

塑料压力管的 力学破坏和对策



董孝理 编著



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

塑料压力管的力学破坏和对策

董孝理 编著



化学工业出版社
材料科学与工程出版中心

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

塑料压力管的力学破坏和对策/董孝理编著. —北京:
化学工业出版社, 2005. 11
ISBN 7-5025-7906-0

I. 塑… II. 董… III. 塑料管材-力学性能-研究
IV. TQ320.72

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 137814 号

塑料压力管的力学破坏和对策

董孝理 编著

责任编辑: 龚浏澄

文字编辑: 余德华

责任校对: 于志岩

封面设计: 潘虹

*

化学工业出版社 出版发行
材料科学与工程出版中心

(北京市朝阳区惠新里 3 号 邮政编码 100029)

购书咨询: (010)64982530

(010)649818013

购书传真: (010)64982630

<http://www.cip.com.cn>

*

新华书店北京发行所经销

北京市兴顺印刷厂印装

开本 787mm×1092mm 1/16 印张 14 字数 336 千字

2006 年 2 月第 1 版 2006 年 2 月北京第 1 次印刷

ISBN 7-5025-7906-0

定 价: 45.00 元

版权所有 违者必究

该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

耐
压

起
各
静
管
市

业部门和用户共同努力的结果。

本书试从应用角度探讨塑料压力管可能出现的各种力学破坏问题,基于应用需要提出对塑料压力管力学破坏性能的要求,介绍解决这些力学破坏问题的措施,在此基础上分析塑料压力管的发展方向。

本书内容深度和设定读者的定位如下:

- ① 本书在理论基础上有适当深度,保证较高的科学性和严谨性;
- ② 本书在应用上与国际标准化组织(ISO)有关塑料压力管标准的相关内容接轨,与全国塑料制品标准化技术委员会塑料管材、管件及阀门分技术委员会(TC48/SC3)对塑料压力管道国家标准的制修订工作接轨;
- ③ 本书以介绍当前状况为主,适当兼顾历史发展过程,适当介绍一些可能产生重要作用的前瞻性内容;
- ④ 本书设定的主要读者对象是与塑料压力管道有关的产业部门,如原料生产厂、管材管件生产厂、铺设安装施工公司、设计部门和使用单位的具有大学毕业水平的工程技术人员、科研设计人员和管理营销人员,也可供高分子材料学科有关专业、建筑材料和建筑工程学科有关专业的师生参考。

本书涉及一些塑料专业科技人员不常见到的数学知识和力学知识。为了满足更深一步的教学和学术交流的需要,笔者撰写了与本书内容相关的3个附录,分别介绍材料力学基础知识、断裂力学基础知识和统计数学基础知识。这些附录已刻录成光盘,笔者将在有关教学和学术交流活动中提供这些光盘。

本书资料和观点的主要来源如下:

- ① 笔者在高分子材料工程国家重点实验室——四川大学高分子研究所期间对高分子材料力学破坏领域从事教学和科研工作的长期积累;
- ② 笔者在1996年受国家公派赴英国帝国理工学院(Imperial College)高访从事塑料压力管快速开裂问题研究的收获;

③ 笔者近年来参加 TC48/SC3 的各种活动,参与塑料压力管国家标准制修订工作的收获;

④ 多个跨国公司提供的国外先进技术和最新进展介绍;

⑤ 国内各有关企业提供的本企业情报;

⑥ 各种公开的文献资料。

笔者对这些使自己受益的机构及有关个人表示感谢。

本书的写作提纲曾于 2000 年分送塑料压力管领域的部分朋友征求意见,期间得到了多数朋友的鼓励和支持,也得到了一些极有价值的建议。少数朋友表示不同意笔者的一些基本观点,这促使笔者进一步思考和论证了自己的观点。笔者向所有提供过意见和建议的朋友表示感谢。

本书的出版得到了以下三个公司的经费资助。笔者在此向这些公司及有关决策人员和经办人员表示感谢。

(1) 亚大塑料制品有限公司。该公司是我国聚乙烯燃气管的主要生产厂家,承担了修订聚乙烯燃气管国家标准任务。

(2) 苏威亚太私人有限公司。该公司向中国市场提供苏威公司 (Solvay Polyolefins Europe S. A) 生产的各种 PE80 和 PE100 聚乙烯压力管原料。苏威公司是 PE100 plus 协会会员。

(3) 北欧化工香港有限公司上海代表处。该公司向中国市场提供北欧化工公司 (Borealis A/S) 生产的各种 PE80 和 PE100 聚乙烯压力管原料,以及 PP-R 热水管原料。北欧化工公司是 PE100 plus 协会会员。我国上海石油化工股份有限公司已从该公司引进 PE80 和 PE100 生产技术。

笔者多年来得到高分子材料工程国家重点实验室学术带头人、中国科学院院士徐偃教授的支持和指导。在此向徐偃院士表示感谢和敬意。

本书撰写期间,笔者的夫人用她特有的方式给了笔者极大的鼓励和支持,也向夫人表示感谢。

由于笔者水平所限,书中错漏之处在所难免,还望读者予以批评指正,笔者将不胜感谢。

鉴于附录涉及材料力学等基础知识,只有少数读者需要,因而本书未列出全文而刻成光盘(约 250 千字),有需要进一步研究者可向作者直接索取。

编著者

2005.9

作者(董孝理)联系方式手机:13540128847

电话:028-85402314

地址:四川大学西区高分子材料研究所

邮编:610065

目 录

第1章 绪论	1
参考文献	6
第2章 从应用角度分析塑料压力管的力学破坏性能	7
2.1 概述	7
2.2 各种载荷及其引起的力学破坏	11
2.2.1 管内的静液压载荷	11
2.2.2 脉冲载荷	21
2.2.3 循环载荷	21
2.2.4 轴向拉伸和压缩载荷	22
2.2.5 点载荷	22
2.2.6 外部的均匀压缩载荷和管内的真空载荷	22
2.2.7 沿管材横截面直径方向的压缩载荷	25
2.2.8 垂直于管道轴线的横向载荷	25
2.2.9 残余应力造成的载荷	26
2.2.10 热胀冷缩造成的载荷	27
2.2.11 土壤造成的载荷	28
2.2.12 交通造成的载荷	28
2.2.13 外部冲击载荷	29
2.2.14 复杂载荷	29
2.3 影响塑料压力管力学破坏性能的各种因素	29
2.3.1 原料	29
2.3.2 管材管件生产过程	30
2.3.3 管件	31
2.3.4 焊接	32
2.3.5 长时间使用条件	32
2.3.6 温度	33
2.3.7 被输送介质	33
2.3.8 氧化稳定性	34
2.3.9 划痕和缺陷	34
2.3.10 地层变动和地震	35
2.3.11 安装铺设方式	35
2.3.12 形变和应变	36
2.3.13 复合结构	37
2.4 一些常见力学试验结果和理化性能与塑料压力管力学破坏的关系	37
2.4.1 打压爆破试验	37

2.4.2	1000h 静液压试验	37
2.4.3	拉伸强度、屈服应力、伸长率	38
2.4.4	抗冲击强度	38
2.4.5	Bell 法耐环境应力开裂性试验	38
2.4.6	埋地 3 年试验	39
2.4.7	密度	39
2.4.8	熔体流动速率	39
2.4.9	分子量及其分布	40
2.4.10	凝胶化度	40
2.4.11	交联度	40
2.4.12	模量和环刚度	40
2.5	塑料压力管力学破坏问题的认识误区和行为误导现象	41
	参考文献	41
第 3 章	长期寿命和长期静液压强度	43
3.1	概述	43
3.2	基础知识	44
3.2.1	长期寿命	44
3.2.2	长时间静液压试验	44
3.2.3	“以管材形式的原料长期静液压强度”性能概念	45
3.2.4	韧脆转化	46
3.2.5	高温试验和时温等效关系	51
3.2.6	外推合理性和各种限制条件	54
3.2.7	平均结果和统计分析	55
3.2.8	质量控制和质量管理	60
3.3	ISO 9080 和 GB/T 18252—2000 简介	60
3.3.1	ISO 9080 的几个文本及其与 GB/T 18252—2000 的关系	60
3.3.2	GB/T 18252—2000 与 ISO/DIS 9080: 1997 的简单比较	60
3.3.3	统计分析模型	61
3.3.4	按控制问题求解的几个步骤	62
3.3.5	外推时间极限	65
3.3.6	拐点检验	65
3.3.7	试验结果和回归计算结果的图形表示	66
3.4	最小要求强度 MRS、分级、总体使用系数、冷水管和燃气管的设计应力	67
3.4.1	由 $\sigma_{LPL}(20^{\circ}\text{C}, 50\text{年})$ 得到 MRS 和用 MRS 对塑料压力管原料分级和命名	67
3.4.2	由 MRS 和总体使用系数确定设计应力 σ_D 和设计压力 P_D	68
3.4.3	设计使用寿命和实际使用寿命的关系	69
3.4.4	使用温度高于 20°C 的情况	69
3.4.5	设计使用寿命不同于 50 年的情况	70
3.5	热水管使用条件级别、参照线、冷热水管设计应力和设计压力	70
3.5.1	热水管使用条件级别	70

3.5.2	由 σ_{LPL} 得到预期强度和参照线	72
3.5.3	损伤累计原理和 PP-R 冷热水管计算结果	73
3.6	介质的影响和输送工业流体的塑料压力管的设计应力	76
3.7	影响长期寿命-长期静液压强度性能的因素	76
3.7.1	理解长期静液压强度性能的要点	76
3.7.2	管径的影响	77
3.7.3	质量波动问题	77
3.7.4	聚乙烯结构因素的影响	78
3.8	质量控制和质量管理的	78
3.8.1	质量控制和质量管理的	78
3.8.2	控制点	82
3.9	针对长期静液压强度性能的强化试验方法	84
3.9.1	针对不同的破坏模式设计不同的强化试验方法	84
3.9.2	针对脆性破坏模式的强化试验	85
3.9.3	预制切口片材和棒材的静载荷拉伸试验	86
	参考文献	89
第4章	快速开裂问题	90
4.1	概述	90
4.2	基础知识	91
4.2.1	快速裂纹增长过程简单分析	91
4.2.2	原料基础性能 K_D 在 ISO 4437: 1988 中的作用	96
4.2.3	以管材形式的原料抵抗快速裂纹增长的性能	97
4.2.4	用计算机分析快速裂纹增长过程	97
4.3	全尺寸试验方法和 S4 试验方法	98
4.3.1	全尺寸试验方法简介	98
4.3.2	S4 试验方法简介	101
4.3.3	改良的 S4 试验方法	104
4.3.4	试验装置的仪器化	105
4.4	快速开裂性能的影响因素	105
4.4.1	衡量快速开裂性能的几个主要指标	105
4.4.2	温度的影响	105
4.4.3	材料的影响	106
4.4.4	管材生产工艺的影响	107
4.4.5	管径的影响	107
4.4.6	管壁厚度的影响	108
4.4.7	焊接和管件的影响	108
4.4.8	介质的影响	108
4.4.9	水气比的影响	108
4.4.10	按中径公式计算出的临界环应力	109
4.5	质量控制和质量管理的	109

4.5.1 聚乙烯燃气管的质量控制和质量管理的	109
4.5.2 聚乙烯给水管的质量控制和质量管理的	114
4.6 实验室强化试验方法的	115
4.6.1 高速双扭转试验方法简介	115
4.6.2 关于高速冲击试验	117
参考文献	118
第5章 对第2章提出的几个问题的补充讨论	120
5.1 概述	120
5.2 深划痕的影响和预制切口管静液压试验	120
5.2.1 深划痕对管材脆性破坏慢速裂纹增长过程的影响	120
5.2.2 近年来聚乙烯压力管强调深划痕影响的原因	121
5.2.3 预制切口管静液压试验方法的演化过程	121
5.2.4 质量控制	123
5.2.5 强化试验方法	124
5.3 聚氯乙烯管的C环法试验	124
5.3.1 聚氯乙烯管重视防止脆性破坏的原因和方法	124
5.3.2 C环法试验原理	125
5.3.3 C环法试验方法标准	128
5.4 塑料热水管的氧化稳定性	129
5.4.1 静液压试验中的三种破坏模式	129
5.4.2 理解塑料热水管氧化稳定性问题的要点	129
5.4.3 塑料热水管氧化稳定性的时温等效关系	130
5.4.4 质量控制	131
5.4.5 强化试验方法	131
5.5 地震的影响和聚乙烯压力管高伸长率指标的作用	133
5.5.1 几次强地震的经验教训	133
5.5.2 聚乙烯管抗震性能的试验研究	134
5.5.3 聚乙烯压力管高伸长率指标的作用	134
5.6 与焊接有关的力学破坏问题	135
5.6.1 管路的连接方式	135
5.6.2 热熔对接焊	135
5.6.3 电焊承口焊	140
参考文献	149
第6章 质量控制和质量管理的	150
6.1 概述	150
6.2 塑料压力管质量控制和质量管理的特	150
6.2.1 应用需要对塑料压力管质量管理提出了高难度要求	150
6.2.2 多种产业部门和管理部门的关联关系	150
6.2.3 以现代生产技术水平和管理水平为基础	152
6.3 对当代ISO和EN标准的特点的理解	152

6.3.1 以管材形式的原料性能	152
6.3.2 顺着物流方向的质量控制链	153
6.3.3 顺着时间方向的质量控制过程	155
6.3.4 系列标准	156
6.4 培育高品位市场,改进质量控制和质量管理的	157
6.4.1 培育高品位市场	157
6.4.2 PE100 plus	159
6.4.3 强化试验方法	159
6.4.4 可追溯性	160
6.5 管路系统失效分析	160
参考文献	162
第7章 塑料压力管的三个发展阶段	163
7.1 塑料压力管的三个发展阶段	163
7.1.1 塑料压力管三个发展阶段的观点及其对实践的指导作用	163
7.1.2 初级阶段的特点	163
7.1.3 第二个发展阶段的特点	164
7.1.4 第三个发展阶段的特点	166
7.2 国情分析	167
7.2.1 我国塑料压力管工业正在全面进入第二个发展阶段	167
7.2.2 我国与初级阶段水平相应的初级市场	170
7.2.3 我国进入第三个发展阶段的趋势	170
7.2.4 塑料压力管按力学破坏性能的分类方法建议	171
参考文献	172
第8章 塑料压力管的原料	173
8.1 引言	173
8.2 聚乙烯 (PE)	173
8.3 交联聚乙烯 (PEX)	178
8.4 聚氯乙烯 (PVC)	179
8.5 聚丙烯 (PP)	183
8.6 聚丁烯 (PB)	185
8.7 氯化聚氯乙烯 (PVC-C)	186
8.8 聚偏氟乙烯 (PVDF)	186
8.9 工程塑料	186
参考文献	187
第9章 几种重要的塑料压力管的性能和市场定位	188
9.1 引言	188
9.2 PE 燃气管	188
9.3 PE 给水管	191
9.4 PVC 给水管	194
9.5 塑料冷热水管	197

9.5.1 各种塑料冷热水管的比较	197
9.5.2 国情分析	200
参考文献	201
第 10 章 复合管材和复合结构	202
10.1 复合管的优点、缺点和市场定位	202
10.2 铝塑复合管	202
10.3 两种有应用前景的钢-塑复合结构	207
10.3.1 适用于输送高压腐蚀性原油的 PE 内衬管/钢管主管复合结构	207
10.3.2 堵漏式薄壁内衬管/钢管主管复合结构	209
参考文献	210

第 1 章 绪 论

世界上应用塑料管的历史已有 60 多年。近年来世界各国塑料管市场继续保持着不断增长的发展趋势。1997 年欧洲 24 个国家 7 种塑料管的应用概况见表 1-1，其总用量已达 200 万吨以上^[1]。

表 1-1 1997 年欧洲塑料管应用概况

品 种	高/中密度 聚乙烯/t	低密度 聚乙烯/t	交联聚 乙烯/t	聚丁烯/t	聚丙烯/t	ABS/t	聚氯乙烯/t	合计/t	比例/%
燃气	106530	—	—	—	—	—	2000	108530	4.8
饮用水	249900	10315	—	—	—	—	162500	422715	18.7
工业	27950	3100	—	—	30340	3230	14660	79280	3.5
农业	15400	89155	—	—	—	—	54660	159215	7.0
护套管	50270	9730	—	—	8000	—	89580	157580	7.0
采暖/室内用管	4900	—	26005	5690	24995	—	1500	63090	2.8
污水/排水管	165090	5700	—	—	46960	6805	1048350	1273905	56.2
总计	621040	118000	26005	5690	110295	10035	1373250	2264315	100
比例/%	27.4	5.2	1.1	0.3	4.9	0.4	60.6	100	

1999 年我国各种塑料管的生产能力为 165 万吨，实际产量为 100 万吨左右。2000 年 9 月，全国化学建材协调组、建设部、国家石油和化学工业局、国家轻工业局、国家建筑材料工业局、中国石油化工集团公司发布《国家化学建材产业“十五”计划和 2010 年发展规划纲要》。纲要规定，塑料管是国家重点扶持和发展的四类主要化学建材产品之一。纲要指出，“十五”期间我国的化学建材仍将有一个巨大的市场。

塑料管可以分为两大类。一类是不需要承受管内介质压力的非承压管，如电工管、下水管等。一类是需要承受管内介质压力的压力管，如燃气管、给水管、热水管、矿浆管、化工管等。在表 1-1 中，压力管约占塑料管总量的 1/3。

由于塑料非承压管和塑料压力管的受力状况不同，它们的设计准则不同。非承压管的管壁厚度较小，一般按环刚度设计，以防止管道在外压和外力作用下发生破坏或不稳定变形(buckling)为主要设计准则。塑料压力管以长期寿命-长期静液压强度性能为主要设计准则。一般说来，塑料压力管的壁厚比非承压管的壁厚大，有足够的环刚度承受外压和外力载荷，只在一些特殊情况才需要考虑环刚度和不稳定变形问题。

国外在塑料压力管的几十年发展历史过程中，认识和接受了塑料压力管的优点，也发现了塑料压力管在应用中出现的各种各样的力学破坏问题。人们没有回避塑料压力管的力学破坏问题，而是坚持不懈地作出了很大努力，取得了很高的技术成就来解决这些问题。塑料压力管的优点和人们对其力学破坏问题建立起的有效制止措施共同推动着塑料压力管工业的健康发展。

塑料压力管的一些优点简介如下。在与传统管材，如钢管、混凝土管等相比较时这些优点尤为突出。

(1) 不腐蚀，使用寿命长 钢铁材质的管材都有腐蚀问题。腐蚀问题的严重程度随输送

介质和管材外部条件而异。在没有特殊的昂贵的防护措施时,许多钢铁材质的管材的使用寿命只有 10~20 年。

塑料压力管没有腐蚀问题。当代的塑料压力管已有一套方法来保证 50 年使用寿命。

(2) 接口有稳定性、严密性 聚烯烃塑料压力管已大量采用焊接连接方法。焊接起来的塑料压力管管材/管件接口有很好的稳定性和严密性,渗漏量小,使用安全。

混凝土管材的接口稳定性、严密性都差,渗漏量大。

(3) 节能 生产塑料管的能耗远小于生产钢管的能耗。这是因为塑料的熔点比钢铁的熔点低很多。

用塑料压力管输送流体时,由于塑料管管壁光滑,摩擦阻力小,在同样流体输送量的情况下,其能耗远小于用钢管和混凝土管输送时的能耗。

(4) 节水 我国现有的钢管和混凝土管输水管网在输水过程中水的损失量很大。这是由于管壁腐蚀穿孔和接头损坏造成的。节水是一个全世界共同关注的问题。我国是一个水资源不丰富的国家,节水问题尤为突出。

塑料输水管有很好的节水效果。

(5) 运输、安装、施工方便 由于塑料的密度小于钢铁和混凝土的密度,塑料压力管的运输比传统管材的运输方便。

某些应用领域,可将塑料管(如聚乙烯管、聚丁烯管等)卷成盘管运输。这给运输、安装带来很大方便。

某些应用领域,可在铺管现场连续挤管,进一步节约运输和安装成本。

近年来发展起来的塑料管不开挖铺管工艺,可以在不开挖地面的情况下,利用定向钻孔技术完成穿越公路、铁路、人口和建筑稠密区铺管的任务。也可以完成穿越河底和湖底的铺管任务。该项技术有很大的社会效益和经济效益。

(6) 流体输送能力大 由于塑料压力管管壁光滑,摩擦阻力小,在同样管径条件下,用塑料压力管的输送能力比用钢管或混凝土管时的输送能力大。在用塑料管作衬管修复已报废的管网时,衬管的管径小于原有管道的管径,但输送能力维持不变,甚至可能还有一定程度增加。这项优点带来非常好的社会效益和经济效益。

(7) 维护简单,管网运行费用低 塑料压力管管路系统可以做到接近于零维修。

(8) 综合成本低 在考虑了管材管件的生产成本、安装成本、管网运行费用、使用年限等因素后,塑料压力管的综合成本低于传统管材。

(9) 对环境友好 塑料压力管不污染环境,也不污染被输送的水,不造成环境保护和生态方面的问题。

在输送饮用水时,人们特别关注管材对水质可能造成的污染。在这方面,塑料管明显优于水泥管、铁管和钢管。这已是人们熟悉的常识。近年来,我国有人在推广铜管,但对铜管造成的水质污染问题关注甚少。与此相反的是,近年来,德国制定了更严格的饮用水质量要求,将饮用水中铅的允许极限量从 $0.04\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 下调至 $0.01\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$,将铜的允许极限量从 $3\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 下调至 $2\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$ 。这些要求于 2003 年 1 月生效。对铜的允许极限量的新要求将成为铜管市场下降的重要因素。德国的做法也将影响到其他欧洲国家,使其铜管市场出现下降^[2]。

聚烯烃塑料压力管使用寿命结束后可考虑回收其材料中所含的能量。

(10) 抵抗地层变动和地震的能力强 历次大地震,尤其是 1995 年日本阪神-淡路大地

震证实,聚乙烯管能够在大地震中保持结构完整性。研究表明,这是由于聚乙烯有较大的变形能力,能够在地面和地层开裂时伸长而不断裂,从而达到保持结构完整性的效果。

我国塑料管的应用是从非承压管(如建筑内排水管和电线套管)起步的。最近十多年来塑料管向压力管领域发展。我国塑料压力管的总体水平比世界先进水平落后,按我们在1999年做的分析^[3],我国在总体上处在塑料压力管的初级发展阶段,既不能保证长期寿命-长期静液压强度,又不能防范快速裂纹增长危险。有关塑料压力管的标准和安装施工规范不能配套。近年来这种情况正在迅速改变。全国塑料制品标准化技术委员会塑料管材、管件及阀门分技术委员会(TC48/SC3)正在组织力量,比照世界先进水平,制修订我国塑料压力管的国家标准。有关单位也在加紧制定塑料压力管的安装施工规范。笔者估计我国在塑料压力管领域和世界先进水平接轨已为期不远。

我国的压力管用户对传统管材如钢管比较熟悉。对我国许多用户单位来说,塑料压力管还是比较陌生的新产品。这些用户或潜在的用户既有浓厚的兴趣采用塑料压力管,又对塑料压力管的力学破坏危险有很大担心。当我国的塑料压力管的总体水平处于初级发展阶段时,由于不能解决长期寿命-长期静液压强度问题和防范快速裂纹增长危险,用户的担心对于塑料压力管推广应用所产生的阻滞作用是有积极意义的。另一方面,用户对塑料压力管的有些担心是将塑料压力管与钢制管道进行了不恰当的比较后产生的,如有人认为塑料压力管不如钢管坚硬,不如钢管强度好等。当我国塑料压力管的水平由初级阶段发展到更高阶段时,我们在办好塑料压力管自己的事情时,应该用科学的分析向用户做好宣传工作。本书有意识地增加了塑料压力管和传统管材(如钢管)的比较。塑料压力管和传统管材(如钢管)既存在着配合使用的关系,又存在着竞争的关系。按照使用压力,塑料压力管在整个国民经济中的市场定位见表1-2。按照钢制压力容器的分类方法,塑料压力管一般为低压管或中压管。以燃气管为例,跨国、跨省的天然气长距离输送干线管的压力高达4~10MPa,只能使用钢制管道并采取各种防腐蚀措施。天然气进入城市管网后压力降低。城市管网可大量采用聚乙烯燃气管。这样,钢管和塑料管各有自己的适用范围,共同为国民经济的发展做出贡献。另一方面,塑料压力管的使用压力在不断提高,相应地市场也在不断扩展。如十多年前聚乙烯燃气管的使用压力为0.4MPa,现已达到1.0MPa,个别地区试用压力已达1.2MPa。尽管按照钢制压力容器的分类方法,这些进步仍然在低压管或中压管范围,但对塑料压力管来说,这已经是由较低压力向更高压力应用的重大进步。塑料压力管没有建立低压塑料压力管、中压塑料压力管、高压塑料压力管的量化的概念,在塑料压力管的有关文献中,经常在相对意义上使用低压管或高压管术语。本书中为行文方便,也在这种相对意义上使用低压管或高压管术语。

表 1-2 钢制压力容器和塑料压力管的使用压力比较

钢制压力容器按压力的分类	压力范围/MPa	塑料压力管的使用压力/MPa
低压	0.1~1.6	PE 燃气管可达 1.0 PE 燃气管试用压力达 1.2
中压	1.6~10	PE 给水管可达 2.5
高压	10~100	
超高压	≥100	

塑料压力管的设计准则受钢制压力容器的设计准则影响很大,但由于塑料压力管有自身

的特点,其设计准则又和一般钢制压力容器的设计准则有很大差别。塑料压力管要考虑的一般问题在钢制压力容器中常属于前沿领域。一般钢制压力容器通常不必考虑长期强度问题。这是因为一般钢制压力容器的使用温度 T_s (K) 远低于金属材料的熔化温度 T_m (K)。但是对化学工业、核电站等重要用途的高温压力容器,必须考虑钢制压力容器的长期寿命-长期强度性能。这在钢制压力容器中属于前沿领域。大致的判据是:当 $T_s > (0.25 \sim 0.35) T_m$ 时需要考虑长期寿命-长期强度问题。具体的判断由试验来决定。如低碳钢 420℃ 以上,铬钼合金钢 450℃ 以上,奥氏体不锈钢 550℃ 以上需要考虑长期寿命-长期强度问题。塑料压力管通常在 20℃ 使用,热水管使用温度可达 70℃, T_s 约为 $(0.7 \sim 0.8) T_m$ 。这样,塑料压力管的共同设计准则为长期寿命-长期静液压强度。这在技术上与钢制压力容器的一个前沿领域相当。

钢制压力容器通常使用材料力学基础性能数据按材料力学强度理论设计。塑料压力管在几十年发展基础上,提出了“以管材形式的材料性能”的概念,按照以管材形式得到的材料性能静液压强度进行设计。塑料压力管的力学破坏问题非常复杂,在当前科学和技术水平下,使用以管材形式的材料性能进行设计比使用材料力学基础性能数据设计在工程上更具可操作性且更能为广大用户理解和接受。

钢制压力容器按材料力学强度理论设计后,在使用中对裂纹的影响进行监控,按断裂力学原理进行防脆断设计和安全性评估。这在钢制压力容器中属于前沿领域。塑料压力管容易遭受外物划伤或因其他各种原因产生宏观缺陷和裂纹。塑料压力管在几十年发展基础上,已经把裂纹的影响当作一个必然存在的事实加以考虑。这在塑料压力管原料的发展历史上,在塑料压力管的质量控制体系上都有多方面的体现。这样,塑料压力管通常必须考虑的裂纹的影响问题又与钢制压力容器的一个前沿领域相当。

根据塑料压力管的性能特点和监控各种力学破坏问题所达到的技术成就,塑料压力管的市场特点在于在国民经济中大规模应用,在一定的输送介质、使用温度、使用时间、使用压力、管径等条件下,经济合理地完成输送流体的任务,并能尽可能好地防范意外事故。

十多年来,我国塑料压力管的发展并不顺利。我国多次出现对某种塑料压力管投资过热的现象,导致社会财富产生很大浪费和塑料压力管市场的混乱。某些商业性质的不合实际的不科学的宣传在取得短期内推广应用成果和销售业绩的同时,也给塑料压力管的持续发展带来严重的负面效应。我们认为,对塑料压力管的力学破坏问题缺乏较深入的了解是导致塑料压力管市场定位发生错位和市场秩序混乱的重要原因。

近年来,我们不断思考和讨论这些问题:塑料压力管市场对塑料压力管的力学破坏性能究竟有哪些要求?塑料压力管怎样达到这些要求?哪些塑料管能满足这些要求?每种塑料压力管的市场定位是什么?针对这些问题,笔者发表过几篇文章,参与了一些有关塑料压力管国家标准的制修订工作,到过几家石化企业和管材生产企业进行学术交流。由于正确解决塑料压力管各种力学破坏问题对塑料压力管的健康持续发展至关重要,也由于理解这些问题及其解决方法有一定的难度和理论深度,笔者将有关资料整理成本书,讨论塑料压力管的力学破坏和对策。本书将从应用角度探讨塑料压力管可能出现的各种力学破坏问题,基于应用需要提出对塑料压力管力学破坏性能的要求,介绍解决这些力学破坏问题的措施,在此基础上分析塑料压力管的发展方向。全书包括 10 章。

本章为绪论。

第 2 章从应用角度分析塑料压力管可能承受的载荷和这些载荷造成的力学破坏问题,也

讨论人们对塑料压力管力学破坏性能产生的一些误解。

塑料压力管承受的主要载荷是管内流体的静液压载荷。静液压载荷造成两种重要的破坏模式。一种是蠕变破坏,即塑料压力管强度随时间渐减造成的破坏。基于这种破坏模式,形成了当前所有塑料压力管共同的设计准则,即按照长期寿命-长期静液压强度来确定塑料压力管的使用压力。本书第3章进一步讨论塑料压力管的长期寿命-长期静液压强度问题。

静液压载荷造成的另一种重要的破坏模式是快速裂纹增长。当偶发性事件在管壁产生了穿透裂纹后,裂纹可以按几百米每秒的速度快速增长,导致几十米、几百米,甚至十几公里管路大规模损坏并进而导致后续的燃烧、爆炸(输燃气时)或洪水(输水时)事故,造成灾难性后果。快速裂纹增长不是塑料压力管特有的现象。1960年,美国有过钢管发生快速开裂事故,钢管破坏长度13km的报道。1974年,我国也有钢管发生快速开裂事故,钢管破坏长度2km的报道^[4]。塑料压力管已经建立起一套防范快速裂纹增长的方法。本书第4章进一步讨论塑料压力管的快速开裂问题。

有几个问题在第2章中已经提到。由于篇幅原因,未能在第2章中对它们作深入讨论。本书将它们组织在第5章中作补充讨论。它们是:

- ① 深划痕的影响和预制切口管静液压试验;
- ② 聚氯乙烯管的C环法试验;
- ③ 塑料热水管的氧化稳定性;
- ④ 地震的影响和聚乙烯压力管高伸长率指标的作用;
- ⑤ 与焊接有关的力学破坏问题。

在以上几章讨论的基础上,第6章讨论塑料压力管的质量控制和质量管理的建议。这就是各个产业部门分工合作、协同努力共同实现塑料压力管优良的使用性能的有关问题。笔者在本章中建议,按照质量控制和质量状况,可将我国的塑料压力管市场分为三种不同品位的市场:

- ① 初级市场;
- ② 正常市场——建立在目的性和符合性基础上的市场;
- ③ 高品味市场——在社会进步和技术进步的大环境下不断提高实物质量的稳定性和可靠性。

笔者提出了培育高品味市场,改进质量控制和质量管理的建议。

在以上几章讨论的基础上,第7章讨论塑料压力管的三个发展阶段^[3]。从力学破坏问题的角度,根据原料质量、制品性能、市场开拓、试验方法、有关标准等项目的进展情况,可以区分出塑料压力管的三个发展阶段:

- ① 开始采用塑料压力管的初级阶段;
- ② 保证和改进塑料压力管的耐蠕变开裂长期寿命和长期静液压强度的阶段;
- ③ 防止塑料压力管发生快速开裂破坏危险的阶段。

目前世界先进水平已进入第三个发展阶段。按照塑料压力管三个发展阶段的观点来观察我国近年发生的若干重大事件,我们将看到,我国正在由塑料压力管的初级发展阶段全面进入监控长期寿命-长期静液压强度性能的新的发展阶段。

根据塑料压力管三个发展阶段的观点和三种不同品位的市场的观点,笔者建议对塑料压力管按力学破坏性能相应地分为三大类。

- ① 与初级发展阶段和初级市场相应的塑料压力管。这些塑料压力管不保证50年使用寿命

命, 不保证防范快速裂纹增长的性能。这类塑料压力管可简称为初级管。

② 与第二个发展阶段水平相应的塑料压力管。这些塑料压力管保证 50 年使用寿命, 但不保证防范快速裂纹增长的性能。这类塑料压力管简称为长寿管。与高品位市场适应的长寿管为长寿管⁺。

③ 与第三个发展阶段水平相应的塑料压力管。这些塑料压力管保证 50 年使用寿命, 保证具有防范快速裂纹增长危险的安全性。这类塑料压力管简称为安全长寿管。与高品位市场适应的安全长寿管为安全长寿管⁺。

第 8 章讨论几种重要的塑料压力管原料。

第 9 章讨论几种重要的塑料压力管。

第 10 章讨论复合管和复合结构。

最后这 3 章讨论了各种塑料压力管原料和制品的市场定位。

参 考 文 献

- 1 张玉川. 中国塑料, 2000, 14 (2): 1
- 2 Modern Plastics International, 2002, 32 (11): 27
- 3 董孝理, 魏若奇. 中国塑料, 1999, 13 (2): 21
- 4 潘家华. 油气储运, 1999, 18 (5): 1