

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2015.06.006

天然气管网压力能小型发电系统的工艺开发与应用分析

□ 北京市燃气集团有限责任公司(100035) 邢琳琳 张辉 王一君

摘要: 针对目前天然气调压站调压过程中蕴含的丰富压力能及小型调压站自身用电的需求得不到满足的现状,提出了一种利用调压站压力能进行发电工艺,经过在华源西里站进行测试,得知该发电装置用较少的天然气量($100\text{Nm}^3/\text{h}\sim 150\text{Nm}^3/\text{h}$)即可发出 5kW 的电,发电稳定,可操作性强,方便后期运行与维护。该发电装置不仅能够充分利用调压站自身的压力能,提高能源利用效率,而且可以解决偏远调压站的用电需求。

关键词: 压力能 小型发电系统 工艺开发 应用分析

目前国内外天然气的远距离运输主要采用高压管道形式输送,而到达终端用户前必须进行降压处理才能输出供用户使用^[1],这一降压过程蕴藏着丰富的压力能^[2]。目前压力能回收利用方式主要包括发电、制冰、深冷粉碎等^[3],作为应用最为广泛的压力能发电在国外已实现产业化发展^[4-7]。然而国内外成功利用压力能发电案例均为大型操作系统,在调压站小型发电系统的应用研究仍是一个空白^[8]。如果能将小型调压站/箱和调压柜在降压过程中的压力能进行合理的回收利用,也能产生显著的经济和社会效益,意义

深远。

1 压力能工艺介绍

1.1 工艺流程

本文设计的小型膨胀发电工艺与调压站原有的工艺并联,并利用自控操作系统来调节下游电量输出,以满足调压站/箱电力供应。结合实际调压流量与规模,采用aspen软件进行模拟分析,得出适合小型调压站的压力能发电工艺。如图1所示。

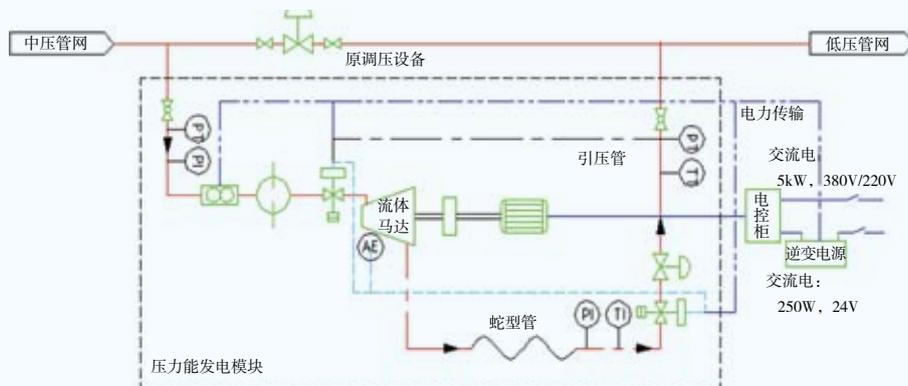


图1 调压站的小型压力能发电工艺流程

高压天然气经原调压设备降压后进入低压管网或用户时，体积膨胀压力降低，同时天然气的自身温度降低。由图1可知：将原天然气调压系统改进之后，根据调压站自身用电量将原天然气部分或者全部接入该系统进行压差发电。20℃，0.7MPa的天然气经过流量计计量、限流器限定流量后，进入流体马达膨胀发电（发电功率5kW，频率50±0.5HZ，输出电380V/220V），所发出电经过整流器、配电柜，一部分给用电设施（交流；50HZ；电压380V/220V；功率5kW），另一部分（输出电压24V，最大电流20Ah，无充态放电时间24h~48h）以逆变电源的形式进行转换与存储，用于现场的用电设施，发电后压力为0.2MPa，温度为-35℃左右，膨胀后天然气经过蛇型管，温度回升到0℃以上经过调压阀，精确控制下游压力（约5 000Pa）后进入下游天然气管网。与此同时高压天然气经原调压设备降压后进入低压管网或用户时，体积膨胀压力降低，同时天然气的自身温度降低。

工艺流程特点包括以下几个方面：（1）从工艺设计角度分析，本工艺为一种小型压力能发电的新工艺，选用流体马达撬发电填补了膨胀机发电针对小型发电量应用的空白。（2）从系统操作弹性分析，本工艺设计通过自动控制调节进入系统的流量和并入流体马达的数量，使其输出发电量可以低至几百到几十瓦，亦可以高至上千瓦甚至几百千瓦。（3）从系统工艺安全分析，本设计通过电磁阀以及电控柜控制，实现了系统在无人看守的情况下的安全平稳运行。

1.2 关键设备及用途

本工艺的关键设备主要包括：膨胀机（流体马达），流量计，电控柜，逆变电流，蛇型管及电磁阀。其相关的技术参数及在本工艺中的主要作用如表1所示。

本工艺通过各个主要设备的撬装化后，各个设备间相互配合可实现如下功能：

（1）电力自动合理分配。该工艺通过采用配电柜，一部分2kW~5kW、380V、50HZ的交流电给用电设施，另一部分通过逆变电源，以24V、50HZ的直流电储存在逆变电源中，用于现场的用电设施（电磁阀、流量计等）。

（2）下游压力精确自动控制。该工艺通过采用蛇型管稳定经流体马达发电后的压力波动，再使用调

表1 系统主要设备及其功能一览表

设备名称	规格	功能
膨胀机 (流体马达)	机型：AT35-150 转速：500rpm 输出功率：2kW~5kW 防爆；最大压力16bar	此部分为实现小型发电的核心部分，能精确调节输出的电功率。
流量计	管径：DN50 电压：24VDC 电流：600mA	实现远程传输数据、温度补偿。
电控柜	类型：交流电； 频率：50HZ； 电压：380V/220V； 功率：2kW~5kW	实现发出电量的合理配置及存储。
逆变电源	无充态放电时间 24h~48h；防爆	可实现220V转换24V供系统本身控制用电。
蛇型管	管径：DN100	实现对发电后的天然气稳压升温
电磁阀	管径：DN50 控制方式：常开	配合配电柜在紧急情况下切断本系统上下游NG进出口流量，保护自身装置

压阀使压力稳定在0.1MPa，通过这两步过程，实现精确控制膨胀机出口压力。

（3）紧急情况自动安全控制。当下游管网压力波动较大时，通过压力表反馈信息给电控柜，电控柜连锁关闭上游电磁阀，停止膨胀机系统运行；当出现天然气泄露、火灾等紧急情况时，通过压力表和温度表反馈信息给电控柜，实现电控柜立即连锁关闭膨胀机上下游的电磁阀。

（4）逆变电源充电时间自动控制。该工艺通过采用逆变电源的形式，当逆变电源充满时，电控柜自动切断充电电路，避免逆变电源的充电时间过长；当逆变电源的电量低于总电量的90%时，电控柜自动合上充电电路，继续给逆变电源充电，从而保证能够给现场的用电设备提供不间断的电源。

2 华源西里调压站工况分析

2.1 华源西里站压力能发电设备试验测试

试验测试的主要目的是逐个检查每个系统的设备、系统、测点、连锁保护逻辑、控制方式、安装等是否符合设计要求，以及设计是否满足实际运行要求，发现问题和解决问题，确保各个系统完整地、安

全地参与调试运行,最终满足机组运行要求,确保系统能够安全可靠地投入运行。该工况所用天然气流量为 $100\text{Nm}^3/\text{h}\sim 150\text{Nm}^3/\text{h}$,具体的数据记录和功率测试设备见图2和图3,其中测试功率装置是由10盏额定功率为 $500\text{W}/\text{盏}$,额定电压为 $\text{AC}220\text{V}$ 的电灯泡组成,总的额定功率为 5kW 。

2.2 负载实际功率与额定功率对比试验测试

本试验通过让用电负载正常工作,测试不同负载下的电压、电流,计算出实际功率,对比实际功率与额定功率,验证发出电的合格性。

实验测试过程中将压力能发电装置调整至正常运行的状态,调节天然气的流量,控制流体马达的转速,将负载两端的电压调至 $200\text{V}\sim 230\text{V}$ 之间(负载正常工作电压),记录其电压、电流。逐渐增加负载,重复以上的步骤,将记录数据拟成对比关系图如图4所示。由对比曲线图4可看出,用电装置的实际功率与额定基本吻合,说明发出的电合格,符合额定需求。

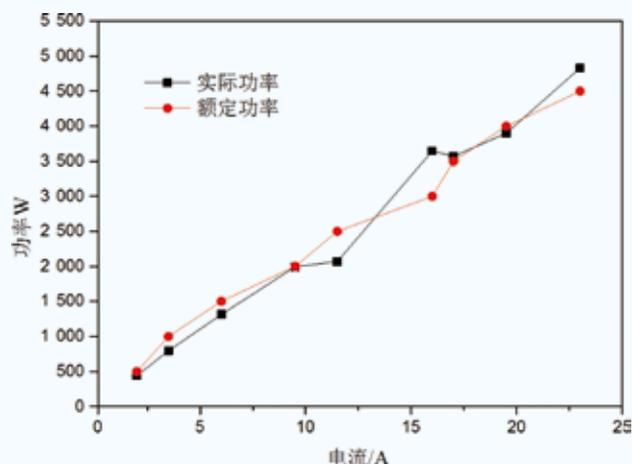


图4 实际功率与额定功率对比关系图

2.3 空载与负载工况下系统性能比对试验

调节进口阀门,分别测试加负载(500W , 1000W , 1500W , 2000W , 2500W , 3000W)前后流体马达的转速。(空载转速是指加相应负载后可以正常运



图2 5kW天然气发电装置数据记录版面示意



图3 防爆电控柜及测功仪

行前的转速，例如，空载转速750r/min，加上500W负载，电压变为180V~230V，转速变为660r/min。)

经试验由空载加载到500W、1 000W、1 500W又减载到1 000W、500W和空载，得到流量、转速和压力7组参数。加载和减载的对称性如图5所示。

由以上测试数据和图5可得，该设备操作弹性比较大，加载与卸载基本实现，方便后期运行与维护；每增加500W负载，为保证负载正常运行，转速需要增加100r/min~200r/min；负载正常运行时，转速范围为550r/min~700r/min。

3 燃气调压站压力能节能效益

随着我国天然气产业的发展，小型调压站的数目将逐步增加，因此调压站自身用电的问题也将逐步突显。本文研究利用调压站自身蕴含的压力能设计的小型发电系统是一套全新的工艺，具有广泛的应用前景。

首先，本工艺结合调压站本身所具有的压力能的优势，解决了调压站的用电问题，实现中小型调压站无人看守用电。与此同时本工艺在不影响原有调压站的正常运行，实现无缝衔接，在一定程度上也起到了调压的作用。此外设备撬装化，占地面积小，工艺

操作弹性大，运行平稳。因此本工艺即适用小型调压站，也适用调压箱的微型用电工艺。另外，大大降低了部分无电调压站铺设电网专线费用高达千万的生产成本。而本文设计的发电系统仅需较小投资就能解决调压站的用电问题，实现对调压站的远程控制，解决了天然气场站智能管网的用电瓶颈问题。以系统发电功率取5kW为例，每年可以为调压站节约3.6万kW·h左右的电量，按现行工业电价1.2元/kW·h计算，每年将节约4.32万元。同时每1kW·h发电量，相当于0.35kg标准煤火力发电量，即每小时将减少0.785kg二氧化碳的排放，本系统一年可减少28.26t二氧化碳的排放，可见本系统的推广应用不仅可取得巨大的经济效益，同时也为节能减排做出显著贡献。最后，通过调节系统的操作参数，本工艺亦可用于调压箱和其他管网设施有关的用电设施，作为电源供应设备，应用前景甚广。

4 结束语

本文通过对小型用电的实际问题进行分析，提出了一种新型的利用天然气调压站压力能进行小规模发电的工艺系统，解决了调压站自身用电的问题，并对调压站的远程控制，从而实现小型压力能发电系统在

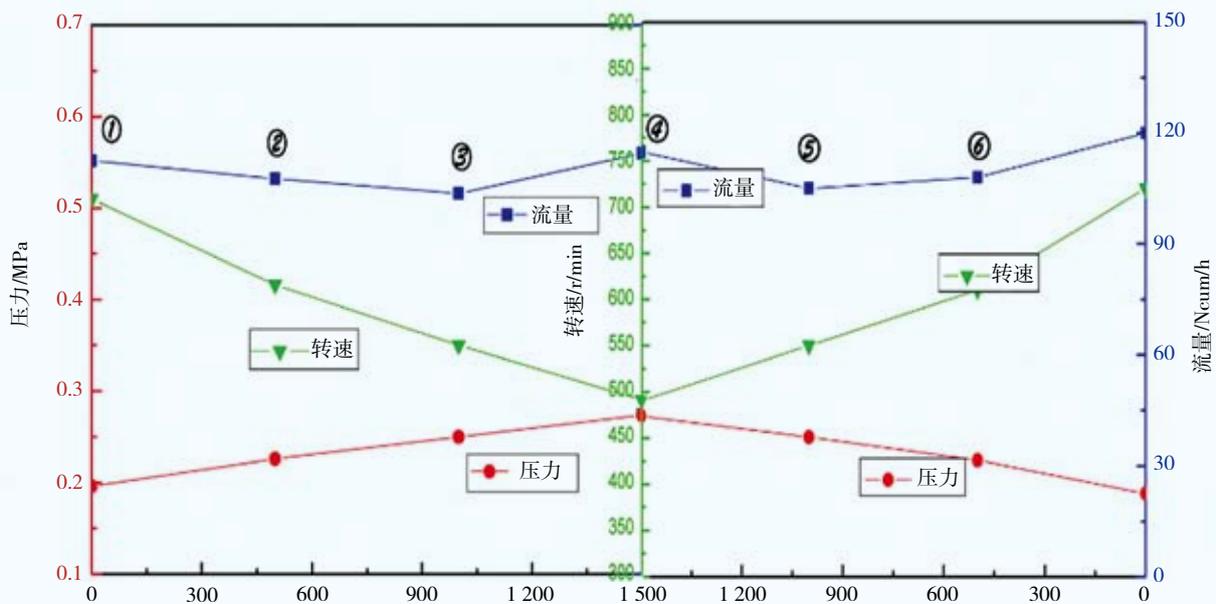


图5 空载与负载工况下转速对比关系图

无人看守的情况下安全平稳的运行。经过在华源西里调压站现场试验,得知该发电装置用较少的天然气量(100Nm³/h~150Nm³/h)即可发出5kW的电,发电稳定,可操作性强,方便后期运行与维护。本发电装置(5kW),每年可以为调压站节约3.6万kW·h左右的电量,具有良好的经济效益和社会效益。同时工艺系统的设计可以为管网压力能小型及微型发电工艺的提供重要的参考依据,解决与管网有关用电设施的电力需求问题。

参考文献

- 1 王雪梅.天然气运输研究[J].石油工业技术监督,2005;5:41-44
- 2 徐文渊,蒋长安.天然气利用手册[M].中国石化出版社,2002

- 3 WANG Q, LI Y Z, WANG J. Analysis of power cycle based on cold energy of liquefied natural gas and low-grade heat source[J]. Applied Thermal Engineering, 2004; 24(4): 539-548
- 4 陈绍凯,李自力,雷思罗等.高压天然气压力能的回收利用技术[J].煤气与热力,2008;28(4):1-5
- 5 Richard L, Stover. Sea water Reverse Osmosis with Isobaric Energy Recovery Device[J]. Desalination, 2007; 203: 168-175
- 6 Richard L, Stover. Development of a Fourth Generation Energy Recovery Device. A 'CTO's note book[J]. Desalination, 2004; 165: 313-321
- 7 Osamah M. A Hawaj, The Work Exchanger for Reverse Osmosis Plants[J]. Desalination, 2003; 157: 23-27
- 8 Poivil Jaroslav, Use of Expansion Turbines in Natural Gas Pressure Reduction Stations[J]. Acta Montanistica Slovaca, 2004; 9(3): 258

工程信息

金华市两项天然气管道工程进展顺利

2015年5月11日,从金华市发改委获悉,与金华密切相关的两项省级天然气管道工程,金衢配套省级天然气管道工程、金丽温输气管道工程进展顺利,部分支线已完成建设。

据介绍,省级天然气管道工程承担着向金华、丽水、温州等浙江中南部地区输送天然气的重要任务。其中,金衢配套省级天然气管道工程在金华市境内总管线长148.6km,有5条支线。金丽温输气管道工程设计全长226.9km,经过金华、丽水和温州3市,其中金华境内工程73.7km,分两段建设。

据了解,金衢配套省级天然气管道工程在金华市境内涉及婺城、金东、浦江、义乌、兰溪、东阳。义乌支线和燃机支线项目,已分别于2012年12月和2014年6月全线贯通,具备通气条件。浦江支线浦江县段工程施工焊接完成,义乌市段未开始政



策处理。兰溪支线预计2015年8月份完工,东阳支线未开始政策处理。金丽温输气管道工程金华境内9处隧道全部贯通,其中金华至武义试验段7条隧道完成管道安装,6月投产通气;武义至丽水段2处隧道正在施工,预计12月投产通气。

(本刊通讯员供稿)