

日本复合材料的研究与开发

中国科学院力学研究所 张双寅

笔者有机会参加了1982年11月24—28日在日本东京召开的第4届国际复合材料会议 (ICCM-IV)。会后应日本朋友的邀请参观了东京、京都和大阪三个城市的八个大学、研究所和产业公司, 所见所闻对日本在复合材料的研究与开发中取得的成就颇有感触。他们善于向西方先进技术学习, 为我所用地加以改进, 超过西方, 并向西方出口。他们的有些经验是值得借鉴的。日本是我们一衣带水的近邻, 加强与日本的学术交流, 将是我们向世界先进科学技术学习的捷径之一。

本文将介绍日本复合材料研究与开发的简要历史与现状, 学术组织, 学术活动与刊物情报工作, 几个有成就、影响大、有代表性的研究与生产单位以及他们取得的成就。

I. 日本政府重视复合材料的研究与开发

1. 复合材料对日本有特殊的重要意义 日本国土面积小 (约37.7万平方公里), 人口多 (约1亿2千万)。大海包围, 平地只占总面积的18%。能源与其他资源十分缺乏。日本处于几个火山带上, 多地震, 多台风, 夏天温度湿度很高, 冬天很冷。因此对结构材料提出很高的要求。日本人口密度大, 住宅面积与空间有限, 要求家庭用品和设施小而轻。这些都说明日本发展复合材料工业的迫切性。此外, 有人说发展机器人技术会使失业人口增加。但在日本不少人感到, 在最近的10年里, 日本人平均年龄比其他国家增长率高。目前, 已因缺乏青年一代劳动力而伤脑筋。所以日本积极开展用复合材料制造机器人的研究工作。

2. 国家研究与开发先进复合材料规划 1981年通商产业省开始了日本今后工业基本技术与开发长期规划。发展先进复合材料工作小组, 是关于“材料开发”研究问题的六个小组之一。T. Hayashi (林毅) 任该小组组长。这个小组的主要目标是: 发展工作温度为250℃, 拉伸强度为240公斤/毫米²的先进纤维增强塑料 (AFRP), 和工作温度为450℃, 拉伸强度为150公斤/毫米²的先进纤维增强金属 (AFRM)。这些材料将用于航天、航空与汽车工业。这个规划的完成期限为3年。目前, 日本的许多国家研究机构与产业公司参加了这个工作, 共同促进复合材料的研究与开发。

3. 有关复合材料研究的学术团体、学术会议与学术刊物和情报 全部从事复合材料的学会有两个: ①1975年成立的日本复合材料学会 (JSCM), 从事纤维增强 (FR) 橡胶、FR金属到FR塑料等各种复合材料, 出版日文学报“复合材料学会志”和英文版的会报 (Transaction)。②1955年成立的日本增强塑料学会 (JRPS), 它主要搞玻璃纤维增强聚酯树脂 (GF/UP), 出版日文学报 (月刊)。此外, 还有日本材料科学学会 (SMSJ) 下属的增强塑料委员会 (RCRP)。

以上三个学会每年联合举行学术会议或学术讨论会, 并出版论文或详细摘要的文集。

JRPS每年秋天举行年会和展览会 (用简化合成词CONEX表示)。除交流论文外还有规模相当大的展览会, 展出原材料, 成品材, 构件以及加工机械的新成就。

每年秋天都举行“全日本塑料展览会”, 包括塑料工业的各个领域。还举行各种全国性专题会议, 并邀请外国代表参加。日本还与美国举行不定期双边学术交流。

各大学和研究所还出版自己的研究报告, 发表自己的研究论文与实验报告等。

在日本有“全日本科学与技术情报中心”, 负责交流国内外有关资料。

II. 日本复合材料纤维发展概况

已发展了多种多样的复合材料 (CM), 大致分三类: 玻璃钢 (GFRP), 先进复合材料 (ACM) 和多种功能性材料 (DCM)。其中GFRP产量最大, 其次是碳纤维增强塑料 (CFRP), 芳纶纤维增强塑料 (Kevlar FRP) 和其他CM以及它们的杂交 (hybrid) 产品。

所谓ACM, 主要指高性能玻璃、碳、硼和芳纶纤维同环氧和聚酰胺相组合的材料, 以及铝基金属复合材料等。

1. 碳纤维 (CF) 早在19世纪80年代美国爱迪生就发明了碳纤维白炽灯。但以后的七十多年里CF默默无闻。到1957年苏联第一颗人造地球卫星上天, 美苏两霸对空间技术的竞争激化, 刺激人们寻找先进材料, CF才又被科学家们所重视。

1959年美国Union Carbide公司进行了高强度、高模量CF的商业性生产, 产品商标为“Thornel 26”。它的原丝是人造丝。大约与此同时, 日本国立大阪工业技术研究所的A. Shindo (进藤昭男) 发明了用聚丙烯原丝生产CF的专利, 这种CF称为PAN基CF。这种CF比人造丝基CF性能好得多。到1963年英国皇家航空局RAE也制出了PAN基CF。

1962年日本Nippon Carbon公司开始对PAN基CF进行商业性生产,但不生产原丝。到1971年和1973年Toray(东丽)公司和Toho Beslon公司也开始生产这种纤维。并且可以生产更好的原丝。这使CF质量越来越好,满足了用户对CF机械性能一致稳定性的要求。

从近期看日本的PAN基CF在世界市场上起重要作用,特别是原丝的生产,日本主宰世界市场。日本Toho Beslon等三家公司的人造丝供应美国CF的制造商Celanese等公司。另外东丽公司已向美国CF制造商Union Carbide公司输出了生产聚丙烯腈原丝的技术。

据估计1981年世界CF产量为1250吨,日本供应60%,美国占30%,欧洲与其他国家占10%。从需求量看,以1981年为例,美国市场为63%,日本为20%,欧洲为11%,其他国家占6%。

沥青(Pitch)基CF的第一批产品是由日本Gumma大学Ohtani在1965年发明的。到1967年日本Kureha Chemical化学公司开始生产石油沥青基CF,1970年达年产10吨,现在有年产240吨的工厂。这种纤维模量很高,但拉伸强度较低。1981年Kyushu工业研究所宣布他们制造了高强度Pitch基CF,其强度达3000兆帕。这克服了Pitch基CF比PAN基CF拉伸强度小的弱点。此外,日本Sunitomo Metal等四家公司声称他们利用煤焦油沥青做原料制出了CF。

2. 芳纶纤维(ArF) ArF也称作有机纤维,在美国叫Kevlar纤维(Kevlar F)。它强度高,冲击强度高更是它的独特优点。ArF/CF杂交复合材料有很多用途。美国杜邦公司在ArF产量与质量方面占世界首位。日本Teijin(ArF“HM-50”)和Asahi Chemical公司说,他们近期将有ArF商业化工厂。

3. 碳化硅纤维(SiCF) 在高温下CF会氧化,这使CF增强金属CM强度降低,不适合在原子反应堆中使用。因此发展了SiCF增强金属基体CM。1975年Tohoku大学Yajima发明了SiCF制造工艺,Nippon Carbon公司基于这种技术,在试验工厂规模上生产了SiCF,其最高使用温度为1250℃。1982年日本Nippon Carbon在政府支持下将建成年产1吨的SiCF工厂。

Ⅳ. 日本复合材料典型产品简介

1. 玻璃钢产品 日本CM中GFRP产量最大,其中玻璃纤维增强聚酯(GF/UP)占GFRP总产量的90%。GFRP的典型产品有:

1) 建筑结构材料,如屋顶、天花板和内墙壁等。用玻璃纤维增强耐热双酚醚和乙烯基树脂(Vinyl-ester)做成直径为2.8米,高185米的悬挂式烟囱和直径为2.1米,高100米的放置式烟囱。

2) 容器、水罐、地下储液室、防腐器皿、医用储盒、电解槽、油箱等。GF/UP制的农用水塘很受欢迎。它耐腐蚀、不漏水、易加工、成本低。目前全日本每年需求容积为1000—3000米³的水塘300—400个。

3) 住宅与家庭用材,如浴缸、整体卫生间、厕所、排污容器等。现制成卡车装载的直径2.5—3.2米,长11米的污水罐。

4) 运输器具和车辆,如汽车和铁路车厢、野营拖车、旅客车和卡车车身、空调导管、仪器板与弹簧等。GF/UP制的长11.94米,宽2.48米与高3.75米篷车式拖车。

5) 海上结构用材,如舰船的船壳和各种零部件、气垫船、救生船、快艇、桅杆和螺旋桨轴等。例如一只大型GF/UP船已成功地完成了爆破载荷试验。

6) 工业设备,如纤维缠绕管道和挤拉成型管、箱体、冷却塔、安全盖等。其中电工、电机与电子产品占比很大,如大电流电机、电枢、开关盒、绝缘件、印刷版等。

7) 各种运动与消遣娱乐用品,如钓鱼杆、玩具、运动器材、头盔、服装商店的模特儿、桌椅等。

8) 人造假肢,如腿、手、臂等。

2. 碳纤维增强塑料(CFRP)的典型产品 在日本,70年代初叶,CFRP主要用来制造运动器械,如高尔夫球棒和钓鱼杆等。美国也是这样。但后来在美国与欧洲,其主要市场逐渐转移到航空工业中去。然而在日本,运动器械仍然是其主要市场。当然日本工业方面的应用也在发展,主要产品实例为:

1) 无线电望远镜,东京大学天文台望远镜,直径为45米。使用CF复合材料,热膨胀系数很小。

2) Paravola天线的次反射面,热膨胀系数小是其最大优点。

3) 电视天线,它噪声小,耐腐蚀,并且与雪的粘性小,这是它优于钢制天线的优点。

4) X射线盒,CFRP对X射线有好的透射性,这使它适于制作X射线元件,如盒、压板、胶片换片器和栅格板等;还可做X射线仪台板。

5) 机器人,它强度高,刚性好,重量轻,尺寸稳定性好。CFRP还制造X-Y绘图仪和千分尺等精密仪表的框架。

6) 船舶,CFRP船舶强度高。用CFRP制造驾驶台可以提供电磁屏蔽,因而适合远距离通讯。

7) 土木工程用途,供水管路用CFRP支持在大桥上,这个支持架长达25米。日本一些架高公路桥的可热膨胀桥接头也用CF织布复合材料制造。

8) 汽车零部件,它的刚度高,重量轻,减振性能好,在汽车元件上得到充分利用,如驱动轴、弹簧片等用CFRP制造。

9) 波音767运输机的整流罩,波音767是当前最新的由美国、日本、意大利合作制造的飞机。其机身与机翼整流罩是飞机上最大的复合材料件,由日本加工制造。

10) 混凝土桥上的水槽,玻璃纤维与碳纤维杂交增强聚酯复合材料水槽(槽中安装水管)装在长75米的有二个中间支柱的混凝土桥上。槽长74米,由9段长839厘米的短槽连接而成。其横截面为高60厘米×宽55厘米。

11) 手推车,CFRP手推车重量只有10公斤,而同类钢制产品却为20公斤。

Ⅴ. 日本几个从事复合材料研究的大学和研究所

1. 东京大学工学部境界领域研究设施(Institute of Interdisciplinary Research)这个研究所的极限固体工学研究部中有两个室从事复合材料研究:

1) 最轻型复合材料结构室:室长为M.Uemura(植村益次),他们主要研究项目有:纤维增强CM,包括纤维缠

绕、单向纤维、随机排列取向纤维CM的刚度、强度和断裂问题；纤维缠绕圆柱壳的拉伸、压缩、扭转和内压爆破强度等；GFRP接头强度与螺栓接头的拉伸、挤压强度；缠绕鼓形结构、飞轮的旋转特性，Al-GF-CF三层缠绕旋转盘的设计与试验研究；夹心结构压力容器和火箭发动机匣的设计，结构分析，热膨胀与热残余应力分析；CF含量、单根CF拉伸、缠绕环形试件拉伸与弯曲、梁试件三点与四点弯曲、层间剪切等试验方法研究。

2) 极限材料力学室；室长为K. Kawata (河田幸三)。他们进行高速加载过程中CM力学性质方面的研究，取得了很好的成就。例如，他们发展了“单杆法”测CM的冲击拉伸性能。“单杆法”的试验装置为“冲击块-试件-输出杆”，输出杆较长，以防反射波的影响。用高速转盘或摆锤两种机构施加冲击载荷。应变率可达 10^8 /秒，可测应力-应变图。把试件放入低温槽中可做低温试验。若把试件切上环形缺口或引致环形裂纹可做动态断裂试验。又如他们采用贴片光弹技术联合最新型反射式9画面高速摄影机(9-frame high Speed Cranz-Schardin Camera)来测量在高速拉伸下，带中心缺口CM的板条的动态应力集中。研究了各向异性、加载方向和孔径与厚度对比应力集中的影响。

2. 日本科技厅、国家航空宇宙技术研究所(NAL) 其第一飞机结构室所属复合材料结构研究室室长为T. Furuta (古田敏康)。他们进行了多项用于飞机主要部件的CM研究。他们研制了多种先进CM。例如GFRP, CFRP, 金属基CM (C/Al, B/Al) 陶瓷CM, 以及芳纶纤维CM等；他们还进行了多种CM力学性能测试工作，如拉伸、弯曲和拉-拉疲劳与弯曲疲劳试验等。目前，他们正进行NAL STOL 研究飞机的研制工作，这架飞机的水平尾翼用CM制作。为此，他们进行了四种CM联结结构试验：①尾翼翼梁与翼肋接头；②翼梁与金属接头之间的联结；③蒙皮与桁条之间的联结；④CM加筋板。他们对整体水平尾翼进行了悬臂弯曲试验。

3. 通商产业省、工业技术院所属四个研究所

1) 机械技术研究所，其材料工学部研究硬质高分子材料和复合材料在高温与常温下的疲劳特性，CFRP的蠕变试验，温度为200℃，每次做5根试件，时间可达100小时。他们还研制Al-GFRP-CFRP飞轮，根据三种材料的比刚度、比强度不同，进行合理安排，达到重量轻、强度大的目的。

2) 纤维高分子研究所，研究新型三向编织CM，它具有高强度，好的热稳定性，可用于高速飞行器。此外还进行高分子晶须研制和液体高分子中短纤维取向等研究课题。

3) 制品科学研究所，它有一套完备的非破坏性检验设备，包括声发射、超声波、微波以及光弹技术等。他们制做了云母片增强热塑料和短CF增强水泥；并且发展多种家庭用GFRP制品，如整体卫生间等；此外，用CFRP制做的残疾人手轮椅很引人注目，只有10公斤，比同类钢制品减轻一半重量。

以上三个所座落在东京郊区茨城县筑波地区，这里研究所集聚，号称科学城。

4) 大阪工业技术研究所，著名于世的PAN基CF专利发明者A. Shindo (进藤昭男) 就在这里工作。他们目前从事实验标准化工作。同时研究CM在高温和低温、在盐水和淡水中吸水性，以及吸水后的拉伸强度与层间剪切强度的下降；还有在盐水中进行疲劳试验等研究工作。

4. 日本京都同志社大学(私立)工学部机械工程系材料强度与工程材料专业 T. Hirai (平井恒天) 教授是日本材料学会，增强塑料委员会的现任主席。他做了许多理论性较强的工作，如他研究了塑料和短纤维增强塑料在模压成形过程中的流变学问题，利用大变形运动方程，进行一些近似处理，计算模压成型件的应变分布与应力集中。同时研究模具设计问题。在数值计算方面，他研究了用有限元法处理非线性问题，用有限元法研究斜角铺层叠层板的三维层间应力问题；建立微观模型研究了各种纤维编织布增强塑料的变形行为；以及滚压成形加工过程中的变形问题等。

5. 东丽工业公司(Toray Industries, Inc.) 东丽公司是驰名世界的生产复合材料的公司，它全年(1982)产值达2.97亿美元，纯收入达0.67亿美元。它生产尼龙6，尼龙66和聚酯等多种纤维及织物；生产聚酯和聚丙烯薄膜和尼龙树脂等多种塑料；生产丙烯酸涂料树脂等多种化学产品；以及碳纤维等新型产品。它生产的碳纤维无论数量还是质量均居世界首位。此外它还生产芳纶纤维等。

V. 日本代表在第4届国际复合材料会议上的情况

日本共有297人参加了会议，共报告论文95篇，其中大会报告2篇，73篇小组报告的篇数按专题分类列于表1。

表 1

序号	专 题 名 称	论文数	序号	专 题 名 称	论文数
1	增强元素	2	12	环境效应	2
2	基体与填料	7	13	物理、化学和电性能	2
3	界面与表面处理	1	14	短纤维CM与夹杂物	5
4	界面应力和分层	1	15	杂交复合、自然纤维和生物力学	4
5	接头与粘结	2	16	陶瓷与混凝土	6
6	CM力学性质	11	17	界面与它在金属基体中的相互作用	4
7	屈曲	3	18	金属基 CM	13
8	损伤与断裂	4	19	试验	2
9	CM 疲劳	5	20	加工与处理	4
10	蠕变与粘弹性	1	21	设计与应用	8
11	冲击	6	22	CM的现状综述	0

由表1可见，在22个专题中，21个专题有日本的论文。这说明他们的研究工作相当广泛。

VI. 结束语

日本在CM研究与开发方面取得了引入瞩目的成就,有些经验值得我们借鉴。

1. 科研紧密结合生产, 面向社会 例如日本科技厅航空宇宙技术研究所的研究工作直接为NAL-STOL研究飞机的研制工作服务。通商产业省工业技术院所属四个研究所的工作也直接面向生产。此外日本CM发展较快与他们大力推广民用CM研究分不开。日本航空等国防工业发展受限制,对CM用量不大。由于民用工业大量使用CM,也为CM提供了市场。不仅玻璃钢是这样,碳和芳纶等CM也是如此。

2. 重视基础研究, 科研走在生产前边 东京大学和同志社大学的科研偏向基础,但研究题目都是生产中提炼出来的,有其明显的应用背景的。重视发展测试技术,使理论分析、数值计算与试验三者紧密结合起来。研究成果积极推广变成生产力。

3. 健全学术组织、加强学术交流 日本从事复合材料的三个学会有分工有侧重,但又有合作有交叉;联合召开学术会议和展览会,交流科研成果。这些对推动科研向深度与广度发展起了重要作用。

Research and Development of Composite Materials in Japan

Zhang Shuang-yin

(Institute of Mechanics, Academia Sinica)

第4届国际材料力学性能学术会议

第4届国际材料力学性能学术会议将于1983年8月15—19日在瑞典斯德哥尔摩举行。会议目的是为工程师和材料科学家提供一个场合,共同探讨和解决当前一些工程问题。这两方面的专家往往各自在自己的领域中工作,彼此联系不多。他们聚会在一起,会增加相互间的了解和进行有意义的合作。

新的工程材料近几年来发展很快。由于材料的各向同性和均匀性的传统假设不再成立,在使用许多材料时,必须在数学模型和设计方法等方面寻求新的处理手段。当有目的地合成纤维增强材料时,或当材料在结构方面发生无法避免的缺陷时,就会出现材料的“新”性能,如同在断裂力学中所研究过的那样。在特殊条件如高温条件下,材料也同样可能发生这种情况。为了说明能体现上述问题重要性的某些工程方面的应用,会议选择讨论下面五个方面的内容:

1. 高温形变和破坏 着重于: a) 多轴应力状态的作用; b) 焊接接口的性质; c) 热疲劳。
2. 铸造材料表面的力学性质 a) 耐磨性; b) 层裂和开裂; c) 在高温下的蠕变和疲劳。
3. 纤维增强复合材料的设计 a) 基体的刚度和可延展性、微小横向应力、边界以及凹槽等的效应所引起的破坏过程; b) 破坏和疲劳强度的微观-宏观描述的对比; c) 长期的力学性质。
4. 高强度材料的板料加工 a) 可成型性和出现颈缩的倾向,应变硬化的影响,应变率,外部与内部的缺陷,包含夹杂物作用的微观结构; b) 应用以及材料的发展。
5. 工程实际中断裂力学的材料问题 a) 塑料和粘性材料中裂纹扩展的微观描述与连续介质描述的对比; b) 断裂韧度参数如 K_{Ic} , CTOD, Charpy能量, J, 撕裂模量, CTOA等之间的关系; c) 对有裂纹的结构在可延展性大的范围内的抗裂性估价。

以上这些方面,有些是相互交叉的。总的来说,本届会议将涉及一切有关材料性质、设计和应用等方面的论题,而对有关第2和第5两部分中非金属材料处理方面的工作尤其感兴趣。

黄迅成摘译自: J. De Mécanique Théorique et Appliquée, V. 1, 2 (1982): 373.

J. L. KATZ教授在成都和西安作生物力学学术报告

美国纽约伦塞勒工学院 (Rensselaer Polytechnic Institute) 生物医学工程中心和物理系主任, 生物力学杂志编委, J. Lawrence Katz教授应成都科技大学副校长康振贵教授的邀请, 于1982年9月26日至10月14日先后访问了北京、成都和西安。9月28日至10月9日在成都科技大学连续作了八次报告。题目是: 1. 骨的结构, 2. 骨的粘弹性理论, 3. 超声波在骨中的传播(一), 4. 超声波在骨中的传播(二), 5. 骨的复合材料模型, 弹性和粘弹性, 6. 骨的声发射, 7. 与骨直接粘合的生物材料, 8. 骨的声扫描; 回顾与展望。10月12日在西安作了题为“骨的结构与声发射(包括声扫描)”的报告。这些报告引起了许多人的广泛兴趣。

Katz教授在骨的生物力学研究方面造诣很深,他作了不少开创性的工作。例如他最早把复合材料模型引进骨的研究,他第一个测定了骨的动态弹性模量,最近他又实现了骨的超声扫描图象,在世界居领先地位。这项技术将使临床医学开创一个无损探测的新局面(人体软组织如肝、心等均已有超声扫描技术可应用,对于骨头尚无法实现)。

孙家驹