

新能源汽车电池包箱体结构的研究现状

刘健全¹ 任杰² 黄军² 彭麒麟¹ 卢成勇³

1. 中国长安汽车集团有限公司雅安底盘系统分公司 四川 雅安 625000

2. 辰致科技有限公司 重庆 404100

3. 四川建安工业有限责任公司 四川 雅安 625000

摘要:传统的汽车会对环境造成较大的危害,为了缓解环境问题,新能源汽车运用而生。汽车车身结构的设计与汽车的轻量化需求紧密相关,轻量化的汽车因重量减少,其自身的续航能力也会提升,并且各项特性也会得到提升。因此减少动力电池包质量是增加汽车续航里程的重要途径。电池包箱体作为车辆电池模组的承载体,在复杂路况条件下受到激励、冲击和挤压时可能会引起电池模组内部短路、起火甚至爆炸等,其结构是否安全直接影响到整车安全性能。因此基于箱体结构安全性基础上的电池包轻量化研究,对未来新能源汽车行业发展具有举足轻重的意义。

关键词:新能源汽车; 电池包箱体; 轻量化

引言:由于汽车仍然处于研发的发展阶段,虽然已经在市场中投入了许多汽车,但是这些汽车多数是在传统汽车的基础上改良为汽车,所以其自身的重量较大,续航能力较差,为了满足汽车电池包箱体高强度、轻量化的设计要求,提出了一种基于数值优化与有限元仿真相结合的动力电池包箱体轻量化设计方法。以电池包箱体各部件的厚度为设计变量,箱体质量最小化为优化目标,汽车产业重点开展汽车生产与研发工作,在从根本上保障汽车运行效率的同时,控制汽车在运行过程中的资源消耗量。为保障汽车平稳运行,需要仔细分析汽车电池容量特征以及持续行驶要求,着重开展汽车车身结构轻量化设计工作。

1 新能源汽车电池包箱体结构的轻量化重要性

首先,电池包箱体结构的轻量化可以提高新能源汽车的续航里程。随着科技的不断进步,新能源汽车的电池单体能量密度不断提高。但同时也伴随着电池重量的增加。这就要求电池包箱体的结构应该进行优化设计,从而将其重量降到最低限度。这样不仅可以降低新能源汽车的总重量,也能够提高其行驶距离和续航里程。因此,轻量化的电池包箱体对于新能源汽车的使用成本和使用范围等方面有着重要的意义。其次,电池包箱体结构的轻量化还可以提高新能源汽车的整体性能和安全性。电池包箱体要能够稳定地承载电池单体的重量和运动过程中的震动和压力,同时还要具备防水、防尘、防爆等多种安全保护功能。电池包箱体的结构稳定性和抗震性能是保障电池单体安全的关键。在此背景下,轻量化的电池包箱体在不降低其结构稳定性和抗震性能的同时,可以提高新能源汽车的整体性能和使用安全性。最

后,电池包箱体结构的轻量化还具有可持续发展的重要性。能有效降低电池单体在生产、储存和运输等过程中的能源浪费和环境污染^[1]。

2 电池包箱体结构的组成和特点

2.1 电池包箱体结构的组成

电池包箱体结构一般由以下几个部分组成:外壳、绝缘层、电池接线盒、电池管理控制单元和冷却系统等方面,见图1。首先,外壳是电池包的主体,通常由金属材料制成,如铝合金、不锈钢等。外壳不仅要保护内部的电芯,还要承受机械震动和外界环境对电池的影响,因此需要具备较高的强度和耐腐蚀能力。另外,为了让电池包有更好的散热效果,一些开孔或散热孔也需要设计在电池包外壳上。其次,绝缘层是保障电池安全的关键部件之一,用来防止电池短路和其他安全问题。绝缘层通常由多层材料构成,如电池隔膜、贴合式绝缘片等。这些材料可以有效隔离电池内部,避免电池短路,提高电池安全性。接下来是电池接线盒,它是将所有电池单元汇集在一起的关键部分,用于连接电池和其他车辆系统。为了保障电池接线盒的安全和可靠性,它通常需要具备较高的防水、防尘、抗震和耐高温性能。同时,电池接线盒的设计还需要考虑到电路的电流和阻抗匹配问题。电池管理控制单元是控制电池工作状态的核心,它可以对电池的电流、电压、温度等参数进行监测和控制。电池管理控制单元还可以防止过放电和过充电等常见问题,保障电池的安全性和性能。最后,是冷却系统,它是保障电池正常工作的重要组成部分。电池在工作过程中会产生大量热量,如果不能有效散热就会导致电池工作不稳定,甚至产生安全隐患。因此,冷却系

统的设计对电池的工作稳定性和寿命都有很大的影响。现代电池冷却系统通常采用循环水冷却或空气冷却，以确保电池始终保持在正常工作温度范围内。

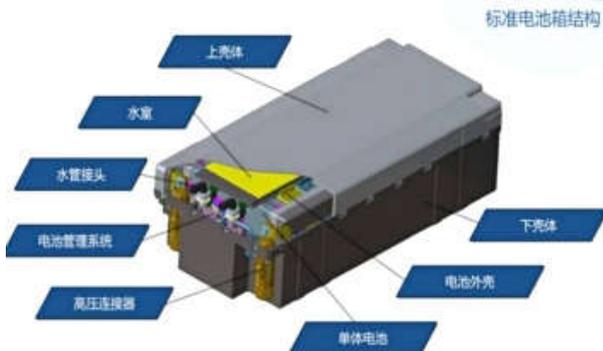


图1

2.2 电池包箱体结构的特点

电池包箱体是电动汽车中最重要的组成部分之一，它在承载电池单体的同时能够保护电池单体不受外界损伤。其主要特点如下：（1）高强度。电池包箱体需要承受电池单体的重量以及汽车行驶过程中的震动和冲击，因此必须具备很高的强度和刚度，以确保电池单体的安全固定，同时防止散裂或漏电。（2）高密度。电池包箱体表面积相对较小，所以需要具备较高的能量密度，以确保在有限空间中尽量多地容纳电池单体。（3）轻量化。电池包箱体的轻量化对电动汽车的行驶里程和能源利用效率有着非常重要的影响。因此，现代电池包箱体采用轻量化材料（如复合材料）进行制造，以减少其重量。（4）安全性。电池单体在使用过程中会产生热量，如果不及时散热，可能会发生严重事故。因此，电池包箱体必须具备良好的散热性能，以确保电池单体的长期安全使用。（5）模块化设计。电池单体数量众多，不同的车型和电池品牌也不尽相同，因此电池包箱体需要具备良好的模块化设计，以适应不同的电池需求，并方便维护和升级^[2]。

3 新能源汽车电池包箱体结构轻量化的研究方法

3.1 材料的优化选择

（1）高强度材料。高强度材料是电池包箱体轻量化的关键，一般采用钛合金、铝和镁合金等制造材料。这些材料不仅具有良好的成型性、密封性和耐腐蚀性，而且具有优异的强度和刚度，可以减少电池包箱体的重量。（2）复合材料。复合材料是一种新型的轻质、高强度的材料，可以用于制造电池包箱体。由于其具有优异的力学性能和耐腐蚀性，因此在电动汽车行业中被广泛使用。常见的复合材料包括碳纤维复合材料和玻璃纤维复合材料等。（3）等离子喷涂技术。等离子喷涂技术是

电池包箱体轻量化的另一种选择，该工艺是将高强度材料涂在表面上，以提高电池包箱体的强度、硬度和耐磨性。它可以使用钛、铝、镁等轻量化材料，将其均匀地喷入电池包箱体表面，从而减少其重量。

3.2 结构的优化设计

（1）拓扑优化设计。拓扑优化设计是一种新兴的结构优化手段，可以通过设计优化结构的大小和几何形状来改进其强度和刚度，以降低物料的使用。这种优化可以通过有限元模拟和CAD软件来实现。（2）空心结构设计。空心结构设计将电池包箱体中的实体部分转化为空心结构，从而降低电池包箱体的重量。空心结构设计除了提高结构刚度和强度之外，还可以提高通风和散热效果，减少电池的温度升高和过热问题对电池寿命的影响。（3）材料的局部钝化。材料的局部钝化是一种新型的设计手段，可以将材料表面的薄层磷酸盐浸泡在镁钙磷溶液中，使其形成一层厚度只有10到100微米的钝层。钝层的作用是增强材料的刚度和强度，同时也可以提高其耐腐蚀性和减少重量。

3.3 制造工艺的优化

传统的电池包箱体制造工艺采用的是模压或者模具冲压的制造工艺，这种工艺难以实现复杂结构的制造和加工，而且实现量产难度较大。因此，一些制造工艺的优化出现了。目前，热成形工艺和拉伸成形工艺成为电池包箱体制造工艺的新热点。热成形工艺是利用热加工原理，对金属板材进行变形和模塑，以实现较为复杂的结构，同时自带强化功能，使得产品强度和耐久性得到提升。拉伸成形工艺是一种通过应用局部拉张来改变板材形状的制造工艺，减轻了电池包箱体的重量，同时还具有较好的结构刚性和强度。除了热成形和拉伸成形工艺外，3D打印技术也成为了电池包箱体制造工艺的新趋势。通过3D打印技术，可以根据电池包箱体结构的不同要求，采用不同种类的材料进行打印和制造，从而实现电池包箱体轻量化的目标。另外，为了提高电池包箱体的性能和耐久性，一些新型材料也被应用于电池包箱体的制造过程中，如纤维增强塑料等，这些新型材料不仅能够减轻电池包箱体重量，还具有较好的强度、耐久性和耐腐蚀性。这些新型材料的应用已经为电池包箱体轻量化带来了新的突破和发展。

4 新能源汽车电池包箱体结构轻量化的现状研究

4.1 先进材料技术在电池包箱体轻量化中的应用研究

首先，铝合金的应用已经成为电池包箱体轻量化的主要趋势之一。铝合金是一种轻质材料，密度小，并且具有优异的抗腐蚀性能。它的加工性能和机械性能也非

常优异。目前,很多主机厂和车型都已经开始采用铝合金材料来制作电池包箱体。比如说,特斯拉的Model S和Model X等车型都采用了铝合金材料结构,使其整个车辆重量大幅减轻,从而降低能量消耗和提高续航里程。另一个值得关注的先进材料技术是碳纤维增强复合材料(CFRP)。CFRP材料具有轻质、高强度、高刚度等优点。由于其具有优异的机械性能和热稳定性能,使得其在电池包箱体轻量化应用方面拥有巨大的潜力。现在,越来越多的主机厂和车型已经开始尝试使用CFRP材料制作电池包箱体。例如,宝马i3和i8等车型就采用了CFRP材料结构,可以使车辆重量减轻20至30%,从而提高了每度电能量的使用效率和续航里程。此外,高强度钢材也是电池包箱体轻量化的好选择。高强度钢材具有热处理后具有很高的强度和刚度,具有较好的形变能力和强韧性。由于其美观性和成本方面的优点,很多主机厂和车型也开始采用高强度钢材来替代传统的碳钢材料,从而实现电池包箱体的轻量化。总的来说,先进材料技术在电池包箱体轻量化中的应用是一个不断发展的趋势。铝合金、CFRP和高强度钢材,都已经在一些主机厂和车型中得到了应用,带来了较好的轻量化效果。未来,我们可以预见到更多的先进材料技术将广泛应用于电池包箱体轻量化的研究中,为新能源汽车的发展注入新的活力。

4.2 基于拓扑优化和有限元方法的轻量化设计方法研究

拓扑优化和有限元方法是现代工程学领域中常用的设计方法。拓扑优化理论依据结构力学和材料力学理论,通过对结构的应力分析,优化结构的形状,来实现优化结构的轻量化。而有限元法则是一种将结构划分成离散、小元素,结合材料本构方程与载荷作用下的结构应力等效研究技术,可以对汽车电池包箱体的应力、强度、刚度等多项性能进行模拟和分析。基于拓扑优化和有限元方法,研究人员可以系统地分析不同电池包箱体结构的应力分布情况,优化其结构,以达到轻量化的目

的。其中,拓扑优化可以通过多次迭代,不断优化结构的形状,以达到最佳的轻量化效果。而有限元法则可以对电池包箱体进行多种载荷情况的模拟分析,在保证结构安全的前提下,最大限度地减轻电池包箱体的重量^[3]。

4.3 其他轻量化技术在电池包箱体结构中的应用研究

除了轻量化材料和拓扑优化、有限元方法,还有许多其他轻量化技术被应用于电池包箱体设计中,例如结构优化、金属泡沫、3D打印技术等。(1)结构优化的方法一般是将电池包箱体结构分解为多个单元,对每个单元进行再设计和优化。通过多次迭代,找到最佳的轻量化方案。(2)金属泡沫制造技术则是采用在金属中注入气体形成泡沫的方法来制造轻量化材料。在电池包箱体的制造过程中,将金属泡沫嵌入箱体结构中,可以大幅减轻重量。(3)3D打印技术则可以通过将不同的材料层层叠加,并打印出设计好的结构来制造具有复杂形状的电池包箱体。这种方法的优点在于制造速度快,能够在较短时间内满足个性化定制的需求。

结语

总的来看,新能源汽车电池包箱体轻量化研究取得了不少突破和进展。各种先进的材料、结构和制造工艺的应用和创新,为电池包箱体的轻量化提供了更多的选择和可能性。但是,仍需进一步解决电池包箱体轻量化成本高、寿命短暂等现实问题,以推动新能源汽车更好地发展。

参考文献

- [1]熊自柳,齐建军,刘宏强,等.新能源汽车及其轻量化技术发展现状与趋势[J].河北冶金,2020,33(017):919-920.
- [2]邹娇,雷启翔,张秀英.基于拓扑优化的电动汽车电池包箱体轻量化设计[J].北京工商大学学报(自然科学版),2021,39(1):107-112.
- [3]王付才,杨海.纯电动汽车电池包壳体轻量化材料应用及研究进展[J].汽车工艺与材料,2020,17(009):725-726.