

聚乙烯燃气管道失效形式分析及预防措施的研究

王永丽（上海派普诺管道检测科技发展有限公司，上海 201818）

摘要：聚乙烯管材因耐腐蚀、寿命长、柔韧性好等优异性能，已成为新敷设城镇燃气管网中的首选材料。因其主要敷设于人口密集区域，且介质易燃易爆，故一旦燃气管道失效便会引发严重后果。本文从管材质量、焊接接头缺陷、地基沉陷、第三方破坏及白蚁侵蚀五个方面分析了聚乙烯燃气管道失效形式，并结合具体情况提出了相应的预防措施，以避免管道安全事故的发生。

关键词：燃气管道；聚乙烯；失效形式；预防措施

0 引言

聚乙烯（PE）管材因耐腐蚀性强、柔韧性好、焊接性能好、寿命长等，在城镇燃气管网中已逐步取代钢管和铸铁管，成为管道领域中的主流材料^[1]。目前国外新敷设的燃气管道中 PE 管材使用比例接近 100%，国内新敷设的中低压燃气管道中，90% 以上使用 PE 管材。城镇燃气管网作为城市的生命线，维系着城市的各项功能，一旦出现问题，会直接影响到人们的日常生活，尤其是燃气的泄漏，会产生爆炸的危险。因此，随着 PE 燃气管道使用量的增加，其安全性成为各方重点关注的问题。到目前为止，国内外已发生多起 PE 燃气管道失效事故，对社会经济和居民的人身安全造成了严重的损失和伤害。本文通过理论结合实践的方式对管材质量、焊接接头缺陷、地基沉陷、第三方破坏及白蚁侵蚀这五种常见的失效形式进行论述，并提出了相应预防措施，旨在减少燃气管道事故的发生。

1 失效原因及预防措施

1.1 管材质量

依据 GB/T15558.1-15558.2《燃气用埋地聚乙烯（PE）管道系统》，生产燃气用聚乙烯管材应使用经过定级的 PE100 或 PE80 聚乙烯燃气管道专用混配料^[2-3]。部分管材生产商牟利作假，使用含有铬酸铅的原材料生产 PE 管，当该管材用于埋地燃气管道时，土壤中的硫酸盐还原菌将土壤中的硫还原成硫化氢，因 PE 管材中含有铬酸铅，它会与硫化氢发生反应，产生黑色的硫化铅，造成 PE 燃气管道失效。聚乙烯树脂与炭黑混合的原料（俗称“白加黑”），其炭黑、抗氧化剂等添加剂常出现混合不均匀的情况，甚至炭黑颗粒未分散。使用这种原材料生产的 PE 管材对紫外线的抵抗能力较差，未分散的炭黑颗粒还会引起应力集中，在管道运行过程中引发慢速裂纹扩展，增加

燃气泄漏的风险。使用不清洁的回收料生产管材，可能会导致管材存在不透光毛细孔，一旦用于燃气管道就会发生燃气泄漏。生产黑色管材时如果原材料含水量高，生产的管材就容易出现气孔，影响后续的使用。因此，使用劣质的原材料生产管材增加了燃气 PE 管道失效的风险。

为了避免管材质量低劣带来的失效风险，在选择 PE 管材时，应验证生产企业资质，充分了解原材料的采购途径、生产流程和工艺，以便掌握 PE 管材生产过程的所有质量控制点。要求生产企业明确其产品所使用的原材料级别和回收料的情况，以满足使用条件。使用黑色 PE 管材时，需在生产管材前对 PE 原材料进行烘干，并检测含水量（ $\leq 200 \times 10^{-6}$ ）及炭黑分散级别^[2]。燃气用 PE 管材标识应齐全，包括生产商、原材料、规格等能够显示管材质量和使用的相关信息，这对管材的质量溯源起着关键作用。此外，购置的 PE 管材或管件不应置于户外长期存放，以尽可能避免光、热、温度、氧等条件引起分子链断裂，产生降解现象。根据 CJJ63-2018《聚乙烯燃气管道工程技术标准》，PE 管材和管件存放时间不能过长，一般管材存放时间不超过 4 年，密封包装的管件存放时间不超过 6 年，否则应对其抽样检验，当其性能符合要求时才能用于燃气管道^[4]。

1.2 焊接接头缺陷

PE 燃气管道的使用效果很大程度上取决于所选用的焊接接头结构和焊接质量，PE 燃气管道主要采用热熔对接和电熔连接两种焊接技术。其焊接原理为：加热到黏流态的塑料大分子在焊接压力的作用下相互扩散、缠绕，产生分子间作用力，从而紧密地焊接在一起。焊接原理虽然简单，但影响焊接质量的因素却有很多，如：材料的相溶性、焊接工艺、施焊设备质量和工况、焊接气候、施焊人员的操作技能等，任一

环节控制不严,都会影响焊接质量,引发缺陷,给燃气 PE 管道带来泄漏的风险^[5]。表 1 为两种焊接技术中常见缺陷类型及原因对照表。

表 1 焊接缺陷原因对照表

焊接方法	缺陷形式	产生的原因
热熔对接焊接	熔接面夹杂	管材端面未铣削(存在氧化层)、施焊环境恶劣,扬尘严重、杂质(水、油污、草叶、铁屑、塑料碎片等)在焊接时混入熔接面
	孔洞	管材端部含有气泡、材料内部存在空气、端面潮湿,焊接过程中水分蒸发,未及时排出、管壁过厚,导致散热不均、非自然冷却,冷却不均匀
	未熔合	端面未铣平,凹陷处受热不足、提前卸除夹具,冷却时间不足
	冷焊	加热板温度过低、加热时间不足、焊接压力过大,熔融物挤出
	过焊	加热板温度过高、加热时间过长
电熔连接焊接	未熔合	焊接热量不足、焊接功率偏小、管材与管件尺寸偏差过大、管材外壁与管件内壁粘有杂质、管材外壁氧化皮未清理干净
	孔洞	材料固有缺陷、材料过热汽化、焊接冷却过程中散热不均产生材料收缩
	金属丝错位	焊接过热、管材与管件配合过紧
	冷焊	焊接热量不足
	过焊	焊接温度过高、焊接电压超过设定工作电压、管材与管件配合过紧
	承插不到位	管材与关键配合过紧、操作人员不规范、单侧超出限位位置

为减少焊接缺陷,确保焊接质量,应对人、机、料、法、环各个环节进行严格的质量控制。人:施焊人员应经过法规、标准及操作技能的培训,考核合格,持相应焊工证。机:施焊设备应定期校准检定,至少一年一次,并定期维护保养,保证焊机质量及仪表精度。料:选择符合标准规定的 PE 管材或管件;法:根据管材或管件的相溶性、管径、级别选择热熔对接焊接或电熔连接焊接,一般情况下,当管材或管件满足以下四个条件之一时应选择电熔连接^[4]:①熔体质量流动速率(MFR)的差值大于或等于 0.5g/10min(190℃ 5kg);②管径小于 90mm 或壁厚小于 6mm;③不同级别;④不同 SDR 值。环:焊接环境应适宜焊接,根据 GB/T 20674《塑料管材和管件 聚乙烯系统熔接设备》^[6-7],焊机应在-10℃~40℃的环境温度下施焊,低于-5℃或者大风天气应有相应保温、防风措施。此外,在役 PE 燃气管道焊接完成后应对焊接接头进行非破坏性检测,尤其是管道中焊接的第一个焊口,最容易出现质量问题,需要严格把关。

热熔对接接头应 100% 进行宏观检查,卷边沿整

个外圆周平滑对称,尺寸均匀、饱满、圆润。翻边不能存在切口或者缺口状缺陷,不得有明显的海绵状浮渣和气孔。卷边的中心高度值要大于 0,焊接处的管材的错边量要小于管材壁厚的 10%。卷边切除后,对其每隔一段距离进行 180° 背弯试验,卷边应无开裂。

进行电熔接头的宏观检查时,电熔管件应当完整无损,无变形及变色,从观察孔可能看到有少量聚乙烯顶出,且顶出物不得呈流淌状,焊接表面不得有熔融物溢出,承插口与管材同轴^[4]。必要时还可以利用超声相控阵对热熔和电熔接头进行无损检测。

1.3 地基沉降

地基沉降会使埋地管道出现弯曲破坏,同时由于覆土载荷发生变化,挤压埋地燃气管道,使管道变形增加,甚至发生管道断裂。地基沉降的原因有两方面:一是人为因素,如城市道路及房屋建设、地下资源的过渡开采等,打破了土壤原有的平衡状态,造成地基沉降;二是地震、泥石流、降雨等自然因素带来的影响。这些都给城市燃气管道的运行带来了重大安全隐患。故应在做燃气工程时,从设计、施工和后期管理上全面考虑,避免地基的不均匀沉降给管道带来影响。首先要提前评估地质情况并预估地基沉降可能带来的影响,并对燃气管道施工方式进行优化;然后按要求进行施工作业,施工作业中,由经验丰富的监督人员进行监督。管道建设选择的材料质量、敷设方式等均要满足标准要求;管道运营中需加强后期维护,注重巡检,及时发现周边地基的沉降现象。如已发现沉降现象,需及时对地基内部结构进行处理,可采用的方式有强夯法、垫层法、换填法等。

1.4 第三方破坏

由运营承包商或非运营者的个人行为造成的管道损伤属于第三方破坏,目前国内 PE 燃气管道失效事故中,第三方破坏占 50% 以上。主要原因有:①管道敷设未严格按照标准进行,特殊路段无保护措施,且管道地面标识缺失;②地下管线权属不同,相互之间未进行有效沟通,造成第三方盲目建设施工造成管道损伤;③燃气企业日常巡检不到位。

通过对第三方破坏失效原因的分析,可知燃气企业在降低 PE 燃气管道失效风险中起着重要作用。首先 PE 燃气管道的建设应符合相应标准规范,按规定设置示踪线及地面标识,以便日后对 PE 燃气管进行准确定位,燃气企业应核实并保留相应的管线档案。对于位置不明的 PE 燃气管道,企业应运用专业的设

备摸清管道敷设的准确位置及埋深,并补充警示装置。不同管网之间应设置足够的间距,因此权属单位加强沟通,建立联动机制。因燃气管网基本建设于城市人口密集处,频繁的活动极易造成管道地面标志的损坏和丢失,如阀门丢失、警示带破坏等。因此对管道进行日常巡检能有效地减少管道事故的发生,当发现影响管道安全运行的风险时,应及时上报,补充地面标识、阀门等。当燃气管线处于其他施工单位的施工范围时,应加强沟通,与施工方进行技术交底,告知燃气管道的具体位置及埋深,并安排专门人员进行指挥监督,尽可能降低 PE 燃气管道被施工设备挖伤、挖断的风险,减少 PE 燃气管道安全隐患。

1.5 白蚁侵蚀

我国南方地区降雨较多,温度适宜,草木种类繁多,为白蚁提供了有利的生存条件。因白蚁觅食和筑巢时的啃咬习惯,使得蚁巢周边的 PE 燃气管道易受侵蚀引发泄漏及次生灾害。近年来,燃气聚乙烯管道运行过程中,曾出现多起因受白蚁侵蚀而造成的管道破坏泄漏事故。由于白蚁蛀蚀管道的隐蔽性及燃气泄漏危害的严重性,白蚁的防治非常重要。接下来将从设计、施工及运行三个阶段来介绍白蚁的防治措施。

1.5.1 设计阶段

根据白蚁的生存条件,有条件的地段,可将 PE 燃气管道埋深设置于水位层以下,远离草木的位置。选择高密度、防蚁性能优异的 PE 管材,管材材质强度越高,抗蚁侵蚀能力越好。PE100 管材的防蚁性能明显高于 PE80 管材。选择具有优异防蚁性能的 PE 管材,目前,相当部分 PE 管材生产商展开了具有防蚁 PE 管道的研发,选用抗蚁 PE 管材可以从本质上解决蚁蚀问题。

1.5.2 施工阶段

按要求进行砂层回填工作,在管道四周填埋一定厚度细砂并夯实,这样白蚁不容易通过砂层筑巢。套管与 PE 管道的间隙应用细砂填实,然后用中性密封胶封实端口,并于两端封堵处涂抹防蚁药;回填土中木材、草叶、旧物料垃圾等杂物应清除干净,减少白蚁的食物来源;在白蚁多发地带可采用毒土回填的方式,即在回填土中加入适量的抗蚁药物,以防白蚁聚栖;施工过程不能损伤 PE 管材表面,研究表明,PE 管材表面的光滑度与其抗蚁蚀能力正相关。

1.5.3 运行阶段

加强巡检工作,应尽量清除管道上方的杂草灌木

丛,以便观察,提高巡检的有效性。白蚁筑巢时,蚁巢上方会出现泥被、泥线、通气孔、吸水线等迹象,因此巡检时应经常关注管道沿线土质变化及附近草木被白蚁侵蚀的情况,将巡检结果记录在册,并对白蚁多发区进行综合评估,确定 PE 燃气管道受侵蚀的高风险区域或管段。在高风险区域或管段通过安装远程感应式蚁类监测装置、投放诱饵等措施,实时监控蚁类的活动情况、灭杀白蚁,并积极配合管网所在地政府的蚁害防治工作;加强高风险管段的检漏频次,及时排查管道蚁蚀漏气风险。

2 结语

随着城市建设步伐的加快,城镇燃气管网的规模也越来越大,PE 埋地管道作为燃气压力管道的重要组成部分,其安全问题也一直广受关注。因此应对 PE 燃气管道从设计、建设到运行全过程进行控制,确保每个过程、每个环节受控,特别是施工过程及人为因素,不断地总结、改进,提高燃气管道运行的安全性。本文梳理了管道运行过程中所产生的管材质量、焊接接头缺陷、地基沉陷、第三方破坏及白蚁侵蚀五种失效形式,并结合实践分析了原因,对各种失效形式提出了相应的预防措施。旨为燃气管道的安全防护提供参考。

参考文献:

- [1] 孙逊. 聚烯烃管道 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2006.
- [2] 张浩, 吕达, 陈飞, 等. 地面沉降对燃气管道安全影响研究 [J]. 油气田地面工程, 2022, 41(11): 71-79.
- [3] 刘鑫, 陈木程. 城镇燃气 PE 管道常见失效模式及防止措施 [J]. 辽宁化工, 2021, 50(5): 706-708.
- [4] 龙军. 埋地燃气聚乙烯管道白蚁蚁害危害与防治 [J]. 煤气与热力, 2012, 32(7): 1-3.
- [5] 胡安琪, 于发, 杨若冰, 施建峰, 崔莹, 郑津洋. 核电厂聚乙烯管道设计方法及标准简介 [J]. 中国塑料, 2020(03).
- [6] 赵红. 聚乙烯管道焊接技术和评价方法 [J]. 中国塑料, 2011(07).
- [7] 朱志彬, 陈丽静, 杨晓翔, 陈锦裕. 含球孔缺陷聚乙烯管道热熔接头力学性能分析 [J]. 石油化工设备, 2014(03).

作者简介:

王永丽 (1990-), 女, 汉族, 上海人, 材料工程硕士, 从事燃气管道检验检测工作。