

高等学校铁道电气化规划教材

电力机车

机械部分



DIANLIJICHE
JIXIEBUFEN

丁菊霞 王凤臣
张华俊 李宁洲 主编
郭世明 主审



西南交通大学出版社
[Http://press.swjtu.edu.cn](http://press.swjtu.edu.cn)

西南交通大学出版基金资助

电力机车机械部分

丁菊霞 王凤臣 张华俊 李宁洲 主 编

郭世明 主 审

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内 容 简 介

本书是根据高等学校电力机车专业“电力机车机械基础”课程教学大纲的具体要求进行编写的。

本书以 SS₄ 改型和 SS₈ 型电力机车为主型机车, 以 SS_{3B} 型和 SS₇ 型电力机车为辅型机车, 对电力机车的车体、转向架、通风系统及空气管路系统、连接装置、电机悬挂装置、基础制动装置和牵引缓冲装置等作了详尽的介绍。

从提高基础理论知识能力角度出发, 本书又着重介绍了电力机车的弹簧悬挂装置(含减振器)及计算; 电力机车曲线通过及计算; 电力机车轴重转移及计算等基础理论知识。

本书可作为高等学校电力机车专业本科、专科学生用教材; 也可作为成人教育、电力机车机务段运用与检修人员的岗位培训参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

电力机车机械部分 / 丁菊霞等主编. —成都: 西南交通大学出版社, 2010.2

高等学校铁道电气化规划教材

ISBN 978-7-5643-0588-8

I. ①电… II. ①丁… III. ①电力机车—机械设备—高等学校—教材 IV. ①U264.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 024561 号

电力机车机械部分

丁菊霞 王凤臣 张华俊 李宁洲 主编

*

责任编辑 王 旻

特邀编辑 郝 博

封面设计 本格设计

西南交通大学出版社出版发行

(成都二环路北一段 111 号 邮政编码: 610031 发行部电话: 028-87600564)

<http://press.swjtu.edu.cn>

成都蓉军广告印务有限责任公司印刷

*

成品尺寸: 185 mm×260 mm 印张: 15.875

字数: 398 千字

2010 年 2 月第 1 版 2010 年 2 月第 1 次印刷

ISBN 978-7-5643-0588-8

定价: 28.00 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

本书是根据高等学校电力机车专业“电力机车机械基础”课程教学大纲的具体要求进行编写的。为了落实《面向 21 世纪教育振兴行动计划》中提出的高等教育课程改革和教材建设规划的要求,本教材按照我校电力机车专业“3+1”人才培养模式规划要求编写,在现场调研的基础上,从实际运用出发,结合当前铁路运输形势的发展,精选内容,突出能力培养。

近年来,我国铁路客运提速、货运重载进展迅速,新型电力机车及技术装备大量投入使用,电气化铁路运营里程逐年增加,目前已近 3 万 km;主要干线上 140 km/h 和 180 km/h 的快速旅客列车及 5 000 t 左右的货物列车均已正式开行,高速铁路的兴建方兴未艾,新型动车组已投入运行,重载货运越来越普及。

为了适应上述变化,本书以我国现行干线铁路韶山 4 改进型(简称 SS₄ 改型)和韶山 8 型(简称 SS₈ 型)电力机车为主型机车,也相应介绍了 SS_{3B} 型和 SS₇ 型电力机车,对电力机车机械部分进行了详尽介绍,其中包括:电力机车车体、转向架、通风系统及空气管路系统、连接装置和牵引缓冲装置、机车的曲线通过和轴重转移等基础理论知识。

本课程通过课堂教学、现场教学和实习相结合的方式进行,要求学生掌握电力机车机械部分的结构组成及其原理;掌握设备的布置;掌握机车的曲线通过、轴重转移原理和计算方法。

本书由西南交通大学丁菊霞、王凤臣、张华俊和兰州交通大学李宁洲老师任主编,全书由西南交通大学博士生导师郭世明教授担任主审。丁菊霞老师负责全书的统稿工作。本书编撰工作分工:丁菊霞老师编写第四章、第五章、第七章、第八章,王凤臣老师编写第一章、第九章、第十一章,张华俊老师编写第三章、第六章,李宁洲老师编写第二章、第十章。

本书在编写过程中,得到西南交通大学峨眉校区常务副校长张秀峰教授、电气工程系前主任骆开源教授、教材发行中心陈庚生副研究员、文印中心刘仕兵老师及电力机车教研室全体老师的大力支持和协助,在此一并表示诚挚的谢意。

此外,还要衷心感谢为本书的编写提供了参考资料、图表和数据的赵叔东、刘友梅、谢步明、朱龙驹、程怀汶和丁莉芬等各位专家、教授(见参考文献)。

由于编者水平所限,书中难免有疏漏及不妥之处,恳请广大读者批评指正。

编 者

2010 年 1 月于峨眉

目 录

第一章 绪 论	1
复习思考题	4
第二章 电力牵引概述	5
第一节 铁路牵引动力概述	5
第二节 电力牵引的优越性	6
第三节 电力机车发展概要	9
第四节 高速机车车辆概要	20
复习思考题	26
第三章 电力机车车体和设备布置	27
第一节 车体结构概述	27
第二节 SS ₄ 改型电力机车车体结构	29
第三节 SS ₈ 型电力机车车体结构	35
第四节 车体设备布置	40
复习思考题	54
第四章 转 向 架	55
第一节 概 述	55
第二节 轮对电机组装	59
第三节 构 架	66
第四节 轴箱悬挂装置	70
第五节 车体支承装置	72
第六节 牵引装置	76
第七节 基础制动装置	77
复习思考题	80
第五章 SS ₄ 改型和 SS ₈ 型电力机车转向架	81
第一节 SS ₄ 改型电力机车转向架特点	81
第二节 SS ₈ 型电力机车转向架特点	82
第三节 SS ₄ 改型和 SS ₈ 型电力机车构架	83
第四节 SS ₄ 改型和 SS ₈ 型电力机车的轮对组装	88
第五节 SS ₄ 改型和 SS ₈ 型电力机车的轴箱	95
第六节 主要附件和基本参数	100
第七节 高速机车转向架简介	107
复习思考题	115
第六章 电力机车通风系统和空气管路系统	116
第一节 通风系统	116

第二节	空气管路系统	120
第三节	风动器械	126
	复习思考题	132
第七章	弹簧悬挂装置及其计算	133
第一节	弹簧元件的性能特点	133
第二节	油压减振器	135
第三节	SS ₄ 改型和SS ₈ 型电力机车轴箱悬挂装置中的弹簧	137
第四节	一系悬挂、二系悬挂	139
第五节	弹簧特性参数及计算方法	146
第六节	摩擦减振器和液压减振器	151
	复习思考题	155
第八章	电机悬挂装置	156
第一节	电机悬挂的分类和比较	156
第二节	SS ₄ 改型电力机车齿轮传动装置	158
第三节	SS ₄ 改型电力机车电机悬挂装置	160
第四节	SS ₈ 型电力机车齿轮传动及电机悬挂装置	161
第五节	SS ₇ 型电力机车轮对电机组装	163
第六节	SS ₁ 型电力机车电机悬挂装置	167
	复习思考题	170
第九章	基础制动装置	171
第一节	概述	171
第二节	弹簧止轮器(停车制动装置)	174
第三节	盘形制动	176
第四节	盘形制动机作用原理	186
	复习思考题	191
第十章	车体与转向架的连接装置和牵引缓冲装置	192
第一节	车体与转向架的连接装置	192
第二节	牵引缓冲装置	201
	复习思考题	211
第十一章	电力机车曲线通过和轴重转移	212
第一节	电力机车曲线通过	212
第二节	电力机车几何曲线通过	214
第三节	电力机车动力曲线通过	216
第四节	轴重转移	226
第五节	求解轴重转移的计算方法	231
	复习思考题	238
附图		239
参考文献		248

第一章 绪 论

一、电力机车在现代轨道交通运输中的重要地位

电力机车是一种通过外部接触网或轨道供给电能,由牵引电动机驱动的现代化牵引动力。无论是在现代铁路运输中,还是在城市轨道交通中,电力机车都具有不可替代的重要地位。这主要是因为电力机车具有其他牵引动力所不可比拟的优势:

(1) 功率大,速度快。机车的功率大小决定了它的牵引力和运行速度。蒸汽机车和内燃机车由于受结构的限制,功率受到影响。而电力机车的功率则相对较大,加之电网容量超过机车功率很多倍,使得现代电力机车向重载、高速方向发展成为现实。

(2) 效率高,成本低。电力机车的平均热效率为 26%,远高于蒸汽机车,也高于内燃机车,同时无非生产性消耗,运输成本低,经济效益好。

(3) 综合利用资源,降低能源消耗。我国有丰富的水利资源可供发电。另外火力发电厂也可利用一些劣质燃料发电,做到资源综合利用,节约大量的优质燃料。

(4) 清洁无污染。电力机车的动力来自电能,无任何有害排放物和污染,作为铁路运输和城市轨道交通的主要动力,是十分理想的绿色交通运输工具。

(5) 维修便利,成本低。电力机车上主要是一些电器设备,因此具有保养容易、维修量小、定修周期短等特点。

(6) 工作条件舒适。电力机车乘务员的工作条件比起蒸汽机车在劳动强度、工作环境、噪音、采光、安全、舒适性等方面都有了很大改善,也优于内燃机车。

(7) 适应能力强。电力机车不同于蒸汽机车和内燃机车,运行中没有水消耗,不影响在无水区和缺水区的运行。

二、电力机车机械部分的组成和各部分的功能

电力机车由电气部分、机械部分和空气管路系统三大部分组成。

电气部分包括牵引电动机、牵引变压器、整流硅机组、各类电器等。通过它们把来自接触网的电能转变为机械能,同时实现对机车的控制。

机械部分包括车体、转向架、车体与转向架的连接装置和牵引缓冲装置。

空气管路系统包括风源系统、制动机管路系统、控制管路系统和辅助管路系统。

下面简要叙述机械各部分的功能:

1. 车体

车体是电力机车上部车箱部分,由车箱体和底架组成。就其功能可分为:

(1) 司机室：乘务人员操作机车的工作场所。现代干线运输电力机车设置两端司机室，可以双向行驶，不必调头。

(2) 机器间：用于安装各种电气和机械设备。一般分为若干个室，各类设备根据不同用途分室安装。

2. 转向架

转向架即机车走行部分，它是机械部分最重要的组成部分，主要包括：

(1) 构架：是转向架的基础受力体，也是各种部件的安装基础件。

(2) 轮对：是机车在线路上的行驶部件，由车轴、车轮及传动大齿轮组成。

(3) 轴箱：用以固定轴距，保持轮对正确位置，安装轴承等。

(4) 弹簧悬挂装置：分一系弹簧悬挂和二系弹簧悬挂。用于缓冲轴箱以上部分和车体与转向架间的振动，以减轻运行中的动力作用。

(5) 齿轮传动装置：通过大小齿轮传动，将牵引电动机的功率传给轮对。

(6) 牵引电动机：将电能变成机械能（产生转矩），传给轮对。

(7) 基础制动装置：是电力机车制动机产生制动力的部分，主要由制动缸、传动装置、闸瓦装置等组成。

3. 车体与转向架的连接装置

车体与转向架的连接装置也称二系弹簧悬挂，设置在车体和转向架之间。它是转向架与车体之间的连接装置，又是活动关节，同时承担各个方向力的传递以及减振作用。

4. 牵引缓冲装置

牵引装置即指车钩，它是机车与列车的连接装置，为了缓和连挂和运行中的冲击，设置了缓冲器。

三、电力机车轴列式

所谓轴列式是用数字或字母及上下角标表示轮对驱动结构和机车走行部分结构特点的一种简单方法。它可以用数字表示，也可以用字母表示。用数字表示的称为数字表示法，用字母表示的称为字母表示法。

1. 数字表示法

即用数字表示每台转向架的动轴数，注脚“0”表示每一动轴为单独驱动。无注脚表示每台转向架的动轴为成组驱动。数字之间的“-”表示转向架之间无直接的机械联结。

例如，SS₁型电力机车的轴列式为3₀-3₀：表示机车为两台三轴转向架，动轴为单独驱动。SS₄型电力机车的轴列式为2(2₀-2₀)：表示为两节机车，每节为两台、两轴转向架，动轴为单独驱动。

2. 字母表示法

即用英文字母表示每台转向架的动轴数。英文字母A、B、C…分别对应数字1、2、3…，其他含义与数字法相同。

例如， 3_0-3_0 可表示为 C_0-C_0 ， $2(2_0-2_0)$ 可表示为 $2(B_0-B_0)$ 。

为了区别无动力转向架与有动力转向架，常在表示轴数的数字或英文字母的右上角加“ $'$ ”。例如， $3'_0-3'_0$ 和 $2(B'_0-B'_0)$ 等，上角加“ $'$ ”号，表示具有动力的转向架。但电力机车转向架都是有动力转向架，常常将角标省略不写。

四、机械部分的主要基础参数

表 1.1 几种电力机车机械部分的主要基础参数

项 目 \ 车 型	SS _{3B}	SS ₄ 改	6K	SS ₈
制造年代	1992	1993	1987	1997
轴列式	C_0-C_0	$2(B_0-B_0)$	$B_0-B_0-B_0$	B_0-B_0
机车总质量 (kN)	1 380	1 840	1 380	880
轴重 (kN)	230	230	230	220
转向架质量 (kN)	325	212	213.9	130
机车宽度 (mm)	3 100	3 100	3 100	3 100
机车落弓高度 (mm)	4 700	4 775	4 570	4 628
车钩中心线距 (mm)	21 416	$2\times 16\,416$	22 200	17 516
车钩中心线高度 (mm)	880 ± 10	880 ± 10	880 ± 10	880 ± 10
固定轴距 (mm)	$2\,300+2\,000$	2 900	2 880	2 900
轴距 (mm)	4 300	2 900	2 880	2 900
转向架中心距 (mm)	11 200	8 200	7 300	9 000
牵引点高度 (mm)	460	12	0/239	220
车轮直径 (mm)	1 250	1 250	$1\,250/1\,200$	1 250
机车功率 (持续制) (kW)	4 320	6 400	4 800	3 600
机车牵引力 (持续制) (kN)	317.8	450	355	126
起动牵引力 (kN)	470.9	628	485	210
机车速度 (持续制) (km/h)	48	50	48	100
机车速度 (最大) (km/h)	100	100	100	170
传动方式	双侧刚性斜 齿轮传动	双侧刚性斜 齿轮传动	单边直齿 刚性传动	单侧直齿双侧 六连杆万向节 传动
牵引电机悬挂方式	抱轴半悬挂	抱轴半悬挂	抱轴半悬挂	全悬挂
齿轮传动比	4.35	4.19	4.35	2.484
一系弹簧悬挂静挠度 (mm)	139	139	63	54
二系弹簧悬挂静挠度 (mm)	6	6	106	110
牵引方式	牵引杆	中间斜拉杆 推挽式	Z 形斜牵引 拉杆	中间推挽式 牵引拉杆
基础制动装置	独立作用式 闸瓦间隙自调	独立作用式 闸瓦间隙自调	拉杆式 闸瓦间隙自调	独立作用式 闸瓦间隙自调

五、我国电力机车发展现状和展望

从 1958 年研制成第一台国产单相工频交流电力机车至今，我国电力机车制造业已走过了 50 多年的历程。

50 多年来，我国电力机车制造业走的是一条自力更生、艰苦奋斗、引进、消化、创新的发展之路，实现了从仿制到自主研制再到整车出口，从普通载重到重载，从常速到高速，从交传动到交流传动的历史性飞跃。

50 多年艰难曲折的历程体现了中国铁路工作者自强不息的奋斗精神，特别是进入 20 世纪 80 年代后，以 SS₁ 型、SS₃ 型电力机车为基础，先后研制成功了 SS₄ 型、SS_{3B} 型、SS₇ 型和 SS₈ 型等系列机车，其中以 SS₄ 型重载和 SS₈ 型客运为代表的我国电力机车技术，已完成了从级间调速到相控无级调速的技术升级换代，全面采用微机控制和故障检测、诊断技术，使我国交直流电力机车达到国际同类产品的先进水平。进入 20 世纪 90 年代后期，电力机车最高运行速度实现了由 100 km/h 到 160 km/h 准高速的飞跃。1999 年，我国首次设计速度为 200 km/h 的高速动力车投入广深高速铁路运营，标志着我国铁路电力牵引技术步入了国际高速行列。

进入 21 世纪，随着我国铁路的快速发展，国家加大了对铁路的投入，我国铁路路网总里程已超过 7 万 km，其中电气化铁路近 3 万 km，城市轨道交通建设方兴未艾。加之我国加入了 WTO，为电力机车提供了前所未有的发展机遇和挑战。我国电力机车的设计、制造业面临与有各种精良技术和制造手段的国外著名公司的竞争，赢得用户、占领市场、全面提升国产电力机车的技术水平成为我国电力机车生存发展的必然选择。

21 世纪随着国家加快现代化的步伐，电力机车将发生革命性的突破。“十五”期间代表现代电力机车发展方向的交流传动机车取代了传统的交传动机车。虽然我国对交流传动技术的研究起步较晚，但已研制成功具有自主知识产权的 160 km/h 和 210 km/h 三相交流传动电力机车，这是在数十年研究基础上，吸取国外先进技术研制出的大功率交流传动系统的初次运用，标志着我国交流传动技术已大大缩小了与国外先进水平的差距，进入实用化、产业化发展阶段。

展望未来，我们有理由相信，新世纪将为我国电力机车的发展迎来新的春天，也必将为我国铁路干线运输和城市轨道交通发展作出新的贡献。

复习思考题

1. 简述电力机车在现代轨道交通运输中的地位。
2. 简述电力机车机械部分的组成及其各部分的功能。
3. 轴列式的含义是什么？如何用轴列式来表示机车走行部的结构特点？
4. 现有国产电力机车车型有哪些？

第二章 电力牵引概述

第一节 铁路牵引动力概述

一、铁路运输概述

铁路迄今虽已有 180 多年的历史，但经过不断更新改造，现代化铁路仍是世界各国重要的运输工具。铁路运输具有运量大、运程长、成本低、受气候条件影响较小等优点。铁路运输并不创造新的物质产品，而只改变旅客或货物的位置。

铁路运输的生产过程是分布在全国漫长的铁路线上进行的，具有点多、线长、连续性强等特点，且铁路又是运输、机务、车辆、工务、电务、材料供应、基本建设等许多业务部门配合在一起的综合性企业，因此，铁路运输必须实行高度集中，统一指挥。从铁路运输组织工作的角度看，铁路运输形式的特点是铁道及列车，铁路主要运输设备也是根据运输要求设置的。

铁路主要技术设备有：

(1) 铁路线路及各种类型的车站。铁路线路是铁路列车运行的基础，由轨道、路基、桥涵、隧道等组成；车站则是办理旅客和货物运输、编组和解体列车以及有关技术作业的基地。车站又有旅客站、货物站、编组站、区段站和中间站之分。

(2) 机车车辆及其修理与整备设备。机车是牵引列车运行的基本动力；各类型的车辆是载运旅客和货物的工具；而修理与整备设备则是确保机车车辆经常处于完好状态和正常运行的基本保证。

(3) 通信信号设备。它们是保证行车安全和提高行车效率的重要设备，有如铁路运输的耳目。

铁路运输的生产过程就是利用铁路线路、车站、机车车辆及通信信号等技术设备，将旅客与货物从起点运送到终点的过程。

随着社会生产和现代科学技术的进步，世界各国（包括我国）的铁路运输都在广泛采用电子计算技术和自动控制技术，以促使铁路运输逐步向自动化、信息化和数字化方向发展。铁路运输自动化不但是现代交通运输向着高速、安全方向发展的需要，而且能使复杂的运输管理更加科学与合理，从而极大地提高运输效率和劳动生产率，更好地完成日益繁重的运输任务。

二、铁路牵引动力的基本形式

机车是铁路的基本动力。客货列车的牵引及车站上的调车作业都要由机车来完成。因此，

机车的保有数量、牵引性能、保养和检修质量以及正确的组织，对机车的运用，对于铁路能否完成和超额完成国家运输任务有很大的影响。

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。本章重点介绍电力牵引。

第二节 电力牵引的优越性

电力机车是非自带能源式机车，以电能作为动力，电能通过高压线从发电厂获得。电力牵引具有一系列蒸汽牵引和内燃牵引所不及的优越性，具体表现在以下几方面：

1. 电力机车的功率大

蒸汽机车和内燃机车都是自带能源式机车，因此它们的功率要受到一次能源设备（锅炉、煤、水、柴油）本身容量、尺寸和重量的限制，故机车功率不能过大。而电力机车不带一次能源设备，所以也就没有上述条件的限制。因而，同样的机车质量，电力机车功率要比蒸汽机车和内燃机车大得多。比如，我国功率最大的货运蒸汽机车——前进型蒸汽机车的功率是 2 200 kW，东风 10 型内燃机车的功率为 3 590 kW，而 SS₄ 型电力机车的功率高达 6 400 kW，和谐型电力机车为 7 200 kW，一台电力机车几乎可以顶三台蒸汽机车或 2 台内燃机车。目前，电力机车的轴功率已达 1 000 kW 以上，世界上电力机车的最大功率已经达到 10 000 kW，这是蒸汽机车和内燃机车所不及的。

机车的单位质量功率是一项重要的技术经济指标。在相同的线路轨道条件下（即在相同的允许载荷下），机车的单位质量功率越大，机车所能发挥的功率也就越大。由于电力机车没有沉重的产生能源的装置，同时也没有燃料储备，因此在相同的机车质量下，电力机车的单位质量功率要比蒸汽机车和内燃机车大得多。例如 SS_{3B} 型电力机车单位质量功率为 30 kW/t；而同样质量的东风 4B 型内燃机车却只有 14 kW/t。

2. 电力机车的效率高

由于电力牵引所需要的电能是在发电厂（或电站）集中生产的，因此燃料的利用率比蒸汽牵引和内燃牵引高得多。目前由高温、高压、大容量机组的火力发电厂供给电能的电力牵引，总功率为 27%~28%。当电力牵引由水电站供给电能时，其效率则更高，可达 57%~58%，而蒸汽牵引的效率一般只有 6% 左右；内燃机车柴油机的平均效率为 22%，虽然也比较高，但它是价格较昂贵的柴油作为燃料的。此外，电力牵引是从电力系统取得电能的，因此就具有广泛利用一切大自然能源的可能性，如火力发电、原子能发电、地热发电、太阳能发电以及其他能够转变为电能的能源。因此，从更好地利用国家能源和节约能源、降低石油消耗、提高铁路运输的经济效益等方面来看，采用电力牵引对发展国民经济也是极为有利的。我国是水利资源很丰富的国家，水利资源储量达 6.8 亿 kW，发展电力牵引是非常有利的。

据国外统计，旅客列车每人·km 的能耗为：蒸汽牵引 2 052 kJ、内燃牵引 419 kJ、电力牵引 250 kJ。货物运输每 t·km 的能耗为：蒸汽牵引 2 554 kJ、内燃牵引 670 kJ、电力牵引 335 kJ。由此可以看出，电力牵引单位运量能耗只有内燃牵引的 50%~60%，而为蒸汽牵引的 13% 左右。

这就进一步说明了电力牵引的效率远高于蒸汽牵引和内燃牵引。日本在 1960—1975 年的 15 年中,列车数量增加了 50%,而燃料消耗却降低了 50%,苏联在 1960—1980 年的 20 年汇总铁路劳动生产率提高了两倍,而煤炭却节约了 20 多亿 t。我国石阳段(石家庄—阳泉)过去使用蒸汽机车牵引时,上下行平均每万 t·km 耗煤 190 kg,而现在用电力机车牵引,上下行平均每万 t·km 耗煤 122.95 kW·h,1 kW·h 电折合标准煤 400 g 计算,共消耗 49.18 kg 标准煤,仅为蒸汽机车的 25.8%。1981—1990 年总共节约 148.6 万 t 标准煤。

3. 电力机车的速度快

我们知道,机车的功率大小决定它的牵引力和运行速度,牵引同样重量的列车,用功率大的机车,运行速度肯定要快。电力机车的功率大,所以可以达到较高的运行速度。目前,国外客运电力机车的运行速度一般可以到达 200 km/h,货运电力机车可以达到 120 km/h。法国和日本的客运电力机车速度已达到 260 km/h,德国新制造的客运电力机车速度可达 350 km/h,我国生产的 SS₈ 型电力机车最高试验速度达 240 km/h。因此,世界各国的高速铁路几乎都采用电力机车牵引。英国伦敦至布里斯特尔的高速铁路曾是世界上仅有的一个以内燃机车牵引实现高速行车的例子,后来,为了将行车速度由 200 km/h 提高到 240 km/h,也于 1980 年改成了电力机车牵引。

4. 电力机车的过载能力强

就自带能源设备的蒸汽机车和内燃机车来说,其过载能力受机车能源装置(锅炉或柴油机)容量的限制,而能源装置本身也受机车限界的限制。但对电力机车来说,情况则完全不同,它所需的能量由电力系统通过牵引变电所和接触网供给。一台电力机车的功率与一次供电系统的容量相比是非常小的,因此电力机车的过载能力就不会受到能量的限制,仅决定于牵引电动机的过载能力,而牵引电动机的短时过载能力总是比较大的。

机车在起动列车或牵引列车通过限制坡道时,其过载能力具有很大意义,在相同的额定功率情况下,机车的过载能力越强,就越能够满足多拉快跑的要求。实践证明,电力机车所需的起动加速时间约为内燃机车的 1/2(原因在于电力机车的过载能力强)。限制坡道是影响区间牵引定数的关键因素,而机车的过载能力对提高牵引重量则起着决定性的作用。例如,全国第一条电气化铁路宝凤段(宝鸡—凤州),坡度大、桥隧多,30% 的大坡道长达 20 多 km,过去使用蒸汽机车牵引上坡时,前拉后顶用三台蒸汽机车才能牵引 960 t,列车速度仅 20~25 km/h。电气化后,同样用三台电力机车牵引,牵引质量达 2 400 t,为电气化前的 2.5 倍,现正向 2 550 t 过渡,而且仅用一台电力机车就可办到。再如,京广线信阳—广水段,限制坡道为 12.5%,最大下坡达 17.7%,以前使用蒸汽机车双机牵引,在上坡地段遇信号停车不能起动,下坡时遇信号又不能限速,而现在由于电力牵引后过载能力增强,这些难题都解决了。

5. 电力机车运行可靠

由于电力机车本身不带原动力,因而机车结构简单,而且牵引电动机和电气设备的工作也较稳定。因此,电力机车运行安全可靠,维修保养工作量少,检修周期长,故障率低,操作也灵活方便。例如,1989 年 SS₁ 型电力机车每 10 万 km 机破件数 0.087 件,而东风型内燃机车每 10 万 km 机破件数 0.12 件,比电力机车多 0.033 件。同年,电力机车每 10 万 km 临修件数 1.9 件,而内燃机车每 10 万 km 临修件数 4.4 件,比电力机车多 2.5 件。

6. 电力机车运营费用低

铁路运输的运营费用是一项综合性的技术经济指标，它标志着铁路运输成本。对电力机车来说，铁路年运量越大，其运营费用越低。由于电力机车功率大、起动快、运行速度高、过载能力强，因而能多拉快跑，提高牵引定数，缩短区间运行时间，从而可以大幅度地提高铁路运输能力。根据我国铁路的运营经验，6‰的双线自动闭塞区段的运输能力，蒸汽机车牵引为每年1 800万t，内燃机车牵引为每年3 702万t，而电力机车牵引为每年5 600万t，也就是说，一条电气化铁路的运输能力，相当于一台半内燃机车牵引或三台蒸汽机车牵引的铁路的运输能力，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，电力机车牵引效果更为显著。例如，宝成线电气化后，广元以北由原来的每年250万t提高到1 350万t，提高4.4倍。广元以南由原来的每年750万t提高到1 750万t，提高1.3倍。石太线电气化前1978年的运输能力为2 660万t，电气化后1985年的运输能力达到5 600万t，比电气化前翻了一番还多。1988年经过扩能改造后，石家庄—阳泉段的年输送能力已达到8 000万t。另外，由于电力机车不需要添煤、加油和上水，整备作业少，宜于长交路行驶，因而可以少设机务段，乘务人员和运用机车的台数也相应地减少。这些都使得运输成本大大降低，同时还提高了机车的利用率，增加机车运行时间，提高机车日产量。

根据铁道部1990年全部运输业务决算报告，分别对蒸汽机车、内燃机车和电力机车三种牵引的机务成本进行了计算，以电力机车牵引为100%，内燃机车牵引则为136.9%，蒸汽机车牵引则为135.1%。其中大修费用以电力机车为100%，内燃机车则为297.3%，蒸汽机车则为160.3%。

7. 电力机车能改善劳动条件，不污染环境

由于电力机车本身不带动力、不烧煤、不燃油，不但使机车乘务人员和沿线工务养路人员的劳动条件得到改善，也为广大旅客创造了舒适的旅行环境。这点对大型铁路枢纽站以及隧道多而又长的线路来说，意义是很大的。例如，宝成线在电气化前采用蒸汽机车牵引时，列车通过长大隧道时，隧道内有害气体高达0.25 mg/L，超过国家规定标准12.5倍，并有大量煤灰排入道床，给工务养路造成很大困难，更为严重的是，烟熏火烤使得司机室的温度高达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。实行电气化后，司机驾驶电力机车，再也不受烟熏火烤之苦了。司机室干净宽敞，冬季有暖气，夏天有电扇，有的机车还安装了空调设备，既安全又舒适。线路上煤灰不见了，工务养路人员的劳动条件大大改善，旅客也可以打开车窗呼吸新鲜空气，眺望沿途美丽风光了。

任何事物总是一分为二的，电力牵引亦不例外。因此，在阐述了电力牵引的优越性之后，我们也要看看它的不足之处。比如，修建电气化铁路的一次性投资较大，当采用工频单向交流牵引制时（即采用整流器电力机车时），对铁路沿线的弱电设备（如通讯）有干扰，晶闸管相控调压功率因数较低，在运营中需要开维修“天窗”等。另外，电力机车机动性能差，因为它离不开牵引变电所和接触网等铁路沿线的供电设备。

半个多世纪来，各国的运营实践证明，电力牵引是铁路现代化的主要方向，它不仅是提高铁路运输能力、改进铁路运输工作的最佳途径，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力牵引。

尽管电力牵引具有上述一系列的优点，同时又被世界各国公认为是铁路牵引动力的最佳形式，但这并不意味着电力牵引就是铁路牵引动力现代化的唯一形式。尤其是对我们这样一个幅员广阔，各种自然资源都比较丰富的国家来说，采用任何一种单一形式的牵引动力都是不现实的，而应该根据我国不同的地区、不同的客货运量以及不同的线路断面，从实际出发进行分析比较，然后做出合理安排。如青藏铁路仍然用内燃牵引。从目前我国实际情况出发，我国铁路牵引动力应采用内燃牵引和电力牵引并举，重点发展电力牵引。

8. 电力牵引系统的组成

(1) 采用电力牵引的铁路称为电气化铁路。

电气化铁路是以电力机车作为牵引动力的，而电力机车又是本身不带能源装置的动力设备，它必须由外部供给电能。电力牵引系统组成如图 2.1 所示。

此外，还有用于短途旅客运输的城市轨道电动车组和地下铁道电动车组。它们的特点是有较大的起动加速度和制动减速度，而且起动频繁。

(2) 按照接触网电流制式进行分类。

电力牵引按其接触网供电电流种类的不同，目前我国有两种电流制，即直流制和工频单向交流制。根据不同的电流制，可将电力机车分为两大类，即直流电力机车和工频单相交流电力机车（通常称为交流电力机车）。

直流电力机车：用于直流牵引制，主要用于矿山运输的一种电力机车。其特点见本章第三节。

交流电力机车：用于工频单相交流牵引制。在这类机车上，牵引电动机可以采用直流（脉流）串励（他励、并励或复励）电动机，也可以采用单相整流子电动机或无整流子交流电动机（包括同步型和异步型），但目前占主导地位的是采用直流串励电动机。对于交流电力机车来说，当采用不同类型的电动机作为牵引电动机时，在机车结构、性能、指标等方面将有较大的差别。

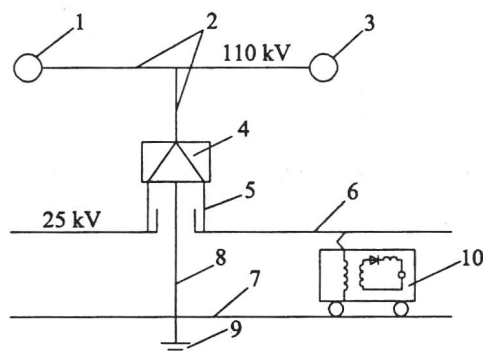


图 2.1 电力牵引系统组成

- 1—发电厂；2—高压输电线；3—区域变电所；
4—牵引变电所；5—馈电线；6—接触网；
7—钢轨；8—回流线；9—接地网；
10—电力机车

第三节 电力机车发展概要

一、电力机车的发展

目前主要存在着三种形式的电力机车，即直流电力机车、低频单相交流电力机车和工频单相交流电力机车。此外，尚有一定数量的多电流制机车（即上述三种机车的组合型），用于有不同供电制衔接区段的牵引。

1. 直流电力机车

直流牵引制是电力牵引早期采用的牵引制，目前在电力牵引中还占有一定比例，尤其是

城市电车、地下铁道以及大型工矿企业运输中，直流牵引制仍占据着主导地位。直流牵引通常是由电力系统供给三相交流电，在牵引变电所中变压器降低电压，再用整流装置将交流电变为直流电，最后以直流的形式经馈电线输送给接触网，供直流电力机车取用。

直流牵引制采用的机车为直流电力机车。直流电力机车的基本特点是：结构简单、工作可靠、调速方便、造价低廉、牵引性能好（因为机车上采用的是具有最佳牵引性能的直流串励牵引电动机）。直流牵引制由于受牵引电动机端电压的限制，因此接触网电压低。由于接触网电压低，所以牵引电流大、接触网的有效截面也很大，有时竟高达 $600 \sim 800 \text{ mm}^2$ 。为了节省有色金属和保证牵引网的电压水平，不得不缩小牵引变电所的距离（一般只达到 $20 \sim 30 \text{ km}$ ），因此，牵引变电所的数量也随之增多，所以直流电气化铁道的建设投资和运营费用都较高。而且也限制了机车功率的进一步提高，降低了直流牵引制的供电效率。另外，直流牵引还有一个严重的问题，就是泄露电流对沿线地下金属设施的腐蚀比较严重，需采取特殊的防护措施。

近年来，直流电力机车的发展出现了两种动向，即采用晶闸管直流斩波器调速和将接触网电压提高至 6000 V 。直流电力机车传统的起动、调速方法是在电源与牵引电动机之间串联可变的电阻器。这种调速方法缺点较多。而晶闸管直流斩波器的应用，不仅可以取消上述电阻，而且对牵引电动机的端电压进行连续、平滑的调节。这样既可节省大量的电能，又给机车牵引带来一系列的好处，如充分地利用黏着，改善机车的起动性能，使机车具有无数多的经济运行级等。

2. 低频单相交流电力机车

低频单相交流牵引制出现于 20 世纪初期。许多西欧国家如奥地利、挪威、瑞典和德国等都采用这种电流制。不过当初采用的单相低频交流制有很多种，有 15 Hz 、 $16\frac{2}{3} \text{ Hz}$ 和 25 Hz 的，其电压也不一样，有 3.3 kV 、 6.5 kV 、 11 kV 和 15 kV 的。后来才逐渐统一成了 15 kV 、 $16\frac{2}{3} \text{ Hz}$ 的单相低频交流制。采用单相低频交流制的主要原因，一是由于直流牵引制接触网电压太低，不经济；再是限于当地的技术条件，由于当时尚造不出工频单相交流牵引电动机，只能采用低频单相交流牵引电动机，单相整流子式牵引电动机在低频条件下易于保持整流的稳定性，具有与直流牵引电动机相似的牵引特性；另外在电力机车上还可以比较容易地将牵引网的高压降低到牵引电动机所需的电压。在这种情况下，只好降低接触网的供电频率。

采用单相交流牵引制，可以大幅度提高接触网电压，节省有色金属消耗量，同时可以满足大牵引变电所之间的距离，从而减少牵引变电所数量。此外，接触网电压提高后，还可满足机车功率不断增加的需要。

低频单相交流牵引制采用的机车为低频单相交流电力机车。这种机车的传统形式是采用单相整流子电动机作为牵引电动机，其特点是在牵引电动机供电回路中设有整流环节。通常又把这种机车称为单相整流子电动机电力机车。单相整流子牵引电动机工作中最突出又最严重的问题就是整流问题。为了保证有良好的整流质量，必须使电机整流元件（即电机的换向绕组）中的变压器电势不超过一定数值。要做到这一点，只有采用较低的供电频率才行。因此，在早期电气化铁路上采用的单相整流子牵引电动机均为低频的单相整流子电动机。

目前,单相低频交流牵引制采用三种供电方式,一是建立完全独立的电力牵引专用的低频供电系统,由发电厂发出单相低频电流,经高压输电线输送到牵引变电所;二是在牵引变电所获得电能,将电压降低到 16 500 V 或 12 100 V,然后再馈送到接触网,在专设的变频变电所内将三相电变为单相电,将工频转换为电气化铁路所需要的低频,然后再从这些变频变电所经高压输电线送给各牵引变电所;三是由三相工频交流电力系统供电,在各个牵引变电所进行降压、变频和变相,这比直流变电所既变压又整流,设备更为复杂。

当采用单相低频交流牵引时,需要建立专门的低频发电厂(不能向非牵引用户供电),或者是设置变频装置,使得电气化铁路一次投资增大以及变电所的运行管理复杂化。因此,低频单相交流牵引制在发展上受到一定的限制。

3. 工频单相交流电力机车

工频单相交流牵引制具有一系列直流牵引制或低频单相交流牵引制无法比拟的优点:供电设备简单、经济、可靠。它的一次供电系统与直流制相同,但牵引变电所的设备大为简化,它不需要像直流制那样在变电所内设置复杂的整流装置,也不需要像低频单相交流牵引制那样建设专用的发电设施,或在变电所内安设变频机组;工频单相交流制的牵引变电所还可以方便地向地区负荷供电,可以大幅度地提高牵引网的电压,从而增大牵引变电所的距离,减少变电所的数量,缩小接触网的有效截面,简化接触网结构,降低牵引网中功率损失,这样不仅可以减少电气化铁路的一次建设投资,而且也可以降低电气化铁路的运营费用。另外,采用工频单相交流牵引制还可以改善电力机车的黏着性能和牵引性能,由于交流电力机车采用变压器变压,因而牵引电动机全部并联工作,可以防止轮对空转,大大提高了电力机车的黏着系数。由于整流器式电力机车仍采用直流电动机,因此具有较好的调速和牵引性能。正是因为具有这些突出的优点,所以自 20 世纪 50 年代以来,工频单相交流牵引制发展得很快。凡是新开始实行电气化铁路的国家,大多采用工频单相交流牵引制。

工频单相交流牵引制采用的机车为工频单相交流电力机车。工频单相交流电力机车可以采用直流(脉流)串励电动机、工频单相整流子电动机以及无整流子交流电动机(包括同步型和异步型),其中最具有代表性而且应用最普遍的则是直流(脉流)串励电动机,机车上装有变压器和整流器,其功能是将接触网送来的高压单相交流电在机车上经变压器降压、再经整流器整流,然后供给牵引电动机。

近几十年来,整流器式电力机车在技术上的重大突破集中地表现在整流器上。在 20 世纪 50 年代,这种机车是以水银整流器(即引燃管)作为整流装置的;进入 60 年代后,由于大功率半导体技术的迅速发展,水银整流器迅速为硅整流器所取代。硅整流器的突出优点是结构简单、工作可靠、维修工作量大。大功率可控硅(即晶闸管)的出现及其在电力机车上的应用,不仅使整流器式电力机车的整流装置发生了质的变化——由不可控整流变为可控整流,并使整流、调压、逆变三者融为一体,同时也为发展工频单相交流电力机车采用交流无整流子牵引电动机提供了新的技术途径。采用可控硅(晶闸管)相控调压,可以使机车实现平滑调速,也可以实现各种闭环控制,使机车自动按照一定的要求运行,从而提高电力机车控制的自动化程度;此外,还可以取代机车主电路中一些有触点电器,如调压开关等。目前我国电气化铁路上运用的电力机车主要是工频单相交流硅整流器式电力机车。