



项目

1

城轨交通车辆基础知识



学习目标

- (1) 掌握城轨交通的类型,了解其发展概况。
- (2) 掌握城轨交通车辆的类型、结构、编组、方位等基础知识与技能。
- (3) 掌握城轨交通车辆的技术参数。

城轨交通系统已经有 150 多年的发展历史,现代化的城轨交通车辆全部使用电力牵引,电动车辆是当代城轨交通车辆发展的主流。

任务 1.1 城轨交通的类型与发展

城轨交通系统(urban rail transit mass system 或 transit system)简称城轨交通,包括地铁、城市轻轨交通、城市独轨交通、城市磁悬浮交通、新交通系统、城市铁路等。城轨交通可定义为:建设在城市内,在固定轨道上运行并主要用于城市客运的交通系统。

城轨交通具有线路固定、编组运行、运量大、速度快、电力牵引、环保、全隔离路权等特点。广义的城轨交通是指以轨道运输方式为主要技术特征,在城市公共客运交通系统中具有中等以上运量的轨道交通系统,它是主要在城市内进行公共客运服务的一种现代化立体交通系统。城轨交通是近代高科技的产物,其采用性能优良的电动车组,无污染,低噪声,享有“绿色交通”的美称。



1.1.1 城轨交通系统的主要类型

1. 地铁

“地铁”(metro、subway、underground railway)是“地下铁道交通”的简称,它以电力作为牵引,是单向高峰小时客运量在 30 000~70 000 人次的大容量轨道交通系统。其线路通常设在地下隧道,在城市中心以外地区也可从地下转到地面或高架桥上。广义的地铁车辆不仅指在地下隧道内运行的车辆,还包括在地面封闭线路或高架桥上运行的规格类似的电动车辆。经过 150 多年的发展,全球范围内越来越多的国家和地区的大城市相继建成地下铁道,总里程逐步扩大。

地铁列车的主要特点如下:

(1)大部分线路建于地面以下。在市中心区时,车站和区间线路均设于地下;当线路延伸到近郊时,常采用高架或路堤形式,以节约线路建设的投资。

(2)建设费用高,耗时周期长,成本回收慢。新建地铁线路投资一般在每千米 3.5 亿元以上;建造一条新地铁线路约需 5~10 年,成本回收需 20~30 年。

(3)地铁列车的编组一般为 2~8 辆,站台长度一般为 100~200 m,站间距一般为 0.5~1.5 km。地铁列车编组按地铁车辆有无动力可分为动车与拖车,通常采用动车与拖车混合方式编组。

(4)地铁列车的受电制式有直流 750 V 第三轨受电或直流 1 500 V 架空线受电弓受电。现代化的地铁列车一般采用 1 500 V,以减少线路电压降和电能损失,提高列车再生制动的电能回收率。

(5)行车密度大、速度高。线路全隔离全封闭,可以实现行车调度、信号控制的自动化,行车间隔最短达 1.5~2 min,车辆最高时速达 80 km 以上,旅行速度一般不低于 35 km/h。

(6)客运量大。单向每小时最大客运量可达 3 万~8 万人次。

(7)地铁列车对消声、减振和防火有严格的要求,对节能也有一定的要求。

地铁车辆电力牵引、轮轨导向、轴重相对较重,主要通过直流电机、交流电机、直线电机等进行驱动;速度高,最高速度为 90 km/h,旅行速度为 40 km/h 左右;但造价昂贵,制造成本高。

2. 城市轻轨交通

城市轻轨交通(light railway transit, LRT)是在信号自动控制 and 集中调度配合下,能快速而安全地完成中等运量的客运任务,客运量介于地铁和公共汽车之间的轨道交通形式。城市轻轨交通是在 20 世纪 70 年代有轨电车的基础上发展起来的,主要采用线路隔离、自动化调度系统和高新技术车辆改造措施,轻轨交通的轨道和车辆都是轻型的,

运输系统相对简单,适宜于中等运量的城市客运交通。

德国是轻轨交通发展较早并且使用较普遍的国家,已投入运营的线路有1 000 km以上,世界轻轨车辆的生产大户是德国的Duewag车辆公司、LHB车辆公司、法国的Alsthom公司等。

城市轻轨交通具有以下特征:

(1)使用转向架承载,轴重为10~12 t,使用直流或交流提供牵引动力。

(2)建设费用低,大约是地铁造价的1/2~1/5。

(3)小时单向运能20 000~40 000人次,介于地铁和公共汽车之间,属于中等运能的公共交通。

(4)轻轨线路可采用地面、地下和高架混合型,一般与地面道路完全隔离,采用半封闭或全封闭专用车道。在通过交叉路口处,采用立体交叉形式,保证车辆以较高速度运行。

(5)轻轨交通车辆有单节4轴车、双节单铰6轴车、3节双铰8轴车等,每组车可以单节运行,也可以连挂编列。车辆能够通过小半径曲线($R=50\text{ m}$)和大坡度(60‰~70‰)地段。

(6)轻轨交通对环境影响小,尤其对车辆和线路的消声和减振在建设方面有较高的要求。车辆一般采用弹性车轮、空气弹簧、自导向和迫导向径向转向架等措施,以减轻列车运行和通过曲线轨道时的噪声。线路一般采用无缝长钢轨线路、弹性钢轨扣件和路基弹性层、弹簧路基,达到减少噪声和振动传递的目的。

(7)轻轨交通供电的电压制式以直流750 V、架空线(或第三轨)供电为主,也有部分采用直流1 500 V或直流600 V供电的。

(8)轻轨车站分为地面、高架和地下3种形式,与地面道路可以部分混行,也可以完全隔离。

轻轨交通投资少、建设周期短、灵活性强、运行成本低,在市中心区可以采用高架或地下线路,能适应运量大、速度快、安全、准点的要求。近几年,轻轨交通在世界各国得到迅速发展,不同国家和地区的多座城市正在规划或建造轻轨交通。

3. 城市独轨交通

城市独轨交通是在特制轨道梁上运行的中等运量的轨道运输系统,是车辆与其专用轨道组成一体的交通工具。轨道梁不仅承受车辆的质量,同时还是车辆导向轨。城市独轨交通有跨座式和悬挂式两种类型。

(1)城市独轨交通的优点:

①能适应城市环境、复杂地形的要求。在大坡道和小曲线半径的区段发挥正常性能,能够实现大坡度(60‰)和小曲线半径(50 m)运行,可绕行城市的建筑物。

②占地面积小。独轨交通轨道结构较窄,可架设在道路上方,在市区不需要占用昂



贵的土地,可设在道路中间绿化带上方,通过支柱铺设轨道梁,线路支柱占地宽度仅为1~1.5 m,可减少建设线路所必需的拆迁。其适宜在大城市的繁华中心区建线,对城市的景观及日照影响极小。

③建设工期短、施工简便、造价低。由于独轨线路构造较简单,因而标准轨道梁可在工厂预制,现场拼装,建造容易;建设费用较低,仅为地铁的1/3左右,工期短。

④独轨车辆编组一般为4辆,最高行驶速度为80 km/h,旅行速度为35 km/h(悬挂式的为25 km/h)。单向每小时的客流量为10 000~30 000人,属于低、中运量,介于轻轨交通和公共汽车之间。

⑤运行噪声低,独轨车辆的走行装置采用空气弹簧和橡胶轮,以电力驱动,无废气,乘坐舒适。

⑥独轨架于空中,视野宽广,具有交通和旅游观光的双重作用。

⑦运输安全,无脱轨事故。独轨车辆转向架起稳定作用的导向轮作用在特殊结构轨道梁两侧,能保证车辆的运行安全,无脱轨危险。

(2)城市独轨交通的缺点:

①走行装置采用橡胶轮,其与混凝土轨面的滚动摩擦阻力比钢轮与钢轨的大,能耗比一般轨道交通增加40%,有轻度的橡胶粉尘污染。

②道岔结构复杂、笨重,转换时间较长,从而延长了列车折返时间。

③列车运行至区间时发生事故,疏散和救援工作比较困难,不能与地铁、轻轨等接轨。

4. 城市磁悬浮交通

磁悬浮列车是一种靠磁悬浮力(吸力或排斥力)来推动的列车。它依靠轨道磁力悬浮在空中,行走时不需接触地面,运行时只有空气的阻力。磁悬浮列车的最高速度可以达到每小时500 km以上,比轮轨高速列车的每小时300多千米还要快速。磁悬浮技术的研究源于德国,1922年德国工程师赫尔曼·肯佩尔提出电磁悬浮原理,他在1934年申请磁悬浮列车专利。为提高交通运输能力,德国、日本等发达国家相继开始筹划磁悬浮运输系统的开发。

磁悬浮交通一般分为:高速超导型,最高速度为550 km/h;中速超导型,最高速度为250 km/h;低速超导型,最高速度为100~120 km/h。磁悬浮交通的特点是运行中完全脱离传统的轮轨关系,噪声极低,仅有空气摩擦声、电器产生的噪声等;无黏着限制,可实现最大的启动加速度和制动减速度;可在大坡度线路运行;机械振动小;舒适性和平稳性高;维修费用低。城市磁悬浮交通系统采用电力驱动,牵引、制动采用交流直线电机进行调频调压控制。磁悬浮交通采用电磁铁调压控制,依靠磁力自导向,列车编组与地下铁道相近。其最大的缺点是开展救援工作较困难。

5. 新交通系统

新交通系统是指车辆采用橡胶轮承载、电力牵引,在有特殊导向的专用轨道上运行的系统。新交通系统可在线路上实现车辆无人驾驶,无人管理,完全由中央控制室计算机集中控制自动运行。新交通系统与独轨交通系统有许多相同之处,采用高架线路,列车编组2~6辆,每小时单向运能在10 000人次左右。新交通系统与独轨交通最大的区别在于除走形轨外,还设有导向轨。另外,新交通系统的自动化程度也比较高。新交通系统的导向系统可分为中央导向方向和侧面导向方向。

新交通系统是适应多样化的交通运输需求,使线路和车辆提供最高的运输效率和良好的服务质量的公共运输系统和设备系统。这种轨道运输系统多数设置在道路和公共建筑物上部,具有中等运量,能实现自动驾驶,也称为导轨式交通系统。

1.1.2 我国城轨交通的发展历史

我国的城轨交通工作自20世纪50年代开始筹划。1965年7月,北京市开始兴建新中国第一条地下铁道。经过近50年,特别是近10年的发展,城轨交通项目规模迅速扩大。根据国外城市交通发展的经验以及我国城市经济与社会发展的客观需求,在我国大中城市发展大、中客运量的轨道交通系统已是刻不容缓的举措。我国的城轨交通经历了50多年的发展。总结发展过程,其大致经历以下几个阶段:

1. 起步阶段

20世纪50年代,我国开始筹备地铁建设,规划了北京地铁网络。我国在1965—1976年建设了北京地铁一期工程,随后建设了天津地铁,上海从20世纪60年代进行了地铁的研究和试验,并建成一段试验段,后来被迫终止。这一时期修建地铁的主要目的是用于备战,费用完全靠政府补贴。

2. 开始建设阶段

20世纪80年代末至20世纪90年代初,由于城市规模限制及道路等基础设施比较薄弱,北京、上海、广州等特大城市的交通问题非常突出。以上海轨道交通1号线(21 km)、北京地铁1号线东段(13.6 km)和地铁一期工程改造、广州地铁1号线(18.5 km)等建设项目为标志,我国内地真正以城市交通为目的的地铁项目开始建设。

3. 建设高潮开始阶段

进入20世纪90年代,随着上海、广州地铁项目的建设,一批城市包括沈阳、南京、重庆、武汉、深圳、成都、青岛等开始规划建设轨道交通项目,并进行了大量的前期工作。



4. 调整阶段

由于各大城市要求建设的地铁项目较多,且建设地铁项目的工程造价较高,1995年12月,国务院发文暂停了地铁项目的审批,并要求做好发展规划和国产化工作;同时,国家计划委员会(现更名为国家发展和改革委员会)开始研究制定城轨交通设备国产化政策。至1997年年底,提出以深圳地铁1号线(19.5 km)、上海轨道交通3号线(24.5 km)和广州地铁2号线(23 km)作为国产化依托项目,并于1998年批复了上述三个项目的立项,从此城轨交通建设项目重新开始启动。

5. 建设高潮阶段

随着实施积极的财政政策以进一步扩大内需,国家于1999年开始陆续批准一批城轨交通项目开工建设。1999年以后,国家先后审批了深圳、上海、广州、重庆、武汉等10个城市的轨道交通项目开工建设,并投入40亿元国债资金予以支持。据《中国城市轨道交通年度报告2016》统计,截至2016年年底,仅在中国内地,已有近30个城市共拥有上百条运营线路,总里程接近4 000 km,车站接近3 000个。根据有关机构测算,“十三五”期间年均地铁新通车里程有望超过900 km,与过去几年的实际通车里程相比接近翻倍。

任务 1.2 城轨交通车辆的类型、结构和特点

1.2.1 城轨交通车辆的类型

如图1-1所示,城轨中的地铁列车采用动力分散的编组形式,即动车M+拖车T。为方便管理和维护,各地铁制造商和运营公司对车辆按自己城市的特点进行分类,如上海地铁车辆1号线、2号线的车辆分为A、B、C三类车。A类车:拖车,车的一端设有驾驶室;B类车:动车,车顶上装有受电弓;C类车:动车,车下装有一套空气压缩机组。

轻轨列车有3种编组方式:4轴动车、6轴单铰接式车和8轴双铰接式车。德国是世界上轻轨交通发展较早、技术较先进的国家,其在20世纪60年代初修建的科隆到法兰克福轻轨,采用U2型6轴单铰双向运行的动车;接着德国又研制出8轴轻轨车,其运行在汉诺威市;在莱茵—西格—鲁尔地区城市采用B100/80型标准轻轨车辆,其属于6轴单铰动车。



图 1-1 典型城轨列车(广州地铁车辆)

城轨车辆的一般分类方法可简述如下:

(1)按车体宽度和驱动方式分为两类六种车型。

①黏着牵引系统:A、B型车,车体宽度分别为3.0 m、2.8 m的四轴系列车型;C、D型车,车体宽度为2.6 m,车地板高度不同的铰接车系列车型;单轨胶轮车,车体宽度为3.0 m的跨座式单轨胶轮系列车型。

②非黏着牵引系统:L形直线电机车辆系列。

(2)按车辆的牵引控制系统分为直流变阻车、直流斩波调压车、交流变压变频车和直线电机变频变压车。

(3)按车体材料分为不锈钢车、铝合金车和耐候钢车。

(4)按受电方式分为受电弓车、受流器车、受电弓和受流器混合车。

(5)按电压等级分为DC1500V、DC750V、DC5600V三种车型。

1.2.2 城轨交通车辆的结构组成

1. 车体

车体分有司机室车体和无司机室车体。车体的主要作用是容纳乘客,为司机提供驾驶空间,安装其他设备、部件。城轨交通车辆车体一般采用整体承载钢结构或铝合金、不锈钢等轻金属结构,以便在满足强度、刚度要求的同时最大限度地减轻自重。

车体由车顶、底架、端墙、侧墙、车窗、车门等组成。城轨车辆的车体服务于市内公共交通,因此车内座位少,提供站立的空间相对大一些。

2. 转向架

转向架是城轨交通车辆的走行装置,安装在车体与轨道之间,用来牵引和引导车辆



沿轨道行驶,承受、传递车体与轨道之间的各种载荷并缓和其动力作用,是保证车辆运行品质的关键部件。转向架一般由构架、轮对轴箱装置、弹簧悬挂装置、制动装置等组成。城轨交通车辆转向架有动力转向架和非动力(拖车)转向架之分,动力转向架装包括牵引电机及传动装置。

3. 牵引缓冲连接装置

城轨列车的编组必须依靠车钩缓冲和贯通道装置,其中车钩是连接车辆、传递纵向力的装置。车钩上安装有缓冲器,可缓和纵向冲击力,并连接车辆之间的电路和空气管路;贯通道是列车车队中车辆与车辆之间客室的连接通道。城轨列车一般采用密接式车钩和宽体式贯通道。

4. 制动装置

制动装置是保证列车运行安全所必不可少的装置。不管是动车还是拖车都设有制动装置,它可以保证运行中的列车按需要减速或在规定的距离内停车。城轨车辆制动装置除常规的空气制动装置外,还有再生制动、电阻制动和磁轨制动等先进的装置。

5. 车辆设备

车辆设备包括服务于乘客的设备和服务于车辆运行的设备。主要服务于乘客的设备有车内照明、广播、通风、取暖、空调、座椅、吊环、扶手等设备。服务于车辆运行的设备一般不占车内空间,吊挂于车底的有蓄电池箱、斩波器、逆变器、继电器箱、主控制箱、接触器箱、空气压缩机组、储风缸等,安装于车顶的有空调单元、受电弓等。车辆电气包括车辆上的各种电气设备及其控制电路。按其作用和功能可分为主电路系统、辅助电路系统和电子与控制电路系统。

1.2.3 城轨交通车辆的技术特点

城轨车辆的技术特点如下:

(1)城轨属于绿色环保的新型轨道交通系统,对车辆运行时的噪声、振动、防火等有严格的要求。

(2)城轨系统采用全封闭线路,双向单线运行,行车密度大,对车辆运行的可靠性有很高的要求,重要的系统部件如低压直流控制电源、空气压缩机组、蓄电池、列车控制单元都有冗余设置。

(3)城轨列车车辆在运营过程中如果发生故障,要能使列车凭自身动力到就近存车线以及时疏通线路。如果列车确实无法启动,一般安排就近的列车进行救援。对地铁车辆,必须保证断电情况下的事故照明、广播和通风。车辆上必须安装乘客紧急疏散通道。

(4)城轨列车的车辆发展方向是轻量化,一般采用大断面铝合金型材或不锈钢焊接车体的整体承载结构,以最大限度地减少车辆自重。

(5)车辆上电气系统的设备开关除一些必须安装在司机室和客室的电气设备柜内外,其他设备均分散安装在车底,空调机组装在车顶,不占用客室空间。

(6)车辆间采用封闭式全贯通通道,便于乘客走动及均匀分布,采用密接式车钩进行机械、电气和气路的贯通连接。

(7)为了在列车停站时能使大量的上下车客流交换在尽可能短的时间内完成,车门数量也较多,每节车厢的单侧门数量有3~5个。

(8)调频调压交流传动,采用电气和空气的混合制动,节省能耗。列车控制和主要子系统的运行控制实现计算机化和网络化,信息传播实现多样化、实时化和分层集中化。

(9)车辆系统部件的设计、材料的选用都以列车运行和乘客安全为首要原则,设备正常功能失效时,其响应以安全为导向目标。

(10)列车行车实现信号控制和控制自动化,在车辆正常运行的情况下,采用自动列车控制、列车自动驾驶和自动列车保护,车辆上也配备了相应的车载设备,一些先进列车可实现无人驾驶。

典型案例

1. 地铁列车的编组和车辆的特点

图1-2为某地铁列车的编组形式,由图可知该地铁列车采用6辆B型车,3动3拖,两端头车为带司机室拖车 T_c ,编组在中间的拖车 T 不带司机室,动车分为带受电弓动车 M_p 和不带受电弓动车 M 。

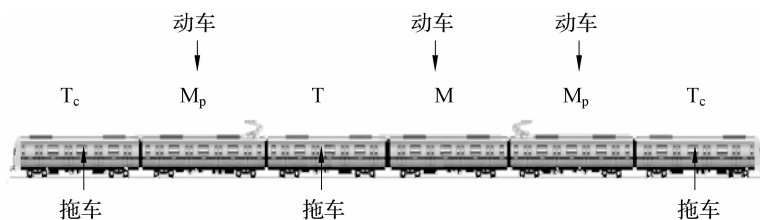


图1-2 某地铁列车的编组形式

图1-3是某地铁车辆的客室内装图,这种地铁线列车采用VVVF(variable voltage and variable frequency,可变电压、可变频率,也就是变频调速系统)交流牵引系统;DC1500V供电;车体采用高强度不锈钢材料、模块化设计,结构轻。由图1-3可知,这种地铁列车车辆的客室车厢内有空气调节系统、乘客信息系统等先进服务设施。



图 1-3 某地铁车辆的客室内装

2. 某地铁车辆的结构组成

(1) 车体结构。图 1-4 为某地铁不锈钢车体钢结构, 由图可知其侧方有 4 扇车门、5 扇车窗。车体采用不锈钢材料制造, 板与梁柱、部件与部件之间采用点焊连接。客室侧门采用双扇电控电动内藏门。

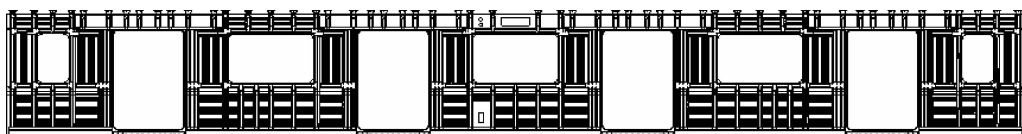


图 1-4 某地铁不锈钢车体钢结构

(2) 转向架系统。图 1-5 为某地铁车辆的动车转向架和拖车转向架的结构。

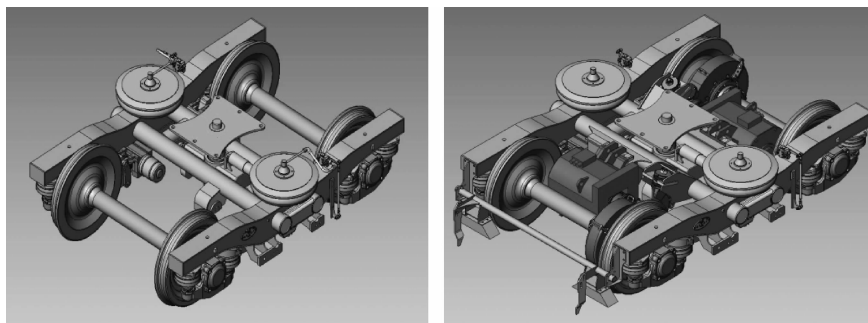


图 1-5 某地铁车辆的动车转向架和拖车转向架的结构

(3) 车钩缓冲装置。图 1-6 为某地铁车辆的车钩缓冲装置的半自动车辆的结构。

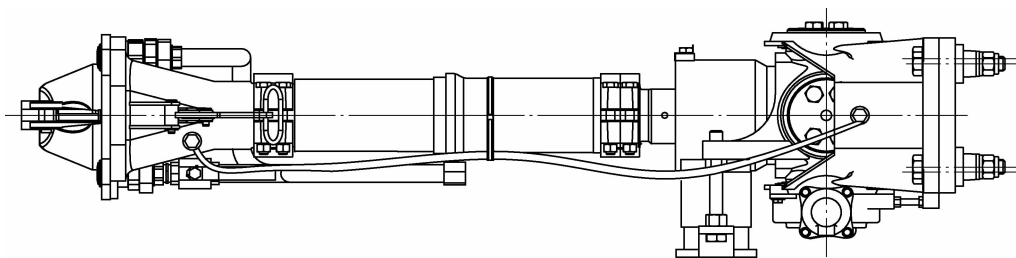


图 1-6 车钩缓冲装置的半自动车辆的结构

任务 1.3 车辆的技术参数、编组、标识及编号

车辆技术参数是概括地介绍车辆技术规格的某些指标,是从总体上表征车辆性能及结构的一些参数,一般可分为性能参数与主要尺寸。城轨车辆需进行编组、标识及编号,并在行车组织部门的指挥下有序运行。

1.3.1 车辆的性能参数

1. 自重、载重及容积

- (1)自重。自重是指车辆整备(空车)状态下的车辆本身结构及设备组成的全部质量。
- (2)载重。载重是指正常情况下车辆允许的最大装载质量,以 t 为单位。
- (3)容积。容积是指车辆内部的有效立体空间,以 m^3 为单位。

2. 速度

车辆的速度参数包括最高试验速度、运行速度、启动平均加速度和制动平均减速度。

(1)最高试验速度。最高试验速度是指车辆设计时按照安全、结构强度等条件所决定的车辆最高行驶速度。

(2)运行速度。运行速度是指车辆设计时按照安全、结构强度等条件所决定的车辆行驶速度,并要求连续以该速度运行时车辆具有足够良好的运行性能。

(3)启动平均加速度。启动平均加速度是指在平直线路,列车载荷为额定定员,自牵引电动机取得电流开始,至启动过程结束时该速度值被全过程经历的时间所除得到的商(单位: m/s^2)。

(4)制动平均减速度。制动平均减速度是指在平直线路,列车载荷为额定定员,自制动指令发出至列车完全停止的全过程,相应的制动初始速度被全过程经历的时间所除得到的商(单位: m/s^2)。



3. 轴重

轴重是指按车轴类型及在某个运行速度范围内,车轴允许负担(包括轮对自身的质量)的最大质量。轴重的选择与线路、桥梁及车辆走行部的设计有关。

4. 轴配置或轴列式

用数字或字母表示车辆走行部结构特点的方式,称为轴配置或轴列式。例如,4轴动车有两台动力转向架,则轴配置记为B-B;6轴单铰轻轨车辆的两端为动力转向架,中间为非动力铰接转向架,其轴配置记为B-2-B。

5. 每延米轨道载重

每延米轨道载重是车辆设计中与桥梁、线路强度密切相关的一个指标,同时又是能充分利用站线长度提高运输能力的一个指标,其值是车辆总质量与车辆全长之比。

6. 通过最小曲线半径

通过最小曲线半径是指配用某种形式转向架的车辆在站场或厂、段内调车时所能安全通过的最小曲线半径。当车辆在此曲线区段上行驶时不得出现脱轨、倾覆等危及行车安全的事故,也不允许转向架与车体底架或车下其他悬挂物相碰撞。

7. 制动形式

制动形式是指车辆获得制动力的方式,有摩擦制动、再生制动、电阻制动、磁轨制动等形式。

8. 座席数及每平方米地板面积站立人数

地铁车辆由于其短途高流动性的运载特点,座席数较少,一般为55~56座,站立人数一般为250人,超载时乘客总数按7~9人/m²计算。

9. 冲击率

冲击率是指由于工况改变引起的列车中各车辆所受到的纵向冲击,用加速度变化率来衡量,以m/s³为单位。在城轨车辆中,其主要用于说明车辆本身电气及制动控制系统所应达到的冲动限制。如地铁车辆正常运行(包括启动加速和电制动,紧急制动情况除外)时,纵向冲击率不得超过1m/s³。

10. 列车平稳性指标

列车平稳性是评定乘客舒适程度的主要依据,反映了车辆振动对人体感受的影响。因此

评定列车平稳性的方法主要以人的感觉疲劳程度为依据,通常以列车平稳性指标表示。

1.3.2 车辆的主要尺寸

车辆的主要尺寸如下:

(1) 车辆长度。车辆长度是指车辆处于自由状态,车钩呈锁闭状态时,两端车钩连接面之间的距离。它区别于车体长度的概念,车体长度是指不包含牵引缓冲装置或折棚的车体结构的长度。

(2) 车辆最大宽度。车辆最大宽度是指车体横断面上最宽部分的尺寸。

(3) 车辆最大高度。车辆最大高度是指车辆顶部最高点与钢轨顶面之间的距离。通常须说明与最高点相关的结构,如有无空调、受电弓的状态等。

(4) 车辆定距。车辆定距是指同一车辆的两转向架回转中心之间的距离。

(5) 固定轴距。固定轴距是指同一转向架的两车轴中心线之间的距离。

(6) 车钩中心线距离钢轨面的高度。车钩中心线距离钢轨面的高度简称车钩高,是指车钩连接面中点(对铁路车钩来说,是指钩舌外侧面的中心线)至轨面的高度,取新造或修竣后空车的数值。列车中各车辆的车钩高基本一致,是保证车辆正确连挂、列车运行中正常传递牵引力及不会发生脱钩事故所必需的。广州地铁车辆、上海地铁车辆的车钩高为 720 mm,天津滨海轻轨车辆、北京地铁车辆的车钩高为 660 mm。

(7) 地板面高度。地板面高度是指车辆地板面与钢轨顶面之间的距离。地板面高度与车钩高一样,是指新造或修竣后空车的数值。它将受到两方面的制约:一方面是车辆本身某些结构高度的限制,如车钩高及转向架下心盘面的高度;另一方面又与站台高度的标准有关,规定车辆地板面高度应与站台高度相协调,如上海地铁车辆地板面高度为 1.13 m,北京地铁车辆地板面高度为 1.053 m。

1.3.3 车辆的编组

城轨交通车辆中,动车 M 和拖车 T 通过车钩连接而成的一个相对固定的编组称为一个(动力)单元,一列列车可以由一个或几个(动力)单元编组而成。目前,我国城轨交通车辆列车编组比较普遍的是 6 辆编组或 4 辆编组,还有一些城市的大运量地铁的车辆采用 8 辆编组。6 辆编组的主要有“3 动 3 拖”和“4 动 2 拖”,4 辆编组的主要有“2 动 2 拖”。下面举例说明城轨交通列车的编组情况。

(1) 西安地铁 1 号线、2 号线列车均采用“3 动 3 拖”的编组形式,编组表达式为

$$=T_c * M_p * M * T * M_p * T_c =$$

而西安地铁 3 号线为增加动力,则采用“4 动 2 拖”的编组形式,编组的表达式为

$$=T_c * M_p * M * M * M_p * T_c =$$

式中, T_c 表示有司机室的拖车; M_p 表示带受电弓的动车,空气压缩机组装在 M_p 车; M



表示不带受电弓的动车;T表示不带司机室的拖车,空气压缩机组装在 M_p 车。

注意:编组表达式中,“—”表示全自动车钩,“=”表示半自动车钩,“*”表示半永久车钩。

(2)广州地铁1号线列车采用“4动2拖”的形式,编组表达式为

$$-A * B * C = C * B * A -$$

式中,A表示拖车,一端设有驾驶室,车顶上装有受电弓,车下装有一套空气压缩机组;B车和C车均为动车,两者结构基本相同。

广州地铁2号线与1号线基本一样,只是受电弓装于B车车顶,而空气压缩机组装于C车车底。

(3)上海地铁1号线、2号线列车在开通初期为6辆编组,采用“4动2拖”的编组形式,即

$$-A = B * C = C * B = A -$$

而远期为8辆编组,采用“6动2拖”的编组形式,即

$$-A * B * C = B * C = B * C = A -$$

式中,A表示拖车,一端设有驾驶室;B表示动车,车顶上装有受电弓;C表示动车,车下装有一套空气压缩机组。

(4)天津滨海轻轨车辆在开通初期为4辆编组,采用“2动2拖”的编组形式,编组的表达式为

$$=M_{cp} * T = T * M_{cp} =$$

而远期为6辆编组,采用“3动3拖”的形式,编组的表达式为

$$=M_{cp} * T = T * M = T * M_{cp} =$$

式中, M_{cp} 表示带司机室、受电弓的动车;M表示动车;T表示拖车。

1.3.4 车辆车端、车侧标识

下面以参考德国工业标准 DIN 25006 的广州地铁2号线车辆标识方法为例进行说明。

(1)车端。如图1-7(a)所示,每辆车的1位端定义如下:A车1位端是带有全自动车钩的一端,B车1位端是与A车连接的一端,C车1位端是连接半永久牵引杆的一端,另一端就是2位端。

(2)车侧。当车辆检修人员位于车辆的2位端、面向1位端时,则其右侧就称为该车辆的右侧,左侧即该车辆的左侧。

1.3.5 列车车侧

如图1-7(b)所示,列车车侧的定义与车辆车侧的定义是不同的。它是以司机为主

体,司机坐于列车驾驶端座位上,司机的右侧即列车的右侧,左侧即列车的左侧。换句话说,列车车侧是按列车的行驶的方向来定义的,这与公路上汽车按行驶方向定义左右侧是相同的。

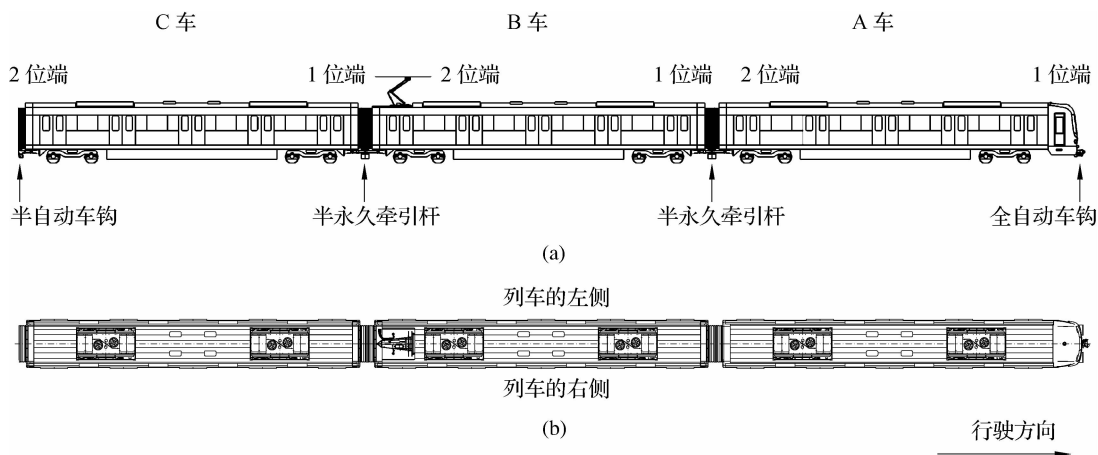


图 1-7 车辆车端和车侧的标识及列车车侧定义

1.3.6 车厢的编号

城轨车辆的每一节车厢均有固定的编号,编号在使用期间不会发生任何改变,直至此车报废,城轨车辆的制造商、运营商不同,编号方式也有一定的差别,但大同小异。

下面以上海地铁的车厢编号为例介绍。上海地铁车辆车厢先按线路对车辆进行车型编号,2004年前后的编号方式有一定的区别。

1. 车型编号

DC01 型电动客车——1 号线西门子直流车;AC01 型电动客车——1 号线西门子交流车;AC02 型电动客车——2 号线西门子交流车;AC03 型电动客车——3 号线阿尔斯通交流车;AC04 型电动客车——1 号线旁巴迪交流车;AC05 型电动客车——4 号线西门子交流车;AC06 型电动客车——1 号线的新的八辆编组的阿尔斯通交流车。

上海地铁 5 号线属于现代轨道,没有类似编号。

2. 车厢车体编号

车厢的号码有两种:一种是车厢号,其位于车厢内部两端,一般位于贯通道路上方;另一种是车厢编号,其位于车厢外侧,具体位置随车型的不同而不同。

2004 年是上海地铁车辆编号的时间节点,2004 年以前上海地铁的 1、2、3 号线的 DC01/AC01/AC02/AC03 与 5 号线电客列车的车厢编号为 5 位数,采用 YYCCT 形式。其中,YY 为车辆出厂的年份,CC 为出厂时这一年的同类型车辆的生产顺序号,T 为车



辆类型代号。T 为 1 时代表 A 车,表示带司机室的拖车(T_c),T 为 2 时代表 B 车,表示带受电弓的动车(M_p),T 为 3 时代表 C 车,表示不带受电弓的动车(M)。如图 1-8 所示,00342 表示 2000 年出厂的第 34 辆,最后的 2 表示 B 车,即车顶带受电弓的动车。



图 1-8 2004 年以前上海地铁车厢编号

例如,上海地铁 1 号线车辆标识 92082 的确切含义是:92 表示 1992 年出厂的车,08 表示第 8 辆车,2 表示其车辆类型为 B 车,即车顶带受电弓的动车。

2004 年以后,上海地铁所有的车辆标识均改为 6 位数字,前两位数表示车辆的所属线路,中间三位数表示该车厢在该线路的车厢总编数,最后一位只能是 1、2 或 3,1 表示带司机室的拖车(T_c),2 表示带受电弓的动车(M_p),3 表示不带受电弓的动车(M)。在图 1-9 所示的 040011 中,04 表示该车属于 4 号线,001 表示 4 号线中的第 1 辆车,最后一位 1 则表示该车为带司机室的拖车。



图 1-9 2004 年以后上海地铁车辆的编号

另外,在紧急情况下为方便乘客在逃生时找到逃生通道,上海地铁在每节车厢的端墙上部编制了应急车厢号,可方便乘客准确掌握自己在车厢里的位置。编号由 4 位数组成。其中对于 1~9 号线来说,第 1 位表示所属线路情况(10 号线往后线路情况用第 1、2 两位数字表示),第 2、3 位表示的是该车为该线路的列车编号,最后一位为 1~6,表示车辆的编组数,以后如果编组加长,会出现 1~8 或 1~10,顺序是从列车的 1 位端往 2 位端数。如图 1-10 所示,车厢号 4186 的具体含义如下:4 表示 4 号线,18 则表示第 18 列列车,6 表示第 18 列列车中的第 6 节车厢(从 1 位端向 2 位端数)。



图 1-10 上海地铁车辆车厢内的编号

典型案例

1. 某地铁 2 号线车辆的主要技术指标

从主要性能参数和车辆主要尺寸说明。

(1) 主要性能参数。

① 速度。最高运行速度为 80 km/h。

② 列车平稳性指标。初步运行时,不大于 2.5;运行 150 000 km 后,列车平稳性指标应为 2.5~2.75。

③ 列车牵引功率。 $2 \times 6 \times 180 = 2\ 160\ \text{kW}$ 。

④ 轴重。轴重不大于 14 t。

(2) 车辆主要尺寸。某地铁 2 号线车辆主要尺寸如表 1-1 所示。

表 1-1 某地铁 2 号线车辆主要尺寸

单位:mm

项 目	尺 寸	项 目	尺 寸
T _c 车长度	19 500	车钩中心线距轨面高度	660+10
M _p 、M、T 车长度	19 000	新轮直径	840
车辆最大宽度	2 800	半磨耗轮直径	805
车辆高度	3 800	磨耗轮直径	770
车辆内中心高度	2 120	客室侧门净开宽度	1 300
转向架中心距	12 600	司机室侧门净开宽度	725
转向架固定轴距	2 200		

2. 某地铁 2 号线的编组

图 1-11 是某地铁的编组情况,该地铁 2 号线列车车辆均采用 6 辆编组形式,即“=T_c*M_p*M*T*M_p*T_c=”。

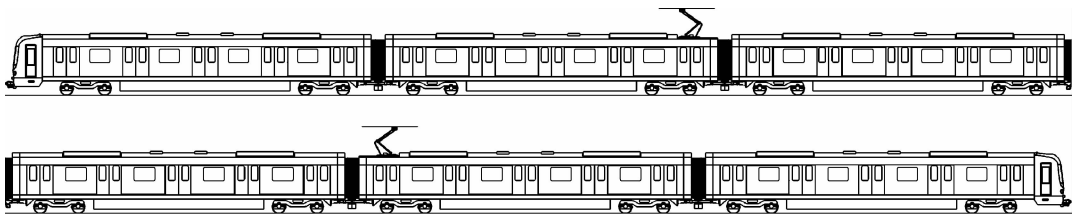


图 1-11 某地铁 2 号线车辆编组

3. 某地铁的车辆编号

某地铁的车辆编号为 5 位数。第 1、2 位表示线号(如 01 表示 1 号线,02 表示 2 号线,03 表示 3 号线,以此类推)。第 3、4 位表示车列号(如 01 表示第一列车,02 表示第二列车,以此类推)。第 5 位表示车辆号,用数字 1、2、3、4、5、6 分别表示车辆 1~6 位的编组,分别表示 T_c 、 M_p 、 M 、 T 、 M_p 、 T_c 车。

4. 某地铁 2 号线的车辆方位

某地铁 2 号线车辆以两头 T_c 车为基准,以前三节车为一组,后三节为一组,在每一组中,靠近司机室的一端为 1 位端,远离司机室的一端为 2 位端。

思考与练习

- (1)城轨车辆有哪些基本种类? 试述其基本结构。
- (2)什么是车辆的技术参数? 主要有哪些参数? 举例说明重要参数的作用。
- (3)城轨车辆是如何编组的? 请举例说明某种编组方式的优、缺点。
- (4)为什么要对车辆进行标识? 如何对车辆进行标识?



学习目标

- (1) 掌握车体的作用与分类,熟悉车体的结构形式,能分析车体的基本结构及主要特征。
- (2) 掌握铝合金车体、不锈钢车体的结构和特点,并能进行车体材料的选型分析。
- (3) 了解模块化车体结构的基础知识。
- (4) 掌握不同车门的作用、分类和工作原理。

车体是城轨车辆的基础框架,铝合金和不锈钢车体是城轨车辆车体的主要形式,车门是城轨车辆中重要的设备,是城轨车辆检修作业的重点部位之一。

任务 2.1 车体的基础知识

城轨车辆由车体、转向架、制动装置、车钩和车内设备五部分组成。其中,车体是城轨车辆的基础框架和主体,主要作用是运载旅客、承受车辆垂直载荷,安装传动机构、电气设备和服务设施。

2.1.1 车体的作用与种类

1. 车体的作用

车体可分为带司机室的车体和不带司机室的车体,不带司机室的车体主要是为乘



客提供服务的公共场所,也是安装并连接车辆上其他设备、组件的基础结构;带司机室的车体还能安装司机操作台等装置。

2. 车体的种类

车体按不同的分类方式分为不同的类型。

(1)按使用的材料分为碳素钢车体、铝合金车体和不锈钢车体。早期多使用碳素钢制造车体,目前主要使用铝合金和不锈钢材料制造车体。

(2)按有无司机室可分为带司机室车体和不带司机室车体。

(3)按尺寸分为3 m宽的A型车车体、2.8 m宽的B型车车体和2.6 m宽的C型车车体。

(4)按车体结构工艺可分为一体化结构和模块化结构。

2.1.2 车体的基本特征、结构形式与要求

1. 车体的基本特征

车体具有以下基本特征:

(1)城轨列车基本上是电动机组,有单节、双节、三节式等编组形式。

(2)城轨车辆是城市内的公共交通系统,乘客的数量多,旅行时间短,上下车频繁,城轨车辆的座位数量少,车门数量多且开度大,车内服务设备简单。

(3)城轨车辆的重量轻、轴重小,车辆采用轻量化设计。

(4)城轨防火要求严格,采用防火设计,材料必须经过阻燃处理。

(5)车辆的隔声和降噪要求高,对沿线居民的影响小。

(6)车辆外观造型、色彩与城市文化、环境和景观协调。

2. 车体的结构形式

按照车体结构承受载荷方式,车体可分为底架承载结构、侧墙和底架共同承载结构和整体承载结构。

(1)底架承载结构。车体的全部载荷由底架承担的车体结构称为底架承载结构。

(2)侧墙和底架共同承载结构。由侧墙、端墙与底架共同承担载荷的车体结构称为侧墙和底架共同承载结构或侧墙承载结构,侧墙、端墙、底架等通过固接形成一个整体。

(3)整体承载结构。图2-1为钢制车体的整体承载结构。由图可知,车体结构是板梁式,侧墙、端墙上固接由金属板、梁组焊而成的车顶,使车体的底架、侧墙、端墙、车顶连接成一个整体,成为开口或闭口箱形结构,这种车体结构的各部分结构均承受载荷,因而称为整体承载结构。

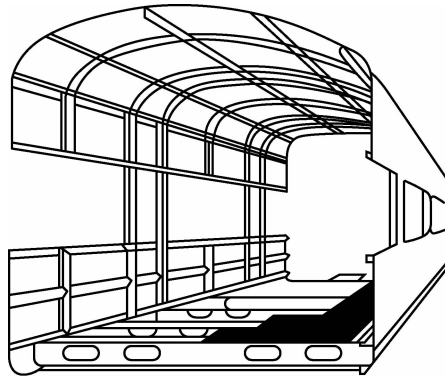


图 2-1 钢制车体的整体承载结构

3. 车体结构分析与基本要求

图 2-2 为城轨车辆车体的一般结构形式,由图可知城轨车辆车体底架是车体结构和设施的安装基础,承受城轨交通车辆的主要动、静载荷,因此要求底架必须具有足够的强度和刚度,底架也是城轨车辆生产制造和检修作业的重点。底架中部断面较大并沿其纵向中心线贯通全车的梁称为中梁,是底架的骨干。底架两侧边沿的纵向梁称为侧梁,侧墙固定其上。底架两端部的横向梁称缓冲梁(或端梁),端墙固定其上。在转向架的支承处设有枕梁,它是横向梁断面最大的梁。在两枕梁之间设有两根以上的大横梁。为了吊挂设备,铺设地板,底架上还设有若干小横梁和纵向辅助梁,中梁和枕梁承担载荷最大。

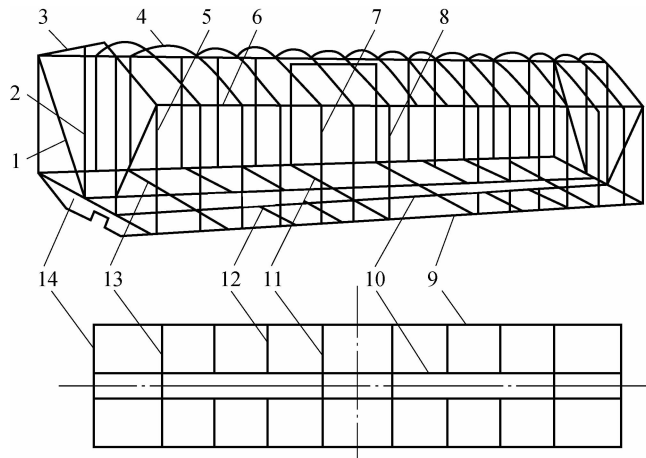


图 2-2 城轨车辆车体的一般结构形式

- 1—端斜撑; 2—端立柱; 3—顶端弯梁; 4—车顶弯梁; 5—角柱; 6—上侧梁;
7—侧立柱; 8—门柱; 9—侧梁; 10—中梁; 11—大横梁; 12—小横梁;
13—枕梁; 14—缓冲梁(端梁)



城轨车辆整体承载结构车体是由若干纵向、横向梁和立柱组成的钢骨架(也称钢结构),再安装内饰板、外蒙皮、地板、顶板及隔热、隔声材料、车窗、车门及采光设施等组成的,一般包括底架、端墙、侧墙、车顶、车窗、车门、贯通道、车内设施等。侧墙由杆件、墙板和门窗组成。杆件包括立柱、上弦梁、横梁和其他辅助杆件,它们与底架的侧梁结成一體。墙板由蒙皮和内饰板组成,蒙皮是用钢板、不锈钢板或铝合金板制成的,内饰板具有车内装饰的功能,经过阻燃处理。端墙结构与侧墙基本相同,除端梁外,还设有角柱、端立柱、上端梁、墙板等。车顶结构包括车顶弯梁、车顶横梁、车顶板等。

为满足安全运载乘客的需要,车体钢结构必须有足够的强度;为提高乘坐舒适度,车体必须具有足够的刚度,保证车体的自振频率与转向架的自振频率不一致,避免产生共振现象而降低乘坐舒适度。试验结果表明:转向架采用空气弹簧时,车体钢结构的自振频率应达到 8 Hz 以上。

车体是城轨车辆结构的主体与基础。车体的强度、刚度关系到城轨车辆运行的可靠性和舒适性;车体的重量则关系到能耗、加减速度、载客能力以及列车编组形式。车体结构形式、性能和技术经济指标主要取决于车体材料。对于车辆设计和制造而言,减轻车体自重和降低能耗是必须要解决的问题,其中的主要方法是车辆的轻量化。

2.1.3 车体结构的发展

城轨车辆车体结构由全木结构逐渐演变为钢制底架与木制车体的组合结构,再到铆接全钢结构;车体材料由钢制发展为轻量、耐腐蚀的不锈钢和铝合金;车体结构由骨架与外板构成的单壳结构,演变为以不锈钢双薄板结构和铝合金大型中空挤压型材结构为主的全双壳结构。目前,城轨车辆车体均采用整体承载的钢结构或轻金属结构,以达到满足强度和刚度要求的同时降低车辆自重的目的。我国地铁车辆的车体结构从 20 世纪 80 年代开始就采用耐候钢无中梁整体承载结构,车体侧墙、车顶的梁柱与蒙皮结合后与底架构成封闭断面,以增强车体的强度和刚度。到 20 世纪 90 年代又生产了断面为鼓形的地铁车辆,使其能更好地利用限界。《地铁车辆通用技术条件》(GB/T 7928—2003)规定我国地铁车辆车体采用整体承载结构。



典型案例

1. 西安地铁 2 号线车辆车体概述

西安地铁 2 号线车辆为 B2 型车,车体断面呈鼓形,可适度增加车体内部的有效空间,车体两侧采用内藏式双开电动拉门结构。车辆的车体不但能够承受自重、载重及列车在牵引、制动中产生的纵向载荷和运行检修中产生的斜对称载荷,而且还能够承受一列 6 辆编组的电动列车以 3~5 km/h 的速度进行车辆连挂时产生的纵向冲击力。车体的纵向静载荷为 800 kN,配置安装合理的缓冲吸能结构系统,进而提高车辆的安全

性,确保发生事故时对司乘人员具有更高的保护能力。

2. 西安地铁2号线车辆车体的钢结构

西安地铁2号线地铁车辆的车体钢结构采用薄壁、筒形整体承载结构,车体选用高强度不锈钢 SUS301L 系列为主要承载结构的材料。车体外表面不涂漆。车体为轻量化不锈钢结构,整车除端底架采用碳钢材料外,其余各部位均采用高强度不锈钢材料。各零部件间采用点焊连接,车体总组成也采用点焊连接。

车顶由波纹顶板、车顶弯梁、车顶边梁、侧顶板、空调机组平台、受电弓平台等几部分组成。车顶采用波纹顶板无纵向梁结构,与车顶弯梁点焊在一起,机组平台由纵梁、弯梁、顶板点焊组成部件,再与车顶通过点焊与弧焊组成一体。

侧墙主要由侧立柱,窗上、下横梁,门扣铁,侧墙上、中、下墙板(其中上墙板为冷弯型钢),门上横梁,侧墙下边梁等主要零部件组成。端墙为板梁点焊结构,主要特点是:端角柱向车体外端翻边,使之与车顶、侧墙的点焊工艺性更好,提高了点焊效率和质量。

底架采用碳钢端底架与不锈钢底架塞焊连接,主横梁与边梁利用过渡连接板实现点焊连接,底架边梁采用 4 mm SUS301L-HT 材料,以提高底架的整体强度和刚度。地板材料为 0.6 mm 厚的 SUS301L-MT 波纹板。整体冷弯成型,滚焊搭接,以保证密封性。波纹板与主横梁、枕梁、地板梁间采用电铆焊连接,提高了车辆承受纵向载荷的能力。在 T₁ 车前端设计中有一撞击能量吸收区,设计和制造该撞击能量吸收区的目标为:当一列 AW₀ 列车以 25 km/h 的速度与另一列 AW₀ 停止状态的列车相撞时,吸收列车的撞击能量,客室无损坏,并确保司机的安全。

任务 2.2 铝合金车体和不锈钢车体

铝合金车体和不锈钢车体是目前使用最多的两种新型材料车体结构,铝合金车体和不锈钢车体均属于轻型整体承载结构,主体材料分别是铝合金型材、不锈钢板材等,通常采用模块化结构或焊接组装。铝合金和不锈钢车体都有材料密度小、比强(结构的最大承载力与所耗材料重量之比)大的优点,在满足车体强度和刚度的条件下自重轻而倍受青睐。

2.2.1 铝合金车体

1. 铝合金材料的特性

铝合金材料具有以下特性:



(1)质轻且柔软,能轻量化制造。铝的密度为 $2.7\text{g}/\text{cm}^3$,约为钢密度($7.8\text{g}/\text{cm}^3$)的 $1/3$ 。

(2)强度好。纯铝的抗拉强度约为 80MPa ,是低碳钢抗拉强度的 $1/5$,经过热处理强化及合金化强化,其强度会大幅度增加。铝合金车体常用的材质 6005A-T6 ,它的最低抗拉强度为 360MPa ,能达到低碳钢相应的强度值。

(3)耐蚀性能好。铝合金的特性之一是接触空气时表面会形成一层致密的氧化膜,这层氧化膜能防止腐蚀,所以耐蚀性能好。若再实施“氧化铝膜处理法”,就可以全面防止腐蚀。

(4)加工性能好。车辆用型材挤压性能好,二次机加工、弯曲加工也较容易。

(5)易于再生。铝的熔点低(660℃),再生简单。在废弃处理时也无公害,有利于环保,符合可持续发展战略。

根据铝合金车体结构及制造、运用情况,选择材料时应遵循以下原则:从轻量化方面考虑,要求强度、刚度好,而重量轻;从寿命方面考虑,要求耐蚀性、表面处理性、维护保养性好;从制造工艺方面考虑,要求焊接性、挤压加工性、成型加工性高。根据以上原则,铝合金车体主要使用 5000 系列、 6000 系列、 7000 系列的铝合金。

2. 铝合金车体的特点

铝合金车体具有以下特点:

(1)能大幅度降低车辆自重,与碳素钢车体相比,铝合金车体自重减轻 $30\%\sim 35\%$,比强约为碳素钢车体的 2 倍。

(2)有较小的密度,铝合金对冲击载荷有较高能量吸收能力。

(3)运用大型中空挤压型材,提高车辆密封性能,提高乘坐舒适性。

(4)采用大型中空挤压型材制造的板块式结构,减少了连接件的数量和重量。

(5)减少维修费用,延长使用寿命。

3. 铝合金车体的形式

铝合金车体的结构有纯铝合金和混合铝合金车体两种形式。

(1)纯铝合金车体。纯铝合金车体可分为四种形式:

①车体由铝板和实心型材制成,铝板和型材通过铝制铆钉、连续焊接、金属惰性气体点焊等进行连接。

②车体结构是板条骨架结构,用气体保护的熔焊作为连接方法。

③在车体结构中应用整体结构,板皮和纵向加固件构成高强度大型开口型材。

④车体采用空心截面的大型整体型材,结构简单。

(2)混合铝合金车体。城轨车辆除纯铝合金车体外,还有钢底架的混合铝合金车体。

车体侧墙与底架的连接基本都采用铆接或螺栓连接的方式。其作用有两点：一是可避免热胀冷缩带来的问题，二是取消了成本很高的车体校正工序。

4. 铝合金车体的结构

图 2-3 是铝合金车体鼓形结构的断面简图,这种结构有质量轻、承载量大、外形美观等优点。

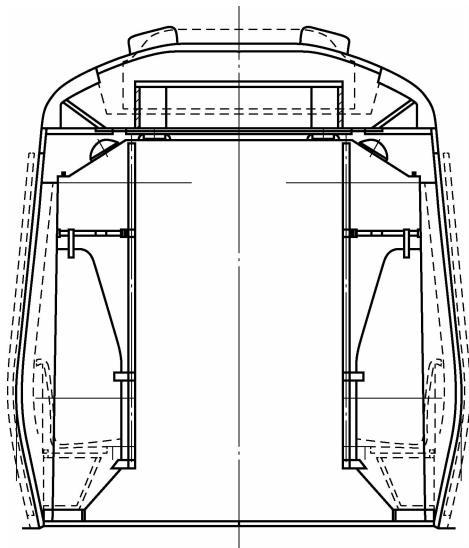


图 2-3 铝合金车体鼓形结构的断面简图

铝合金车体主要由以下几部分组成：

(1)底架。底架是车体的基础结构,底架结构模块包括地板、边梁、枕梁、牵引梁组件。边梁、枕梁、牵引梁采用连续焊接组合在一起,将地板、隔热隔声材料、底架下管路和电线槽预先与底架组成一体,然后与侧墙和端部模块连接,底架边梁在整个长度上与侧墙模块进行机械连接,在底架的架车位置进行局部加强。

(2)侧墙。侧墙由上墙板、下墙板、窗间墙板组成。侧墙由普通铝型材和中空铝型材焊接而成,在侧墙内侧预装有隔热隔声材料、车窗和内墙板。侧墙模块与底架和车顶模块之间用拉铆紧固联结。除了第一个客室门和司机室模块之间的小侧墙模块外,所有侧墙模块由 6 个焊接挤压型材组成,纵向布置,并加上采光设计。C 形槽与车内装饰安装件安装在一起,门和窗户支柱均有加强筋,也由挤压型材制成,为了减少扭曲变形,用铆钉把这些支柱安装在 6 个焊接的挤压型材上。8 个带窗户的大侧墙模块安装在车辆相应的位置,2 个小模块安装于所有车辆的端墙模块和末端客室门之间。

(3)车顶。车顶结构由车顶侧梁、车顶板和空调机组安装槽组成,B 车车顶结构还包括受电弓安装槽。车顶侧梁由 3 个部分组成,下部挤压型材件有侧墙模块的接口,并包

括门口,其特点与底架上边梁相同。中间挤压型材件具有侧墙和车顶的弯曲形状,上部挤压型材件包括车顶板插槽和内部安装卡槽的接口。车顶板与车顶侧梁和风道一起形成封闭的车顶,它包括 6 个纵向布置的小型挤压型材件。安装槽有一些纵向的小挤压型材件和安装空调机组及受电弓的支架,空调机组安装槽也包括与内部空调机组安装槽连接的接口槽。

(4)端墙(中间端)。端墙安装在客室的两端头,其作用是作为联结客室车体与贯通道(或司机室)的联结体,其结构包括地板、贯通道框架、侧墙部件。端墙上有许多结构部件和孔,它们用于内部和外部设备的安装联结。

5. 铝合金材料使用中应注意的问题

铝合金车体有许多优点,但在设计、制造中尚需注意许多问题,如铝合金选材、大型铝合金材料成型技术和铝合金结构焊接工艺的研究、铝合金材料疲劳特性和寿命的试验、结构优化设计、刚度和防腐的问题等。使用铝合金材料的车体多为焊接结构,且在大气条件下工作,因此要求铝合金材料不仅应具有适当的强度和刚度,还要求有良好的焊接性能,特别是焊缝性能要接近母材性能水平。铝合金的比重只相当于钢的 $1/3$,弹性模量也只有钢的 $1/3$ 。材料的刚度与弹性模量有关,因此,铝合金车体的设计不能采用钢质车体的结构形式,而应该充分利用新型铝合金的性能特点,采用大型中空挤压型材。

2.2.2 不锈钢车体

目前,我国城轨车辆制造企业引进国外先进技术生产了一系列具有先进技术的不锈钢车体,不锈钢车体在我国城轨车辆中占有绝对多的优势,新生产的城轨车辆基本上都采用不锈钢材料。

1. 不锈钢车体的结构

典型不锈钢车体由底架、侧墙、车顶、端墙等组成六面体整体承载结构,底架端部采用耐候结构钢材料,其余部分均采用高强度不锈钢材料。梁、柱间通过连接板相连接,模块构件结合及整体组成主要采用电阻焊接(点焊),形成不锈钢骨架结构,整个结构不涂漆。

(1)底架。底架为无中梁结构,主要由侧梁、牵引梁、枕梁、横梁及波纹地板组成,枕梁和牵引梁部位采用耐候钢材料。波纹地板选用标准的型材断面,在底架前后部与枕梁和端梁用塞焊焊接为一体。

(2)侧墙。侧墙的结构全部由不锈钢构成,由侧板、立柱、顶部横梁、门框等焊接成为

整体。侧墙结构设计时由门开口隔开,各部分采用模块化设计。

(3)车顶。车顶棚骨架结构由两个上弦梁、纵向梁、横梁一起焊接组成,骨架上面铺设不锈钢波纹板。空调安装梁及受电弓安装梁采用模块化设计,结构强度满足支撑空调机组、管道、照明系统托架、顶板、立柱和其他设备的要求。

(4)端墙。非司机室的端墙由不锈钢蒙皮、横梁和贯通道加强梁组成。

2. 不锈钢车体的特征

(1)外板的特征。不锈钢材料导热率极低,发生热应变较大,为使其热应变不致太明显,将侧墙外板做成波纹结构,波纹结构板在纵向和横向虽有刚性,但在剪切方向则较弱,因此在需要传递剪切力的地方必须另设剪切板。

(2)骨架结构的特征。根据车体部位的不同,使用不同高度的乙型材或帽型材,因此骨架的接头接合很复杂。制造轻型不锈钢车辆时,最困难的就是骨架构成。考虑箱形截面与外板组合,箱形截面对于承受横向载荷非常有效,组装以点焊为基础,结构难以处理的地方采用环形焊或塞焊。

(3)车辆用不锈钢材料的物理性能。不锈钢材料具有较低的热传导率和较高的热膨胀系数,焊接产生的热量不会很快地分散,大量的热量聚集在焊缝区域,不锈钢材料的热膨胀系数约为钢的 115 倍,使得在同样的热量情况下其变形比普通钢材变形要大很多。因此,不锈钢车体制造避免采用电弧满焊,应采用电阻点焊工艺。



典型案例

下面分别以南京地铁 2 号线车辆的铝合金车体和西安地铁不锈钢车体为例,认知铝合金车体和不锈钢车体的结构。

1. 南京地铁 2 号线车辆铝合金车体

南京地铁 2 号线车辆的车体采用铝合金材料制造,只有车体底架上的枕梁和端梁是采用高弹性极限钢材制造的,车体外壳由铝型材和机械焊接金属板制成的预装组件构成。

车体的主要特点是:车体的两端采用端板金属板封闭,头车在端部被驾驶室封闭,由铝型材和铝板制成的机械焊接组件构成;端部的另一个作用是支承贯通道;车顶由大型中空挤压铝型材组焊而成,主要由 7 块顶板和 2 种支撑件组成。

2. 西安地铁不锈钢车体

西安运营的地铁车辆都采用不锈钢车体,结构均为薄壁筒形整体承载焊接结构,由顶棚、侧墙、底架、端墙等部分组成。

(1)车辆顶棚。图 2-4 为西安地铁车辆的顶棚结构,其由波纹顶板、侧顶板、顶棚弯梁、上弦梁、空调机组平台等组成。

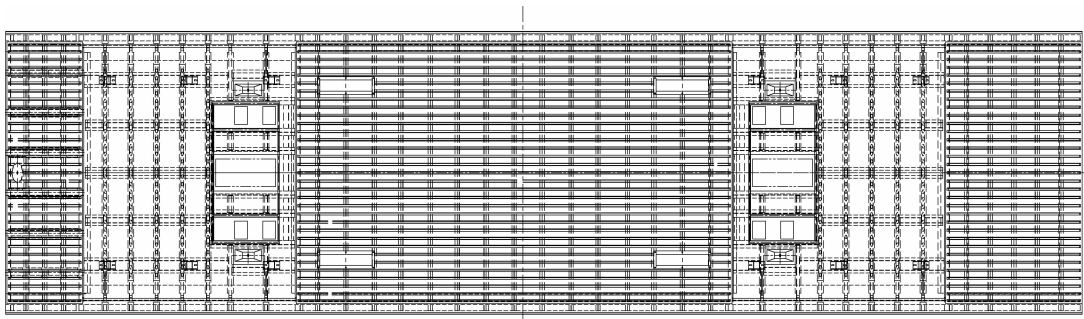


图 2-4 西安地铁车辆的顶棚结构

图 2-5 为空调机组平台示意图。空调机组平台采用模块化设计,组焊后的空调机组平台整体与顶棚弯梁、波纹顶板及车顶上弦梁组焊为一体;设计时充分考虑整个平台的强度和刚度。整个平台由横梁、纵梁等组成,装配各梁之间使用点焊形成框架结构。

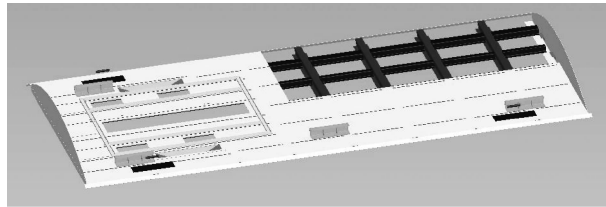


图 2-5 空调机组平台

(2)侧墙装配。图 2-6 为西安地铁车辆 T_c 车侧墙装配图。侧墙主要由连接板、分块侧墙、客室(司机室)门上梁装配、窗上板、客室(司机室)门框装配等组成。分块侧墙由门立柱装配、窗立柱装配、窗上梁装配、窗下梁装配、底部横梁等组成,部件之间均采用点焊连接。

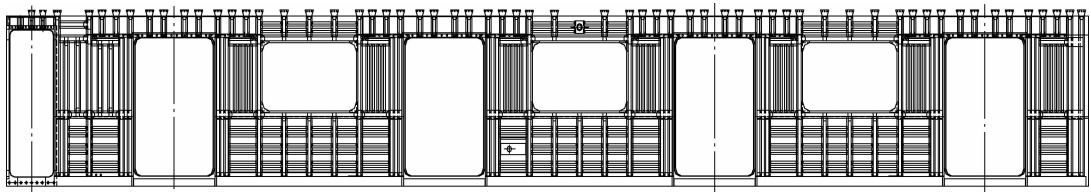


图 2-6 西安地铁车辆 T_c 车侧墙装配

(3)底架装配。如图 2-7 所示,底架装配主要由端底架、不锈钢横梁、波纹地板、不锈钢底架边梁等组成。T_c 车 1 位端底架主要由吸能结构、牵缓结构、枕梁等组成。一列空载 AW₀ 列车以 25 km/h 的速度与另一列空载 AW₀ 停止状态的列车相撞时,吸能结构吸收列车的撞击能量,确保客室无损坏,保证司机的安全。防爬装置用于防止列车相撞时,由于惯性过大,一辆列车攀爬至另一辆列车之上。

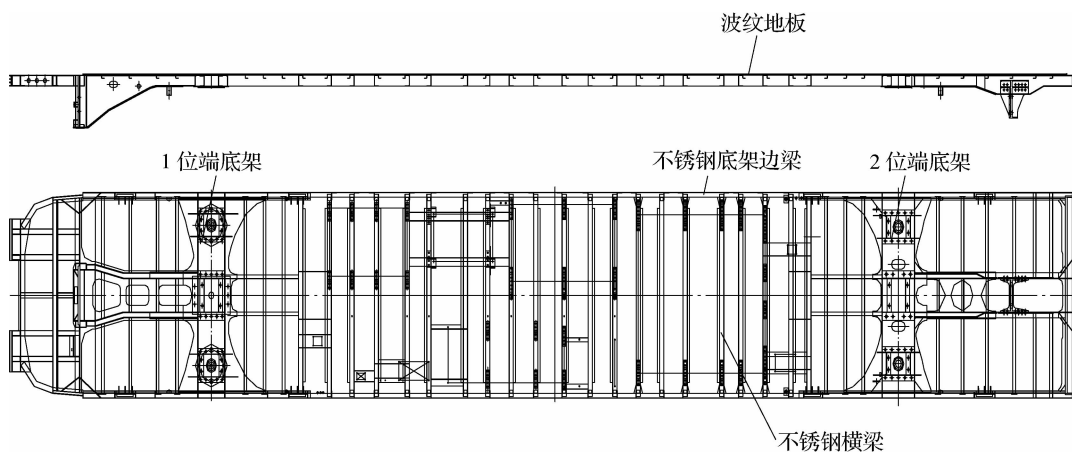


图 2-7 T. 车底架装配

任务 2.3 车体的模块化研究和车体材料应用

2.3.1 模块化结构车体

1. 模块化结构车体概述

城轨车辆的车体结构是全钢焊接结构,由底架、侧墙、车顶和端墙组装焊接而成,称为整体焊接结构或一体化结构。目前,模块化结构车体制造概念已经逐步扩大并开始实施,深圳地铁、广州地铁2号线、南京地铁1、2号线车辆均采用模块化结构设计制造。图2-8和图2-9分别是车顶模块和模块化结构车体的示意图。模块化结构车体结构与整体焊接结构车体相比,最显著的特点就在于将模块化的概念引入车体设计、制造与生产管理的各个环节之中。整体焊接结构车体是先制造车体结构的车顶、侧墙、底架、端墙、司机室等部件,然后进行整个车体总成焊接,车体总成后再进行内装、布管、布线。模块化结构车体设计则是将整个车体分为若干个模块,并解决相互之间的接口问题,各模块完成后即可进行整车组装。每一模块的结构部分本身采用焊接,而各模块之间的总成采用机械连接。

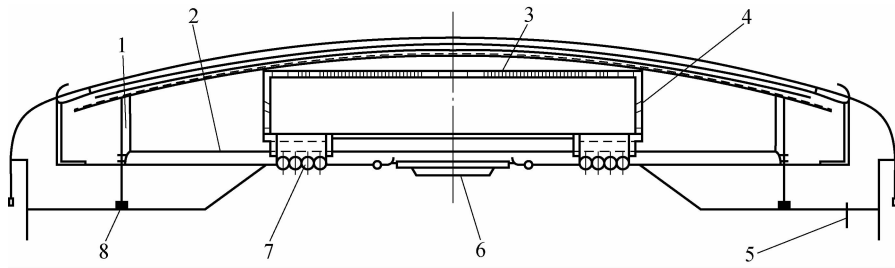


图 2-8 车顶模块

1—顶板吊梁；2—顶板横梁；3—空调风道；4—隔声、隔热材料；5—内部装饰；
6—灯带；7—出风口；8—顶板悬挂

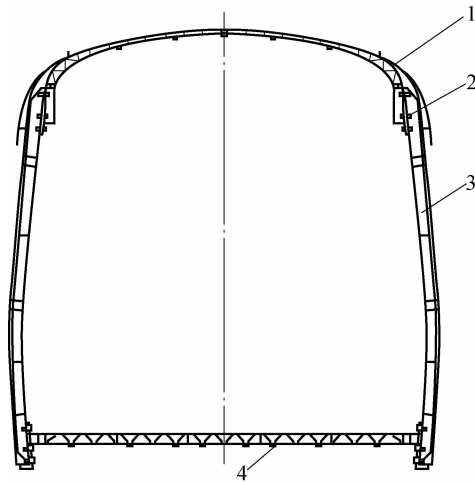


图 2-9 模块化结构车体

1—车顶模块；2—螺栓；3—侧墙模块；4—底架模块

2. 模块化结构车体的优缺点

模块化结构车体有其自身的优缺点。

(1) 模块化结构车体具有以下优点：

① 在每个模块的制造过程中均要注意验证质量。模块制成后均需进行实验，从而保证整车总装后实验比较简单，整车质量也容易保证。

② 每个模块的制造可以独立进行，并解决了模块之间的接口问题，因此，各模块和部件可以由不同的工厂同时生产。而且，模块化生产对总装生产线要求不高。

③ 可以改善劳动条件、降低施工难度、提高劳动效率、保证整车质量。

④ 可以减少工装设备、简化施工程序、降低生产成本。车辆检修可采用更换模块的方式进行，方便维修。目前，国内地铁车辆生产企业在模块化车体的设计、制造、实验与生产管理过程中已形成了整套的经验，从而保证了批量生产的质量。

(2)从车体结构局部来分析,模块化结构车体存在以下缺点:

①模块化结构的个别部件(如驾驶室框架)有的采用了部分钢材制造,各部件之间又采用了钢制螺栓连接,所以车体自重要比全焊结构稍重。

②由于车体是容纳乘客的场所,就车辆结构而言,其强度是保证乘客安全的关键特性,因此在设计过程必须进行详细的强度、刚度计算,在此理论的指导下进行设计。试制完成后,必须进行相应的实验,证实确实满足要求后,才能投入批量生产。

③为保证隔热、隔声性能,在车体组装后,在内部需喷涂隔声阻尼浆和安装玻璃棉或其他隔热、隔声材料。

④车体结构在使用中一般仅对表面涂装进行必要的维修,就结构自身而言,在正常工况下可以满足使用寿命 30 年的要求。如果由于事故和大修中需对车体某部件进行检查时,可以采用更换模块的方式进行,以减少维修工作量。

2.3.2 城轨车体材料

1. 基本情况概述

目前,城市地铁车辆车体材料有耐候钢、不锈钢和铝合金三种。自 1863 年英国伦敦建成世界上第一条地铁线以来,地铁车辆长期采用普通钢车体。因为普通钢车体强度低、重量大、能耗高、腐蚀重、维修量大、使用寿命短,自 20 世纪 50 年代开始,人们开始用不锈钢和铝合金取代普通钢车体。

不锈钢是一种含镍铬的高强度合金钢,其强度高于普通钢,特别是轻量化不锈钢的强度可达到普通钢的 3 倍,可使车体轻量化。不锈钢车体的耐腐蚀性优越,不但减少了维修工作量和维修费用,而且延长了车辆的使用寿命。因此,美国巴德公司最早于 20 世纪 50 年代生产了不锈钢车。日本东急车辆公司于 1959 年末从美国引进不锈钢车体技术,1962 年生产了日本最早的 7000 系全不锈钢车,到 2000 年累计生产不锈钢车约 12 000 辆。在加拿大庞巴迪拉柏卡尔夫工厂于 1982—1992 年累计生产的 1 546 辆客车中,不锈钢车占 89%。韩国韩进重工业公司 1995 年生产了 250 辆客车,不锈钢车占 80%。韩国汉城(现名为首尔)地铁 5 号线和釜山地铁也采用了不锈钢车体。莫斯科地铁也采用了不锈钢车辆。我国长春客车厂(现为中车长春轨道客车股份有限公司)1987 年生产了 2 辆 RW2 型不锈钢客车,1998 年又与韩国合作生产了 30 辆不锈钢客车,2002 年长春客车厂又中标承接了天津滨海快速轨道 116 辆不锈钢车的生产任务。

铝合金的比重只相当于普通钢的 1/3,弹性模量也只有钢的 1/3,在保证车体同等强度下,车体自重最大可减轻 50%;而且铝合金的耐腐蚀性好,可以延长车辆的使用寿命。因此,许多国家都在积极开发和生产铝合金车。1896 年,法国将铝合金用于铁道客车车窗上。1905 年,英国铁路电动车的外墙板采用了铝合金。美国在 1923—1932 年间有



700 辆电动车和客车的侧墙和车顶采用铝合金。1952 年伦敦地铁、1954 年加拿大多伦多地铁车辆均采用了铝合金车体。20 世纪 60 年代以来,德国科隆、波恩铁路的市郊电动车组也相继实现了车体铝合金化。日本从 1962 年的山阳地铁 2000 系开始采用铝合金车体,至 1999 年累计生产约 1 万辆。法国、德国、英国、俄罗斯等国家在高速铁路车辆上都采用了铝合金车体。20 世纪 90 年代以来,意大利米兰地铁、奥地利维也纳地铁以及新加坡地铁都采用了铝合金车辆。近年来,我国地铁车辆车体也采用了铝合金材料,上海地铁 1 号线、2 号线及明珠线,广州地铁 1 号线、2 号线及 3 号线,深圳地铁 1 号线、4 号线,南京地铁 1 号线等都采购了铝合金车体车辆。

2. 不锈钢车体和铝合金车体的技术性能

不锈钢车体和铝合金车体各有优点和缺点,应在确保安全可靠的前提下,结合地铁的特点和实际情况进行比较分析,决定是采用不锈钢车体还是铝合金车体。

(1)安全性。不锈钢的熔点是 $1\ 500\ ^\circ\text{C}$,铝合金的熔点是 $660\ ^\circ\text{C}$,铝合金的耐热性仅是不锈钢的 44%。在发生严重火灾的情况下,铝合金车体将会很快熔化,带来可怕的灾难性后果。相比较而言,不锈钢车体骨架难以熔化。在 2003 年 9 月莫斯科地铁发生的火灾事故中,车体钢骨架虽发生变形,但没有熔化。莫斯科地铁和纽约地铁车辆至今不用铝合金车体。因此,从乘客和设备安全性出发,为减少人员的伤亡和火灾事故的损失,应选用不锈钢车体。

(2)轻量化。从理论上讲,铝合金材料更能使车体轻量化。但是,铝合金的抗拉强度不如不锈钢强,铝合金的抗拉强度为 $274\sim 352\ \text{N}/\text{mm}^2$,而一般不锈钢的抗拉强度为 $520\sim 685\ \text{N}/\text{mm}^2$,采用超低碳(碳的质量百分比小于 0.03%)轻量化不锈钢的抗拉强度达到 $960\sim 1\ 200\ \text{N}/\text{mm}^2$,是铝合金的 2~5 倍。而且,铝合金刚度低,其弹性模量为 $0.71\times 10^5\ \text{N}/\text{mm}^2$,约是不锈钢($2.06\times 10^5\ \text{N}/\text{mm}^2$)的 1/3。因此,为保证地铁车辆有足够的承载强度和刚度,铝合金车辆必须采用大型中空型材及其组合件。为了提高铝合金车体断面系数,增大抗弯刚度,防止板材失稳,必须加大板厚,一般取钢板厚的 1.4 倍,最小为 2 mm,最大壁厚达到 6.5 mm。而不锈钢车体可采用板梁组合整体承载全焊结构,车体的梁柱板厚为 0.8~3 mm,车体外板厚为 0.4~1.2 mm,能有效地减轻车体自重,达到实现车体轻量化的目的。为充分保证地铁车辆不锈钢车体和铝合金车体的强度和刚度,根据国内外地铁车辆车体采用不锈钢和铝合金的实践经验,地铁车辆耐候钢车体自重为 9~10 t,不锈钢车体自重为 6~7 t,铝合金车体自重为 4~5 t。如果以耐候钢车体自重为基准,则不锈钢车体可减轻自重 30%左右,铝合金车体可减轻自重 50%左右。因此,铝合金车体轻量化效果比不锈钢车体更明显些。

(3)耐腐蚀性。不锈钢和铝合金车体都具有较好的耐腐蚀性,但不锈钢车体比铝合金车体更优越,由于不锈钢含铬量大于 12%,使铁的电极电位由 $-0.56\ \text{V}$ 突升至 $+0.2\ \text{V}$,使原电池腐蚀不易发生,这就显著提高了不锈钢车体的耐腐蚀性,在制造过程中不用进行

防腐保护,完工后也不需要涂漆。为提高车辆装饰性,可用彩色胶膜装修。铝合金车体由于在空气中铝合金表面形成一层致密的三氧化二铝保护膜而具有很好的防腐蚀能力。但铝合金车体在长期运用中,特别是在潮湿的环境下,遇到空气介质中的阴离子(如 Cl^-)就会产生局部原电池,发生点蚀、面蚀和变色,影响车体的强度和美观。所以大部分铝合金车体都要涂漆。因此,不锈钢车体的耐腐蚀性比铝合金车体要好些。

(4)工艺性。地铁车辆用的是铬镍型奥氏体不锈钢,强度高,冷加工性能好,但不能用热处理强化。奥氏体不锈钢的热膨胀系数是钢的1.5倍,热传导率仅为钢的1/3,电阻率大。这些就决定了不锈钢车体从设计到制造比钢结构车更复杂,多采用搭接方式,使用过渡件。不锈钢车体的焊接不能用电弧焊,为减少热量的输入避免晶界腐蚀及热变形,需用水冷却在2 min内降至室温,这就需要特殊的点焊机。由于不锈钢车体使用点焊工艺,车体的气密性较差,因而在高速车辆上使用受到限制。但对于低速的地铁、轻轨车辆是适用的。铝合金的焊接工艺复杂,手工操作难,容易产生较大的热应力变形、裂纹和气孔,焊缝区域机械强度低于母材。但铝合金具有良好的塑性,采用现代铝挤压成型技术,大型中空铝合金型材组成的铝合金车体得到了很快发展。目前,大型中空铝合金型材的铝合金车体可以是整体焊接结构,利用自动焊机连续焊接;也可用模块化结构采用特殊螺栓连接方式组合成铝合金车体。因此,铝合金车体与不锈钢车体虽具有不同的工艺性能,但通过采用不同的工艺手段,都能实现批量化生产。



典型案例

广州地铁2号线车体采用模块化结构制造,车体结构设计是整体承载的轻量化结构,采用大断面铝合金挤压型材、模块化设计制造而成。挤压型材由两块铝板通过中间夹层连接,且中间没有基板,因此也被称作为“中空型材”。底架、侧墙、端墙、车顶被焊接成车辆壳体,形成一个整体承载结构,各模块化部件之间通过螺栓、垫圈、螺母连接成一体构成车体合件,这充分发挥了车体各个构件的强度,并大大提高了车体的整体刚度。此外,由于是由强度重量比较大大型铝合金挤压型材焊接而成的,因而车辆自重大大降低,这不仅提高了车体的承载能力,对于降低能量消耗、节约运营成本、延长线路钢轨的使用寿命等也具有重要的意义。

广州地铁2号线电动客车的车体主要由以下几部分组成:

(1)底架。底架的主要作用是承受车体上部载荷并将其传递给整个车体,承受各种原因引起的横向力和走行部传来的各种振动和冲击。底架由以下几部分构成:侧梁、底架、挤压板、底架端部附属部件。底架设备包括转向架、轮对、驱动装置、空气压缩机、空气干燥器、空气控制屏(包括制动控制单元)、供风缸、辅助逆变器、DC/AC逆变器。

(2)侧墙。侧墙也是由多个空腔结构按纵向分布组成的,由中空截面的铝合金挤压型材焊接而成。侧墙内安装有窗玻璃、照明灯、5对内藏式对开门、乘务员锁开关。此外,A车侧墙还装有两扇单开的司机室侧门。



(3)端墙。车辆端部为简单的焊接结构,过渡设备用框架固定。

(4)车顶。车顶由几个空腔部分按照纵向排列组成,包括拱形顶梁。每节车顶主要装有8个静通风口、2个空调设备及其换气连接、电力供应、排水装置。此外,A车车顶装有受电弓及其连接装置、车辆无线电天线等。

城轨交通车辆车体选用何种材料不但影响车体的强度和刚度,直接关系到车辆运行的安全性和乘客的舒适性,还关系到车辆的载客能力和能耗大小,也关系到车辆检修工作量和使用寿命,并且影响到车辆采购费和运营维修费的高低。因此,选择地铁车辆车体材料时,不但要考虑车辆的采购价格,还要考虑车辆长期运行时的运营和维修费用。

任务 2.4 车 门

车门是城轨车辆中与运营安全有直接密切关系的重要设施,车门按用途可分为客室侧门、司机室侧门、司机室和客室之间的间隔门、紧急逃生门。其中,客室侧门和司机室侧门的使用频率最高,间隔门和紧急逃生门的使用频率较低。

2.4.1 客室侧门

1. 客室侧门的基本要求

根据城轨车辆服务的特点,车辆的客室侧门应满足以下基本要求:

- (1)有足够的有效宽度,客室侧门的有效开度在1.3 m左右,方便乘客上下车。
- (2)数量足够,均匀分布,每侧均匀分布有4~5套门,方便乘客上下车。
- (3)车门附近有足够空间,方便乘客在上下车时有足够的周转空间。
- (4)有较高的可靠性,确保乘客安全。

2. 客室侧门的结构形式

按车门运动轨迹和安装方式,客室侧门有内藏嵌入式移门、外挂式移门、塞拉门、外摆式车门等。

(1)内藏嵌入式移门。内藏嵌入式移门简称内藏门,在开关车门时,门页在侧墙的外墙板与内饰板之间的夹层里移动。传动机构在车厢内侧车门顶部,门页在导轨上移动。双扇电动内藏门的驱动机构包括机械控制部分和电气控制部分。机械控制部分由传动导向装置、内外侧紧急解锁装置、故障隔离锁等设备共同组成。电气控制部分的传动导向装置由门控器、驱动电机及实现自动门功能的其他附件构成。传动导向装置由安装底板、门扇吊挂部件、传动装置、中央锁等部件组成。

(2)外挂式移门。外挂式移动门与内藏式移门的主要区别在于门页和悬挂机构始终

位于侧墙的外侧,车门传动机构的工作原理与内藏嵌入式移门的工作原理相同。

(3)塞拉门。塞拉门在开启状态时,门页贴靠在侧墙的外侧,车门在关闭状态时门页外表面与车体外墙成一个平面,这样不仅使车体外观美,还有利于在高速行驶时减少空气阻力,车门不会因空气涡流产生噪声,也便于自动洗车装置对车体进行清洗。塞拉门的开关动作是门页借助车门上方安装的悬挂机构和导轨导向作用,在电机驱动机械传动机构的作用下沿着导轨滑移。其结构如图 2-10 所示。

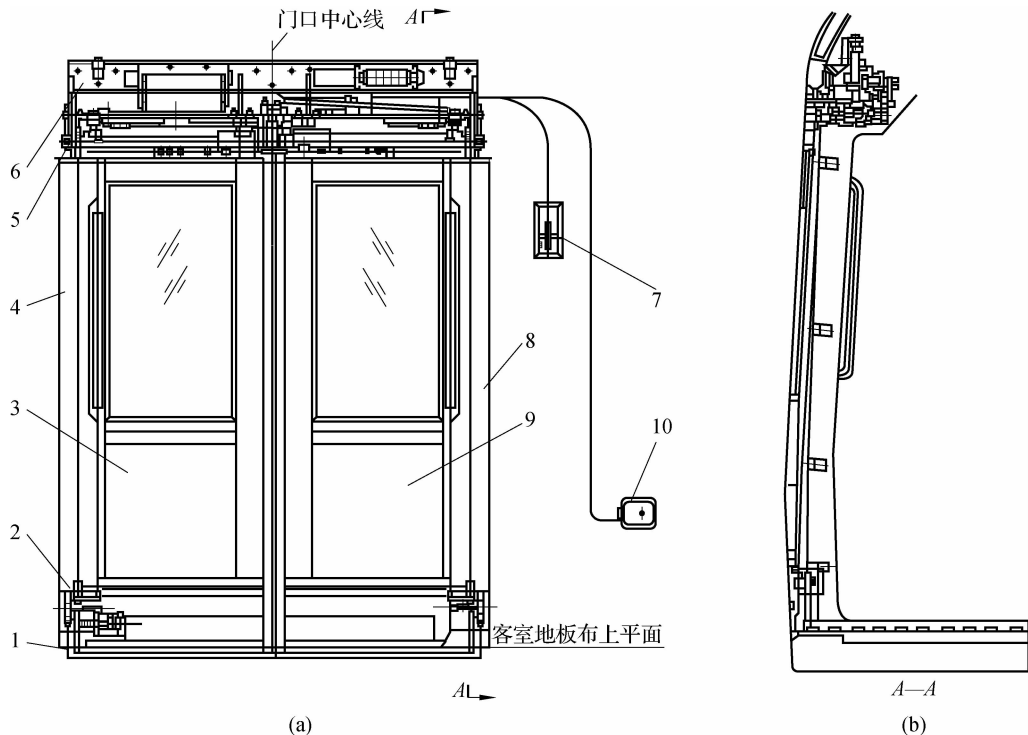


图 2-10 BODE 公司外开电控气动塞拉门结构

- 1—门槛; 2—隔离锁开关; 3—左门板; 4—左立罩板; 5—偏心轮; 6—顶部机构;
7—内部解锁机构; 8—右立罩板; 9—右门板; 10—外部解锁机构

(4)外摆式车门。开门时通过转轴和摆杆使门页向外摆出并贴靠在车体的外墙上,门关闭后门页外表面与车体形成一个平面。这种车门的结构特点是在门开启的过程中,门页需要较大的摆动空间。

2.4.2 司机室侧门

司机室侧门一般采用折页门或者手动塞拉门,塞拉门具有良好的密封性、隔热性和隔声性。塞拉门分为内塞拉门和外塞拉门。轨道交通车辆一般采用外塞拉门,即车门由外塞入车门口处,使之关门密封。单扇手动塞拉门系统适用于最高时速不大于 100 km/h 的地铁轻轨客车。



2.4.3 间隔门

图 2-11 为司机室和客室之间的间隔门,其主要用于分隔驾驶室和客室,紧急情况下,乘客可以通过该门进入驾驶室,再通过紧急逃生门从逃生梯进入隧道,离开列车。



图 2-11 间隔门

2.4.4 紧急逃生门

为应急使用,城轨列车一般在两端有驾驶室的车厢设置紧急逃生门,A 型车在驾驶室的中间位置设置紧急逃生门,B 型车在驾驶室偏左侧位置设置紧急逃生门。遇到紧急情况时,相关人员打开紧急逃生门,可安全离开列车。

2.4.5 车门的工作原理

以客室侧门为例,客室侧门按照驱动系统和动力源不同分为电控气动门和电控电动门。

1. 电控气动门

电控气动门是由压缩空气驱动传动气缸,再通过机械传动系统和电气控制系统完成车门的开关动作的。机械传动系统的作用是将传动气缸活塞杆的运动传递至车门,使车门动作。电气控制系统包括气动门控制、再开门控制、车门动作监视、列车控制电路联锁等内容。其作用是保证车门动作的可靠和行车安全。车门的电气控制系统一般采用电子控制技术,可根据乘客和司机的不同要求编制程序,修改操作过程。自动监控装置具有全方位监控车门系统、自动故障报警和记录等功能。为了防止车门夹伤乘客,现代自动车门还具有防夹功能。根据欧洲标准规定,在关门时最大挤夹力应小于 200 N,在开门时最大挤夹力应小于 250 N。

图 2-12 是广州地铁 1 号线车辆客室侧门系统,其主要由左、右门叶,上部、下部导

轨,安装支架,门切除装置,紧急解锁装置,解锁钢绳等组成。

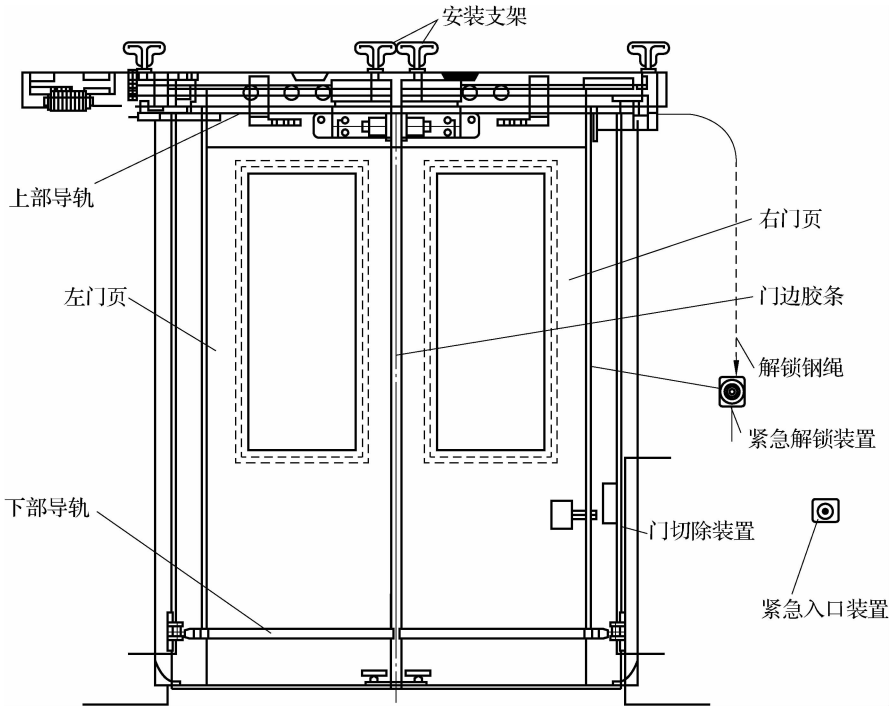


图 2-12 广州地铁 1 号线车辆客室侧门系统

图 2-13 是广州地铁 1 号线车辆客室侧门的电控气动控制原理图,车门的控制是通过电控制压缩空气,再由压缩空气驱动车门的驱动风缸,通过机械传动系统完成车门的开、关动作的。

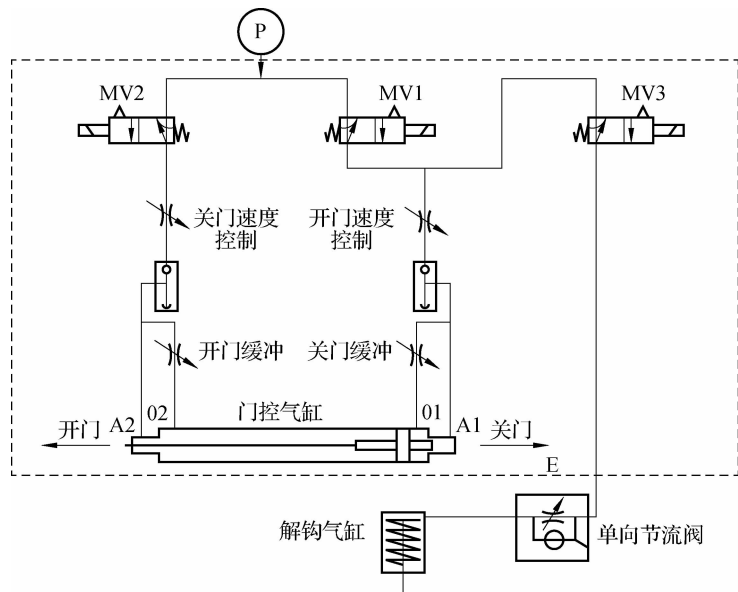


图 2-13 广州地铁 1 号线车辆客室侧门的电控气动控制原理



(1) 组成部件。

① 中央控制阀。图 2-14 是车门的中央控制阀装置,它集成安装了 MV1、MV2、MV3 三个电磁阀,车门开关门速度节流阀和开关门缓冲节流阀,快速排气阀等部件。

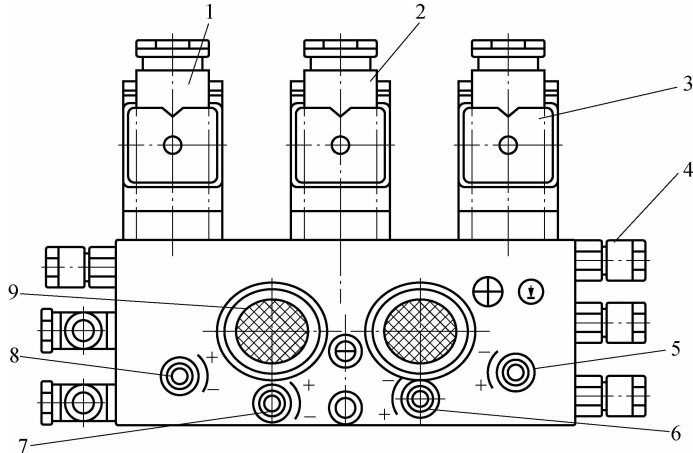


图 2-14 车门的中央控制阀装置

1—关门电磁阀 MV2; 2—解锁电磁阀 MV3; 3—开门电磁阀 MV1; 4—气路连接头; 5—关门速度节流阀;
6—关门缓冲节流阀; 7—开门缓冲节流阀; 8—开门速度节流阀; 9—排气孔消声片

- 关门电磁阀 MV2: 在关门电磁阀的通常状态下(失电),车门驱动风缸排气。
- 开门电磁阀 MV1: 在开门电磁阀的通常状态下(失电),车门驱动风缸及解锁风缸都处于排气状态(通向大气)。

- 解锁电磁阀 MV3: 解锁电磁阀得电时,解锁风缸与气路相连接,当有空气进入时,锁钩就会被顶开。当该电磁阀处于通常状态下(失电),解锁风缸排气,活塞缩回,锁钩在扭簧作用下复位。

- 节流阀: 在中央控制阀中共有 4 个节流阀,分别为开门速度、关门速度、开门缓冲、关门缓冲调节节流阀。向“+”方向旋转,表示供气量增大;反之,表示供气量减小。

- 快速排气阀: 在中央控制阀中共有两个快速排气阀,驱动风缸两端是通过快速排气阀向大气排气的。它的排气口是常开的,当驱动风缸通过它充气时,其阀芯将排气口关闭。

② 驱动风缸。每个车门都设有一个单向作用的驱动风缸,用于实现门页的开、关动作。该风缸在一个行程末端有缓冲作用。驱动风缸活塞杆用活塞杆托架连接在左门页上。开门行程受安装在导轨上的止挡的限制。风缸和中央控制阀之间用尼龙管连接。

③ 解钩气缸。解钩气缸用来执行门锁解钩动作。

④ 车门行程开关。

- 车门锁闭行程开关 S1。图 2-15 是车门锁闭行程开关 S1。锁闭行程开关 S1 用于检测车门是否正确锁闭,S1 位于车门控制机构的中央。从车内观察,该开关位于紧急开

门手柄的后面,通过锁钩上的凸轮操纵。当车门锁钩被顶开时,凸轮旋转使 S1 动作。

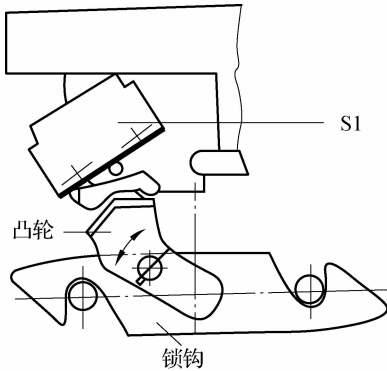


图 2-15 车门锁闭行程开关 S1

• 车门关闭行程开关 S2。图 2-16 是车门关闭行程开关 S2,它主要用于检测车门门页是否关闭到位。该行程开关的动作通过安装在右门页上的碰块触发。

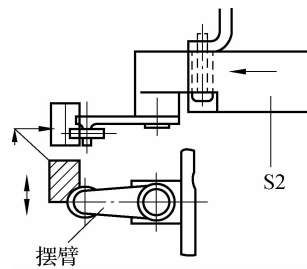


图 2-16 车门关闭行程开关 S2

• 车门切除行程开关 S3。图 2-17 是车门切除行程开关 S3,它用于检测车门是否切除。当单个车门发生电路检测故障时,可以通过方孔钥匙切除该车门,S3 行程开关的触点接通将旁路该门的 S1、S2 行程开关。

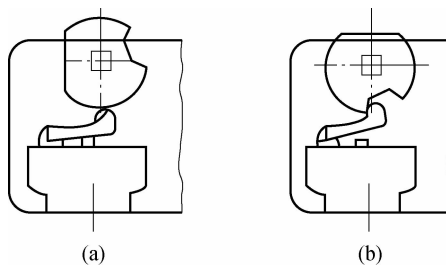


图 2-17 车门切除行程开关 S3

(a)S3 动作 (b)S3 不动作

• 车门解锁行程开关 S4。图 2-18 是车门解锁行程开关 S4,它安装在车门控制机构中央的紧急开门手柄上方,由紧急开门手柄上的凸轮操纵。紧急情况下拉下紧急解锁



手柄后, S4 的触点断开, 使中央控制阀的 MV2 电磁阀失电, 驱动风缸左腔的压力空气排往大气, 这时可以通过双手把门页打开。

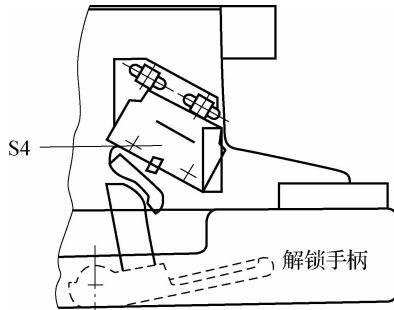


图 2-18 车门解锁行程开关 S4

(2)工作原理。以图 2-13 所示的广州地铁 1 号线车辆客车侧门的电控气动控制原理为例, 假设压缩空气从 P 口进入。

①开门: MV1、MV3 得电, 而 MV2 失电。气路的动作过程如下:

- 进气。

压缩空气—MV1(得电)—MV3(得电)—单向节流阀—解钩气缸—顶开锁钩。

压缩空气—开门节流阀—门控气缸进气口 A1—活塞杆外伸。

- 排气。

活塞左移—门控气缸排气口 A2—开门缓冲节流阀—快速排气阀—大气。

当活塞的左端头进入气缸左端的小直径处则 A2 出口被封堵, 大气缸内的气体只能从 O2 一个出气口并经过开门缓冲节流阀到快速排气阀最终排至大气。由于 A2 出口被堵, 整个排气速度大大降低, 从而使开门的速度有了一个极大的缓冲。

②关门: MV2 得电, 而 MV1、MV3 失电。气路的动作过程如下:

MV3(失电)—解钩气缸排气活塞缩回—锁钩落锁复位。

- 进气。

压缩空气—MV2(得电)—关门速度节流阀—门控气缸进气口 A2—活塞杆缩回。

- 排气。

活塞杆右移—门控气缸排气口 A1—关门缓冲节流阀—快速排气阀—大气。

关门缓冲的原理与开门缓冲的原理相同。由于活塞杆的端头与左门门页及钢丝绳的一端相连接, 而右门页与成环形绕接的下层钢丝绳相连接, 故左、右门页在活塞杆运动时能同步反向移动。而运动的速度则是先快后慢, 最后使门页完全关闭或打开。

2. 电控电动门

电控电动门是由电机、传动装置(轴、磁性离合器、皮带轮和齿形皮带)、控制器、闭锁装置和紧急开门装置组成的。齿形皮带与两个门翼相固定, 闭锁和解锁所需的扭矩由

电机提供。另一种电气驱动装置为电机通过一根左右同步的螺杆和球面支承螺母驱动滚珠摆动导向件和与其固定的门翼。在客室车厢的每一侧有4个车门。每个车门配有二个电动塞拉门页。由于塞拉门与车体在同一平面内,能保持列车较好的流线型,所以具有密封性好、空气阻力小等特点。但塞拉门的结构复杂,且造价较高。

(1)客室侧门的结构。图2-19是广州地铁3号线车辆客室塞拉门结构,其主要由车门驱动(或称电子门控)单元(electrical door control unit,EDCU)、紧急解锁装置、车门隔离装置、止动销、下部导轨、门页等组成。

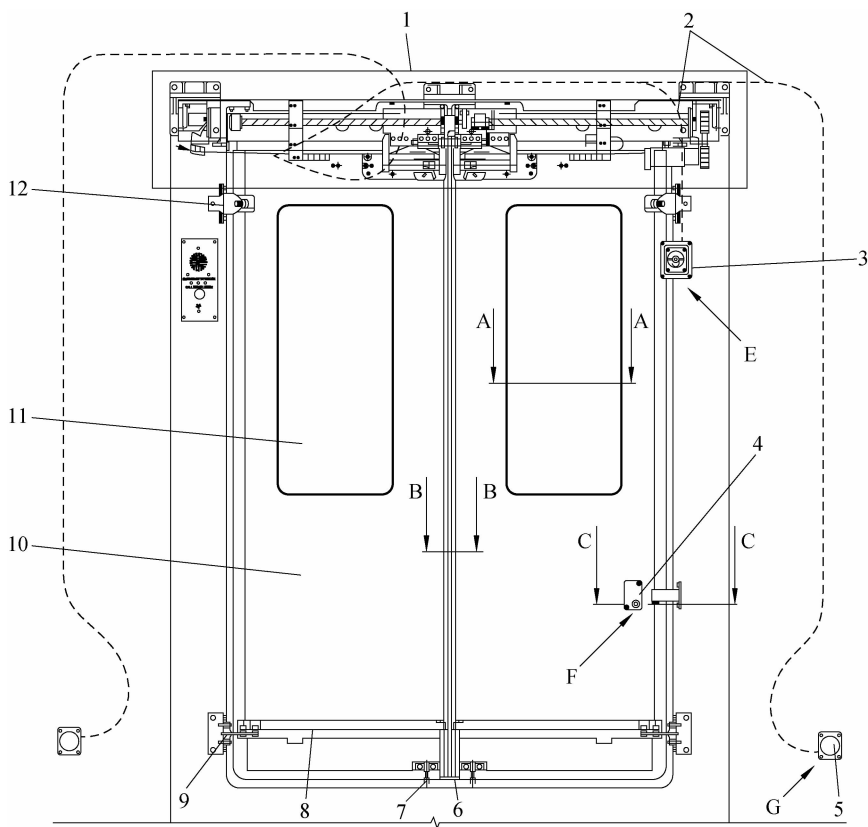


图2-19 广州地铁3号线车辆客室塞拉门结构

- 1—车门驱动单元; 2—电缆; 3—内紧急解锁装置; 4—车门隔离装置; 5—外紧急解锁装置(仅7、8号有);
6—手指保护橡胶; 7—止动销; 8—下部导轨; 9—滚子摇臂; 10—门页;
11—玻璃; 12—支撑滚子

①内紧急解锁装置。每个客室门在车内门柱盖板的右侧安装内紧急解锁装置,内紧急解锁装置是一个带有锁定点的扭转手柄,可以手动操作。要操作此扭转手柄,必须首先手动取下透明塑料盖,然后将扭转手柄转动至其锁定点(垂直位置)。在紧急情况下,使用扭转手柄启动相应紧急出口装置后,车门会被解锁。只有列车完全停稳后,车门才可被手动推开。



②外紧急解锁装置。每节车厢在外部配有两个外紧急解锁装置,分别位于车厢的左、右两侧,以便相关人员在紧急情况下可以使用方孔钥匙从车厢外部开启后边的两个客室侧门,进入列车内部。

③其他装置。每个客室门上均安装有一套手动紧急解锁系统。此外,每个客室门还包含一个用方孔钥匙操作的手动隔离装置,用来将相应的客室门锁定在关闭位置,并将其车门电控单元与车厢电源断开。

(2)塞拉门的工作原理。图 2-20 是塞拉门的工作原理。塞拉门借助于车门上端的传动机构和导轨工作。车门处于开启状态时,门页贴靠在侧墙的外侧;车门处于关闭状态时,门页外表面与车体外墙成一平面。

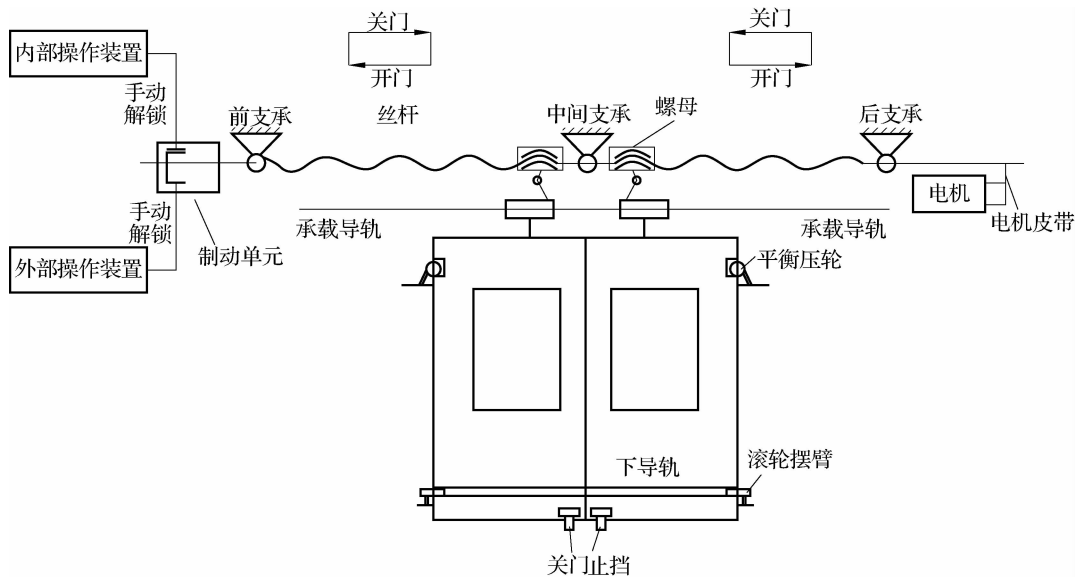


图 2-20 塞拉门的工作原理

①车门的开、关过程。

• 开门。当车门 EDCU 接收到开门信号时,EDCU 会输出电信号驱动电机往开门方向工作,电机通过皮带把转动力矩传送给丝杆(一半为左旋,另一半为右旋),丝杆运动将会带动与之啮合的螺母运动,螺母通过携门架与门页连接,从而带动门页同步运动。当车门打开到最大开度时,EDCU 将会输出车门制动信号给制动单元,制动单元将会对车门丝杆进行制动,使丝杆停止转动。

• 关门。当车门 EDCU 接收到关门信号时,输出电信号驱动电机往关门方向工作。电机通过皮带把转动力矩传送给丝杆,丝杆运动将会带动与之啮合的螺母运动,螺母通过携门架与门页连接,从而带动门页同步运动。当车门关好并触动锁闭行程开关 S1 时,EDCU 接收到车门已关闭的信号后,将会输出车门制动信号给制动单元,制动单元将会对车门丝杆进行制动,使丝杆不能运动;同时关门止挡进入嵌块的导槽里,以防止门页

在纵向和横向上的运动,平衡压轮也会把门页压紧在加强点上,以保证门页在运行过程中不会因为负压太大而产生抖动。

②车门的控制原理。图 2-21 是电子门控单元 EDCU 的工作原理,EDCU 是车辆电源和车门机械操纵机构之间的接口。它的作用是使车门具有零速保护和**安全联锁电路,开关门有报警装置。

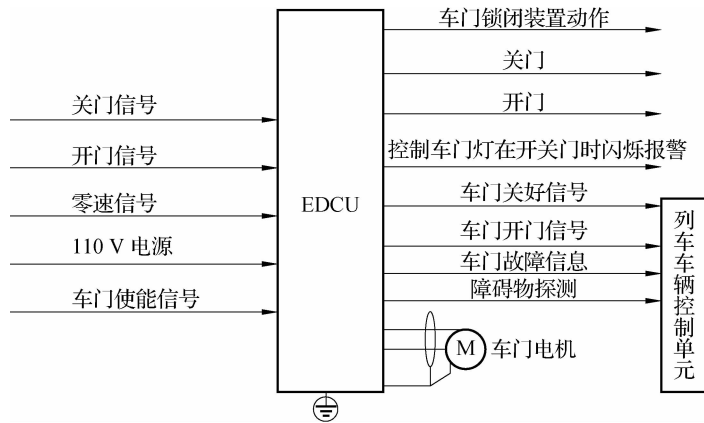


图 2-21 电子门控单元 EDCU 的工作原理

图 2-22 是广州地铁 3 号线车辆车门控制单元结构,其主要有两种结构:一种是车门主控制器,另一种是车门本地控制器。

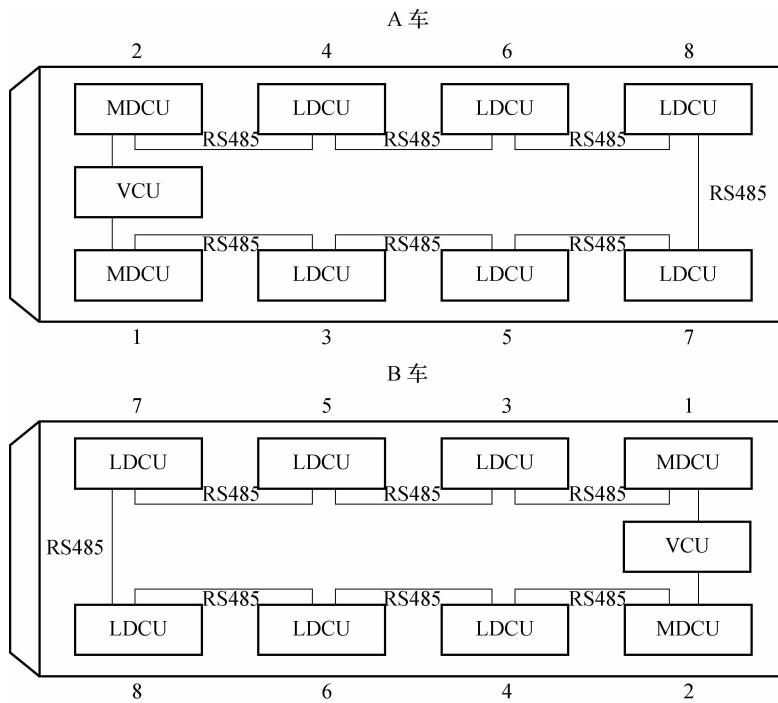


图 2-22 广州地铁 3 号线车辆车门控制单元结构



每个客室门均由一个独立的 EDCU 控制。客车室 1 号和 2 号的 EDCU 均配有一个主控卡,通过多功能车辆总线(multifunction vehicle bus,MVB)实现与其他车厢的信息交换。其中一个带有主控卡的电子门控单元 EDCU(或主车门控制单元 MDCU, master door control unit)用来执行与整车控制器(vehicle control unit,VCU)的通信任务;另一个 MDCU 则作为主控冗余,在前一个 MDCU 出现故障的情况下接管主控功能。其他客室门(3~8 号)则由不带主控卡的本地车门控制单元(local door control unit,LDCU)控制,可通过一个 RS485 接口与 MDCU 进行单独通信。

EDCU 包括内部电源、微控制器和程序存储器。微控制器驱动车门电机并控制电机转矩以及电机电流和速度。EDCU 提供每种车门组件(如电机、制动单元、车门行程开关等)所需要的所有电源。

城轨车门控制器的输入和输出信号由软件控制,并可通过更新软件来实现车门功能的更改。

思考与练习

- (1)简述车体的作用、种类和基本结构。
- (2)按车体承载特点分类,车体结构形式有哪几类? 各有什么特点?
- (3)简述铝合金和不锈钢车体的结构组成和各组成部分的结构特点。
- (4)什么是模块化结构车体? 其有何优缺点?
- (5)简述车门的分类和车门的基本结构组成。
- (6)车门的结构形式有哪几类? 各有什么特点?
- (7)简述车门的控制原理。



学习目标

- (1) 掌握转向架的作用、组成及分类。
- (2) 正确分析转向架的基本结构、作用原理。
- (3) 掌握典型转向架的结构特点。

转向架是支承车体、承受载荷、引导车辆运行的装置,车体可以相对于转向架使车辆顺利通过曲线。转向架上的弹簧减振器装置可提高车辆的运行品质,动车转向架上有牵引传动装置。

任务 3.1 转向架基础知识

转向架位于车体和钢轨之间,承受垂向载荷,引导车辆沿轨道运行;为使车辆能顺利通过曲线,在车辆车体与转向架之间配有心盘回转装置。城轨车辆两端各安装一台两轴转向架,其性能直接影响城轨车辆的运行品质和行车安全。

3.1.1 转向架的作用和组成

1. 转向架的基本作用

转向架的基本作用如下:

- (1) 增加车辆的载重、长度和容积,提高列车的运行速度。



(2)保证在正常运行条件下,车体可靠坐落在转向架上,通过轴承装置使车轮沿着钢轨的滚动转化为车体沿线路的平动运行。

(3)支承车体,承受、传递车体与轮对、钢轨与车体之间的载荷及作用力,使轴重均匀分配。

(4)适应轮轨接触状态的变化,充分利用轮轨之间的黏着传递牵引力和制动力。

(5)保证车辆安全运行,能灵活地沿钢轨运行,并顺利通过曲线。

(6)空气弹簧悬挂装置可根据客流的变化调整刚度,保证车辆客室地板面高度与站台高度一致,方便乘客上下车。

(7)弹簧减振装置使转向架具有良好的减振性能,以缓和车辆与线路之间的作用,减小振动和冲击,提高城轨车辆运行的平稳性和安全性。

(8)动力转向架上还有便于安装牵引电机、传动装置的结构。

(9)转向架是车辆的一个独立部件。在转向架与车体之间的连接件要少,结构应简单,应方便装拆,便于转向架独立制造和维修。

2. 转向架的组成

城轨车辆普遍采用二轴构架式转向架,采用无摇枕结构。一般均具有以下主要特点:一系悬挂主要有金属螺旋弹簧、“人”字形(或称“八”字形)和锥形金属橡胶弹簧结构,二系悬挂主要由空气囊加橡胶金属叠层弹簧构成。转向架的基本组成如下:

(1)轮对与轴箱装置。轮对直接向钢轨传递重量,通过轮轨之间的黏着产生牵引力和制动力,并通过车轮的回转实现车辆在钢轨上的运行(平移)。轴箱与轴承装置是连接构架和轮对的活动关节,它除了保证轮对进行回转外,还能通过轮对适应线路不平顺条件,相对于构架实现上下、左右和前后运动。轮对除传递车辆的重量外,还传递轮轨之间的各种作用力。

(2)弹性悬挂装置。为减少线路不平顺和轮对运动对车体产生的各种动态的影响,转向架在轮对与构架或构架与车体(摇枕)之间,设有弹性悬挂装置。前者称为轴箱悬挂装置,后者称为摇枕(或中央)悬挂装置,也即一系悬挂装置和二系悬挂装置。一系悬挂装置用来保证一定的轴重分配,缓和线路不平顺对车辆的冲击,并保证车辆运行的平稳性,主要包括轴箱弹簧、垂向减振器、轴箱定位装置等。二系悬挂装置用以传递车体与转向架间的垂向力和水平力,使转向架在车辆通过曲线时能相对于车体回转,并进一步减缓车体与转向架间的冲击与振动,同时必须保证转向架的安全平稳。其主要包括二系弹簧、各方向减振器、抗侧滚装置和牵引装置。

(3)构架。构架是转向架的基础,主要包括侧梁、横梁、案卷及其他零部件的安装或悬挂座,构架将转向架的各个零部件组成统一整体,不但其要承受、传递各种载荷和作用力,而且其结构、形状和尺寸都应满足基础制动、弹性减振、轴箱定位等零部件组装的

要求。

(4)制动装置。转向架制动装置指的是基础制动装置,主要包括制动缸、放大系统、制动闸片和制动盘,其作用是传递、放大制动缸的制动力,并将其传递给闸瓦或闸片,利用闸瓦与车轮踏面或闸片与制动盘的摩擦而产生制动力。

(5)驱动装置。驱动装置安装在动车转向架上,包括牵引电机、车轴齿轮箱、联轴节或万向轮、各种悬吊机构,作用是让牵引电机的扭矩转化为轮对或车轮上的转矩,利用轮轨间的黏着作用驱动车辆沿钢轨运行,牵引电机在列车运行中还起着产生牵引力和电制动力的作用。

(6)转向架中心牵引装置。转向架中心牵引装置由中心销系统和牵引拉杆组成,包括中心销、牵引拉杆系统;主要作用是传递牵引力和制动力,完成转向架相对于车体的回转运动,架车时悬吊转向架。

3.1.2 转向架的主要技术要求和设计原则

设计转向架应满足相应的技术要求和设计原则。

1. 转向架的主要技术要求

- (1)保证最佳的黏着条件,轴重转移应尽量少,轮轨间不产生黏-滑振动。
- (2)保证良好的力学性能,减少轮轨间的动作用力,减少轮轨间的应力和磨耗。
- (3)重量轻且工艺简单,以减轻自重,且制造和修理工艺应简单容易。
- (4)具备良好的可接近性,便于检修。
- (5)零部件标准化和统一化。

2. 转向架的设计原则

- (1)应采用高柔性空气弹簧悬挂系统,以获得良好的振动性能。
- (2)采用高强度、轻量化的转向架结构,以降低轮轨间的动力作用。
- (3)采用有效抑制蛇行运动的措施,提高转向架的动力学性能。
- (4)采用复合制动模式,除采用空气制动装置外,还可考虑采用黏着和非黏着制动方式。

3.1.3 转向架的种类

由于性能、结构、参数、材料、工艺等的不同,转向架有各种不同的类型。各类转向架的主要区别表现在轴数、轴重、轴箱定位方式、弹性减振装置形式、载荷传递方式等方面。

1. 按轴数和轴重分类

按车辆的轴数分,有 2 轴、3 轴和多轴转向架。城轨车辆一般是 2 轴转向架,也有采用单轮对的转向架。轨道交通车辆按轴重分,有 B、C、D、E、F 轴转向架,城轨车辆一般选用 B、C、D 轴转向架。

2. 按轴箱的定位方式分类

转向架按轴箱的定位方式可以分为以下几类:

(1)拉板式轴箱定位的转向架。图 3-1(a)为用特种弹簧钢材制成的薄片形式定位拉板,其一端与轴箱连接,另一端通过橡胶节点与构架相连。利用拉板在纵、横向的不同刚度来约束构架与轴箱的相对运动,以实现弹性定位。拉板上下弯曲刚度小,对轴箱构架上下方向的相对位移的约束也很小。

(2)拉杆式定位的转向架。如图 3-1(b)所示,拉杆的两端分别与构架轴箱销接,拉杆两端的橡胶垫、套分别限制轴箱与构架之间的横向与纵向的相对位移,实现弹性定位。拉杆允许轴箱与构架在上下方向有较大的相对位移。

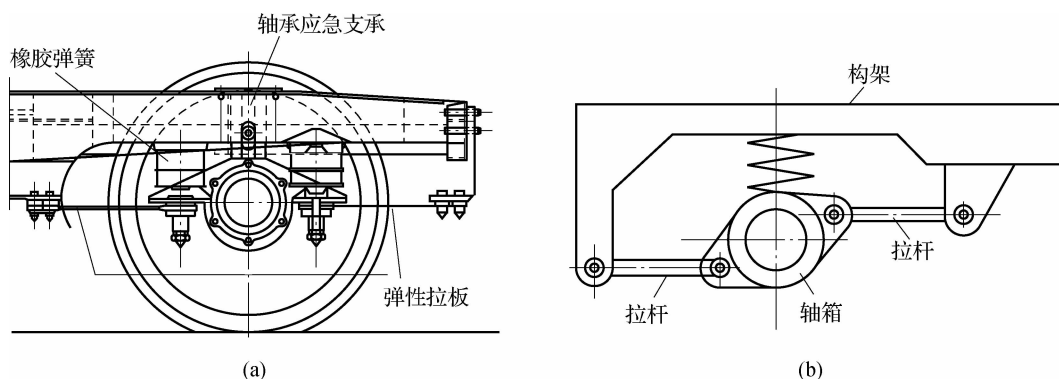


图 3-1 拉板式轴箱和拉杆式定位的转向架

(3)转臂式定位的转向架。如图 3-2(a)所示,转臂式定位又称弹性铰定位,定位转臂的一端与圆筒形轴箱体固接,另一端以橡胶弹性节点与构架上的安装座相连接。弹性节点允许轴箱与构架在上下方向有较大的位移,弹性节点内的橡胶件设计应满足使轴箱在纵向和横向具有适宜的、不同的定位刚度的要求。

(4)层叠式橡胶弹簧定位的转向架。如图 3-2(b)所示,在构架与轴箱之间装设压剪型层叠式橡胶,其垂向刚度较小,使轴箱相对构架有较大的上下方向位移,而它的纵、横向有适宜的刚度,以实现良好的弹性定位。城轨车辆的定位方式主要有转臂式定位、“八”字形橡胶轴箱定位和层叠圆锥橡胶轴箱定位。

(5)干摩擦导柱式定位的转向架。干摩擦导柱式定位利用安装在构架上的导柱及坐

落在轴箱弹簧托盘上的支持环之间的磨耗套产生摩擦而实现定位。

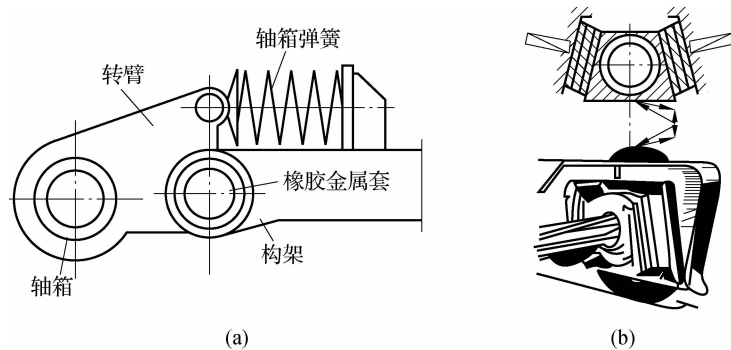


图 3-2 转臂式定位和层叠式橡胶弹簧定位转向架

3. 按弹簧装置的悬挂方式分类

(1) 一系弹簧悬挂的转向架。如图 3-3(a) 所示, 在车体与轮对之间设一系弹簧减振装置, 它可以设在车体与构架之间, 也可以设在构架与轮对之间。

(2) 二系弹簧悬挂的转向架。如图 3-3(b) 所示, 在车体与轮对之间设有二系弹簧减振装置, 即在车体与构架之间设弹簧减振装置, 在构架与轮对之间设轴箱弹簧减振装置, 两者相互串联, 使车体的振动经历两次弹簧减振的衰减。

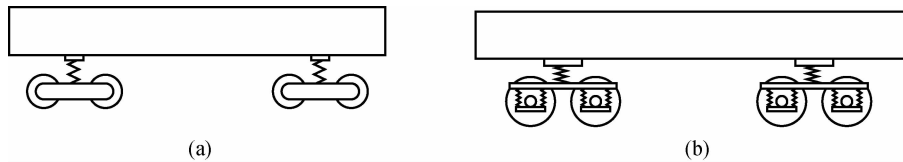


图 3-3 弹簧悬挂方式不同的转向架

4. 按摇枕弹簧的横向跨距分类

(1) 内侧悬挂的转向架。如图 3-4(a) 所示, 摇枕弹簧向跨距小于构架两侧梁纵向中心线距离。

(2) 外侧悬挂的转向架。如图 3-4(b) 所示, 摇枕弹簧向跨距大于构架两侧梁纵向中心线距离。

(3) 中央悬挂的转向架。如图 3-4(c) 所示, 摇枕弹簧向跨距与构架两侧梁纵向中心线距离相等。

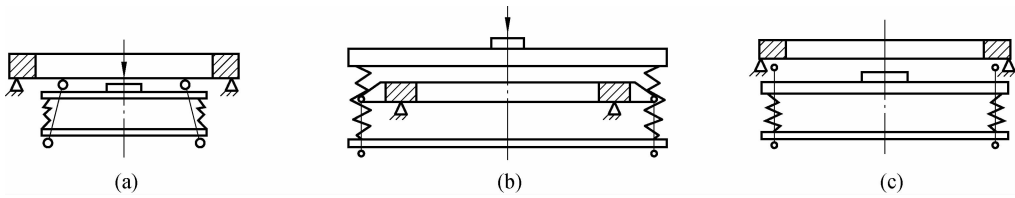


图 3-4 摇枕弹簧横向跨距不同的转向架

5. 按与车体之间的载荷传递方式分类

(1)心盘集中承载的转向架。如图 3-5(a)所示,车体的全部重量通过前后两个上心盘分别传递给转向架的两个下心盘。

(2)非心盘承载的转向架。如图 3-5(b)所示,车体的全部重量通过弹簧减振装置直接传递给转向架的构架,或者通过弹簧悬挂装置与构架之间设的旁承装置传递,这种转向架虽还设有心盘回转装置,但其作用是牵引和转动。

(3)心盘部分承载的转向架。如图 3-5(c)所示,车体重量按比例分别传递给心盘和旁承装置,它们共同承载。

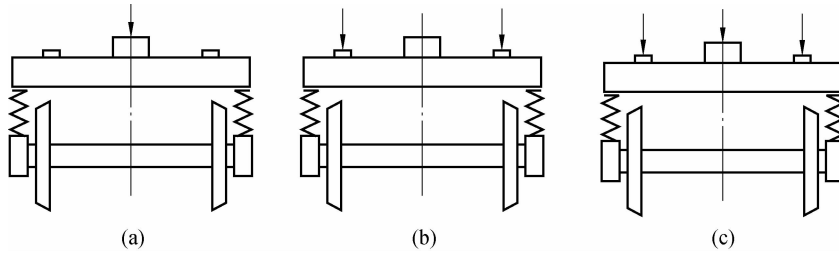


图 3-5 与车体之间的载荷传递方式不同的转向架

6. 按车辆车体与转向架之间的连接方式分类

按车辆车体与转向架之间连接方式的不同,可将转向架分为有心盘(或有牵引销)转向架、无心盘(或无牵引销)转向架和铰接式转向架(雅克比转向架)。城轨车辆转向架通常采用有心盘(或有牵引销)转向架,而轻轨车辆常常采用铰接式转向架。铰接式转向架与车体的连接,既要保证相邻两车体端部彼此连接传递垂直、纵向和横向载荷,又要保证车体两端在通过曲线时能彼此相对转动(垂向和横向)。



典型案例

1. 上海地铁第一类转向架

图 3-6 为上海地铁第一类转向架。

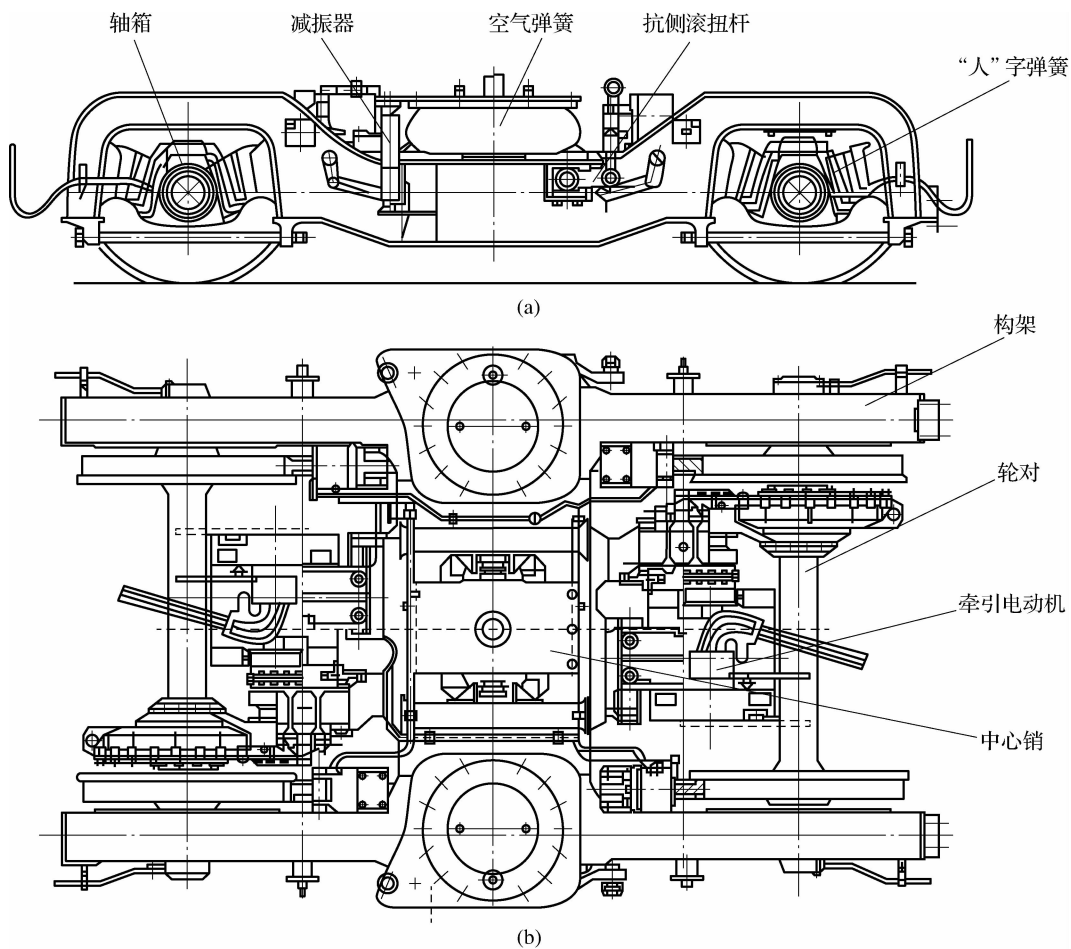


图 3-6 上海地铁第一类转向架

其主要特点如下：

- (1) 上海地铁少数车采用直流电机牵引，多数车采用交流电机牵引。
- (2) 一系采用“人”字弹簧定位，二系采用空气弹簧，设两个垂向减振器、一个横向减振器和一套抗侧滚扭杆。
- (3) 抗侧滚扭杆的扭臂、连杆置于构架外侧，扭杆工作长度大，对车体侧滚运动反应灵敏且有效。
- (4) 轴箱部位呈拱形以适应“人”字弹簧定位要求。
- (5) 横梁两侧设悬臂式电机座和齿轮箱吊座。
- (6) 中央牵引装置采用中心销、复合弹簧、心盘座，使用 Z 形牵引拉杆结构。
- (7) 直流车齿轮箱箱体为卧式水平分型面，易于检修；交流车为横向垂直分型面，不便于检修。
- (8) 直流车采用橡胶联轴节，电机中心与小齿轮轴中心的同轴度要求高，齿轮箱吊杆