

# 第一章 运营组织概论

## 第一节 城市轨道交通的现状与发展

### 一、国外城市轨道交通简况

#### (一) 城市轨道交通的发展

城市快速轨道交通发展至今已有百余年的历史。目前世界上已有近百座城市的快速列车日夜不停地在轨道交通网络上奔驰,运送着南来北往的乘客。城市轨道交通已经成为城市生活不可缺少的一部分,同时也鲜明地标志着这个城市已进入了现代化的行列。

1863年,世界第一条地下铁道在英国首都伦敦建成通车,由于其较当时地面交通快速的特点,尽管隧道内烟雾弥漫,仍然受到了市民的热烈欢迎,从此城市快速轨道交通在世界上诞生。

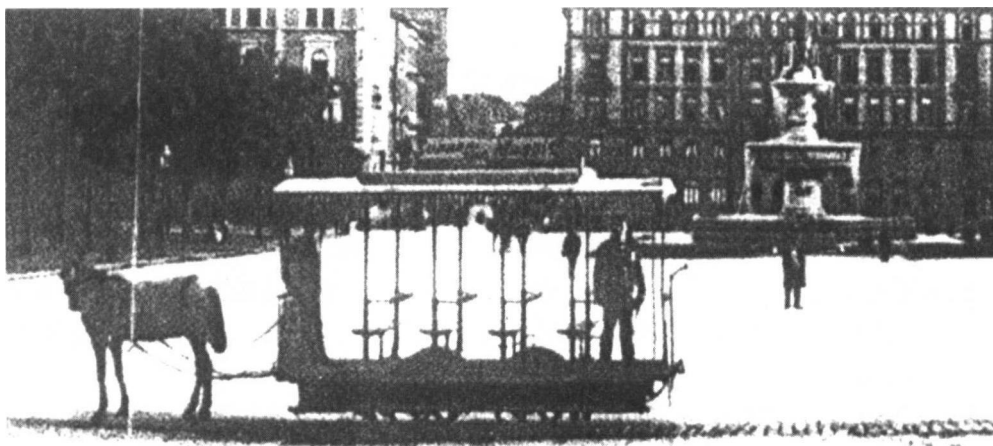


图 1-1 1894 年德国马拉轨道客车

1879年,电力驱动的列车研制成功,大大改善了地下铁道的环境,不仅使乘客和工作人员免受烟熏之苦,也开轨道交通使用无大气污染的二次能源之先河。尽管当时的人们不一定意识到,但它已成为城市轨道交通在随城市不断地发展中,免除了污染环境的顾虑,事实上城市轨道交通从此步入了连续不断的发展时期。

1863~1899年,美国、英国、法国、匈牙利、奥地利等5个国家的7座城市相继修建了地下铁道。电动列车问世以后,伦敦地铁几乎每年都有新的进展。

1900~1924年,欧洲和美洲又有9座城市相继修建了地下铁道,如德国的柏林、西班牙

牙的马德里、美国的费城等。

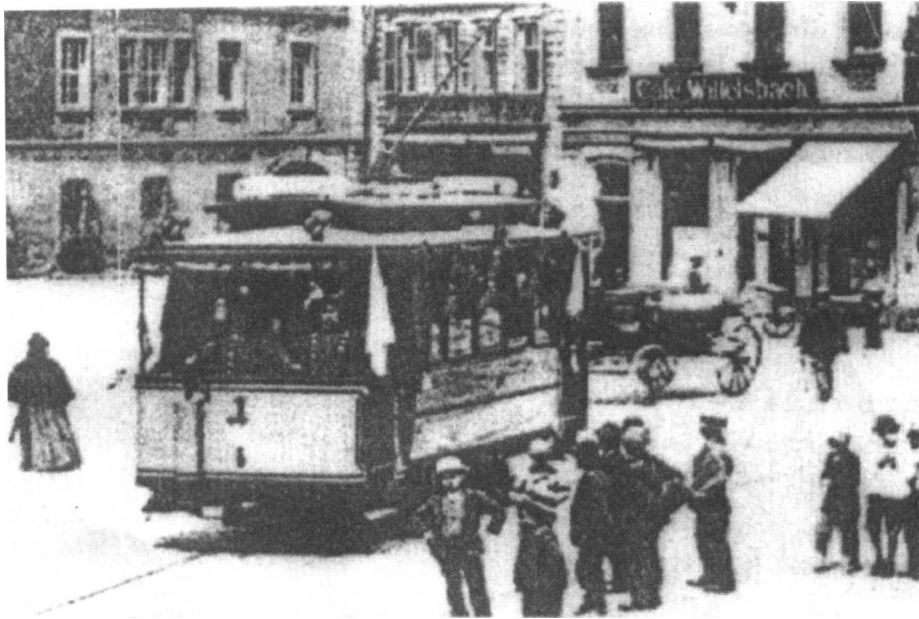


图 1-2 1900 年德国的电动有轨电车

1925~1949 年，由于第二次世界大战的影响，城市轨道交通建设速度放缓。但由于地下空间对于战火的特殊防护作用，有的处于战争状态中的国家反而加速进行地铁的建设，如日本的东京、大阪和前苏联的莫斯科等。特别是莫斯科，第一条地铁于 1935 年建成通车，二战期间建设速度反而加快。目前地铁运营网络达 251km。据悉二战期间斯大林曾经在地铁车站站台开过大型军事会议。据有关报道在运营线路下方 20m 层还有长达 280 余 km 的军用地铁网络。为了战争准备而修建地铁的指导思想是否由此发端，值得研究。

1950~1974 年，24 年里城市快速轨道交通蓬勃发展。欧、亚、美洲有 30 余座城市地铁相继建成通车。

1975~2000 年，世界进入了和平发展时期，城市轨道交通技术的发展日趋成熟，在经济发展的基础上城市化进程加快，又有 30 余座城市建成通车。这一时期亚洲发展更快，有 20 余座城市开通了地铁。原有地铁城市也逐步发展形成了城市轨道交通的网络。1999 年统计资料显示，世界上已有 115 座城市建成了地下铁道，线路总长度超过了 7000km。

城市轨道交通的形式是多样化的，几乎在地下铁道发展的同一时期，在电力驱动的列车问世后，1881 年，德国展示了一列 3 辆电力编组的小功率有轨电车。在它的启示下，1888 年，美国里士满市出现了世界第一列商业运行的城市道路有轨电车。

此后有轨电车飞速发展，美国、欧洲、亚洲的许多城市相继开通了有轨电车如图 1-2。虽然它行驶在共用的城市道路上，又受路上红绿灯的限制，运行速度很低，但在当时也曾 在城市交通中发挥了骨干作用。1908 年，我国上海建成投运了全国第一条有轨电车线路。大连、北京、天津、沈阳、哈尔滨、长春、鞍山等城市的有轨电车线路随后也相继开通。

1978年，国际公共交通联合会（UITP）会议确定了新型有轨电车的统一名称缩写为LRT，翻译过来就是“轻轨”。所谓新型有轨电车，实际上就是利用现代科技如交流牵引技术、计算机控制技术等，对基于轮轨运行方式的城市有轨电车客运系统，进行一系列相应的改造，提高其安全性和舒适度。因此受到了广大乘客的欢迎。当汽车的发展使人们普遍感到方便而大量使用时，许多城市曾经拆除有轨电车。后来道路的拥塞和尾气的污染迫使城市的管理层寻找新的途径。轨道交通以其快速、安全、准点、大运力、无污染的优越性被世界范围内广大有识之士所认同。因此在地下铁道发展的基础上，造价相对较低的地面新型有轨电车在欧美一些城市道路有条件的情况下重新发展起来。据不完全统计，目前已有270余座城市包括一些大城市（如柏林等）均有较大的发展，如图1-3。



图1-3 城市轻轨交通

新型有轨电车为适应不同运量的需要有4轴、6轴单铰及8轴双铰车等三种基本类型，可单节运行亦可编组运行。低地板车因乘降方便更受乘客欢迎。线路一般铺设在道路地面，或者高架，必要时也可进入地下。运行也有三种情况：和其他车辆混合运行；半封闭运行；路口信号优先；全封闭型。前两类常见于地面，全封闭一般高架。

随着技术的进步及适应不同的需求，近年来又出现了一些新的轨道交通方式：

1985年加拿大成功地把直线电机驱动技术应用在城市轨道交通上，温哥华一条22km的高架直线电机线路投入了商业运营。直线电机又称线性电机，根据传统的电动机原理将转子、定子的半径设计成无限大，转子、定子即相对为平行的平面，将转子和定子平面相对安装在车辆底部和轨道中间，通电之后即可如电动机原理一样驱动车辆在线路上运行。和传统电动车辆相比，线性电机驱动方式具有减轻车辆自重、增大爬坡能力（60%~80%）、减小线路曲线半径（最小 $R=50\text{m}$ ）等优点。随后日本大阪等地也投运了该系统。

走行方式上，变传统的钢轮-钢轨系统为橡胶-混凝土（或钢板）系统的新交通系统

(简称 AGT)，1981 年首先在日本神户建成。目前日本已有 10 余条线路在运行。1983 年，法国里昂也首次建成 AGT 系统，法国人简称为 VAL。上述走行系统的改变最大的优点是减少列车运行的噪声，进一步优化了城市环境，如图 1-4。

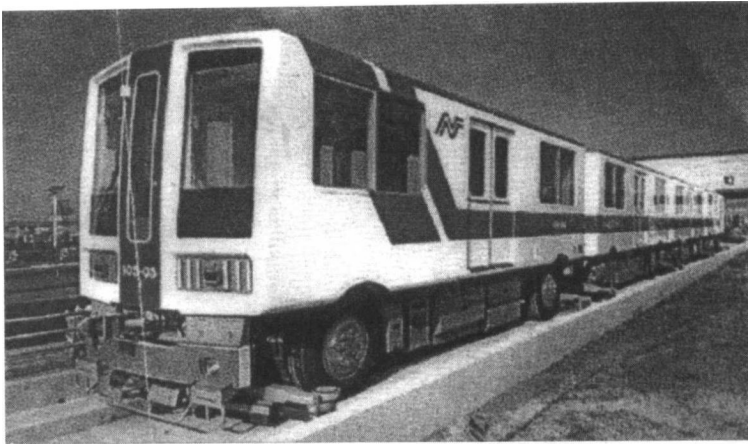


图 1-4 胶轮新交通系统

单轨交通系统是指车辆在特制的单轨道梁上运行的新式交通工具。轨道梁不仅是车辆的承重结构，也是车辆运行导向的轨道。它有两种方式：车辆跨座在轨道梁上运行的方式称为跨座式；车辆悬挂在轨道梁上运行的方式称为悬挂式。单轨交通系统的发展也有近百年的历史，但当时主要用于游乐。作为城市交通，由于其本身的局限发展缓慢，直到 20 世纪 60 年代，日本的地面交通已十分拥挤，将目光转向空间。在高架梁上运行的单轨交通因其占地面积小，尤其是在一些不宜改造的狭窄的城市道路上空，有其独特的适应性，且为专用通道，运行安全快速，便逐步发展起来。如图 1-5、图 1-6。

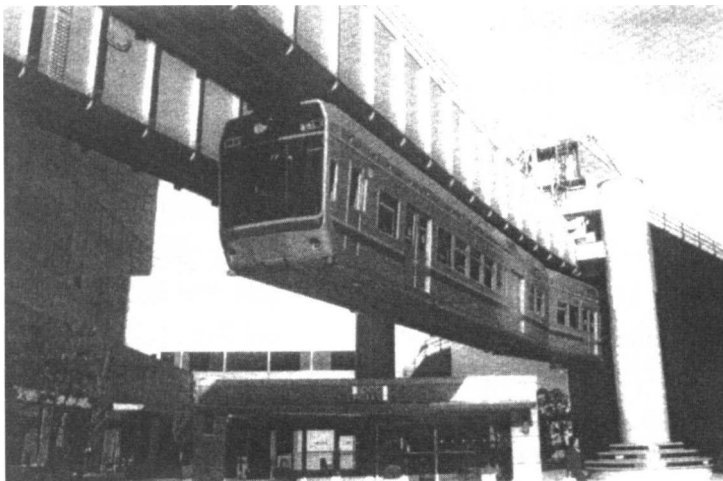


图 1-5 悬挂式单轨交通

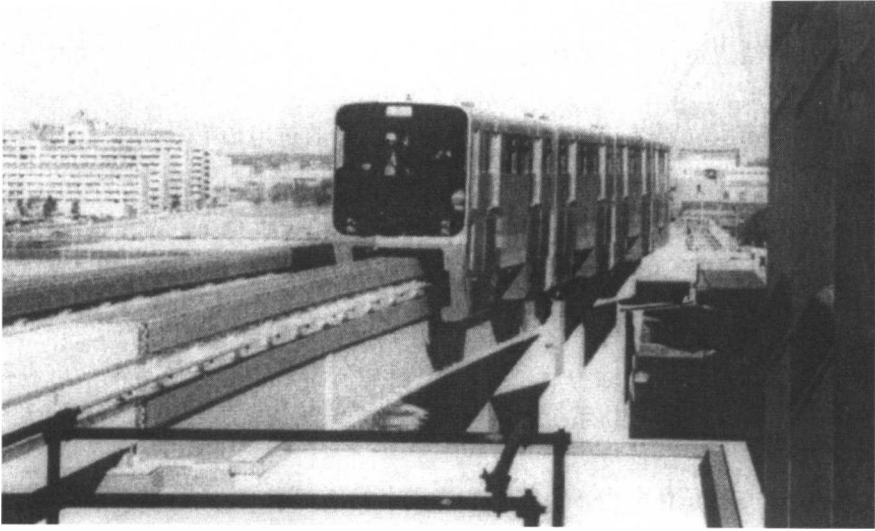


图 1-6 跨座式单轨交通

20 世纪 70 年代日本和德国就开始研究磁悬浮列车技术。利用磁性相斥的基本原理，使列车和轨道保持一定的间隙，同时采用线性电机驱动列车。因为摆脱了轮轨系统的速度限制，列车可以高速沿特制的线性电机的轨道运行。根据日、德的试验结果，最高运行速度可达 500km/h，理论上甚至可以更高。关键的技术是磁浮，目前研究有低温超导、高温超导和常导磁悬浮技术，在试验线上试验已近成熟。这种运行方式的最大特点是高速，500km/h 及以上的速度介于飞机和目前的轮轨高速列车之间，可以填补 500~1500km 之间的距离—时间带，因而适应于长途客运。用于城市交通，如果点—点间大于 30km 的客运，如城市组团间、距离较远的机场至城市间或根据当地城市形态自然资源而需提升其旅游功能时，低速常导磁悬浮或可有用武之地，如图 1-7。



图 1-7 磁悬浮列车系统

综观上述各类城市轨道交通系统模式，我们发现它们有许多相同或相似之处以及其发展的必然性。

——全部沿用轨道运行。除地面混行的现代有轨电车外均为封闭运行的线路。列车运行不受干扰，但不能超车。

——均为电力牵引（驱动），就连磁悬浮技术也是通过电磁转化得来，因而无废气污染而改善城市环境。驱动由传统的旋转电机转向线性电机，在于减少列车自重、提高运行效率。

——走行系统由钢轮—钢轨而胶轮—混凝土（钢）轨或悬浮运行，其目的是减少噪声干扰和提高运行速度。

——为保证高速追踪运行列车之间的距离，确保列车安全，均设有列车运行位置检测和追踪速度控制系统（专业上称为信号系统）。钢轮—钢轨走行系统情况下可利用钢轨传输信息，胶轮—混凝土（钢）轨系统和磁悬浮列车系统无钢轨可用，需要采用无线定位系统检测列车位置和控制追踪速度。

——城市轨道交通是在电力牵引技术的基础上发展起来的。信息技术的发展为城市轨道交通的自动化提供了极大的空间。通信技术、电力运行技术（SCADA）、列车自动控制技术（ATC）、自动售检票技术（AFC）的应用使得列车自动驾驶、变电所无人值班、车站无人售检票得以实现，大大提高了列车运行的安全，方便了乘客，减少了人员，节约了成本，从而进一步推动了城市轨道交通的加速发展。下表列出了世界城市轨道交通的发展情况：

运营里程超过 100km 的城市轨道交通概况

表 1-1

城市	城市人口 (万人)	区域人口 (万人)	线路 (km)	地下线路 (km)	高架线路 (km)	地面线路 (km)	车站 (个)	供电 (V)	受流方式
纽约	730	1330	436	253	129	75	501	DC625	三轨
伦敦	670		398	163		235	273	DC600	三轨
巴黎	210	1020	192	177	13.7	1.1	429	DC750	三轨
莫斯科	880		220	184	36		143	DC825	三轨
东京	840	1190	218	174	24	20	206	DC1500	三轨/架空线
芝加哥	300	700	163	18	85	60	143	DC600	三轨
墨西哥	2000		141	103	10	28	125	DC750	两导向杆
柏林	260	438	191	114	3	74	180	DC780/600	三轨
汉城	1020	1350	116	116			102	DC1500	三轨
马德里	320	400	113	105	3	5	137	DC600	架空线
华盛顿	60	300	112	62	10	40	64	DC750	三轨
斯德哥尔摩	60	160	105	62			99	DC650/750	三轨
大阪	260		104	93	11		98	DC750	三轨

## （二）城市轨道交通的管理

根据有关资料介绍及考察情况，德国、日本、新加坡、香港等有关城市对城市轨道交通

通的管理相对具有典型性。这里作简要介绍以供参考。

1. 政府对城市轨道交通的发展和运营十分重视，表现在如下方面：

——政府组织制定城市轨道交通网络规划，并由议会按立法程序确认以保证规划的严肃性。变更亦须同样程序；

——政府设立专门管理机构，对城市轨道交通的建设和运营统一管理。如新加坡政府部门设地铁局。德国法兰克福则由负责能源、交通、水利的一个政府机构管理，慕尼黑、纽伦堡为同一模式。

——城市轨道交通均由政府投资，建成后交由运营公司管理。如新加坡由地铁局组织建成后交由捷运公司按私人公司模式管理。地铁局派员参加由议会成员、知名人士组成的董事会讨论决定重大经营决策。私人公司和政府间形成象征性的租赁关系。法兰克福的交通企业逐步由私人公司向有限责任公司转变。

2. 这些城市对轨道交通的运营均作为公益性企业管理，主要表现在对企业的运营亏损进行财政补贴。如柏林 BVG 财政补贴为 50% ~ 55%，法兰克福财政补贴为 45%，纽伦堡补贴 35%，慕尼黑 1996 年补贴 3.4 亿马克。如果说上述城市地铁乘客较少的话，东京地铁乘客是非常之多的，东京高速交通团获得财政补贴也在 40% 左右。新加坡地铁的经营状况较好，在不提折旧费的情况下运营收入扣除成本之后的余额 60% 留作基金由董事会决定其用途，30% 作为发展费用，交政府的象征性租金等费用不到 3%。而且较大的技术改造如磁卡升级为 IC 卡均为由地铁局出面组织。香港地铁公司是全世界惟一完全按公司运作的企业，并已通过上市筹集资金。但建设费用也是政府投资，初期运营也由政府补贴，从投运到独立运作经历了 10 余年的时间过程。值得指出的是无论是政府补贴还是公司运作，其票价均为普通百姓能够承受的水平，如香港地铁的平均票价相当于月收入水平的 0.1% 柏林的月票价数种城市公共交通工具也只占月收入的 4%。

3. 政府特别是企业都是非常重视城市轨道交通的运行安全。柏林地铁（BVG）将安全分为两个层面即：技术设备的安全和乘客的安全保障。可见技术设备的运行安全是整个地铁安全的基础。为此在采用新设备来提高安全运行保障方面也在不断努力。柏林 9 条地铁线路投运也近百年，信号设备制式落后，20 世纪 90 年代同时进行两条线路（4、9 号）更换信号设备（ATC）的改造，并确定了其他线路的改造计划以使运营安全更有保障。对于历史遗留问题如车辆宽度不统一（2.65m 和 2.35m）引起大车、小车和不同线路限界的矛盾等容易引发事故的问题也在规划逐步进行统一规格的改造。他们非常重视对司机等操作人员及检修人员的培训，认为认真负责的具有熟练技术的操作和检修人员是设备安全运行的可靠保证。在培训中既注意采用新的技术（如司机和调度人员等岗位的模拟培训设备），又很重视人员的经验，如要求调度员必须具备司机和车站值班员的资格并有一定的岗位工作经历。香港、新加坡地铁建设于 20 世纪 70 年代，技术起点比较高，如 ATC 信号、售检票系统均已采用。对于乘客的安全保障问题，他们认为应该从乘客和公司两方面共同努力，对乘客要加强宣传，利用各种媒体宣传乘客安全注意事项，发放乘客安全联系卡，公布联系电话，利用各种有效方式加强和乘客的联系。

4. 把为乘客服务作为企业的生命线，不惜人力物力提高服务水平。欧洲的轨道交通发展较早，所以各城市均有国铁早期建设经营的以干线火车站（大城市不止一个）为中心辐射的短程（市郊）铁路，随着城市的发展也就成为城市轨道交通的组成部分，如柏林的 S

(联邦铁路经营的城市轨道交通)。它和 U (BVG经营的地铁) 共同担负着城市交通的任务。这些城市还有其他种类的公共交通工具在运营, 如有轨电车、公共汽车、出租车等。上述城市公共交通工具都为乘客出行提供方便, 而乘客出行一次可能需连续选乘两种以上的交通工具。为使乘客在出行过程中减少购票、换乘等方面的手续和时间以尽快完成出行, 柏林等德国城市的公共交通企业包括城郊的长途客车经营者组成联合体(汉堡有意将此联合体向企业过渡), 统一各种交通工具的车票, 其发行的周票、半月票等在联合体内的交通工具中通用一票到底。同时协调各种交通工具的换乘点、时刻表、运行线路, 做到短换乘距离、短候车时间、大覆盖面积, 大大地方便了乘客。该联合体的工作:

- 在客流调查统计的基础上, 提供更加合理的各交通工具的运行线路、计划、换乘、时刻表。
- 统一票价体系, 并不断完善。
- 各种交通工具的运营数据统计及运营收入分配。
- 公共广告业的统一管理。
- 计算并分配各有关企业的盈利或亏损。
- 各企业间关系的协调。
- 有关信息的交流。

莱茵-鲁尔交通联合体甚至联合多个市镇, 形成一个东起多特蒙德西至德国边境的覆盖, 直径 200km 地区的欧洲最大的一个联合体。更加让人称道的是从外地乘高速列车 (ICE) 到法兰克福转机, 下车后在原站台等候约 5min 就可换乘地铁直达机场。速度之快, 安排之周到, 让人感到这些交通企业均有一个统一的目标——为乘客服务。实际上他们无微不至地为乘客服务就是要吸引乘客更多地乘坐城市轨道交通。他们甚至提出一个口号: 吸引私人汽车所有者更多地使用轨道交通以减少对环境的污染。有的企业在日常工作中将企业服务系统图表一反原来的金字塔的形状, 画成倒金字塔形(如图 1-8), 以使“乘客至上”的观念, 通过日常工作的长期积淀, 潜移默化, 深入人心。

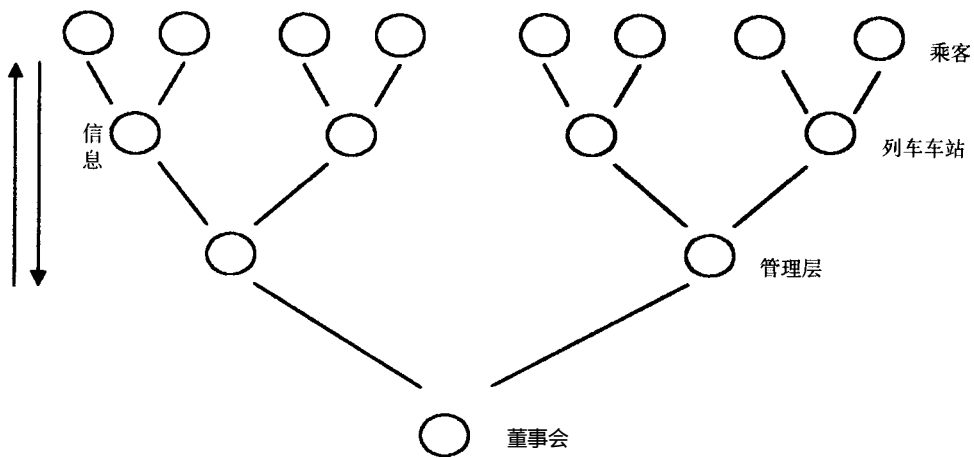


图 1-8 企业服务系统

香港、新加坡、东京的城市轨道交通则通过新技术的运用来提高服务质量，方便乘客。售检票系统较早地通过 AFC 系统实现了自动化、无人化，继而随技术的发展由磁卡系统升级为智能（IC）卡系统，并且和银行及其他城市公共交通联网实现了金融、交通、消费“一卡通”。同时在换乘方面采取平面、立体等方式，协调时刻表等手段缩短换乘距离，减少换乘时间。上述措施均在“城市公共交通一体化”的口号下，不断地发展完善。

5. 从城市轨道交通的建设和运营管理模式看：香港已发展到企业负责融资，自行建设，自行运营的一体化滚动发展模式（初期也是政府投资）。东京由两个公司参与，一个是私营公司，而高速交通营团仍然是政府投资建设，营团只负责运营。而新加坡和德国几个城市的城市轨道交通均为政府投资建设，公司负责运营。

6. 从城市公共交通运营管理来考察，也是各不相同。香港、新加坡和东京企业均单独管理城市轨道交通，而柏林等几个德国城市，地铁、有轨电车、公共汽车均由一个公司进行运营管理。无论单独管理城市轨道交通还是城市公共交通统一管理，企业的内部结构均为事业部制。这种体制的优点是层次少，信息传递快，反应迅速，效率高。而这些正是城市轨道交通运营管理所需要的。内部管理的另外一个特点，也是伴随着事业部体制而生的是行政系统和技术系统合一，线条单一。无论运行和检修，在某部下按工作门类由高级工程师——工程师——技术员——工作人员单线负责，包括行政、技术、质量、工期等等。这就要求高级工程师等各级管理人员，在具有一定权力的情况下，有较高的管理、技术、决策等多方面的能力和素质。当然也有一套比较完善的激励和监督的机制，因此才能保证运行技术复杂的城市轨道交通高效率地运营。

尽管在经济上有财政补贴，但企业的内部管理仍然十分重视经济效益。“安全第一”的运行要求和“乘客至上”的服务理念，实际上也是为了吸引乘客和提高经济效益服务的。在技术发展的今天，计算机的实际应用在各部门都十分普及，就行车组织而言，在运行图的编制、行车指挥、运行故障显示、包括事故抢修等在内的信息传递和指令下达，均采用了计算机网络系统。对乘客的服务也通过该系统将列车运行的有关信息及时显示给站台及车内的乘客。这就要求从事城市轨道交通运营事业的员工均具有较高的技术能力。

## 二、国内城市轨道交通简况

我国建设城市轨道交通始于北京地铁 1 号线。20 世纪 60 年代中期开工，70 年代初正式投入运营。当时全部采用国产设备，借鉴前苏联技术标准设计。改革开放后，上海地铁 1 号线主要利用德国政府贷款建设，车辆设备均由国外引进，其设备车辆主要采用德国标准。

“地铁”原为地下铁道的简称。一条穿过城市中心区的城市轨道交通线路主要在市中心区地下运行，习惯称为地下铁道（简称地铁），如北京地铁等。根据城市的形态的不同和发展的需要，一条城市轨道交通线路可能主要在地下，也可能主要在地面、或高架。如何称谓？业内人士应该科学地理解。

根据我国现行的标准如“城市快速轨道交通工程项目建设标准”，划分“地铁、轻轨”等简单称谓的城市轨道交通，主要依据的是该线路长期的单向客运能力，而不是看其主要处在地下、地面或高架。而相应的视觉判断则可以采用车辆的大小粗略地判定。现行规定：

- I. 高运量——单向运能 5~7 万人次/h 车辆 A 型, 地铁;
- II. 大运量——单向运能 3~5 万人次/h 车辆 B 型或 (A 型), 地铁;
- III. 中运量——单向运能 1~3 万人次/h 车辆 C 型或 (B 型), 轻轨;

A 型车——长 22 (24) m、宽 2.8m、4 轴;

B 型车——长 19m、宽 2.8m、4 轴;

C 型车——长 18.9m、宽 2.8m、4 轴 (单车);

长 22.3m、宽 2.6m、6 轴 (铰接);

长 29.5m、宽 2.6m、8 轴 (铰接);

对比之下: 北京、天津地铁使用的车辆为 B 型车;

上海、广州地铁使用的车辆为 A 型车;

莘一闵轻轨使用的是上海阿尔斯通组装的 SHANGHAI TRAM 车辆, 属 C 型, 4 轴车;

大连电车公司车辆厂生产的 6 轴铰接车则使用在大连有轨电车线路上。

### (一) 已运营的城市

#### 1. 北京

以地下铁道为标志的大运量、高速度的城市轨道交通在我国首先是从北京开始建成通车的。北京地铁 1 号线东起北京火车站, 沿前三门大街转复兴门外大街西行直到终点站——苹果园站, 全长 23.6km, 1969 年通车。1984 年第二条地铁即北京环线全长 19.9km 建成通车。两条线共长 43.5km、车站 29 座, 日客运量 146 万人次, 占公交客运量的 15%。

2000 年 6 月, 第三线复兴门至八王坟的地铁建成通车, 全长 13.5km。2002 年北京东直门—西直门的城市铁路建成通车, 其长度为 40km, 如图 1-9。至此, 北京地铁运营线路长度为 97km。

除城市铁路外, 北京地铁三条线均为地下线路, 其钢轨采用 50kg/m 轨, 供电制式为 DC750V 三轨受电, 车辆为 1999 年建设部批准的“城市快速交通工程项目建设标准”(以下简称建设标准) 中的 B 型车, 耐候钢车体、凸轮变阻调速牵引 (复八线以后为引进 VVVF 交流牵引)。信号系统原为铁路自动闭塞人工驾驶模式, 后引进改造为 ATC 系统, 环线开始采用自行设计安装的 CTC + 移频轨道电路 + ATP 系统。售检票目前仍采用人工售检票制式, 采用单一票价制, 并发行本月票和公交通用。

北京地铁的运营和建设由北京地铁总公司统一管理。2001 年改为北京地铁集团, 下设运营、建设两公司, 分别进行地铁运营和地铁新线建设的管理。

#### 2. 天津

天津地铁第一条线利用人防设施于 20 世纪 80 年代借鉴北京地铁模式建成通车。全长 7.4km 设车站 6 座, 技术标准和北京相同。日客运量约 3 万人次。2001 年该线停止运营, 和新建设的 1 号线建设同期进行改造中。新建的天津地铁 1 号线, 全长 26.188km, 设车站 22 座, 预计将于 2005 年 12 月建成通车。

#### 3. 上海

上海地铁 1 号线北起火车站经人民广场、淮海中路、衡山路、漕溪路到终点站虹梅路, 于 1995 年 4 月通车, 全长 16.1km。1997 年 7 月 1 日南延伸线通车, 从火车站至莘庄, 使 1 号线全长增加到 21km, 全线设车站 16 座, 如图 1-10 (a)。2000 年 6 月 1 日上海地

铁 2 号线建成通车，从中山公园站至浦东张江高科园区，全长 19km，设车站 13 座。2000 年底上海地铁 3 号线（又称明珠线）建成通车，该线利用已完成历史任务的淞沪铁路及铁路内环旧址进行建设，全长 25km，设车站 19 座，如图 1-10 (b)。至此，上海地铁三条线投入运行，运营里程达 65km，共设车站 48 座，日客运量 100 万人次。2003 年莘庄一闵行轻轨线建成后，投运长度 17km，车站 11 座。



图 1-9 北京城铁列车

上海地铁地下、地面及高架的形式都有：1 号线南段 5 个车站及相应区间设在地面，2 号线南段一站一区间为高架形式，其他车站线路在地下，3 号线设两座地面站其他均为高架形式。钢轨均为 60kg/m 耐磨轨。供电均采用 DC1500V 接触网制式。车辆为“建设标准”中规定的 A 型车，铝合金车体，斩波调压直流（1 号线）及 VVVF 交流牵引（2 号线、3 号线）信号制式均为 ATC、自动驾驶，1 号线为模拟系统，2、3 号线为数字系统。售检票为 AFC 自动化制式，计程票价制，单程票用磁卡，储值计程票有磁卡和 IC 卡两种制式，其中 IC 卡和公交、轮渡、出租车通用。

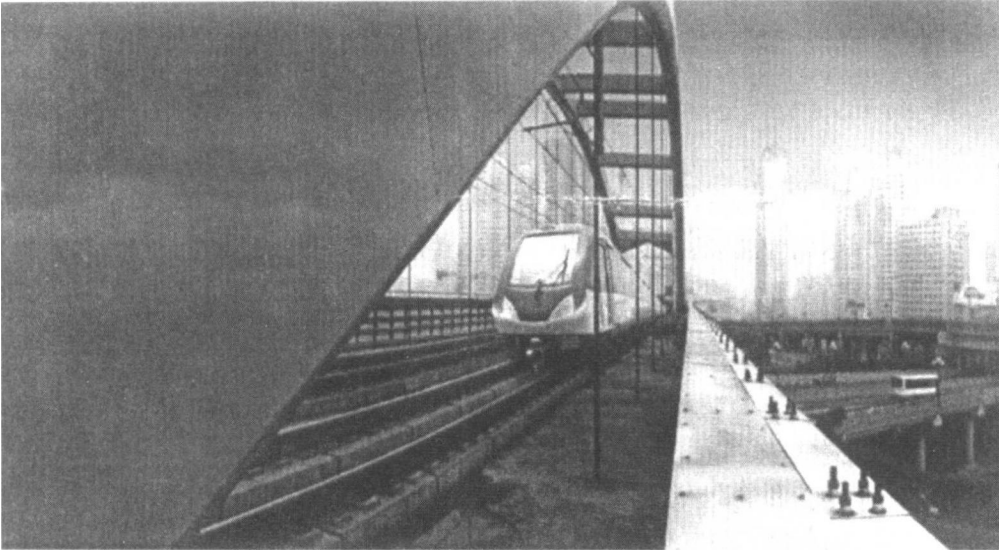
上海地铁的运营和建设从 1 号线投运开始，由上海地铁总公司统一管理。2000 年原上海地铁总公司进行改组，运营和建设由新组成的上海地铁运营有限公司和上海地铁建设有限公司单独管理。

由于 IC 储值卡为地铁、公交、轮渡、出租车等交通方式所通用，因此 1999 年成立的上海东方卡有限公司负责发行 IC 储值卡，并对地铁、公交、轮渡、出租车各公司的票款按日结算。

上海地铁是由代表政府的投资公司出资（贷款）修建的，建成后的固定资产归投资公司所有，故地铁运营公司的经费是按运营实际和投资公司的资本摊销来结算年度费用的。



(a)



(b)

图 1-10 上海地铁

((a) 上海地铁列车运行；(b) 上海地铁明珠线列车运行

#### 4. 广州

广州地铁 1 号线从西朗站北上穿越珠江在公园前向东穿过市中心转向北至终点站广州东站。全长 18.5km，设车站 16 个。1999 年 6 月 28 日正式通车。2000 年日客运量平均为 17.4 万人次。2003 年 2 号线首段（长约 10km，车站 9 座）将投入运行。

广州地铁 1 号线除南段两站及相应线路设在地面外，其余均为地下线路。线路采用 60kg/m 钢轨。供电为 DC1500V 接触网制式。车辆为 A 型车、铝合金车体、VVVF 交流牵引。信号采用数字式 ATC 系统列车自动驾驶。售检票为 AFC 自动化系统，计程票价制，储值票和单程票均采用磁卡。最近结合 2 号线的设计，准备将 1 号线 AFC 系统包括储值、单程票全部进行 IC 卡系统的改造，为城市交通“一卡通”创造条件，更好地为乘客服务。

广州地铁的运营和建设均由广州地铁总公司统一管理，如图 1-11。

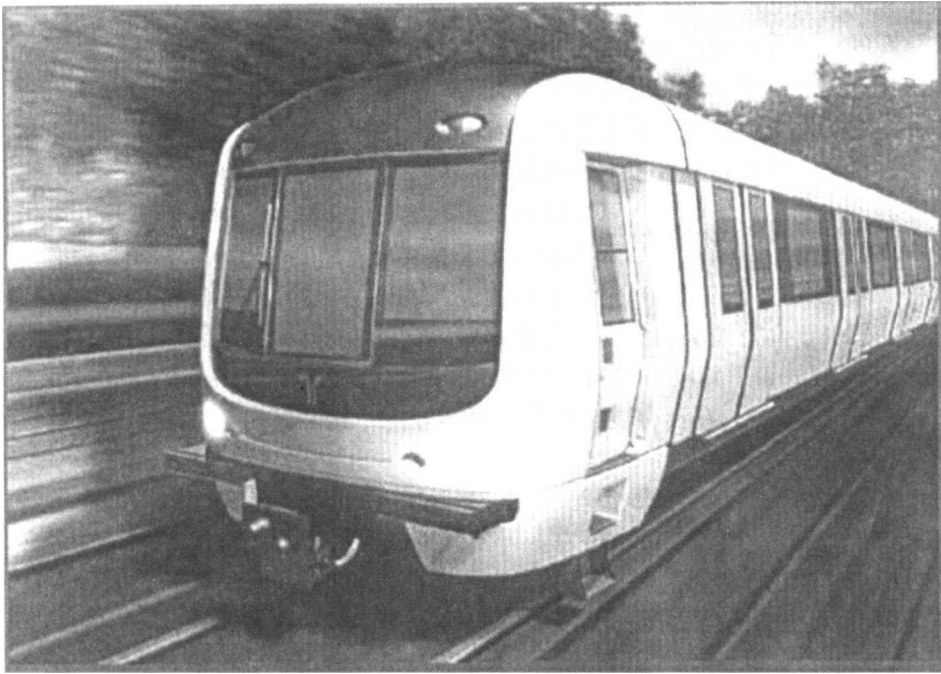


图 1-11 广州 2 号线车辆

#### （二）正在发展的城市

立足于更加顺畅地组织城市公共客运交通，考虑到减少环境污染并为城市的健康发展奠定良好的基础，国际上已经明确将轨道交通作为城市公共交通发展的重点。已经投入运营的 115 座城市的 7000 余公里轨道交通，发展的高峰在 20 世纪 70~90 年代，而亚洲的城市轨道交通建设的高峰从 70 年代后期开始至今，方兴未艾。这一趋势也正好与有关地区及城市的经济发展趋势相吻合。

如果说 20 世纪 60 年代北京建设地铁有相当的“战备”思想基础，那么从 80 年代开始建设的上海、广州地铁则已经将其作为城市公共交通的主要工具和提高城市形象的现代化

标志来对待了。90年代以来，我国近30座城市纷纷提出建设城市轨道交通的计划，已有近20余座城市在城市总体规划的基础上，作出了轨道交通网络规划。这已经清楚地表明，具有快速、安全、准时的特点和大运量、无污染优越性的轨道交通，作为城市公共交通的主要发展方向已被广泛地认同。

和世界城市轨道交通发展的趋势和规律一样，我国城市轨道交通的发展，也是在经济发展的基础上，面临城市交通的压力，在寻求更好地城市发展道路时作出的明智抉择。

改革开放20余年来，我国城市经济取得了长足的进步，各大城市在具备了一定的经济实力的同时均受到了城市交通的困扰。

首先是城市化的进程加快，预计到21世纪初我国城市化的水平将由目前的30%，发展到60%以上。城市化的进程导致农村人口迅速向城市集中。改革开放初期，我国百万人以上的大城市只有28座，目前已发展到36座，而且发展趋势正在加快。

城市化的发展必然导致土地开发利用面积的扩大。向城市周围扩展无论是渐进的还是组团式跳跃的，均导致城市交通距离的加长。

城市化的发展建设加大了对劳动力的需求，除稳定工作的常住人口稳步上升外，劳动密集型的建筑、服务业的劳动需求急剧增加，必然使暂住人口迅猛增长，我国东南沿海大城市流动人口常年均在百万人以上乃至数百万人。

伴随城市化的经济增长，人口增长和交通距离加长使城市交通需求猛增，全国城市机动车增长率为15%~30%。而面对着小汽车进入家庭（目前北京市家庭轿车拥有量已超过100万辆）城市机动车的增长将进一步加速。

其次是相对于高速增长的数量和城市交通需求，城市道路基础设施建设滞后，近10余年来全国城市道路年均增长率只有12%，一些城市老城区道路建设难度很大，平均年增长率只有7.2%。在没有建设轨道交通的城市，只有靠地面交通，能力远远不能满足要求。

就地面交通而言配置也不尽合理。“公交优先”的措施很难到位，公交车辆运行速度下降，从25~30km/h下降到10km/h左右，公交拥挤程度增加。市民转而寻求个人交通方式导致自行车、摩托车畸形发展，反过来占用路面（包括空间和时间），高峰时降低了道路面积利用率，使路面交通更加拥挤不堪。与机动车运行速度减慢同时发生的是运行时间的增加，启动次数频繁从而增加了废气排放量，加重了城市空气污染。

经济发展不容减慢，城市化仍在加速，城市交通需求剧增和供应不足的矛盾必须解决。那么最佳方式就是加快发展城市快速轨道交通。尽管轨道交通造价高、投资巨大，但它带来的城市客流高速周转，减少城市空气污染，带动城市产业发展的种种社会、经济效益，从长远看都是有着非常大的优势，况且经过20年改革开放发展，不少城市已经具备相当的经济实力。目光远大的领导层，不仅将城市轨道交通发展作为解决城市交通拥挤的手段，已经在规划中的新的城市发展带率先布置建设城市轨道交通的线路，以此来拉动城市化的进程了。由此可见轨道交通已经成为城市可持续发展的交通手段的主要选择。

## 1. 北京

在已投入运行的96km的基础上，编制了轨道交通网络规划，共计20条线，1000余km。其中：1号线向东八王坟至通县已经开始建设，使1号线从苹果园到通县全长达

50km，共计车站 34 座。同期动工兴建的还有：

5 号线：北苑至宋家庄（东单南北线）长 27.5km、23 站；

4 号线：回龙观至十里河（西单南北线），长 32.5km、26 站；

这些线路建成后，北京的城市交通运营里程将达到 166km。

## 2. 天津

规划轨道交通网络由 7 条线组成，总长约为 107km。原运营的 7km 在新规划的 1 号线中，因规模小、标准低和规划不匹配已停止运营，与即将开工的 1 号线同期改造。另外一条滨海线已经在建设之中，这是一条属于拉动城市发展的线路，由开发区投资兴建并运营，全长 46km。

## 3. 上海

规划中的轨道交通网络共 17 条线，全长约 780km，网络覆盖全上海市，其中城市快线 4 条，地铁 8 条，轻轨 5 条。主要连接城市中心区、周围次中心和组团。除已经投入运营的三条（部分）线 65km 外，目前已经开工建设的有：

1 号线北延伸线：12km、9 站；

4 号线（明珠线二期与一期组环）：22km、17 站；

上海磁悬浮运营示范线：30km、2 站；

即将开工的还有：M8 线、2 号线西延伸、3 号线（明珠线）北延伸、M7 线一期、R4 线一期、14 线一期；

从 2000 年开始，上海以每年 30~40km 的速度进行建设，到“十五”期末运营里程将近 250km。

## 4. 广州

规划包括地铁轻轨在内的 7 条线组成的网络，总长度 206.5km。目前正在建设中的有：

2 号线：江夏至筲洲，23.2km、20 站；

3 号线：天河客运站广州东站至番禺南华路，34.7km、18 站；

以上项目建成后，广州城市轨道交通通车里程将达到 76.4km。

## 5. 南京

城市轨道交通网络规划已经形成，共 10 条线，总共长度为 300km 左右。目前南北向 1 号线经国家批准已经开工建设。该线南起小行北至长江边的新生圩，开工建设的小行至迈皋桥站全长 16.8km，设车站 13 座。东西向并和 1 号线在新街口站交汇的 2 号线已开始前期工作。该线东起亚东，西至滨江路，全长 25.4km，设车站 21 座。

## 6. 深圳

城市轨道交通网络规划由 6 条线组成，线路总长约为 153km。正在建设中的地铁线路和香港口岸接驳，由 1 号线东段和 4 号线南段交叉组成，全长约 14.8km，设车站 14 座。

## 7. 重庆

重庆市的轨道交通网络规划由 15 条线路组成。总长约 210km。近期准备安排建设 3 条线。已经在建的是校场口经临江门等站至新山村站的校一新线，全长 17.4km，设车站 17 座。重庆素有山城之称，市内坡度较多且大，因此该线选用的是跨座式单轨高架客运系统，该系统为复合梁橡胶轮，允许坡度较大。从其单向高峰小时断面客流量不足 3 万人次

比较，属于轻轨范畴。

#### 8. 大连

城市轨道交通网络规划由 5 条线组成，总长约 76km。目前高科技园至沙河口的城市电车实验线路及其延伸线正在建设中，全长 12.5km，设车站 14 座。该线由原在街道行驶的有轨电车线路改造建设，延伸段有部分高架。采用自己制造的 VVVF 交流牵引 6 轴铰接车。

在建的还有一条从市区边缘的香炉礁沿海岸线北上，通过拟建的新市区、新港区、开发区、保税区、双口港至金石滩旅游区的 3 号线。该线全长 46km，设计车站 10 座。该线属于典型的拉动城市发展的前瞻性规划布局线路。

#### 9. 青岛

青岛市的轨道交通网络规划由 4 线 1 环组成，线路总长约 114km。目前建设中的的是由西镇起至胜利桥止的 1 号线一期工程，设计线路长度 16.43km，设车站 13 座。

#### 10. 武汉

规划城市轨道交通网络由 6 条线路组成，总长度约为 160km。网络的基本格局呈环形加放射形，贯穿长江汉水、联络武汉三镇形成市区公共交通骨干。目前已开工建设的是自宗关至黄浦止的 1 号线一期工程，全长约 11km，设车站 9 座。该线线路利用了原京广铁路改线而闲置的，通过市区的部分线路空间。

#### 11. 成都

成都市最近规划了由 5 条线组成的从不同方向和经路贯穿市区，并在市区内形成通过换乘连接的环状走廊式的城市轨道交通网络，网络线路总长约 126km。准备建设的是 1 号线一期工程，从火车站北的红花堰起经火车站南下沿人民路经天府广场、火车站至将成为行政中心的世纪广场。全长 15.5km，设车站 13 座。

#### 12. 长春

城市轨道交通网络规划由 4 条线路组成，总长约为 86km。已经开工建设的是环线一期工程，全长 14.6km，设车站 17 座（2002 年已投入试运行）

#### 13. 鞍山

城市轨道交通网络初步规划 3 条线路，总长约为 72km。

#### 14. 沈阳

初步设计规划网络约 150 余公里。

#### 15. 苏州

目前规划网络线路长度约 46km。

上述 15 座城市编制的轨道交通网络规划线路相加，总里程近 3000km，有些城市的规划还是初步的，有待修订。香港、台北的城市轨道交通未统计在内，目前全国已投入运营的线路近 220km，在建的线路超过 500km。运营线路和建设线路相加，占上述规划线路总长不足 20%。

另外哈尔滨、杭州、西安、济南、郑州、兰州、昆明、贵阳、乌鲁木齐等省会城市都在积极地规划本市的城市轨道交通网络。

如果 15 个城市的地铁建设平均按 5~15km/年的速度建成通车，那么完成规划中的线路需要 20~40 年。20 世纪 90 年代是我国城市轨道交通兴起建设的年代，至 2000 年上海、

广州、北京三座城市共建成约 100km。此外多座城市相当的前期工作，其成果到 21 世纪初才能实现。可见当前一个时期正是我国城市轨道交通快速发展的时期。可以预见，21 世纪开始，我国的城市轨道交通将在促进我国相关产业的增长、通畅城市的市内交通、拉动有关城市的发展、提供城市的就业岗位等方面作出日益巨大的贡献，成为我国可持续发展的一条新型的产业——就业链。

### 三、城市轨道交通的技术发展

#### (一) 技术发展概况

随着城市轨道交通的面世，其技术发展至今也已经经历了 100 余年了。城市轨道交通技术的发展也是在世界工业技术广泛发展的基础上，以相应的节奏进行着。早年的轨道马车应该是城市轨道交通的雏形。蒸汽机将世界带入了机械时代，以蒸汽为牵引动力的机车车辆 1863 年就行驶在英国伦敦的地下轨道上。首次点亮的电灯标志着世界进入了电气时代，电力驱动车辆的出现使城市轨道交通在 19 世纪末 20 世纪初得到了广泛的发展。1908 年上海的街头行驶着中国第一辆有轨电车，是从英国进口的。1969 年北京地铁 1 号线建成，车辆设备全部国产，就其技术而言应该属于电气时代。以微电子为基础的信息时代的到来也推动了城市轨道交通技术的飞跃，车辆、信号、通信、供电及环控技术无不受信息技术的推动而发展到一个更高的层次。上海地铁 1、2 号线，广州地铁 1 号线引进的上述各项设备、车辆的技术，均达到了 20 世纪 90 年代国际技术水平。同时值得指出的是，技术的发展还使传统的钢轮—钢轨的城市轨道交通形式朝着多样化方向发展，在不断提高技术水平的基础上适应不同情况对轨道交通的需求。

#### (二) 主要技术的发展

##### 1. 车辆技术

车体材料及结构，一般的车体主要采用碳素钢或耐候钢，制造工艺技术（铆、焊）成熟，价格较低。但其重量大、耐腐蚀性能差。随着大型铝合金型材加工技术（挤压成型、焊接）的成熟，铝合金及不锈钢车体逐步被采用。尽管其价格相对较高，但其重量轻，可以减少车体自重，增加载重量；耐腐蚀，可以延长车辆的使用寿命，减少大量的日常维护保养工作，节约土建结构工程造价，长期运营中节省能耗等，这些优点使得车辆整体技术水平得以提高而被采用。上海、广州 20 世纪 90 年代引进的车辆均采用了铝合金车体。

早期的车辆大都采用直流牵引技术，牵引控制系统主要采用凸轮变阻方式，这种方式运行多年，也比较可靠，但因车辆起停频繁，能耗较大，车辆运行平稳性能较差，且在隧道内长期运行引起升温。

为了实现牵引电机的无级调速，确保车辆平稳起、停，20 世纪 60 年代，在大功率半导体晶体管发展的基础上采用晶闸管，实现了斩波调压技术的应用，继而又以 GTO（可控硅元件）代替晶闸管，提高了斩波频率，达到了无级调速，同时又减轻了设备的体积和重量，大大减少了维护工作量。

20 世纪 90 年代初，“VVVF”交流牵引技术逐渐被采用，利用变压变频技术将直流电源转换成为不同电压不同频率的三相电流驱动作为牵引电机的三相异步电动机。异步电机体积重量小，结构简单，故障较少，便于维修。因此，是今后城市轨道交通牵引技术发展的方向。