

第一章 城市轨道交通车辆总体介绍

【学习导读】

本章内容包括城市轨道交通车辆发展与分类、主要技术指标和系统组成。通过本章的学习，可以了解轨道交通车辆的主要类型、关键技术要求、车辆组成系统及其作用。

【学习要求】

- (1) 掌握城市轨道交通车辆的主流车型分类。
- (2) 了解城市轨道交通车辆的主要技术指标。
- (3) 掌握城市轨道交通车辆的系统组成及其功能。

第一节 城市轨道交通车辆的发展与分类

随着经济的快速发展，我国开始进入城市化和机动化的加速发展阶段。城市人口的快速增加和城市化进程的不断加快，导致居民出行更为频繁，城市交通需求的矛盾也更加突出。同时，伴随工业化进程和经济步伐的加快，人们的工作节奏越来越快，时间观念越来越强。因此，需要一种更准时、安全、快捷的交通方式来满足人们的出行。城市轨道交通以其大运量、高效率、低污染、较少占用地面空间等优势，迅速成为许多大城市解决交通拥堵问题的首要选择。

城市轨道交通车辆作为一种涉及多技术、多学科的机电设备，已经成为轨道交通工程中最重要设备之一。

自世界上首条地铁线路建成以来，城市轨道交通车辆在设计、制造、性能、功能上都经历了不断发展的过程，出现了不同制式的车辆，以适应不同城市轨道交通模式的需求。

一、城市轨道交通车辆的发展

1. 城市轨道交通产生的历史及发展

16 世纪前，城市交通的发展只是表现为城市道路网的不断修建与完善，其交通形式则一直是步行、骑马和马车出行，直到 16 世纪中期才出现公共交通。随着城市规模的逐渐扩大，1832 年，美国纽约市的曼哈顿街道上铺设了轨道并开始运行有轨公共马车，这就是城市轨道交通的雏形。

随着人口及车辆的增加，城市中出现了平交道口交通阻塞现象，这种情况在较大城市非常严重。交通的拥堵使人们想到了将交通铁路线往地下发展。1843 年，英国律师查尔斯·皮尔逊建议修建地铁，经过 20 年的酝酿和建设，世界上第一条快速轨道交通地下线于 1863 年 1 月 10 日在伦敦正式运营，它标志着近代城市轨道交通的诞生。在此之后，美国于 1888 年制造出世界上第一列用于商业运营的有轨电车。从 20 世纪 70 年代开始，一些国家对城市的旧式有轨电车系统进行了技术改造，建成了新型的有轨电车系统，将线路建成相对独立或封闭（或半封闭）的形式，将现代科技（包括计算机技术）应用于车辆、通信、信号及供电系统中，提高了系统的安全性、可靠性和舒适性，同时也提高了车辆的运行速度。目前，世界上已有 300

多个城市拥有轻轨，国际上用于轻轨系统的供电制式多为 DC 600 V 和 DC 750 V。

2. 城市轨道交通车辆运行模式的发展

国际上城市轨道交通运行模式的发展大致经历了 3 个阶段：人工驾驶模式、人工驾驶的自动化运行模式、全自动无人驾驶模式。

人工驾驶模式是完全由司机通过司控器对列车进行牵引、制动、惰行等控制的驾驶模式。

人工驾驶的自动化运行模式(ATO,列车自动驾驶模式),是指在该模式下,ATP(列车自动防护)子系统保证列车的运行安全,在线列车的起动、加速、巡航、惰行、制动、精确停车均由 ATO 子系统控制,不需司机操作。一旦进入 ATO 驾驶模式,系统设备正常,没有人为干预,此驾驶模式维持不变。

全自动无人驾驶模式(FAO,无人驾驶模式),是基于现代计算机、通信、控制和系统集成等技术实现列车运行全过程自动化的新一代城市轨道交通系统。近 20 年来,“无人驾驶系统”在国际上已得到了广泛的应用,并且已成功地应用于一些大量量的城市轨道交通系统中。国际公共交通协会预计,到 2025 年 75%的新线将采用全自动运行技术,40%的既有线路改造时将采用全自动运行技术。国内除北京、上海、香港外,还有十多个城市在研究应用全自动运行技术,其中中国第一列无人驾驶地铁 2013 年在香港地铁运营。上海地铁 10 号线是国内首条按照 GOA4 等级建设的线路,已经于 2010 年 11 月开通,是中国内地首条无人驾驶轨道交通线。2017 年 12 月 30 日,北京地铁燕房线开通试运行,这是中国第一条具有完全自主知识产权的轨道交通全自动运行系统。它按照目前世界上列车运行自动化等级的最高级别建设,不仅有条件尝试“无人驾驶”,甚至取消了驾驶室,整个线路的运营、维护实现了智能化。2018 年 3 月,上海首条无人驾驶 APM(旅客捷运系统)线路——浦江线通过了试运营专家评审,于 2018 年 3 月 31 日投入试运营。

无人驾驶模式车辆的技术特点主要体现在:司机的职能完全由自动化的技术来替代;车辆的设计制造、可靠性、可使用性和安全性都大幅提高;自动化程度大幅上升,通信的信息量也大幅增加,信号及综合监控系统的技术接口更加紧密和复杂;车辆上增加了火灾探测与烟雾报警系统,同时还增加了轨道障碍物探测、脱轨检测以及视频监控系统(CCTV);车门不再由司机控制,而是由 ATC(列车自动控制系统)进行控制;列车的各主要系统都由 OCC(运营指挥中心)远程监控。全自动无人驾驶模式车辆的安全性和可靠性高,有利于实现列车高密度运行。

3. 城市轨道交通车辆技术的发展

自 19 世纪末城市轨道交通开创地铁和轻轨运输方式以来,城市轨道交通车辆电气牵引系统随着工业技术的发展不断更新换代。就调速方式而言,城市轨道交通经历了 3 个不同的阶段:直流变电阻调速、直流斩波调压调速和交流变频变压(VVVF)

调速。特别是近 30 年来，电力电子、微电子和微机控制技术的长足进步，使得城市轨道交通车辆电气牵引技术大大提高。

20 世纪 70 年代，交流电传动车辆采用普通晶闸管制成的 VVVF 逆变器，由于使用器件较多，控制线路复杂，体积和质量都较大，因而使用受到限制。20 世纪 80 年代，随着高压大电流 GTO（门极可关断晶闸管）为代表的自关断电力电子器件的涌现和微机的普遍应用，VVVF 技术取得突破性进展。80 年代后期，交流电传动方式在地铁和轻轨上得到广泛应用，在此基础上，轮轨制式特例的电力牵引车辆问世，技术上采取非黏着驱动，有利于提高车辆的起动加速度和制动减速度，爬坡能力强；采用径向转向架，能适应曲线半径为 50 m 的弯道；采用小直径车轮，降低了车辆高度，可用于较小直径的隧道；自重轻，对线路冲击小，车辆运行时噪声相对较小。20 世纪 90 年代初，高压大电流 IGBT（绝缘栅双极型晶体管）的研制成功和微机应用的进一步开发使得地铁、轻轨车辆的交流传动系统取得巨大进步，交流传动系统因其优良的技术特性，成为城市轨道交通车辆电气牵引系统的主流，正在逐步取代直流传动系统。交流异步传动是当前城市轨道交通车辆电力牵引的主流模式。

二、我国城市轨道交通车辆的分类

我国城市轨道交通车辆的类型是多样化的，按运能范围、车辆类型及主要技术特征可以分为地铁车辆、轻轨车辆、磁悬浮车辆等。地铁车辆是国内城市轨道交通的主要车辆类型。

起初，城市轨道交通分为地铁和轻轨两种制式，但是“地铁”和“轻轨”的名称本身就不严谨。因为“地铁”早已不特指地下铁路，“轻轨”也不特指轻型轨道，两者概念在民间和学术界一直存在很大的分歧争议。地铁和轻轨都可以建在地下、地面或高架上。为了增强轨道的稳定性，减少养护和维修的工作量，增大回流断面和减少杂散电流，地铁和轻轨都选用轨距为 1 435 mm 的国际标准双轨作为列车轨道。区分两者的依据是运送能力的不同，地铁的高峰小时单向最大客运量为 3 万~7 万人次，轻轨的高峰小时单向最大客运量为 1 万~3 万人次。其次，还表现在车辆的轴重、尺寸、转弯半径的不同，地铁车的轴重普遍大于 13 t，而轻轨车要小于 13 t。另外，地铁与轻轨在列车编组数量、车辆定员、最高运行速度等方面也存在区别。

根据目前城市轨道交通车辆的应用情况，可将城轨车辆分为主流型城轨车辆和非主流型城轨车辆。主流型主要有两种：A 型车、B 型车，其主要技术参数如表 1-1 所示。

A 型车是目前运量最高的城市轨道交通列车。其特点是车体宽和编组大，A 型车宽度为 3 m，上海轨道交通 10 号线采用的阿尔斯通 Metroplis 地铁列车宽度达到

3.2 m；6 节编组 A 型地铁列车最大载客量为 2 460 人，上海轨道交通 1、2 号线的阿尔斯通和西门子 8 节编组 A 型地铁列车最大载客量达到 3 280 人。

表 1-1 主流型城轨车辆技术参数

序号	参数名称		数 值	
			A 型车	B 型车
1	车辆基本长度/mm		22 000	19 000
2	车辆基本宽度/mm		3 000	2 800
3	车辆高度	受流器车（有空调/无空调）/mm	3 800/3 600	3 800/3 600
		受电弓车（落弓高度）/mm	3 810	3 810
		受电弓工作高度/mm	3 973 ~ 5 410	3 973 ~ 5 410
4	轴重/t		≤16	≤14
5	车内净高/mm		≥2 100	≥2 100
6	地板面距轨面高/mm		1 130	1 100
7	车钩中心距轨面高度/mm		720	660
8	车体纵向静载荷/MN		≥0.8	≥0.49

B 型车的造价和运量相比 A 型车较小，国内多数城市使用的地铁车辆为 B 型车，包括天津、西安以及青岛地铁等。一个城市地铁车辆的选用，主要依照地铁规划、线路客流、运营成本和车辆的维修等因素综合考虑，方案初定后，还要经国家有关部委审查通过才能确定。

除了主流型城轨车辆，还存在 Lb 型车、Lc 型车、C 型车、低地板车等非主流型城轨车辆，其技术参数如表 1-2 所示。

表 1-2 非主流型城轨车辆技术参数

序号	参数名称	C 型车	Lb 型车	Lc 型车	低地板车	APM 车	跨坐式单轨车	低速磁悬浮车
1	车辆基本长度/mm	19 000	16 840	15 500	13 000 ~ 14 000	12 800	13 900	14 000
2	车辆基本宽度/mm	2 600	2 800	2 600	2 300 ~ 2 650	2 800	2 980	2 600
3	车辆高度/mm	3 510		3 650		3 400	3 840	3 445
4	轴重/t	10/11	≤13	≤11	≤11		≤11	
5	最大运行速度/(km/h)	70/80		≥70	60/70	60	80	100

我国城市轨道交通发展较晚，因此，车辆可以更多地采用最新技术，如铝合金和不锈钢车体、交流异步传动、模拟式制动机以及计算机网络控制等。

第二节 车辆主要技术指标与系统组成

城市轨道交通车辆集机械、电气、计算机、制冷、光学及噪声学等技术于一体，是一个复杂的机电一体化系统，其设计制造应满足 GB/T 7928—2003《地铁车辆通用技术条件》的有关规定。

一、车辆主要技术指标

车辆的技术指标是保证车辆能安全可靠运行的重要依据和保证，由于不同地区、不同线路的运营条件、客流量等不同，车辆的技术指标也有所差异，本节以青岛地铁 3 号线为例，针对车辆主要技术指标进行介绍。

1. 供电条件

受电方式可采用接触网受电弓受电或接触轨受流器受电。

供电电压可采用额定 DC 1 500 V，波动范围为 DC (1 000 ~ 1 800) V；或采用额定 DC 750 V，波动范围为 DC (500 ~ 900) V。

2. 车辆限界

机车车辆限界是一个和线路中心线垂直的极限横断面轮廓。机车车辆无论是空载或重车，无论是具有最大标准公差的新车，或是具有最大标准公差但磨耗到限的旧车，停放在水平直线上，无侧向倾斜与偏移，除电力机车升起的受电弓外，其他任何部分应容纳在限界轮廓之内，不得超越。

车辆限界按隧道内外区域，分为隧道内车辆限界和隧道外车辆限界；也可按列车运行区域，分为区间车辆限界、站台计算长度内车辆限界和车辆基地内车辆限界。车辆应满足国家标准 GB 50157—2013《地铁设计规范》中关于城市轨道交通限界标准及行业标准 CJJ 96—2003《地铁限界标准》要求的车辆限界。

3. 列车故障运行能力

(1) 6 辆编组列车在超员状态下，当损失 1/4 动力时，列车仍然可以在 35‰的坡道上起动，并能以正常运行方式完成当天运营。

(2) 6 辆编组列车在超员状态下, 当损失 1/2 动力时, 列车仍然可以在 35‰的坡道上起动, 运行一个单程。

4. 坡道救援能力

(1) 一列 6 辆编组的空车能将另一列停在 35‰坡道上的 6 辆编组超员故障列车牵引至最近的车站(上坡), 乘客下车后返回车辆段。

(2) 一列 6 辆编组的空车能将另一列停在 40‰坡道(含曲线附加)上的 6 辆编组故障空车牵引到车辆基地(上坡)。

5. 车辆形式与列车编组

车辆形式分类:

动车可分为带司机室动车(Mc)、无司机室动车(M)。

拖车可分为带司机室拖车(Tc)、无司机室拖车(T)。

车辆的编组形式首先要满足客流量的需求, 同时还应考虑到服务水平、列车满载率、工程投资、运营成本及运营管理等因素, 因此, 在确定一条地铁线甚至整个线网的列车编组形式时, 要进行多方案的综合分析、比较, 设计才能达到科学、合理, 并符合建设节约型轨道交通的原则。

6. 车辆载客能力

AW2 额定载客按 6 人/m² 计算。

AW3 超员载客按 8 人/m² 计算。

乘客人均质量按 60 kg/人, 以青岛地铁 3 号线 6 辆编组为例, 车辆载客能力如表 1-3 所示。

表 1-3 6 辆编组 B 型车辆载客能力

车 型		单车/t			列车/t
		座席	站席	总载员	6 辆编组
定员	T 车	36	190	226	1 484
	M 车	46	212	258	
超员	T 车	36	254	290	1 896
	M 车	46	283	329	

7. 噪 声

车辆设计应采取减振、降噪措施, 提高旅客舒适度。列车在高架及地面运行时, 对环境的噪声影响不超过 GB 50157—2013《地铁设计规范》和 ISO 3095 标准规定的城市区域环境噪声标准。

8. 车辆对振动和冲击的要求

列车振动与冲击的测量根据 ISO 2631、UIC 513 及 IEC 61373—1999 标准执行。地铁车辆的电气设备的振动试验按 IEC 61373—1999 标准执行。

车辆上的各种设备按 IEC 61373—1999 标准要求，能承受振动频率为 1 ~ 50 Hz 在纵向、横向和垂向 3 个方向上规定的振动水平。

安装于车体上设备的悬挂装置，在任何方向能承受的最大冲击加速度根据 EN 12663 标准：

(1) 纵向： $3g$ ，其中 $g=9.81\text{ m/s}^2$ 。

(2) 横向： $1g$ ，其中 $g=9.81\text{ m/s}^2$ 。

(3) 垂向： $(1+C)g$ ，其中在车端 $C=2$ ，在车辆中间 $C=0.5$ ， $g=9.81\text{ m/s}^2$ 。

装于转向架构架上（一系悬挂上）的设备能承受的最大加速度为 $\pm 3.0g$ ($g=9.81\text{ m/s}^2$) 或 $\pm 10.0g$ ($g=9.81\text{ m/s}^2$) (120 km/h)，设备和悬挂不会产生永久性变形。

装于车体和转向架之间（二系悬挂上）的设备能承受的最大加速度为 $\pm 3.0g$ ($g=9.81\text{ m/s}^2$)，设备和悬挂不会产生永久性变形。

车辆的各种设备能承受车辆在连挂和正常运行时的冲击和振动。列车连挂速度不大于 5 km/h。

列车纵向冲击率：不大于 0.75 m/s^3 。

9. 平均加速度

在额定载员情况下，在平直干燥轨道上，车轮为半磨损状态，额定电压时，平均加速度为：

(1) 列车从 0 加速到 36 km/h 不小于 1.0 m/s^2 (含响应时间)。

(2) 列车从 0 加速到 80 km/h 不小于 0.6 m/s^2 。

10. 平均制动减速度

在额定载员情况下，在平直干燥线路上，车轮为半磨损状态，列车在最高运行速度 80 km/h 时，从给制动指令到停车时，平均减速度为：

(1) 最大常用制动不小于 1.0 m/s^2 。

(2) 紧急制动不小于 1.2 m/s^2 。

11. 车辆运行平稳性

按照 UIC 518 标准的试验条件，并结合 ISO 2631-1 标准或 GB 5599—85 标准的规定，车辆运行平稳性指标应小于 2.5，车辆脱轨系数小于 0.8，经过运行后，平稳性指标小于 2.7。

12. 防火等级

车辆的设计、制造及所选用的材料、部件的防火、耐火、防烟、防毒要求符合

BS 6853 : 1999《铁路客车设计和建造火灾预防实施规范》标准的相应等级。

二、车辆主要系统组成

1. 主要系统组成

现代城市轨道交通车辆集机械、电气、计算机、制冷、光学及噪声学等技术于一体，其主要系统有车体及内装设备、转向架及车钩系统、电气牵引系统、空气制动和风源系统、辅助电源系统、列车控制及监控系统、车载通号系统、广播与乘客信息显示系统、车门系统、空调系统、烟火报警系统。

电气牵引系统为VVVF控制的交流传动系统，采用微机控制的矢量控制方式或直接转矩控制方式。

辅助电源系统由辅助逆变器和蓄电池组构成，为整车提供三相交流 380 V 和单相交流 220 V、直流 110 V 等制式的电源。

列车控制及监控系统实现车辆运行和故障信息自动采集、记录和显示，并兼有对列车及其辅助设备的控制功能。

车载信号系统通常由列车自动控制系统（Automatic Train Control，ATC）组成，ATC系统包括3个子系统：车载自动列车控制子系统（ATO）、车载自动列车防护子系统（ATP）、列车自动监控子系统（ATS）。ATO系统是控制列车自动运行的设备，由车载设备和地面设备组成，在ATP系统的保护下，根据ATS的指令实现自动控制列车加速、巡航、惰行、制动，并控制列车在车站的停车位置、开关车门等。ATP系统由地面设备、车载设备组成，监督列车在安全速度下运行，确保列车一旦超过规定速度，立即施行制动。ATS系统在ATP系统的支持下完成对列车运行的自动监控。

空气制动系统采用微机控制的数字或模拟式电-空制动系统，内设监控终端，具有自诊断和故障记录功能，能在司机控制器、ATO或ATP的控制下对列车进行阶段性或一次性的制动与缓解。

2. 车辆主要设备布置及断面图

为了维修方便、提高可靠性，车辆总体布置及各系统、各部件应优化设计，从而保证足够的操作、检查、维修空间，保证方便的可接近性以及可靠的安全性。车下设备采用托板式安装，无承受拉伸力的螺栓，可以提高行车的安全性。管路线槽等质量较小的设备采用螺栓安装，易于拆卸更换。

钢制支架、托板与铝质车体之间的接触面涂布防电蚀涂料，可有效保证车外设备在濒海盐雾的气候环境下，异种金属接触面之间不会形成电蚀。

紧固件均涂防松标记，标记醒目，便于日常维护目视检查车下设备紧固件是否工作正常。

(1) T 车车下设备布置。

T 车车下主要设备：辅助逆变器（SIV）箱、紧急通风逆变器箱、蓄电池箱（含控制箱）、车端高低压箱、接地汇流箱、车间电源插座、空压机启动箱、空压机（含干燥器）、主副风缸以及制动控制单元，如图 1-1 所示。

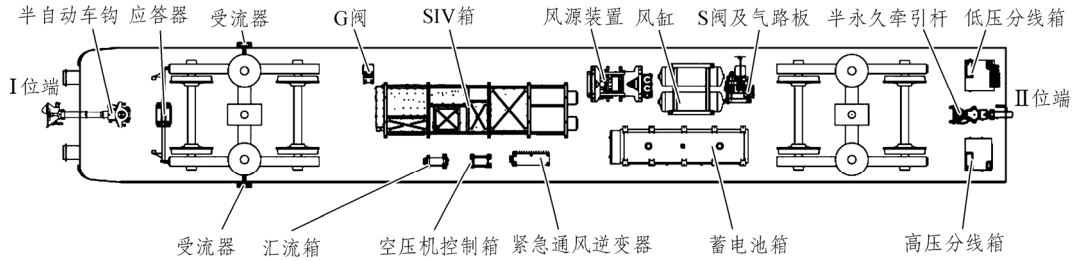


图 1-1 Tc 车车下设备布置图

(2) M 车车下设备布置。

M 车车下主要设备：牵引逆变器箱、高速断路器（HSCB）箱、隔离开关（IES）箱、电阻制动箱、紧急通风逆变器箱、车端高低压箱、接地汇流箱、主副风缸以及制动控制单元，如图 1-2 所示。

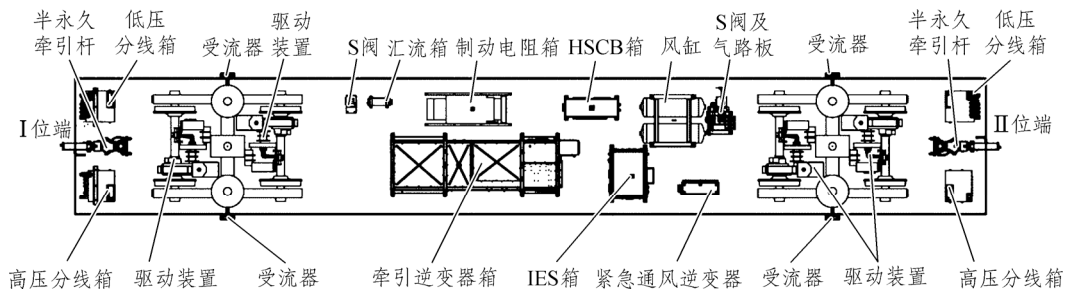


图 1-2 M 车车下设备布置图

(3) 车辆断面图。

客室内设置数量充足、美观适用的水平扶手杆和立柱，在客室内顶板与地板面之间设立柱。座椅形状满足人体工程学的要求，具有良好的可清洗性能和防滑性能。内顶板采用铝蜂窝复合板、铝型材或更优材料，表面喷涂耐候性材料。内顶板实现模块化和集成化安装，提高相同部位零部件的互换性。侧顶板的设计充分考虑方便门机构及电气设备件的检修，背面铺装吸音材料来提高吸音性。

以青岛地铁 3 号线车辆为例，动车断面如图 1-3 所示。

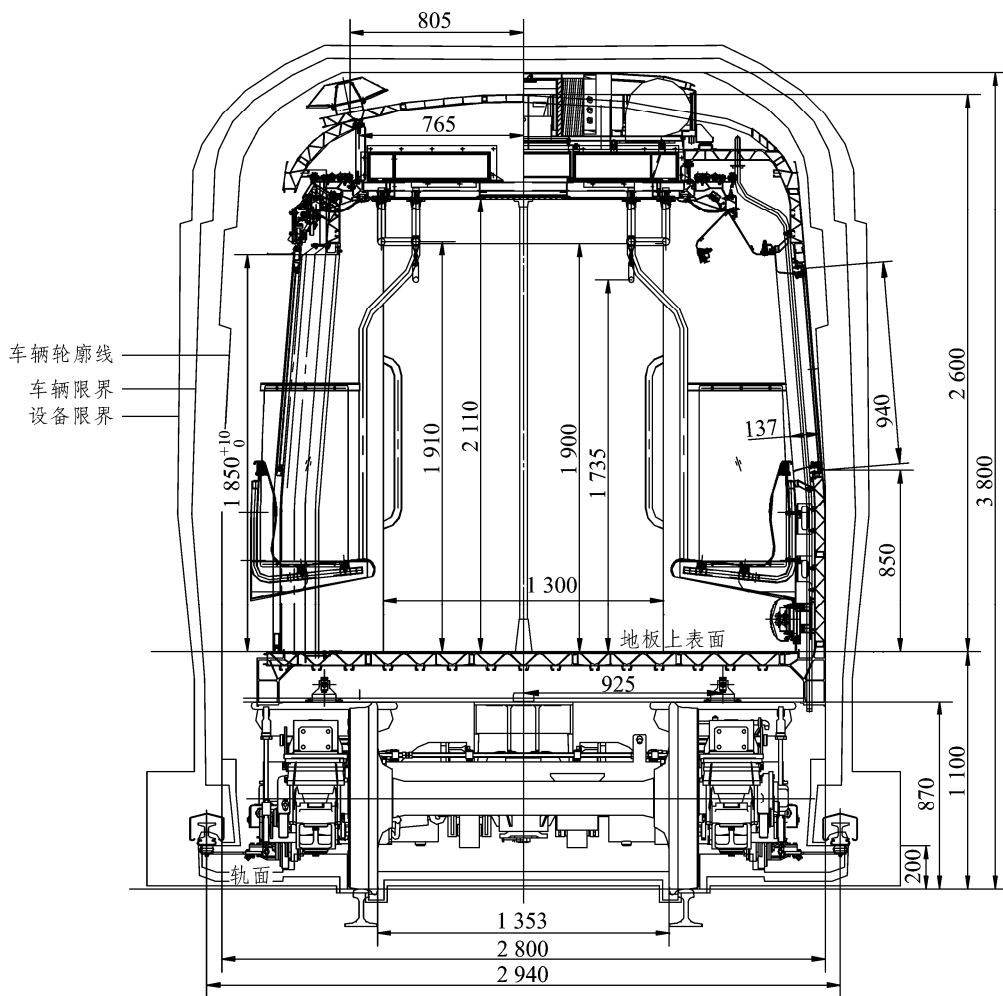


图 1-3 车辆断面

思考题

1. 城市轨道交通车辆主要由哪些系统构成？
2. 城市轨道交通车辆动车车下有哪些设备？
3. 城市轨道交通车辆的主流车型分为哪几类？
4. 城市轨道交通车辆故障模式下的运行能力如何？

第二章 车体及内装

【学习导读】

地铁车体及内装系统主要包括车体的结构、内装的组成以及贯通道等部分。通过本章的学习，可以了解地铁列车车体、内装等装置的类别、结构及其功能，懂得日常检查和维护的基本方法。

【学习要求】

- (1) 了解车体的结构。
- (2) 了解内装的主要组成。
- (3) 掌握贯通道的结构及工作原理。
- (4) 了解车体及内装日常检查、维护所包括的内容。

第一节 车 体

一、概 述

车体作为车辆的最主要承载结构，车体的结构关系到承受的自重、各种设备及旅客的质量以及在运行中的纵向、横向、垂向和扭转载荷，车体的防腐耐腐能力和涂装关系到车辆寿命、检修制度和外观，车体的质量则关系到能耗、加减速度、载客能力。

车体分为拖车和动车两种，是由底架、侧墙、车顶、端墙等大部件组成的筒形整体承载结构，它是保证车辆强度及乘客安全的主要部件。

二、车体分类

城市轨道交通车辆常用的车体材料有不锈钢、铝合金和碳钢三大类。目前，轨道交通市场主要新制车型为不锈钢车体与铝合金车体，碳钢车体存在强度低、质量大、能耗高、腐蚀重、维修量大、使用寿命短等不足，已逐渐被不锈钢和铝合金材料取代。不锈钢车体与铝合金车体的性能比较见表 2-1。

表 2-1 不锈钢车体与铝合金车体的性能比较

比较项目	不锈钢车体	铝合金车体	分析结论
安全性	屈服比较低，车体屈服后、断裂前能吸收更多的冲击能量，熔点约为 1 500 °C，耐热性好	屈服比较高；熔点约 600 °C，耐热性只有不锈钢的 44%；发生重大火灾时，材料会较早熔化	不 锈 钢 车 体 较 优
轻量化	密度为 $7.8 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$	密度仅为 $2.7 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ ，在保证车体同等强度下，焊接填充材料和表面涂装计算在内，铝合金车体仍有约 1 t 的优势	铝 合 金 车 体 较 优
耐腐蚀性	稳定的奥氏体组织使基体本身具有很强的耐腐蚀性	表面氧化膜在摩擦、划碰后易被破坏而导致车体腐蚀，故车体需进行表面涂装	不 锈 钢 车 体 较 优

续表

比较项目	不锈钢车体	铝合金车体	分析结论
使用维护	表面无涂装,定期用清水清洁表面灰尘;强度高、耐磨性好,气候适应性好;交付运营后,不锈钢车更耐久,使用维护更简单,更易于养护,运营成本更低;大量采用点焊工艺,无焊接烟尘	使用寿命内,表面涂装要按需进行维护;风沙环境中,表面涂装层易被划伤、剥落而导致基体腐蚀;采用弧焊工艺,焊接烟尘大,施工人员需配专用防护用品,还需增加对维修员工的劳动保护和厂房通风设施,维护保养成本高	不锈钢车体较优

1. 不锈钢车体

不锈钢车体结构采用板梁组焊结构,使用的外板厚 0.4~1.2 mm、梁柱厚 0.8~4 mm。因板材较薄,为提供车体结构刚度、强度,成型工艺须通过薄板折弯后形成补强型材与外板点焊连接形成腔体,借以提高外板的刚度、强度,同时达到减重效果。目前,国内采用不锈钢车体的线路有北京地铁 4 号线、北京地铁 10 号线、青岛地铁 2 号线等。

不锈钢车体结构主要焊接方法为 MAG 焊(熔化极活性气体保护电弧焊)、TIG 焊(非熔化极惰性气体保护电弧焊)、电阻点焊、螺柱焊、激光焊。焊接方式分为手工焊、半自动焊、自动焊。因不锈钢材料焊后收缩较大且焊后调修困难,不锈钢车体的焊接工艺性远不如碳钢车,所以不锈钢焊接采用 MAG 焊与电阻点焊相结合的工艺方法。目前,部分车辆生产企业已在侧墙的焊接过程中采用了激光焊焊接工艺。

2. 铝合金车体结构

铝合金车体结构目前普遍采用板梁和中空型材形式相结合的结构,底架边梁、侧墙板、车顶板均为中空型材材料,底架横梁等为板梁结构。铝合金车体的自重一般仅为碳钢车体的 1/2;相对于不锈钢车体,焊接填充材料和表面涂装计算在内的铝合金车体仍有约 1 t 的优势。铝合金车体的弱点是铝的纵弹性模量小,约为碳钢车体的 1/3,因而车体刚度相对较低,这是铝合金车体设计时加大板厚和尽量加大车体断面以提高车体抗弯刚度的重要原因。目前,国内采用铝合金车体的线路有上海地铁 1 号线、广州地铁 1 号线、深圳地铁 1 号线、青岛地铁 3 号线等。

铝合金车体结构主要焊接方法为 MIG 焊、IGM 自动焊(电弧焊机器人集成系统)焊接方式分为手工焊、半自动焊。因铝合金车体焊接量大且部分位置焊接可达性低,所以手工 MIG 焊接大量应用于车体组焊过程中。中空型材拼接后形成长直焊缝,使用 IGM 自动焊设定参数,既可保证焊接质量,又可大幅提高生产作业效率。

三、车体性能参数及结构特征

车辆的车体性能参数与结构特征是车辆强度及乘客安全的重要保证。由于不同地区、不同线路的运营条件、客流量等存在差异，所以车体的设计要求也不同，下面以青岛地铁3号线为例，对车体性能参数及结构进行介绍。

1. 主要性能

车体设计时应在保证强度、刚度的基础上，兼顾外观效果和焊接工艺性，实现轻量化。要求车体能够承受不低于 800 kN 的纵向压缩载荷和不低于 640 kN 的纵向拉伸载荷，车体应力不超过设计许用应力值，不产生永久变形及损坏，并且在 30 年的工作载荷中不产生疲劳失效。

2. 主要参数

车体长度（端墙面）：19 000 mm（Tc 车 19 555 mm）。

车体长度（车钩连接面）：19 520 mm（Tc 车 20 145 mm）。

车体高度：3 715 mm。

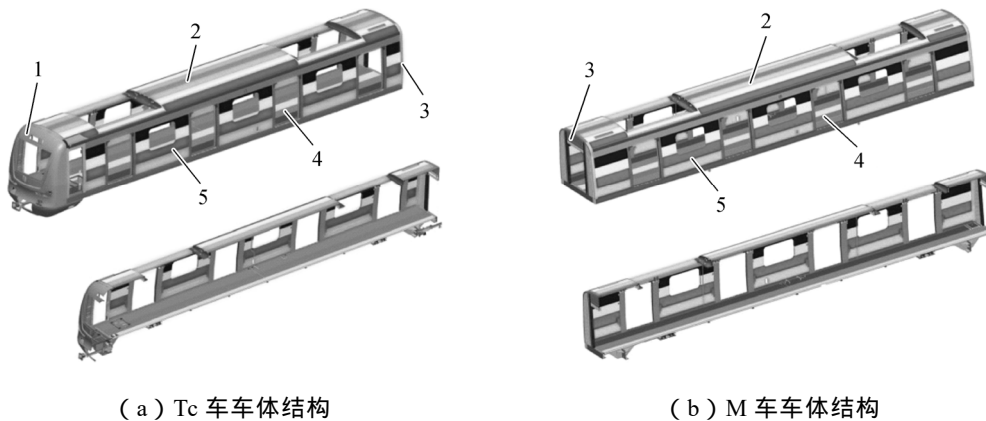
最大宽度（距轨面 1 060 mm 高度）：2 800 mm。

客室地板面距走行轨顶面高度：1 100 mm。

车辆两转向架中心距：12 600 mm。

3. 总体结构及工作特性

车体采用整体承载结构，由车顶、底架、侧墙、端墙和司机室（仅 Tc 车）五大部件组成，五大部件在专门的总组装台位采用焊接方式连接成完整的车体。图 2-1 是 Tc 车和 M 车车体的三维效果图。



1—司机室；2—车顶；3—端墙；4—底架；5—侧墙。

图 2-1 车体结构