

文章编号:1000-4092(2022)03-548-06

压裂返排液重复利用技术现状及展望*

姚 兰¹,李还向¹,焦 炜²,周 江²,柯从玉³,张群正³

(1. 中国石油集团川庆钻探工程有限公司长庆井下技术作业公司, 陕西 西安 710021; 2. 中国石油天然气股份有限公司长庆油田分公司第五采油厂, 陕西 西安 710299; 3. 西安石油大学化学化工学院, 陕西 西安 710065)

摘要:随着油气田开发规模的日益扩大,压裂作业用水量逐渐增大与压裂返排液产生量大、返排液无法直接外排的矛盾日益突出。将返排液进行处理后再回用无疑是目前解决该难题的有效途径。针对我国压裂返排液重复利用研究与应用现状,从返排液处理过程中面临的技术问题、可回收压裂液体系的研发、返排液处理工艺及处理装置的改进等几个方面进行了系统介绍,指出处理后回用是返排液处理的最佳途径,也是未来油气田工业发展的必然趋势。返排液回用技术应该从可回收压裂液体系的研发及返排液回用处理工艺改进两方面入手,进一步完善和推广该技术在油气田开发过程中的应用。针对目前返排液回用技术存在的问题提出了建议,以期为我国返排液重复利用技术的发展提供指导。

关键词:压裂返排液;可回收;压裂液;重复利用;综述

文献标识码:A **DOI:**10.19346/j.cnki.1000-4092.2022.03.028

中图分类号:TE992;TE357.1²

开放科学(资源服务)标识码(OSID):



随着常规油气资源逐渐枯竭,非常规油气开发从幕后转向台前,而水力压裂是非常规储层增产的重要措施。大规模体积压裂技术应用日益广泛,同时导致的压裂返排液体积也在急剧增加,以苏里格气田为例,平均每年产生的返排液体积达到 $20 \times 10^4 \text{ m}^3$ 以上^[1]。压裂返排液中不仅含有大量的化学添加剂,其在返排过程中还从地层中携带出大量的岩屑、泥沙、细菌、重金属等物质,与其他油气田污水相比,具有成分复杂、黏度大、稳定性强、矿化度及悬浮物含量高等特点,处理难度非常大^[2-3]。如此规模的压裂返排液如果不经过有效处理而外排将会产生严重的环境污染和生态破坏问题^[4-6]。随着我国新环境保护法的颁布,油田作业产生的废水要求实行“不落地”处理,因此如何有效处理压裂返排液

成为油气田开发过程中亟待解决的关键技术问题^[7]。目前,压裂返排液处理技术大体可以分为3类,分别为处理后外排、处理后回注及重复配制压裂液^[8-10]。

1 压裂返排液处理技术

1.1 达标外排

为了有效防止生态环境及地下水污染,近几年国家能源局大力推进压裂返排液处理技术研究。目前,我国压裂返排液外排的水质标准采用的是石油天然气行业标准SY/T 5329—2012《碎屑岩油藏注水水质推荐指标及分析方法》和国家标准GB 8978—1996《污水综合排放标准》,主要水质指标包括pH值、色度、悬浮物、化学需氧量(COD)、生化需氧量(BOD)、石油类及细菌含量。处理工艺包括

* 收稿日期:2021-09-22。

基金项目:国家自然科学基金“羟基磷灰石/DNA亚纳米尺度复合材料共组装规律及性质研究”(项目编号21676215),陕西省重点研发计划“小分子可循环自清洁压裂液研发及产业化推广”(项目编号2022ZDLSF07-04)。

作者简介:姚兰(1986—),女,长江大学油气田开发专业硕士(2011),从事返排液处理及重复利用技术研究工作,E-mail:1072146804@qq.com。柯从玉(1976—),男,教授,本文通讯联系人,主要研究方向为水处理技术与环境污染控制技术,通讯地址:710065 陕西省西安市电子二路东段18号西安石油大学化学化工学院,E-mail:key@xssyu.edu.cn。

pH调节、混凝沉淀、油水分离、杀菌及氧化处理等,最后通过清水稀释达到安全排放标准后再进行外排^[8]。由于返排液的复杂性和稳定性,导致处理难度大,成本太高,而且现有的处理工艺都无法去除返排液中的高浓度盐类物质。虽然各类标准都未对盐类物质作具体要求,但高浓度的盐水排入生态环境会造成许多不良影响^[11]。另外,对于大多数缺水区域,对大量的返排液进行处理后外排也是对水资源的浪费,因此将返排液处理后外排并不是一个好的选择。

1.2 处理后回注

将压裂返排液经过处理达标后再回注地层,这不仅可以有效解决返排液的排放问题,还能弥补注水开发过程中对用水的需求。处理后的返排液需达到石油天然气行业标准SY/T 5329—2012《碎屑盐油藏注水水质推荐指标及分析方法》的要求方能进行回注,同时还要采取切实可行的措施,防止地层污染^[12]。由于回注水仅对油含量、悬浮物含量及粒径有较严格要求,因此相对于返排液处理后外排,对其处理后再回注不仅可以节省大量水资源,同时也降低处理成本。然而,由于返排液不仅悬浮物含量高,而且黏度大,性质稳定,必须对其进行氧化、絮凝及过滤等操作后方能达到回注要求,因此需要外运到回注站进行集中处理,而回注站的处理能力一般很难满足大规模返排液处理的要求,且成本高、地下水环境风险不明确。另外,这种处理方式对返排液中大量残余的稠化剂也是一种浪费。因此,对返排液进行处理后回注也并非最佳选择。

1.3 处理后重复配制压裂液

随着非常规油气资源开采力度加大,压裂用水量和压裂废水急剧增加。为解决体积压裂用水量及压裂废水污染问题,国内外众多学者提出将地层采出水和压裂返排液处理后再用于配制压裂液的再利用技术^[12-15]。

过去油气田使用的压裂液都是一次性压裂返排,返排液中的水溶性聚合物稠化剂(包括植物胶、纤维素衍生物及合成聚合物)大分子链已深度降解,不能重复利用^[16],而且这些聚合物的耐盐和抗温性能都较差,再进行二次配液时压裂液性能会显著下降,因此可回收压裂液体系的研发是保证返排液回用的前提。虽然我国在可回收压裂液的研发

和应用方面取得了不少成功案例,但该技术仍处于研究开发与现场试验阶段。目前,文献报道的有关压裂返排液重复利用技术主要包括两个方面。一是可回收压裂液体系的研发,包括改性胍胶、小分子增稠剂及黏弹性表面活性剂等,其主要目的是增加压裂液的可回收性能;二是返排液处理技术,通过一系列的物理化学手段去除返排液中影响重复配液的因素,从而提高返排液二次配液性能^[17-20]。

2 压裂返排液重复利用技术发展现状

2.1 影响压裂返排液重复配液性能的因素

返排液中的高价金属离子会阻碍稠化剂分子的伸展,从而影响重复配制压裂液性能(增黏、耐温、交联、结垢等)^[21-22],这也是目前影响返排液回用的最重要原因。研究发现^[23],压裂液在返排过程中从地层携带出的大量金属离子,尤其是高价金属阳离子会显著影响返排液的重复配液性能,其中返排液中的Ca²⁺、Mg²⁺和Fe²⁺的影响最大。针对0.4%的EM50(具有表面活性特征的高分子聚合物)和胍胶体系,实验测得这3种离子满足返排液重复配液的上限值分别为250、150、150 mg/L和275、250、200 mg/L。因此,要提高返排液的重复配液性能,一是要从增稠剂分子本身入手,开发可回收压裂液体系,通过合成或对常规的胍胶或聚合物分子进行改性,从而增加其抗盐性能;二是通过返排液处理工艺的改进,从而有效降低或消除高价阳离子的影响。目前,常用方法是通过向返排液中加入一定浓度的络合剂或沉淀剂,再辅以清水稀释的方式来改善由于金属离子或矿化度太高导致的返排液重复配液问题^[1]。

另外,返排液中的固体悬浮物颗粒会对地层孔隙造成堵塞与伤害,而油相也会影响聚合物成胶,故须重点除去。对于胍胶压裂液,为了防止返排液在放置过程中的腐败变质,处理过程中需添加杀菌剂。同时,残余的硼交联剂会导致胍胶提前交联,也必须将其除去^[23]。

2.2 可回收压裂液的研发及应用

2.2.1 胍胶压裂液

基于常规胍胶压裂液体系存在的回收处理难度大和处理成本高的难题,哈利波顿公司首次将低分子量的胍胶压裂液体系应用于压裂液^[24]。管保

山等^[25-26]研发的可回收低分子胍胶压裂液具有良好的重复配液性能,采用硼酸盐作为交联剂,耐高温可达到120℃,但存在基液易提前交联和残渣含量不能彻底消除的问题。长庆油田采用低分子胍胶体系压裂液进行现场回收利用试验,发现采用处理后的返排液进行重新配液的性能与清水配制的压裂液相当^[25]。李谦定等^[27]在胍胶体系中加入新型破胶剂后可有效改善返排液的重复配液性能。蒲祖凤等^[28]于2014年在传统胍胶体系压裂液的基础上开发了可适用于不同地层温度的可重复利用压裂液体系。高虹等^[29]采用常规羟丙基胍胶作为增稠剂,通过加入可逆交联剂及专用温度稳定剂实现了胍胶压裂液从冻胶→破胶→冻胶→破胶态的可逆转化,重复利用效果良好。

对于胍胶压裂返排液,其中的残余交联剂硼遇到碱时会使羟丙基胍胶提前交联,致使体系基液黏度增加,泵送速率和压裂效果降低,从而不利于返排液的二次配制,故在返排液处理时需将其除去。陈馥等^[30]针对残余破胶剂硼筛选出了甘露醇、木糖醇和葡萄糖酸钠3种高效配体,在返排液中加入这几种络合剂便可有效掩蔽掉硼,从而消除其对返排液二次配液性能的影响。张永康等^[31]用臭氧对胍胶压裂返排液进行氧化预处理,采用树脂螯合吸附法去除返排液中的残余硼交联剂,除硼后的胍胶压裂返排液具有良好的重复利用效果。

2.2.2 清洁压裂液

黏弹性表面活性剂溶液是一种清洁压裂液(VES),斯伦贝谢公司于1977年首先将其应用于压裂液中。其显著特点是无聚合物、作业残渣较少,返排率高,地层伤害小,携砂能力强及可回收循环使用^[32]。鲁大丽等^[33]采用阳离子双子黏弹性表面活性剂和KCl制备了一种VES,并用于回收再配液研究。结果发现回收前后的表面活性剂结构未发生变化,仍具有良好的弹性性质,黏度保持良好。

VES的另一个特点是无需交联剂,液态稠化剂遇水混合即可快速稠化携砂,满足现场连续混配施工。由于其在地层中遇到原油或地层水便可发生破胶作用,故返排时无需添加破胶剂,这一技术特点特别适合于水平井及丛式井提速提效和大规模工厂化作业需求。2012—2017年,该压裂液体系在长庆区域累计推广应用200口水平井,节水降耗效

果显著,取得了较好的措施效果^[34]。Dai等^[35]将VES压裂返排液用于驱油研究,发现通过向含有VES的返排液中加入 α -烯烴磺酸盐(AOS)后具有良好的驱油效果,这也为VES返排液的重复利用开辟了一条新的途径。可以预见,VES的独特性将使其今后在低渗透油气田大规模清洁化生产改造中具有广阔的应用前景^[34]。然而,其使用成本仍然较高^[36-37],而且热稳定性较差,无法用于高温地层和干气藏,这也是VES压裂液体系研发中迫切需要解决的关键问题^[38]。

2.2.3 改性聚合物

李小玲等^[39-40]通过对聚丙烯酰胺分子改性合成了一种具有表面活性特征的多效高分子聚合物(EM50)。EM50结合了聚合物和清洁压裂液的优势,具有低成本、低伤害、返排性好、可连续混配及可重复利用等优良性能,已在苏里格气田成功应用于工厂化作业78口直井,回收再利用率达到92.5%,取得了较好的改造效果。石家瑞等^[41]合成了一种聚合物稠化剂,并通过对破胶剂和交联剂等化学添加剂的筛选优化使该聚合物压裂返排液实现二次利用。丁雅勤等^[42]以一种具有表面活性的多效丙烯酰胺共聚物增稠剂为主剂制备的可回收压裂液体系不仅具有良好的耐高温抗剪切性能和携砂性能,而且可以重复利用。采用该压裂液施工300余口井,累计注入100余万立方米,返排液经简单处理后便可再次配液使用,极大地缓解了苏里格气田压裂用水短缺的难题。王所良等^[43]以部分水解聚丙烯酰胺、氟碳表面活性剂、小分子阳离子聚合物及有机金属交联剂为原料制得一种可回收压裂液体系,在破胶液中添加0.12%稳定剂即可作为配液水重复利用。破胶液配制压裂液的各项性能满足现场压裂施工的要求。

2.2.4 滑溜水体系

滑溜水是页岩气压裂开发过程中使用的主要压裂液体系,而减阻剂是滑溜水压裂液体系的核心助剂,其性能直接决定了滑溜水压裂液体系的应用效果。然而,常规减阻剂的耐盐性较差,难以满足高矿化度水配液的要求,这在很大程度上限制了滑溜水压裂返排液的重复利用。

刘宽等^[44]合成的疏水缔合聚合物抗盐型减阻剂的减阻和抗盐效果均好于聚丙烯酰胺类减阻剂,

其返排液可重复利用,采用返排液重复配制的滑溜水体系的减阻性能良好。刘友权等^[45]开发的回收滑溜水体系中的减阻剂突破了传统减阻剂相对分子质量高的束缚,黏均相对分子质量仅为160万,降低了滑溜水对储层的伤害。由于在减阻剂分子链上引入阳离子官能团,使得滑溜水具有良好的耐盐性能。该滑溜水具有摩阻低、速溶、返排效果好、可回收再利用及无毒等特点,技术性能达到国际先进水平。面对目前非常规油气开发成本高且环保压力大的问题,开发减阻性能优异、对储层伤害低且能重复利用的环保型“智能高分子”减阻剂将是未来的研究重点。

2.3 返排液回用处理技术

2.3.1 处理工艺

针对油气田压裂返排液的特点,目前常用的处理工艺包括混凝法、铁/碳微电解法、生物法、中和作用及活性炭吸附法或者联合处理工艺等,如氧化—絮凝—电解—过滤/吸附联合处理工艺。这些工艺可有效去除返排液中的COD及悬浮物等^[2]。樊庆缘等^[46]向聚合物压裂液体系中添加高价阳离子屏蔽剂,提高了体系的耐盐性能,使现场返排液仅需要简单快速的过滤处理即可满足水质要求。针对井场末端液体回收处理难题,何明舫等^[47]开发了以混凝沉淀—过滤杀菌—污泥脱水为主体的压裂返排液精细处理工艺。2014年在苏里格气田现场试验62口井,累计回收处理返排液32 980 m³,实现重复利用率超过70%,取得了显著的社会经济效益。

袁学芳等^[22]针对组成复杂、浮油和高价金属离子含量高、酸性强的塔里木油田酸化压裂返排液,提出了过滤—化学沉淀—絮凝沉降—压裂液配制的处理工艺。高燕等^[48]通过两级氧化—混凝法处理破胶液,再利用静置过滤后得到的清液配制胍胶压裂体系。喻晓林等^[49]开发了水质调节—混凝沉淀—精细过滤的返排液处理工艺,采用该工艺处理后的返排液二次配制的胍胶压裂液完全满足现场压裂要求,实现了返排液的循环利用。何焕杰等^[50]开发了压裂返排液复合混凝—过滤—吸附净化处理及配液工艺,在去除有害成分的同时可严格控制引入干扰离子,保留有效成分。该工艺在涪陵页岩气示范区的23个平台进行了推广应用,累计处理压裂返排液超过70 000 m³,重复利用率大于93.5%。

杨博丽^[51]优化形成了压裂返排液在线连续处理技术,现场先导性试验23井次,回收返排液4 469 m³,取得了显著的社会和经济效益,为国内压裂返排液环保处理技术的创新发展提供了借鉴。

2.3.2 处理装置

返排液的处理工艺离不开配套的处理装置。刘立宏等^[52]设计并研制了针对压裂返排液回收再利用的移动式处理装置。采用该装置处理的返排液与稠化剂具有很好的兼容性,并且可以实现对清洁压裂液和胍胶压裂液返排液的达标处理。向洪等^[53]设计并研发了一套可移动撬装式污水处理装置。采用该装置处理后的返排液再重复配制低浓度胍胶压裂液时,其性能并没有发生明显变化,完全能满足现场施工需求,有效解决了吐哈油田体积压裂用水及返排液量大,处理成本高的难题。

3 小结与展望

压裂返排液重复利用技术研究虽然取得了一定的进展,但目前常用的可回收压裂液体系的抗盐性能普遍还是不理想,往往需要用大量的清水进行稀释,这就导致返排液的回用比例不高。常规的处理回用工艺不涉及脱盐,随着回用次数的增多,返排液中的盐浓度、COD等会累积,配液性能下降,造成回用成本越来越高。简单处理后回用工艺整体跟目前的填埋场垃圾渗滤液浓水回灌类似,能解燃眉之急,但是长期而言,依然存在风险。进入开发后期,回用需求会逐渐减小直至消失,故大量剩余压裂返排液最终还是需要进行深度处理达标后进行他用或外排,比如用于钻井用水、项目生产配药用水、制砖生产用水、车间地面冲洗用水等,剩余部分再安全排放。

虽然返排液重复利用技术还存在许多问题和不足,但无论从成本还是从环保考虑,返排液的重复利用都是未来油气田工业的发展趋势,而低成本可回收压裂液体系的研发将是该领域的研究热点。

参考文献:

- [1] 柯从玉,彭丽,李小玲,等.苏里格气田压裂液返排液重复利用的可行性[J].油田化学,2020,37(3):409-414.
- [2] 侯保才,刘振华,杜俊跃,等.压裂返排液处理技术现状及展望[J].油气田环境保护,2015,25(1):41-43.
- [3] LESTER Y, FERRER I, THURMAN E M, et al. Characteriza-

- tion of hydraulic fracturing flowback water in Colorado: Implications for water treatment [J]. *Sci Total Environ*, 2015, 512/513: 637-644.
- [4] 高树生, 胡志明, 刘华勋, 等. 不同岩性储层的微观孔隙特征[J]. *石油学报*, 2016, 37(2): 248-256.
- [5] 李兰, 杨旭, 杨德敏. 油气田压裂返排液治理技术研究现状[J]. *环境工程*, 2011, 29(4): 54-56.
- [6] 张建国, 李艳, 于洪江. 油层水配制压裂液性能研究及评价[J]. *西安石油大学学报(自然科学版)*, 2011, 26(2): 60-63.
- [7] 蒋继辉, 冀忠伦, 任小荣, 等. 长庆油田压裂废水回收再利用方式探讨[J]. *油气田环境保护*, 2014, 24(5): 35-39.
- [8] 杜贵君. 油田压裂返排液处理技术实验研究[J]. *油气田环境保护*, 2012, 22(4): 55-57.
- [9] 陈明燕, 吴冕, 刘宇程. 酸化和压裂液处理技术研究进展[J]. *环境科学与技术*, 2010, 33(s1): 166-170.
- [10] 许剑, 李文权. 页岩气压裂返排液处理工艺试验研究[J]. *石油机械*, 2013, 41(11): 110-114.
- [11] 吴俊奇, 吴文熙, 颜懿柔, 等. 压裂返排液处理现状及难点研究[J]. *水处理技术*, 2018, 44(8): 12-16.
- [12] 田建超, 李玉涛, 修书志, 等. 我国油田产出水再利用技术现状及展望[J]. *油气田环境保护*, 2021, 31(1): 15-20.
- [13] 王满学, 刘建伟, 何静, 等. 水基压裂液重复使用技术的现状及发展趋势[J]. *断块油气田*, 2018, 25(3): 394-397.
- [14] LIANG T B, SHAO L J, YAO E D, et al. Study on fluid-rock interaction and reuse of flowback fluid for gel fracturing in desert area [J]. *Geofluids*, 2018, 2018: 8948961.
- [15] ESMAELIRAD N, CARLSON K, WHITE S, et al. Influence of inorganic ions in recycled produced water on gel-based hydraulic fracturing fluid viscosity [J]. *J Pet Sci Eng*, 2016, 139: 104-111.
- [16] 吕杨, 程海波, 赵小兵, 等. 苏里格气田压裂液循环利用技术研究与应用[J]. *石油化工应用*, 2016, 35(6): 87-90.
- [17] 熊颖, 刘友权, 陈鹏飞, 等. 大规模增产作业中液体的回用技术探讨[J]. *石油与天然气化工*, 2014, 43(1): 53-57.
- [18] 庄照锋, 张士诚, 张劲, 等. 硼交联羟丙基瓜尔胶压裂液回收再用可行性研究[J]. *油田化学*, 2006, 23(2): 120-123.
- [19] BULAT D, CHEN Y, GRAHAM M, et al. A faster cleanup, produced water-compatible fracturing fluid: Fluid designs and field case studies [C]//SPE International Symposium and Exhibition on Formation Damage Control. USA, 2008: 1-16.
- [20] 卜有伟, 郝以周, 吴萌, 等. 红河油田压裂返排液回用技术研究[J]. *石油天然气学报*, 2014, 36(6): 139-142.
- [21] 邹鹏, 王林, 张建华, 等. 高价金属离子对压裂返排液循环利用的影响及其室内处理研究[J]. *石油化工应用*, 2016, 35(6): 135-138.
- [22] 袁学芳, 卜涛, 刘举, 等. 塔里木油田酸压返排液重复利用研究[J]. *石油与天然气化工*, 2017, 46(3): 73-77.
- [23] 吴越, 周怡, 蔡远红, 等. 压裂返排液中残余硼交联剂掩蔽方法[J]. *石油钻采工艺*, 2017, 39(5): 652-657.
- [24] PARKER M, SLABAUGH B, WALTERS H, et al. New hydraulic fracturing-fluid technology increases production in the Barnett shale and reduces impact on the environment [C]//SPE Production and Operations Symposium. Oklahoma, 2003.
- [25] 管保山, 汪义发, 何治武, 等. CJ2-3型可回收低分子瓜尔胶压裂液的开发[J]. *油田化学*, 2006, 23(1): 27-31.
- [26] 李旦, 管保山, 王航, 等. 重复利用压裂液 FYC-2 体系性能及应用[J]. *石油工业技术监督*, 2011, 27(10): 5-7.
- [27] 李谦定, 张营, 李善建, 等. 羟丙基胍胶压裂液重复利用技术研究[J]. *西安石油大学学报(自然科学版)*, 2011, 26(5): 60-63.
- [28] 蒲祖凤, 庾文静, 李嘉, 等. 可重复使用压裂液体系开发与试验[J]. *钻采工艺*, 2014, 37(1): 91-93.
- [29] 高虹, 张雪婷, 房殿军, 等. 吉林油田可重复利用压裂液体系研究[J]. *油气田环境保护*, 2017, 27(1): 32-34.
- [30] 陈馥, 卜涛, 吴越, 等. 压裂返排液中残余硼的去除及返排液的重复利用[J]. *石油化工*, 2018, 47(1): 67-73.
- [31] 张永康, 吴家全, 梁利, 等. 树脂去除压裂返排液残余硼交联剂研究[J]. *应用化工*, 2021, 50(10): 2657-2660.
- [32] SAMUEL M, CARD R J, NELSON E B, et al. Polymer-free fluid for hydraulic fracturing [J]. *SPE Drill Complet*, 1999, 14(4): 27-33.
- [33] 鲁大丽, 陈勇, 熊青山. VES压裂液的性能研究与循环使用[J]. *石油化工*, 2018, 47(6): 611-615.
- [34] 杨发, 许飞, 马震. 新型可回收压裂液体系研究与应用[J]. *石油化工应用*, 2018, 37(6): 42-46.
- [35] DAI C L, WANG K, LIU Y F, et al. Study on the reutilization of clear fracturing flowback fluids in surfactant flooding with additives for enhanced oil recovery (EOR) [J]. *Plos One*, 2014, 9(11): e113723.
- [36] YANG X J, MAO J C, ZHANG H, et al. Reutilization of thickener from fracturing flowback fluid based on Gemini cationic surfactant [J]. *Fuel*, 2019, 235: 670-676.
- [37] 李欣. 清洁压裂液研究进展[J]. *能源化工*, 2018, 39(2): 55-59.
- [38] 王满学, 何静, 周兴旺, 等. 清洁压裂液内外相破胶技术研究[J]. *油田化学*, 2011, 28(4): 367-370.
- [39] 李小玲, 丁里, 李宁军, 等. EM50可回收压裂液体系的研制及其在苏里格气田应用[J]. *精细石油化工*, 2016, 33(5): 19-23.
- [40] 吕杨, 程海波, 赵小兵, 等. 苏里格气田压裂液循环利用技术研究与应用[J]. *石油化工应用*, 2016, 35(6): 87-90.
- [41] 石家瑞, 崔佳兴, 王超. 可重复利用合成聚合物压裂液体系的室内研究[J]. *中国石油和化工标准与质量*, 2017, 37(17): 59-61.
- [42] 丁雅勤, 石华强, 黄静, 等. 苏里格气田可回收压裂液体系研制及应用[J]. *油田化学*, 2017, 34(4): 599-603.

- [43] 王所良,黄永章,樊庆缘.可回收聚合物压裂液体系及其性能研究[J].油田化学,2017,34(4):594-598.
- [44] 刘宽,罗平亚,丁小惠,等.抗盐型滑溜水减阻剂的性能评价[J].油田化学,2017,34(3):444-448.
- [45] 刘友权,陈鹏飞,王道成,等.页岩气藏可回收滑溜水[J].石油及科技论坛,2015,34(S1):161-164.
- [46] 樊庆缘,许飞,张家志,等.可快速回用的防冻压裂液体系研究及应用[J].钻采工艺,2021,44(1):120-124.
- [47] 何明航,来轩昂,李宁军,等.苏里格气田压裂返排液回收处理方法[J].天然气工业,2015,35(8):114-119.
- [48] 高燕,赵建平,纪冬冬.2级氧化-混凝法实现压裂返排液重复利用[J].水处理技术,2015,41(11):115-118.
- [49] 喻晓林,石少敏,徐志佳,等.压裂返排液循环利用技术的应用[J].化工环保,2021,41(3):395-398.
- [50] 何焕杰,位华,郑泽旭,等.页岩气压裂返排液重复利用技术[J].工业水处理,2017,37(2):91-94.
- [51] 杨博丽.压裂返排液不落地回收处理技术在苏里格气田的应用[J].石油与天然气化工,2017,46(5):98-105.
- [52] 刘立宏,陈江明,刘通义,等.东北油气田压裂液返排液重复利用技术[J].钻井液与完井液,2015,32(4):92-95.
- [53] 向洪,王涛,刘建涛,等.吐哈油田压裂返排液重复利用技术[J].油气田环境保护,2017,27(1):25-27.

Progress and Prospect of Reuse Technology of Fracturing Flowback Fluid

YAO Lan¹, LI Huanxiang¹, JIAO Wei², ZHOU Jiang², KE Congyu³, ZHANG Qunzheng³

(1. Changqing Downhole Technology Company, CNPC Chuanqing Drilling Engineering Company, Ltd, Xi'an, Shaanxi 710021, P R of China; 2. The Fifth Oil Production Plant of Changqing Oilfield Company, PetroChina, Xi'an, Shaanxi 710299, P R of China; 3. College of Chemistry and Chemical Engineering, Xi'an Shiyong University, Xi'an, Shaanxi 710065, P R of China)

Abstract: With the increasing expansion of the development scale of oil and gas fields, the contradiction between the gradual increase of water consumption for fracturing operation and the large amount of fracturing flowback fluid that cannot be directly discharged is further highlighted. It is undoubtedly an effective way to solve this problem that treat the flowback liquid and reuse it. Aiming at the reuse research and application status of fracturing flowback fluid in China, this paper systematically introduced the technical problems faced in the process of flowback fluid treatment, the research and development of recyclable fracturing fluid system, the improvement of flowback fluid treatment process and treatment device. Treating and reusing the flowback liquid was the best way and was also the inevitable trend of future development of oil and gas field industry. The development of flowback fluid reuse technology should start from the research and development of recyclable fracturing fluid system and the improvement of flowback fluid reuse treatment process, so as to further improve and popularize the application of this technology in the process of oil and gas field development. In view of the problems existing in the current reuse technology of flowback liquid, some suggestions were put forward in order to provide guidance for the development of reuse technology of flowback liquid in China.

Keywords: fracturing flowback fluid; recyclable; fracturing fluid; reuse; review