

技术

责任编辑:雷 蕾 季佳欧
电 话:59963261
邮 箱:
jijx@sinopec.com
审 校:张春燕
版式设计:王 强



周“油”列国
油事精彩

专家视点

创新引领核电材料
国产化新征程

□者东梅

高端新材料的突破,往往能引领一个时代的产业变革。上海石化管材料YGH041T成功打破进口原料垄断,成为国内首个被列入国际PE100+协会优质产品目录的管材专用料,具有重要意义。

首先,这是保障国家能源安全的必然要求。核电作为清洁能源体系的重要组成部分,其关键材料的自主可控直接关系到国家能源战略安全。以往核电用HDPE管材料长期依赖进口,不仅价格是国产材料的2~3倍,更存在供应中断风险。通过国产化攻关,中国石化成功攻克这一“卡脖子”难题,为核电事业安全发展提供了坚实保障。

其次,这是推动制造业高质量发展的关键抓手。高端管材料位于化工产业链顶端,其技术突破能有效带动从基础原料到终端应用的全产业链升级。以核电管材为例,项目研发过程中形成的6项核心技术已辐射应用到其他高端管材领域,产生了显著的倍增效应。项目研发过程中,通过主导制定两项国家标准,我国在核电用塑料管道领域建立了自己的技术体系,为实现从“制造大国”向“制造强国”转变提供了标准支撑。

再次,这是应对国际竞争新格局的战略选择。在当前复杂多变的国际环境下,关键材料技术的自主可控比以往任何时候都更加重要。通过持续创新,不仅要解决当前的“卡脖子”问题,而且要为未来产业发展抢占制高点。上海石化管材料YGH041T成功打破进口原料垄断,为其他高端材料国产化提供了可复制的经验,即通过“产学研用”协同创新,实现从跟跑到并跑乃至领跑的跨越。

材料研发的成功,关键在于建立与应用场景深度契合的技术体系。核电管道与普通市政管道的最大区别在于极致的可靠性和安全性要求。例如,核电站冷却系统用DN813毫米大口径管道,壁厚是普通管道的2倍以上,设计寿命要求达到50年,这对材料的抗蠕变性能和长期耐久性提出了更高的要求。

面对这些特殊需求,北化院研发团队创新性地构建了“应用场景驱动型”研发模式。团队首先从核电工程的实际工况出发,逆向解析材料应该具备的性能特征,再通过分子设计实现性能定制。具体来说,团队建立了覆盖材料全生命周期的评价体系,不仅包括常规性能测试,而且重点开发了长期静液压强度预测、耐慢速裂纹增长等关键评价技术。这些技术创新为材料研发提供了精准的“导航系统”。

在技术攻关方面,团队立足分子结构设计,针对厚壁管加工中的熔垂难题,通过引入特殊共聚单体、精准调控分子链结构,成功突破了这一技术瓶颈。让材料“出生”,就带着核电应用的“基因”,确保了材料从实验室阶段就与工程需求紧密对接。

第四代核电站技术的发展对材料性能提出了更高要求,因此要提前布局下一代技术研发的战略方向。

首先是智能管道材料的研发,研究具有自预警功能的智能材料,通过植入传感单元,实现管道健康状态的实时监测,变被动维修为主动预防。其次是耐更极端环境条件下的新材料开发,针对高温、高强度、高韧性或高腐蚀等不同应用场景下的需求,开展新型聚烯烃材料研究,推动核电材料的绿色发展。最后是重视标准化工作,保持标准的先进性和引领性。

此外,创新的事业需要创新的人才。要注重培养既懂技术又懂标准的复合型人才,培养一批具有全球视野的青年专家,这种人才梯队建设为可持续发展提供了有力保障。

(作者为国际标准化组织ISO/TC61/SC2主席、中国石化集团公司高级专家、国家化学建筑材料测试中心常务副主任)

高性能管材料:耐裂久用 安全升级

编者按:

在能源转型的大潮中,核能以其稳定、可靠的特性,在能源结构中的重要性不断提升。截至2024年底,我国商运核电机组已达57台,总装机容量5976万千瓦,位列全球第三。

核电管道作为核电站的“血管系统”,其材料性能直接关系到机组安全稳定运行。近日,上海石化管材料YGH041T应用于核电管道领域,成功打破进口原

料垄断,成为国内首个被列入国际PE100+协会优质产品目录的管材专用料。多年来,中国石化持续深耕高性能管材料的研发生产,在多个领域实现技术与产品突破。本版推出专题报道,为您展示中国石化在高性能管材料领域的部分攻坚成果。

本版文字除署名外由 钟 峰 李 娟 胡学群 张训棣 潘亚男 胡砚磊 孙 晋 王 辉 王 冲 吴 希 王 蕊 提供

研产实践

上海石化:核电管材产品性能达到行业领先水平

上海石化2002年引进北欧化工(BOR-STAR)双峰聚乙烯工艺技术,建成25万吨/年聚乙烯装置,成为国内最早也是目前少数具备黑色管道料基础树脂大批量生产能力的企业,拥有国内最全的各类型管道料系列化牌号,如:YGH041T、YGH041TRC、YGH041TLSH、YGH041TLSSH、YGH041TIM等,产品兼具优异的力学性能和加工性能。

2015年,上海石化开始研发高性能聚乙烯管材料(PE100-RC树脂)。通过对不同共聚单体共聚反应的动力学研究及催化剂的优化改进,优化主要聚合工艺参数,于2018年在4号聚乙烯装置上开发出高性能双峰高密度聚乙烯管道专用料产品,填补了国内空白。该专用料质量轻、耐腐蚀、抗蠕变、易加工,具有良好的刚韧平衡性和慢速裂纹增长性能,分为白料和黑料。黑料在配方中增加了炭黑,产品性能更佳,可以制造市政主干网管道,并在能源开采等重点行业管道制造领域有广泛应用前景。

其中,黑色高密度聚乙烯专用承压管基础树脂YGH041T含有均匀分散的细小炭黑粒子和经过精心挑选的可靠稳定剂,专为黑色高密度PE100管材料量身定制。该产品不仅具备卓越的物理机械性能,如高强度、高韧性等,而且拥有出色的耐候性(耐光老化、耐低温),能够在各种恶劣环境下保持稳定性能。而且,YGH041T具备长期稳定性、抗快速开裂传播能力、抗慢速开裂增长性能,能够确保管材在使用过程中安全可靠,主要应用领域包括城市供水管、燃气输送管等关键基础设施。值得一提的是,日前,该产品已成功应用于核电领域外围高密度聚乙烯双层排水管道。

在此基础上,上海石化又成功开发出高性能双峰HDPE(高密度聚乙烯)管道专用料产品



用上海石化核电管材专用料YGH041TLSH生产的8英寸三通。 钟 峰 供图

YGH041TRC。该产品可以理解成YGH041T的“升级版”,具备优异的耐刮擦性能,特别适用于非开挖铺设的管材挤出工艺,尤其适合在大城市建筑密集地区进行施工,能够有效降低施工过程中的成本投入,同时显著加快施工进度,提升工程效率,为城市基础设施建设提供了强有力的支持。上海石化黑色高密度聚乙烯专用承压管基础树脂YGH041TRC是国内同类产品中最早通过PE100-RC国际权威认证的,性能达到行业领先水平。

大口径管道专用料的“熔垂”难题一直困扰着国内企业。“熔垂”是指当管道口径超过800毫米时,由于管壁变厚,管壁中间的熔体冷却速度较慢,从而产生“熔垂”。上海石化优化工艺条件、优选助剂配方体系,对熔融指数、拉伸强度等核心工艺指标持续优化,成功开发并生产出性能达标的大口径低熔垂承压管道料产品YGH041TLS/TLSSH。2018年12月,上海石化

完成抗熔垂大口径高性能新一代高密度双峰聚乙烯承压管材料首次工业化试生产。2020年5月,在两次工业化试生产的基础上,上海石化成功生产出性能达标的大口径低熔垂承压管道料产品YGH041TLS/TLSSH,2023年1月通过了国家化学建材测试中心PE4710长期静液压测试。这款产品不仅可以用于大口径市政主干网的管道制造,而且在能源、核电、矿山等涉及国计民生重点行业的工艺管道制造领域,也有着广泛的应用前景。

目前,国内核电聚乙烯管材料的设计主要参照美国标准,专用料必须通过美国塑料管材料协会(PPI)的PE4710认证,才能被批准应用于核电领域。上海石化研发的YGH041TLSSH核电管材专用料,已经顺利通过国家化学建材测试中心的PE4710长期静液压测试,并且正在积极推动美国PPI协会的认证进程。

北化院:技术评价为产品生产提供权威依据



北化院科研人员进行核电用聚乙烯管材料长期性能测试的技术讨论。 胡砚磊 摄

含静液压设计基础(HDB)、切口拉伸试验(PENT)等关键技术的完整评价体系,为材料性能“定标”;另一方面,针对大口径厚壁管加工中易出现的“熔垂”问题,通过分子链结构设计

与聚合工艺优化,助力上海石化攻克材料熔融状态下的稳定性难题,确保管材壁厚偏差达到进口对标牌号水平。

北化院将研究成果成功转化为《GB/T 18252-2020》《GB/T 40967-2021》两项国家标准,填补国内核电塑料管道标准空白,为上海石化材料生产提供权威依据。

在产业化推进过程中,北化院还与上海石化深入对接产业上下游,提供从分析表征测试到加工应用的“一站式”技术解决方案,并按核电标准完成产品长期寿命分级认证,确保材料完全满足核电工程要求。同时,北化院积极为核电工程设计单位、下游管道生产商提供技术服务,为多个核电工程项目的材料选型和技术论证提供第三方检测与质量评价服务,累计出具核电领域相关的检测报告千余份,为核电用管材的性能评估与质量控制提供了技术依据。

延伸阅读

除了在核电领域,中国石化研发生产的高性能管材料还能在市政供水、农业灌溉、压滤机等领域应用,具有优异的耐候性、长期稳定性、卓绝的抗压性,未来发展前景广阔。让我们一起走近中国石化部分高性能管材料。

中韩石化:PE100级管材

PE100级管材作为国内承压聚乙烯管道市场的主流产品,具备优异的耐候性、长期稳定性和抗快速、慢速裂纹扩展性能,广泛应用于市政供水、农业灌溉等领域。

中韩石化依托两套HDPE装置的成熟生产经验,持续推进产品优化与产能升级,其生产的管材专用树脂在长达1万小时的管材静液压强度试验中,各测试温度下均未出现脆性破坏,回归曲线置信下限全部高于标准要求,展现出优异的耐环境应力开裂性能与抗熔垂性能,特别适用于大口径承压管道的加工制造。该产品已通过GB/T 18252-2020(ISO 9080:2012)标准PE100级定级认证,标志着中韩石化为给水管材专用树脂领域再添核心产品。

随着国内聚乙烯消费量稳步增长,HDPE市场需求持续旺盛,PE100级管材凭借高性价比展现出广阔的发展前景。目前,中韩石化PE100级专用料已广泛应用于市政给排水管网系统,供应多家知名企业。



PE100级高密度聚乙烯大口径排水准备应用于市政给排水管网系统。 吴 希 摄



使用上海石化研发的高性能聚乙烯管材料YGH041TIM生产的管件样品。 钟 峰 供图



高端聚丙烯专用料PPH-EP00J。 张训棣 王 辉 摄影报道

上海石化:
黑色高密度PE100管件专用料YGH041TIM

该产品含有均匀分散的细小炭黑粒子和可靠的稳定剂,是黑色高密度PE100管件专用料,具有优异的物理机械性能、优异的耐候性、长期稳定性和卓绝的抗快速开裂传播和抗慢速开裂增长性能。

上海石化在研发生产YGH041TIM的过程中,特别注重其物理机械性能的优化,使其具备了极为优异的强度和韧性,能够承受各种复杂环境下的机械应力,通过了严格的PE100等级分级测试。

天津石化:
高端聚丙烯专用料PPH-EP00J

压滤板是压滤机中的核心过滤元件,主要用于固液分离领域,通过高压环境将悬浮液中的固体颗粒截留在滤板表面,实现液体的净化或固体的回收,广泛应用于环保、化工、矿业等行业。

天津石化依托两套聚丙烯装置的成熟生产经验,持续推进高附加值新产品的开发与优化升级。压滤板对其制造原材料有着极为严苛的要求,在生产加工过程中,要求原料具备高熔体强度以确保成型稳定性,在实际使用工况下,则需同时兼具高刚性和高韧性。国

内外只有少数企业能够生产该产品,价格高,供货不稳定。面对这一挑战,天津石化项目团队精准对接客户需求,从分子结构设计入手,优化催化剂选型,深入钻研生产工艺参数,成功开发了相匹配的助剂配方体系,消除了材料易熔垂、刚性弱、韧性难以兼顾等技术瓶颈,研发出具备抗熔垂、高刚性、高韧性等综合优异性能的高端聚丙烯专用料PPH-EP00J。该产品已成功通过国内压滤机行业头部企业的量试评价,后期将稳定供应客户。

YGH041TIM适用于水管、燃气管、排污管和工业用管的三通、接头等管件。该管件与管材组合使用,耐腐蚀、相容性高,对环境外力抵抗力强,解决了传统承压管道腐蚀和接头泄漏的难题,能够有效抵抗外界环境的腐蚀作用,确保管道系统长期稳定运行。

YGH041TIM适用于水管、燃气管、排污管和工业用管的三通、接头等管件。该管件与管材组合使用,耐腐蚀、相容性高,对环境外力抵抗力强,解决了传统承压管道腐蚀和接头泄漏的难题,能够有效抵抗外界环境的腐蚀作用,确保管道系统长期稳定运行。

知识课堂

“高性能聚乙烯管材料”,
您了解多少?

聚乙烯管材料根据其长期静液压强度(MRS),可分为三代:第一代相当于现在PE63以下等级的PE(聚乙烯)管材料;第二代相当于现在的PE80管材料;第三代为性能更好的PE100管材料。高性能聚乙烯管材料,被称为耐开裂PE100-RC树脂(RC:耐开裂),目前被认为是第四代管材料。在全缺口蠕变试验(FNCT)测试条件下,其耐慢速裂纹增长时间超过8760小时,被称为“超韧PE100树脂”。

性能高在哪儿?

高性能聚乙烯管材料的技术标准包含国际权威机构(如PE100+协会)的多维度测试认证,核心依据包括ISO 13479、ISO 18488等专项测试方法。耐开裂PE100-RC树脂核心亮点是在全缺口蠕变试验(FNCT)中,耐慢速裂纹增长时间超过8760小时,相当于连续使用1年以上,远远高于普通管材树脂标准,是普通PE100材料(要求大于500小时)的17倍以上。同时,通过循环载荷下抗慢速裂纹增长测试,高性能聚乙烯管材料可抵御施工及使用中因硬物冲击、土壤摩擦产生的裂纹扩展。

与普通PE100管材相比,在同等条件下,高性能聚乙烯管材料不但使用寿命更长、安全性更高,而且可用于管道更新、非开挖安装和管道快速敷设等施工,能降低管材施工难度,大大降低施工费用。

用在哪儿?

高性能聚乙烯管材料的主要应用领域是市政工程,如城市供水管网。PE100-RC管道用于主干道及支线供水,可使供水损耗率降低20个百分点;适用于低压燃气输送,目前占燃气管道材料市场28%的份额。预计2025年PE100-RC树脂国内市场规模突破200亿元,2030年将突破450亿元,年均复合增长率为8%-10%。