

◀ 油气开采 ▶

doi:10.11911/syztjs.201506017

海上多元热流体高效注入管柱关键工具研究

王 通¹, 孙永涛¹, 邹 剑², 周法元², 张 伟², 张 华²

(1. 中海油田服务股份有限公司油田生产研究院, 天津 300450; 2. 中海石油(中国)有限公司天津分公司渤海石油研究院, 天津 300450)

摘 要:目前海上多元热流体热采使用的简易式注入管柱存在管柱整体隔热性较差和水平段多元热流体注入不均等问题。为此,研制了隔热关键工具和分段注热工具,并对注入水平段进行了分段设计,形成了海上多元热流体高效注入管柱。该管柱的隔热段主要由隔热油管、隔热接箍、隔热扶正器、隔热补偿器和隔热封隔器组成,具有良好的整体隔热性能,能减少注入热流体的热损失;水平段主要由均衡注入阀、分段封隔器和油管扶正器组成,能够实现水平段均匀注入。隔热关键工具和分段注热工具均能满足在 330 ℃ 高温下长期工作的需求,隔热性能均达到 D 级,其中均衡注入阀已应用 7 井次,水平段均实现了均匀注入。研究表明,多元热流体高效注入管柱及其关键工具能够满足海上多元热流体热采高效注入的要求。

关键词:多元热流体 热采 注入管柱 封隔器 扶正器 补偿器

中图分类号:TE925 **文献标志码:**A **文章编号:**1001-0890(2015)06-0093-05

Key Tools for Assuring a High Efficiency Heat Injection String for Multiple Thermal Fluids in Offshore Wells

Wang Tong¹, Sun Yongtao¹, Zou Jian², Zhou Fayuan², Zhang Wei², Zhang Hua²

(1. Production Optimization Research Institute, China Oilfield Services Limited, Tianjin, 300450, China; 2. Bohai Oil Research Institute, Tianjin Branch of CNOOC (China) Co., Ltd., Tianjin, 300450, China)

Abstract: At present, the simple heat injection string pipes used by multiple thermal fluids technology in offshore wells have poor whole-pipe thermal insulation, and are uneven in multiple thermal fluid injection of horizontal sections. In order to solve these problems, high-efficiency injection strings for offshore multiple thermal fluids were designed by developing key thermal insulation tools and step heat injection tools and by designing horizontal sections for heat injection by sections. The thermal insulation section of the string consists of insulated tubing, insulated coupling, insulated centralizer, insulated compensator and insulated packer. Due to its excellent insulation performance on the whole, the heat loss of injected thermal fluids dropped. Its horizontal section, which could implement even heat injection in horizontal sections, consisted of uniform fill-up valves, segmenting packers and tubing centralizers. All key insulated tools and step heat injection tools could meet the requirements for long-term operation at 330 degrees and with Grade D in heat insulation performance. The uniform heat allocation device had been applied 7 times to wells with implementation of uniform heat injection in horizontal sections. In summary, multiple thermal fluids could be injected efficiently offshore by using the high-efficiency multiple thermal fluid injection strings together with the corresponding key tools.

Key words: multiple thermal fluids; thermal recovery; injection pipe string; packer; centralizer; compensator

多元热流体热采技术自 2008 年在渤海稠油油田进行推广以来,已在南堡 35-2 油田、旅大 5-2 北油田应用近 20 井次,取得了显著的增产效果^[1-5]。目前该技术主要采用由隔热油管、带孔油管组成的简易注入管柱,结构简单、起下方便,但却存在以下缺点:1)由于该注入管柱无热采封隔器,为防止高温热流体上返至油套环空,环空需要连续或间歇注氮气,因此增加了作业成本,并且使气窜风险增大;

2)海上热采井多为水平井,水平段不采用分段注热流体,容易造成注入水平段的热流体不均匀,降低油

收稿日期:2015-06-08;改回日期:2015-11-09。

作者简介:王通(1987—),男,宁夏中卫人,2008年毕业于中国石油大学(华东)过程装备与控制工程专业,2011年获中国石油大学(华东)油气井工程专业硕士学位,工程师,主要从事海上稠油热采、井下工具方面的研究工作。

联系方式:wangtong3@cosl.com.cn。

基金项目:中国海洋石油总公司重大专项“多元热流体、蒸汽吞吐和 SAGD 热采关键技术研究”(编号:YXKY-2013-TJ-01)资助。

藏加热效果;3)注入管柱只采用隔热油管,未采用隔热扶正器、隔热接箍等隔热工具,注入管柱的整体隔热性能有待于提高与加强^[6-9]。鉴于此,研制了海上多元热流体高效注入管柱。

1 管柱结构及工作原理

1.1 设计思路

针对简易多元热流体注入管柱存在的问题,将多元热流体注入管柱设计成 2 段:隔热段和注热段。隔热段指井口至水平段(油层上部)的管柱,其作用是输送热流体至油层,因此必须尽可能地提高该段管柱的隔热性能,以减少热流体的热能损失,增强热采效果。注热段主要指水平段管柱,其作用是将热流体分配至油层。注热段采用分段注入管柱,以提高水平井段均匀注入程度,抑制吸热过高井段,促进吸热过低井段,提高油藏的动用程度。

1.2 结构及工作原理

海上多元热体高效注入管柱的结构自下而上为:引鞋+普通油管(水平段分段封隔器+水平段油管扶正器+均衡注入阀)(若干)+变扣接头+隔热封隔器+气举阀+隔热补偿器+隔热扶正器(若干)+隔热油管(含隔热接箍)至井口,如图 1 所示。

该管柱的工作原理为:注热前先向油套环空内注入氮气,通过气举阀掏空油套环空内的液体,使油套环空内充满氮气;注入热流体时由于隔热封隔器和气举阀的阻挡作用,能有效防止热流体进入油套环空,保证油套环空被氮气充满;同时隔热接箍等隔热工具进一步提高了管柱的整体隔热性能,避免高温对套管与水泥环的损害;注入热流体时,分段封隔器将水平段分为若干个独立单元,每个单元内设有一定数量和型号的均衡注热阀,以达到水平段均匀注入热流体的目的。

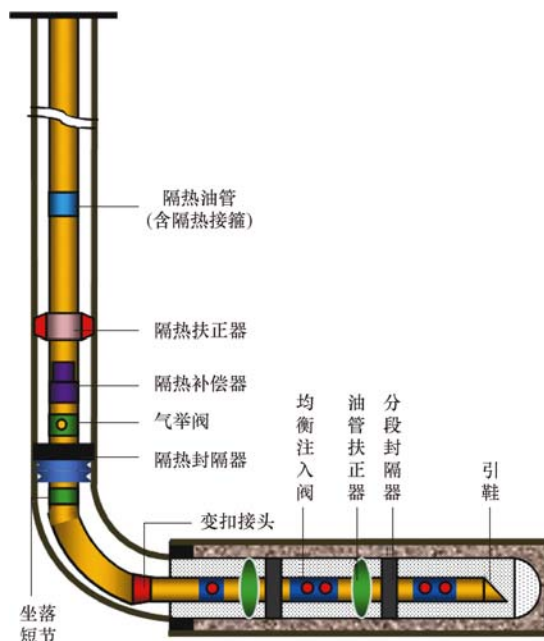


图 1 海上热流体高效注入管柱的结构

Fig. 1 Schematic of high-efficiency offshore thermal fluid injection string

2 关键工具

2.1 隔热封隔器

隔热封隔器主要由密封机构、锁紧机构、锚定机构和解封机构组成,如图 2 所示。其工作原理为:坐封时,通过钢丝将堵子下至坐落短节,从油管内开始加压,压力传递至上活塞剪断坐封销钉,楔入并压缩密封件坐封,封闭油套环空;下活塞下行将卡瓦撑开并锚定在套管上,泄压后锁紧机构锁紧,防止密封件回弹,坐封结束后,通过钢丝回收堵子。解封时,上提管柱,锚定机构相对套管不动,中心管随管柱一起上行,剪断解封锁钉,释放解封锁块,释放卡瓦脱离套管,再次上提将封隔器完全解封。

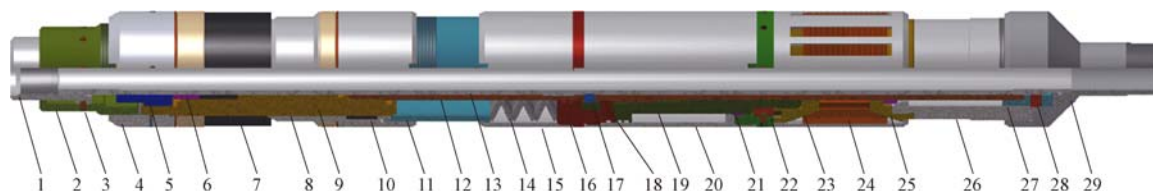


图 2 隔热封隔器的结构

Fig. 2 Schematic of heat insulated packer

1. 上接头;2. 提拉套;3. 解封锁钉;4. 胶筒座;5. 压紧螺丝;6. 垫环;7. 胶筒;8. 楔入体;9. 胶筒芯轴;10. 橡胶圈;11. 碟簧压环;
12. 外中心管;13. 内中心管;14. 碟簧;15. 碟簧套;16. 上活塞;17. 锁块 1;18. 锁块 2;19. 下活塞;20. 缸套;21. 锁环;22. 坐封销钉;
23. 上锥体;24. 卡瓦;25. 下锥体;26. 解封锁套;27. 解封锁块套;28. 锁块 3;29. 下接头

室内高温模拟试验表明,选用楔入式复合密封件^[10](改性聚四氟乙烯加石墨胶筒+镍铬丝护肩+铜碗)能保证封隔器长期在 330 ℃高温下承压 20 MPa。

2.2 隔热补偿器

隔热补偿器主要由隔热接头、补偿内管、内密封和隔热外管等部分组成(见图 3),其作用是补偿注入热流体过程中高温造成的井下管柱的伸长量,防止注热流体时管柱无法伸缩,造成封隔器密封失效或者压弯管柱;同时,该补偿器具有隔热和传递扭矩的功能。其隔热原理为:该补偿器的上接头和本体均为 2 层管结构,通过焊接形成一个环状的密封腔体,抽真空使该腔体变成真空层,并在真空层内填充隔热材料,以减少热对流、热辐射和热传导,获得较好的隔热性能。另外,在下入过程中上提补偿器内管时,内管上的凹凸槽与密封盒内的凹凸槽相互啮合,此时补偿器能够整体旋转,实现扭矩传递。根据密封性评价试验并考虑经济性,选用高碳纤维盘根和石墨的交叉组合作为内密封材料。

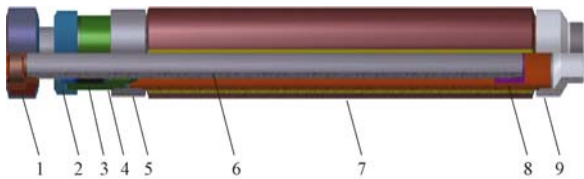


图 3 隔热补偿器的结构

Fig. 3 Schematic of insulated compensator

1. 上接头;2. 压帽;3. 内密封材料;4. 密封盒;5. 中间接箍;
6. 补偿内管;7. 隔热外管;8. 承重接头;9. 下接头

2.3 隔热扶正器

隔热扶正器主要由隔热接箍、隔热内管、扶正体、扶正块和回弹体组成,如图 4 所示。

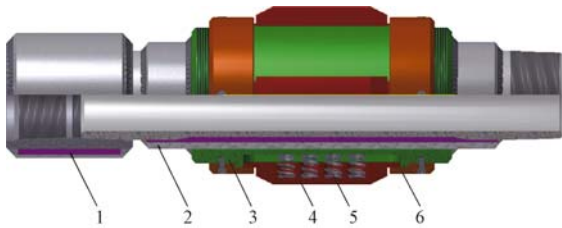


图 4 隔热扶正器的结构

Fig. 4 Schematic of insulated centralizer

1. 隔热接箍;2. 隔热内管;3. 扶正体;4. 扶正块;5. 回弹体;6. 护环

其工作原理为:该扶正器与隔热油管连接后下入井内,扶正器通过扶正体上的扶正块支撑在套管壁面上,使扶正器和注入管柱居于套管的中心轴线上,防止或减少注入管柱直接贴合套管内壁,减少热

量损失。在隔热原理方面,扶正器的接箍及本体均具有良好的隔热性能,其隔热原理与隔热补偿器类似,采用“双管抽真空+充填隔热材料”的方式。

2.4 均衡注入阀

均衡注入阀主要由中心管、换向套、密封环和配注孔组成,如图 5 所示。其工作原理为:注入热流体时,热流体通过中心管内的配注孔流出,由于换向套的作用,流向变为沿着管柱轴线方向,避免了高速热流体对筛管的直接冲击。依据最大外径和泄流面积的不同,注入阀型号不同,根据每个水平井段配注量设计要求确定注入阀的数量及型号,以达到均匀注入热流体的目的。

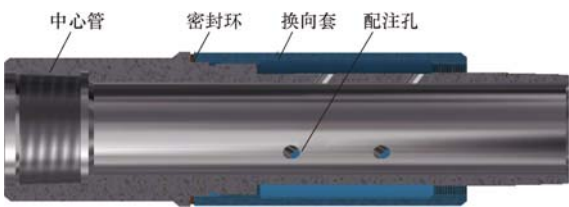


图 5 均衡注入阀的结构

Fig. 5 Schematic of uniform heat allocation device

2.5 分段封隔器

分段封隔器主要由连接机构、密封机构、支撑机构和坐封机构组成,如图 6 所示。其工作原理为:当注入热流体时,由于温度升高,热敏金属开始膨胀,当温度达到 200 ℃时,热敏金属件推动密封胶筒扩张至与套管内壁接触,实现初步坐封。初步坐封后,封隔器上下两端形成压力差,通过平衡气孔的热蒸汽继续推动密封胶筒向外扩张,实现自动密封;停止注热流体后,随着温度降低,密封件自动回收,实现解封。

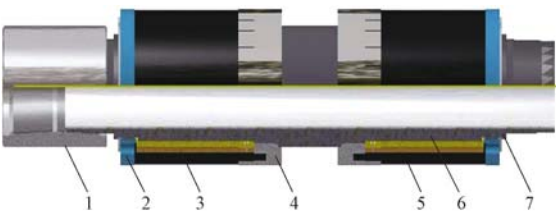


图 6 水平段分段封隔器的结构

Fig. 6 Schematic of segmenting packer in horizontal sections

1. 上接头;2. 挡环;3. 热敏金属;4. 支撑环;5. 胶筒;
6. 中心管;7. 下接头

2.6 主要技术参数

表 1 为各关键工具的主要技术参数。

表 1 关键工具的技术参数

Table 1 Technical parameters of key tools

工具	最大外径/mm	通径/mm	耐压/MPa	密封压差/MPa	工作温度/℃	总长/mm	适用套管直径/mm
隔热封隔器	210	76	20	20	330	2 073	244.5
隔热补偿器	145	62	20		350	4 050	≥177.8
隔热扶正器	190	76	30		350	640	244.5
均衡注热阀	93	52	30		350	620	≥127.0
分段封隔器	116	62	35		330	675	139.7

由于多元热流体具有较强的腐蚀性,所以为了防止注入管柱发生腐蚀,所有与热流体相接触的工具零部件均采用铬钼钢,并对其表面进行镀镍磷处理,且在注入多元热流体时伴注耐高温缓蚀剂。

3 室内和现场试验

根据相关标准和要求^[11-12],对所有关键工具进行了室内试验和现场试验,结果表明,所有工具均达到了相应要求,其中隔热扶正器和隔热型补偿器的视导热系数分别为 0.017 9 和 0.009 9 W/(m·℃),隔热性能达到 D 级。

3.1 隔热封隔器试验

隔热封隔器地面试验结果显示:该封隔器坐封压力约 18 MPa,压缩距为 150 mm,满足胶筒压缩需要;最大锚定力为 816 kN,为理论需要值的 1.3 倍,最大解封力为 81 kN。在井下高温试验(试验原理见图 7)过程中,以氮气为试验介质,将封隔器从室温升至 330 ℃,在此过程中隔热封隔器均能承受 20 MPa 的压差(见表 2)。

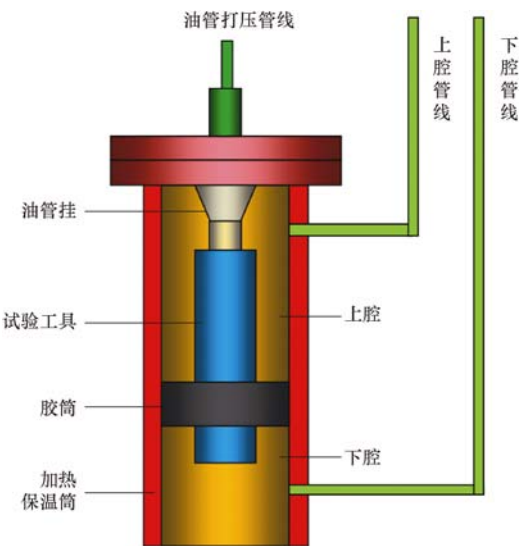


图 7 高温试验原理示意

Fig. 7 Schematic of theory of high temperature experiment

表 2 隔热封隔器在高温下的承压性能

Table 2 Bearing pressure performance of heat injection packer at high temperatures

温度/℃	中心管压/MPa	上腔压力/MPa	下腔压力/MPa	备注
250	0.04	0.03	20.05	
313	0.04	0.03	20.25	
330	0.04	0.03	20.22	稳压 2 h
332	0.04	0.03	20.22	稳压 2 h

3.2 隔热补偿器试验

将隔热补偿器装配好,在常温至 350 ℃之间选取 6~7 个温度点检测其密封性能,结果见表 3。由表 3 看出,补偿器在不同温度下均能承受 20 MPa 的压差,密封性良好。

表 3 隔热补偿器在不同温度下的承压性能

Table 3 Bearing pressure performance of insulated compensator at different temperatures

温度/℃	中心管压力/MPa	套压/MPa	密封情况	备注
64	19.55	0.95	良好	稳压 10 min
160	19.04	0.23	良好	稳压 5 min
200	19.21	0.39	良好	稳压 5 min
263	18.50	0.34	良好	稳压 5 min
331	21.11	0.15	良好	稳压 20 min
355	20.20	0.85	良好	稳压 30 min

3.3 水平段分段封隔器试验

将水平段分段封隔器装配好,分别进行常温试验与高温试验。常温下该工具整体耐压 35 MPa,不渗不漏,钢体及丝扣无损坏和变形。高温试验结果表明,该工具的坐封温度为 240 ℃,能耐 330 ℃高温,高温下承压达 10 MPa。

3.4 均衡注入阀现场试验

均衡注入阀在渤海油田稠油井中试用了 7 井

次,均达到了水平段均匀注入热流体的目的。

4 结 论

1) 海上多元热流体高效注入管柱无需环空连续注氮,能够降低注氮成本,并且该管柱采用了隔热扶正器和隔热补偿器,能极大地提高管柱的隔热性能,减少高温对水泥环的损害。

2) 海上多元热流体高效注入管柱的关键工具均能满足耐高温的要求,性能达到了设计要求。

3) 水平段设置均衡注入阀,能达到均匀注入热流体的目的。

参 考 文 献

References

- [1] 唐晓旭,马跃,孙永涛. 海上稠油多元热流体吞吐工艺研究及现场试验[J]. 中国海上油气,2011,23(3):185-188.
Tang Xiaoxu, Ma Yue, Sun Yongtao. Research and field test of complex thermal fluid huff and puff technology for offshore viscous oil recovery[J]. China Offshore Oil and Gas, 2011, 23(3):185-188.
- [2] 刘敏,高孝田,邹剑,等. 海上特稠油热采 SAGD 技术方案设计[J]. 石油钻采工艺,2013,35(4):94-96.
Liu Min, Gao Xiaotian, Zou Jian, et al. SAGD technology conceptual design of thermal recovery explore for offshore extra-heavy oil[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2013, 35(4):94-96.
- [3] 林涛,孙永涛,孙玉豹,等. 多元热流体返出气增产技术研究[J]. 断块油气田,2013,20(1):126-128.
Lin Tao, Sun Yongtao, Sun Yubao, et al. Enhanced recovery technique of return gas from multiple thermal fluids[J]. Fault-Block Oil & Gas Field, 2013, 20(1):126-128.
- [4] 薛婷,檀朝东,孙永涛. 多元热流体注入井筒的热力计算[J]. 石油钻采工艺,2012,34(5):61-64.
Xue Ting, Tan Chaodong, Sun Yongtao. Thermodynamic calculation on multiple fluid in thermal recovery wellbore[J]. Oil Drilling & Production Technology, 2012, 34(5):61-64.
- [5] 梁丹,冯国智,曾祥林,等. 海上稠油两种热采方式开发效果评价[J]. 石油钻探技术,2014,42(1):95-99.
Liang Dan, Feng Guozhi, Zeng Xianglin, et al. Evaluation of two thermal methods in offshore heavy oilfields development [J]. Petroleum Drilling Techniques, 2014, 42(1):95-99.
- [6] 房军,贾朋,薛世峰. 水平井蒸汽均匀配注参数设计[J]. 石油机械,2010,38(3):31-33.
Fang Jun, Jia Peng, Xue Shifeng. Uniform horizontal well steam injection allocation parameter design[J]. China Petroleum Machinery, 2010, 38(3):31-33.
- [7] 韩允祉,盖平原,张紫军,等. 深层稠油超临界压力注汽管柱设计[J]. 石油钻探技术,2005,33(3):64-65.
Han Yunzhi, Ge Pingyuan, Zhang Zijun, et al. Design of steam injection pipe set for producing deep heavy oil under over critical pressure[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2005, 33(3):64-65.
- [8] 易勇刚,张传新,于会永,等. 新疆油田水平井分段完井注汽技术[J]. 石油钻探技术,2012,40(6):79-83.
Yi Yonggang, Zhang Chuanxin, Yu Huiyong, et al. Segregated completion and subsection steam injection for horizontal wells in Xinjiang Oilfield[J]. Petroleum Drilling Techniques, 2012, 40(6):79-83.
- [9] 刘坤芳,张兆银,孙晓明,等. 注蒸汽井套管热应力分析及管柱强度设计[J]. 石油钻探技术,1994,22(4):36-40,61.
Liu Kunfang, Zhang Zhaoyin, Sun Xiaoming, et al. Analyses of steam-injected well casing thermal stress and casing string strength design[J]. Petroleum Drilling Techniques, 1994, 22(4):36-40, 61.
- [10] 刘花军,孙永涛,王新根,等. 海上热采封隔器密封件的优选试验研究[J]. 钻采工艺,2015,38(3):80-83.
Liu Huajun, Sun Yongtao, Wang Xingen, et al. Optimization test on seal elements of packers for offshore thermal recovery [J]. Drilling & Production Technology, 2015, 38(3):80-83.
- [11] GB/T 20970—2007/ISO 14310:2001 石油天然气工业井下工具:封隔器和桥塞[S].
GB/T 20970—2007/ISO 14310:2001 Petroleum and natural gas industries:downhole equipment:packers and bridge plugs [S].
- [12] SY/T 6304—1997 注蒸汽封隔器及井下补偿器技术条件[S].
SY/T 6304—1997 Technical standard of thermal packer and expansion joint[S].
- [13] SY/T 5324—2013 预应力隔热油管[S].
SY/T 5324—2013 Pre-stress insulated tubing[S].

[编辑 刘文臣]