

聚氨酯复合材料电杆 缠绕设备及工艺

二零一七年三月 江苏南京

1

复合材料电杆介绍

2

聚氨酯缠绕树脂体系的特点

3

聚氨酯复合材料电杆缠绕设备及工艺

4

树脂反应行为分析仪---Gelprof 518介绍

- 1、FRPUR.ppt-----陈博先生
- 2、《聚氨酯树脂及其应用》-----化学工业出版社 刘益军编著（2016）
- 3、BASF Filament Winding Technology.pdf-----BASF公司
- 4、BAYER（现科思创）公司PU宣传资料
- 5、HUNTSMAN公司PU宣传资料
- 6、Shakespeare Composites Structures公司宣传资料
- 7、Powertrusion Composites公司宣传资料
- 8、RS Technology公司宣传资料
- 9、“复合材料杆塔研究现状及关键技术问题” 《华北电力技术》 No 10 2010
- 10、“复合材料输电杆塔的研究与应用” 《纤维复合材料》 Mar.2011
- 11、“电力输送用复合材料杆塔发展现状” 《绝缘材料》 2013, 46（4）
- 12、HY-2700双组份聚氨酯注胶机简介-----上海华帆机电科技有限公司宣传资料

- ★电力装备是“中国制造2025”发展规划中十大重点发展领域之一
- ★国家电网公司正在推行“两型三新”战略
- ★美国、加拿大等已规模化推广应用

聚氨酯复合材料具有轻质高强、韧性好、耐腐蚀、优良电绝缘性及性能可设计和免维护等特点，是电杆结构材料较理想的选择，已经开始并日益受到国内外电力行业的高度关注。

聚氨酯复合材料电杆具有传统电杆不具备的特殊优势，在国外应用已经具有相当规模，在中国市场的主要意义将在于运输、安装成本的大幅降低和沿海地区的腐蚀和台风环境及自然灾害时的应急抢险，其开发应用将成为电力行业基础设施建设的一大趋势。

但是因为钢制电杆和水泥电杆初装费用较低，用户比较熟悉，而对于复合材料电杆还比较陌生，所以复合材料电杆早期的推广应用经历了一个艰难而缓慢的过程。

复合材料电杆在电力线路上的应用是电力工业基础设施建设的一次革命，为复合材料大规模进入电力行业领域起到推动作用，具有不可估量的社会效益。

聚氨酯复合材料电杆的特点

- 1、轻质----运输、安装方便；
 - 2、高强度、高韧性、抗冲击----抵御台风及极端天气；
 - 3、耐腐蚀、抗老化----免维护、全寿命周期费用低；
 - 4、电绝缘性好----（配合聚氨酯横担）解决闪络及雷击事故；
 - 5、透波性好----解决电磁波盲区问题；
 - 6、使用温度范围广：-50℃~80℃。
- 等等。



聚氨酯复合材料电杆的应用场合

- 1、台风频繁、盐雾腐蚀严重的沿海地区；
 - 2、山区、海岛、沼泽地等运输欠方便的偏远地区；
 - 3、内陆盐渍地、冻隔循环严重的地区；
 - 4、雷击频发地区及酸雨多发地区；
 - 5、对透波性有特殊要求的军事驻地、雷达站、基站等场合；
 - 6、高寒地区（水泥电杆、钢管塔有冷脆现象）。
- 等等。



美国 Shakespeare Composites Structures 公司复合材料缠绕电杆

树脂体系是否为PU
不得而知，其公司网
站www.Skp-cs.com
没有介绍。该公司
1996年在美国申请
复合材料电杆设计制
造方法专利。



加拿大RS Technology公司聚氨酯复合材料缠绕电杆

明确树脂体系为PU，与德国Bayer（现科思创）合作。

其公开文章“Polyurethane Thermoset Resin and Filament Winding in Modular Composites Utility Structures”发表于SAMPE Journal, Vol.42, No.2, March/April 2006。



加拿大RS Technology 公司聚氨酯复合材料缠绕电杆 设备及工艺



国内某公司聚氨酯复合材料缠绕电杆

(2016年安装于新疆某地)

国内现有几家企业在试生产复合材料电杆，主要是12m、15m两种规格，主要分布在深圳、广东、安徽、湖北、江苏、北京和辽宁。相关标准正在制订中。

(图片来源于网络，如有侵权，纯属无意)



国外拉挤工艺复合材料电杆制造公司

- 1 Powertrusion Composites (美国)
- 2 Strongwell (美国)
- 3 Newmark (美国)
- 4 Creative Pultrusion (美国)
- 5 Bedford (美国)
- 5 Ebert Composites/SDGE/SCE (美国)
- 6 North Pacific公司及CTC公司 (美国)
- 7 Topglass Composites (意大利)



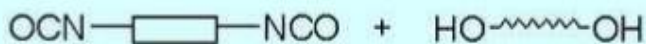
**A better way
to handle POWER
with a
new generation
Utility Pole**

New! See Powertrusion's
Cross Arm product line.



聚氨酯化学（反应类型）

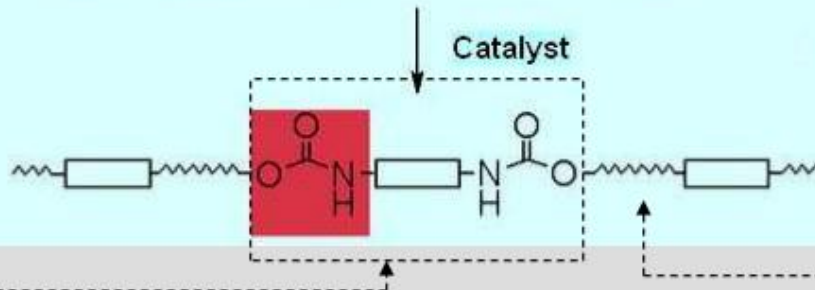
异氰酸酯, MDI



多元醇, PPG

Catalyst

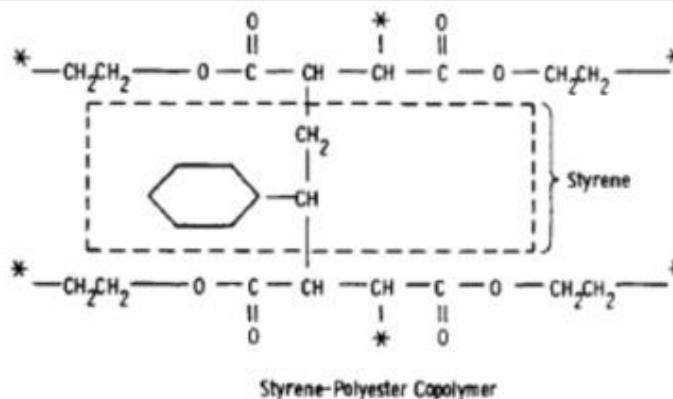
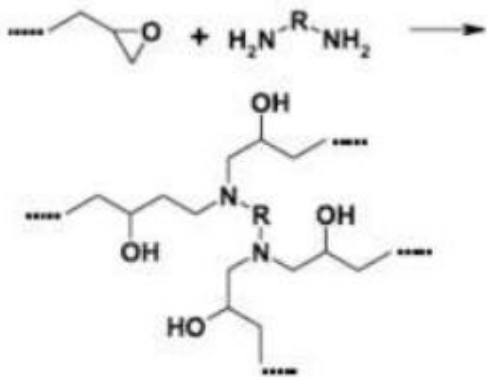
氢键/硬段/强度



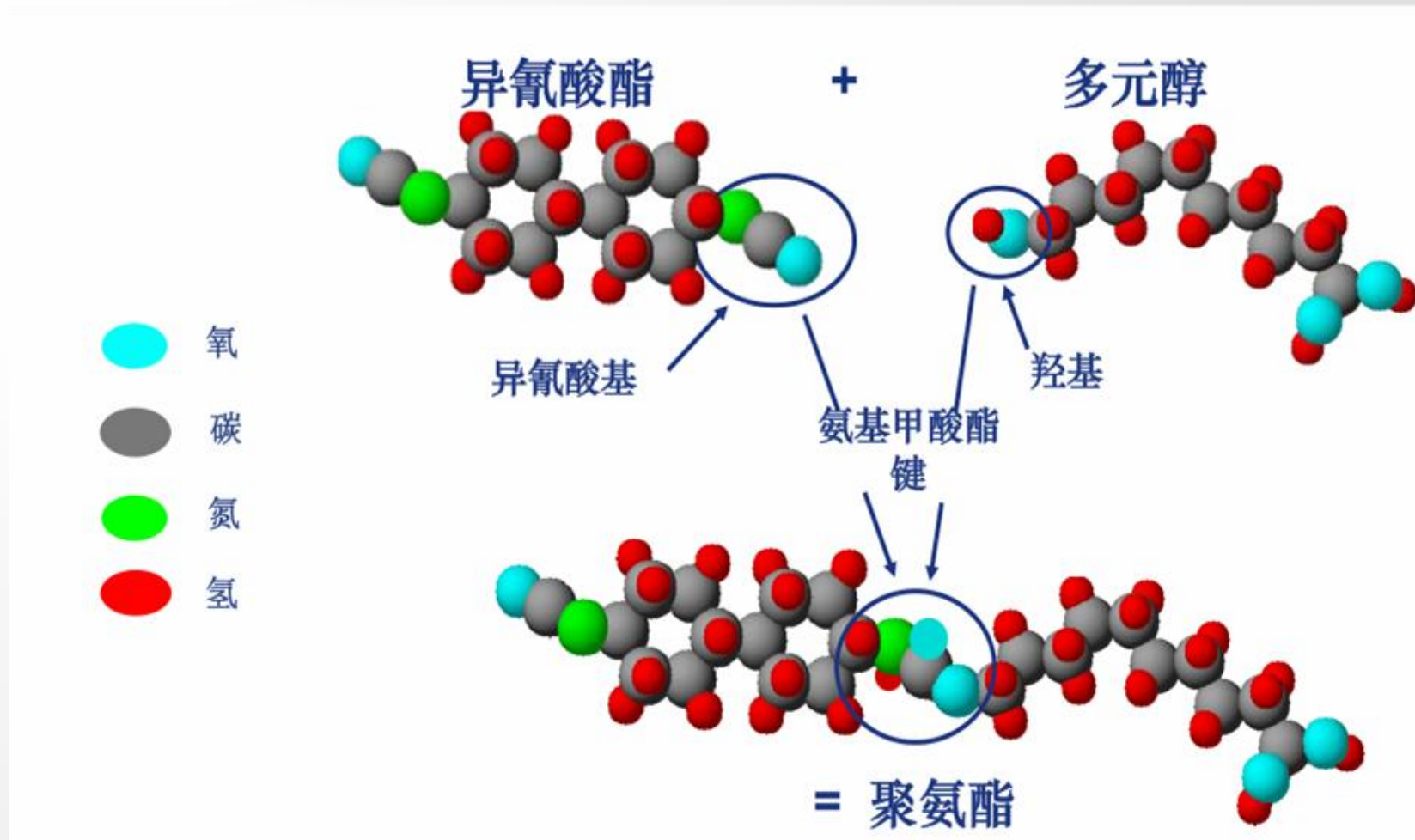
醚键/软段/柔韧性

Epoxy/环氧

UP/不饱和树脂



聚氨酯化学



聚氨酯缠绕树脂体系的特点

- 1 常温下极低的粘度；
- 2 高温下快速固化交联；
- 3 与匹配的玻璃纤维具有优良的界面；
- 4 制品强度高、韧性好，抗撕裂和抗冲击性能优良；
- 5 优良的绝缘性；
- 6 优良的耐大气老化性能；
- 7 固化过程没有小分子放出，环保；
- 8 原料运输、贮存安全。

需解决的问题

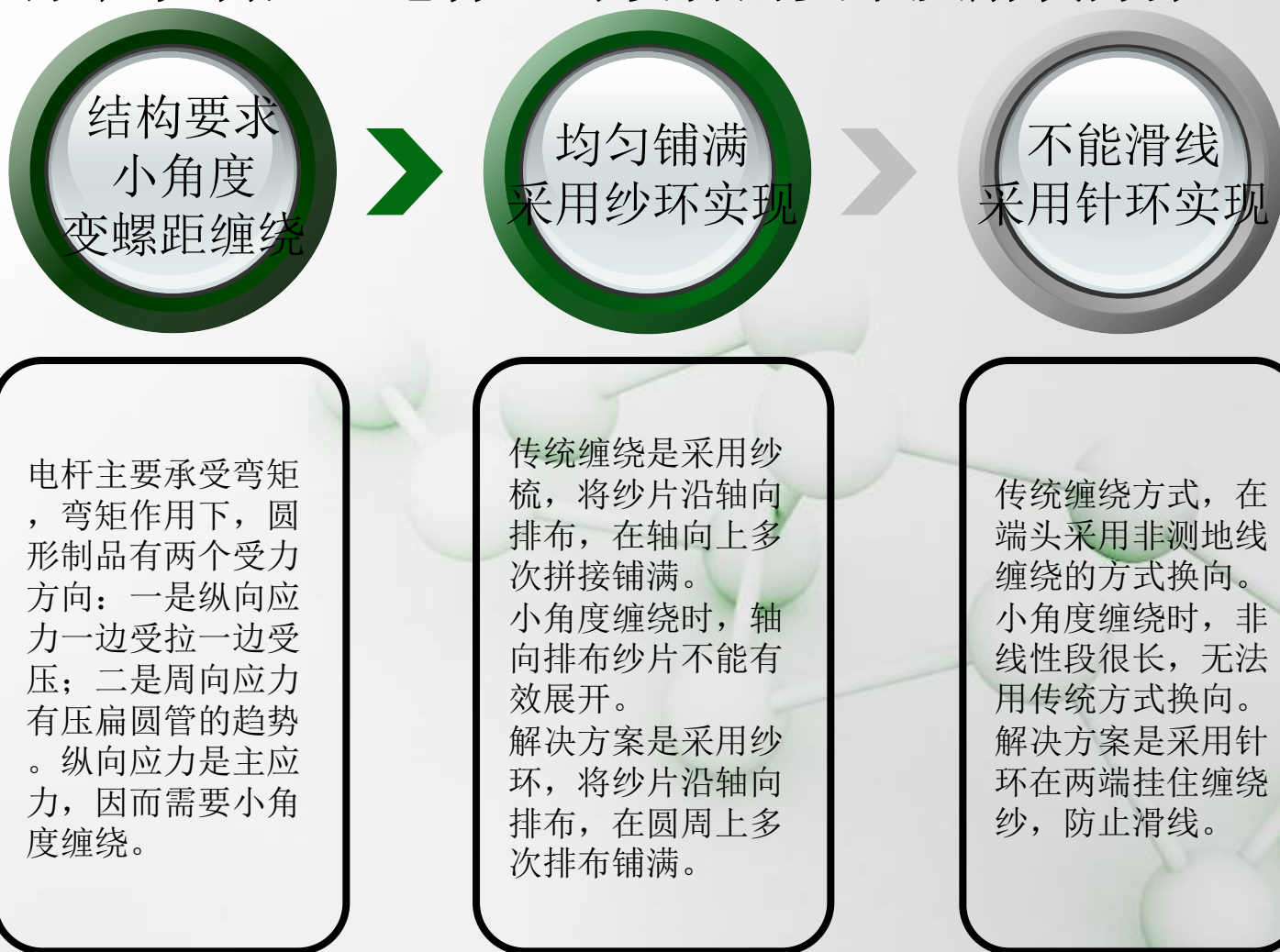
- 1 贵；
- 2 工艺过程对环境温、湿度要求严格。
 - { 相对湿度需小于50%。
 - { 25℃时体系适用期大约30分钟。



缠绕工艺三要素



小角度锥形缠绕制品（电杆）对设备的要求及解决方案



线型设计

$$dx = \frac{D(x)}{\tan(\alpha(x))} \cdot d\theta$$

$$\tan(\alpha(x))' = \frac{\tan(\alpha(x))}{\cos(\theta(x))}$$

dx : 纤维落纱点位移微分

D : 落纱点直径

$d\theta$: 主轴转角微分

α : 落纱点处缠绕角

缠绕小车轨迹设计

$$X_c(x) = x + \frac{\cos(\theta(x)) \cdot \sqrt{D_{sh}^2 - D^2(x)}}{2 \tan(\alpha(x))}$$

X_c : 缠绕小车轴向坐标

D : 落纱点直径

D_{sh} : 纱环直径

x : 落纱点坐标

θ : 落纱点锥度角的1/2

α : 落纱点处缠绕角

设备精度依据---误差计算

$$\Delta a_c = \left[\frac{\frac{\gamma}{2} - \frac{\arctan\left(\frac{D_{sh} \cdot \sin\left(\frac{\gamma}{2}\right)}{2}\right)}{\frac{D_{sh} \cdot \cos\left(\frac{\gamma}{2}\right)}{2} + \Delta H}}{2} \right] \cdot D(x)$$

Δa_c : 纤维纱片离缝或重叠宽度

D : 落纱点直径

D_{sh} : 纱环直径

x : 落纱点坐标

ΔH : 模具中心和纱环中心的偏差

γ : 纱环包角

产品结构设计---厚度计算

$$\delta_i(x) = \frac{m \cdot N_f \cdot Tex \cdot \left(\frac{x_{wf}}{\rho_f} + \frac{1 - x_{wf}}{\rho_r} \right)}{1000 \cdot \pi \cdot x_{wf} D_{out}(x) \cdot \cos(\alpha(x))}$$

$$T(x) = \sum_i \delta_i(x)$$

$\delta_i(x)$: 轴向 x 处第 i 个单层的厚度

m : 铺满次数

N_f : 纤维团数

Tex : 纤维线密度

x_{wf} : 纤维重量含量

ρ_f : 纤维密度

ρ_r : 树脂密度

$\alpha(x)$: x 处的缠绕角

$D_{out}(x)$: x 处的外径

$T(x)$: x 处的壁厚

产品结构设计---强度校核

$$(\sigma_c(x))_i = \left(\frac{x_{wf} \cdot \rho_r}{x_{wf} \cdot \rho_r + (1 - x_{wf}) \cdot \rho_f} \right) \cdot \left(\frac{\tan^2 \alpha(x)}{\tan^2 \alpha(x) + 1} \right) \cdot \sigma_f$$

$$(\sigma_h(x))_i = \sigma_f - (\sigma_c(x))_i$$

$$\sigma_c(x) = \frac{2 \cdot \text{Min} \left(\sum_i (\sigma_{c\text{正}}(x))_i \cdot \delta_{\text{正}i}, \sum_i (\sigma_{c\text{反}}(x))_i \cdot \delta_{\text{反}i}(x) \right)}{\sum_i \delta_i(x)}$$

$$\sigma_h = \frac{2 \cdot \text{Min} \left(\sum_i (\sigma_{h\text{正}}(x))_i \cdot \delta_{\text{正}i}, \sum_i (\sigma_{h\text{反}}(x))_i \cdot \delta_{\text{反}i}(x) \right)}{\sum_i \delta_i(x)}$$

$(\sigma_c(x))_i$: 轴向 x 处第 i 个单层的环向强度

$(\sigma_h(x))_i$: 轴向 x 处第 i 个单层的轴向强度

$\sigma_c(x)$: 轴向 x 处整体的环向强度

$\sigma_h(x)$: 轴向 x 处整体的轴向强度

σ_f : 纤维等效强度

$\delta_i(x)$: 轴向 x 处第 i 个单层的厚度

x_{wf} : 纤维重量含量

ρ_f : 纤维密度

ρ_r : 树脂密度

$\alpha(x)$: x 处的缠绕角

设备具体实施方案

从控制程序和机械结构上实现纱环、针环及变螺距缠绕。

纱环环向拼纱缠绕方式的难点在于需要较高的缠绕控制精度。主轴、小车皆采用交流伺服电机，通过美国Galil闭环控制器，二次开发专用控制系统实现。

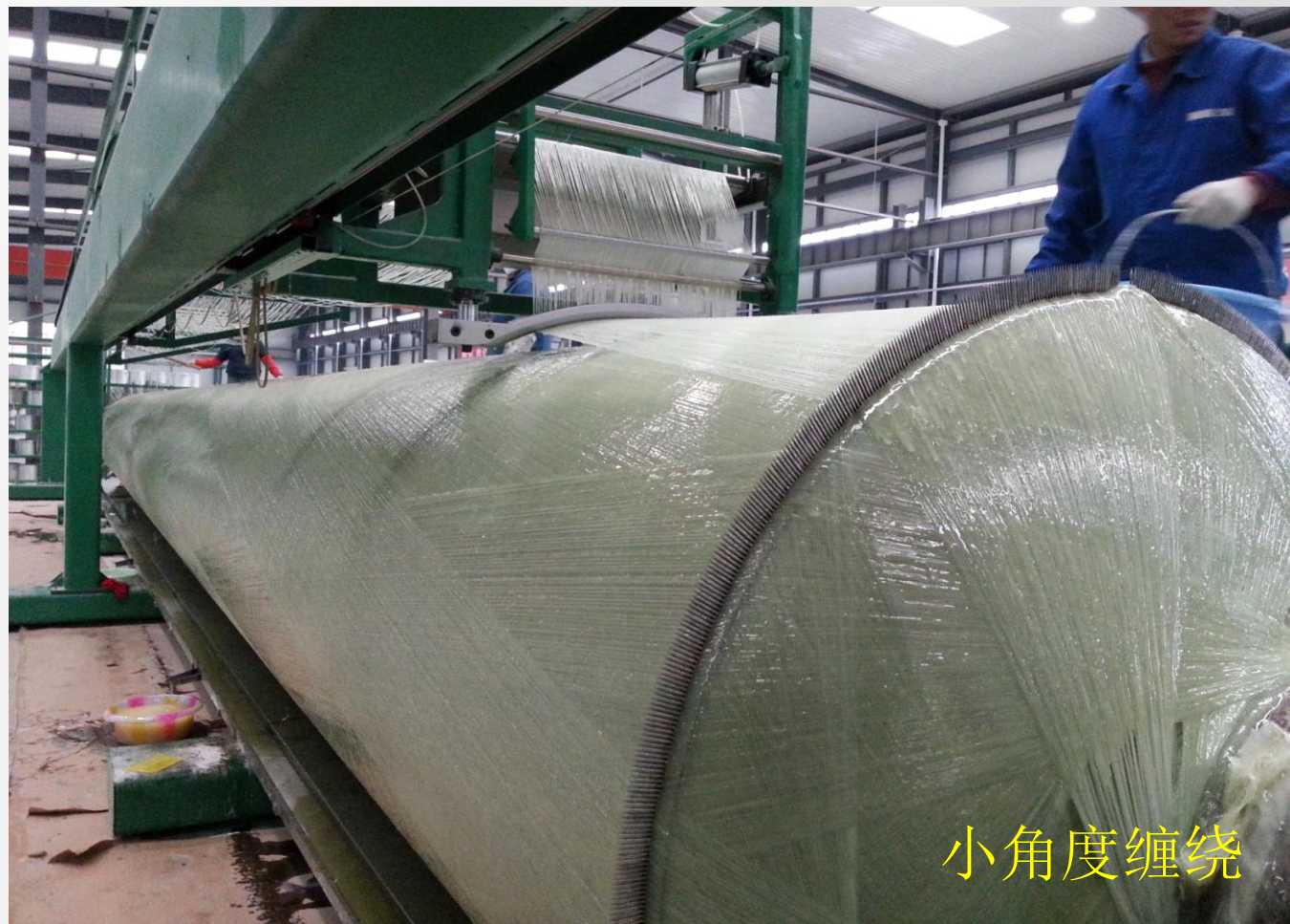
生产效率是实现工业化的重要因素。在有些失败的案例中，需要几十个小时来生产一个产品显然是不合适的。

2011年与武汉某公司合作设计的杆塔缠绕机 (模具大头直径1300mm)



2011年与武汉某公司合作设计的杆塔缠绕机 (模具大头直径1300mm)

- ☑九分之一纱环导丝头
- ☑大纱量
- ☑小角度缠绕
- ☑锥状芯模
- ☑纤维张力可调
- ☑挂纱针环
- ☑极大限度减少非线性段材料浪费和时间浪费



2011年与武汉某公司合作设计的杆塔缠绕机 (模具大头直径1300mm)



变螺距缠绕

武汉九迪对蒸汽固化系统 已积累了丰富的经验

2009年—2013年武汉九迪设计制
造的蒸汽内固化GRE管道生产线

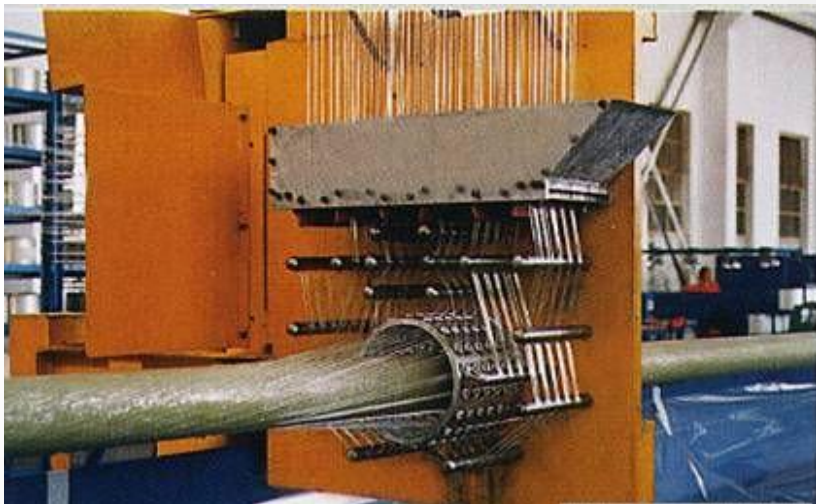
- ☑ 中材金晶玻纤有限公司 二条
- ☑ 宁夏鸿通管业有限公司 三条
- ☑ 重庆友聚众成玻璃钢公司 一条



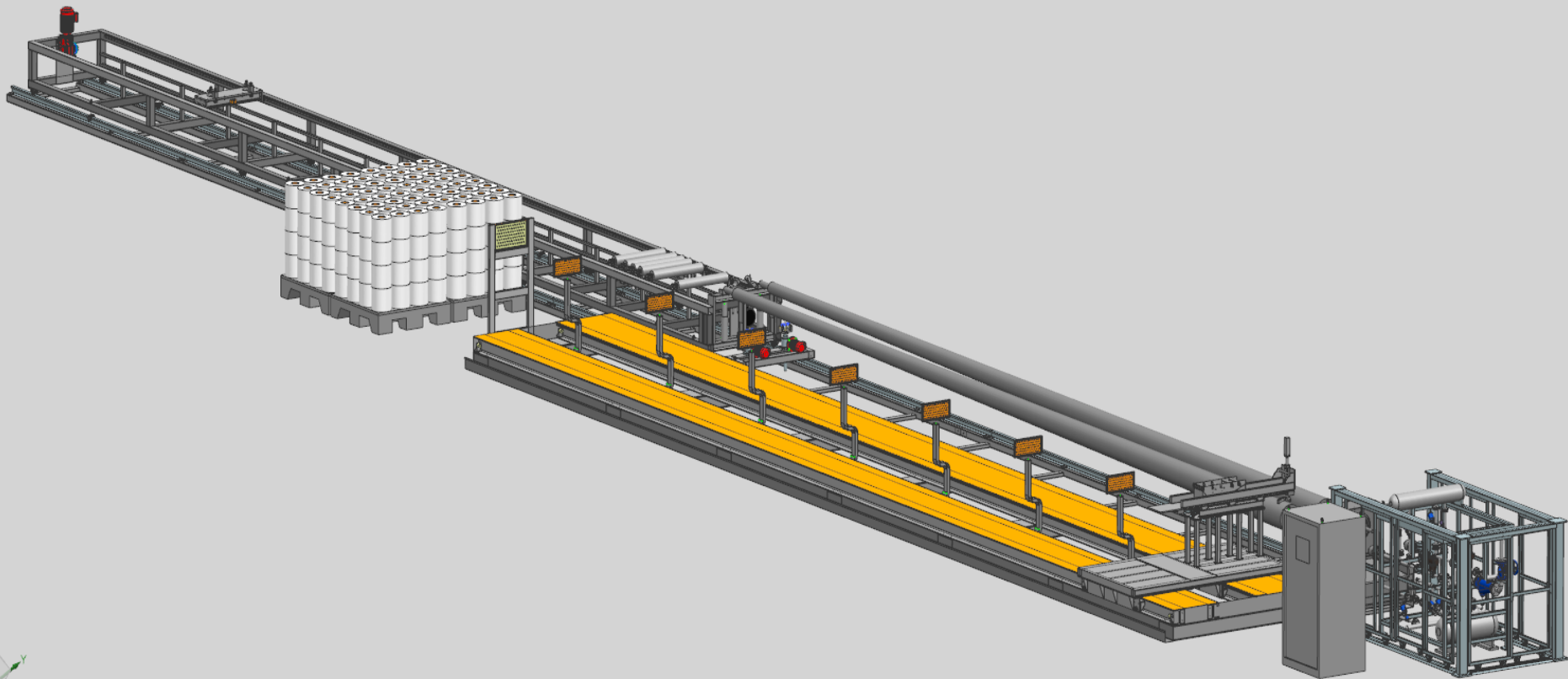
2015年与四川航天某公司设计的贮运发射箱体/杆塔多功能缠绕机



我们最新一代聚氨酯复合材料电杆缠绕设备的设计基础及灵感来源



2016年底与浙江某公司合作设计的聚氨酯复合材料电杆缠绕机
(正在加工制造中, 只能展示UG三维设计图)



2016年底与浙江某公司合作设计的聚氨酯复合材料电杆缠绕机

本机主要特点：

- ☑ 缠绕、固化、脱模进行一体化设计，避免成型模具的频繁装卡、吊装和转运；
- ☑ 将高压水蒸汽注入中空金属模具内腔来加热模具并固化成型物；
- ☑ 将冷水注入中空金属模具内腔来冷却模具，利用金属模具与成型物的热膨胀系数差异，实现成型物与模具的分离；
- ☑ 利用纱环导丝头和针环来实现大纱量小角度锥状缠绕；
- ☑ 利用纱环导丝头提升并旋转90°来实现螺旋缠绕；
- ☑ 每种规格产品只需2根模具即可实现连续生产；
- ☑ 设计了随动支纱架，取消了堆码纱架和纤维团的人工转运；
- ☑ 双组份聚氨酯自动混胶机与小车运动同步；
- ☑ 抽纱速度与双组份聚氨酯自动混胶机实现了关联，从而实现根据抽纱速度控制混胶量；

聚氨酯体系缠绕工艺的关键共性问题

- ◆含胶量的精确控制
- ◆缠绕纤维与聚氨酯体系的界面匹配
- ◆缠绕纤维的含水量控制
- ◆环境温度的控制
- ◆环境湿度的控制
- ◆双组份聚氨酯混胶设备的应用



双组份聚氨酯注胶机

与最新设计的聚氨酯复合材料电杆缠绕机抽纱速度实现关联的双组份聚氨酯自动混胶机

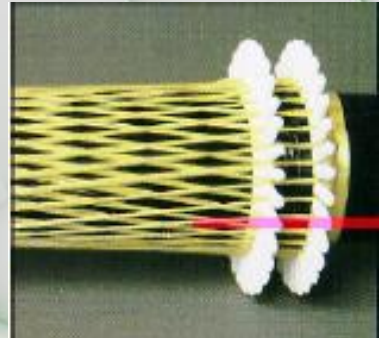
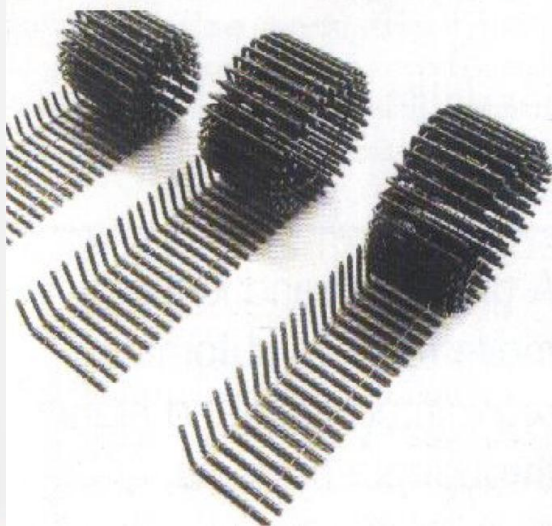
关联方式：主轴转速 & 缠绕角 & 纤维TEX

控制设计：上海华帆机电科技有限公司

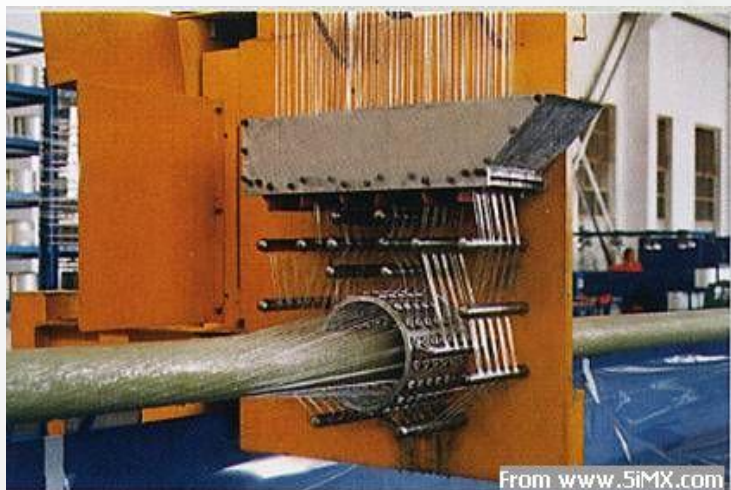


实现小角度缠绕的针环的各种设计方式

德国IBK公司开发了一种新型挂纱环系统，在小缠绕角下改进纤维缠绕，挂纱环减少了材料损耗和缠绕时间，挂纱针连接成带状并根据芯模直径切割成所需长度。缠绕前挂纱针插入芯模，然后在制品固化后拆下。



纱环导丝头的各种设计方式



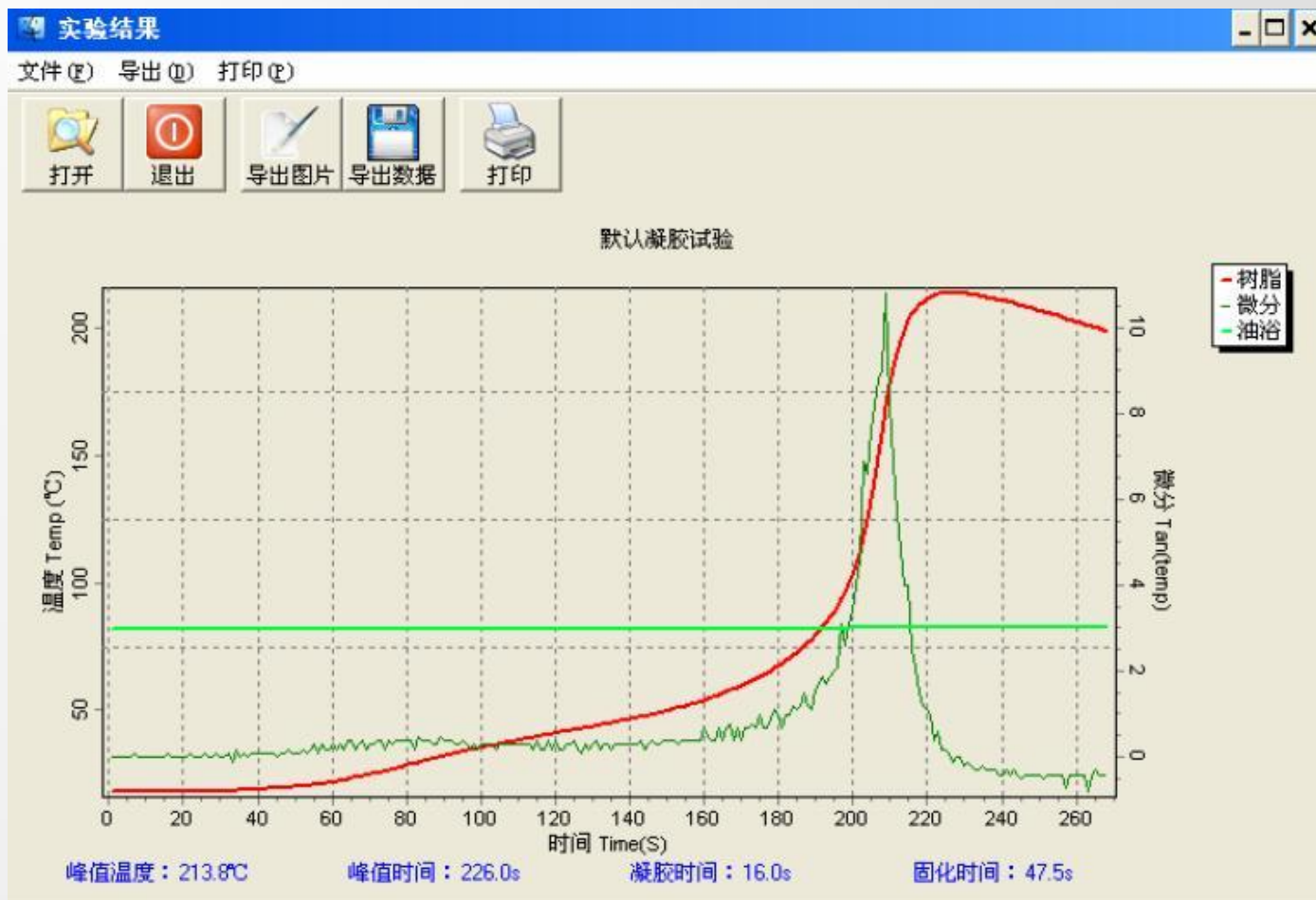
武汉九迪2008年研制的树脂反应行为分析仪Gelprof 518

- ☑配方设计
- ☑原材料检验
- ☑工艺试验

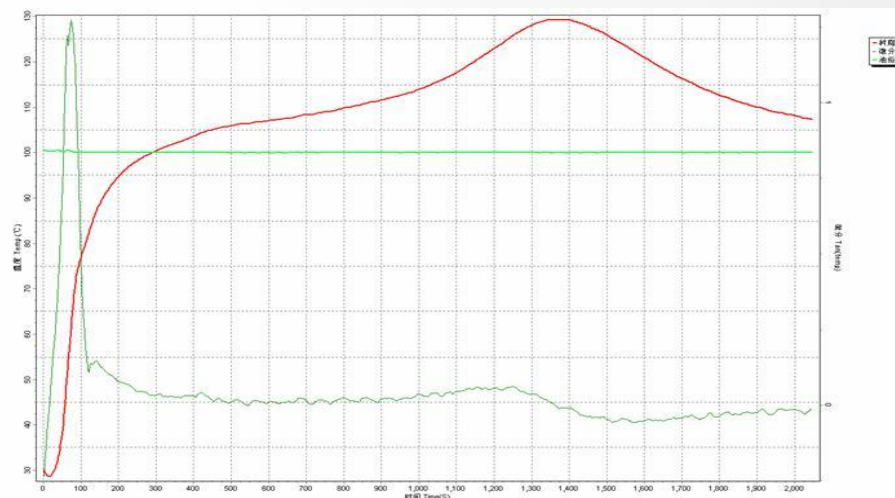


UPR体系的SPI标准实验图谱

- 凝胶时间
- 固化时间
- 峰值温度
- 反应速度

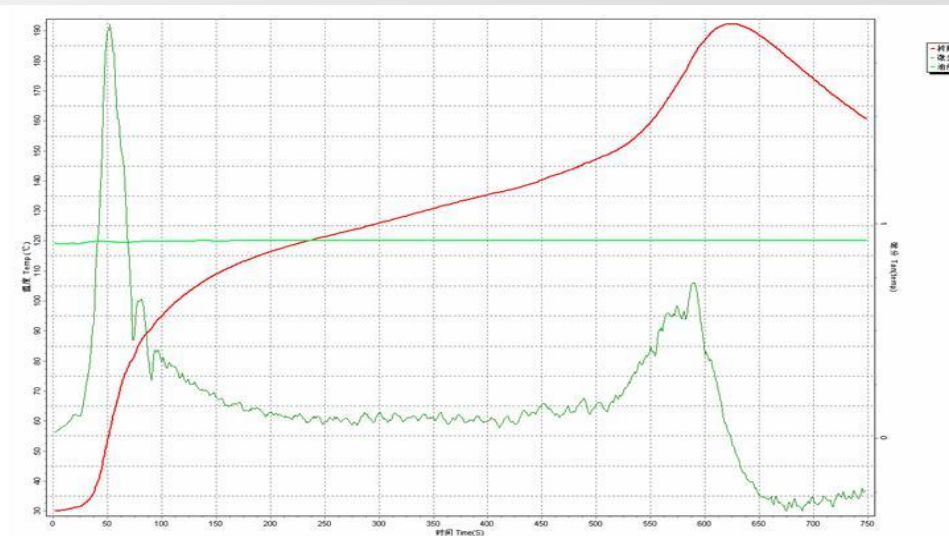


EPR体系的自定义实验图谱



(图片说明: 浅绿的线为油浴温度, 红线是树脂的温度, 绿线为红线的微分曲线, 下同; 本图为环氧 E-53 (DIC 840S): 二氨基二苯基甲烷 DDM=100: 27 体系, 在 100 度下的反应曲线)。

浴温: 100°C



(图片说明本图为环氧 E-53 (DIC 840S): 二氨基二苯基甲烷 DDM=100: 27 体系, 在 120 度下的反应曲线)。

浴温: 120°C

已配置单位名单:

- 国家模塑料工程技术研究中心
- 北京福润德复合材料有限责任公司
- 天津工业大学复合材料研究所
- 武汉理工大学材料学院复合材料系
- 镇江育达复合材料有限公司
- 南京华艺碳纤维制品有限公司
- 宁波华缘复合新材料有限公司
- 福建泉州华邦树脂有限责任公司
- 南通亚伦化工有限公司
- 常州轨道车辆牵引传动工程技术研究中心
- 山东德州世纪威能风能设备有限公司
- 东方汽轮机厂树脂事业部
- 中山联诚化工
- 常州市晨光玻璃钢复合材料有限公司
- 苏州美力格科技有限公司
- 北京玻璃钢研究设计院拉挤实业部
- 广州市金永固新材料有限公司
- 青岛欧特美股份有限公司
- 大连元盛科技开发有限公司
- 佛山市顺德荔昌五金电子复合材料有限公司
- 江苏九鼎新材料股份有限公司
- 富阳市大兴树脂化工厂
- 阿科玛（常熟）化学有限公司
- 上海森澜科学仪器有限公司
- 江苏协诺汽车附件有限公司
- 江苏中联风能机械有限公司
- 泰州科逸新材料有限公司
- 律通复合材料（上海）有限公司
- 浙江一洲模塑有限公司
- 中格复合材料（南通）有限公司
- 长兴合成树脂（常熟）有限公司
- 昆山裕博复合材料有限公司
- 中北大学
- 华东理工大学

- 武汉工程大学
- 福建师范大学
- 杭州捷敏高分子材料有限公司
- 大赛璐药物手性技术（上海）有限公司
- 惠柏新材料科技（上海）有限公司
- 北京思源创新科技有限公司
- 常州市真乐模塑有限公司
- 常州航丰冷却设备有限公司
- 莆田钰诚化学有限公司
- 德州盛邦复合材料有限公司
- 哈尔滨华美亿丰复合材料有限公司
- 鼎昌复合材料有限公司
- 上海华曼复合材料科技有限公司
- 南通时瑞塑胶制品有限公司

- ◆ 树脂、固化剂、促进剂等参与反应的原材料入厂检验的利器！
- ◆ 工程技术人员进行配方设计的好帮手！
- ◆ 工程技术人员解决实际问题的助手！

谢谢各位！耽误您宝贵时间了。

