

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2016.08.003

天然气管道脉动流、气锤效应的影响及解决措施

□ 烟台新奥燃气工程设计有限公司 (264000) 王 翔

□ 新奥能源控股有限公司 (065000) 梁 瑜

摘 要: 介绍了在工业生产天然气管路中由于脉动流引起的气锤效应及解决办法。对气锤效应的影响和破坏力加以分析。

关 键 词: 天然气管道 脉动流 气锤效应

Discussion on the Pulsating Flow and Gas-Hammer Effect on Nature Gas Pipeline

Wang Xiang Yantai Xin'ao Gas Engineering Design Co., Ltd.

Liang Yu Xin'ao Energy Co., Ltd.

Abstract: In industrial producing, it introduces gas-hammer effect caused by the pulsating flow in nature gas pipeline. Influence and destruction on gas-hammer effect are analyzed.

Keywords: nature gas pipeline pulsating flow gas-hammer effect

1 项目背景

随着经济的发展,天然气在工业生产中的应用也随之增加,在烟台地区不少大型的工厂企业也开始采用更加清洁、高效的天然气作为新能源来替代燃煤和人工煤气。在采用天然气供气后遇到了由于气锤效应造成管路中设备损坏的情况,所以就气锤效应加以分析研究,如何削弱气锤效应和其影响加以论述。

2 项目简介与研究

山东省烟台市某铝业公司采用天然气替代人工

煤气加热熔铝炉,对其铝制品进行融化加工。其熔铝炉燃烧采用蓄热切换燃烧方式,熔铝炉燃烧器为双路切换式燃烧,一路燃烧时另一路做为排烟道,为下次吸入的空气进行预热,两路燃烧相互切换,单路用气参数如下,最大用气量为 $300\text{Nm}^3/\text{h}$,最小用气量为 $10\text{Nm}^3/\text{h}$,最小用气量为确保下次切换燃烧的长明火点火棒,额定用气压力为 $7\ 000\text{Pa}$ (表压),对于单路管道其流量变化特点见图1。

由最小流量上升到最大流量 $300\text{Nm}^3/\text{h}$,除首次启动点火需 5s ,切换中仅需 2.5s ,维持最大气量燃烧约 40s ,流量骤然减小为最小,用时 2.5s ,与此同时另一路燃烧器开始启动流量由最小开始上升至最大用时相

同，如此反复切换，两路燃烧器共同作用主供气管道内流量随时间变化见图2。

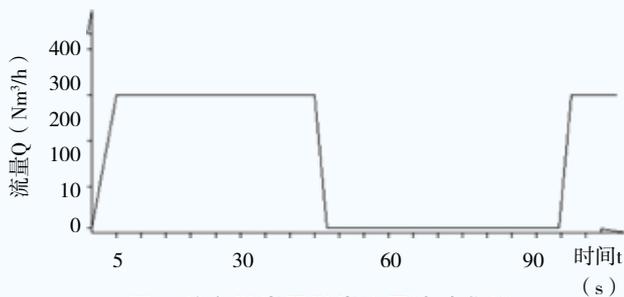


图1 单台燃烧器燃烧流量波动曲线

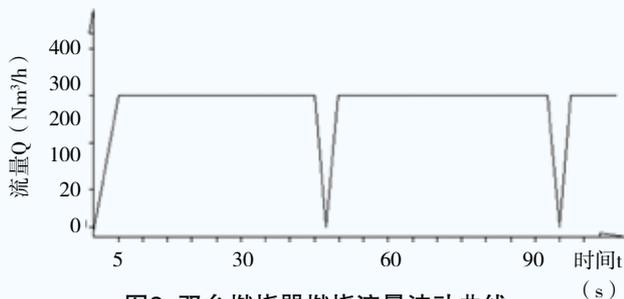


图2 双台燃烧器燃烧流量波动曲线

两路切换作用时使得供气总管内最小流量为 $20\text{Nm}^3/\text{h}$ ，最大流量为 $300\text{Nm}^3/\text{h}$ ，最大流量至最小流量再由最小流量至最大流量的切换时间均为 2.5s 。双路同时作用时，最小流量时刻无停留时间，最大流量时间维持在 40s 然后进行一次切换。我们称这种变化流量为脉动流。

由于管路流量波动范围较大，初期考虑采用涡轮流量计，在这种波动频繁而且最大流量与最小流量差距很大的情况采用涡轮流量计很难实现准确计量，根据涡轮流量计的计量原理和我们的运行经验，涡轮流量计对这种脉动流的计量会产生较大的偏差，这种偏差会给用户或燃气公司造成极大的经济损失，考虑此种原因后我们采用了罗茨流量计。由于罗茨流量计为容积式流量计其精确度是可以保证的，在脉动流量下仍能准确计量实际气体气量。故得出结论，对燃气管道脉动流如要确保计量的相对准确性，优选罗茨流量计。

3 脉动流引发的问题

采用罗茨流量计计量后运行十多天，便出现流

量计不动的情况，更换表后运行不久便会再次出现此种情况。通过拆卸流量计后发现罗茨表轴芯被冲击破坏，使得流量计出现卡表情况。分析原因，主要是由于脉动流造成的气锤效应频繁冲击流量计中部件造成的，这种冲击频率每天达到1 700余次，冲击力大小在下面第4项进行分析。经过实践教训，总结出对于此类脉动流在燃气管路中尤其是对罗茨表的破坏是不容忽视的，在此提出实例也是希望同仁们能够有所借鉴。

由于燃气的气体密度小，燃气管路单一，常规燃气管路压力较低不会存在如此频繁变换的脉动流现象，所以在常规燃气工程中燃气管路中的气锤效应一直没有被重视，并且在燃气管路中存在的设备一般为调压设备、过滤设备、控制阀门、止回阀、电磁阀等，这些设备在管路中多形成通路，对管路中产生的气锤效应不明显。此外，非常规燃气工程如CNG加气站也存在气锤现象，因工艺中有储气量较大的储气瓶组、顺序控制系统等设施，且采用的是质量流量计，所以考虑工程经济性，在常规燃气工程里这些不会被采用。而在常规燃气工程中选用的罗茨流量计，受气锤影响较大，在管路中形成横向的阻拦，罗茨流量计工作原理见图3。如稳定流经过罗茨流量计，罗茨流量计转子会形成匀速转动，受力达到平衡状态，不会对转子轴心产生频繁的作用力。而脉动流则不同，由于流量大小发生变化加之变化频繁，转子转动就发生了周期性的变化，在变化发生与结束瞬间转子承受着变化力的作用，这种变化力一旦超出转子承受极限便会造成流量计的损坏，事实也证明由于流量计在脉

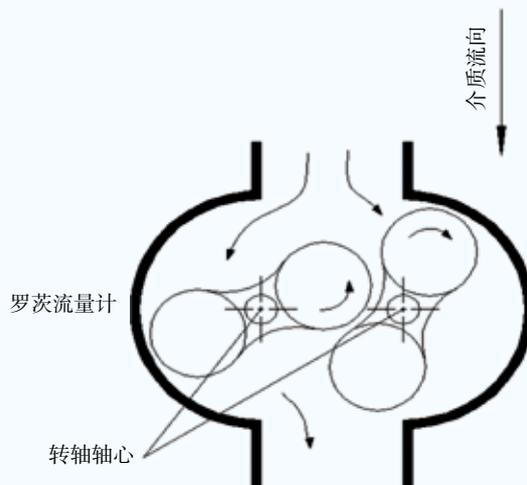


图3

动流状态下工作导致流量计遭到破坏,故管路中压力波动对罗茨流量计转轴的冲击影响较大,在转轴上的横向作用力是不容忽视的。

4 由脉动流引起的气锤效应所带来的影响

针对这样的问题分析气锤效应对燃气管路的影响,水锤效应在给排水和热力工程中已经有了明确的计算方法和防范措施,我们借鉴水锤方面的知识。

由于此工程已造成罗茨表的损坏,分析此次罗茨表所承受的气锤作用力到底能有多大,以此为戒,避免将来有类似效应存在时对管路中的薄弱设备造成不必要的破坏。水锤计算在流体力学^[2]、给水排水设计手册^[3]中均有介绍,由于波在气体中传导引起的二次作用力可以忽略,并且管路中切换时间较快,故此例中只考虑直接气锤的一次作用力。作用于罗茨转轴上的力可理解为压差对截面所产生的力 $F = \Delta P \times S$ 。

在未采取措施前观察流量计工作状态参数如下:气量最小流量为 $20\text{Nm}^3/\text{h}$,最大流量为 $300\text{Nm}^3/\text{h}$,经实地检测运行压力为 $67\text{kPa} \sim 61\text{kPa}$,波动时间如前所述具体见图2,流量计通径为 $\text{DN}100$ 。当流量由小变大时,表前气流仍以最大流量为 $300\text{Nm}^3/\text{h}$ 继续流动,而表后燃烧器流量短时间内增加至 $300\text{Nm}^3/\text{h}$,由于表后流量的增大,结合流体力学连续性方程,表后管内流速骤然增大,将流体压能转换为动能,流量计压力读值有所波动,经观察流量计读值波动变化由 67kPa 降低至 61kPa ,压差的作用使得流量计转子在短时间内承受了一次由于气流变化而引起的异常转动,这个作用力就是破坏表的根源。在此力作用下流量计运行10多天后便会遭到破坏,此力大小约 47N 、至流量计停转作用次数达到2万余次,可作为罗茨流量计承受劳损程度的一个参考,希望能够给将来有类似的项目一个参考依据。脉动流流量缩小过程则与脉动流增大过程分析观察结果相反,但流量减小的过程是将动能转换为压能,表后压力升高过程,作用在流量计上的压力差逐渐减小的过程,所以流量计转子破坏的主要力量来自于表后流量瞬间增大而带来的压力降低。即切换燃烧路后的启动至流量最大的过程,而且此过程仅用时 2.5s ,短时间内的作用力是造成流量计损坏的主要原因。

5 气锤效应的解决措施

找到了流量计损坏的原因,我们采取了两项措施:(1)在计量管路后设置止回阀,主要用来防止燃烧设备的流量减少形成的反向压力冲击。(2)在管路后设置缓冲罐,并且在表后管路上人为的增加弯头和增加管道长度,用来减缓流量计后的燃烧设备流量突然增大造成的流量计瞬流冲击力,即改变表后压力降低的量来缓解对流量计的冲击力。通过实施以上两项措施后,我们监测了流量计压力变化由之前波动范围 $67\text{kPa} \sim 61\text{kPa}$,调整到了 $67\text{kPa} \sim 66\text{kPa}$,不难算出其冲击力明显减小6倍有余,计算出冲击力由原来的 47.1N 降到 7.85N 。缓冲罐容量的选取,因流量波动由 $20\text{Nm}^3/\text{h}$ 变化至 $300\text{Nm}^3/\text{h}$,并且在 5s 时间内,通过工况换算并且确定以满足至少 5s 以上的流量需求作为缓冲罐的容量,以 5s 计算后确定缓冲罐体积不小于 0.28m^3 ,最终我们选用了 0.4m^3 的缓冲罐,额外人为增加了部分管长,增加管长一是增加了容量,二可起到流量变化的缓冲作用,延长变化的时间增长了动能变化的时间以缓解转轴的作用力,最终取得了明显的效果。

后期我们对厂区内的同样的锅炉采取双路计量同时开启的措施,通常对于计量设备采用“一开一备”的计量管理办法,发现在针对脉动流作用在同时开启双路计量后缓解了脉动流的影响,由于采用了两路同时开启的措施,人为的增加了管路的截面积,对流量计的冲击力也大幅缩小。在采取了以上改造措施后经过长达两年多的运行至今再未发生过流量计故障情况,也充分说明了以上措施的有效性。

参考文献

- 1 城镇燃气设计规范 GB50028-2006[S]
- 2 刘鹤年.流体力学.(第二版),中国建筑工业出版社[M]
- 3 给水排水设计手册.第三册,城镇给水.第二版,中国建筑工业出版社[G]