

纤维增强树脂基摩阻材料研究进展^{*}

王媛 林有希 叶绍炎 高诚辉

(福州大学机械工程与自动化学院,福州 350002)

摘要 综述了近几年来树脂基摩阻材料用增强纤维的研究进展,主要介绍了常用的4类纤维增强树脂基摩阻材料的摩擦学特性、增强纤维制备方法及其在摩阻材料中的应用。

关键词 摩阻材料 非石棉纤维 摩擦 磨损

汽车制动复合材料是汽车制动器、离合器和摩擦传动装置中的关键材料。汽车制动过程中制动材料与制动盘的摩擦将动能转化为热能,摩擦热引起摩擦副升温,严重影响制动材料的摩擦学性能。树脂基纤维增强复合材料制动片因其压制成型工艺较之其它粉末冶金等工艺简单、对设备适应性好、原材料来源广泛、性能容易控制、成本低而成为车辆制动材料发展的主流和研究热点。长期以来我国制动材料大多是以石棉作为增强纤维,再与粘接剂、摩擦性能调节剂等均匀混合后在高温高压下成型的。由于石棉粉尘严重,污染环境并有致癌性,因此随着国内外对无公害新型摩阻材料的进一步深入开发研究,人们发现采用更加新型的纤维代替石棉纤维,可以得到性能更加优良的摩阻材料。目前对于无石棉摩阻材料的研究主要集中在增强纤维的选用上。

1 摩阻材料用非石棉增强纤维

选择摩阻材料用增强纤维时应综合考虑材料性能和成本等因素。目前,石棉的代用纤维主要有金属纤维、天然纤维、有机纤维、无机纤维4类。

1.1 金属纤维

金属纤维的导热性好,因此加入金属纤维可防止树脂基体因热分解使材料磨损加剧。目前国内外用于汽车制动材料的金属纤维大多为钢纤维。Yang Shengrong等^[1]认为钢纤维比铜纤维具有更好的增强效果,可以极大地减少表面疲劳,从而提高材料的耐磨性。钢纤维加入摩阻材料的重要作用是提高材料使用过程中的力学强度、导热性能和耐磨性能,使高温时材料的摩擦磨损性能不下降。但是,半金属摩擦材料中钢纤维容易生锈,锈蚀后出现粘着对偶件或者损伤对偶件,使摩擦片强度降低,磨损加剧,摩擦系数稳定性变差。杨淑静等^[2]也认为钢纤维(珠光体+铁素体)具有良好的表面状态,较小的含油性(0.5%)和合适的长径比(83.7:1),使其既能稳固地镶嵌在树脂基体中,又能使基体把作用力大部分传递给钢纤维单元。特别是由于钢纤维组织中含有大量的耐磨性能较好的珠光体,从而使摩阻材料具有较低的磨损率且摩擦系数较稳定。此外,H. Jang等^[3]认为加入钢纤维能有效提高复合材料抵抗热衰退的能力。Fu Hua等^[4]通过观察试样磨损表面形貌认为200℃时不锈钢纤维出现少量被拔出现象,这一温度下同时出现磨粒磨损和粘着磨损。综合上述报道可以看出,用于增强摩阻材料的钢纤维

在一定程度上可以提高复合材料的摩擦系数,但当使用温度过高、加入量过多时同样会使复合材料的磨损率增加。

1.2 天然纤维

作为增强材料使用的天然纤维主要有剑麻纤维(SF)、黄麻纤维、棉纤维等。其中由西安交通大学研究生产的SF较为典型。以SF作为增强纤维的环保型汽车刹车片具有摩擦系数平稳、热恢复性能好、刹车噪音小、使用寿命长及成本低等优点。但SF是亲水性的纤维,使材料在使用过程中界面逐渐脱粘,性能下降^[5]。此外,SF还存在结构不均匀和尺寸稳定性差的缺陷。因此,在制备树脂/SF复合材料之前通常需要对SF进行改性处理,以降低其亲水性及吸湿性,提高复合材料的界面粘结力。

天然纤维改性方法大多数适用于SF,综合多数报道认为,SF的表面改性方法有物理方法和化学方法两大类。常见的物理改性方法有热处理、蒸汽爆破处理等;化学方法有碱处理、化学偶联、化学接枝和氰乙基化处理等。在制备酚醛树脂(PF)/SF复合材料时,SF表面的不同处理方式对PF/SF复合材料的力学性能影响较大,其中碱处理效果最为显著。与其它的处理方法相比,碱处理也是一种简单易行的处理方法。

杨桂成等^[6]发现SF经过硅烷偶联剂处理后,改善了SF与PF基体之间的粘接,并认为降低PF/SF复合材料吸湿性最好的方法是接枝丙烯酸,其次是硅烷偶联剂处理。才红^[7]的研究结果表明,当SF的质量分数为40%时,复合材料的冲击强度和弯曲强度达到最大值,比未加SF时分别提高了45%、25.5%;当SF长度为6 mm时达到临界长度,复合材料的冲击强度、比模量等出现最大值。她们^[8-10]还发现,经碱处理的SF的质量分数达到60%时,其耐磨性比纯PF提高了近1.5倍;在干摩擦条件下,SF可明显提高PF的耐磨性能;采用化学方法处理的SF所制复合材料的耐磨性比采用物理方法处理SF的复合材料的好,比未处理时提高了72.48%。刘飞清等^[11-12]证明SF经过碱处理后,可显著提高SF的热分解温度,解决了SF在250℃下摩擦性能急剧降低的关键技术问题;随着SF含量的增加,摩阻材料的摩擦系

^{*} 福建省自然科学基金资助项目(2008J0152)

收稿日期:2008-08-22

数在总体上呈现出先增大后减小的趋势,而磨损量则呈现出先减小后增大的趋势;采用处理 SF 制备的复合材料摩擦系数适中,随温度波动小。

G. C. Yang 等^[13]通过对比其它的处理方法表明, SF 采用热处理(150℃, 4 h)可以使复合材料获得理想的拉伸强度和拉伸弹性模量。据 Li Yan 等^[14]报道,由于 SF 结构具有内部中空的特点,因此减振降噪特性突出,兼具优良的耐磨性。SF 的应变能量沉积,使摩阻材料的磨损量降低,摩擦系数的稳定性提高。此外, SF 含有大量的羟基而呈现亲水性,而大部分聚合物为憎水性,因而不利于 SF 与树脂基体的界面粘结^[12]。

1.3 有机纤维

作为增强汽车制动复合材料使用的典型有机纤维为芳纶纤维。芳纶纤维增强树脂基摩阻材料具有和半金属摩阻材料相近的耐磨性^[15]。芳纶纤维为连续纤维,它具有低密度、高拉伸强度、高弹性模量、热稳定性极好等优点,其韧性是钢的 5 倍。但芳纶纤维价格高,并且生产复合材料时纤维分散较为困难,制造工艺和处理工艺复杂,温度极限低。

曹献坤等^[16]采用高速搅拌及依电性顺序加料混合的方法,较好地解决了芳纶纤维的松松分散问题;他们认为芳纶纤维增强树脂基摩阻材料在较低温度(100℃)下主要表现为机械磨损与粘着磨损;高温(300℃)下主要表现为热磨损、磨粒磨损与疲劳磨损。马保吉等^[17]的研究表明,磨损表面粗糙度及其波动幅度均随芳纶纤维含量的提高而明显减小,磨屑的形成和脱落受阻说明芳纶纤维的加入有效地提高了摩擦系数的稳定性并减小摩擦系数,有利于改善摩阻材料的耐磨性能。黄新武等^[18]通过加入芳纶纤维降低了橡胶的滞后磨损,减小了橡胶的大面积破坏,并延缓了材料的磨损。J. Wu 等^[19]研究了芳纶纤维增强环氧树脂复合材料的摩擦磨损行为,发现当芳纶纤维的体积分数为 40% 时,复合材料表现出较高的摩擦系数和低的磨损率;粘着磨损和塑性变形是复合材料主要的磨损机制,在干摩擦条件下磨损表面出现犁沟,复合材料主要的磨损机理是磨料磨损。

1.4 无机纤维

作为增强汽车制动复合材料使用的无机纤维主要有玻璃纤维(GF)、碳纤维(CF)、无机晶须等。其中无机晶须主要包括无机盐晶须、陶瓷质晶须和金属晶须等,而在聚合物中应用较多的为无机盐晶须和陶瓷晶须。

(1) GF

GF 增强树脂基摩阻材料具有良好的抗压缩性和耐冲击特性,磨损率较低^[20]。同时 GF 为连续纤维,具有强度高、密度小等优点。但由于 GF 的硬度过高,磨损比石棉增强材料大 1 倍以上;当工作温度超过 600℃ 时形成玻璃珠,会损伤对偶材料^[21]。此外 GF 的表面易损伤,温度极限也较低(其应用范围限于树脂和低熔点金属)。

邱军等^[22]研制了硼改性酚醛树脂(BPF)并加入 GF 制备了复合材料,发现当 GF 的质量分数为 50% 时, BPF/GF 复

合材料的热变形温度为 196.6℃,比纯 BPF 提高了 51.3℃,而线膨胀系数则降低近 1 个数量级。刘佩华等^[23]以经表面处理的 GF 与芳纶纤维混杂,以丁腈橡胶改性 PF 为基体制备了一种摩阻材料,有效改善了制品的摩擦性能和力学性能,同时提高了摩擦性能稳定性,降低了磨损。H. Unal 等^[24]认为 CF 和 GF 具有良好的力学和摩擦学性能,是聚四氟乙烯(PTFE)良好的增强填料,常用来提高其摩擦磨损性能。A. Mimaroglu 等^[25]制备了 GF 增强聚醚酰亚胺复合材料,发现当转盘的滑动速度增加到 200% 时复合材料的摩擦系数下降 55%。这可以解释为 GF 表面的磨损引起复合材料摩擦系数的降低。

(2) CF

CF 具有摩擦系数稳定、静/动摩擦系数比接近、导热性好、力学强度和耐磨性极高,且在高温条件下不变软、不熔化和炭化等突出优点,这些构成了 CF 作为新一代树脂基摩阻材料的理想增强纤维的基本要素。有研究表明^[26], CF 经 60% 硝酸表面氧化和丝束分散处理后,能有效地提高其与复合材料中树脂基体的结合性能。然而, CF 的化学活性和表面活性低,难以被水润湿和均匀分散,在很大程度上制约了 CF 增强摩阻材料的开发应用。

杨淑静^[27]的研究表明,在 CF 含量保持不变的情况下,随着摩阻材料起始分解温度的升高,同灰铁 HT200 配副摩擦系数变化很小,100~300℃ 下仅为 0.028。张西奎等^[28]的研究表明,摩阻材料较优配方为:粘结剂的质量分数为 25%,增强纤维的质量分数为 25%~35%,摩擦性能调节剂的质量分数为 40%~50%。经过综合测试比较, CF 的质量分数不宜超过 5%。同样,胡萍等^[29]的研究表明,在 CF 的质量分数为 20%~36% 时,测得 CF 增强树脂基摩阻材料同 HT250/HB203 配副的摩擦系数稳定在 0.28~0.38,磨损率保持在 $0.04 \times 10^{-7} \sim 0.51 \times 10^{-7} \text{ cm}^3/(\text{N} \cdot \text{m})$ 。李贺军等^[30]提出在 CF 增强纸基摩阻材料中,短切 CF 分散均匀,相互桥接,形成了大小不一的贯通性孔隙,使得摩擦过程中产生的摩擦热及时被润滑油带走,减少了摩擦表面的热量累积,改善了摩阻材料的摩擦磨损性能。在 CF 与其它纤维混杂方面,郭洪涛等^[31]保持芳纶浆粕混杂比 30% 不变,发现随混杂纤维含量的增加,复合材料的摩擦系数先减小,当 CF 的质量分数超过 10% 后,摩擦系数又开始增大。CF 含量较低时,由于发生在摩擦界面的犁切阻力较小, CF 的减摩作用十分明显,因而表现出随 CF 含量的增加,材料的摩擦系数减小。此外,杨淑静等^[32]发现 CF 在低温下摩擦系数较小,而随温度的升高,摩擦系数增大;相反,钢纤维在低温时摩擦系数较大,随温度升高,摩擦系数有所减小。所以将二者相互混杂不仅可以使材料具有较强的散热能力,而且还可以对摩擦系数起到互补作用,对摩擦系数进行调节。

S. T. Shinn 等^[33]研究了 PF/CF 复合材料在不同热分解温度下的微观结构和性能。通过 X 射线衍射分析表明,600℃ 时 PF 中的炭化物呈玻璃态,在此温度下 PF/CF 复

合材料转变为脆性复合材料,此时CF强度较低,因此基体主要以脆性断裂为主;在2000℃下热处理后界面结合力减弱;2500℃时复合材料发生炭化。S. K. Seong等^[34]在相同的压力和速度下,将CF增强PF复合材料同不锈钢配副并改变衬盘的载荷和转速进行测试,发现复合材料的干摩擦系数约为石棉纤维增强PF复合材料的60%。S. S. Kim等^[35]通过观察试样摩擦表面发现,环氧树脂(EP)/CF复合材料试样在摩擦后形成宽度为100 μm的犁沟。Navin Chand等^[36]认为,当CF在基体中的分布方向垂直于滑动面时,复合材料的摩擦学性能最优。此外R. Rattan等^[37]认为,CF的润滑性取决于各种测试的参数和CF的类型。在某些情况下,加入CF可以降低复合材料的摩擦系数。但PTFE/CF复合材料的摩擦系数较大(为0.4~0.5)。因此对于CF润滑性的探讨没有统一的意见。他们通过试验表明,CF增强复合材料在平行于滑动平面的方向,CF对摩擦系数(大于1.1)的影响显著;在垂直于滑动平面的方向上,CF转变成磨料。由于复合材料中晶体的随机分布,因此当剪切力是沿轴线方向时,CF的薄层结构使得复合材料摩擦系数减小。综合以上报道可以看出,以CF作为增强纤维制成的树脂基复合材料在低温下摩擦系数较小,可以通过混杂的方式提高复合材料的摩擦学性能。

(3) 钛酸钾晶须

钛酸钾晶须作为多种摩阻材料的增强纤维,不仅具有尺寸细微、在树脂中分散性极好、耐磨性优异等特点,而且价格仅为SiC的1/20~1/10,以钛酸钾晶须代替石棉制成的薄型汽车刹车片,在温度达到350℃时未出现衰退现象,摩擦力比石棉制动材料提高50%,磨损减少30%。但钛酸钾晶须表面很光滑,使其与基体界面结合状态较难控制。

钛酸钾晶须常用的制备方法有烧结法、KDC法、熔融法、水热法、慢冷烧结法和微波合成法等,专家认为慢冷烧结法更适合于工业化生产。通常使用硅烷偶联剂^[38]和钛酸酯偶联剂^[39-41]对钛酸钾晶须进行表面处理改性。

胡晓兰等^[42]发现将钛酸钾晶须添加到双马来酞亚胺(BMI)树脂中能有效地提高材料的耐磨性,当钛酸钾晶须的质量分数为5%时复合材料的磨痕宽度从451 mm减小到2.76 mm;磨损率从BMI的 $4.39 \times 10^{-6} \text{ mm}^3 / (\text{N} \cdot \text{m})$ 降低到 $1.03 \times 10^{-6} \text{ mm}^3 / (\text{N} \cdot \text{m})$;此外钛酸钾晶须经KH-2550和KH-2921等硅烷偶联剂处理后,复合材料的耐磨性能得到明显的提高。在钛酸钾晶须与其它纤维混杂方面,刘育等^[43]的研究表明,石墨-硼酸-钛酸钾晶须固体润滑膜在室温下同不锈钢配副的摩擦系数约为0.08,耐磨寿命(滑动摩擦行程)保持在15 000 m以上;在500℃下摩擦系数变化较大;随着摩擦过程的进行,含钛酸钾晶须试样的耐磨寿命比不含钛酸钾晶须试样的高2倍。陈振华等^[44]的研究表明,采用芳纶纤维-钛酸钾晶须混杂增强摩阻材料时的最佳体积分数为20%。Feng Xin等^[45]认为钛酸钾晶须的长径比也会对复合材料的摩擦学性能产生影响。用长径比较大的

钛酸钾晶须制备的复合材料具有较高的耐磨性和高温稳定性。对于PTFE/钛酸钾晶须复合材料,当钛酸钾晶须质量分数为5%~10%时,复合材料具有最优的力学性能。

C. K. Yun等^[46]研究了PF、钛酸钾晶须和腰果壳油对汽车摩阻材料摩擦性能的影响。实验结果表明,复合材料的摩擦系数随钛酸钾晶须含量的增加而减小。S. J. Kim等^[47]将芳纶浆粕和钛酸钾晶须复合改性PF制备摩阻材料,结果表明,改性PF材料同不锈钢配副的摩擦系数为0.38,磨损率保持在 $5 \times 10^{-5} \text{ g} / (\text{N} \cdot \text{m})$ 。芳纶浆粕和钛酸钾晶须两种增强纤维具有较强的协同效应,为摩阻材料提供了摩擦稳定性和耐磨性。

(4) 镁盐晶须(M-HOS)

M-HOS的化学式为 $x\text{MgSO}_4 \cdot y\text{Mg}(\text{OH})_2 \cdot z\text{H}_2\text{O}$,又称为碱式硫酸镁晶须(或硫氧镁晶须)。M-HOS的强度和弹性模量都比较接近于完整晶体的理论值,而且其原料价廉、易得,合成条件较平和,因此可作为塑料、橡胶等复合材料的补强增韧剂,提高基体材料的弯曲强度和冲击强度,特别是M-HOS具有在一定条件下溶解的特性,与自然环境协调性好,所以被认为是极有发展前途的无机盐晶须材料。

M-HOS多采用水热合成法制备。目前虽然有不少有关碱式硫酸镁晶须制备方法的报道,但在制备工艺或产物性能方面尚存在一些问题,制备过程中存在很多不确定因素,如反应物的浓度、反应温度、压力及杂质的影响,都限制了碱式硫酸镁晶须的工业化生产应用。

周大鹏等^[48]的研究表明,将M-HOS加入到PF中具有较好的补强效果。少量M-HOS的存在使得PF在高温区间的热稳定性能有明显提高,并且M-HOS在PF中促进了树脂的固化,起到了助固化剂的作用。

2 展望

由于摩阻材料组分的多样性和作用的复杂性,因此开发新的摩阻材料是一项既需要全面进行试验,又需要对增强纤维的制备和处理工艺进行深入研究的工作。树脂基摩阻材料以其优良的摩擦磨损性能,成为摩阻材料研究的热点。今后还会有更多种类的高性能的纤维在摩阻材料中应用,其中以尺寸细微的晶须和多种纤维的混杂增强是树脂基摩阻材料的发展趋势。总之,优化现有摩阻材料组分的配比,综合利用相关技术开发研究新工艺、新材料是今后汽车制动摩阻材料发展的方向。

参考文献

- [1] Yang Shengrong, et al. *Mocaxue Xuebao/Tribology*, 1998, 18(1): 66-70.
- [2] 杨淑静,等. *工程塑料应用*, 2007, 35(4): 41-45.
- [3] Jang H, et al. *Wear*, 2004, 256(3): 406-414.
- [4] Fu Hua, et al. *Science Direct Composites*, 2008, 39(4): 585-591.
- [5] Joseph P V, et al. *Composites Science and Technology*, 2002, 62(16): 1357-1372.
- [6] 杨桂成,等. *玻璃钢/复合材料*, 1997(3): 12-14.

- [7] 才红. 塑料, 2004, 33(5): 70-73.
- [8] 才红, 等. 工程塑料应用, 2004, 32(3): 28-31.
- [9] 韦春, 等. 材料科学与工程学报, 2005, 23(6): 839-842.
- [10] 韦春, 等. 材料科学与工艺, 2007, 15(6): 835-838.
- [11] 刘飞清, 等. 材料科学与工程学报, 2006, 24(5): 694-699.
- [12] Xu Xin, et al. Wear, 2007, 262(5): 736-741.
- [13] Yang G C, et al. Acta Scientiarum Naturalium Universitatis Sun-yatseni, 1996, 35: 53-70.
- [14] Li Yan, et al. Composites Science and Technology, 2000, 60(11): 2037-2055.
- [15] Sinha S K. J of Mater Sci, 1992, 27: 3085-3091.
- [16] 曹献坤, 等. 非金属矿, 2000, 23(3): 49-51.
- [17] 马保吉, 等. 摩擦学学报, 2001, 21(3): 205-209.
- [18] 黄新武, 等. 合成橡胶工业, 2006, 29(6): 451-453.
- [19] Wu J, et al. Wear, 2006, 261(11): 1293-1297.
- [20] 刘建秀, 等. 机械设计, 2006, 23(9): 39-41.
- [21] 陈海燕, 等. 机械工程材料, 2003, 27(3): 4-7.
- [22] 邱军, 等. 建筑材料学报, 2006, 4(9): 503-506.
- [23] 刘佩华, 等. 合成纤维, 2006(7): 30-36.
- [24] Unal H, et al. Materials and Design, 2004, 25(3): 239-245.
- [25] Mimaroglu A, et al. Wear, 2007, 262(11): 1407-1413.
- [26] 李劲, 等. 复合材料学报, 2006, 23(1): 50-55.
- [27] 杨淑静. 青岛大学学报, 2002, 17(4): 78-81.
- [28] 张西奎, 等. 汽车工艺与材料, 2003(4): 9-11.
- [29] 胡萍, 等. 汽车工艺与材料, 2005(5): 14-16.
- [30] 李贺军, 等. 无机材料学报, 2007, 22(6): 1159-1164.
- [31] 郭洪涛, 等. 复合材料学报, 2001, 18(2): 50-55.
- [32] 杨淑静, 等. 工程塑料应用, 2007, 35(4): 41-45.
- [33] Shinn S T, et al. Materials Chemistry and Physics, 2002, 73(2): 162-169.
- [34] Seong S K, et al. Composite Structures, 2004, 66(1): 359-366.
- [35] Kim S S, et al. Comp Struct, 2005, 71(2): 238.
- [36] Navin Chand, et al. Wear, 2008, 264(1): 69-74.
- [37] Rattan R, et al. Wear, 2008, 264(1): 96-105.
- [38] 俞刚, 等. 过程工程学报, 2003, 3(3): 256-260.
- [39] Jongse T, et al. Polymer, 1999, 40(5): 1109-1117.
- [40] Jiang W, et al. Polym Degrad Stab, 1999, 66(2): 241-246.
- [41] Jongse T, et al. Jappl Polym Sci, 1999, 72(4): 501-508.
- [42] 胡晓兰, 等. 高分子学报, 2004(6): 844-848.
- [43] 刘育, 等. 摩擦学学报, 2004, 24(2): 101-105.
- [44] 陈振华, 等. 湖南大学学报, 2005, 32(6): 73-77.
- [45] Feng Xin, et al. Materials Science and Engineering: A, 2007, 448(1): 253-258.
- [46] Yun C K, et al. Wear, 2008, 264: 204-210.
- [47] Kim S J, et al. Wear, 2001, 251: 1484-1491.
- [48] 周大鹏, 等. 中国塑料, 2003, 17(10): 72-76.

DEVELOPMENT OF FIBER REINFORCED RESIN MATRIX BRAKING COMPOSITES

Wang Yuan, Lin Youxi, Ye Shaoyan, Gao Chenhui

(The College of Mechanical Engineering, Fuzhou University, Fuzhou 350002, China)

ABSTRACT The development of fiber used in reinforcing resin matrix braking composite in recent years was discussed. The friction characteristics of four kinds of fiber reinforced resin matrix braking material in common use. The prepatation of fibers and its application in braking material were mainly introduced.

KEYWORDS resin matrix, asbestos free fiber, friction, wear

北京星贝达化工材料有限公司

(重庆、上海、广州也设仓库, 供现货)

阻燃剂: 十溴二苯乙烷、聚溴化苯乙烯(适于尼龙、聚酯, 热稳定性好, 不析出)、聚碳酸酯阻燃剂 BC-58/52(适于 PC、PBT、PC/ABS 合金, 热稳定性好)、十溴二苯醚、四溴双酚 A、溴化环氧、DP-45、磷酸三苯酯、三氧化二锑、锑酸钠

PVC 热稳定剂: 环保 Ca-Zn 稳定剂、Ba-Zn 稳定剂、Pb-Ba 稳定剂

润滑剂: 阿克苏诺贝尔油酸酰胺、芥酸酰胺、EBS 等

抗氧化剂: 抗氧剂 1010、1076、1098、168、DSTDP、DLTP、TBM-6(300)、330、TNPP

增韧剂和相容剂: MBS E-920、聚酯增韧剂 ST-2000、尼龙增韧剂 ST-4100A(超低温下增韧)、G-PP、G-PE、G-POE、聚烯烃弹性体 POE、SEBS、SIS 等

铝合金门窗尼龙隔热条、PA66 回料、玻璃纤维等

北京: 上地信息路 1 号国际科技创业园 1 号楼 802 室 电话: 010-82895069 82895072

重庆: 西部塑料原料市场 A 区 8 号 电话: 023-65250828 65258828 传真: 023-65258828

上海湖盟公司: 021-62164991 51272622 广州: 020-82309869 82308865