储气库复杂作业井连续油管配套作业技术研究与应用

刘全和（中油辽河油田公司，辽宁 盘锦 124000）

摘 要：连续油管作业技术具有起下时间短、设备占地面积小，减少停产时间，起下管时可以循环，防喷设备压力等级高，全封闭油管可带压作业，对地层伤害小，施工安全，维护方便，可以通过大斜度井等特点，在储气库新井注采作业、老井处理作业中发挥重要作用。通过研究完善连续油管配套作业技术，有效解决注采作业时堵塞器卡阻、钢丝作业无法作业，以及油管内打捞电缆钢丝落物、射孔补层困难、酸化措施不理想等问题，形成了连续油管打捞技术、连续油管水平井拖动酸化技术、连续油管注采井油管内封堵技术、连续油管双校深技术等一系列连续油管配套作业技术，在作业现场应用广泛，取得较好的应用效果及经济效益，为储气库建设提高了技术保障。

关键词：储气库；连续油管；打捞；酸化；射孔

0 引言

连续油管作业技术具有起下时间短、设备占地面积小，减少停产时间，起下管时可以循环，防喷设备压力等级高，全封闭油管可带压作业，对地层伤害小，施工安全，维护方便，可以通过大斜度井等特点。目前辽河油田储气库公司全力推进双台子储气库群建设，作业平均单井施工周期 20 天，老井处理平均单井施工周期 61 天，高效高质量完成全年生产任务，但是在作业过程中也出现一些难题。

通过连续油管配套作业技术的研究，在注采完井和老井处理方面发挥重要作用。针对大尺寸井注采施工中遇到的问题，我们可以改进堵塞器与封隔器的匹配，确保堵塞器顺利坐封，从而解决堵塞器卡阻的问题。同时，我们还可以针对大尺寸井的注采能力提出改进建议，提高酸化效果，以满足更高的生产需求。在建库初期的井下施工中，我们可以改进使用的堵漏剂，避免地层返出造成钢丝作业效果不佳的问题。通过调整堵漏剂的配方和使用方法，降低堵漏剂的返出率，提高钢丝作业的成功率。此外，对于个别井的封隔器坐封困难问题，我们可以研发新的封隔器材料和技术，提高封隔器的坐封性能，确保施工的顺利进行。对于老井的处理，我们可以通过加强井史资料的收集和整理，了解井况情况。

针对井下复杂的状况，我们可以开展清理井内落物的工作，包括电缆钢丝等。这对于下一步的施工措施和储气库的建库速度都具有重要的影响。对于因储层物性不理想导致产能达不到预期效果的注采井，我们可以考虑进行补孔作业。但是由于目前采用的是永久式封隔器坐封，修井的成本较高。因此，我们可以开展研究，探索新的封隔器坐封方式，降低修井作业的成本，提高补孔作业的效率。

总之，连续油管配套作业技术研究在解决注采完井和老井处理中的问题上具有重要的作用。通过改进配套作业的方法和材料，我们可以提高施工的效率，保证建设进度和注采产能的达标。

1 连续油管打捞技术

连续管载荷敏感性高、低速性能好；相比钢丝作业，连续油管工作强度相对较高，除了在直井中可替代钢丝作业，还可以在水平井及大斜度井中应用，实现开关滑套、投取桥塞等工具。利用打捞工具、震击器，实现连续油管打捞作业，与大多数打捞工具兼容，可一趟管柱连续循环冲洗、打捞落鱼。利用连续油管输送桥塞、开关滑套或者油管内堵塞器，可实现快速、经济的堵塞作业，允许带压施工，定位准确。

大尺寸井在注采完井施工时，钢丝作业投堵塞器失败，堵塞器卡在气密封隔器底部 2124.6m 处，采用斯伦贝谢提供的专用打捞工具配合连续油管进行多次打捞，均未捞获。多次组织会议分析，堵塞器锚瓦张开，外径大于封隔器内径 3mm，若上提管柱堵塞器容易卡死在封隔器内，并造成封隔器的损坏，只能下放管柱靠管柱自身重量下压堵塞器，解卡后使堵塞器锚瓦收回。工具由上接头、芯轴、卡瓦、剪断销钉、引鞋组成。工具进入鱼顶后，上提管柱，卡瓦下行沿锥体张开，完成打捞。若解卡不成功打捞器脱手剪切力设计 10–15t，通过过提 10–15t 销钉剪断，实现脱手。8 月 22 日应用连续油管连接打捞工具 + 扶正器，下放油管至 2137m 遇阻捞获，下压 21kN，堵塞器离开封隔器底部，反复上提下放活动，堵塞器锚瓦收回，顺

利提至井口，解卡打捞成功。

对于油管内钢丝落物打捞方法，常用抽油杆打捞或连续油管打捞。根据计算结果，连续油管抗拉强度高于抽油杆。如果打捞过程中钢丝绳发生断裂，不能一次全部捞获，需多次打捞，使用连续油管打捞效率明显高于使用抽油杆打捞。连续油管打捞，施工全程井控风险小、易受控。连续油管打捞，可根据需要进行循环洗压井。施工周期短。但是连续油管不能进行旋转作业，采用常规钢丝打捞工具无法进行打捞。设计一种自旋转打捞外钩，主要由上接头、换向轨道、外钩、本体、水眼组成，上接头设计换向机构，两个对称销钉，四个轨迹槽。通过连续油管下压、上提，轨迹槽换向，带动钩体旋转。上提、下压一次，钩体旋转 180 度。上接头设计水眼，可循环洗压井。解决了连续油管不能实现旋转打捞问题，能够捞实钢丝绳。

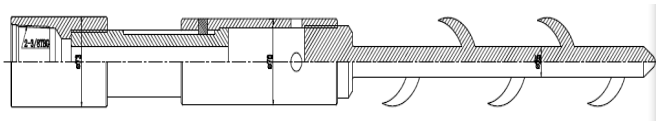

图 1　自旋转打捞外钩设计图

双 31 井老井施工时原井管柱卡，活动解卡 700kN 无效，准备进行油管内切割，进行油管内通井时遇阻，打印判断为钢丝绳状物。应用自旋转打捞外钩打捞钢丝 3 次，共捞出 362m 钢丝绳（6mm），打捞成功率 100%，油管内钢丝落物全部捞出。

利用连续油管小直径优势，利用连续油管将机械切割工具串下至目标点，利用高液压驱动螺杆马达旋转，同时高液压产生的过流压差推动割刀外张，完成管柱的切割，配套连续油管切割装备，解决井下卡管柱问题，减少大修套铣、倒扣打捞次数，可缩短占井周期 6–8 天，大幅提高施工效率。该井在打捞完成后进行连续油管定点切割，采用大排量、大扭矩设计马达及高性能硬质合金刀片，下连续管底带割刀至 H：2744.48m，泵压 7.6MPa，排量 84L/min，2h 切割成功，大幅度提高切割效率。

2 连续油管水平井拖动酸化工艺

针对水平井常规笼统酸化效果不理想的问题，连续油管拖动酸化是一种快速、低成本的方法。在酸化施工时将酸液均匀地分布在水平井的整个水平段，使整个水平井段的储层均得到酸液的解堵处理，真正实现钻水平井长井段暴露产层达到提高产能的目的和效果，解决水平井的增产难题。

2.1 研制过回接筒接头

受回接固井工艺限制，在回接筒底部存在约 0.5m 长、270mm 内径的环形空间，回插后留有 0.55m 的间隙。因连续油管弯曲，下入过程容易贴套管壁进入回接筒环形空间出现多次遇阻。现场经过几次试验，最后设计加工圆倒角 Φ60mm×60mm 导锥头，周围有 4 水眼均匀，可实现水力扶正，加工后，一次顺利下入。

2.2 优化酸液配方

为保证酸液对地层堵塞物处理效果，减少酸液对连续油管及筛网的腐蚀。优选体系：多元有机复合体系（多元酸 + 氟盐 + 盐酸等），对连续油管 1.5g/m^2·h，对筛网 2.2g/m^2·h，低于标准要求 3.0g/m^2·h，溶蚀率 75%。

2.3 研制气液分离减压装置

为保证酸化后返排过程中井控及环保受控，研究设计分离减压罐，该装置可实现减压、气液分离两项功能。装置组成：进、出液管道、孔式铜挡板、换向三通、罐体、闸阀等组成。

2.4 现场施工

下入连续油管：6 月 25 日连续油管清水边循环边下入，26 日 10 时下连续油管至脚尖，泵压 18MPa，排量 0.3m^3/min。

水平段布酸：11 时排量 0.3m^3/min，连续油管上提速度 5m/min，布酸至 2770m 时，泵压从 18MPa 迅速下降至 14MPa，有明显的酸化解堵反应，上提至脚跟段 2524m 后，泵压为 9MPa。后清水循环上提至井口时。

大排量挤酸：连接双千压裂车组利用临时注气管柱挤酸，20 时开始，排量 1.2m^3/min，泵压 1.2MPa，之后提至 1.7m^3/min，泵压一直为 4.5MPa，24 时施工结束，井口油压降为 0MPa。分析：挤酸时井底流压为 28.5MPa，减去管柱摩阻 11MPa，当日地层压力为 17.5MPa，储层生产压差为负值，大排量挤酸解堵见到效果。正顶替清水 40m^3。

返排酸液：闷井 24h，28 日早 6 时，井口油压 16MPa，连续油管氮气气举返排，0–2200m 出口返大量天然气，返出清水 3m^3，气举过程未见酸液。由于连续油管防喷设备耐气密封能力有限，且多次出现水合物冻堵，为防止连续油管在井下冻堵，16 时起出全部连续油管。

连续油管水平段布酸 30m^3，施工压力 18 → 9MPa，说明酸与筛网、地层堵塞物反应，水平段过流通道被

疏通；大排量注酸 150m^3，排量 1.2 → 1.7m^3/min，施工压力 6 → 4.9 → 0MPa，停泵压力归零，地层持续吸收，酸化效果较好。焖井 24h，油压 0 → 16MPa，气体返入井筒。28 日连续油管气举排液至 2200m，未返液，储层已经激活。该井 6 月 20 日洗井作业后开井当日成功进气，日注气量逐步攀升，酸化前 6 月 25 日油压 19.1MPa，地层压力 19.1MPa，根据井筒模拟计算井底流压，注气压差为 1.2MPa，计算注气指数 1.8*10^4/MPa^2，酸化后 6 月 30 日井口油压 19.0MPa，地层压应力 19.6MPa，计算井底流压折算注气压差 0.8MPa，计算注气指数 2.3*10^4/MPa^2，注气指数提升。与双 6 目前多轮次注采后的定向井与水平井相比，酸化迅速恢复了该井的生产能力。

3 连续油管注采井油管内封堵技术

针对注采井钢丝作业投堵失败的问题，设计一种通过连续油管将封堵管柱下至气密封封隔器与堵塞器坐落短节之间油管内，水泥车连接连续油管打压，使封堵管柱坐封在油管内进行封堵，坐封后水泥车连接井口油管闸门打压，坐封气密封隔器。

封堵管柱组合：底部球座泄压式总成 + 螺旋式扶正器 + 连续油管扩张式封隔器连续油管扩张式封隔器，主要部件：上下接头、上下胶筒座、中心管、扩张胶筒等组成。主要功能：通过连续油管加压使胶筒扩张，实现气密封油管内封堵。

底部球座泄压式总成，主要部件：上接头、可调式平衡阀、筛管等组成。主要功能：平衡油套通道压差，方便连续油管起下，油管加压通道关闭。施工前结合工艺所了解井况施工要求条件，单井次的调整平衡压力（0.5~1.2MPa）满足入井管柱的可靠施工。

4 连续油管双校深技术

研制四寸接箍定位器，通过矛爪与井内坐落短接坡面接触产生的拉力变化确定下入深度。在实验基地进行 5 次起下模拟实验，确定矛爪张开 98mm（坐落短接内径 96.85mm），上倒角 60 度时，下过坐落短接无遇阻显示，上提有明显波峰显示。投球打压 5.6MPa，矛爪收入外筒内，工具最大外径缩为 90mm，无刮碰顺利起出。

使用连续油管连接伽马测试仪下入井内读取管车深度脉冲信号，利用伽马曲线进一步校深连续油管深度。使用连续油管射孔过程中考虑到井斜、摩擦等因素会造成连续油管堆积变形，通过软件计算连续油管伸长量，避免射孔出现深度误差。为抵消管柱屈曲变形，要求射孔管柱到达预定深度后，上提 5m。

连续油管双校深技术、连续油管深度修正技术在双 035-20 井过油管射孔中成功应用。使用接箍定位技术一次定位成功，投球打压 10MPa，矛爪收入外筒顺利起出。使用伽马测试仪对射孔深度进行二次校深，多方开会论证最终确定射孔枪位置，与实际深度相符合。

使用连续油管带入外径 76mm 射孔枪，携带超深穿透弹，下至预计深度上提 5m，分 5 段射孔，打压约 30MPa，利用 TCP 射孔监测系统确定射孔枪发射成功。历时 5 天，实现全部射孔弹一次发射成功。

5 结论

①连续油管作业技术可有效解除注采管柱管内原油、蜡或水合物的堵塞，可实现过注采完井管柱气举、射孔等作业施工，可大幅度减少作业工期，有效避免注采井起管柱工况的发生，安全可靠，现场应用效果显著；

②连续油管打捞工具技术，可实现连续油管对卡在封隔器中的堵塞器解卡打捞，并改进堵塞器结构，成功完成两口大尺寸井气密封封隔器的坐封。实现上提下放连续油管打捞钢丝作业，成功避免小修转大修作业，节省作业成本；

③连续油管水平井拖动酸化工艺，保证连续油管顺利通过回接筒及安全可控，减少酸液对连续油管及筛网的腐蚀，改善酸化处理效果，充分动用储层；

④连续油管注采井油管内封堵管柱，取消钢丝作业封堵油管，实现永久式封隔器坐封，避免起注采管柱情况的发生，节省作业成本及材料损耗，提高生产时效。

参考文献：

[1] 吕振宁 . 文 108 气井连续油管打捞技术及应用 [J]. 内蒙古石油化工 ,2012(01).

[2] 吴永兴 , 朱培珂 , 等 . 连续油管打捞工艺在水平井的应用问题及措施 [J]. 石油矿场机械 ,2016(07):018.

[3] 徐克彬 , 马昌庆 , 等 . 水平井连续油管拖动选择性酸化工艺 [J]. 石油钻采工艺 ,2014(06):019.

[4] 邹洪岚 , 朱洪刚 , 等 . 水平井连续油管拖动转向酸化技术在艾哈代布油田的应用 [J]. 石油钻采工艺 ,2014(02):022.

[5] 徐培刚 , 陆应辉 , 等 . 连续油管传输射孔异常分析及对策 [J]. 石油矿场机械 ,2016(09):013.