

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2025.12.005

城镇燃气低压管道加装爆破片安全阀应对中压燃气意外窜入的可行性研究

孙国超

安丘华润燃气有限公司

摘要：本文围绕城镇燃气低压管道安全运行问题，深入探讨在低压管道系统中加装爆破片安全阀以应对中压燃气意外直接窜入低压燃气管道可行性。通过分析中压燃气意外直接窜入低压管道的风险来源与潜在危害，结合爆破片安全阀的工作原理、技术特性、中高压燃气管道超压泄压原理以及低压燃气管道的实际情况，从事故预防、安全体系完善、行业规范及可操作性等维度进行论证。研究表明，爆破片安全阀动作后能够迅速泄压，从而迅速降低管网压力，消除管网因超压引起的泄漏及设备损坏，同时还能为燃气抢险工作争取时间，从而避免燃气事故的发生。因此，在低压管道系统中加装爆破片安全阀是应对中压燃气意外直接窜入低压燃气管道这一突发状况的可行性措施。同时本文对传统低压燃气管道安全措施的防护盲区进行填补。

关键词：低压管道；中压燃气意外直接窜压；爆破片安全阀；安全防护

1 引言

城镇燃气作为现代城市基础设施的重要组成部分，其安全运行直接关系到城市居民的生命财产和社会安全稳定。低压燃气管道作为城镇燃气的“最后一公里”，承担着将燃气输送至终端用户的关键任务，而中压燃气意外直接窜入低压燃气管道引发安全事故，已成为威胁燃气系统安全的重大隐患。根据住房和城乡建设部及各地方通报信息显示，中低压窜压事故占比城镇燃气事故的10%~15%，其特点是发生频率不高，但是单次伤亡惨重（高致死率，平均死亡3.2人，此类事故致死率高达25%，高于平均水平15%）且容易引起“连锁反应”，社会负面影响大。

爆破片安全阀作为一种高效的压力泄放装置，能

够在压力达到设定值时瞬间动作，迅速泄压，防止因超压而造成低压（特别是户内）管网泄漏，为安全抢修工作争取到足够时间，其在城镇燃气中应对中压燃气意外直接窜入低压燃气管道的应用价值有待深入研究与推广。

2 中压燃气窜入低压管道的风险分析

2.1 风险成因

调压设施失效：调压设施老化（如弹簧、膜片、阀瓣）、破损或被杂质堵塞，从而导致压力调节失灵，中压燃气直接窜入低压燃气管网。

施工违规操作：在未查清燃气管线的情况下违规施工，误将中低压燃气管线连接。

[第一作者简介] 孙国超，中级工程师，从事燃气管理、研发工作。

管道老化：在中低压燃气管道交叉处，因管网老化出现破裂造成“压力差通道”。

2.2 事故危害

中压燃气意外直接窜入低压管道后，压力瞬间升高可达中压压力（以某地燃气公司实际运行压力为例，居民低压管网关闭压力为3kPa，中压压力为0.3MPa，相差100倍），导致低压燃气管道因超压造成破裂、接口脱离及超压泄漏等。泄漏的燃气在空气中形成爆炸性混合气体，遇火源后极易引发爆炸和火灾，造成人员伤亡和建筑物损毁。此外，超压还会导致燃气器具损坏，增加后续维修成本与社会经济损失。

超压引起的泄漏具有突发性和集中性，且通常发生在用户户内，有效应急处置时间短、情况紧急（特别是现在城镇燃气管网敷设范围越来越广，机动能力和机动时间受到一定限制），极易引起连锁事故，特别是此类事件发生在夜间不易被发现的时间段会对整个用气小区（村落）形成整体威胁，其后果往往是灾难性的。

3 爆破片安全阀的技术特性与工作原理

3.1 结构原理与爆破片安全阀动作设定值

爆破片安全阀由爆破片、夹持器及配套附件组成。爆破片通常采用金属或复合材料制成，通过精确计算厚度和形状，设定其动作压力，当管道内压力超过设定值时，爆破片迅速破裂，形成大面积泄放通道，在2ms~10ms内释放过高压力，迅速降低管网压力。

爆破片安全阀动作压力设定值不大于10kPa（以趋近于10kPa为最佳），过低或过高都不太合理，首先压力过低，爆破片安全阀容易动作，除造成维修任务加重外，因燃气放散引起的“泄漏”同样存在风险，同时还会造成一定的能源浪费、环境污染和社会恐慌。另外不容忽视的是，现在调压设施技术相对比较成熟，均具备自动放散装置和切断功能，通常情况下，出现轻微窜压完全可以通过调压设施自身超压放散解决，但是此种情况也会因爆破片安全阀误动作；爆破片安全阀动作值的设定主要出

于以下几点考虑：首先，根据GB 50028-2006《城镇燃气设计规范》（2020年版）规定居民用户低压燃气管道（进入户内的低压燃气管道）设计压力≤0.01MPa；其次，根据CJJ 94-2009《城镇燃气室内工程施工与质量验收规范》户内低压燃气管道试验压力为设计压力（≤0.01MPa），稳压0.5h不漏气为合格；第三，经市场调研，户内计量燃气表具的承压极限为0.01MPa，第四，本文探讨的情况主要是针对中压燃气意外窜入低压燃气管网情况，对其常规情况不予讨论。

综上几点可以得出以下结论：第一，当户内低压燃气管道达到0.01MPa时，短时间内户内不会因超压出现泄漏；第二，当户内低压燃气管道达到0.01MPa时，说明调压设施的自动放散装置和超压切断装置失效（或者是窜入低压燃气管道的流量大于调压设施自动放散量）且如果不加以干预，低压燃气管道内压力有继续增大的风险；第三，0.01MPa是户内低压燃气管道承受极限，也是户内燃气计量表具的承压极限。综上所述，爆破片安全阀的动作设定值以不大于0.01MPa（趋近于0.01MPa）较为合理。

3.2 技术优势

传统安全阀与爆破片安全阀性能对比见表1。

表1 传统安全阀与爆破片安全阀性能对比

对比项目	传统安全阀	爆破片安全阀
响应速度	需阀芯移动开启，相对缓慢	瞬间动作，在2ms~10ms
密封性	易泄漏	密封性更优
成本与维护	结构简单，便于安装与维护，可重复使用	一次使用，无需维护，（单片价格高但长期节省）
适用场景	常规压力调节	突发超压紧急泄放
泄压能力	排放面积受限	排放面积大，极限泄压

中压燃气窜入低压燃气管道且达到临界点后，需要瞬间泄压，再结合实际场景从密封性、维护成本、启用频次以及泄压能力等方面考虑，在低压端安装爆破片安全阀更为合理。

4 加装爆破片安全阀的可行性论证

4.1 事故预防的核心屏障

某燃气公司真实发生的中压直接窜入低压燃气管

道事件表明：在中压直接窜入低压管道情况下，未安装爆破片安全阀的低压燃气管道多户同时出现户内超压泄漏、多处立管活接漏气以及燃气计量表损坏等情况（如图1），如果此种情景发生在不易被发现的夜间，其后果对整个用气小区（村落）来说是灾难性的。



图1 某燃气公司调压设施突然损坏
导致中压燃气直接窜入低压燃气管道

另外，放散位置的不同会因管道内的流量分配、压力梯度和气体流动路径等因素对管道上、中、下游压力造成影响，当满足临界状态时（输入流量 Q_1 =放散流量 Q_2 ），在上游放散会使放散口上游的压力略有下降（因部分气体被排出），但下降幅度较小（靠近进气端，气源补充快），由于大量气体从上游放散，流向中下游的流量减少，导致中下游整体压力明显下降，且越往下游，压力降低越显著（流量减少后，沿程压力损失减小，但总流量不足），因此，爆破片安全阀安装位置应当位于低压燃气管道的上游且以靠近调压箱为宜（如有条件对设有外置放散的调压设施进行组合安装为最佳），以达到保护中下游用户安全用气的目的。

以临界状态计算，即 $Q_1=Q_2$ ，

$$Q_1 = s \times v$$

其中： Q_1 为体积流量（ m^3/s ）；

s 为管道横截面积（ m^2 ）， $s=\pi d^2/4$ （ d 为管道直径）；

v 为气体流速（ m/s ）。

$$Q_2 = k \times d^2 \times p$$

其中： k 取常数（0.003 8）；

d 为放散管直径；

p 为管道内绝对压力。

可以得出放散阀直径介于主管道直径的 $1/4\sim 1/2$ 之

间，因此放散管直径以不低于主管道直径的 $1/2$ 为宜。

4.2 安全体系的完善补充

现有燃气安全防护体系中，通过调压设施、远程传感设备等实现对压力的调节与监测，尤其是在超压放散方面，就目前来讲与高、中压燃气管网相比，低压燃气管网尚不够完善。主要体现在当出现中压燃气意外直接窜入低压燃气管道后，调压设施的放散能力有限，没有瞬间泄压的能力，爆破片安全阀将成为低压燃气管网超压状态下的最后一道屏障，能够迅速有效地卸掉过高压力，防止户内发生因超压引起的泄漏、计量表具损坏，从而避免因调压设施失效对其制下的小区（村落）造成灾难性后果。

4.3 行业标准规范的强制要求

根据GB 50028-2006《城镇燃气设计规范》（2020年版）及TSG D0001-2023《压力管道安全技术监察规程——工业管道》要求，存在超压风险的燃气管道系统必须配备可靠的安全泄放装置。

目前城镇燃气低压燃气管道泄压装置无法满足中压燃气直接窜入低压燃气管道的情景，而爆破片安全阀因其泄压能力、泄压速度、适用场景、成本及维护方面，成为满足行业与现实的最佳选择之一。

4.4 可操作性

借鉴高压燃气管网安全阀的设计和运行理念并结合本文中对爆破片安全阀爆破设定值的论证，在低压燃气管网中加装爆破片安全阀具有可行性。

5 结论与建议

爆破片安全阀在城镇燃气应对中压燃气直接窜入低压燃气管道情况下，因其动作迅速、高效泄压能力等特点，能够有效应对中压燃气意外直接窜入低压燃气管道的突发风险。

为进一步提升城镇燃气系统安全水平，建议将低压燃气管道安装爆破片安全阀纳入到标准规范中，并列为强制性规定及新建、改建燃气工程的强制性验收标准，推动已建工程改造。

完善运维机制：建立爆破片定期检测与更换制度，确保装置安全有效；

技术整合与创新：借鉴管网远程监控系统，研发针对爆破片安全阀的智能监测系统，实现状态预警

基于超声波燃气表的 低压燃气管道安全监测系统研究及应用

李敬宁, 段 磊, 杨高磊

新开普电子股份有限公司

摘要: 随着天然气在一次能源消费总量占比逐年提高和城市燃气消费快速增长, 天然气的安全性和经济性显得更加重要, 这对燃气智能化和信息化的安全建设提出了更高的要求。以超声波燃气表(作为下一代全数字化燃气计量仪表)为核心, 整合物联网与云平台等技术, 构建一套应用于低压燃气管网的安全监测解决方案。通过实现用户端和管两端的保压监测功能, 完善燃气用气安全的事前预防机制, 改善燃气安全状况, 逐步满足人民日益增长的安全需求。

关键词: 超声波燃气表; 保压监测; 低压燃气管道

1 概述

2024年全年天然气消费量同比增长7.3%, 天然气在一次能源消费总量中占比增至8.8%, 城市燃气消费占比增至34%^[1]。伴随用气规模扩大, 燃气安全事故频发, 2024年上半年共计发生燃气事故181起, 居民用户事故96起, 工商用户事故20起, 管网事故64起, 厂站事故1起。21起天然气用户事故中已确认事故原因的有14起, 其中软管脱落、老化破损和干烧引发火

灾占比57.14%^[2]。2024年3月河北燕郊爆燃事故造成7人死亡、27人受伤, 再次凸显低压燃气管网泄漏监测的紧迫性。低压燃气管网多处于人员密集区, 存在敷设环境复杂、泄漏监测难度大、应急响应不及时、处置措施有效性差等问题^[3], 如何高效、快速、准确地检测到管道泄漏已成为目前各燃气公司急需解决的问题。

超声波燃气表凭借其高精度、宽量程比、强稳定性及高安全性等优势, 已在燃气计量领域实现规模化

与远程监控, 便于第一时间发现异常情况并迅速响应进行处理。

通过以上措施, 能够构建更完善的城镇燃气安全防护体系, 为城市燃气“最后一公里”安全运行提供

坚实保障。

本文系统阐述了爆破片安全阀在城镇燃气低压管道中的应用可行性, 可为燃气行业安全管理与技术升级提供参考。

[第一作者简介] 李敬宁, 燃气智能终端事业部总经理, 中级工程师, 从事燃气智能终端产品研发工作。