

(第二版)

城镇燃气聚乙烯(PE)

输配系统

中国城市燃气协会

中国建筑工业出版社

城镇燃气聚乙烯(PE)输配系统

(第二版)

中国城市燃气协会

中国建筑工业出版社

图书在版编目 (CIP) 数据

城镇燃气聚乙烯 (PE) 输配系统/中国城市燃气协会编. —2 版. —北京: 中国建筑工业出版社, 2011.9
ISBN 978-7-112-13534-9

I. ①城… II. ①中… III. ①城市燃气—聚乙烯塑料—天然气管道—天然气输送 IV. ①TU996.6

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2011) 第 185849 号

本书详细讲解了燃气用聚乙烯管材、管件、阀门等的质量要求及检验、识别方法; 聚乙烯燃气输配系统的设计理念及设计中常见问题的解决方法; 聚乙烯燃气管网的施工机具、工艺、质量控制及试验、验收; 聚乙烯燃气输配系统的运行管理及抢修技术。全面反映聚乙烯燃气输配系统在国内外最新发展及应用情况, 以及先进的技术和管理方式。本书的修订工作除所有原作者参与外, 又增加 8 名新作者, 内容上增加了部分章节, 同时重点增加了典型案例, 进一步增强了实用性和可读性。

* * *

责任编辑: 张文胜 姚荣华

责任设计: 张 虹

责任校对: 赵 颖 刘 钰

城镇燃气聚乙烯 (PE) 输配系统

(第二版)

中国城市燃气协会

*

中国建筑工业出版社出版、发行 (北京西郊百万庄)

各地新华书店、建筑书店经销

北京天宇万达印刷有限公司制版

北京凌奇印刷有限责任公司印刷

*

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 21¹/₄ 插页: 2 字数: 526 千字

2011 年 10 月第二版 2011 年 10 月第二次印刷

定价: 49.00 元

ISBN 978-7-112-13534-9

(21295)

版权所有 翻印必究

如有印装质量问题, 可寄本社退换

(邮政编码 100037)

本书编委会

编委会主任：王天锡

编委会副主任：迟国敬

编委会委员：

周昌熙 姜正侯 汪隆毓 陈排惠 常志成

孙铁庄 李汉云 钱国庆 元永泰 李永威

主 编：马长城 李长缨

副 主 编：孙铁桩 梁志刚

参加编写人员：

于计俊 王志伟 赵海深 邹丽君 谢延石

危迎春 吴 源 贡爱国 何健文 冯伟章

张应伦 温永升 黄伟杰 黎锦图 黄雅惠

许岳明 马万科

序

近年来随着陕京管线、靖西管线、涩宁兰管线、忠武管线、“西气东输”一线、二线等工程的相继投产，为我国城镇燃气大发展创造了条件，也进一步带动了国内聚乙烯（PE）燃气管道行业的高速发展。

聚乙烯（PE）燃气管道具有使用寿命长、耐腐蚀、柔韧性好、抗震性好、重量轻、施工方便等优势，具有节能、节水、节地、节材的“四节”特点，是城市埋地燃气输送管道的首选。国内外一些原料生产企业的不断研发创新，原料产能和规模不断扩大，尤其是高性能 PE 材料的推出，改善了原有管材的一些性能指标，使 PE 在燃气系统的应用领域进一步扩展。国内一批 PE 燃气管道骨干生产企业重视新产品的开发和新技术的引进，努力加强质量管理，带动了行业整体水平的提升。国内燃气行业除上海燃气、北京燃气、天津燃气、重庆燃气、深圳燃气、成都燃气、贵州燃气等特大型燃气企业外，还形成了港华、新奥、华润、中燃、昆仑五大燃气集团，行业集中度增大，规模化经营、品牌化经营效果明显。这些企业重视 PE 燃气系统的质量控制，制订和采用高于国家标准的企业标准，采用抽查和现场监造等形式，对保证燃气 PE 管道高质量、规范行业行为起到了很好的作用。我国燃气 PE 输配系统产品标准、测试方法标准、施工规范等已起草完成并颁布实施，同时制修订了一批相关基础标准和方法标准，对产品质量、施工技术及应用起到了良好的规范和引导作用。另外，除 PE 管材外，PE 管件等燃气系统整体配套性也逐步完备，多种敷设技术、非开挖工艺及抢修技术等也有了很大进步。

但是，个别 PE 燃气管道生产企业的质量意识、诚信意识、品牌意识、服务意识不强，导致市场上 PE 燃气管材质量水平参差不齐。如有的企业使用低档的加工设备、采用非燃气专用料、不合格原料等方式降低成本，低价竞争，给城市燃气安全留下了严重隐患。另一方面，有的设计、施工、运行管理人员对 PE 燃气管道的特性缺乏很好的了解，又未接受专业技术培训，不能在燃气工程选用合适的 PE 管材，在实际操作中沿袭金属管方法进行施工和运行管理，存在不规范施工、野蛮施工等现象。中国城市燃气协会根据广大读者的要求再次组织有关专家、工程技术人员全面修订 2006 年出版的《城镇燃气聚乙烯（PE）输配系统》，全面反映国内外近几年此项技术的最新发展、应用情况和趋势，目的是进一步提高全行业对 PE 材料的认知水平，并规范 PE 燃气系统在生产、加工、设计、运行、维护和管理等各环节的行为，将好东西用好。

“十二五”期间仍将是 中国城镇化发展时期，PE 燃气管道生产量将保持在 15% 左右的增长速度，到 2015 年，预计 PE 燃气管道产量接近 26 万 t，城镇燃气管道 70% 以上将采用 PE 管材，发展前景广阔。衷心希望 PE 原材料生产企业、管道生产企业、广大燃气企业以及燃气设计、施工企业的负责人和工程技术人员能认真学习 PE 燃气管道的技术知识，并采取措施，加强行业自律，完善质量保证体系，加强工程质量意识，规范市场行为，齐心协力共同保障聚乙烯（PE）燃气输配系统在我国健康发展，同时也希望 PE 燃气管材原

料供应企业、管材生产企业和作为最终用户的燃气企业加强交流与合作，上中下游协调发展，互相促进，实现各环节的多赢和健康发展。

谨向为此书的编写提供支持和帮助的单位和个人表示谢意！

中国城市燃气协会理事长

王天阳



2011 年 9 月

第二版前言

2006年中国城市燃气协会组织编写了《城镇燃气聚乙烯(PE)输配系统》一书,由中国建筑工业出版社出版。该书出版后,受到燃气行业广大读者的欢迎,很多城镇燃气企业、PE施工单位更将此书作为培训教材和实用工作指导书,导致该书脱销,纷纷要求再版。为此我协会与该书原参编单位商议,认为近几年PE技术有了很大提高和突破,应用范围更为广阔,相关法规和技术标准有了很多变化,很有必要对原书内容进行相应的充实与修订。在修订中必须全面反映聚乙烯(PE)燃气输配系统在国内外的最新发展、应用情况,以及先进的技术和管理方式。于是协会成立了修编协调组和编写委员会,确定了修编原则、大纲和编写人员。本书的修订工作除原作者参与外,又增加了8名新作者,内容上增加了部分章节,同时重点增加了典型案例,进一步增强了实用性和可读性。

本书系统论述了聚乙烯(PE)特性、管材、管件、阀门的生产、系统设计、施工及验收、运行管理、旧管更新与修复等燃气聚乙烯(PE)输配系统各个环节中的关键技术和难点,并结合实例进行阐述与说明。此书的再版对提高我国燃气行业对聚乙烯材料的认知水平,规范聚乙烯生产、加工、设计、运行、维护和管理等各环节的行为,保障供气安全,促进节能减排,保障人身、财产及公共安全都具有重要作用。

本书是从事城镇燃气行业人员系统学习和掌握燃气聚乙烯(PE)输配系统的培训教材,是城镇燃气企业、设计单位、施工单位及监理单位工程技术人员的实用工作指导书和继续教育材料,可供给水排水行业参考,也可作为有关大、专院校师生的学习参考用书。

本书由马长城、李长缨担任主编。绪论由于计俊编写;第一章由邹丽君、危迎春编写;第二章由王志伟、吴源、赵海深编写;第三章由何健文编写;第四章由贡爱国、谢延石编写;第五章由黎锦图编写,第六章由冯伟章编写。其他参与编写的人员还有:黄雅惠、许岳明、马万科、温永升、张应伦、黄伟杰。

在本书编写过程中,中国城市燃气协会理事长王天锡、秘书长迟国敬全面负责,先后三次组织修编人员共同讨论和修改。周昌熙、姜正侯、汪隆毓、陈排患、元永泰、刘诚等6位燃气界的前辈,用他们广博的学识和经验,以科学严谨的态度对本书逐章逐节地进行了指导、建议和修改。汪隆毓专家更是对本书倾注了大量心血。在此协会领导和所有编写人员对这6位燃气界专家的辛勤工作表示敬意和感谢!

亚大塑料制品有限公司、香港中华煤气有限公司、余姚市河姆渡庆发实业有限公司为本书编写在人力、财力上给予了鼎力支持,在此表示衷心的感谢!

北京市燃气集团有限责任公司、成都城市燃气有限责任公司、深圳市燃气集团股份有限公司、杭州市燃气(集团)有限公司、郑州华润燃气有限公司、重庆燃气(集团)股份有限公司、西安秦华天然气有限公司、青岛泰能燃气股份有限公司、中裕(河南)能源控股有限公司以及博禄公司的王欣女士、道达尔石化公司的赵启辉先生等对本书编写给予了大力

帮助，在此一并表示感谢！

本书难免存在错误不妥之处，请广大读者予以指正。

中国城市燃气协会

2011 年 9 月

第一版前言

自 20 世纪 70 年代以来,聚乙烯 (PE) 材料以其优越的性价比,从众多的非金属管道材料中脱颖而出,受到世界各国燃气界的青睐,很快占领了城市燃气中压输配系统的市场,并形成了原料、加工、设计、施工、运行、维护完整的产品体系。同时,还陆续制订了相关的标准、规范、试验方法,开发了专用的机具、设备,构成了完整的聚乙烯 (PE) 燃气输配系统的技术标准体系。近年来,随共聚技术及双峰工艺的开发,聚乙烯 (PE) 材料性能得到明显提高,已成功进入城市次高压燃气输配系统。

我国近年来随着陕京管线、靖西管线、涩宁兰管线、忠武管线,尤其是“西气东输”管线等工程的相继投产,进一步带动了聚乙烯 (PE) 燃气管道的发展。

目前,全国生产燃气用聚乙烯 (PE) 管材、管件、阀门等的厂家已由最初的十几家迅速发展到了 300 余家,为各地燃气公司的选购提供了更大的空间。但蜂拥而上的燃气用聚乙烯 (PE) 制品生产厂良莠不齐,有的工艺技术设备能力还不能满足生产燃气用制品要求,更有的缺乏诚信,以非燃气专用料生产燃气用制品,以不正当的销售手段扰乱市场秩序,致使在招标采购中“优汰劣胜”的不正常现象时有发生,给城市燃气安全留下了严重隐患。另一方面,目前从事城市燃气行业的技术、管理和决策人员对聚乙烯 (PE) 特性知之不多,对制品的识别能力不强,在聚乙烯 (PE) 燃气系统设计、运行、维护和管理等方面缺乏经验,只能参照和沿用过去所熟悉的钢管、铸铁管网的技术和管理方式,这在很大程度上限制了聚乙烯 (PE) 管材优势的发挥,甚至在应用中还出现了一些问题。在这种形势下,中国城市燃气协会组织有关专家、工程技术人员进行了大量的调研,在国内、外行业专家和有关单位的帮助支持下,历时一年多编写了此书。

中国城市燃气协会认为,应尽快提高全行业对聚乙烯 (PE) 材料的认知水平,扬长补短,并规范聚乙烯 (PE) 生产、加工、设计、施工、运行、维护和管理等各环节的行为。希望本书的出版能为提高我国聚乙烯 (PE) 材料的应用水平,保障聚乙烯 (PE) 燃气输配系统在我国的健康发展起到积极的促进作用。

谨向为此书的编写提供支持和帮助的单位、个人及国外行业机构表示谢意!

中国城市燃气协会理事长

周昌熙

2006.8

目 录

绪 论	1
第一章 燃气用聚乙烯 (PE) 混配料的物理化学和力学性能	5
第一节 聚乙烯 (PE) 原料的合成	5
第二节 聚乙烯 (PE) 的力学特性	16
第三节 长期静液压强度	20
第四节 耐快速裂纹扩展	28
第五节 耐慢速裂纹增长	37
第六节 其他性能	42
第七节 燃气用聚乙烯 (PE) 混配料	57
第二章 聚乙烯 (PE) 燃气管材、管件和阀门	73
第一节 聚乙烯 (PE) 燃气管材的生产	74
第二节 聚乙烯 (PE) 燃气管材的质量标准及检验	79
第三节 管件制造	87
第四节 管件质量标准和检验	93
第五节 钢塑转换的生产、质量标准及检验	104
第六节 聚乙烯 (PE) 球阀的生产	113
第七节 球阀的质量标准和试验	117
第三章 聚乙烯 (PE) 燃气输配系统的设计	126
第一节 概述	126
第二节 材质与规格	129
第三节 结构计算	132
第四节 寿命设计	145
第五节 水力计算	146
第六节 在不同种类燃气中的应用	151
第七节 管道布置	152
第八节 管道的保护设计	156
第九节 阀门选择及设置	160
第十节 不同材质与规格的兼容性	161
第十一节 应注意的若干具体问题	162
第十二节 某小区按使用聚乙烯 (PE) 管与使用钢管分别进行设计的示例	167
第四章 聚乙烯 (PE) 燃气输配系统的施工及验收	172
第一节 施工准备	172
第二节 热熔对接	177

第三节 电熔连接	199
第四节 施工工具	209
第五节 直埋敷设	216
第六节 非开挖敷设	222
第七节 试验与验收	227
第八节 施工质量管理案例	240
第五章 聚乙烯 (PE) 燃气输配系统的运行管理	251
第一节 置换与投产	251
第二节 日常维护管理	253
第三节 带气作业	265
第四节 抢修	278
第五节 香港中华煤气聚乙烯 (PE) 管网运行管理体系的案例介绍	284
第六章 聚乙烯 (PE) 管在旧管道更新与修复中的应用	289
第一节 聚乙烯 (PE) 管道与非开挖敷设管道技术	289
第二节 插入管法更新旧管道	291
第三节 缩径内衬修复旧管道	297
第四节 U 形内衬修复旧管道	305
第五节 裂管法更新旧管道	311
第六节 聚乙烯 (PE) 波纹管内衬法	319
附 录	321
附录一 相关标准	321
附录二 符号及缩略语汇总表	326
参考文献	327

绪 论

材料是人类生产和生活所必需的物质基础，材料、信息、能源并列为现代技术的三大支柱。当今社会生产、生活已进入金属、高分子、陶瓷和复合材料共存的大材料时代，高分子科学作为材料科学的重要基础将人类社会文明推进到了当今以合成材料包括高分子材料为特征的新阶段。科学研究证明，所有的固体材料都是由质点（原子、离子、原子团、分子等）结合而成，并因其排列方式（有序为晶体，无序为非晶体）和结合键（金属键、离子键、共价键、分子键）不同，其诸多特性也各异。燃气用聚乙烯（Polyethylene，简称 PE）专用料就是以碳原子为主的共价键结合且有序排列居多的高分子化合物材料；而常用的金属材料是以金属原子为基本质点，以金属键相结合，以有序排列的金属晶体所构成的材料；两者由于质点间结合键组成不同，因而表现出理化、力学、加工工艺性能有很大差异，特别是熔点、弹性模量、强度模量和耐热性等性能。鉴于燃气输配工程的使用要求，针对高分子合成材料聚乙烯（PE）的特性，经过多年的实践，特别是“双峰”聚合工艺的出现，提高了聚乙烯（PE）的相关性能，在一些领域逐步替代了传统的金属材料，并随着燃气事业的发展，形成了比较完善的燃气用聚乙烯（PE）专用料。

聚乙烯（PE）广泛应用于日常生活器具、薄膜、电缆、通信、管材等领域，已经成为当今用量最大的通用塑料之一。聚乙烯（PE）压力管道需综合考虑工作压力、寿命、使用环境、加工工艺性等诸多因素。自 1933 年英国 ICI 发明聚乙烯（PE）以来，聚乙烯（PE）压力管道的发展大致经历了三个阶段：第一阶段从 20 世纪 50 年代到 70 年代末，为第一代聚乙烯（PE），相当于现在的 PE 63 及以下等级的聚乙烯（PE）材料，在这阶段仅考虑了聚乙烯（PE）50 年的承压能力，只能称为压力管道。第二阶段从 20 世纪 80 年代初到 80 年代末，为第二代聚乙烯（PE），相当于现在的 PE 80 级材料，不仅提高了 50 年内的承压能力，而且要保证寿命期内的耐慢速裂纹增长性能，可称为“长寿”压力管，较好地满足了燃气管道特性的要求，因此它较快占领了燃气管道市场。法国 1970 年开始使用聚乙烯（PE）管，1980 年以后在中低压燃气输配管网的建设中完全取代了钢管。英国 1969 年开始使用聚乙烯（PE）燃气管，至 1991 年共铺设 16mm~500mm 的聚乙烯（PE）燃气管 18.5 万 km。第三阶段从 20 世纪 90 年代初至今，为第三代聚乙烯（PE）。1989 年具有双峰结构的 PE 100 材料问世，进一步提高了 50 年内的承压能力和耐慢速裂纹增长性能，还具有优异的耐快速裂纹扩展性能，可称为“安全长寿”压力管，大大推进了聚乙烯（PE）管材在燃气输配领域的应用。近年来又研发了耐慢速裂纹增长性能更优异的 PE 100-RC 材料、低流垂的 PE 100 材料等。

我国燃气用聚乙烯（PE）管道起步于 20 世纪 80 年代初。国家科委下达的“75-35-02-09”高密度聚乙烯（HDPE）燃气管道专用料研制和加工应用技术科技攻关项目为我国开发应用聚乙烯（PE）燃气管拉开了序幕，整个研究开发历时十余年。在此期间，1982 年美国菲利普公司在上海曹阳三村试铺了 440m 用于低压人工煤气的聚乙烯（PE）

管道, 1987 年香港中华煤气开始使用聚乙烯 (PE) 管, 1988 年英国和 1989 年法国用各自的技术和管材在北京分别建设了燃气聚乙烯 (PE) 工程示范小区。与此同时, 建设部也在成都、深圳、哈尔滨试用国产聚乙烯 (PE) 管材、管件进行布点试验, 这些是我国应用燃气聚乙烯输配系统的有益尝试, 取得了宝贵的资料和经验。为规范和促进燃气用聚乙烯 (PE) 管道的应用, 1995 年国家标准《燃气用埋地聚乙烯管材》(GB 15558.1)、《燃气用埋地聚乙烯管件》(GB 15558.2) 和行业标准《聚乙烯燃气管道工程技术规范》(CJJ 63—95) 发布实施, 聚乙烯 (PE) 燃气管在我国进入推广实用阶段。随着我国城镇化水平不断提升及天然气行业的大发展, 聚乙烯 (PE) 燃气管道得到了普遍应用, 同时国家标准和规范也得到了更新和完善, 修订了国家标准《燃气用埋地聚乙烯 (PE) 管道系统 第 1 部分: 管材》(GB 15558.1—2003), 《燃气用埋地聚乙烯 (PE) 管道系统 第 2 部分: 管件》(GB 15558.2—2005), 《聚乙烯燃气管道工程技术规范》(CJJ 63—2008), 新制定了《燃气用埋地聚乙烯 (PE) 管道系统 第 3 部分: 阀门》(GB 15558.3—2008), 《燃气用聚乙烯管道系统的机械管件 第 1 部分: 公称外径不大于 63mm 的管材用钢塑转换管件》(GB 26255.1—2010), 《燃气用聚乙烯管道系统的机械管件 第 2 部分: 公称外径大于 63mm 的管材用钢塑转换管件》(GB 26255.2—2010)。同时制定和修订了一系列相关基础标准和方法标准, 进一步规范和促进了聚乙烯 (PE) 燃气管道发展。据不完全统计, 1996 年城市燃气聚乙烯 (PE) 管总长度仅 471km, 只占城市燃气管网总长度的 0.86%, 2008 年我国城市燃气聚乙烯 (PE) 管道总长度增长至 9 万 km, 占管网总长度的比例也增长到 36%。输送介质包括天然气、液化石油气、人工煤气, 常用管径从 $dn\ 32$ 至 $dn\ 315$, 发展到目前应用的最大管径为 $dn\ 560$, 最大工作压力也由 0.4MPa 提高至 0.7MPa。近年来, 我国已引进国外工艺技术生产 PE 80 级或相当于 PE 100 级聚乙烯管道用材料, 但生产厂家不多、专用料牌号较少、质量欠稳定, 相信随着技术创新和燃气管道市场的发展, 将会逐步缓解完全依赖进口专用料的局面。

我国燃气用聚乙烯 (PE) 管道的标准体系以国际标准为依据, 借鉴了欧洲生产工艺路线和质量保证体系的基本精神及技术要求, 其生产、检测和质量控制装备都是沿用欧洲的技术路线。标准和生产工艺、装备、检测和质量控制系统是一致的, 其中要求生产聚乙烯 (PE) 燃气管材、管件的原料必须是混配料。绝大多数生产厂家都能按照标准进行生产销售, 但是也有个别生产厂家忽视了上述的一致性, 简单地模仿以美、日为代表的用基础树脂和含有多种助剂的色母粒 (简称白+黑) 的方式生产管道, 由于缺乏专用的高效混合设备及其相应的技术、标准支持, 其制品的质量很难得到保证。为保证聚乙烯 (PE) 燃气输配系统的高质量及安全性, 在中国城市燃气协会的支持下, 北京市燃气集团有限责任公司、香港中华煤气有限公司、成都城市燃气有限责任公司、深圳市燃气集团股份有限公司、广州市煤气公司在 2008 年自发组织成立了城镇燃气用聚乙烯 (PE) 输配系统质量控制小组 (简称 G5+质量控制小组), 制定了 G5+小组质量要求, 对聚乙烯产品及生产厂家提出了更高要求, 并采取有效措施, 实施质量监控, 杜绝假冒伪劣, 对聚乙烯 (PE) 燃气输配系统的健康发展起了一定的促进作用。

聚乙烯 (PE) 管道系统具有优良的抗震性能。1995 年 1 月 17 日日本神户发生 7.3 级大地震, 水、电、煤气、公路、铁路、港湾都遭到严重破坏, 在灾区恢复重建时发现聚乙烯 (PE) 管道是唯一没有造成大规模损坏的管道。2008 年 5 月 12 日汶川发生 8.0 级大地

震,整个四川受灾地区水、电、气都受到严重影响。都江堰市距离震中仅 18 km,水、电、气完全中断。据都江堰集能燃气有限公司统计,钢管总长度 247km,出现两处拉裂漏气;聚乙烯(PE)管总长 360km,没有发生断裂漏气现象,输配系统基本完好,3d 后即局部恢复供气。四川德阳天然气公司 300km 多的钢管在地震中也发生了拉断泄漏现象,但 100 多 km 的聚乙烯(PE)管道在地震中基本无损坏。另外,成都燃气、绵阳燃气和广元燃气均未发现聚乙烯(PE)管道受损情况,以上调查证明虽然钢管与聚乙烯(PE)管均具有良好的抗震性能,但聚乙烯(PE)管的抗震性能更好。

聚乙烯(PE)管道具有节能、节水、节地、节材的“四节”特点。聚乙烯(PE)管道的生产和应用均无污染,生产耗能相对较低,光滑的内壁可减少输气中的压力损失,使用寿命可达 50 年以上,为环境友好型材料,符合国家节能减排和循环经济产业政策。新开发的 PE 100-RC 材料,具备良好的点载荷性能,耐划伤,其抗开裂性能比普通 PE 100 高很多倍,不仅可以满足非开挖敷设的苛刻要求,尤其适用于无砂敷设,可节省施工费用,经济性良好。第十四届塑料管道会议上提供了一个无砂敷设效益的计算,假定每年 1 万 t 塑料管采用无砂敷设,可以减少 100 万 t 砂的用量,这需要 25t 卡车运输 4 万车次,按平均运距 25km 计算,年运输距离 200 万 km,每年就可以少排放 10 万 t 二氧化碳。

经国内外长期反复实践表明,聚乙烯(PE)燃气管具有其独特的优越性:使用寿命长,可达 50 年以上;耐腐蚀性能强,具有非常优异的耐化学性;柔韧性好,能适应较大的管基不均匀沉降和优良的抗震性能;重量轻,连接方便,有利施工;低摩阻,运行能耗低等。当然,聚乙烯(PE)燃气管与金属管相比较还存在强度低、易受温度影响、抗冲击性能差等缺点。我国城市燃气应用已有一百多年的历史。在用服役期限超过 30 年的管线约 3 万多公里,处于事故多发期,已成为严重的安全隐患,迫切需要修复更新。非开挖修复更新技术中将大量采用聚乙烯(PE)管材。城市管理也要求更多地采用非开挖方式敷设燃气管道。高性能的 PE100 材料(如超韧 PE 100-RC 材料)、多层复合聚乙烯(PE)管等能更好地满足非开挖技术的要求。聚乙烯(PE)燃气管道的应用是一个系统工程,对于系统安全而言,设计与材料是根本,施工是保障,运行是关键。工程设计应从高分子材料系统理念的角度,扬长避短,充分发挥聚乙烯(PE)材料独特的优势,采取相应的技术措施规避其弱点。管材、管件生产企业应严格按照产品标准要求组织生产,具备完善的试验检测手段并对产品进行检测试验,确保产品质量。施工单位应编制施工组织设计,施工人员严格按工艺操作,确保工程质量。聚乙烯(PE)管道的机械强度较低,容易受到外力破坏,燃气企业应加强管道的维护,采取有效措施防止第三方损坏。

为应对全球气候变暖,减少碳排放,国家在“十二五”规划中明确提出了优化能源结构、实现节能减排的目标,这必将带来天然气消费的持续增长。1999 年,天然气在国内一次能源中仅占 1%,但其后我国天然气生产与消费每年都保持两位数递增;2010 年,我国天然气消费总量为 968 亿 m^3 ,占一次能源的 3.7%。预计到 2015 年,天然气消费将近 2200 亿~2600 亿 m^3 ,占一次能源的 8%左右,到 2020 年提高到 10%。天然气消费的高增长必将为燃气聚乙烯(PE)输配系统提供广阔的发展空间。石油化工的兴起为高分子材料工业提供了丰富的原料,促进了高分子工业向大型化、高效化方向发展。主构规整性高分子配位整合技术的发展,使合成的高聚物具有更佳的性能,促进了高分子科学成为一门多学科交叉的新体系科学。我国的“863 规划”和“973 计划”都将此列为重点研究项

目，以期在多门学科协作下从聚合技术、结构性能和成型加工等方面研发智能高分子材料、环保高分子材料和纳米结构性能优异的高分子材料等。有理由相信，随着我国天然气产业的快速发展，燃气用聚乙烯（PE）输配系统将会迈上新的台阶。

第一章 燃气用聚乙烯 (PE) 混配料的物理化学和力学性能

第一节 聚乙烯 (PE) 原料的合成

1 聚乙烯 (PE) 的合成

乙烯 (C_2H_4) 在特定温度、压力、引发剂或催化剂的共同作用下, 原子间不饱和的双键被打开, 而数万、数十万个乙烯的碳原子连接成一个长长的、新的大分子, 这个过程称为聚合反应。作为原料的乙烯称为单体, 新的大分子就是聚乙烯 (PE) 基础树脂。图 1-1 是聚乙烯 (PE) 分子的结构示意, 从图中可以看出, 聚乙烯 (PE) 大分子是由许多个结构单元 $-CH_2-CH_2-$ 组成的。不同的聚乙烯 (PE) 大分子可能在结构单元的几何排列方式和结构单元数上会有所不同。

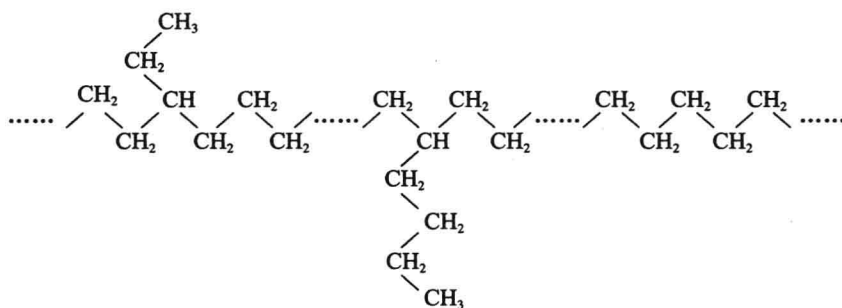


图 1-1 聚乙烯 (PE) 分子的结构示意

聚合反应如图 1-2 所示。乙烯的分子量是一个定值, 但聚乙烯 (PE) 大分子的分子量不是一个定值, 与其结构单元数 n 有关; 随着结构单元数 n 的增加, 分子量也随之增加。因此, 通常所说的聚乙烯 (PE) 材料, 其实是由许多分子量大小不同的大分子组成, 其分子量是一个平均值的概念。

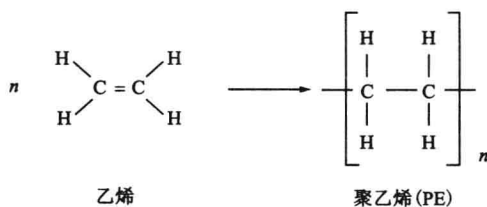


图 1-2 乙烯聚合反应示意

聚合反应是通过催化剂和聚合工艺条件的影响来调控聚乙烯 (PE) 的分子量及其分布的, 最终得到不同结构和性能的聚乙烯 (PE) 大分子。由乙烯聚合而得到的、最长的那条分子链常被称为主链, 主链以外的其他分支则称为支链 (或侧支链)。主链上有无支链以及支链的长短都会对聚乙烯 (PE) 的性能产生不同的影响。

为改进聚乙烯 (PE) 的性能, 聚合反应中也可以加入另外的烯烃单体, 称为共聚单体, 如 1—丁烯、1—己烯等, 所得到的产品称为共聚物 (同种单体聚合时, 形成的是均聚物)。它与在碳钢中加入少量合金元素以冶炼出性能更好的合金钢的技术路线非常相似。

乙烯作为聚乙烯 (PE) 的单体, 主要来自石油和煤炭。20 世纪 50 年代以前主要是煤炭, 后来逐渐转变为石油, 当前石油化工是最重要的乙烯合成原料来源。

乙烯的聚合有以下三种技术路线:

1.1 高压聚合法

在压力为 100~300MPa、温度为 150~300℃ 的条件下, 使用氧气或过氧化物为引发剂, 使乙烯聚合得到的是低密度聚乙烯 (LDPE)。通过改变温度、压力、催化剂的种类和用量, 可不同程度地改变聚乙烯 (PE) 的分子量及其分布。

1.2 中压聚合法

在压力为 2~8MPa、温度为 130~270℃ 的条件下, 使用过渡金属氧化物为催化剂, 将乙烯溶于有机溶剂中, 进行溶液聚合得到的主要是高密度聚乙烯 (HDPE)。

工业上按催化剂、载体种类的不同和聚合条件控制上的差异, 又有两种方法, 即菲利普 (Phillips) 法和标准油脂 (Indiana) 公司法, 但以前者居多。

1.3 低压聚合法

在压力为 0.1~0.5MPa、温度为 20~150℃ 的条件下, 使用齐格勒-纳塔催化剂, 使乙烯聚合得到的是高密度聚乙烯 (HDPE)。

通过采用不同种类和浓度的催化剂, 改变催化剂组分的配比、共聚单体类型、反应器的串联或并联和聚合工艺条件来控制分子量大小和分子量分布, 制得不同性能的聚乙烯 (PE) 树脂。还可根据用户的需要, 在后处理过程中加入不同的塑料助剂, 制得不同用途的粒料。

在绪论中已提到, 聚乙烯 (PE) 材料具有环保节能、综合性能优异的特性, 成为当今城镇燃气中低压输配系统的首选材料。燃气用聚乙烯 (PE) 通常为中密度和高密度聚乙烯 (PE), 其优良性能主要取决于聚乙烯 (PE) 高分子材料的内部结构。为此, 必须充分了解材料的内部结构与其性能间的关系, 通过控制相关环节, 确保选用质量性能优异的聚乙烯 (PE) 原料及产品, 并把这些聚乙烯 (PE) 原料和产品正确合理地应用好, 从而确保聚乙烯 (PE) 燃气输配管道系统的安全和长期寿命。

2 聚乙烯 (PE) 分子的结构与性能

聚乙烯 (PE) 由碳、氢两种元素组成, 具有可燃性, 燃烧时有石蜡味, 分子中牢固的化学键使其化学性质稳定, 表现出良好的耐腐蚀性。不论何种聚合工艺, 均可用结构简式 $-(CH_2CH_2)_n-$ 表示。其中 $-CH_2-CH_2-$ 是结构单元, n 为聚合度。可见聚乙烯 (PE) 分子是由数量众多的结构单元在空间上连接在一起所构成的长链高分子, 具有可熔