

混合冷剂节流膨胀制冷末级

水冷温度的控制及对制冷量的影响

程 鹏 崔文杰 (山西煤层气有限责任公司, 山西 晋城 048203)

摘 要: 受技术以及气量等条件的影响, 我国液化煤层气技术, 首先采用的是氮气膨胀制冷, 氮膨胀机制冷的优点是: 冷剂单一, 技术成熟, 操作简单, 易维护。但是随着煤层气开采量的增大, 其缺点也逐渐暴露出来, 其缺点是: 能耗高, 不适于大型装置使用。现在普遍采用的均为混合冷剂制冷, 混合制冷的优点是: 机组设备少, 流程简单; 操作管理方便; 制冷剂组分可以全部或部分从天然气中提取和补充。其缺点是: 制冷剂的合理配比困难。本文针对混合制冷末级水冷的温度控制, 来实现冷量的调整及冷量的优化。

关键词: 混合冷剂; 节流膨胀; 温度控制; 制冷量

0 前言

本文的数据来源于山西煤层气有限公司液化二期混合制冷工程工艺, 为保证生产及数据的准确性, 防止其他变量的影响, 特截取部分稳定时间段的生产数据, 所有数据均为一线数据, 未做修改。

1 节流膨胀原理

流体在管道流动时, 有时流经阀门、孔板等设备, 由于局部阻力, 使流体压力显著降低, 这种现象称为节流现象。因节流过程进行得很快, 可以认为是绝热的, 即该过程不对外做功, 故节流膨胀属绝热而不做功的膨胀。

节流过程是典型的不可逆过程。流体在孔口附近发生强烈的扰动及涡流, 处于极度不平衡状态。节流前后流体的焓值不变, 这是节流的重要特征。

2 数据来源工艺流程描述

配比好的混合冷剂由压缩机压缩, 通过水冷却后, 进入压缩机出口分离器中, 分离出由于增压并降温而冷凝的液体。MRC 气体和 MRC 液体分别进入液化换热器中各自的通道, MRC 液体在液化换热器内过冷到 -45°C 后, 节流降压进入液化换热器的中部; MRC 气体在液化换热器内冷却到 -45°C , 进入 MRC 分离器 (中), 分离出液体和气体, 从 MRC 分离器 (中) 出来的液体继续进入换热器, 冷却到 -120°C 后节流降压后返回换热器与返回的气相汇合, 从 MRC 分离器 (中) 出来的气相冷却到 -150°C 节流降压返回换热器底部, 由下而上汽化, 并在液化换热器中部与反流的 MRC 液体汇合, 一起为液化换热器内的净化天然气液化而提供冷量。出液化冷箱后的混合冷剂返回到压缩机的入口, 再次压缩而循环制冷。

3 末级分离器中涉及的物质

末级分离器中涉及的物质均为混合制冷的冷剂。分别为: 甲烷, 乙烷, 丙烷, 异戊烷, 氮气。

表 1 甲烷: 第 2.1 类易燃气体

熔点	-182.5°C
----	--------------------------

沸点	-161.5°C
溶解度 (常温常压)	0.03
蒸汽压	$53.32\text{kPa}/-168.8^{\circ}\text{C}$
饱和蒸汽压 (kPa)	$53.32 (-168.8^{\circ}\text{C})$
相对密度 (水 = 1)	0.42 (-164°C)
相对密度 (空气 = 1)	$0.5548 (273.15\text{K}, 101325\text{Pa})$
临界温度 ($^{\circ}\text{C}$)	-82.6
临界压力 (MPa)	4.59

表 2 乙烷: 第 2.1 类易燃气体

熔点	-169.4°C
沸点	-104°C
相对密度 (水 = 1)	0.61 (0°C)
相对蒸气密度 (空气 = 1)	0.98
饱和蒸汽压 (kPa)	$4083.40 (0^{\circ}\text{C})$
燃烧热 (kJ/mol)	-1323.8
临界温度	9.6°C
临界压力	5.07MPa

表 3 丙烷: 第 2.1 类易燃气体

熔点	$-187.6 (85.5\text{K})^{\circ}\text{C}$
沸点	$-42.09 (231.1\text{K})^{\circ}\text{C}$
相对密度 (水 = 1)	0.5005
燃点	450, 易燃
相对蒸气密度 (空气 = 1)	1.56
饱和蒸汽压 (kPa)	$53.32 (-55.6^{\circ}\text{C})$
燃烧热 (kJ/mol)	2217.8
临界温度	96.8°C
临界压力	4.25MPa

表 4 异戊烷: 第 3.1 类低闪点易燃液体

熔点	-159.4°C
沸点	27.8°C
饱和蒸汽压 (kPa)	79.3

表 5 氮气: 第 2.2 类不燃气体

熔点	-195.6°C
沸点	-209.8°C
饱和蒸汽压 (kPa)	1026.42

4 末级温度对于各个温度流量的影响

实际工况: 入口 0.229MPa 、 28°C ; 级间 1.125MPa 、 35.8°C ; 末级 2.92MPa 、 35.4°C ;



图 1 T1 与 T2 的关系



图 2 T1 与 T3 的关系



图 3 T1 与 T4 的关系

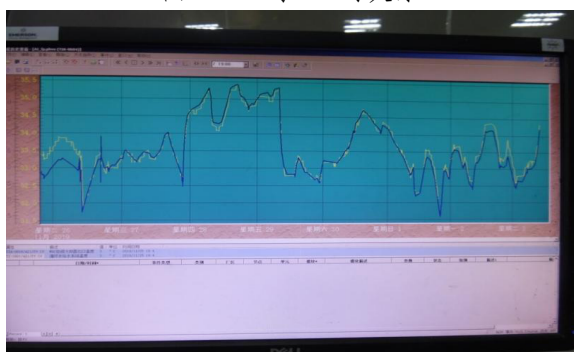


图 4 T1 与 T5 的关系



图 5 T1 与 T6 的关系

为保证实验数据的正确性，数据统计期间，级间以及末级的水冷调节器阀门锁死。循环水温度为 T1；级间水冷后的温度为 T5；末级水冷后的温度为 T6；液相节流阀后温度为 T2；冷箱中部温度（气相节流中部温度）T3；冷箱底部 LNG 温度为 T4；进冷箱气相流量为 F1；液相流量为 F2；T2 压力为 0.28MPa；T3 压力为 0.28MPa；T4 压为 0.18Pa。由于阀门锁死，循环水温度直接代表级间温度及末级温度，正相关。即 T1 的变化趋势代表 T5 及 T6，图 1-图 7 为在企业采集的数据。



图 6 T1 与 F1 的关系



图 7 T1 与 F2 的关系



图 8 T1 与 T2 的关系附表

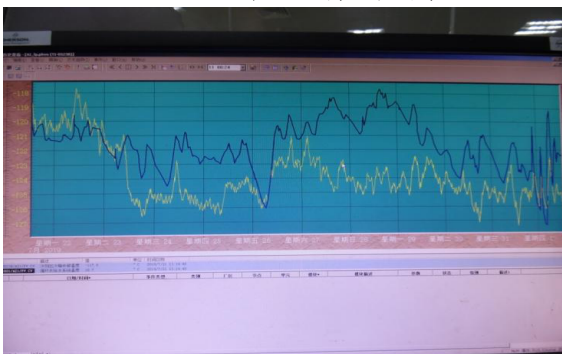


图 9 T1 与 T3 的关系附表



图 10 T1 与 T4 的关系附表



图 11 T1 与 F1 的关系附表

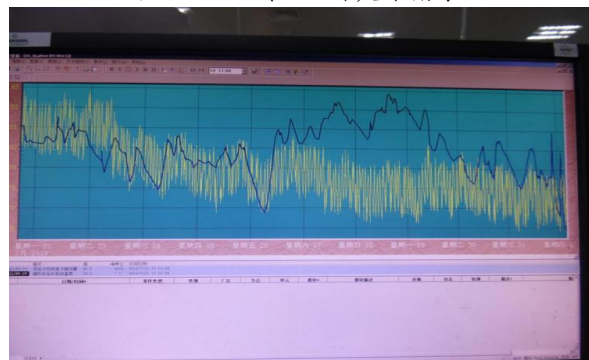


图 12 T1 与 F2 的关系附表

为了使数据更具代表性，专门采集了夏天最热、水温最高时的另一组数据（图 8- 图 12）。

5 关于数据的理论分析

能量的转化肯定符合能量守恒，压缩机出口水冷器带走的热量即为最后混合冷剂能为冷箱提供的冷量，所以，循环水温度越高，水冷器出口温度越高，带走的热量越少，转化的冷量越少，这是理论依据。

该系统选用的甲烷，乙烯，丙烷，异戊烷，氮气为混合冷剂，根据节流时温度变化的 joule-thomson 效应，带入热力学关系，可以计算出均为冷效应。系统节流时，其温度也均在最高转化温度之下。

节流后流体能达到的温度，为节流前温度减去 joule-thomson 效应系数关于节流前后压力变化的积分，所以由公式可知，节流前的温度变化可以导致节流后的温度变化。

①由 T1 与 T2 的关系图表及 T1 与 T6 的关系图表可以看出，在固定阀门的情况下，循环水的温度上升导致末级水冷器的水温上升，导致液相节流后的温度上升，三个数据正相关。根据数据可知，丙烷异戊烷的 joule-

thomson 效应系数较甲烷及氮气较大，所以液相节流制冷能较快的影响冷箱的整体冷量，液相节流效应明显；

②根据 T1 与 T3 的关系图表也可看出，一定条件下循环水温度对于冷箱中部的影响，由于冷箱中部存在气液相的转化，温度影响较为复杂，并且在数据分析中发现，T1 与 T3 存在部分负相关，所以 T1 对于 T3 的影响不是直接的，T3 受 T2 影响较大；

③根据 T1 与 F1 的关系图表及 T1 与 F2 的图表分析，循环水温的下降会导致气液相循环量的减少，而气液相的循环量减少会导致冷量的减少，存在负相关，所以，循环水温亦不是通过气液相的流量来影响冷量；

④ T4 最能代表冷箱冷量，T4 下降则代表冷量的增加，T1 与 T4 的关系图表及 T1 与 T6 的关系图表可以看出，循环水温直接通过影响末级温度，最后影响冷量，正相关，所以，随着末级温度的降低，节流后温度降低，影响冷量的增加，这是第一因素。

为了使数据更具说明性，第二组数据采用的是 7.22 日至 8.01 日，循环水温度在 35-38℃ 之间，由 T1 与 T2 的关系附表及 T1 与 T4 的关系附表分析可知，循环水温亦与冷箱出口冷量存在正相关，并且通过企业的能耗分析，第一组数据循环水温在 30-35℃ 之间的能耗较第二组数据更低，进一步说明循环水温亦与冷箱出口冷量的正相关。

6 结论

通过理论分析及企业采集到的数据得知，循环水温影响液相温度，从而影响冷量，并且，循环水温控制较低，可实现局部的冷量增加。所以在液化煤层气时可以通过调节末级水冷温度来实现冷量的增加，能耗的降低，但是，对于末级温度的低限，尚未进行理论分析，实际操作中不宜低于 30℃，防止对于气液相流量及组分的影响过大，导致冷箱的波动。

参考文献：

- [1] 刘霞,姬忠礼,于明俭,等.煤层气集输系统颗粒杂质分布及应对措施[J].煤炭学报,2016,41(9):2281-2286.
- [2] 马沛生,李永红.化工热力学(通用型)第二版[M].化学工业出版社,2009:79-81.
- [3] 马沛生.化工数据[M].北京:中国石化出版社,2003.
- [4] 冯新.化工热力学[M].北京:化工出版社,2009.
- [5] 王国清.无机化学[M].北京:中国医药科技出版社,2008-08.
- [6] 陈洪明,郭简,秦飞虎,等.山西晋城煤层气粉尘净化研究初探[J].石油与天然气化工,2014(1):85-99.
- [7] 贾壮,姚仙洲.混合冷剂制冷工艺在撬装天然气液化装置中的应用[J].中国科技投资,2019(16):193.

作者简介：

程鹏(1992-),男,山西阳城人,中级工程师,山西煤层气有限责任公司工艺班班组长,从事天然气煤层气液化、开采研究。