

doi:10.3969/j.issn.1671-5152.2013.10.002

PE100-RC管道专用料的发展及国内应用情况

- 四川亚大塑料制品有限公司 (611380) 黄 钊
□ 道达尔 (中国) (100004) 赵启辉 柯锦玲

摘 要: 本文简要介绍了聚乙烯 (PE) 压力管道材料的发展、耐开裂聚乙烯 (PE100-RC) 材料的定义, PE压力管道混配料质量性能及要求, 特别是PE100-RC的关键技术要求、应用经济性能比较及绿色环境效益, 还介绍了PE100-RC管道在国内的应用情况。

关 键 词: PE100-RC 燃气管道 性能 安全

The Developments of PE100-RC Pipe Compound and Applications in China

Sichuan Chinaust Plastics Product Co. Ltd. Huang Zhao
TOTAL China. Zhao Qihui, Ke Jinling

Abstract: The developments of compounds for PE pressure piping system, the definition of Resistance to Cracks grade/PE100-RC, properties and quality requirements are discussed, especially of key properties, application cost comparing and environment benefits. The applications of PE100-RC pipe in China are also introduced.

Keywords: PE100-RC Gas pipe properties safety

1 聚乙烯压力管道材料的发展史

高密度聚乙烯(HDPE)于1955年首次生产, 目前已经超过50年诞辰。最早的产品是由纯乙烯单体聚合而成的低分子量产物。为了提高材料性能石化企业进行了深入研究, 催化剂的发展得到了高分子量的聚合物, 加入共聚单体能改变分子构型, 这些都使产品性能获得了长足发展同时拓宽了应用领域。1960年生产出了第一根HDPE管, 相关标准首次发布于德国, 即DIN 8075。

聚乙烯管道的性能取决于其材料的分子结构, 而

分子结构受催化剂品种、聚合类型、聚合条件、分子量及分子量分布、共聚单体类型、含量及其分布等因素的影响。中/高密度聚乙烯管道专用材的发展经历了四个阶段的飞跃:

第一个阶段, 第一代的聚乙烯管道材料始于20世纪50年代, 以不含支链的聚乙烯大分子为主, 没有共聚单体或含量很低, 因此密度很高, 而耐慢速裂纹增长性能很差。

第二个阶段, 上世纪70年代中期, 从PE63发展到中密度PE80管道专用料, 耐压能力相对提高; 采用了共聚单体, 有了一定的耐慢速裂纹增长性能。

第三个阶段，上世纪80年代末至90年代，第三代聚乙烯管道专用料采用双峰聚合技术，进一步改进聚乙烯的长期静液压性能和耐慢速裂纹增长性能，即高密度双峰PE100管道材料。从全球来看，自上世纪90年代初，双峰PE100在逐步替代PE80。在中国，这种切换开始于2000年左右。目前在给水管道领域，PE100管道已经广泛使用；在燃气管道应用中，目前PE100已经逐步取代PE80材料。

第四个阶段，即2001年开始，第四代聚乙烯管道专用料通过分子结构设计、新型催化剂和聚合工艺技术，在保持了材料的管道制品加工、耐压和焊接性能的同时；进一步提高管道的耐慢速裂纹增长性能（SCG），来满足全世界范围内新施工方式（如无沙回填、非开挖施工）对PE管道材料的高要求。在有外部划伤和点载荷的作用下，仍能够达到100年的设计使用寿命，即耐开裂聚乙烯PE100-RC（RC：Resistant to Cracks耐开裂），代表产品是己烯共聚的双峰分子量分布的高密度聚乙烯PE100-RC。

慢速裂纹增长（SCG），或由于制品生产中的应力残余，开始于施工过程中人为的拖拽引起的刮伤以及周围环境例如石头顶住管材外表面造成的点载荷，会形成应力集中区，产生初始的裂纹并发展成为微观的银纹/孔洞，孔洞间的材料会被拔出形成高强度的微纤结构（也称银纹，由于折光指数不同呈现发白的现象而得名）。PE管道材料自身的特点将决定银纹是继续增长发展成裂纹而导致材料破坏，或者阻止银纹进一步发展成裂纹；这个特性就是耐慢速裂纹增长性能。

作为更耐开裂的PE100-RC管道材料，其应用也在逐步扩大。欧洲自2001年开始应用，目前如德国、波兰、奥地利、意大利以及比利时、北欧等广泛应用；同时，国际上知名的PE管道原料供应企业，陆续开发出了PE100-RC管道材料，并在世界范围内供应。欧洲的知名的PE管道生产企业，都推出了PE100-RC材料生产的管道制品，用于给水、燃气、地源热泵及工业流体等管道输送系统中。

2 PE100-RC材料的定义及标准

作为耐开裂PE100-RC（PE100 with Resistant to Cracks），按照GB/T 18475-2001（ISO 12162: 1995）

[热塑性塑料压力管材和管件用材料 分级和命名 总体使用（设计）系数]中的定义，其按照材料的压力分级水平，仍然是PE100级的压力管道材料；同时，由于其具有优异的耐慢速裂纹增长性能（耐应力开裂）的性能，按照DIN/PAS1075标准，其定义为耐开裂PE100-RC：具有优异的耐慢速裂纹增长性能（耐应力开裂）的PE100管道混配料/A PE100 compound with a significantly enhanced resistance to slow crack growth（Stress Cracking Resistance）。

目前，欧洲的国家中，波兰、奥地利、意大利以及比利时等国家都以DIN/PAS1075为蓝本，制定了本国的耐开裂PE100-RC管道标准，以指导管道制品生产，规范设计及应用。

3 PE压力管道料生产趋势以及供应情况

目前部分石化企业还保留一部分PE80管道的原料生产，从全球范围来看，新增的聚乙烯管道的产能，均不再生产PE80。因此生产PE80的供应量基本不会增加，甚至会逐渐缩减。

作为以乙烯单体为主要原料生产的PE材料，PE80和PE100/PE100-RC在生产上，原料成本是相当的。作为代表PE压力管道发展方向的第四代PE100-RC，必将是PE压力管道原料生产企业的发展方向。

4 PE80、PE100及PE100-RC的性能比较

随着催化剂体系和聚合过程的深入发展，材料和产品的性能持续进步，测试检验的手段的提高，目前公认的PE压力管材料的主要力学性能应为：

- 长期静液压强度或耐压性能（最小要求强度MRS）：体现在PE80级，PE100/PE100-RC；
- 耐慢速裂纹增长（SCG）性能：管材切口试验、锥体试验、点载荷试验、FNCT试验、热老化试验；
- 耐快速裂纹扩展（RCP）性能：低温下管材的耐快速开裂性能。

首先，相对于PE80材料，第一个区别是PE100/PE100-RC材料MRS更高，即管材的承压水平更高。相同规格，PE100/PE100-RC的管道能够承受更高的压力，如图1所示。对于相同压力，可以选用壁厚更

薄的PE100/PE100-RC管道，从而节省原材料，节省资源，如图2所示。



图1 相同规格（相同SDR）PE80和PE100/PE100-RC的比较



图2 不同规格PE80和PE100/PE100-RC的比较

从资源节约的角度而言，满足相同的使用条件（如压力）的情况下，相对于PE80的管道，使用PE100/PE100-RC使用能节约原材料的使用将近34%。见图3（单位长度米重和整体重量的比较）。

其次，PE100的双峰分子量分布使得其综合物理力学性能得到了均衡发展，相对于PE80有了很大进步；同时，随着己烯（C6）共聚单体的应用和分子结构设计、催化剂和聚合工艺技术进一步发展，使用

PE100-RC则进一步提高管道系统的长期安全性能，并能够在有外部划痕、点载荷的情况下仍能长期使用100年。具体性能比较见表1。

由表1可以看出，在体现出管道材料的耐慢速裂纹增长（SCG）的性能如：管材切口试验、锥体试验、点载荷试验及热老化试验中（表1第11项~15项），PE100-RC材料表现出了与传统PE80/PE100迥然不同的特性。这得益于材料分子设计、催化剂及聚合工艺技术的不同，使得微观长链分子的缠绕特性大大增加，分子链间用力增强；宏观上表现出分子结构解缠性能高，在SCG试验项目中，表现出优异的性能和测试结果。

5 应用经济性比较

5.1 安装成本

使用PE 100-RC材料，最恶劣局部应力集中（点载荷、划伤等）的条件下，不但能够带来更长的使用寿命和更高的安全性；同时为施工节约了大量的安装费用。管材本身的费用在整个管道工程中并不占主要部分，管材一般占项目费用的10%~30%（不同国家和地区由于劳动力成本、运输成本等不同而不同）。这也在目前的研究中得到证实。这对于整个预算来说，管材费用的增加相对于能够降低安装费用的重要性，仍然显得不足道。

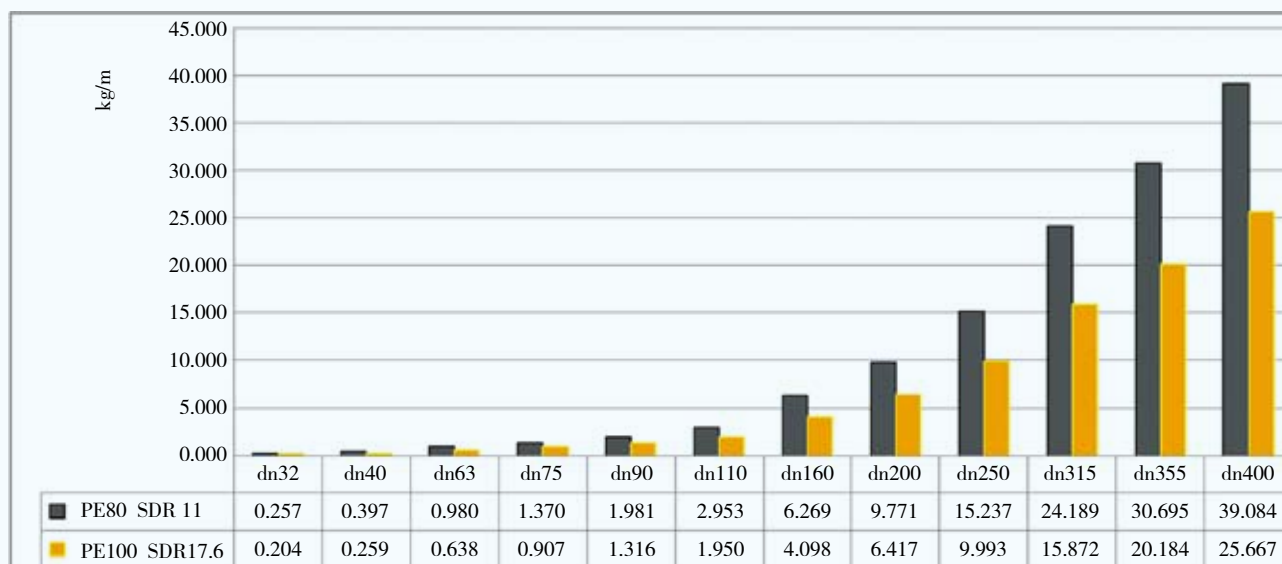


图3 PE管道的使用规格及单位长度重量

表1 PE100/ PE100-RC和PE80的物理力学性能比较

No.	项目	单位	参数	PE100-RC	PE 100	PE 80	ISO 4437: 2007
1	密度	kg/m ³	23℃	950 (混配料)	950 (混配料)	940 (混配料)	≥930 (基础树脂)
2	熔指 MFR	g/10 min	190℃/5kg	0.3	0.3	0.9	不超过标称值 ± 20%
3	氧化诱导时间 (热稳定性OIT)	Min	200℃	> 20	> 20	> 20	> 20
4	挥发分	mg/kg		≤350	≤350	≤350	≤350
5	水分含量	mg/kg		≤300	≤300	≤300	≤300
6	颜料/碳黑分散	级		≤3	≤3	≤3	≤3
7	燃气冷凝液相容性	h	80℃/2MPa	≥20	≥20	≥20	≥20
8	耐快速开裂 (临界压力, p _c) (e≥15mm)	MPa MPa	0℃	P _{c,t} ≥2MPa	P _{c,t} ≥2MPa	P _{c,t} ≥1.5 MOP p _c =3.6p _{c, s4} +2.6	P _{c,t} ≥1.5 MOP p _c = 3.6 p _{c, s4} +2.6
9	混配料分级	MPa	σ _{LPL}	σ _{LPL} =10.353	σ _{LPL} =10.77	σ _{LPL} =8.25	PE 100: σ _{LPL} ≥ 10.0 PE 80: σ _{LPL} ≥ 8.0
10	焊接相容性	Dn110 SDR11	热熔对接	韧性 - 通过 脆性 - 失败	韧性 - 通过 脆性 - 失败	韧性 - 通过 脆性 - 失败	韧性 - 通过 脆性 - 失败
11	耐慢速裂纹增长 管材切口试验 NPT (en > 5mm)	h	PE 80 0.8 MPa PE 100 0.92MPa 80℃	> 8 760 h	>1 500 h	> 500	> 500
12	耐慢速裂纹增长 锥体试验CT (en ≤ 5mm)		(80℃; 2% Arkopal N-100)	≤ 1mm/15d	-	-	≤ 10mm/24h
13	耐慢速裂纹增长 点载荷试验/PLT	h	(80℃; 4 Mpa; 2% Arkopal N-100)	> 8 760 h	-	-	-
14	耐慢速裂纹增长 全切口蠕变试验 FNCT	h	(80℃; 4 Mpa; 2% Arkopal N-100)	> 8 760 h	>1 000 h	>200 h	-
15	热老化试验			> 20℃/100 年	-	-	-

注：本表中PE80以道达尔3 802 YCF、PE100以道达尔XS10 Orange、PE100-RC以道达尔XSC50 Orange参数为参考。

相对于标准的沙床回填技术安装，无沙床法可直接节约10%~20%的费用。尽管管材直接费用稍高些，非传统管道安装技术通常由于土方工程减少和无需路面恢复，可节约更多，有些项目中甚至可节约50%的费用。

5.2 社会效益和绿色环保效益

当今，全世界大约29%的温室气体排放是因为使用工业、建筑业和运输业使用石油和天然气造成。在当今经济挑战和发展下，考虑环境问题，很多地区的

政府和客户都在改变，不断强调减少资源使用和减少对环境的影响。如最近，香港地区政府就开始了对于碳排放（CARBON FOOTPRINT）的审核，促进地区绿色产业的进步和使用。毫无疑问，PE管道相对于传统的球墨铸铁管、钢制管道，其碳排放水平和对环境的影响更低。

由于PE 100-RC材料的特殊耐开裂性能，用其生产的管材可以在安装时，沟槽内可以没有沙床（传统管材安装时沙床则为标准要求）或实现非开挖施工，

这样沟槽开挖和运输这些沙子或土壤所需的基本能量显著减少,相对于传统的PE100材料,从而进一步减少碳排放至少10%,减少对资源的消耗和降低对环境的影响。

同时,PE100-RC管道材料100年的设计使用寿命对于燃气公司来说,更能为企业和社会带来长久安全、社会效益和长远价值。

注:ISO14020标准是ISO颁发的与环境标志有关的一系列环境管理标准,目前已颁布了ISO14020《环境标志和声明 通用原则》;ISO14021《环境标志和声明 自我环境声明(II型环境标志)》;ISO14024《环境标志和声明 I型环境标志 原则和准则》;我国都已转化为国家标准。

6 关于PE100-RC管道的焊接

作为高密度PE100-RC材料,其保留了PE100级管道的焊接性能,从其熔指/MFR可以看出,0.3 g/10 min(190℃/5kg)是目前主流PE100管道材料的指标,完全可以和现有的PE100管道的互焊接,这也在实际项目和测试中得到了验证。由于其仍然是高密度的PE管道材料,其所需要的焊接设备,焊接工艺与目前的PE100管道系统相同。

7 PE100-RC管道在国内的应用

PE100-RC材料由于其优异的耐慢速裂纹增长性能,在市场上得到了用户的关注;在国内也在逐步推广应用当中,如深圳燃气集团及其下属分公司在2011年底试用后,2012年已经全面应用PE100-RC橙色材料生产的燃气管道;武汉天然气公司也于2013年开始使用PE100-RC橙色燃气管道;港华燃气、广州燃气、泰能燃气等燃气公司也在测试和试用中。一些水务公司在认识到材料的优越性后,也用于非开挖施工领域,以保证管道系统的安全。

国内一些领先的燃气PE管道生产企业已经完成和正在进行型式检测,包括8760h/1年的管材切口试验,在德国Hessel实验室进行的FNCT-ACT试验,都得到了非常好的测试结果;相应的管件制品已开发并应用于国内的燃气管道中。以PE100-RC为原料的蓝色管道产品应用于给水管道及地源热泵管道系统,还有知名的复合管道生产企业将其应用于石油复合管道系统(RTP),用于石油等工业流体输送。

相信随着国内管道生产企业和用户对于质量和安全意识的提高,相关标准及规范的制定,PE100-RC材料将更广泛的应用于PE压力管道领域,促进行业进步,提高安全质量。

企业管理消息

金鸿燃气助力万全县天然气利用

为深入贯彻落实市政公用事业管理局下发的关于《发展两个环境大讨论方案》的决策部署,张家口亚燃压缩天然气有限公司积极推进天然气行业的发展,2013年8月19日上午11时18分,万全县金鸿天然气有限公司正式揭牌成立,标志着万全县经济开发区与张家口市产业集聚区天然气利用项目全面启动。

为填补万全县经济开发区与张家口市产业集聚区天然气使用的空白,使两园区能够早日使用上清洁、环保的天然气,该公司将全力推进万全县清洁能源的利用项目,计划在万全县经济开发区内建设

LCNG复合加气站一座,市产业集聚区建设CNG标准站一座,敷设两园区内的燃气管网及附属配套设施,总长约为43km,总投资9 000余万元。

发展县区燃气事业对完善县区功能、改善县区环境、提高生活质量、建设环境友好型城区具有重要意义。万全县金鸿天然气有限公司将强化企业管理,保障供气安全,提高服务质量,努力实现县区燃气可持续发展,将清洁能源项目打造成万全县精品项目。

(王金环)