

3.1 现代有轨电车车型

世界著名的现代有轨电车制造商包括法国阿尔斯通公司、加拿大庞巴迪公司、德国西门子子公司和法国劳尔公司。现代有轨电车的车型主要有阿尔斯通的 Citadis302 和 Citadis402/403，庞巴迪的 Flexity Swife 和 Flexity2，西门子的 S70 和 UFL 以及劳尔的 Translohr。

1. 阿尔斯通公司的现代有轨电车车型

法国阿尔斯通公司的 Citadis 系列现代有轨电车以其低地板设计而闻名，包含从部分低地板到 100%低地板。每个型号的 Citadis 车辆分别由 3 个、5 个和 7 个模块组成，车体宽 2.3 ~ 2.65 m。对应不同的模块数量，车辆长度分别约为 20 m、30 m 和 40 m。Citadis 系列现代有轨电车中以 Citadis302 和 Citadis402/403 最为典型。

1) Citadis302

Citadis302 型车在法国、德国和西班牙等欧洲国家广泛应用。一辆 Citadis302 型车是由 5 个模块组成的。以法国波尔现代有轨电车 3 号线使用的 Citadis302 为例，一辆车长约 32.8 m，宽 2.4 m，重 41.3 t；载客量为 265 人，其中坐席 48 位；100%低地板；采用 1 435 mm 标准轨

距；采用 750 V 电压供电，使用车顶接触网和地面第三轨两种供电技术；最大速度为 60 km/h，加速度为 1.15 m/s^2 ，紧急制动减速度为 2.85 m/s^2 。

2) Citadis402/403

Citadis402 型车在法国波尔多、格勒诺布尔、巴黎和爱尔兰都柏林都有应用。其改进型 Citadis403 在法国斯特拉斯堡得到广泛应用，故又称作 Citadis 斯特拉斯堡。一辆 Citadis402/403 型有轨电车由 7 个模块铰接而成。以法国波尔多为例，一辆 Citadis402 型车长 43.9 m，宽 2.4 m，重 54.9 t；载客量为 345 人，其中坐席 70 位；100%低地板；采用 1 435 标准轨距；采用 750 V 电压供电，使用车顶接触网和地面第三轨两种供电技术；最大速度为 60 km/h，加速度为 1.15 m/s^2 ，紧急制动减速度为 2.85 m/s^2 。

2. 庞巴迪公司的有轨电车车型

庞巴迪公司的总部位于加拿大魁北克省蒙特利尔市，是一家大型的飞机、火车和有轨电车制造商。其子公司庞巴迪交通（Bombardier Transportation）的总部位于德国柏林，是世界上最大的铁路设备制造商之一。

庞巴迪公司的有轨电车有如下系列：Cobra，Flexity，Incentro 和 Variotram。其中最为著名的为 Flexity 系列。该系列产品分为 6 种型号：Flexity2，Flexity Classic，Flexity Outlook，Flexity Swift，Flexity Link 和 Flexity Berlin，其主要参数如表 3-1 所示。在此，重点介绍其中的两个型号：Flexity Swift 和其最新型的 Flexity2。

表 3-1 庞巴迪公司各型有轨电车的技术参数

型号	地板	方向	最大速度 / ($\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$)	宽度/m	长度/m
----	----	----	--	------	------

Flexity2	100%低地板	双向	70	2.65	32.5
Flexity Classic	65%~74%低地板	双向或单向	70~80	2.65	21~45
Flexity Outlook	100%低地板	双向或单向	65~80	2.65	27~43.4
Flexity Swift	70%~76%低地板	双向	70~100	2.65	25~42
Flexity Link	50%低地板	双向	100	2.65	37
Flexity Berlin	100%低地板	双向或单向	70	2.65	30.8~40

1) Flexity Swift

Flexity Swift 在欧洲和北美都有较广泛的应用，其低地板型在英国伦敦卫星城克罗伊顿、德国科隆、土耳其伊斯坦布尔、瑞典斯德哥尔摩、美国明尼阿波利斯等城市都有应用。英国克罗伊顿使用的 Flexity Swift 型有轨电车的技术指标如下：长 30.1 m，宽 2.65 m，最大速度为 80 km/h，最小转弯半径为 20 m，最大爬坡坡度为 8%，75%低地板，载客量为 277 人（站席 6 人/m²），其中坐席 70 人。

2) Flexity2

Flexity2 是庞巴迪公司最新型的有轨电车，它包含 5 模块和 7 模块两种车型。Flexity2 的第一个订单来自英国黑泽市。

以英国黑泽市订购的 5 模块 Flexity2 型车为例，其技术指标如下：长 32.2 m，宽 2.65 m，最大速度为 70 km/h，最小转弯半径为 20 m（停车场）、25 m（轨道），最大爬坡坡度为 6%，采用 DC 600 V 供电，100%低地板，载客量为 296 人（站席 6 人/m²），其中坐席 74 人。

除了上述 2.65 m 宽的车型外，5 模块的 Flexity2 型车还有一种 2.4 m 宽的车型，载客量为 284 人，其中坐席 52 人。

7 模块的 Flexity2 型车能提供 425 人的载客量，其中坐席 80 人，车长 43.4 m，宽 2.65 m，

自重 57 t。

如同 5 模块车型一样，7 模块的 Flexity2 型车也有一种 2.4 m 宽的车型，能提供 397 人的载客，其中坐席 74 人。

3. 西门子公司的有轨电车车型

德国西门子公司提供多种型号的现代有轨电车车辆，主要包括 Combino，ULF 和 Avanto。

1) Combino

Combino 型车非常适合转弯半径小、站间距小、上下客流量大的中心城区路线。使用 Combino 型车的城市有德国弗赖堡、葡萄牙里斯本、匈牙利布达佩斯等。以布达佩斯 Combino 型车为例，其技术指标如下：100%低地板，车长 53.99 m，车宽 2.4 m，6 个模块，轴重小于 10 t，轨距为 1 435 mm，载客量为 499 人（其中坐席 58 人，站席 6 人/m²），设计最大速度为 70 km/h，运营最大速度为 60 km/h，最大加速度为 1.3 m/s²，平均减速度为 1.1 m/s²，采用 DC 600 V 架空接触网供电。

2) ULF

ULF 型车拥有号称世界上最低的乘客入口高度，其最为成功的应用在奥地利维也纳。ULF 型车拥有 5 模块和 7 模块两种车型。5 模块车型宽 2.4 m，长 24.2 m，轨距为 1 435 mm，轴重小于 12 t，最大速度为 70 km/h，最大加速度为 1.3 m/s²，最大减速度为 1.8 m/s²。两种车型均使用 DC 600 V 供电。5 模块车型的载客量为 136 人（站席 4 人/m²），7 模块车型载客量为 207 人（站席 4 人/m²）。

3) Avanto (S70)

Avanto 又被称作 S70 型，在美国波特兰、圣迭戈、休斯敦、盐湖城和法国巴黎等地使用。

以美国圣迭戈的 S70 型有轨电车为例，其技术指标如下：车长 27.67 m，宽 2.65 m，空车重 43.41 t，70%低地板，最小转弯半径为 25 m，轨距为 1 435 mm，最大运行速度为 88.5 km/h，最大允许速度为 120 km/h，最大加速度为 1.34 m/s^2 ，紧急制动减速度为 2.33 m/s^2 ，载客量为 221 人（其中坐席 64 人，站席 6 人/m^2 ）。

4. 劳尔公司的有轨电车车型

Translohr 是法国劳尔公司的产品，其特点是只采用一根导轨，导轨两侧靠两个胶轮引导车辆沿着导轨运行。目前，在世界范围内有几个城市应用该车型，如法国的克莱蒙费朗（Clermont-Ferrand）、意大利的帕多瓦和我国的天津。其供电形式为架空线供电，但也可以使用自带电池供电。由于 Translohr 型车采用胶轮，所以拥有很优良的爬坡性能，最大爬坡能力达到 13%。Translohr 型车分为 3 模块、4 模块、5 模块和 6 模块四种类型，车体长度分别为 25 m、32 m、39 m 和 46 m。

5. 长春客车厂的有轨电车车型

我国的长春客车厂生产了一种 70% 低地板的现代有轨电车车型，使用湘潭电机厂生产的电机。其支撑方式为钢轮钢轨，轴重 $\leq 11 \text{ t}$ ，车长 28 m，宽 2.65 m，最大速度为 70 km/h，正线最小转弯半径为 25 m，最大纵坡为 6%，采用接触网供电，载客能力为 250 人。该车型在我国长春得到应用。

3.2 车辆的构成及分类

3.2.1 构成

现代有轨电车和其他城轨车辆一样，均是由车体、走行部、牵引缓冲连接装置、制动装置、受流装置等八部分组成。其具体外观组成如图 3-1 所示。

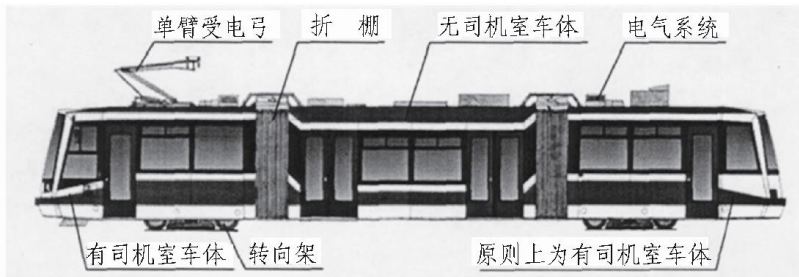


图 3-1 现代有轨电车的外观组成

1. 车体

车体分为有司机室车体和无司机室车体两种。它既是容纳乘客和司机的地方，又是安装和连接其他设备和部件的基础和骨架，一般由底架、端墙、侧墙和车顶等组成。

2. 转向架

转向架位于车体与轨道之间，用于引导车辆沿钢轨行驶和承受来自车体及线路的各种载荷并缓和车辆和线路之间的相互作用，是保证车辆运行品质的关键部件。转向架可分为动力转向架和非动力转向架，一般由构架、弹簧悬挂装置、轮对轴箱装置和制动装置等组成。对于动力转向架，还装设有牵引电机及传动装置。

3. 牵引缓冲连接装置

牵引缓冲连接装置通常是指车钩缓冲装置和各种铰接装置，主要用于将车辆编组成列。

铰接装置在现代有轨电车上使用得非常广泛，当前的低地板车辆绝大多数都采用铰接方式连接编组。车钩缓冲装置安装于车辆的前、后两端，主要用于拖拉故障车辆，只有少数单体车辆仍然通过车钩装置进行编组运行。

4. 制动装置

制动装置是保证现代有轨电车准确停车及安全运行所必不可少的装置，主要由机械部分、空气管路部分和电气控制部分组成。

5. 受流装置

受流装置也称受流器，指从接触导线（接触网）或导电轨（第三轨）将电流引入有轨电车的装置。受流装置按其受流方式可分为杆形受流器、弓形受流器、侧面受流器、轨道式受流器、受电弓受流器。城市有轨电车最常用的为轨道式受流器和受电弓受流器。

6. 车辆内部设备

车辆内部设备包括服务于乘客的车体内的固定附属装置和服务于车辆运行的辅助设备。通常，服务于乘客的车体内的固定附属装置包括车灯、广播设备、通风设备、取暖设备、空调设备、座椅和拉手等。服务于车辆运行的辅助设备大多吊挂于车底架上，如蓄电池箱、继电器箱、主控制箱、风缸、各种电器开关和接触器箱等。

7. 车辆电气系统

车辆电气系统包括车辆上的各种电气设备以及控制电路，按照功能和作用可分为主电路

系统、辅助电路系统和电子控制电路系统三部分。

主电路系统由牵引电机及与其相关的电气设备和连接导线组成，其作用是将电网的电能转变为车辆运行所需的牵引力，以及在电气制动时将车辆的动能转换为电制动力。它是车辆上的高电压、大电流、大功率动力回路。

辅助电路系统是为保证车辆正常运行而必须设置的辅助用电系统。

电子控制电路分为有接点的直流电路和无接点的电子电路。控制电路的作用是控制主电路和辅助电路各电器的工作。车辆的正常运行通过司机操纵主控制器设备各按钮或者车辆自动运行控制系统保证。

8. 列车信息网络控制系统

列车信息网络控制系统主要由列车信息中央装置、列车信息终端装置、列车信息显示器以及车内各种设备的监控、诊断和显示装置等组成。当前只有少数路权独立、信息化程度较高的现代有轨电车安装有该系统。

现以 DL4W 型仿古有轨电车为例说明有轨电车车辆的构成。

DL4W 型仿古有轨电车是大连市城市轨道交通 201、203 号线路用于替代旧电车的新型单节有轨电车。该车的外观及车体内装饰采用仿古设计，其核心技术采用了交流传动驱动、微机控制监测和操纵、空气弹簧减振、弹性车轮降噪等先进技术。该车可以在地面和高架线路上运行，其限界符合大连市城市轨道交通车辆的限界要求，其车体和所有安装在车体外部的设备均能够适应风、雨、雪的侵蚀及大连市的气候条件。该车为司乘人员和乘客提供了安全、舒适的环境，具有高的可靠性和低的维修成本。

DL4W 型仿古有轨电车于 2003 年 8 月开始设计，其首台样车于 2004 年 7 月 1 日正式上线试运行，并于 2005 年 3 月完成线路性能试验，现正在大连市城市轨道交通 202 号线路上载客运行，目前已安全运行 10 多万千米。

DL4W 型仿古有轨电车的外形如图 3-2 所示。



图 3-2 DL4W 型仿古有轨电车

DL4W 型仿古有轨电车为双司机室双向行驶的单节电动四轴有轨电车。其牵引系统采用交流传动技术，驱动控制方式为架控一拖二方式。其制动系统采用气电联合制动的模拟制动系统，制动过程以电制动优先为原则。该车每侧各设置 3 组电动塞拉门，中间为双扇电动塞拉门，两端为单扇电动塞拉门。车内两侧布置了纵向座椅，车上安装了空调装置。车下为两个两轴动力转向架。

1) 车体

DL4W 型仿古有轨电车车体钢结构采用低合金耐候钢焊接而成，由底架、侧壁、顶棚和司机室组成筒形承载结构。其底架两端牵引梁采用冷弯型钢组焊而成，枕梁为钢板焊接成的

鱼腹形结构，侧梁和前后两端梁分别由型钢焊接而成。侧壁、顶棚和司机室钢结构采用闭口型钢组焊而成。

2) 转向架

DL4W 型仿古有轨电车采用两个相同的两轴动力转向架，对称布置于车体两端。转向架主要由构架、摇枕、轴箱轮对、一系悬挂、二系悬挂、驱动装置和基础制动装置等组成。

3) 牵引系统

DL4W 型仿古有轨电车的牵引系统采用交流传动，驱动控制方式为架控一拖二方式，即一台交流调速装置驱动同一转向架上的两台牵引电机。牵引调速系统采用无速度传感器矢量控制，具有环境适应能力强、内部状态信息易于观测和设置、自我检测和保护完善、系统可靠性高等优点。

4) 制动系统

DL4W 型仿古有轨电车的制动系统采用气电联合制动的模拟制动系统。它具有常用制动和紧急制动两种功能，常用制动以电制动优先，气电联合制动；紧急制动仅为空气制动。电制动时可将电能反馈至直流电网，回馈给同一供电区间内行驶的其他车辆，完成再生回馈制动；若供电区间无其他车辆运行，其制动能量可经车上制动电阻自行释放，完成电阻能耗制动。

5) 车载微机监控系统

DL4W 型仿古有轨电车的车载微机监控系统由微机监控装置、彩色显示器和参数传感器

组成，主要完成数据检测记录、参数状态显示、系统数据通信、车辆运行控制、防空转防滑行控制以及系统故障诊断、报警、保护等任务。

3.2.2 分 类

随着科学技术的发展，有轨电车车辆出现多种类型，呈现多样化发展趋势。目前，现代有轨电车可以按照以下几种方式进行分类。

① 按照地板高度划分，有 70%低地板车辆和 100%低地板车辆。

② 按照车轮形式划分，有钢轮钢轨式和胶轮+导轨式。

③ 按照车辆长度划分，有单节车和铰接车。铰接车有 4 轴、6 轴和 8 轴之分。如采用模块化设计，则有 2 模块和多模块之分，最多可达 8 模块。

④ 按受流方式划分，有第三轨受流和受电弓受流两种类型。

采用何种类型的车辆，要根据城市的具体要求、线路条件、车辆技术要求等综合确定。

3.3 车 体

3.3.1 车体的构成要素

车体是现代有轨电车车辆结构的核心部分。现代有轨电车车身造型的基本构成元素通常如图 3-3 所示，主要包括：车钩罩、面罩、车灯、雨刮器、前窗、左前立柱、右前立柱、显示装置、车顶盖、后视镜、侧窗和车门等。此外，为了便于平时的检修，一些现代有轨电车在

车身两侧还安置了方便拆卸或活动式的转向架护罩。在技术先进的车载后视镜摄像系统诞生后，阿尔斯通、庞巴迪、安萨多伯瑞德和西门子等公司纷纷用后视镜摄像装置取代了后视镜，其中以阿尔斯通系列车辆最为典型。

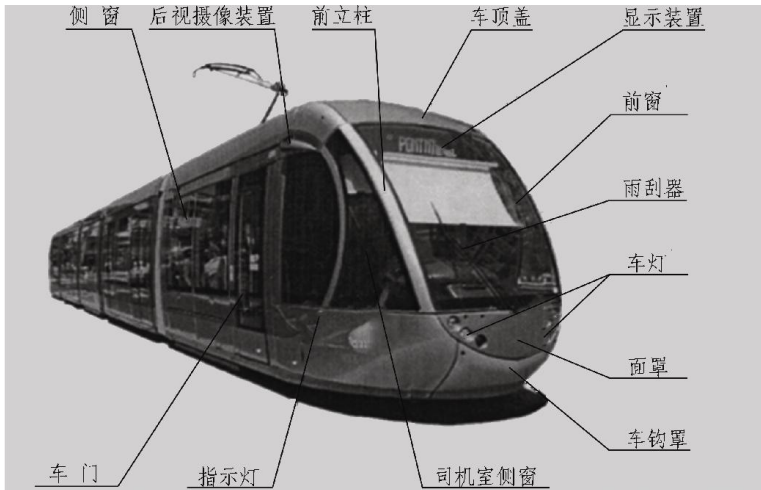


图 3-3 Citadis302 (Niece) 车辆车体的基本构成要素

3.3.2 车体结构类型

现代有轨电车的车辆结构形式多样，主要有单车型、浮车型、铰接型和单浮组合型四种。

不同的结构形式所对应的车体有所不同。

单车型结构的特点是车体较短，每个车体下都有一台转向架，且位于车体的中部位置。

早期 100%低地板有轨电车为单车型结构，目前仅有西门子公司生产的 Avenio 型车为单车型结构（见图 3-4）。