

联合站能耗测试分析 及节能技术研究

高聚同◎著



天津出版传媒集团
天津科学技术出版社

联合站能耗测试分析 及节能技术研究

高聚同 著

天津出版传媒集团

 天津科学技术出版社

内容提要

本书通过建立能量评价模型,采用能量分析法和 分析法,对整个联合站工艺流程及主要设备进行用能分析,旨在通过联合站设备及系统能耗测试、分析找到系统的用能薄弱环节,为整个系统节能降耗提供改进方向及措施,从而达到节能的目的。

本书可供从事油田开发的技术人员及大专院校师生学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

联合站能耗测试分析及节能技术研究/高聚同著
—天津:天津科学技术出版社,2012.12
ISBN 978-7-5308-7559-9

I. ①联... II. ①高... III. ①集中处理站—节能—研究 IV. ①TE86

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 282840 号

责任编辑:王 彤

责任印制:王 莹

天津出版传媒集团

 天津科学技术出版社

出版人:蔡 颢

天津市西康路 35 号 邮编 300051

电话(022)23332372(编辑室)23332393(发行部)

网址: www.tjkjcs.com.cn

新华书店经销

东营石大博雅印务有限公司印刷

开本 787×1092 1/16 印张 7.75 字数 150 000

2012 年 12 月第 1 版第 1 次印刷

定价:58.00 元

前 言

油田联合站是原油生产的一个关键环节。整个系统进行的是一个复杂的生产循环过程，需要消耗大量的能源，尤其在油田的中后生产期，原油含水量增加的情况下，如何解决好联合站集输处理问题，使油田保持较低的能耗和运行成本，实现联合站系统的节能降耗是当务之急。本书通过建立能量评价模型，采用能量分析法和分析法，对整个联合站工艺流程及主要设备进行用能分析，旨在通过联合站设备及系统能耗测试、分析找到系统的用能薄弱环节，为整个系统节能降耗提供改进方向及措施，从而达到节能的目的。

本书的编写力求从生产实际出发，强化理论与实践结合，各章内容相对独立又组成一个整体。第一章介绍了联合站的工艺流程及设备，对联合站的节能技术现状进行了概括；第二章讲述了联合站的能量评价理论基础，包括能量平衡分析和平衡分析基本原理，同时总结了联合站能耗评价的指标体系和评价过程；第三章将能量评价理论应用到现场中，详细阐述了用能评价方法的具体实现；第四章阐述了工艺环节、泵系统、加热炉系统、余热利用等方面，概括了联合站的节能技术。其中在第三章第五节以胜利油田孤东一号联合站为例，对联合站系统及设备用能开展测试、评价、分析，得到系统的能流图和流图，清楚地表达了联合站系统的能耗组成和用能薄弱环节，可供广大油田职工进行系统能量评价分析作参考。

在本书编写过程中，中国石油大学（华东）林日亿副教授等给予了很多帮助及许多宝贵的意见，编者对各位老师为本书付出的心

血表示深深的谢意。

由于编写时间仓促，编者水平有限，书中难免有疏漏、错误及不足之处，恳请广大读者不吝赐教。

编 者

目 录

第 1 章 联合站节能概况	1
1.1 联合站节能技术现状	1
1.2 联合站工艺流程及设备	3
1.2.1 联合站概述	3
1.2.2 主要设备	4
1.2.3 工艺流程	6
1.3 联合站油气处理系统的用能特点	8
第 2 章 联合站能量评价理论基础	10
2.1 能量平衡分析基本原理	10
2.1.1 能量平衡方程	10
2.1.2 能量平衡分析的方法及步骤	11
2.2 平衡分析基本原理	12
2.2.1 平衡方程	12
2.2.2 分析准则	15
2.2.3 分析模型	17
2.3 联合站能耗评价的指标体系与步骤	18
2.3.1 联合站的单位能源消耗量	18
2.3.2 联合站的能量利用效率	20
2.3.3 能量转换和传输设备的用能指标	24
2.3.4 影响联合站能耗指标的因素	25
2.3.5 联合站用能评价的指标体系	26
2.3.6 联合站能耗评价的步骤	28
第 3 章 联合站能量评价技术	29

3.1	能耗节点及其划分	29
3.2	现场测试及数据采集	30
3.3	能量平衡分析及能流图	33
3.3.1	联合站单设备能量平衡分析	34
3.3.2	联合站整体的能量平衡分析及能流图	49
3.4	平衡分析及 流图	53
3.4.1	系统主要设备的 分析	53
3.4.2	联合站整体的 平衡分析及 流图	60
3.4.3	对联合站实施 平衡的步骤	61
3.4.4	联合站整体能量平衡 流图	62
3.5	实例分析	62
3.5.1	孤东一号联合站设备节点的能量平衡	62
3.5.2	孤东一号联合站的效能和能流分布图	65
3.5.3	孤东一号联合站工艺环节的用能分析	68
3.5.4	孤东一号联合站能量转换与传输环节的用能分析	72
第4章	联合站节能技术	78
4.1	工艺环节节能技术	78
4.1.1	降低脱水原油的加热温度	78
4.1.2	降低加热原油的含水率	85
4.1.3	加强工艺设备的保温工作	89
4.2	加热炉系统的节能技术	90
4.3	泵系统的节能技术	95
4.4	联合站夹点分析技术	99
4.4.1	夹点技术理论	99
4.4.2	夹点技术应用	106
4.5	余热回收利用技术	111
4.6	其他形式的节能	112
	参考文献	115

第 1 章 联合站节能概况

解决好联合站集输处理问题，使油田保持较低的能耗和运行成本，实现联合站系统的节能降耗，提高油田的整体经济效益，是各油田当务之急。在此对联合站系统的节能降耗作如下分析。

1.1 联合站节能技术现状

油田联合站是原油生产的一个关键环节，它的主要作用是接收各转油站来油，对油、气、水进行分离、净化、加热，将处理后合格的原油、净化污水、净化天然气向下一级油库输送^[1]。整个系统进行的是一个复杂的生产循环过程，需要消耗大量的能源，是油田的耗能大户。尤其在油田的中后生产期，原油含水量增加的情况下，如何解决好联合站集输处理问题，使油田保持较低的能耗和运行成本，实现联合站系统的节能降耗是当务之急。一般说来，脱水转油系统的能耗主要是电能、燃料以及各种药剂的消耗。因而，现在节能降耗工作都是从节省电能、节省气量以及节省加药剂量等这几个方面入手，主要采取的方法如下^[2]。

（1）使用变频装置

电费是成本的一个大头，联合站大型动力设备多，能耗高，是节能的潜力点。变频装置的使用在降低电量方面取得了明显效果，顺利实现了“马”与“车”的匹配，避免了“大马拉小车”现象，实现了流程平稳^[3]。

（2）引进自动加药装置

自动加药装置利用专用的微机加药软件，根据液量及原油含水

率等参数的变化随时对药量进行调整,可第一时间在含水率和来液量发生变化时改变加药量,避免来液量降低或含水降低时药量的浪费及液量大或含水率高时药量不足对生产带来的不良影响,提高药剂的使用效率,保证生产运行质量。

(3) 对游离水脱除器等分离设备功能的提高和结构优化

游离水脱除器投产一定时间后,其处理效率会变得很低,不能再满足生产的需要。高效游离水脱除器改造投产后,其出油含水会大大减少,减少了破乳剂和除油剂的使用量,还会降低燃油消耗量。

(4) 破乳剂的研究与应用

国内外各石油公司在脱水工艺方面,注重研制并应用高效脱水破乳剂,依靠破乳剂来降低热耗。例如,在保证破乳效果、脱水水质和不产生中间乳化层的情况下,应用常温或低温破乳剂,可以打破破乳温度的限制,有效地解决高含水原油加热这一难题。

(5) 原油改性处理

对“三高”原油进行改性处理,可以降低原油黏度、结蜡点和凝固点,改善原油的低温流动特性,从而降低原油加热温度,减少燃料消耗。

(6) 采用新的污水处理工艺

采用新的污水处理工艺,诸如污水就地处理、就地回注,合理调整污水输送管网的布局,避免或减少污水在各个站点间来回“调运”等措施,减少电能消耗。

(7) 优化生产运行

加强参数调节既是运行生产的根本保障,也是节约成本的有效措施,既能降低药剂费、电费,还能减少燃气的消耗。对加热炉,现在一般通过增加吹灰和热回收装置,加强监测和控制,合理调节风机配风,从而降低排烟温度和过剩空气系数,达到提高加热炉效率的目的。对泵机组,主要是进行适当的工况调节:在输送介质量较小时,可以将大流量泵用小流量泵替换。对于多泵并联输油系统,工况调节应在满足管线输油量要求和泵流量允许的条件下,尽量减

少运行泵台数，增大单泵的运行流量。

(8) 余热回收

利用热泵技术吸收联合站丰沛的低品质污水余热，将高品质热量供给原油及其他工艺流程，实现污水余热的回收利用，既能提高系统的能量利用率，又可以减少环境热污染。

(9) 加强成本管理

油气集输系统是一个非常复杂的物流处理系统，涉及到能量的转换与利用，物流的收集、计量、净化、分离与输送等。在这样的系统中，能量种类的配置、能源消耗量的多少，除了与工艺流程、系统设备有关外，还取决于管理因素。因此，抓好管理仍然是油气集输节能的有效措施与手段。

1.2 联合站工艺流程及设备

1.2.1 联合站概述

联合站是对各计量站或转油站来液进行集中处理的地方，其主要包括油气水分离、原油处理（脱水）、原油稳定、轻油回收、天然气净化以及采出水处理和回注等工艺流程和措施。站内主要包括原油处理系统、转油系统、原油稳定系统、污水处理系统、注水系统以及天然气处理系统等。它是高温、高压、易爆的场所，是油田的一级要害场所。

从油田目前的情况来看，联合站大致要完成以下的主要功能。

- 1) 接收油井、分井计量站或接收站输送来的油（液）和气。
- 2) 对油（液）和气进行分离、净化。
- 3) 对原油进行稳定，回收油田气体中的凝液等。
- 4) 将符合标准的原油、油田气、轻烃，经计量后分别输送到矿场油库和用户。
- 5) 含水原油中脱除的含油污水送至污水处理装置，处理后回注

油层。

联合站工艺流程复杂、操作烦琐、占地面积大、能耗多、效率低。目前国内一些油田，逐步采用全封闭集输流程采用高效、多功能设备、自动计量和控制技术，达到了节能降耗，提高了油田集输技术水平，降低了油气开发成本。

1.2.2 主要设备

(1) 三相分离器

油气水混合来液进三相分离器即进行初步气液分离。伴生气通过一级分离、二级捕雾器处理后，进入气处理系统。

同时，油水混合物进入预分离室，流体经过整流、消泡、聚集等处理单元后，进入沉降室开始分离，形成油水分层。通过调节水室导水管的高度，形成稳定的油水界面。沉降室内上部的油溢流进油室，底部的水通过导水管流入水室，通过机械式浮子液位调节阀或导波雷达液位计控制电动阀控制出油阀、出水阀排出合格的油和水，且可调节液面高度。

(2) 电脱水器

它是通过直流或交流电所形成的电场强度（两者的混合）使原油进一步脱水，使其达到含水在 0.5% 以下的合格净化油的电器设备。一般可以分为立式、卧式两种。

结构原理：原油从进油管进入预降室，沉降泥沙及部分游离水，在预降室左右两侧进入进油槽，然后以进油槽上的布油孔进入油水界面下部的水相空间，进行水洗脱除残余游离水。利用水的浮力使水洗后的油流方向垂直于电极面，并且自下而上地经过油水界面的上部电场空间，在高压电场的作用下水颗粒发生碰撞，聚结合并，水靠油水密度差分离沉降到脱水器底部，进入集水室，经排水放出。脱水后的净化油汇于脱水器顶部集油管，经出油管排出。

(3) 加热炉

加热设备将燃料燃烧或电流所产生的热量传给被加热介质使其温度升高。在油气集输系统中，它被用来将原油、天然气及其产物

加热至工艺所要求的温度，以便进行输送、沉降、分离和粗加工等。一般可以分为水套加热炉和真空相变加热炉，水套加热炉根据燃烧方式的不同又有微正压燃烧水套加热炉和负正压燃烧水套加热炉之分。

（4）除油罐

目前出水系统采用的除油设备是除油罐，按其功能可分为：自然除油罐、斜管除油罐和粗粒化除油罐。

1) 自然除油罐是依靠油水的密度差进行油水分离，从而达到除油的目的。

2) 斜管除油罐是在自然除油罐中装入了波纹斜管，使除油罐的分离面积成倍增加，每块斜管都相当于一个小的分离设备，这就使相同处理量下的除油效率大为提高。另外，由于斜管之间的距离很小，使油珠浮升的距离大大缩短，相应缩短了沉降时间，有利于提高除油效率。

3) 粗粒化除油罐是在斜管除油罐的基础上增加了粗粒化装置。含有油滴的水在其细小间隙组成的流道中做不规则运动时，一方面增加了碰撞的机会，另一方面由于材料表面的吸附作用和水动力作用，小油滴不断地被黏附在材料的表面。当黏附在材料表面的原油达到一定量时，便脱离其表面形成大颗粒油滴进入水中。这种过程在材料表面和间隙中连续不断地进行着，把小油滴变成大油滴，极大地提高了除油效率。

（5）沉降罐

沉降罐是用于原油热化学沉降脱水的储罐。油水混合物进入沉降罐中，依靠下部水层的水洗作用和上部原油中水滴的沉降作用得以分离。

（6）净化油罐

储存沉降罐溢流出的净化原油，也可作为油品交接罐。

（7）泵

泵为站场中工艺介质、污水等的流动提供动力及为缓蚀剂、水

合物抑制剂及其他化学剂进入天然气压力系统提供能量。一般有离心泵和往复泵两类。

(8) 换热器

为了降低联合站加热炉的热负荷，在脱水原油进入加热炉之前，首先进入换热器，使蒸汽的热能尽可能多地传给脱水原油。

(9) 稳定塔

为了降低原油蒸发损耗，合理利用油气资源，保护环境，提高原油在储运过程中的安全性而采用的原油稳定装置。我国原油稳定的重点是从原油内分出 C_1 - C_4 ，稳定后在最高储存温度下规定的原油蒸气压“不宜高于当地大气压的 0.7 倍”。

1.2.3 工艺流程

收集油井产出的油、气、水混合物，按一定顺序通过管道，连续地进入各种设备和装置进行处理，获得符合质量标准的油气产品，并将这些产品输送到指定地点的全过程，称为工艺流程。联合站是将油井所产原油进行脱水、稳定，生产出商品原油的场地，其工艺流程是随着油田开发和进步逐步发展和完善起来的，它是油气集输生产流程的重要组成部分。

对于不同的油田，因其生产的产品的物性差别很大，所以在进行工艺处理时，所选用的工艺流程也不尽相同，以取得较好的处理效果和最大的经济效益。目前国内联合站油处理系统的基本流程可大体分为以下几种：

1) 各转油站、计量站来液——一次预分水器——二次预分水器——进站加热炉——油气分离器——含水稳定塔——一次沉降罐——二次沉降罐——脱水泵——脱水加热炉——电脱水器——稳定塔——净化油罐——外输泵。此类流程适合于重质原油处理。

2) 各转油站、计量站来液——预分水器——进站加热炉——分离器——含水稳定塔——一次沉降罐——二次沉降罐——外输泵。此类流程适合于重质原油处理。

3) 各转油站、计量站来液——一次沉降罐——二次沉降罐——

净化油罐——外输泵。此类流程适合于稠油处理。

4) 各转油站、计量站来液——加热炉——稳定塔——脱水泵——净化油罐——外输泵——加热炉。此类流程适合于中质油品处理。

5) 各转油站、计量站来液——三相分离器——加热炉——高效三相分离器——稳定塔——外输泵。此类流程适合于中质油品处理。

6) 各转油站、计量站来液——换热器——沉降罐——脱水泵——换热器——二次沉降罐——外输泵。此类流程适合于超稠油处理。

7) 各转油站、计量站来液——分离器——加热炉——沉降罐——脱水泵——加热炉——换热器——净化油罐——外输泵——加热炉。此类流程适合于重质油品处理。

8) 各转油站、计量站来液——加热炉——沉降罐——脱水泵——加热炉——换热器——电脱水器（可省）——净化油罐——外输泵——加热炉。此类流程适合于重质原油处理。

9) 各转油站、计量站来液——沉降罐——脱水泵——换热器——电脱水器——稳定加热炉——稳定塔——换热器——净化油罐。此类流程适合于中油品油处理。

10) 各转油站、计量站来液——三相高效分离器——加热炉——脱水器——换热器——加热炉——稳定塔——外输泵。此类流程适合于轻质油品处理。

水处理系统工艺流程：在这一流程里，从三相分离器，一次沉降罐以及二次沉降罐过来的污水首先进入缓冲罐，将含有的残留天然气进行收集，然后经过一次除油罐除掉大部分原油，再经过二次除油罐进一步净化，最后将经过处理的污水输入缓存罐，以备使用，将所得到的原油输入污油缓存罐，由提升泵送入三相分离器。

气处理系统工艺流程：中转站来气——收球配气间——除油器——增压站——计量——外输

整个联合站系统的工艺流程图如下所示：

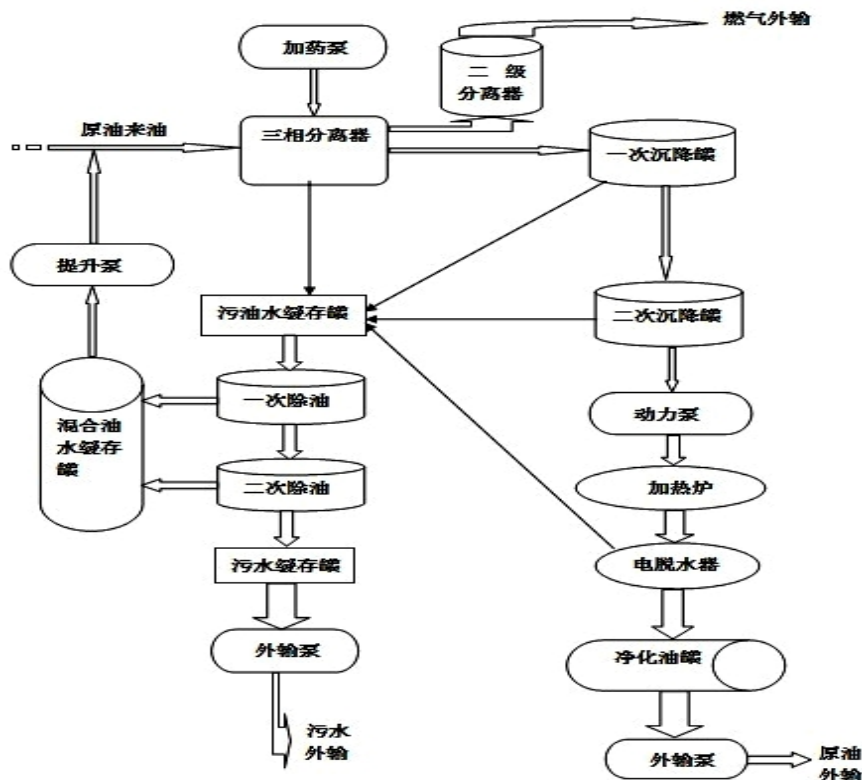


图 1-1 联合站工艺流程图

1.3 联合站油气处理系统的用能特点

油田联合站是原油生产过程中最重要的环节之一，它是集油水分离、污水处理、原油含水分析等多个系统为一体的综合性生产过程。其中的油水分离过程是进行原油脱水、实现油水分离的重要环节，它直接关系到原油的产品质量和整个联合站的能耗水平。

原油脱水就是要破坏原油乳状液的稳定性，使分散相合并、聚集、沉降分离。在原油乳状液中，天然乳化剂形成的界面膜有较高的机械强度，阻止了水滴的合并沉降。尽管乳状液有一定的稳定性，

但从热力学观点看，原油乳状液仍属不稳定体系。在破乳剂、电场力等作用下能够破坏原油乳状液的油水界面膜，促使水滴的聚集和沉降。目前我国各油田普遍采用的是沉降脱水、电脱水、电化学联合脱水的方法。采用的脱水流程主要有两种，即两段式脱水流程和三段式脱水流程。孤东一号联合站采取的脱水工艺为：井排来液首先进入三相分离器脱除部分水，分水后的原油经井排加热炉加热后进入油气分离器分出大部分的天然气，分气后的原油经含水油稳定塔依次进入一次、二次沉降罐沉降分离，后经脱水泵加压并进入水煤浆换热器、脱水加热炉加热后，进入净化油稳定塔，加热后的原油经净化油罐进一步油水分离后外输。

联合站的能量消耗是为油气处理服务的，根据功能的不同，将联合站的生产过程分为两个环节。

1) 工艺环节

工艺环节主要包括沉降、脱水的设备和过程。在能量传递过程中有温度和压力的变化，温度变化会导致热的损失，压力变化会导致压能的损失。热为低品位能量，压能是高品质能。但就整个油气系统而言，温差、压差均不是很大，所以无论是热损率还是压损率均比较小。

2) 能量转换与传递环节

工艺环节用能的来源是由能量转换和传递环节提供的。联合站所需的热能由加热炉提供，在加热炉中将燃料的化学能转换成热能，给介质加热升温。理论上加热炉内部的耗散很大，所以此类设备热损率与损率相差十分悬殊，且都是热损率小于损率。

联合站内流体所需的压能是通过泵机组由电能转换而来。由于输入泵的电能和转换后的压能都是高品质能，因此电能转变成压能的过程中损比较小，可以不作为重点研究。

综上所述，在对油气集输能量系统进行热力学能分析时，可以忽略能质的分析，只进行能量平衡分析。因此，对联合站油气处理系统只需采用传统的能量平衡分析法。

第 2 章 联合站能量评价理论基础

能量分析是能源应用科学的重要组成部分，是组织和改进用能实践必不可少的基本手段。所谓能量分析，是指依据能量转换和传递理论，对设备或系统用能过程的有效性和合理性进行评价和分析。能量分析方法分两大类：一类是依据热力学第一定律建立的分析法，简称第一定律分析法或能量平衡分析法，通常所说的能量分析就是指这一类；另一类是依据热力学第一、第二定律建立的分析法，称为热力学第二定律分析法或 平衡分析法。

2.1 能量平衡分析基本原理

能量平衡是研究进入体系的能量和离开体系的能量在数量上的平衡关系，简称能平衡，又称热平衡。它以热力学第一定律为基础，主要运用热平衡原理，以热效率为基本准则，分析评价用能设备和系统的能量有效利用状况。利用能量平衡分析，找出系统中能损率最大的薄弱环节和部位，为改进工艺或设备用能状况提供技术依据。

2.1.1 能量平衡方程

根据热力学第一定律，输入系统的能量应等于输出系统的能量与该系统内贮存能量的变化量之和，这就是在工程上广泛应用的能量平衡原理，如图 2-1 所示。