

# 稠油热采系统综合能耗监测方法及评价

栾海波

(中国石油辽河油田公司安全环保处)

**摘 要** 针对目前稠油热采系统节能措施和节能产品对某一环节单个节能产品的节能效果进行检测、评价的现状,提出了将稠油热采系统作为一个整体,采取组合节能措施及产品,给出了稠油热采系统的能耗监测流程、监测要求、程序与方法、数据分析评价方法等。形成了稠油热采系统综合能耗监测数据分析及效果评价方法。

**关键词** 热效率;注汽系统;监测方法;效果评价

中图分类号: X83

文献标识码: A

文章编号: 1005-3158(2012)06-0044-03

## 0 引 言

稠油热采系统一般由蒸汽发生系统、地面蒸汽输送系统和蒸汽注入井三部分组成。在稠油热采过程的各个环节都不同程度的存在着散热损失。根据稠油热采油田统计数据,目前湿蒸汽发生器产生的蒸汽干度一般为 75% 左右,而传输到注汽井井底的干度不足 40%,甚至更低,严重影响了稠油热采的开发效果及热采经济效益。通过研制和推广应用稠油热采系统节能产品及技改措施,在一定程度上提高了稠油热采系统的运行效率,但综合节能效果的改善与否要通过热工系统综合能耗监测与评价。

## 1 热工监测流程及要求

稠油热采系统由蒸汽发生系统、地面蒸汽输送系统和蒸汽注入井三部分组成。稠油热采系统热工监测流程同样也分为三个部分。稠油热采系统监测流程见图 1。

监测要求如下:

### ◆ 工况

监测过程要求热工况稳定(运行时间 $\geq 4$  h),并处于实际运行负荷(负荷范围应在 $\pm 10\%$ 以内)。监测采用正、反平衡法试验相结合的方式,但以正平衡法效率为主,反平衡为辅。同时对采用燃料的装置进行燃料取样,测算热值。

### ◆ 测试仪表要求

监测用测试仪表应能满足测试的要求,仪表应完好,在检定周期内,测试精度满足要求。超声波流量

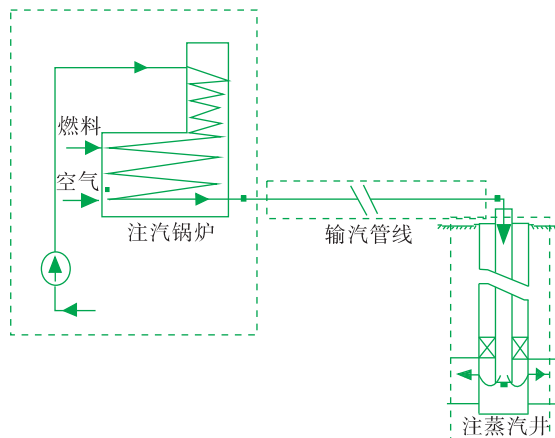


图 1 稠油热采系统监测流程

计、燃烧效率分析仪、压力表、风速仪选择精度在 $\pm 0.5$ 的测量仪器,测量注汽井筒及油层段任意深度蒸汽压力、温度、流量的仪表应满足测量温度精度 $\pm 0.5^\circ\text{C}$ 、压力精度 0.001 F、S、流量精度 $\pm 0.3$ 的要求。

### ◆ 环境影响

在室外条件下,遇有强光照射时,为避免其影响,必要时可进行遮阳处理。当遇有风向及风速较大变化时,应采取必要的避风措施,并测量风速、风力等环境因素,可在数据处理时修正。

## 2 稠油热采系统热工监测

### ◆ 湿蒸汽发生器热效率的监测

正平衡效率:通过合格的精密计量仪器仪表检测环境温度;燃料的流量;湿蒸汽的温度、干度及压力;湿蒸汽发生器的给水流量、温度。

反平衡效率:通过燃烧效率分析仪进行排烟温度和烟气分析。

#### ◆ 地面管网热工监测

在地面管网工艺参数稳定运行的情况下,选取具有代表管网特征的管段进行三截面对比监测。

#### ◆ 注入井热工监测

应用高温四参数吸汽剖面监测仪对注入井井筒任意深度的蒸汽温度、流量、压力等参数进行监测,通过计算得出井筒内蒸汽的干度、热损失及吸汽剖面。采用井下蒸汽干度取样仪对注汽井井下任意深度点蒸汽直接进行取样,通过化验所录取的蒸汽样品的干度获得蒸汽干度。

#### ◆ 能耗评价指标

稠油热采系统能耗评价指标主要包括与稠油热采系统相对应的湿蒸汽发生器、地面管网及蒸汽注入井。稠油热采系统能耗评价指标见表 1。

表 1 稠油热采系统能耗评价指标

| 名称     | 能耗评价指标 |        | 备注     |
|--------|--------|--------|--------|
| 湿蒸汽发生器 | 正平衡热效率 | 反平衡热效率 | 以正平衡为主 |
| 地面管网   | 保温效率   | 管道热效率  |        |
| 蒸汽注入井  | 井筒热效率  | 井底干度   |        |

### 3 能耗评价方法

#### 3.1 湿蒸汽发生器

湿蒸汽发生器热效率计算公式如下:

$$\eta_{\text{锅}} = \frac{H'_B}{B(Q_{\text{dw}}^y + i_{\text{rx}})} \quad (1)$$

$$H'_B = G(h_B - h_w) \quad (2)$$

式中:  $\eta_{\text{锅}}$ —湿蒸汽发生器热效率, %;

$H'_B$ —注汽锅炉有效利用热量, kJ/h;

$B$ —燃料消耗量, kg(液)或  $\text{m}^3/\text{h}$ (气);

$Q_{\text{dw}}^y$ —燃料的应用基低位发热值, kJ/kg 或  $\text{kJ}/\text{m}^3$ ;

$i_{\text{rx}}$ —液体燃料的物理显热, kJ/kg(气体燃料可忽略);

$h_B$ —锅炉出口蒸汽比焓, kJ/kg;

$h_w$ —锅炉给水比焓, kJ/kg。

#### 3.2 地面管线保温效率

管线保温效率计算公式如下:

$$\eta_{\text{保温}} = \frac{\bar{q}_o - \bar{q}}{\bar{q}_o} \times 100\% \quad (3)$$

式中:  $\eta_{\text{保温}}$ —管线保温结构的保温效率, %;

$\bar{q}_o$ —管线无保温的平均热流密度,  $\text{W}/\text{m}^2$ ;

$\bar{q}$ —管线有保温的平均热流密度,  $\text{W}/\text{m}^2$ 。

#### 3.3 地面管线热效率

管线热效率计算公式如下:

$$\eta = 1 - \frac{\Delta Q_{\text{管}}}{H'_B} \quad (4)$$

式中:  $H'_B$ —锅炉出口蒸汽总焓, kJ/h;

$\Delta Q_{\text{管}}$ —管线各部位实测总散热损失, kW。

#### 3.4 蒸汽注入井热效率

蒸汽注入井井筒热效率计算公式如下:

$$\eta_{\text{井}} = \frac{H_D}{H_C}, H_D = Gh_D; \quad (5)$$

式中:  $H_D$ —注汽井油层入口处的蒸汽总焓, 即系统有效热量, kJ/h, 表示为:  $H_D = Gh_D$ ;

$H_C$ —注汽井入口处蒸汽总焓, 即系统全部热量, kJ/h;

$G$ —蒸汽流量, 不考虑系统泄漏时,  $G$  等于注汽锅炉产生蒸汽量, kg/h;

$h_D$ —油层入口处 D 点的蒸汽比焓, kJ/kg。

#### 3.5 稠油热采系统热效率

$$\eta = \frac{H_D}{Q_r} \times 100\% \quad (6)$$

式中:  $Q_r$ —外界供给系统的总热量, kJ/h。

由于湿蒸汽发生器常用气体或液体燃料, 故有,

$$Q_r = B(Q_{\text{dw}}^y + i_{\text{rx}}) \quad (7)$$

即稠油热采系统热效率计算公式为:

$$\begin{aligned} \eta &= \frac{H_D}{Q_r} = \frac{H'_B}{B(Q_{\text{dw}}^y + i_{\text{rw}})} \cdot \frac{H_B}{H'_B} \cdot \frac{H_C}{H_B} \cdot \frac{H_D}{H_C} \\ &= \eta_{\text{锅}} \cdot \eta_{\text{管}} \cdot \eta_{\text{井}} \cdot \frac{H'_B}{H_B} \end{aligned} \quad (8)$$

### 4 现场应用

通过对稠油热采系统进行监测, 筛选系统效率较低的 9 个系统进行节能技术措施改造, 9 个系统的平均系统效率为 67.6%, 最高为 74.5%, 最低为 54.9%。

#### 4.1 湿蒸汽发生器

提高湿蒸汽发生器热效率的主要途径有提高燃料

品质、实现完全燃烧,减小排烟热损失(降低排烟温度),降低表面温度等。其中,减小排烟热损失是提高热效率的主要途径,通过减小进风量、烟气余热利用等措施,降低了排烟损失,使热效率提高 2.8%,有效提高了湿蒸汽发生器热效率。调整前后参数变化见表 2。

表 2 调整前后参数变化

| 项 目                      | 改进前   | 改进后  |
|--------------------------|-------|------|
| 排烟氧含量 $O_2/\%$           | 7.4   | 3.8  |
| 排烟过剩空气系数 $\alpha_{py}$   | 1.49  | 1.2  |
| 排烟温度 $t_{py}/^{\circ}C$  | 268.8 | 260  |
| 排烟热损失 $q_2/\%$           | 13.8  | 11   |
| 蒸汽流量 $G/(t/h)$           | 19.2  | 19.2 |
| 出口蒸汽干度 $x_B/\%$          | 71    | 77   |
| 热效率 $\eta_{\text{锅}}/\%$ | 80.9  | 83.7 |

4.2 地面管网

地面管网的热损失主要是保温损失,经过保温改造后,热效率由 94.9%提高到 98.6%,从而提高管线终端蒸汽干度。地面管网改造前后参数变化见表 3。

表 3 地面管网改造前后参数变化

| 名 称                          | 改造前   | 改造后   |
|------------------------------|-------|-------|
| 管线总长 $L/m$                   | 861   | 861   |
| 管线热损失 $Q_{\text{管}}/(W/m^2)$ | 628.3 | 176.5 |
| 锅炉出口蒸汽干度 $x_B/\%$            | 71    | 77    |
| 管线终端(井口)蒸汽干度 $x_C/\%$        | 58    | 73    |
| 管线热效率 $\eta_{\text{管}}/\%$   | 94.9  | 98.6  |

4.3 蒸汽注入井

蒸汽注入井的热损失主要是井筒散热,这是一种复杂的非稳态传热过程。通过使用导热系数小的真空隔热油管和接箍等措施减小蒸汽在井筒中的热损失,使热效率提高 5%左右,井底干度提高 15%以上。

4.4 效果评价

在综合稠油热采系统各环节能耗的基础上,结合节能技改措施的应用,使稠油热采系统热效率及井底蒸汽干度均得到不同程度的改善,改造前后能耗结果对比见表 4。系统效率最大增幅为 11.6%,干度最大增幅量为 24.9%,充分说明稠油热采系统热能利用

率仍有较大的提升空间<sup>[1-7]</sup>。

表 4 改造前后能耗结果对比

| 序号 | 注汽系统热效率 $\eta/\%$ |      |      | 井底蒸汽干度 $x_D/\%$ |      |      |
|----|-------------------|------|------|-----------------|------|------|
|    | 改造前               | 改造后  | 增量   | 改造前             | 改造后  | 增量   |
| 1  | 67.4              | 77.5 | 10.0 | 37.0            | 57.6 | 20.6 |
| 2  | 70.7              | 82.3 | 11.5 | 17.0            | 31.9 | 20.9 |
| 3  | 73.8              | 75.2 | 1.4  | 45.0            | 50.5 | 5.5  |
| 4  | 70.0              | 77.9 | 7.9  | 45.6            | 52.6 | 7.0  |
| 5  | 63.5              | 74.0 | 10.6 | 38.1            | 53.1 | 15.0 |
| 6  | 61.6              | 67.4 | 5.8  | 36.0            | 46.0 | 10.0 |
| 7  | 54.9              | 66.5 | 11.6 | 32.0            | 47.8 | 15.8 |
| 8  | 72.4              | 79.8 | 7.3  | 39.4            | 62.9 | 23.5 |
| 9  | 74.5              | 82.3 | 7.8  | 34.8            | 59.7 | 24.9 |

5 结 论

- ◆ 通过对稠油热采系统工艺的研究,给出了稠油热采系统能耗监测的流程及仪器、环境要求,为现场监测提供理论依据。
- ◆ 通过对热工监测理论的研究,结合稠油热采系统的工艺特点,确定了稠油热采系统能耗评价指标和测试方法。
- ◆ 通过稠油热采系统节能技改措施的实施,并通过现场监测验证,稠油热采系统热能利用率仍有较大的提升空间。

参 考 文 献

[1] 马强,李成城.稠油集输系统能量平衡分析[A].//张庆昌,金马油田勘探与开发[C].沈阳:辽宁科学技术出版社,2008,262-265.

[2] SY/T 6086-94 热力采油蒸汽发生器运行技术规程[S].

[3] 许康,杨肖曦,王弥康,等.过量空气系数对原油加热炉热效率的影响[J].油气储运,2000,19(12):51-53.

[4] GB 8174-2008 设备及管道保温效果的监测及评价[S].

[5] GB 50264-97 工业设备及管道绝热工程设计规范[S].

[6] 陈捷.稠油注汽系统能耗测试方法与效果评价[J].石油工业技术监督,2010(2):11-15.

[7] 杨乃群,陈延,刘芳,等.提高热采注汽系统热效率的研究[J].石油机械,2003,31(10):52-54.

(收稿日期 2012-08-22)  
(编辑 王 薇)