



“十四五”职业教育新形态一体化教材——铁道机车类

机车控制系统

主 编 付 娟 林 辉 王 博
主 审 郭团生 李益民 崔 晶

西南交通大学出版社
· 成 都 ·

内容简介

本书采用任务驱动模式编写，内容包括：电力牵引传动系统的分类、组成和功能；机车的分类、工作原理和速度调节；机车的控制策略、牵引特性和制动特性；牵引变流器的组成、工作原理及应用；机车自动控制的概念、功能和应用；SS₄G、HX_D3、HX_D1C、HX_N5型机车的电气线路、相关试验和常见故障判断处理；CRH₂型动车组牵引控制系统的组成、布置和特点；HX_D3型机车的操纵及其注意事项。

本书可作为高等职业院校铁道机车专业学生的教材，职工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

机车控制系统 / 付娟, 林辉, 王博主编. — 成都:
西南交通大学出版社, 2023.1
ISBN 978-7-5643-8949-9

I. ①机… II. ①付… ②林… ③王… III. ①电力机
车—自动控制系统—高等职业教育—教材 IV.
①U264.91

中国版本图书馆CIP数据核字(2022)第190084号

Jiche Kongzhi Xitong

机车控制系统

主编 付娟 林辉 王博

责任编辑 王 旻
特邀编辑 王玉珂
封面设计 曹天擎

出版发行 西南交通大学出版社
(四川省成都市金牛区二环路北一段111号
西南交通大学创新大厦21楼)

邮政编码 610031
发行部电话 028-87600564 028-87600533
网址 <http://www.xnjdcbs.com>
印刷 四川玖艺呈现印刷有限公司

成品尺寸 185 mm × 260 mm
印张 19.25
插页 3
字数 442 千
版次 2023年1月第1版
印次 2023年1月第1次
定价 52.00 元
书号 ISBN 978-7-5643-8949-9

课件咨询电话: 028-81435775

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

“机车控制系统”是铁道机车专业的一门核心课程。我们根据2020年全国铁道职业教育指导委员会《高等职业学校铁道机车专业建设指导标准》的要求编写了本书。

结合我国铁路动力牵引的实际情况，本教材以交流传动控制技术为主，兼顾直流传动控制技术，主要分析HX_D3、HX_D1C、HX_N5、SS₄G型机车和CRH₂型动车组的电气线路，并介绍机车操纵、相关试验和常见故障判断处理方法。重点阐述了交流传动机车的控制策略、牵引变流器及微机网络控制等多项新技术。

本教材数字资源丰富，有与纸制教材配套的PPT和授课视频或微课，是一本既适合于理论教学，又贴近生产实际的教材。教材使用建议：

(1) 教学中要坚持理论与实践相结合的原则，避免“重理论、轻实践”的错误做法。为提高学生的实际动手能力，应结合其他专业课内容，在适当的时候安排学生去现场进行一段时间的实习，将课堂知识转化为实际技能。

(2) 突出教学的直观性。“机车控制系统”是一门直观性、实践性很强的专业课，如果只是强调书本上的内容，不追求实物所带来的直观性，那就会使教学效果事倍功半。因此，教师在授课时，一方面要充分利用实物、模型等教具或多媒体课件激发学生的学习兴趣，另一方面要适当增加实验、实训课的学时。

(3) 目前,我国铁路干线运行的国产和进口机车型号多达数十种,加之新型机车的不断推出,本教材由于篇幅所限,很难包罗所有车型,仅选择具有代表性的机车加以介绍。因此,作为本专业教师,应该时刻关注机车发展的新动向,在教学中,随时将机车领域的新技术、新知识、新工艺补充进去;及时更新配套的数字资源内容;同时,在教学中总结出各型机车的异同点,做到举一反三,使学生具有较强的适应性和应变能力。

本书在“王小卫大师工作室”的指导下编写,由西安铁路职业技术学院付娟、林辉、王博担任主编,中国铁路兰州局集团有限公司职工培训部席银祥、中国铁路西安局集团有限公司西安机车检修厂韩永生、湖南高速铁路职业技术学院王小刚担任副主编。参加编写的有西安铁路职业技术学院付娟(绪论、项目三、项目五)、林辉(项目四)、王博(项目六)、张笛(项目二)。中国铁路兰州局集团有限公司职工培训部席银祥(项目七)、中国铁路西安局集团有限公司西安机车检修厂韩永生(项目八),湖南高速铁路职业技术学院王小刚(项目一)。

本书由昆明地铁建设管理公司高级工程师郭团生、西安铁路职业技术学院教授李益民、崔晶主审。主审在审阅过程中提出了许多宝贵意见,在此表示衷心的感谢!

由于编者水平所限,书中难免有疏漏和不足之处,恳请读者批评指正。

编 者

2022年5月

数字资源目录

序号	二维码名称	资源类型	书籍页码
1	我国牵引动力的发展概述	微课	009
2	内燃机车发展概述	微课	009
3	项目一 电力牵引传动系统	PPT	010
4	高速动车组技术	微课	018
5	项目二 机车的速度调节	PPT	024
6	刹车也精彩	微课	052
7	项目三 HXd3 直传动机车电气线路	PPT	062
8	SS ₄ G 型机车牵引电路	视频	073
9	SS ₄ G 型机车辅助电路分析	视频	079
10	电力机车的操纵	视频	085
11	SS ₄ G 型机车受电弓控制	视频	089
12	SS ₄ G 型机车常见故障处理	视频	099
13	项目四 HXd3 型电力机车电气线路	PPT	114
14	HXd3 机车与 SS ₄ G 机车主要技术参数对比	微课	115
15	控制监视系统功能	视频	150
16	HXd3 机车蓄电池充电装置 PSU 故障	视频	153

续表

序号	二维码名称	资源类型	书籍页码
17	HXD3 机车司机室设备布置	视频	155
18	HXD3 机车 BVAC.N99 型应急转换	视频	158
19	HXD3 型机车全自动过分相控制系统	视频	173
20	项目五 HXD1C 型电力机车电气线路	PPT	182
21	HXD1C 型机车主电路概述	视频	183
22	HXD1C 型机车辅助电路概述	视频	193
23	HXD1C 型机车控制电路概述	视频	198
24	项目六 HXN5 型内燃机车电气线路	PPT	214
25	我国重载与快速机车技术	微课	215
26	项目七 机车自动控制系统	PPT	251
27	微机监测与控制系统	微课	260
28	项目八 机车高低压试验和电气动作试验	PPT	273
29	HXD3 型电力机车低压试验	视频	282
30	HXD3 型电力机车高压试验	视频	284

目 录

绪 论	001
项目一 电力牵引传动系统	010
任务一 机车的工作原理	010
任务二 电力牵引传动控制系统	013
任务三 CRH ₂ 型动车组牵引传动系统	017
项目二 机车的速度调节	024
任务一 交-直型机车的速度调节	024
任务二 交-直型机车的起动及其特性	033
任务三 交-直-交型机车的调速控制	038
任务四 交-直-交型机车的牵引特性	046
任务五 机车的电气制动	052
项目三 SS₄G型电力机车电气线路	062
任务一 机车电气线路概述	062
任务二 SS ₄ G型电力机车主电路	070
任务三 SS ₄ G型电力机车辅助电路	078
任务四 SS ₄ G型电力机车控制电路	084
项目四 HXD₃型电力机车电气系统	114
任务一 牵引变流器的组成及工作原理	114
任务二 HXD ₃ 型电力机车的变流装置	125
任务三 HXD ₃ 型电力机车主电路	133
任务四 HXD ₃ 型电力机车辅助电路	139
任务五 HXD ₃ 型电力机车控制系统	149
任务六 HXD ₃ 型电力机车操纵	174

项目五 HXD1C 型电力机车电气系统	182
任务一 HXD1C 型电力机车主电路	182
任务二 HXD1C 型电力机车辅助电路	192
任务三 HXD1C 型电力机车控制系统	196
项目六 HXN5 型内燃机车电气系统	214
任务一 HXN5 型内燃机车牵引电机传动系统	214
任务二 HXN5 型内燃机车辅助电气系统	223
任务三 HXN5 型内燃机车微机网络控制系统	239
项目七 机车自动控制系统	251
任务一 直流传动机车的闭环自动控制	251
任务二 直流传动机车的微机控制系统	259
任务三 交流传动列车的微机控制	269
项目八 机车相关试验程序	273
任务一 SS4G 型电力机车高、低压试验程序	273
任务二 HXD3 型电力机车高、低压试验程序	281
任务三 HXD1C 型电力机车高、低压试验程序	287
任务四 HXN5 型内燃机车智能显示器检测操作程序	293
参考文献	298

绪论

机车是干线机车和电动车组（EMU）的总称，包括牵引列车的机车和担任客运的城际电动车组与地下铁道电动列车。

一、机车的分类

根据牵引力的不同，机车有蒸汽机车（已淘汰）、内燃机车和电力机车 3 种类型。

1. 按传动方式分类

个别传动：机车每一轮对都有单独的牵引电动机驱动，每根车轴都是动轴。

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

目前，电力机车均采用个别传动，内燃机车轴列式 C_0-C_0 为个别传动， $B-B$ 为组合传动。

2. 按轴数分类

4 轴机车：轴列式 B_0-B_0 ，如 SS_5 、 SS_8 、 $AC4000$ 等。

6 轴机车：轴列式 $B_0-B_0-B_0$ ，如 SS_7 、 SS_{7C} 、 SS_{7D} 等；轴列式 C_0-C_0 ，如 DF_{4B} 、 DF_7 、 DF_8 、 SS_6 、 SS_9 、 $HXD1C$ 、 $HXD3C$ 等。

8 轴机车：轴列式为 $2(B_0-B_0)$ ，如 SS_4G 、 SS_{4B} 、 $HXD1$ 、 $HXD2$ 、 $FXD1$ 、 $FXD3$ 等。

12 轴机车：轴列式为 $2(C_0-C_0)$ ，如 DF_{7B} 双机、 DF_{4E} 双机、 SS_{3B} 等。

一般动轴数少的用作客运机车，动轴数多的用作货运机车。

二、电力机车的分类

电力机车是通过受流器从接触网或第三轨上获得电能，由电动机驱动的机车或动车组。电力机车自身不带能源，属于非自给式机车，因此在提高铁路运输能力、合理利用能源、保护生态环境方面已成为铁路最理想的牵引动力。

1. 按用途分类

(1) 客运电力机车：用来牵引客运列车，牵引力不大，运行速度高，如 SS_{7E}、SS₈、SS₉、HX_D1D、HX_D3D 等。

(2) 货运电力机车：用来牵引货物列车，牵引力大，运行速度不高，如 SS_{4G}、SS_{4B}、HX_D1、HX_D2、HX_D3 等。

(3) 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、货运电力机车之间，如 SS_{3B}、SS₆ 等。

(4) 调车用电力机车：用于调车场进行列车编组、解体作业、牵引、转线等。

2. 按电流制-传动形式分类

(1) 直-直型电力机车。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，接触网网压为直流 1 500 ~ 3 000 V，机车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、城轨电动列车都采用这一种形式。

(2) 交-直型电力机车。又称交-直型整流器式电力机车。我国 20 世纪 50 年代开始生产的韶山 (SS) 系列电力机车即属于此种车型。

(3) 交-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 20 世纪初生产的和谐 (HX_D) 系列电力机车、高速动车组 (CRH) 系列即属于此种机车。

(4) 交-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 $16\frac{2}{3}$ 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。

三、内燃机车的分类

内燃机车是通过柴油机-发电机组获得电能，由电动机驱动的机车或动车组。内燃机车自身需要带能源，属于自给式机车。因其投资少、见效快、经济性能好等特点，可应用于高速列车的牵引，如英国的 HST 高速列车、德国的 VT610 动车组。

内燃机车还可用于尚未电气化的高速铁路区段，也可作为加速发展高速铁路建设的一种过渡牵引形式。

1. 按用途分类

(1) 干线机车。主要用于牵引铁路干线上的客、货列车。干线机车一般为车体承载方式，内部走廊结构，如 DF₄、DF_{8B}、DF₁₁ 等。

(2) 调车机车。主要用于调车场进行列车编组、解体作业及站段内调车。调车机车一般为车架承载方式，外部走廊结构，其工作特点是频繁地起动和停车，如 DF₂、DFH₁、DF₅、DF₇、DF_{7C} 等。

(3) 内燃动车组。内燃动车组是指具有内燃动力装置的动车和客车编成的车组，用于市郊或临近城市间的短途客运，如和谐长城号动车组 NDJ3、新曙光号动车组 NZJ1。

(4) 小型机车。主要用于工矿企业内部，担任场内运输任务或作为短途、小运转牵引作业，如 GKD 系列工矿内燃机车、GK 系列工矿内燃机车。

2. 按传动装置分类

传动装置是一种能将柴油机的动力传递到轮对上的装置，使机车获得所需求的牵引性能并改变机车前进或后退的方向。按传动装置的不同，内燃机车分为 3 类。

1) 机械传动

在柴油机与轮对之间设离合器和变速箱，利用变速箱来改变柴油机曲轴与轮对间的传动比，以调节机车牵引力和运行速度。这种传动方式结构简单、效率高，但在换挡过程中容易功率中断，造成列车冲动。所以干线机车一般不采用这种传动方式，只应用于小型机车上。

2) 液力传动

柴油机工作泵轮高速旋转，带动工作油高速旋转，从叶片出口处高压流出，并冲击涡轮叶片，使涡轮与泵轮以相同方向转动，通过齿轮将柴油机的输出功率传到机车动轮上，使列车前进。其特点是机车质量较轻、耗铜少、牵引性能好，但在整个运行范围内平均效率较低、制造工艺要求较高，北京型 (BJ) 和部分东方红 (DFH) 型内燃机车采用液力传动。

3) 电力传动

柴油机带动牵引发电机发电，然后向牵引电动机供电，通过齿轮驱动车动轮，实现机车牵引运行。其优点是牵引性能好、效率高、运行可靠，其缺点是质量大、耗铜多。

按照牵引发电机和牵引电动机所采用的电流制不同，电力传动装置分为直-直流、交-直流、交-交流三类。



(1) 直-直流电传动装置。采用直流牵引发电机和直流串励牵引电动机，调速方法比较简单。直流串励牵引电动机的转速特性较软，适合于机车牵引。但直流牵引发发电机的功率受换向条件和机车限界尺寸以及机车轴重的限制，使直流电传动内燃机车的功率几乎限制在 2 200 kW 以下。我国 20 世纪 60 年代初开始生产，主要机型有 DF、DF₂、DFH₃ 型以及进口的 ND₁ 型、ND₂ 型。

(2) 交-直流电传动装置。这种传动方式采用交流牵引发电机，无换向器、结构简单、运行可靠、质量轻、维护简便，同时保留了直流串励牵引电动机调速的特点。我国 20 世纪 70 年代初开始生产，主要机型有 DF₄ 系列、DF₅ 系列、DF₇ 系列、DF₈ 系列、DF₁₁ 系列、DFH₁₀ 系列以及进口的 ND₄ 型、ND₅ 型等。

(3) 交-交流传动装置。交流传动装置采用交流牵引发电机和牵引电动机，因两者都是交流电机，故称为交流电传动。交流电传动可分为两种类型：具有中间直流环节的交-直-交电传动和没有中间直流环节的交-交电传动。

交-交变频装置输出的频率要低于输入频率，一般最高输出频率只能达到输入频率的 1/3，因而要求交流牵引发电机具有较高的频率，适合原动机转速较高的设备。交-交变频装置应用于大功率机车还存在一些困难和问题，比如控制系统复杂、可靠性差、成本高等。

四、国产电力机车的发展概况

我国电力机车自 1958 年诞生至今，已走过了 60 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调压，其发展历程如表 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
	1969	SS ₂	C ₀ -C ₀	4 620	770	抱轴	100	客/货
第二代	1978	SS ₃	C ₀ -C ₀	4 350 (持续)	800	抱轴	100	客/货
第三代	1985	SS ₄	2 (B ₀ -B ₀)	6 400	800	抱轴	100	货运
	1990	SS ₅	B ₀ -B ₀	3 200	800	抱轴	140	客运
	1991	SS ₆	C ₀ -C ₀	4 800	800	抱轴	100	客/货
	1992	SS ₇	B ₀ -B ₀ -B ₀	4 800	800	抱轴	100	货运
	1992	SS _{3B} (4 000)	C ₀ -C ₀	4 350 (持续)	800	抱轴	100	客/货



续表

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	1993	SS ₄ G	2 (B ₀ -B ₀)	6 400	800	抱轴	100	货运
	1994	SS ₈	B ₀ -B ₀	3 200	800	架承	170	客运
	1995	SS ₆ B	C ₀ -C ₀	4 800	800	滚抱	100	货运
	1997	SS ₄ B	2 (B ₀ -B ₀)	6 400	800	滚抱	100	货运
	1997	TM ₁	B ₀ -B ₀	3 200	800	架承	140	客运
	1998	SS ₇ B	B ₀ -B ₀ -B ₀	4 800	800	滚抱	100	货运
	1998	SS ₉	C ₀ -C ₀	4 800/5 400	800/900	架承	170	客运
	1999	DDJ ₁	B ₀ -B ₀	4 000	1 000	架承	200	客运
	1999	SS ₇ C	B ₀ -B ₀ -B ₀	4 800	800	滚抱	120	货运
	2001	SS ₇ D	B ₀ -B ₀ -B ₀	4 800	800	架承	170	客运
	2001	SS ₇ E	B ₀ -B ₀	4 800	800	架承	170	客运
	2002	SS ₃ B	2 (C ₀ -C ₀)	2×4 350 (持续)	800	滚抱	100	货运

国产交-直型电力机车代表车型为韶山 (SS)，第一代产品 SS₁ 型电力机车，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 型电力机车，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-直传动方式，仅以调压调速方式和单轴功率等级来区分。

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，体现了现代牵引动力发展的方向，其代表车型为和谐 (HX_D)、高速动车组 (CRH)、复兴 (FXD)，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	4 800-4 (4×300)	300	架悬	200	客运

续表

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	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	SSJ ₃	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	
	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 ₁ B	C ₀ -C ₀	9 600	1 600	滚抱	120	货运
			HXD ₁ C	C ₀ -C ₀	7 200	1 200	滚抱	120	货运
			HXD ₁ D	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 ₂ B	C ₀ -C ₀	9 600	1 600	滚抱	120	货运
			HXD ₂ C	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 ₃ B	C ₀ -C ₀	9 600	1 600	滚抱	120	货运
			HXD ₃ C	C ₀ -C ₀	7 200	1 200	滚抱	120	货运
			HXD ₃ C	C ₀ -C ₀	7 200	1 200	滚抱	160	客运
			HXD ₃ D	C ₀ -C ₀	7 200	1 200	滚抱	120	客运
	FXD ₁	2(B ₀ -B ₀)	11 200	1 400	滚抱	160	客运		
	FXD ₃	2(B ₀ -B ₀)	11 200	1 400	滚抱	210	客运		

五、 国产内燃机车的发展概况

我国内燃机车自 1958 年诞生至今，也已走过了 60 多年的历程，形成了四代产品。

第一代机车是机车的仿制阶段（1964—1984 年），主要技术特点是：柴油机基本上是仿制产品，采用自主设计的电传动装置或液力传动装置；技术性能和可靠性较早期试制的机车有一定的提高，可以有效地投入铁路牵引作业。代表车型有 DF 型电传动货运内燃机车、DF₁₁ 型液力传动客运内燃机车、DF₂ 型电传动调车机车、DF₃ 型电传动客运机车等。

第二代机车是机车的自主开发阶段（1969—1999），主要技术特点是：柴油机是我国自主开发的产品，采用自主设计的电传动装置或改进的液力传动装置；技术性能和可靠性有较大提高。代表车型有 DF₄、DF₇、DF₅ 等，其主要技术参数如表 0.3 所示。

表 0.3 国产第二代电传动内燃机车的主要技术参数

年代	型号	轴列式	机车功率 /kW	柴油机型号	最高速度 / (km/h)	传动方式	用途	制造厂
1982	DF ₇	C ₀ -C ₀	1 470	12 V 240ZJ1	100	交-直电	调车	二七
1984	DF _{4B}	C ₀ -C ₀	2 426	16 V 240ZJB	100	交-直电	客/货	大连 资阳 大同
1984	DF ₅	C ₀ -C ₀	1 213	8240ZJ	100	交-直电	调车	二七
1984	DF ₈	C ₀ -C ₀	3 309	16 V 280ZJ	100	交-直电	货运	戚墅堰
1985	DF _{4C}	C ₀ -C ₀	2 647	16 V 240ZJC	100	交-直电	货运	四方
1990	DF _{7B}	C ₀ -C ₀	1 840	12 V 240ZJ7	100	交-直电	调车	二七
1991	DF _{7C}	C ₀ -C ₀	1 470	12 V 240ZJ6	100	交-直电	调车	二七
1993	DF _{7B} 双机	2 (C ₀ -C ₀)	2 × 1 840	12 V 240ZJ7	100	交-直电	货运	二七
1994	DF _{4E} 双机	2 (C ₀ -C ₀)	2 × 2 430	16 V 240ZJB	100	交-直电	货运	四方 大连
1995	DF _{7D}	C ₀ -C ₀	1 840	12 V 240ZJ6A	100	交-直电	货运	二七

第三代机车是机车的发展阶段（1992—至今），主要技术特点是：采用与国外合作开发的新型柴油机和自主设计的交-直传动装置；采用计算机控制系统，可靠性大幅提高，技术性能可与国外先进的同类产品媲美，在我国铁路第六次大提速中起到了重要作用。代表车型有 DF₆、DF₁₁、DF_{4D} 等，其主要技术参数如表 0.4 所示。

表 0.4 国产第三代电传动内燃机车的主要技术参数

年代	型号	轴列式	机车功率 /kW	柴油机型号	最高速度 / (km/h)	传动方式	用途	制造厂
1989	DF ₆	C ₀ -C ₀	2 940	16 V 240ZJD	118	交-直电传动	货运	大连
1992	DF ₁₁	C ₀ -C ₀	3 610	16 V 280ZJA	160	交-直电传动	客运	戚墅堰
1996	DF _{4D}	C ₀ -C ₀	2 940	16 V 240ZJD	140	交-直电传动	客运	大连
1997	DF _{8B}	C ₀ -C ₀	3 680	16 V 280ZJA	100	交-直电传动	货运	戚墅堰



第四代机车是机车发展的第二阶段，1999 年我国研制成功第一台交流传动内燃机车，标志着我国进入交流电传动时代，其技术特点是：柴油机主要是与国外合作开发的新型产品，大多采用电子喷射系统；采用交流电传动形式，计算机控制系统；技术性能接近国外同类产品的先进水平；在运行试验和运行考核中可靠性良好；机车最大功率大于 4 400 kW，能满足列车重载的牵引需求。代表车型有 DF_{4DJ}、DF_{7J}、DF_{8BJ} 等，其主要技术参数如表 0.5 所示。

表 0.5 国产第四代电传动内燃机车的技术参数

年代	型号	轴列式	机车功率/kW	柴油机型号	最高速度/(km/h)	传动方式	用途	制造厂
1999	NJ1	C ₀ -C ₀	1 324	8240ZJ	80	交-直-交电传动	调车	四方
2000	DF _{4DJ}	C ₀ -C ₀	2 940	16 V 240ZJD	145/100	交-直-交电传动	客/货运	大连
2001	DF _{8BJ}	C ₀ -C ₀	4 000	16 V 280/285ZJD	120	交-直-交电传动	货运	资阳
2003	DF _{8CJ}	C ₀ -C ₀	4 410	R16 V 280ZJ	120	交-直-交电传动	货运	戚墅堰
2006	DF _{8DJ}	C ₀ -C ₀	4 780	Cat3616	120	交-直-交电传动	货运	戚墅堰
2008	HX _{N3}	C ₀ -C ₀	4 660	16 V 265H	120	交-直-交电传动	货运	大连
2008	HX _{N5}	C ₀ -C ₀	4 660	GEVO-16	120	交-直-交电传动	货运	戚墅堰

国产机车随着电力电子技术、微电子技术、计算机技术的发展而不断发展，经历了有节点控制：SS₁ 型电力机车、DF₄ 型内燃机车等；模拟控制：SS_{4G} 型电力机车、DF_{4B} 型内燃机车等；微机控制：SS_{7E} 型、HX_{D3} 型电力机车，DF₁₁ 型、HX_{N5} 内燃机车等的发展历程。国内外大功率电传动机车发展的特点如下：

- (1) 普遍采用交-直流电传动，大力发展交-直-交电传动。
- (2) 使用新型大功率电子元器件，提高电传动系统的可靠性。
- (3) 机车部件通用化，甚至可以内燃、电力机车两用，以便集中生产，提高产品质量，降低制造成本。

思考题

1. 电力机车为外接能源的（ ）式机车，内燃机车为自带能源的（ ）式机车。



2. 交流电传动机车一般采用（ ）电传动系统。
3. 电力机车按照电流制和传动形式分为哪四类？



我国牵引动力的发展概述



内燃机车发展概述

电力牵引传动系统

知识目标

- (1) 掌握电力牵引传动系统的组成和功能。
- (2) 了解 CRH₂ 型动车组牵引控制系统的结构和功能。

技能目标

- (1) 能正确描述电力牵引传动系统的类型和特点。
- (2) 能正确描述电力机车的工作原理。
- (3) 能正确描述内燃电传动机车的工作原理。

素质目标

- (1) 了解我国装配制造业的发展历程，增强民族自豪感。
- (2) 培养学生获取信息、查找资料的能力。



电力牵引
传动系统

任务一 机车的工作原理

任务提出

要应用机车，就需要知道机车的工作原理。本节主要分析交-直型、交-直-交型机车的工作原理。

任务目标

- (1) 能分析交-直型、交-直-交型电力机车的工作原理；

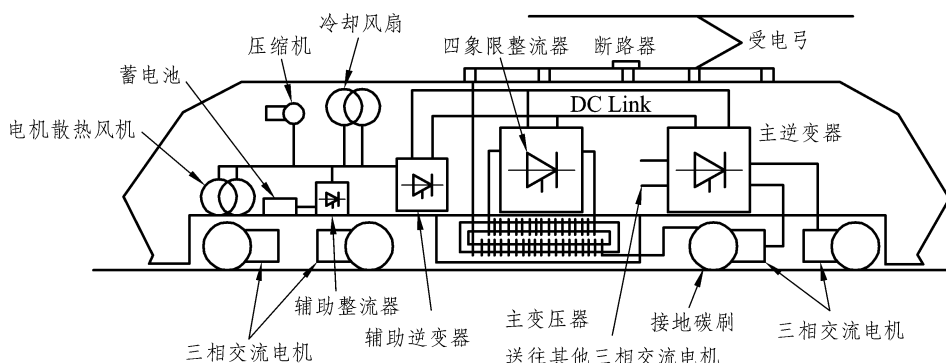


图 1.2 交-直-交型电力机车传动系统模块

电力机车和动车组通过受电弓、主断路器将接触网的单相交流电引入牵引变压器，经牵引变压器降压后送入四象限整流器，将单相交流电整流为直流电，经中间直流环节储能和滤波后，送入电机侧的逆变器，将直流电逆变成电压和频率可调的 VVVF（变压变频）三相交流电供给异步牵引电动机，实现对转矩、转速的控制。牵引时，电能从电网流向异步牵引电动机，电能被转化成机械能产生牵引力。电气制动时，列车的机械能被牵引电动机转化为电能，经变流器变换为单相交流电，通过牵引变压器升压后回馈给电网。电气制动采用再生制动方式，机车功率因数接近于 1。

二、内燃机车工作原理

电传动内燃机车，由柴油机驱动牵引发电机发电，并经过一套电气传动装置向安装在机车动轮上的牵引电动机供电，以驱动机车。

1. 交-直型内燃机车的工作原理

交-直型内燃机车的工作原理如图 1.3 所示。

柴油机驱动三相交流牵引发电机 F → 发电机发出来的三相交流电 → 经硅整流器整流后 → 向直流牵引电机 M 供电 → 产生牵引力驱动列车前进。

2. 交-直-交型内燃机车的工作原理

在交-直-交型内燃机车的交流发电机与交流电动机之间设有整流装置和逆变装置，如图 1.4 所示。

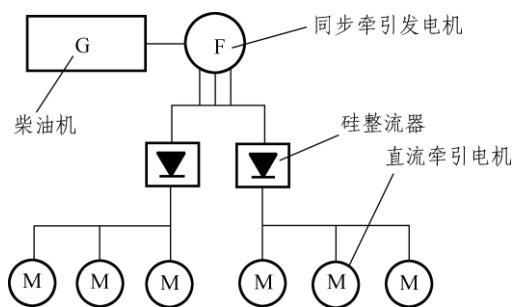


图 1.3 交-直流电传动内燃机车的工作原理



动控制的性能，造成列车控制不稳定、停车不准确、列车晚点等，严重时还会造成机车丧失牵引力、制动力。

任务目标

- (1) 能描述电力牵引传动控制系统的功能和类型。
- (2) 掌握内燃机车传动装置的组成和各部分的作用。
- (3) 掌握电力机车传动装置的组成和各部分的作用。
- (4) 加强学生家国情怀教育，弘扬中国传统文化。

任务内容

一、电力牵引传动控制系统的类型

电力牵引传动控制系统以牵引电动机为控制对象，通过开环或闭环控制牵引电动机的转速和转矩，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。根据驱动电机类型的不同，电力牵引传动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、交-直型机车也称为直流传动机车；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、交-交型机车也称为交流传动机车。

1. 直流传动控制系统

使用直流（脉流）牵引电动机的直流传动机车，具有优异的调速性能，但也存在以下缺点。

- (1) 直流牵引电动机具有换向器，在换向器和电刷之间容易出现火花甚至引起环火，可靠性差。
- (2) 电机结构复杂、体积大、质量大、增加了机车的轴重，动力学性能受到影响。
- (3) 电机功率一般小于 1 000 kW，最高转速在 3 000 r/min 以下，无法满足高速和重载铁路的需求。

2. 交流传动控制系统

使用交流异步牵引电动机的交流传动机车，已经成为铁路运输的主要车型，其特点如下。

- (1) 交流电动机无换向器，结构简单、体积小、运行可靠。
- (2) 机车功率因数高，具有良好的防空转、防滑行性能。
- (3) 电机功率大于 1 000 kW，最高转速在 3 000 r/min 以上。

交流传动机车是近代铁路牵引技术的重大突破。20 世纪 80 年代初，交流传动技术开始应用于机车，并取得了快速发展。我国从 1991 年开始研制交流传动机车，

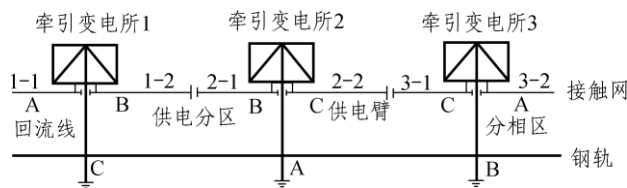


图 1.6 电分相示意图

国内接触网上每隔 20 ~ 25 km 就有一段长约 30 m 的供电死区，在此无电区外一定距离设置“断”“合”提示牌，如图 1.7 所示。机车通过时断开主断路器，惰行通过无电区后重新闭合。受电弓无电流情况下进出分相区，保证了受电弓和接触网的安全。

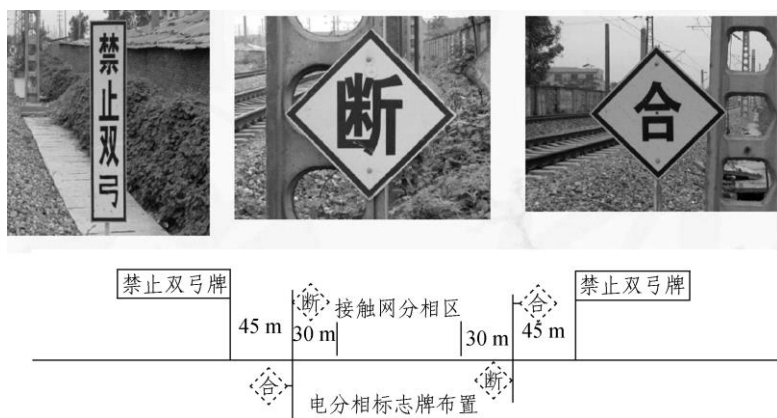


图 1.7 电分相标志牌

2. 牵引动力装置

(1) 高压电器设备。完成从接触网到牵引变压器的接通与断开，主要电器有受电弓、主断路器、避雷器、高压电压互感器、高压电流互感器等。

(2) 牵引变压器。将接触网 25 kV 高压电转换成机车电器合适的各种电压，次边包含多个绕组。

(3) 牵引变流器。在直传动机车中采用半控桥式整流电路将单相交流电整流成大小可调的直流电；在交流传动机车中采用交-直-交变频器将恒压恒频 (CVCF) 的单相交流电变为调压调频 (VVVF) 的三相交流电，供牵引电动机使用，达到调速的目的。

(4) 牵引电动机。实现能量转换，产生牵引力和制动力。

三、内燃机车电传动装置的组成

交-直流电传动内燃机车，由柴油机驱动一台交流发电机，发电机发出三相交流电，经过整流器整流后，供直流牵引电动机使用，用以驱动机车动轮。DF₄ 型内燃机车结构如图 1.8 所示。



系统集成技术、轻量化技术、高速转向架技术、交流传动技术、高速受流技术、高速制动技术、网络控制技术、人机工程技术、节能环保技术等方面达到了世界先进水平。

任务目标

- (1) 了解动车组牵引动力的配置方式。
- (2) 能分析 CRH₂ 型动车组的牵引传动系统。
- (3) 掌握 CRH₂ 型动车组先进技术，学习工匠精神。



高速动车组技术

任务内容

高速列车可以采用传统的机车牵引形式，也可以采用动车组牵引形式，由于动车组的轴重低，可以减少对线路的破坏作用，因此世界上大部分高速列车采用动车组牵引形式。

一、动车组分类

动车组具有高速、高效、经济、灵活的特点，可分为动力集中动车组和动力分散动车组两种。

动力集中动车组是铁路运输中传统的运行方式，由一台动力机车牵引数个无动力车辆在轨道上行驶，如图 1.9 所示。动力机车大多在列车的最前端牵引车辆，也有在车尾逆推牵引的情况，除用于客运外，也可用于货运和军事。

相对于动力集中式动车组，动力分散式动车组是一种动力分散在多个车厢的铁路列车，如图 1.10 所示。其特点是动力来源分散在列车各个车厢上的发动机或电动机，而不是集中在机车上。动力分散型动车组具有牵引功率大、轴重小、起动加速性能好、可靠性高、列车利用率高、编组灵活的优点，是当今动车组技术发展的方向。

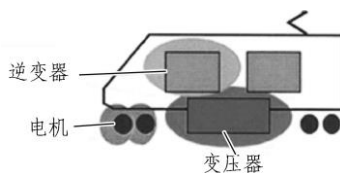


图 1.9 动力集中型动车组

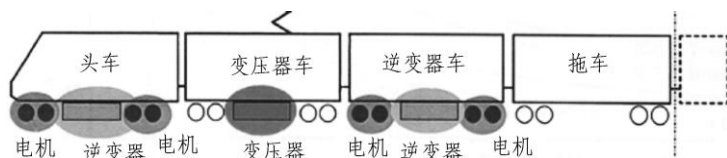


图 1.10 动力分散型动车组

动车组依据动力来源可分为两类：使用柴油机的内燃动车组和以接触网或第三轨提供电力来驱动牵引电动机的电力动车组。



T1K-M2-M1s-T2c，其中相邻的两辆动车为一个基本动力单元。每个动力单元具有独立的牵引传动系统。

CRH₂型动车组采用交流传动系统，主要由受电弓（包括高压电器设备）、牵引变压器、脉冲整流器、中间环节、牵引逆变器、牵引电动机、齿轮传动等组成。受电弓从接触网获得 AC 25 000 V/50 Hz 电源，为了满足动车组牵引特性的要求，牵引电动机需要电压频率均可调节的三相交流电源。牵引传动系统组成如图 1.11 所示。

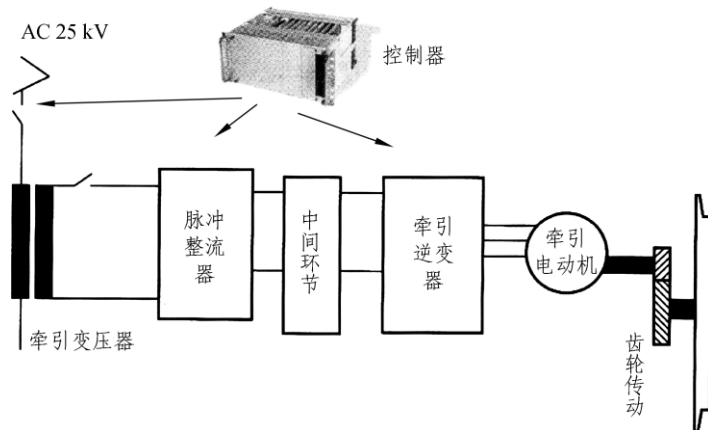


图 1.11 CRH₂ 动车组牵引传动系统组成图

2. 牵引传动系统能量变换及传递

列车牵引运行是将电能转换成机械能，能量变换与传递的途径如图 1.12 黑色箭头所示；再生制动运行是将机械能转换成电能，能量变换与传递的途径如图 1.12 白色箭头所示。

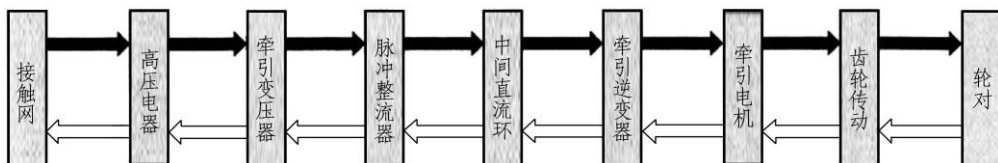


图 1.12 能量变换与传递途径示意图

列车牵引运行时：受电弓将接触网 AC 25 kV 单相工频交流电，经过相关的高压电气设备传输给牵引变压器，牵引变压器降压输出 1 500 V 单相交流电供给牵引变流器，脉冲整流器将单相交流电变换成直流电，经中间直流电路将 DC 2 600 ~ 3 000 V 的直流电输出给牵引逆变器，牵引逆变器输出电压/频率可调的转矩和转速，通过齿轮变速箱传递给轮对驱动列车运行，实现电能到机械能的转换。

再生制动时：控制牵引逆变器使牵引电动机处于发电状态，牵引逆变器工作于整流状态，牵引电动机发出的三相交流电被整流为直流电并对中间直流环节进行充

(1) 车顶电气设备布置。

在各车辆间，主电路采用高压电缆和高压电缆连接器连接。动车组在 2 号车后部、3 号车前后部、4 号车前部、5 号车后部、6 号车后部的车顶上设置直线型高压电缆连接器，4 号车后部、5 号车前部的各车顶上，为了方便摘挂，设置了高压电缆用倾斜型电缆连接器，通过这些高压连接器接通高压电缆。在 4、6 号车前部车顶安装受电弓和保护接地开关。

(2) 动车组车底电气设备布置。

CRH₂ 型动车组以 2 动 2 拖为一个基本动力单元。一个基本动力单元的牵引传动系统主要由网侧高压电气设备、1 个牵引变压器、2 个牵引变流器、8 台三相交流异步牵引电动机等组成。全列车共计 2 个受电弓、2 个牵引变压器、4 个牵引变流器、16 台牵引电动机。牵引传动系统的供电设备布置在 4、6 号车车顶，电传动设备布置在 2、6、3、7 号车的车底。

5. 牵引传动系统的特点

CRH₂ 型动车组牵引传动系统采用交流传动，在牵引变压器、牵引变流器、牵引电动机、控制策略等方面有其显著的特点。

(1) 牵引变压器采用壳式结构、车体下吊挂安装、油循环强迫风冷。牵引绕组为两个独立线圈，确保牵引绕组的高电抗、弱耦合性。

(2) 牵引变流器主电路采用两开关功率器件串联与中点带钳位二极管的方案，功率开关器件采用 IPM 智能功率模块或 IGBT 模块。其中 IPM 是将 IGBT 功率器件驱动电路、保护电路等封装在一个模块内的新型电力电子器件，是 IGBT 集成化、智能化的一种应用方式。除具有 IGBT 的优点外，驱动功率小，吸收回路简单，器件模块本身具有检测和自保护功能。可以采用多个并联以增大电流容量。

(3) 采用单相三电平 PWM 脉冲整流器，即使在开关频率很低时，其输入侧的电流波形也能保证一定的正弦度，从而减小对通信系统的谐波干扰。

(4) 牵引变流器中间直流环节不设二次谐波滤波装置，减轻了牵引变流器和牵引变压器的质量。

(5) 逆变器采用三电平拓扑结构，有利于减小相邻电路状态转换时引起的电压和电流波动，从而有利于降低损耗，提高电动机效率，减少转矩脉动。

(6) 牵引电动机具有良好的牵引特性，可以实现宽广范围的平滑调速。使机车起动时产生较大的起动转矩；异步电动机结构简单，可靠性高，同直流电动机相比，没有因换向引起的电气损耗和机械损耗，没有环火，运行可靠性进一步提高；耐振动、耐风雪，可以在多尘、潮湿等恶劣环境下正常运行；电动机过载能力强；转速高，功率/质量比高，有利于电动机悬挂；转矩-速度特性较陡，可抑制空转，提高黏着利用率。

(7) 牵引电动机采用矢量控制策略。把定子电流分解成转子磁场定向坐标系下的励磁电流分量和转矩电流分量，实现了定子电流的完全解耦，控制方式简单，使整个牵引传动系统具有良好动态性能和控制精度。



思考题

1. CRH₂型动车组采用()传动方式, 8辆编组, 有()辆动车。
2. 动车组依据动力来源可分()动车组和()动车组。
3. 简述 CRH₂型动车组牵引传动系统的特点。

