

小流量低压差天然气发电系统研究

黄晶晶 刘 猛

(上海城建职业学院, 上海 200082)

摘要: 针对中低压调压站智能化的供电技术瓶颈问题, 研究新型的安全可靠小型燃气压差发电供电系统, 突破低压差能传动(0.1MPa)关键问题, 为中低压调压站智能化推广奠定基础。燃气压力能进行了热力学分析, 并经过实验测试得出综合效率为10%左右, 效率有进一步提升的空间。

关键词: 低压差; 焓; 大扭矩; 天然气发电

一、实施目的

针对中低压燃气调压站数字化、智能化发展和供电困难这一矛盾, 瞄准智能仪表在小流量、低压差的燃气调压站中应用这一重大需求, 充分利用天然气输配行业积累的优势市场关系, 本文通过对小流量低压差工况下天然气发电技术的研究, 突破低压差、小流量、不稳定等技术问题, 完成技术的导通, 打造持续开展压差发电的平台基础, 为持续开展配套产品打下基础。

随着城市燃气管网智能化发展进程的加快, 认为利用中低压燃气调压站自身的特点, 通过燃气压差发电解决其供电需求, 不仅满足中低压燃气调压站数字化和智能化的发展需求, 对燃气管网智能化具有支撑作用; 而且具有小型化、节能环保和安全可靠等需求, 是城镇燃气智慧管网发展的必然趋势。

二、压差发电系统理论研究

压发电系统就是利用余压流体介质在膨胀机内进行的近等熵膨胀过程, 对外做功并驱动发电机将其转化为电能, 同时获得低温流体。

(一) 热力学计算方法

根据热力学第一定律, 仅仅通过一个过程或系统的能量衡算, 确定能源利用率并不能对能源利用进行综合评价。能量在传递的过程中, 虽然不能减少或者消散, 但是会有品味的高低, 低品位的能量再转化为高品位能量时, 势必会引起其他能量的损耗。为了比较在不同情况下可转化为功的能量大小, 提出了有效能的概念(available energy)的概念, 我国标称它为焓(exergy)。焓分析对于节能分析是一种十分有效的分析方法, 特别是对系统或者工艺的节能优化方面

在热力学角度上, 利用焓分析法分析天然气的压力能时, 可以把天然气管道看成是开口系统。由卡诺循环可知, 冷源从热源吸收热量时, 会引起其他能量的变化, 焓作为可以转化为功的最大数量, 被称之为最大可用能。天然气在经过各种装置(如: 膨胀阀, 节流阀等)节流后, 会造成压力和温度发生变化, 在该情况下焓可视为在压力一定时由于温度变化形成的温度焓和温度一定时由于压力变化形成的压力焓二者之和。

(二) 建模分析方法

天然气压差发电模拟过程采用 Aspen HYSYS 软件中, 采用膨胀机为主要设备来模拟发电过程。因为软件的适用性以及理论计算的局限性, 在模拟过程中, 需要对工艺流程作热力学模型假设, 过程简化为:

- ①进出口的工质都是在稳流工况条件下;
- ②除工质本身组分、进口参数、进口温度、出口压力外, 忽

略其他因素对系统性能的影响, 比如摩擦、换热、设备密封性的外在环境的影响;

③假定膨胀机工作效率为稳态的, 等熵效率、机械效率为定值, 不存在多变效率, 设备在稳定的状态下工作。

三、压差发电系统的理论计算与分析

本文中天然气中绝大多数气体为甲烷, 设天然气为100%甲烷, 取环境压力(绝对)为0.1 MPa, 环境温度为20℃, 甲烷的定压比热为 $C_p = 2.2 \text{ kJ/kg} \cdot \text{K}$, 绝热非等熵指数 $n = 1.26$, 出口压力降至2~10 kPa之间, 通过计算求得天然气出口压力2KPa~10KPa之间的温度焓和压力焓, 如图1和图2所示。

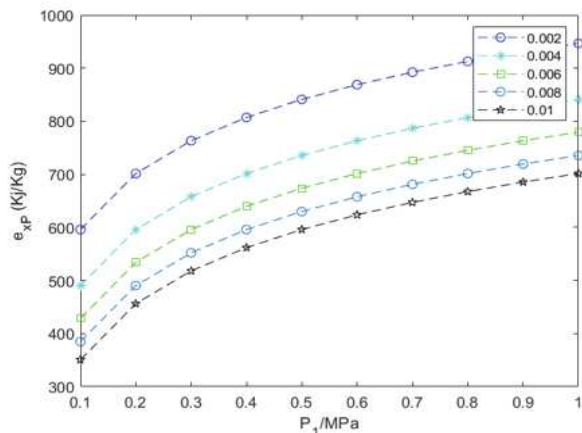


图1 中低压天然气压力焓变化趋势图

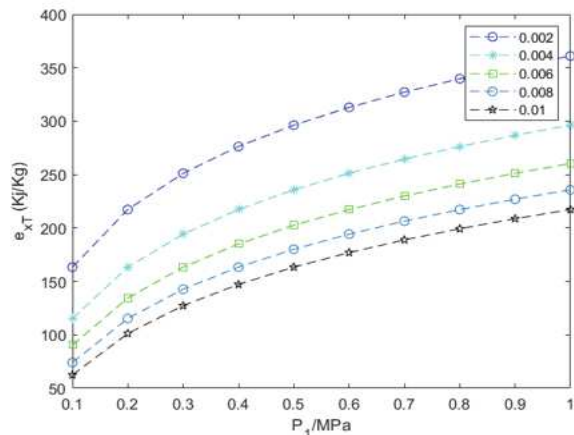


图2 中低压天然气温度焓变化趋势图

由图 1 和图 2 可以看出, 在 0.1MPa~0.4MPa 低压管网的压力焓在 50~300KJ/Kg; 压力焓在 800KJ/Kg 以下, 在 0.1MPa~0.4MPa 之间燃气能量值最小为 114.8W, 最大功率值为 301W, 能够满足压差发电的要求输出功率 20W 的要求。

从上计算可知在标准工况下 (0.25MPa, 25Nm³/h) 下, 理论输出功率为: 644.84W。系统输出效率: 20/107=3%, 则可以满足要求。

假定电池的效率为 96% (实测数据); DC/DC 效率为 97%; 可以计算出传动 + 电机效率至少为: 10.2% (96%*97%*97%) =3.4%。

假定电机效率设定为: 90%; 则马达效率至少为: 3.8%。

四、传动的系统选择

本文采用叶片式传动机构进行机械能的能量转换。该机构是一种连续旋转的气动传动装置, 通过把压缩空气的压力能转换成回转机械能的装置, 通过输出扭矩带动其他机械装置运动。

叶片式气动马达在达到额定转速时输出功率最大, 当转速大于额定转速时, 输出功率逐渐较小, 且扭矩与功率成反比。

选择马达需要满足以下条件: (1) 在给定气体压力差和流量下情况下能够带动发电机转动; (2) 转速与发电机匹配, 不用增加变速器。

(一) 马达参数

表 1 叶片式气动马达参数

气动马达工作数据				气动马达最大扭矩	
功率 (KW)	扭矩 N/m	转速 rpm	耗气量 m ³ /h	转速 rpm	扭矩 m ³ /h
1.3	4.1	3000	132.5	300	6.3

(二) 马达技术评测与效率计算

在此基础上, 对选定的叶片式气动马达开展测试, 分别得到不同气体压力下气动马达的功率、耗气量与速度的关系, 如图 3、4 所示。

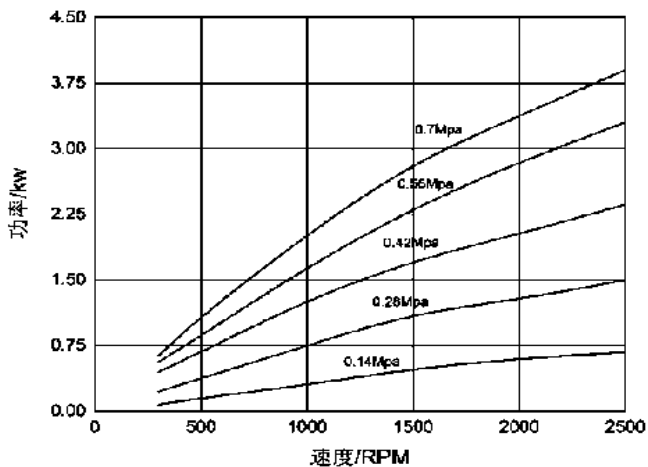


图 3 气动马达功率

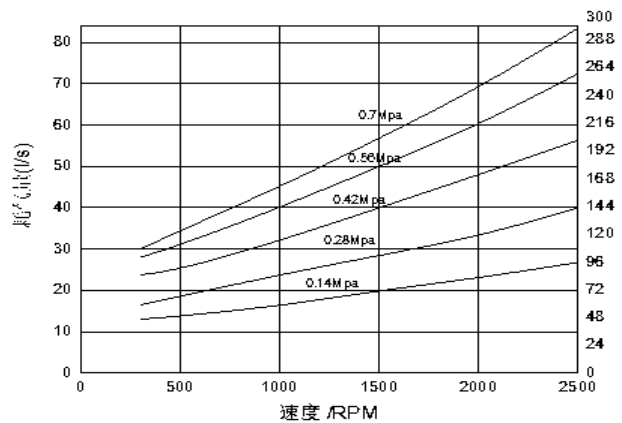


图 4 气动马达耗气量

通过图 3 可以看出, 当压差为 0.14MPa, 转速为 2500rpm 时, 输出功率接近 740W; 从图 4 可以看出, 当压差为 0.14MPa, 转速为 2500rpm 时, 耗气量为 28l/s, 输出功率达到了 740w。可以得出该气动马达远远能够满足压差发电系统 20w 额定输出功率的要求。

采用以上测试数据, 我们可以计算出马达的效率:

理论比功率: 3.34kW (取空气绝热系数为 1.4, 出口压力取 0.2MPa)。

因此马达的计算效率为: 0.74/3.34=22% (>>3.8%) 满足设计要求。

五、结论

本文采用标称功率为 1.3kW 的气动马达来满足项目技术要求, 通过“大扭矩”的特点, 在较小气压差时也能产生较大的启动力矩, 带动发电机转动发电。但是由于启动力矩较大, 功率不变, 导致马达转速相对较低, 因此选择低转速直流电机相配合; 并配置大电容滤波整流电路, 保证输出电压的稳定性。同时配置 DC/DC 进行直流纹波隔离。

测试实验数据主要结果分析:

- 1) 发电功率: 在 25Nm³/h 流量下, 应能达到 20W 的。
- 2) 0.04MPa 下电机可以运行, 也有气流流过, 但是无法发出可测功率, 在 0.1MPa 下电机气动发出 19.05Nm³/h 下功率为 21。
- 3) 由于不在实际工况下, 导致背压持续上升, 无法进行测试。经计算: 综合效率为 10% 左右, 考虑到马达效率为 22%, 说明效率有进一步提升的空间。

参考文献:

[1] 饶庆平, 郝建刚, 白云山. 碳排放目标背景下我国天然气发电发展路径分析 [J]. 发电技术, 2022, 43 (03): 468-475.
 [2] 马新华, 张国生, 唐红君, 梁英波. 天然气在构建清洁低碳能源体系中的地位与作用 [J]. 石油科技论坛, 2022, 41 (01): 18-28.
 [3] 易惠芳. 城市门站天然气调压过程压力能回收研究及应用 [D]. 南充: 西南石油大学, 2015.
 [4] 黄小美, 秦瑞丰, 胡睿, 陈思蓓. 中低压调压站压力能发电展示装置设计 [J]. 科技与企业, 2016 (01).