

高温水源热泵在天然气处理中的应用

王玮¹ 景阿宁² 王宵宇¹ 李兴国¹

(1. 中国石油大港油田天然气公司处理站 2. 中国石油长庆油田公司第一采气厂)

王玮等. 高温水源热泵在天然气处理中的应用. 天然气工业, 2008, 28(9): 111-113.

摘要 回收利用天然气处理装置中的余热来解决装置的生产伴热和房屋采暖可实现节能降耗。根据中国石油大港油田天然气公司天然气处理装置的特点建立的高温水源热泵技术,是一套服务于生产排污管线伴热和房屋采暖的实用技术。它与分子筛脱水技术相结合,形成了独特的高温水源热泵技术,成功地将天然气处理装置中压缩机出口天然气的热量加以回收,产生60~70℃的高温水,达到为装置的排污管线伴热和房屋采暖的目的,为天然气处理系统应用高温水源热泵提供了经验。

关键词 高温 水源 热泵 天然气处理 应用 废热回收

中国石油大港油田天然气公司天然气处理站担负着大港油田伴生气的净化处理任务,主要生产装置为轻烃回收装置,主要工艺过程为:原料气增压—脱硫塔脱硫—分子筛脱水—膨胀制冷—轻组分分馏塔—脱乙烷塔—脱丁烷塔—液化石油气和稳定轻烃。

天然气处理站的第一个工艺单元(即原料气增压单元)的设备是美国德莱赛兰公司的往复式天然气压缩机组,每台压缩机处理天然气 $45 \times 10^4 \text{ m}^3/\text{d}$,压缩机为三级压缩,1、2、3级的排气温度分别为90、130、110℃。压缩机的级间冷却采用空冷器冷却的方式,空冷器有两台30 kW的电机。压缩机三级出口经空冷器冷却后温度在50~60℃之间。

压缩机出口的天然气经过脱硫塔脱硫后进入分子筛脱水单元进行脱水。经多年的生产实际,结合分子筛具有“吸附温度越低脱水效果越好”的特点,总结出分子筛在40~50℃之间吸附天然气中的饱和水效果最好,并且天然气中的轻烃还不会在分子筛塔冷凝,从而确保下游的精馏单元产量不会降低。

处理站现有10 t/h蒸汽锅炉3台,主要用于冬季采暖和生产装置伴热,日消耗天然气 $10\,000 \text{ m}^3$,处于“大马拉小车”的状态,能源利用率较低。

一、高温水源热泵技术应用

如前所述,天然气处理工艺单元(即原料气增压单元)的压缩机空冷器受环境温度影响比较大,夏季天然气处理工艺中压缩机的出口温度一般在50~60

℃之间。但是分子筛脱水的工艺特点要求天然气的温度在40~50℃之间最合适。为了确保分子筛脱水的效果,在压缩机的出口增加了一个水冷器来冷却天然气,保证分子筛的脱水效果良好;冬季水冷器停用,只使用空冷器。

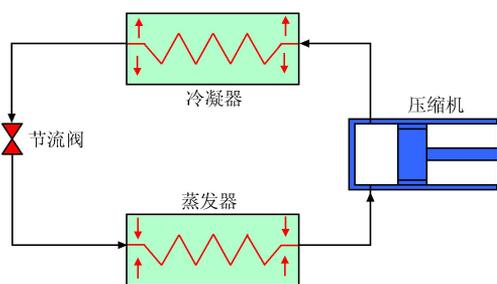
由于处理站冬季生产期间,需要使用10 t/h的蒸汽锅炉为装置的排污管线伴热,造成能源的大量浪费。为了节约能源并充分利用压缩机出口天然气的热量,提出了利用高温水源热泵产生高温水,用热水替代蒸汽来为装置伴热的改造方案。

1. 高温水源热泵工作原理

高温水源热泵机组利用逆卡诺循环原理,将空气(或水)中的低品位热能转化为高品位热能^[1-2]。

热泵中的制冷剂通过压缩机驱动,在闭合的管道回路中不断循环(见图1)。简单地说就是制冷剂通过压缩机的驱动在蒸发器(与低温热源接触)膨胀蒸发吸收热量,变成高温低压气体,经压缩机加压后变成高温高压气体,然后进入冷凝器(与高温热源接触)放出相变潜热,成为低温高压液体,又经节流器绝热节流成为低温低压液体,再回到低温热源处进入下一次工作循环。经过制冷剂的循环,高温热源处不断得到热量从而达到制热的目的。在整个过程中,制冷剂只是把从低温热源处吸收到的热量连同压缩机对其所做的功传递给高温热源,所以并未违背能量转化和守恒定律^[3-4]。

作者简介:王玮,1972年生,高级工程师;1994年毕业于原西安石油学院化工设备与机械专业;现任中国石油大港油田天然气公司处理站副站长,从事天然气净化处理和压缩机管理工作。地址:(300280)天津市大港区大港油田天然气公司天然气处理站。电话:(022)25916039。E-mail:wangweidz@sina.com

图1 高温水源热泵工作原理图^[3]

热泵的热量一部分是从低温热源吸取热量,一般占总供热量的70%~75%;另一部分由机械功转变而来,一般占总供热量的25%~30%^[1]。

2. 方案设计

(1) 伴热采暖管线改造

1) 现状

目前,天然气处理站内分离器区、油罐区、球罐区、空压机房的排污管线均采用蒸汽伴热,零位罐、机油罐、油罐区水罐也采用蒸汽伴热,被伴热介质为水或油水混合物,伴热要求为维持介质温度在10℃左右,不发生冰堵现象。

2) 伴热负荷统计

计算生产区域内各个分离器排污管线伴热负荷为147 kW,各个办公室和厂房的面积为1 698 m²,需要的采暖负荷为272 kW,采暖、伴热总负荷为419 kW。

3) 方案内容

伴热管线改造:设备的蒸汽伴热管线改造为热水伴热管线,伴热热源取自新建高温水源热泵,热泵除向伴热管线提供热源外,还为油泵房、休息室、装瓶间、喷淋间的暖气片供暖,供水温度80℃,回水温度60℃,伴热总管采用DN100无缝钢管,敷设至油罐区后变为DN80,末端管径为DN65。

经现场调查,现有装置排污伴热管线有DN25、DN50、DN80、DN100四种规格。经计算, DN25和DN50排污伴热管线采用DN15的热水伴热管线, DN80和DN100排污伴热管线采用DN25的热水伴热管线比较合适。

(2) 设备选型

选用一台QYHP-550H型的高温水源热泵机组,机组制热量为580 kW,采用2台半封闭双螺杆制冷压缩机作为主机,单台螺杆压缩机的额定功率为92 kW。

高温水源热泵机组低温水进口和出口温度分别为42℃和35℃,高温水进口和出口温度分别为60

℃和80℃,能效比(COP)为5.41。

机组采用先进的西门子S7-200系列PLC控制,具有全自动控制功能,设有较完善安全保护系统,保证运行安全可靠。

3. 方案实施

通过分析,水冷器的技术参数如下:水冷器型号为BES800-1.0/4.0-160-6/25-4 II;换热面积为160.2 m²;管程(冷却水)设计压力为1.0 MPa;壳程(天然气)设计压力为4.0 MPa;天然气额定质量流量为40 439.397 3 kg/h;天然气进口温度为70℃;天然气出口温度为42℃;冷却水额定质量流量为144 387.883 5 kg/h;冷却水进口温度为32℃;冷却水出口温度为37℃。

天然气水冷器仅在夏季使用,冷却水为站内循环冷却水,天然气出口温度为42℃,在额定工况下水冷器负荷约730 kW,其流程见图2。



图2 天然气水冷器流程图

由于热泵系统仅在冬季使用,所以为了回收天然气热量,在冬季时启用水冷器,并将水冷器的冷却水由夏季的站内循环冷却水改为热泵的低品位循环水(温度较低的水叫做热媒水,下同)。

压缩机的天然气经空冷器冷却后,再进入水冷器去加热高温水源热泵的低品位循环水(热媒水)。由于低品位循环水经过水冷器加热后温度由35℃上升到42℃,42℃的热媒水加热高温水源热泵里面蒸发器的制冷剂,制冷剂膨胀蒸发吸收热量,变成高温低压气体,42℃的热媒水则由于被制冷剂吸收热量变为35℃,然后继续进入水冷器吸收天然气的热量上升到42℃进行下一个工作循环。

变成高温低压气体的制冷剂经高温水源热泵的压缩机加压后变成高温高压气体,制冷剂进入高温水源热泵冷凝器,与高温热水循环水换热,制冷剂放出相变潜热,成为低温高压液体,此后又经节流器绝热节流成为低温低压液体再回到低温热源处进入下一次工作循环。

高温热水则经过热泵冷凝器高温高压的制冷剂加热后,温度可达到80℃,采暖后回水温度为60℃,继续进入热泵冷凝器被高温高压的制冷剂加热达到80℃进行下一个工作循环。这样,高温热水可以满足生产的伴热和办公的采暖要求。水冷器和高温水源热泵的流程如图3。

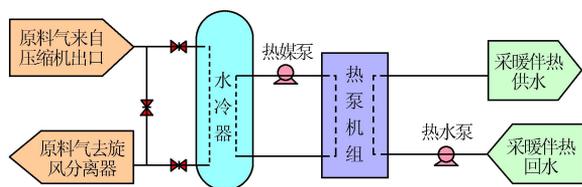


图3 水冷器和高温水源热泵的流程图

二、实施后技术效果及经济效益

1. 技术效果

高温水源热泵投用后,天然气经过水冷器冷却后的温度为 $40\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$,高温水源热泵的热媒水温度从 $42\text{ }^{\circ}\text{C}$ 降到 $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右,采暖伴热水从 $60\text{ }^{\circ}\text{C}$ 加热到 $80\text{ }^{\circ}\text{C}$,满足了生产装置的排污管线伴热和房屋采暖的需要,冬季生产不再使用蒸汽锅炉。由于高温水源热泵为全自动操作机组,能够实现无人职守,减少了人力操作的劳动强度。

在2007年冬季生产过程中,大港油田天然气公司天然气处理站根据天气情况,调整压缩机空冷器运行方式。当气温在 $\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时,只运行空冷器的一台风机就可以满足压缩机级间冷却的要求,使压缩机出口天然气的热量满足了高温水源热泵热媒水的加热要求,既保证了压缩机的平稳运行,也达到了高温水源热泵的运行要求。

2. 经济效益核算

(1) 蒸汽锅炉年消耗费用

使用蒸汽锅炉每天消耗天然气 $1\times 10^4\text{ m}^3$,消耗水 220 m^3 ,耗电 500 kWh ,天然气成本价按照 $0.8\text{ 元}/\text{m}^3$ 计算,水按 $3.66\text{ 元}/\text{m}^3$ 计算,电按 $0.7\text{ 元}/\text{kWh}$ 计算,每天消耗费用为 $10\,000\times 0.8+220\times 3.66+500\times 0.7=9\,155.2\text{ 元}$,每个采暖期按 120 d 计算,每个采暖期费用为 $120\times 9\,155.2=1\,098\,624\text{ 元}$ 。

(2) 高温水源热泵消耗费用

1) 高温水源热泵每年折旧费用

折旧费用=(资产原值-残值)/效用年限

本高温水源热泵资产原值 77 万元 ,残值按照原值 3% 计算,效用年限为 20 a ,计算每年折旧费用为 3.74 万元 。

2) 高温水源热泵每年运行费用

高温水源热泵功率为 184 kW ,热水循环水泵功率为 11 kW ,热媒泵电机功率为 15 kW 。因此冬季采暖期运行期间高温水源热泵整个系统的总功率为 210 kW 。

2007年冬季运行期间实际测量热泵每天耗电

3500 kWh ,热水循环泵和热媒泵每天耗电 350 kWh ,高温水源热泵整个系统合计每天耗电 $3\,850\text{ kWh}$ 。

电按 $0.7\text{ 元}/\text{kWh}$ 计算,每天电费 $3\,850\text{ kWh}\times 0.7\text{ 元}/\text{kWh}=2\,695\text{ 元}$,2007年冬季运行了 120 d ,则采暖期运行费用为 $120\times 2\,695=323\,400\text{ 元}$ 。

3) 高温水源热泵年消耗费用

年消耗费用=每年折旧费用+每年运行费用= $3.74\text{ 万元}+323.4\text{ 万元}=327.14\text{ 万元}$

由以上蒸汽锅炉年消耗费用和高温水源热泵年消耗费用数据对比后可知,使用高温水源热泵后大大降低了运行成本,每年可节约费用 73.78 万元 。

三、结 论

通过高温水源热泵在大港油田天然气处理站天然气处理装置中的成功应用,得出如下结论:

(1)采用高温水源热泵代替蒸汽锅炉的技术改造是成功的,年节约费用为 73.78 万元 ,具有很好的经济性。

(2)利用高温水源热泵回收天然气处理装置压缩机出口天然气的热量,能够满足装置冬季生产伴热的需要,既节能又环保。

(3)在设计高温水源热泵流程过程中,要充分考虑天然气压缩机出口天然气的温度范围,既要保证压缩机的平稳运行,也要保证高温水源热泵平稳运行。

(4)经过水冷器冷却后的天然气温度要根据天然气处理工艺的需要,保证温度在合理范围内,以免对生产装置的平稳运行造成影响。一般天然气处理装置使用分子筛脱水,分子筛吸附温度范围比较宽,因此使用高温水源热泵可以很好地吸收天然气的热量,并且满足分子筛脱水吸附温度的要求。

参 考 文 献

- [1] 何满潮.高温水源热泵供暖应用[J].暖通空调,2006(12):87-89.
- [2] 苏保青.用热泵回收电厂冷凝热集中供热技术研究[J].山西能源与节能,2007(3):18-19.
- [3] 李洪斌,杨先.热泵与节能[J].现代物理知识,1994(10):15-16.
- [4] 孟富春,董明,李先瑞.组合式热泵系统的原理分析[J].供热制冷,2003(10):54-56.
- [5] 王正才,刘生丽,高金桥,等.天然气深冷处理装置分子筛循环换热节能脱水工艺研究[J].2006,35(4):264-266.

(修改回稿日期 2008-07-02 编辑 赵 勤)