

doi:10.3969/j.issn.1001-3539.2014.07.019

GFRP 筋尺寸及材料组分对其拉伸性能的影响^{*}

金清平, 郑祖嘉, 肖良丽

(武汉科技大学城市建设学院, 武汉 430065)

摘要: 为研究玻璃纤维增强塑料 (GFRP) 筋尺寸及材料组分与拉伸性能的关系, 针对直径不同且同时 GF 体积分数 (V_f) 不同的聚乙烯 (PE) 基和不饱和聚酯 (UP) 基 GFRP 筋进行拉伸试验。结果表明, 两种 GFRP 筋在拉伸过程中的整个破坏模式以“裂纹破坏模式”为主。PE 基 GFRP 筋的直径是影响其初裂强度 (f_c) 和破坏强度 (f_p) 的主要因素, 当直径为 20 mm 时, 筋体的 f_c 和 f_p 均达到最高。UP 基 GFRP 筋直径较小时, 其和 V_f 对 f_c 和 f_p 的影响不大, 当直径大于 16 mm 后, 其对 f_c 的影响更显著; 当 V_f 变化不大时, 除在直径为 20 mm 时 f_p 有一升高的突变值外, 其它直径下 f_p 的变化较小。PE 基 GFRP 筋的 f_c 比 UP 基 GFRP 筋高很多, 其抗开裂性能更好。

关键词: GFRP 筋; 尺寸; 材料组分; 拉伸性能; 拉伸试验

中图分类号: TB332 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-3539(2014)07-0082-05

Influence of Size and Material Component on Tensile Mechanical Properties of GFRP Bar

Jin Qingping, Zheng Zujia, Xiao Liangli

(School of Urban Construction, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430065, China)

Abstract : In order to research the relationship between tensile properties of GFRP bar and the size and material component, tensile tests were carried out on polyethylene (PE) and unsaturated polyester (UP) matrix GFRP bars with different diameter in which volume fraction (V_f) of glass fiber varied. The results show that the main whole failure mode of the two GFRP bars is "crack failure mode". Initial cracking strength (f_c) and failure strength (f_p) of PE matrix GFRP bar are affected more significantly by the diameter, the GFRP bar with 20 mm diameter has the maximum in f_c and f_p . When the diameter of UP matrix GFRP bars is less, f_c and f_p are affected slightly by the diameter and V_f , but f_c is affected more significantly by the diameter above 16 mm diameter, when V_f has very small changes, except that f_p has a improved break value when the diameter is 20 mm, f_p changes slightly in other diameters. f_c of PE matrix GFRP bar is higher than that of UP matrix GFRP and the anti-cracking performance of the former is better.

Keywords : GFRP bar ; size ; material component ; tensile property ; tensile test

玻璃纤维 (GF) 增强塑料 (GFRP) 筋由 GF 增强体与各种树脂基体复合而成, 其用于土钉支护结构中具有易切断、对邻近后期实施的工程不会产生较大影响等特性, 并能起到支护作用^[1-6]。GFRP 筋中不同的树脂基体及不同的 GF 含量会导致筋体性能出现差异, 因而在选用筋体材料时, 需要根据实际工程的要求对其组分及相应的性能进行分析与优化, 以得到合适的 GFRP 筋。有关研究^[7-10]表明, GFRP 筋表面形式和内在结构均对其力学性能产生影响, 但其内部组分及筋体尺寸对 GFRP 筋力学性能影响的研究有待更进一步深入。笔者基于两种常用的不同基体的 GFRP 筋——聚乙烯 (PE) 基和不饱和聚酯树脂 (UP) 基 GFRP 筋进行拉伸力学性能试验, 对比分析基体材料及纤维含量、筋体尺寸等对拉伸力学性能及试验表观现象的影响, 优化 GFRP

筋的材料组成及结构选型。

1 筋破坏模式与强度

GFRP 筋属于单向纤维复合材料, GFRP 筋所表现出的破坏模式与强度, 与组分及其界面, 以及随机缺陷密切相关, 尚无确切的力学模型和相应的协同规律^[11]。复合材料的破坏模式可大致分两种: 在固有缺陷较小时, 应力的增大虽也引起缺陷尺寸一定程度地增大, 但更重要的是引发更多的缺陷, 进而在较大范围内产生较为密集的缺陷分布, 导致材料的总体破坏, 这种模式称为“总体损伤模式”; 当

^{*} 国家自然科学基金项目 (51278391), 湖北省教育厅优秀中青年人才项目 (Q20121111)

联系人: 金清平, 副教授, 主要研究方向为 GFRP 在土木工程中的应用

收稿日期: 2014-05-26

缺陷尺寸较大时,由于应力集中造成缺陷(往往是裂纹)的扩大,这种裂纹扩展导致破坏的模式称为“裂纹扩展模式”。在整个材料的断裂破坏过程中,这两种模式有可能其中一种占绝对优势,也可能两种模式都出现,并且交织转换。

在不同条件下 GFRP 筋的力学强度或由 GF 控制或由基体控制。对于正常应用条件下的 GFRP 筋,显然要求用 GF 来控制其强度,基体材料提供必要的辅助,而要满足这一要求,就要使得 GF 体积分数(v_f)不小于某一临界值^[12]。

2 GFRP 筋拉伸力学性能试验

2.1 GFRP 筋结构及其材料组分

试验采用一系列基体为 PE 和 UP 的 GFRP 筋体,其直径范围为 12~28 mm,所用 GF 为长 GF,其直径 28~30 μm 。按 GB/T 2577-2005《玻璃纤维增强塑料树脂含量试验方法》测得 GFRP 筋体密度见表 1。同时根据 GF 的密度(约为 2.60 g/cm^3)和 PE 及 UP 的密度,忽略杂质等因素影响,计算得到不同直径 GFRP 筋的基体与 GF 增强体的质量分数和 v_f ,如表 2 所示。

表 1 GFRP 筋的密度测试值 g/cm^3

GFRP 筋基体类型	最大值	最小值	平均值
PE	2.19(Ø12)	1.99(Ø25)	2.05
UP	2.20(Ø22)	2.00(Ø28)	2.10

表 2 不同直径的 GFRP 筋组分的质量分数和 v_f

GFRP 筋基体类型	直径/mm	基体质量分数/%	GF 质量分数/%	v_f /%
PE	12	14.7	85.3	71.9
	16	13.0	87.0	68.6
	20	15.2	84.8	65.6
	22	15.8	84.2	65.7
	25	16.7	83.3	63.7
	28	16.5	83.5	64.6
UP	12	14.0	86.0	67.2
	16	15.3	84.7	69.4
	20	16.3	83.7	68.9
	22	17.5	82.5	69.7
	25	17.4	82.6	67.6
	28	16.5	83.5	63.5

2.2 GFRP 筋拉伸试验表观现象观测

在万能试验机上对上述两类筋体进行拉伸试验,参照 GB/T 13096-2008 的相关规定采用适当的加载速度,采用一次性拉伸试验和循环拉伸试验(一次性拉伸试验持续加荷载,直到筋体破坏;循环拉伸试验进行加载-卸载-加载的过程)分组次对直径 12~28 mm 筋体进行测试,现以直径为 20 mm 的 GFRP 筋为例,对其拉伸试验的表观现象进行观测。

(1) PE 基 GFRP 筋拉伸试验现象观测。

图 1 为直径 20 mm 的 PE 基 GFRP 筋拉伸试验现场图。当初次施加的拉伸载荷增至 153.5 kN 时筋体发出响声;至 159~167.5 kN 时,筋体上距离其两端套筒约 1/4 处开始有裂纹出现(如图 1a 中黑色圆圈之处),至 175 kN 时,筋体在其长度的中点处出现裂纹,此时测得裂纹宽度为 0.3 mm 左右,如图 1b 所示;卸载至 153.5 kN 以下后再加载至 153.5 kN 左右时,筋体在此出现响声;继续加载至 193 kN 时,筋体中间出现一条贯穿的纵向裂缝;载荷至 195.5 kN 时,筋体被破坏,如图 1c 所示,破坏强度为 622.6 MPa。



(a) (b) (c)

a——裂纹开展; b——裂纹宽度; c——筋体破坏形态

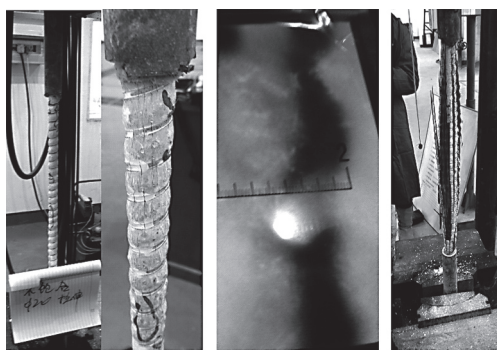
图 1 直径 20 mm 的 PE 基 GFRP 筋拉伸试验现场图

(2) UP 基 GFRP 筋拉伸试验表观现象观测。

图 2 为直径 20 mm 的 UP 基 GFRP 筋拉伸试验现场图。当初次施加的拉伸载荷增至约 78.5 kN 时筋体发出响声;当载荷至 96~106 kN 时,筋体上距离其两端套筒约 1/4 处出现裂纹(如图 2a 中圆圈之处);载荷至 117 kN 时筋体表面裂纹数量明显增多,筋体在其长度的中点处出现裂纹;至 124.5 kN 时,测得裂纹长度为 0.97 cm 左右,宽度为 0.25 mm 左右。卸载至 78.5 kN 以下后再加载至 110 kN,筋体再次发出响声,至 121 kN 时测得此处裂纹宽度值仍为 0.25 mm 左右,但长度变为 1.05 cm 左右;加载至 129.5 kN 时,筋体发出响声的频率加快,裂纹数量变多,随着荷载的继续增大,筋体端裂纹逐渐向其中间延伸;加载至 187 kN 时,测得之前裂纹宽度依然为 0.25 mm 左右,如图 2b 所示。荷载至 193.5 kN 时筋体被破坏,如图 2c 所示,破坏强度为 616 MPa。

从以上试验现象观测结果中可以看出,两类筋体在受拉伸载荷作用中出现初始裂纹,初始裂纹持续发展,最后形成贯通的裂纹。这说明裂纹位置的

缺陷在拉伸荷载下不断被扩大,从受载荷至最后破坏,两类筋体在大部分阶段中呈现出“裂纹扩展模式”,在裂纹贯通之后,筋体出现明显的剥离层,此时由于材料整体性遭受严重破坏,应力产生了明显的重新分布,引发了更多缺陷,导致筋体整体性丧失,在破坏时表现为短时间内大面积范围的“炸开”现象,因此在破坏时主要呈现“总体损伤模式”。



a——裂纹开展; b——裂纹宽度; c——筋体破坏形态

图2 直径20 mm的UP基GFRP筋拉伸试验现场图

2.3 GFRP筋拉伸试验结果分析

图3和图4分别示出直径为12~28 mm的PE和UP基GFRP筋的初裂强度(f_c)和破坏强度(f_p)。

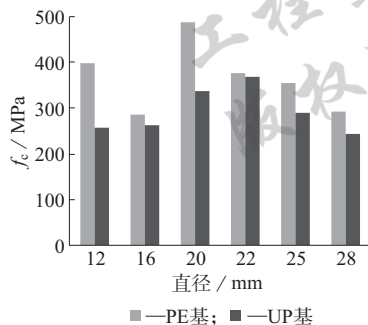


图3 不同直径的PE及UP基GFRP筋的 f_c

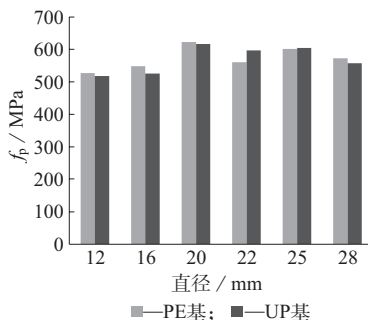


图4 不同直径的PE及UP基GFRP筋的 f_p

筋体的尺寸(如直径)对筋体的 f_c 和 f_p 有重要影响,但从表2可以看出, v_f 随筋体直径的不同也有所变化,这样筋体的 f_c 和 f_p 可能受 v_f 与筋体直径的共同影响。由GFRP筋拉伸试验的理论可知,在筋

体还未出现裂纹前,其所受的应力较小,树脂基体的变形基本在弹性范围内,并和GF的变形基本一致,基体和GF呈现整体性,在此阶段基体与纤维共同承受应力,即整个筋体在承受应力,因此,该阶段 v_f 对 f_c 的影响可能相对较弱,而筋体直径所表现出的影响可能更显著。当筋体出现裂纹以后,筋体中基体逐渐受材料缺陷(裂纹)影响,所受的应力开始重新分布,基体逐渐丧失承载能力,故在筋体破坏阶段,主要由GF承受应力,此时 v_f 对 f_p 的影响可能变得突出。为了解 v_f 和直径对两种筋体 f_c 与 f_p 的具体影响情况,需要结合图3和表2进行进一步的分析。

(1) PE基GFRP筋的 f_c 和 f_p 随直径和 v_f 变化的情况。

对于PE基GFRP筋,结合图3和表2可以看出,当直径为12~20 mm时, v_f 随直径增加下降明显,但 f_c 随直径的增加呈先降低后上升趋势,一般来说, v_f 越高,筋体的强度应该越高,但上述现象表明此时 v_f 与筋体的 f_c 没有对应关系;当直径为20和22 mm时, v_f 基本不变,但 f_c 随直径增加下降明显,这表明此时筋体的 f_c 可能受直径的影响更大;当直径为22~28 mm时, v_f 随直径增加先降低后升高,但 f_c 随直径增加仍然呈下降趋势,这表明此时 v_f 与筋体的 f_c 仍没有对应关系。综合来看,在直径为12~28 mm时, v_f 与PE基GFRP筋的 f_c 没有对应关系,证明了 v_f 对 f_c 的影响不显著,由此可以确定直径为影响 f_c 的主要因素。另外, f_c 随直径的变化较复杂,没有规律性,但可以确定的是当直径为20 mm时,筋体的 f_c 最大。

由图4可以看出,当直径为12~20 mm时,PE基GFRP筋的 f_p 随直径的增加而升高;当直径为20和22 mm时, f_p 随直径的增加下降;当直径为22~28 mm时,随着直径的增加, f_p 先升高后降低。结合表2 v_f 随直径变化的情况,可以发现 v_f 与 f_p 仍没有对应关系,在直径超过22 mm后,两者的变化甚至呈相反的情况,这也证明了即使在破坏阶段, v_f 对 f_p 的影响也不显著,由此也可确定直径为影响 f_p 的主要因素。另外, f_p 随直径的变化的仍然没有规律性,不过仍可以确定当直径为20 mm时,筋体的 f_p 最大。

(2) UP基GFRP筋的 f_c 和 f_p 随直径和 v_f 变化的情况。

对于UP基GFRP筋,结合图3和表2可以看出,当直径为12和16 mm时, v_f 随直径增加而升高,

但 f_c 基本没有变化;当直径在 16~22 mm 范围内时, v_f 基本没有变化,但 f_c 随直径增加逐渐升高;当直径超过 22 mm 后, v_f 随直径增加下降明显, f_c 也随直径增加逐渐下降。综合来看,当直径小于 22 mm 时,UP 基 GFRP 筋的 v_f 与 f_c 没有对应关系,只有当直径超过 22 mm 后, v_f 与 f_c 的变化趋势才相同。而另一方面,当直径超过 16 mm 后,UP 基 GFRP 筋的 f_c 随直径增加呈现较为规律的变化,即先升高后降低,当直径为 22 mm 时, f_c 最高。考虑到筋体产生裂纹前, v_f 的影响较弱,所以可以认为当直径大于 16 mm 时,其对 f_c 有较大的影响,且随直径的增大, f_c 先升高后降低,当直径为 22 mm 时, f_c 最高。

由图 4 可以看出,当直径为 12 和 16 mm 时,UP 基 GFRP 筋的 f_p 相差不大;当直径由 16 mm 增加到 20 mm 时, f_p 迅速升高;此后随着直径的增加 f_p 基本没有变化,只有当直径为 28 mm 时, f_p 才有所下降。结合表 2 v_f 随直径变化的情况,可以发现,当直径为 12~25 mm 时, v_f 与 f_p 仍没有对应关系。另外,当直径在 12~25 mm 的范围内时, v_f 的变化范围较小,除在直径为 20 时出现以一个突变,在上述范围内直径小于 20 mm 或大于 20 mm 时, f_p 的变化并不明显;当直径为 28 mm 时, v_f 下降明显, f_p 也有所下降。由此可以推断出当 v_f 的变化范围较小时,除直径为 20 mm 时 f_p 会有一个升高的突变值外,其它直径下 f_p 的变化较小;只有当 v_f 下降明显时, f_p 才有所下降。

(3) 两种筋体抗开裂性能比较。

由于筋体开裂更容易导致缺陷扩展和浸湿物的侵入,最终导致其破坏,因而在实际应用中筋体的抗开裂性能更为重要。图 5 示出直径为 12~28 mm 的两种筋体 f_c 与 f_p 的比值,该比值可用来表示在不同 v_f 和直径下筋体产生裂纹的难易程度。

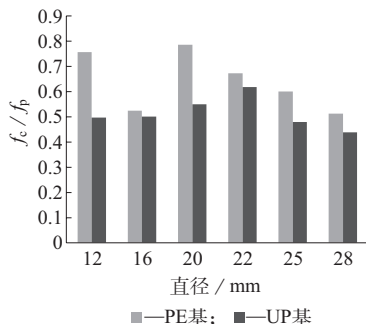


图 5 不同直径的 PE 及 UP 基 GFRP 筋的 f_c/f_p

由图 5 可以看出,不同直径下 PE 基 GFRP 筋的 f_c/f_p 值更高,这表示 PE 基 GFR 筋抗开裂性能更

好。这是因为两种筋体在 f_c 方面表现出较大的差异,而在 f_p 方面,两者相差不大,在 10% 以内。总体上,PE 基 GFRP 筋的 f_c 比 UP 基 GFRP 筋高得多,尤其当直径为 20 mm 时,前者的 f_c 比后者约高出 50%,而此时前者的 v_f 还比后者低,这说明 PE 基体在初始受力中能承受更大的载荷,并更能保持材料结构的整体性,较 UP 基体具有更为优越的稳定性。而到了后期破坏阶段,筋体中主要承受应力作用的为 GF,因此两种筋体在 f_p 方面并未表现出明显的强度差异性。

3 结论

(1) PE 基 GFRP 筋与 UP 基 GFRP 筋在拉伸过程大部分阶段表现出“裂纹破坏模式”,在后期破坏阶段呈现“总体损失模式”,整个破坏模式以“裂纹破坏模式”为主。

(2) PE 基 GFRP 筋的 f_c 和 f_p 受直径的影响较大,但直径对 f_c 和 f_p 的影响没有规律性;当直径为 20 mm 时,PE 基 GFRP 筋的 f_c 和 f_p 最高。

(3) 当直径较小时,其和 v_f 对 UP 基 GFRP 筋的 f_c 和 f_p 没有影响;当直径大于 16 mm 时,其对 UP 基 GFRP 筋 f_c 的影响较为显著,且随直径的增大, f_c 先升高后降低;当 v_f 的变化范围较小时,除直径为 20 mm 时 f_p 有一个升高的突变值,其它直径下 f_p 的变化较小;只有当 v_f 下降明显时, f_p 才有所下降。

(4) PE 基 GFRP 筋的 f_c 比 UP 基 GFRP 筋高得多,其抗开裂性能更好。

参考文献

- [1] 黄新民. GFRP 筋在深基坑边坡土钉支护工程中的应用[J]. 铁道建筑技术, 2012(8):67-69.
Huang Xinming. Application of GFRP Reinforcement in deep foundation pit slope soil nailing project[J]. Railway Construction Technology, 2012(8):67-69.
- [2] 朱兆斌. 玻璃纤维筋在深基坑支护中的应用与计算[J]. 铁道勘察, 2012(1):88-91.
Zhu Zhaobin. Application and calculation of glass fiber-reinforced polymer for deep foundation retaining[J]. Railway Survey, 2012(1):88-91.
- [3] 彭衡和, 邱贤辉. GFRP 锚杆加固高速公路红砂岩边坡的工程实例分析[J]. 公路工程, 2008(4):114-117.
Peng Henghe, Qiu Xianhui. Case study on GFRP bolts reinforcing red-sand stone slope in expressway[J]. Highway Engineering, 2008(4):114-117.
- [4] 李国维, 刘朝权, 黄志怀, 等. 应用玻璃纤维锚杆加固公路边坡现场试验[J]. 岩石力学与工程学报, 2010, 29(9):4 057-4 061.
Li Guowei, Liu Chaoquan, Huang Zhihui, et al. In-situ test of glass

- fiber reinforced polymer anchor on highway slope reinforcement[J]. Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering, 2010, 29(9):4057-4061.
- [5] Cheng Y M, Choi Y K, Yeung A T, et al. New soil nail material-pilot study of grouted GFRP pipe nails in Korea and Hong Kong[J]. Journal of Materials in Civil Engineering, 2009, 21(3):93-102.
- [6] Dolan C. FRP development in the United States. Fibre-reinforced-plastic reinforcement for concrete structures: Properties and applications[C]. Amsterdam:Elsevier, 1993:129-163.
- [7] 曾天卷. 玻璃纤维增强热塑性塑料—短纤维粒料和长纤维粒料[J]. 玻璃纤维, 2008(4):33-39.
- Zeng Tianjuan. GFRTP—short fiber pellets and long fiber pellets[J]. Fiber Glass, 2008(4):33-39.
- [8] 刘海双, 庞育阳. 新型 GFRP 筋抗弯力学性能研究[J]. 河南科技, 2004(3):77-78.
- Liu Haishuang, Pang Yuyang. Study on bending mechanical properties of GFRP[J]. Henan Technology, 2004(3):77-78.
- [9] 郝庆多, 王言磊, 欧进萍, 等. 玻璃纤维增强复合材料筋肋参数优化试验研究[J]. 复合材料学报, 2008, 25(1):119-126.
- Hao Qingduo, Wang Yanlei, Ou Jinping, et al. Experimental study on optimization of rib geometries for glass fiber reinforce composite rebars[J]. Acta Materiae Compositae Sinica, 2008, 25(1):119-126.
- [10] 周继凯, 杜钦庆, 陈礼和, 等. GFRP 筋拉伸力学性能尺寸效应试验研究[J]. 河海大学学报: 自然科学版, 2008, 36(2):242-246.
- Zhou Jikai, Du Qinqing, Chen Lihe, et al. Experimental study on size effect in tensile mechanical properties of GFRP rebar[J]. Journal of Hehai University: Natural Sciences, 2008, 36(2):242-246.
- [11] 王善元, 张汝光. 纤维增强复合材料[M]. 上海: 中国纺织大学出版社, 1998.
- Wang Shanyuan, Zhang Ruguang. Fiber reinforced composites[M]. Shanghai: China Textile University Press, 1998.
- [12] 曾庆敦. 复合材料的细观破坏机制与强度[M]. 北京: 科学出版社, 2002.
- Zeng Qingdun. Mesoscopic failure mechanism and strength of the composites[M]. Beijing: Science Press, 2002.

2014年1~4月我国塑料制品行业运行情况分析

1 生产情况

2014年1~4月,我国塑料制品行业累计完成产量1932.9万t,同比增长6.5%,其中,农用薄膜累计完成产量68.8万t,同比增长19.0%。4月份当月我国塑料制品行业完成产量542.8万t,同比增长6.6%,其中农用薄膜累计完成产量18.0万t,同比增长20.8%。

2 销售情况

2014年1~4月,我国塑料制品行业累计完成出口交货值686.9亿元,同比增长3.3%,累计产销率达97.8%。其中4月份当月完成出口交货值194.6亿元,同比增长7.1%,当月产销率达98.0%。

3 效益情况

在经济效益方面,1~4月,塑料制品生产企业累计主营业务收入同比增长11.9%,实现利润总额同比增长14.2%,完成税金总额同比增长15.9%。其中塑料薄膜生产企业累计主营业务收入同比增长11.1%,实现利润总额同比增长17.8%。完成税金总额同比增长13.2%。(慧聪塑料网)

手机聚碳酸酯需求将达4.5%速度增长

苹果公司iPhone5c智能手机中塑料的使用量反映了手机塑料使用量增加的趋势, IHS化学分析师预计手机塑料使用量将从2013年的28.2万t增加至2017年的33.6万t,市场价值将从35亿美元增加至45亿美元。今起至2017年,手机应用领域对于ABS和聚碳酸酯(PC)的需求将以年均7%和4.5%的速度增长。

据介绍,生产商正在寻求降低成本的方法, IHS公司咨询师表示:“塑料部件在手机中正变得日益重要,尤其是智能手机。在市场竞争加剧的环境下,智能手机贴牌生产商正在寻求降低成本的方法,包括削减原材料、制造和装配成本。

而塑料的使用可以满足这种要求。”据市场了解,早前已不止一种品牌手机在应用PC代替其金属机身, SABIC及LG化学等产品早前均有涉及。

塑料同时还可以改善手机的美观性能。IHS公司高级经理表示:“塑料部件可以为手机设计的灵活性提供更大的空间,同时还会带来更多的功能。”手机外壳中使用塑料,可以令手机贴牌生产商向消费者提供更加轻质和更加美观的产品。总之未来手机PC需求量将达4.5%的增速。

(慧聪塑料网)

青岛恒源10万t聚碳酸酯项目奠基

阳煤集团青岛恒源化工有限公司聚碳酸酯项目近日奠基开工。该项目总投资54亿元,引进国外先进技术,一期投资25.7亿元,建设年产10万t非光气法聚碳酸酯装置。建成投产后将改变国内产品几乎全部依赖进口或由国外独资企业生产的局面。

(慧聪塑料网)

美国推出新型复合材料电线

美国塞拉尼斯公司和电线电缆生产商Southwire Co. LLC公司已开发出一种用热塑性复合材料制成的架空输电线路,以取代传统的用铝作为导体、并用钢增强的电线。

这种名为C-7的输电线路采用由Celstran长玻纤增强热塑性塑料结合耐热的Fortron聚苯硫醚制成的捆绑链复合芯,并包覆聚醚醚酮层。电缆束被装在铝或铝钎合金制成的护套内。

历经七年的开发,塞拉尼斯和Southwire公司在今年初推出了这种轻型的复合材料电线。塞拉尼斯于5月在亚特兰大举行的JEC美洲复合材料展上重点展示了该应用。其优点包括降低在高功率传输下的弧垂的增加,这要归功于其热膨胀的降低。Southwire公司表示,该复合材料电线的使用寿命超过40a。

(慧聪塑料网)