

天然气分输站压力能利用方式经济性研究

张雨桐（古交市国新燃气综合利用有限公司，山西 太原 030200）

摘要：当前，集输管网的高压天然气的压力急剧增加，需要各个天然气分输站进行调压，对压力能进行合理的利用。本文根据天然气分输站的特点，首先介绍天然气分输站压力能的研究现状，揭示压力能目前的发展潜力，再根据目前国内普遍采用的压力能的利用方式进行辨析与分析，以提高压力能的实际利用效率，最后结合具体实例展开分析研究，探讨在实际应用的过程中压力能利用的经济效率，给我国偏远地区压力能建设提供好的参考建议。

关键词：天然气；分输站；压力能；利用方式；经济性

1 天然气压力能研究现状

随着天然气产业在我国进一步深耕，天然气的管道系统也得到了进一步发展，在解决我国能源需求不均衡的问题上，起到了较为重要的建设性作用。当前，我国天然气管道大规模建设，早已经过了初期的探索阶段，现在输气管网的症结在于提高管输系统的安全性和经济性，尤其是经济性，是当前管道建设亟需改良的目标之一。目前，普遍采用高压输送和高强度管材，可有效提高天然气的输送效率，也能保障天然气输送的安全性。例如，我国的西气东输管线、川气东送管线均采用高压输送的方式，管道的设计压力均超过了 10MPa，这也标志着我国的天然气长输管道已经处于世界领先的水平（表 1）。

表 1 国内重要的输气管道的相关属性参数统计表

名称	直径（mm）	输气压力（MPa）
北京 - 石家庄	508	6.3
涩宁兰	660	6.4
忠武线	711	6.4
陕呼线	457	6.4
陕 - 京 - 线	660	6.4

对于天然气管网压力能的回收，国外专家学者先进行了相关的研究，他们的利用方式主要包括两个方面，一是将压力能用于发电，二是将压力能用于制冷生产液态天然气（LNG），其原理是利用高压天然气管网中的压力能进行发电，通过使用膨胀机替代节流阀以回收高压天然气管网中的富余压力能，将其用于发电，实现化石能源二次有效利用。

早在 20 年前，日本某电力公司便已经利用压力能建成了天然气压差高效动能发电站，它的发电功率较高，可达超过 8000kW，其利用的基本原理就是上述所说的利用高压气体在短时间内快速膨胀，从而产生较大的压力能，推动发电机机组发电。

在 2008 年，美国的 Enbridge 科技公司在过去日本公司的基础上进行了改进，在膨胀机的基础上，加入了燃料电池，共同形成了新的天然气动能系统，并在加拿大多伦多天然气分输门站实现了有效利用。随后，天然气压力能利用技术开始逐渐朝着设备小型化发展，同时压力能能效转换率不降反增。英国国家天然气管网集输公司与其他公司展开联合研发，创造了一种体积微小的微型涡轮膨胀机，该机装载于英国东部，可有效实现天然气压力能的回收与再利用，其功率虽比不上大型的膨胀机，但是在有限体积空间内可达到超过 1000kW 的高能水平。除此之外，日本电力公司还根据温度的差异性，创造了天然气压力能的冷热混合动力发电站，这一发电方式与膨胀机发电的原理别无二致，需充分考虑天然气输送的气体压力和气体温度。

在天然气压力能生产 LNG 等方面，欧美等国家也走在了前面，创造了先进的利用技术。美国天然气集输公司根据天然气膨胀的原理，创造了可调节的液化制冷装置，该装置进气压力交低，仅为 2.5-3.0MPa，经膨胀做功后，排气压力可达 490kPa 的高压，实现天然气高效液化，液化率可达 10%-20%。在 2002 年，俄罗斯的天然气集输公司利用涡流回收调压压力能，实现天然气调压站内的天然气液化，在俄罗斯西北部的贝宝尔格和列宁格勒州实现了小型涡流天然气液化装置利用。美国爱达华州的天然气分输站建立了系统化的天然气管网压力能利用系统，该系统可在未脱水与脱除了 CO₂ 的现场应用。

国内对天然气压力能技术应用较晚，最常见的是用压力能进行 LNG 制冷液化生产，其他的关联应用主要有压力能高效发电，天然气脱水处理、天然气气量应急调峰、橡胶应变碎裂和冷藏等。早

在上个世纪九十年代,国内某理工大学便提出了高压天然气膨胀冷化脱水技术,利用制冷机对高压天然气进行强制降压降温,再通过气液分离预处理,实现天然气高效膨胀和脱水工艺。李学来等人根据天然气受热易分离的特征,实现天然气分离脱水,该技术充分利用天然气的压力能,将天然气中饱和水脱除,但是其应用条件有一定的限制,常用于6-25MPa,天然气的膨胀比为3-7。在2007年,有学者提出了回收高压天然气压力能用于制成废旧低温橡胶粉碎的冷源,诞生了一种全新的制冷设备。在这一设备中,高压天然气分流运行,其中一股天然气分流遇到气波制冷机产生低温天然气;另一股天然气分流依次与气波制冷机、透平机降压后使该波温度持续快速降低,达到温度低温极值,两股冷流天然气共同为橡胶应变碎裂提供相应的冷源,实现橡胶制冷碎裂的效果。

2 压力能的利用方式及经济性

天然气的分输站可以采取调压措施进行调压,通过调节设备的节流阀、膨胀机,实现天然气分输稳压运行。

节流阀调压是利用经典的汤-焦定律,使得较高压力的天然气通过节流阀实现压力骤降,压力降低的幅度可达4-8MPa,这种方法操作过程非常简便,并且所消耗的成本不高,缺点是没有办法将所有全部的压力能有效利用。

膨胀机可以把管网中的高压天然气膨胀并输出做功,在膨胀的过程中会发生温度的骤降,温度骤降的幅度可达15-20℃,利用膨胀机的压力调节也可以使得压力能很好利用,但是这种办法成本较高,并且在复杂的工况下运用的有效率较低。

另外,高压天然气在管网中,也可以通过热分离机、涡流管等高效设备实现压力降低,并且达到制冷的效果。当前,常见的利用方式之一便是机械能的利用,首先,可以采取直接膨胀的方式来实现发电,高压天然气通过膨胀机膨胀或压力降低,同时也输出了带轴的动力,发电机已实现发电这种方法,操作过程传统,并且设备的结构也比较简单,操作人员易于理解,能量的利用率也较低,但膨胀后天然气的温度不受控制,有时候温度降低过快,需要采取应急措施。所以,一般操作人员常在膨胀节的入口前端架设相关的稳压装置,防止膨胀机压力膨胀之后过度振动。其次,天然气在管网中,通过膨胀高压气体输出功率,使得压缩机的天然气的压力能够达到10MPa以上,压缩机在压缩天然

气后,待膨胀机膨胀生成低温天然气,降温后的天然气即可实现存储运输,这种方法使设备的成本较低,投资也比较小,操作的程度较为容易。二是对天然气的压力能实现冷却后重复利用,这种方法主要适用于一些空调冷库等的实际应用。高压天然气在压力降低后,所获得的低温天然气与再热器进行换热,常用于空调、燃气发电机的冷却。根据压力能和冷能的转换方案,低温天然气经常与冷库进行换热,然后获得较低的温度。空调系统的换热,从热力学的角度来看,梯级换热能够实现能源利用率提高,但在工程操作的角度上来看,往往容易导致成本增加,换热的效果也不够理想。第二种用途是用于粉碎橡胶,橡胶在较低的温度下表现为脆性,所以冷却的天然气可以使橡胶的物理性态由塑性变为脆性。当橡胶冷却至-70℃时,可以得到明显的橡胶颗粒,传统的低温冷却阀便是使用液氮来进行降温,但是这种方法成本较高。所以,有专家学者提出了采用低温的天然气来使橡胶冷却,从而实现碎裂橡胶的目的。高压天然气经过制冷机和膨胀机之后,成为中压的低温天然气,这种方法也降低了天然气的回收成本,提高了橡胶的利用率。三是可以利用低温的天然气进行干冰的生产,与碎裂橡胶的原理类似,高压天然气经过膨胀剂后,使得压力降低,天然气的温度也降低,与二氧化碳来换热后再输送给用户,膨胀机便可以通过做功后再把低温天然气的温度传递给二氧化碳,通过制冰机节流膨胀,从而制得各种品质的干冰。通过采用压力能制取干冰的操作方法也较为简单,上述步骤增加了干冰机制作干冰的简单操作,使得能量的利用率也较高。

从压力能的利用方式来看,可以把压力能的利用方式分为发电、干冰制作和液化天然气的提取。这三种技术在国内已经相对较为成熟。本文主要采用比较法对所提出的三个方案进行经济性对比分析,在对比相关方案的经济性的基础上,能够使得相关的经济收益达到应有水平,以判断投资的方案与投资是否有效。若分析的对比值为正,则方案是可行的,若为负,则方案不可行。

由高压天然气直接过膨胀机后膨胀发电的方案来看,高压天然气膨胀之后,压力下降,经过了缓冲罐使得温度降低,温度差又使机组发电,再进入加热器使得温度升高,输送给用户。温度的变化产生熵变,发电机实现高效发电。通过比较膨胀机的膨胀效率和熵值利用率。可以发现当熵值利用率为

75% 时,发电机的发电效率可以达到 90% 以上。在相同的压力条件下,如果压差越大,温差也就越大,发电量自然也就越多。同时,温差进一步增大,那么它的发电量也会随着温差的变大而变大。在同样的压差条件下,如果初始的压力越低,则阈限值越大。范围越宽,发电量自然也就越大。采用对比值的分析方法发现,该方案的经济性较为可观,若初期投资 2000 万元,则在年运行费的基础上可以实现较高的收益。当电价为 0.6 元 / kWh,根据天然气压力可以发现发电量必须能达到 550kW 才能够实现应有的竞争性。第二种方案是利用分输站的压力能来制取干冰,形成副产品。这一方法的原理和第一种方案类似,首先要使得管网中的高压天然气经过膨胀机后膨胀、降压、降温,膨胀后的低温天然气与二氧化碳进行混合,热量交换,然后再通过使用加热器或汽化器,把降温的天然气的温度抬高,电加热器所用的电能可以由温度降低时发电机的发出产生的电提供。当天然气与二氧化碳换热后,液态的二氧化碳生成不同品种的干冰,从而输送给用户,而天然气则由温度升高继续输送给下游的用户,当然在二氧化碳和低温天然气换热的过程中也会产生少部分二氧化碳,没有办法液化制冷,从而使得二氧化碳重新参与循环,生成新一轮的干冰。通过采用对比值分析的方法,发现分输站的压力能制取干冰有一定的经济性。若最初投资设备流程为 4000 万元,则年费用可达到 40 万元,干冰的价格若按照 4000 元 / t 来计算,可以实现销售额超出 5% 的净利润,使方案产生一定的经济性。但是,若想获得更好的经济效益,则天然气温差需要增大,以产生足够多的干冰。第三种方案是利用分输站的压力来生产液化天然气 (LNG)。当高压天然气经过第一步由膨胀机降温降压后,变成低温天然气,再经过两类换热器使得天然气液化,从而形成液化天然气。

3 实例分析

湖北某地区高压天然气分输站分别供应了不同的城市的用户。第一类城市是以环状管网的方式进行供气,气源较为稳定,不会出现压力大幅度的波动,天然气的供气量为 8 万 m^3/h 。第二类城市的天然气供应量为 3 万 m^3/h 。由于本项目仅考虑这两类城市,所以,本案例将仅针对这两类城市进行分析。分输站的天然气压力可以回收,具体要结合当地的气候、产业需求等方面因素。初步采用压力能发电的一体化系统方案,这种方案可以使得天然气降压

后的产品主要为电热和干冰。若只考虑第一类城市的话,则下游用户的压力较低。仅为 1.2–1.8MPa。由于受到不可控因素的影响,下游用户在使用一段时间后提出了相关要求,要抬高供气的压力,使得压力不低于 2.8MPa,导致膨胀机的出口压力需要提高,直接使回收的压力能大量减少,天然气的温度不断上升,干冰的产量也会下降。虽然在短期内给用户供给较多天然气,但副产品的产量受到了较大影响。

为了提高收益,燃气公司采用透平膨胀机代替国外的进口膨胀机,降低了成本,也提高了工作效率。在不同的条件下,通过综合比较相关的方案,测算投资效益回报等,可以发现方案最终具有比较稳定的可实现的价值。从三个方案进行分析,发现在方案一中的一类城市按流量 8 万 m^3/h 天然气进入膨胀机后进行膨胀,考虑发电机的有效率以及发电功率的热量损失。如果同时采用换热器来进行天然气的回收,可以实现干冰制造每天最大量可以达到 70t。第二类城市若天然气流量按照 3 万 m^3/h 进行输送,则发电机的发电功率为 520kW,可以实现干冰的制造总量达到 52t。总的发电功率可达到 1600kW,总干冰制造量可以达到 122t。

4 结语

当前,集输管网的高压天然气的压力急剧增加,需要各个天然气分输站进行调压,对压力能进行合理的利用。高压天然气在管网当中可以直接通过膨胀进行发电,但是如果压差较大时,容易对膨胀机产生不利的影响,在膨胀机的出口处容易出现冰堵现象。如果压差较小,也不会带来较好的经济效益,所以需要综合考虑压差的恒定值,根据实际的参数和现场反映的情况进行设定。压力能也可以制取干冰,已实现副产品的有效利用。第三,利用压力能也可以制取液化天然气,这要求分输站的压差相对较低,并且受到流量的影响较小,以产生非常可观的经济效益。

参考文献:

- [1] 王朝龙,李琦芬,苗沃生,谢伟,俞光灿.天然气压力能发电制冰一体化应用设计与经济性分析[J].上海节能,2019(03):221-227.
- [2] 马帅杰,林文胜.天然气分输站压力能利用方式经济性分析[J].化工学报,2018,69(S2):413-419.
- [3] 马国光,高俊,季夏夏,魏向东.利用分输站的压差液化天然气研究[J].石油与天然气化工,2014,43(06):622-625+638.