

高等职业技术教育“十三五”规划教材——铁道机车类

电力机车控制 (第2版)

DIANLI JICHE KONGZHI DI ER BAN

付娟◎主编
林辉◎副主编
罗川◎主审



高等职业技术教育“十三五”规划教材——铁道机车类

电力机车控制

(第2版)

付 娟 主 编

林 辉 副主编

罗 川 主 审

西南交通大学出版社

· 成 都 ·

内容简介

本书为高等职业院校铁道机车（电力机车驾驶与电力机车检修）专业教材。在 2014 年 1 月第一版的基础上修订而成。全书共分八章，内容主要包括：电力机车工作原理及速度调节；电力机车的起动及电气制动；交流传动技术；电力机车的自动控制；SS₄ 改、HXD₃、HXD_{1C} 型电力机车电气线路分析。为了让学生近距离上岗，还介绍了 SS₄ 改、HXD₃、HXD_{1C} 型电力机车高低压试验及电气线路应急故障处理，HXD₃、HXD_{1C} 型电力机车操纵。为了适应服务现场的教学需要，拓展学生的知识面，简单介绍了电力机车的发展，电力牵引控制系统的组成，地铁、城轨列车、中低速磁悬浮列车的结构及工作原理。

本书除作为高等职业院校专业教材外，还可作为成人教育、职工培训教材，司机提职考试培训用书及有关技术人员的参考用书。

图书在版编目（CIP）数据

电力机车控制 / 付娟主编. —2 版. —成都：西南交通大学出版社，2016.8

高等职业技术教育“十三五”规划教材. 铁道机车类
ISBN 978-7-5643-4978-3

I. ①电… II. ①付… III. ①电力机车—控制—高等职业教育—教材 IV. ①U264.91

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2016）第 201155 号

高等职业技术教育“十三五”规划教材——铁道机车类

电力机车控制

（第 2 版）

付娟 主编

责任编辑	王旻
特邀编辑	王玉珂
封面设计	严春艳
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	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	成都中铁二局永经堂印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm × 260 mm
印 张	16
插 页	3
字 数	432 千
版 次	2016 年 8 月第 2 版
印 次	2016 年 8 月第 2 次
书 号	ISBN 978-7-5643-4978-3
定 价	39.80 元

课件咨询电话：028-87600533

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

再版前言

根据铁路 2020 年中长期发展规划中的牵引动力发展目标，结合我国目前铁路动力牵引的实际情况，本教材以和谐型电力机车控制技术为主，兼顾韶山型电力机车控制技术，主要介绍电力机车调速控制技术、电气制动技术和牵引控制技术；分析和谐型电力机车、韶山型电力机车电气线路，并对常见故障进行判断处理；重点介绍了交流传动电力机车的调速及控制策略、牵引变流器及微机网络控制等多项新技术。和第 1 版相比，更侧重和谐型电力机车的控制技术；删除了 SS_{7E} 型电力机车及 CRH₂ 动车组方面的内容，增加了 HXD_{1C} 型电力机车电气线路分析、起动和牵引操作，高低压试验及常见故障处理等方面的内容；删除了脉冲整流器的工作模式及等效电路分析，增加了牵引变流器保护及冷却方面的内容，减少了复杂的理论分析，突出了实用性。

遵照循序渐进的原则，首先介绍 SS₄ 改型电力机车的工作原理及电气线路，然后着重介绍 HXD₃、HXD_{1C} 型电力机车的工作原理及电气线路。此外，还介绍了 HXD₃、HXD_{1C} 型电力机车操纵方法及注意事项，高低压试验程序及常见故障判断处理等内容。

本书由西安铁路职业技术学院付娟主编、林辉副主编。参加编写的有西安铁路职业技术学院付娟（绪论、第一章、第三章、第七章）、林辉（第二章、第五章）、杨会玲（第四章 第一节～第四节）、朱亚男（第四章 第五节、第六节）、侯艳（第六章 第一节～第三节）、刘芳璇（第六章 第四节～第六节），西安铁路局机务处纪涛（第八章）。

本书由大同地方铁路公司罗川工程师主审。主审在审阅过程中提出了许多宝贵意见和建议，在此表示衷心感谢。

由于编者水平所限，书中难免有疏漏和不足之处，殷切希望读者批评指正。

编 者

2016 年 6 月

前 言

近年来我国电力牵引领域发展迅速，在“引进先进技术、联合设计生产、打造中国品牌”的发展战略思想指导下，高速动车组和大功率交流传动电力机车已成为我国牵引动力发展的主流。根据铁路 2020 年中长期发展规划中的牵引动力发展目标，结合我国目前铁路动力牵引的实际情况，本教材以和谐型电力机车、CRH 高速动车组控制技术为主，兼顾韶山型电力机车控制技术。主要介绍电力机车的工作原理，调速控制技术，电气制动技术，主型电力机车、动车组的电气线路，电气动作试验与故障应急处理，电力机车操纵。重点介绍了交流牵引传动、高速动车组、微机网络控制等多项新技术。

“电力机车控制”是电力机车驾驶与检修专业的一门核心课程，为了培养学生技术应用的能力，本教材选择铁路干线货运主型机车 SS₄ 改、HXD₃ 型电力机车和客运主型机车 SS_{7E} 电力机车、高速动车 CRH₂ 作为典型机型，通过多方搜集现场运用资料，整理总结现场运用经验，补充了 SS₄ 改、SS_{7E}、HXD₃ 型电力机车高低压试验及电气线路应急故障处理，HXD₃ 型电力机车操纵，为学生近距离上岗奠定了基础。

结合铁路牵引动力的变革和现场运用实际，遵照循序渐进的原则，首先介绍 SS₄ 改、SS_{7E} 型电力机车，然后着重介绍 HXD₃ 型电力机车、CRH₂ 型高速动车组。在编写过程中借鉴国内外优秀教材的良好做法，多采用图、表、实例等方式呈现知识和机车电气线路结构，努力让学生明白“是什么，如何做”。在编写格式上，章前有概述，阐明学习目标；章后有小结，梳理知识结构；附有复习思考题，以便于学生自主化学习。

本书由西安铁路职业技术学院付娟任主编、林辉任副主编，西南交通大学陶若冰教授担任主审。参加编写的有西安铁路职业技术学院付娟（绪论、第一章、第三章、第四章）、林辉（第五章、第六章）、薛振洲（第八章第一至第四节），宝鸡机车检修厂韩永生（第二章、第八章第五节），西安铁路局邢永红（第七章）。

本书虽然经编写人员和现场相关工程技术人员多次讨论修改，但由于编者水平所限，书中难免有疏漏和不足之处，恳请读者指正。

编 者

2013 年 10 月

目 录

绪 论	1
第一章 电力机车速度调节	6
第一节 概 述	6
第二节 直流传动电力机车的调速	7
第三节 励磁调节	8
第四节 相控调压	11
第五节 电力机车功率因数的改善	15
第六节 交流传动电力机车的调速	18
本章小结	20
复习思考题	21
第二章 电力机车起动及电气制动	22
第一节 电力机车的起动	22
第二节 电气制动概述	26
第三节 直流传动电力机车的电阻制动	28
第四节 直流传动电力机车的再生制动	32
第五节 交流传动电力机车的电气制动	34
本章小结	37
复习思考题	38
第三章 交-直型电力机车电气线路	39
第一节 概 述	39
第二节 电力机车的保护	45
第三节 联锁方法及重联线路	48
第四节 SS ₄ 改型电力机车主电路	50
第五节 SS ₄ 改型电力机车辅助电路	55
第六节 SS ₄ 改型电力机车控制电路	59
本章小结	78
复习思考题	78

第四章 电力牵引交流传动技术	80
第一节 概 述	80
第二节 交流传动机车的工作原理	83
第三节 牵引变流器的组成及工作原理	88
第四节 变流装置的结构组成及冷却	99
第五节 交流传动电力机车的调速控制	103
第六节 交流传动机车的牵引特性与控制策略	108
本章小结	112
复习思考题	113
第五章 交-直-交型电力机车电气线路	114
第一节 概 述	114
第二节 HXD ₃ 型电力机车主电路	116
第三节 HXD ₃ 型电力机车辅助电路	122
第四节 HXD ₃ 型电力机车控制监视系统使用	129
第五节 HXD ₃ 型电力机车控制电路	139
第六节 HXD ₃ 型电力机车操纵与试验	158
本章小节	166
复习思考题	166
第六章 HXD_{1C} 型电力机车电气线路	168
第一节 HXD _{1C} 型电力机车主电路	168
第二节 HXD _{1C} 型电力机车辅助电路	176
第三节 HXD _{1C} 型电力机车网络控制系统	179
第四节 HXD _{1C} 型电力机车控制电路	185
第五节 HXD _{1C} 电力机车操纵	193
本章小节	197
复习思考题	197
第七章 电力机车自动控制系统	199
第一节 电力机车自动控制的基本概念	199
第二节 相控电力机车的闭环自动控制	201
第三节 SS ₄ 改型电力机车的自动控制	204
第四节 直流电力机车微机控制系统	208
第五节 交流电力机车的微机控制	210
第六节 HXD ₃ 型电力机车的特性控制	213
本章小结	215
复习思考题	216

第八章 电力机车高低压试验与常见故障处理	217
第一节 概 述	217
第二节 SS ₄ 改型电力机车高低压试验	219
第三节 HXD _{1C} 电力机车高低压试验	225
第四节 HXD ₃ 型电力机车高低压试验	230
第五节 SS ₄ 改型电力机车电气线路常见故障处理	235
第六节 HXD _{1C} 型电力机车常见故障判断与处理	237
第七节 HXD ₃ 型电力机车常见故障判断与处理	241
本章小结	243
复习思考题	244
参考文献	245

绪 论

电力机车是通过受流器从接触网上获得电能，由电动机驱动的机车或动车。由于电力机车自身不带能源，属于非自给式机车，所以在提高铁路运输能力、合理利用资源、保护生态环境方面已成为铁路最理想的牵引动力。

一、电力机车的分类

电力机车是电力机车和电动车组的总称，包括牵引列车的电力机车和担任客运的城际电动车组与地下铁道电动列车。

1. 按用途分类

客运电力机车：用来牵引客运列车，其特点是牵引力不大，运行速度高。

货运电力机车：用来牵引货物列车，其特点是牵引力大，速度不高。

客货两用电力机车：用来牵引客运或货运列车，其牵引力和速度介于客运、货运电力机车之间。

2. 按轴数分类

按轴数机车可分为四轴、六轴、八轴等电力机车，一般动轴数少的用作客运电力机车，动轴数多的用作货运电力机车。

3. 按传动形式分类

具有个别传动的电力机车：电力机车每一轮对都有单独的牵引电动机驱动，每个轴都是动轴。

具有组合传动的电力机车：电力机车某几个轮对（通常为一个转向架上的几个轮对）互连接成组，然后由一台牵引电动机驱动。

4. 电力机车按电流制-传动形式分类

（1）直流供电-直流牵引电动机驱动的直-直型电力机车。

接触网网压 1 500 ~ 3 000 V，采用直流串励牵引电动机。我国大部分工矿用电力机车、城市无轨电车、城轨电动列车都属于这一种。在城市轨道交通运输中速度要求不高，常采用直流供电方式。

电力机车的受流方式依据供电方式的不同分为接触网受流方式和第三轨受流方式。其供

电方式除高架接触网供电外还有第三轨供电方式。第三轨供电是指在列车行走的两条钢轨以外，再加上带电的钢轨，这条钢轨通常设在两轨之间或其中一轨的外侧。列车受流器（集电装置，也叫集电靴或取流靴）在带电钢轨接触并滑行，把电能传到列车上。

（2）交流供电-直（脉）流牵引电动机驱动的交流-直型电力机车。

又称交-直型整流器电力机车。我国生产的韶山系列电力机车即属于此种车型。该型电力机车是目前世界上各个国家普遍采用的一种机车形式。

（3）交流供电-变频器环节-三相异步电动机驱动的交流-直-交型电力机车。

该型电力机车是目前世界发达国家采用的主导机车形式。我国生产的和谐系列电力机车即属于此种车型。

（4）交流供电-变频器环节-三相同步电动机驱动的交流-交型电力机车。

对于采用单相交流供电的系统，变频器只能改变频率提供单向电源，不能向三相交流电动机供电，至今这种电力机车还没有应用的范例。

交流供电按接触网供电频率的不同可分为单相低频（25 Hz 或 16 Hz）制和单相工频（50 Hz）制。目前，世界上绝大多数国家都采用单相工频交流电网供电。此外，世界上还有多电流制电力机车，这是针对不同电力牵引供电系统的铁路，为了在两种或多种供电系统衔接区段的连续运输和其他特定需要生产的，主要为交直流两用电力机车。

二、国产电力机车发展历程

电力传动技术随着电力电子技术、计算机技术及控制理论的发展而发展。电力机车的发展经历了直-直型电力机车、交-直型电力机车和交-直-交型电力机车 3 个大的发展阶段。

1. 国产交-直电力机车的发展

我国电力机车自 1958 年诞生至今，已走过了 50 多年的历程，形成了四代产品。目前我国干线交-直型电力机车，一般采用多段桥顺序控制的晶闸管相控无级调压。国产相控电力机车的发展历程如表 0.1 所示。

表 0.1 我国交-直型电力机车的发展历程

产品	年代	型号	轴列式	机车功率 (kW)	电机功率 (kW)	悬挂 方式	最高速度 (km/h)	用 途
第一代	1958	SS ₁	C ₀ -C ₀	3 780	630	抱轴	90	客货两用
	1969	SS ₂	C ₀ -C ₀	4 620	770	抱轴	100	客货两用
第二代	1978	SS ₃	C ₀ -C ₀	4350（持续）	800	抱轴	100	客货两用
第三代	1985	SS ₄	2（B ₀ -B ₀ ）	6 400	800	抱轴	100	货运机车
	1990	SS ₅	B ₀ -B ₀	3 200	800	抱轴	140	客运机车
	1991	SS ₆	C ₀ -C ₀	4 800	800	抱轴	100	货运机车
	1992	SS ₇	B ₀ -B ₀ -B ₀	4 800	800	抱轴	100	货运机车
	1992	SS _{3B} （4000）	C ₀ -C ₀	4 350（持续）	800	抱轴	100	客货两用
	1993	SS _{4G}	2（B ₀ -B ₀ ）	6 400	800	抱轴	100	货运机车
	1994	SS ₈	B ₀ -B ₀	3 200	800	架承	170	客运机车

续表 0.1

产 品	年 代	型 号	轴 列 式	机 车 功 率 (kW)	电 机 功 率 (kW)	悬 挂 方 式	最 高 速 度 (km/h)	用 途
第三代	1995	SS _{6B}	C ₀ -C ₀	4 800	800	滚抱	100	货运机车
	1997	S _{4B}	2 (B ₀ -B ₀)	6 400	800	滚抱	100	货运机车
	1997	TM ₁	B ₀ -B ₀	3 200	800	架承	140	客运机车
	1998	SS _{7B}	B ₀ -B ₀ -B ₀	4 800	800	滚抱	100	货运机车
	1998	SS ₉	C ₀ -C ₀	4 800/5 400	800/900	架承	170	客运机车
	1999	DDJ ₁	B ₀ -B ₀	4 000	1 000	架承	200	客运机车
	1999	SS _{7C}	B ₀ -B ₀ -B ₀	4 800	800	滚抱	120	货运机车
	2001	SS _{7D}	B ₀ -B ₀ -B ₀	4 800	800	架承	170	客运机车
	2001	SS _{7E}	B ₀ -B ₀	4 800	800	架承	170	客运机车
	2002	SS _{3B}	2 (C ₀ -C ₀)	2×4 350 (持续)	800	滚抱	100	货运机车

第一代产品 SS₁ 电力机车,采用调压开关 33 级变压器低压侧有级调压,二极管全波整流。第二代产品 SS₃ 电力机车,采用调压开关 8 级低压侧有级调压和级间晶闸管相控调压。第三代产品均采用多段桥晶闸管相控调压。第一代至第三代产品均为交-直流传动方式,仅以调压调速方式和单轴功率等级来区分。

2. 国产交流电力机车的发展

第四代产品交-直-交型电力机车集中了当今科技发展的最新成果,代表了现代牵引动力发展的方向,其发展历程如表 0.2 所示。

表 0.2 我国交-直-交型电力机车发展历程

产 品	年 代	代 号	轴 列 式	机 车 功 率 (kW)	电 机 功 率 (kW)	悬 挂 方 式	最 高 速 度 (km/h)	用 途
第四代	1996	AC4000	B ₀ -B ₀	4 000	1 025	滚抱	120	货运
	2000	DJ (熊猫)	B ₀ -B ₀	4 800	1 200	架悬	210	客运
	2000	DJJ ₁ (蓝剑)	B ₀ -B ₀	4 800	1 200	半悬挂	210	客运
	2001	DJ ₂ (奥星)	B ₀ -B ₀	4 800	1 200	架悬	210	客运
	2001	DJF ₁ (中原之星)	B ₀ -B ₀	3 200-4 (4×200)	200	架悬	160	客运
	2001	先锋号	B ₀ -B ₀	4800-4 (4×300)	300	架悬	200	客运
	2002	DJJ ₂ (中华之星)	B ₀ -B ₀	4 800	1 225	架悬	270	客运
	2002	天梭	B ₀ -B ₀	4 800	1 200	架悬	200	客运
	2003	SS _{J3}	C ₀ -C ₀	7 200	1 250	滚抱	120	货运
	2003	KAZ ₄	B ₀ -B ₀	4 800	1 200	架悬	210	客运

续表 0.2

产品	年代	代号	轴列式	机车功率 (kW)	电机功率 (kW)	悬挂 方式	最高速度 (km/h)	用途
第四代	2006 以后	CRH ₁	5 动 3 拖	5 300-5(4×265)	265	架悬	200	客运
		CRH ₂	4 动 4 拖	4 800-4(4×300)	300	架悬	200	客运
		CRH ₃	4 动 4 拖	8 800-4(4×550)	550	架悬	350	客运
		CRH ₅	5 动 3 拖	5 500-5(2×550)	550	架悬	220	客运
		HXD ₁	2(B ₀ -B ₀)	9 600	1 200	滚抱	120	货运
		HXD _{1B}	C ₀ -C ₀	9 600	1 600	滚抱	120	货运
		HXD _{1C}	C ₀ -C ₀	7 200	1 200	滚抱	120	货运
		HXD _{1D}	C ₀ -C ₀	7 200	1 200	滚抱	160	客运
		HXD ₂	2 (B ₀ -B ₀)	9 600	1 200	滚抱	120	货运
		HXD _{2B}	C ₀ -C ₀	9 600	1 600	滚抱	120	货运
		HXD _{2C}	C ₀ -C ₀	7 200	1 200	滚抱	120	货运
		HXD ₃	C ₀ -C ₀	7 200	1 200	滚抱	120	货运
		HXD _{3B}	C ₀ -C ₀	9 600	1 600	滚抱	120	货运
		HXD _{3C}	C ₀ -C ₀	7 200	1 200	滚抱	120	货运
		HXD _{3C}	C ₀ -C ₀	7 200	1 200	滚抱	160	客运
		HXD _{3D}	C ₀ -C ₀	7 200	1 200	滚抱	120	客运

交流传动机车是近代铁路牵引技术的重大突破。交流传动简单可靠，具有良好的防空转性能、优异的牵引特性和制动特性。20 世纪 80 年代初，交流传动技术开始应用于电力机车，并取得了快速发展。我国从 1991 年开始研制交流传动电力机车，经过了 20 多年的发展，交流传动机车正在逐步取代直流传动机车，使货运机车单轴功率 1 000 ~ 1 200 kW，客运机车单轴功率 1 200 ~ 1 400 kW 的电力机车成为主流。

三、电力机车与电气化铁道

电力机车、电动车组 (EMU) 由架设在铁道线上方的接触网供电，而接触网则由牵引供电系统的变电所供电，电力机车 (EMU) 和牵引供电系统共同组成电气化铁道。图 0.1 所示为电气化铁道牵引供电系统结构。

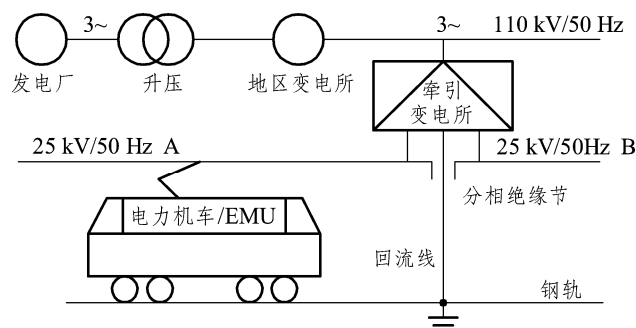


图 0.1 电气化铁道牵引供电系统结构

电气化铁道一般以受电弓为分界点，受电弓以上为牵引供电系统，主要包括牵引变电所和接触网。受电弓以下为电力机车（EMU）部分，即从受电弓、高压电器、牵引变压器、牵引变流器和牵引电动机的主电路部分。交-直型电力机车（EMU）的工作原理如图 0.2 所示。

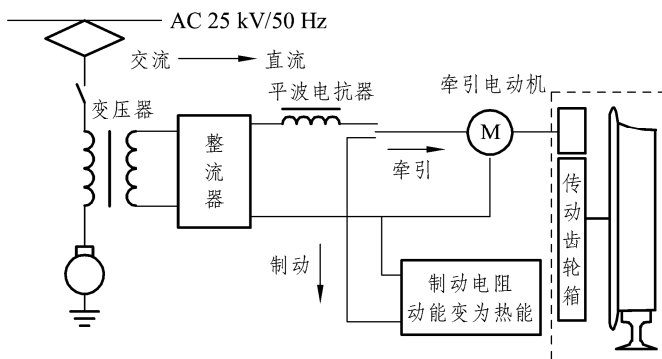


图 0.2 交-直型电力机车（EMU）的工作原理

牵引变电所将来自国家电网的高压三相交流电，经变压器降压转换成 25 kV，并以单相形式供给接触网。机车通过受电弓将 25 kV/50 Hz 单相交流电引入牵引变压器一次绕组，电流流过一次侧绕组，经车体接地装置传到钢轨，通过回流线与牵引变电所连接形成高压供电回路。同时经牵引变压器降压后，在二次侧绕组输出 1 000 V 左右的单相交流电压，供给可控整流器，进行相控调压，输出交流分量较大的脉动电压，经过平波电抗器输出滤波后，向直流（脉流）牵引电动机提供电能。直流牵引电动机将电能转化为机械能，产生转矩驱动轮对旋转，通过轮轨之间黏着产生牵引力，驱动列车前进。

四、电力牵引控制系统

在轨道交通运输中，采用电动机驱动来满足车辆牵引的电气传动部分，称为电力牵引传动系统。电力牵引传动系统以牵引电机为控制对象，通过开环或闭环控制对牵引电机的转速和转矩实施控制，以达到对驱动对象的控制与调节，满足车辆牵引和控制特性的要求。如干线电力机车、内燃电传动机车、城轨交通电动车组等都是采用电力牵引控制系统。

根据驱动电机类型的不同，电力牵引控制系统分为两大类：采用直流（脉流）牵引电动机的称为直流传动系统，直-直型和交-直型的电力机车也称为直流传动电力机车；采用交流牵引电动机作为驱动设备的称为交流传动控制系统，交-直-交和交-交型电力机车也称为交流传动电力机车。

国产电力机车牵引控制系统的发展是随着电力电子技术、微电子技术、计算机技术的发展而不断发展的，经历了有节点控制：SS₁型电力机车，模拟控制：SS₃、SS₄改型电力机车，微机控制：SS₈、SS_{4B}、SS₉、DDJ₁、SS_{7D}和 SS_{7E}型机车的发展历程。随着电力电子技术的发展，控制理论不断完善，变频调速技术取得了突破性进展，为交流异步电动机的平滑调速提供了可靠支持，使交流传动逐渐取代直流传动。

第一章 电力机车速度调节

电力机车作为电气化铁道的牵引动力，为充分发挥其功率，提高运输能力，要求机车的牵引力和速度能在宽广的范围内均匀而经济地调节。本章着重学习机车的速度调节，分析机车的调速控制。通过本章学习，应达到以下目标：

- (1) 了解整流电流脉动对牵引电动机的影响及其减小措施。
- (2) 熟悉直传动电力机车的调速方法，会分析三段不等分桥顺序调压。
- (3) 熟悉相控机车磁场削弱方法及其应用，会分析无级磁场削弱。
- (4) 掌握提高电力机车功率因数的方法。
- (5) 掌握交流传动电力机车的调速方法和调速特性。

第一节 概 述

机车调速是指人为地改变牵引电动机的工作参数使其速度发生变化的运行过程，它有别于因外部扰动（网压变化、线路纵断面变化等）引起的转速变化。

一、机车的运行状态

一般情况下机车牵引列车的整个过程是由停车状态开始，经过起动加速再逐渐提高速度，直到机车工作在其自然特性上，此后司机根据列车运行图的要求及线路纵断面的变化随时进行速度调节。进站停车前进行制动，降低机车速度，直至最后停车。列车的整个运行过程，情况虽然很复杂，但概括起来，却只存在起动、调速、制动 3 种基本的运行状态。这 3 种基本运行状态，其实质都是速度的调节，起动和制动是调速的两种特殊形式。因此，机车速度调节是牵引列车运行时最为根本的任务之一，也是完成运输任务的主要手段之一。

二、电力机车调速的本质

电力机车是以牵引电动机作为传动设备的，其调速本质是牵引电动机转速的调节。电力

机车的类型不同、选用牵引电动机的类型不同，其调速的方式就不同，而调速方式又会影响机车的牵引性能和功率因数。

直-直型和交-直型电力机车采用直流（脉流）牵引电动机作为驱动电机，其调速实质是对直流电动机进行调速。

交-直-交型电力机车采用三相异步牵引电动机作为驱动电机，其调速实质是对三相异步电动机进行调速。

三、电力机车调速的基本要求

电力机车无论采用何种调速方式，从运行安全的角度出发，必须满足以下要求：

（1）宽广的调速范围。只有具备宽广的调速范围才能满足列车运行速度不断提高的需要。

（2）冲击力小，牵引力变化连续。速度调节应力求平稳，不间断牵引电动机的供电，并且有尽可能多的速度运行级，从而避免电流和牵引力的冲击。

（3）调速经济。在保证速度范围的情况下，附加设备要少，且尽量减少附加能量损耗。

（4）运行可靠，控制简单，操作方便。

第二节 直流传动电力机车的调速

一、直流传动电力机车速度表达式

直流传动（包括直-直型和交-直型）电力机车选用直流（脉流）牵引电动机作为牵引动力，其转速表达式为：

$$n = \frac{U_d - I_a R_a}{C_e \Phi} \quad (1.1)$$

式中 U_d ——牵引电动机端电压（V）；

I_a ——牵引电动机电枢电流（A）；

Φ ——牵引电动机每极磁通（Wb）；

R_a ——牵引电动机电枢电阻（ Ω ）；

C_e ——电动势常数。

机车动轮周线速度与电动机转速的关系为：

$$v = \frac{\pi D}{60 \mu_c} n \quad (\text{m/s})$$

将电动机的转速 n 换算为机车的运行速度 v ，可推导出机车速度计算式为：

$$v = \frac{60\pi D}{1\,000\mu_c} \cdot \frac{U_d - I_a R_a}{C_e \Phi} = \frac{U_d - I_a R_a}{C_v \Phi} \quad (\text{km/h}) \quad (1.2)$$

式中 C_v ——机车速度常数, $C_v = 1\,000C_e\mu_c / 60\pi D$;

D ——机车动轮直径 (m);

μ_c ——机车齿轮传动比。

二、交-直型电力机车调速方法

根据公式 (1.2) 可知交-直型电力机车的调速方案应有以下几种:

1. 改变牵引电动机电枢回路电阻

在牵引电动机电枢回路中串入启动调压电阻, 通过改变电阻阻值来调节机车的速度。由于牵引电动机回路电压较高, 电流较大, 附加调节电阻的损耗会使牵引电动机效率降低, 调速不经济, 并且启动调压电阻本身分段, 在调速过程中会造成机车牵引力有冲击。因此, 在机车上并不采用这种调速方法。

2. 改变牵引电动机的端电压

现代直流电力机车如城轨电动列车、无轨电车, 利用斩波的原理可以对牵引电动机的端电压进行连续、平滑的调节, 实现调压调速。

在交-直型电力机车上, 接触网电压需经牵引变压器降压和整流装置整流后, 再供给牵引电动机。若调压在变压器环节, 可通过改变变压器一次侧或二次侧绕组的匝数进行调压, 称为变压器有级调压, 国产 SS_1 型电力机车就采用低压侧有级调压方式; 若调压在整流环节, 利用晶闸管整流元件, 通过改变晶闸管移相角调节整流输出电压, 从而进行平滑无级调速, 称为相控调压。国产交-直型电力机车除 SS_1 、 SS_2 和 SS_3 机车外均采用相控调压。

3. 改变磁通量

如果保持牵引电动机的端电压不变, 则机车的速度随着磁通的减弱而提高, 即所谓的磁场削弱调速 (详见本章第三节励磁调节)。

交-直型电力机车, 以调压调速为主, 弱磁调速为辅。机车在额定速度以下采用调压调速, 在额定速度以上采用磁场削弱调速。无论调节电压或调节磁通量, 都不会产生附加的能量损耗, 因而得到的速度级称为经济运行级。机车在经济运行级上可以长时间运行。

第三节 励磁调节

所谓励磁调节, 就是通过调节流过牵引电动机的励磁电流, 从而改变牵引电动机的主极磁通, 达到调速的目的, 亦称磁场削弱调速。一般情况下, 要进行磁场削弱调速, 必须是在牵引电动机端电压已达到额定电压, 而牵引电动机电流比额定值小时实施。磁场削弱的目的

是扩大机车的速度运行范围，充分利用机车功率。

一、磁场削弱系数

磁场削弱系数用 β 表示，其定义是：在同一牵引电动机电枢电流下，磁场削弱后（削弱磁场）牵引电动机主极磁势与磁场削弱前（满磁场）牵引电动机主极磁势之比。其表达式为：

$$\beta = \frac{(IW)_{\beta}}{(IW)_m} \times 100\% \quad (1.3)$$

式中 $(IW)_{\beta}$ ——磁场削弱后主极磁势（安·匝）；

$(IW)_m$ ——磁场削弱前（满磁场）主极磁势（安·匝）。

磁场削弱系数表明牵引电动机主极磁势削弱的程度。 β 越小，表明磁场削弱越深。当电动机磁路不饱和时，可以用磁通代替磁势。

二、磁场削弱方法

交-直型电力机车采用保持励磁绕组匝数不变，通过对励磁绕组分流，使牵引电动机电枢电流中的一部分流过励磁绕组，以实现磁场削弱。

1. 电阻分路法

在励磁绕组的两端并联电阻对励磁电流进行分路，从而达到削弱磁场的目的，如图 1.1 所示。电阻分路法的磁通不能连续变化，适用于交-直型货运电力机车。磁场削弱系数的表达式为：

$$\beta = \frac{(IW)_{\beta}}{(IW)_m} = \frac{I_L W}{I_a W} = \frac{I_L}{I_a} = \frac{I_L}{I_L + I_R} = \frac{R_1}{R_1 + R} \quad (1.4)$$

式（1.4）表明，磁场削弱系数 β 取决于励磁绕组与分流电阻的阻值大小，而与电机励磁绕组匝数无关。要改变磁场削弱系数，只需改变分路电阻的大小。为了降低磁场削弱时的电流冲击和牵引力冲击，避免分路电阻过多造成的控制线路复杂，附加设备增多，一般磁场削弱取三级左右。

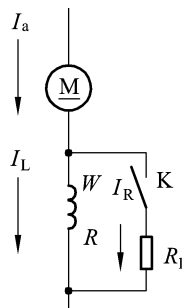


图 1.1 电阻分路法原理

2. 晶闸管分路法

晶闸管分路法是利用晶闸管元件的连续、实时、可控，对牵引电动机的励磁电流进行旁路，从而达到削弱磁场的目的，这种方法也称无级磁场削弱法，适用于交-直型客运电力机车，其原理如图 1.2 所示。