

浅谈地上天然气管道负压检测技术的应用

何剑雄 欧国江

佛山市禅城燃气有限公司

摘要：在管道天然气运行作业中，向小区居民用户恢复通（供）气一项常规的作业，恢复供气前进行在线检测是必需的安全措施，其中以高峰时段恢复通气时的操作和检测为最困难、保障危险的系数也最大；通知用户停止打火用气。关闭表前阀门最终才获得气密性检测合格，这种困难对于保障优质服务与供气安全都是不小的挑战，另外随着小区大型燃气调压（RX600）的设计运用，单个供气系统内的用户群越来越大，一次性恢复近一两千户的操作成了集中恢复通气工作上的又一难题，现实中除了调配大量的人力及消耗较长工时外暂无很好的解决方案，试探采用负压检测方法来解决上述技术难题并予以论证。

关键词：解除J42单向保压；负压无热质交换；负压无可燃性质

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2021.20.185

概述：

一、现有的检测技术的难点

在燃气安全操作中，恢复通气作业可一项重要的技术措施，以夜间高峰时段作业及大型低压供气系统恢复难度最大。现有的检测技术的难点的原因总结分析：

管道天然气管线长、楼层结构复杂，一般使用加入正压的气密性检测方法，均采U型压力计连续挂压至无压力降并且维持一定的时间。管线检漏一般用泡水检漏的方法，以观察气泡的量化数值给我们提供了参考值去判别，在夜间实施会有一定的影响。出现气泡小、形成速率均匀、气泡持续时间长的现象漏率范围是10-2~10P·L/S；出现随机的大小气泡混合的现象漏率范围是10~102P·L/S；出现气沟大、形成速率快、持续时间短的现象漏率范围是10-2~103P·L/S。但是在检漏的科学理论中，“不漏”是相对的，所谓“不漏”是指漏孔的漏率远小于容许漏率或检漏仪的最小可检漏率。而“漏气”状态是绝对的，也是客观存在无法消除的。在居民楼栋供气系统中有部分采用二级调压结构，当一级压力的（7500Pa）释放后稳压器J42后管道仍然存在保压2100-2300Pa状态，所以稳压器J42是具有正压单向导通的特性。当停止供气后户内管在阀体单向保压的作用下燃气灶仍可以继续点燃一小段时间，这种特点会造成室内用户错误直观的判断认为有气存在以至于增加打火启动的次数，大大增加系统开口的时间，产生变量。结合佛山天然气的总低热值为39670kJ/m³推算出火孔流速约为24m/s，如果户内只有单个火孔燃烧可以维持约125秒的压力降过程，维持燃烧约30-60秒。所谓

的用气高峰时段造成通气难的原因，就是密闭系统出现频率较高的打火或间断性燃烧的状态。若干个变量形成持续的开口，此时气密性检测无法或难以完成，用泡沫法由于管线的环境复杂难全管线实现，发生变量频率越高越难操作。在一般的大型燃气调压柜（RX600）系统单元内的用户数量多，供气用户数不小于1000户。如意外故障停气数小时影响面就比较大，对于这种一次性集中影响户数较多的情况，恢复通气相应的困难就大，所以恢复时间容易过长，容易引起社会负面效应是值得特别关注的情况。

二、负压型气密性检测技术分析

1、所谓的负压型气密性检测方法就是将过去通用的表压力+6kpa（大于大气压力）变更为表压力-6kpa（小于大气压力）进行检测。理论的负压真空是指在系统中出现低于环境大气压的气体状态，在GB3163-93中将负压值段分为多个区间，燃气负压检测只应用到最低一级（即105~102Pa）。

2、研究正压检测与负压检测具有有什么不同的物理特性：负压静态不能保持，专业用语是“放气（虚漏）”或“漏气”；所谓“放气（虚漏）”是管道系统内存在蒸气源，在燃气输配管道如LPG的丙烷在小于大气压力（1atm）时会由液态状态气化成气体，燃气输配管道在维修时呈现管道开口，管道与大气压相通其能够维持微正压状态就是虚漏（微正压的动力源于“放气”。）另外一个真正“漏气”是指气体通过容器管道的漏孔或间隙，从高压侧流到低压侧。正压静压不能保持，专业用语是“吸收”或“漏气”，所谓“吸收”在楼栋管道系统中受传热作用。钢管的管壁通过日照或其他热源传导热量使气体膨胀影响压力值，管道系统内的气体的热传导能力是一个相对固定值，过去二十余年的户内测压的方法是通气都是采用人体吹气的方法加注压力，产生了热质交换，口气中输入管道内的热质（焓）在迅速增加。实际测量误差一般户内管在10mm水柱以上。相对采用负压检测时由于系统的气体密度微量减小，不会受到外部系统输入热质变化的影响，可见采用负压检测更加科学精确。

3、采用负压检测的过程中，在负压力的作用下如果用户突然“打火开口”空气会逆向进行管道，这个会导致一种新的故障出现值得特别关注的特点。如何控制空气的逆流这就取决于负压检测时保压的时间和操作的技巧。对于户内管道侵入空气特别是高层楼栋住户，由于作业开口与地面存在高程差，空气会在自然高差的作用下入侵管道系统内部。空气入侵量小的情况只需用户

多打火排放气体故障就会解决。

4、正压检漏与负压检漏在测微漏条件（漏率为 $10-2P \cdot L/S$ ）以上的区别：采用U型压力计测量这种黏滞流微漏条件，气体的黏度是影响正压与负压检测值的主要因素，原因是当气体流动无加速度时，压差产生的作用力与内摩擦产生的作用力相平衡，需要说明所谓气体量：单位时间内流过漏气是根据理想气体方程推导出漏孔的大小，气体通过漏孔的过程十分复杂，在入口特性是黏滞流，而负压端是分子流，如果压力提高侧将导致漏率上升。负压检漏技术中列举了：内压 $0.34MPa$ 的表压力时，漏气的漏率相当于一个标准大气压（ $1atm=101325Pa$ ）下向真空（ $0Pa$ ）泄漏时泄率的18.4倍。可见管道验收时强度测试发挥出的重要性与微压条件下作用相距甚远，微压气密性检测发挥的作用可以定义在：小容积温度条件平稳测量漏率在漏率为 $10-2P \cdot L/S$ （可见泡）以上条件范围。实际上我们在维修时也会发现有些微漏通过可燃气体检测仪可以测到10PPM 改用水柱表测压（正压）更无法测量出压力降，但是漏孔范围若被水浇淋后就再无法测量出来。天然气的运动黏度为 $12.6 \times 10^{-6} m^2/s$ （ $101.325KPa$ $20oc$ ）比标准空气的运动黏度 $15.2 \times 10^{-6} m^2/s$ 略小，说明天然气容易跑漏。改用负压检量条件相反但区别不大。负压检漏技术中对微漏定义状态一般是指极其微小，其漏孔的截面形状极不规则，漏气路径也是各种各样特征，出现的位置随机性较大。在微漏状态中在当漏孔直径 $d>5$ 微米可以认为是黏滞流，此时对应的漏率为 $10-3P \cdot L/S$ 以上；当漏孔直径 $d>1$ 微米可以认为分子流，此时对应的漏率是 $10-6P \cdot L/S$ 以下；以上最大级的微漏在平常作业中采用泡水检漏的方法中仅从肉眼是无法观测到气泡的存在，燃气管道泄漏采用半导体测检最多不会大于10PPM。起泡观察通常需要特殊观察仪器或采用极小分子的显漏气体进行检验。

三、负压型气密性检测技术优点

1、在提高压力的方法中，除了新建工程普遍采用空压机打气外，想在运行的管道中计划升高压力（正压 $6kpa$ ）也并不是容易实现的事，原因是在现有中压管道上缺少额外的接口。采用负压检测无须改变显漏介质（气体）或改变管道上游压力接口，只需要在低压系统内就可以独立完成变更压力是一大优点。

2、负压型气密性检测没有可以燃烧的化学能输出，用户不能打着火，解除这个因素这大大的缩小管道密封系统的开口时间。经过测试已经验证输入气压（负压 $3600-4000pa$ ）就可以解除调（稳）压器J42 单向保压的特性，该压力比负 $6KPa$ 低，通过负压解除J42 的保压的作用，有关下“保压继燃”的问题就可以解决。优点是没有可以燃烧的化学能、升压容易、无热质交换、可以轻易解除J42 单向导通将密闭系统连贯成体。

综合上文所述，可知条件为单火孔直径为 $1mm$ 、漏率约为 $1.88 \times 10^{-4} Pa \cdot m^3/s$ 、单个户内管管道容积约3

升，若采用U型水柱表的负压测量，那么恢复通气保压时间应控制在多少较为合适，已知正负气压的气密性检测中压力降都与管道容积有很大关系，在负压条件下由于打着火用户打火3-5秒就会复位，而此时一定量的空气通过火气进入管道，所以这是负压气密性检测保压的关键参考值。有人打火就会出现降—停—降—停，如果压力一开始就出呈现斜线说明漏点持续并非人为所致或不安全，论理上不会出现正压检测时的长时段斜线。恢复通气的节点实际上是在用户频繁操作的空隙间寻找到稳定压力的证据，说明管道系统状态不存在对大气呈现结构不安全性的开口，所以负压气密性检测必需观察压力曲线。发现持续压力呈现出斜线上升，30秒即可判存在结构性风险，单火孔连续3分钟空气就会进入管道公共部分，30秒 \times 10倍即系统稳定5分钟即安全。

现有停气作业中大面积恢复通气有一定的困难，特指小型调压器群组。由于楼栋住宅建设时代不同，市内老旧小区有几千个小型调压器，普遍安装了调压器FE10或FE25，每栋单体楼输配控制10余至40户不等。由于最初的管道设计是液化气时代的设计结构，几乎所有调压器都安装在天面。恢复通气的难点在于维修工程结束后留给恢复操作时间十分有限（需要登楼顶作业属于客观条件造成），采用负压气密性检测最大的特点是在有限的时间段内可以实现楼下引入管快速试压恢复操作。作业检查顺序调整后作业强度特别集中的特点就会分解。可见采用负压检测上文所述的难点因素均可以都得到解除。

四、结论

燃气气密性检测是一项常用且关乎人身及系统安全的技术工作，正确认识泄漏量级选用合适的检测方法是克服难题根本所在，负压型气密检测应用具有简易直观，负压不可燃性质、无热质干扰、可以逆向解锁户内稳压器J42、升高微压力十分容易，许多现有的通气作业的难点都能找到相应解决方案。只要运用得当这种微压级的检测技术是一种在燃气行业检测具有前瞻性的技术。

参考文献

- [1]刘蓉,刘文斌.燃气燃烧与燃烧装置[M].机械工业出版社.2009.
- [2]段长贵.燃气输配[M].中国建筑工业出版社,2001.
- [3]夏泰淳.程流体力学[M].上海交通大学出版社,2006.
- [4]曹慎行.实用真空检漏技术 [M].化学工业出版社,2010.
- [5]章熙民,任泽霏,梅飞鸣.传热学[M].中国建筑工业出版社,2009.
- [6]赵荣义,范存养.空气调节[M].中国建筑工业出版社,2009.