

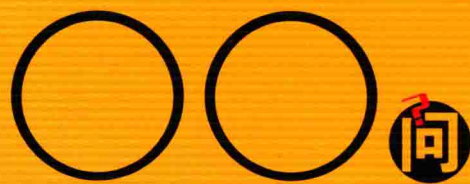
城市轨道交通系列教材

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG
JICHU ZHISHI 100WEN

颜景林（新加坡） 孙景冬 / 著

城市

轨道交通
基础知识



科学出版社

城市轨道交通系列教材

城市轨道交通 基础知识 100 问

颜景林(新加坡) 孙景冬 著

科学出版社

北 京

内 容 简 介

本书是国内第一本以问答形式介绍城市轨道交通基础知识的教材,相当于“城市轨道交通概论”。

通过对 100 个精选问题的解答,本书一方面全面系统地为城市轨道交通专业的初学者介绍了相关基本概念和基础知识,包括城市轨道交通的发展沿革,设备系统的功能、作用,运营管理的术语、实务,以及城市轨道交通安全的相关要点;另一方面还为读者增强对城市轨道交通系统的观察能力、思考能力和进一步学习城市轨道交通专业知识的能力提供了范例。

本书可作为大、中专院校城市轨道交通各专业新生以及城市轨道交通企业新员工的入门教材,也可作为城市轨道交通的科普读物。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通基础知识 100 问 / (新加坡) 颜景林, 孙景冬著. —北京: 科学出版社, 2017.9

城市轨道交通系列教材

ISBN 978-7-03-051982-5

I. ①城… II. ①颜… ②孙… III. ①城市铁路-轨道交通-教材
IV. ①U239.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2017) 第 044107 号

责任编辑: 张 展 于 楠 / 责任校对: 赵鹏利

封面设计: 墨创文化 / 责任印制: 罗 科

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码: 100717

<http://www.sciencep.com>

成都锦瑞印刷有限责任公司印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2017年9月第一版 开本: 787×1092 1/16

2017年9月第一次印刷 印张: 11 3/4

字数: 290 千字

定价: 48.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

前 言

本书是国内第一本以问答形式介绍城市轨道交通基础知识的教材，相当于“城市轨道交通概论”。

为什么要采用问答形式？

唐朝韩愈《师说》一文中有“古之学者必有师。师者，所以传道授业解惑也。”对相关困惑的解答是为人师者的一项主要职责。以问答形式进行讲解，是解惑的最有效途径，因为它具有以下特征：

(1) 针对性。将需要掌握的知识点以问题的形式呈现，重点突出，目标明确，有利于学习者有针对性地学习。

(2) 趣味性。知识点以问题的形式出现，更能唤起学习的兴趣，《十万个为什么？》一书是最好的例证，带着兴趣学习会事半功倍。

(3) 启发性。能恰当地提出问题，问题也就解决了一半。培养提问题的能力比对知识的掌握更重要。

“概论”到底应论些什么？

(1) 重大原则。概论首先要开宗明义，讲原则性问题、方向性问题。具体到城市轨道交通(以下简称城轨)，就是要回答诸如城轨是什么、城轨区别于其他事物的根本特征是什么、为什么要用钢轨、城轨网络和大铁网络的本质区别是什么、城轨运营的基本矛盾是什么、城轨运输的产品是什么、城轨事故发生的机理是什么等问题。阐明重大原则，提供“指路明灯”，才能保证日后进一步的学习沿着正确的轨道进行。

(2) 基本知识，包括什么是道岔、什么是转向架、什么是车钩、什么是轨道电路、什么是列车编组、什么是行车间隔、什么是运行图等。这是为后续专业课的进一步学习做铺垫，就像长江大桥的引桥。

如何使用本书？

了解本书的如下特点，有助于更有效地使用本书：

(1) 本书内容分为四篇。第一篇介绍城轨的发展历程，让读者体会到城轨及其各项技术的出现都有其原因。第二篇按城轨线路、车站、车辆、列控、通信、其他设备的顺序

分别介绍城轨涉及的重点设备设施，属于“硬件”。第三篇介绍城轨的“软件”，即城轨的运营管理实务。因为城轨涉及的乘客数目巨大，安全问题非常重要，所以第四篇专门介绍城轨的安全。

(2)本书不仅讲其然，而且更注重讲其所以然。

(3)不同的学习阶段有不同的学习重点。本书注重对内容深度的把握，没有纳入诸如列车牵引计算数学模型、牵引变电所接线图、列车进路排列设备的操作步骤等内容。这并不是因为这些知识不重要，而是因为这些知识在概论阶段讲就明显“越位了”。

(4)本书特别注重利用案例和比喻来支持观点、阐明道理。这既增强了学习的趣味性，又有助于对观点、道理的准确理解。

(5)“不怕不识货，就怕货比货”的原意是指“物品质量的优劣，一经对比就昭然若揭”。其实用它来说明“通过比较能准确把握事物的本质”也很合适。本书强调学习城轨时不能够眼里只有城轨，而必须放开视野，通过与不同事物的横向比较来认清其实质。

(6)读者如果在文中见到诸如“AFC”等专业词汇的英文缩写、可在附录一(知道这些专业词汇英文缩写的含义吗?)中查阅。

知识重要，但思想更重要。本书表面上是在介绍基础知识，实质是在介绍方法论。在使用本书时，若能举一反三，拓宽思路，展开讨论，而不局限于书中的现有内容，则一定会获得最大的收益。

本书的出版凝聚了许多人的心血。特别要感谢四川城市轨道交通职业学院的舒万祥、温念慈、李丹、王艳林、陈本旺等老师在材料组织、文字整理等方面做出的杰出贡献。

本书源于教学实践，更有待于教学实践的进一步检验。诚望广大读者反馈修订意见。电子邮箱：yanjinglinyouxiang@gmail.com 或 sun_jdong@163.com。谢谢！

颜景林 孙景冬

2017年5月1日

目 录

第一篇 城轨发展沿革	1
问题 1 何谓城轨？为何说它是解决“大城市病”的“必由之路”？	1
问题 2 城轨有哪些制式？	3
问题 3 世界上首条地铁是哪一条？	6
问题 4 蒸汽机车到电气化	7
问题 5 机车到动车	9
问题 6 为什么说“没有电梯就没有现代城轨”？	10
问题 7 “地铁”一定是地下的吗？	10
问题 8 “轻轨”使用的钢轨是比较轻的钢轨吗？	11
问题 9 纸质票到磁卡票，再到 IC 卡票	12
问题 10 中国城轨的崛起	14
第二篇 城轨设备系统	18
问题 11 什么是城轨的点、线、面？	18
问题 12 城轨车站是如何分类的？	19
问题 13 车辆段、车场和综合维修基地是什么关系？	20
问题 14 城轨网络和大铁网络有何本质不同？	22
问题 15 城轨都有哪些设备系统？	22
问题 16 为什么要用钢轨？	23
问题 17 什么是“轨枕”、“道床”？	25
问题 18 什么是“无缝线路”？	26
问题 19 什么是“轨距”？	28
问题 20 什么是“警冲标”？	30
问题 21 什么是“防爬装置”？	33
问题 22 什么是“道岔”（不是“岔道”）？	34

问题 23	什么是“车挡”?	39
问题 24	城轨有哪些线路?	41
问题 25	城轨车辆有哪些种类?	44
问题 26	什么是“列车编组”?	47
问题 27	车轮踏面为什么是锥形的?	48
问题 28	城轨车辆需要更换轮胎吗?	49
问题 29	城轨列车怎么转向?	51
问题 30	什么是“转向架”?	54
问题 31	什么是“车钩”“自动车钩”?	55
问题 32	地铁车门和电梯轿厢门在运作上有何异同?	59
问题 33	人工信号到自动信号	59
问题 34	什么是“轨道电路”?	61
问题 35	什么是“闭塞”?	62
问题 36	什么是“联锁”(不是连锁)?	64
问题 37	什么是“列车进路”?	66
问题 38	什么是“车载信号”?	67
问题 39	为什么要对列车进行限速?	69
问题 40	ATC、ATO、ATP 和 ATS 是什么关系?	69
问题 41	人工驾驶到自动驾驶	70
问题 42	无人驾驶的地铁车安全吗?	73
问题 43	地铁电客车有哪几种驾驶模式?	74
问题 44	什么是“死人装置”?	76
问题 45	什么是站台隔离门?	77
问题 46	自动驾驶城轨系统的列车门和站台隔离门是如何同步的?	79
问题 47	牵引供电有哪些授流方式?	80
问题 48	四轨供电到三轨供电	86
问题 49	钢轨带电,安全吗?	87
问题 50	上部授电的接触导线为什么不是沿着轨道中心线布设?	88
问题 51	什么是“电分段”?	90
问题 52	什么是“迷流”?	93
问题 53	城轨列车怎么停下来?	93
问题 54	牵引供电突然中断会对运行中的无人驾驶列车有何影响?	95

问题 55	自动驾驶的列车是怎样做到在车站定点停车的？	96
问题 56	城轨控制中心调度员是怎么知道列车位置的？	97
问题 57	飞机有“黑匣子”，城轨车有“黑匣子”吗？	99
问题 58	什么是“活塞效应”“活塞风”？	100
问题 59	什么是“防火分区”？	102
问题 60	什么是“防淹门”（不是防烟门）？	103
问题 61	AFC 是“自动售检票”系统吗？	104
问题 62	什么是“清算中心”？	105
问题 63	什么是“门禁系统”？	105
问题 64	CCTV 是中国中央电视台吗？	106
第三篇 城轨运营管理		108
问题 65	什么是城轨运营管理？	108
问题 66	城轨运营有哪些主要专业工种？	109
问题 67	什么是城轨运营的三大目标？	110
问题 68	城轨运营的三对主要矛盾是什么？	111
问题 69	地铁票价是购买什么的价格？	113
问题 70	确定城轨票价水平的原则是什么？	114
问题 71	什么样的票价结构是合理的？	115
问题 72	客流量和客运量有何不同？	116
问题 73	车站为主到车站为辅	117
问题 74	什么是列车运行图、列车时刻表？	118
问题 75	什么是“每周行车通告”？	119
问题 76	什么是“列车交路”？	120
问题 77	什么是“行车间隔”？	121
问题 78	什么是“调度命令”？	121
问题 79	城轨在夜间都停运吗？	122
问题 80	轨区作业如何管理？	124
问题 81	什么是“轨道车”（不是轨道车）？	128
问题 82	什么是“降级运作”？	130
问题 83	什么是“添乘”？	130
问题 84	什么是城轨的“公交接驳”？	133
问题 85	什么是“应急预案”？	134

问题 86	什么是列车的“连挂救援”?	135
问题 87	什么是“属地管理”?	136
第四篇	城轨安全	143
问题 88	城轨事故发生的机理是怎样的?	143
问题 89	什么是“次生事故”?	147
问题 90	什么是“险性事故”?	151
问题 91	什么是“故障-安全原则”?	152
问题 92	什么是 wrong side failure?	153
问题 93	城轨系统有哪些应急设备?	155
问题 94	为什么说火灾是地下铁道的头号“杀手”?	157
问题 95	地铁列车着火,是应立即停车还是应继续前行?	159
问题 96	电缆质量问题会影响地铁安全吗?	160
问题 97	站台与列车之间的空隙会带来什么安全问题?	167
问题 98	夜班对安全有何影响?	168
问题 99	人和机器,哪个更可靠?	169
问题 100	“城轨安全、人人有责”的具体含义是什么?	170
附录一	知道这些专业词汇英文缩写的含义吗?	178
附录二	国办发[1995] 60 号文	180

第一篇 城轨发展沿革

问题 1 何谓城轨？为何说它是解决“大城市病”的“必由之路”？

一、什么是城轨？

有人说城轨是轨道交通的公交化，也有人说城轨是城市公交的轨道化。这两种说法都很到位。

城轨这一概念的两个关键点就是“城市”和“轨道”，是以轨道的形式来解决城市的交通问题。城轨是城市交通和轨道交通的“交集”部分，具有城市和轨道二重性。

骡子(图 1-1)是马和驴交配产下的后代。母马和公驴的后代叫马骡。它虽然具有马和驴的一些特性(像马那样个子大，有马的灵活性和奔跑能力，同时又像驴那样能负重、有耐力)，是非常好的役畜，但又不等同于马或驴。

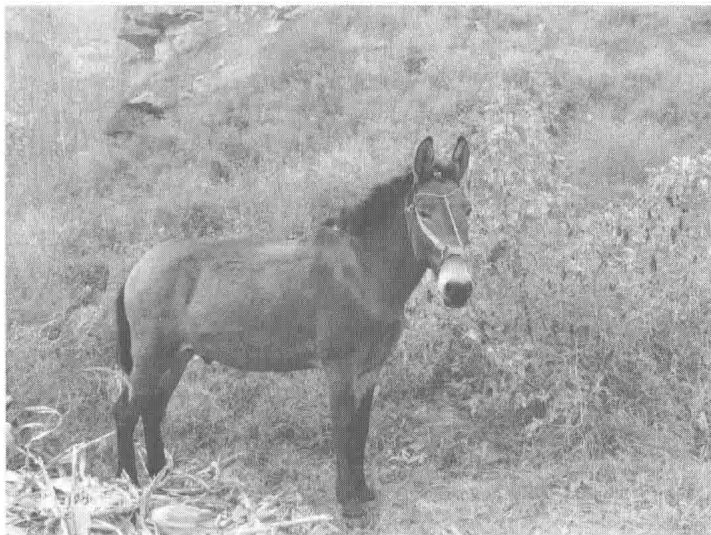


图 1-1 具有马和驴两种基因的骡子

对于城轨,既要看到它的城市性,例如,和传统铁路相比,站间距短、列车起停频繁、列车种类单一、列车编组相对固定、行车密度高;又要看到它的轨道性,例如,和城市传统公交相比,城轨列车没有公交车那样的空间灵活性(只能沿着轨道走),城轨列车自重重大、载客量大,因而所需的牵引供电量大,需要外置(即来自车辆外部的)电源。另外,由于载客量大,更加需要可靠的运行控制系统,以策安全。

仅以传统铁路的眼光看待城轨,不正确;只用传统公交的眼光看待城轨,也不对。

例 1 某一城市的公交公司,在地铁一号线建成后,接管了地铁的运营管理。公司的老总长期干公交,对铁路不熟悉,不知道地铁车坏在路上是会阻塞整条地铁线的,不像地面交通那样,汽车坏了,只堵塞一个车道而已,虽然车速会放慢,但交通并不会完全停顿。他也不知道,有可能出事的不仅是车,牵引供电、信号系统、轨道等也都可能出事而导致地铁运行中断。

例 2 某一城市的地铁一号线建成了,主持运营管理的是有 30 年大铁运营经验的空降老总:“地铁算什么,小菜一碟!”。可是很多人都知道,网球(tennis)冠军打乒乓球(table tennis),未必能入围,尽管网球比乒乓球大很多。

这里用骡子做比喻,一方面是因为城轨是“城市”与“轨道”二者的结合,另一方面是因为早期的城市交通和轨道交通都曾用马、驴和骡子作为动力来源,如图 1-2 所示。



(a)用马作动力源的轨道客车



(b)用驴作动力源的轨道客车

图 1-2 早期畜力轨道客车

二、为何说城轨是解决“大城市病”的“必由之路”?

道路拥堵压力加剧,环境污染问题突出,在全球范围内,这种现象都是典型的“大城市病”。而城轨的特点是平均旅行速度(从 A 点到 B 点的距离除以包括停站时间在内 AB 全程所需的全部时间)高、运载能力大,优先发展城轨,已是今天世界各国解决“大城市病”的共同选择。

在技术上,小汽车的最高时速通常在 100km 以上。但在城市里,因为车多、路口多,地面机动车的平均旅行速度通常只有 20km/h,甚至更低。而城轨由于通常享有独立路权(有轨电车除外),其平均旅行速度往往在 30km/h 以上。

载客能力方面,一列由 6 节 A 型车(宽体地铁车)组成的地铁列车在正常情况下可以轻易搭载 1500 名乘客,约是普通公交巴士的 20 倍。可见,在运输能力方面,城轨优势也十分明显。

此外,在单位运输成本(使一个人移动 1km 所需的经济成本)、环境代价(对环境所造成的空气污染、噪声污染)、生命代价(交通事故造成的人员伤亡)、空间利用效率等方面,城轨也优于其他交通方式。

问题 2 城轨有哪些制式?

鞋店里有多种多样的鞋子(图 2-1),为的是适应不同顾客对功能的不同需要、个人喜好和脚的大小。



图 2-1 不同样式的鞋子

城轨也是一样,有着不同的“型式”(制式)和“大小”(规模),以满足不同城市甚至是同一城市内不同区域的不同需求。

需要大运能的,可以选择地铁。同是地铁,用不同数量的车厢也可以组成不同载客能力的列车。即便列车载客能力相同,选用不同的列车运行控制系统,也可以实现不同的行车密度,进而获得不同的系统输送能力。

例 某城市是一座山城,地势起伏较大,城市人口不算密集,所以选用了爬坡能力强、转弯半径小的跨座式单轨系统。

国内已开通运营的城轨主要有地铁、轻轨、单轨、有轨电车、磁悬浮等几种制式。

1. 地铁

地铁(metro)是中国现阶段大城市轨道交通中最普遍的制式,如图 2-2 所示。全国开通城轨交通的城市中绝大多数已开通地铁。地铁一般适用于出行距离较长、客运量大的大城市。除了有建在地下的以外,还有建在地面甚至高架桥上的。地铁列车由多节车厢组成,载客能力多在每列车 1000 人以上。地铁最高设计速度通常在 80km/h 或以上。地铁由于享有独立路权,平均旅行速度可达 30~40km/h。



(a)被称为 subway 的地铁



(b)被称为 metro 的地铁

图 2-2 地铁

2. 轻轨

轻轨(light rail)最初是指采用轻型钢轨的轨道交通。现在轻轨也已采用与地铁相同质量的钢轨,有些没有钢轨,因为使用的是胶轮列车,如图 2-3 所示。所以,现在所说的轻轨通常是指运输能力比地铁略小的中等运力的城轨类型。

与地铁相比,轻轨更多地建在地面和高架桥上。所以通常平均造价比地铁要低,建设周期也较短。



(a)钢轮的轻轨



(b)胶轮的轻轨

图 2-3 轻轨

3. 单轨

单轨(monorail)也称为独轨,是指由单一轨道梁支撑并导引车厢的轨道交通系统,其最大特点是车体要比承载轨道宽。以支撑方式的不同,单轨又分为跨座式和悬挂式两种:跨座式单轨的车体骑跨在单根轨道梁上;悬挂式单轨的车体悬挂在单根轨道梁下方,也称“云轨”。

跨座式单轨:其线路通常采用高架形式,当然也有地面或地下的,如图 2-4 所示。其编组灵活,可实现多种运能等级。速度与地铁和轻轨相差不大。跨座式单轨使用胶轮,噪声低,爬坡能力及通过小半径曲线线路的能力强。

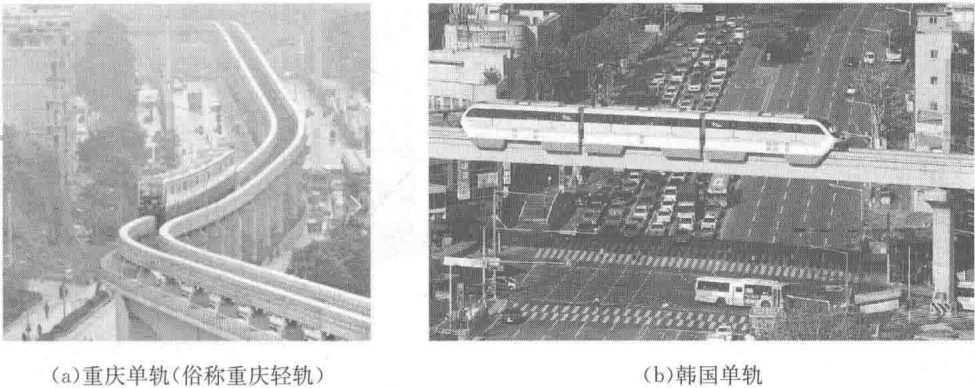


图 2-4 跨座式(也称骑跨式)单轨

悬挂式单轨：线路采用高架形式，列车通过小半径曲线的能力强，但爬坡能力、运载能力均不如跨座式，如图 2-5 所示。



图 2-5 悬挂式单轨

4. 有轨电车

有轨电车(tram 或 streetcar)泛指与路面交通(包括机动车和行人)混行的轨道系统，如图 2-6 所示。“混行”(即不完全享有独立路权)是有轨电车的最大缺点。混行不仅限制了平均旅行速度，而且人车冲突以及城轨车与其他路面车辆之间发生冲突、造成事故的概率比其他城轨制式高得多。

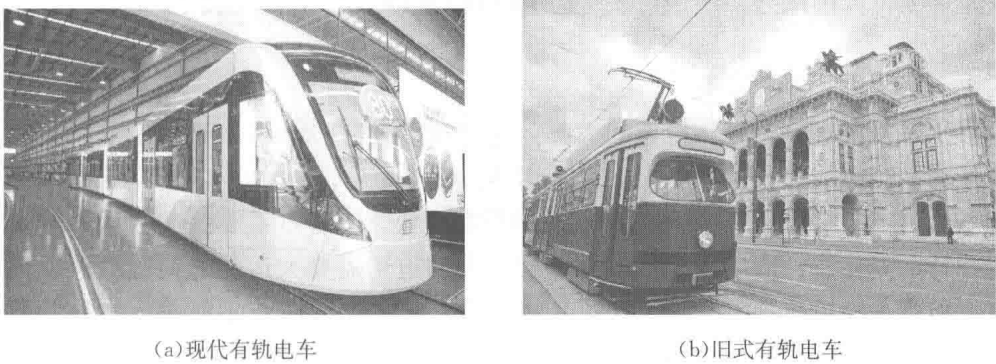


图 2-6 有轨电车

中国近年实施的现代有轨电车项目，一般是在城市新区，并尽量设置较高的独立路权。现代有轨电车在运能、速度等方面均低于其他城轨制式。但由于工程投资较低、乘客在车内可以享受沿途风景，所以有其发展空间。

5. 磁悬浮

磁悬浮(maglev)指利用电磁力将列车悬浮于轨道上方并推动其运行，如图2-7所示。磁悬浮分为高速磁悬浮与中低速磁悬浮。



(a)上海磁悬浮列车



(b)长沙磁悬浮列车

图 2-7 磁悬浮列车

(1)上海 2003 年开通载客运营的磁悬浮线路属于高速磁悬浮，其最高速度超过 430km/h。高速磁悬浮由于价格高昂，加上市内交通的站间距较小，并不需要这么高的速度，所以在城轨中极为罕见。

(2)长沙 2016 年开通载客运营的是中低速磁悬浮线路，设计最高速度为 100km/h。作为城轨的一员，中低速磁悬浮的性价比较高，所以受到越来越多城市的关注。

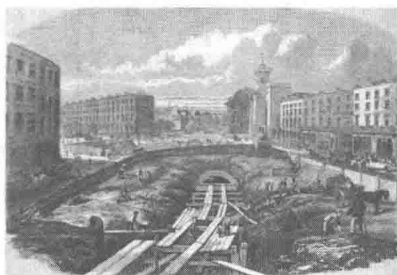
磁悬浮在噪声影响与爬坡能力方面表现优异，且由于磁悬浮列车是“抱”在轨道上运行，和轨道一体化，所以在运行中不会发生颠覆事故。

地铁、轻轨，抑或单轨、有轨电车等，只是名称不同而已。真正值得关心的其实是系统的如下特征：安全性、运能需求、投资、工程难度、效率和运营成本等。

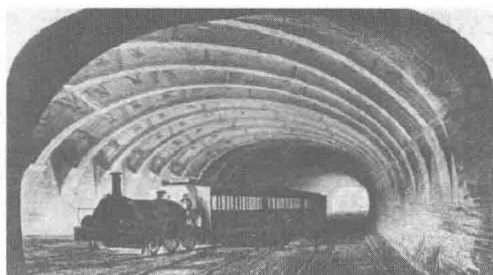
问题 3 世界上首条地铁是哪一条？

世界上最早的地铁是英国伦敦的大都会地铁，如图 3-1 所示，于 1863 年 1 月 10 日正式通车运营。当时线路长度约 6.5km，采用蒸汽机车牵引。

19 世纪中叶，伦敦比以前任何时候发展得都要快。随着日益膨胀的劳动大军而来的是数以千计的新住房、商店、工厂和办公楼。人们迫切需要大运能的快捷交通。火车的运能大，但当时的火车并不进城。为了让火车进城，一个名叫查尔斯·皮尔逊的律师于 1847 年提出了“让火车入地”的设想。经过反复的论证，伦敦政府于 1856 年正式采纳了他的方案。



(a)明挖法施工



(b)使用蒸汽机车的地铁列车

图 3-1 伦敦大都会地铁

地下铁道于 1860 年开始建造,可是,刚开始时遭到许多市民的反。他们不相信地下铁道能建造成功,而且不少市民还感到惊恐不安,担心在马路中心揭开路面,开挖宽沟,会危及路旁房屋和生命的安全。他们的担心是多余的,900 名工人经过 3 年的努力,在 1863 年将地下铁道建成。路旁的房屋没有倒塌,挖开的路面修复如初,车辆照常来来往往,只是在路面之下多出了车轮的滚动声和尖利的汽笛声。地下铁道成了当时的一大奇物。

大都会地铁开始运营当天即有 38000 名乘客搭乘。当时列车为每 10min 一班。地铁建成后的第一年,乘坐的旅客就达 950 万人次。

大都会地铁的成功很快引起了其他国家的重视和仿效。在之后一百年的时间里,世界上有 30 个国家和地区的 60 多座城市建设地下铁道。布达佩斯的地铁在 1896 年开通,波士顿在 1897 年、巴黎在 1900 年、纽约在 1904 年也都先后开通了地铁。

问题 4 蒸汽机车到电气化

蒸汽机车(火车)是第一次工业革命的产物,从其发明至今已有两百多年的历史。作为人类文明史上最重要的机械交通工具之一,火车极大地促进了人类文明的发展。从最初速度慢、牵引力小、行驶时喷出烟雾的蒸汽机车到现在舒适平稳、速度高达 300km/h 的高速动车组,机车的发展历程从侧面反映了人类文明的巨大进步。机车的发展大致可以分为以下三个阶段。

一、蒸汽机车

蒸汽机车利用蒸汽机,把燃料(一般是煤)的化学能变成热能,再变成机械能,而使机车运行。

1804 年 2 月 21 日,英国矿山技师德里维斯克改进了瓦特的蒸汽机,制造了世界上第一台实用的货运蒸汽机车,如图 4-1 所示。这台机车(自重 5t)首次在南威尔士的麦瑟尔提德维尔到阿巴台之间的轨道上作运行试验,开启了世界铁路史上蒸汽机车的光辉历程。

在之后的一百多年中,蒸汽机车的设计、制造者一直想方设法提高蒸汽机车的性能,但由于蒸汽机的热效率太低(总效率一般只有 5%~9%),机车功率和速度的进一步提高受到了限制。其次是煤水的消耗量大,沿线需要设置许多供煤和给水设施,在运行中产生的大量煤烟污染环境,机车乘务员的劳动条件差。随着铁路运量的增加和对行车速度的要求,蒸汽机车已明显“力不从心”了。20 世纪 60 年代末,世界上仍然使用蒸汽机车进行商业运作的国家已寥寥无几。到了 20 世纪末,蒸汽机车在北美洲及欧洲基本上已被完全淘汰,只会在特别为铁道迷及游客安排的路线上行走,或在欠发达地区、部分厂矿企业作为场内调车机车使用。

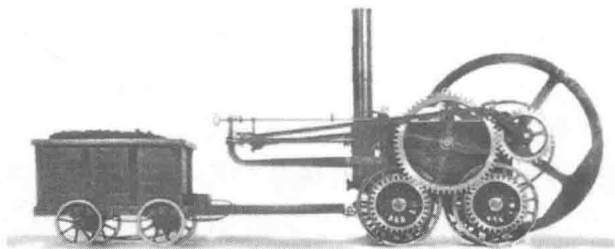


图 4-1 德里维斯克的蒸汽机车

二、内燃机车

1866 年,德国人奥托首先制成了一种燃烧煤气的新型发动机。这种发动机和蒸汽机的根本不同在于:蒸汽机的燃料是在汽缸外面的锅炉里燃烧,所生产的蒸汽进入汽缸推动活塞做功;而这种新型发动机的燃料是直接汽缸内部燃烧,形成的高压气体推动活塞做功。“内燃机”这一名称准确地反映了它的特点。

1895 年,德国机械工程师和发明家 Rudolf Christian Karl Diesel 发明的柴油内燃机在美国获得专利。内燃机在英语中是 diesel engine,就是按他的名字命名的。

第二次世界大战以后,随着柴油内燃机的性能和制造技术迅速进步,内燃机车的功率不断提高。内燃机车后续的发展,表现在提高机车的可靠性、耐久性和经济性,以及防止污染、降低噪声等方面。图 4-2 所示为中国东风 4 型内燃机车。



图 4-2 中国东风 4 型内燃机车