

# 南八仙联合站余热回收技术研究概述

孙益杰

中国石油工程建设有限公司青海分公司, 中国·甘肃 敦煌 736202

**摘要:** 南八仙联合站隶属青海油田采气二厂, 是一座集原油脱水、天然气增压脱水、水处理于一体的综合性场站, 站内能耗主要以耗气及耗电为主, 站内主要能耗设备包括了原油加热炉、低压气及伴生气压缩机及注水泵等。随着青海油田清洁替代项目推进, 优先推进经济效益好、投资低的余热回收方案, 采用伴生气压缩机余热提升采暖水温度, 采用低压气压缩机余热及采出水余热热泵提升含水原油温度, 实现南八仙联合站节能降耗。

**关键词:** 余热回收; 加热炉; 压缩机; 热泵; 换热器

## Overview of Research on Waste Heat Recovery Technology at Nanbaxian Joint Station

Yijie Sun

China Petroleum Engineering & Construction Corporation Qinghai Company, Dunhuang, Gansu, 736202, China

**Abstract:** Nanbaxian Joint Station is a comprehensive station belonging to Qinghai Oilfield Gas Production Plant 2. It integrates crude oil dehydration, natural gas boosting dehydration, and water treatment. The energy consumption inside the station is mainly gas and electricity consumption. The main energy consuming equipment in the station includes crude oil heating furnace, low-pressure gas and associated gas compressor, and water injection pump. With the advancement of the clean substitution project in Qinghai Oilfield, priority is given to promoting waste heat recovery schemes with good economic benefits and low investment. The use of associated gas compressor waste heat to increase heating water temperature, and the use of low-pressure gas compressor waste heat and produced water waste heat heat pumps to increase the temperature of water containing crude oil, will achieve energy conservation and consumption reduction at the Nanbaxian Joint Station.

**Keywords:** waste heat recovery; heating furnace; compressor; heat pump; heat exchanger

## 0 前言

南八仙联合站 2001 年建成投产, 主要处理南八仙油气田所产原油及天然气, 天然气处理规模 175 万方/年, 原油处理规模 5 万吨/年, 水处理规模为 860 方/天, 近年来气田压力持续下降, 产水逐年增多, 增压规模不断扩大, 另外油田部分含水率持续上升。根据开发预测, 伴生气增压气量为 37 万方/年~55 万方/年(压缩机三级压缩), 低压气增压气量为 16 万方/年~41 万方/年(压缩机单级压缩), 采出水量在 300 方/天~400 方/天(水温 35℃), 余热资源较为丰富, 开展南八仙联合站余热回收研究, 能够降低场站碳排放量, 合理利用余热资源。

## 1 生产现状

### 1.1 天然气处理流程

伴生气和低压气分别经过各自压力系统的一级和二级分离器后, 进入对应压缩机系统增压后进入中压天然气处理系统。中压气与前述增压后来气经过一级和二级分离器后, 进入中压天然气处理系统。伴生气压缩机共计 2 台, 进气压力为 0.25MPa, 排气压力在 3.5~4.3MPa, 单台压缩机增压能力为  $15 \times 10^4 \text{Nm}^3/\text{d}$ 。低压气压缩机共计 1 台, 进气压力为 2.3~2.5MPa, 排气压力在 3.5~4.3MPa, 压缩机增压能力

为  $45 \times 10^4 \text{Nm}^3/\text{d}$ 。

### 1.2 原油处理流程

来油混合后(温度: 10℃)通过水套加热炉加热之后(温度: 40℃), 进入三相分离器, 分离出原油进入净化油罐, 水进入污水处理系统。原油处理系统年处理量约 3.4 万吨, 日处理量约 93 吨。

### 1.3 污水处理系统

采用“气浮除油—混凝沉降—预涂膜过滤组合”工艺流程。污水处理系统日处理水量约 300 方/天。

## 2 需热分析

南八仙联合站主要有原油加热及采暖热负荷需求。

### 2.1 原油加热

南八仙联合站有 2 台加热炉用于原油加热, 功率分别为 630kW 和 800kW。根据预测未来原油系统来油量为 8~19m<sup>3</sup>/d, 产水量在 356~407m<sup>3</sup>/d, 来液加热前后温度为 10℃和 40℃, 据此计算得到原油所需加热负荷为 589~634kW。

### 2.2 采暖热负荷

南八仙联合站有 2 台加热炉用于采暖, 功率分别为 1250kW 和 630kW。根据供热系统需求及现状水最大循环量为 30.6m<sup>3</sup>/h, 回水温度为 45℃, 出水温度为 73℃, 经测算采暖总负荷约为 1000kW。

### 3 余热资源

#### 3.1 压缩机余热资源

①低压气压缩机（1 台）运行参数如下：

进气压力 / 温度：2.3~2.5MPa/10℃ ~25℃。

排气压力 / 温度：3.5~4.3MPa/40℃ ~72℃。

排气量：40 万方 / 天 ~45 万方 / 天。

空冷器后温度均在 37℃ ~45℃。

根据预测，低压气量将从 40 万方 / 天逐年下降至 16 万方 / 天，气量不稳定，冬季运行 3.5MPa 时排温仅为 40℃ ~50℃，夏季运行 4.3MPa 时排温为 72℃。

②南八仙伴生气压缩机（2 台）运行情况，单台运行参数如下：

进气压力 / 温度：0.25MPa/10℃ ~20℃。

排气压力 / 温度：3.5~4.3MPa。

一级排气压力：1.1MPa。

一级排温：100℃ ~110℃。

二级排气压力：2.5MPa。

二级排温：100℃ ~110℃。

三级排气压力：3.5~4.3MPa。

三级排温：70℃ ~85℃。

排气量：15 万方 / 天。

空冷器后温度均在 37℃ ~45℃。

根据预测，伴生气量稳定在 37.5 万方 / 天 ~56 万方 / 天，

单台处理能力 15 万方 / 天，因此余热资源稳定可靠，可作为热源需求。

#### 3.2 水系统余热资源

采出水处理系统规模为 860m<sup>3</sup>/d，处理后水温为 35℃，采出水量在 320~407m<sup>3</sup>/d，水温较高，水量稳定。

### 4 余热利用分析

南八仙联合站余热包括低压压缩机余热、伴生气压缩机余热及采出水余热。南八仙联合站主要为原油加热及采暖加热。各换热介质物流性质如表 1 所示。

通过上表数据，可以得出以下结论：

①低压压缩机排温冬夏季排温相差较大，热量仅夏季可使用，因此仅能作为含水原油加热。

②净化水罐采出水温度为 35℃，可采用水源热泵实现余热回收并对外加热。

③伴生气压缩机余热可作为含水原油及采暖水加热热源。

据此提出为充分利用伴生气压缩机余热及采出水余热提出以下两种换热方案：

①方案一：伴生气压缩机余热用于原油系统加热，采出水余热用于采暖系统加热。

②方案二：伴生气压缩机余热用于采暖系统加热，采出水余热用于原油系统加热。

对比方案如表 2 所示。

表 1 南八仙换热介质运行工况参数表

介质名称	类别	流量	压力 (MPa)	换热前温度 (°C)	换热后温度 (°C)	换热负荷 (kW)
低压气压缩机增压后天然气	热流	40 万方 / 天 ~45 万方 / 天	3.5~4.3	夏季 70, 冬季 40~50	40	夏季 290
伴生气压缩机 A/B 一级增压天然气		15 万方 / 天	1.1	100	40	220
伴生气压缩机 A/B 二级增压天然气			2.5	100	40	220
伴生气压缩机 A/B 三级增压天然气			3.5~4.3	70	40	100
净化水罐来采出水		320m <sup>3</sup> /d	0.5	35	10	420
采暖水回水	冷流	30.6m <sup>3</sup> /h (734.40m <sup>3</sup> /d)	0.	45	75	1000
含水原油		340m <sup>3</sup> /d	0.2	10	40	530

根据上述比选可以看出，方案一费用现值较低，但考虑到方案二系统可靠性更高，天然气系统与原油系统相对独立，出现单系统故障，对另一系统基本无影响，因此推荐采用方案二。

采暖水升温使用伴生气压缩机系统余热方案：

通过总体负荷分析可以看出，伴生气压缩机余热无法满足采暖水升温至 75℃要求，因此采用余热回收后仍需采用采暖炉进行升温。

根据采暖水水量，单台压缩机余热与其换热量为 15.3m<sup>3</sup>/h，由于伴生气第三级压缩温度较低，因此提出以

下两种换热方式：①换热方式一：三级与二级压缩后天然气串联与一部分水量换热，一级压缩后天然气单独与剩余水量换热，经过测算，前者换热量占比达到 70%，后者仅为 30%，换热后采暖水温度在 63℃，然后通过采暖炉升温至 75℃。②换热方式二：三级与一级压缩后天然气串联与一部分水量换热，二级压缩后天然气单独与剩余水量换热，经过测算，两者换热量占比均为 50% (7.65m<sup>3</sup>/h)，换热后采暖水温度在 63℃ (7.65m<sup>3</sup>/h)，然后通过采暖炉升温至 75℃。

为方便调节，综合比选推荐采用第二种方式。据此换热计算如表 3 所示。

表 2 余热利用总体方案比选表

项目	方案一	方案二
主要工程量	换热器 6 台 缓冲罐 6 座 压缩式水源热泵 1 台	换热器 6 台 缓冲罐 4 座 压缩式水源热泵 1 台
设备费用 (万元)	525	420
节约天然气量 (万方/年)	83.4	78.4
增加耗电量 (万度/年)	72.4	120.89
检维护工作量 (万元/年)	12.1	10.8
费用现值 (万元)	800	820
优点	①压缩机余热回收较少; ②系统用电负荷较低	①安全性能高, 天然气系统与原油系统相对独立, 系统可靠性高; ②设备投资低, 费用现值低; ③检维护工作量较小; ④系统联锁控制相对简单
缺点	①安全性能较低, 可靠性略低; ②设备投资高, 费用现值较高; ③设备设施多, 维护工作量大; ④系统联锁控制系统复杂。	①压缩机余热回收较少; ②系统用电负荷较高
推荐方案		√

表 3 南八仙联合站压缩机三级与一级排温余热回收换热参数表

序号	参数	单位	数值
1	水	m <sup>3</sup> /d	183.4
2	三级增压天然气压力	MPa	3.5
3	三级增压天然气温度换热前/后温度	℃	70/53
4	与三级增压气换热前/后水温	℃	45/51.7
5	一级增压天然气压力	MPa	1.0
6	一级增压天然气换热前/换热后温度	℃	100/70
7	与一级增压气换热前/后水温	℃	51.7/63
8	天然气量	Nm <sup>3</sup> /d	150000
9	换热器数量	台	2

①伴生气压缩机三级排温与采暖水换热器, 加热负荷为 61kW, 换热面积 6m<sup>2</sup>。

②伴生气压缩机一级排温与采暖水换热器, 加热负荷为 108kW, 换热面积 13m<sup>2</sup>。

南八仙联合站压缩机二级排温余热回收换热参数表如表 4 所示。

表 4 南八仙联合站压缩机二级排温余热回收换热参数表

序号	参数	单位	数值
1	水	m <sup>3</sup> /d	183.4
2	二级增压天然气压力	MPa	2.5
3	二级增压天然气换热前/换热后温度	℃	112/70
4	与二级增压气换热前/后水温	℃	45/63

③伴生气压缩机二级排温与采暖水换热器, 加热负荷为 157kW, 换热面积 13m<sup>2</sup>。

通过伴生气压缩机排温进行回收, 实现采出水自 45℃升温至 63℃, 两台压缩机余热回收换热器设置 6 台, 通过压缩机热量回收实现了回收热负荷 652kW。

含水原油升温余热回收方案:

①采出水余热回收。

根据前述分析, 低压气压缩机余热仅能在冬季使用, 因此含水原油升温主要依托采出水余热回收, 为实现采出水余热低位热源的热能转移到高位热源, 采用水源热泵回收, 具体分为压缩式水源热泵与吸收式水源热泵, 而压缩式热泵主要依靠消耗电能来运行工作, 吸收式热泵主要依靠热能驱动工质循环工作。压缩式热泵回收余热具有高性能 (COP 值更大)、供热量大等优点, 因此本工程采出水余热回收采用压缩式热泵方式。具体选择水源热泵总制热量: 0.64MW, 配电功率: 0.183MW。

②低压缩压缩机余热回收换热器计算选型。

被加热介质为含水原油, 流量为 320~407m<sup>3</sup>/d, 温度为 10℃, 换热后温度为 20℃~25℃, 经计算, Q=290kW。加热介质为增压后天然气, 流量为 400000m<sup>3</sup>/d (3.5MPa), 温度为 70℃, 换热后温度为 40℃, 确定换热器的换热面积 25m<sup>2</sup>。

## 5 研究结论

①南八仙联合站可利用压缩机及采出水余热回收, 实现采暖水及含水原油加热。

②伴生气压缩机余热可用于采暖水加热, 需设置 6 台换热器, 实现采暖水自 45℃升温至 63℃, 后续采用加热炉进行升温至 75℃。

③含水原油加热低压缩压缩机余热在夏季进行运行, 同时采用采出水余热全年运行实现含水原油自 10℃升温至 45℃, 设置压缩式水源热泵。

### 参考文献:

[1] GB50350—2015 油田油气集输设计规范[S].  
[2] 陈东. 热泵技术手册[M]. 北京: 化学工业出版社, 2016.