

GFRP 筋高温破坏特性测试方法^{*}

汤寄予 高丹盈 赵 军 付亚男

(郑州大学纤维复合建筑材料与结构教育部工程研究中心, 郑州 450002)

摘要 采用自行研制的纤维增强塑料(FRP)筋高温力学性能测试系统,对玻璃纤维增强塑料(GFRP)筋在高温火灾下的受力变形性能进行测试。结果表明,采用本测试方法可得到 GFRP 筋在火灾下真实的应力-应变曲线;高温火灾下 GFRP 筋的破坏特性与常温下显著不同;以炉体外试样长度作标距的试验测试方法并不能很好地反映高温作用下 GFRP 筋真实的受力和变形行为。

关键词 玻璃纤维增强塑料筋 高温 火灾 应力-应变曲线

纤维增强塑料(FRP)筋是以纤维(如玻璃纤维、碳纤维、聚芳基酰胺纤维等)为增强材料,以合成树脂(如不饱和聚酯树脂、环氧树脂、乙烯基酯树脂)为基体材料,并掺入适量辅助剂(如交联单体、引发剂、促进剂、触变剂、阻燃剂、阻聚剂、填料、颜料等)经拉挤成型和特殊的表面处理而形成的一种新型复合材料。与传统钢筋相比,FRP 筋具有耐腐蚀、强度高、质量轻等优点。因此,在土木工程的某些领域或部位用 FRP 筋取代建筑钢筋用于增强混凝土是解决钢筋受腐蚀所引起耐久性问题的有效途径之一,目前已在欧美、日本等工业发达国家得到广泛研究和实际应用^[1-3]。近年来,随着火灾频次及危害范围的逐年扩大,开展建筑结构抗火研究和加强结构抗火设计已越来越为世界各国所重视。在 FRP 筋的应用中,适当提高抗火能力是对其进行结构设计的主要要求之一。目前,国内外对 FRP 构件的各项力学性能做了较多的研究工作^[4-6],但对 FRP 筋增强混凝土结构在火灾下的研究较少^[7-10],有关 FRP 筋在火灾下力学性能的研究更为有限,这些研究报告中大多建议对 FRP 筋在高温下的力学性能进行探讨。结构构件的抗火性能依赖于其组成材料的性能,高温条件下 FRP 筋的强度和变形特性是进行结构抗火设计、灾后结构修复及理论研究的重要依据。但由于对 FRP 筋研究和应用的历史较短,目前尚无其力学性能的试验方法标准,尤其是对高温下测试试样变形的应变仪提出了较高要求,很难得到 FRP 筋在高温条件下真实的应力-应变曲线,目前尚未见到有关 FRP 筋在 200℃ 以上高温时强度和变形特性的报道。笔者采用自行开发的高温应变测试系统对玻璃纤维增强塑料(GFRP)筋在高温条件下的变形破坏过程进行了测试,得到了 GFRP 筋在高温条件下真实的应力-应变曲线。该测试方法无疑会对

开展 FRP 及其构件在高温下力学行为的试验研究及相关规程的制定提供借鉴。

1 实验部分

1.1 试样制备

以不饱和聚酯树脂为基体树脂,玻璃纤维(GF)为增强材料,利用拉挤成型工艺分别成型出直径为 8、10、12、15 mm 的 GFRP 筋。

在设计 GFRP 筋时,要确保试验时试样的破断面在预定位置,有效的锚固系统是试验成功的关键,这样才能使试样在试验过程中稳固地夹持在试验机上下钳口内,不至于因钳口施加的局部剪应力过大而使 GFRP 筋端头提前失效。为此,很多研究者曾尝试过不同类型的锚固方法,如钢管环箍粘结剂方法、钢管环箍膨胀水泥方法等^[11-12]。笔者进行的前期试验表明,钢管环箍粘结剂方法需要的锚固长度较短,故本试验采用此法进行锚固。在进行锚固系统设计时,锚固长度和钢套管的尺寸是重要的参数。为了确保 GFRP 筋试样在钢套管内锚固时垂直居中,可借助特制的木框来实现,如图 1 所示。



图1 木框锚固照片

木框有 3 层水平撑,每层撑均有两排定位孔。上两层撑用于固定 GFRP 筋,下层撑用于固定锚固钢套管。为便于装卸 GFRP 筋并实现批量制作试样,上两层撑均由中间板、两边侧板 3 部分组成,中

^{*} 河南省重点科技攻关项目(072102230026)

间板固定,两边侧板可活动。锚固试样时,首先将锚固用钢套管置于下层定位孔内,随后将 GFRP 筋放入钢套管内,试样上部正好位于木框上部两层 GFRP 筋定位孔内,将活动侧板和固定的中间板夹紧时,GFRP 筋正好垂直于钢套管中间,并保证了同一轴心。钢套管底部先用透明胶带粘贴密封,防止胶液从下部流出。接着将胶液注入锚固用钢套管内 GFRP 筋的周围。待胶液固化后,从木框中取出试样,倒置过来锚固 GFRP 筋另一端。锚固的 GFRP 筋的试样结构见图 2。

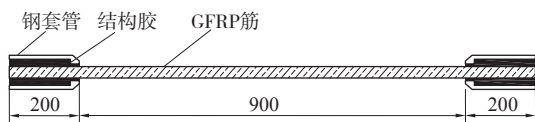


图 2 锚固的 GFRP 筋的试样结构

1.2 试验仪器

GFRP 筋的高温力学性能试验在高温万能试验机上进行。设备由 3 部分组成:一部分用于高温环境控制,由自动控温电炉及均匀分布在炉膛壁的热电偶组成;另一部分用于高温加载试验,由万能试验机及荷载控制仪组成;第 3 部分用于应变测试,由高温应变仪组成。高温试验最大的难度在于试样真实应变的测试,一般的应变片或应变仪都难以在高温条件下使用,为此,要求研制一种具有超程防护功能的高温应变仪,以防止脆性破坏特性的试样断裂时损坏应变仪。笔者研发的高温应变仪由脚靶、耐高温瓷棒、合金支架、高温应变片及导线组成。测试时应变片置于炉体外的引伸合金支架上,应变通过耐高温瓷棒传递,高温瓷棒直接顶在固定于试样上的脚靶上,协同试样变形,标距 100 mm。测试装置简图及实物照片见图 3。

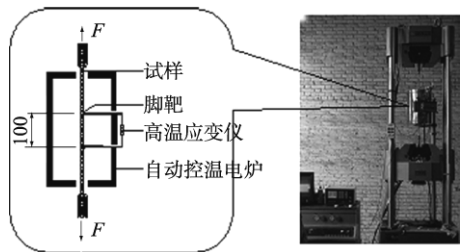


图 3 测试装置

GFRP 筋试样穿过电炉,两端通过粘结型锚具夹持到试验机上下钳口内,整个试验过程由计算机控制。

1.3 试验方法与步骤

所有试验均应在同一条件下进行,由于每种材料在力学性能上均呈现变异性,每个试验至少重复

3 次,对离散性较大的试样,应进行追加试验。固定试样后,炉温升至设定值并保温 30 min 左右,以使试样内部温度均匀。随后试样在恒定温度下进行加载试验。加载可按位移或荷载控制,等速或逐级缓慢加载直至试样破断,其大小由荷载传感器传到采集系统。

在加载的同时位移传感器及高温应变仪开始工作(注意应在试样已发生温度膨胀之后进行测试)。因此,位移传感器及高温应变仪测得的是试样的受力变形,虽然包括蠕变变形,但排除了温度膨胀。由于荷载作用时间相对较短,蠕变应变可以不计。高温应变仪测得的是炉膛中部试样 100 mm 标距内在高温及荷载作用下的真实应变,为方便表述,称之为小应变。同时位移传感器测试试验机上下钳口间整个试样的变形,既有受高温作用的蠕变变形部分,也包含荷载作用的变形部分,甚至有钳口与试样间的相对位移,其应变称之为大应变。

2 结果与讨论

2.1 试样破坏特征

试验过程中对所有试样进行观察,发现有以下试验现象:

(1) 随试验温度的升高,试样表面的颜色逐渐加深:常温下为暗黄色,升至 100℃ 时为黄棕色,100~200℃ 时变成棕黑色,在 200℃ 以上时则变成炭黑色。同时,随试验温度的提高,GFRP 筋中塑料的降解量变大,电炉中逸出的烟气量增多。观察卸载后的试样发现,试验温度越高,受热部分蓬松得越严重。

(2) 高温、常温下试样的破坏方式显然不同。常温下,试样首先在中部薄弱面引发裂缝源,进而产生横向微裂缝,所产生的应力集中使部分纤维首先被拔断,而塑料的粘结作用使部分纤维形成束状并协同受力和变形,由于应力集中的连锁效应,纤维束依次达到极限应力,同时产生清脆的“劈啪”声,随后试样产生条束状的爆裂破坏,具有脆性特征。高温下,由于大部分塑料已经降解,无数的纤维丝失去了协同作用的能力,各个独立的纤维丝单独受力并在应力集中作用下逐个破坏,试样破坏时发出沉闷的声响,具有韧性破坏特征。图 4 示出 250℃ 及常温下 GFRP 筋的破坏形态。由图 4 可以看出,常温下试样破坏段爆裂成多条丝束,而高温下未见丝束产生。

(3) 所有试样均在测试段断裂破坏,未见在锚

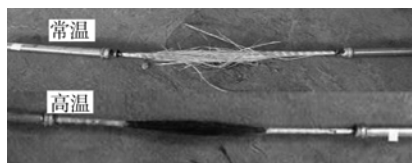


图4 GFRP 筋在常温、250℃高温下的破坏形态

固段发生破坏。尽管常温下试样具有较高的强度,但破坏仍发生在测试段,证明了试样结构及测试装置的可行性。

(4) 应变测试系统在多数试验中工作良好,但对直径 10 mm 的 GFRP 筋在温度高于 300℃ 时未能测得数据,对直径 15 mm 的 GFRP 筋在温度高于 350℃ 时也未测得数据。这一方面是由于 GFRP 筋中的塑料降解,另一方面是由于无相应更理想的耐高温脚靶,致使应变夹持装置易于从试样上滑脱而无法测到数据。

2.2 受力与变形性能

图 5 给出直径 12 mm 的 GFRP 筋在常温 (20℃) 及 350℃ 下的拉伸应力 - 应变曲线。其它直径的 GFRP 筋也具有相同的应力 - 应变关系。

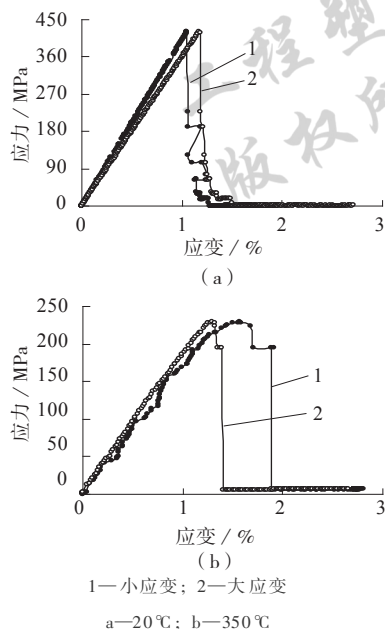


图5 高温与常温下 GFRP 筋拉伸应力 - 应变曲线的对比

由图 5 可以看出,常温下,试样从开始受力直至破坏,其应力 - 应变曲线基本上是理想的线弹性关系,小应变线性部分的斜率可被看作是 GFRP 筋的拉伸弹性模量。试样达到峰值荷载后立即失去承载能力,应变也达到最大值,呈明显的脆性破坏特性。在 350℃ 时,在达到峰值荷载前,其应力 - 应变曲线也基本上是理想的线弹性关系,小应变线性部分的

斜率也可看作拉伸弹性模量的大小。但试样在达到峰值荷载后并未立即丧失承载能力,其应力 - 应变曲线有明显的下降段,试样还能继续承载直至达到其极限应变而破坏,试样的破坏荷载约为其峰值荷载的 95% 左右,具有一定的韧性破坏特性。

由图 5 还可看出,两种应变测试方法有明显差别。常温下的试验中,在相同荷载作用下,试样的小应变小于大应变,即试样处于炉体中部 100 mm 标距内测试的应变小于以炉体外试样长度作标距测试的应变。其原因可能是以炉体外试样长度作标距测试的变形中引入了试验机钳口和 GFRP 筋锚固端的相对变形,而“小应变”方法得到的则是试样真实的变形。但在 350℃ 高温作用下的试验结果正好相反,在相同荷载作用下,试样的小应变却大于大应变。其原因是在高温作用下局部受热段的变形要远大于非受热段的变形。但在 350℃ 高温下所测的 GFRP 筋的小应变的应力 - 应变曲线上出现了离奇的波动,这是由于应变测试系统(脚靶)随试样在高温作用下发生局部扭摆导致的。由此可见,以炉体外试样长度作标距的试验测试方法并不能很好地反映高温作用下 GFRP 筋真实的受力和变形特性。测试 350℃ 以上高温作用下 GFRP 筋的应变对测试系统提出了更高要求,有待于继续开发和研究。

3 结论

(1) 采用本测试方法可得到 GFRP 筋在高温下真实的应力 - 应变曲线,试验方法可行、有效。

(2) 高温下 GFRP 筋的受力变形特性与常温下显著不同。

(3) 以炉体外试样长度作标距的试验测试方法并不能很好地反映高温作用下 GFRP 筋真实的受力和变形行为。

(4) 本试验对 350℃ 以上的温度未得到理想的试验结果,因此对 GFRP 筋在更高温下的力学性能有待深入研究。

参考文献

- [1] 高丹盈,赵军,Brahim B. 玻璃纤维聚合物筋混凝土梁裂缝和挠度的特点及计算方法[J]. 水利学报,2001(8): 53 - 58.
- [2] 高丹盈,Brahim B. 玻璃纤维聚合物筋混凝土梁正截面承载力的计算方法[J]. 水利学报,2001(9): 73 - 80.
- [3] 高丹盈,李趁趁,朱海堂. 纤维增强塑料筋的性能与发展[J]. 纤维复合材料,2002,19(4): 37 - 40.
- [4] 高丹盈,Brahim B. 纤维聚合物筋与混凝土粘结性能的影响因素[J]. 工业建筑,2001,31(2): 9 - 14.
- [5] 高丹盈,朱海堂,李趁趁. 纤维增强塑料筋混凝土梁正截面抗

裂性能的研究[J]. 水力发电学报,2003(4) : 54 - 59.

[6] 高丹盈,朱海堂,谢晶晶. 纤维增强塑料筋锚杆及其应用[J]. 岩石力学与工程学报,2004,23(13) : 2 205 - 2 210.

[7] Wang Y C, Kodur V. Variation of strength and stiffness of fibre reinforced polymer reinforcing bars with temperature[J]. Cement & Concrete Composites, 2005, 27: 864 - 874.

[8] Kodur V K R, Baingo D. Fire resistance of FRP reinforced concrete slabs[R]. Ottawa: National Research Council of Canada, 1998.

[9] Kodur V K R. Fire resistance requirements for FRP structural members[C] // Proceedings of the annual conference of the Canadian society for civil engineering, Saskatchewan: [s. n.], 1999: 83 - 95.

[10] Saafi M. Design of FRP reinforced concrete beams under fire conditions[C] //Teng J G. Proceedings of FRP composites in civil engineering. New York: Elsevier, 2001: 1 235 - 1 244.

[11] 周长东,吕西林,金叶. 火灾高温下玻璃纤维筋的力学性能研究[J]. 建筑科学与工程学报,2006,23(1) : 23 - 28.

[12] Lees J M, Gruffydd-Jones B, Burgoyne C J. Expansive cement couplers, a means of pre-tensioning fibre-reinforced plastic tendons[J]. Construct Build Mater, 1995, 9(6) : 413 - 423.

RESEARCH ON TEST METHOD OF FAILURE PERFORMANCES OF GFRP BARS AT HIGH TEMPERATURE

Tang Jiyu, Gao Danying, Zhao Jun, Fu Yanan

(Engineering Research Center of Fiber Composite Building Material and Structure, Ministry of Education, Zhengzhou University, Zhengzhou 450002, China)

ABSTRACT Adopting self-developed high temperature testing system for fiber reinforced polymer, the performances of strength and deformation for glass fiber reinforced polymer(GFRP) bars were tested. The results showed that the real stress-strain curves of GFRP at high temperature could be obtained using the test method in this paper, however, the failure characteristics of GFRP at high temperature differed remarkably from that at normal temperature, and the test method of strain gauge placed out of furnace could not well reflect the real load and deformation behavior of GFRP under high temperature.

KEYWORDS glass fiber reinforced polymer bar, high temperature, fire, stress-strain curve

聚醚醚酮用于电磁式流量传感器

英国威格斯公司日前宣布,其生产的聚醚醚酮(PEEK) 已被流量传感器制造商日本爱知时计电机株式会社用作其开发的 VNS 系列小型电磁式流量传感器的主体材料。

VNS 系列流量传感器成本低、质量轻、结构紧凑、耐腐蚀性高,是一款可以精确测量脉冲流量的新型小型电磁流量传感器。与机械式流量传感器不同,电磁式传感器不仅测量性能好,且不受流体粘度、密度以及污垢、杂质等不可测量因素的影响。VNS 系列流量计因采用既有超强的耐腐蚀性又有良好的力学性能的 PEEK 为主体材料,从而可以测量次氯酸钠等高腐蚀性的化学药品。此外,PEEK 还使传感器主体设计变得简单易行,大大缩小了产品尺寸、降低了生产成本,无需维护且使用寿命更长。

(中聚网)

陶氏、巴斯夫表示转型趋势不可逆转

在目前的形势下,虽然并购罗门哈斯将会在资金和经济状况上带来无法承受的不确定性,但陶氏化学表示不会放弃转型的努力。

在陶氏化学转型的同时,其老对手巴斯夫也在进行与陶氏化学同样的转型筹划,其并购的目标是精细化学品制造商——瑞士汽巴公司。巴斯夫与汽巴从前是上下游关系,巴斯夫是汽巴的原料供应商,汽巴则依托独有的专利技术垄断着塑料、添加剂、涂料,以及水和纸处理等细分市场。

“由于掌握独有的专利技术,罗门哈斯、汽巴等向终端客户户转嫁成本压力的能力极强,况且它们的原料成本在总成本中所占的比例也很低,因此会更适应未来全球经济发展形

势。”有巴斯夫官员介绍说。他认为,近年来国际油价的波动和中东新兴国家石化产业的崛起,迫使跨国公司不得不谋求转型,这已成为不可逆转的行业趋势。随着石化产业的整合,化工企业间、化工产品间的关联性日益密切,因此企业间的并购将会持续发生,不会因经济危机的爆发而终止。

(中聚网)

沙伯基础创新塑料提供超高流动性 Valox SHF 树脂

沙伯基础创新塑料推出一整套完善的玻璃纤维填充型超高流动性牌号为 Valox SHF 的 PBT 树脂。

相比于其它 PBT 树脂,Valox SHF 树脂具有更强的水解稳定性、低翘曲度及更出色的耐候性,因此其应用范围更为广泛,例如可应用于汽车引擎盖下方高温潮湿的环境,以及精密度很高的小型连接器。

由于 Valox SHF 树脂的流动性是传统的玻璃纤维填充型 PBT 树脂的两倍,因此它可使零件壁更薄并且设计更为复杂;使零件应力降低,尺寸稳定性与性能得以提高;由于注塑速度更快,从而使生产周期缩短 25%。

(中聚网)

巴西新建乙醇原料聚乙烯装置

巴西 Braskem 公司日前表示,公司已经开始建设一套 20 万 t/a 的以乙醇为原料的聚乙烯装置。该装置同时还将生产乙烯。

据悉,该装置的投资成本为 2. 18 亿美元,计划在 2010 年下半年建成投产。Braskem 公司今年早些时候表示,该项目所需投资的 30% 将由公司自有资金支付,其余资金将寻求外部的资助。

(唐绍红)