杆泵共采共用一个地面动力,导致两油层间的产液量必须达到额定标准,若其中任一产层断油导致螺杆泵空转,极易造成作业不正常甚至烧泵的生产问题。

2.3 适用煤系气共采的泵数分析

煤系气藏中煤层为低压产层,而致密砂岩气与页岩气同属高压自产气,其自身能量较高,对其开发过程中具有自喷特性。煤系气的共采可表现为低压煤层单泵排水采气,高压气层自产出井,选取单泵共采技术较为合适。

3 单管柱共采技术与多管柱共采技术

3.1 单管柱共采技术及其适用性分析

单管式分层共采技术是俄罗斯鞅靛石油公司最早研发的一种油层共采技术。其技术原理是利用上下油层间的压力差,通过柱塞在上下冲程时位置的变化控制侧向阀打开关闭,从而使上下油层的产油分段进入油管腔,实现共采。

这种技术相对而言成熟度不高,对油层间压力及侧向阀定位要求较为严格,适用范围比较狭窄。

3.2 双管柱共采技术及其适用性分析

3.2.1 双偏心管柱分采工艺管柱技术

双偏心管柱分压共采技术是继单管式分层共采技术后,俄罗斯鞅靛石油公司研发的另一种适用于双油层共采的采油技术(图6)。其原理是在井筒中通过封隔器将上、下油层分隔,下入两套相互平行的偏心管柱,分别对两个油层单独开采。此种工艺简单实用,在我国的东辛油田的营8断块也引用了偏心双管柱的共采技术进行采油作业^[19]。从现场应用的情况

来看,此技术适用在层间压差较大的多层井,根据现场数据,其产量增幅达到80%。

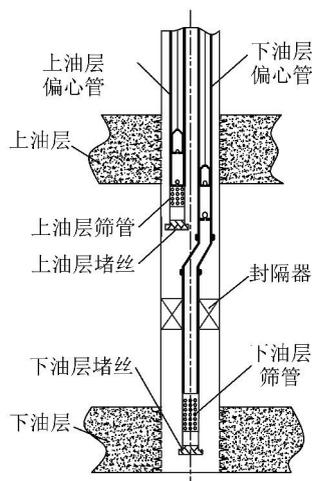


图6 双偏心管柱分压共采技术

Fig. 6 Technology of partial pressure co-mining in double eccentric string

但此结构以双偏心管柱作为井下采油树,对井口尺寸及井下空间的要求都较为苛刻,且此种双管柱共采管柱结构的井口装置需要根据井身特征进行定制,在考虑成本经济的基础上,其工艺管柱不适于深井作业。

3.2.2 单泵双管式共采工艺管柱技术

单泵双管式共采工艺管柱技术是通过在上油层位置设计同心外油管,上油层产油通过同心外油管与油管环空及单向阀流入井底,与下油层产液汇合实现共采^[20](图7)。

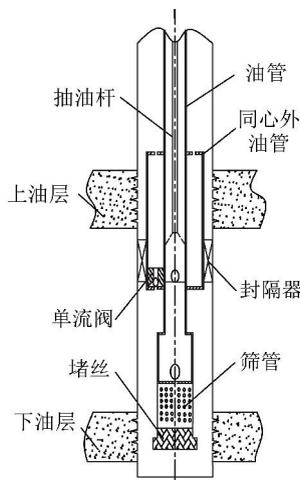


图7 单泵双管式共采工艺管柱技术

Fig. 7 Technology of double column co-mining in a pump

其技术可以实现调压后共同采油,但是使用其工艺管柱,作业的油层间压差不能太大,且井下设计同心双管柱对于井下空间尺寸要求较为严格,同时,外层生产管柱不宜悬挂,总体下管工艺设计较为困难。

此技术不适于层间压差大且埋藏较深的多层油气藏。

3.3 适用煤系气共采的管柱数分析

煤系气层均有埋藏较深的特点,导致对煤系气共采的井下管柱要求极为苛刻。对于管柱数的适用性选择取决于如何分饰井下压力体系,从技术层面上看,单管式共采技术与双管式共采只要满足压力体系的分离,均可适用于煤系气的共采工艺,但现有技术对于煤系气共采还存在着井下空间不足,管柱通道构造不合理等问题,还需要进一步的设计优化。

4 分采分出与分采混出共采技术特征

分采分出共采技术与分采混出共采技术不属于具体的工艺管柱技术,而是对不同共采技术按照其出产油气的出井方式进行的分类,最早是由俄罗斯 БАШНЕФТЬ 石油公司提出两者概念上的划分^[6],原理如图 8 所示。

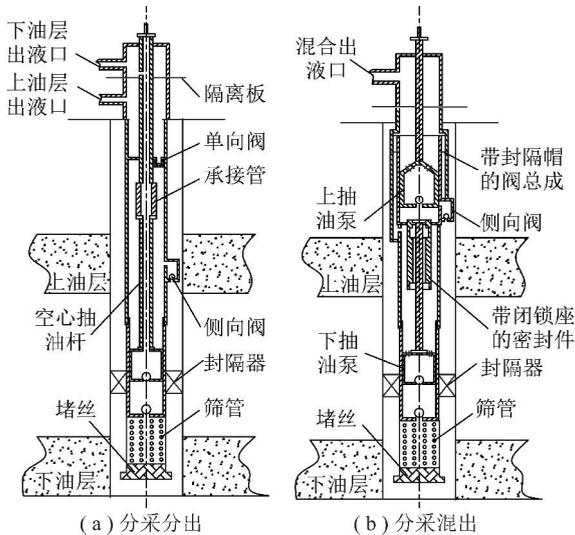


图 8 分采分出与分采混出共采技术

Fig. 8 Different channel outputs in separate mining & the same channel outputs in Separate mining

4.1 分采分出共采技术及其应用范围

分采分出共采技术是在井下通过构造两条独立的流体通道分别承载上下产层的产物,并从流入通道内开始直至产物出井的整个过程,两条通道都相对独立,无兼容性影响。其优点是:确保双流体通道具有独立的压力、流相等流动因素,防止通道内发生互串、不兼容等问题。

但是使用两条独立的通道的共采技术也导致了无论是采用采用双泵双管柱式的结构还是设计复杂的井下结构均会导致技术本身对于井下空间的要求变得极为苛刻。

4.2 分采混出共采技术及其应用范围

分采混出共采技术是通过缩口、阀门或安装调压

装置等方式对产层的产出物调压,经调压后将不同产层的产物汇总在同一腔体内排采出井的技术。此技术的优点在于:以辅件配合共采工艺,相较构造两个独立的井下管柱而言可以扩大原产油气进井的体积,有较高的产量保障。

但是针对与不同的井下开采环境,需要设计相匹配的共采工艺,并不具有较强的统一规范技术。

4.3 适用煤系气共采的开采方式分析

煤系气中,煤层气藏低压产水产气,其产物为二相流态,致密砂岩层与页岩层均为高压产气,若对其共采,则共采产物为二相流态,3种流体。流态分别为液相与气相,流体分别为高压气、低压气及低压产水。从现有技术的角度来看,采用分采分出的开采方式更为合理,但不排除结合射流泵等技术实现分采混出。

5 结 语

根据煤系气自身的生产特性及地质特征^[21-22],对于煤系气的共采技术需要解决问题如下:煤系气层间压差大,产物串流现象较为显著;煤系气埋藏较深,井下空间布局具有一定的局限性;煤系气中煤层气排采方式为排水采气,前期产水量大,生产期间产物形态为两相流态,而致密砂岩气与页岩气产水较少甚至不产水,其产物形态可视为单相流态,同时开采将会出现水淹井情况。

基于上述问题,发现现有共采技术由于各种自身存在的缺陷均不能满足煤系气的共采需求,于是需要设计出适用于煤系气共采的工艺管柱技术。以煤系气自身的特点结合现有共采技术的特征,将这种新型共采技术特点归结为:合理优化井下采油树的结构,采用单泵排低压煤层水从而产气,高压层自产气;油管要求尺寸较小,具有较好的抗剪强度及抗拉强度;采用分压共采或调压共采的模式进行排采,需要设计合理的射孔工艺及下管工艺;气相通道需与液相通道需要分隔开,通道两相通道之间互不影响,在排采过程中避免出现两相流态;在排液过程中需要采用防止气锁的人工举升设备,液体中可能含有气泡,避免排采中泵筒气锁、排水不及时出现淹井。

上述均为煤系气共采的技术需求,煤系气的共采技术是一种新型的共采技术,其开发还需要更合理的设计以及不断的完善。对于今后的研究方向,建议主要侧重于构建不同的压力体系以及“二相三流体”的管柱设计优化。

参考文献 (References):

[1] 梁冰,石迎爽,孙维吉,等. 中国煤系“三气”成藏特征及共采可

- 能性[J]. 煤炭学报, 2016, 41(1): 167-173.
- Liang Bing, Shi Yingshuang, Sun Weiji, et al. Reservoir forming characteristics of "the three gases" in coal measure and the possibility of commingling in China[J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(1): 167-173.
- [2] 琚宜文, 颜志丰, 李朝锋, 等. 我国煤层气与页岩气富集特征与开采技术的共性与差异性[A]. 2011年煤层气学术研讨会论文集[C]. 2011: 1-8.
- [3] Nelson P H. Pore-throat sizes in sandstones, tight sandstones and shales[J]. AAPG Bulletin, 2009, 93(3): 329-340.
- [4] U. S. Energy Information Administration. Annual Energy Outlook, 2012[R]. Washington: U. S. Energy Information Administration, 2012.
- [5] Olson T, Hobbs B, Brooks R, et al. Paying off for Tom Brown in White River Dom field's tight sandstone, deep coals[R]. The American Oil and Gas Reports, 2002: 67-75.
- [6] 郭本广, 许浩, 孟尚志, 等. 临兴地区非常规天然气合探共采地质条件分析[J]. 中国煤层气, 2012, 9(4): 3-6.
- Guo Benguang, Xu Hao, Meng Shangzhi, et al. Geology condition analysis for unconventional gas co-exploration and concurrent production in Linxing area[J]. China Coalbed Methane, 2012, 9(4): 3-6.
- [7] 秦勇, 申建, 沈玉林. 叠置含气系统共采兼容性——煤系“三气”及深部煤层气开采中的共性地质问题[J]. 煤炭学报, 2016, 41(1): 14-23.
- Qin Yong, Shen Jian, Shen Yulin. Joint mining compatibility of superposed gas-bearing systems: A general geological problem for extraction of three natural gases and deep CBM in coal series[J]. Journal of China Coal Society, 2016, 41(1): 14-23.
- [8] 侯晓伟, 朱炎铭, 付常青, 等. 沁水盆地压裂裂缝展布及对煤系“三气”共采的指示意义[J]. 中国矿业大学学报, 2016, 45(4): 729-738.
- Hou Xiaowei, Zhu Yanming, Fu Changqing, et al. Fractures distribution of Qinshui basin and its indicative significance to unconventional gas co-exploration in coal measures[J]. Journal of China University of Mining & Technology, 2016, 45(4): 729-738.
- [9] 傅雪海, 德勒恰提·加娜塔依, 朱炎铭, 等. 煤系非常规天然气资源特征及分隔合采技术[J]. 地学前缘, 2016, 23(3): 36-40.
- Fu Xuehai, Deleqati JiaNaTaYi, Zhu Yanming, et al. Resources characteristics and separated reservoirs' drainage of un-conventional gas in coal measures[J]. Earth Science Frontiers, 2016, 23(3): 36-40.
- [10] Chen Yue, Tang Dazhen, Xu Hao, et al. Structural controls on coalbed methane accumulation and high production models in the eastern margin of Ordos Basin, China[J]. Journal of Natural Gas Science and Engineering, 2015, 23(3): 524-537.
- [11] 蒋平, 穆龙新, 张铭, 等. 中石油国内外致密砂岩气储层特征对比及发展趋势[J]. 天然气地球科学, 2015, 26(6): 1095-1105.
- Jiang Ping, Mu Longxin, Zhang Ming, et al. Differences of reservoir characteristics between domestic and oversea tight gas of CNPC and its developing trends[J]. Natural Gas Geo-science, 2015, 26(6): 1095-1105.
- [12] Zhao Xingang, Yang Yahui. The current situation of shale gas in Sichuan, China[J]. Renewable and Sustainable Energy Reviews, 2015, 50: 653-664.
- [13] 李大建, 牛彩云, 何森, 等. 几种分层采油工艺技术在长庆油田的适应性分析[J]. 石油地质与工程, 2011, 25(6): 124-127.
- Li Dajian, Niu Caiyun, He Miao, et al. Adaptability analysis of several stratified oil production techniques in Changqing Oilfield[J]. Petroleum Geology and Engineering, 2011, 25(6): 124-127.
- [14] 刘君. 大庆油田分层配产技术综述[J]. 油气田地面工程, 2008, 27(10): 70-71.
- Liu Jun. Summary of layered production technology in Daqing Oilfield[J]. Oil-Gas Field Surface Engineering, 2008, 27(10): 70-71.
- [15] 杜现飞, 李建山, 齐银, 等. 致密厚油层斜井多段压裂技术[J]. 石油钻采工艺, 2012, 34(4): 61-63.
- Du Xianfei, Li Jianshan, Qi Yin, et al. Multi-stage fracturing technique in deviated wells of tight thick oil reservoirs[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2012, 34(4): 61-63.
- [16] 李大建, 甘庆明, 牛彩云, 等. 长庆油田三层分采工艺技术探索与实践[J]. 钻采工艺, 2014, 37(6): 65-66, 70.
- Li Dajian, Gan Qingming, Niu Caiyun, et al. Practice of three layer separate mining technology in Changqing Oilfield[J]. Drilling & Production Technology, 2014, 37(6): 65-66, 70.
- [17] 刘玉文. 辽河油田稠油分层采油技术[J]. 石油钻采工艺, 2003, 25(S1): 85-86.
- Liu Yuwen. Layered oil recovery technology in Liaohe Oilfield[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2003, 25(S1): 85-86.
- [18] 孙延安, 姚宝春, 姜滔, 等. 螺杆泵分层采油技术的应用效果分析[J]. 石油机械, 2007, 35(3): 48-49.
- Sun Yan'an, Yao Baochun, Jiang Tao, et al. Analysis on application effect of separate layer production technology of screw pump[J]. China Petroleum Machinery, 2007, 35(3): 48-49.
- [19] 张福仁, 谷开昭. 多管采油工艺技术[J]. 断块油气田, 1995, 2(3): 59-62.
- Zhang Furen, Gu Kaizhao. Multi-pipe production technology[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 1995, 2(3): 59-62.
- [20] 王彧, 古光明, 李蓉, 等. 两层分层同采工艺管柱的研制[J]. 石油机械, 2006, 34(10): 37-38.
- Wang Yu, Gu Guangming, Li Rong, et al. Development of two-layer and same-mining process string[J]. China Petroleum Machinery, 2006, 34(10): 37-38.
- [21] 曹代勇, 姚征, 李靖. 煤系非常规天然气评价研究现状与发展趋势[J]. 煤炭科学技术, 2014, 42(1): 89-105.
- Cao Daiyong, Yao Zheng, Li Jing. Evaluation status and development trend of unconventional gas in coal measure[J]. Coal Science and Technology, 2014, 42(1): 89-105.
- [22] 张海涛, 朱炎铭, 许祖伟, 等. 多期、多源、多气联合勘探开发研究[J]. 煤炭科学技术, 2015, 45(10): 122-126.
- Zhang Haitao, Zhu Yanming, Xu Zuwei, et al. Study on multi phases, multi resources and multi-gas combined exploration and development[J]. Coal Science and Technology, 2015, 45(10): 122-126.