

组合材料车轮结构强度分析

蒋鹏飞, 米彩盈

(西南交通大学 机械工程学院, 四川 成都 610031)

摘要: 开发了由铝合金轮芯和钢制轮辋的组合材料车轮结构, 其结构质量比传统钢制车轮质量减小 25% 以上, 能有效降低一系簧下质量。用 ANSYS 有限元软件建立组合材料车轮的有限元模型, 基于 UIC 510-5 标准和 DVS 1608 标准对组合材料车轮的铝合金轮芯和钢制轮辋的静强度及疲劳强度进行分析。结果表明: 与传统钢制车轮结构相比, 由铝合金材料制造轮芯的组合材料车轮, 具有较低径向刚度的优点, 其在列车运行过程中轮芯主要承受压应力, 充分发挥了铝合金材料抗压性能优于抗拉性能的优点, 保证了铝合金轮芯具有钢制车轮的静强度和疲劳强度性能。

关键词: 组合材料; 铝合金轮芯; 钢质轮辋; 车轮; 有限元; 疲劳强度

中图分类号: U239.5; U260.331⁺1 **文献标识码:** A

doi: 10.13890/j.issn.1000-128x.2016.04.013

Strength Analysis of Composite Material Wheels

JIANG Pengfei, MI Caiying

(School of Mechanical Engineering, Southwest Jiaotong University, Chengdu, Sichuan 610031, China)

Abstract: A composite material wheel structure of aluminum alloy wheel core and steel wheel rim was developed. The mass of the structure was less than 25% of the traditional steel wheel, which could effectively reduce the unsprung mass. The FE model of the composite material wheel was created in the ANSYS software, and then static and fatigue strength of the structure were analyzed based on UIC510-5 standard and DVS 1608 standard. The results was shown as follows: compared with the traditional steel wheel, the composite material wheel of aluminum wheel core has lower radial stiffness; the wheel core bears mainly compressive stress in the process of train operation, which makes full use of advantage of aluminum alloy material's compressive performance, and guarantees that the static and fatigue strength properties of aluminum alloy wheel core are the same as the steel wheel.

Keywords: composite material; aluminum alloy wheel core; steel wheel rim; wheel; finite element; fatigue strength

0 引言

轻型城市轨道交通便捷高效, 但是其车辆在运行过程中产生的轮轨噪声会对城市环境产生负面影响。由铝合金轮芯和钢制轮辋组成的组合材料车轮能有效地降低轮轨滚动噪声和减小车轮质量。文献 [1] 对组合材料车轮进行了专门的研究, 其研制出的轮对质量比传统全钢轮对减小了约 25%, 同时可将轮轨滚动噪声降低 6 db(A)。铝合金材料的弹性模量较低, 将其作为轮芯材料可以使车轮具有类似于弹性车轮的机械性能,

与弹性车轮相比, 其结构更简单, 质量更小, 在提高列车运行性能的同时可操作性更强。在环境保护日益受到关注的今天, 组合材料车轮可以成为城市轨道交通车轮的一个发展方向。

铝合金材料的抗疲劳性能与钢材料相比有很大差距, 车轮的工作条件极为恶劣, 在运用过程中需要足够的静强度和疲劳强度保证列车安全运行。将铝合金用于车轮首先要保证其结构能提供良好的强度性能。车轮静强度和疲劳强度的评估方法在 UIC 510-5 标准^[2]中有详细的介绍, 铝合金结构的疲劳强度评估方法也在 DVS 1608 标准^[3]中有明确的说明。本文将介绍组合材

料车轮的结构,并结合 UIC 510-5 标准和 DVS 1608 标准分析铝合金轮芯的静强度及疲劳强度。

1 组合材料车轮结构与材料

组合材料车轮由钢制轮辋、铝合金轮芯和钢质扣环组成。轮芯与轮辋采用过盈压装的方式进行装配,扣环保证轮辋和轮芯的轴向安全定位。新车轮名义滚动圆直径为 840 mm,磨损到限轮为 780 mm,其结构如图 1 所示。由于轮芯与轮辋和车轴采用过盈配合,在组合材料车轮的轮对结构组装后,轮芯的工作应力主要为径向压应力。为了保证轮对结构组装后,轮芯具有均匀的压应力分布,轮芯的辐板需要设计成平直的形状。相比于弯曲的轮辐形状,直辐板能降低轮芯的应力幅,从而得到更好的抗疲劳性能。此外,弹性模量较低的铝合金材料可以使直辐板车轮径向刚度较大的缺点得以克服。

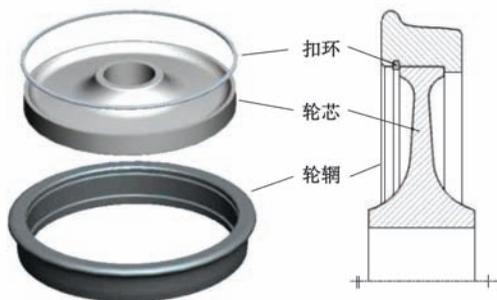


图 1 组合材料车轮结构分解图及剖面图

轮芯采用具有优良锻造性能、机械性能和优异耐腐蚀性的铝合金材料 AW6082-T6。通过建立组合材料车轮的三维模型,得到各零件的质量。车轮各零件的制造材料的机械性能及质量如表 1 所示,整个车轮的质量只有 239.1 kg。目前用于地铁车辆的传统钢制车轮的质量普遍超过 320 kg,组合材料车轮可以将质量减小 25% 以上,有效降低转向架的一系簧下质量和轮轨作用力,这对改善转向架的动力学性能具有重要意义。

表 1 车轮各零件材料的机械性能及质量

项目	轮辋	轮芯	扣环
材料	ER9	AW6082-T6	65Mn
屈服极限 /MPa	580	300	430
密度 /($\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$)	7.85	2.70	7.85
弹性模量 /MPa	2.06×10^5	0.7×10^5	2.06×10^5
质量 /kg	183.8	52.7	2.6

2 有限元模型及载荷工况

车轮为轴对称结构,为节约运算时间,ANSYS 有限元分析模型取 1/2 的磨损到限车轮作为分析对象。轮芯与轮辋及车轴的过盈配合以非线性接触模拟,保证准确地模拟车轮在装配状态下的应力分布,采用 Solid185 单元对车轮进行网格划分,其有限元模型如图 2 所示。

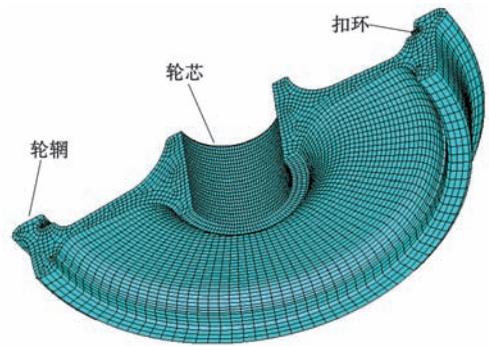


图 2 磨损到限车轮有限元模型

车轮在运行过程中会承受多种复杂载荷,主要有轮芯与轴及轮辋过盈配合产生的力、车轮在高速旋转时引起的离心力、轨道对车轮垂向及横向的作用力等。在常温条件,根据 UIC 510-5 标准规定,车轮强度计算载荷分为超常载荷工况和正常运行载荷工况,其中正常运行载荷工况包括直线运行工况、曲线通过工况和道岔通过工况。不同载荷工况包含的计算载荷见表 2。

表 2 各工况载荷定义

工况	垂向载荷 F_z / kN	横向载荷 F_y / kN
超常工况	$F_{z0}=90+Q$	$F_{y0}=\alpha(10+2Q/3)$
直线工况	$F_{z1}=1.25Q$	$F_{y1}=0$
曲线工况	$F_{z2}=1.25Q$	$F_{y2}=0.7Q$
道岔工况	$F_{z3}=1.25Q$	$F_{y3}=0.42Q$

注:表中 Q 表示轮重,此处 $Q=70$ kN,系数 $\alpha=1$ 。

根据 UIC 510-5 标准,不同载荷工况下作用力加载的位置如图 3 所示,其中超常工况和曲线通过工况的加载位置相同,超常工况仅用于评估车轮的静强度。

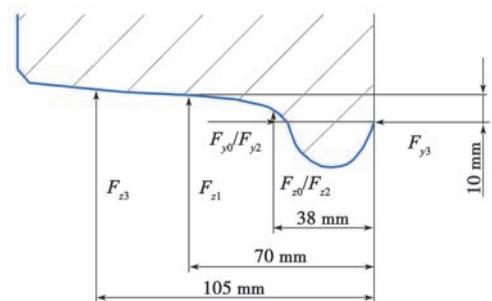


图 3 各个载荷工况加载位置

3 强度评定准则

3.1 静强度评定准则

根据 UIC 510-5 标准,车轮在不同载荷工况的载荷作用下,其最大 von_Mises 应力不得大于制造材料的屈服极限,其关系式为

$$\sigma_{\max} \leq \sigma_s \tag{1}$$

3.2 疲劳强度评定准则

车轮疲劳强度评定方法常用的有单轴疲劳准则^[2]、Crossland 疲劳准则^[4]和 Sines 疲劳准则^[5]等。UIC 510-5 标准指出,对于轴对称车轮和非轴对称车轮辐板的非孔边区域应使用单轴疲劳准则,非轴对称车轮的辐板