



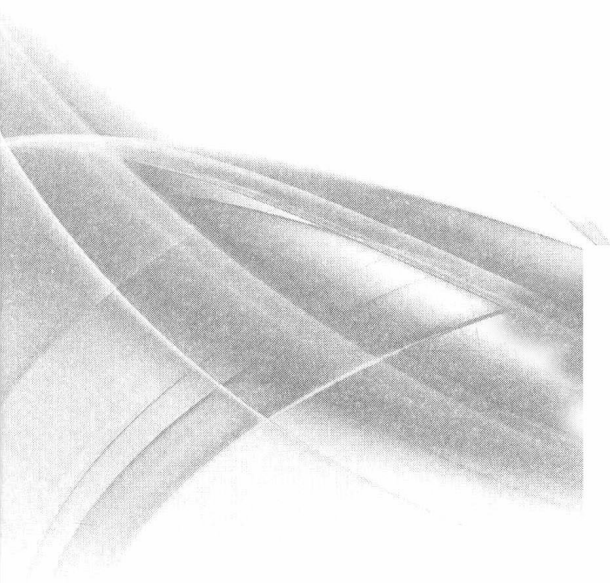
牵引供电系统概论

● 主编 尚俊霞 高娜

 北京理工大学出版社
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

牵引供电系统概论

主 编 尚俊霞 高 娜



 **北京理工大学出版社**
BEIJING INSTITUTE OF TECHNOLOGY PRESS

内 容 简 介

本教材立足培养应用型、技能型技术人才,图文并茂,力求通俗易懂。主要介绍了电气化轨道交通、电力系统基本知识、牵引供电系统、牵引变电站(所)、牵引变电站(所)的主要电气设备、牵引供电运动技术、变电站(所)综合自动化系统、牵引供电系统的调度管理等内容,最后一个项目是牵引供电系统实验(实训)指导,共列举了14个相关的实验(实训)内容。

本教材可作为城轨供配电技术专业、城轨供用电技术专业教材,也可作为电气化铁道供电专业的参考教材。

版权专有 侵权必究

图书在版编目(CIP)数据

牵引供电系统概论/尚俊霞,高娜主编. —北京:北京理工大学出版社,2016.8

ISBN 978-7-5682-3071-1

I. ①牵… II. ①尚… ②高… III. ①牵引供电系统-概论
IV. ①TM922.3

中国版本图书馆CIP数据核字(2016)第213604号

出版发行/北京理工大学出版社

社 址/北京市海淀区中关村南大街5号

邮 编/100081

电 话/(010)68914775(办公室) 68944990(批销中心) 68911084(读者服务部)

网 址/http://www.bitpress.com.cn

经 销/全国各地新华书店

印 刷/三河市天利华印刷装订有限公司

开 本/787毫米×1092毫米 1/16

印 张/15.5

责任编辑/张旭莉

字 数/364千字

文案编辑/党选丽

版 次/2016年8月第1版 2016年8月第1次印刷

责任校对/周瑞红

定 价/50.00元

责任印制/马振武

图书出现印装质量问题,本社负责调换

前言

Qianyan

本书为城市轨道交通供电专业教育规划教材，是根据高等教育城市轨道交通供电专业教学计划《牵引供电系统概论》课程教学大纲的要求编写的。本书可作为城轨供配电技术专业、城轨供用电技术专业教材，也可作为电气化铁道供电专业的参考教材。

本书系统地介绍了电气化轨道供电系统，以交流电气化轨道交通为重点，同时对迅速发展的直流牵引供电系统作了介绍，以增加读者对供电系统的认识。牵引供电系统中又以牵引变电站（所）为重点，介绍了供电系统的电气设备，对接触网的要求、组成及供电方式作了较详细的介绍，对牵引供电系统的保护和远动系统的介绍结合了实际情况，同时对综合自动化方面作了简单的介绍。内容的编写以牵引供电基础理论为出发点，紧扣专业标准，理论与实践相结合，力求使读者掌握必备的专业基本知识和熟练的专业技能。

为加强读者对现场的认识，本书通过文字、图片和实践实训相结合的方式，使读者对牵引供电系统有更深层次的认识。

本教材立足于培养应用型技能型技术人才，图文并茂，力求通俗易懂。考虑到高等教育的特点，以突出应用和技能为重点，对以往较为烦琐复杂的计算进行了舍弃，如有必要，可参考其他手册。

本书由尚俊霞、高娜任主编。其中，项目1、项目2、项目9中任务9.1~9.9由高娜主编，项目3~项目8、项目9中任务9.10~9.14由尚俊霞主编。

由于编者水平有限，书中难免存在疏漏和错误，诚恳欢迎读者提出宝贵意见。

编者

项目1 电气化轨道交通	001
任务 1.1 电气化轨道交通概论	001
任务 1.2 地铁与轻轨	012
任务 1.3 电气化铁路	021
任务 1.4 高速铁路	024
复习思考题	027
项目2 电力系统基本知识	028
任务 2.1 电力系统概况	028
任务 2.2 电力系统的表征参数和短路容量	033
任务 2.3 电力系统的额定电压	038
任务 2.4 电能的质量指标	040
任务 2.5 电力系统中性点的运行方式	041
任务 2.6 电力输电线路	049
复习思考题	058
项目3 牵引供电系统	059
任务 3.1 电力牵引供电系统概述	059
任务 3.2 牵引供电系统的电流制	061
任务 3.3 工频单相交流牵引供电系统	063
任务 3.4 牵引变电站(所)及牵引网的供电方式	068
复习思考题	073
项目4 牵引变电站(所)	074
任务 4.1 单相牵引变电站(所)	075

目 录

Contents

任务 4.2	三相牵引变电站（所）	079
任务 4.3	三相 - 两相牵引变电站（所）	084
任务 4.4	直流牵引变电站（所）	093
任务 4.5	电气主接线	093
任务 4.6	二次接线概述	109
任务 4.7	牵引变电站（所）的控制电路和信号电路	114
	复习思考题	119
项目 5	牵引变电站（所）的主要电气设备	120
任务 5.1	概述	120
任务 5.2	整流机组	122
任务 5.3	高压开关设备	128
任务 5.4	互感器	139
任务 5.5	避雷装置	144
任务 5.6	成套设备	146
	复习思考题	149
项目 6	牵引供电远动技术	150
任务 6.1	远动概述	150
任务 6.2	远动系统的基本构成与分类	154
任务 6.3	远动系统的技术要求与性能指标	164
任务 6.4	远动系统的功能	165
任务 6.5	远动系统的工作模式	170
任务 6.6	牵引供电保护	171
任务 6.7	变（配）电所远程视频安全监控系统	176
	复习思考题	180

项目7 变电站(所)综合自动化系统	181
任务7.1 基本概念及发展过程	181
任务7.2 变电站(所)综合自动化研究的主要内容	184
任务7.3 变电站(所)综合自动化系统的特点	185
任务7.4 变电站(所)综合自动化系统的基本功能	187
任务7.5 变电站(所)综合自动化系统的结构形式及其相关配置	190
任务7.6 变电站(所)综合自动化系统的发展方向	192
复习思考题	194
项目8 牵引供电系统的调度管理	195
任务8.1 概述	195
任务8.2 供电段	198
任务8.3 铁路牵引供电调度规则	200
任务8.4 接触网与相关专业的接口	209
项目9 牵引供电系统实验(实训)指导	220
任务9.1 实验(实训)须知	220
任务9.2 高压电器的认识实验(实训)	221
任务9.3 定时限过电流保护实验(实训)	222
任务9.4 反时限过电流保护实验(实训)	224
任务9.5 接地电阻测量实验(实训)	226
任务9.6 吊弦制作实训	227
任务9.7 腕臂装配和安装实训	229
任务9.8 拉出值及线岔检调实训	230
任务9.9 更换腕臂棒式绝缘子实训	232



目 录

Contents

任务 9.10	GW-35 型隔离开关检调实训	233
任务 9.11	三相牵引变压器供电臂负荷与绕组负荷间的关系	234
任务 9.12	牵引变电站(所)换相连接方法及其对降低电力系统负序 电流的作用	235
任务 9.13	吸流变压器的吸流作用	236
任务 9.14	机车电流在 AT 供电回路中的分配	238



项目1 电气化轨道交通

【项目描述】

在铁路运输中，主要有三种牵引形式，蒸汽牵引、内燃牵引和电力牵引。蒸汽牵引是铁路上最早采用的一种牵引形式，至今已有200多年的历史。由于它热效率低、燃料消耗大、环境污染重，严重影响了铁路技术经济能力和铁路运输能力的提高，从20世纪60年代初开始，已逐渐被淘汰。而内燃牵引和电力牵引，在技术上比较先进，是从20世纪40年代以后才发展起来的，由于它们功率大，热效率高，过载能力强，能更好地实现多拉快跑，提高铁路的运输能力，所以发展很快。特别是电力牵引，它除了具有以上优点外，还能综合利用资源和不污染环境，是今后主要发展的一种牵引形式。

【学习目标】

- (1) 了解电气化轨道交通的发展历史及世界电气化轨道的发展现状与前景。
- (2) 掌握地铁供电系统的组成。

【技能目标】

能够掌握电气化轨道交通的各种基本常识。

任务1.1 电气化轨道交通概论

1.1.1 电气化轨道交通的发展历史

世界上第一条真正意义的电气化轨道（见图1.1）交通诞生于1879年。当年5月31日、西门子公司和哈尔斯克公司在德国柏林举办的世界博览会上联合推出了一条电气化铁路和一台电力机车。这条电气化铁路长300 m，线路呈椭圆形，轨距为1 m，在上面运行的电力机车只有954 kg，车上装有2.2 kW的串励式二极直流电动机，由150 V的外部直流电源经铺设在轨道中间的第三轨供电，以两条走形轨作为回路。它牵引三节敞开式“客车”，每节车上可乘坐6名乘客。最高运行时速达13 km，在4个月的展览期间共运送了8万多乘客。这条电气化铁路看起来比今天的儿童铁路还要小，但它却是现代电气化轨道交通的先驱。1881年，西门子和哈尔斯克公司又在柏林近郊的利希菲尔德车站至军事学院之间修建了一条2.45 km长的电车线路。同年，在法国巴黎国际电工展会上展出了第一条500 m长的由两条架空导线供电的电车线路，并于1885年正式投入商业运行中。这就为提高电压，采用大功率牵引电动机创造了条件。这种电车形式的电气化铁路的出现，极大地刺激了当时的日本、西欧和美国，于是很多国家纷纷开始兴建电气化铁路。

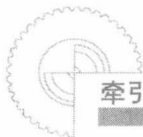


图 1.1 世界上第一条电气化轨道交通系统

1893 年,瑞典在斯德哥尔摩以北 11 km 长的区段内修建了一条 550 V 的直流电气化铁路。1895 年,美国在巴尔的摩至俄亥俄间 5.6 km 长的隧道区间段内修建了一条 675 V 的直流电气化铁路。同年,日本在京都的下京区修建了一条 6.7 km 长的 550 V 的直流电气化铁路。1898 年德国在什塔特至埃格里堡区段内以及 1902 年意大利在瓦尔切里纳线上分别修建了一条三相交流电气化铁路。最初的电气化铁路都是采用低压直流或者三相交流供电,并且大部分在工矿线路和城市的近郊线路上,后来随着工业的发展,逐渐发展到城市之间和一些繁忙的铁路运输干线上来。

1.1.2 世界电气化轨道的发展现状与前景

20 世纪 50 年代,工业发达的一些国家为了提高铁路的运输量,来和其他的运输业进行竞争,开始大规模地进行铁路的现代化建设,主要是牵引动力的现代化建设。因此,电气化铁路建设速度不断地加快,修建的国家也逐渐增多。20 世纪 60 年代,平均每年修建 5 000 km 以上的电气化铁路,其中日本 332 km、波兰 335 km、意大利 341 km、法国 368 km、德国 486 km,而苏联高达 2 003 km。20 世纪 70 年代末工业发达的一些国家,如日本、苏联以及东、西欧,运输量大线路繁忙的干线都已经实现电气化,并且已经基本成网。20 世纪 80 年代以后,一些发展中国家,比如印度、朝鲜、土耳其、巴西等也快速地发展了电气化铁路,特别是我们国家的电气化铁路更是飞速地发展。现在我国电气化铁路建设,已经跃居世界前列。

现在世界各国已进入建设高速电气化铁路的新时期。修建高速电气化铁路的国家越来越多,列车的运行速度也越来越快,修建的里程也越来越长。特别是欧洲,已经突破了国界,向网络化和国家化发展。高速电气化铁路已经成为国家社会经济发展水平和铁路现代化的主要标志之一。

1. 日本新干线

“新干线”这个从 20 世纪 60 年代就作为一个国家通用专有名词为世人所知,指的是日本“在线路的主要区间列车以 200 km/h 以上速度运行的干线铁路”,也称高速铁路。从 1964 年 10 月 1 日,日本 0 系高速列车投入世界上第一条时速为 210 km 的东海道新干线高速铁路营运以来,到 1997 年 10 月日本已建成了东海道、山阳、东北、上越、长野 5 条新干线,共计 1 952.5 km。日本新干线高速列车已发展 50 多年,相继研制开发了 0 系、100N



系、200系、EI系、400系、300系、500系、700系和E系列等高速列车，并为21世纪最高运营速度300~350 km/h而开发了WIN350、300X、STAR21等3种高速试验列车。日本高速列车是在既有线旅客列车的技术基础上逐步发展起来的。

1872年，日本修建了第一条1 067 mm轨距的铁路，采用动力集中的蒸汽机车牵引，后来在京都地区出现了城市地面有轨电车，1910年出现了电动车组，主要在高速铁路线上运行；在1930—1940年，电动车组也仅仅在有限的铁路线上运行。这种电动车组主要在40~50 km范围的短途运输中采用，而长途的铁路运输主要还是采用蒸汽机车牵引。

第二次世界大战之后，日本东海道铁路运输量急剧增长，旅客列车严重超员，运输压力增大，到1951年，东京—滨松间已开通电动车组运行，但东京—大阪间，仍采用机车牵引。车辆的轻量化、电机技术的发展和转向架悬挂等技术的发展，均促使电动车组的发展。

到1958年，东京—大阪已是日本的经济发展中心。东京—大阪间要求当天能往返，并要求时间在6.5 h之内。但是，当时东京—大阪间有4对旅客列车，其中2对为特快，另2对为普通直达快车，特快运行时间需7.5 h。当时日本国铁提出，不管采用机车牵引还是采用电动车组，东京—大阪间必须达到6.5 h之内旅行时间的要求。若采用机车牵引，受轨道结构的影响，填方路基质量不高，机车改造费用高；若采用电动车组，技术上也需改造，但改造费用较低。争论的结果是在1 067 mm轨距的既有线上，决定开行4对特快旅客列车，其中2对采用机车牵引，另2对采用电动车组运行，开始了动力集中与动力分散的竞争。经过剧烈的竞争和旅客的评价，东京—大阪间4对特快旅客列车全部采用了电动车组，为日本动力分散电动车组高速列车的发展奠定了基础。到1964年，日本东海道新干线高速铁路（标准轨距）的建成，比较顺利地采用动力分散的动车组高速列车。

通常所提到的新干线指的是日本的标准轨距新干线，是高速铁路，但现今广义的新干线网络已不仅仅局限于这个概念了，它还包括两条“小型”新干线（Mini-Shinkansen）和两条新干线规格的既有线。1964年开通的东海道新干线以及随后的一系列标准轨新干线最重要的目的是满足快速增加的客流量，以适应快速发展的日本经济。山形和秋田新干线这两条“小型”新干线是综合考虑了成本，民众心理而将原有的福岛至山形和盛冈至秋田的1 067 mm的窄轨扩建成1 435 mm的标准轨，以方便民众出行，原有的车站等配套设施不改变，所以运行在“小型”新干线上的列车为适应原有的车站、隧道等需将列车车辆“小型化”，这就是“小型”新干线的来历。另两条新干线规格既有线指的是博多南线和嘎拉汤泽线，这两条线均是法定既有线，属于旧线，但其线路和车辆完全采用标准规格新干线技术。前者连接山阳新干线终点站博多至博多综合车辆部，起初并不承担旅客运输，后经当地居民强烈要求，于1990年4月1日开始旅客运输服务。后者为上越新干线越后汤泽车站与车辆维修基地之间的连接线，1990年12月开始作为嘎啦滑雪场滑雪者专用线正式营运。因此，新干线可分为三种：标准规格新干线、“小型”新干线和新干线规格的既有线。第一种总共有2 177 km，第二种只有275.6 km，第三种只有10.1 km，后两者所占比例非常小，通常说的新干线指的是第一种标准规格新干线。

日本新干线网络详情如表1.1和图1.2所示。

表 1.1 日本新干线网络

类型	线路	区间	长度/km	运营商	开通年份/年
标准规格新干线 (2 177 km)	东海道新干线	东京—新大阪	515.4	JR Central	1964
	山阳新干线	新大阪—博多	553.7	JR West	1972
	东北新干线	东京—八户	593.1	JR East	1982
	上越新干线	大宫—新潟	269.5		1982
	北陆新干线 (长野)	高崎—长野	117.4		1997
	九州新干线	新八代—鹿儿岛中央	126.8	JR Kyūshū	2004
“小型”新干线 (275.6 km)	山形新干线	福岛—新庄	148.6	JR East	1992
	秋田新干线	盛冈—秋田	127.3		1997
新干线规格的 区间铁路 (10.1 km)	博多南线	博多—博多南	8.5	JR West	1990
	上越支线	越后汤泽— 噶拉汤泽	1.6	JR East	1990

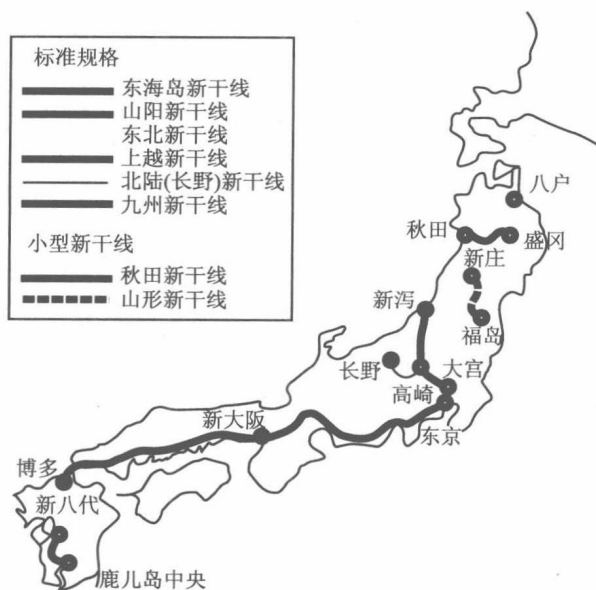


图 1.2 日本新干线网络



今后的新干线网络将覆盖整个日本所有大中城市，人们乘坐新干线就如乘坐公交车那样方便和容易。作为日本交通大动脉，新干线承担的旅客运输量是惊人的。以东海道新干线为例，每天开行287列定员1300人左右的高速列车，高峰时段从东京到大阪每小时开行12列，平均发车间隔只有5 min，每天大约载客37万人。6条标准规格新干线每天乘客量近80万人次，每年乘客约13亿。

2. 法国 LGV 网络

20世纪60年代，连接巴黎—第戎—里昂的铁路运输量就已达到饱和状态，当时曾考虑过修复线等多种方案，经详细的技术经济分析后，最终选择了新建一条高速客运专线的方案。该线包括联络线在内全长417 km，南段275 km于1981年9月投入运营，北段115 km于1983年9月投入运营并全线开通。东南线TGV高速铁路系统自投入运营之日起，就以其安全、快速、便捷、舒适的特性吸引了广大旅客，成为一种极具竞争力的公共交通工具。高速列车的开行使巴黎至里昂间的旅行时间只需2 h，比过去缩短了一半。

法国经运营的是法国第二条高速铁路线——286 km长的LGV大西洋线，它将巴黎与西部城市勒芒、图尔连接起来，两条线在Courtalain分支。1984年大西洋线被宣布为公用事业。1989年9月，大西洋线的西部支线巴黎至勒芒开通。1990年10月开往图尔的西南部支线也投入运营。巴黎经里尔至加莱340 km的北方高速线也于1993年9月建成通车。为了满足海底隧道的要求并与英国铁路接轨，连接英吉利海峡的拉芒什隧道于1994年打通。环巴黎地区的128 km联络线也于1994年和1996年分两期建成交付运营，它从东部环绕巴黎，将东南和大西洋线两条高速线与北方高速线连成一体，途径法国最大的戴高乐国际机场高速车站和欧洲迪士尼乐园高速车站，使空运、地铁和著名景点与高速线连接起来。这样从巴黎不用换车就能直接到达北欧。到21世纪初，法国高速电气化铁路总长度达到2500 km。

3. 德国 ICE 网络

ICE是DB Fernverkehr（德国国家铁路公司旗下经营所有的ICE和IC的分公司）提供的最高运营速度规格列车的简称，全称为Inter City Express，即城际快车。ICE网络系统是一个多中心的网络，运行间隔通常保持在30 min、1 h或2 h。高峰时间还可以另外加开列车。法国TGV和日本新干线的系统、车辆、轨道运行不是作为集成来进行设计的，而ICE将德国以前存在的铁路系统也考虑进来了。ICE列车运营最繁忙的线路是法兰克福与曼海姆之间的Riedbahn线，因其间集中了大量ICE线路。如果将货运、管内以及长途客运考虑进来的话，最繁忙的ICE交通线路应属于慕尼黑与奥格斯堡之间，每天通行约300列车。

ICE网络遍布德国，根据各线路的方位，可将德国ICE干线网络分为两大类：南北干线6条和东西干线3条。各具体干线网络情况如表1.2所示。

ICE列车延伸至周边国家，进行跨国运输。西边与法国、荷兰、比利时相连，西南方向与瑞士相连，东南方向与奥地利相连，北面与丹麦相连，目前总共有10条跨国运输线，详情如表1.3所示。

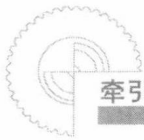


表 1.2 德国 ICE 干线网络

方位	线路	区间		备注		
南北	1	汉堡—	汉诺威—卡塞尔—富尔达— 法兰克福—曼海姆—	卡尔斯鲁厄—弗莱堡—	巴塞尔	ICE line 20
					斯图加特	ICE line 22
	2	汉堡—	不来梅—汉诺威—卡塞尔— —维尔茨堡—	纽伦堡—因戈尔斯塔特—	慕尼黑	ICE line 25
				多瑙沃特—奥格斯堡—		
	3	汉堡—	柏林—莱比锡—纽伦堡—	奥格斯堡—	慕尼黑	ICE line 28
				因戈尔斯塔特—		
	4	柏林东—	不伦瑞克—卡塞尔—富尔达— —法兰克福—曼海姆—	卡尔斯鲁厄—弗莱堡—	巴塞尔	ICE line 12
				斯图加特—乌尔姆— 奥格斯堡—	慕尼黑	ICE line 11
	5	阿姆斯特丹—	杜伊斯堡—杜塞尔多夫— 科隆—法兰克福—曼海姆—	卡尔斯鲁厄—弗莱堡—	巴塞尔	ICE line 43
		多特蒙德—		斯图加特—乌尔姆— 奥格斯堡—	慕尼黑	ICE line 42
6	阿姆斯特丹—	杜伊斯堡—杜塞尔多夫—科隆—		法兰克福	ICE line 78	
	布鲁塞尔—	亚琛—科隆—		法兰克福	ICE line 79	
	多特蒙德—	杜伊斯堡—杜塞尔多夫—科隆—法兰克福— 维尔茨堡—纽伦堡		慕尼黑	ICE line 41	
东西	1	柏林东—	汉诺威—比勒费尔德— 哈姆—	多特蒙德—埃森—杜伊 斯堡—杜塞尔多夫—	科隆/ 波恩	ICE line 10
				哈根—武珀塔尔—		
	2	德累斯顿—	莱比锡—埃尔福特— 富尔达—法兰克福—	美因茨—	威斯巴登	ICE line 50
达姆斯塔特—曼海姆— 凯泽斯劳滕—				萨尔布 吕肯		
3	德累斯顿—	莱比锡—埃尔福特—卡塞尔—柏德博恩—多特蒙德— 埃森—杜伊斯堡—杜塞尔多夫—		科隆	IC/ICE line 51	

表 1.3 ICE 列车跨国运行情况

编号	区间		到达国家
1	杜伊斯堡总站	阿姆斯特丹	荷兰
2	科隆总站—亚琛总站—里日	布鲁塞尔	比利时
3	萨尔布吕肯总站	巴黎东	法国
4	巴塞尔	因特拉肯	瑞士
5	巴塞尔	苏黎世	瑞士
6	斯图加特总站	苏黎世	瑞士
7	慕尼黑总站—萨尔茨堡—林茨	维也纳西	奥地利
8	帕绍—林茨	维也纳西	奥地利
9	慕尼黑总站	茵斯布鲁克	奥地利
10	柏林	哥本哈根	丹麦

4. 意大利高速铁路

早在第二次世界大战前，意大利就建立了两条“高速”铁路：一条是博洛尼亚—佛罗伦萨。另一条是佛罗伦萨—罗马，当时的最高运营速度达到 180 km/h。不过按照现在的意义来说，这不能算是高速铁路线。

罗马—佛罗伦萨 262.4 km 的高速线是第一条 TAV 线，始建于 1970 年，已于 1991 年开通，采用 3 kV 供电。米兰—博洛尼亚 199 km 和罗马—那不勒斯 211 km 的两条高速线也于 2005 年 12 月开通。都灵—米兰在 2006 年和 2009 年分段开通，采用 25 kV/50 Hz 供电。帕多瓦—威尼斯长 23 km，2007 年开通，采用 3 kV 供电。米兰—特雷维廖长 23 km，2007 年开通，采用 3 kV 供电。米兰—博洛尼亚，建于 2000 年，2008 年 12 月 31 日投入运营。米兰至热那亚和博洛尼亚至佛罗伦萨这几条横向高速线。高速电气化铁路总长度达到了 1 000 km 以上。

此外，里昂—都灵，将法国里昂与意大利都灵连接起来，形成法国 TGV 与意大利 TAV 互通。米兰—基亚索（瑞士边境城市），连接意大利 TAV 和瑞士铁路网。勃伦纳山隧道，是一条连接维罗纳—因斯布鲁克（奥地利西部城市）—慕尼黑的高速线，此线将奥地利、德国和意大利三国铁路网连接起来，形成泛欧交通网中重要的一环。蒂利亚斯特—斯洛文尼亚—卢布尔雅那，是连接斯洛文尼亚和意大利 TAV 网络的铁路线。

5. 西班牙高速铁路

与其他采用宽轨铁路系统不同，西班牙高速铁路使用标准轨，因此方便未来可以与其他地区的铁路相连接。1986 年 10 月，西班牙政府构思新建一条铁路线，将西班牙中部（卡斯蒂亚）与南部（安大路西亚）连接，同时绕过 Despenaperros 国家公园。考虑多个方案后，西班牙政府认为应建造一条标准轨铁路，成为首条高速铁路，这样以便将来延伸后能连接到巴塞罗那和瓦伦西瓦这些大城市，以促进它们的发展。应塞维利亚世博会的召开，马德里至塞维利亚 471 km 的南北高速线于 1992 年 4 月建成通车。

目前在建的 AVE 高速路网主要是四大走廊，它们是东北走廊——法国边境、北方—西



北走廊将西北部及北方诸大城市连接起来、西南葡萄牙走廊连接西班牙西南与葡萄牙、以及东方走廊——马德里至地中海沿岸。

西班牙政府在 2010 年开通了 7 000 km 的高速铁路网，使得所有省会城市至马德里的旅行时间控制在 4 h 内，至巴塞罗那的旅行时间控制在 6.5 h。在 2011 ~ 2020 年期间，将 300 km/h 的高速线路扩展至 10 000 km，成为欧洲最长的高速铁路网。

6. 韩国高速铁路

韩国首尔至釜山的 432 km 高速线已于 1993 年 8 月开始动工修建，设计时速为 300 km，采用法国 TGV 技术。首尔至大田段已于 1999 年年底建成通车，大田至釜山段受亚洲金融危机影响，2002 年才建成通车。

1.1.3 电气化轨道交通的优缺点

与传统的轨道交通比较，电气化轨道交通的优越性主要表现在以下几个方面：

(1) 能多拉快跑，提高运输能力。由于电力机车以外部电能作动力，它不需要自带动力装置，可降低机车自身质量，这样，在每根轴的荷重相同的条件下，其轴功率较大，目前国内的电力机车最大为 900 kW，内燃机车为 500 kW，在相同的牵引质量时，其速度较高。而在相同速度下，其牵引力也较大。客运用的 SS_8 型电力机车持续速度为 100 km/h，而 DF_{11} 型内燃机车只有 65.5 km/h。从货运机车的功率来比较， SS_4 型电力机车为 6 400 kW， DF_{10} 型内燃机车为 3 245 kW，而前进型蒸汽机车仅为 2 200 kW。由上述数字可以看出，因为电力机车的功率大，所以它的牵引力大和持续速度较高，从而大大提高了运输能力。在坡道大、隧道长的山区区段和运输量大、运输繁忙的平直干线上，电力机车牵引的能力就更显著。例如，宝成线电气化后，广元以北的输送能力由原来的每年 250 t 提高到 1 350 t，提高了 4.4 倍；广元以南的输送能力由原来的每年 750 t 提高到 1 750 t，提高了 1.3 倍。石太线电气化前（1978 年）的输送能力为 2 660 万吨，电气化后（1985 年）的输送能力达到 5 600 万吨，比电气化前翻了一番还多。

(2) 能综合利用资源，降低燃料消耗。电力机车的能源可以来自多方面，因此可以综合利用资源，特别是可以利用丰富而廉价的水力资源和天然气资源，即使是火力发电厂供电，也可以使用劣质煤或者重油。而蒸汽机车要用优质煤，内燃机车要用高价的柴油，燃料消耗量比电力机车要高得多。日本在 1960—1975 年的 15 年中，列车数量增加了 50%，而燃料消耗量却降低了 50%，苏联在 1960—1980 年的 20 年中铁路劳动生产率提高了两倍，而煤炭却节约了 20 多亿吨。轨道交通是国家能源消耗的一个大户。因此，牵引动力类型的选择对于合理使用能源具有重要意义。电力牵引的动力是电能，从我国能源生产的发展来看，“八五”期间发电量增长 32%，原煤增长 13%，原油增长 5.1%；1995 年电力牵引用电量仅占全国发电量的 0.64%；再以宏观的能源结构看，原油储量远少于煤炭、水力，而一些无法直接使用电能的水上、陆地和空中运输工具及移动机械却需要大量的液体燃料，因此，电力牵引是最合理的牵引动力。电力牵引每万吨公里的能耗比其他牵引约低 1/3。

(3) 能降低运输成本，提高劳动生产率。由于电力机车构造简单，牵引电动机和电气设备工作稳定可靠，因而机车检修周期长，维修量少，可以减少维修费用和维修人员。电力



机车不需要添煤、加水和加油，整备作业少，宜长交路行驶，因而可以少设机务段，乘务人员和运用机车台数也相应减少。同时还能增加机车的运行时间，提高了劳动生产率。根据 1990 年全路运输业务决算报告，分别对蒸汽机车、内燃机车、电力机车三种牵引的每万吨公里机务成本进行了计算：电力机车为 100%，内燃机车为 136.9%，蒸汽机车为 135.1%；其中大修费电力机车为 100%，内燃机车为 297.3%，蒸汽机车为 160.3%；由于电力机车牵引能大幅度地增大运输能力，提高和统一机车牵引定数，减免编组站列车换重作业，以及加速车辆周转，所以使运输成本大大降低。

(4) 能改善劳动条件，不污染环境。由于电力机车不带原动机，不烧煤、不燃油，不但使机车乘务员不受有害气体侵害，同时也对沿线的环境不产生污染。例如：宝成线在电气化前采用蒸汽机车牵引，当列车通过长大隧道时，隧道内有害气体高达 0.25 mg/L，超过国家标准 12.5 倍，并有大量煤炭排入道床，给工务养路造成很大困难。更为严重的是，由于烟熏火烤，使得补给司机室内的温度高达 53℃，劳动条件很差，常常引起机车乘务员晕倒，严重影响人身健康和行车安全。由于列车车窗关闭，车内闷热，空气污浊，旅行环境十分恶劣。

(5) 能促进铁路沿线实现电气化，有利于工农业的发展。电气化铁路的牵引供电装置，除了主要向电力机车供电外，还可以解决铁路的其他用电，有利于实现养路机械化。特别是在我国电力网络稀少的边远地区，工农业用电比较困难，当铁路电气化后，为沿线城镇乡村用电创造了条件。有利于当地工农业的发展和人民生活水平的提高。

电气化铁路虽有诸多优点，但也存在一些不足之处。比如修建电气化铁路的一次投资非常大，采用交流供电制对铁路沿线的一些弱点设备又有干扰，在运营中需要开维修“天窗”等等。初期的电气化轨道交通系统由于受电力系统的限制均采用低压直流供电，随着电力技术、电子技术的发展，电气化轨道交通系统逐步向高压、交流和大功率牵引发展，并从运输形式上逐步演化为城市地铁、城市轻轨和干线电气化铁路以及磁浮交通等形式。今后随着科学技术的不断进步和电气化铁路运营管理经验的积累，这些问题一定会逐步地得到解决。

1.1.4 磁悬浮技术

进入 20 世纪 40 年代后，随着交通运输进入现代化和多样化的阶段，铁路在长途运输中受到航空运输的排挤，短途又被汽车运输几乎取代，所以一些西方发达国家认为铁路成为“夕阳产业”。尽管有了一系列技术上的重大进步，自一战之后，铁路运输还是无法避免来自小汽车与货车的公路运输以及航空的激烈竞争。半个多世纪以来，各国的运营实践证明，铁路电气化，已是当今铁路现代化的主要方向。它不仅是提高铁路运输能力，改进铁路运营工作的最有效途径，同时也是合理利用资源、保护生态环境的最佳办法。因此各国都在积极发展电气化铁路。为提高铁路与汽车及航空的竞争优势，在长途城际铁路旅客运输方面，1964 年日本首先推出了运行速度最高达 200 km/h 以上的电气化高速铁路系统新干线高速铁路，当时的东海道新干线最高速度为 210 km/h。随着 1983 年 9 月，法国东南高速线（巴黎—里昂）建成通车，掀起了世界高速铁路建设的高潮。随后德国、西班牙等国家也开始大力发展高速铁路，到目前为止全世界已建成高速铁路约 6 050 km。2008 年 8 月 1 日京津高速电气化铁路开通运营。2009 年 4 月 1 日合武高速电气化铁路开通运营。2009 年 12 月 26 日武广高速电气化铁路开通运营。2010 年 2 月 6 日郑西高速电气化铁路开通运营。我国电气化铁