

玻璃钢夹砂管道

岳红军 著



科学出版社

992488

玻璃钢夹砂管道

岳红军 著

科 学 出 版 社

1998

内 容 简 介

本书主要论述玻璃钢夹砂管道的设计、力学分析及制造工艺。其内容包括原辅材料、工艺设备与工艺技术、基本力学性能、结构分析、管道的联接与安装等。书中附有相当篇幅的实例,具有较强的实用性。

本书可供化工、石油、冶金、机械、建筑、水利等部门的科技人员及大专院校相关专业的师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

玻璃钢夹砂管道/岳红军著. —北京:科学出版社, 1998. 4

ISBN 7-03-006535-2

I. 玻… II. 岳… III. 玻璃钢管-管道 IV. U173.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(98)第 01776 号

科 学 出 版 社 出 版

北京东黄城根北街 16 号

邮政编码:100717

中国科学院印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

1998 年 4 月第 一 版 开本:850×1168 1/32

1998 年 4 月第一次印刷 印张:10 1/8

印数:1—4500 字数:265 000

定价:25.00 元

序

10年前,河北中意玻璃钢有限公司从意大利威德罗乐西娜公司引进的两条纤维缠绕玻璃钢管道生产线投产,以此为契机,建立了我国现代化玻璃钢管道工业化生产体系,从而推动我国玻璃钢工业迈上了一个新台阶。

据中国玻璃钢工业协会统计,迄今我国的纤维缠绕定长管道生产线共120条,其中从国外及我国台湾省引进40条,国产80条。我国玻璃钢管道现已被大量采用,并向巴基斯坦、越南、马来西亚等国出口;其制造技术已向菲律宾、韩国出口。

玻璃钢管道工业的发展,带动了新型固化剂、树脂(包括不饱和聚酯树脂、乙烯基酯树脂、新型酚醛树脂等)、玻璃纤维无捻粗纱、玻璃纤维表面毡、短切原丝毡、缝编织物及其复合毡等原辅材料的发展及喷射成型工艺的推广,从而使我国的复合材料工业初具规模。

上溯到1966年,当时的建材工业部克服多种阻力,力排众议,率先从英国司考特·巴德尔公司引进不饱和聚酯树脂生产线,装备了常州建材二五三厂,为我国嗣后玻璃钢工业的发展奠定了较好的物质基础。它与20年后从意大利引进纤维缠绕玻璃钢管道、贮罐生产线一同被深谙我国玻璃钢工业发展历程的人士誉为两大里程碑。

玻璃钢夹砂管道多系地下铺设,突出的优点是刚度好、成本低、市场竞争力强,兼之具有轻质、高强、耐腐蚀、水力学特性好、寿命长等特点,其综合经济效益高于传统材质管。

玻璃钢夹砂管道主要用于江、河、湖、海的取水工程,城市上下水、发电厂输水工程,以及石油、化工、工业液体介质输送工程,国外已有将其用于输送煤气的报道。

鉴于我国玻璃钢夹砂管生产厂与从业人员颇众,加之众多用户希望对这种产品有较全面的了解,而国内尚未见这方面的书籍,亦未觅到国外这方面的专著,因此本书的出版,对推动我国玻璃钢工业的发展必将有相当积极的意义。

本书内容翔实、全面,且有一定深度,涉及玻璃钢管道的原材料、工艺、装备、力学性能、水力学计算、结构分析、联接安装等。本书可供玻璃钢夹砂管道生产企业及用户参考,也可供大专院校相关专业的师生阅读。

陈博 谨识

1997年10月于北京西三里河

目 录

序

绪论	(1)
第一章 原辅材料	(7)
1.1 概述	(7)
1.2 不饱和聚酯树脂	(8)
1.3 环氧树脂	(84)
1.4 酚醛树脂	(109)
1.5 呋喃树脂	(113)
1.6 其它树脂	(114)
1.7 增强材料	(115)
1.8 辅助材料	(147)
第二章 工艺设备与工艺技术	(163)
2.1 工艺设备	(163)
2.2 工艺技术	(172)
2.3 产品缺陷及质量控制	(192)
2.4 纤维缠绕玻璃钢夹砂管道的特点	(195)
第三章 基本力学性能	(199)
3.1 概述	(199)
3.2 单层的刚度特性	(201)
3.3 层合管壁刚度特性	(207)
3.4 层合管壁的强度性能	(213)
第四章 管道的水力计算	(219)
4.1 概述	(219)
4.2 摩阻损失的计算	(219)
4.3 简单管路的水力计算	(224)

4.4	长输管道的水力瞬变·····	(230)
第五章	玻璃钢夹砂管的结构分析·····	(233)
5.1	概述·····	(233)
5.2	地下管载荷与土压分析·····	(233)
5.3	地下夹砂管的内力分析·····	(240)
5.4	地下夹砂管的弹性稳定性·····	(258)
5.5	地下夹砂管的刚度分析·····	(262)
第六章	玻璃钢夹砂管道的联接与安装·····	(269)
6.1	联接·····	(269)
6.2	地下管道安装·····	(272)
6.3	地上管道安装·····	(287)
第七章	试验方法·····	(295)
7.1	原材料检测·····	(295)
7.2	产品检验·····	(305)
附 录	玻璃钢管道常用标准·····	(312)
	参考文献·····	(316)

绪 论

玻璃钢是复合材料中最主要的一大类,是现代复合材料最先研究、开发、工业化的一个领域。也可以说,没有玻璃钢就没有现代的复合材料。50多年来,不论是玻璃钢的产品品种、产量、应用范围以及生产工艺,还是其生产装备的机械化、自动化程度等,都在复合材料领域中占主导地位。

玻璃钢诞生于本世纪40年代,其发展是与基体材料树脂和增强材料玻璃纤维工业化生产分不开的。世界上一些主要工业发达国家随着石油化工工业的进步与发展,生产了高分子合成材料,如合成橡胶、合成树脂及合成纤维等。

1938年,美国首先实现了玻璃纤维工业化生产,掌握了球法拉丝工艺技术,于1943年发明了短切原丝毡,1948年出现了商品原丝毡,到1950年又生产出了无捻粗纱,为玻璃钢的研制及生产奠定了增强材料的基础。为了提高玻璃钢制品的质量、降低能耗,其仅用了几年时间就完成了从球法拉丝工艺向池窑拉丝工艺的转变,于1958年建立了池窑拉丝工艺。随后,日本、西欧等国也采用了池窑拉丝新工艺。

合成树脂与玻璃纤维复合后两相界面处粘结力很低,因此剪切强度不高,成为玻璃钢的薄弱环节。为解决这一难题,人们于1951年研制出了沃兰偶联剂。之后,适用于各种树脂的偶联剂相继问世,大大改善了玻璃钢制品的性能。

玻璃钢成型工艺伴随着工艺装备的出现与改进也逐渐发展起来。从手糊法开始,先后出现了喷射法、对模法、袋压法、真空吸附法、层压法、缠绕法、离心法、连续法、拉挤法等多种成型方法。

缠绕工艺于1947年首先由美国发明。美国利用缠绕工艺生产军用尖端产品,如火箭发动机的壳体等,而西欧却开始利用缠绕

工艺生产民用产品。

各种工业的不断发展所带来的腐蚀问题日趋严重,以致一些传统材料根本无法使用,因此各国都集中了相当的科技力量和大量的财力从事新的防腐材料及其制品的研究与开发。由于玻璃钢具有突出的防腐性能,很快得到了人们的认可,开始应用于实际工程,并收到了良好的经济效益。其主要产品是玻璃钢管道和容器。

玻璃钢管道的生产虽已有 40 多年的历史,但在 60 年代发展比较缓慢,其主要原因是质量问题没有得到彻底解决。1964 年后,管材、管件才开始商品化、系列化和标准化;产品标准、检验方法和各种设计规范、安装规范陆续完善。生产设备从早期的链条式往复缠管机到 60 年代的电子控制缠绕机,直至 70 年代的微机控制缠管机;随后又研制出连续制管机组,至此玻璃钢管道的生产技术和设备趋于完善、成熟。

输水、输油的地下管线,要求玻璃钢管不仅仅承受输送介质的压力,还要求承受垂直的土压载荷,地面上的集中载荷、活动载荷及可能出现的真空压力。这就要求管子要有足够的刚度。欲想提高管子的刚度,一是适当增大螺旋缠绕角或增加环向缠绕,二是增加管的壁厚。第二种方法势必要增加管子的成本。80 年代初研制出了适宜于地下埋设的玻璃钢夹砂管道,进一步扩大了缠绕管的应用范围。

实际上 60 年代出现的离心法生产的浇铸管也是一种玻璃钢砂浆管,但同连续纤维缠绕制成的玻璃钢夹砂管相比,存在着费料、强度低、性能离散性大、韧性差等不足。如离心法生产的管子爆破强度仅 1.6MPa,而连续纤维缠绕生产的夹砂管爆破强度可超过 4.0MPa,显然后者能保证未来使用的可靠性。这也是为什么纤维缠绕夹砂管在各国大量采用的原因。

目前,美国玻璃钢管道至少安装了 16.5×10^4 km。欧洲新铺设的大中型供水管中,玻璃钢管的安装长度占 15%~50%。英国玻璃钢水管占供水管总长度的 25%以上,预计今后可发展到 30%~50%。意大利玻璃钢管产量在 1.2×10^4 t 以上,占玻璃钢总产

量的 12% ;瑞士钢管产量占玻璃钢总产量的 40% 左右。日本大口径供水管道中,玻璃钢管占 25% 以上,超过钢管,仅次于球墨铸铁管。中东地区的大、中型的输水管、污水管、海水淡化系统用管全部为玻璃钢管。目前各国采用的玻璃钢管中,仍以纤维缠绕管(或其夹砂管)为主,其发展势头,大有逐步替代传统材料管材的趋势。

我国的玻璃钢研制工作始于 1958 年,初期从前苏联引进了法拉拉丝工艺,同时又于 1966 年从英国引进了不饱和聚酯树脂生产技术。当时的研究主要集中于国防军工产品,主要成型方法有手糊法、层压法、模压法及干法布带缠绕等。1967 年以后研制了用胶布卷制玻璃钢管,用于战备输油管道。70 年代又研制了用浸胶机浸渍胶布直接卷管的方法,管子质量很好,但由于受布幅的限制,只能生产 1.8m 长的管。

60 年代末、70 年代初,我国在缠绕工艺技术及结构设计计算方面取得了较大的发展,但只限于国防尖端产品的研究和试制。直到 70 年代中期以后,才向纤维缠绕玻璃钢民用产品转化,但由于原材料不配套,如缺少无捻粗纱、表面毡、短切毡以及适用于管、罐缠绕工艺的树脂体系等,工作进展缓慢。全国玻璃钢产量也处于徘徊不前的状态。

1987 年,河北省中意玻璃钢有限公司首次与意大利签约,引进了先进的玻璃钢管、罐生产线,开创了我国玻璃钢管、罐生产的新局面。至此以后,我国又有数家从国外引进了原材料生产技术及设备,管、罐生产技术及设备,从而使我国的玻璃钢管、罐生产技术及设备全面地跃上一个新台阶。

重庆从日本引进了波歇炉法拉丝及制毡机组,珠海、东莞引进了池窑拉丝生产线,开封引进了玻璃纤维及制品生产线,加上国有企业的技术改造,如山东用电熔炉法生产中碱玻璃纤维等;南京绝缘材料厂、天津合成材料厂、秦皇岛耀华玻璃钢厂、济南树脂厂、南京金陵巴斯夫公司、烟台齐鲁树脂厂、江阴第二合成化工厂等都引进了树脂配方及生产技术,加上国有企业厂家的原有品种与牌号,从而使我国玻璃钢的两大主要原材料基本上满足了现阶段的成型

工艺及产品要求。但还要看到,我国玻璃钢生产需要的原辅材料与先进国家相比差距仍然很大,现已成为制约我国玻璃钢工业高速发展的主要因素之一。如国外有上百种浸润剂配方,生产的各种纤维、毡、织物等增强材料有 300 多个品种、5 万多种用途,可满足玻璃钢工业各种成型工艺及产品性能的要求,而我国只有十几种浸润剂配方,生产的增强材料只有 60 多个品种、600 多种规格。美国的合成树脂工业相当发达,仅用于玻璃钢方面的树脂就有 60 多类、400 多个品种,而我国只有一二十种。如何缩小这一差距,尚需全行业做出更大的努力。

玻璃钢是一种新兴材料,各国都把它列为 21 世纪的战略材料。为了提高它的强度和刚度而采用高模量增强纤维,如凯芙拉纤维(芳纶)、碳纤维、陶瓷纤维、碳化硅材料及金属纤维等。为了提高它的耐热性、耐化学性,也采用了新的基体材料,如聚酰亚胺树脂(耐温 $316\sim 370^{\circ}\text{C}$)、改性双马来亚胺树脂、PMR15 树脂(耐温 $232\sim 316^{\circ}\text{C}$)、聚氰酸酯树脂(耐温 $120\sim 165^{\circ}\text{C}$);热塑性树脂中的聚砜类,如聚醚砜(耐温 204°C)、聚酮类(如聚醚乙酮、聚苯硫醚等)。用这些材料生产的纤维增强塑料就是所说的先进复合材料。我国已把先进复合材料的研制列入了国家战略研究的“863”计划。

1992 年中意玻璃钢有限公司又从意大利引进了纤维缠绕玻璃钢夹砂管道生产线,为我国地下埋设及海底铺设急需的玻璃钢管提供了合乎要求的产品。该公司为大庆油田供水工程首次安装了 $\phi 800\text{mm}$, 14km 的管线,随后又为北京供水工程安装了 $\phi 900\text{mm}$, $\phi 700\text{mm}$, $\phi 600\text{mm}$ 共 37km 的管线,开创了国产玻璃钢夹砂管应用的先例。玻璃钢夹砂管之所以发展这样快,主要有以下几个原因:

- 1) 密度小,比强度高。
- 2) 单位长度重量轻。
- 3) 动力消耗少。

缠绕玻璃钢夹砂管的内表面非常光滑,靠模具保证,实测糙率为 0.0084,流量系数可达 150。

由于缠绕玻璃钢夹砂管的糙率小,所以要求流体的阻力系数很低。而且,输送同样流量的介质,管径可比其它几种管小许多;如果用相同管径的管输送介质,玻璃钢夹砂管的流量远远大于其它管的流量,因此可以大大降低动力消耗,节省能源。

4) 综合经济性好。

玻璃钢夹砂管的耐腐蚀性能好,不需专门的维修和保养,也不像钢管、铸铁管、混凝土管等必须预先采取一定的防腐措施及定期维修和保护。玻璃钢夹砂管的长期使用性能也比其它材质管好得多,据美国的经验和按 ASTM2992B 法长期静水压计算外推,其使用年限可达 50 年以上。

5) 使用范围广。

玻璃钢夹砂管道,主要用于江、河、湖的取水工程、城市市政建设中的污水输送工程、农田灌溉的供水工程、海水淡化的供水工程、消防水的供水工程、发电厂输送冷却水工程、石油输送工程,以及工业上用于输送流体介质的地下管道工程。

第一章 原辅材料

1.1 概 述

制造玻璃钢夹砂管道的主要原材料有基体材料和增强材料。当然，将基体、增强两种主要材料通过工艺装备、工艺技术和结构设计复合成工程上实际应用的夹砂管道，尚需要其它一些辅助材料，如引发剂、固化剂、交联剂、石英砂等。对于露天使用的管道有时还需加入阻燃剂、抗静电剂及光稳定剂等。本章除重点介绍主要原材料外，还简单介绍一些辅助材料。

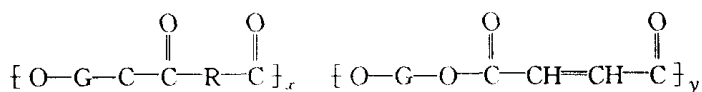
基体材料主要是合成树脂，它可分为两大类，即热固性树脂和热塑性树脂。所谓热固性树脂，指在热（或光）或固化剂（或引发剂）的作用下，能产生交联反应，生成一种不溶、不熔、具有网状结构的固态高聚物的一类树脂。目前采用较多的是不饱和聚酯树脂、乙烯基酯树脂和环氧树脂。特殊情况下也用到酚醛树脂和呋喃树脂。热塑性树脂是具有线型或含支链型的一类高分子化合物。这类化合物可被加热软化（或熔化），冷却凝固形成可溶、可熔的固态聚合物，如聚氯乙烯、聚丙烯、聚苯硫醚等。虽然它们亦可制成复合材料，但这一类树脂难以制成树脂溶液，不能通过浸胶方式浸渍玻璃纤维进行缠绕成型，因此本文不作更多的介绍。

制造玻璃钢夹砂管所用的主要增强材料是玻璃纤维及其制品。玻璃纤维按其化学组成可分为无碱玻璃纤维(E-玻璃纤维)和有碱玻璃纤维(C-玻璃纤维)。这些玻璃纤维是制造玻璃钢加砂管道的主要增强材料，下面给予较为详细的介绍。

1.2 不饱和聚酯树脂

不饱和聚酯树脂是由不饱和的(或饱和的)二元酸(或酸酐)与二元醇经缩合反应而生成的一类高分子化合物。由于不饱和的(或饱和的)二元酸(或酸酐)、二元醇种类繁多,因此可合成品种不同、性能各异的不饱和聚酯树脂,适应了不同产品性能的要求。此外,还可以合成出适用于不同成型工艺的专用树脂,如缠绕专用树脂、拉挤专用树脂等。这类树脂是制造玻璃钢加砂管道最主要的基体材料。

不饱和聚酯树脂在其分子主链上同时含有酯键($\text{—}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C—O—}$)和不饱和双键(—CH=CH—),其典型的不饱和树脂结构如下式:



式中,G,R 为二元醇及饱和二元酸中的二烷基或芳基; x, y 为聚合度。

由于聚酯链中存在着不饱和双键,使其在适当条件下可交联成不溶、不熔状态的固体物质。若再加入具有乙烯基的单体,不饱和聚酯树脂将与乙烯基单体快速交联反应,其固化速率可提高 30 多倍,因此使它于 1941 年便开始了工业化生产,更由于制品的优异性能而获得了广泛的应用与发展。

不饱和聚酯树脂与其它树脂相比,有如下的许多优点:

(1)工艺性能好。这一点是其它基体材料无法比拟的,它几乎可以适用于任何复合材料的成型工艺方法。用单体(交联剂)稀释后,室温下具有适宜的粘度,极易浸渍增强材料,它不但可以常温、常压成型,亦可以中、高温加压下固化成型。其具有 100% 的反应活性,凝胶固化没有任何副产物产生。

(2)树脂色泽较浅,且为透明的粘性液体,可加色料,制成五光十色的制品。

(3)它与许多材料相容性好,可以选用各种添加剂,以改善其工艺性能和最终的产品性能。

(4)力学性能较好。虽然它不如环氧树脂,但高于酚醛树脂和呋喃树脂。

(5)电绝缘性能、耐腐蚀性能也相当好。

不饱和聚酯树脂的发现是在本世纪 30 年代,我国的不饱和聚酯树脂的生产开始于 1960 年。当时从英国引进了生产装备和工艺配方,落户于常州二五三厂。它的生产有力地推动了我国玻璃钢工业的发展。之后,以常州为发源地先后建起了许多家生产厂(或车间)。改革开放以后,又有数家从国外引进了具有八九十年代水平的不饱和聚酯树脂生产装备及工艺配方,形成了以常州、南京、上海、天津、秦皇岛、番禺等为主要基地,遍布全国的不饱和聚酯树脂生产厂。

1.2.1 不饱和聚酯树脂的分类

不饱和聚酯树脂按其主要原材料可分为邻苯型、间苯型和双酚 A 型等;按其性能可分为通用型、耐热型、耐腐蚀型、光稳定型和阻燃型等。

1. 通用型不饱和聚酯树脂

通用型不饱和聚酯树脂多为邻苯二甲酸酐型,它具有良好的综合性能,适用于制造船舶、车辆、板材等一般的玻璃钢制品,其使用温度低于 70℃。

2. 耐热型不饱和聚酯树脂

耐热型不饱和聚酯树脂在较高温度下抵抗变形能力较强,即在较高温度下具有比通用型不饱和聚酯树脂较高的强度和弹性模量,其玻璃钢制品的使用温度在 100℃ 左右。

3. 耐化学腐蚀型不饱和聚酯树脂

耐化学腐蚀型不饱和聚酯树脂具有独特的抵抗各种化学介质腐蚀能力,多为间苯型和双酚 A 型不饱和聚酯树脂,用来制造各种耐腐蚀玻璃钢的防腐内衬层。

4. 光稳定型不饱和聚酯树脂

光稳定型不饱和聚酯树脂中由于含有光稳定剂,能吸收紫外线或屏蔽紫外线,使树脂有较高的抗大气老化性,多用于暴露在自然条件下的玻璃钢制品的表面层或透明玻璃钢制品。

不饱和聚酯树脂的品种牌号很多,性能也各不相同,如表 1.2.1 与表 1.2.2 所示。

表 1.2.1 上海产不饱和聚酯树脂牌号及性能、用途

型号	牌号	主要成分	主要技术指标	性能	用途
通用型	306	乙二醇、苯酐、顺酐环己醇	酸值 40~50,挥发物<1%, 聚合时间 50~60s	刚性	船舶、车身等
	307	丙二醇、顺酐、苯酐	酸值 40~50,粘度 50~180Pa·s	刚性	船舶、车身石油 化工设备等
	303	一缩二乙二醇、乙 二醇、苯酐、顺酐	酸值<50	半刚性	汽车车身罩壳
	304	乙二醇、顺酐、苯酐、蓖麻油	酸值<15(50%苯乙烯溶 液)	柔性	电工、环氧树脂 增韧用
	3193	乙二醇、苯酐、顺酐、乙二酸	酸值<40,聚合时间 50~ 80s(聚酯:苯乙烯=7:3)	韧性	船舶、电机、化 工
	2 (涂料)	丙二醇、苯酐、顺酐、癸二酸	酸值>50,聚合时间 50~ 90s	柔性	涂料、油漆