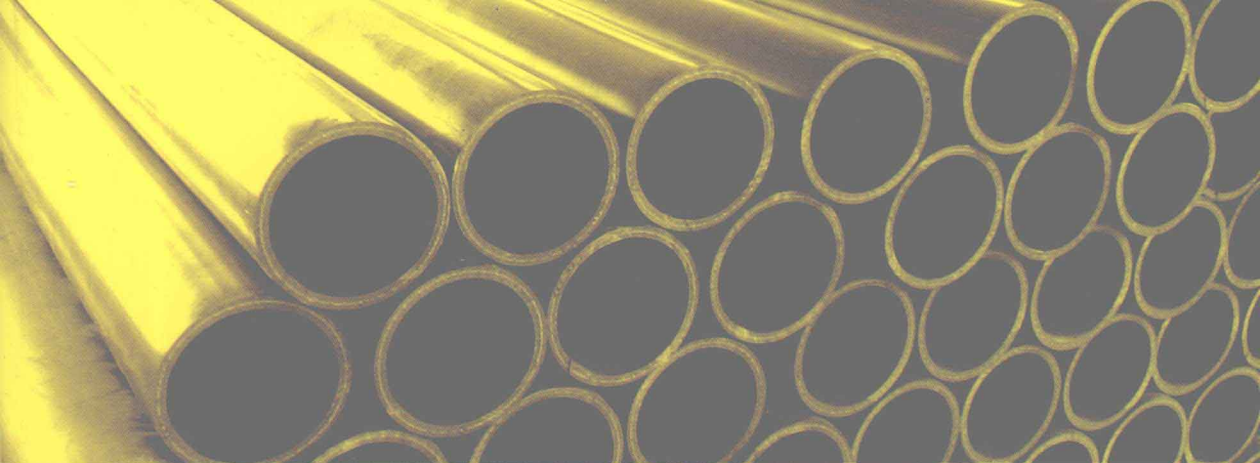


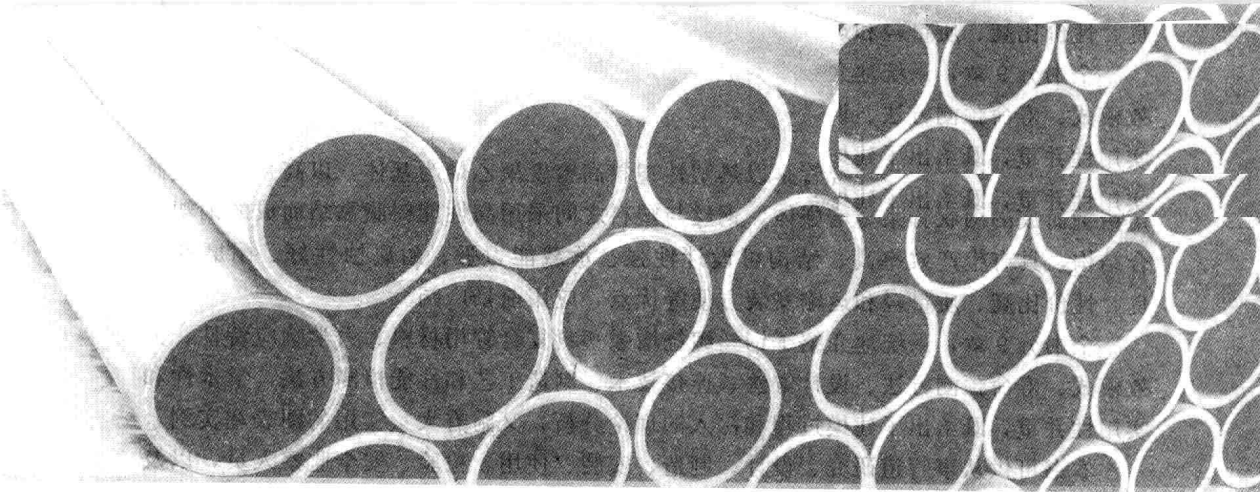


郑津洋 李 翔 施建峰 著

钢丝缠绕 增强塑料复合管



化学工业出版社



郑津洋 李 翔 施建峰 著

钢丝缠绕 增强塑料复合管



化学工业出版社

· 北京 ·

TQ320.72

16

钢丝缠绕增强塑料复合管是以热塑性塑料高密度聚乙烯为基体,以高强度钢丝倾角错绕而成的网状骨架为增强体,钢丝与塑料之间采用高性能树脂黏结而成的钢塑复合结构,具有生产效率高、结构可设计性强、承载能力强、耐腐蚀性好、耐磨性优良、性价比高、质量轻和运输安装方便等优点,应用前景广阔。

全书分9章,系统地介绍了钢丝缠绕增强塑料复合管用材料、力学响应特性、失效模式、寿命预测方法、设计方法、连接技术、制造工艺和性能检测方法,学术性和实用性并重,既给出了建模过程和深入的理论分析,又附有大量实用的图表和实例。

本书可供从事管道研究、设计、制造、安装、使用、检验、安全监察人员,以及高等学校相关专业师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

钢丝缠绕增强塑料复合管/郑津洋,李翔,施建峰
著. —北京:化学工业出版社,2012.1
ISBN 978-7-122-12795-2

I. 钢… II. ①郑…②李…③施… III. 塑料管材
IV. TQ320.72

中国版本图书馆CIP数据核字(2011)第231273号

责任编辑:程树珍
责任校对:郑捷

文字编辑:金玉连
装帧设计:张辉

出版发行:化学工业出版社(北京市东城区青年湖南街13号 邮政编码100011)

印刷:北京市振南印刷有限责任公司

装订:三河市宇新装订厂

710mm×1000mm 1/16 印张11½ 字数226千字 2012年1月北京第1版第1次印刷

购书咨询:010-64518888(传真:010-64519686) 售后服务:010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书,如有缺损质量问题,本社销售中心负责调换。

定 价:50.00元

版权所有 违者必究

前言

钢丝缠绕增强塑料复合管（以下简称 PSP）是我国拥有自主知识产权的高新技术产品。它是以热塑性塑料高密度聚乙烯为基体，以高强度钢丝倾角错绕而成的网状骨架为增强体，钢丝与塑料之间采用高性能树脂黏结而成的钢塑复合结构。PSP 独特的结构不仅使它集钢管的高强度与塑料管的耐腐蚀性两种优点于一体，还克服了金属板骨架增强塑料复合管易脱层等缺陷。PSP 生产效率高，结构可设计性强，并具有承载能力强、耐腐蚀性好、耐磨性优良、性价比高、质量轻和运输安装方便等优点。从 21 世纪初问世至今，已在市政工程、民用建筑、医药化工、农业和煤化工等行业中广泛应用，产生了显著的社会效益和巨大的经济效益。

在国家高技术研究发展计划（863 计划）重点项目课题（2009AA044801）、国家科技支撑计划项目课题（2006BAK02B01）、教育部新世纪优秀人才支持计划（NCET-04-0526）、教育部博士点专项科研基金（20050335065）、中国博士后科学基金资助项目（20090461356）、浙江省新世纪高等教育教学改革一类项目（yb09010）、温州工业科技研究开发项目（G2004034）等项目和高压过程装备与安全教育部工程研究中心的持续资助下，经过近 10 年的努力，浙江大学求是特聘教授郑津洋博士领衔的科技创新团队对 PSP 力学响应特性、失效模式、寿命预测方法、连接技术等进行了系统深入的研究，解决了 PSP 设计、制造和检验中的若干关键问题。但研究成果散见于学位论文和国内外学术期刊论文，至今还没有一本从材料性能、结构原理、设计理论到制造工艺，系统反映 PSP 研究成果的专著。从事管道设计、制造、安装、使用、检验、安全监察和研究的各类人员，高等学校的高年级学生、研究生及教师，多年来一直盼望有这样一本专著。为此，著者撰写了本书，力图在书中不仅阐明思路、介绍原理、展示效果，而且反映最新研究成果，以飨读者。

全书共分 9 章，第 1 章为综述部分，介绍 PSP 的研究进展和发展前景；第 2 章介绍 PSP 用材料及其性能；第 3~第 7 章讨论 PSP 的力学响应特性、失效机理、设计方法；第 8 章阐述 PSP 的生产工艺和性能检测方法；第 9 章介绍 PSP 的常用

连接方式。本书理论分析、数值模拟和试验研究紧密结合，互相补充、互相印证，既给出了建模和分析推理过程，又附有大量实用的图、表和实例。此外，本书还展现了复合管道技术的最新进展，以推动有关技术的工程应用。

本书是郑津洋教授团队有关 PSP 管研究成果的系统总结。为了反映复合管道的研究成果，在本书中收集了不少国内外公开发表的论文和资料。这些资料为本书的写作提供了丰富的“食粮”和新鲜“血液”，使著者受益匪浅。对这些资料的作者，著者一并表示感谢。

郑津洋教授的博士研究生李翔、施建峰，以及硕士研究生卢玉斌、林秀锋、朱彦聪、高永建、郝宇杰、李雅娴，在攻读学位期间从不同角度研究了 PSP 的性能，为本书提供了许多宝贵的素材。马津津、饶静、师俊、钟思嘉、侯东圣等在本书图表加工、校对方面付出了辛勤劳动。本书撰写过程中，得到浙江大学求是讲座教授王玉明院士、苏义脑院士，合肥通用机械研究院院长陈学东教授的悉心指导，得到浙江省过程装备与安全重点科技创新团队陈志平、叶笃毅、徐平、刘鹏飞、赵永志、杨健、马利、叶建军，煌盛集团有限公司邵泰清、邵汉增、李广忠、陈德福、何小莲、蒋自群、董华章，以及庆发实业有限公司的陈贤朋的热情支持与帮助。著者在此也一并表示感谢。

限于著者水平，虽经努力，书中恐仍有不妥甚至错误之处，敬请读者批评指正。

著者

2011 年 10 月于求是园

目 录

1 绪论	1
1.1 概述	1
1.1.1 管道的发展	1
1.1.2 复合管的发展动态	2
1.1.3 复合管的分类、结构与特点	4
1.1.4 复合管力学行为研究现状	9
1.2 钢丝缠绕增强塑料复合管	20
1.2.1 基本结构	20
1.2.2 基本特性	21
1.2.3 应用领域	22
1.2.4 研究进展	22
1.2.5 发展前景	27
参考文献	27
2 钢丝缠绕增强塑料复合管用材料	38
2.1 钢丝	38
2.1.1 品种和性能	38
2.1.2 性能要求	39
2.2 高密度聚乙烯	39
2.2.1 等级与命名	39
2.2.2 性能要求	42
2.2.3 测试方法	44
2.3 黏结材料	46
2.3.1 黏结原理	46

2.3.2	性能要求	48
2.3.3	测试方法及破坏类型	48
参考文献		50
3 钢丝缠绕增强塑料复合管弹性特性		52
3.1	基本假设和模型简化	52
3.2	单层板弹性系数	54
3.2.1	回形模型法	54
3.2.2	串并联模型	57
3.2.3	Halpin-Tsai 经验公式	60
3.2.4	不同模型的分析比较	61
3.3	单层板任意方向的弹性特性	62
3.4	复合层弹性特性	64
3.5	PSP 整体弹性特性	65
3.5.1	内外层柔度及刚度矩阵	66
3.5.2	整体弹性特性分析	66
3.5.3	钢丝缠绕角度对管材刚度的影响	67
参考文献		70
4 钢丝缠绕增强塑料复合管的应力和强度		71
4.1	PSP 应力分析	71
4.1.1	弹性应力分析	71
4.1.2	黏弹性应力分析	74
4.1.3	试验研究	84
4.2	爆破压力预测	90
4.2.1	理论模型	90
4.2.2	爆破试验	92
4.2.3	分析与讨论	92
参考文献		94
5 钢丝缠绕增强塑料复合管的稳定性		95
5.1	短时稳定性	95
5.1.1	理论模型	95
5.1.2	有限元分析	102
5.1.3	试验研究	106

5.1.4	结果分析与讨论	110
5.2	长时稳定性	114
5.2.1	理论模型	114
5.2.2	试验研究	118
5.2.3	结果分析与讨论	119
	参考文献	123
6	钢丝缠绕增强塑料复合管的端部鼓胀失效分析	124
6.1	PSP 端部钢丝拔脱模型	124
6.1.1	基本假设	124
6.1.2	端部界面应力分布	125
6.1.3	钢丝拉拔力学模型	129
6.1.4	实际钢丝拔脱过程	131
6.2	钢塑界面的拉伸剥离性能	131
6.2.1	材料与试样	131
6.2.2	测试方法与测试装置	131
6.2.3	界面剥离试验过程	132
6.2.4	结果分析与讨论	132
6.3	钢塑界面拉拔性能	135
6.3.1	材料与试样	135
6.3.2	测试方法与测试装置	136
6.3.3	钢丝拉拔试验过程	136
6.3.4	试验结果分析	137
6.4	端部鼓胀失效分析	138
6.4.1	失效机理分析	138
6.4.2	鼓胀失效的影响因素	139
	参考文献	139
7	钢丝缠绕增强塑料复合管设计	140
7.1	PE 管设计	140
7.1.1	标准化结构设计方法	140
7.1.2	内压承载能力的确定	144
7.2	PSP 的设计	145
7.2.1	失效模式	145
7.2.2	设计准则	147

7.2.3 设计方法	148
7.2.4 设计实例	148
7.3 PSP 的优化设计	150
7.3.1 优化概述	150
7.3.2 结构优化设计	153
参考文献	154
8 钢丝缠绕增强塑料复合管的制造与检测	155
8.1 制造工艺	155
8.2 原材料性能检测	157
8.2.1 钢丝	157
8.2.2 基体材料	158
8.2.3 黏结材料	158
8.3 产品性能检测	159
8.3.1 渗水试验	159
8.3.2 耐压试验	159
8.3.3 长时性能检测方法	161
参考文献	164
9 钢丝缠绕增强塑料复合管的连接	165
9.1 电熔连接	165
9.1.1 塑料熔接原理	165
9.1.2 电熔接头	165
9.1.3 电熔管件	166
9.1.4 电熔焊接设备	167
9.1.5 焊接工艺	169
9.2 法兰连接	171
9.2.1 塑料法兰	171
9.2.2 钢制法兰	172
参考文献	174

1 绪论

本章首先简要回顾了管道发展历程，然后介绍了复合管的分类、结构特点和力学行为，最后阐述了钢丝缠绕增强塑料复合管（以下简称 PSP）的基本结构、基本特性、应用领域、研究进展和发展前景。

1.1 概述

1.1.1 管道的发展

管道运输是与铁路、公路、水运、航空并列的第五大运输方式。随着国民经济的持续快速增长，特别是西气东输等重大工程的完成和城市化的高速发展，管道在石油天然气输送、化工、城镇供水、城镇燃气、建筑给水、消防给水、特种流体输送等领域的应用越来越广，其种类、数量都呈现出快速增长的趋势。据不完全统计，截止 2009 年，全世界输油气管道总长度约 $260 \times 10^4 \text{ km}$ ，并且以每年 $2 \times 10^4 \text{ km}$ 以上的速度增长。截止 2009 年底，我国油气长输管道总长度已达 $7 \times 10^4 \text{ km}$ 。

管道一般可分为金属管道、非金属管道和复合管三种。金属管道是由金属材料制造成型的管道，如碳素钢管道、铸铁管道、不锈钢管道等。通常，金属管道易受到周围介质的化学、电化学作用而产生腐蚀破坏，可能会引发介质泄漏甚至爆炸事故，并造成巨大的经济损失和社会影响^[1]。据统计，在中国，每年有大量的金属管道因腐蚀而报废，因管道腐蚀而造成的事故约占事故总数的 30%~40%^[2]，造成的经济损失占国民生产总值的 4% 左右^[3]。其他国家的情况也类似，原苏联因内、外腐蚀造成的事故占全部事故总数的 33.9%^[4]。英国管道失效事故原因中，腐蚀占 40% 以上^[5]。美国墨西哥湾油气管线运营 30 年的失效事故原因统计报告中，腐蚀为 1483 起，占 63.4%^[6]。

金属管道的腐蚀问题促进了非金属管道技术的发展。非金属管道是由非金属材

料制造成型的管道,如聚乙烯(PE)管道、聚氯乙烯(PVC)管道、玻璃钢(GRP)管道等。与金属管道相比,非金属管道具有重量轻、耐腐蚀、水流阻力小、安装简便迅速和运输方便等优点。塑料管道作为非金属管道中增长速度最快的一种,得到了广泛的应用。随着中国西部大开发、西气东输、南水北调等大型项目等建设,中国聚乙烯管道年平均增长速度将达8%~10%,超过世界需求年平均增长速度4%~5%^[7]。

目前国外在给排水、供热采暖、气体输送等领域普遍采用塑料管。欧洲的PE燃气管道普及率极高,如英国、丹麦、法国等国家均超过90%^[8]。但由于材料本身结构的特点,塑料管道的耐热、耐压、耐冲击性相比钢管较差,且表面易刮伤^[9,10]。

为利用金属材料的高强度和非金属材料的耐蚀性,解决金属管道或塑料管道存在的问题,出现了由金属材料和非金属材料复合而成的管道^[12]。复合管道一般可分为聚合物基复合管、金属基复合管以及陶瓷基复合管等^[13],它们的组成原料经过相互补充而弥补各自的弱点,产生了优异的复合性能。根据使用性能的要求,合理地选择组成材料和增强方法,可以设计出性能更加优异的复合管道^[14]。

复合管道生产工艺先进、性能优良、施工费用少、技术易配套且成本较低,深受世界各国的普遍重视。欧、美、德、英、日、俄等国家早在20世纪50年代就开始研究复合管生产技术,并从生产工艺、使用性能、检验方法等方面进行了大量的研究^[14,15]。如今复合管道已大量地应用于石油、化工、市政建设等相关领域。

1.1.2 复合管的发展动态

20世纪50年代初期美国开始研制并生产玻璃钢管道^[16]。随着玻璃钢管的普及应用,在70年代出现了夹砂玻璃钢管(RPMP)。它是一种以玻璃纤维无捻粗纱及其制品为增强材料,热固性树脂为基体材料,优质硅砂为填料和辅助材料,采用缠绕工艺复合而成的管材^[17]。美国的多家公司在60~70年代利用连续纤维缠绕技术开发出各种高压管、污水管等^[18]。

20世纪70年代末,KITI发明了铝塑复合管^[19],并由Izhak Barnoach在80年代初研制成功产品^[20]。铝塑复合管是一种将聚乙烯、聚乙烯专用热熔胶与铝合金箔通过高温、高压挤出成型并复合成一体的管材^[21]。Juganson等人率先采用离心铝热反应制成了氧化铝复合钢管^[22]。Pignocco等人获取了应用离心自蔓延高温合成技术(SHS)研制陶瓷衬管的专利,随后在试验研究的基础上,成功制备了长515m、直径达330mm的陶瓷衬管,并应用于熔融铝液的输送^[23,24]。

20世纪80年代三维编织技术的出现带来了复合材料技术的一场革命。KLAUS发明了纤维编织塑料复合管^[25]。同一时期,俄罗斯管道应用设计研究所对油田管道的结构、生产工艺进行了大量的设计研究,开发和生产出内径为50~300mm、工作压力达10MPa耐高压和耐腐蚀的钢丝点焊成网增强塑料复合管^[13]。

20 世纪 90 年代英国开发出一种金属塑料 (HDPE) 套管, 将其用作输送石油、天然气和化学工业中腐蚀介质的内衬, 可以承受 100°C 以上的高温。瑞士开发出内外涂聚氨酯树脂层的球墨铸铁管, 用于输送天然气、煤气和化工介质^[26]。英国推出商业化钢带夹层管 (SSL) 技术。SSL 管以沿同一方向螺旋缠绕的冷轧低碳钢带为增强体, 以玻璃纤维增强环氧树脂 (GRE) 为基体, 钢带和 GRE 均由改进的 GRE 缠绕设备进行连续螺旋缠绕, 操作温度可达 99.3°C ^[26]。同年推出由凯夫拉纤维和高性能热塑材料 (高密度聚乙烯) 构成, 可承受高压的增强热塑性塑料管^[27]。荷兰开发了增强热塑性塑料管, 它通常是将预制好的钢丝增强塑料带分两层正反交错缠绕在高密度聚乙烯 (HDPE) 芯管上, 再覆盖外塑料层制成, 小直径的这种管材管道可作为输油管线。有 4in (10.16mm) 和 5in (12.7mm) 两个常用规格, 以连续长盘管 (400m 和 280m) 方式供应。工作压力达到 $3.2\sim 9.5\text{MPa}$ ^[28]。

21 世纪初, 美国研制出一种钢丝网骨架混凝土复合管。它是由专用设备把钢丝压成波浪型圆圈, 并与混凝土料组合, 最后与黏结衬里层黏结而成^[13]。日本、韩国、澳大利亚等国也已经研究开发了埋地排水用金属增强缠绕结构管, 又称金属树脂管 (MRP)^[29]。德国推出了内部采用波纹加强筋处理的高强度克拉压力管, 可用于制造 $1000\sim 4000\text{mm}$ 的管道系统, 工作压力可达 1.2MPa ^[30,31]。法国生产出一种含有多层结构的复合管^[32], 它的内层为热塑性塑料以防止输送介质的渗漏, 次内层为 “Z” 型钢带以承担管内的径向压力, 之后为螺旋扁平钢壳用以继续承压, 中间为塑料抗摩擦层, 接下来为双层错绕的钢层以抵抗管道所受的轴向力, 次外层为一热塑性保护层以防止钢壳层腐蚀, 最外层为不锈钢外套层以防止管子受到冲击和磨损, 这种多层结构在石油开采行业中得到了广泛地应用。

随着对国外复合管生产设备和生产技术的引进, 以及国家有关管理部门的大力支持, 不断发布新的产品标准, 使得中国复合管的应用虽然起步较晚, 但发展较快^[33]。

自 20 世纪 90 年代开始, 中国对复合管的研制与应用十分活跃, 出现了许多拥有中国自主知识产权的产品。研制的 SHS 陶瓷内衬复合钢管^[34,35]和复合铜管已投入生产^[36,37]。推出的高强复合薄壁管 (GBF) 是由高标号水泥砂浆 (细砂) 与高强度网状纤维组合加工而成的封闭式圆形薄壁空心管, 用于制造壁厚 $5\sim 6\text{mm}$ 的管道^[38,39]。

21 世纪开始, 中国开发出一系列自主知识产权的钢带增强塑料管, 如钢带增强塑料埋地管、钢带增强聚乙烯螺旋波纹管、钢骨架塑料复合管^[41]、加强型多层卷绕镀层钢塑复合管^[42]、钢丝缠绕增强塑料复合管^[43]、连续缠绕全埋式筋材塑料复合管^[44]、生物纤维/高分子复合管^[45]等。钢带增强塑料埋地管包括镀锌 (镀铝锌) 钢带外增强聚乙烯 (PE) 缠绕管、覆塑钢带外增强 PE 缠绕管、钢带内增强 PE 缠绕管、镀锌钢带外增强硬聚氯乙烯缠绕管^[11,40]。

1.1.3 复合管的分类、结构与特点

根据增强材料的不同，复合管可分为非金属骨架增强复合管和金属骨架增强复合管两种类型。具体的分类形式如图 1-1 所示。

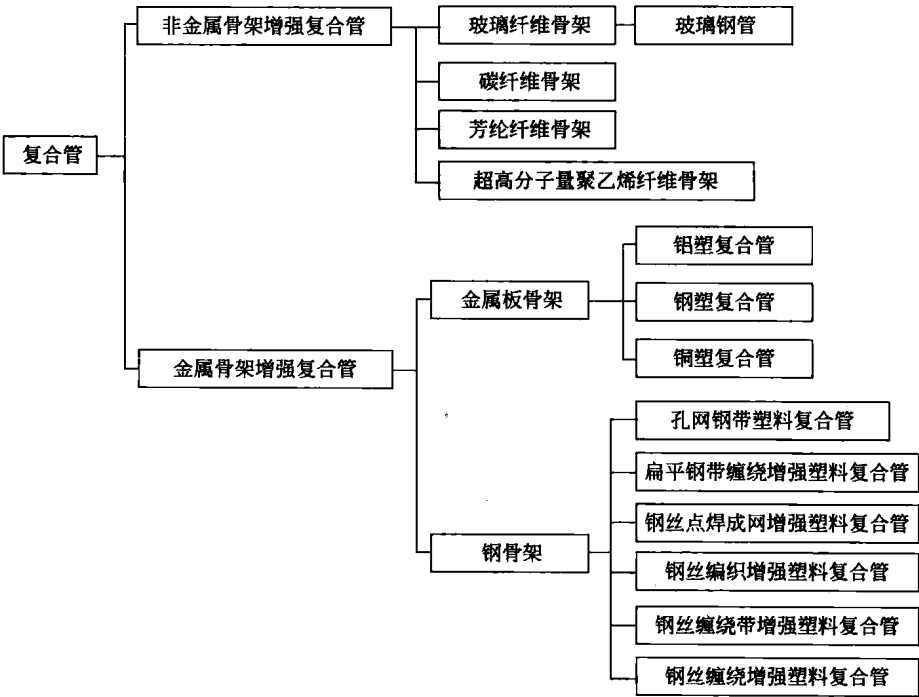


图 1-1 复合管道分类

1.1.3.1 非金属骨架增强复合管

非金属骨架增强复合管采用的增强材料主要有玻璃纤维、碳纤维、芳纶纤维和超高分子量聚乙烯纤维等。与玻璃纤维相比，碳纤维及其他纤维价格昂贵，加工成本较高。绝大部分非金属骨架增强塑料复合管采用玻璃纤维作为增强材料。以玻璃纤维作为增强相的复合管称为玻璃钢管（GFRP），它是非金属骨架增强复合管中应用最广泛的一种管材，本节将对其结构与特点进行详细介绍。

GFRP 管壁结构从内到外依次为：内衬层、结构层和外保护层。内衬层起防腐、防渗作用，此层又可分为内表面层和次内层。内表面层的作用主要是防腐蚀、防渗漏。次内层除作为防腐、防渗的第二道防线外，当结构层产生裂纹时，还能起到保护内表面层的作用^[46]；结构层的作用为担负管道的强度和刚度。它由按设计缠绕角交叉缠绕的连续玻璃纤维粗纱作为增强骨架，以邻苯型或间苯型不饱和聚酯树脂作为黏结基体构成；外保护层起到了抗老化、防腐蚀、抗日晒的作用^[47]。

GFRP 是中国较早引进的非金属骨架增强复合管道，具有质量轻、比强度高、

抗疲劳性能好；摩阻系数小，水力特性优越；耐腐蚀性和韧性好；抗老化性能及抗冻性能优越；电热绝缘性好和可设计性强等优点^[48]。由于目前技术上还不够成熟，玻璃钢管在施工和运行过程中暴露出一些问题：如抗冲击性能差，易破损；材质脆性大，施工要求条件高；在施工或维修时，黏接条件环境温度必须在 6℃ 以上，同时固化时间一般需要 4h 以上^[49]；不易修补，管线坏后需整根更换^[50]；此外玻璃纤维对人的皮肤还会造成一定的伤害。

1.1.3.2 金属骨架增强复合管

金属骨架增强复合管按照骨架形式可以分为金属板骨架增强复合管和钢骨架增强复合管。

(1) 金属板骨架增强复合管

目前常见的金属板骨架增强复合管可根据增强材料分为铝塑复合管、钢塑复合管和铜塑复合管。它们是通过金属板（管）涂塑或衬塑实现增强。

① 铝塑复合管 铝塑复合管是由德国尤尼克（UNICOR）公司首创，后来由英国凯达技术有限公司对其生产技术进行改进而发展起来的^[51,52]。铝塑复合管结构示意图如图 1-2 所示。内、外层由起防腐作用的聚乙烯层构成，在铝塑复合管中内、外层约占管子总重的 60% 以上^[53]；中间层是起担负管道强度和刚度作用的铝层，其质量的好坏直接影响复合管的承载能力；连接内、外层和中间层的内、外层是由熔胶层组成，虽然它在铝塑复合管体系中所占质量百分比很少，但却是整个复合体系各层间承压时能否有机协同工作的重要保证。

② 钢塑复合管 钢塑复合管（SP 管）发源于美国，20 世纪 90 年代引入中国。它起初是管道外壁涂敷一层防腐塑料，后来又发展到对管道内壁进行涂敷，从而大大延长了管道的使用寿命，扩大了管道的使用范围^[54]，其结构如图 1-3 所示。同时也出现了采用与铝塑复合管结构类似的五层 SP 管，其结构可参考图 1-2。SP 管具有高强度和刚度、耐磨、耐腐蚀、无污染、无公害、节能、节材及长寿命等诸多优点^[55]。

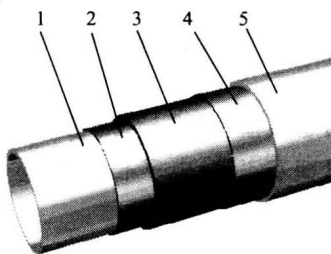


图 1-2 铝塑复合管

1—内层聚乙烯；2—内热熔胶层；3—铝管；
4—外热熔胶层；5—外层聚乙烯

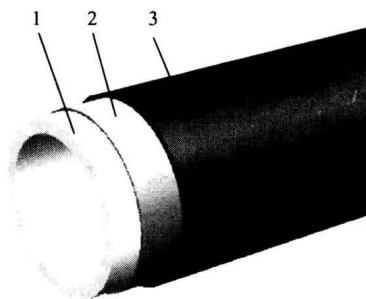


图 1-3 钢塑复合管

1—高密度聚乙烯层；2—热熔胶；
3—不锈钢管

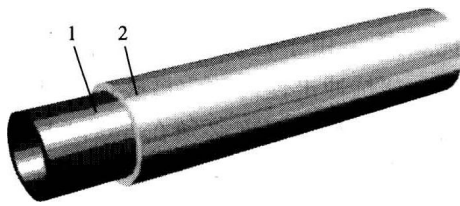


图 1-4 铜塑复合管
1—铜管；2—聚乙烯层

③ 铜塑复合管 铜塑复合管是以无缝紫铜给水管为基材，外壁加覆一层塑料保温层复合而成，其结构如图 1-4 所示。近年来出现的聚乙烯发泡塑覆保温铜管，是以铜管为内层，以阻燃聚乙烯为外层，中间层为闭孔聚乙烯泡沫，采用新技术生产的铜塑复合管^[56]。铜塑复合管具有耐温、耐压；内表面光滑、

不易结垢、流量大；密封性好、不渗漏；安装简易等特点。它广泛用于各种建筑的冷热水输送；石油液化气、压缩空气的输送；空调、医疗、食品领域中液体介质的输送^[57]。

由于金属板骨架增强复合管增强体与基体之间存在连续规则的复合面，长期使用时，在交变应力的作用下易脱层，导致连接处泄漏，内部出现瓶颈状收缩，堵塞管腔而失效；管件工艺复杂，成本较高；管径较小^[58]。为了克服金属板骨架增强复合管的固有缺陷，近年来人们将关注热点投向了钢骨架增强复合管。

(2) 钢骨架增强复合管

钢骨架增强复合管属于化学建材的塑料管道类的一种，被美国塑料管道协会 (PPI) 称为“二十一世纪的绿色管道”，倡导在美国市场推广使用。它也是近年来国内鼓励和重点发展产品，其应用前景相当广阔^[59]。

国内外生产的钢骨架增强复合管，按骨架形式分为钢带增强塑料复合管和钢丝网骨架增强塑料复合管^[60,61]；按制造工艺的不同，钢带增强塑料复合管可分为孔网钢带增强塑料复合管 (PSSCP) 和扁平钢带增强塑料复合管 (FSRCP)；钢丝网骨架增强塑料复合管可分为钢丝点焊成网增强塑料复合管 (SPE)、钢丝编织增强塑料复合管 (PPRWSW)、钢丝缠绕带增强塑料复合管 (PPRWSWB) 和钢丝缠绕增强塑料复合管 (PSP)。

① PSSCP PSSCP 是以氩弧对接焊成型的多孔薄壁钢管为增强体，内层和外层双面复合热塑性高密度聚乙烯 (HDPE) 制成的一种复合管道^[62,63]，其结构见图 1-5，生产线工艺流程如下^[64]：

钢带冲孔→钢带放卷、对接→钢带纵剪→钢带管成型→钢带管焊接→钢带管校圆、热处理→复合成型→冷却、定径→牵引→喷码标识→电子自动检验→定尺切割→封口

PSSCP 的强度、刚性和抗冲击性能远远超过塑料管，具有较低的线膨胀系数，较强的抗蠕变性能，良好的耐腐蚀、耐磨损性能，较高的管道系统安全性和较长的使用寿命^[63,65]。但其生产工艺复杂，生产流水线价格较高^[62]。

② FSRCP FSRCP 是以多层高强度扁平钢带螺旋缠绕成型的网骨架为增强

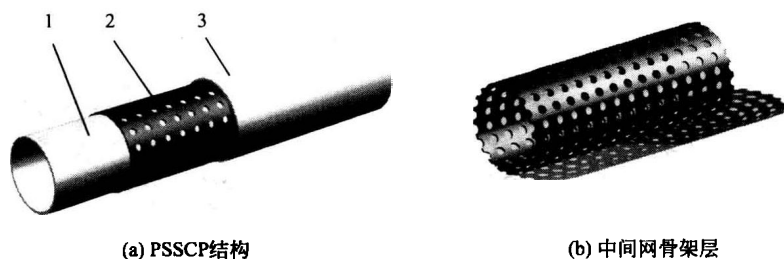


图 1-5 PSSCP 结构图

1—内层塑料；2—多孔薄壁钢管；3—外层塑料

体，以中密度聚乙烯或交联聚乙烯为基体的钢塑复合管道，其结构形式如图 1-6 所示。生产工艺流程如下：

芯管制造成型→缠绕扁平钢带→径线放送→复合成型→冷却、定径→牵引→喷码标识→电子自动检验→定尺切割→封口

内径为 4in（约 10cm）的 FSRCP 最高耐压强度可达 25MPa，小口径管道柔顺可连续盘绕，便于施工，耐腐蚀，具有很长的使用寿命，可以回收重新安装。因此，钢塑复合管道广泛用于海上油田和陆地油田的油、气、水的输送。

③ SPE SPE 是以优质低碳钢丝为增强相，高密度聚乙烯（HDPE）为基体，通过钢丝点焊成网与塑料挤出填注同步进行，在生产线上连续拉膜成型的新式双面防腐压力管道，其结构见图 1-7。生产线工艺流程如下^[66]：

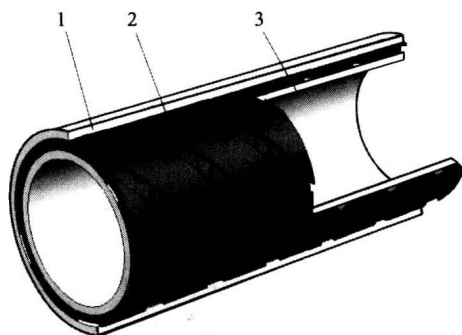


图 1-6 FSRCP 结构图

1—外 HDPE 层；2—扁平钢带；3—内 HDPE 层

径线放送→钢丝骨架成型焊接→复合成型→冷却、定径→牵引→喷码标识→电子自动检验→定尺切割→封口

它由经线钢丝与纬线钢丝缠绕焊接而成，有较好的刚性和强度^[67,68]，可用于架空铺设。但生产工艺复杂，因受筒型骨架焊接速度的影响而使得管材的生产速度低（200~220mm/min）。同时受筒型骨架结构的限制，管材壁厚不能小于 11mm，导致每米管材的塑料和钢丝用量较大，产品成本高^[69]。

④ PPRWSWB 钢丝带增强热塑性塑料管（PPRWSWB）是由奥地利派来福公司（Pipelife）公司推出的，目前在欧洲、美国应用较为广泛。PPRWSWB 通常是将预制好的钢丝增强塑料带分两层正反交错缠绕在高密度聚乙烯（HDPE）芯管上，再覆盖外塑料层制成，其结构形式如图 1-8 所示。钢丝平行嵌于增强塑料带内，钢丝增强塑料带通过热熔与内外塑料层结合。增强带缠绕角由芯管直径和缠绕

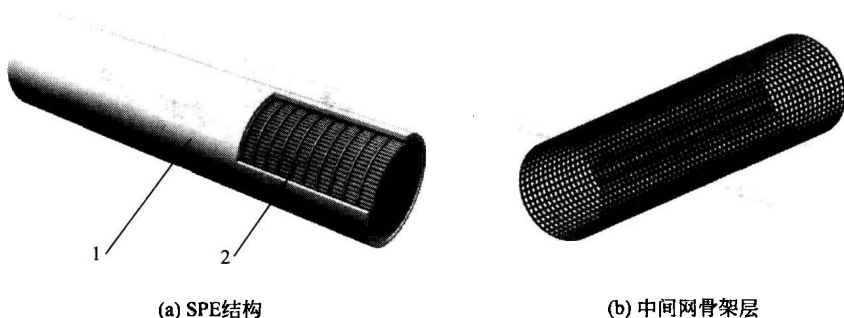


图 1-7 SPE 结构图
1—HDPE；2—中间网骨架层

带宽度决定。生产工艺流程如下：

钢丝增强塑料带制造成型 } → 径线放送 → 复合成型 → 冷却、定径 → 牵引 → 喷码
 芯管制造成型 }
 标识 → 电子自动检验 → 定尺切割 → 封口

钢丝缠绕增强塑料复合管

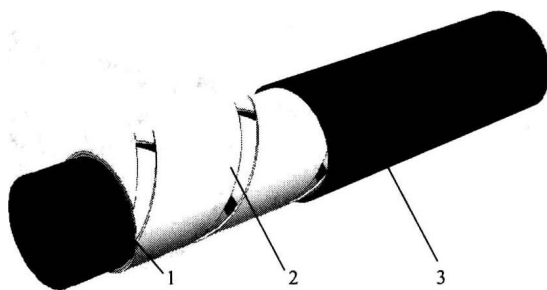


图 1-8 PPRWSB 结构图
1—内 HDPE 层；2—钢丝增强带；3—外 HDPE 层

PPRWSB 具有强度高、耐腐蚀、柔韧性好和可熔接等优点；直径较小时可盘卷，接头数少，铺设方便快捷，可适用于石油天然气输送。

⑤ PPRWSW PPRWSW 管是由高强度钢丝连续编织在塑料芯管的外侧提供管道径向和轴向抗压能力；外敷塑料层保护管道不受外部环境的损伤；热绝缘层可加到管道的外面，起保温作用。其结构如图 1-9 所示。生产工艺流程如下：

钢丝网编织成型 } → 径线放送 → 复合成型 → 冷却、定径 → 牵引 → 喷码标识 → 电
 芯管制造成型 }
 子自动检验 → 定尺切割 → 封口

该管最高设计压力可达到 25MPa，主要用于海上油田和陆地油田的油、气、水的输送。管道可连续盘绕，便于施工；独特的管道可进行电加热，解决了非金属管道低温下易发生凝管和冻管的难题；其可探测功能解决了管道铺设后不宜探测的问题。目前国内只有一条引进生产线，规格系列较少，且最大口径仅为 6in