

芳纶、碳纤维混杂工艺对环氧复合材料拉伸性能的影响

曾金芳^{1,2} 乔生儒¹ 丘哲明² 王庭武²

(1. 西北工业大学材料科学与工程学院, 西安 710072; 2. 陕西非金属材料工艺研究所, 西安 710025)

摘要 研究了铺层参数及纤维表面处理对芳纶纤维、碳纤维混杂增强环氧复合材料(简称混杂复合材料)纵向拉伸性能的影响。结果表明,该混杂复合材料的纵向拉伸强度均低于混合定律的预测值,表现出明显的混杂负效应。铺层顺序对材料纵向拉伸强度及断裂伸长率有显著影响,界面数越多,纵向拉伸强度和断裂伸长率越大;界面粘接性能的改善可提高混杂复合材料的拉伸强度和断裂伸长率,但对它的弹性模量没有显著影响。

关键词 芳纶纤维 碳纤维 混杂复合材料 环氧树脂 纤维表面处理 界面

设计得当的混杂纤维增强树脂基复合材料(以下简称混杂复合材料)可以综合利用不同纤维复合材料的性能优点,达到扬长避短从而获得比单一复合材料性能更优异的材料。自 20 世纪 70 年代初林毅发现混杂效应以来,国内外许多研究者对此做了大量的研究工作,为混杂复合材料的工程应用奠定了理论基础。迄今为止,所研究的混杂复合材料主要有 Kevlar 49/CF、GF/CF 及 Kevlar/GF 体系^[1],而对高性能芳纶纤维、碳纤维混杂复合材料的研究还未见文献报道。笔者以环氧树脂为基体,芳纶纤维和碳纤维为增强材料,研究了混杂比、铺层顺序(混杂界面数)及纤维表面处理对混杂复合材料纵向拉伸性能的影响。

1 实验部分

1.1 原材料

环氧芳香胺体系(AE4):拉伸强度 80~100 MPa,拉伸弹性模量 3.5~4.0 GPa,密度 1.24 g/cm³,自制;

芳纶纤维:F-12, 100 tex, 拉伸强度 4200 MPa, 拉伸弹性模量 130 GPa, 密度 1.45 g/cm³, 进口;

碳纤维:HTA-P30, 3 K, 拉伸强度 3 830 MPa, 拉伸弹性模量 230 GPa, 密度 1.78 g/cm³, 日本东邦公司;

表面处理剂:TDE-85, 环氧芳香胺刚性涂料(GC), 拉伸强度 82~86 MPa, 拉伸弹性模量 5.3 GPa, 密度 1.30 g/cm³, 自制;

表面处理剂:含-NCO 的活性涂料(HC), 密度 1.22 g/cm³, 自制。

1.2 实验设备、仪器

立式缠绕机:LC-800, 沈阳电工机械厂;
液压机:Y/TD71-100A, 天津市锻压机床厂;
万能试验机:Instron 4505 型, 英国英斯特朗公

司;
扫描电子显微镜(SEM):HITACHI-S-2700, 日本东芝公司。

1.3 试样制作

首先,对芳纶纤维、碳纤维进行表面处理,其方法是分别用浓度为 9% 的刚性涂料 GC 和浓度为 1% 的活性涂料 HC 对两种纤维进行预处理。经测试,处理后可使混杂复合材料的层间剪切强度提高 8.6%~13.2%。

以环氧芳香胺体系为基体,经预处理的芳纶、碳纤维为增强材料,浸胶后先制备预浸带,然后按照表 1 的铺层参数,采用干法缠绕工艺制作环氧树脂/芳纶、碳纤维混杂复合材料(以下简称混杂复合材料)。铺层制作完成后在压机上热压成型,固化工艺条件为室温→90℃/3 h→130℃/4 h→150℃/6 h,成型压力 0.5 MPa^[2]。层板固化脱模后在万能铣床

表 1 芳纶、碳纤维混杂复合材料铺层参数

材料代号	铺层参数	混杂比 $V_{CF}/\%$	界面数 ¹⁾
F-12	$F_{10}^{2)}$	0	
Hy-1	$[FCF_3]_S$	17.07	4
Hy-2	$[CFFFC]_S$	35.44	4
Hy-22	$[FCFCF]_S$	35.44	8
Hy-3	$[C_2FFC]_S$	55.30	4
Hy-33	$[CFCFC]_S$	55.30	8
Hy-4	$[C_2FC_2]_S$	76.71	4
C	C_{10}	100	

注:1) 界面数指两种纤维铺层之间分界面的数目,如对铺层为 [FCF] 的层合板,F 与 C 之间的分界面数目为 2,则界面数为 2;
2) 表中字母为:F 代表 F-12 芳纶纤维;C 代表 HTA-P30 碳纤维;Hy 代表混杂复合材料;S 代表镜面对称。

上加工成试样。由于含 F-12 芳纶纤维复合材料的加工面不光滑,试样切割后依次用粗砂纸、中粗砂纸及细砂纸打磨使加工面光滑,然后在拉伸试样两端夹持区粘贴 50 mm ×12.5 mm 的铝加强片。

1.4 性能测试

芳纶纤维及其与碳纤维混杂复合材料的纵向拉伸性能用万能试验机按 GB/T 3354-1999 测试,试样尺寸为 230 mm ×(12.5 ±0.5) mm ×(2 ±0.3) mm;测试速度为 2 mm/min,用引伸计实时采集应力应变数据并储存到计算机中。试验结果见表 2。

表 2 混杂复合材料的纵向拉伸性能

项 目		材料代号							
		F-12	H _y -1	H _y -2	H _y -22	H _y -3	H _y -33	H _y -4	C
纤维未处理	拉伸强度 /MPa	1710	1530	1315	1518	1450	1550	1710	1988
	拉伸弹性模量 /GPa	92.1	98.7	92.2	101.5	108.4	111	117	146
	断裂伸长率 /%	2.00	1.78	1.60	1.62	1.40	1.56	1.44	1.30
纤维处理	拉伸强度 /MPa		1610	1405	1530	1500	1580	1773	
	拉伸弹性模量 /GPa		101	101.7	102.6	109.6	113	122.8	
	断裂伸长率 /%		1.60	1.43	1.50	1.37	1.40	1.35	

2 结果与讨论

2.1 铺层参数对材料纵向拉伸性能的影响

2.1.1 混杂比与纵向拉伸强度的关系

芳纶、碳纤维混杂比 V_{CF} (碳纤维相对体积含量)与混杂复合材料纵向拉伸强度的关系如图 1 所示。由图 1 可以看出,混杂复合材料的纵向拉伸强度均在环氧/芳纶与环氧/碳纤维两种材料强度连线的下方,并先随着碳纤维相对含量的增加而降低,当达到一个临界值即 $V_{CF}=35.44\%$ 时,拉伸强度最低,而后又随着碳纤维相对含量的增加而提高。碳纤维临界体积含量 ($V_{CF临}$) 可由 (1) 式计算^[3]:

$$V_{CF临} = [1 + (\frac{\sigma_{F-12}}{\sigma_{CF}} - \frac{E_{F-12}}{E_{CF}})^{-1}]^{-1} \tag{1}$$

式中: σ_{F-12} ——芳纶纤维的拉伸强度;

σ_{CF} ——碳纤维的拉伸强度;

E_{F-12} ——芳纶纤维的拉伸弹性模量;

E_{CF} ——碳纤维的拉伸弹性模量。

将原材料中芳纶、碳纤维的性能数据代入 (1) 式,得 $V_{CF临}=34.70\%$,计算结果与实验值相近。

在纤维总体积含量相同条件下,混杂复合材料在碳纤维相对含量(混杂比)约为 35.44% 时出现强

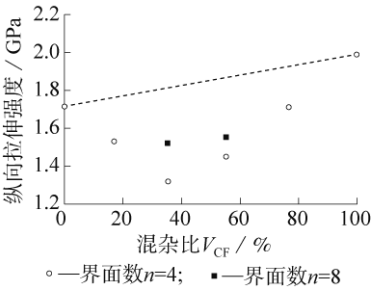


图 1 混杂比与材料纵向拉伸强度的关系

度最小值是由碳纤维本身的断裂应变 ϵ 决定的。材料受到拉伸时,由于碳纤维的拉伸弹性模量比芳纶纤维的大,故承受较高的载荷(纵向拉伸时载荷分配与组分拉伸弹性模量有关),在纵向拉伸时各组分的应变相同,但碳纤维的断裂应变小,材料达到碳纤维断裂应变时碳纤维断裂。当碳纤维体积分数较小时,由于其断裂应变小,外加载荷集中在此弱小的组分上而迅速产生破坏,而后碳纤维占据无效体积,因而在一定的范围内,复合材料的拉伸强度随碳纤维含量的增加而降低。达到临界体积分数时,拉伸强度也达到最低点。此后继续增加碳纤维含量,载荷主要由碳纤维承担,芳纶纤维作用减弱,拉伸强度逐渐增大。

由图 1 还可看出,混杂复合材料的拉伸强度严重偏离混合定律估算值,表现出明显的混杂负效应。而且在混杂比相同的条件下,改变铺层方式,混杂复合材料的纵向拉伸强度会发生变化,即随着混杂界面数的增多,其纵向拉伸强度提高。这是由于芳纶纤维的断裂应变约为碳纤维的 2 倍,芳纶纤维对碳纤维起增韧作用,在拉应力作用下,脆性碳纤维层中的裂纹扩展要受到芳纶纤维的抑制。混杂界面数越多,碳纤维越能均匀地分散在韧性好的芳纶纤维中,裂纹扩展的抑制作用越大,因此拉伸强度提高。

2.1.2 混杂比与纵向拉伸弹性模量的关系

芳纶、碳纤维混杂比与混杂复合材料纵向拉伸弹性模量的关系如图 2 所示。由图 2 可以看到,材

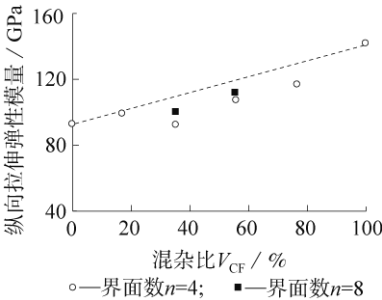


图 2 混杂比与材料纵向拉伸弹性模量的关系

料的纵向拉伸弹性模量随碳纤维相对含量的增加而提高。在混杂比一定的条件下,尽管混杂界面数变化,但混杂复合材料的纵向拉伸弹性模量基本相同,而且处在两种单一纤维复合材料拉伸弹性模量的连线附近,基本上符合混合规律。即混杂复合材料的纵向拉伸弹性模量可由(2)式估算:

$$E_{Hy} = [E_{F-12}(1 - V_{CF}) + E_{CF}V_{CF}]V_f \quad (2)$$

式中: E_{Hy} ——混杂复合材料的拉伸弹性模量;

E_{F-12} ——芳纶纤维的拉伸弹性模量;

E_{CF} ——碳纤维的拉伸弹性模量;

V_{CF} ——碳纤维体积分数;

V_f ——混杂复合材料的纤维总体积含量。

2.1.3 混杂比与纵向拉伸断裂伸长率的关系

芳纶、碳纤维混杂比与混杂复合材料纵向拉伸断裂伸长率的关系如图 3 所示。由图 3 可以看出,混杂复合材料的断裂伸长率均高于碳纤维复合材料的断裂伸长率,表现出明显的混杂效应,且随着碳纤维含量的增加,断裂伸长率逐渐减小。而且在相同混杂比情况下,随着混杂界面数的增多,断裂伸长率增大。这是由于混杂复合材料与碳纤维复合材料的断裂行为不同,碳纤维复合材料在拉伸应力作用下断裂时裂纹迅速传播到整个断面而发生突然破坏,而混杂复合材料中碳纤维周围有韧性好的芳纶纤维,它可以阻挡裂纹扩展,界面数越多,碳纤维在芳纶纤维中分散越均匀,越有利于芳纶纤维阻挡裂纹扩展作用的发挥,因此延缓了破坏的发生,从而使断裂伸长率提高。

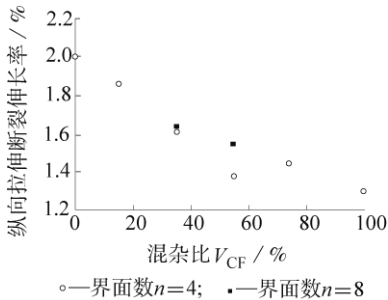


图 3 混杂比与材料纵向拉伸断裂伸长率的关系

2.2 表面处理对材料纵向拉伸性能的影响

2.2.1 表面处理对纵向拉伸弹性模量的影响

由表 2 可知,纤维表面处理前后混杂复合材料的纵向拉伸弹性模量没有显著变化,这与界面粘接强度对单一纤维复合材料拉伸弹性模量影响的研究结果相同^[4,5]。这是因为 0°拉伸试样中,纤维与基体通过平行界面连接在一起,因而界面剪切强度对

纵向拉伸弹性模量的影响很小。

2.2.2 表面处理对纵向拉伸强度的影响

纤维表面处理对复杂复合材料纵向拉伸强度的影响见图 4 所示。由图 4 可知,混杂复合材料的纵向拉伸强度随着材料界面强度的提高而略有提高,而且与混杂比有关。随着芳纶纤维相对含量的增多,表面处理混杂复合材料的纵向拉伸强度提高率也越高(图 4b)。也就是说,当混杂复合材料的界面粘接强度相对弱的组分界面性能提高且含量多时(环氧/碳纤维复合材料的层间剪切强度为 81.7 MPa,而环氧/芳纶纤维复合材料的层间剪切强度为 45.9 MPa),纵向拉伸强度提高率较大。这主要与混杂复合材料的断裂过程有关。

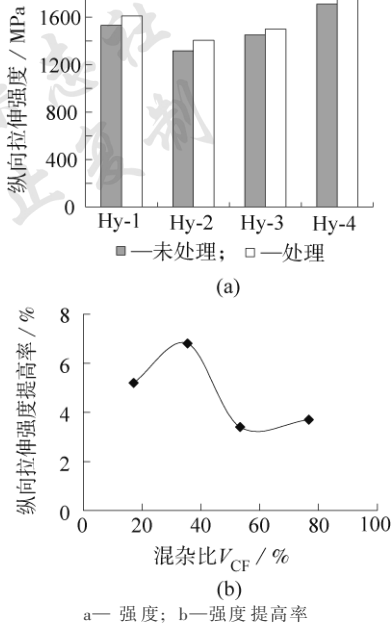


图 4 纤维表面处理对混杂复合材料纵向拉伸强度的影响

本研究中,环氧/碳纤维的界面粘接强度高于环氧/芳纶纤维的界面粘接强度,因此混杂复合材料的破坏主要取决于芳纶纤维的界面性能。部分碳纤维断裂瞬间载荷施加到芳纶纤维上,界面粘接强度小时,环氧基体不能有效地将载荷重新分配到断裂的碳纤维和芳纶纤维上,韧性纤维的止裂作用不能得到充分的发挥,故而拉伸强度较低。界面粘接强度提高后,在部分碳纤维断裂瞬间能有效地将载荷重新分布,除使断裂的碳纤维能继续承担额外载荷外,还可使芳纶纤维有效承担重新分配的额外载荷,因此使整个材料的拉伸强度提高^[6,7]。

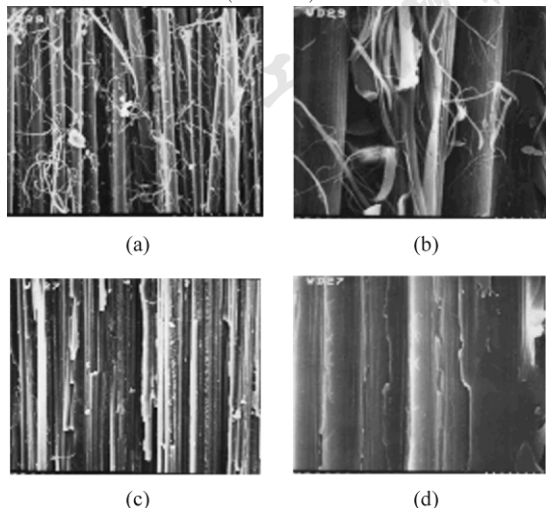
2.2.3 表面处理对纵向拉伸断裂伸长率的影响

如表 2 所示,混杂复合材料的纵向拉伸断裂伸

长率随着界面粘接强度的提高而有所下降,这可能与试样拉伸破坏模式有关。当纤维表面未处理时,拉伸破坏有大量的纵向劈裂,且劈裂块尺寸小;而纤维经表面处理后,拉伸破坏时同时存在纤维断裂与劈裂,但劈裂块相对较大。试样劈裂的尺寸越小,复合材料的断裂伸长率就越高^[8,9]。

2.3 混杂复合材料的微观形貌

为了进一步了解界面对混杂复合材料微观破坏形貌的影响,对拉伸破坏试样断口进行了 SEM 分析。图 5 是纤维表面处理前后 Hy-1 混杂复合材料纵向拉伸破坏断口 SEM 照片。由于层间混杂复合材料中不同种纤维所处的景深不同,照片所反映的层次不一样。从图 5 可看出,纤维未经处理的混杂复合材料被拉伸破坏时,芳纶纤维本身破坏严重,主要表现为纤维劈裂和微纤化(图 5 a);而纤维经表面处理后,拉伸破坏时芳纶纤维比较完整(图 5 c);碳纤维未经表面处理被拉伸破坏时,其表面残留的基体较少(图 5 b),而碳纤维经表面处理后,其表面残留较多的基体(图 5 d)。



a—未经表面处理的芳纶纤维; b—未经表面处理的碳纤维;
c—经表面处理的芳纶纤维; d—经表面处理的碳纤维

图 5 Hy-1 混杂复合材料微观形貌的 SEM 照片

(芳纶纤维放大 200 倍,碳纤维放大 1 000 倍)

3 结论

(1) F-12 芳纶纤维与 HTA-P30 碳纤维混杂

INFLUENCE OF ARAMID/CARBON FIBERS HYBRIDIZING TECHNOLOGY ON THE TENSILE PROPERTIES OF EPOXY COMPOSITES

Zeng Jinfang^{1,2}, Qiao Shengru¹, Qiu Zheming², Wang Tingwu²

(1. College of Materials Science and Engineering, Northwest Polytechnic University, Xi'an 710072, China;

2. Shanxi Institute of Non-metallic Materials Technology, Xi'an 710025, China)

ABSTRACT The effect of stacking parameters and fiber surface treatment on the longitudinal tensile properties of F-12/CF hybrid epoxy composites had been studied. The results showed that the longitudinal tensile strength of hybrid composites were lower than

增强环氧树脂后,混杂复合材料的纵向拉伸强度存在一个临界体积分数,此时拉伸强度最低。当碳纤维相对体积分数低于临界体积分数时,拉伸强度随着碳纤维体积分数的增大而降低;高于该体积分数后,拉伸强度随着碳纤维体积分数的增大而提高。因此,在制备承受拉伸载荷为主的复合材料时,应尽量避免采用该混杂比。

(2) 在相同混杂比条件下,铺层顺序对材料纵向拉伸强度及断裂伸长率有显著影响,界面数越多,纵向拉伸强度和断裂伸长率越大。

(3) 提高界面粘接性能对混杂复合材料的纵向拉伸弹性模量没有显著影响,但可提高混杂复合材料的拉伸强度和断裂伸长率。

参考文献

- 1 Kretsis G. A review of the tensile, compressive, flexural and shear properties of hybrid fibre-reinforced plastics. *Composites*, 1987, 18 (1): 13
- 2 曾金芳. F-12/环氧复合材料力学性能研究. *宇航材料工艺*, 1999, 29(2): 24
- 3 宋焕成,张佑光. 混杂复合材料. 第 1 版. 北京:北京航空航天大学出版社,1989.
- 4 Madhukar M S, Drzal L T. Fiber-matrix adhesion and its effects on composite mechanical properties: II. Longitudinal and transverse tensile and flexure behavior of graphite/epoxy composites. *Journal of Composite Materials*, 1991, 25: 958
- 5 Ricardo H Podgaiz, Roberto J J Williams. Effect of fiber coating on mechanical properties of unidirectional glass-reinforced composites. *Composites Science and Technology*, 1997, 57: 1071
- 6 Ross G R, Ochoa O O. Micromechanical analysis of hybrid composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composite*, 1996, 15: 828
- 7 Qiu Y Q, Schwartz P. Micromechanical behavior of Kevlar-449/S-glass hybrid seven-fiber microcomposites: I. Tensile strength of the hybrid composites. *Composites Science and Technology*, 1993, 47: 289
- 8 Hamada H, Oya N, Yamashita K. Tensile strength and its scatter of unidirectional carbon fibre reinforced composites. *Journal of Reinforced Plastics and Composites*, 1997, 16(2): 119
- 9 Subramanian S, Lesko J J, Reifsnider K L, et al. Characterization of the fiber-matrix interphase and its influence on mechanical properties of unidirectional composites. *Journal of Composite Materials*, 1996, 30: 309

the value evaluated by rule of mixture and showed negative hybrid effect. The sequence of the stacking had significant effect on the tensile strength and elongation at break, the tensile strength and elongation increased with the number of interface increased. The interface adhesion properties had significant influence on the longitudinal tensile strength of hybrid composites and its elongation, but had slight effect on its modulus.

KEYWORDS aramid fiber, carbon fiber, hybrid composite, epoxy resin, fiber surface treatment, interface

《橡塑技术与装备》征订启事

《橡塑技术与装备》于 1975 年创刊, 是国内外公开发行的以橡塑工艺技术、加工机械及新材料新产品为重点内容的专业技术期刊, 由全国橡胶塑料设计技术中心和北京橡胶工业研究设计院联合主办。

主要栏目: 综述与专论, 新技术新材料与新产品、工艺与设备技术改造、机械设计与制造、设备管理与维护、微机应用与自动控制、环保/节能与安全、综合信息。

《橡塑技术与装备》为月刊, 定价 12 元/月, 国际大 16 开。国际标准刊号: ISSN 1009-797X, 国内统一刊号: CN 11-4534/TQ, 邮发代号: 2-780。国外代号: M1653。欢迎订阅, 欢迎刊登广告。

全国各地邮局办理订阅, 也可随时从编辑部订阅。银行汇款至: 北京橡胶工业研究设计院, 开户银行: 建行北京西四支行, 帐号: 6510003022610051705。

地址: 北京市阜石路甲 19 号《橡塑技术与装备》 邮编: 100039

联系电话: 010-51338303, 68186589 传真: 010-68186589, 68132426

Http://WWW.China-RP.com.cn E-mail: crte@China-RP.com.cn

广告索引

宝理塑料(中国)有限公司(封面) 上海金纬挤出发泡技术有限公司(封二) 张家港市神舟机械有限公司(插1) 广东金明塑胶设备有限公司(插2) 深圳市新三思计量技术有限公司(插3) 多米诺喷码技术有限公司(插4) 第五届中国塑料博览会(插5) 万通塑胶原料有限公司(插6, 插7) 南京航空航天大学信立塑料机械厂(插8) 巴斯夫(中国)有限公司(插9) 青岛新大成塑料机械有限公司(插10) 海天机械有限公司(插11) 张家港市轻工机械厂有限公司(插12) 北京福田建材有限责任公司(插13) 张家港市欣荣机械有限公司(插14) 深圳市瑞格尔仪器有限公司(插15) 南京瑞亚高聚物装备有限公司(插16) 浙江黄岩海鹰机械模具厂(插17) 兰泰塑料机械有限公司(插18) 承德精密试验机有限公司(插19) 南京科亚公司(插20, 插21) 张家港市二轻机械有限公司(插22) 承德市金建检测仪器有限公司(插23) 浙江金星螺杆制造有限公司(插24) 杭州康发塑料机械有限公司(插25) 山东道恩化学有限公司(插26) 上海神源电气有限公司(插27) 绍兴四维塑胶工程有限公司(插28) 南京橡塑机械厂(插29) 广东泓利机器有限公司(插30) 南京杰恩特机电有限公司(插31) 青岛顺德塑料机械有限公司(插32) 三博高分子合金(宁波)有限公司(插33) 四川省得阳科技股份有限公司(插34) 无锡康达塑胶机械有限公司(插35) 成都乐天塑料有限公司(插36) 重庆国际复合材料有限公司(插37) 南京智诚橡塑机械有限公司(插38) 孝感市五岳传感器有限公司(插39) 无锡宏益塑胶机械有限公司(插40) 张家港华明机械有限公司(插41) 无锡华辰机电工业有限公司(插42) 承德试验机有限责任公司(插43) 张家港塑胶工业展览会(插44) 2003 东莞国际工业展(插45) 北京三林多乐商贸有限公司(插46) 青岛科亚塑料机械有限公司(插47) 广州市花都科苑企业有限公司(插48) 舟山市金海机械有限公司(插49) 江苏白熊机械有限公司(插50) 华王工业集团(插51) 玉环真空泵厂(插52) 南京立汉化学有限公司(插38) 广州智达公司(插43) 北京普利宏威化工材料有限责任公司(插46) 广州番禺光耀星瀚塑料有限公司(插73) 泉州三威化工有限公司(插53) 上海思尔达科学仪器有限公司(插54) 舟山市金岛机械有限公司(插55) 江苏才塑高分子有限公司(插55) 上海日之升新技术发展有限公司(插56) 江阴新达塑料机械有限公司(插57) 岳阳经济技术开发区巨力工程塑料有限公司(插58) 平顶山市华伦塑料有限公司(插59) 北京天罡助剂有限责任公司(插60) 杭州传化华洋化工有限公司(插61) 江苏靖江市化纤塑料助剂厂(插62) 青岛琴科工程塑料有限公司(插62) 聚赛龙工程塑料有限公司(插63) 鹿泉市安利达粉体材料厂(插63) 常熟市千禧橡塑机械厂(插64) 大连塑料机械厂(插65) 上海格利雅化工有限公司(插66) 北京加成助剂研究所(插66) 岳阳市维远实业有限公司(插67) 北京奥可发塑料有限责任公司(插67) 自贡鸿鹤特种工程塑料有限责任公司(插68) 湖北省洪湖双马树脂厂(插69) 辽宁调兵山市兴源超细增强材料有限公司(插69) 鞍山市龙马塑料有限公司(插70) 能达化学(鹤山)有限公司(插70) 南京沪江复合材料有限公司(插71) 营口威斯克化学有限公司(插71) 洪湖市恒基化工有限公司(插72) 北京实达丰商贸有限公司(插72) 吉林大学科教仪器厂(插73) 上海方田弹性体有限公司(插74) 南京永航科贸有限公司(插75) 四川东方特种工程塑料有限公司(插76) 中庆化工有限公司(插77) 南京中观机械电子有限公司(插78) 汕头富力机器制造有限公司(插79) 青岛高科技工业园润兴塑胶厂(插80) 苏州兴泰国光化学助剂有限公司(插81) 江苏省建湖县兴隆尼龙有限公司(插82) 常州市新区利进化工股份有限公司(插83) 张家港市德华机械制造有限公司(插84) 慈溪市华通塑化有限公司(插85) 徐州金亚粉体有限责任公司(插86) 张家港市杨舍天马计算机制模厂(插87) 中蓝晨光化工研究院(插88) 余姚市中发工程塑料有限公司(插89) 济南泰星精细化工有限公司(插89) 上海逊达橡塑机械制造有限公司(插90) 中芬合资南京金陵奥普特高分子材料有限公司(插91) 上海正美亚纳米超细材料制造有限公司(插92) 温州俊尔高聚物有限公司(插93) 江苏南大紫金智能科技有限公司(封三) 东崎电气公司(封底)