

Design of Composite Products

DESIGN OF COMPOSITE PRODUCTS

复合材料产品设计

● 黄志雄 张联盟 / 主编

武汉理工大学出版社

Design of Composite Products

复合材料产品设计

主编 黄志雄 张联盟
参编 梅启林 彭永利 秦 岩

武汉理工大学出版社

内容简介

本书对几类典型复合材料产品的设计进行了较为系统的介绍。全书共八章。从复合材料产品设计的四个方面分别对卧式贮罐、高位水箱、FRP 门窗、冷却塔、卫生洁具、汽车部件以及净化槽的设计进行了阐述。全书在编写过程中遵循了力求实用的原则,摒弃了结构设计过程中繁复的公式推导。

本书可供有关专业师生及工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

复合材料产品设计/黄志雄,张联盟主编. —武汉:武汉理工大学出版社,2002.9

ISBN 7-5629-1806-6

I. 复… II. ①黄… ②张… III. 复合材料-产品-设计
IV. TB472

出版发行:武汉理工大学出版社

武汉市武昌珞狮路122号 邮编:430070

HTTP://WWW.whut.edu.cn/chubanl

E-mail:wutp @ public. wh. hb. cn

经销者:各地新华书店

印刷者:安陆市鼎鑫印务有限责任公司

开本:850×1168 1/32

印张:7.125

字数:188千字

版次:2002年9月第1版

印次:2002年9月第1次印刷

印数:1—1000册

定价:15.00元

前 言

现代复合材料的发展始于20世纪40年代,尽管现代复合材料的开发应用仅半个多世纪历史,但因其具有轻质高强、性能的可设计性等传统材料无可比拟的优越性,在航空、航天、建筑、化工、汽车和船舶等行业得到了广泛的应用。

复合材料产品的应用实践表明,复合材料产品性能的有效发挥,制品质量的减轻,以及其使用价值的充分实现,在较大程度上取决于产品的设计。由于复合材料是一种各向异性材料,在设计思想、设计准则、计算方法以及试验方法等诸方面均不能沿袭传统材料已有的设计体系,给设计工作带来了很多的不便。基于此,编者在多年从事复合材料教学、产品设计和科研工作的基础上,广泛参阅了国内外的科技资料、设计规范及有关论著,编写了本书。

本书共分八章,分别对贮罐、高位水箱、冷却塔等几类典型的复合材料产品的设计进行了系统的介绍;对每类产品的设计均从设计的四个方面进行阐述,即材料设计、结构设计、工艺设计和造型设计。工艺设计部分则根据不同类别产品的特点,重点介绍了一种成型工艺方法。此外,还强调了造型设计在复合材料产品设计中的地位。

本书由黄志雄、梅启林、彭永利、秦岩、张联盟共同编写。

本书可供从事玻璃钢/复合材料研究、设计和生产的有关科技人员及高等院校有关专业师生参考。

限于编者水平,书中难免有疏漏及不当之处,恳请读者批评指正。

编 者

2002年6月

目 录

1 复合材料产品设计概论	(1)
1.1 复合材料产品设计内容与程序	(2)
1.2 复合材料产品的设计基础	(5)
1.2.1 复合材料结构特点	(5)
1.2.2 复合材料设计的特点	(8)
1.2.3 复合材料产品的设计条件	(10)
1.3 复合材料产品的设计原则	(13)
1.3.1 原材料选择原则	(13)
1.3.2 强度和刚度设计原则	(14)
1.3.3 层合板设计原则	(15)
1.3.4 连接设计原则	(17)
1.4 复合材料产品设计方法	(18)
1.4.1 等代设计法	(18)
1.4.2 准网络设计法	(20)
1.4.3 卡彼特曲线设计法	(21)
1.4.4 主应力设计法	(22)
1.4.5 层合板系列设计法	(23)
1.4.6 层合板优化设计法	(24)
1.4.7 气动弹性剪裁法	(24)
1.5 典型结构件的设计与产品结构形式的选择	(25)
1.5.1 典型结构件的设计	(25)
1.5.2 产品结构形式的选择	(32)

2 复合材料卧式贮罐的设计.....	(35)
2.1 概述.....	(35)
2.1.1 复合材料容器的应用	(35)
2.1.2 复合材料贮罐的分类及特点	(37)
2.1.3 复合材料贮罐的层合结构	(38)
2.2 复合材料卧式贮罐的支座设计.....	(39)
2.2.1 卧式贮罐的支座形式	(39)
2.2.2 鞍式支座最佳位置的确定.....	(40)
2.2.3 鞍式支座的设计	(43)
2.3 复合材料卧式贮罐的封头设计.....	(45)
2.3.1 封头的结构形式	(45)
2.3.2 内压封头的设计	(46)
2.3.3 外压封头的设计	(47)
2.4 复合材料筒体的应力分析.....	(48)
2.4.1 内力计算.....	(48)
2.4.2 变形计算.....	(50)
2.5 筒体的受力分析.....	(52)
2.5.1 载荷分析.....	(52)
2.5.2 筒体轴向应力计算	(53)
2.5.3 鞍座处筒体切向剪应力的计算	(55)
2.5.4 筒体周向应力计算	(59)
2.6 复合材料卧式贮罐工艺设计.....	(62)
2.6.1 材料设计.....	(63)
2.6.2 模具设计.....	(64)
2.6.3 纤维缠绕成型工艺	(66)

3	复合材料高位水箱设计	(70)
3.1	复合材料高位水箱设计基础	(70)
3.1.1	动震载荷	(70)
3.1.2	容水载荷	(73)
3.1.3	积雪载荷	(73)
3.1.4	活动载荷	(74)
3.1.5	固定载荷	(74)
3.1.6	风载荷	(74)
3.2	复合材料球形高位水箱的设计	(76)
3.2.1	设计条件	(76)
3.2.2	球壳计算	(76)
3.2.3	强度条件	(78)
3.2.4	球壳壁厚计算	(79)
3.2.5	支柱计算	(79)
3.2.6	复合材料球形高位水箱的工艺设计	(82)
4	复合材料门窗	(84)
4.1	复合材料门窗的发展及应用	(84)
4.1.1	国内外复合材料门窗发展概况	(84)
4.1.2	复合材料门窗的定义、种类和特点	(87)
4.2	复合材料门窗设计	(90)
4.2.1	复合材料门窗的构造设计	(90)
4.2.2	复合材料门窗的强度设计	(93)
4.2.3	复合材料门窗的密封性能检验	(109)
4.3	复合材料门窗的制造技术	(112)
4.3.1	复合材料门窗型材拉挤成型工艺及设备	(112)
4.3.2	复合材料门窗的组装与验收	(120)

4.3.3	复合材料门窗型材的经济分析	(124)
5	复合材料冷却塔的设计	(127)
5.1	概述	(127)
5.1.1	复合材料冷却塔的发展概况	(127)
5.1.2	冷却塔的分类与组成	(128)
5.1.3	冷却塔设计与生产的规范化	(131)
5.2	复合材料冷却塔的设计	(132)
5.2.1	设计工况	(132)
5.2.2	热力计算	(134)
5.2.3	配水系统的计算	(140)
5.2.4	空气动力计算	(143)
5.2.5	通风机的选用	(145)
5.3	冷却塔的结构设计	(147)
5.3.1	上塔体的结构设计	(147)
5.3.2	下塔体的结构设计	(151)
5.4	冷却塔的降噪设计	(152)
5.5	冷却塔的工艺设计	(153)
5.5.1	材料设计	(153)
5.5.2	模具设计	(154)
5.5.3	工艺流程	(156)
6	复合材料卫生洁具的设计	(157)
6.1	概述	(157)
6.1.1	复合材料卫生洁具的分类	(158)
6.1.2	复合材料卫生洁具的特点	(158)
6.1.3	典型复合材料浴缸介绍	(159)
6.2	复合材料浴缸的设计	(160)

6.2.1	造型设计	(160)
6.2.2	结构设计	(161)
6.2.3	工艺设计	(165)
6.3	复合材料盒式卫生间的设计	(166)
6.3.1	复合材料盒式卫生间的特点及分类	(166)
6.3.2	复合材料卫生间的造型设计与外形尺寸	(167)
6.3.3	卫生间的内部设计要求及性能要求	(168)
6.3.4	卫生间的组装工序及要求	(170)
7	复合材料汽车部件的设计	(171)
7.1	概述	(171)
7.1.1	发展概况	(171)
7.1.2	复合材料汽车部件的种类及特点	(173)
7.2	复合材料汽车车身设计	(174)
7.2.1	复合材料车身设计的基本要求	(175)
7.2.2	复合材料车身壳体的结构设计	(179)
7.2.3	复合材料车身的制作工艺	(184)
7.3	复合材料轿车车门的设计	(186)
7.3.1	复合材料轿车车门的设计要求	(186)
7.3.2	复合材料轿车车门的成型	(188)
7.4	复合材料保险杠的设计	(199)
7.4.1	复合材料保险杠的结构设计	(199)
7.4.2	复合材料保险杠的制造技术	(200)
8	复合材料净化槽的设计	(205)
8.1	概述	(205)
8.2	复合材料净化槽结构设计	(208)
8.2.1	结构设计概要	(208)

8.2.2 设计条件	(208)
8.3 圆桶形净化槽结构设计	(209)
8.3.1 地上设置时的设计校核	(210)
8.3.2 地下埋设时的设计	(213)
8.4 复合材料净化槽成型工艺	(214)
8.4.1 成型方法	(214)
8.4.2 连接方法	(215)
8.4.3 产品检验	(215)
参考文献	(217)

1 复合材料产品设计概论

随着现代科学技术的飞速发展,人们对材料的要求日益苛刻,传统的单一材料往往不能满足要求。复合材料的应运而生,使人们不仅可以选择材料,而且可以为特定工程要求设计和生产新型材料和产品。

复合材料除具有轻质、高强、耐腐蚀等令人瞩目的优点外,还具有隔热、绝缘等多方面的性能。就成型加工方法而言,金属材料是预先加工成型材、板材,再二次加工成构件、产品。与此相反,复合材料产品则是由基体材料和增强材料一次成型,即材料设计和结构设计同时进行。即便是大型的异形产品,也可一次整体成型,而且根据成型方法,可以任意改变材料及结构特性。因此,尽管现代复合材料的开发应用仅有半个多世纪的历史,但其以性能的可设计性等传统材料无可比拟的优越性,在国民经济、人民生活和国防建设等各个领域得到了广泛的应用。据统计,复合材料产品的种类已逾五万种,而且新型复合材料产品仍在不断开发之中。

复合材料产品的应用实践表明,复合材料产品各种性能的有效发挥,产品质量的减轻,产品使用价值的充分实现,在较大程度上取决于产品的设计。探索复合材料产品的设计方法,以期达到优化设计的目的,是复合材料发展过程中的一个现实而又重要的课题。

由于每种复合材料产品使用要求和生产工艺方法的差异,设计方法也不尽相同,而且由于复合材料的可设计性和材料与结构的一致性,就更使得复合材料产品的设计方法具有多种形式,并非简单的模式和规范所能包括。复合材料的非均质性使得其产品设

计在设计思想、设计准则、设计方法和试验方法等方面,都不能沿袭各向同性材料已经确定的设计体系,而需要重新建立适合于复合材料特点的设计体系。

从设计观点来看,复合材料及其产品设计目前尚存在如下几个问题:

(1)由于复合材料的原材料、组成、制造方法的多样性,难以得到稳定的、标准的物理性能,且材料性能分散性较大。

(2)由于复合材料是由多种原材料复合而成的,其影响因素众多,有关物理性能的设计资料不可能十分完备。

(3)复合材料特有的各向异性的特点导致了在设计制造产品时不可避免地遇到很大的困难,诸如设计思想、设计方法、设计准则和试验方法等等。

因此,在复合材料产品研制及推广过程中,不时会遇到意想不到的困难。如果能克服上述困难,并充分发挥复合材料的特点,复合材料是大有可为的,这一点,已被过去的工作成果及其在军工、化工、建材、节能诸领域的成功应用所证实。

1.1 复合材料产品设计内容与程序

科学地说,复合材料产品设计的主要内容包括以下四个方面:

- (1)性能(功能)设计(亦称铺层设计);
- (2)结构(强度、刚度)设计;
- (3)工艺设计;
- (4)造型设计。

性能设计是以产品的使用技术要求为主要依据,通过选材、结构设计和工艺设计,使产品达到相应的技术要求,充分发挥复合材料的特性。

结构设计是根据产品所受的载荷、盛装介质种类、使用环境

等,结合工艺和材料性能,设计出不使材料和产品产生破坏或有害变形的结构尺寸,确保安全使用,同时要求材料高效利用,减少消耗,降低成本。

工艺设计主要是针对该产品的特点、性能要求以及数量等,选择合理的成型工艺方法,使该产品不仅成型方便、合理,质量稳定、可靠,而且成本低廉。

造型设计则是更高层次的要求,它要求设计者尽量做到材料运用的科学性、合理性,充分发挥复合材料自身固有的美学因素和特有的艺术表现力,以求得到产品外观造型的形、色、质的完美统一,从而使得人们更乐于接受和使用。众所周知,复合材料产品状况一直存在着沿袭原有产品的模式或按照传统材料的概念进行仿制,其造型设计相对滞后,这也正是复合材料产品在市场上与同类产品相比显得逊色,且影响其产品自身形象与发展的一个重要因素。

复合材料产品设计过程的实质,就是选用不同材料、综合各种设计(如性能设计、结构设计、工艺设计及造型设计等)的反复过程。在此过程中,必须考虑的主要因素有:结构质量、研制成本、制造工艺、结构检验、质量控制和工装模具的通用性等。复合材料产品设计的程序如图 1-1 所示,可分为以下几个步骤:

(1)明确设计条件。如性能要求、载荷情况、环境条件和形状限制等。

(2)性能设计。包括原材料的选择、铺层性能的确定及复合材料层合板的设计等。

(3)结构设计。包括复合材料典型结构件(如杆、梁、板和壳等)的设计,以及复合材料结构(如桁架、刚架和硬壳式结构等)的设计。

(4)工艺设计。包括产品的成型工艺、构件的制造工艺和装配工艺等。

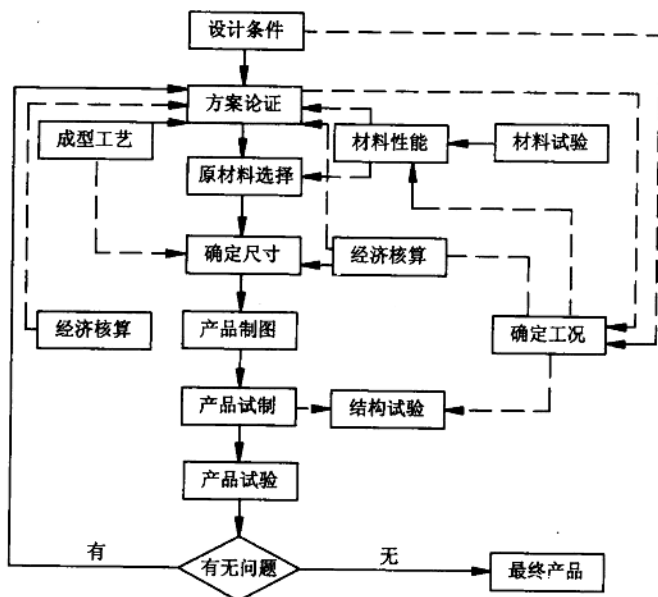


图 1-1 复合材料产品设计程序框图

(5)造型设计。包括产品外观色和形的表现形式,这是复合材料产品设计过程中尚待大力加强的方面。

譬如,在复合材料产品设计之初,首先需要确定其性能与规格要求,然后确定结构的大概形状。性能要求的依据是产品实际使用条件和状态,而结构形状的考虑可以参照原有材料的情形,或者充分利用复合材料成型工艺的特点,尽量做成整体式或流线型的理想状态。然后,根据实际使用中的载荷条件及使用状态,再考虑复合材料的原材料及其性能,筛选出大致合适的材料。掌握产品初定的结构形状、材料性能后,再通过结构计算方法求出给定外力条件下的应力、变形等参数。然后考虑安全系数与许用应力,最终确定

出结构尺寸。必须注意,在选择原材料、初定产品形状、确定产品尺寸时,同时要考虑其工艺方法的可行性及合理性,其基本要求是制造容易、价格便宜和性能稳定。当产品制成后,尚需对样品在模拟外力条件下,进行结构与性能试验,以确定设计是否符合要求。若不行,则需再一次对所选形状及材料进行修正,重复循环,直至完全满足要求为止。

在上述设计程序中,材料性能的理论计算与实际情况总会存在一定的差异,即使是对已经确定的外界载荷条件进行强度计算,也并非易事,因为复合材料是各向异性材料,结构形状多为带有加强筋的曲面薄壳结构,情况相当复杂。纵然采用有限元解析等技术使复杂结构的计算成为可能,但在多数情况下,工程师们仍是把结构件进行模拟、简化,再采用通用计算方法进行研究。

1.2 复合材料产品的设计基础

在进行复合材料产品设计时,了解复合材料结构、结构分析、产品设计的特点和设计条件是至关重要的,是产品设计的基础。

1.2.1 复合材料结构特点

1.2.1.1 结构的多层次性

复合材料不仅仅是材料,更确切地说它是一种结构。纤维增强复合材料的层合结构可分为三种结构层次,即一次结构、二次结构和三次结构。

一次结构是由基体材料和增强材料复合而成的单层材料,其力学性能取决于组分材料的力学性能、相几何(各相材料的形状、分布和含量)和界面区的性能。

二次结构是指由单层材料层合而成的层合体,其力学性能取

决于单层材料的力学性能和铺层几何,即各单层的厚度、铺设方向和铺层序列等。

三次结构是指通常所说的工程结构物或产品,其力学性能决定于层合体的力学性能和结构几何。

图1-2(a)所示的纤维缠绕容器是典型的层合结构,亦即所谓的三次结构。图1-2(b)为从容器壁上切取的壳元,即二次结构。图1-2(c)是将壳元分解成的单层,即为一次结构。这三个层次的结构,其实是在同一个工艺流程中形成的。在较精确的理论基础上,复合材料的结构分析和设计工作是以单层的力学性能为前提的,换言之,单层是层合结构分析和设计的基本单元,这是与各向同性材料的一个根本区别。

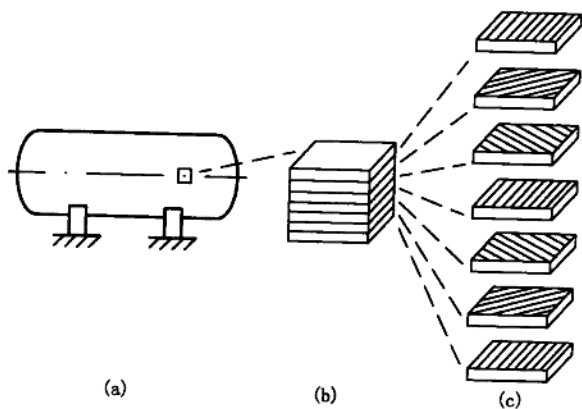


图1-2 复合材料结构的多层次性

(a)复合材料容器;(b)复合材料层状结构;(c)各层复合材料的层内排列

与三个结构层次相对应,也可以将其设计分为三个层次:单层材料设计、铺层设计和结构设计,即正确选择增强材料、基体材料及其配比,合理的铺层设计,确定产品结构、形状、尺寸的结构设

计。这三个设计层次互为前提,互相影响,互相依赖,并统一在一个设计方案中。其中,以铺层设计最能体现复合材料的优越性,可以通过合理的铺层方案,充分发挥复合材料的潜力,以达到优化设计的目的。

1.2.1.2 材质的各向异性

复合材料是各向异性材料,在不同的方向上有不同的力学性能。因此,在结构设计中,力学分析是必不可少的。

对于各向同性材料,独立的弹性系数只有两个:弹性模量 E 和泊松比 ν (或剪切模量 G)。但对于各向异性材料,独立的弹性系数则有多。如图1-2(c)所示的每个单层,在其面内具有两个弹性主方向,即纤维方向(纵向)和垂直纤维方向(横向),因此,在每个面内就有四个独立的弹性系数:纵向弹性模量 E_L 、横向弹性模量 E_T 、纵向泊松比 ν_{LT} (或横向泊松比 ν_{TL})和纵横向剪切模量 G_{LT} 。每个单层还有五个强度参数(基本强度):纵向拉伸强度 F_L 、纵向压缩强度 F_{Lc} 、横向拉伸强度 F_T 、横向压缩强度 F_{Tc} 和纵横向剪切强度 F_{LT} 。

材质的各向异性特点还表现在其他物理力学性能方面,由单层材料组成的层合结构,其性能可以千变万化。对于各向异性材料,正应力会引起剪应变,剪应力会引起线应变;弯矩会引起扭率改变,扭矩则会引起曲率改变,从而出现交叉效应。此类现象,在各向同性材料中是不常见的。

1.2.1.3 材料的非均质性

复合材料是一种非均质性材料。若考虑比纤维直径大得不太多的范围,显然已是非均质的,纤维与基体形成一种嵌入式结构。复合材料的各组分材料虽然构成一个整体,但是存在明显的界面。所以说,复合材料是由两种或两种以上独立的物理相所组成的固体材料。若考虑比纤维直径大得多的范围(宏观范围),又可以将每