

轨道交通列车座椅轻量化设计

赵文涛 蒋莎
(株洲九方装备股份有限公司 湖南 株洲 412001)

摘要: 为了满足轨道交通列车对座椅轻量化的要求,对座椅部分结构进行了镁合金材料的设计,提出采用镁合金压铸件结构,使座椅部分骨架的重量减轻 30% 以上,实现轻量化的目标。利用有限元软件对设计方案进行数值计算,同时,对设计方案进行试验验证,保证设计座椅结构的强度、刚度等性能指标均达到相关标准要求。

关键词: 座椅结构; 镁合金; 有限元分析; 试验验证

1 概述

为了响应国家节能减排和绿色出行的要求,轨道交通列车对轻量化座椅的需求日益增加。近年来,随着镁合金材料的价格逐年降低,应用技术也日渐成熟,其凭借低密度、高强度以及良好的减震性能被轨道交通行业看重,成为较为理想和有发展前景的轻质结构材料。镁比铝更轻,镁的密度为 $1.74\text{g}/\text{cm}^3$, 约是铝的 $2/3$, 是目前工业应用最轻的金属材料。镁合金强度高,刚性较好。在同等刚性条件下, 1kg 镁的坚固程度是 1kg 铝的 1.8 倍。

2 轨道交通座椅的结构和功用

轨道交通座椅主要由靠背、坐垫、头靠、座椅骨架和调节装置等零部件组成,如图所示。座椅需要具有足够的强度才能承受不同工况下的载荷,从而避免乘客受到伤害。而座椅骨架是座椅的主要承力结构,轨道交通座椅上使用的骨架材料主要为铝合金、普通碳素钢。

3 镁合金骨架结构设计方案

轨道交通座椅需要具有足够的强度才能承受不同工况下的载荷,从而避免乘客受到伤害。座椅骨架是座椅的主

要承力结构,直接决定了座椅能够达到的机械性能。轨道交通座椅骨架主要由靠背坐框骨架、底座骨架、扶手骨架等机构组成(如下图所示)。

通过对借鉴国内外大量交通运输座椅骨架设计选材并结合镁合金的材料特性,提出靠背座框骨架固定结构采用镁合金材料;运动骨架采用高强钢结构;底座骨架型材采用镁合金型材,侧安装骨架采用高强钢结构;扶手骨架采用镁合金结构。镁合金靠背座框骨架集成了座椅头靠、运动结构、扶手骨架的安装接口;底座骨架集成了靠背骨架的安装接口。以下主要针对使用镁合金材料的零部件进行分析。

4 镁合金骨架结构有限元分析

4.1 座椅有限元模型

根据三维模型建立一等座椅主结构有限元模型,其中机加、铸造件用实体单元建模,薄壁件用壳单元建模、转动副采用 Connector 单元模拟。

4.2 定义模型的材料属性和几何属性

通过对常用镁合金材料进行分析初步选用镁合金 AM60B, 材料的物理属性参见表 1。

4.3 边界条件的确定

对于边界条件的确定,是对整体骨架进行有限元分析约束,这个约束就是在按照座椅安装进行约束。然后按照表 2 所示的载荷值进行加载计算。

4.4 静强度分析

4.4.1 底座骨架强度

双人座椅坐垫垂直向下 2000N 载荷的计算结果可知,型材的最大应力为 460.84MPa , 位于型材靠近侧墙侧的尖端,是局部点状应力

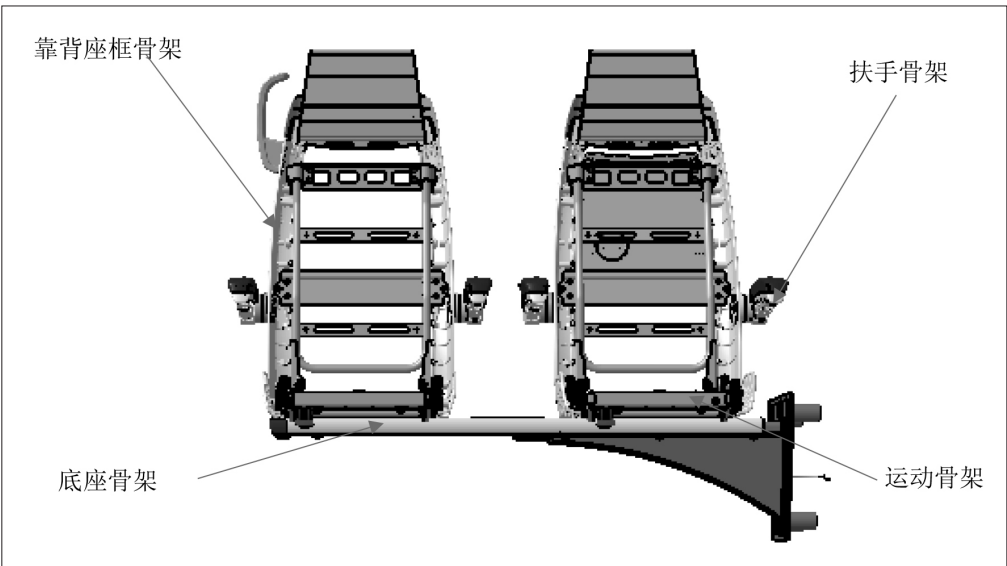


图 轨道交通座椅骨架图

表 1 座椅骨架所用材料的物理性能

材料	密度 (g/cm ³)	抗拉强度 (MPa)	屈服强度 (MPa)	延伸率 (%)	杨氏模量 (GPa)
AM60B	1.79	270	140	15	45

表 2 座椅静强度加载载荷和位置

部位	载荷施加方向	载荷值	加载说明
坐垫	垂直向下	1000N/ 座位	座垫的前边缘上
靠背	水平向后	1500N/ 座位	靠背的任何部位
扶手	垂直向下	750N	垂直方向，支撑板纵向边缘与扶手外沿平齐

集中；其余部分的最大应力为 160MPa 左右。

双人座椅靠背水平向后 3000N 载荷的计算结果可知，型材的最大应力为 622.57MPa，位于型材靠近座椅安装前端的尖端，是局部点状应力集中；其余部分的最大应力为 140MPa 左右。

4.4.2 靠背骨架强度

座椅垂直向下 1000N 载荷计算结果可知，骨架的最大应力为 60.429MPa，位于零件连接的点。由水平向后 1500N 载荷计算结果得知，骨架最大应力为 598.71MPa，位于骨架顶端，为点状应力集中；其余部位最大应力为

表 3 座椅试验验证结果

部位	载荷施加方向	变形测量点	最大变形量 (mm)	残余变形量 (mm)	残余变形 (%)	平均残余变形 (%)
坐垫	垂直向下	左坐垫	11.83	0.14	1.18	1.61
			8.79	0.32	3.64	
			10.11	0.01	0.01	
		右坐垫	13.85	0.62	4.48	2.64
			8.97	0.30	3.34	
			9.92	0.01	0.10	
靠背	水平向后	左靠背	27.2	0.71	2.61	1.48
			31.3	0.42	1.34	
			22.0	0.11	0.50	
		右靠背	60.8	0.33	0.54	0.76
			62.4	0.85	1.37	
			61.4	0.22	0.36	
扶手	垂直向下	扶手	1.37	0.01	0.73	1.24
			1.42	0.02	1.41	
			1.26	0.02	1.59	

141.64MPa。

4.4.3 扶手骨架强度

扶手向下 750N 载荷的应力计算结果可知，扶手最大应力 563.57MPa，为点状应力集中点，位于扶手旋转轴后方限位区域；其余大部分区域的最大应力为 182MPa，位于扶手骨架安装区域附近。

5 座椅的试验验证

在座椅骨架有限分析过程中，座椅骨架各部分均出现了应力集中的情况，造成此种现象的原因一般有两种：一是有限元模型处理存在问题；二是选择的材料不恰当和结构设计不合理。为了排除原因二，特对座椅按照计算的工况分别进行的试验验证，验证结果参见表 3。

载荷释放后，对座椅任何部件进行了检查，特别是有限元分析存在应力集中的区域均为发现有裂缝和疲劳失效，故确定结构设计可以满足要求。

6 结语

基于座椅轻量化的迫切需求设计了一款镁合金座椅骨架，并根据标准要求对座椅骨架强度进行了有限分析和试验验证，结果如下：

(1) 新设计镁合金座椅骨架结构，相比类似座椅总成质量减轻 37.2%，减重效果明显。

(2) 有限元分析结果表明，镁合金座椅结构可以满足标准强度方面的要求，但局部存在应力集中现象。

(3) 通过试验验证表明，有限元分析存在应力集中的区域均为发现有裂缝和疲劳失效，确定结构设计可以满足要求。

参考文献：

[1] 陈振华. 镁合金 [M]. 北京：化学工业出版社，2004.

[2] 李玉青，吴殿杰. 汽车轻量化以及铝镁铸件的应用 [J]. 中国铸造装备与技术，2005(4):48-50.

[3] 战磊，孙军，何金光，等. 汽车座椅骨架轻量化的研究概况 [J]. 汽车零部件. 2015(11):68-73.