

城市埋地燃气管道的泄漏原因及检测研究

李永斌

太原天然气有限公司

摘要：近年来，城市燃气供应备受关注，但受诸多因素影响，燃气管道泄漏故障时有发生，给城市的居民和财产安全带来巨大威胁。因此，分析城市埋地燃气管道泄漏的原因及检测技术意义非凡。研究城市埋地燃气管道泄漏的原因及检测技术，是为了解决城市燃气供应安全问题，保障居民生命财产安全和城市可持续发展。

关键词：城市；埋地燃气管道；泄漏原因；检测技术

【DOI】10.12254/j.issn.2096-6539.2024.03.119

城市燃气管道是燃气供应的主要通道之一，在城市化进程中发挥着至关重要的作用。然而，管道泄漏一直是城市安全的隐患，燃气泄漏不仅会造成能源资源的浪费，还会引发火灾、爆炸等严重后果。因此，研究城市埋地燃气管道泄漏的原因和检测方法具有重要的理论和实践意义。

一、埋地燃气管道泄漏的危害

城市埋地燃气管道泄漏是一种严重威胁社会安全和人民生命财产安全的事故。其危害包括诸多方面。其一，爆炸风险。燃气管道泄漏后，积聚的气体容易形成爆炸性混合物，一旦遇到明火、电火花或其他点燃源，就会引发爆炸。此种类型的爆炸事故往往伴随着火灾和破碎物飞溅，造成人员伤亡和财产损失。其二，毒害风险。燃气主要成分为甲烷，当燃气泄漏后室内空气中的氧气含量会减少，而甲烷则会积聚起来。甲烷是一种无色无味的气体，一旦人们吸入过多甲烷，会引起窒息当燃气中有一氧化碳时，会引起中毒。其三，环境污染。燃气泄漏会导致大量的温室气体甲烷排放到大气中，进一步加剧气候变化，影响人类的生存环境。此外，燃气泄漏还可能对土壤和水源造成污染，影响到生态系统和人类的健康。其四，经济损失。燃气泄漏不仅危及人民的生命财产安全，还会对城市基础设施造成破坏，如：道路、建筑物等，泄漏会导致燃气供应中断，影响居民生活和工业能源供应，同时还需要投入大量的人力物力进行修复和恢复。

二、城市埋地燃气管道泄漏的原因

（一）管道材料

管道材料的质量和耐用性直接影响燃气管道的泄漏风险，如果管道材料不符合标准，或者使用的材料质量较差，容易出现材料老化、腐蚀和破损等问题，从而导致燃气泄漏。例如，金属管道可能因为腐蚀引起裂纹，塑料管道可能因为老化变脆而发生破损。

（二）防腐层破损

燃气管道在使用过程中，防腐层可能会受到外力损害或者老化脱落。一旦防腐层破损，就容易使管道暴露在外界环境中，从而增加了管道发生腐蚀和裂纹的可能性，从而导致泄漏事故。

（三）人为因素

人为操作和维护不当也是管道泄漏的一个重要原因。如：操作员关闭阀门不严密，操作不规范，或者维护保养不及时、不到位，都可能导致泄漏事故发生。此外，非法接气、盗气行为也是人为因素导致泄漏的一种，不合法连接管道或者偷窃燃气会破坏管道的完整性，引发泄漏。

（四）环境因素

管道周围的自然环境和外界条件也会对燃气管道造成影响。地震、地质滑坡等自然灾害会对管道产生破坏和位移，导致泄漏。恶劣的气候条件，如：极端寒冷或高温，也会对管道的材料和防腐层造成损害，从而引发泄漏。

三、城市埋地燃气管道泄漏检测存在的难点

（一）管网分布范围广泛、管道线路长、泄漏量大

其一，管网分布范围广泛。城市燃气管道网络通常覆盖整个城市的大范围，包括住宅区、商业区、工业区等。管道线路错综复杂，穿越各种建筑物和地形地貌。这使得检测工作变得复杂和困难，需要大量时间和资源来完成。由于管道网的广泛分布，泄漏的位置可能位于各种不同的地点，需要对大量的管道进行检测。其二，管道线路长。城市燃气管道系统通常具有长线路，尤其是在大城市中。长线路意味着检测过程需要更长的时间和更多的努力。同时，长管道线路上可能存在多个检测点，需要在每个检测点都进行细致的观察和检测。长管道线路还可能包含多个支线、分支等，进一步增加了检测的复杂性。其三，周期性检测点多。由于管道的使用寿命有限，泄漏检测需要进行定期的巡检和维护。在大城市中，存在大量的周期性检测点，其中一些可能是难以到达的地点，如：狭小的地下空间、建筑物底下等。这要求检测人员具备较强的技术能力和专业知识，以确保能够全面检测到潜在的泄漏点。处理这些难点的方法包括使用先进的检测技术和设备，例如红外热成像、气体探测仪等，以提高检测效率和准确性。此外，建立完善的管道管理系统，包括定期维护和巡检，以及培训专业的检测人员，都是确保管道安全的重要措施。

（二）初期泄漏阶段溢出地面概率低，检测难度大

第一，泄漏潜伏期。在管道发生泄漏的初期阶段，泄漏气体通常不会迅速溢出地面。相反，它可能会在管

道内逐渐积聚或扩散到周围的土壤、建筑物或其他障碍物中,使得泄漏的检测变得困难,因为没有明显的气味或可见的泄漏迹象可以指示泄漏的发生。第二,安全隐患。由于初期泄漏很难被察觉,可能会导致严重的安全隐患,燃气是易燃易爆的,一旦泄漏发生引发火灾或爆炸,可能对人员和财产造成重大损失。因此,及早发现和定位泄漏变得至关重要,但也带来了检测的困难。第三,检测方法限制。传统的泄漏检测方法如气味探测、视觉检查等通常依赖于泄漏气体在地面或上层空气中的散发,对初期泄漏的检测能力有限。因为在初期阶段,泄漏气体可能还不足以散发到地面或上层空气中,或者被周围的土壤、建筑物等吸收和分散。因此,需要采用更先进的检测技术,如:红外热成像、气体传感器等,来提高初期泄漏的检测能力。第四,管道覆盖与访问限制。城市燃气管道通常埋藏在地下,覆盖在道路、人行道、公园等区域下方,导致了检测的困难,因为不能直接观察到管道的情况。此外,访问管道需要进行挖掘或拆除覆盖物,不仅对环境造成破坏,还需要耗费大量时间和资源。因此,管道的访问限制增加了对初期泄漏进行检测的难度。为了应对这些难点,可以采取一些措施来提高初期泄漏的检测能力。包括使用先进的泄漏检测技术和设备,如:气体传感器阵列、无损检测技术等。此外,建立完善的监测系统,包括实时监测和报警系统,可以及早发现并定位泄漏。同时,应加强管道的维护和定期检查,进行漏点监测和老化管道的更新,以此减少初期泄漏的发生和控制风险。

四、城市燃气管道泄漏检验检测技术

(一) 外防腐层检测

燃气管道外防腐层检测是城市燃气管道泄漏检验检测技术中的重要环节之一。外防腐层是燃气管道的保护层,其主要作用是保护管道免受外部环境的腐蚀和损害,减少泄漏事故的发生。外防腐层检测的目的是检查管道表面防腐层的完整性和质量,确保外防腐层的可靠性和持久性,具体检测方法如下。其一,目视检查。通过目视观察检查管道表面的防腐层是否存在裂缝、破损、起泡等问题。其二,打击检测。使用锤击或敲击等方式检测管道表面是否有空洞、声音变化等情况,判断防腐层的质量。其三,探伤检测。使用超声波、涡流、磁粉等无损检测技术,对管道表面进行探测,识别出可能存在的防腐层缺陷和腐蚀。其四,磁性检测。利用管道表面防腐层的磁性差异,通过磁场检测和分析,发现防腐层破损、腐蚀等问题。其五,温度检测。通过测量管道表面温度的变化,检查是否存在热点,判断管道是否有防腐层损坏和泄漏风险。外防腐层检测的结果可以指导燃气管道的维护和修复工作,及时发现和处理防腐层的问题,防止泄漏事故的发生。在燃气管道的运行管理中,外防腐层检测是必不可少的一项技术措施^[1]。

(二) 燃气管道厚度检测

漏磁检测技术是一种非接触式的壁厚测量方法,常用于燃气管道等金属构件的壁厚测定。该技术主要基于漏磁现象,也就是在电磁体在金属材料上产生磁场时,材料内部存在的缺陷、腐蚀、疲劳等问题会导致磁场的异常变化,从而通过检测磁场的变化来判断材料的壁厚情况,漏磁检测技术步骤如下。第一,磁场产生。使用电磁体产生磁场,常用的电磁体包括永磁体和电磁线圈,将磁场作用于待检测的燃气管道上。第二,漏磁感应。燃气管道内壁存在缺陷、腐蚀等问题时,磁场会发生异常变化。这是因为缺陷会形成磁阻变化,导致磁场通过缺陷区域发生漏磁现象,漏磁现象会引起感应线圈中的磁感应强度变化。第三,信号检测,使用感应线圈将磁场变化信号转化为电信号,并通过放大、滤波等电路处理,以获得相对准确的壁厚变化信息。第四,数据分析。对检测到的信号数据进行分析,通过比对标准壁厚值和实际测量值,判断燃气管道壁厚是否达到安全要求。漏磁检测技术的优势如下。其一,非接触式测量,无需拆卸管道或者接触管道表面,避免了破坏管道的风险,也不会影响管道的运行和使用。其二,快速测量,漏磁检测技术可以实现快速测量,通常只需几秒钟至几分钟。其三,高精度,漏磁检测技术可以测量到非常小的壁厚变化,精度较高。其四,广泛应用,漏磁检测技术适用于各种金属材料 and 形状的管道,具有很高的适应性。但漏磁检测技术也有一些限制与注意事项。磁场的产生和感应需要一定的距离和方向,对于曲管、弯头等复杂形状的管道,可能需要进行多次测量或者特殊处理。另外,漏磁检测技术对材料的磁导率敏感,对于非磁性材料的应用有一定限制,需要针对具体管道进行校准和标定,以提高测量的准确性。漏磁检测技术是一种常用于燃气管道壁厚测定的非接触式方法,通过产生磁场、感应漏磁信号,并进行信号处理和数据分析,可以快速、准确地评估管道的壁厚情况,为管道的安全运行提供依据^[2]。

(三) 超声波检测

超声波检测技术是燃气管道壁厚测定中常用的一种非破坏性检测方法。它利用超声波在材料中传播的特性,通过测量超声波的传播时间和强度来确定管道壁厚情况,超声波检测技术的实际应用步骤如下。第一,发射超声波。使用超声波探头将超声波传递到燃气管道的外部表面,超声波探头通常由压电晶体构成,通过施加电压使晶体振动产生超声波。第二,超声波传播。超声波在燃气管道内壁上的传播速度与材料的声速、密度等相关,而管道壁厚决定了超声波传播的时间。第三,接收超声波。在燃气管道的另一侧安装接收超声波的探头,它可以接收到通过管道壁传播的超声波信号。第四,数据处理。将接收到的超声波信号与发射信号进行比较,根据传播时间和强度的变化来计算管道的壁厚情况,通常使用声速倍频技术或者回波法来实现,超声

波检测技术的优点如下。其一，非破坏性检测，不需要破坏管道或者进行接触式测量，不会对管道造成任何影响。其二，准确测量，超声波检测技术能够测量管道壁厚的绝对值，具有较高的准确性。其三，适用范围广，超声波检测技术适用于各种材料和形状的管道，而且对管道的直径和曲率没有太大的限制。其四，检测速度快，超声波检测通常能够快速测量多个点，提高了测量的效率。然而，超声波检测技术也有一定的局限性，在使用过程中需要注意一些事项。其一，对操作人员的技术水平要求较高，超声波检测需要有经验的技术人员进行操作和解读结果，以确保准确性。其二，管道表面条件要求较高，管道表面的杂质、涂层、腐蚀等可能会干扰超声波的传播，影响测量结果。其三，对于非金属材料的适用性有限，超声波检测技术主要适用于金属材料管道的壁厚测定，对于非金属材料的适用性有限^[3]。

（四）远场涡流检测

远场涡流检测技术是一种常用于燃气管道壁厚测定的非接触式方法，利用磁场诱导感应电流产生涡流效应，通过检测涡流的特性来判断管道壁厚情况，远场涡流检测技术通常包括以下几个步骤。第一，磁场产生，通过将交流电流通过电磁线圈产生磁场。电磁线圈通常是一个螺线管，将电流通入线圈导线中，产生磁场。第二，涡流感应，燃气管道是金属材料，当磁场通过管道时，磁场的变化会诱导管道内部产生感应电流，形成涡流。第三，涡流效应，涡流会在燃气管道内部形成相应的磁场，该磁场受到管道壁厚的影响。壁厚越大，磁场越强，涡流也会相应增强。第四，检测信号，使用感应线圈将涡流产生的磁场信号转化为电信号，并通过放大、滤波等电路处理，以获得壁厚变化的信息。第五，数据分析，通过分析涡流信号的强度和分布，比对标准壁厚值和实际测量值，判断燃气管道的壁厚是否满足安全要求，远场涡流检测技术的优点如下。其一，非接触性检测。不需要对管道进行接触式测量，无需拆卸管道或表面处理，避免了破坏管道的风险。其二，快速测量。远场涡流检测技术可以快速测量燃气管道的壁厚，通常只需要几秒至几分钟。其三，高精度。远场涡流检测技术具有较高的测量精度，可以检测到相对较小的壁厚变化。其四，适用性广。远场涡流检测技术适用于各种金属材料和形状的管道，具有很高的适应性。但在实际应用过程中，远场涡流检测技术也有一些局限性。第一，对管道尺寸有限制，远场涡流检测技术适用于较大尺寸的管道，对于小直径管道的检测有一定限制。第二，对非导电物质的适用性有限，远场涡流检测技术主要适用于导电材料，对于非导电材料的测量有限。第三，磁场的干扰，外部的磁场干扰可能会影响信号的测量，需要在实际操作中进行注意^[4]。

（五）电磁超声波检测

电磁超声检测技术是一种常用于燃气管道壁厚测定的非接触式方法，它结合了电磁感应和超声波技术，通过检测电磁超声信号的传播特性来评估管道的壁厚情况，电磁超声检测技术的应用步骤如下。第一，电磁超声波的产生，使用发射探头产生电磁超声波信号。发射探头通常包括一个电磁驱动器和一个超声波发射吊膜。电磁驱动器通常是由电磁线圈构成，通电后产生电磁力使吊膜振动，从而产生超声波信号。第二，电磁超声波的传播，产生的电磁超声波信号通过管道的表面或附近传播。当超声波遇到管道壁时，会发生反射、折射、散射等现象。第三，电磁超声波的接收，在燃气管道的另一侧安装接收探头，用于接收穿过管道壁的电磁超声波信号，接收探头通常也是由电磁线圈和超声波接收吊膜构成。第四，信号处理和分析，将接收到的电磁超声波信号进行放大、滤波、时域和频域的分析处理，以获取壁厚信息，常用的分析方法包括时域波形分析、频域谱分析等。第五，得出结果，通过比对标准壁厚值和实际测量值，判断燃气管道的壁厚是否满足安全要求，电磁超声检测技术的应用优势如下。其一，非接触性检测，无需与管道接触，减少了对管道的干扰和破坏。其二，高灵敏度，电磁超声波技术具有较高的信号灵敏度，可以检测到较小的壁厚变化。其三，快速测量，相比其他方法，电磁超声检测技术可以实现快速、高效的测量，节省时间和成本。其四，适用性广，电磁超声检测技术对各种金属材料和管道形状具有良好的适应性^[5]。

结束语

综上所述，在城市建设不断拓展与健全的背景下，城市燃气埋地管道的覆盖范围也在不断扩大，人为因素、环境因素等诸多方面原因都有可能造成管道腐蚀泄漏，只有及时高效的做好管道泄漏排查工作，才能避免造成严重的不良后果。因此，应用先进的管道检测检验技术至关重要，达到防范事故发生的目的，确保城市埋地燃气管道安全运作。

参考文献

- [1]周苗.埋地燃气管道在土壤中的小孔泄漏[C]//中国城市燃气协会安全管理工作委员会.2022年第五届燃气安全交流研讨会论文集(上册).2022年第五届燃气安全交流研讨会论文集(上册),2023:411-414.
- [2]陈一诺.城市埋地燃气管道风险评价方法研究[D].中国石油大学(北京),2020.
- [3]杨奕霖.埋地燃气管道泄漏扩散数值模拟及实验研究[D].天津城建大学,2022.
- [4]黎思杰.埋地燃气管道泄漏声波产生特性及其信号处理方法[D].重庆科技学院,2021.
- [5]陈月,马宗敏,李翠华.长期住院伤残军人的心理特点及管理对HAMD评分的影响[J].医学食疗与健康,2021,19(08):206-207.