

中国高铁出版工程——科普系列

# 磁浮高铁简史

编著：胡启洲



西南交通大学出版社

· 成 都 ·

---

### 图书在版编目 (C I P) 数据

磁浮高铁简史 / 胡启洲编著. — 成都: 西南交通大学出版社, 2021.11

ISBN 978-7-5643-8158-5

I. ①磁… II. ①胡… III. ①磁浮铁路—高速铁路—历史 IV. ①U237

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2021) 第 240077 号

---

## 磁浮高铁简史

编著: 胡启洲

---

出 版 人	王建琼
策 划 编 辑	黄庆斌 周 杨
责 任 编 辑	杨 勇
封 面 设 计	曹天擎
出 版 发 行	西南交通大学出版社 (四川省成都市二环路北一段 111 号 西南交通大学创新大厦 21 楼)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮 政 编 码	610031
网 址	<a href="http://www.xnjdcbs.com">http://www.xnjdcbs.com</a>
印 刷	四川煤田地质制图印刷厂
成 品 尺 寸	170 mm × 230 mm
印 张	9.25
字 数	137 千
版 次	2021 年 11 月第 1 版
印 次	2021 年 11 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-8158-5
定 价	35.00 元

---

图书如有印装质量问题 本社负责退换  
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

## 前 言

“交通强国、筑梦前行”。为了普及高铁知识，促进铁路知识的传播与交流，继“高铁史话系列”[包括《高铁简史》、《高铁简史》(英文版)、《高铁问答》和《高铁问答》(英文版)]后，笔者的团队又完成了“高铁三部曲”(包括《筑梦超级高铁》《磁浮高铁简史》《高铁知识趣谈》)。这本《磁浮高铁简史》就是“高铁三部曲”之一。

高铁是高速铁路的简称，而磁浮高铁是磁悬浮高速铁路的简称。《磁浮高铁简史》作为一本科普读物，介绍了磁浮高铁的基本概念、相关原理、属性特征与发展历程等内容。本书整理了现阶段国内外磁浮高铁的主要成果，诠释了磁浮高铁发展的过去、现在和未来，并从理论与技术两个不同的方面，向读者阐述了磁浮高铁的基本内涵，让读者了解磁浮高铁的发展态势。

《磁浮高铁简史》由高速铁路科学研究所胡启洲老师团队创作。团队创作成员主要有邱乐侠、房新、雷爱国、李慧慧、田晓芳、吴啸宇、高洁、吴翊凯、李陈洋等研究生。

本书语言通俗、图文并茂、简单易懂，适合作为高铁爱好者的科普读物，也可以作为科研工作者、工程技术人员、管理工作、大专院校师生的读物。书中部分图片和个别内容来自网络，作者也参考了大量国内外著作和文章，以参考文献形式列于书后，但由于来源复杂，条件所限，恐难一一标示，在此对其原作者和相关人员表示诚挚的感谢和敬意。本书写作中得到编辑部同仁的无私帮助，对其表示衷心感谢。

“科技强国、科普及惠民”。编著科普读物，惠及大众是我们每个人的最高境界。但因时间关系和水平所限，书中难免有疏漏和不当之处，敬请大家赐教批评。

编著者

2021年3月

# 目 录

第 1 章 绪 论 .....	1
1.1 高铁系统的属性特征 .....	2
1.2 轮轨高铁的发展历程 .....	9
1.3 磁浮高铁的发展态势 .....	12
1.4 小 结 .....	14
第 2 章 磁浮高铁的概念术语 .....	15
2.1 基本概念 .....	16
2.2 常用术语 .....	26
2.3 磁浮原理 .....	31
2.4 小 结 .....	36
第 3 章 磁浮高铁的基本原理 .....	37
3.1 磁浮高铁的相关原理 .....	38
3.2 磁浮高铁的主要类型 .....	47
3.3 小 结 .....	66
第 4 章 磁浮高铁的属性特征 .....	68
4.1 安全性 .....	68
4.2 环保性 .....	70
4.3 节能性 .....	73
4.4 可靠性 .....	75
4.5 适用性 .....	77
4.6 经济性 .....	78
4.7 战略性 .....	80
4.8 社会性 .....	81
4.9 小 结 .....	81

第 5 章 磁浮铁路的发展历程 .....	83
5.1 美国磁浮铁路的发展历程 .....	83
5.2 德国磁浮铁路的发展历程 .....	89
5.3 日本磁浮铁路的发展历程 .....	95
5.4 中国磁浮铁路的发展历程 .....	101
5.5 其他国家磁浮铁路的发展历程 .....	106
5.6 小 结 .....	109
第 6 章 磁浮高铁的现状愿景 .....	110
6.1 德国磁浮高铁系统 .....	111
6.2 日本磁浮高铁系统 .....	118
6.3 中国磁浮高铁系统 .....	127
6.4 磁浮高铁发展愿景 .....	133
6.5 小 结 .....	137
参考文献 .....	138



# 第 1 章 绪 论

“既然选择了远方，便只顾风雨兼程；既然目标是地平线，留给世界的只能是背影。”这首诗正好描述了高铁远去的倩影。目前，高铁作为大众交通工具，已经有了三代：第一代轮轨高铁；第二代磁浮高铁；第三代超级高铁。而且高铁一代比一代先进，一代比一代快捷，高铁环境下的世界各地也离我们越来越近了。到 2020 年年底，全球高铁运营总里程将达到 5 万千米以上，中国高铁运营里程达到 3.5 万千米以上，占世界高铁运营总里程的 70% 以上，世界进入了“高铁时代”。中国，正站在世界铁路的前沿，与世界各国共同应对全球性挑战，谋划未来，领跑时代。如图 1.1。

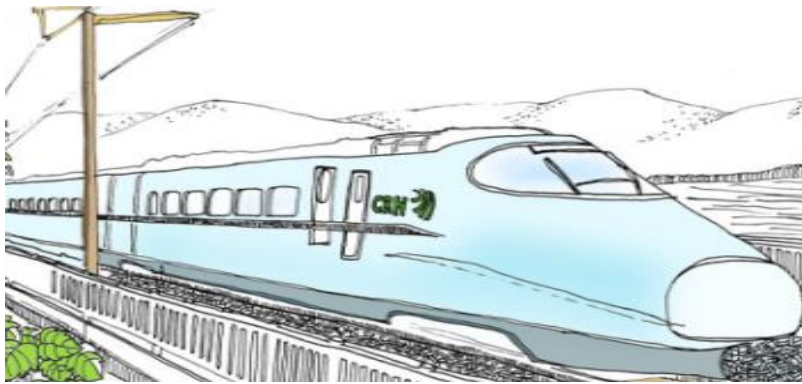


图 1.1 高铁系统

## 1.1 高铁系统的属性特征

“交通惠民，筑梦前行”。由于高铁的技术优势，以及高铁所具有的可观经济利益、不可估量的政治影响，高速铁路已经成为世界各国发展中的一个热点问题，世界上许多国家纷纷投入高速铁路的建设进程中。特别是轮轨高铁技术已经较为成熟，世界上许多国家和地区都开通了轮轨高铁，同时也有多个国家和地区正在建设和规划其自身的轮轨高铁，如中国、日本、法国、德国、西班牙、意大利、土耳其、韩国等。而磁浮高铁技术也已经成熟，日本、德国和中国等国家正在规划、建设和运营磁浮高铁系统。

### 1.1.1 高铁的类型

“长江后浪推前浪，一浪要比一浪高”。自从高铁问世以来，已经有了三代高铁：轮轨高铁、磁浮高铁、超级高铁。由于不同类型的高铁运行原理不同，每代高铁就有着不同特征。

**第一代：轮轨高铁（Wheel high-speed railway）** “破浪乘风立，风华正当时”。1964年10月1日，世界上第一条高速铁路在日本正式运营，运营速度200 km/h以上，从此高铁开启了交通发展的新时代。如图1.2。

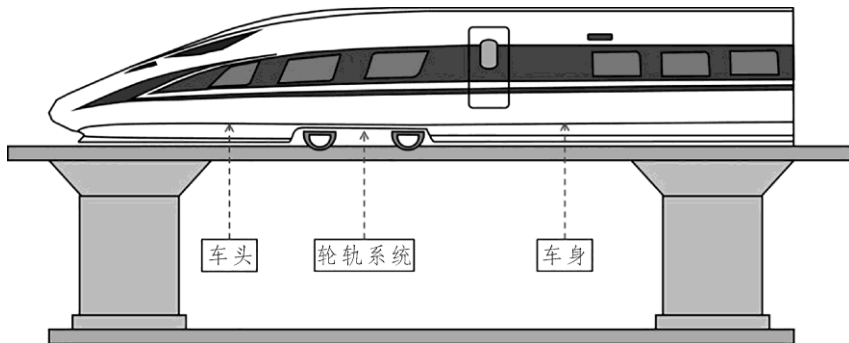


图 1.2 轮轨高铁系统

**第二代：磁浮高铁（Maglev high-speed railway）** “绝境良时再相遇，明年此日应磁浮”。2003年12月2日，世界上第一条磁浮铁路在日本正式



实验运营，速度 603 km/h。2015 年 4 月 21 日，日本磁浮高铁实验速度达到了 603 km/h，从此磁浮高铁改写了地面交通的新历史。如图 1.3。

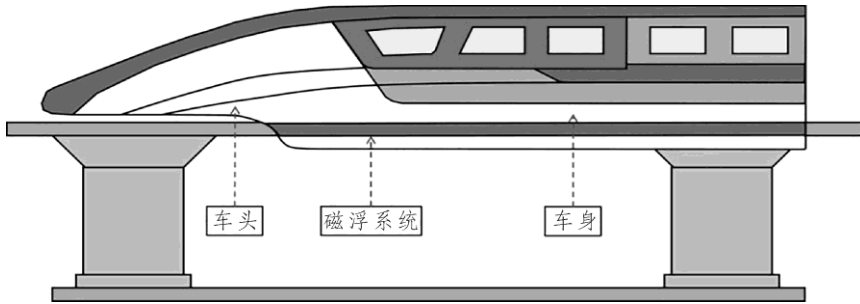


图 1.3 磁浮高铁系统

第三代：超级高铁（Superspeed railway）“海上生明月，天涯变近邻”。2013 年 8 月 12 日，美国人马斯克（Elon Musk）第一次完整地提出了超级高铁白皮书，其中超级列车以超音速（340 m/s）运行，运营速度 1 200 km/h 以上。2015 年 5 月 12 日，在美国内华达沙漠里面，进行了首次测试，超级高铁速度到达 1 230 km/h。从此高速铁路又开启了交通发展的新篇章。如图 1.4。

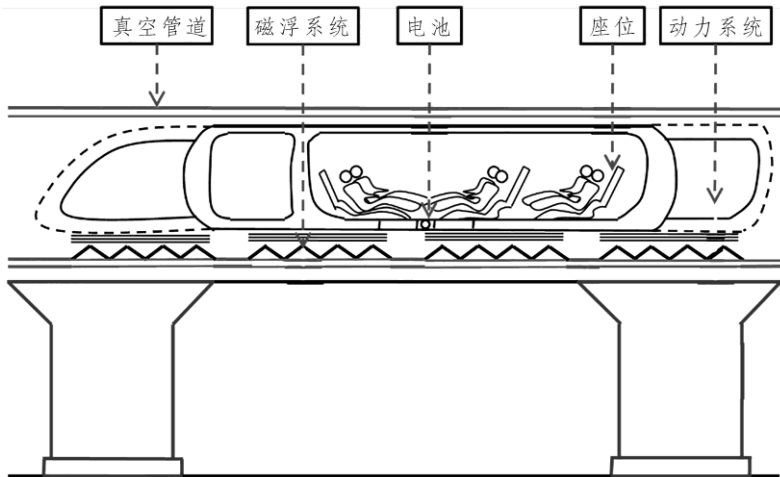


图 1.4 超级高铁系统

### 1.1.2 高铁的速度

由于轮轨高铁系统在速度、运量、安全、节能、环保等方面都有了长足的发展，所以，目前全世界有 20 多个国家和地区正在规划、建设和运营高速铁路。截至 2020 年，世界部分国家的高速铁路运营里程比较，如图 1.5 所示。

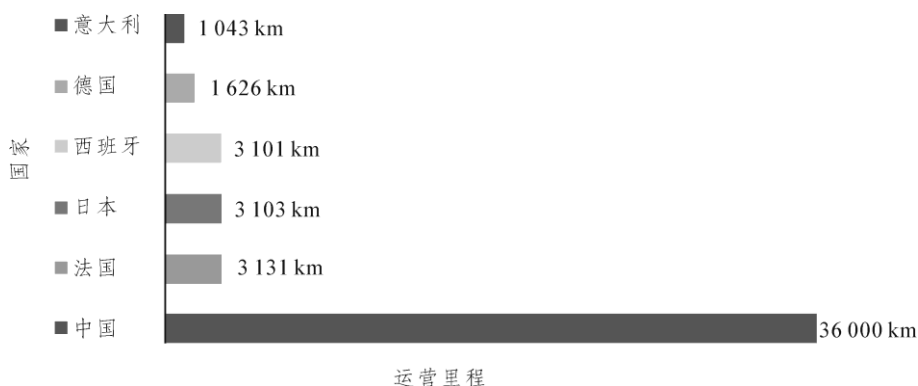


图 1.5 2020 年世界部分国家高速铁路运营里程

在高铁系统中，高速度运营是衡量高铁最为重要的指标。在目前的轮轨高铁中，高速列车的最高运营速度一般为 250 ~ 380 km/h。其中，法国轮轨高铁最近创造了以平均速度 317 km/h 运行 1 000 km 的纪录，而我国的轮轨高铁则创造了以平均速度 350 km/h 运行 10 000 km 以上的高速运行纪录。目前，各国轮轨高铁运营速度，见图 1.6。

“没有最快，只有更快”。虽然目前高速轮轨列车已经达到了十分可观的运行速度，但人们对于更加快速的交通出行的追求却从未停止，世界各国都在努力研究轮轨高铁的提速问题。高铁速度有三类：试验速度、设计速度、运营速度。其中运营速度是核心指标。四大高铁强国高铁运营速度，见图 1.7。

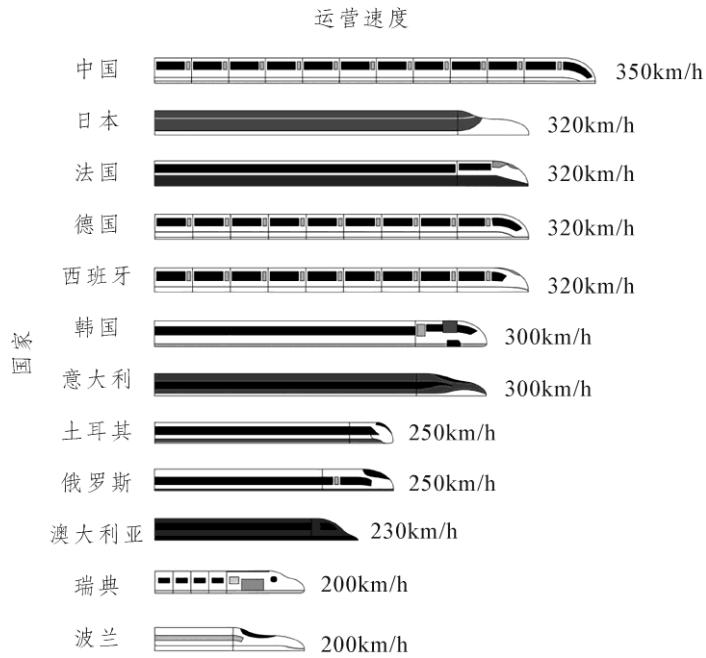


图 1.6 各国轮轨高铁运营速度

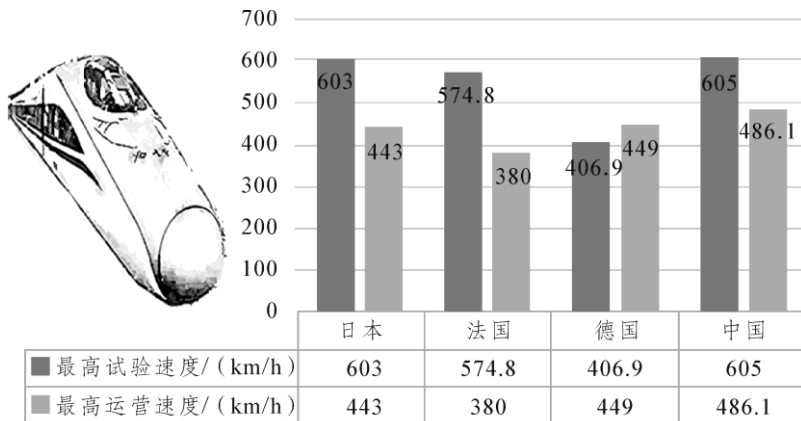


图 1.7 四大高铁强国的试验速度和运营速度

### 1.1.3 高铁的阻力

由于受到空气阻力和轨道摩擦力作用，轮轨高铁的运营速度往往不超过 400 km/h。在地面随着速度的进一步提高，高速列车发生脱轨事故的风险也急剧增加。在地面高铁运行过程中，高速列车所受到的空气阻力与车速的关系，如图 1.8 所示。

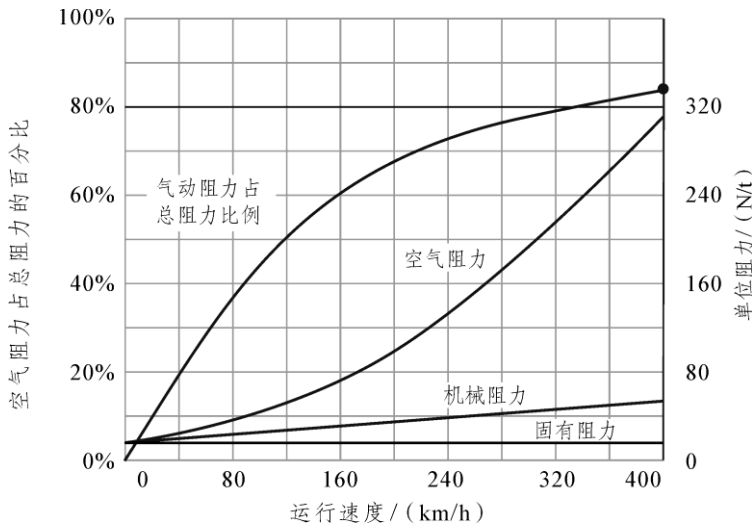


图 1.8 高速列车所受空气阻力与运行速度关系图

不同类型的高铁，受到的摩擦力和阻力也不一样。而且高速列车运行速度越快，它受到的阻力也就越大，并且阻力成指数关系上升。

#### 1. 高铁的运行阻力

**第一类高铁——轮轨高铁的运行阻力** 在轮轨高铁系统中，高速列车在快速运行时，受到的总阻力是：空气阻力+摩擦阻力。轮轨高铁运行的总阻力，如图 1.9。

**第二类高铁——磁浮高铁的运行阻力** 在磁浮高铁系统中，高速列车在快速运行时，受到的总阻力只有空气阻力，没有摩擦阻力。磁浮高铁运行的总阻力，如图 1.10。

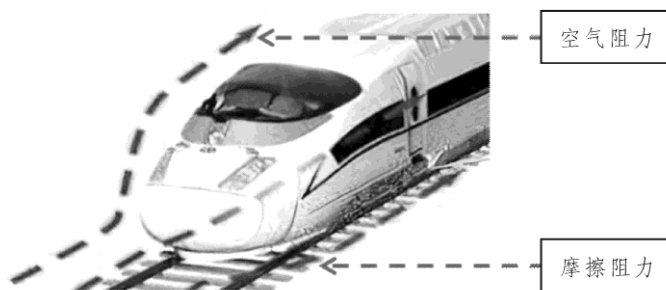


图 1.9 轮轨高铁所受阻力图

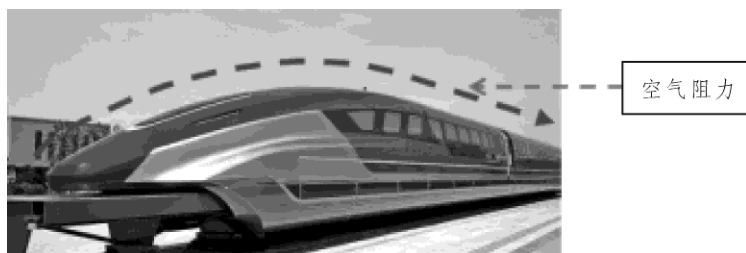


图 1.10 磁浮高铁所受阻力图

**第三类高铁——超级高铁的运行阻力** 在超级高铁系统中，高速列车在快速运行时，受到的总阻力为零，既没有空气阻力，也没有摩擦阻力，在真空环境下自由前进，如图 1.11。

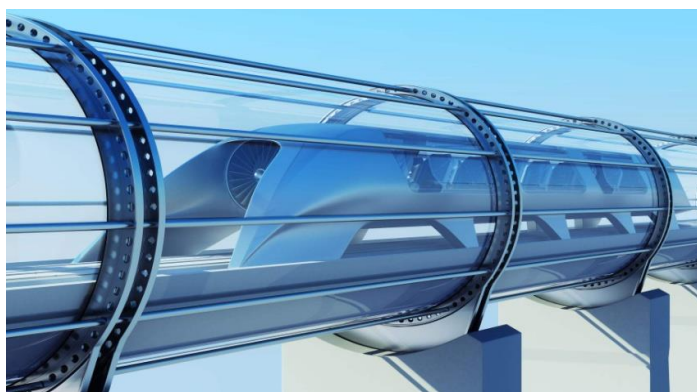


图 1.11 超级高铁所受阻力图

## 2. 高铁的阻力函数

高速列车的能耗与速度平方成正比，高速列车对环境噪声的影响与速度的六次方成正比。为了减少摩擦力，学者们开始研究在高速铁路中融入磁悬浮技术，即磁浮高铁技术。磁浮高铁不但能够消除列车与轨道之间的摩擦，而且使得列车的运行速度、安全性等有进一步的提升。在轮轨高铁系统中，轮轨列车运行过程中的轮轨摩擦，如图 1.12。

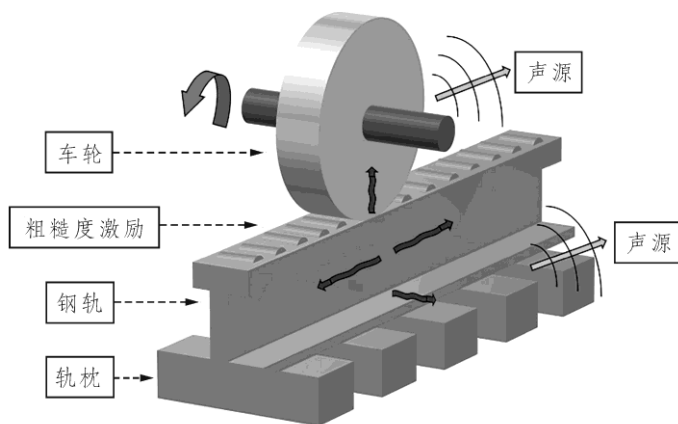


图 1.12 高速列车轮轨间的摩擦

**第一类高铁——轮轨高铁的阻力函数** 在轮轨高铁系统中，高速列车在快速运行中总阻力包括空气阻力和机械阻力，阻力的函数关系式为：

$$F(\text{Wheel Train}) = a + bv + cv^2 \quad (1.1)$$

式中  $F$ ——高速列车总阻力；

$v$ ——高速列车的运行速度；

$a$ ——除机械阻力和空气阻力之外的其他阻力；

$b$ ——轮子与轨道之间的摩擦系数；

$c$ ——空气阻力系数。

其中  $bv$ ——机械阻力，与速度成一次方关系；

$cv^2$ ——空气阻力，与速度成二次方关系。

**第二类——磁浮高铁的阻力函数** 在磁浮高铁系统中，高速列车在快速运行时总阻力只有空气阻力，阻力的函数关系式为：

$$F(\text{Maglev Train}) = a + cv^2 \quad (1.2)$$

**第三类——超级高铁的阻力函数** 在超级高铁系统中，高速列车在快速运行时总阻力既没有空气阻力也没有摩擦阻力，阻力的函数关系式为：

$$F(\text{Super Train}) = a \quad (1.3)$$

## 1.2 轮轨高铁的发展历程

轮轨高铁是指运营在轨道上，速度一般大于 200 km/h 而小于 400 km/h 的高速铁路。目前，轮轨高铁技术发展最成熟的四个国家是日本、法国、德国和中国，这四个国家也称高铁四大强国。虽然中国高速铁路起步最晚，但却是发展最迅速的国家，目前中国的轮轨高铁运营里程占世界运营总里程的 70% 以上。在轮轨高铁系统中，轮轨高铁驱动原理，如图 1.13。

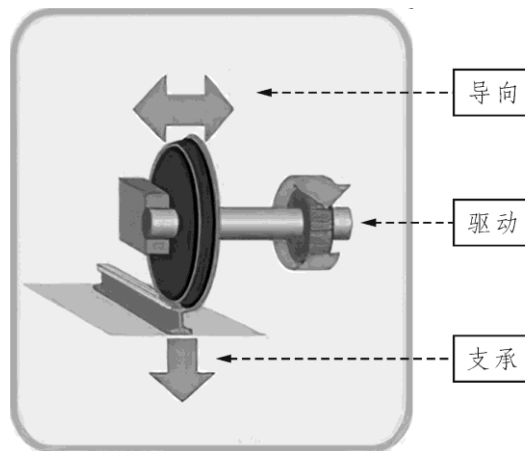


图 1.13 轮轨高铁驱动原理

### 1.2.1 日本轮轨高铁发展历程

日本轮轨高铁系统也叫日本新干线（日语：新干线/しんかんせん，罗马音 Shinkansen）高铁系统。日本建造了世界上第一条高速铁路线路，也因此开创了高速地面交通的概念。1964 年，日本第一条连接东京和大阪的新干线开始运营，其设计运营速度为 210 km/h。随后，日本一直在致力于新干线线路的改进和延伸，特别得益于车辆构造的改进。因此，轮轨高铁列车的运营速度也逐步提高至 240 km/h、270 km/h、300 km/h、350 km/h，并达到了 380 km/h。这些线路具有良好的可靠性、舒适度和安全系数，如图 1.14 所示。



图 1.14 日本轮轨高铁系统

### 1.2.2 法国轮轨高铁发展历程

法国轮轨高铁系统也叫法国 TGV（Train à Grande Vitesse，TGV）高铁系统。法国属于欧洲发展轮轨高铁较早的国家，其研发的 TGV 高速铁路技术已经是世界上使用最多的高速铁路技术之一。法国于 1981 年在巴黎—里昂之间开通了它的第一条高速铁路线路，运行速度达到 270 km/h。这条线路从一开始就吸引了大量的乘客。后来，法国又修建了从巴黎到法国东南部的大西洋线、从巴黎到北部里尔的轮轨高铁线路，以及英吉利海峡隧道。2001 年，法国开通了从里昂沿地中海一路延伸到马赛



的轮轨高速铁路线路，其最高运营速度超过了 330 km/h，特别是实验速度 578.4 km/h。如图 1.15 所示。



图 1.15 法国轮轨高铁系统

### 1.2.3 德国轮轨高铁发展历程

德国轮轨高铁系统也叫德国 ICE (Inter City Express, ICE) 高铁系统。1991 年，德国高铁也叫城际特快列车，德国开通了它的第一条高铁线路。德国轮轨高铁线路将汉诺威和乌尔兹堡两座城市连接起来，其最高运营速度达到了 250 km/h。在此之后，德国又相继修建并开通了其他许多轮轨高速铁路新线，其中就包括了如曼海姆—斯图加特、法兰克福—科隆、柏林—汉诺威、柏林—汉堡等一系列轮轨高速铁路线路，如图 1.16 所示。



图 1.16 德国轮轨高铁系统

#### 1.2.4 中国轮轨高铁发展历程

中国轮轨高铁系统也叫中国 CRH (China Railway High-speed, CRH) 高铁系统。2008 年,中国开通了国内的第一条高速铁路线路,即连接北京和天津的城际列车线路。目前,中国在完善“四纵四横”高速铁路网络建设的基础上,又进一步设计规划了“八纵八横”的高速铁路网络建设,以及“四大跨国”高铁干线。在不到短短 20 年的时间里,中国先后通过对国外先进高速铁路技术的引进和对既有线的改造,逐步发展成为世界上高速铁路发展最快、系统技术最全、集成能力最强、运营里程最长、运营速度最高以及在建规模最大的国家。中国高铁如图 1.17 所示。



图 1.17 中国轮轨高铁系统