

# 架空导线用纤维增强复合芯棒拉挤树脂研制

梁平辉, 苏浩, 杜后武

常熟佳发化学有限责任公司, 常熟 215533

**摘要** 采用自行研制的多官能缩水甘油胺-醚型环氧树脂、液态酸酐固化剂为基本原料, 引入原位分相增韧技术, 制备的架空导线用树脂基纤维增强复合芯棒拉挤树脂具有混合黏度低、使用期较长、高温固化速度快、拉挤工艺性好等特点, 用其拉挤成型的复合芯棒表面光洁、综合强度高、耐高温、生产效率高。通过加入复合促进剂避免了快速成型过程高温反应集中放热, 降低了体系内应力, 可满足复合芯棒拉挤制品机械强度与快速成型工艺性能要求。

**关键词** 耐高温; 电缆复合芯棒; 拉挤; 环氧树脂

架空输电导线作为输送电力的载体, 在输电线路中占有极为重要的地位。长期以来, 架空导线主要使用钢芯铝绞线(ACSR)。随着材料技术的不断进步, 20世纪末, 人们尝试用有机复合材料代替金属材料制作导线的支撑芯材, 开发出新型复合材料合成芯导线(ACCC导线)<sup>[1]</sup>。与传统架空导线相比, 新型导线具有强度高、电导率高、载流量大、运行温度高、线膨胀系数小、弛度小、重量轻、耐腐蚀、使用寿命长、减少电磁辐射和电晕损失、便于导线展放和施工等优点, 成为新一代输电方式的发展方向。从21世纪开始, 国外以美国CTC电缆公司(CTC cable corporation)为代表进行复合芯导线的商业化运行。近年来, 国内也在开展采用复合芯棒的架空导线的运行试验, 并取得了良好的运行业绩<sup>[2-6]</sup>。

拉挤成型基体树脂是生产用于架空导线复合芯棒的关键材料, 为满足复合芯棒快速成型的工艺要求, 基体树脂必须具有混合黏度低、常温黏度增长慢、加热反应速度快等特点<sup>[7-11]</sup>。就满足基体树脂快速成型性能要求而言, 不饱和树脂与环氧树脂基树脂体系是较佳选择, 通过选择一定活性过氧化物引发剂, 可使基体树脂黏度在常温条件下较长时间内基本不增长, 而在高温条件下一旦开始链引发, 分子链迅速增长、固化; 此外, 该类树脂体系固化收缩率较高, 固化后容易离模, 因此具有很好的拉挤工艺特性。上述特点使不饱和和环氧树脂基树脂体系在以往的拉挤复合材料制品中成为首选树脂基体。但这类靠自由基聚合快速固化的树脂基体也存在由于快速固化带来内应力大、强度较低、固化收缩率偏高、制品尺寸稳定性较差、耐热性偏低等不足, 加之这种树脂体系中的大量苯乙烯具有较大气味与一定挥发性, 不符合安

全环保要求, 在国外已被限制使用。因此作为需要高强度、电绝缘性好的架空导线复合芯棒的基体树脂, 尽管拉挤速度较不饱和树脂体系慢还是多采用环氧树脂体系。

出于经济性考虑, 大批量生产复合芯棒的生产工艺与一般环氧树脂拉挤制品如绝缘子芯棒生产有很大不同, 拉挤成型工艺要求在短时间为(1~2 min)基体树脂快速固化, 且要求固化物还必须具备高的拉伸、弯曲、压缩等机械强度、高的玻璃化转变温度。同时对性能高要求的同时对拉挤成型过程中基体树脂的稳定性要求更为苛刻, 一盘线长度为3000~4000 m需要拉制150~200 h, 中间不能有故障或缺陷。要满足上述苛刻要求显然不是一般环氧树脂体系所能胜任的。

常规的环氧拉挤树脂体系中采用较多的是普通液态双酚A环氧树脂、液态酸酐固化剂加促进剂体系, 其中液态酸酐又多采用价格较低的甲基四氢苯酐, 如耐紫外线与耐热要求高, 则采用甲基六氢苯酐或甲基纳迪克酸酐, 促进剂为叔胺如二甲基苄胺、DMP-30或咪唑如2-乙基-4-甲基咪唑等。采用普通环氧拉挤树脂体系的强度与耐热性比采用不饱和树脂体系虽有较大提高, 但对拉挤速度、制品高温强度要求高的架空导线树脂基纤维增强复合芯棒, 需保证温度在160℃以上长期稳定运行, 原有普通环氧树脂显然不能满足要求, 需要开发新的耐高温拉挤树脂基体。

## 1 实验原料与仪器

### 1.1 实验原料

环氧树脂: 缩水甘油胺型环氧树脂JEh-011、JEh-012、缩水甘油胺-醚型环氧树脂JEh-021、JEh-041, 常熟佳发化学公

收稿日期: 2015-11-30; 修回日期: 2016-02-01

作者简介: 梁平辉, 高级工程师, 研究方向为特种、专用环氧树脂与助剂合成与应用, 电子邮箱: liangpinghui1@163.com

引用格式: 梁平辉, 苏浩, 杜后武. 架空导线用纤维增强复合芯棒拉挤树脂研制[J]. 科技导报, 2016, 34(8): 71-76; doi: 10.3981/j.issn.1000-7857.2016.08.012

司;固化剂:酸酐类固化剂,甲基四氢苯酐(MTHPA)、甲基六氢苯酐(HHPA)、甲基纳迪克酸酐(MNA),濮阳惠成电子材料有限公司;促进剂:2-乙基-4-甲基咪唑(2-E-4-MZ),德国巴斯夫公司(BASF corporation);改性液态咪唑JH-0511,辛酸铬复盐低温促进剂C,常熟佳发化学有限责任公司;增韧剂:端羧基丁腈橡胶,深圳佳迪达化工有限公司;粉末纳米橡胶改性环氧树脂 HH0804,深圳华西宏基科技有限公司;核壳纳米橡胶改性环氧树脂 CSR-40,常州大学;原位分相增韧剂,自制;羧酸酯类内脱模 1890M,北京科拉斯科技有限公司。

## 1.2 测试仪器

热性能测试:差式量热扫描仪 DSC131,法国萨特拉姆公司;动态热机械分析仪 DMA8000, US perkinelme corporation;浇注体力学性能测试:20 kN 万能材料试验机,深圳瑞格尔公司,20 kN 高低温万能材料试验机,上海倾技仪器;凝胶时间测试:热板法,自制;树脂黏度测试:NDJ5S 旋转黏度计,上海精密仪器有限公司。

## 2 实验方法

拉挤基体树脂分 A、B 组分分开包装,使用时搅拌混合。A 组分制备:将不同环氧树脂、偶联剂、紫外线吸收剂、抗氧剂

等加入搅拌混合釜,升温 80~100℃, -0.1 MPa,真空搅拌混合脱泡 1~2 h,降温出料作为 A 组分。

B 组分制备:将液态酸酐固化剂、促进剂、增韧剂或适量填料等加入到搅拌混合釜,升温 50~70℃, -0.1 MPa,真空搅拌混合脱泡 1~2 h,降温出料作为 B 组分。

复合芯棒拉挤成型:按计量比称取基体树脂 A、B 组分、加入适量内脱模剂,将所有组分加好后用电动搅拌器进行充分搅拌,混合 10~15 min,混合均匀后将混合好的胶液以恒定速度加入浸胶槽;将碳纤维、玻璃纤维烘干整理好,按工艺要求设定好模具温度与拉挤线速度,然后开动拉挤机使纤维通过浸胶槽进行浸胶,通过拉挤模具挤出多余胶后进入模腔进行固化后处理,卷绕在卷盘上得到复合芯棒。

## 3 实验结果与讨论

### 3.1 基体树脂 A 组分中环氧树脂选择

复合材料芯棒快速成型工艺需要基体树脂具有高反应活性。实验选取了不同树脂进行比较,采用甲基四氢苯酐固化剂在相同促进剂用量(树脂 1% JH-0511)用热板法测得的凝胶时间如表 1 所示。

表 1 不同环氧树脂凝胶时间比较

Table 1 Gel time comparison on different epoxy resin

环氧树脂	环氧值/ (mol·100g <sup>-1</sup> )	25℃黏度/ (mPa·s)	MTHPA 加入量/ (g·100g 环氧 <sup>-1</sup> )	160℃凝胶 时间/s	固化物玻璃化 转变温度/℃*
JEh-011	0.85	100000~200000	138	38	213
JEh-012	0.86	8000~10000	140	39	195
JEh-021	0.66	13000~16000	107	41	186
Eh-041	0.94	3000~5000	153	36	198
YD128	0.53	11000~13000	86	72	145
F-51	0.53	50000~100000	86	68	165

注:\*为采用 DMA 法测定,按储能模量取固化物玻璃化转变温度值。

实验结果表明,采用缩水甘油胺或缩水甘油胺-醚型环氧树脂 JEh-011、JEh-012、JEh-021、JEh-041 较双酚 A 环氧 YD128、酚醛环氧 F-51 反应活性大大提高,表现为凝胶时间缩短,其固化产物转变浓度  $T_g$  也较高,耐热性更好。这是因为普通双酚 A 环氧树脂分子结构中只有 2 个端基是环氧基,所形成的固化产物交联密度不高,因而耐热性也受到限制;其与酸酐的反应活性也低,需要在叔胺或咪唑促进下在较高温度才有较高的反应速度。针对耐温要求高的复合芯棒基体树脂,选用了自行研制的多官能缩水甘油胺或缩水甘油胺-醚型环氧树脂作为主体树脂,一方面这类环氧树脂分子结构中有 3~4 个环氧基,环氧基含量高,固化产物交联密度高,固化产物具有良好耐热性。另一方面,该树脂本身的叔胺基团也具有类似于促进剂的催化作用,在较高温度条件下

即使不加促进剂也能与酸酐固化剂反应,其反应速度比普通环氧树脂要快很多,因此,与普通环氧树脂相比,作为拉挤树脂不但可使耐热等级提高,还可以使拉挤速度加快<sup>[13,14]</sup>。

除了拉挤工艺所要求的速度外,作为拉挤树脂的黏度也是重要的考察参数,混合料黏度高,影响树脂对纤维的浸润效果。耐高温环氧树脂 JEh-011 常温黏度较高,在 40℃ 左右才有较好的流动性。但如果将胶槽温度提得太高,由于这种耐高温环氧树脂反应活性高,使用期将会大大缩短,因此作为拉挤树脂选择黏度较低的 JEh-041 与 JEh-011 混合使用或选择与普通环氧树脂黏度接近的 JEh-012、JEh-021 可满足拉挤树脂的黏度要求。此外,由于耐高温环氧树脂环氧值高,可加入更多黏度低的液态酸酐固化剂,其混合黏度比普通环氧树脂-液态酸酐体系还要低。

### 3.2 基体树脂B组分中固化剂与促进剂选择

根据拉挤工艺的特点,树脂混合物在常温条件下要有较长的可使用期,一般要求6 h以上,显然反应活性高的胺类固化剂是不合适的。液态酸酐固化剂与环氧树脂混合后即使在促进剂存在下也有较长的可使用期,可满足较长可使用期的要求。但酸酐固化剂有2大缺点:1)容易吸潮形成不溶于树脂的酸,影响固化,酸酐吸潮是潮湿环境下影响拉挤制品质量的主要原因。液态酸酐的吸湿性以甲基六氢苯酐最高,甲基纳迪克酸酐最低。因此拉挤作业过程应特别重视采用酸酐体系树脂的吸潮,尽可能采用低湿度环境下操作,适当选择吸湿率低的甲基纳迪克酸酐作为固化剂。2)反应活性较低,需要靠促进剂调节。但促进剂无论是叔胺还是咪唑,都是环氧树脂进行阴离子聚合的固化剂,当促进剂达到一定量,如环氧树脂中4%左右2-乙基-4-甲基咪唑,在120℃左右就可将环氧树脂固化。如果促进剂太多,促进剂将起固化作用,酸酐固化剂将来不及与环氧树脂反应,游离在环氧树脂

固化物中,势必影响固化产物性能。此外,这类促进剂太多,还可能导致在高温时发生激烈的自由基聚合反应,产生较大的内应力,导致拉挤过程中过早凝胶堵模,甚至制品开裂。为提高拉挤速度,又避免高温反应爆聚,研制了一种降低环氧基与酸酐反应温度的新型有机金属盐类催化剂C,与改性咪唑类高温促进剂配合使用,保证了拉挤作业升温过程中有均衡的反应速度,避免了高温爆聚造成拉挤制品内应力过高。不同促进剂的酸酐固化体系固化反应放热差示扫描量热法(DSC)曲线如图1所示。

两者对比,从基体树脂固化DSC曲线可以看出,采用复合促进剂的拉挤树脂放热起始温度由较单一促进剂的108.69℃降到97.43℃,放热峰由135.77℃降到115.35℃,表明复合促进剂在较低温度使酸酐固化剂具有一定反应活性,使固化反应起始温度与放热峰温度明显降低,减少了高温区集中反应放热导致的体系内应力过大使制品压缩强度降低甚至开裂的风险,有助于提高拉挤制品质量。

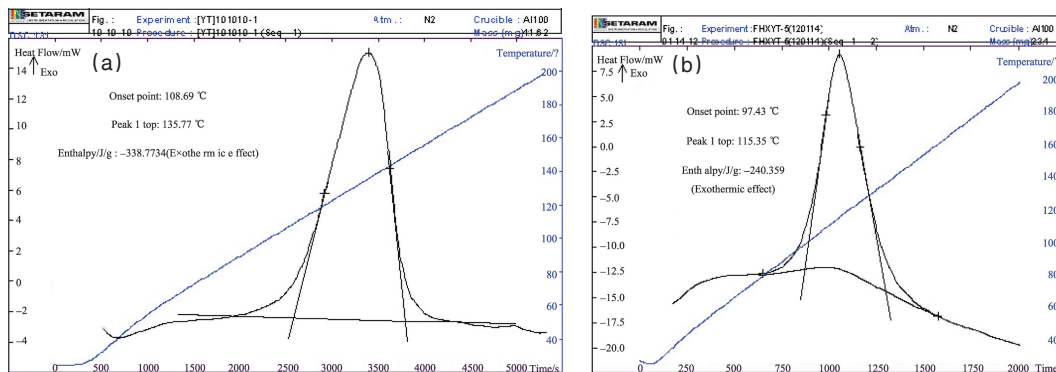


图1 单一促进剂及复合促进剂(a),拉挤树脂固化DSC曲线(b)

Fig. 1 DSC curing curve of single (a) and complex (b) accelerator pultrusion resin

### 3.3 树脂基体增韧

采用缩水甘油胺型多官能耐高温环氧树脂体系由于固化产物交联密度高,脆性也随之增大,另一方面由于拉挤成型工艺的快速固化要求也可导致体系内应力增大,对树脂基体必须进行增韧。有关环氧树脂增韧的方法文献报道较多<sup>[5]</sup>,特别是在普通环氧树脂增韧方面取得了较好的效果。但对多官能高交联的耐高温环氧树脂体系的增韧,比普通环氧树脂的增韧困难得多。常规增韧方法如添加柔性环氧树脂、柔性固化剂或非反应型增韧剂的办法可使普通环氧树脂冲击强度大幅度提高,而用到多官能耐高温环氧树脂体系中除了 $T_g$ 的大幅度下降外,对冲击强度与断裂伸长率较未增韧前还有下降。对多官能耐高温环氧树脂增韧文献报道较多的方法<sup>[7]</sup>主要有橡胶增韧与热塑性树脂增韧。热塑性树脂增韧主要有聚醚酰亚胺、聚醚砜、聚醚醚酮等,多为高熔点固体,与树脂体系相容性较差,采用不很多,采用较多的是橡胶增韧方法,对体系耐热性影响较小( $T_g$ 下降很小)韧性得到一

定改善。但采用哪种方法将预制的纳米橡胶粒子分散在树脂基体中都不可避免带来体系黏度增加太大,给拉挤成型带来困难。针对上述弊端,研制了一种较低黏度的原位分相增韧剂,较好地满足了增韧与拉挤工艺性要求。几种橡胶增韧方法比较如表2所示。

从表2可以看出,采用预制橡胶颗粒分散的环氧树脂体系虽有较好增韧效果,在增韧的同时对固化物 $T_g$ 影响也较小,但对体系黏度影响较大,黏度过大不利于树脂对纤维浸润,且这种纳米颗粒橡胶预分散的基体树脂成本高,因为需要采用特殊工艺与设备进行处理,否则分散不好,容易出现颗粒团聚,达不到增韧效果;采用液态的端羧基丁腈橡胶(CTBN)尽管也有好的增韧效果,但黏度仍偏高,且要达到较好效果也要与环氧树脂先进行预聚,工艺复杂。采用自制的原位分相增韧剂,其黏度本身比环氧树脂的黏度还低,还可取稀释作用,在固化过程中形成第二相海岛结构,防止裂纹扩张,对固化物 $T_g$ 影响很小,取得了很好的效果。

表2 不同增韧剂加入对环氧酸酐体系拉挤基体树脂的影响

Table 2 Influence of different epoxy toughening agent on epoxy and anhydride pultrusion resin system

增韧剂类型	25℃A组分黏度/ (mPa·s)	25℃混合料黏度/ (mPa·s)	固化物冲击强度/ (kJ·m <sup>-2</sup> )	断裂伸长率/%	T <sub>g</sub> /℃
丁腈橡胶纳米颗粒树脂分散体	132000	12800	10.7	3.1	205
核壳纳米橡胶分散体	125000	12100	12.9	2.8	204
增韧环氧树脂(CTBN)	36000	2800	12.6	2.9	206
原位分相增韧剂	10200	780	13.2	3.1	205
不加入增韧剂	11600	1050	6.8	1.8	207

注:增韧剂加入质量分数为基体树脂A组分质量质量的15%。

#### 4 性能与应用

根据条件试验优化与用户要求,采用不同耐热等级的环氧树脂研制了3种适用不同耐温要求的复合芯棒拉挤树脂,主要技术指标如表3,纯树脂浇注体性能如表4所示,配胶后混合料黏度增长曲线如图2所示。研制的拉挤树脂在不同拉挤设备生产线上进行了上线试验,通过了千米级以上实际考核,无论是复合芯外观质量还是下线性能弯曲、压缩等主要性能考核,都满足了标准要求,其中比较难以实现的下线T<sub>g</sub>

稳定性,千米下降幅度在5℃以内,符合相应标准。下线复合芯棒拉挤不同长度T<sub>g</sub>变化趋势图如图3,1300 m拉挤检测DMA测试结果如图4所示。

研制的树脂基体用于耐温等级要求高的架空导线树脂基复合芯棒,经多次实际拉挤长周期考核,表明,无论是拉挤工艺性能还是制品综合性能均能满足架空导线复合芯棒标准要求。拉挤树脂浇注体DMA T<sub>g</sub>测试结果如图3所示,拉挤复合芯棒DMA T<sub>g</sub>测试结果如图4所示。

表3 研制的耐高温拉挤环氧树脂主要技术指标

Table 3 Main technical indicators for epoxy pultrusion resin

牌号	指标	化学成分	25℃黏度/ (mPa·s)	环氧值/ (mol·100g <sup>-1</sup> )	密度/ (g·cm <sup>-3</sup> )	质量混合比	25℃混合黏度/ (mPa·s)	25℃混合后 可使用期/h
CP-01A/B	CP-01A	多官能环氧	5000~10000	0.75~0.85	1.14~1.18	100:140~100:145	500~1000	8~10
	CP-01B	改性酸酐	200~400	—	1.15~1.25			
CP-02A/B	CP-02A	多官能环氧	5000~10000	0.75~0.85	1.14~1.18	100:150~100:155	500~1000	8~10
	CP-02B	改性酸酐	300~500	—	1.15~1.25			
CP-03A/B	CP-03A	多官能环氧	5000~10000	0.65~0.75	1.14~1.18	100:133~100:138	400~800	8~10
	CP-03B	改性酸酐	150~250	—	1.15~1.25			

表4 耐高温拉挤树脂浇注体固化物性能

Table 4 Performance of cured pultrusion epoxy resin castor

牌号	25℃拉伸强度/ (MPa)	150℃拉伸强度/ (MPa)	25℃断裂 延伸率/%	150℃断裂 延伸率/%	玻璃化转变 温度/℃	线膨胀系数/(℃ <sup>-1</sup> )
CP-01A/B	35~45	30~40	3~4	5~7	200~210	10*10 <sup>-6</sup> ~30*10 <sup>-6</sup>
CP-02A/B	35~45	30~40	3~4	4~6	220~230	10*10 <sup>-6</sup> ~30*10 <sup>-6</sup>
CP-03A/B	40~50	30~40	4~5	5~8	170~190	10*10 <sup>-6</sup> ~30*10 <sup>-6</sup>

注:\*纯树脂浇注体固化条件90℃/2 h+160℃/4 h+200℃/2 h。

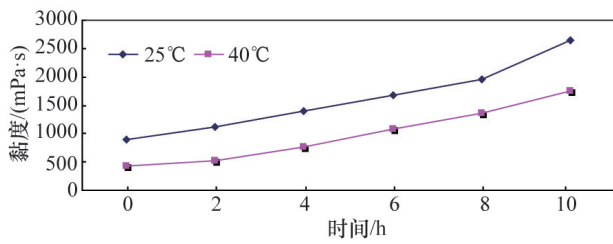


图2 混合料CP-01A/B 黏度增长曲线

Fig. 2 Viscosity growth curve for mix of CP-01A / B

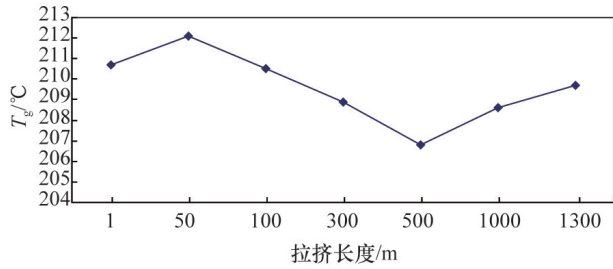


图3 复合芯不同拉挤长度的  $T_g$  变化

Fig. 3 composite mandrel  $T_g$  change curve at various pultruded length

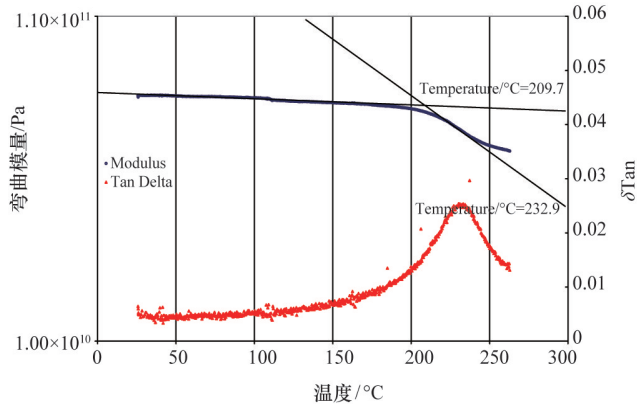


图4 基体树脂CP-02A/B 拉挤复合芯 1300 m 下线 DMA  $T_g$

Fig. 4 Pultruded composite mandrel DMA  $T_g$  at 1300 m offline for matrix resin CP-02A/B

## 5 结论

1) 影响复合芯拉挤树脂性能的主要因素有所采用环氧树脂与固化剂与促进剂的种类。

2) 促进剂对拉挤树脂的反应活性影响最大,采用复合型促进剂较单一促进剂有利于减小体系内应力提高制品性能。

3) 应用实验表明,所研制的采用多官能缩水甘油胺-醚型环氧树脂、液态酸酐固化剂、复合促进剂与原位分相增韧剂制备的复合芯棒拉挤基体树脂具有良好的耐高温、机械强度与成型工艺性能,可满足  $T_g$  在 15~210°C 复合芯棒拉挤成型工艺性能与综合性能要求。

## 参考文献 (References)

- [1] 梁栋, 邓蜀平, 蒋云峰, 等. 碳纤维复合芯电缆国内外技术研发现状及工程应用进展[J]. 化工新型材料, 2011, 39(4): 13-17.  
Liang Dong, Deng Shuping, Jiang Yunfeng, et al. Situation of technology research and engineering application for aluminum conductor composite core reinforced cable[J]. New Chemical Materials, 2011, 39(4): 13-17.
- [2] 尤志魏, 朱爱钧, 潘裕新, 等. 碳纤维复合芯(ACCC)导线在上海电网应用分析[J]. 华东电力, 2009, 37(8): 1292-1294.  
You Zhiwei, Zhu Aijun, Pan Yuxin, et al. Application of ACCC in electric power network of Shanghai[J]. East China Electric Power, 2009, 37(8): 1292-1294.
- [3] 何州文, 陈新, 王秋玲, 等. 国内碳纤维复合芯导线的研究和应用综述[J]. 电力建设, 2010, 31(4): 90-93.  
He Zhouwen, Chen Xin, Wang Qiuling, et al. Research and application overview of ACCC conductor in China[J]. Electric Power Construction, 2010, 31(4): 90-93.
- [4] 余忠. 碳纤维复合芯导线在新建线路中的应用分析[J]. 低碳世界, 2014(15): 55-56.  
Yu Zhong. Analysis of ACCC applied in new power transmission lines [J]. Low Carbon World, 2014(15): 55-56.
- [5] 柏晓路, 李健, 徐大成, 等. 碳纤维复合芯导线在 500kV 新建线路应用的技术经济分析[J]. 电力建设, 2013, 34(10): 29-33.  
Bai Xiaolu, Li Jian, Xu Dacheng, et al. Technical and economic analysis of ACCC applied in new 500kV power transmission lines[J]. Electric Power Construction, 2013, 34(10): 29-33.
- [6] 魏晗兴, 朱波, 陈原, 等. 新型碳纤维复合芯铝合金导线的特性研究[J]. 功能材料, 2009 (12): 1993-1995.  
Wei Hanxing, Zhu Bo, Chen Yuan, et al. Investigation on the characteristics of a new aluminum conductor with carbon fiber reinforced composite core[J]. Journal of Functional Materials, 2009, 12(40): 1993-1995.
- [7] 王秋玲, 何州文, 张卓, 等. 新型复合导线用碳纤维芯材的制备工艺[J]. 电力建设, 2010 (3): 106-108.  
Wang Qiuling, He Zhouwen, Zhang Zhuo, et al. Molding process of carbon fiber core material of new composite cable[J]. Electric Power Construction, 2010, 31(3): 106-108.
- [8] 李孟洋. 复合材料电缆芯拉挤成型工艺及性能研究[D]. 上海, 东华大学, 2010.  
Li Mengyang. Studies on pultrusion process and performance of the core composite insulator[D]. Shanghai: Donghua University, 2010.
- [9] 李孟洋, 李伟, 罗永康. 拉挤工艺用耐高温环氧树脂性能研究与开发[J]. 玻璃钢/复合材料, 2011(4): 55-59.  
Li Mengyang, Li Wei, Luo Yongkang, et al. Development and properties of the thermostable epoxy resin for pultrusion process[J]. Fiber Reinforced Plastics/Composites, 2011(4): 55-59.
- [10] Hiel C, Korzeniowski G. Aluminum conductor composite core reinforced cable and method of manufacture: US Patent 7060326[P]. 2006-06-13.
- [11] Hiel C, Vweds R P. Method of manufacture of composite core for an electrical cable: US Patent 0182023[P]. 2010-06-22.
- [12] 张建伟, 孔义. 环氧复合材料拉挤工艺研究[J]. 玻璃钢/复合材料, 1998(3): 40-41.  
Zhang Jianwei, Kong Yi. Study on the technology for pultrusion of epoxy composite[J]. Fiber Reinforced Plastics/Composites, 1998(3): 40-41.

- [13] 王成忠, 陈伟明, 梁平辉, 等. 耐高温拉挤环氧树脂及其复合材料性能研究[J]. 玻璃钢/复合材料, 2005(5): 10-12.  
Wang Chenzhong, Chen Weiming, Liang Pinghui, et al. Property study of heat resistant epoxy resin and pultruded composite[J]. Fiber Reinforced Plastics/Composites, 2005(5): 10-12.
- [14] 梁平辉, 苏浩, 杜后武. 耐高温环氧拉挤树脂的研制与应用[J]. 玻璃钢/复合材料, 2012(S1): 205-208.

- Liang Pinghui, Su Hao, Du Houwu, et al. Development and application of high temperature resistant epoxy pultrusion resin[J]. Fiber Reinforced Plastics/Composites, 2012(S1): 205-208.
- [15] 熊艳丽, 王汝敏, 郑刚, 等. 环氧树脂增韧改性研究进展[J]. 中国胶粘剂, 2005, 14(7): 27-32.  
Xiong Yanli, Wang Rumin, Zheng Gang, et al. Research progress of toughening epoxy resin[J]. China Adhesives, 2005, 14(7): 27-32.

## Development on epoxy pultrusion resin used in composite cable cores

LIANG Pinghui, SU Hao, DU Houwu

Changshu Jiafa Chemical Co., Ltd., Changshu 215533, China

**Abstract** With the self-developed multi-functional glycidyl amine-ether epoxy resin, a liquid acid anhydride, and a modified aromatic amine curing agent as the basic raw materials, a high-temperature resistant epoxy pultrusion composite matrix resin for overhead wires composite mandrel has been produced. This resin has good pultrusion process performance such as lower viscosity, longer pot life in room temperature, and fast curing at high temperature. The above advantages ensure the resin and fibers infiltrate well in the high speed pultrusion process. By introducing complex accelerator and the situ split-phase toughening technique, the internal stress generated by the fast curing process is effectively decreased; therefore, the pultrusion composites have high strength, high-temperature resistance.

**Keywords** high temperature; composite cable core; pultrusion; epoxy resin

(编辑 田恬)