

中国高铁出版工程——科普系列·高铁史话

高铁简史

编著：胡启洲 李香红 曲思源



西南交通大学出版社

· 成 都 ·

前 言

“高度改变视野、角度改变观念、尺度把握人生”，而“速度”改变交通工具，“运能”改变交通方式，“安全”掌控交通安全。高铁就是改变人类生活的交通工具，“没有最快，只有更快”。高铁相对于其他交通运输方式，输送能力强、速度较快、安全性好、正点率高、能源消耗较低、对环境影响较小、占地较少、舒适方便、经济效益可观、社会效益好，并以其特有的技术优势适应了现代社会经济发展的新需求，成为世界各国发展的必然选择。特别是中国高铁的发展和运营实践表明，高铁在我国有很大的发展空间和潜力，我国应充分利用后发优势，实现我国高速铁路的跨越式发展。因此，《高铁简史》作为一本介绍高铁的基本知识、概念术语与发展历程等的读物，整理了现阶段高铁的主要成果。本书主要从理论与技术两个不同的方面，向读者阐述高铁的内涵，并结合高铁的特点与世界发展态势，介绍了高铁的研发意义。本书主要内容有：

(1) 高铁的概念术语。高铁的相关术语，特别是高铁界定和速度分类，以及高铁的主要属性特征等，如速度、运能、安全性、舒适性、经济性、节能性、环保性等。

(2) 高铁的发展历程。介绍轮轨高铁、磁浮高铁和超级高铁等三类高铁的发展历程、技术特性、应用前景等特性。即高铁发展的过去、现在和未来。主要是：一方面，从时间上讲述高铁的发展历程——昨天、今天和明天；另一方面，从空间上，对各国高铁发展态势做对比分析（特别是日本、法国、德国和中国的高铁对比分析），通过对比分析，让读者了解我国的高铁在世界上的发展态势，是“质量”上世界排名第一，还是“数量”上世界排名第一。

(3) 高铁环境下的区域一体化。不同高铁类型，促进不同区域一体化。轮轨高铁促进了区域一体化，磁浮高铁促进了各洲一体化，超级高铁促进了

全球一体化，即地球村。所以，必须重视高铁发展，哪个国家拥有高铁（轮轨高铁、磁浮高铁、超级高铁等）核心技术，该国家就拥有世界。

本书由南京理工大学高速铁路科学研究所胡启洲团队创作。团队成员主要有上海铁路局曲思源总工，河南理工大学李香红副教授、宋晖颖老师，南京理工大学诸云博士研究生、谈敏佳博士研究生和周畅、陈杰、丛子荃、杨莹、李晓菡、岳氏、曾爱然、周浩等硕士研究生。

作为科普读物，惠及大众是我们每个人的最高境界。但本书部分图片和内容来自网络，由于无法找到源头，在此向原作者及相关人员表示感谢和敬意。在写作本书的过程中，编者得到了编辑部同仁的无私帮助，在此也表示衷心感谢。

本书可以作为科研工作者、工程技术人员、管理工作、大专院校师生以及高铁爱好者的读物。由于时间关系和水平有限，书中难免有疏漏和不当之处，敬请大家赐教批评。

编著者

2018年3月

目 录

第 1 章 绪 论	1
1.1 高铁的产生条件	2
1.2 高铁的三次飞跃	5
1.3 高铁的不同类型	10
1.4 高铁的属性特征	12
1.5 小 结	17
第 2 章 高铁的概念术语	18
2.1 高速铁路概述	20
2.2 高速铁路定义	25
2.3 高铁的速度界定	33
2.4 小 结	35
第 3 章 高铁的属性特征	37
3.1 输送能力	37
3.2 速 度	40
3.3 安全性	42
3.4 正点率	44
3.5 能源消耗	45
3.6 环境影响	46
3.7 占用土地面积	48
3.8 舒适性	49
3.9 经济性	50
3.10 社会性	52
3.11 小 结	53

第 4 章 第一类高铁：轮轨高铁	54
4.1 轮轨高铁的基本特征	58
4.2 轮轨高铁的发展态势	62
4.3 轮轨高铁的发展愿景	92
4.4 小 结	93
第 5 章 第二类高铁：磁浮高铁	94
5.1 磁悬浮技术的基本原理	96
5.2 磁浮交通的主要特性	103
5.3 磁悬浮列车的基本架构	106
5.4 磁悬浮列车的主要类型	109
5.5 磁浮高铁的发展历程	110
5.6 轮轨高铁和磁浮高铁差异性	119
5.7 小 结	122
第 6 章 第三类高铁：超级高铁	123
6.1 超级高铁的基本原理	125
6.2 超级高铁的发展历程	127
6.3 超级高铁的架构设计	128
6.4 超级高铁的界定	133
6.5 超级高铁的发展愿景	148
6.6 小 结	150
第 7 章 高铁环境下的地球村	151
7.1 高铁环境下的各洲一体化	153
7.2 高铁环境下的区域一体化	162
7.3 高铁环境下的全球一体化	165
7.4 超级高铁下的地球村	170
7.5 小 结	171
参考文献	172

第 1 章 绪 论

随着 1964 年 10 月 1 日，世界上首条高速铁路（High-Speed Railway）在日本的正式营运，高铁开启了交通发展的新时代。没有最快，只有更快，速度和运能是人类永恒追求。无论哪种交通工具（普通火车、汽车、飞机、轮船等交通工具），人类不但要求它跑得快，而且要求它运能大。飞机虽然运行速度快，但运能有限；火车虽然运能大，但运行速度慢。因此，人类对交通工具的追求步伐一直没有停止，高速铁路就是人类对交通工具追求的智慧结晶。图 1.1 为法国轮轨高铁 TGV。

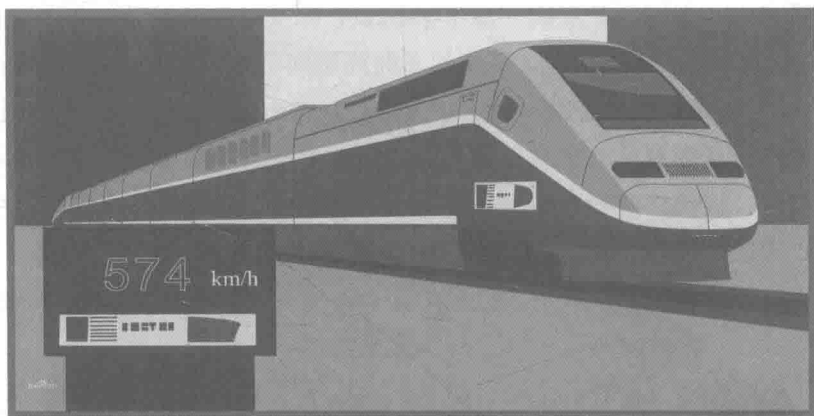


图 1.1 法国轮轨高铁 TGV

高铁是高速铁路的简称，是由专用线路、高速列车和专用控制系统等组成的大系统，因此高铁是一个系统概念，不是个体概念。高速铁路中“高速”是高铁的品质，“铁路”是高铁的属性。高速铁路除了轮轨式的高速铁路外，还有磁悬浮高铁和超级高铁。因此，狭义的高铁是指轮轨高铁运输

系统，广义的高铁包含轮轨高铁运输系统、使用磁悬浮技术的高速轨道运输系统以及真空轨道中的超级高铁运输系统。图 1.2 为高铁简图。

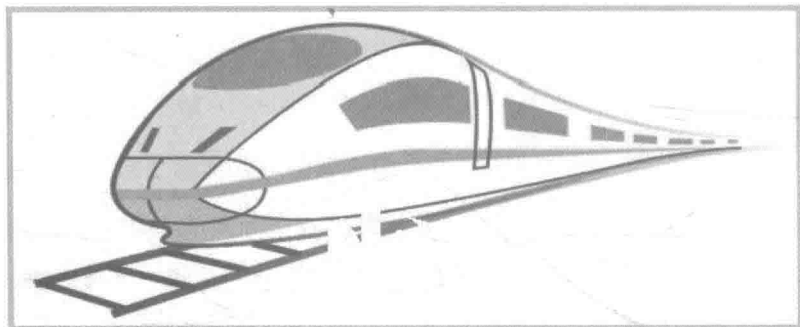


图 1.2 高铁简图

高速铁路已经成为世界各国发展中的一个热点问题，这是因为高速铁路具有其他交通工具难以比拟的技术优势：第一，速度快，法国轮轨高铁 TGV 列车曾创出 574.8 km/h 的世界纪录，日本磁悬浮高铁创出 603 km/h 的世界纪录，美国超级高铁创出 1 000 km/h 的世界纪录（超过了飞机常规飞行速度）；第二，运量大，高速列车间隔时间可达到 4 min，单向每小时可开 12 列列车，这是公路和航空所无法相比的；第三，安全性高，高铁线路设施的质量和精度都很高，列车运行控制系统是利用成熟的电子技术和智能软件，能确保两列车间的安全距离，世界各国的高速铁路极少发生人身伤亡事故；第四，全天候运行，高速列车可以全天候运行，不受雨、雪、雾、风的影响；第五，高铁还具有能耗低、节约用地、环境污染轻、舒适度高等特点。因此，高铁自诞生以来受到世界各国的欢迎。

1.1 高铁的产生条件

交通工具的产生，必须符合一定条件。而任何交通工具，人类从三个方面去评判它，符合这些要求就是好的交通工具，不符合就不是好的交通工具。首先，是评判它的功能性（速度、运能、安全）；其次，是它的经济

性（成本、能耗、效率）；最后，是它的生态性（噪声、辐射、环保）。高速铁路作为一种交通工具，在追求速度的同时也要考虑载重问题。因为快速和重载是人类永恒追求，而高铁正好满足人类需求。图 1.3 为轮轨高铁。

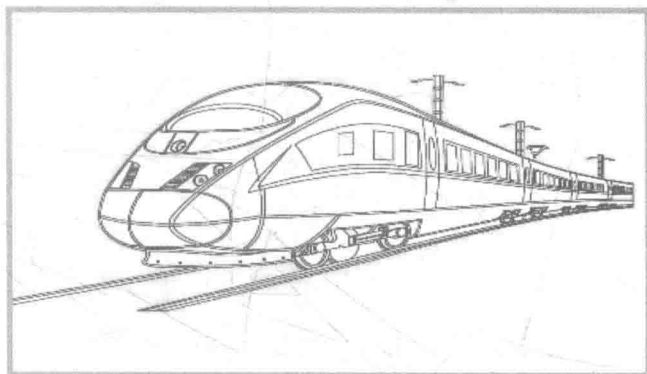


图 1.3 轮轨高铁

1. 高铁的速度 速度是人类对交通运输工具的基本要求。正是高铁的快速性和高效性，高铁才获得人类的喜爱，得到大力发展。高铁速度和其他交通工具速度的对比，见图 1.4。

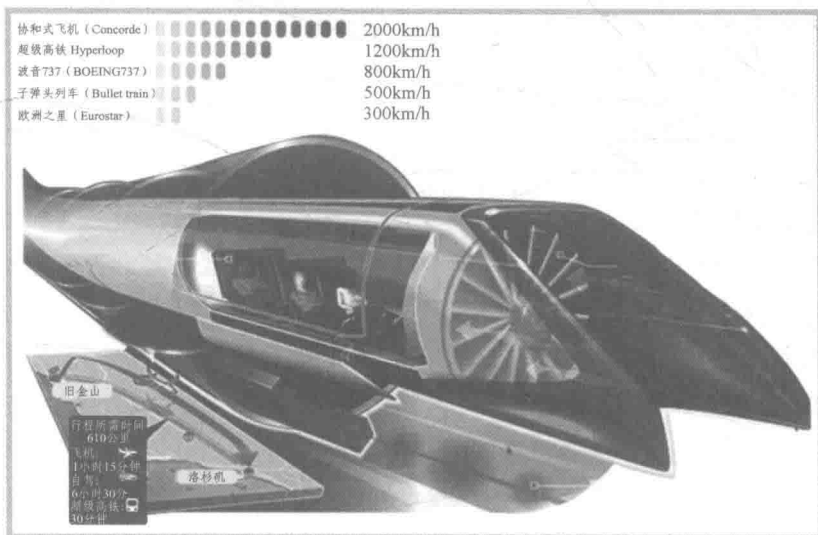


图 1.4 不同交通工具的运营速度

2. 高铁的载重 无论哪一种交通工具，人们都希望载重量越大越好，以满足人们对货运和客运的基本需求。通过高铁和现有交通工具（汽车、飞机、轮船、普通火车等）的载重量比较可知，高铁也是载重量最大的交通工具。高铁与其他交通工具载人数对比见图 1.5。

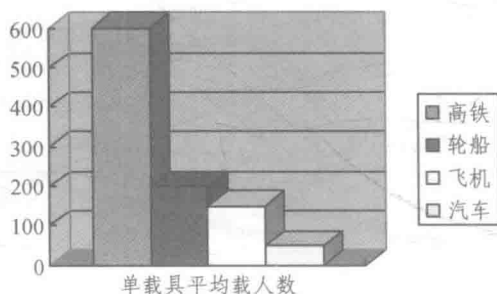


图 1.5 高铁与其他交通工具载人数对比

3. 高铁的安全 高速铁路由于在全封闭环境中自动化运行，又有一系列完善的安全保障系统，所以其安全程度是任何交通工具无法比拟的。几个主要高速铁路国家，一天要发出上千对的高速列车，即使计入德国发生的事故，其事故率及人员伤亡率也远远低于其他现代交通运输方式。因此，高速铁路被认为是最安全的。超级高铁与各种交通工具安全性对比见图 1.6。

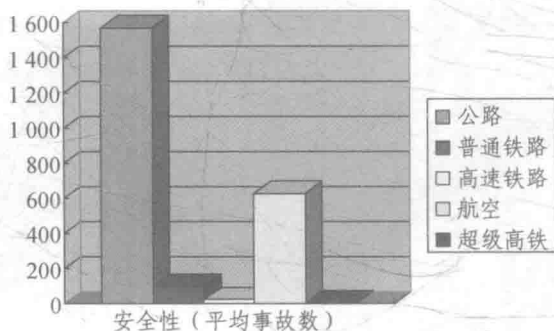


图 1.6 超级高铁与各种交通工具安全性对比

1.2 高铁的三次飞跃

为了满足人类对速度和运能的要求，高铁经历了三次质变，即三次飞跃。从轮轨高铁到磁浮高铁再到超级高铁，从运营速度 200 km/h 到 500 km/h 再到 1 200 km/h，人类不同的交通需求就有着 3 次不同的飞跃。

1.2.1 第一次飞跃：提高运营速度，轮轨高铁诞生

第一类：轮轨高铁。王者归来，地面速度提升。为了提高火车运行速度，有了第一次飞跃，即第一类高铁——轮轨式高铁诞生。如图 1.7 所示。



图 1.7 普通火车与轮轨高铁

对普通火车来说，运能是所有交通工具中的王者，但运行速度很难满足人类需求。因为普通火车都是以 200 km/h 以下的速度运行，不能满足人类对快速出行的需要。人们通过对轨道、车辆等的研究，特别是通过车型改进，来减少高速列车运行时的摩擦阻力和空气阻力，达到提高运营速度的目的。1964 年日本新干线上，高速列车运行速度达到 200 km/h 以上。火车运营速度 200 km/h 以上，就是高铁了。但轮轨高铁由于受空气阻力和摩擦阻力限制，只能运行在 200 km/h 和 400 km/h 之间。运营速度 400 km/h 是轮轨高铁的预警阈值，超过该速度极容易脱轨，发生交通事故。



图 1.8 轮轨高铁

轮轨高铁即轮轨式高速铁路，主要是在轨道上运行的高速铁路运输系统，简称轮轨高铁，也叫常规高铁。如图 1.8 所示，主要特征：

- (1) 轮轨高铁的运营速度：200 ~ 400 km/h。
- (2) 轮轨高铁的预警阈值：400 km/h。
- (3) 轮轨高铁的阻力情况：摩擦阻力和空气阻力。

轮轨高铁属于轮轨式的高速铁路。根据国际铁路联盟的定义，高速铁路是指通过改造原有线路（直线化、轨距标准化），使营运速率达到每小时 200 km 以上，或者专门修建新的高速新线，使营运速率达到每小时 250 km 以上的铁路系统。本书将轮轨高铁分为三种，具体见表 1.1。

表 1.1 轮轨高铁的类型

序号	类型	速度 / (km/h)	名称	主要国家	备注
1	第一类型	200 ~ 300	低速轮轨高铁	日本、德国	400 km/h 是轮轨高铁运营速度极限值
2	第二类型	300 ~ 350	中速轮轨高铁	法国、中国	
3	第三类型	350 ~ 400	高速轮轨高铁	中国	

1.2.2 第二次飞跃：除去摩擦阻力，磁浮高铁诞生

第二类：磁浮高铁。腾空而起，地面巨龙出现。为了减少轮轨摩擦力，有了第二次飞跃，磁浮高铁，即第二类高铁，磁悬浮式高铁诞生。如图 1.9 所示。

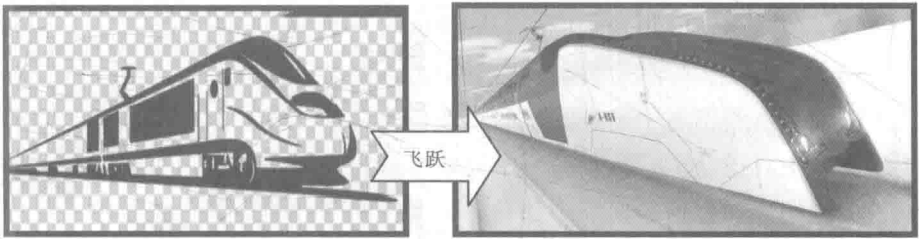


图 1.9 轮轨高铁与磁浮高铁

为了减少摩擦阻力，提高运行速度，满足人类快速出行要求，基于“异性相吸，同性相斥”原理，有了磁浮高铁，运行速度达到 400 km/h 以上。磁浮高铁运行中，磁浮列车不和轨道直接接触，而是浮在轨道上运行，这样没有了摩擦阻力，提高了运行速度。2015 年日本磁悬浮高铁运行速度达到 600 km/h 以上。磁浮高铁虽然不受摩擦阻力影响，但由于受空气阻力限制，也只能运行在 400 km/h 和 1 000 km/h 之间。运营速度 1 000 km/h 是磁浮高铁的预警阈值，超过该速度运营成本太高。

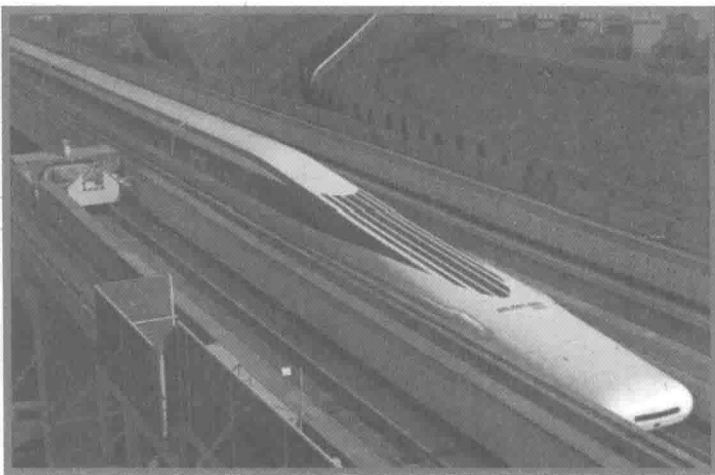


图 1.10 磁浮高铁

磁浮高铁即磁悬浮式高速铁路，主要悬浮在轨道上运行的高速铁路运输系统，简称磁浮高铁，也叫超导高铁。如图 1.10 所示，主要特征：

- (1) 磁浮高铁的运营速度：400 ~ 1 000 km/h。

(2) 磁浮高铁的预警阈值: 1 000 km/h。

(3) 磁浮高铁的阻力情况: 空气阻力, 无摩擦阻力。

磁浮高速铁路属于磁悬浮式的高速铁路。磁悬浮列车作为一种新型的地面交通工具已从实验阶段走向了商业运营, 克服了传统列车轮轨黏着限制、机械噪声和磨损等问题, 具有了速度快、爬坡能力强、能耗较高、运行时噪声高、安全舒适低、不燃油、电磁波污染少等优点, 成为人们梦寐以求的理想陆上交通工具。

磁悬浮列车从悬浮机理上可分为电磁悬浮 (EMS, electromagnetic suspension) 和电动悬浮 (EDS, electrodynamic suspension) 两种。磁力悬浮高速列车要使列车速度达到 500 km/h, 普通列车是绝对办不到的。如果把超导磁体装在列车内, 在地面轨道上敷设铝环, 利用它们之间发生相对运动, 使铝环中产生感应电流, 从而产生磁排斥作用, 把列车托起离地面约 10 cm, 使列车能悬浮在地面上而高速前进。本书将磁浮高铁分为三种, 见表 1.2。

表 1.2 磁浮高铁的类型

序号	类型	速度/(km/h)	名称	主要国家	备注 (K=-273.15℃)
1	第一类型	400~600	低温磁浮高铁	日本、德国	4.2 K—液氮 (稀少、成本高)
2	第二类型	600~800	常温磁浮高铁	日本	15 K—液氮 (中等、一般)
3	第三类型	800~1 000	高温磁浮高铁	—	77 K—液氮 (多、便宜)

磁悬浮列车是利用超导磁体使车体上浮, 通过周期性地变换磁极方向而获取推进动力的列车。磁悬浮列车除速度快之外, 还具有无噪声、无震动、省能源的特点, 有望成为 21 世纪的主力交通工具。

1.2.3 第三次飞跃: 减少空气阻力, 超级高铁诞生

第三类高铁: 超级高铁。真空飞行, 运行速度无极限。为了减少空气阻力, 有了第三次飞跃, 超级高铁, 即第三类高铁, 真空管道悬浮高铁诞生。如图 1.11 所示。

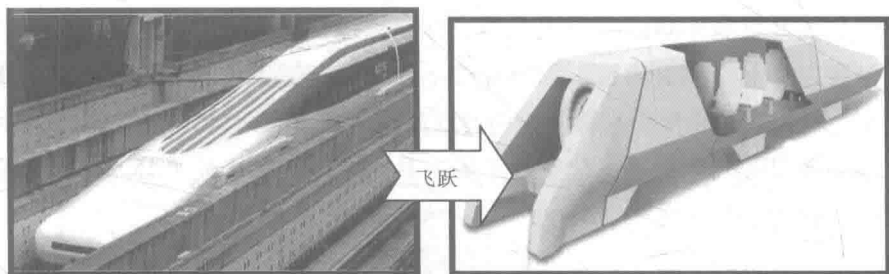


图 1.11 磁浮高铁与超级高铁

为了减少空气阻力,提高运行速度,满足人类快速出行要求,基于“真空管道”概念,有了超级高铁,运行速度达到 1 200 km/h (音速 340 m/s) 以上。超级高铁由于在真空管道运行,不但没有空气阻力,也没有摩擦阻力,所以运行速度可以达到 1 200 km/h 以上。在真空管道里,由于没有摩擦阻力和空气阻力,超级列车就可以“任性”运行,运营 10 000 km/h 以上都是不成问题的。

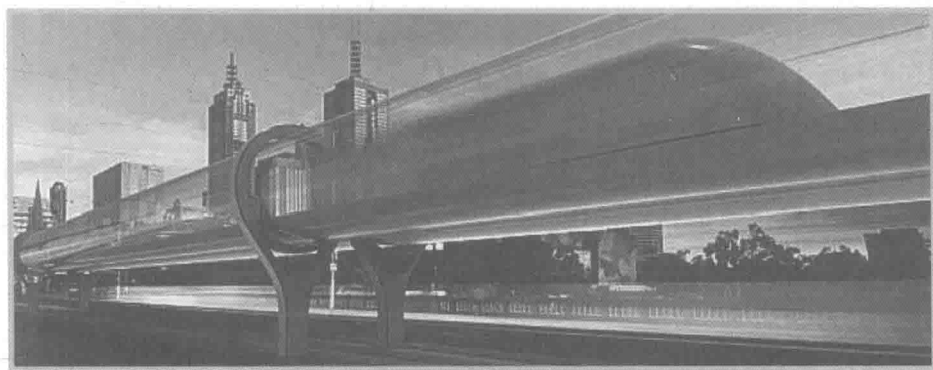


图 1.12 超级高铁

超级高铁即真空管道悬浮式高速铁路,主要在真空管道中悬浮运行的高速铁路运输系统,简称超级高铁,也叫真空高铁。如图 1.12 所示,主要特征:

- (1) 超级高铁的运营速度: 1 200 km/h (音速 340 m/s) 以上。
- (2) 超级高铁的预警阈值: 没有限制,可以任性运行。
- (3) 超级高铁的阻力情况: 无摩擦阻力、无空气阻力。



超级高铁属于真空管道式的高速铁路。超级高铁 (Pneumatic Tubes) 是一种以“真空钢管运输”为理论核心设计的交通工具, 具有超高速、高安全、低能耗、噪声小、污染小等特点。超级列车有可能是继汽车、轮船、火车和飞机等之后的新一代交通运输工具, 即第五种交通工具。本书将超级高铁分为三种, 见表 1.3。

表 1.3 超级高铁的类型

序号	类型	速度 / (km/h)	名称	主要国家	备注
1	第一类型	1 000 ~ 1 200	低音超级高铁	美国	音速: 340 m/s, 即 1 224 km/h
2	第二类型	1 200 ~ 10 000	中音超级高铁	—	
3	第三类型	10 000 ~	高音超级高铁	—	

为了减少空气阻力, 真空管道是不可回避的选择。对于超级高铁而言, 超高速是 21 世纪地面高速交通的需求。这是因为: 一方面, 环保: 要求电气化的轨道交通, 人均二氧化碳排放量, 汽车 100 g / (人 · km)、飞机 140 g / (人 · km)、铁路 20 g / (人 · km)。另一方面, 快速: 随着社会经济的发展, 人们渴望超高速, 而真空 (或低压) 管道是地面交通达到超高速的唯一途径。因此, 今后超级高铁将是不可回避的选择。

1.3 高铁的不同类型

高铁除了轮轨式的高速铁路外, 还包含使用磁悬浮技术的高速轨道运输系统和真空轨道中的超级高铁运输系统。而高铁运营速度的预警阈值, 主要根据高速列车的能耗和对环境的破坏程度, 从速度和经济的角度考虑, 不适合商业运营速度。轮轨高铁的预警阈值: 400 km/h; 磁浮高铁的预警阈值: 1 000 km/h。根据高铁运营原理和预警阈值, 本书把高铁分为三类。

(1) 第一类高铁：轮轨高铁。如图 1.13 所示，轮轨式高速铁路，主要在轨道上运行的高速铁路运输系统，简称轮轨高铁，也叫常规高铁。轮轨高铁的运营速度：200 ~ 400 km/h。轮轨高铁的阻力情况：摩擦阻力和空气阻力。

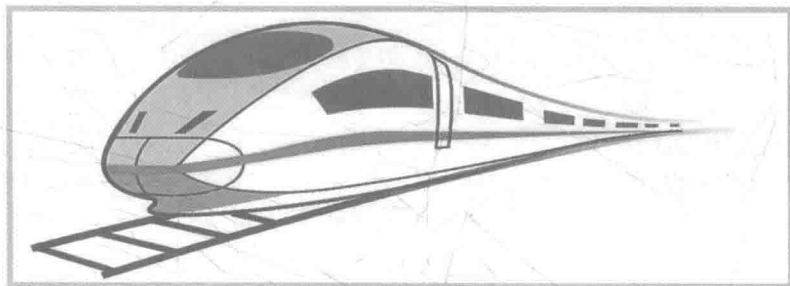


图 1.13 轮轨高铁

(2) 第二类高铁：磁浮高铁。如图 1.14 所示，磁悬浮式高速铁路，主要悬浮在轨道上运行的高速铁路运输系统，简称磁浮高铁，也叫超导高铁。磁浮高铁的运营速度：400 ~ 1 000 km/h。磁浮高铁的阻力情况：空气阻力，无摩擦阻力。

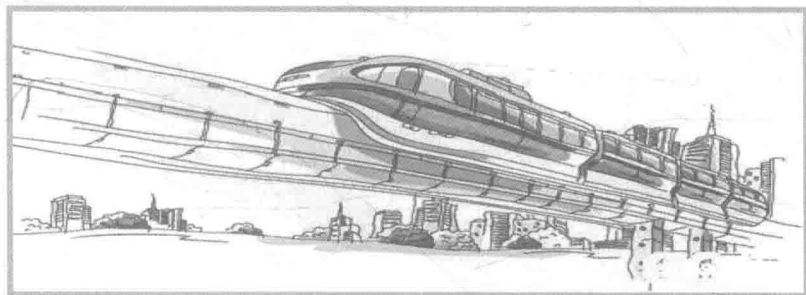


图 1.14 磁浮高铁

(3) 第三类高铁：超级高铁。如图 1.15 所示，真空管道悬浮式高速铁路，主要在真空管道中悬浮运行的高速铁路运输系统，简称超级高铁，也叫真空高铁。超级高铁的运营速度：1 200 km/h（音速 340 m/s）以上。超级高铁的阻力情况：无摩擦阻力、无空气阻力。

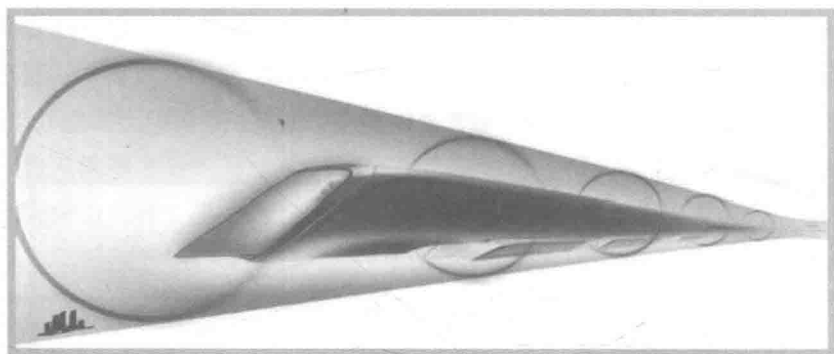


图 1.15 超级高铁

1.4 高铁的属性特征

高铁能够快速发展，和高铁自身特点及属性分不开。特别是高速铁路具有其他交通工具（汽车、飞机、普通火车等）难以比拟的技术优势。图 1.16 所示为日本轮轨高铁。

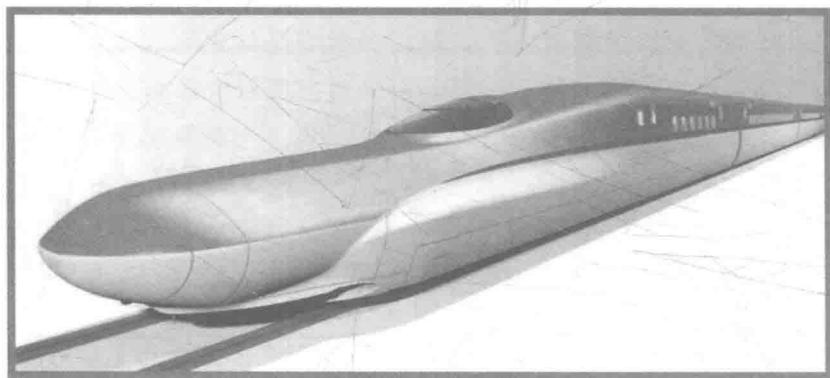


图 1.16 日本轮轨高铁

(1) 高铁的速度快。高速铁路的试验速度已经超过 603 km/h，最高运行速度 350 km/h 以上。特别是超级高铁的研发，超级高铁运营速度不但超越音速（340 m/s），而且超级高铁将改写人类历史。几种运输方式比较，图 1.17 中高速铁路优势明显。