

· 工业设计研究 ·

碳纤维整体自行车车架造型
设计的力学分析杨向东^{**} 贺跃进^{***}

(郑州轻工业学院工业艺术设计系 郑州 450002)

摘要 利用仿生学和人机工学原理,设计了有机形态的碳纤维自行车车架,并对车架物理模型进行了力学性能分析,用于指导、完善造型设计.分析结果表明,利用碳纤维制作的自行车整体车架抗冲击、抗振动能力强,动强度储备很大;同金属车架相比,碳纤维车架具有很大的比强度和比刚度,因而其重量大为下降,并具有良好的乘骑舒适性.同时还表明,通过对造型设计方案的工程特性分析来指导造型设计,从而完善设计方案,是一种行之有效、使造型设计更具科学依据的定量化方法.

关键词 碳纤维;承载式车体;力学性能实验

中图分类号 TH123;TB339

自行车,车架,造型设计

0 引言

自行车作为方便的代步工具,其历史已达数百年.然而,自行车自诞生以来,一直未能摆脱A型框架结构,其制造材料也仍然是各类金属.现代社会的发展正日益使自行车由代步工具向娱乐用品转化,因此人们迫切需要有新形态、新材料的自行车出现,以使自行车外观更具美感,重量进一步下降,乘骑舒适性更为提高.基于上述观点,本项目设计开发了具有新颖造型的碳纤维整体车架系列自行车,包括城市运动车、山地车和女式轻便车,以满足人们对新形态、新材料自行车的需求.

在本项研究的前期阶段,按一般工业设计程序,在市场调查及广泛征求消费者对自行车形态喜好意向的基础上,确定了开发有机形态整体车架自行车的设计思想.在对各种方案进行比较后,结合仿生学原理及人机工学分析,提出了几种初步设计方案,如图1所示.其原则为:既要有漂亮的外观造型,又符合人机工学原则,还应考虑部件的安装方式以及减少骑行阻力等.由图1(c)知,较之传统的自行车,其造型上的重大变化主要在车架部分.

造型设计完成之后,材料就是最先考虑的因素.以图1(c)为例,鞍座为悬臂支承,要求材料具有很高的比强度,而乘骑舒适性又要求材料具有很大的比刚度.此外,材料还应具备抗冲击能力强、抗振动能力强、疲劳强度高、耐磨性好等特点.因此,能否寻求到理想的材料,是上述

* 本文收到日期:1995-04-29

本课题为中原轻工总会资助项目

** 男,48岁,副教授

*** 贺跃进工作单位为郑州轻工业学院机械工程系

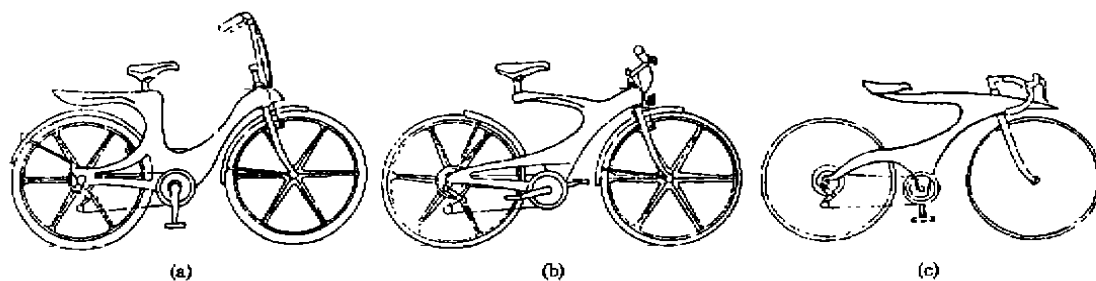


图1 几种自行车形态方案

设计思想能否实现的关键。基于此,本项目选用具有比强度高、比刚度大、重量轻及各向异性等特点的碳纤维作为新形态自行车的制造材料。

1 车架造型与力学分析

车架造型设计完成后,要对基于造型设计的简化物理模型进行包括静强度、动强度、刚度、减振性能、动态特性等在内的力学性能分析,在分析结果的指导下,对碳纤维的铺设方向及铺层数进行优化设计,从而在保证自行车的安全性、舒适性、美感等诸多方面的前提下,将车架的制造材料消耗降至最低程度。

碳纤维制品的成型,是将碳纤维按不同方向、不同层数铺设出制品形状,在一定压力和温度下固化成型。改变铺设方向和铺层数,可使碳纤维制品的力学性能大为不同。这种可设计性给了复合材料设计人员一个广阔的设计空间,但所有可能的设计都必须建立在力学性能分析的基础上。因此,只有准确分析计算复合材料铺层结构的力学性能,才能真正把造型设计思想转化为实际产品。现将车架的静强度、动强度、刚度性能分析如下。

2 车架静强度分析

据前述车架设计原则,车架初步的外形和尺寸设计如图2所示。

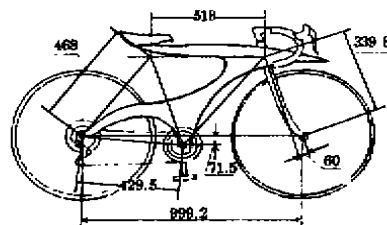


图2 车架外形尺寸简图

自行车在乘骑过程中,主要静载荷为乘骑者自重 G , 蹬踏力 Q , 前轮反力 N_1 , 后轮反力 N_2 等(为计算方便忽略了骑行中的阻力和乘骑者的握把力)。在平坦路面骑行时,静载荷是引起车架损坏的主要因素。

车架的简化物理模型如图3,其中

$$G = 75 \text{ kg}$$

$$Q = 30 \text{ kg}$$

$$N_1 = 21.3 \text{ kg}$$

$$N_2 = 83.7 \text{ kg}$$

车架为变截面曲梁组合结构,截面形状为空心椭圆,壁厚约为 1.5 mm。铺设时,用 0° 方向来抵抗弯曲力, 90° 方向

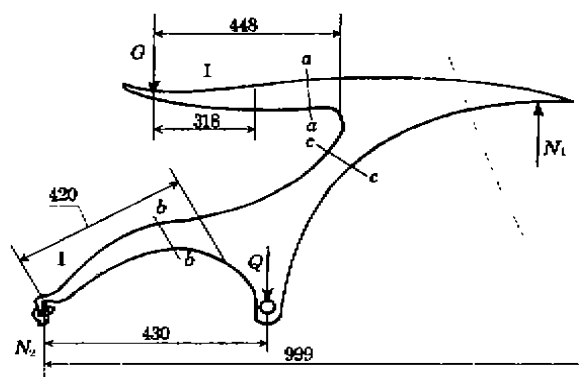


图3 车架的简化物理模型

来抵抗冲击力, ±45°方向来提高层间结合力.

I 梁、II 梁均为悬臂约束,最大弯矩发生在 a—a, b—b 截面上,其值为

$$M_a = 330 \text{ N} \cdot \text{m} \quad M_b = 344 \text{ N} \cdot \text{m}$$

c—c 截面由于正负力矩相互抵消,反而成为最小受力截面.

a—a 和 b—b 截面都是拉压和剪切的两向应力组合,最大应力分别为

$$\sigma_a = 279 \text{ MPa} \quad \tau_a = 7.66 \text{ MPa}$$

$$\sigma_b = 229 \text{ MPa} \quad \tau_b = 7.40 \text{ MPa}$$

代入蔡—胡失效准则,求得安全系数 $n = 3.6$,因而静强度有很大的储备.

3 车架动强度分析

采用各向异性复合材料铺层结构的专用有限元计算程序,可以求得碳纤维车架动强度分析所需的各动态参数.

3.1 动态特性分析

I 梁和 II 梁的前两阶固有频率分别为

$$\omega_1^I = 1292 \quad \omega_2^I = 8099$$

$$\omega_1^{II} = 1403 \quad \omega_2^{II} = 8791$$

外部激励的激发频率可按两种情况考虑:一是骑行时车体自身产生的激励,二是路面产生的激励.当车速为 30 km/h,速比为 3 时,车体的激发频率约为 $\omega = 16.8$,处于极低频段,基本上不引起动响应;路面的激发频率约为 $\omega = 2086$,介于车架第一阶固有频率和第二阶固有频率之间,不会形成共振现象,所以其动响应也不至于太大.

计算出的最大动应力为 251 MPa,尚未超过最大静应力,所以动强度也得到满足.

3.2 冲击强度分析

实验结果表明,车速为 30 km/h 时,车内的最大冲击加速度为 5 g(砂子路)或 9 g(凸凹路),最大冲击力可达 1140 kg,相应的冲击应力为 71.6 MPa,此应力远低于碳纤维材料的剪切应力极限.

3.3 疲劳强度分析

冲击加速度和冲击应力由于是瞬时作用,不会对车体产生积累效应.车体内的应力循环单侧幅值为 251 MPa,按非对称循环方式, 10^6 次极限寿命可求出疲劳强度极限为 600 MPa,因而疲劳强度亦无问题.

4 车架刚度分析

碳纤维材料单向纤维的杨氏模量约为碳钢的 $\frac{1}{2} \sim \frac{1}{3}$,但经过不同的铺设组合,其整体弹性模量可大为改变.本项目在设计铺层时,充分考虑了刚度控制原则,铺成后 I 梁和 II 梁的端点在横向几乎无变形,避免了骑行中横向的摆动.垂直方向的最大挠度为

$$Y_I = 2.08 \text{ mm} \quad Y_{II} = 1.02 \text{ mm}$$

均被控制在满意的范围内.这两点的挠度可以保证车架具有一定的减振和抗冲击能力,避免乘骑者长期受冲击作用,提高乘骑的舒适性.

5 结论

5.1 本文所述的碳纤维整体车架的力学性能分析已应用于生产实践中,以此为指导所研制的

城市运动车,整车重量 $<7\text{ kg}$,造型、强度、乘骑舒适性都达到了令人满意的程度。

5.2 碳纤维是一种新兴的、性能极为优良的先进复合材料,碳纤维制品的研制与开发需要众多学科的协同与综合,这种大跨度的多学科交叉,往往会产生意想不到的结果。

5.3 把工业产品的造型设计与工程特性分析相结合,可以走出一条合理的、全新的工业设计道路;这种艺术与技术的结合,能使产品的外部表现与内部特征高度统一起来。以碳纤维自行车为例,力学性能的分析验证了造型设计的合理性,为造型设计方案提供了科学依据,从而促进了设计转化为实际生产。

参 考 文 献

- 1 邢玉民译. 自行车实用手册. 北京:轻工业出版社,1984
- 2 陈绍杰主编. 复合材料设计手册. 北京:航空工业出版社,1990
- 3 刘鸿文主编. 材料力学. 北京:高等教育出版社,1982
- 4 谷口修主编. 振动工程大全. 北京:机械工业出版社,1983
- 5 Roy R, Craig Jr. Structural dynamics. John Wiley & Sons, 1981
- 6 Francis S, Tse. Mechanical vibration. Allyn and Bacon Inc, 1978

MECHANICAL ANALYSIS IN THE FORM DESIGN OF INTEGRAL CARBON FIBER BICYCLE FRAME

Yang Xiangdong

(Art Design Department of ZILI)

He Yuejin

(Mechanical Engineering Department of ZILI)

ABSTRACT

Use the principle of bionics and ergonomics, the carbon fiber bicycle frame of organic form is designed, and the mechanical feature according to its physical model is analysed. The results show that, bicycle frame made by carbon fiber has a strong ability of anti-shock and anti-vibration, and has a large dynamical strength reserve. Compared with metal bicycle, carbon fiber one has a high specific strength and high specific stiffness, thus its weight is greatly decreased and it has good riding comfortness. Additionally, the research indicates that, guiding the form design with engineering feature analysis of design plan, then improving it, is an effective and quantitative method of design.

Keywords: carbon fibres; integral bodies; mechanical property tests