

文章编号: 1005—8893 (2002) 04—0014—04

管道泄漏监测技术及其研究进展^{*}

李爱英, 王凯全, 邵 辉

(江苏石油化工学院 环境与安全工程系, 江苏 常州 213016)

摘要: 简介了管道泄漏可能发生的部位; 综述了管道泄漏的超声波检测、射线检测等技术; 随着 SCADA 的完善和软件的开发, 出现了流量差监测、压力差监测等方法; 提出了在化工方面示踪技术的改进方向。

关键词: 管道泄漏; 监测; 示踪技术

中图分类号: X 924. 2

文献标识码: A

管道是石油化工领域内输送流体的最基本单元, 然而石油化工领域内多为有毒、有害、易燃、易爆产品。据统计, 世界上总管网的 50% 已运行了 30 年以上^[1], 即使管道在敷设时达到设计质量标准, 因管道内介质的不断冲刷, 温度、压力、振动、季节、地质变化和人为因素等的影响, 管道泄漏仍时有发生^[2], 造成能源物料流失、污染环境, 重则引起火灾、爆炸、中毒、伤亡等恶性事故。例: 1984 年 12 月 19 日印度博帕尔发生甲基异氰酸酯 (MIC) 毒气泄漏事故, 造成 2 500 多人死亡, 近 20 万人中毒, 估计有 10 万人终身残废, 5 万人双目失明^[3]; 1997 年 7 月 27 日, 北京市天然气管道泄漏爆炸事故, 造成了严重的人员伤亡和财产损失^[4]。由以上事故案例可知, 清醒认识和认真解决管道中存在的泄漏问题, 对有可能发生泄漏的部位进行监测, 已成为当前管道安全工作的重要内容。

1 管道泄漏部位

管道泄漏多发生在其连接法兰、连接螺纹、焊口、流体转向的弯头、流体转向的三通、阀门填料及腐蚀、孔洞部位等。通常所说的管道泄漏包括连接部位泄漏。

1. 1 管道泄漏

在生产运行管道上, 由于其输送的流体介质的不断流动, 同时受腐蚀、冲刷、振动等因素的影响, 直管输送管段、异径管道、弯头及三通、管道纵焊缝及环焊缝是发生泄漏的主要部位。

1. 2 管道连接部位泄漏

1. 2. 1 法兰泄漏

法兰密封一般是依靠其连接螺栓所产生的预紧力, 通过各种固体垫片 (如: 橡胶垫片、石棉橡胶垫片、植物纤维垫片、缠绕式金属内填石棉垫片、波纹状金属内填石棉垫片等) 达到足够的工作密封比压, 来阻止被密封流体介质的外泄。

1. 2. 2 螺纹连接部位泄漏

螺纹也是管道连接的一种形式。通常螺纹要与填料, 如麻丝、石棉绳、铅油及聚四氟乙烯等配合使用。其密封机理与法兰垫片机理类似, 只要螺纹在拧紧的过程中能使填料达到足够的工作密封比压, 就能阻止被密封流体介质的外泄, 也属于强制密封范畴。螺纹部位的泄漏主要是: 因管道的振动位移造成材料密封比下降, 以及填料失效和腐蚀引起的。

^{*} 收稿日期: 2002—07—06

基金项目: 江苏省高校自然科学研究指导性计划项目 (01KJD61003)

作者简介: 李爱英 (1969—), 女, 山西人, 讲师, 博士生。

1.2.3 填料连接部位泄漏

填料装入填料腔以后,经压盖对它施加轴向压缩,由于填料的塑性,使它产生径向力,并与内杆紧密接触。在使用过程中,内杆同填料之间存在着相对运动(这个运动包括径向转动和轴向移动)。随着内杆动作次数的增加,相对运动的次数也随之增多,还有高温、高压、渗透性强的流体介质的影响,填料处也易发生泄漏。

2 管道泄漏检测技术^[5-6]

2.1 超声波检测

超声波检测,属于反射波检测法,即根据反射波的强弱和传播时间来判断缺陷的大小和位置。超声波检测代表了无损检测领域中的一种重要的检测,它可以测量厚度,也可以检测材料及焊缝的裂纹等缺陷。

2.2 射线检测

射线检测,属于透射波检测法,即射线经过工件时会产生衰减,而当遇到缺陷时,衰减量就发生变化,因而引起底片感光程度的不同,根据底片感光的程度即可判断缺陷的情况。常用的射线有 α 射线和 γ 射线。

2.3 声发射检测

声发射检测是用于检验关键设备和结构缺陷的一种手段。当对关键设备施以水压使设备产生足够的应力时,设备的缺陷会以高频声波的形式发出能量。裂缝始发和增长是声发射的重要能源。这种高频声波传送到设置在关键设备上的变送器,由变送器将其转变成电子信号,然后由计算机系统显示出并进行分析。通过测定声音达到特定的变送器上的时间,即可确定出裂纹的位置。

2.4 磁粉检测

磁粉检测方法应用比较广泛。主要用以探测磁性材料中表面或表面附近的缺陷。一般用以检测焊缝和铸件或锻件,如阀门、泵和压缩机部件、法兰、喷嘴以及类似设备等。磁粉检测有两个局限性。一是仅能用于可以磁化的材料,不可用于多孔材料,否则获得错误的结果。二是能探知缺陷,但无法检测出缺陷的深度。

2.5 着色渗透检测

着色渗透检测可以检测非磁性材料的表面缺陷,从而对磁粉检测不能检测的非磁性材料,提供了一项补充的手段。此方法还可用来探测容器的泄漏。方法如下:先将染料渗透剂涂刷到容器的内侧。然后在外侧涂上显色剂。待几分钟后,如果没有渗透剂渗出使显色剂着色,则可用水压迫使染料通过容器存在的微小裂缝而渗出,然后再检测外侧的显色剂,如果发现着色成线条,缺陷就是裂纹;如果是斑点,则很可能是气孔缺陷。

2.6 水压或气压试验检测

水压或气压试验是最普通的泄漏检查方法。水压试验检漏通常是在系统内充以压力水,然后对整个系统用肉眼观察有无泄漏或使整个系统封闭,用仪表观察其压力降来检查。若通过及设备可能泄漏处内侧涂以荧光染料,然后用紫外线照射,观察外部,这样加强了用水压试验检测泄漏的能力。气压试验检漏是水压试验检漏的一种变换形式。用空气或其他气体冲入系统,然后在可能泄漏处的外部涂以肥皂水,观察有无泡沫出现。气压试验比水压试验危险性大,需要采用较低的压力以确保安全。

2.7 化学指示剂检测

化学指示剂检测一般以气体的形式来应用,常用的是氨和二氧化硫的化合物。氨和二氧化硫是不可见的蒸气,当二者彼此化合时,就会产生一种可辨别、易检测的白色蒸气。化学指示剂对压力部件的铸件检查很有用,在水压试验仅能产生一点儿渗漏,但缺陷探测不到的情况下,十分有效。特别是对于复杂的压缩机铸件中心部分的开孔和通道的检查,用其他类型的检查方法均难以进行且不可靠,唯独用化学指示剂的检查方法既可行,又可靠,会使检查得到满意的结果。

2.8 放射性示踪剂检测

放射性示踪剂检测是将放射性示踪剂(如碘131)加到管道内,随输送介质一起流动,遇到管道的泄漏处,放射性示踪剂便会从泄漏处漏到管道外面,并附着于泥土中。示踪剂检漏仪放于管道内部,在输送介质的推动下行走。行走过程中,指向管壁的多个传感器可在360°范围内随时对管壁进行监测。经过泄漏处时,示踪剂检漏仪便可感受到

泄漏到管外的示踪剂的放射性,并记录下来。根据记录,可确定管道的泄漏部位。这种方法对微量泄漏检测的灵敏度很高。

3 管道泄漏监测技术新进展^[7~9]

随着 SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) 即监控与数据采集系统的不断完善和泄漏检测的计算机软件的开发,促使泄漏检测方法与 SCADA 相结合,可以对管道进行严密监视,快速、精确地提供管道的流量、压力和温度等用于分析泄漏所需的数据。

3.1 流量差监测

流量差监测法有监测流量、压力和监测质量、体积两种类型。该监测系统包括流量计系统、远程信号传输系统和流量差计算系统。

监测流量、压力的变化,是在管道的出口或入口设置流量、压力测量设备,如果所测流量、压力的变化幅度大于设定值,则发出泄漏报警。这种方式虽然简单,但不能精确定位,而且误报警率较高。

监测质量、体积的变化,也是基于对流量进行测量,不同点是将流量的变化归纳为质量和体积平衡图,在质量、体积平衡图上能够较清楚地定量显示出泄漏引起的流量突变,与监测流量、压力的变化相比,该方法可以监测到更小的泄漏量。

3.2 压力差监测

利用压力差监测的方法很多,这里仅介绍压力点分析法。压力点分析法是一种用于输送气体、液体和多相流体管道检漏的方法,是通过应用计算机分析处理从某一监测点测得的、带有流体压力和速度变化的扩张波,从而确定管道是否泄漏及泄漏量。压力点分析法有一整套设备,包括计算机、软件与与现有 SCADA 系统连接或直接与现场仪表连接的外围设备。飞利浦石油公司在直径为 254 mm 的海底管道上安装了压力点分析法系统进行试验,该管道输送的介质中含有原油、水、气体和固体。检漏试验的结论为:可监测到直径 3.2 mm 或更小的泄漏点,泄漏量为流量的 1.71%。

3.3 实时模型监测

实时模型监测是建立管道实时模型,用 SCA-

DA 系统定时采集管道的一组实际参数,如上游、下游的压力和流量,由模型估算管道中流体的压力和流量,然后将这些估算值与实际值进行比较来检漏。1993 年,沈阳东北管道设计院与清华大学自动化系借鉴国外先进技术,研制成功了“输油管道泄漏计算机实时监测系统”。该系统只采用压力信号的 4 种监测方法和 3 种定位方法,最小检漏量为总流量的 0.5%,最大定位误差为被监测管道长度的 2%,反应时间小于 180 s。

3.4 统计法监测

国际壳牌石油公司开发了一种具有图形识别功能的统计法,即管道泄漏监测系统 ATMOSPIPE。工作原理是:管道一旦发生泄漏,其流量和压力间的关系就会发生变化。ATMOSPIPE 采用对管道流量和压力测量值统计分析技术,监测流量和压力之间关系的变化,并以图形显示统计分析结果。当泄漏引起压力和流量变化时,二者之间的关系便呈现为一种特殊的图形,这时进行泄漏报警。与实时模型法不同的是,这种统计方法不采用数学模型估算管道中流体的流量和压力,而是采用测量值监测流量和压力之间的关系变化,因此降低了费用。该系统可连续对管道进行监测,并且具有记忆功能,由于运行条件改变而引起的变化可被记忆下来,因此在运行条件发生变化时仍能适用。这种系统安装费用低、维护简便、虚假报警率低,可以对液态丙烯酸管道、乙烯管道、天然气管道及液化天然气管道进行 0.5%~55% 的泄漏监测。

4 示踪技术的应用和改进

由于示踪技术具有高灵敏度的特点,可监测到百万分之一数量级,甚至十亿分之一数量级,应用领域非常广泛。在煤矿方面,邵辉教授应用双示踪技术测定了复杂采空区中的漏风^[10];王海桥应用示踪技术测量了矿井中的通风^[11]。在石油方面,赵福麟等人在埕东油田西区南块整体堵水中采用了示踪技术^[12]。在化工方面,由于放射性示踪剂对人身安全和生态环境的影响,已经禁止使用。如何选择化学和生物稳定性好、分析操作简单、灵敏度高、无毒、应用环境安全等特点的示踪剂,进行示踪监测是亟待解决的问题。

参考文献:

- [1] Furness R A. Developments in Pipeline Instrumentation [J]. Measurement+Control, 1987, 20: 7-15.
- [2] 姜俊荣, 丁建林. 1970~1992年欧洲输气管道事故 [J]. 油气储运, 1997, (5): 16.
- [3] 肖爱民. 安全系统工程学 [M]. 北京: 中国劳动出版社, 1995. 270-272.
- [4] 薛金明, 张晔. 当前城市燃气管道安全存在的问题及对策 [J]. 劳动保护科学技术, 2000, 20 (1): 21.
- [5] 陈文彤, 崔大海, 宋孚江, 等. 应用超声波探伤仪检测在用压力管道焊缝 [J]. 皮革化工, 2000, 17 (1): 42-44.
- [6] 胡安定. 石油化工厂设备检查指南 [M]. 北京: 中国石化出版社, 1997.
- [7] 张国忠, 史秀敏, 安家荣. 长输管道水击压力计算方法分析 [J]. 石油大学 (华东) 学报, 1993, 17 (3): 65-69.
- [8] Kiuchi T. A Leak Location Method of Pipeline by Means of Fluid Transient Model [J]. Journal of Energy Resource Technology, 1993, 115: 9.
- [9] 黄维秋. 我国油气储运行业的回顾与展望 [J]. 江苏石油化工学院学报, 1999, 11 (4): 56-60.
- [10] 戴广龙, 邵辉, 张国枢. 双示踪技术在煤矿中的应用 [J]. 淮南矿业学报, 1997, 17 (4): 29-32.
- [11] 王海桥. 示踪气体测量理论及在矿井通风中的应用 [J]. 工业安全与防尘, 2000, (2): 11-13.
- [12] 赵福麟, 孙铭勤, 杨庭秀, 等. 埕东油田西区南块整体堵水中示踪剂的选择和应用 [J]. 油田化学, 1991, 8 (2): 124-130.

Detecting Technology of Pipeline Leakage and Its Progress in Research

LI Ai-ying, WANG Kai-quan, SHAO Hui

(Department of Environmental and Safety Engineering, Jiangsu Institute of Petrochemical Technology, Changzhou 213016, China)

Abstract: The position of possible pipeline leakage was introduced simply; The detecting technology of supersonic wave, rays and so on in pipeline leakage was expounded; with the equipment of SCADA and the development of software, the detecting method of flow difference, pressure difference and so forth were invented. The improving direction of tracing technology in chemical engineering was advanced.

Key words: pipeline leakage; detection; tracing technology