

# 燃气管道运输中的内部结垢问题及解决方法

张建珍 杜 昕（山东港华燃气集团有限公司，山东 济南 250000）

**摘 要：**本研究针对燃气管道内部结垢问题及其解决策略进行了详尽探讨。首先，文章剖析了造成结垢现象的各种因素，例如水质中钙镁离子的沉淀、水质波动以及油气混合物内杂质与化学物质间的相互作用等。随后，详细讨论了这些沉积物如何影响运输效能，比如减少了流体通过量、增加了能耗，并且还可能引发诸如管道阻塞和加速腐蚀的安全隐患。对于应对措施方面，文中不仅提及了传统手段如手动清理和使用稀盐酸清洗所面临的挑战与潜在风险，同时也介绍了采用高压旋转水流清洗技术和超声波清洁法所带来的显著改进及其实用价值。此外，还提出了一系列预防性策略，旨在通过调整运行参数和实施保护措施来减少结垢的发生。最后，对整个研究发现进行了归纳总结，并对未来的研究方向提出了展望，强调了开发更高效的新技术及优化现有防护措施的重要性，以期提升燃气输送系统的稳定性和可靠性提供有价值的参考依据。

**关键词：**燃气管道；结垢问题；解决方法；防护措施

## 1 研究目的

作为一种不可或缺的能源，燃气在日常生活与工业制造领域扮演着极其重要的角色。然而，在其通过管道输送的过程中，内壁积垢现象成为了影响安全及效率的一大障碍。对这一问题进行细致研究，能够帮助我们更加深入地掌握积垢产生的原理，进而开发出有效的应对策略，确保燃气管道运输过程中的平稳与可靠。这不仅对于提升能源使用效率、减少运营开支具有积极作用，同时也关乎到公共安全保障的重要性。

## 2 燃气管道结垢的原因分析

### 2.1 水质与结垢

富含钙镁离子的硬水，在通过燃气输送管道时，随着时间积累，这些矿物质成分会在管壁内部逐渐沉积形成垢层。比如，在某些特定地区，由于水源硬度较高，经过一段时间运行之后，可以观察到燃气管道内壁明显附着了一层白色的沉淀物。此类沉淀不仅减少了管道的有效流通截面，降低了气体传输效率，而且增加了流体流动时遇到的阻力，从而导致了能源损耗的增加。

温度的变化显著促进了结垢现象。随着水温的上升，矿物质结晶的速度加快，在热交换器附近的燃气管道中表现尤为明显，因为这些区域的高温环境有利于钙镁离子沉淀形成水垢。此外，pH 值的波动同样对结垢过程产生影响。当水质的 pH 值处于 10 至 12 之间时，腐蚀速率降至最低；然而，一旦 pH 超过 13，特别是在存在游离 NaOH 的情况下，可能会引发碱性腐蚀问题，进而加剧水垢的生成。例如，在一些燃气锅炉系统中观察到的现象表明，由于 pH 值的

稳定变化，导致了严重的内部结垢问题，这不仅干扰了设备的正常运作，也降低了其效率。

### 2.2 油气成分与结垢

在燃气输送管道中，油和气通常携带一定量的杂质及固体微粒。随着这些流体沿管道移动，所含的不纯物质倾向于逐渐积聚于管壁之上，形成沉积层。数据显示，在某些燃气管道网络内，由于此类沉积物的影响，每年管壁上沉积层的厚度大约可增长 0.5mm 左右。这些沉积物质可能源自油气资源从开采到加工再到运输过程中的各个环节，比如细小沙砾、金属锈蚀产物等。这种沉积现象不仅会导致管道有效流通面积减小，还会增加管道内部表面的粗糙程度，进而加大了流体通过时遇到的阻力，最终影响到了燃气传输的整体效率。

燃气中的某些化学成分与管道材料相互作用，能够生成沉淀物，进而导致管壁结垢现象。具体而言，管道中含有的水分及气体内的二氧化碳等成分可与管道内部存在的钙、镁离子相结合，形成所谓的水相沉积物。此外，若天然气中含有有机物质，则会在特定条件下促使水和油混合成乳状液，在此过程中，借助于油膜的作用，各种杂质与固体颗粒得以聚集并最终固化为油相沉积层。这类化学反应不仅会导致管道内表面覆盖上一层层难以清除的沉积物，还可能侵蚀管道材质本身，从而缩短其正常服役年限。

## 3 燃气管道结垢的影响

### 3.1 对运输效率的影响

沉积物的累积显著影响了燃气输送管道的工作效率，具体表现为管道流通量减少及热传导效能下降，

从而导致能源消耗量增加。

### 3.1.1 流量减少

比如,川西北气矿产出的天然气需经由约 1000km 长的管道输送至长江三角洲区域。由于管壁沉积物累积导致内径缩小及阻力增加,从而减少了天然气的流通量。在某些沉积严重的管线中,气体流量甚至可能下降超过 30%。另一个案例是某个天然气田的油井管路与集气管线也遭遇了类似问题,即因内部沉积而使有效直径减少。

### 3.1.2 能源消耗增加

当燃气管道内部形成沉积物时,为了保证正常的燃气输送效率,必须施加更大的压力以促进气体流动。据研究显示,在存在沉积物的情况下,燃气管道的能耗可能会上升 20% 至 30%。以安徽省一家制药企业所使用的 2 蒸吨燃气蒸汽锅炉为例,由于采用软化水作为供给水源,导致该锅炉排出的烟气温度逐年上升,表明了设备老化导致其效能下降,热能吸收率降低,进而增加了燃气消耗量。具体而言,使用软化水的 1# 锅炉在满负荷运行状态下平均排烟温度达到 204 摄氏度,每次启动后烟气温度迅速升高,最高记录为 221℃,且平均汽气比值为 12.64KG/m<sup>3</sup>。这些数据反映出因结垢而引起的显著能源损耗问题,并降低了锅炉的整体热效率。此外,油气传输管线中的沉积物也会阻碍热量的有效传递,进一步加剧了能源浪费现象。因为这种沉积层具有较低的导热性,从而影响到整个系统的换热效果,迫使运营方不得不投入更多能量来克服由此产生的额外阻力以及维持必要的流体运动,最终抬高了整体运营开支。

## 3.2 安全隐患

燃气管道内部积垢不仅降低了输送效能,同时也构成了显著的安全隐患,可能导致管路阻塞及材质侵蚀等问题。

### 3.2.1 堵塞风险

在某海上平台所采用的特定品牌透平(涡轮)发电机组中,以天然气作为主要能源。运行期间观察到的现象是,在部分燃气输送管道内部形成了灰白色的沉积物,这一问题已经导致了共计 14 个喷嘴出现了不同程度的堵塞现象,进而影响到了这些部件的正常工作。上述状况不仅造成了设备运转异常,并且还引起了 T5 热电偶温度分布不均的问题,其数值已接近预警阈值。如果此堵塞情况继续恶化下去,可能会迫使发电机组停止运行,从而对整个平台的常规生产活动造成不利影响。

### 3.2.2 腐蚀危害

结垢与腐蚀之间的相互作用加剧了安全风险。管道内部形成的沉积物可以促进腐蚀过程,通过建立浓度差异电池来加速这一进程,在这种情况下,沉积物覆盖的地方作为阳极,而其周围区域则充当阴极,形成了典型的‘大阴极小阳极’结构。随着时间的推移,位于沉积物下方的金属会遭受越来越严重的侵蚀,最终导致局部出现深坑,并可能引起穿透性损坏,也就是所谓的沉积物下点蚀现象。

另外,管道内部的腐蚀产物还会促进结垢现象的发展。溶解于水中的硫化氢与二氧化碳气体以及铁细菌和硫酸还原菌等微生物能够利用已形成的表面沉积物作为掩护,在这些沉积物之下侵蚀管道材料,从而产生严重的次生腐蚀产物(如碳酸铁、硫化铁)并进一步形成新的深层沉积层。这种相互作用构成了一个负面反馈循环,持续恶化了管道的安全状态,对天然气输送系统的安全构成重大威胁。

## 4 燃气管道结垢的解决方法

### 4.1 传统清理方法

手动清理燃气管道内的沉积物是一项充满挑战的任务。首先,这项工作对执行人员的技术水平有着极高的要求。维修者不仅需要拥有深厚的管道维护经验与专业技能,还必须熟悉管道的具体构造和分布情况,以便能够准确判断沉积物的位置及其严重程度,并据此采取适当的清除措施。其次,手工清理的过程本身也十分复杂。由于大多数燃气管道都埋设于地下或隐藏在建筑结构之中,因此作业环境通常十分局促,增加了操作难度。工作人员需借助如内窥镜、刮刀以及刷子等专门工具来完成精细的清洁工作。在此过程中,还需格外小心,以防因不当处理而损伤管道,从而可能引发诸如燃气泄漏等安全隐患。除此之外,人工方式的清理效率相对较低,面对较大规模的管道沉积问题时,往往需要投入大量的时间和人力资源。

采用稀盐酸进行管道清洁是一种历史悠久的方法,然而,这种方法伴随有显著的风险。首先,稀盐酸具备强烈的腐蚀性特征,不当的应用可能导致燃气输送管线受损。它能与管壁材质发生化学反应,进而使管道变得薄弱、出现穿孔乃至断裂的情况。特别是对于那些已经历岁月侵蚀、材料老化且抗蚀能力减弱的老式燃气管道来说,遭受稀盐酸侵害的可能性更高。其次,利用稀盐酸进行清洗作业还可能引发环境污染问题。在这一过程中产生的大量废水及废气中包含了诸如盐酸、氯化钙和氯化镁等有害成分。如果这些废

料未经适当处理便被排放至外界，则会对土壤质量、水资源安全以及空气质量构成威胁，从而破坏生态平衡并对人类健康产生不利影响。此外，执行此类清洁任务不仅需要专业化的设备支持，而且要求操作者具备相应的专业知识。在此期间，若工作人员未能采取正确的个人防护措施，他们可能会因吸入盐酸蒸汽而遭受眼部不适、呼吸系统炎症或皮肤刺激等问题。

## 4.2 新技术应用

随着科学技术的持续发展，一系列创新技术正逐步应用于燃气管道内部沉积物的清除工作中，为有效应对这一领域的挑战提供了新颖的视角和技术手段。

高压旋转水流清洗技术在管道清洁领域表现出色，其核心优势体现在彻底去除污垢的同时不产生环境污染。通过生成强大的水力冲击波，该技术能够快速有效地清除管道内壁上的沉积物。相较于传统的清洁手段，高压旋转水流不仅能够触及管道内部难以到达的区域，还能确保沉积物质被完全移除。比如，在一些天然气管道清理案例中应用了此方法后，观察到管道内部表面恢复如初，沉积物被全面清除，从而恢复了管道原有的流通截面，大幅提升了天然气输送效率。

另外，采用超声波技术进行清洁作业不仅简便易行，而且能够显著提升清洗速率。此方法无需依赖复杂的机械设备或大量人力资源，仅需将相应的超声波清洁装置与待清洁的管道系统相连即可启动操作。值得注意的是，由于其高效的清洁能力，在相对较短的时间内就能完成大面积燃气输送管线的清理工作，从而大大提高了整体工作效率。

## 5 结论与展望

### 5.1 研究结论总结

燃气管道内部形成沉积物的现象颇为复杂，主要诱因涉及水中钙镁离子的累积、水质波动、油气混合物内杂质的沉淀及某些化学反应过程。此类沉积现象显著干扰了燃气传输效率，不仅减少了管道输送能力，增加了能耗，还可能引发一系列安全问题，比如阻塞风险与加速腐蚀。

针对燃气管道内部结垢现象，存在多种处理策略，既包括传统的清理手段也涉及到了一些创新技术的应用。传统方法中，人工清理效率低下且实施困难；使用稀盐酸进行化学清洗虽然有效，但可能存在安全隐患。相比之下，新兴技术如高压旋转水流清洗不仅能够彻底去除沉积物，而且整个过程绿色环保无污染；

超声波清洗技术同样展现出优异的清洁效果，并且操作起来十分便捷。

总而言之，对燃气管道内积垢问题展开细致研究，并实施有效的解决方案与预防措施，对于确保燃气输送系统的稳定性与可靠性、提升能源利用效率、减少运营成本及维护公共安全至关重要。展望未来，应当持续开发更加高效且环境友好的燃气管道清理技术与防护策略，以促进该行业的长期健康发展。

### 5.2 未来研究方向展望

随着科学技术的持续发展以及对燃气输送系统安全性和效率要求的不断提升，未来关于燃气管道内部沉积物问题的研究将会变得更加广泛且深入。

智能监测技术的发展：为了实现对燃气管道内部结垢状况的更精准监控，研究者们致力于开发更为先进的监测系统。该系统能够实时收集关于管道内壁沉积物厚度、环境温度及内部压力等关键参数的信息。通过在管道中部署基于物联网技术的传感器网络，这些数据可以被即时传送到中央控制系统进行进一步分析与评估。

纳米材料的应用研究：探索纳米材料在预防燃气管道内部结垢现象中的效用。这类材料凭借其独特的物理化学特性，能够有效抑制沉积物于管壁上的积累。

生物防治技术：研究采用生物手段来防止燃气管道内部结垢问题。

定制化保护策略：依据不同地理位置及燃气管道类型，设计专门的保护措施。

总而言之，针对未来燃气管道积垢问题的研究趋势将更加侧重于智能化、效率提升及环境保护。通过持续发掘新兴技术和改善防腐策略，能够有效应对燃气管道内部沉积物带来的挑战，确保天然气输送过程的安全性、可靠性和高效性，从而为促进整个燃气行业的长期健康发展提供强有力的支持。

### 参考文献：

- [1] 高文伟. 油气集输管道内腐蚀防护技术解析 [J]. 化工管理, 2019(23):181.
- [2] 段旋, 郭悠悠, 徐峰, 等. 含硫油气集输管道内腐蚀和防护技术研究 [J]. 化学工程与装备, 2019(01): 45-48.
- [3] 吴涛. 油气集输管道内腐蚀防护技术 [J]. 油气田地面工程, 2019, 33(04):85-86.
- [4] 冯小英, 司建元, 何赛. 油田集输管线集中除垢工艺研究与应用 [J]. 石化技术, 2019, 25(11):213.
- [5] 李申强. 天然气管道输送对城市燃气保障的重要性分析 [J]. 管道技术, 2024, (02):62-65.