

特种设备作业人员培训丛书
国家燃气用聚乙烯管道焊工培训教材

燃气用聚乙烯管道焊工 基本知识与操作技能

主编 周国富 副主编 李茂东



华南理工大学出版社

特种设备作业人员培训丛书
国家燃气用聚乙烯管道焊工培训教材

燃气用聚乙烯管道焊工 基本知识与操作技能

主编 周国富 副主编 李茂东

华南理工大学出版社
· 广州 ·

内 容 简 介

本教材是依据国家质检总局《燃气用聚乙烯管道焊接技术规则》的要求编写的。全书重点介绍了聚乙烯材料的基本知识、焊接原理与焊接机具、焊接操作方法、焊接质量影响因素及预防措施、焊接缺陷及预防等内容,希望能对提高聚乙烯管道焊接质量有所帮助。

本教材主要用作燃气用聚乙烯管道焊工培训机构、职业技能鉴定培训机构的培训教材,也可作为技校、中职、各种短训班的教学用书,还可以作为读者自学用书。教材后附有与之配套的试题和答案,以便于读者自测自查以及焊工培训机构进行培训、考核鉴定。

图书在版编目(CIP)数据

燃气用聚乙烯管道焊工基本知识与操作技能/周国富主编. —广州:华南理工大学出版社, 2009. 5

(特种设备作业人员培训丛书)

ISBN 978-7-5623-3141-4

I. 燃… II. 周… III. 聚乙烯塑料-天然气管道-焊接-技术培训-教材 IV. TU996.7

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 062340 号

总 发 行: 华南理工大学出版社(广州五山华南理工大学 17 号楼, 邮编 510640)

营销部电话: 020-87113487 87110964 87111048 (传真)

E-mail: z2cb@scut.edu.cn

http: //www. scutpress. com. cn

总 策 划: 范家巧 赖伟彪

策划编辑: 潘宜玲

责任编辑: 徐明媛 潘宜玲

印 刷 者: 佛山市浩文彩色印刷有限公司

开 本: 787 mm × 1092 mm 1/16 印张: 11.25 字数: 288 千

版 次: 2009 年 5 月第 1 版 2009 年 5 月第 1 次印刷

印 数: 1 ~ 4000 册

定 价: 78.00 元 (含光盘)

版权所有 盗版必究

总 序

特种设备安全工作的出发点是保障安全、促进发展，确保设备作业人员的操作技能水平是特种设备安全运行最关键的措施之一。近几年，虽然我国特种设备事故发生率呈逐年下降趋势，但总体安全形势仍不容乐观。在 2006 年全国发生的特种设备事故中，因无证作业、非法使用、违章作业或操作不当引发的事故占事故总数的 54.1%。这说明设备作业人员操作技能水平对设备的安全经济运行是至关重要的。此外，提高特种设备的经济性能、使用和管理水平，也直接影响到能源的高效利用，关系到“节能发展、清洁发展、安全发展”的大局。

2009 年 1 月，国务院第 549 号文公布了修改后的《特种设备安全监察条例》，其第三十八条明确规定“特种设备作业人员应当按照国家有关规定经特种设备安全监督管理部门考核合格，取得国家统一格式的特种作业人员证书，方可从事相应的作业或者管理工作”。为加强特种设备作业人员的监督管理工作，国家质检总局颁布了《特种设备作业人员监督管理办法》，对特种设备作业人员的类别、管理等方面作了更加明确的要求。

为进一步贯彻落实国家有关特种设备操作人员监管工作的有关要求，使特种设备作业人员的培训内容更加系统化和规范化，我们组织了一批长期工作在特种设备检验第一线、具有丰富的理论和实践经验的高级专业技术人员，根据修改后的《特种设备安全监察条例》和国家对特种设备作业人员的培训要求编写了本套丛书。相信这套丛书对于提高特种设备作业人员的安全性、经济性和操作水平会起到积极的促进作用。

本丛书内容涉及特种设备管理、锅炉、锅炉水处理、锅炉节能、压力管道、燃气用聚乙烯管道焊接技术、压力容器及压力容器的快开门、空压机、制冷等方面，具有科学性、实用性和可操作性。丛书中引用了有关专家、学者的研究成果和论文资料，在此表示衷心的感谢！

组织和编写这套丛书，工作量比较大，且时间仓促，加上编者水平有限，书中欠缺和不当之处，敬请广大读者不吝赐教。

周国富

2009 年 5 月于广州

前 言

聚乙烯管道具有使用寿命长、耐腐蚀、焊接性能好、高柔韧性、流通能力强、施工速度快、经济效益好等性能。自 20 世纪 60 年代将其用于燃气输送以来，在全球燃气领域得到了迅速推广。目前在欧洲的英国、丹麦等国家普及率达 90% 以上，法国则接近 100%。随着西气东输等一系列重大工程和城市天然气输配工程的实施，聚乙烯管道在我国的应用也必将越来越广泛。

然而，由于聚乙烯管道固有的物理化学特性和在我国使用时间短、施工经验不足、检测手段缺乏等原因，聚乙烯管道焊接接口质量的有效检查手段一直缺少统一规范。因此，对聚乙烯管道施工实施有效的过程控制以提高焊接质量，成为保证聚乙烯燃气管道网安全运行的当务之急。2005 年，国家质检总局颁布实施了《燃气用聚乙烯管道焊接技术规则》，首次以部门规范的形式规范了聚乙烯管道元件制造和安装过程中的焊接工作。

本教材是依据国家质检总局《燃气用聚乙烯管道焊接技术规则》要求编写的，它从聚乙烯材料基础、焊接原理与焊接机具、焊接操作方法、焊接质量影响因素及预防措施、焊接缺陷及预防等方面来重点介绍，希望能对提高聚乙烯（PE）管道焊接质量有所帮助。

本教材主要用作燃气用聚乙烯管道焊工培训机构、职业技能鉴定培训机构的培训教材，也可作为技校、中职、各种短训班的教学用书，还可以作为读者自学用书。教材后附有与之配套的试题和答案，以便于读者自测自查以及焊工培训机构进行培训、考核鉴定。

由于水平有限，在本教材编写的过程中会有一些不足之处，恳请各位读者批评指正，以便我们再版时改正和补充，以臻完善。

编 者

2009 年 5 月

“特种设备作业人员培训丛书”

编 委 会

顾 问：高继轩 胡立义 曾小鸿

主 任：周国富

副主任：李茂东

委 员（按姓氏笔画排序）：

马博群 叶伟文 陈志刚 陈洪君

张术宽 张胜军 杨 麟 赵军明

黄玉莲 喻 文 黎 华

本书编委会

主 编：周国富

副主编：李茂东

参 编：赵 峰 郭伟灿 张术宽 叶伟文
赵军明 卢忠铭 喻 文 钟少文

主 审：段常贵

副主审：郑伟义

参 审：贡爱国 卢丹亚 许留关 王新华
赖志红 李秀怀 任冬梅 李长辉
张文霖

目 录

第一章 聚乙烯管道焊工培训的意义和要求	1
第一节 燃气用聚乙烯管道焊工培训的意义.....	1
第二节 聚乙烯管道焊接作业人员管理.....	2
第三节 焊工考核内容.....	3
复习思考题.....	6
第二章 聚乙烯管道原材料的基本知识	7
第一节 聚乙烯材料概述.....	7
第二节 聚乙烯材料的基本性能	11
第三节 聚乙烯材料相关标准体系	13
复习思考题	13
第三章 聚乙烯管材、管件、阀门技术要求	14
第一节 聚乙烯管材	14
第二节 聚乙烯管件	19
第三节 聚乙烯阀门	27
第四节 聚乙烯管材、管件和阀门的验收与储运	29
复习思考题	30
第四章 聚乙烯管道焊接技术	31
第一节 聚乙烯管道焊接的原理及分类	31
第二节 热熔对接焊的基本操作	37
第三节 电熔焊接的基本操作	41
第四节 聚乙烯管道的焊接工艺评定	44
复习思考题	49
第五章 聚乙烯管道焊接设备	50
第一节 热熔对接焊机	50
第二节 电熔连接焊机	64
第三节 焊接辅助工具	69
第四节 聚乙烯管道焊机的安全使用与维护保养	72
复习思考题	76

第六章 聚乙烯管道焊接缺陷	77
第一节 聚乙烯管道热熔焊接典型缺陷	77
第二节 聚乙烯管道电熔焊接典型缺陷	81
第三节 焊接缺陷典型案例	86
复习思考题	89
第七章 聚乙烯管道焊接质量控制	90
第一节 聚乙烯管道焊接操作基本要求	90
第二节 焊接过程质量影响因素	92
第三节 聚乙烯管道焊接的质量控制	93
第四节 焊接质量检验与评价	97
复习思考题	102
第八章 聚乙烯管道施工、抢修与质量检验	103
第一节 聚乙烯管道施工前的准备	103
第二节 聚乙烯管道施工土石方工程和管道敷设	106
第三节 聚乙烯管道的试验与验收	109
第四节 聚乙烯管道施工焊接质量检验	111
第五节 燃气用聚乙烯管道抢修安全技术	112
复习思考题	116
第九章 施工安全	117
第一节 燃气安全知识	117
第二节 静电的基础知识	120
第三节 聚乙烯管道施工用电安全	122
复习思考题	130
试题库	131
基础知识试题	131
模拟试卷	155
聚乙烯管道焊工理论考核试卷（一）	155
聚乙烯管道焊工理论考核试卷（二）	158
技能要求试题	161
一、热熔对接焊接技能试题	161
二、电熔焊接操作技能试题	163
答案	164
基础知识答案	164
聚乙烯管道焊工理论考核试卷（一）答案	167
聚乙烯管道焊工理论考核试卷（二）答案	167
参考文献	168

第一章 聚乙烯管道焊工培训的意义和要求

学习目标：了解燃气用聚乙烯管道焊工的培训意义；熟悉聚乙烯焊工相关规定；明确焊工考试的内容与要求。

第一节 燃气用聚乙烯管道焊工培训的意义

国务院 2003 年 6 月 1 日起实施的《特种设备安全监察条例》（2009 年 1 月国务院对条例进行了修订）规定的特种设备是指涉及生命安全、危险性较大的锅炉、压力容器（含气瓶，下同）、压力管道、电梯、起重机械、客运索道、大型游乐设施。其中压力管道的定义是利用一定的压力输送气体或者液体的管状设备，且其公称直径大于 25mm，其输送介质为最高工作压力大于或者等于 0.1MPa（表压）的气体、液化气体、蒸气介质或者可燃、易爆、有毒、有腐蚀性、最高工作温度高于或者等于标准沸点的液体介质。劳动部 1996 年颁布的《压力管道安全管理与监察规定》按用途把压力管道划分为工业管道、公用管道和长输管道。其中工业管道是指企业、事业单位所属的用于输送工艺介质的工艺管道、公用工程管道及其他辅助管道。公用管道是指城市或乡镇范围内的用于公用事业或民用的燃气管道和热力管道。长输管道是指产地、储存库、使用单位之间用于输送商品介质的管道。燃气用聚乙烯管道属于公用管道的范畴。

过去管材生产厂家以销售服务的形式对聚乙烯管道焊接操作人员进行焊接工艺培训，但是在市场占有率和经济利益的驱动下，难以全面控制聚乙烯管道焊工的素质，给管网的安全运行留下隐患。由于管道连接的方法操作简单，加热后用人工的方法贴合，不易将焊口破坏，致使聚乙烯管道焊接操作人员产生认识误区，忽略焊接过程中的重要细节，甚至在操作中随意更改焊接参数。

2005 年 7 月 1 日起实施的《特种设备作业人员监督管理办法》（又称国家质检总局 70 号令）对特种设备作业人员种类与项目等内容作了明确要求，其中项目目录序号 09 规定特种设备焊接作业包括承压焊、结构焊，这其中也包括了聚乙烯管道焊工，它属于特种设备作业人员的一类。

为了规范燃气用和其他流体输送用聚乙烯管道的焊接技术工作，保证其焊接质量，依据《特种设备安全监察条例》和《压力管道安全管理与监察规定》，国家质检总局于 2006 年 10 月 27 日颁布了《燃气用聚乙烯管道焊接技术规则》，从 2007 年 1 月 1 日起实施。这个规则提出了燃气用聚乙烯管道焊接技术的基本要求、焊接性能的检验内容和要求，弥补了焊工考试中缺少燃气聚乙烯管道焊工考试项目的不足。推行聚乙烯管道焊工持证上岗制度，规范聚乙烯管道焊工考核工作，对聚乙烯管道焊工进行焊接知识技能培训。不断规范焊接行为和保证焊接工程质量，是预防燃气管道安全事故的重要措施之

一，同时，规则的设定也为各级质量技术监督部门对聚乙烯燃气管道的现场施工进行有效的质量监督提供了可靠保障。

第二节 聚乙烯管道焊接作业人员管理

《特种设备安全监察条例》规定：所有从事特种设备的作业人员和相关管理人员必须经质量技术监督局考核合格后，取得全国统一的国家质量监督检验检疫总局特种设备作业人员操作资格证，方可从事相应的作业或者管理工作。聚乙烯管道焊接作业人员属于特种设备作业人员之一，也必须实行持证上岗。

国家要求从事聚乙烯管道元件制造和管道安装焊接工作的作业人员（以下简称焊工）必须取得质量技术监督部门颁发的特种设备作业人员证。焊工考试由国家质量监督检验检疫总局确定的考试机构统一组织，由焊工所在地的省（自治区、直辖市）质量技术监督部门颁发特种设备作业人员证（焊工）。焊工考试机构及其承担的考试项目，经省级质量技术监督部门同意，由国家质检总局确定。焊工考试机构应当具备相应的基本条件，建立焊工档案，包括焊工考试试卷，试件的检验与试验记录和报告，考核记录等。考试机构应当保存焊工考试试件至少6个月。

一、焊工资格分类

焊工资格分为热熔对接焊接和电熔焊接两类。热熔对接焊接项目代号为 BW - 1 和 BW - 2，电熔焊接项目代号为 EW，一般应当在 BW - 1 项目考试合格后方可申请 BW - 2 项目考试。具体焊接项目与适用范围见表 1 - 1。

表 1 - 1 聚乙烯管道焊工资格范围

焊接方法	适用范围	焊工项目代号
热熔对接焊接	$DN \leq 250\text{mm}$	BW - 1
	$DN > 250\text{mm}$	BW - 2
电熔焊接	规格尺寸不限	EW

国家允许一人同时申请 BW - 1、BW - 2 资格考试；两项均合格时方可取得 BW - 2 资格。焊工应当向具备一定资格的焊工考试机构提出申请，经同意后方可参加考试。申请考试的焊工应当具有初中以上（含初中）文化程度，身体健康，能够严格按照焊接工艺规程进行操作，独立承担焊接工作。

二、焊工证件管理

聚乙烯管道焊工证有效期为 2 年，有效期内焊工证在全国范围有效。在有效期届满前 3 个月，若继续从事焊接工作，焊工应当向焊工考试机构提出申请，由焊工考试机构安排焊工重新进行复试。复试在原则上应当重新进行操作技能考试，但在 2 年有效期内，中断焊接时间不超过 6 个月，焊接质量一直良好且能够提供有效焊接记录的焊工可以免试 1 次。

持有聚乙烯管道焊工证的焊工方可承担其考试合格项目的焊接工作。中断焊接工作6个月以上再从事此项工作时,必须重新进行考试。

三、焊工考试机构

聚乙烯(PE)管道焊工的考试工作应当由聚乙烯管道焊工考试机构负责组织和实施。PE焊工考试机构及所承担的考试项目范围,由国家质检总局确定。

1. 聚乙烯管道焊工考试机构基本条件

聚乙烯管道焊工考试机构具备以下条件。

① 有1名或1名以上从事聚乙烯管道元件焊接工作达3年以上,并且具有中级职称的人员担任主任或副主任,有2名或2名以上焊接技能指导教师或技师。

② 有容纳40人以上的考试教室和焊接操作技能考试的场地,具备与管道元件焊接相适应的热熔对接焊接、电熔承插焊接、电熔鞍形焊接的焊接设备和工装、试样和试件的加工设备,以及焊接性能试验仪器及设备。

③ 具有组织100名以上PE焊工考试和管理PE焊工考核档案的能力。

④ 具有适用于不同焊接方法、不同牌号材料的基本知识考试题库;有满足PE焊工考试要求并经评定合格的焊接工艺规程。

⑤ 具有PE焊工考试细则和相关的管理制度。

聚乙烯管道焊工考试机构应当在考试前10天将焊工考试项目、时间、地点通知待考焊工和考试机构所在地的省级质检部门。2008年12月,国家质检总局批准广州市特种承压设备检测研究院焊工考试委员会、浙江省特种设备检测研究院焊工考试委员会、上海市特种设备监督检验技术研究院焊工考试委员会和贵州森普管材有限公司焊工考试委员会为聚乙烯管道焊工考试机构。

2. 聚乙烯管道焊工考试机构主要职责

聚乙烯焊工考试机构主要职责如下:

① 制定焊工考试计划;

② 审查焊工资格;

③ 确定考试内容;

④ 检验考试用管件、焊接设备、焊接性能测试仪器及焊接用仪表;

⑤ 组织焊工进行基本知识和焊接操作技能考试,负责考场纪律;

⑥ 负责考试试件和试样的检测,评定考试成绩;

⑦ 办理特种设备PE焊接作业人员证延期手续;

⑧ 建立、管理焊工考核档案;

⑨ 编制焊工考试焊接工艺规程。

第三节 焊工考核内容

焊工考试包括基本知识考试和焊接操作技能考试两部分。焊工基本知识考试采用笔试,基本知识考试合格后,才能参加焊接操作技能考试。

通过焊接操作技能考试,对焊接操作过程和试件检验进行综合评定。考试项目的试件

应当先进行焊接过程的考核和宏观（外观）检查，检查合格后再进行其他项目的检验。各项检验都符合要求时，该考试项目方可评定合格。

焊工基本知识考试和焊接操作技能考试的结果应当记入《聚乙烯焊工考试基本情况表》和《聚乙烯焊工焊接操作技能考试检验记录》。考试机构将《聚乙烯焊工考试基本情况表》和《聚乙烯焊工焊接操作技能考试检验记录》报省级质量技术监督部门，经审核，由省级或者授权的市级质量技术监督部门向合格的焊工签发特种设备作业人员证（焊工）。

1. 焊工考核基本知识

焊工考核的基本知识包括：

- ① 燃气压力管道安全知识、安全技术规范及常见施工规范；
- ② 聚乙烯管道原材料的有关基本知识；
- ③ 聚乙烯管材、管件的标准和技术要求；
- ④ 焊接设备、焊接辅具、量具的种类、名称、使用、工作原理和维护；
- ⑤ 各种管件的焊接方法和特点、焊接工艺参数、焊接流程、注意事项、操作方法及其对焊接质量的影响；
- ⑥ 缺陷种类及产生的原因和危害；
- ⑦ 焊接质量的影响因素和预防措施；
- ⑧ 焊接质量的检验方法和要求，非破坏性检验和破坏性检验方法的特点和要求。

2. 焊接操作技能

聚乙烯管道焊工按照以下要求进行焊接操作技能考试：

- ① 焊接操作技能考试前，由考试机构确定焊工考试代号，并在试件上标注焊工考试代号和考试项目代号；
- ② 考试试件的规格和数量应当符合表1-2的要求，考试试件的形式见图1-1～图1-5；
- ③ 焊工考试用的所有管道元件，应当由焊工进行切割取样；
- ④ 焊工应当按已评定合格的焊接工艺焊接考试试件；
- ⑤ 考试用管道元件必须符合有关要求，电熔焊接管件应当是取自原包装；
- ⑥ 考试所用的焊机必须符合规定的要求；
- ⑦ 试件的检验与试验要求见表1-3，并且符合相关要求。

表 1-2 试件的规格尺寸和数量

试件形式		试件数量 不少于	试件尺寸（mm）				材料
			DN	L	L ₁	S	
热熔对接焊		2 ^①	110≤DN≤250	应当满足 安装和试 验要求		≥6	PE80 或 PE100
		2	≥315			—	
电熔焊	承插焊	2 ^②	≥63			DN=63 (按 SDR11)	
	鞍形焊	1 ^③	≥110			—	

注：① 试件分别见图1-1和图1-3；

② 试件分别见图1-2和图1-4；

③ 试件见图1-5。

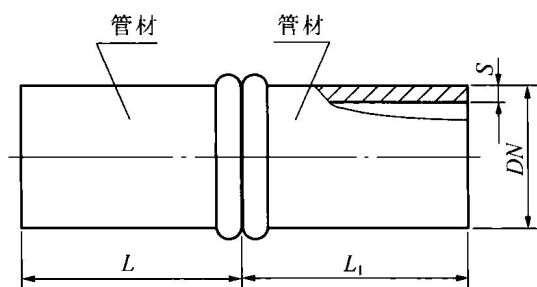


图 1-1 管材与管材对接焊试件

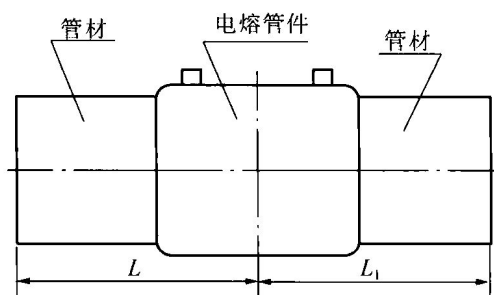


图 1-2 管材与管材电熔焊试件

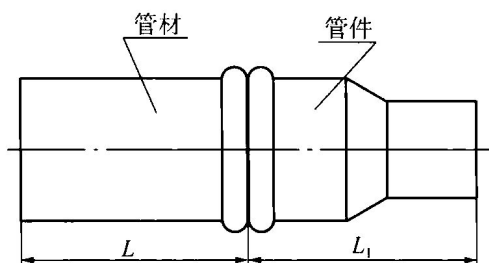


图 1-3 管材与管件对接焊试件

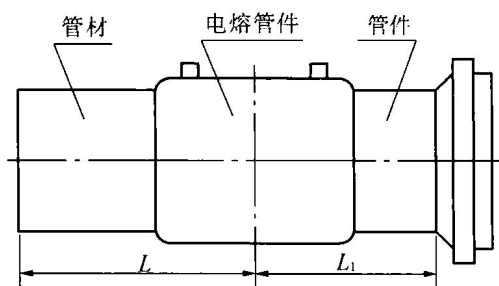


图 1-4 管材与管件电熔焊试件

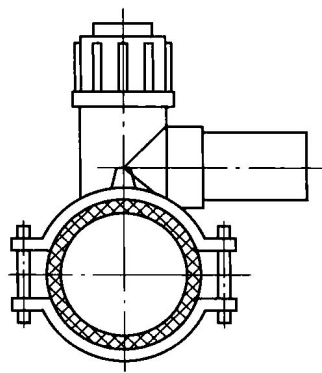
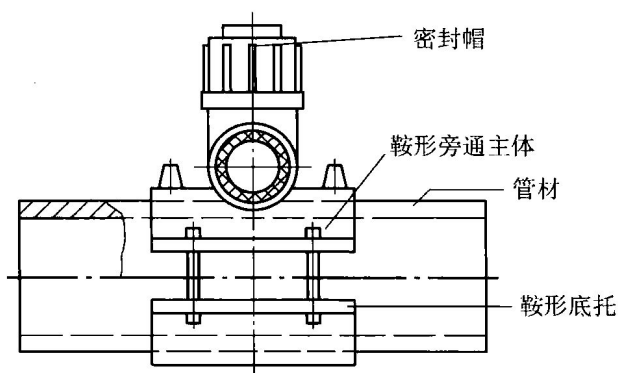


图 1-5 管材与鞍形旁通焊接试件

表 1-3 试件的检验与试验要求

项目	检验与试验项目	检验与试验参数	检验与试验要求	检验与试验方法
热熔对接焊接	宏观（外观）	—	见第七章第四节	见第七章第四节
	拉伸性能	$(23 \pm 2)^\circ\text{C}$	试验到破坏为止： (1) 韧性，通过； (2) 脆性，未通过	GB/T 19810

续表 1-3

项目	检验与试验项目	检验与试验参数	检验与试验要求	检验与试验方法
电熔承插焊接	宏观（外观）	—	见第七章第四节	见第七章第四节
	$DN < 90\text{mm}$ 挤压剥离试验	$(23 \pm 2)^\circ\text{C}$	剥离脆性破坏百分比小于等于 33.3%	GB/T 19806
	$DN \geq 90\text{mm}$ 拉伸剥离试验	$(23 \pm 2)^\circ\text{C}$	剥离脆性破坏百分比小于等于 33.3%	GB/T 19808
电熔鞍形焊接	宏观（外观）	—	见第七章第四节	见第七章第四节
	$DN \leq 225\text{mm}$ 挤压剥离试验	$(23 \pm 2)^\circ\text{C}$	剥离脆性破坏百分比小于等于 33.3%	GB/T 19806
	$DN > 225\text{mm}$ 撕裂剥离试验	$(23 \pm 2)^\circ\text{C}$	剥离脆性破坏百分比小于等于 33.3%	见第七章第四节

复习思考题

1. 聚乙烯管道焊工证有效期是多少年？什么情况下需要复试？什么情况下可以免试？什么情况下必须重新考试？
2. 聚乙烯管道焊工考试机构应当具备什么条件？
3. 聚乙烯管道基础知识考试包括哪些内容？
4. 聚乙烯管道焊接技能考试包括哪些内容？

第二章 聚乙烯管道原材料的基本知识

学习目标：熟识聚乙烯原料特性、聚乙烯分类以及聚乙烯材料的物理性能、化学性能和机械性能；为掌握聚乙烯管材部件知识及焊接知识打下理论基础。

第二次世界大战时期，由于铜与钢材的短缺，国外开始研究在燃气输配等领域使用塑料管。燃气输配用塑料管的材料按应用的起始年代分别为：醋酸-丁酸纤维素（1949年美国）、硬聚氧乙烯、耐冲击聚氯乙烯（1952年美国）、环氧玻璃钢（1955年美国）、聚乙烯（1956年英国）、涤纶（1963年意大利）和尼龙（1969年澳大利亚）。我国燃气用聚乙烯管的研究、生产和应用始于20世纪80年代初。1995年，聚乙烯燃气管材、管件产品的国家标准和建设工程技术规范的制定及实施，促进了燃气用聚乙烯管的推广应用。据有关部门统计，2007年的聚乙烯管工程应用总量在70万吨以上，其中城镇燃气用埋地聚乙烯管道的总量约为15万吨。目前，燃气用聚乙烯管主要应用于城镇中低压燃气管网，尤其以使用天然气的地区为主要市场，应用规格一般为直径20~315mm。在了解聚乙烯管材焊接知识之前，本章主要介绍聚乙烯材料的基本知识。

第一节 聚乙烯材料概述

聚乙烯原材料是一种以聚乙烯为基料的共聚物复合材料（或混合材料），材料中必须加有一定量的抗氧化剂、光稳定剂和炭黑（仅适用黑色混配料）等添加剂。影响其性能主要有三大因素：分子结构、结晶度和分子量分布。聚乙烯是一种热塑性塑料，可多次加工成型。通过控制聚合工艺和在聚合时加入一定量的共聚单体，可以调整或改善聚乙烯材料的性能。

一、聚乙烯的性质

聚乙烯是乙烯经聚合制得的热塑性塑料，是一种结晶型的非极性聚合物。英文名称为polyethylene，缩写为PE。聚乙烯密度为 $0.94 \sim 0.96 \text{ g/cm}^3$ ，成型收缩率为 $1.5\% \sim 3.6\%$ ，成型温度在 $140 \sim 220^\circ\text{C}$ 之间。聚乙烯耐腐蚀性强，电绝缘性（尤其高频绝缘性）优良，可以氯化、化学交联、辐射交联改性，可用玻璃纤维增强性能。低压聚乙烯的熔点、刚性、硬度和强度较高，吸水性小，有良好的电绝缘性能和耐辐射性；高压聚乙烯的柔软性、伸长率、冲击强度和渗透性较好；超高分子量聚乙烯冲击强度高、耐疲劳、耐磨。低压聚乙烯适于制作耐腐蚀零件和绝缘零件；高压聚乙烯适于制作薄膜等；超高分子量聚乙烯适于制作减震、耐磨及传动零件。

1. 单体

乙烯，分子式为 $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ ，主要来自石油和煤炭。当前最主要的制造方法是将石油

烷烃热裂解后分离聚合。

2. 乙烯的聚合

聚乙烯分子式为 $-(CH_2-CH_2)_n-$ 。聚合的方法不同,得到聚乙烯的密度也不同,其性能差异也较大,可应用于不同的领域中。

乙烯的聚合有以下三种技术路线:

高压聚合法:在压力 $15\sim 30\text{MPa}$ 和温度 $180\sim 200^\circ\text{C}$ 下,用氧气、有机氧化物作为引发剂,使乙烯聚合得到高压聚乙烯。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的分子量及其分布。

中压聚合法:在压力 $2.0\sim 8.0\text{MPa}$ 和温度 $130\sim 270^\circ\text{C}$ 下,使用过渡金属氧化物为催化剂,将乙烯溶于有机溶剂中,进行溶液聚合得到中压聚乙烯,合成过程中以 α -烯烃共聚来控制密度。

低压聚合法:在压力 $0.1\sim 0.5\text{MPa}$ 和温度 $65\sim 75^\circ\text{C}$ 下,使用齐格勒-纳塔催化剂,使乙烯聚合得到低压聚乙烯。在低压法下制得的是高密度聚乙烯。

3. 聚乙烯的分类

传统上按聚乙烯密度将其分为高密度、中密度、低密度三类。

(1) 低密度聚乙烯(简称 LDPE)

低密度聚乙烯(LDPE)一般由高压聚合工艺生产,密度为 $0.910\sim 0.925\text{g/cm}^3$ 。低密度聚乙烯的分子结构是具有较多支链的线型大分子,其主链上长短不一的支链影响了大分子链排列的规整性,堆砌不紧密,阻碍了聚乙烯的结晶化,因此结晶度仅为 $55\%\sim 65\%$ 。

低密度聚乙烯的熔点低,质地柔软,长支链赋予其在加工过程中高剪切速率下的低黏度和拉伸时的高熔体强度,因此非常适于吹膜工艺,主要用于农膜、重包装膜等的生产。

(2) 中密度聚乙烯(简称 MDPE)

中密度聚乙烯(MDPE)是利用高效催化剂,在中低压下,用 α -烯烃共聚来控制其密度($0.926\sim 0.940\text{g/cm}^3$),结晶度为 $70\%\sim 80\%$ 。由于其支链多而长,密度和结晶度下降,因而中密度聚乙烯具有较好的柔性和低温特性,拉伸强度、硬度、耐热性等不如高密度聚乙烯。由于共聚烯烃可使中密度聚乙烯晶体的片晶间联结链增多,因而其耐慢速裂纹开裂性能和机械强度的长期保持性较LDPE有很大改善。

中密度聚乙烯可用于压力管、输送管、各种容器和包装薄膜的生产。

(3) 高密度聚乙烯(简称 HDPE)

高密度聚乙烯(HDPE)是用低压聚合工艺生产的,呈线型,密度为 $0.941\sim 0.965\text{g/cm}^3$,结晶度为 $80\%\sim 95\%$,为白色粉末或颗粒。与低密度聚乙烯相比,其分子上支链少,近乎成线型结构,分子排列规整、堆砌紧密,因而其结晶度高、密度大,相对分子质量常为十几万到几十万,熔体流动速率范围较窄。高密度聚乙烯具有较高的刚性和韧性,优良的机械强度和耐热性,还有较好的耐溶剂性、耐蒸汽渗透性。高密度聚乙烯在所有各类聚乙烯中渗透性最小,耐腐蚀性最强,并具有良好的刚度,主要用于各种压力管、注塑制品等的生产。