

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2014.10.027

聚乙烯管材快速裂纹扩展的影响因素及评价方法^{*}

张术宽,郭峰,李茂东,吴文栋,涂欣,张胜军,王新华

(广州市特种承压设备检测研究院,广州 510100)

摘要:重点介绍了影响聚乙烯塑料管材快速裂纹扩展的主要因素,阐述了聚乙烯塑料管材快速裂纹扩展的评价方法。

关键词:聚乙烯管材;快速裂纹扩展;影响因素;评价方法

中图分类号: TQ323 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2014)10-0118-03

Affecting Factors and Evaluation Method for Rapid Crack Propagation of Polyethylene Plastics Pipe

Zhang Shukuan, Guo Feng, Li Maodong, Wu Wendong, Tu Xin, Zhang Shengjun, Wang Xinhua

(Guangzhou Special Pressure Equipment Inspect and Research Institute, Guangzhou 510100, China)

Abstract: The main factors that influenced the rapid crack propagation of polyethylene plastic pipe were introduced, and the evaluation method of rapid the crack propagation of polyethylene plastic pipe were illustrated.

Keywords: polyethylene plastics pipe; rapid crack propagation; affecting factors; evaluation method

随着科学技术的发展,塑料管材的应用越来越广泛。聚乙烯(PE)管材作为常用的塑料管材之一,近年来在我国塑料管材市场发展迅速。PE管材质量可靠、比强度高、易于安装、便于维护、耐腐蚀性优良、费用经济,因而被广泛应用于农业灌溉、城市给水、燃气输送等众多领域^[1]。PE管材在快速发展的同时,曾引发了一系列事故,其中PE管材的快速裂纹扩展现象引起了人们的高度重视。虽然PE管材的快速裂纹扩展属于偶然性事件,通常不易发生,但是一旦发生后后果十分严重^[2]。因此,为避免PE管材的快速裂纹扩展引发的安全事故,开展PE管材裂纹快速扩展影响因素的研讨与分析,并建立有效的评价方法具有十分重要的意义。

1 PE管材裂纹快速扩展的影响因素

PE管材的快速裂纹扩展是指PE管材在使用过程中,受到外界力的作用(如建筑施工、不规范的焊接等),在管内介质(如自来水、天然气等)的压力作用下,形成由应力产生的裂纹,裂纹沿管长方向以每秒几百米的速度扩展的现象^[3-4]。影响PE管材裂纹快速扩展的因素有很多,下面列举了几种影响主要因素。

1.1 材料自身性能的影响

不同的高分子材料制备的塑料管材具有不同的抵抗裂纹快速扩展的能力,这与高分子材料自身的结构和性能有关。通常将高分子材料这种阻止裂纹快速扩展的能力用临界强度因子 K_D 来表征。在PE管材中,PE80管材的 K_D 为 $2.9 \text{ MN/m}^{3/2}$,PE100管材的 K_D 值为 $3.8 \text{ MN/m}^{3/2}$ 。其他的塑料管材,比如PVC-U管材、PPR管材的 K_D 值分别为

$1.8, 3.8 \text{ MN/m}^{3/2}$ 。通常这种临界强度因子 K_D 值越大,表明该塑料管材抵抗裂纹快速扩展的能力越强,例如用PE100制备的管材的抵抗裂纹快速扩展的能力要优于PE80制备的管材。

1.2 管材尺寸和厚度的影响

PE管材的尺寸和厚度也对裂纹的快速扩展具有重要的影响,对于同一批次的PE管材,所用材料的临界强度因子 K_D 值相同,管材所能承受的临界压力值 P_c 符合Irven和Corten公式,如式(1)。

$$P_c = \frac{1}{\text{SDR}} \sqrt{\frac{8}{\pi D}} K_D \quad (1)$$

式中: D 为管材的直径,SDR为管材直径 D 和壁厚 e 的比。

从式(1)可以看出,当SDR值相同时,管材的直径 D 越大,裂纹快速扩展的危险性就越大;若同一SDR时,则 e 与 D 是按相同比例增加的,随着 e 或 D 的增加, P_c 与 $\sqrt{D}$ 按反比关系下降;若同时变化SDR和 e 时,则管材的壁厚 e 不能单独决定 P_c ,这方面的研究工作尚待深入进行。

1.3 温度的影响

塑料管材抵抗裂纹快速扩展的能力与所选用高分子材料的柔韧性有很大的关系。PE管材的柔韧性受外界温度的影响较大,特别是在PE的玻璃化转变温度(T_g)以下,PE分

^{*} 国家质检总局科技计划项目(2012QK071)

联系人:张术宽,博士,高级工程师,主要从事疲劳与断裂力学的研究、特种设备及非金属管道和容器的检验

收稿日期:2014-07-19

子链冻结,使 PE 管材容易发生脆性破坏。因而,在 PE 管材允许使用的温度范围内,温度稍高,管材耐快速裂纹扩展的性能会较好。

1.4 输送介质的影响

PE 管材内部输送的介质是管材裂纹快速扩展重要推动力的来源,通常输送气体介质的管材比输送液体介质的管材更容易发生快速裂纹扩展现象。这主要是由于大部分气体的可压缩性远大于液体的,其应变能也较大,对管壁产生的推动力也就越大^[2]。因而在生产生活中,输送天然气或煤气的 PE 管材发生快速裂纹扩展现象的概率要比输送自来水的 PE 管材大。PE 燃气管道快速裂纹扩展最著名的例子是 1986 年在匈牙利,在一条直径为 0.315 m 的 PE 燃气管道上进行快速裂纹扩展实验,在该管线带压的条件下,对预制的裂纹施加冲击作用力,结果该管线在极短的时间内开裂长度达到 700 m。

1.5 压力的影响

在相同的条件下,管材所能承受的临界压力值 P_c 越高,表明管材的耐快速裂纹扩展的能力就越好。对于同一批次的 PE 塑料管材,在实际使用的过程中,当其实际所承载的压力小于临界压力 P_c 时,其发生快速裂纹扩展的可能性就越小,压力越大则越容易引起裂纹的快速扩展。

1.6 表面划痕和焊接缺陷的影响

PE 管材在运输、安装过程中,很容易在管材的表面产生划痕,比如 PE 管材的不开挖铺管工艺,在施工过程中,当 PE 管材拖动前进时,不可避免地在管材表面产生划痕,这使 PE 管材更加容易发生快速裂纹扩展现象。其次,PE 管材在热熔或电熔焊接接头时,容易因为焊接操作的不规范或失误,导致接头处的质量不均匀,在焊接面上局部为焊好地方成为了裂纹的来源,直接导致管材裂纹快速扩展现象的产生^[5]。

2 PE 管材裂纹快速扩展的评价方法

为了尽可能地减少 PE 管材裂纹快速扩展引起的事故灾难,世界各国的科研学者对 PE 管材裂纹快速扩展的评价方法进行了系统的研究和探索。目前,用于确定 PE 管材快速裂纹扩展的评价方法主要有^[6]全尺寸方法(简称 FS 实验法)、小尺寸稳态实验法(简称 S4 实验法)、小尺寸泡沫稳态实验法(简称 S5 实验法)、平板小试样实验法。

2.1 FS 实验法

FS 实验法因其装置较好地模拟了管材在实际使用条件下的快速开裂现象,故被大多数人认为是最可靠的实验方法^[7]。FS 实验装置的主要特点是裂纹的引发段和快速增长段分开,如图 1 所示。实验过程中先用锋利的冲击刀冲击管材引发裂纹,在裂纹增长段管内通以压力,管外填上泥土模拟使用中的埋地条件,最终裂纹扩展的长度若超过管长的 90%

则可判定为发生快速裂纹扩展,否则就判定为裂纹终止,通过 FS 实验法可以测得塑料管材的临界压力 P_c ^[8-10]。

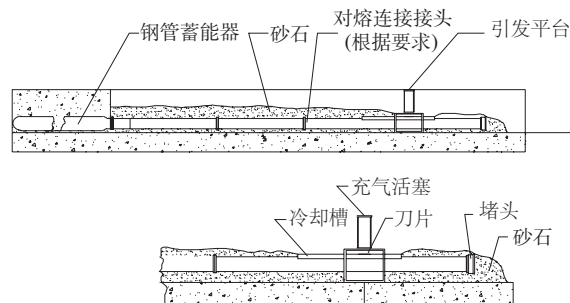


图1 FS实验装置图

2.2 S4 实验法

S4 实验法因其比 FS 实验法的实验周期短、成本低,所以采用 S4 实验法成为近年来的一种趋势^[11-14]。S4 实验法的工作原理是截取一段长度为 $7d_n$ (d_n 为管材外径) 的塑料管材试样,保持规定的实验温度,管内充满流体并施加规定的实验压力,在接近管材的一端进行冲击,以引发一个快速扩展的纵向裂纹。测量出裂纹长度 a ,当 $a \leq 4.7d_n$ (管材外径) 时,定义为裂纹终止;当 $a > 4.7d_n$ 时,定义为裂纹扩展。通过一系列不同压力但温度恒定的实验,来确定管材的临界压力 P_c ;同样,在恒定的压力条件下改变温度,来确定管材的临界温度 T_c ^[15],其实验装置如图 2 所示。

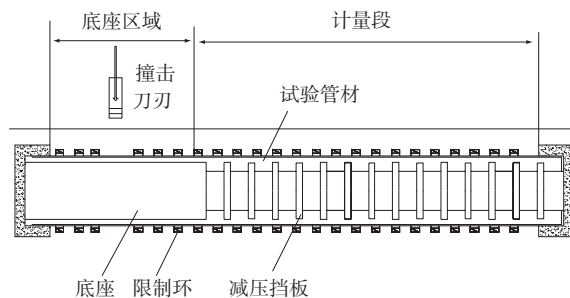


图2 S4实验装置图

2.3 S5 实验法

S5 实验法是在 S4 实验法基础上的一种改进,它是用一种可压缩的软质泡沫替代了 S4 实验法装置中的减压板,理论上相当于无数个间隔为零、厚度为零的减压板^[16]。S5 实验法可消除在实验过程中管材的裂纹扩展后测试压力下降的影响,正是由于这种原因,其实验所测得的塑料管材脆性破坏的临界应力要低 30%。

2.4 平板小试样实验法

FS 实验法、S4 实验法、S5 实验法都是直接采用管道来做实验,最直接面向的是广大的管道用户,而在实验室条件下,要用易于制备的实验样条获取相关裂纹快速扩展的数据和基本规律,平板小试样实验法应运而生。该实验通常采用平板实验样条,尺寸需足够大,保证存在一个足够长的快速

裂纹增长区,从而测得裂纹的增长速度^[17]。并根据外加载荷、应力-应变关系计算出衡量材料抵抗快速裂纹扩展的基础数据——动态裂纹增长阻力或动态断裂韧性。根据加载方式的不同,平板小试样实验法又可分为动态加载(如高速双扭转实验法)和静态加载(如双层单边切口法)。

3 结语

影响PE管材快速开裂的因素有很多,主要受材料自身因素和外界因素的影响。不同型号的PE树脂所制备的管材抵抗裂纹快速扩展能力不一样,如PE100制备的管材优于PE80管材;管材的直径越大越容易引起裂纹的快速扩展,壁厚对管材快速开裂的影响则视情况而定;管材在使用中输送气体介质比液体介质更容易发生快速裂纹扩展现象;在相同的条件下,管材所能承受的临界压力值 P_c 越高,管材的耐裂纹快速扩展性能就越好;使用温度直接影响着PE管材的柔韧性,在低温条件下使用PE管材更容易引起管材裂纹的快速扩展;管材表面的划痕和管材在热熔或电容焊接时的接头缺陷,能够直接导致管材裂纹快速扩展现象的产生。因而,在分析和探讨了影响PE管材裂纹快速开裂的影响因素之后,对PE管材在使用和安装过程中应注意的事项具有重要的指导意义。

目前,用于确定PE管材快速裂纹扩展的评价方法已经比较成熟,FS实验法能较好地模拟PE管材在实际使用条件下的快速开裂现象,但实验周期长、费用高;S4实验法具有实验周期短、操作便利、费用合理等优点,在工程领域得到了大量应用;S5实验法可消除管材的裂纹扩展之后测试压力下降的影响;平板小试样实验法则易于在实验室开展实验,通过换算可以取得PE管材裂纹快速扩展的基础数据。

参考文献

- [1] Mie Min, et al. Polymer Bulletin, 2010, 65(6):609-621.
- [2] 何凡. 化学工程与装备, 2010, 7(3):13-16.
He Fan. Chemical Engineering and Equipment, 2010, 7(3):13-16.
- [3] 葛喆敏. 江苏建筑, 2013(5):94-96.
Ge Zhemin, et al. Jiangsu Construction, 2013(5):94-96.
- [4] 赵启辉, 等. 中国塑料, 2004, 18(1):75-76.
Zhao Qihui, et al. China Plastics, 2004, 18(1):75-76.
- [5] 田甜. 给水管道爆管原因分析及防治措施[D]. 西安:西安建筑科技大学, 2013.
Tian Tian. Causes countermeasures of the burst of water supply pipeline[D]. Xi'an:Xi'an University of Architecture and Technology, 2013.
- [6] 刘厚俊, 等. 焊接学报, 2002, 23(4):87-90.
Liu Houjun, et al. Transactions of the China Welding Institution, 2002, 23(4):87-90.
- [7] 刘允辉, 等. 焊接技术, 2001, 30(4):12-14.
Liu Yunhui, et al. Welding Technology, 2001, 30(4):12-14.
- [8] 赵启辉, 等. 中国塑料, 2004, 18(1):77-80.
Zhao Qihui, et al. China Plastics, 2004, 18(1):77-80.
- [9] Leever P. Engineering Fracture Mechanics, 2013, 96:539-557.
- [10] ISO13478-2008. Thermoplastic pipes for the conveyance of fluids determination of resistance to rapid crack propagation(RCP)-Full-scale test(FST)[S].
- [11] Pyo S, et al. Polymer Testing, 2012, 31(3):439-443.
- [12] 刘秀国, 等. 工程塑料应用, 2003, 31(1):49-51.
Liu Xiuguo, et al. Engineering Plastics Application, 2003, 31(1):49-51.
- [13] Ritchie S J, et al. Polymer, 1998, 39(25):6 657-6 663.
- [14] Ivankovic A, et al. Engineering Fracture Mechanics, 1998, 59(5):607-622.
- [15] ISO13477-2008. Thermoplastic pipes for the conveyance of fluids determination of resistance to rapid crack propagation(RCP)-Small-scale steady state test(S4 test)[S].
- [16] 阳代军, 等. 塑料科技, 2004(1):39-43.
Yang Daijun, et al. Plastic Science and Technology, 2004(1):39-43.
- [17] 赵薇娜, 等. 塑料工业, 2007, 35(6):58-60.
Zhao Weina, et al. China Plastics Industry, 2007, 35(6):58-60.

欧盟研发创新型超声波注塑机, 可适用于微型或超小型塑料件

现代经济社会,特别是现代医学和消费电子行业对微型或超小型塑料组件产品需求的快速增长,促进了世界注塑机产业蓬勃发展。

由欧盟第七研发框架计划(FP7)资金支持、西班牙牵头参与的欧洲SONO'R'US研发团队近日宣布,基于超声波激发的注塑机样机研制成功,已引起欧盟医疗器械和消费电子制造业的广泛兴趣。

该研发团队邀请相关行业专家进行的样机数据测试证实,生产加工出的超小型复杂结构塑料组件高精度、高性能,

相对传统的注塑成型技术大幅降低能源消耗。鉴于低压力超声波生产技术工艺降低了机械模具磨损,至少可降低机器运行费用25%~35%。此外,由于微型塑料组件的精细化制造,消除了原有注塑成型技术加工过程中的“过成型”,大大降低了原材料浪费。

该研发团队进一步对样机加工工艺实施了结构优化,提升了样机的自动化易操作功能,嵌入的数字化控制程序更适合各种微型复杂结构塑料组件的加工设计。目前,研发团队合作伙伴共同组建的衍生企业已在西班牙正式注册,对样机申请了SONORUS1G商标,正在筹集投资,计划对创新型超声波注塑机进行批量化工业生产。(慧聪网)