

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2017.06.018

燃气用埋地聚乙烯管材新旧国标 GB 15558.1 对比分析

李志宏

(安徽省特种设备检测院,合肥 230051)

摘要:针对已于2017年1月1日实施的2015版燃气用埋地聚乙烯管材制造国家标准(GB 15558.1),分析了其与已实施十余年的2003版标准在材料、管材、检验等内容上的区别,并以制造监督检验单位的角度,向混配料及管材制造商提出了一系列相关建议,同时提出了新标准实施后的监督检验要点,可供检验单位及相关生产制造单位参考。

关键词:GB 15558.1;燃气用聚乙烯管材;混配料;标准对比;制造监督

中图分类号:TQ320.77 **文献标识码:**A **文章编号:**1001-3539(2017)06-0090-06

Comparison and Analysis of New and Old National Standards GB 15558.1 of Buried Polyethylene Gas Pipe

Li Zhihong

(Anhui Special Equipment Inspection Institute, Hefei 230051, China)

Abstract: Manufacturing national standard GB 15558.1 of buried polyethylene gas pipe for the 2015 version was implemented in January 1, 2017. According to this, the difference between the 2015 version and the 2003 version which had been implemented for more than ten years were analyzed in materials, pipes, inspection contents and so on. Some suggestions were offered to compound material manufacturers and pipe manufacturers from perspective of manufacturing supervision. Meanwhile, the key points of manufacturing supervision after the implementation of the new standard were put forward, which provided reference for inspectors and manufacturers.

Keywords: GB 15558.1; polyethylene gas pipe; compound material; comparison of standards; manufacturing supervision

随着我国城镇化建设的发展,燃气管网的规模及数量迅速上升。燃气用聚乙烯管由于其良好的耐腐蚀性、柔韧性、可熔接性、成型加工性能等优势,在国内及国际上已被广泛应用^[1-2]。燃气用聚乙烯管承受一定压力,且介质易燃易爆,故属于特种设备。为保证燃气用聚乙烯管的安全,经国家质检总局核准的监督检验机构应对聚乙烯管产品的制造及其质量管理体系进行监督检验(以下简称制造监督),制造监督严格按照《压力管道元件制造监督检验规则》(TSG D7001-2005)(以下简称《监检规则》)执行。

管材的制造是压力管道安全的第一道保障。聚乙烯燃气管道的失效模式主要分为:韧性失效、脆性失效、焊接接头失效、表面失效、人工缺陷引起的失效^[1]。在管材制造过程中,可对其韧性、脆性、焊接接头熔接性及外观缺陷进行控制,从根源上避免以上失效模式的发生。

我国聚乙烯管材的制造国家标准——GB 15558.1-2003(以下简称03版)基于国际标准制定,已实施了十余年,与目前的新版国际标准存在较大差距。如今国内外聚乙烯管材的制造工艺及

产品需求均发生了巨大变化,我国市场上的聚乙烯管材性能已有了较大提高^[3]。为适应我国国情以及与国际标准接轨,我国于2017年1月1日实施GB 15558.1-2015(以下简称15版)新标准。笔者对新旧版标准内容的主要区别进行了对比分析,从制造监督检验单位的角度,向混配料及管材制造商提出了一系列相关建议,同时提出了新标准实施后的监督检验要点,可供检验单位及制造单位参考。

1 新旧标准对比及说明

15版标准在结构及内容上对03版标准进行了调整及补充。在结构上,15版标准更加有逻辑性,标准的说明顺序基本符合聚乙烯管材从原料选用到出厂检验的顺序,并且用一章的篇幅集中叙述了涉及到的实验过程,增加了标准的实用性及便捷性。在内容上,15版标准增加了管材的类型、混配料熔接兼容性要求及系统适用性的要求,更加靠近国外先进标准,并且考虑到了国内市场的现状,增加了标准的

联系人:李志宏,教授级高级工程师,硕士,主要研究方向为特种设备安全

收稿日期:2017-03-14

完整性及先进性。15 版标准对 03 版标准中有歧义及表述模糊的地方进行了重述及说明,增加了标准的严谨度^[4]。

1.1 范围

“范围”一章说明了标准的适用界限,是一个标准的开端及统领。相比于 03 版标准,15 版标准明确说明了管材类型:单层实壁管材;管材外壁包覆可剥离热塑性防护层的管材。

其中“单层实壁管材”即为普通管材,为 03 版标准范围内的管材。“管材外壁包覆可剥离热塑性防护层的管材”通过添加可剥离层,对管材本体起到了保护作用,可避免运输或敷设过程中对管材的破坏,并且已在市场上出现。15 版标准通过增加附录 E,对带可剥离层的管材质量进行了规定。15 版标准在此处的变化一方面参考了国际标准 ISO 4437-1,与国际市场接轨;另一方面考虑到了国内市场的现状与需求。

1.2 材料

此部分说明了对聚乙烯混配料的各类要求,15 版标准对混配料的说明在 03 版标准的基础上作出了较大改变。

(1) 混配料颜色。

03 版标准没有要求混配料的颜色,15 版标准明确规定了聚乙烯混配料颜色应为黑色(PE80 或 PE100)、黄色(PE80)或橙色(PE100)。外壁包覆可剥离热塑性防护层管材的可剥离层材料的颜色应为黑色、黄色或橙色。这与后文管材的颜色要求相互对应,增加了 15 版标准的逻辑合理性。

(2) 混配料分级要求。

混配料分级的关键参数为最小要求强度(MRS)。03 版标准直接规定了 PE80 的 MRS 为 8.0 MPa, PE100 的 MRS 为 10.0 MPa。15 版标准在 03 版标准规定的内容之上,还增加了静液压强度的试验温度,即:压力试验在至少 3 个温度下进行,其中两个温度固定为 20℃和 80℃,第 3 个温度可以在 30℃和 70℃间自由选择,且不允许 80℃回归曲线在 5 000 h 前出现拐点。15 版标准比 03 版标准要求更严格、更具体,并且保证了管材在 50 a 内不产生脆性破坏。

(3) 聚乙烯混配料的熔接兼容性。

15 版标准规定混配料制造商应证实自己产品范围内同一混配料的熔接性,如有要求,还应证实自己产品范围内不同混配料的熔接性。03 版标准无

此项要求。聚乙烯管以熔接形式连接,熔接接头往往是管材性能的薄弱点,且检测有一定难度^[5]。而随着市场上聚乙烯产品种类的增加,在燃气管道施工过程中出现了不同级别、不同混配料牌号管材间的连接问题,故 15 版标准增加了此项要求。

(4) 性能指标。

a. 密度。03 版标准要求密度 $\geq 930 \text{ kg/m}^3$ (基础树脂);15 版标准要求密度 $\geq 930 \text{ kg/m}^3$ (混配料)。由于管材制造商所使用的混配料入厂时就已添加了部分添加剂,故进行基础树脂密度的测定较困难,因此 15 版标准不要求以基础树脂测定密度。

b. 熔体流动速率(MFR)。15 版标准中,其合格指标与 03 版标准相同,但以注释方式说明了当出现 $0.15 \text{ g/10 min} \leq \text{MFR} < 0.2 \text{ g/10 min}$ 的材料时,应注意聚乙烯混配料的熔接兼容性,基于标称值的最大下偏差,最低的 MFR 值不应低于 0.15 g/10 min 。并且指出标称值由混配料制造商提供。15 版标准做此修订,是由于 03 版标准中要求的“ $0.2 \sim 1.4 \text{ g/10 min}$,且最大偏差不应超过混配料标称值的 $\pm 20\%$ ”在一些情况下存在矛盾。为了适应我国混配料市场,并在保证混配料性能的前提下,15 版标准适当降低了 MFR 指标的下限。

c. 炭黑分散/颜料分散外观级别。03 版标准无此项要求;15 版标准要求外观级别为 A1, A2, A3 或 B。15 版标准增加了外观级别的要求,进一步保证了炭黑的分散性,从而避免出现管材应力集中。

d. 耐候性。03 版标准中此项为管材力学性能要求;15 版标准中此项为以管材形式测定的混配料的性能要求,并规定:气候老化后,应满足电熔接头剥离强度、静液压强度、断裂伸长率的性能要求。由于管材耐候性反映的是原材料抗阳光照射不良影响的能力,故 15 版标准将耐候性要求归为混配料的性能要求。

e. 耐慢速裂纹增长。03 版标准要求试样壁厚 $> 5 \text{ mm}$,在规定试验参数下要求破坏时间至少为 165 h;15 版标准规定试样规格为公称外径 110 mm、标准尺寸比(管材的公称外径与公称壁厚的比值)(SDR) 11,并规定破坏时间至少为 500 h。15 版标准一方面限定了试样的规格,增加了试验的可对比性;另一方面大大增加了最小破坏时间,进一步保证了管材长期运行的安全性。

(5) 回用料要求。

03 版标准规定生产管材时所产生的本厂洁净

回用料,可少量掺入同种新料中使用。15版标准规定允许少量使用本厂的同一牌号的生产同种产品的清洁回用料。不应使用外部回收料、回用料。在使用本厂回用料的情况下,由制造商与用户协调一致并采用合适标识。

由于聚乙烯混配料为热塑性材料,可以进行回收利用,故适当添加合格回用料并不会影响管材质量。15版标准对回用料的要求更加明确,限定了回用料的使用范围,并要求增加标识。

1.3 管材的技术要求

随着聚乙烯混配料质量及管材生产工艺的提高,15版标准在03版标准的基础上对管材质量作出了更严格的规定。

(1) 管材颜色。

03版标准规定管材应为黑色或黄色,黑色管上应共挤出至少3条黄色条;15版标准规定管材应为黑色(PE80或PE100)、黄色(PE80)或橙色(PE100)。PE80黑色管材上应共挤出至少3条黄色条;PE100黑色管材上应共挤出至少3条橙色条。

15版标准中管材颜色增加了橙色,以靠近国际标准。明确限定了不同等级管材的颜色及色条的颜色,可以使管材更易从外观上区分,而且可以避免不同等级的管材进行焊接。

(2) 几何尺寸。

a. 盘管要求。03版标准并未对盘管的几何尺寸作出规定;15版标准规定盘管长度可在盘卷上标明,且盘卷的最小内径应不低于公称外径的18倍。若盘管内径过小,弯曲的管材长期受到压缩力或拉伸力,会导致不圆度过大或应力集中等对管材质量的不良影响,故15版标准对盘卷内径作了明确规定。

b. SDR系列。03版标准给出的SDR系列为SDR17.6, SDR11;15版标准改为SDR11, SDR17, SDR21, SDR26。15版标准作此修改,一方面与国际标准接轨;另一方面结合我国市场现状,增加了非开挖管材的SDR21, SDR26。

c. 小口径管材最小壁厚。03版标准中,公称外径小于50 mm, SDR17.6的管材壁厚均小于3.0 mm;15版标准中,所有规格管材最小壁厚大于等于3.0 mm。15版标准增大了小口径管材的最小壁厚,目的是保证小口径管材的焊接性及焊接质量。

(3) 力学性能。

a. 静液压强度。15版标准对进行静液压试验时, PE100管材的环应力要求由03版标准的12.4 MPa

改为了12.0 MPa。这与国际标准和欧洲标准一致,可见15版标准做此改动,是为了与国际标准接轨。

b. 耐快速裂纹扩展(RCP)。15版标准在03版标准的基础上,以注释的形式说明仅在管材制造商生产的管材大于混配料制造商提供合格验证RCP试验中所用管材的壁厚时,才进行RCP试验。实验证明,管材外径越小、壁厚越薄,在低温下发生RCP破坏的危险性越小^[6]。15版标准增加的注释内容,是在保证管材性能的前提下,减少了不必要的试验。

c. 耐慢速裂纹增长。03版标准只给出了管材壁厚大于5 mm时,进行切口试验的要求;15版标准增加了管材壁厚小于等于5 mm时进行锥体试验的要求,并将切口试验的最小试验时间由165 h提高到了500 h。切口试验和锥体试验都是通过人为地在试样上制造缺口,并使试样承受固定环向应变,从而测定管材在小载荷、长时间的破坏形式下,对裂纹增长的抵御能力^[7-8]。对于壁厚小于等于5 mm的管材,不便于用铣刀对管材进行切口加工,故15版标准增加了锥体试验。

d. 压缩复原。03版标准只将压缩复原试验以资料性附录的形式给出,并未出现在正文中;15版标准将此作为管材力学性能指标出现在正文中,要求对管材试样进行压缩,保持一定时间后立即释放,再对管材进行静液压强度试验。在给出的试验方法中,15版标准明确了压缩水平、增大了将试样从0℃环境中取出并安装在试验设备上的时间、增大了试样压扁状态的保持时间、改变了静液压强度的试验参数,进一步明确了试验方法,增加了试验的可操作性,并且提高了对管材的要求。在聚乙烯管进行维修或抢修时,常常用到压扁阻断技术,这就需要聚乙烯管有一定的压缩复原能力,故15版标准将此作为管材质量的硬性指标^[9]。

(4) 对接熔接头系统适用性。

03版标准无此项要求;15版标准规定对接熔接头需满足拉伸试验要求或静液压强度要求。聚乙烯管熔接接头的缺陷主要有气孔、夹渣、未熔合、未焊透、裂纹,管材之间的相互熔接性是缺陷的主要因素之一^[10]。故15版标准通过检测管材与管材间的熔接对接性,来保证管道的整体性能。

1.4 检验规则

15版标准在检验规则部分的变化主要是检验项目及型式检验要求的变化。

(1) 检验项目。

a. 定型检验。03 版标准规定项目为: 外观, 几何尺寸, 力学性能——静液压强度、断裂伸长率、耐候性、RCP、耐慢速裂纹增长(切口试验), 物理性能——热稳定性、MFR、纵向回缩率; 15 版标准删去了耐候性, 增加了颜色、耐慢速裂纹增长(锥体实验)、压缩复原。

b. 出厂检验。03 版标准规定项目为: 外观、几何尺寸、静液压强度(80℃, 165 h)、断裂伸长率、热稳定性、MFR; 15 版标准在此基础上增加了颜色要求, 并说明了氧化诱导时间的试样要从内表面取样。

c. 型式检验。03 版标准规定项目为: 外观, 几何尺寸, 力学性能——静液压强度、断裂伸长率、耐慢速裂纹增长(切口试验), 物理性能; 15 版标准删去了静液压强度(80℃, 165 h)、耐候性, 增加了颜色、耐慢速裂纹增长(锥体实验)、压缩复原。

(2) 型式检验要求。

03 版标准中要求进行型式检验的情况之一为“产品长期停产后恢复生产时需进行型式试验”, 15 版标准明确了上述叙述中“长期”这一模糊概念, 规定为半年。

2 对混配料制造商的建议

聚乙烯管材的质量水平从根本上取决于其混配料的质量水平, 故 15 版标准的改变对混配料的质量提出了较严格的要求, 标准中规定进行试验的项目大部分都应由混配料制造商完成, 混配料制造商应仔细对比 15 版标准中试验参数及试验方法的改变, 以新标准的要求对工艺及检验程序进行调整。同时, 混配料制造商应注意与管材制造商的文件交接, 提供完整、准确的质量证明文件。

(1) 混配料颜色及色条。15 版标准对混配料的颜色及不同颜色对应的等级作出了要求, 并要求制造管材色条及生产管材的混配料的基础树脂应具有有良好的相容性。由于 03 版标准对以上内容均无要求, 故制造商应注意控制混配料的颜色及其对应等级, 并注意色条料的质量。

(2) 混配料等级。15 版标准增加了 MRS 的测定形式, 规定了静液压强度的测定范围, 并强调“不允许 80℃ 回归曲线在 5000 h 前出现拐点”。制造商在进行级别测定时, 应注意调整试验参数, 并注意静液压曲线拐点所对应的时间, 将其作为试验结果的关键参数。

(3) 混配料的性能测定。15 版标准对混配料的 MFR、炭黑/颜料分散、耐候性及耐慢速裂纹增长

均进行了指标的修订及试验方法的更改。混配料制造商应向管材制造商提供 MFR 的准确标称值, 且当 MFR 介于 0.15~0.2 g/10 min 时, 不应急于判废, 应该考虑混配料的熔接兼容性, 再进行评判。混配料制造商还应注意增加炭黑分散/颜料分散外观等级的测定, 以及以管材形式进行耐候性的测定, 应根据 15 版标准规定及时调整各项试验参数及产品质量证明书的内容。15 版标准更改了部分混配料性能指标测定的试验方法, 如密度测定实验方法标准变为 GB/T 1033.1-2008 及 GB/T 1033.2-2010; 氧化诱导时间试验方法改为 GB/T 19466.6; 水分含量试验方法改为 SH/T 1770; 挥发分测定实验将空称量瓶和盖子放入干燥箱中的时间提升到了至少 1 h。混配料制造商应及时调整试验方法。

(4) 聚乙烯混配料的熔接兼容性。15 版标准新加入了此项要求, 混配料制造商应根据 GB/T 19809 及 GB/T 19810, 对同一牌号及不同牌号材料制成的试样进行对接熔接接头的拉伸试验, 并将实验报告按牌号提供给管材制造商, 作为质量证明文件的一部分。

(5) 当混配料的配方及生产工艺发生改变, 所有 15 版标准中规定的测定项目都应重新进行试验, 并将新的合格证明文件及时提供给管材制造商。

15 版标准对混配料的性能要求已高于 03 版标准, 但所要求的性能指标是最低标准。混配料制造商不应只求满足最低标准的要求, 而应该关注国际市场的发展, 不断提高混配料的质量。

3 对管材制造商的建议

15 版标准对管材的外观、几何尺寸、性能参数均进行了修订, 旨在提高聚乙烯管材的本质安全性, 管材制造商应根据新标准的要求, 重点关注管材的质量控制。

(1) 混配料的检测及控制。混配料在入厂时, 管材制造商应根据 15 版标准的要求仔细查看混配料的质量证明文件。其中, 以颗粒料形式测定的混配料性能合格报告应按混配料批次提供, 以管材形式测定的混配料性能合格报告应按混配料牌号提供, 并核对质量证明文件是否完整包含 GB 15558.1-2015 第 4 节中所包含的内容。管材制造商还应进行入厂检验, 对以颗粒料形式测定的混配料性能进行复检, 试验方法应符合 15 版标准的要求。管材制造商还用注意回用料的使用范围, 并在管材上采用合适标识。

(2) 管材外观及几何尺寸控制。15 版标准对管材外观的要求与 03 版标准相同,很多管材制造商对管材外观的缺陷不够重视,但管材内、外表面不平滑、有凹陷等缺陷往往是由混配料烘干不够或工艺缺陷造成的,会出现管材应力集中等影响管材使用寿命的因素,故管材制造商在自检过程中应注意管材外观的控制,不可轻视。15 版标准规定了混配料的颜色及对应等级,故管材制造商只要按照工艺文件的要求,正确选择混配料,即可符合标准对管材颜色的要求。15 版标准对管材几何尺寸的更改主要有两点:①控制盘管的盘卷最小内径;②规定了小外径管的最小壁厚。管材制造商应按标准更改工艺文件,使产品符合新标准要求。

(3) 管材性能控制及检验。管材制造商主要通过试验得到管材的各项性能,从而进行控制,故管材制造商应重视实验室的建设,通过使用完备的试验设备、加强试验人员能力来增加试验结果的准确度。15 版标准增加了管材对接熔接接头的系统适用性要求,管材制造商应增加此项试验,并将此作为控制管材质量的重要指标之一。管材制造商应按管材批次进行出厂检验,15 版标准中出厂检验的项目及要求与 03 版标准相同。15 版标准对定型检验及型式检验的项目及要求作出了较大调整,故管材制造商应及时委托检验机构重新进行定型检验及型式检验。

4 新标准实行对监督检验工作的影响

聚乙烯管材制造的监督检验工作依照《检验规则》(TSG D7001-2005)进行,主要监督内容包括设计文件的审查、混配料的选用及性能、制造工艺情况、管材的外观尺寸、管材的性能及出厂文件的完整性。制造监检过程中需要严格参照 GB 15558.1 标准进行。15 版标准实施后,作为制造监督检验单位,应及时调整工作重点,监检要点如下。

(1) 混配料。

15 版标准将混配料的性能分为以颗粒形式测定及以管材形式测定,并要求混配料制造商证明符合这些要求,还对混配料的熔接兼容性作出了要求。制造监检过程中应重点查阅混配料的质量证明书,核对其是否包含以上内容,混配料的测定形式及性能参数是否符合要求。受检单位若使用符合标准要求的回用料,要注意管材上是否采用合适标识。

15 版标准更改了部分混配料性能指标测定的试验方法。制造监检过程中,要注意检查受检单位

试验的作业指导书、记录表卡等体系文件是否按新标准更改,查阅混配料入厂检验报告中的试验方法是否符合要求。

(2) 管材颜色及几何尺寸。

15 版标准对管材及色条的颜色进行了详细要求,在制造监检过程中,要注意核对管材及色条的颜色与管材的等级是否相符。在进行管材壁厚测量时,要注意无论标准尺寸比为多少的管材,其壁厚不得低于 3.0 mm。对于 15 版标准没有列出的标准尺寸比的管材,应根据 GB/T 10798 及 GB/T 4217 中规定的管系列进行推算,检测标准尺寸比是否符合要求。

(3) 检验项目。

15 版标准在定型检验、出厂检验、型式检验的检验项目上改动较大,制造监检过程中用及时检查受检单位的各个检验报告,查阅其检验项目及覆盖范围是否符合标准规定。

(4) 质量体系。

由于 15 版新标准的实施,管材制造过程中的很多要求均发生了变化,因此管材制造商应根据新标准的要求修订质量体系,主要对各个工艺指导书、记录表卡等进行修订。在制造监检过程中应及时检查质量体系的内容是否符合新标准的规定。

5 结语

对《燃气用埋地聚乙烯 (PE) 管道系统第 1 部分: 管材》(GB 15558.1)2003 版及 2015 版的主要修订内容进行了对比,包括范围、材料、管材技术要求及检验规则。2015 版标准将 2003 版标准中一些界定不清或存在歧义的内容进行了重新规定,并参考目前国内及国际市场实际情况及国际标准,对部分内容进行了增添及删除。

聚乙烯管材从原料生产到管材出厂,混配料制造商、管材制造商及监督检验机构均需进行质量控制,以保证管材的安全性。新版标准施行后,会对混配料的生产、管材的生产及管材的制造监督检验工作均产生一定影响。结合制造监检实际工作,以监督检验机构的角度,对混配料制造商及管材制造商提出了建议,同时提出了针对新标准的监督检验要点。对于《检验规则》(TSG D7001-2005)中规定的监检项目,要严格监督生产过程是否符合新标准的要求。

新版标准的实施进一步提升了燃气用聚乙烯管材的本质安全性,制造单位及检验单位都应做好

新旧标准的承接工作。

参考文献

- [1] 辛明亮,李茂东,张术宽,等. 聚乙烯燃气管道失效模式研究进展[J]. 中国塑料,2015,29(3):16-20.
Xin Mingliang, Li Maodong, Zhang Shukuan, et al. Research progress in failure mode analysis of polyethylene gas pipeline[J]. China Plastics, 2015, 29(3):16-20.
- [2] 华晔,武志军,熊志敏,等. 聚乙烯(PE)燃气管道近期发展动态[J]. 全面腐蚀控制,2014(4):34-40.
Hua Ye, Wu Zhijun, Xiong Zhimin, et al. The developing trends of polyethylene(PE) gas piping systems[J]. Total Corrosion Control, 2014(4):34-40.
- [3] 叶俊文,万雨龙,容伟结. 燃气用聚乙烯管道系统产品的国内外标准研究[J]. 中国塑料,2015,29(5):94-100.
Ye Junwen, Wan Yulong, Rong Weijie. Domestic and foreign standards of polyethylene piping systems' products for the supply of gaseous fuels[J]. China Plastics, 2015, 29(5):94-100.
- [4] 龚毅斌,刘广宇,谌基国,等. 2015 版国家标准《燃气用埋地聚乙烯(PE)管道系统第1部分:管材》分析[J]. 塑料工业,2016,44(12):87-90.
Gong Yibin, Liu Guangyu, Shen Jiguo, et al. Analysis on 2015 version of national standard of buried polyethylene (PE) piping systems for the supply of gaseous fuels Part 1: Pipes[J]. China Plastics Industry, 2016, 44(12):87-90.
- [5] 施建峰,郭伟灿,师俊,等. 聚乙烯及其复合管道安全检测与评价方法[J]. 化工学报,2013,64(2):756-764.
Shi Jianfeng, Guo Weican, Shi Jun, et al. Development of non-destructive testing and safety assessment of polyethylene and composite pipes[J]. CIESC Journal, 2013, 64(2):756-764.
- [6] 华晔,武志军. 聚乙烯压力管材快速裂纹扩展(RCP)性能的研究[J]. 塑料,2014,43(2):106-109.
Hua Ye, Wu Zhijun. Research of rapid crack propagation (RCP) performance of polyethylene pressure pipes[J]. Plastics, 2014, 43(2):106-109.
- [7] 赵启辉. 聚乙烯承压管道及原料耐慢速裂纹增长测试标准及实验要求[J]. 中国塑料,2008,22(10):90-94.
Zhao Qihui. Test standard and requirement of pressurized polyethylene piping and resistance of slow crack growth [J]. China Plastics, 2008, 22(10):90-94.
- [8] 林海涛,黄继伟,凌新龙. 聚乙烯管材料耐慢速应力开裂性能快速评价方法[J]. 高分子材料科学与工程,2014,30(5):185-190.
Lin Haitai, Huang Jiwei, Lin Xinlong. Fast characterization methods of the environmental slow crack resistance of polyethylene pipe materials—A review[J]. Polymer Materials Science and Engineering, 2014, 30(5):185-190.
- [9] 张正有. 聚乙烯燃气管道带气压扁阻断技术[J]. 煤气与热力,2013,33(8):42-44.
Zhang Zhengyou. Squeeze-off technology of polyethylene gas pipe [J]. Gas and Heat, 2013, 33(8):42-44.
- [10] 汪建国. PE管热熔对接接头的主要缺陷形式和质量检测[J]. 上海煤气,2014(3):17-18.
Wang Jianguo. Main deficiency forms and quality inspection of butt-fusion welded joints of PE pipes[J]. Shanghai Gas, 2014(3):17-18.
- (上接第 60 页)
- [9] 曹海建,冯古雨,俞科静,等. 碳纤维/环氧树脂基中空夹芯复合材料压缩性能的有限元法研究[J]. 纺织学报,2015,36(9):50-54.
Cao Haijian, Feng Guyu, Yu Kejing, et al. Compressive properties of carbon fiber / epoxy resin hollow sandwich composites based on finite element software[J]. Journal of Textile Research, 2015, 36(9):50-54.
- [10] 匡宁,李晋,耿杰,等. 中空夹芯织物预浸料的制备与性能表征[J]. 工程塑料应用,2015,43(8):39-42.
Kuang Ning, Li Jin, Geng Jie, et al. Preparation and characterization of hollow sandwich fabric prepreg[J]. Engineering Plastics Application, 2015, 43(8):39-42.
- [11] 王梦远,曹海建,钱坤,等. 三维机织间隔复合材料结构对其力学性能的影响[J]. 工程塑料应用,2014,42(11):53-58.
Wang Mengyuan, Cao Haijian, Qian Kun, et al. Effect of structure of three dimensional woven distance composites on mechanical [J]. Engineering Plastics Application, 2014, 42(11):53-58.
- [12] 陈同海,周正亮,张守玉. 透波用三维中空复合材料研究进展[J]. 工程塑料应用,2016,44(9):141-144.
Chen Tonghai, Zhou Zhengliang, Zhang Shouyu. Research progress on three-dimensional hollow composites used for wave-transparent[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(9):141-144.
- [13] 匡宁,陈同海,钱育胜,等. 中空复合材料的成型工艺及应用进展[J]. 工程塑料应用,2015,41(1):120-123.
Kuang Ning, Chen Tonghai, Qian Yusheng, et al. Progress in molding technology and application of hollow composites[J]. Engineering Plastics Application, 2015, 41(1):120-123.
- [14] 张守玉,周正亮,耿杰,等. 树脂含量及分布对三维中空复合材料性能的影响[J]. 材料导报,2016(S1):376-378.
Zhang Shouyu, Zhou Zhengliang, Geng Jie, et al. The influence of resin content and distribution on the property of 3D sandwich woven composite[J]. Materials Review, 2016(S1):376-378.
- [15] 王狄辉,周光明,刘畅,等. 整体中空夹层复合材料平压性能的实验[J]. 工程塑料应用,2016,44(10):90-93.
Wang Dihui, Zhou Guangming, Liu Chang, et al. Experiment on flatwise compression performance of integrated hollow sandwich composites[J]. Engineering Plastics Application, 2016, 44(10):90-93.
- [16] 尚博,李嘉禄. 纬编双轴向织物增强复合材料压缩性能研究[J]. 针织工业,2013(12):37-40.
Shang Bo, Li Jialu. Compressive experimental investigation of biaxial weft knitted fabric reinforced composites[J]. Knitting Industries, 2013(12):37-40.