

利用天然气压差发电的可行性及其经济效益研究

董常龙^{1,2} 马倩倩³

(1. 江西省天然气管道有限公司, 江西 南昌 330096)

(2. 南昌大学, 江西 南昌 330031)

(3. 江西省天然气集团有限公司, 江西 南昌 330096)

摘要: 高压天然气蕴含有大量的压力焓, 常规调压阀降压损失了大量压力焓, 通过膨胀机等设备可转化为机械能、电能、冷焓等能源, 为有效利用压力焓, 根据热力学理论详细计算天然气管网压力焓的潜力, 给出了天然气管网压力焓开发利用的建议, 进一步提升天然气管网的经济效益及科技化水平。

关键词: 天然气分输站; 压力焓发电; 冷焓; 膨胀机

1 引言

在调压阀节流降压过程中, 高压天然气所含有大量的压力焓被损耗, 对能源利用造成了很大的浪费, 如果将这部分能量加以收集和利用, 将对环保节能及碳达峰、碳中和起到很好的促进作用。

2 压力焓的理论分析

根据热力学焓的理论, 可将天然气管道压力焓变化使用焓焓关系来进行研究。天然气压力焓的比焓焓可使用 $e_{x,H}$ 来表示, 根据焓焓关系分析可知:

$$e_{x,H} = h - h_0 - T_0 (S - S_0)$$

式中: $e_{x,H}$ 为比焓焓, J/kg; h 为工况下的比焓, J/kg; h_0 为环境状态下的比焓, J/kg; T_0 为环境温度, K; s 为工况下的比熵, J/(kg·K); S_0 为环境状态下天然气的比熵, J/(kg·K); 其中:

$$s = c_p \ln \frac{T}{T_0}$$

$$s_0 = R_g \ln \frac{P}{P_0}$$

式中: c_p 为比定压热容, J/(kg·K); T 为工况下的温度, K; R_g 为气体常数, J/(kg·K); P 为工况下的绝对压力, MPa; P_0 为环境绝对压力, MPa; 上述可知:

$$e_{x,H} = h - h_0 - T_0 (s - s_0) = h - h_0 - T_0 c_p \ln \frac{T}{T_0} + T_0 R_g \ln \frac{P}{P_0} =$$

$$= C_p (T - T_0 - T_0 \ln \frac{T}{T_0}) + T_0 R_g \ln \frac{P}{P_0} = e_{x,T} + e_{x,P}$$

最终可得:

$$e_{x,H} = e_{x,T} + e_{x,P}$$

式中: $e_{x,T}$ 为天然气的比温度焓, J/kg; $e_{x,P}$ 为天然气的比压力焓, J/kg。

通过上式可知, 天然气的焓焓由压力焓和温度焓构成, 在天然气远距离管道输送过程为等温流动, 压力焓相当于膨胀做出的技术功, 故压力焓可推导如下:

$$e_{x,P} = T_0 R_g \ln \frac{P}{P_0}$$

为了更清晰表达压力焓的大小, 我们按纯甲烷来简化计算, 选取 C_p 按照 2.227 J/(kg·K), R_g 按照 518.75 J/(kg·K), ρ 按照 0.7174 kg/m³, γ 按照 1.3, 环境温度为 298.15 K, 环境压力为 101.325 kPa 进行模拟计算, 得出同一天然气管道在不同压力下的压力焓大小, 如图 1 所示:

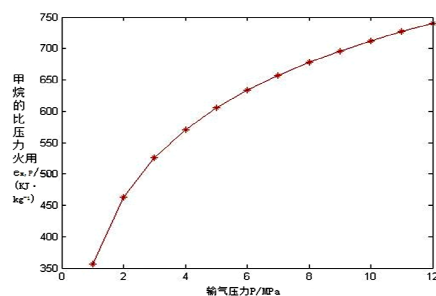


图 1

通过图 1 可知, 天然气管道输送的压力越高, 蕴含的压力焓也越多, 但压力焓不仅与管道工况的压力有关, 也与管供给燃气企业的压力压力有关, 根据压力焓计算公式, 按照环境温度为 298.15 K, R_g 按照 518.75 J/(kg·K) 来进行模拟计算, 得出了同一天然气管道在不同供气压力下的压力焓大

小,如图2所示:

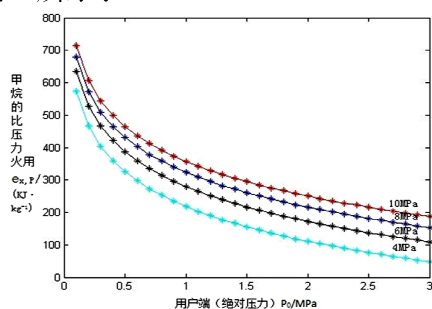


图2

通过图2可知,压力焓随着供气压力的升高逐渐减小,综合来看,压差越大,压力焓越大。

天然气在压力调整过程存在膨胀降压的过程,膨胀降压时会降低压力及温度,此过程会产生冷焓,导致温度降低,具体温度降低的数值可按照膨胀机的比热容定值多变过程进行处理,此过程的技术功可按照如下方式计算:

$$W_T = h_1 - h_2 = C_p(T_1 - T_2) = \frac{nR_g}{n-1} T_1 \left[1 - \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}} \right]$$

$$T_2 = T_1 \left(\frac{P_2}{P_1} \right)^{\frac{n-1}{n}}$$

式中: W_T 为技术功, J/kg; T_1 为入口天然气温度, K; T_2 为出口天然气温度, K; h_1 为入口天然气比焓, J/kg; h_2 为出口天然气比焓, J/kg; P_1 为入口天然气压力, MPa; P_2 为出口天然气压力, MPa; n 为多变指数, 取 1.2。

根据上述公式,按照目前西气东输、川气东送等主干天然气管道运行压力大多在 10MPa 左右,城市燃气公司出站压力大多在 0.4MPa 左右,根据压力焓计算公式,可计算出温降的数值、膨胀机所做的技术功、温度焓、压力焓等参数,当环境温度在 25℃ 时,在天然气经过膨胀机膨胀降压后,天然气的温度降低为 -92℃,通过计算温度焓为 70000J/kg,压力焓为 464000J/kg,技术功为 365000J/kg,假设一年输气量在 120 亿标方,天然气的压力焓约为 40 亿 MJ,可折合成 120MW 级的发电站 1 年多的发电量,同时,膨胀降压后,温度会急剧降低,也可获得大量冷焓进行降温、制冰、制取 LNG 等生产生活使用,综上研究,压力焓蕴含了巨大的能量,如果将压力焓进行有效的回收,可大大降低煤炭电厂的二氧化碳排放量,服务国家实现碳达峰、碳中和战略起到巨大的作用。

3 常见压力焓回收与利用方式研究

目前,压力焓主要有三方面的应用,一是压力焓通过一定的工艺及装置转化为机械能、电能;二

是利用压力焓的膨胀降压过程中产生的冷焓服务需要降温的生产工艺及设备;三是将压力焓转换的机械能、冷焓等能量进行联合利用。

3.1 直接膨胀发电

天然气从主干管道到城市配气管网流动时,存在较高的压差可以推动相关机械设备旋转做功,将压力焓转化为机械能。以透平膨胀机为例,在天然气进入透平膨胀机以后,高压的天然气推动内部叶片带动转轴旋转,将压力焓转化为机械能,同时,透平膨胀机通过连接发电机设备带动发电机转子旋转产生电能,实现发电的目的,利用压力焓产生的电能还可用于生产,多余的电能还可以并网出售,可降低企业生产成本,产生较高的经济效益。

3.2 制备 LNG 调峰

天然气在压力调整时存在膨胀降压的过程,温度会急剧降低,因此,可获得大量冷焓来进行降温,以膨胀机或涡流管为例,天然气在流经膨胀机或涡流管降压后,天然气的温度急剧降低,通过换热器换热后,将天然气进行液化生成 LNG,液化后的天然气储存在 LNG 储罐内或装车外运。根据上述原理,可在用气低峰时,利用降压过程产生的冷焓制备 LNG 存在起来,在用气高峰时,将储存的 LNG 通过汽化器进行气化,输入管道进行调峰,确保天然气管道的平稳运行。

3.3 轻烃分离

天然气含有少量的乙烷、丙烷、丁烷等轻烃组分,轻烃组分越高,天然气的热值也越高,随着国家管网的成立,天然气气源也呈现多气源的格局,多种气源混合将造成天然气热值的变化,为了确保管道内天然气热值相对稳定,热值标准的统一,对高热值的天然气可进行轻烃组分的分离,实现天然气多气源的互通。根据天然气压力焓的相关理论,天然气在膨胀降压过程中会产生大量冷焓,通过一定的工艺可充分利用冷焓进行轻烃组分的分离。通过利用压力焓进行轻烃组分的回收,不仅可实现天然气热值的统一,方便多气源的互联互通,还可以为天然气企业回收大量的轻烃等附加值产品,增加企业营收。

3.4 橡胶粉碎

我国是一个橡胶消费大国,但也是一个橡胶资源匮乏的国家,为满足日常橡胶消费,回收废旧橡胶是目前行之有效的缓解方式,利用天然气蕴含的大量压力焓可获得大量冷焓,通过换热器冷却氮气等媒介后,可用于橡胶的脆化冷却,再利用机械设

备粉碎,低温脆化可获得精细胶粉用于橡胶的回收利用,具有很强的经济和环保价值。

3.5 天然气脱水

天然气中含有一定量的水分,水露点偏高易造成冰堵,影响天然气的输送,为防止冰堵,需要对天然气进行干燥处理。在天然气降压过程中,压力焓可获得大量冷焓,目前,通过气波制冷机等设备可降低天然气温度,使天然气中的水汽冷凝分离,从而实现天然气脱水的目的。

3.6 冷库制冷

近些年来,冷链运输业对冷库需求越来越大,目前,天然气调压站可通过透平膨胀机、气波制冷机、涡流管制冷等方式制取冷焓,将冷焓通过换热介质输送到冷库中,可节省大量的电能,一座 100 万标方的日输气量的调压站,可提供给 4000 多平方米的冷库制冷,一年可获得接近百万元的额外经济收入。

3.7 NGH 调峰

NGH 是一种天然气水合物,可用于天然气的储气调峰,压力焓可得到大量的冷焓,移走水合物生成的反应热,可实现低温常压制备 NGH,制备的 NGH 可通过加热得方式释放出天然气调峰。

3.8 联合循环用能

高压天然气的压力焓会产生机械能及冷焓,在实际使用中,仅仅使用机械能或冷焓,对压力焓的利用效率较低,由于两种能量同时产生,可在实际利用过程中设计联合使用工艺,来提高压力焓的利用效率,提高能源转化率。例如,在燃气轮机发电过程中,可使用膨胀机将一部份压力焓转化为电能,对产生的冷焓用于冷却燃气轮机进气,提高发电效率。又比如,在使用膨胀机将一部份压力焓转化为电能的过程中,可将产生的冷焓用于制冰、冷库制冷、天然气脱水、LNG 制备、橡胶粉碎等工艺,从而进一步提高利用率。

4 天然气压力焓资源潜力分析

江西省省内的天然气管道自投产以来,输气量逐年增长,当前势头越来越强,根据相关输气量数据,江西省省内符合压力焓回收条件的天然气场站共计 25 个,城燃公司门站 3 个,压力焓资源丰富,据不完全统计,目前,此省的天然气管道压力焓年发电资源量接近 3000 万度,按燃煤发电标杆上网电价估算,经济规模每年可达 1000 多万元,随着碳达峰、碳中和的持续推进,此省的输气量将更加快速增长,按照每年 20% 的增长率估算,预

计 2022 年发电量可达 4000 万度,经济效益可接近 2000 多万元。“十四五”期间,输气量将有更大增幅,因此,从经济效益方面考虑,此省天然气管道所蕴含的压力焓潜力较多,有较强的开发利用价值。

5 天然气压力焓开发方案建议

天然气压力焓发电项目作为提升能源转化利用效率的重要途径,已进入天然气行业的视野,各龙头企业开始对此项目进行研究引进,通过对华润燃气(无锡,功率 45kW)、新奥燃气(长沙,功率 45kW)、深圳燃气(宜春,功率 50kW)等已成功实施发电的项目调研,江西省省内的天然气管网项目整体工艺建议采用联合循环用能工艺来提高压力焓的利用效率。可采用膨胀机将一部份压力焓转化为电能,将膨胀过程中产生的冷焓用于制冰、场站中央空调制冷、CNG 压缩机进出气冷却等用途。对比双转子膨胀机、螺杆转子膨胀机和透平膨胀机等设备的优缺点,基于设备可靠性及多个燃气压差发电示范项目成功运营经验等方面考虑,膨胀机建议选用双转子膨胀机作为天然气压力焓回收项目的关键设备。双转子膨胀机技术相比传统膨胀机有较多优势,能够适应高压工况及流量和压力等工况的波动,可适用于不同等级的分输站。考虑压力焓实际技术开发情况及相关政策、环境变化,建议项目分试点研究阶段、重点范围推广阶段、全面推广实施阶段开展,实现研究推广步步为营。

6 结束语

天然气在管道输送过程中,蕴藏有大量的压力焓,为减少常规调压阀降压所造成能源损失,有效提高压力焓的回收利用价值,根据天然气压力焓技术开发及利用情况,从热力学角度对压力焓进行理论分析,研究了压力焓转化的特点及利用的方式,根据江西省省内天然气管网的生产情况,分析了天然气管网压力焓的潜力,借鉴当前工业生产中压力焓利用推广现状,给出了此省天然气管网压力焓开发利用的建议,为天然气管网压力焓的开发利用提供技术参考,便于此省天然气管网提升科技化水平,提高其生产效益,实现绿色转型,在国家实现碳达峰、碳中和战略中发挥巨大的作用。

参考文献:

- [1] 李光让,冷明,刘照辰.高压管输天然气利用压力能液化技术[J].当代化工,2014,43(07):1336-1339.
- [2] 伍焕洁,吕亦珍,等.管输天然气压力能发电工艺的开发与应用[J].城市燃气,2019(08):22-26.