

# 输油泵站的焓平衡分析与测试

赵建新\*

(中国石化集团管道储运公司勘察设计院)

赵建新:输油泵站的焓平衡分析与测试,油气储运,2000,19(6) 55~58。

**摘 要** 根据焓的基本概念、焓平衡评定准则和焓的计算方法,对长清输油泵站进行了焓平衡测试,给出了输油泵站系统、输油子系统、供用电子系统的焓分析模型及平衡方程。通过分析测试结果,指出高能级高焓值的能源消耗于低焓效的设备是造成泵站能源浪费的主要原因。从能质利用方面提出了提高管道输油系统的能质利用率和系统焓效率的具体措施。

**主题词** 输油泵站 焓平衡 焓分析 测试

## 一、焓的基本概念

管道在输油过程中要消耗大量能量。为进一步了解输油泵站能源消耗情况和消耗结构,对鲁宁输油管道长清输油泵站实施了焓平衡测试,从能质利用方面对鲁宁管道中间泵站现行原油输送系统的节能潜力进行评估,以便采取措施提高管道输油系统的能量利用率和系统焓效率,为改进生产用能过程提供技术指导。

有关焓的基本概念解释如下。

(1)焓的定义。物质或物流在以给定环境为基准的理论做功能力的量度。

(2)物理焓。由温度和压力与环境状态下的温度和不同压力而产生的焓,由焓焓和压焓组成。

(3)化学焓。在环境温度和压力下,系统由于化学不平衡所具有的焓,即化学焓是由于体系与环境化学不平衡而通过化学变化引起的。

(4)焓损失。体系内未被利用的焓。

(5)有效焓。在体系内确定的工艺条件下,被加工对象从供给焓中吸收的焓,或供给焓对被加工对象所做的有效功。

(6)供给焓。体系外供给体系的焓。

(7)焓效率。常指设备焓效率,为有效焓与供给焓之比。

(8)焓分析。应用热力学第一和第二定律研究能的量与质两个方面的一种有效和系统的方法。

利用焓分析可以给出整个系统和各个环节的各项焓损失值,从而确切指出总的焓损失究竟分布在系统的哪个环节上,以提供节能的具体线索。焓分析是在能量分析计算的基础上进行的,因而可以确定输油泵站焓平衡方程式:

$$\Sigma(E_x)_1 + (E_q)_1 + (E_w)_1 = \Sigma(E_x)_2 + (E_q)_2 + (E_w)_2 + D_e \quad (1)$$

式中  $E_x$  —— 进入系统的全部物流的焓之和;

$E_q$  —— 供给系统的全部热量中所含有的焓;

$E_w$  —— 相应于供给系统的功的焓;

$D_e$  —— 设备内部的过程焓损失。

## 二、焓平衡测试系统的确定和测试方法

长清输油站是鲁宁线的第一个中间泵站,为常开炉和常开泵泵站。全站主要耗能设备有 8 141 kW 方箱式加热炉 3 台,DKS750 型输油泵 6 台。

长清站耗能形式有两种,一种是给原油加热的燃料油,一种是给原油加压的动力电能。在测试之前,对全站运行的监测仪器、仪表、计量器具的配备及检定情况进行了检查,对超检的计量器具重新进行检定。测试时更换了所有的现场一次压力表、温度

\* 221008,江苏省徐州市翟山;电话:(0516)3888534-3200。

计等,保证了测试期内测试数据的准确。

### 1、 确定测试系统

测试系统分为输油生产系统和非输油生产系统两部分,重点分析输油生产系统。将输油生产系统分为三个子系统,即输热子系统、供用电子系统、单元耗能设备系统。

### 2、 测试方法

采用全站统一测试和选用有代表性的输油设备单体详细测试相结合的方法。主要耗能设备的测试,是在系统测试后第二天选全年最具代表性的三个运行工况进行测试。加热炉采用正、反平衡测试,输油泵采用微温差法测试。

### 3、 主要测取参数

这些参数为输油量、耗电量、燃料油消耗量、进出站和进出子系统原油温度和压力、散热量、原油工业分析及元素分析等数据。

### 4、 测试时间的确定

系统测试时间为 24 h,读数间隔为 4 h。测试之后对单体主要耗能设备进行焓测试分析。

## 三、焓平衡评定准则

焓平衡评定准则如下。

#### (1)焓效率

$$\eta_{ex} = \frac{\text{有效利用的焓}}{\text{焓源供给的焓}} \times 100\% \quad (2)$$

#### (2)焓损率

$$e_{x,i} = \frac{i \text{ 过程的焓损}}{\text{总焓损}} \times 100\% \quad (3)$$

#### (3)焓损系数

$$\lambda_i = \frac{i \text{ 过程的焓损}}{\text{总供给焓}} \times 100\% \quad (4)$$

#### (4)热力学完善度 $\epsilon$

$$\epsilon = \frac{\text{输出的总焓}}{\text{输入的总焓}} \times 100\% \quad (5)$$

## 四、长清站测试系统的焓分析和计算

根据输油系统具体工艺,泵站系统采用黑箱模型、二个子系统采用灰箱模型、单元耗能设备采用白箱模型进行焓分析。

### 1、 黑箱模型及平衡方程

泵站系统黑箱模型见图 1。

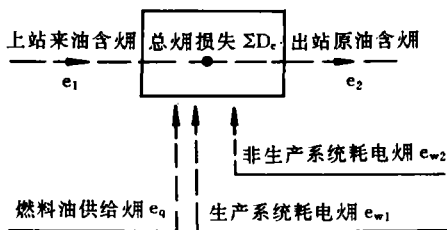


图 1 泵站系统黑箱模型

输油泵站系统焓平衡方程:

$$e_1 + e_q + e_{w1} + e_{w2} = e_2 + \Sigma D_{e1} \quad (6)$$

输油泵站的焓效率:

$$\eta_{e1} = (e_2 - e_1) / (e_q + e_{w1} + e_{w2}) \quad (7)$$

输油生产系统焓平衡方程:

$$e_1 + e_q + e_{w1} = e_2 + \Sigma D_{e2} \quad (8)$$

输油生产系统的焓效率:

$$\eta_{e1} = (e_2 - e_1) / (e_q + e_{w1}) \quad (9)$$

### 2、 输热子系统灰箱模型及平衡方程

根据图 2 所示的站内工艺流程,把站内管网分为三段。第一段由原油进站到输油泵出口;第二段由输油泵出口到加热炉入口;第三段由加热炉入口到原油出站。

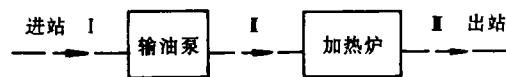


图 2 站内工艺流程简图

为了考察管段的保温、水力特性,现将输热子系统的焓损分为几个部分进行计算。

(1)管段散热焓损失。

(2)压降焓损失。

(3)节流焓损失。

(4)冷热原油在汇管内的混合焓损失。

(5)加热炉焓损失。

输热子系统焓分析的灰箱模型见图 3。

输热子系统焓平衡方程:

$$e_{11} + E_q = e_{12} + \Sigma D_e \quad (10)$$

热能平衡系统的焓效率:

$$\eta_{cht} = \frac{e_{12} - e_{11}}{E_q} \quad (11)$$

式中  $e_{12} - e_{11}$ ——原油经过输油站时由加热温升所得到的焓。

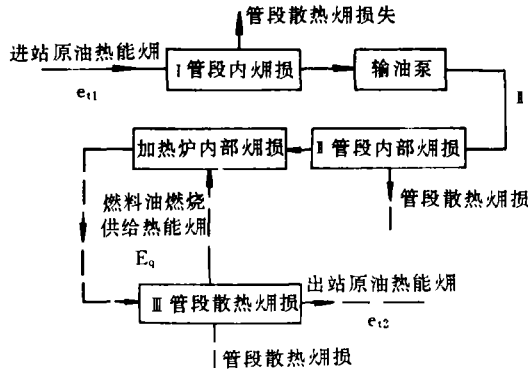


图 3 输热子系统灰箱模型

### 3、灰箱模型及平衡方程

长清站供用电系统由电网供电部分、输油生产设备耗电部分、辅助生产设备耗电部分和生活耗电部分组成。灰箱模型见图 4。

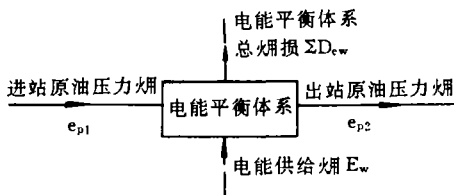


图 4 供用电子系统灰箱模型

电能系统烟平衡方程：

$$e_{p1} + e_w = e_{p2} + \Sigma D_{e,w}$$

电平衡体系的烟效率：

$$\eta_{ep} = \frac{e_{p2} - e_{p1}}{E_w} \quad (12)$$

式中  $e_{p2} - e_{p1}$  —— 原油经输油泵站由压力升高所得到的烟。

### 4、白箱模型及平衡方程

为了解长清站输油系统的能源消耗情况，对输

油生产系统的主要耗能设备(加热炉和输油泵单体)进行了不同运行工况的详细测试。

(1)加热炉白箱模型见图 5。

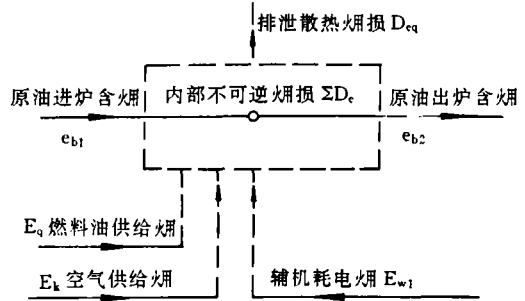


图 5 加热炉白箱模型

加热炉烟平衡方程：

$$e_{b1} + E_q + E_k + E_{w1} = e_{b2} + D_{eq} + \Sigma D_e \quad (13)$$

加热炉烟效率：

$$\eta_{eb1} = \frac{e_{b2} - e_{b1}}{E_q + E_k + E_{w1}} \quad (14)$$

(2)输油泵机组白箱模型见图 6。

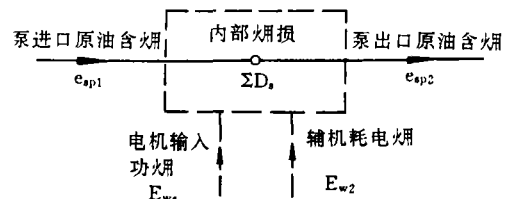


图 6 输油泵机组白箱模型

输油泵机组烟平衡方程：

$$e_{s1} + E_{w1} + E_{w2} = e_{s2} + \Sigma D_s \quad (15)$$

输油泵的烟效率：

$$\eta_{est} = \frac{e_{s2} - e_{s1}}{E_{w1} + E_{w2}} \quad (16)$$

输油泵站烟平衡测算结果见表 1。

表 1 泵站系统烟分析测算值

进站 原油量 G (t/h)	进站 原油压力 P <sub>1</sub> (MPa)	进站 油温 t <sub>1</sub> (C)	出站 油温 t <sub>2</sub> (C)	出站 压力 P <sub>2</sub> (MPa)	原油经过泵站 获得的有效烟 e <sub>2</sub> -e <sub>1</sub> (GJ/kg)	水套炉获得 的有效烟 e <sub>s</sub> (GJ/h)	燃料油 供给烟 e <sub>q</sub> (GJ/h)
1 434.6	0.110	36.12	42.45	3.9	7.564 2	0.625 7	20.7225
生产系统 耗电烟 e <sub>w1</sub> (GJ/h)	非生产系 统耗电烟 e <sub>w2</sub> (GJ/h)	加热炉 总烟损失 d <sub>e1</sub> (GJ/h)	输油泵 烟损失 d <sub>e2</sub> (GJ/h)	节流 烟损失 d <sub>e3</sub> (GJ/h)	散热 烟损失 d <sub>e4</sub> (GJ/h)	不等温混合 烟损失 d <sub>e5</sub> (GJ/h)	其他 烟损失 d <sub>e6</sub> (GJ/h)
11.492	0.1063	18.603 6	4.680	0.499 1	0.028 7	0.022 0	0.191 6

续表 1

泵站系统 烟效率 $\eta_{e1}$ %	泵站生产系 统烟效率 $\eta_{e2}$ %	加热炉烟损 失系数 $\lambda_1$ %	输油泵烟 损失系数 $\lambda_b$ %	节流烟损失 系数 $\lambda_j$ %	散热烟损失 系数 $\lambda_s$ %	系统不等温混合 烟损失系数 $\lambda_h$ %	其他烟损失 系数 $\lambda_c$ %
25.33	25.42	57.75	14.53	1.55	0.089	0.068	0.595
加热炉烟 损失率 $e_{x11}$ %	输油泵烟 损失率 $e_{x1b}$ %	节流烟 损失率 $e_{x1j}$ %	散热烟 损失率 $e_{x1s}$ %	系统不等温混 合烟损失率 $e_{x1h}$ %	其他烟损 失率 $e_{x1c}$ %		
77.43	19.48	2.08	0.119	0.092	0.797		

## 五、测试结果及改进措施

泵站烟平衡主要技术指标测试结果如下。

泵站系统效率  $\eta_{e1}$  为 25.33 %；输油系统烟效率  $\eta_{e2}$  为 25.42 %；输热子系统烟效率  $\eta_{eq}$  为 7.66 %；供用电系统烟效率  $\eta_{ew}$  为 52.02 %；加热炉烟效率  $e_{x11}$  为 77.43 %；输油泵烟损失率  $e_{x12}$  为 19.48 %。

### 1、测试结果分析

(1) 长清输油站原油输送系统的烟效率只有 25.42 %，能质的利用率很低，整个管道输油系统有很大的节烟潜力。

(2) 烟损失率最大的是加热炉，占整个原油输送系统烟损的 77.43 %，消耗在加热炉上的燃料油占整个输送系统供入烟的 64.33 %。

(3) 烟损失较大的是输油泵机组，占整个输送系统烟损失的 19.48 %，消耗在输油泵机组上的动力电占整个输送系统供入烟的 34.98 %。

(4) 加热炉平均烟效为 7.11 %，输油泵平均烟效为 69.9 %。

### 2、改进措施

由测试结果分析可以看出，以低烟效的设备作为主要的耗能设备，同时高能级高烟值的能源（燃油、动力电）消耗于低能级的用能过程，是鲁宁管道中间泵站用能不合理、能质浪费的症结所在。应对中间输油泵站主要耗能设备进行技术改造，提高原油输送系统的能质利用率，措施如下。

(1) 采用预热助燃空气。由加热炉单体烟分析测算结果可知，加热炉烟损失最大的是燃烧过程中的烟损失，一般占整个加热炉供给烟的 49 %，相当于一半左右的供给烟损失在燃料油的燃烧过程中。采用预热助燃空气不仅能降低排烟烟损失，还能提

高理论燃烧温度、燃烧产物的能级和燃气的烟值，从而减少燃烧过程的烟损失。

(2) 降低过剩空气系数。由现场测试可知，加热炉的过剩空气系数高达 3.46，过量空气的输入使得燃料燃烧的温度下降，燃烧产物增加，使燃料所释放的化学能只能转换为温度较低、能级较小的热能，从而增加了燃烧过程烟损失。为此要求加热炉操作人员调节好烟道挡板和火嘴的供风量，尽量降低过剩空气系数，以达到降低燃烧过程烟损失的目的。

(3) 改进现行加热炉的结构，提高工质的吸热平均温度。加热炉的第二大烟损失项是不等温传热烟损失，占加热炉供给烟的 32 % 左右。不等温传热烟损失是由高能级烟气加热只需较低温度的原油产生的，因而只有通过改造现行加热炉的结构，通过提高工质的吸热平均温度，缩小传热温差，才能达到降低不等温传热损失的目的。

(4) 采用高效泵，淘汰现有泵。由测试结果可知，供用电系统的能质利用率为 52.02 %，输油泵的烟损失系数为 40.72 %。而高效泵的烟效率一般高于 DKS 输油泵 3 %~5 %，能节约大量的电力，为此应采用高效泵。

(5) 原油的不等温混合烟损失为 0.092 %。这是比较低的，原因是系统运行工况比较合理，降低了管内原油的不等温混合温差，因此在运行中应尽量减少原油的不等温混合温差。

(6) 散热烟损失率为 0.119 %，说明站内输送系统的保温效果还是比较好的。

(7) 节流烟损失率为 2.08 %，可采用密闭输送方式或调速电机来代替阀门控制流量的方法，以减少节流烟损失。

(收稿日期：1999-11-12)

编辑：张彦敏

## 作 者 介 绍

- 李广群** 助理工程师,1972年生,1996年7月毕业于石油大学(山东)石油储运专业,现在中国石油天然气管道工程有限公司工艺室从事设计工作。
- 袁同明** 工程师,1968年生,1991年毕业于江苏化工学院化机系石油储运专业,现任中国石化集团茂名石化设计院储运系统室主任。
- 李江** 工程师,1971年生,1989年毕业于抚顺石油学院石油储运专业,现在中国石油天然气管道公司库鄯输油管理部库尔勒首站工作。
- 许宝兴** 高级工程师,1940年生,1963年毕业于西安石油学院炼制系,现任中石化集团管道储运公司副总工程师。
- 雍歧卫** 讲师,1967年生,1992年毕业于解放军后勤工程学院石油储运专业获硕士学位,现在解放军后勤工程学院从事管道输送工艺与技术等方面的教学与科研工作。
- 李静** 在读博士生,1971年生,1993年毕业于宝鸡文理学院化学化工系,1996年获太原理工大学化工系硕士学位,现在北京科技大学表面科学与腐蚀工程系攻读博士学位。
- 高祁** 工程师,1952年生,1985年毕业于原中国石油天然气管道职工学院线路工程专业,现任西北石油管道建设指挥部库鄯输油管理部副经理兼总工程师。
- 夏欣** 工程师,1969年生,1991年毕业于西安石油学院石油勘探仪器与自动化系工业电气自动化专业,现在清华大学机械工程系攻读硕士学位。
- 洪建勇** 工程师,1970年生,1992年毕业于石油大学(山东)开发系,1995年毕业于石油大学(北京)石油工程系,获工学硕士学位,现在中国石油天然气管道公司科技研究中心从事输油工艺及化学添加剂应用研究。
- 张付生** 工程师,1966年生,1992年毕业于石油勘探开发科学研究院研究生部,获油田化学专业硕士学位。现在石油勘探开发科学研究院油田化学研究所从事原油清防蜡剂及降凝降粘剂的研究。
- 敬加强** 博士,1964年生,1999年毕业于西南石油学院石油与天然气工程专业,获博士学位。现主要从事油气集输工艺与理论的教学科研工作。
- 董学旺** 工程师,1962年生,1988年毕业于天津市建材职工大学硅酸盐工艺专业,现在中国石油天然气集团公司工程技术研究院从事管道防腐保温技术研究工作。
- 田栓魁** 工程师,1969年生,1992年毕业于西南石油学院机械系矿场机械专业,现在大港油田集团公司设计院研究所从事油田地面工程设计和科研工作。
- 张维常** 工程师,1964年生,1985年毕业于华北水利水电学院动力设备专业,现在中国航空油料新疆公司修建处从事工程管理工作。
- 王猛** 工程师,1957年生,1985年毕业于原中国石油天然气管道职工学院仪表自动化专业,现在中石化储运公司襄樊输油公司工作。
- 胡建华** 高级讲师,1960年生,1982年毕业于黑龙江商学院石油储运专业,现任中国石化储运公司销售公司舟山石油化工学校(省部级重点中专)实验中心主任。
- 陈江波** 见本刊2000年第4期作者介绍。
- 黄起陆** 副教授,1942年生,1965年毕业于西北工业大学飞机系,曾在中国空气动力研究与发展中心从事风洞设计与研究工作,现在解放军后勤工程学院从事教学与科研工作。
- 刘忠勇** 工程师,1967年生,1992年毕业于石油大学(山东)石油储运专业,现在中石化集团管道储运公司新乡输油公司从事管道管理工作。
- 赵建新** 工程师,1964年生,1990年毕业于石油函授大学储运专业,现任中石化集团管道储运公司设计分析检测中心主任,从事节能监测、计量检定、环境监测、油品化验等工作。

Hu Jianhua and Zhang Renkun: **Surge and its Control for Pipeline of Tank Farm**, *OGST*, 2000, 19(6) 46~48.

The description and analysis on surge of process pipeline and its hazards in loading, unloading and delivery of product oil in tank farm have been carried out. The method of simplified calculation on direct surge and indirect surge is introduced. In the article, two countermeasures to be taken to control and eliminate such surge, that is, process operation control and specialized equipments, have been set forth.

**Subject Headings**: tank farm, pipeline, surge, control

Chen Jiangbo and Han Zhenjiang: **Analysis on Standing Pressure of Air-supply Pipe of Air Compressor and Trouble Shooting**, *OGST*, 2000, 19(6) 48~49.

In the light of the standing pressure within the secondary cylinder of air compressor and air-supply pipe, it influences the safe operation of heat medium heater, an air relief system to eliminate the standing pressure has been adopted in the air-supply system. Actual operation of the system has shown that the shutdown frequency of air compressor has been greatly reduced, which is significantly beneficial to the heat medium heater.

**Subject Headings**: air compressor, standing pressure, trouble shooting, air relief system

## • MACHINERY & EQUIPMENT

Huang Qilu, Yu Jiang *et al*: **Two-step Breathing Valve Can Ensure the Safety of Oil Tank**, *OGST*, 2000, 19(6) 50~52.

The calculation and analysis on three special breathing rates of air flow of oil tank have been made. The results have shown that for the air temperature under abrupt reduction condition, the value difference between the breathing under the stand pressure and the rate of air flow supplied is too big, which leads to pressure dropping and results in collapse of oil tank. This paper introduces a new two-step breathing valve which can meet all requirements of the tank's breathing. When internal pressure of the tank changes abruptly, the valve may completely open quickly to satisfy all requirements of the tank's breathing. So it can ensure the safety of the tank's breathing.

**Subject Headings**: oil tank, breathing valve, operation analysis, calculation, two-step breathing valve, application

Liu Zhongyong and Shang Mengping: **A New-type Leak Detection System**, *OGST*, 2000, 19(6) 53~54.

**Subject Headings**: pipeline, oil, leakage detection, system, application

## • ENGINEERING & ECONOMY •

Zhao Jianxin: **Analysis and Measurement on Exergy Equilibrium for Pumping Station**, *OGST*, 2000, 19(6) 55~58.

Based on the basic conception of exergy, evaluation criterion of exergy equilibrium and calculation method of exergy, the measurement of exergy equilibrium for Changqing pump station has been made. The analytical model of exergy and exergy equilibrium equations for the pump station system, transportation subsystem and power supply subsystem have been presented. By analyzing computation results, it is pointed out that the high grade energy is wasted on the low efficiency equipments, which is the main reason of waste of energy in the pump station. To solve the problem, the measures to be taken to increase the energy utilization rate and the systems' exergy efficiency have been put forward in the aspect of energy utilization.

**Subject Headings**: pump station, exergy equilibrium, exergy analysis, measurement