中原油田原油稳定系统绿色低碳优化研究

孟祥涛

（中国石化中原油田分公司安全环保处）

摘 要 针对中原油田原油稳定系统进行绿色低碳优化研究，按照“压缩规模、优化工艺、提高系统效率”的原则，分析和论证了“在柳屯油库新建 1 座年处理量 100 万 t 原油稳定系统，替代目前 6 座联合站原油稳定系统进行生产”的可行性，可以有效解决地面集输系统中存在的上述问题，提高系统整体能效水平，促进绿色企业行动建设。

关键词 绿色低碳；原油稳定系统；碳排放；能效

DOI：10.3969/j.issn.1005-3158.2019.05.009 **文章编号：** 1005-3158(2019)05-0034-04

0 引 言

中原油田是国内陆上老油田之一，原油产量于 1988 年达到最高峰 722 万 t，又经过 20 年的开发后，到 2018 年产量下降至 126 万 t，原油含水达到 95%。联合站是油田地面集输系统心脏，其原油稳定系统作为油气处理的关键工艺，不仅是联合站的主要耗能系统，而且是联合站最大的碳排放源。目前，中原油田各联合站所处理原油的油品性质、处理量均与设计值发生了严重偏离。在实际生产运行中中原油田黄河以北的 6 座联合站的原油稳定系统存在运行效率低，成本高、能耗高、安全风险大、碳排放大等问题，急需进行优化和改造。

1 现 状

中原油田 4 个采油厂黄河以北的 6 套原油稳定系统建于 20 世纪 80～90 年代，随着原油产量的逐年降低，目前 6 套原油稳定系统 2017 年实际原油稳定量为 107×10^4 t，与原设计处理能力 850×10^4 t/a 相比，严重不匹配。主要存在以下问题。

1.1 生产负荷严重偏离设计值

原油处理量与设计值有较大变化，且原油产量逐年降低，6 套原油稳定系统能力均过剩，负荷率最高仅为 17.21%，各设备实际生产负荷严重偏离设计工况，各联合站目前原油稳定系统负荷统计见表 1。

1.2 运行效率低

通过 Hysys 软件并结合 6 座站场原油稳定系统的实际工艺运行参数进行模拟分析，各站加热炉、压缩机等耗能设备运行效率较低，各联合站加热炉及压缩机运行效率[1]对比见表 2。

表 1 各联合站原油稳定系统负荷统计

采油厂	联合站	投产时间	设计原油稳定量/（万 t·a^{-1}）	实际原油稳定量/（万 t·a^{-1}）	装置负荷率/%
文留采油厂	文一联	1982.7	150	22.95	15.30
濮城采油厂	濮三联	1985.12	200	31.03	15.52
文卫采油厂	明一联	1987.11	150	25.81	17.21
文卫采油厂	马寨联	1994.5	50	4.39	8.78
文留采油厂	文二联	1983.7	150	19.23	12.82
濮城采油厂	胡状联	1986.5	150	18.76	12.51
合计			850	122.17	14.37

表 2 各联合站加热炉、压缩机运行效率对比 kW

项目	加热炉			压缩机		
	运行	模拟	差值	运行	模拟	差值
文一联	510.67	376.35	134.32	45.56	22.51	23.05
濮三联	612.07	522.92	89.15	75.02	51.51	23.51
马寨联	589.57	424.34	165.23	40.54	6.14	34.4
明一联	175.36	104.45	70.91	33.56	1	32.56
文二联	484.7	334.42	150.28	82.73	21.84	60.89
胡状联	555.51	443.34	112.18	116.31	13.03	103.28

1.3 能耗和碳排放量大

6 座联合站原油稳定系统因稳定加热耗天然气量合计 365.99×10^4 m^3/a，理论耗天然气量合计 2.68×10^6 m^3/a；耗电量合计 312.26×10^4 kW·h/a，理论耗电量合计 $1.016\ 5\times10^6$ kW·h/a；油综合能耗 4.73 kg（标煤）/t，理论油综合能耗 3.17 kg（标煤）/t；碳排放量 11 356.9 t/a，理论碳排放量 6 907.62 t/a，各站原油稳定系统耗能和碳排放对比见表 3。

孟祥涛，1995 年毕业于江汉石油学院安全工程专业，高级工程师，现任中原油田安全环保处节能科科长，从事节能低碳管理工作。通信地址：河南省濮阳市华龙区中原路 277 号油田办公楼 214，457001。E-mail：706952601@qq.com。

表 3　各联合站原油稳定系统耗能和碳排放对比

联合站	耗燃料气/(10^4 m^3 · a^{-1})		耗电/(10^4 kW · h) · a^{-1}		油综合能耗/(kg(标煤) · t^{-1})		碳排放量/(t · a^{-1})	
	实际	理论	实际	理论	实际	理论	实际	理论
文一联	61.94	45.64	39.91	19.73	3.82	2.76	1 769.87	1 203.28
濮三联	74.24	63.43	65.72	45.11	3.44	2.9	2 307.69	1 856.63
明一联	71.51	51.47	35.51	5.38	3.86	2.68	1 933.22	1 181.19
马寨联	21.27	12.67	29.4	0.88	7.27	3.87	771.31	286.14
文二联	58.79	40.56	72.47	19.13	4.53	2.93	2 040.29	1 085.98
胡状联	78.24	53.77	69.25	11.41	5.46	3.89	2 534.52	1 294.30
合计	365.99	267.54	312.26	101.65	4.73	3.17	11 356.90	6 907.62

1.4 运行成本高

由于 6 座联合站原油稳定系统负荷低，能耗高，造成实际生产运行成本高，运行总成本每年 1 884.49 万元，吨油综合成本 17.62 元，各联合站原油稳定系统运行成本对比见表 4。

表 4　各联合站原油稳定系统运行成本对比

联合站	折旧/万元	装置操作成本/万元	轻烃拉运费/万元	总成本/万元	油综合成本/(元 · t^{-1})
文一联	36.19	201.83	58.72	296.74	15.62
濮三联	27.55	308.1	120.63	456.28	16.89
明一联	30	230.75	7.8	268.55	11.2
马寨联	20	126.72	0	146.72	36.68
文二联	30	282.94	58.25	371.19	21.83
胡状联	30	291	24	345	21.56
合计	173.74	1 441.35	269.4	1 884.48	17.62

1.5 装置安防点多，管理难度大，风险等级高

现运 6 套原油稳定系统的稳定塔、轻油罐等压力容器使用年限在 20 a 以上，根据 GB 150.1—2011《压力容器 第 1 部分：通用要求》及 SH/T 3074—2007《石油化工钢制压力容器》的规定，塔、反应器等设备的设计寿命为 15～20 a，因而安全风险大。各联合站中轻烃的外运方式为罐车拉运，拉运距离较远，其蒸汽与空气形成爆炸性混合物遇明火、高温、氧化剂有燃烧爆炸危险，从而导致拉运风险较大。

2　技术优化研究

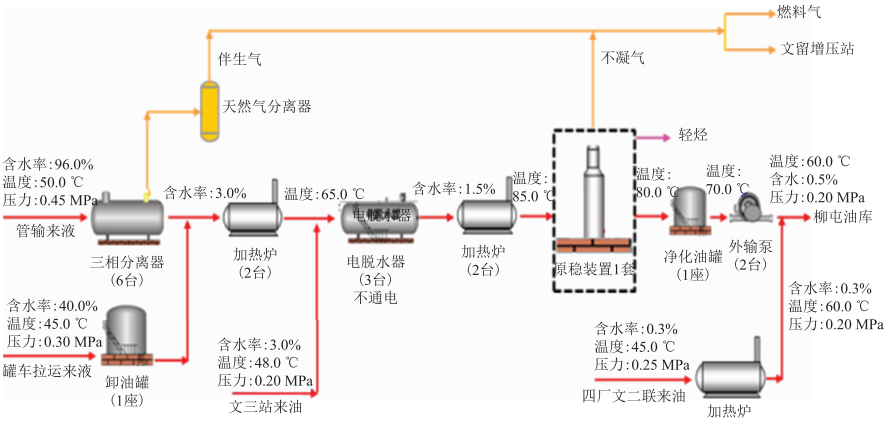
对中原油田原油稳定系统集中优化改造，可以实现以下效果：装置运行负荷与原油处理量相匹配，提高装置运行效率，降低能耗，大幅减少二氧化碳排放量；解决现有装置存在的安全隐患；减少人工成本、设备维修成本、轻烃拉运成本；降低拉运风险，减少安防点，降低安全管理难度。

2.1 技术思路

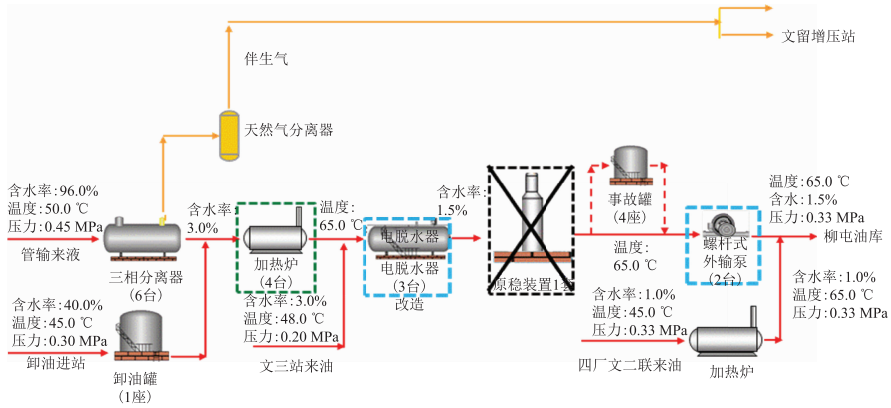
在保证目前在运的 6 座联合站原油脱水系统平稳运行的前提下，合理调整原油稳定系统的建设地点、处理规模、产品去向；考虑未来 10 a 东濮老区（黄河以北）原油产量在 95×10^4～105×10^4 t/a 以内，在油气储运中心柳屯油库新建 1 套 100×10^4 t/a 处理能力的原油稳定系统，采用负压闪蒸工艺原油稳定系统；停运 6 座联合站已建的原油稳定装置，对各站进行改造，各联合站原油进行脱水处理后，未稳定原油利用油气混输装置混输至柳屯油库后到集中处理点稳定；集中处理点生产的轻烃管输至二气厂处理，不凝气输至三气厂处理；同时，充分结合集团公司信息化要求，实现科学化、精细化管理，推进“绿色企业”创建，达到提高劳动效率、降低劳动强度与减员增效的目的，联合站改造前后工艺流程对比见图 1。

2.2 装置选址

经过统筹考虑各联合站外输管线总体走向（原油均输送至柳屯油库）[2]，新建原油集中稳定处理系统宜选取在油气储运中心柳屯油库。油气储运中心具有国内外联合站投产运行的经验和技术储备，与油田各采油厂及下游用户建立了良好的合作关系；同时，因各采油厂的原油稳定系统将停产拆除，原系统操作人员将择优配置到新建系统上，所以在系统操作方面不存在问题。柳屯油库现有 16×10^4 m^3 原油储罐区、管道输送工艺流程及设备，选址在柳屯油库，在上游采油厂原油管道输送、原油稳定系统运行以及向下游用户输送方面具有巨大优势，对于处置各种突发情况具有较大的灵活性和针对性。



(a) 联合站改造前工艺流程



(b) 联合站改造后工艺流程

图 1 联合站改造前后工艺流程对比

2.3 工艺类型

根据 Hysys 软件对 6 座联合站未稳定原油的模拟计算，未稳定原油中 C_1～C_4 的质量分数分别为 1.24%，1.33%，0.74%，1.00%，1.45% 及 0.27%，均小于 2.50%；同时，中原油田的原油黏度较低，宜采用负压闪蒸原油稳定工艺，其原理是利用原油中轻重组分挥发度不同实现轻重组分的分离。

技术特点：负压稳定法不能将未稳定原油中的轻重组分彻底分离，该法适用于密度较大的原油，因为较重的原油中所含的轻组分较少，负压闪蒸能得到较好的效果，一般稳定温度在 50.0～80.0℃，稳定塔塔顶操作压力－0.03～－0.07 MPa，关键设备是负压压缩机。

应用条件：原油中轻组分 C_1～C_4 的质量分数在 2.50%以下；只限制稳定深度，不要求轻组分收率[3]；原油脱水温度略高于原油储存温度。

2.4 工艺流程

控制各联合站的原油外输压力，确保各厂原油混合后，进原油稳定系统前压力为 0.20 MPa；含水 1.5%的来油首先进入三相分离器，分离出的未稳定原油送至换热器与稳定原油进行换热，温度达到 52.0℃，再通过水套炉换热升温到 65.0℃；升温后的未稳定原油通入原油稳定塔，原油的入塔压力为 0.02 MPa，塔顶气相出口压力为－0.03 MPa，塔底流出的稳定原油通过来油换热器换热至 50.0℃，利用外输泵增压后外输。

原油稳定塔出来的气相混合后先进入压缩机入口冷凝器冷凝至 40.0℃，经负压分离罐后进行油气水分离，分离出的气相通入塔顶压缩机，塔顶压缩机的入口压力为－0.03 MPa，出口压力为 0.30 MPa，出塔顶压缩机的气相再次通过压缩机出口冷凝器冷凝至 40.0℃，进入正压分离罐进行分离，分离出的不凝气，经不凝气增压机增压至 0.80 MPa 后，通过管道送至三气厂；分离出的轻烃进入二气厂轻烃深加工装置；分离出的污水与负压分离罐分离出的污水混合后，管输到马寨联合站进行处理；三相分离器起到分离缓冲作用，同时，当后期来液含水量增加，在三相分离器内进行脱水处理[4]，新建原油稳定系统工艺流程见图 2。

增压及计量流程：在柳屯油库对各厂来油计量，再将各厂原油混合后计量，计量后的未稳定原油输至原油稳定系统，稳定装置处理后的稳定原油计量后，利用外输泵外输。在柳屯油库设置出原油稳定装置

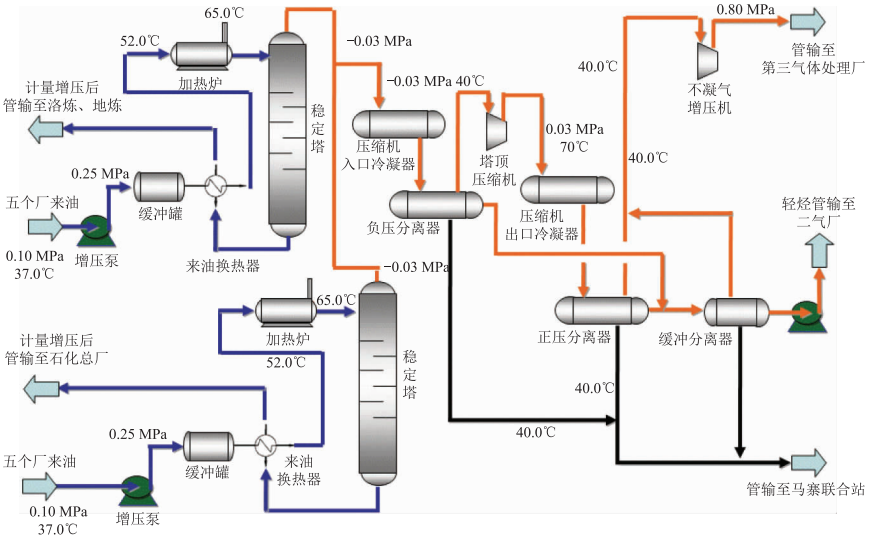


图 2　新建原油稳定系统工艺流程

的原油计量装置[5]、轻烃及不凝气计量装置。

事故流程：各联合站原油进站内事故罐；原油稳定系统原油进柳屯油库储罐，事故处理完毕，通过外输泵外输；轻烃进分离缓冲罐暂存；不凝气通过新建放空火炬进行放空。

外输温度：各联合站改造后，站内不再有原油稳定系统，相应取消原油稳定系统加热炉，从而导致未稳定原油的温度略有降低，因此，需利用 PIPEPHASE 软件重新核算各联合站原油的外输温度。由软件模拟计算，各联合站目前三相分离器油出口含水均≤5%，含水≤5%的含水原油与改造后含水≤1.5%的含水原油，最低外输温度差距不大，根据核算原油的最低外输温度和站内沉降脱水温度要求，确定各站原油外输温度分别为 65.0，53.0，55.0，65.0，60.0，85.0℃。

3　效果评价

3.1　能耗评价

改造后较改造前，每年节约电能 3.16×10^5 kW·h，每年节约燃料气 2.22×10^6 Nm^3。新建原油稳定系统负荷由原来不足 20%提升至 85%～90%，能源利用效率进一步提升。

3.2　经济评价

中原油田原油稳定系统优化改造投资为 2 509 万元，每年可节省成本 1 073.78 万元，减少二氧化碳排放 8 000 t。

4　结　论

实施中原油田原油稳定系统优化，可以大幅节省能耗费用、装置维修成本、安全隐患治理成本、人工成本、拉运费，减少安全管理点，降低拉运风险及运行能耗，实现提质增效、提升管理水平的目的。因此，实施优化改造必要性充分、技术可行、经济合理。

采用负压闪蒸的原油稳定工艺，通过站址选择，各联合站密闭化改造，确定在柳屯油库新建 1 座 100 万 t/a 的原油稳定系统及轻烃处理系统。

为了加快中原油田地面集输工程系统优化整合[6]，实现油田开发绿色低碳、能效提升战略目标，应在“串、撤、并、分、简”等 5 个方面持续开展工作，即：“串”：单井管线串联、功图计量、常（低）温输送；“撤”：基本撤销计量站，撤销部分增注站点；“并”：集输及注回水干支线、油气水站场优化合并；“分”：将预分水技术前推到保留的计量站点、完善分级分压分质注水，“简”：简化优化站场工艺，简化站场设施，减少岗位设置，实现“系统效率、本质安全、绿企创建、油田效益”的四个提升。

参 考 文 献

[1]　石油工业节能节水专业标准化技术委员会．油田生产系统能耗测试和计算方法：SY/T 5264—2012[S]．北京：石油工业出版社，2012．

[2]　杨莜蘅，张国忠．输油管道设计与管理[M]．东营：中国石油大学出版社，2006：32-48．

[3]　李振军，潘锐．低温集输处理技术现场试验[J]．石油石化节能，2016，6(1)：3-4．

[4]　高利波．油气集输系统节能技术综述[J]．当代化工，2016，45(2)：361-363．

[5]　宋艾玲，梁光川．差压式孔板流量计计量不准确度分析[J]．钻采工艺，2006，29(2)：114-115．

[6]　李世军．油田生产系统整体优化理论与方法[D]．大庆：东北石油大学，2005：1-103．

（收稿日期　2019-03-20）
（编辑　王 蕊）