

文章编号: 1000-8241(2015)10-1119-05

# 油气集输分布式能源系统的构成及节能效果

蔡广星<sup>1</sup> 许康<sup>1</sup> 马猛<sup>2</sup>

1. 中国石油大学(华东)储运与建筑工程学院能源与动力工程系, 山东青岛 266580;

2. 中国石化胜利油田技术检测中心, 山东东营 257000

**摘要:** 为了使油气集输系统能量利用更加科学有效, 将分布式能源系统的供能、用能理念应用于油气集输系统设计中。按照“以热定电”的原则设计了油气集输分布式能源系统: 将燃气轮机和余热锅炉应用于油气集输系统, 燃气轮机发电为集输系统提供电能, 利用余热锅炉回收发电后的尾气余热为集输系统提供热能, 系统盈余的电力上网。实例计算结果表明: 与常规集输站相比, 分布式能源系统集输站能量利用率提高 7.01%, 烟效率提高 16.5%; 同时, 油气集输分布式能源系统年节省费用开支  $498.29 \times 10^4$  元。可见, 将分布式能源系统应用于油气集输, 既可以提高系统的节能性, 又具有很好的经济性, 值得推广应用。(图 2, 表 5, 参 11)

**关键词:** 油气集输; 分布式能源系统; 能量利用率; 烟效率

中图分类号: TE863

文献标识码: A

doi: 10.6047/j.issn.1000-8241.2015.10.021

## Composition of distributed energy system for oil & gas gathering and its energy saving effect

CAI Guangxing<sup>1</sup>, XU Kang<sup>1</sup>, MA Meng<sup>2</sup>

1. Energy and Power Engineering Department, College of Pipeline and Civil Engineering, China University of Petroleum (Huadong), Qingdao, Shandong, 266580;

2. Technology Detection Center of Shengli Oilfield, SINOPEC, Dongying, Shandong, 257000

**Abstract:** In order to enable energy utilization of oil & gas gathering system to be more scientific and effective, the concept of power supply and consumption of distributed energy system is applied to the design of oil & gas gathering system. The principle of “power decided by heat” is used to design distributed energy system of oil & gas gathering: gas turbine and heat recover steam generator (HRSG) are applied to oil & gas gathering system, the gas turbine provides power for the gathering system, the waste-heat of tail gas after power generation is recycled by HRSG to provide heat energy for the gathering system, and the surplus power of the system is connected with the power grid. Through case calculation, results indicate that compared with conventional gathering station, the energy utilization rate of gathering station of distributed energy system is increased by 7.01%, and the efficiency of exergy is increased by 16.5%. At the same time, distributed energy system of gathering station can save RMB  $498.29 \times 10^4$  each year. Therefore, it can be seen that, the application of distributed energy system to oil & gas gathering can improve energy conservation and is economical, which is worth popularizing and applying. (2 Figures, 5 Tables, 11 References)

**Key words:** oil & gas gathering, distributed energy system, energy utilization rate, exergy efficiency

油气集输系统是油田地面工程的主体, 承担着油气水分离、原油脱水、原油稳定、原油储存、天然气脱水、天然气轻烃回收以及为用户进行油气配送的集输任务。原油脱水工艺一般采用热化学沉降脱水和电化

学脱水等方式或者二者组合的方式, 对于目前矿井采出的中质或重质高含水原油一般先采用热化学沉降脱水, 然后进行电化学沉降脱水。其中, 热化学沉降脱水需要原油达到一定温度从而更好地进行沉降脱水。在油气集输站中, 通过加热炉燃烧化石燃料释放的热能加热原油, 来达到热化学沉降脱水工艺所需的温度。对于热化学脱水后含水率为 20%~30% 的原油, 集输站使用电脱水器进行原油脱水。含水率达标的原油由

集输泵提供压能进行远距离输送。因此,在集输系统中原油的处理和输送需要消耗大量的热能和电能,合理利用能量一直是油气集输系统的一项重要工作。近年来,国内一些大型工业园区、建筑大厦、医院等成功应用的分布式能源系统(Distributed Energy System, DES)为油气集输系统科学用能提供了借鉴。分布式能源系统的供能、用能理念及其工艺技术可以为油气集输系统的科学用能提供新的思路,为此,以某油田的1<sup>#</sup>集输站为例,开展了油气集输系统的分布式能源系统应用研究。

### 1 可行性分析

集输站将油井采出液进行沉降脱水、电化学脱水和热化学脱水,含水率达标的原油经过外输泵输送至集输总站。在原油的脱水过程中需要加热炉提供热能

加热原油,加热炉的燃料一般为原油或天然气,原油、天然气、污水输送需要泵和压缩机提供压能,泵和压缩机所需的电能由公共电网供给。根据某油田的1<sup>#</sup>集输站集输系统的原油处理工艺流程(图1)及能源供应来源,涉及到能量利用的设备包括原油加热炉、各类泵、压缩机以及电脱水器。根据集输站现场生产情况来看,原油加热需求的热能远大于原油集输所需的电能,因此热能利用率是集输系统能量利用率的关键。然而,目前油气集输系统热能的利用存在以下两个问题:①早期配置的加热炉绝大多数的实际负荷仅为装机容量的30%~40%,能量利用率低,且环境污染非常严重;②集输系统的总能利用思路并不科学,不能简单使用化石燃料燃烧产生的热能来提升原油温度,这是由于燃烧化石燃料产生的是高品位的热能,转化为提升原油温度的低品位热能,这样的能量转换与利用方式缺乏科学性。

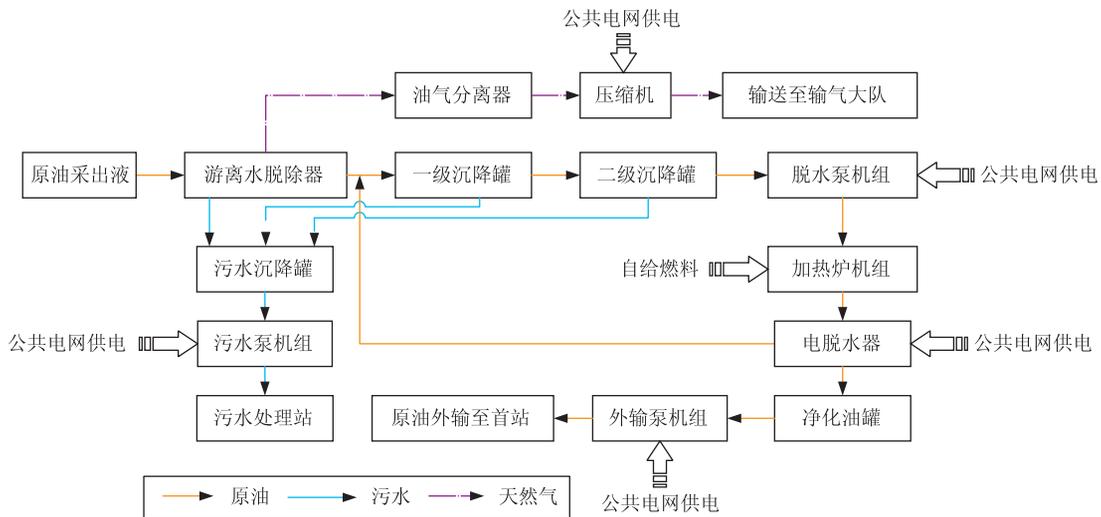


图1 某油田1<sup>#</sup>集输站传统集输系统工艺流程图

对于如何更有效利用油气集输工艺流程中的热能和电能达到节能减排的目的,早期的研究是通过基于热力学定律的能耗分析找到了降低能耗的方向:①通过工况参数的调整及燃烧效果的优化,提高加热炉的热效率;②通过在各类泵上安装变频调速装置,提高泵的运行效率;③通过余热回收技术回收污水余热<sup>[1]</sup>。这些措施取得了一定的节能效果,但仍然不能满足目前集输系统进一步节能降耗的要求。

分布式能源系统是建立在总能系统“分配得当,各得所需,温度对口,梯级利用”的准则上,是相对于传统的能源集中生产而言的冷、热、电、联供系统,其建于用户附近,为用户直接提供二次能源服务<sup>[2]</sup>。分布式能

源系统应用在油气集输系统上,不仅可以很好解决目前集输系统能量利用问题,而且建成的热电联供系统可以降低集输系统的供热成本和供电成本,提高集输系统的经济效益,保障集输系统的能量供应安全。

### 2 设计准则

目前,“以热定电”和“以电定热”是燃气轮机分布式能源系统两种传统的运行方式<sup>[3-4]</sup>。分布式能源系统的工程应用中经常遇到的问题是如何确定联产系统的运行方式。用户对于热量、冷量、电量的需求,随季节、气候、生产状况等多种因素而变化,而系统的冷热

电联产设备一旦选定,其热电比基本不变,对于用户而言总会有富余的热能或电能。对富余热能,采用蓄热装置贮存;对富余电能的处理问题,目前是通过在一定条件下允许分布式电力上网的方式解决<sup>[5-7]</sup>。因此,用户的热、电需求量及热电比是分析分布式系统运行方式的关键参数。

以某油田检测中心统计的6座集输站实际生产中热、电需求量及相应热电需求比(表1)为例,其中5座集输站的热电需求比都超过3.7,说明油气集输系统中热需求量远远大于电需求量,这也是传统的集输系统原油处理工艺特点所决定的。

表1 某油田集输站实际的热、电需求量及热电需求比

集输站	热能需求量/kW	电能需求量/kW	热电需求比
1 <sup>#</sup>	2 841.85	350.65	8.10
2 <sup>#</sup>	10 369.88	1 524.98	6.80
3 <sup>#</sup>	2 946.64	399.27	7.38
4 <sup>#</sup>	1 773.10	253.28	7.00
5 <sup>#</sup>	1 719.79	454.03	3.79

分布式系统中所应用的热电联产机组的热电比为1~3,当热电需求比大于选型设备的额定热电比时,如果系统按照“以热定电”运行,产热可以满足生产热需求,产电在满足生产电需求的同时出现电力盈余的情况;如果系统按照“以电定热”运行时,产电可以满足生产电力需求,产热却不能满足生产的热需求量。对于电力盈余的问题,可以采取电力上网的方式解决。对于产热不足的问题可以采用余热锅炉补燃的方式解决,但是对于很大缺口的热量仍然采用补燃的方式解

决,会使燃料燃烧的高品位热能用在低温段,这将影响能量整体利用效率<sup>[8-9]</sup>。因此,在油气集输系统中设计分布式能源系统的工艺流程时应采用“以热定电”的方式进行。

### 3 工艺流程

根据分布式能源系统能量梯级利用的理念,化石燃料燃烧产生的高品位热能通过热工设备优先转换为高品位的电能,发电产生的尾气余热通过热工设备回收利用转换为低品位的热能。高品位电能可以作为用户的电力供给,低品位的热能可以作为用户供暖、制冷的热源。

结合油气集输系统的用能特点,并按照“以热定电”的设计准则,构思油气集输系统分布式热电联产的工艺流程为:将目前在分布式项目中普遍应用的燃气轮机热电联产方案应用在油气集输系统中,燃气轮机利用天然气燃烧产生的高品位热能发电,所生产的电力供应集输系统中各类泵机组、压缩机和电脱水器机组,发电后尾气余热通过余热锅炉进行回收,回收的余热以蒸汽的形式通过逆流换热器对原油进行加热。为了最大限度降低改造成本,集输系统原油处理的工艺流程并不做改变,只是将原油加热炉更换成集输系统中的换热器。油气集输的分布式能源系统是原油处理工艺系统和能源供应系统的结合,设计得到油气集输分布式系统的工艺流程(图2)。

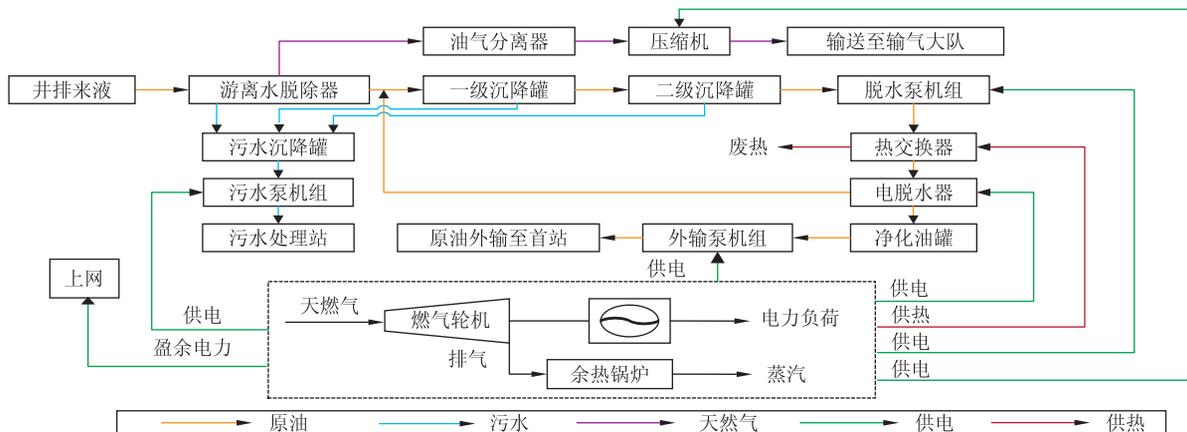


图2 某油田1<sup>#</sup>集输站油气集输分布式能源系统设计工艺流程图

## 4 实例计算

### 4.1 设计方案

1<sup>#</sup>集输站常规系统的耗电量及燃油消耗量分别

为350.65 kW、272 kg/h,将1<sup>#</sup>集输站(表2)改造为油气集输分布式能源系统,对比1<sup>#</sup>集输站常规系统的生产流程(图1)和集输系统的分布式设计方案(图2),可见,改造后方案中采用“以热定电”的运行方式,优先

满足热能需求,生产的电力供应系统自身所需,盈余的电力用于上网(不考虑电力上网的条件)。

根据表1中1#集输站的热需求量2 841.85 kW,按照“以热定电”的原则,选取燃气轮机、余热锅炉热电联产设备的额定供热量比集输站热需求量稍大,为此拟定选取燃气轮机为索拉公司生产的Saturn20机组(表3)。

表2 1#集输站生产原始参数

介质参数	流量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	温度/℃	压力/MPa	含水率%
油井采出液	1 412.40	52.0	0.20	90.0
污水	1 211.05	50.7	0.30	—
外输天然气	763.86	46.0	0.20	—
外输原油	181.18	61.5	0.35	1.1

表3 Saturn20 机组额定技术参数

燃机功率/kW	天然气消耗量/(m <sup>3</sup> ·h <sup>-1</sup> )	发电效率/%	排烟温度/℃	蒸汽量/(t·h <sup>-1</sup> )	蒸汽压力/MPa	蒸汽温度/℃	蒸汽折热能/kW	总热效率/%
1 180	503.016	24.01	512	3.7	0.8	170.42	2 844.45	81.8

### 4.2 效率计算

为了评价改造后的1#集输站的分布式能源系统工艺流程的用能效果,计算比对集输站改造前后的能量利用效率和烟效率。计算中取环境温度为15℃,燃油低位发热量为41 868 kJ/kg,天然气低位发热量为35 188 kJ/m<sup>3</sup>。按照能量分析法中能量利用效率的定义,常规油气集输系统能量利用效率计算公式<sup>[10]</sup>为:

$$\eta_c = \frac{Q_o + Q_w + Q_g - Q_1}{Q_r + Q_e} \times 100\% \quad (1)$$

式中: $\eta_c$ 为油气集输系统能量利用效率,%; $Q_o$ 为原油带出系统的能量,kW; $Q_w$ 为污水带出系统的能量,kW; $Q_g$ 为分离气带出系统的能量,kW; $Q_1$ 为油井采出液带入系统的能量,kW; $Q_r$ 为燃料燃烧带入系统的能量,kW; $Q_e$ 为公共电网输入系统的能量,kW。

按照“以热定电”运行方式下设计的油气集输分布式能源系统工艺流程,天然气燃烧产生的热量首先用于发电,并通过余热锅炉回收燃气轮机排气中的余热来完成原油加热任务。分布式供能系统满足集输系统电力需求后盈余的电能,与外输的原油、天然气一样作为产品输出,则油气集输分布式能源系统的能量利用效率计算公式可写为:

$$\eta_{fc} = \frac{Q_o + Q_w + Q_g - Q_1 + Q_{(e,d)}}{Q_r} \times 100\% \quad (2)$$

式中: $\eta_{fc}$ 为油气集输分布式能源系统能量利用效率,%; $Q_{(e,d)}$ 为分布式系统上网电能,kW。

烟效率是系统中物流收益烟与供给烟的比值,则常规系统的烟效率计算式可写为:

$$\eta_e = \frac{E_o + E_w + E_g - E_1}{E_r + E_e} \times 100\% \quad (3)$$

式中: $\eta_e$ 为油气集输系统烟效率,%; $E_o$ 为原油带出系统的质源烟,kW; $E_w$ 为污水带出系统的质源烟,kW; $E_g$ 为分离气带出系统的质源烟,kW; $E_1$ 为油井采出液带入系统的质源烟,kW; $E_r$ 为燃料燃烧带入系统燃料烟,kW; $E_e$ 为公共电网输入系统的电烟,kW。

油气集输分布式能源系统的烟效率计算式为:

$$\eta_{fe} = \frac{E_o + E_w + E_g - E_1 + E_{(e,d)}}{E_r} \times 100\% \quad (4)$$

式中: $\eta_{fe}$ 为油气集输分布式能源系统烟效率,%; $E_{(e,d)}$ 为分布式系统上网的电烟,kW。

假定集输站改造前后油井采出液流量相同,根据式(1)~式(4)及表2~表4中的相关数据,可以计算得到1号集输站常规系统和分布式系统的能量利用效率、烟效率(表4):1#集输站改造后能量利用效率由34.56%提升到41.57%,上升7.01%;烟效率由4.75%提升到21.25%,上升16.5%。

表4 1#集输站改造前后能量利用率、烟效率对比

改造情况	能源利用效率%	烟效率%
改造前	34.56	4.75
改造后	41.57	21.25

### 4.3 经济性计算

目前,在中小型燃气轮机商业化应用中,初装费用通常为5 500~7 500元/kW,运行维护费用通常为0.02~0.07元/(kW·h)<sup>[11]</sup>,计算中取初装费用、运行维护费用的最大值。根据1#集输站所在省物价局规定的价格,加热炉燃油价格为4 284元/t,用电价格取高

峰、平峰、谷峰的平均电价为 0.843 元/(kW·h);改造后盈余电力上网的价格按照普通火力发电的价格取为 0.43~0.47 元/(kW·h)<sup>[3]</sup>,由于集输系统可以使用自产天然气作为分布式能源系统的燃料,因此取天然气门站价格 2.43 元/m<sup>3</sup>。燃气轮机、余热锅炉的价格以厂家报价为准,另考虑到设备的过关关税,预计工程总造价为 1 059.58×10<sup>4</sup> 元。假定年运行周期为 330 天,每天运行 24 h,则可以计算得到常规集输系统和分布式集输系统年支出费用(表 5)。由此可见,改造前总支出费用为 1 149.23×10<sup>4</sup> 元,改造后扣除盈余电力上网售电的 295.58×10<sup>4</sup> 元收益后总支出为 650.94×10<sup>4</sup> 元。技术改造结果表明,1<sup>#</sup>集输站在完成分布式系统改造后,在完成相同生产任务的情况下,相比于改造前年节省开支费用 498.29×10<sup>4</sup> 元,用节省费用偿还分布式系统预计工程总造价的回收周期为 2.12 年。

表 5 1<sup>#</sup>集输站改造前后系统支出费用对比

改造情况	每年支出费用/(10 <sup>4</sup> 元)				年盈余电量上网售电收益/(10 <sup>4</sup> 元)
	购买燃油	购买电力	购买天然气	维护费用	
改造前	915.12	234.11	0	0	0
改造后	0	0	881.1	65.42	295.58

## 5 结论

(1)在原有集输系统中增加燃气轮机和余热锅炉设备,提出油气集输系统中燃气轮机发电供应系统电能需求、余热锅炉回收发电余热供应系统热能需求的供能、用能思路。

(2)结合油气集输系统中热能、电能利用特点,讨论确定了利用“以热定电”的准则设计油气集输分布式能源系统,即首先满足系统的热能需求,生产相应的电能供应系统的电力需求,盈余的电力上网,欠缺的电力从公共电网购买。

(3)在完成相同生产任务的前提下,分布式能源系统比常规系统能量利用效率提高 7.01%,烟效率提高 16.5%,工程回收周期为 2.12 年。这表明油气集输分布式能源系统不仅可以节能降耗,而且将高品位热能首先转换为电能,然后利用低品位热能的用能方式实现了能量的梯级利用,同时新建工程的回收周期可以保证系统在经济方面的可行性。

## 参考文献:

- [1] 陈勇. 油田生产过程中的节能技术与实现途径[J]. 节能, 2012, 32(5): 48-52.
  - [2] 蔡睿贤, 张那. 关于分布式能源的思考[J]. 科技导报, 2005, 23(9): 7-8.
  - [3] CHEN Qiaohui, WANG Weilong, LU Jianfeng, et al. An overview of the political technical and economical aspects of gas-fired distributed energy system in China[J]. Applied Thermal Engineering, 2013(52): 531-537.
  - [4] ZHOU Zhe, LIU Pei, LI Zheng, et al. An engineering approach to the optimal design of distributed energy systems in China[J]. Applied Thermal Engineering, 2013(53): 387-396.
  - [5] 龙惟定. 分布式能源热电联产“以热定电”的新理解[J]. 暖通空调, 2011, 41(2): 18-22.
  - [6] 马婉玲, 丁明, 吴红斌, 等. 分布式能源系统中燃气轮机热电联产运行方式的优化[J]. 发电设备, 2008, 22(2): 106-110.
  - [7] 康书硕, 李洪强, 蔡博, 等. 冷热电联供系统中“以热定电”与“以电定热”的分析研究[J]. 建筑科学, 2012, 28(2): 255-259.
  - [8] 虞正发, 李成. 分布式供能系统总热效率和热电比的确定[J]. 上海节能, 2005(6): 42-44.
  - [9] 李朋, 臧向东, 刘聿拯, 等. 分布式热电联产中热电比的确定[J]. 燃气轮机技术, 2005, 18(4): 43-46.
  - [10] 龙凤乐, 杨肖曦, 李松岩. 油气集输系统能量分析[J]. 油气储运, 2005, 24(12): 58-60.
  - [11] 金红光, 郑丹星, 徐建中. 油分布式冷热电联查系统装置及应用[M]. 北京: 中国电力出版社, 2008.
- (收稿日期: 2014-06-05; 修回日期: 2015-10-09; 编辑: 李在蓉)



**作者简介:** 蔡广星, 助理工程师, 1987 年生, 2014 年硕士毕业于中国石油大学(华东)储运与建筑工程学院动力工程及工程热物理专业, 现主要从事油气田地面工程节能降耗的研究工作。

CAI Guangxing, MS.D, assistant engineer, born in 1987, graduated from College of Pipeline and Civil Engineering, China University of Petroleum (Huadong), power engineering and engineering thermophysics, in 2014, engaged in the research of energy-saving and consumption reduction of oil-gas field surface engineering.  
Tel: 18799218108, Email: cpucgx@126.com