

高温含硫凝析气藏取样技术探讨

许峰,赵洪涛

中法渤海地质服务有限公司 天津 300452

通讯作者:Email:zhaoh@cfbge.com

引用:许峰,赵洪涛. 高温含硫凝析气藏取样技术探讨[J]. 油气井测试,2019,28(4):20-26.

Cite: XU Feng, ZHAO Hongtao. Discussion on sampling technology of high-temperature sulfur-bearing condensate gas reservoir [J]. Well Testing, 2019, 28(4):20-26.

摘要 渤海某探井具有高温、含H₂S、有凝析油产出等特点,井下PVT取样难度较大。为保证成功获取井下流体样品,梳理了目前渤海地区常用的RD取样阀、RD单相取样器、P.D.S (Positive Displacement Sampler) 正置换式取样器、S.P.S (Single Phase Sample) 单相取样器,以及地面触控式取样器等取样技术,分析了各种取样技术的优势和不足,结合该测试井特征,优选出Proserv公司生产的S.P.S单相取样器进行该井高压物性取样。作业过程中,将取样器安装在取样器托筒上随钻杆下入,在开井流动阶段操作环空压力击穿破裂盘触发取样,获取储层流体样品。经实验室分析,样品闪蒸气油比1 413 m³/m³,油罐油密度0.802 4 g/cm³,单次闪蒸气组分H₂S含量5.73 ppm。对闪蒸油、闪蒸气做组份分析,计算井流物分类组成C₁+N₂为71.62%、C₂-C₆+CO₂为21.09%、C₇+为7.29%认为,样品属凝析气藏范围,与前期认识一致,取样达到了预期效果。S.P.S单相取样器能够适用于含H₂S、CO₂的酸性、具腐蚀性油(气)田,具有保压、抗腐蚀特性,可在类似油气田中推广使用。

关键词 单相取样器;含硫;高温;凝析气藏;PVT取样;组分分析

中图分类号:TE377 **文献标识码**:B **DOI**:10.19680/j.cnki.1004-4388.2019.04.004

Discussion on sampling technology of high-temperature sulfur-bearing condensate gas reservoir

XU Feng, ZHAO Hongtao

China-France Bohai Geoservices Co.,Ltd. Tianjin 300452,China

Abstract: Downhole PVT sampling is difficult to be conducted in a certain exploration well of Bohai Sea Oilfield because of the characteristics of high temperature, containing H₂S and condensate oil. To ensure the successful acquisition of downhole fluid samples, the advantages and disadvantages of RD sampling valve, RD single-phase sampler, P.D.S (Positive Displacement Sampler), S.P.S (Single Phase Sample) and ground touch sampler were analyzed in this paper. In view of the characteristics of the test well, the S.P.S single-phase sampler produced by Proserv Company was selected to sample the high-pressure physical properties of the well. During the operation, the sampler was installed on the sampler bracket and run in hole with the drill pipe. During the flowing stage of well opening, the rupture disk was broken through by the annulus pressure so as to trigger sampling and obtain reservoir fluid sample. Laboratory analysis showed that the flash GOR of the sample was 1 413 m³/m³, the oil density in the tank was 0.802 4 g/cm³, and the H₂S content of the single flash gas component was 5.73 ppm. Based on the component analysis of flash oil and flash gas, the calculated components of the well flow classification were as follows: C₁+N₂ was 71.62%, C₂~C₆+CO₂ was 21.09%, and C₇+ was 7.29%. Therefore, the sample was considered to be the condensate gas reservoirs. S.P.S can be applied to acidic and corrosive oil (gas) fields containing H₂S and CO₂. It can hold the reservoir pressure and has a better anti-corrosion ability, thus it can be widely used in similar oil and gas fields.

Keywords: single-phase sampler; sulfur-bearing; high-temperature; condensate gas reservoir; PVT sampling; component analysis

高压物性取样是从油(气)藏中采集能够反映地层流体真实状态的流体样品。样品经过实验室化验,得到地层流体组成、流体物性参数等,用以指导地层评价、制定油(气)田开发方案、确定油气采

收率^[1-2]。近些年来,随着勘探开发的深入,井况及流体物性日趋复杂,取样难度不断加大,随之而来的是取样方法和技术的发展与创新^[3-5]。目前,国内外取样器虽然种类很多,按照取样器的工作方式

可大致分为流过式空筒取样器、正向驱替式取样器、单相取样器和温度补偿式取样器等几类。流过式空筒取样器是一种在 APR-M2 工具基础上发展起来的 RD 取样器,该取样器当样品圈闭后,取样器仍保持全开,不影响井筒内其它正常作业^[6]。正向驱替式取样器主要由触发机构、空气室和取样室组成,取样过程中,地层样品驱替取样室内的置换液至空气室中^[7]。单相取样器种类较多,卢中原等^[8]介绍了 RD 单相取样器在海上油田探井稠油测试作业中的应用。张文昌等^[9]介绍了一种应用于高含硫气井的抗硫保压单相取样器。林炳南等^[10]介绍了利用钻杆输送,环空压力击穿破裂盘方式激活的压控式井下单相取样器并在中国南海及越南海域成功应用。温度补偿式取样器方面,敬佳佳等^[11]介绍了一种通过真空保温夹层结构和隔热涂层设计实现保温功能的井下取样器,该取样器在 6500.0 m 井深的高含硫气井得到成功应用。

除了可简单按工作方式分类外,取样器的下井方式及触发方式也是决定取样器能否成功进行取样的关键。下井方式主要包括通过绳索悬挂下入(如钢丝、电缆)以及随管柱下入两种。触发方式则包括机械时钟式^[12]、电控式^[13]、摩擦(滑套)式^[14]、电缆触发式^[15]和击穿破裂盘^[16]等。在实际应用中需综合考虑现场井况、地层温度、压力,流体物性等因素,合理制定取样方案,才能确保成功取得地层代表性流体样品。渤海近期针对潜山地层进行 DST 测试,计划进行井下 PVT 取样作业,地层具有高温、含 H₂S、有凝析油产出等特点,取样过程要克服高温、H₂S 腐蚀、保压等问题,通过对现有取样技术进行对比分析,选择 S.P.S 单相取样器进行测试井的取样作业。

1 测试井概况

测试井渤海 A 和测试井渤海 B 为渤海中部两口预探井,取样层位同为潜山地层。前期勘探成果揭示测试层具有高温、含硫等特点,邻井测试资料显示储层为凝析气藏,取样作业难度大。对于凝析气藏,露点压力是确定其流体饱和程度和流体特征的重要依据。影响凝析气藏露点压力因素很多,如流体组分、气油比、多孔介质、非平衡效应等^[17],若要了解储层真实流体性质,必须取得地层条件下代表性的 PVT 样品,取样过程中取样器需尽量保持地层温、压条件。

凝析气藏井下取样的先决条件是取样压力必须高于油气藏流体的露点压力。当压力低于油气藏流体的露点压力时,地层流体从井底向井口流动的过程中会发生油气分离的现象,导致井口所取的流体样品组分偏轻,重质组分产生反凝析而留在井筒中^[18],在预先无法预测油气藏流体时,应尽量选用小油嘴,避免井下压力下降太多。

由于作业井具有高温、含硫等特点,H₂S 有剧毒和强腐蚀性,对取样器材质要求很高,取样器本体及密封件应具有良好的抗硫性;井下温度较高,对取样器的耐高温性也有一定要求。此外,取样器从井下起出过程,随着温度降低,压力减小,可能导致凝析现象发生,取样器选取过程中需要考虑保压功能^[19]。

2 渤海取样技术应用现状

目前,渤海地区常用井下取样技术包括 RD 取样阀取样、RD 单相取样器、P.D.S(Positive Displacement Sampler)正置换式取样器、S.P.S(Single Phase Sample)单相取样器,以及地面触控式取样器等。

2.1 RD 取样阀

RD 取样阀是一种全开型、全通径的井筒取样器,是 APR 测试技术的一种配套工具,与 RD 安全循环阀配合使用。依靠环控加压击破破裂盘触发取样,操作方便,可自由选择取样时机,可以在同一测试不同时间取到不同样品。但由于 RD 取样阀没有保压装置,在取样结束测试管柱起出过程中可能发生油气分离等相态变化,虽然地面转样过程会进行补压操作,但一些组分无法重新溶至原油中,如果生产和科研需要进行有机成份(沥青质、树脂和蜡质等)分析,需要对地层水进行 pH 值测量^[20]。地层水常以水蒸气方式与烃类气体混合在一起存在,或以游离水和水蒸气的方式共同存在。地层水高压物性是很重要的基础数据,在高温凝析气藏储量计算和开发过程中,必须考虑地层水的影响等^[21]。

2.2 RD 单相取样器

RD 单相取样器是在原有 RD 取样阀基础上改进,添加氮气补压装置,可以配合原有的 RD 取样阀使用,在管串的上部和下部分别取样,互为补充,互相验证。在一定程度上可以提高样品准确性,不足是所取样品只有起出地面才能验证样品质量,存在一定取样失败风险。

2.3 地面触控式取样器

采用数字钢丝或电缆下入,地面控制取样器开关,取样过程中可以一并下入直读压力计,根据压力计温度压力实时数据判断井下是否符合取样条件,从而提高取样成功率^[22]。由于钢丝作业电缆下入,需要取样通道,对于螺杆泵井等无下入通道情况无法进行取样作业。

2.4 P.D.S 与 S.P.S 取样器

P.D.S 与 S.P.S 取样器为 Proserv 公司生产的两款取样器,两者的取样原理基本相同,唯一不同的是 S.P.S 取样器相比 P.D.S 取样器,在取样室和空气室之间安装有用于补偿压力的氮气室,避免了常规取样器随温度变化导致的压力降低,同时避免了压力降低导致的部分轻烃类析出,保证了样品的准确性^[23]。两种取样器材质相同,规格相似,具有高强度和良好耐腐蚀性等特点。取样器可以通过不同方式触发,包括机械时钟控制触发、电缆直读地面触发以及击穿破裂盘触发,大大增强了取样器使用的灵活性。

通过几种取样器性能对比,S.P.S 单相取样器集合众多取样器优点,触发方式和下井方式可选(钢丝作业、电缆直读、随拖筒连接到测试管串),可以根据作业井现场情况选取最合理的取样方案,适用性更好。本次测试井具有高温、含硫特点,此外油气藏属凝析气藏,在取样过程中需综合考虑取样器耐高温、耐腐蚀性能以及所取样品稳定性等问题。结合现场作业情况及时效控制,选择 S.P.S 单相取样器随取样器拖筒下入,触发方式为环空加压击破破裂盘。

3 S.P.S 取样器工作原理及技术优势

本段将详细介绍 S.P.S 单相取样器组成、工作原理、主要技术指标,以及取样器的防腐蚀性能等,结合测试井高温、含硫、存在凝析现象等特点,确保取样器满足作业要求,能够成功获取凝析气藏井下流体样品。

3.1 取样器工作原理

S.P.S 单相取样器由氮气室、取样室、空气室、触发机构四部分组成。取样室用作存储地层样品,氮气室注满氮气并预置一定压力(通常高于地层压力 13.5 MPa),空气室用作存储取样过程由取样室替换过来的置换液。

作业准备时,氮气室和取样室分别注满氮气和置换液,空气室抽真空。当触发装置启动后,地层流体

推动取样室活塞向上运动,挤压置换液,受挤压的置换液通过取样器内部的连通的通路进入空气室,排泄速率由节流阀控制;当取样室充满样品后,游动活塞碰到预置关断组件,取样口关闭。同时触发换向开关打开,取样室与氮气室连通,当从井下起出过程中,随着温度降低,当取样室内流体收缩引起压力下降时,压缩状态氮气室起到对取样室流体压力补偿作用,避免由于压力降低造成流体有效组分析出的情况,有利于获取高质量样品,取样器取样前、后状态示意图如图 1、图 2 所示。S.P.S 取样器可以选择机械时钟、电子时钟、电缆触发及破裂盘触发等触发方式,本次根据实际作业需求选用破裂盘压力触发器,在选择破裂盘时,需要考虑套管和测试管柱承压能力、测试阀操作压力、环空承压能力、取样点深度静液柱压力等因素,选择合理触发压力。

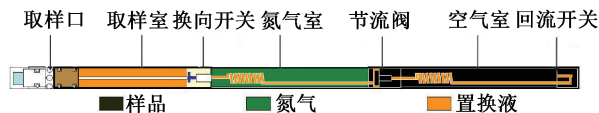


图 1 S.P.S 取样前结构状态图

Fig.1 Structure state of single-phase sampler before sampling

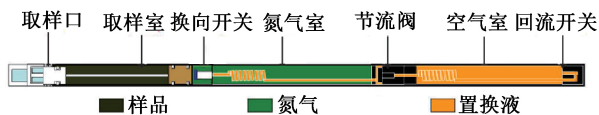


图 2 S.P.S 取样后结构状态图

Fig.2 Structure state of single-phase sampler after sampling

3.2 技术优势

S.P.S(单相取样器)是在 P.D.S(正置换式取样器)基础上,通过在取样室和空气室之间安装氮气室实现保压功能的。P.D.S 取样器取样前后结构状态如图 3、图 4 所示。

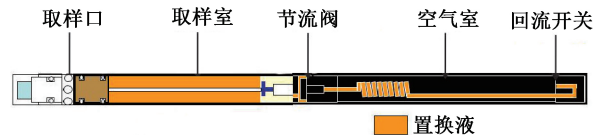


图 3 P.D.S 取样前结构状态图

Fig.3 Structure state of positive displacement sampler before sampling

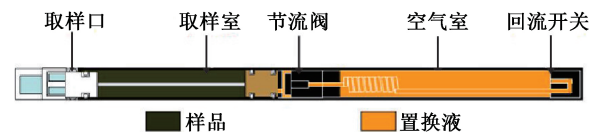


图 4 P.D.S 取样后结构状态图

Fig.4 Structure state of positive displacement sampler after sampling

对于 P.D.S. 取样器,当到达预定深度触发取样后,在取样器穿梭机构形成一个通路,地层样品通过取样孔进入取样室,受压的置换液排泄到空气室,排泄速率由节流器控制,这时置换液压力下降,游动活塞在井下压力作用下向上移动,慢慢汲取地层样品。当游动活塞触碰关断组件后,触发限位销钉弹出锁死,关闭取样器。

相比 S.P.S, P.D.S 取样器由于没有氮气对样品压缩作用,取样器上提至地面的过程中,由于压力、温度的变化,可能会造成流体有效组分析出,虽然后期实验室通过增压泵进行压力补偿,但是一些析出的成分将无法重新溶解到原油中(如地层水)。S.P.S 是针对 P.D.S 所存在的不足进行改进而出现的,二者之间可以自由切换,当需要进行单相取样室,只取在 P.D.S 取样器的取样室和空气室之间加装保压部分即可(氮气室)。

表 1 为 S.P.S 和 P.D.S 的主要技术参数,二者材质相同,规格相近,唯一区别是 S.P.S 由于增加氮气部分使得整体长度和重量有所增加。长度的增加在一定程度上给现场施工增加了不便,同时由于需要对氮气室进行高压氮气预充,这就要求对氮气瓶运输和氮气预充的整个过程做好充分的风险分析和安全预案。在进行取样之前,需要详细了解地层温度、压力条件,保证取样作业在取样器安全工作范围内进行。

表 1 S.P.S 和 P.D.S 主要技术参数

Table 1 Main technical parameters of S.P.S and P.D.S

名称	最大工作 压力/ MPa	最高工 作温度/ ℃	外径/ m	长/ mm	氮气室 容积/ mL	取样室 容积/ mL	重量/ kg
S.P.S	103.5	180	42.8	5 054	450	600	44
P.D.S	103.5	180	42.8	3 683	-	600	28

S.P.S 具备在高含 H₂S、CO₂ 和高气油比的井中工作的能力,这得益于其良好的材质。取样器所选材质为 17-4PH (AISI 630) 和 CA104 等,前者为沉淀硬化型马氏体不锈钢,特点是高强度和良好耐腐蚀性,在所有可硬化不锈钢中,630 的抗腐蚀能力最优^[24]。CA104 为铝青铜材料,特点是强度高、高耐磨,适合用于螺杆、螺帽、铜套、密封环等耐磨的零部件,最突出的特点就是其良好的耐磨性。所有材料选材标准符合 NACE MRO175/ISO15156(石油与天然气工业——在油气生产中含 H₂S 环境下使用的材料)标准,该标准是由美国腐蚀工程师协会(National Association of Corrosion Engineers, 简称

NACE) 和国际标准化组织 ISO 共同发布,共三部分,分别于 2001 年和 2003 年公布^[25]。腐蚀标准制定的代表性机构中,NACE MRO175 标准应用最广泛,已成为公认的酸性油田环境抗硫化物应力开裂和应力腐蚀开裂合金材料的选材标准,该标准是依据大量材料丰富的试验数据和现场使用数据建立起的 H₂S 环境服役条件下的材料选择标准^[26]。除此之外,取样器内部密封圈同样采用高抗硫化氢橡胶,具有很强的抗硫、耐腐蚀性能,取样器经过 Lloyd's Register of Shipping(劳埃德船级社)检查认证,性能安全、可靠。

除了材质可靠,能够在严苛环境下正常作业外,取样器组装简单,能够与不同触发机构配合使用,在不需要保压功能时还可以简化工具使其成为 P.D.S 正置换取样器,作业者可以根据自己需要自由选择取样器的下入方式,这在很大程度拓宽了该系列取样器的使用环境。

4 现场应用

渤海 A 井取样器深度 3 451.79 m,取样温度 138 ℃。地面分离器样品分析结果显示,地层有 CO₂ 和 H₂S 产出,CO₂ 含量 6.9%~7.3%,H₂S 含量 10.5~14.5 ppm。

本井取样采用拖筒携带取样器下井,击穿破裂盘触发取样,一次钻杆下入成功获取了井下 PVT 样品。待取样器取出至地面之后,检查取样器工作正常,将所取样品转入取样瓶,送实验室进行高压物性分析。

对所取样品分别进行闪蒸实验、恒质量膨胀实验、定容衰竭实验等分析。闪蒸实验结果显示,闪蒸气油比 1 413 m³/m³,油罐油密度 0.802 4 g/cm³,单次闪蒸气组分 H₂S 含量 5.73 ppm;对闪蒸油、闪蒸气做组份分析,计算井流体组成,井流物的分类组成:C₁+N₂ 为 71.62%,C₂~C₆+CO₂ 为 21.09%,C₇⁺ 为 7.29%,将结果投点到油气藏流体类型三角相图上(图 5),样品落在凝析气藏的范围。

在进行了全组份相图包络线计算和恒质量膨胀计算后,得到流体相态图(图 6),图中临界压力为 29.53 MPa,临界温度 -22.2 ℃;临界凝析压力 46.08 MPa,临界凝析温度 363.3 ℃。从相图上看,地层温度等值线处于临界点右侧并远离临界点,随压力下降反凝析液量增大。地面凝析油含量 548.46 g/m³,地层最大反凝析液量为 18.56%,储层

为高含凝析油凝析气藏,与钻前认识一致。

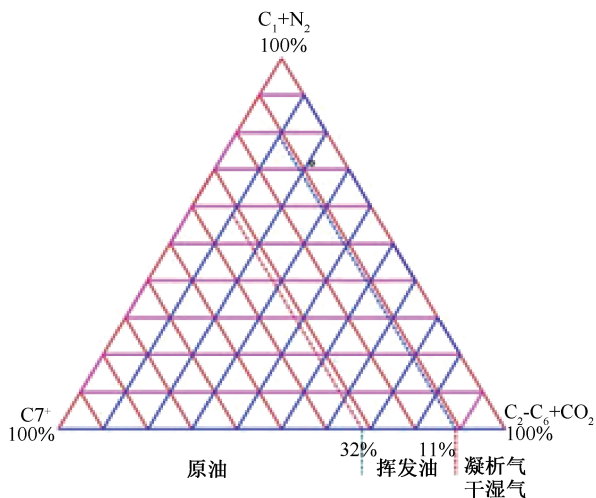


图5 渤海A油气藏流体类型三角图

Fig.5 Triangular diagram of formation fluid types of Well Bohai A

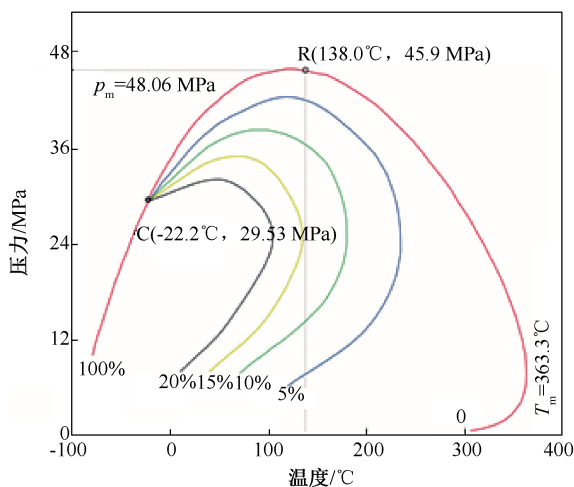


图6 渤海A井地层流体相态图

Fig.6 Formation fluid phase diagram of Well Bohai A

渤海B井同样采用拖筒携带取样器下井,击穿破裂盘触发取样,取样器深度4 340 m,地层压力47.23 MPa,取样温度168.3 °C,生产气油比486 m³/m³,测前分析地层可能有H₂S产出,取样器应具备足够的耐温性和抗硫性,S.P.S单相取样器能够满足以上取样条件。

渤海B井井下PVT取样过程顺利,成功获取了地层流体样品,实验室对样品进行闪蒸实验、恒质量膨胀实验、定容衰竭实验,结果显示:样品油罐油密度0.809 9 g/cm³;油罐油气油比17 m³/m³;气组分H₂S含量为7.47 ppm。井流物的分类组成如下:C₁+N₂为62.66%,C₂~C₆+CO₂为22.28%,C₇⁺为15.06%,置于三角相图上,属轻质油藏的范围(图7),该油藏流体气油比高,液相收缩性较强,但中间

组分低,液烃密度大,为挥发性油藏流体。

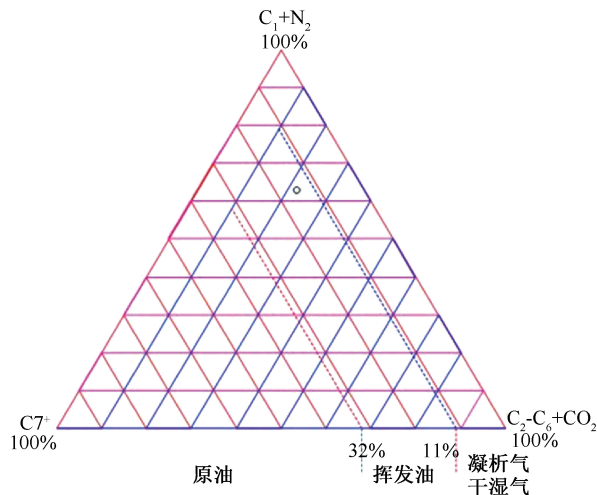


图7 渤海B井油气藏流体类型三角图

Fig.7 Triangular diagram of formation fluid types of Well Bohai B

根据样品组成,对三个温度点的不同泡点压力进行了拟合计算,在进行了全组份相图包络线计算后,得到烃类流体相态图(图8),从相态图上看,流体符合轻质油藏特征。图中临界压力为37.60 MPa,临界温度为231.2 °C;临界蒸发压力为41.79 MPa,临界凝析温度为392.8 °C。

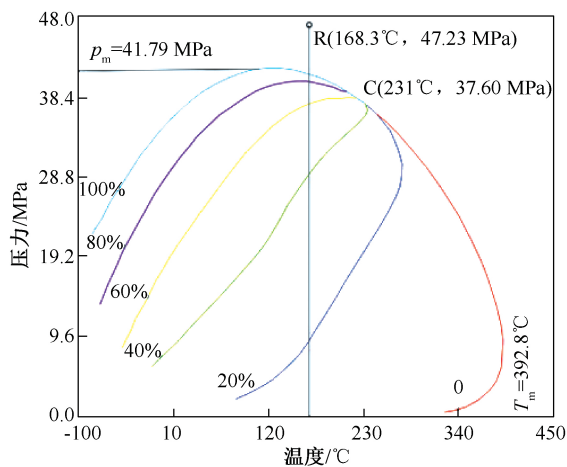


图8 渤海B井地层流体相态图

Fig.8 Formation fluid phase diagram of Well Bohai B

渤海B井样品分析结果与钻前认识存在一定差异,潜山地层非均质性较强,不同区块潜山地层流体组成、油藏性质存在差别。

5 结论

(1)S.P.S单相取样器具有在高含H₂S、CO₂和高气油比环境中工作的能力,有助于提高复杂油气田取样成功率,克服了一定的取样壁垒。

(2) S.P.S 取样器与 P.D.S 取样器属同一系列,可根据作业需求不同进行转换,该系列取样器下井方式和触发方式可选,使用灵活性较高。

(3) 目前, S.P.S 单相取样器仅具备保压功能,没有考虑温度对样品的物理化学状态的影响,在后期取样器改进中,建议增加保温功能,这有助于提高样品质量,获取更接近真实储层状态下地层样品;此外, S.P.S 工具长度较长,增加了现场作业难度,后续还需进一步改进。

(4) S.P.S 取样器虽然具备一定技术优势,但作业成本相对较高,推荐在特殊井取样作业时使用,对一般井取样作业建议使用 P.D.S 或其他常规取样工具。

致谢:在论文的编写过程中,得到了李大亮、于伟强等人提供资料支持和技术指导,得到了本刊外审专家的宝贵意见,在此一并表示感谢。

参考文献

- [1] 张伟. 高压物性取样技术在雅达油田的成功应用[J]. 油气井测试, 2016, 25(5): 68-70.
ZHANG Wei. Successful Application of PVT Technology in Yada Oilfield [J]. Well Testing, 2016, 25(5): 68-70.
- [2] 鲁宜全, 鹿天柱, 张钦东, 等. 非自喷井高压物性资料录取工艺应用研究[J]. 油气井测试, 2002, 11(2): 70-71.
LU Yiquan, LU Tianzhu, ZHANG Qindong, et al. A study on application of the technology for PVT sampling from non-natural flow wells [J]. Well Testing, 2002, 11(2): 70-71.
- [3] 时振东, 李大亮. 新实时取样技术的研究与前景展望[J]. 化工管理, 2018(14): 77-78.
SHI Zhendong, LI Daliang. Research and prospect of new real-time sampling technology [J]. Chemical Enterprise Management, 2018(14): 77-78.
- [4] 全美娟, 夏正春, 李希孝. 新型电子式高压物性取样器的设计与实现[J]. 石油化工自动化, 2008(5): 72-74.
TONG Meijuan, XIA Zhengchun, LI Xixiao. Design and realization of a new electronic high pressure physical property sampler [J]. Automation in Petro-Chemical Industry, 2008(5): 72-74.
- [5] 刘文晖, 严勋, 朱续平. 智能型微电子高压物性取样器研究开发[J]. 油气井测试, 2006, 15(1): 64-66.
LIU Wenhui, YAN Xun, ZHU Xuping. R & D of aptitude microelectronic high pressuresample [J]. Well Testing, 2006, 15(1): 64-66.
- [6] 李茂华, 罗承跃, 吴军. RD 取样器及其应用[J]. 油气井测试, 2003, 12(4): 67-68.
LI Maohua, LUO Chengyue, WU Jun. RD sampling apparatus and its application [J]. Well Testing, 2003, 12(4): 67-68.
- [7] 张兴华, 扬子, 冯卫华, 等. 单相和置换式 PVT 取样技术在探井测试中的研究[J]. 石油工业技术监督, 2014(2): 27-29.
ZHANG Xinghua, YANG Zi, FENG Weihua, et al. Research of single phase and displacement PVT sampling technique in exploration well test [J]. Technology Supervision in Petroleum Industry, 2014(2): 27-29.
- [8] 卢中原, 杜连龙, 陈光峰, 等. 单相取样器在海上油田探井稠油测试作业中的应用[J]. 化工管理, 2017(21): 14.
LU Zhongyuan, DU Lianlong, CHEN Guangfeng, et al. Application of Single phase sampler in heavy oil test operation for offshore oilfield exploration well [J]. Chemical Enterprise Management, 2017(21): 14.
- [9] 张文昌, 党军胜, 杨明滔, 等. 高抗硫保压井下取样器的研制及在 P202-1 井中的应用[J]. 石油钻采工艺, 2013, 35(2): 122-124.
ZHANG Wenchang, DANG Junsheng, YANG Mingtao, et al. Development and application of high sulfate resistant and pressure keeping samplers on Well P202-1 [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2013, 35(2): 122-124.
- [10] 林炳南, 梁昕, 赵洪绪. 压控式井下单相高压物性取样技术及应用[J]. 油气井测试, 2014, 23(3): 61-63.
LIN Bingnan, LIANG Xin, ZHAO Hongxu. Technique of single-phase high-pressure down-hole sampling by pressure-controlled and its application [J]. Well Testing, 2014, 23(3): 61-63.
- [11] 敬佳佳, 刘清友, 黎伟, 等. 高含硫气井保温保压取样系统设计[J]. 石油钻采工艺, 2012, 34(2): 108-111.
JING Jiajia, LIU Qingyou, LI Wei, et al. Design on heat and pressure preservation sampling system for high sulfur gas well [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2012, 34(2): 108-111.
- [12] 邓大军, 齐彦强, 杜庆召, 等. PDS 高压物性取样及转样应用分析[J]. 油气井测试, 2008, 17(4): 43-44.
DENG Dajun, QI Yanqiang, DU Qingzhao, et al. Application and analysis of PVT sampling and transfer by positive displace sampler [J]. Well Testing, 2008, 17(4): 43-44.
- [13] 李志江, 李春生, 周志江. PVT 电控式高压物性取样研究[J]. 油气井测试, 2002, 11(6): 51-53.
LI Zhijiang, LI Chunsheng, ZHOU Zhijiang. A Study on Electric Control PVT Investing Set [J]. Well Testing, 2002, 11(6): 51-53.
- [14] 田明, 高山军, 杨学本. 高压取样技术的研究与应用[J]. 石油钻采工艺, 2013, 35(6): 118-121.
TIAN Ming, GAO Shanjun, YANG Xueben. Study and application of high pressure sampling technology [J]. Oil Drilling & Production Technology, 2013, 35(6): 118-121.
- [15] 任大明, 许峰, 李大亮. 电缆地面触发 P.D.S. 取样器技术的应用[J]. 石化技术, 2017(3): 81-83.
REN Daming, XU Feng, LI Daling. Application of cable

- triggering P.D.S. technology [J]. Petrochemical Industry Technology, 2017(3):81-83.
- [16] 戴卢军, 杨子, 高科超, 等. 渤海油田探井测试井下 PVT 取样技术进展研究与改进[J]. 油气井测试, 2017, 26(5):62-65.
- DAI Lujun, YANG Zi, GAO Kechao, et al. Research and improvement on down-hole PVT sampling technique progress in exploratory well testing in Bohai Oilfield [J]. Well Testing, 2017, 26(5):62-65.
- [17] 田昌炳, 罗凯, 胡永乐, 等. 凝析气露点压力的确定及影响因素[J]. 石油学报, 2003, 24(6):73-76.
- TIAN Changbing, LUO Kai, HU Yongle, et al. Determination method and affecting factors for dew point pressure of condensate gas [J]. Acta Petrolei Sinica, 2003, 24(6):73-76.
- [18] 连军利, 侯读杰, 庞长英. 高压凝析气藏流体取样技术[J]. 石油天然气学报(江汉石油学院学报), 2010, 32(3):156-157, 160.
- LIAN Lijun, HOU Dujie, PANG Changying. High pressure condensate gas reservoir sampling technology [J]. Journal of Oil and Gas Technology (J. JPI), 2010, 32(3):156-157, 160.
- [19] 何生厚. 普光高含 H_2S 、 CO_2 气田开发技术难题及对策[J]. 天然气工业, 2008, 28(4):82-85.
- HE Shenghou. Technical problems and countermeasures of developing the Puguang gas field with high H_2S and CO_2 content [J]. Natural Gas Industry, 2008, 28(4):82-85.
- [20] 黄旭望. 压控式取样器的研制与应用[J]. 油气井测试, 2012, 21(5):73-74.
- Huang Xuwang. Development and application of voltage-controlled sampler [J]. Well Testing, 2012, 21(5):73-74.
- [21] 刘建仪, 郭平, 李士伦, 等. 异常高温凝析气藏地层水高压物性实验研究[J]. 西南石油学院学报, 2002, 24(2):9-11.
- LIU Jianyi, GUO Ping, LI Shilun, et al. Experimental study of formation water properties at high pressure for abnormally-high-temperature condensate gas reservoir [J]. Journal of Southwest Petroleum Institute, 2002, 24(2):9-11.
- [22] 时振东, 李大亮. 新实时取样技术的研究与前景展望[J]. 化工管理, 2018(14):77-78.
- SHI Zhendong, LI Daliang. Research and prospect of a new real-time sampling technology [J]. Chemical Enterprise Management, 2018(14):77-78.
- [23] 高科超, 高飞, 杨子, 等. 渤海油田普通稠油冷采测试工艺[J]. 油气井测试, 2019, 28(1):38-44.
- GAO Kechao, GAO Fei, YANG Zi. Cold production testing technology for heavy oil well in Bohai Oilfield [J]. Well Testing, 2019, 28(1):38-44.
- [24] 胡凯, 武明雨, 李运刚. 马氏体不锈钢的研究进展[J]. 铸造技术, 2015, 36(10):2394-2400.
- HU Kai, WU Mingyu, LI Yungang. Research progress of martensitic stainless steel [J]. Foundry Technology, 2015, 36(10):2394-2400.
- [25] 葛有琰, 杜强. 含硫化氢环境油气田开发材质选择标准方法——NACE MR0175 /ISO 15156 的应用概要[J]. 石油与天然气化工, 2008, 37(5):410-415.
- GE Youyan, DU Qiang. The standard method of material selection in H_2S —Containing oil-gas production [J]. Chemical Engineering of Oil & Gas, 2008, 37(5):410-415.
- [26] 刘海定, 王东哲, 魏捍东, 等. 酸性油气田用高性能不锈钢的选材与应用[J]. 腐蚀与保护, 2011, 32(10):817-821.
- LIU Haiding, WANG Dongzhe, WEI Handong, et al. Materials selection and application of high performance stainless steels used in sour oil and gas fields [J]. Corrosion & Protection, 2011, 32(10):817-821.

编辑 刘述忍

第一作者简介:许峰,男,1975年出生,工程师,1997年毕业于天津化工学院热能工程专业,现主要从事试井测试及数据资料解释分析工作。电话:022-25809851, 13802127698; Email:xufeng@cibgc.com。通信地址:天津市滨海新区东沽石油新村地质路548信箱中法渤海地质服务有限公司,邮政编码:300452。