毕 业 设 计 论 文

题目：铁道车辆轻量化技术的应用案例与分析

摘　　要

本篇论文着重讨论了铁道车辆轻量化技术实现意义、价值与可发展方式，对于现在正在处于发展中的中国具有现实意义。在保证列车的强度和安全性能的前提下，尽可能地降低列车的整体质量，可以提高列车的动力，完善、提高性能，减少动力能源的消耗，降低污染，节省能源。同时，中国虽然地大物博，但能源的使用和产生方式是不够合理的，节省能源对于工业的经济可持续发展具有现实意义。

在目前全球节能环保的大背景下，铁道车辆轻量化已经成为全球铁路制造业的发展趋势。目前，多用于铁道车辆轻量化技术的方式有优化列车存在重量限制的部件、车体材料的轻量化选择以及内装设计的轻量化等。

通过优化铁路货车车体及走行部存在重量限制的部件，轻量化设计的铁路客车车体及动车组车体的轻量化方法，可以应用质量密度小的轻量材料或使构件薄壁化等。这种技术的代表是从铁制车体发展到铝合金车体、高强度钢车体转换为不锈钢车体以及构件薄壁化都是最具效率的轻量化方法。不过,构件薄壁化会导致强度降低;轻量化材料的应用也有刚度降低的问题。因此，要考虑车辆车体的轻量化,就要一边充分了解材料与结构的关系,一边探索质量 、强度、刚度之间的平衡性。

关键词：轻量化；性能；设计；材料；

目　　录

摘　　要 I
引　　言 1
第一章 铁道车辆轻量化技术发展历程与分类 2
1.1 列车轻量化技术基本理论 2
1.1.1 铁路货车轻量化 2
1.1.2 铁路客车轻量化 2
1.2 铁道车辆轻量化技术发展历程 3
1.3 铁道车辆轻量化技术发展分类 3
第二章 铁道车辆轻量化技术的热点与关键技术 6
2.1 铁道车辆轻量化技术大致发展方向 6
2.1.1 改变车辆结构参数 6
2.1.2 设立列车计算机控制网络 6
2.1.3 采用高性能材料 6
2.1.4 采用有限元分析 6
2.1.5 采用集成化、模块化设计 6
2.2 铁道车辆（货车）轻量化技术的热点 6
2.2.1 牵引杆技术 6
2.2.2 ECP 电空制动技术 7
2.2.3 转向架集成制动技术 7
2.2.4 采用新材料 7
2.3 铁道车辆（客车）轻量化技术的热点 7
2.3.1 不锈钢材料技术 7
2.3.2 铝材料及铝合金材料技术 8
2.4 铁道车辆轻量化技术中的关键技术 9
2.4.1 薄壁化、宽幅化和中空化技术 9
2.4.2 空心挤压型材技术 9
2.5 内装设计优化的相关技术 10
2.5.1 瓦楞板在高速列车内饰中的应用 11
2.5.2 纤维预浸料复合材料在高速列车内饰中的应用 12
2.6 高速动车组牵引变流器轻量化的相关技术 13
2.6.1 系统轻量化 13
2.6.2 骨架轻量化 13

2.6.3 元器件轻量化.....14
2.6.4 变压器轻量化设计.....14
2.6.5 电容器轻量化设计.....14
2.6.6 电抗器轻量化设计.....14
第三章 高速动车组轻量化技术应用的具体案例.....15
3.1 日本新干线系列动车组轻量化概况.....15
3.2 法国 TGV 系列高速动车组轻量化概况.....15
3.3 德国 ICE 系列高速动车组轻量化概况.....16
3.4 中国 CRH(CR)系列高速动车组轻量化概况.....16
第四章 结 论.....19
参 考 文 献.....20
致 谢.....21

引　言

铁道运输与汽车及飞机相比,二氧化碳的排放量较小，考虑今后进一步减少二氧化碳排放及节能的趋势，要求车辆车体更加轻量化。从车辆车体的制造方面来看,基本上是将质量、强度、刚度作为主要特性来考虑,因而必须对原材料开发、加工、接合等各种要素技术加以综合研究。

铁道车辆分为铁路货车、铁路客车及高速动车组等多种形式,下面围绕轻量化,就其轻量化的演变做一一说明。本文首先介绍铁路客车车体轻量化的目的和发展,此外,阐述铁路货车相关的轻量化技术、车体结构设计的强度及刚度,然后，就轻量化的高速动车组车体及相关存在重量限制的部件,介绍其轻量化技术，通过国外相关的动车组真实发展概况简述相关技术应用的场景。

第一章 铁道车辆轻量化技术发展历程与分类

1.1 列车轻量化技术基本理论

轻量化这一概念最先起源于赛车运动，它的优势其实不难理解，重量轻了，可以带来更好的操控性，发动机输出的动力能够产生更高的加速度。由于列车轻，起步时加速性能更好。同时，随着“节能环保”越来越成为了广泛关注的话题，降低制造成本、提高输出功率、降低噪声、提升操控性、可靠性，提高车速、降低能耗、减少废气排放量、也无疑在铁道车辆发展方面，占据了举足轻重的地位。

1.1.1 铁路货车轻量化

铁路货车车辆的轻量化设计一般通过在原有车辆的基础上进行结构改进，选换材质来达到目的。世界上以美国、加拿大、澳大利亚、南非、巴西为代表的重载铁路货物运输主要特征是车辆轴重大载重高、自重轻及列车编组辆数多。随着重载运输的广泛运用及轻量化技术在货车上的应用，运输效率得以提高，成本得以降低取得了显著的经济效益。中国为澳大利亚 FMG 公司生产的轴重 40t 矿石敞车自重系数达到 0.159，为巴西生产的 GDT 敞车自重系数为 0.198。为沙特阿拉伯生产的磷酸盐漏斗车自重系数为 0.30。美国在棚车、运煤敞车漏斗车等货车上大量使用了铝合金材料,轴重 32.43t 的铝合金双浴盆敞车自重系数为 0.174。

2000 年以来,由于新结构、新材料及设计手段的不断发展，我国铁路货车轻量化技术取得了显著的成就。通过采用浴盆式结构,大秦线 C80 型浴盆式运煤专用敞车自重为 24.6t,载重达到 75 t,自重系数为 0.328。通过采用铝合金,不锈钢材料及对车体结构进行优化,C80 型铝合金运煤敞车和 C80H 型不锈钢运煤敞车自重为 20 t，载重达到了 80 t,自重系数达到了 0.25 ,为提高大秦线煤炭运输能力提供了保障。

1.1.2 铁路客车轻量化

既有铁路客车在现有的内燃机车、电力机车和铁路的基础上，对动力系统、行走系统、车厢外形和路轨系统等加以改进，并没有改变传统火车和铁路和基本面貌。随着“节能环保”越来越成为了广泛关注的话题，轻量化也广泛应用到高速列车领域。高速列车的能耗主要取决于排量和列车的总质量，在保持列车整体品质、性能和造价不变甚至优化的前提下，降低列车自身重量可以提高输出功率、降低噪声、提升操控性、可靠性，提高车速、降低能耗、提升安全性。

1.2 铁道车辆轻量化技术发展历程

就材料而言,铁道车辆的演变可按以下时代来区分:创业阶段的木制车辆时代、钢制(普通钢)车辆时代、铝合金、不锈钢车辆时代以及采用树脂系材料的车辆时代。在钢制车辆以后的演变过程中,开始重视车体的轻量化.

1872 年,开创铁道客运业的是英国的木制客车,由于其具有易燃性,因而安全性存在问题。1923 年,开始普通钢制车体的制造研究,1927 年,制成了钢制车辆。这种钢制车辆采用普通钢材，安全性极高,但由于考虑耐蚀性设计不得不加大车体构件的板厚，是一种笨重的车体。因此,根据运行能耗、经济效果、高速性等观点研究了钢制车辆的进一步轻量化。1951 年,开始对铝合金或不锈钢车体进行研究，当年铝合金车体就已经在英国伦敦的地铁上采用。在欧洲,也进行了铝合金车辆的研发,但日本是 1962 年首次在山阳电铁 2000 系电动车上采用的。

表 1.2.1 列出铝合金车辆的变迁。此外,在既有线上,同期对不锈钢车体的应用进行了研究。1952 年,随着日本最早的不锈钢车辆制成以后，经过不锈钢的改进与接合方法的开发,制成了全不锈钢车体。表 1.2.2 列出不锈钢车辆的演变。这样一来，随着车辆轻量化的发展,就如表 1.2.1、表 1.2.2 所示一样，在车体轻量化技术方面，铝型材的技术研究及车体的设计成了重要的课题。

时期	特征
第一代	从钢制壳体(薄壳)置换为铝合金(A5083 , A6061)
第二代	应用高强度 7000 系合金
第三代	开发薄壁挤压型材的单壳结构车辆
第四代	基于薄壁空心挤压型材的应用,开发双壳结构车辆

表 1.2.1

时期	特征
第一代	仅将外板改为不锈钢(不锈钢蒙皮车辆)
第二代	将车体外板、骨架、梁改为不锈钢(半不锈钢车辆)
第三代	除了部分车底架外,整体应用不锈钢(全不锈钢车辆)
第四代	削减全不锈钢车辆零件数量(轻量不锈钢车辆)

表 1.2.2

1.3 铁道车辆轻量化技术发展分类

1.3.1 轻量化材料选用概况

从车体轻量化来看,在充分确保安全后,应改善乘车舒适度。因此,在确保车体强度及刚度的前提下,要有步骤地实现轻量化.

其方法大体分为结构与材料方面的研究。以此为基础,重视轻量化材料的应用，构件壁厚减薄，削减零件数量及构件整体化的研究。其方法是首先决定车体结构、车体截面形状、车窗、车门的大小及数量等,确定选用不锈钢、铝合金、CFRP 等轻量化材料。实际设计要根据结构选定能确保强度及刚度的原材料,决定型材及车体结构。

现归纳材料方面轻量化技术发展分类如下：

1、根据传统的骨架与外板结构,取消柱件、梁、补强件等,应用空心双层(内、外)板结构,实现内面板与外板的整体化,以削减构件数量。

2、通过应用长尺寸空心型材，使之能够承受全方向的载荷,故需增加构件的局部刚度。另外,进行均匀的板面结合，确保整体强度。

3、根据部位,部分地取消多余的内面板,确保最佳的刚度。

4、制成车长纵向的整体构件,研究用直线焊接的方法，削减焊接数量。

5、车体全部构件采用铝合金等轻量化材料。

1.3.2 车体设计实现轻量化构想

说明车体的轻量化及高刚度化之前,介绍一下车体的结构及必要的强度与刚度。图 1.3.2.1 为铁道车辆车体的基本结构。它由车底架、侧墙体、端墙、车顶组成一个整体。车底架沿长度方向有侧梁、中梁贯通，横向在两车端部设有端梁,转向架安装部设有枕梁,此外,还有横梁和地板支承件。车底架承受垂向载荷及前后冲击载荷,是重要的强度构件。车顶是在车顶弯梁(椽子)及车顶纵梁组成的骨架上铺设车顶板构成，由于安置各种机器(设备,如空调),故需要强度。就车体结构而言,需要静强度及动强度。上述车体各部的强度完全处于容许范围内,如果刚度小，在运行中受到车轮及钢轨引起的振动时，车体的振动会加大而影响乘坐舒适度。因此,刚度与强度都是车体重要的性能指标。车体结构的强度即指承受的载荷,在静强度方面,有包括乘客及设备在内产生的“垂向载荷”以及制动时由连挂车辆产生“车端载荷”;在动态强度方面,有车辆在运行中及通过隧道时由车体内外压差产生的“疲劳载荷”。

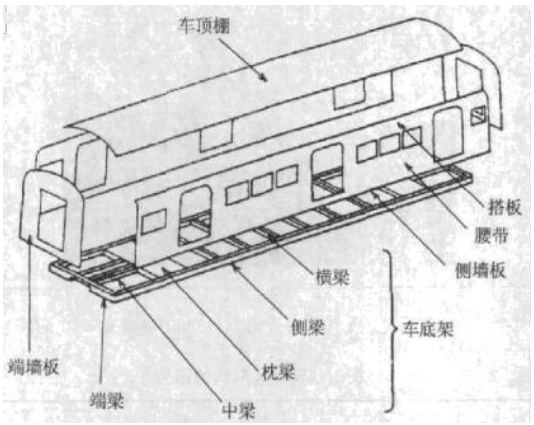


图 1.3.2.1

车体设计中的强度及刚度，一方面运用基本的计算及有限元法,一方面做材料试验,进行详细研究。在把握整体强度及刚度之后，仔细研究车体各部位的情况。但是,由于车体各部位的载荷及应力状态不同,要对每一部位进行计算,最终实现各部位与整体的平衡,完成整体设计。例如车底架及地板、车顶棚、各车体结构(如侧墙)等,因为可以容许一定挠度,故与刚度相比，更应重视强度。另一方面，包括侧墙板、端墙板、车窗及车门等可动部分,为平稳地实现车窗及车门的开闭，便不能容许有挠度，此外，考虑到车窗、车门等的局部应力集中，与其重视强度,莫如重视刚度。

铁道车辆轻量化技术的热点与关键技术

铁道车辆轻量化是个系统工程，它包括设计概念、设计方法、新材料选用、试验等诸多方面并贯彻在总体设计，零部件设计、制造工艺、试验鉴定的研制全过程之中。

2.1 铁道车辆轻量化技术大致发展方向

2.1.1 改变车辆结构参数

采用矮车体（3590-4000㎜）并采用鼓型断面，可以减小车辆自重并可减小气动阻力。为加大车内净高，保证旅客有较高的舒适度，宜采取分体式空调或诱导式空调系统。

2.1.2 设立列车计算机控制网络

取消以往数量庞大的列车通信（控制）线，设立 1 对或 2 对网络线，既可大大减轻列车重量，又可提高通信品质。

2.1.3 采用高性能材料

如用高强度制造转向架，采用铝合金来制造车体及其他承载部件，采用合成蜂窝材料制造车体内饰构件，采用高性能轻质的隔热材料、送风道以及薄壁不锈钢管、薄壁电缆、合成材料管路等。

2.1.4 采用有限元分析

采用有限元分析等现代方法对车辆及其零部件金星结构设计优化，以最轻的重量取得最大的强度和刚度；采用现代湍流理论对车体外形进行优化，以期取得最小的气动阻力和良好的侧风稳定性等。

2.1.5 采用集成化、模块化设计

采用集成化、模块化设计。以最小的体积来实现规定的功能。

2.2 铁道车辆（货车）轻量化技术的热点

2.2.1 牵引杆技术

由于牵引杆具有无间隙结构简单、质量轻及制造成本低等特点,在美国澳大利亚.南非、加拿大和巴西等一些国家的货车中已经被广泛采用。装用于大秦线 C80 系列运煤专用敞车上的牵引杆装置取消了车钩，降低了车辆的自重,每对车钩缓冲装置可降低质量约 280 kg,3 辆车 1 组组成 105 辆编组的单元列.车大约能降低自重 19.6t，3 辆车 1 组组成 204 辆编组的单元列车约能降低自重 38 t。

2.2.2 ECP 电空制动技术

货物列车电空制动系统(ECP)是一种电子控制的直通式空气制动系统。该系统直接用计算机控制列车中每辆货车制动缸的制动和缓解,使重载列车的所有车辆制动、缓解动作保持一致。ECP 电空制动系统可使整个制动系统的部件减少 50% ,质量减轻 60%,空气管系减少 85%.另外,ECP 系统可降低列车间的纵向作用力,减少断钩与脱轨事故,节省能源。电空制动系统在美国、加拿大、南非等国从 19 世纪就已开始应用。

2.2.3 转向架集成制动技术

与传统基础制动装置杠杆布置方式相比，转向架集成制动装置具有结构紧凑,传动效率高、质量轻等优点，能够有效利用车辆空间，在国外重载货车上得到了广泛应用。我国目前有 100 多辆 C80 型专用运煤敞车装用了转向架集成制动装置,并于 2010 年 12 月投入大秦线进行运用考验。

2.2.4 采用新材料

(1)采用高强度耐候钢，可在不增加车辆质量的前提下增加构件的抗变形能力，因此在同等强度条件下，可以减少板厚,降低车体质量。C80 型通用敞车、P70 型通用棚车、K80 型石碴漏斗车、K80 型煤炭漏斗车等车型的车体主要材料采用屈服强度为 450MPa 的高强度耐候钢，提高了载重，降低了自重系数。

(2)铝合金材料具有良好的机械性能和耐腐蚀性能，其密度只有钢铁的 1/3，可有效减轻车体质量。我国大秦线运用的 C80 型铝合金浴盆式运煤敞车，其车体除底架外均采用铝合金型材与板材的铆接结构，车体自重轻，容积大，载重达 80 t。

(3)不锈钢材料耐蚀性高,在采用较小板厚的情况下不会因腐蚀原因影响车辆性能,从而也可以达到减轻自重的目的。大秦线 C100 型不锈钢运煤专用敞车显著增强了车体的耐蚀性，同时降低了车辆自重，提高了车辆的载重。

(4)非金属材料具有密度小耐磨损、抗腐蚀、成型性好等特点在铁道车辆上得到了较为广泛的应用，并逐渐向结构件和功能件扩展，如心盘磨耗盘轴箱橡胶垫、弹性旁承体钩尾框托板磨耗板滑块磨耗套斜楔磨耗板、车钩托梁磨耗板、车钩支撑座磨耗板、手制动滑轮等。非金属材料在改善车辆性能.实现轻量化设计方面发挥了重要作用。

2.3 铁道车辆（客车）轻量化技术的热点

2.3.1 不锈钢材料技术

不锈钢的两个主要优点使其适用于客车车体材料：其一，具有优良的耐蚀防锈性，使车体外板省去涂装的工序，并且可以大幅节约维修费用。第二，与普钢相比，无须考虑耐蚀防腐层，因此可以将板厚减薄，有利于车体轻量化，以节约能源、减少废气排放。目前常用的车体不锈钢通常有两种:奥氏体系不锈钢的 SUS304 和 SUS301L。

以上内容仅为本文档的试下载部分，为可阅读页数的一半内容。如要下载或阅读全文，请访问：
https://d.book118.com/576051134120010113