

碳纤维自行车产品的特点及其质量问题

□ 文 / 深圳出入境检验检疫局 陈 坚 李树华 戴维盛 李丽霞

在过去几十年中,先进的碳纤维增强复合材料(以下简称 CFRP)一直是航空航天领域的主要结构材料,应用十分广泛。随着材料成本的不断降低,材料性能及其成形工艺研究的不断成熟,其在民用领域特别是文体用品市场中的应用日益扩大,并逐步形成规模。

自 1984 年美国自行车队在洛杉矶奥运会赛车场上率先使用 CFRP 自行车一举夺魁后,CFRP 自行车便风靡世界,促进了普通自行车复合材料化的进程。2006 年 9 月中旬在意大利米兰举行的第 64 届自行车展中,轻量化碳纤维车款及其零配件仍是会场上最抢眼、人气最旺的产品。

一、碳纤维自行车产品的主要特点

CFRP 具有强度高(抗拉强度高达 3500Mpa,是钢的 7~9 倍)、模量大(拉伸模量高达 300Gpa,约为高强度钢的 1.5 倍,剪切模量与钢相当)、比重低(密度约为 1.6g/cm³,比铝轻 40%)、抗疲劳性能好、阻尼大、振动小、耐酸碱腐蚀性能强等优点。CFRP 自行车主要具有以下特点:

1、车身的总体刚性高

CFRP 自行车结构坚固,不易变形。实践证明,其车架刚性不低于铬钼钢车架。

2、良好的抗震性

结构的自振频率除了与结构有关外,与材料比模量的平方根成正比,高的自振频率避免了工作状态下共振引起的早期破损。据报道,对形状与尺寸相同的车架进行实验表明,铝合金车架需要 9 秒才能停止的振动,自振频率高的 CFRP 材料只需 2.5 秒就可停止。

复合材料这种良好的阻尼性,减轻了自行车的颠簸,使自行车具有良好的抗震性。

3、大大降低了自行车的总重量

传说台湾自行车行业界流行这样的说法,“自行车重量降低 1 克,卖价可提高 1 美元”。

一个 CFRP 车架仅 1.1kg,比最轻的铝合金车架还轻 1/4。由意大利贵族血统德罗莎公司顶级工匠手工打造的全碳纤维自行车总重量不足 7kg。而普通自行车一般在 14kg 以上。

对两辆结构和行程相同的自行车而言,若重量相差 4 磅,同一运动员在 2km 行程中,重的那辆行驶速度必然要比轻的那辆慢。这是因为重量轻可以提高速度,降低体能损耗;刚度好的车架有利于驱动力的转换,提高操纵性能;冲击吸收性能好的车架可以较好地减缓来自路面的冲击,减轻车手的疲劳,而 CFRP 几乎可以同时满足这些要求。

4、安全性好

CFRP 材料中基体是以连续相形式包围着大量独立存在的纤维,构成一种动态不确定体系。这种由多相组成的材料在受到冲撞时,即使有少量纤维断裂,其载荷会迅速重新分配到未破坏的纤维上,使结构还能承载。一般金属材料的疲劳破坏是没有明显征兆的突发性破坏,而 CFRP 具有良好的抗疲劳性,而且破坏前有明显的征兆。河北山地车队有几辆 CFRP 车架的车虽出现了可见裂纹,但仍保有大部分强度,这就大大提高了骑乘的安全性。

5、增加了结构设计的自由度

CFRP 材料的最大特点是各向异性。利用这一特点可按自行车运行时受载的方向与大小,排列和铺放纤维。复合材料制造的灵活性,有利于设计出各种造型的结构。如可按空气动力学原理设计出流线型自行车,美观而实用,容易实现最佳性价比。

6、良好的耐锈蚀性

高分子材料耐酸、耐碱、耐工业大气的性能良好,因此 CFRP 制成的自行车零件有无可置疑的耐酸碱腐蚀性能。

据报道,用 CFRP 轮辋和金属辐条组成的车轮,模拟坎坷不平的道路考验其高负荷下的动态性能,其寿命高达 150 多小时,而传统的金属车轮仅 3 小时就失效了。

二、深圳地区碳纤维自行车产品生产与质量情况

CFRP 自行车产品有上述诸多良好的性能,目前仍属高附加值、高单价的自行车产品。因其生产工艺复杂,生产技术有待进一步完善,还没有得到大规模生产和应用。我国在该领域起步更晚,深圳地区也只是在上世纪末本世纪初才开始小规模投产。

1、生产出口情况

深圳最早生产 CFRP 自行车产品的厂家是龙亿运动器材(深圳)有限公司,经过几年的发展,目前 CFRP 自行车产品的出口量约占深圳地区自行车产品出口总额的 2%,主要生产企业有喜德盛、樱之田等 7 家。

据统计,深圳 2004 年共出口 CFRP 自行车产品约为 140 批/280 万美元;2005 年约为 390 批/1100 万美元,与上一年同比增长约 290%;2006 年约 580 批/1710 万美元,与上一年同比增长 55%。

从 2006 年深圳出口情况来看,CFRP 自行车产品主要有车架、前叉、鞍管、车把、轮辋、链轮、曲柄、车架后叉、水壶架、头盔等。产品的主要出口去向:中国台湾地区(35%)、意大利(20%)、美国(12%)、中国香港地区(10%)、比利时(7%)、德国(5%)、法

国(4%)等。

2、型式试验情况

按照国家质检总局规定的检测标准进行型式试验,2005 年以来出口碳纤维前叉和车架的型式试验不合格率较高。从不合格项分析统计表明(图 1),4 批不合格车架全部都是落下冲击试验造成立管上部开裂(典型实物照片见图 2);9 批不合格前叉全部都是能量吸收试验不合格,其中 4 批为立管下部粘接处开裂(典型实物照片见图 3),另 5 批为叉腿或叉肩处开裂(典型实物照片见图 4);而且这 9 批前叉中有 3 批的前叉腿对称度、1 批的前叉开口处垂直度也不合格。

3、不合格原因分析及建议

碳纤维用于制造自行车及其零部件是近几年迅速流行起来的,深圳地区的生产厂家大多在 2004 年以

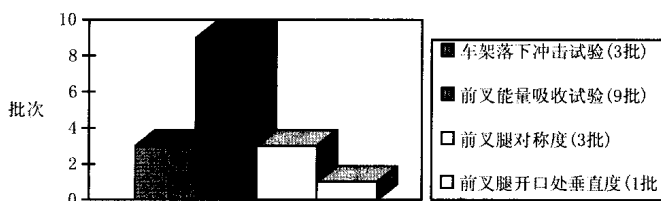


图 1. 不合格分布情况



图 2. 碳纤维车架冲击试验后立管上部开裂

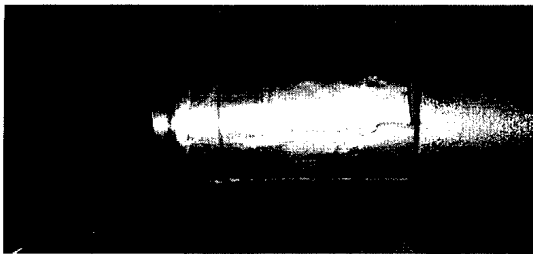


图 3. 碳纤维前叉能量吸收试验后立管粘接处开裂



图 4. 碳纤维前叉能量吸收试验后叉腿断裂

后才投产。相对不太成熟的生产工艺和不太稳定的产品质量,是碳纤维车架和前叉型式试验首次送检不合格率相对较高的主要原因。

1) 碳纤维前叉结构设计不太合理,导致前叉局部受力不均

强度是自行车安全要求的最重要指标,而前叉吸收能量试验是前叉强度的一个重要考核指标,主要用于评价自行车骑行过程中其前叉能否经受住突然的撞击。目前,美国、日本、加拿大、澳大利亚以及我国的 QB 1881 标准均规定需要对前叉进行能量吸收试验,它们对该实验的技术要求大致相同。

有些工厂的前叉生产设计人员过多强调前叉的刚度,一些碳纤维前叉的叉腿几乎呈扁平状,前叉在能量吸收试验中叉腿的刚性比前叉立管大,致使前叉整体受力不均,立管与叉肩的粘接处成为相对薄弱、应力比较集中之处,当应力集中超过立管的屈服强度时,立管产生永久塑性变形,甚至断裂(见图3)。因此,前叉立管粘接处是容易开裂的薄弱部位,生产和检验时都应重点关注。

2) 车架立管接头处理不当,成薄弱环节

车架前叉组合件落下冲击试验是车架强度的重要考核指标。目前,ISO、日本、英国、法国以及我国国标和轻工部标准对此均有规定,其技术要求大致相同。

车架在进行该项落下冲击试验时,不合格的主要原因在于车架立管部位处理不当成薄弱环节。某些 CFRP 车架生产设计人员没有在车架立管上端镶嵌金属衬垫,或因结构问题镶嵌的金属衬垫太薄,在进行此项试验时碳纤维车架很容易在车架立管上端开裂;有些车架的立管内壁凹凸不平,凹陷处的立管壁厚显然偏薄,受力冲击时成为容易开裂的薄弱环节;另外,车架立管上部偏长也是容易导致车架进行组合件落下冲击试验开裂的原因之一。因此,车架立管部位的生产和设计值得注意。

3) 碳纤维原材料的品质问题

碳纤维长期以来被视为战略物资,发达国家一直对外实行封锁。目前我国碳纤维生产能力仅占世界高性能碳纤维总产量的 0.4% 左右,用量的 90% 以上靠进口,几乎供不应求。

不同品级的碳纤维原材料其质量和成本相差较大,自行车生产厂家考虑到成本因素,大多采用标准级或高模量级碳纤维(两者的成本相差 30~40%),很少使用优质的超高模量的碳纤维。因此,在优质碳纤维原料供不应求的状况下,难免有些不法商人以次充好,使自行车生产厂进口的原材料品质不稳定,加上生产工艺的不稳定,就更容易造成碳纤维自行车产品的质量问題。

4) 建议

a) 改进碳纤维前叉叉腿的端面结构,使其端面略呈椭圆型,避免出现“扁平型”,以便降低叉腿的局部刚性,提高前叉整体的弹性变形能力,降低或消除应力集中。

b) CFRP 性能的各向异性非常明显。建议生产厂家结合产品结构造型,采用先进的复合材料设计和制造模拟软件,尽可能准确算出实际使用时的受力分布,同时给出生产时碳纤维层叠、热成型等生产工艺的最佳参数,使碳纤维产品的整体强度进一步提高。

c) 选用优质的粘接剂,改进和提高粘接工艺,减少粘合处的应力集中,加强粘合处的强度。

d) 研究碳纤维自行车产品整体成型新技术和新工艺,发展整体成型碳纤维新产品,从根本上解决前叉、车架粘接处的薄弱问题。

e) 重视产品质量,加强质量管理和在线产品质量控制,特别应加强对原材料的进料质量控制,确保在线质量监督切实有效,实现产品质量的相对稳定。

f) 碳纤维自行车产品本是高成本高产出的高端产品,生产厂家更应以战略的眼光树立和培养自主品牌,开发并生产世界一流的碳纤维自行车产品。