

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2013.03.017

三层 PE 热收缩带补口材料抗压性能测试研究^{*}

杜畅,王勇,曹宁,刘明磊

[中国石油大学(华东),山东青岛 266580]

摘要:选取目前国内外几种典型的三层聚乙烯(PE)热收缩带补口材料产品,通过改进的压痕试验(加载压力选用5和10 MPa,试验温度选用23℃和50℃,延长加载时间至360 h)测定其压深比(压痕深度/原始厚度),讨论了结合热熔胶、试验温度、加载压力等因素对热收缩带压深比的影响,得到了能够表征目前常见PE热收缩带抗压性能的一般性规律,即高温测试条件下是否结合热熔胶对PE热收缩带的压深比影响不大,室温测试条件下结合热熔胶的PE热收缩带的压深比较高;试验温度对PE热收缩带压深比的影响最大,其次为加载压力,PE热收缩带压深比随试验温度和加载压力的升高而增加。经单个热收缩带产品的抗压性能测试验证,除加载压力对压深比的影响略大于试验温度的影响外,其余均符合所得到的一般性规律。

关键词:三层聚乙烯热收缩带;压痕试验;压深比;抗压性能;影响因素

中图分类号: TQ320.77 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2013)03-0078-04

Compression Resistance Test of 3 Layer PE Heat Shrinkable Sleeve Field Coating Material for Welded Joint

Du Chang, Wang Yong, Cao Ning, Liu Minglei

[China University of Petroleum (Hua Dong), Qingdao 266580, China]

Abstract: Several typical 3 layer polyethylene (PE) heat shrinkable sleeve field coating materials for welded joint were chose, then indentation depth ratios (indentation depth / origin thickness) of them were characterized through improving indentation test such as loading pressure including 5 and 10 MPa, test temperature including 23℃ and 50℃, loading time being extended to 360 h, effects of jointing hot-melt adhesive, test temperature and loading pressure on the indentation depth ratios were discussed and general rules which can characterize the compression resistance of the common PE heat shrinkable sleeve at present were gained. The rules are that whether or not jointing hot-melt adhesive has little effect on the indentation depth ratio in the test conditions of high temperature, but the indentation depth ratio of the PE heat shrinkable sleeve jointed with hot-melt adhesive in the test conditions of room temperature is higher, the effect of test temperature on the indentation depth ratio is highest and loading pressure is next, the indentation depth ratio increases with test temperature and loading pressure increasing. Through verification of compression resistance test of single PE heat shrinkable sleeve product, the compression resistance test results of the single product are almost in accordance with the rules gained above except that the effect of loading pressure on the indentation depth ratio is slightly higher than the effect of test temperature.

Keywords: 3 layer PE heat shrinkable sleeve ; indentation test ; indentation depth ratio ; compression resistance ; influence factor

管道防腐层材料的抗压性能决定了其抵御碎石等损伤及耐深根植物根系穿刺并保证涂层体系完整性的能力。我国以前的石油沥青防腐管道就有因芦苇根系穿透局部防腐层引起整个管道发生严重腐蚀的案例^[1-2]。三层聚乙烯(PE)热收缩带补口材料是目前应用最广泛的长输管道外防腐补口材料^[3],一般采用“环氧底漆-热熔胶-辐射交联PE”的三层结构^[4]。目前,在管道实际施工和运行过程中,各种外力对管道三层PE防腐层及补口材料的顶压现象仍广泛存在,但三层PE热收缩带补口材料抗压

性能的相关评价及研究很少。

传统的压痕试验加载压力为10 MPa,加载24 h后读取百分表读数,以读取的压痕深度平均值作为试验结果值(压痕硬度)。其加载压力单一,加载时间相对较短,试验结果与试样原始厚度缺乏相

^{*} 中央高校基本科研业务费专项资金资助项目(11CX04033A),
中国石油大学(华东)研究生创新基金项目(CX1231)

联系人:王勇,教授,博士生导师,主要研究方向为在役焊接及新能源装备研究

收稿日期:2012-12-10

关性。

笔者选用目前几种常见的国内外不同厂家的 PE 热收缩带,改进现有的压痕硬度测试方法,进行收缩带的压痕试验。以压深比(压痕深度/原始厚度)为指标评价 PE 热收缩带产品的抗压性能,并分析结合热熔胶、加载压力、温度 3 个因素对 PE 热收缩带压深比的影响,以求获得能够表征目前常见 PE 热收缩带抗压性能的一般性规律。

1 试验部分

1.1 主要仪器及设备

压痕硬度仪: QYF-A 型,配备砝码和百分表,可产生 5 MPa 和 10 MPa 2 种加载压力,百分表精确至 0.01 mm,用于读取压痕深度,中国石油集团工程技术研究院。

超级恒温水浴: 601 型,试验时配合压痕硬度仪使用,中国石油集团工程技术研究院。

图 1 为以上 2 种设备的实物图。



图 1 压痕试验仪与超级恒温水浴实物图

1.2 试样制备

为了保证试验结果的全面性,试验中选取不同密度、不同厂家的三层 PE 热收缩带补口材料,分基材和带胶 2 种情况制备试样。其中基材试样是将收缩带基材(辐射交联 PE)直接附着在钢片上;带胶试样是将基材结合热熔胶,经烘烤加热粘接在钢片上,胶层厚度应满足埋地钢质管道 PE 防腐层相关标准(GB/T 23257-2009)的要求,即 ≥ 1.0 mm。具体试样类型及编号如表 1 所示。试样实物图如图 2 所示。

表 1 所测试样参照表

编号	基材试样类型	编号	带胶试样类型
1 [#]	常温热收缩带 (中低密度 PE)	1-J [#]	常温热收缩带 (中低密度 PE)
2 [#]	常温热收缩带 (中低密度 PE)	2-J [#]	常温热收缩带 (中低密度 PE)
3 [#]	高温热收缩带 (高中密度 PE)	3-J [#]	高温热收缩带 (高中密度 PE)
4 [#]	高温热收缩带 (高密度 PE)	4-J [#]	高温热收缩带 (高密度 PE)
5 [#]	高温热收缩带 (高密度 PE)	5-J [#]	高温热收缩带 (高密度 PE)

注: 以上试样来自 Cannusa 公司、四川省西普企业有限责任公司、深圳市长园长通新材料有限公司、俄罗斯、齐鲁石化等。

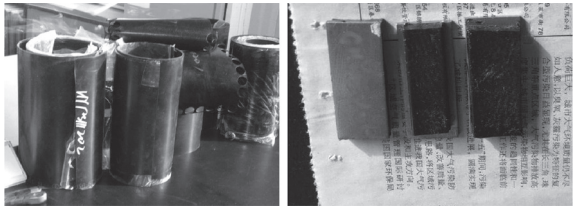


图 2 压痕试样实物图

1.3 压痕试验

记录基材和带胶 2 种试样的原始厚度,分别置于不同加载压力和温度下进行压痕硬度试验。试验中,每隔 24 h 读取压痕深度并记录,直至压痕深度稳定不变。最后,计算每组试样的压深比,作为材料抗压性能指标进行分析。

加载压力值参考 GB/T 23257-2009 中压痕硬度测定方法,选取 10 MPa 和 5 MPa 两种载荷作用于试样上;鉴于高分子材料的物理、力学性能随温度变化较为明显,笔者确定分别在室温(25℃)和高温(50℃)条件下进行测试,室温是大部分管道的运行温度,50℃系接近天然气管道压缩机出口处温度;此外,为了更好地模拟防腐层材料较长时间承受顶压的情况,试验时间延长至 360 h。

2 结果与讨论

2.1 不同试验条件下的抗压性能测试

图 3 示出加载压力为 10 MPa 时 5 种基材试样在不同温度下的压深比随时间变化曲线。由图 3 可以看出,在加载压力 10 MPa 下,各种基材试样受压后均有不同程度的减薄,但加载 240 h 后其压深比大致趋于稳定,不再随时间变化。其中当试验温度为 23℃时,5 种基材试样的稳定压深比范围为 3.69%~6.9%;试验温度为 50℃时,受顶压后试样减薄幅度明显增大,所有试样的稳定压深比均达到 9% 以上,最高接近 14%。

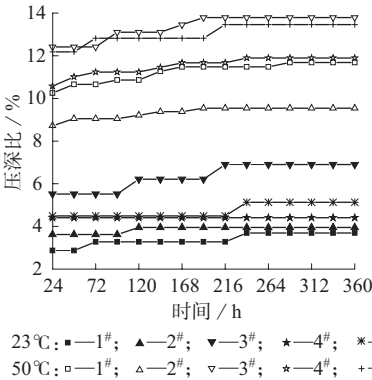


图 3 加载压力为 10 MPa 时基材试样在不同温度下的压深比随时间变化曲线

图 4 示出加载压力为 10 MPa 时 5 种带胶试样

在不同温度下的压深比随时间变化曲线。由图4可以看出,加载240 h后各种带胶试样的压深比也大致趋于稳定。其中当试验温度为23℃时,带胶试样的稳定压深比范围为4.11%~6.98%,其上限值与基材试样稳定压深比(3.69%~6.9%)十分接近,下限值则略高;试验温度为50℃时,带胶试样稳定压深比范围为10%~13%,与基材试样稳定压深比相比,其变化范围稍窄。

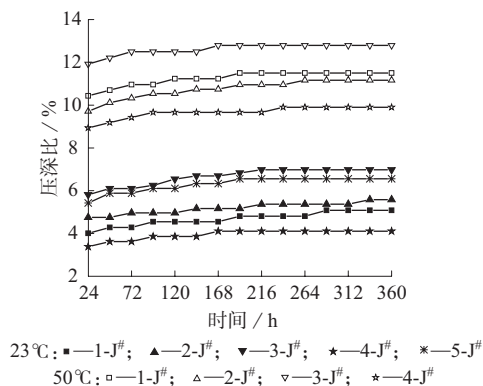


图4 加载压力为10 MPa时带胶试样在不同温度下的压深比随时间变化曲线

从图3和图4还可以发现,基材的密度与试样减薄幅度之间没有确定的关系,这可能是PE基材接受辐射交联后,结构性能发生改变所致^[5]。但在2种试验温度下,高、中密度的PE收缩带压深比始终最大。

一般情况下,降低加载压力会使试样的压深比变小,考虑试验成本,简化了试验次数,仅选取了密度相差较大的1-J#和5-J#带胶试样,考察了加载压力为5 MPa、试验温度为23℃时的带胶试样压深比随时间变化曲线,如图5所示。

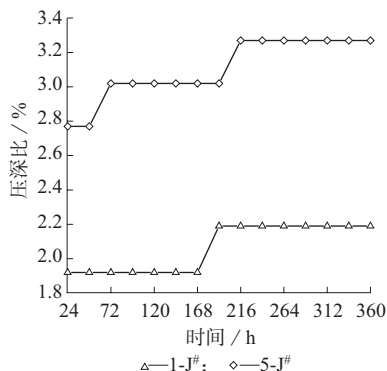


图5 加载压力为5 MPa、试验温度为23℃时1-J#和5-J#试样的压深比随时间变化曲线

由图5可以看出,在加载压力为5 MPa、试验温度为23℃的条件下,带胶试样受压后的压深比小于加载压力为10 MPa且相同试验温度条件下的压

深比。

取图3中加载压力为10 MPa、试验温度分别为23℃和50℃时的各5种基材试样稳定压深比的平均值,图4中加载压力为10 MPa、试验温度为23℃时的5种带胶试样和50℃时的4种带胶试样稳定压深比的平均值,以及图5中加载压力为5 MPa、试验温度为23℃时的2种带胶试样稳定压深比的平均值,组合得到图6。这些平均值表示选取的PE收缩带在各种试验条件下的压深比平均情况,可在一定程度上反映目前该类产品的抗压性能。

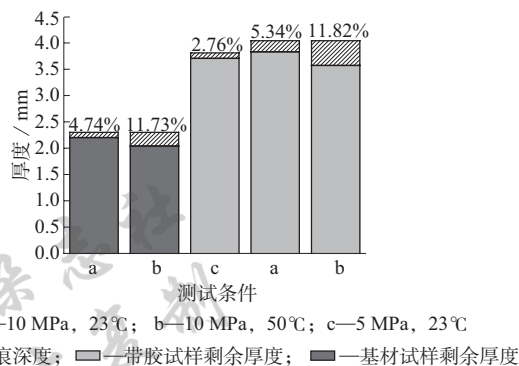


图6 不同试验条件下各种PE收缩带压痕试验的平均压深比

由图6可以看出,加载压力为10 MPa时,试验温度由23℃升至50℃,基材试样的平均压深比由4.74%升至11.73% (增幅147%);而在相同加载压力下,试验温度由23℃升至50℃,带胶试样的平均压深比由5.34%升至11.82% (增幅121%);同时,在试验温度为23℃条件下,加载压力由5 MPa增至10 MPa,带胶试样的平均压深比由2.76%升至5.34% (增幅93.5%)。由此可以得出目前常见PE热收缩带抗压性能测试的一般性规律:高温测试条件下是否结合热熔胶对PE热收缩带的压深比影响不大,室温测试条件下结合热熔胶的PE热收缩带的压深比较高;试验温度对PE热收缩带压深比的影响最大,其次为加载压力,PE热收缩带压深比随试验温度和加载压力的升高而增加。

2.2 抗压性能规律验证

单独以某种热收缩带(1-J#, 1-J#)为研究对象,研究其在不同试验条件下的压深比变化,然后与2.1得出的一般性规律进行对比,以验证该规律的通用性。图7为1-J#及1-J#试样在不同试验条件下压深比随时间变化曲线。由图7可以看出,2组试样在加载240 h后大致趋于稳定。在加载压力为10 MPa及试验温度为50℃的条件下,1-J#和1-J#试样的压深比随时间变化曲线基本重叠,表明是否结

合热熔胶对 PE 热收缩带的压深比无影响;保持加载压力不变,试验温度降低至 23℃,2 组试样的压深比明显降低,且 1-J[#] 试样的压深比略高于 1[#] 试样;进一步降低加载压力至 5 MPa 后,1-J[#] 试样的压深比最低,仅为 2% 左右。

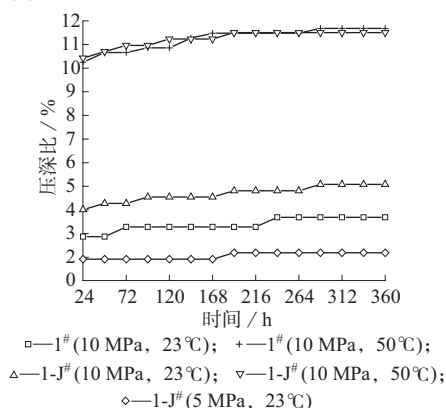
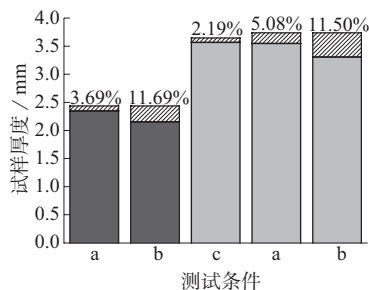


图 7 不同试验条件下 1[#] 及 1-J[#] 试样的压深比随时间变化曲线

图 8 列出了各种试验条件下 1[#] 和 1-J[#] 试样的稳定压深比。由图 8 可以看出,对于基材试样,相同加载压力的条件下,试验温度升高,其压深比由 3.69% 增至 11.69% (增幅 217%);对于带胶试样,相同加载压力的条件下,试验温度升高,其压深比由 5.08% 增至 11.50% (增幅 126%),而在试验温度为 23℃ 的条件下,加载压力升高,其压深比由 2.19% 增至 5.08% (增幅 132%)。由此可以看出,除加载压力对压深比的影响略大于试验温度的影响外,其余均与由图 8 得到的一般性规律一致。而加载压力对压深比的影响与得到的一般性规律不一致这种现象可能与加载压力试验的取样范围太小有关,尚需进一步研究。



a—10 MPa, 23℃; b—10 MPa, 50℃; c—5 MPa, 23℃

■—压痕深度; □—带胶试样剩余厚度; ▨—基材试样剩余厚度

图 8 各种试验条件下 1[#] 和 1-J[#] 试样的稳定压深比

3 结论

(1) 笔者采用改进的压痕试验,以压深比为性能

指标,首次对三层 PE 热收缩带补口材料的整体抗压性能进行系统评价,得到了能够表征目前常见 PE 热收缩带抗压性能的一般性规律,具有一定的工程实践应用价值。

(2) 目前常见 PE 热收缩带抗压性能测试的一般性规律是:高温测试条件下是否结合热熔胶对 PE 热收缩带的压深比影响不大,室温测试条件下结合热熔胶的 PE 热收缩带的压深比较高;试验温度对 PE 热收缩带压深比的影响最大,其次为加载压力,PE 热收缩带压深比随试验温度和加载压力的升高而增加。

(3) 结论 1 与结论 2 仅适用于表 1 中几种厂家或来源的 PE 热收缩带产品,但可以在一定程度上反映目前主流 PE 热收缩带产品的抗压性能。

参考文献

- [1] 王悦. 埋地输气管道腐蚀缺陷分析及修复对策 [J]. 石油工程建设, 2009, 35(3): 41-44.
Wang Yue. Corrosion defect analysis and repair measures of buried gas transmission pipeline [J]. Petroleum Engineering Construction, 2009, 35(3): 41-44.
- [2] 王书浩, 孟力沛, 肖铭, 等. 秦京输油管道腐蚀机理分析及腐蚀检测 [J]. 油气储运, 2008, 27(2): 36-39.
Wang Shuhao, Meng Lipei, Xiao Ming, et al. Analysis on the corrosion mechanism of Qinhuangdao-Beijing oil pipeline and corrosion inspection [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2008, 27(2): 36-39.
- [3] 赵君, 侯宇, 张丰, 等. 管道 3PE 防腐涂层补口技术标准及规范对比分析 [J]. 油气储运, 2009, 28(3): 43-46.
Zhao Jun, Hou Yu, Zhang Feng, et al. Comparison and analysis on technical specifications and standards of pipelines with 3PE coating [J]. Oil & Gas Storage and Transportation, 2009, 28(3): 43-46.
- [4] 赵吉诗, 侯宇, 赵国星, 等. 热收缩带补口失效分析及建议 [J]. 腐蚀与防护, 2010, 31(10): 812-815.
Zhao Jishi, Hou Yu, Zhao Guoxing, et al. Failure analysis of field joint coating (FJC) and suggestion [J]. Corrosion & Protection, 2010, 31(10): 812-815.
- [5] 李树军, 刘秀菊, 高永忠. 高能辐射对高性能聚乙烯纤维分子量和力学性能的影响 [J]. 工程塑料应用, 1998, 26(8): 7-9.
Li Shujun, Liu Xiuju, Gao Yongzhong. Effect of the electron beam radiation on the molecular weight and mechanical properties of the high performance polyethylene fibers [J]. Engineering Plastics Application, 1998, 26(8): 7-9.

欢迎订阅, 欢迎来稿, 欢迎刊登广告