



普通高等教育铁道部规划教材

机车电传动与控制

胡汉春 主编 张 黎 主审



中国铁道出版社
CHINA RAILWAY PUBLISHING HOUSE

内 容 简 介

本书为普通高等教育铁道部规划教材,主要以内燃机车电传动为基础,增加了电力机车的内容,讲述了机车在传动与控制方面的内容,其主要内容包括:机车电传动概述、牵引电机、内燃机车交一直流传动、电力机车交一直流传动、内燃机车交流传动、电力机车交流传动、机车电气制动、机车微机网络控制系统、机车电器等内容。

本书可作为大学机车方向本专科或者研究生教材,抽取部分章节也可供高职学生使用,可供现场技术人员参考用书。

图书在版编目(CIP)数据

机车电传动与控制/胡汉春主编. —北京:中国铁道出版社,2012.5
普通高等教育铁道部规划教材
ISBN 978-7-113-13607-9

I. ①机… II. ①胡… III. ①机车—电力传动—高等学校—教材②机车—控制系统—高等学校—教材 IV. ①U260.13

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2012)第 034999 号

书 名: 机车电传动与控制
作 者: 胡汉春 主编

策 划: 阚济存 编辑部电话: 010-51873133 电子信箱: td51873133@163.com
责任编辑: 阚济存
编辑助理: 杜丽君
封面设计: 崔丽芳
责任校对: 胡明锋
责任印制: 李 佳

出版发行: 中国铁道出版社(100054,北京市西城区右安门西街8号)
网 址: <http://www.tdpress.com>
印 刷: 北京市昌平开拓印刷厂
版 次: 2012年5月第1版 2012年5月第1次印刷
开 本: 787 mm×1 092 mm 1/16 印张: 26 字数: 656 千
印 数: 1~3 000 册
书 号: ISBN 978-7-113-13607-9
定 价: 48.00 元

版权所有 侵权必究

凡购买铁道版图书,如有缺页、倒页、脱页者,请与本社读者服务部调换。

电 话: 市电(010) 51873170, 路电(021) 73170(发行部)

打击盗版举报电话: 市电(010) 63549504, 路电(021) 73187

前 言

本书是普通高等教育铁道部规划教材,是由铁道部教材开发领导小组组织编写,并经铁道部相关部门审定,适用于高等院校铁路特色专业教学以及铁路专业技术人员用。本书为铁道机车车辆系列教材之一。

本教材的前身《内燃机车电力传动》由中国铁道出版社 1990 年出版,为历届内燃机车专业、机车运用专业及其他相关专业的专业教学发挥了重要作用,培养了无数的优秀人才。然而,由于原主编曹国瑞教授英年早逝,该教材至今未作任何修改。为了弥补原教材内容的不足,从事机车专业教学的教师一般采用自编讲义来补充新的教学内容,但在教学过程中仍深感不便,迫切需要一本全新的正式出版的专业教材来满足专业教学的需求。

二十几年来,我国机车工业已发生了巨大的变化,新技术、新工艺不断涌现,内燃机车机型已发展到了第四代,而内燃机车电传动系统则是发展最快的技术领域之一,拥有最新的电力电子技术、车载微机控制技术、网络控制技术、交流传动技术,这些无疑为从事该技术领域的学者和工程技术人员提供了用武之地。与此同时,我国的电气化铁路建设也在大规模增长,到 2010 年底,在全国铁路运营总里程 9.1 万 km 中电气化铁路里程已达 4.2 万 km,并将继续增长;电力牵引技术得到了迅速发展,电力牵引的换算周转量比重大幅度提高,客运专线、运煤专线、主要干线及长大坡道、长隧道、大部分高海拔地区等线路,均采用电力牵引。为了让机车车辆专业的学生掌握应该具备的专业基础理论知识,学习最先进的机车技术,以适应铁路的快速发展,本书在原教材的基础上进行了较大篇幅的修改,增加了许多新的教学内容;为了拓宽专业面,本书还编入了较大篇幅的电力机车牵引传动的新内容,因此本书更名为《机车电传动与控制》。

本书充分考虑到专业教材的传承性与系统性,将机车电传动理论与技术相结合,通用技术与典型机车相结合,并重介绍内燃机车电传动和电力机车电传动的相关教学内容(有关两类机车的共性内容在内燃机车中介绍后就不再重复)。机车交流传动已是我国铁路今后发展的方向,近几年来通过技术引进、吸收、再创新,新型的交流传动机车已开始批量投入运用,为此本书作为重点编入了新的交流传动教学内容;同时考虑到我国铁路的现状,占有大多数保有量的交—直流传动机车还将有很长的运用时期,因此本书仍将交—直流传动作为编写的重点之一,但融入了交—直流传动的最新技术。本书既可作为机车车辆专业及相关专业本科生、研究生的专业教材,也可作为工程技术人员的技术参考书。



本书由胡汉春主编,吕刚、黄海凤副主编,张黎主审。全书共分九章,其中第一、四、五、八、九章由胡汉春编写,第二章由吕刚、胡汉春编写,第三、七章由黄海凤编写,第六章由胡汉春、吕刚编写。

在本书的编撰过程中,西南交通大学王月明教授和王伯铭教授为本书提出了宝贵意见,相关单位提供了宝贵的技术资料,在此表示诚挚的感谢。

编 者

2012 年 5 月

目 录

第一章 机车电传动概述	1
第一节 内燃机车电传动装置的功用	1
第二节 内燃机车电传动的分类及其组成	3
第三节 电力牵引系统的组成和电力机车传动的分类	6
第四节 牵引供电系统	10
第五节 机车电传动的发展特点	13
第六节 我国内燃机车工业的发展	13
第七节 我国电力机车工业的发展	18
复习思考题	22
第二章 牵引电机	23
第一节 直流牵引电动机	23
第二节 交流异步牵引电动机	50
第三节 交流同步牵引发电机	72
复习思考题	88
第三章 内燃机车交—直流传动	90
第一节 交流牵引发电机的理想外特性	90
第二节 牵引发电机恒功率励磁系统的基本工作原理	94
第三节 机车联合调节器恒功率励磁系统	100
第四节 机车电子恒功率励磁系统	107
第五节 微机控制的恒功率励磁系统	119
第六节 牵引电动机磁场削弱及串—并联换接	134
第七节 电传动装置主要调节参数及其选择	142
第八节 主电路的接地和过电流过电压保护	147
第九节 机车的防空转防滑行保护	150
复习思考题	156
第四章 电力机车交—直流传动	159
第一节 交—直流传动结构及工作方式	159
第二节 相控整流电路	162
第三节 整流电路的功率因数及提高功率因数的措施	167
第四节 电力牵引特性	170



· 第五节 SS ₉ 型客运电力机车交—直流传动系统	175
· 复习思考题	195
第五章 内燃机车交流传动	196
· 第一节 概 述	196
· 第二节 变压变频装置的结构形式	198
· 第三节 牵引逆变器	202
· 第四节 变频调速控制策略	227
· 第五节 内燃机车交—直—交传动系统	233
· 复习思考题	253
第六章 电力机车交流传动	255
· 第一节 脉冲整流电路	256
· 第二节 HXD ₁ 型大功率交流传动电力机车电气系统简介	263
· 第三节 HXD ₂ 型大功率交流传动电力机车电气系统简介	268
· 第四节 HXD ₃ 型大功率交流传动电力机车电气系统简介	276
· 复习思考题	288
第七章 机车电气制动	289
· 第一节 机车电气制动的作用	289
· 第二节 交—直流传动内燃机车电阻制动	290
· 第三节 交—直流传动电力机车电气制动	305
· 第四节 交流传动机车电气制动	313
· 复习思考题	315
第八章 机车微机网络控制系统	316
· 第一节 概 述	316
· 第二节 DF _{11G} 型内燃机车微机网络控制系统	320
· 第三节 HXN ₅ 型交流传动内燃机车微机网络控制系统	327
· 第四节 HXD ₁ 型交流传动电力机车微机网络控制系统	341
· 第五节 HXD ₂ 型交流传动电力机车微机网络控制系统	346
· 第六节 HXD ₃ 型交流传动电力机车微机网络控制系统	352
· 第七节 HXD _{3B} 型交流传动电力机车微机网络控制系统	361
· 复习思考题	367
第九章 机车电器	368
· 第一节 概 述	368
· 第二节 接 触 器	373
· 第三节 司机控制器	380



第四节 工况转换开关和方向转换开关.....	387
第五节 继 电 器.....	388
第六节 电磁联锁、差示压力计	393
第七节 电压调整器、升压模块	394
第八节 电力机车高压电器.....	397
复习思考题.....	407
参 考 文 献	408

第一章

机车电传动概述

第一节 内燃机车电传动装置的功用

内燃机车是列车的牵引动力,内燃机车的原动机是柴油机。从柴油机到机车轮对之间需要一套速比可变的中间环节,称为传动装置。内燃机车的传动装置分为两大类,一类是电传动装置,另一类是液力传动装置。由一套电气设备组成的中间环节,称为电传动装置。如图 1-1 所示,其任务是使柴油机的工作特性适合于机车牵引特性的要求。

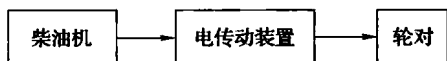


图 1-1 内燃机车电传动示意图

对于任何机车的基本要求是机车在运行时能经常利用其动力装置的额定功率。令 F 为机车在速度 v 时的牵引力,柴油机的额定功率为 P_{eN} ,自柴油机至机车轮周的传动效率为 η ,则

$$P_{eN}\eta = \frac{Fv}{3.6} \quad (1-1)$$

式中 P_{eN} ——柴油机功率,kW;
 F ——机车牵引力,kN;
 v ——机车速度,km/h;
 η ——传动装置效率,%。

根据上述要求,机车运行时应保证柴油机额定功率不变。暂假设传动效率 η 不变时,由上述可知, $F \cdot v = \text{常数}$,即要求机车的牵引力 F 与机车的速度 v 成反比的变化关系,如图 1-2 所示。对机车牵引特性的主要要求是尽可能扩大这种恒功率特性的调速范围,但实际上,最大牵引力 $F_{\max}$ 受机车动轮与钢轨之间黏着牵引力(阴影线段)的限制,最高速度 $v_{\max}$ 受机车构造速度的限制。这一曲线 $F=f(v)$ 通常称为内燃机车理想牵引特性曲线。与此对应的柴油机功率与机车速度的关系如图中 $P_{eN}=f(v)$ 曲线所示。由图可见,当机车按理想牵引特性曲线运行时,柴油机功率在机车主要的运行速度范围内都应保持恒定,也就是说柴油机功率经常能被充分利用。

如果在内燃机车上不采用任何传动装置,而将柴油机曲轴直接通过传动比不变的机构与机车动轴连接,既构成所谓直接驱动机车。如此一来,机车运行速度 v 与柴油机转速 n_e 、机车轮周牵引力 F 与柴油机扭矩 T_e 之间有着直接的关系,可以用下列公式表示:

$$v = \frac{60\pi D n_e}{10^3 \mu} \quad (1-2)$$

$$F = \frac{2T_e \mu \eta}{D} \quad (1-3)$$



式中 D ——机车动轮直径, m ;
 n_e ——柴油机转速, r/min ;
 T_e ——柴油机扭矩, $\text{kN} \cdot \text{m}$;
 μ ——柴油机与机车动轮之间的传动比;
 η ——传动效率, %。

公式(1-2)、(1-3)表明,若忽略传动效率 η 的变化,则可用柴油机扭矩 T_e 和转速 n_e 之间的关系来代表直接驱动的内燃机车牵引特性,两者的曲线形状完全相同。

柴油机的扭矩特性(即扭矩与转速之间的关系)和功率特性(即功率与转速之间的关系)如图 1-3 所示,该图也即直接驱动的内燃机车牵引特性和柴油机功率变化曲线。显然,它不符合图 1-2 所示的理想牵引特性的要求。当柴油机每循环供油量一定时,柴油机扭矩 T_e 几乎不随转速 n_e 的改变而改变,因此柴油机的功率 N 与其转速 n_e 近似成正比变化,柴油机只有在额定转速 n_{emax} 运行时才能发出额定功率 P_{eN} 。也就是说,采用直接驱动的机车,只有在对应柴油机额定转速的最高运行速度时柴油机功率才能得到充分利用,低于这个运行速度,柴油机功率得不到充分发挥,而且机车的运行速度越低,柴油机功率的利用也越低。

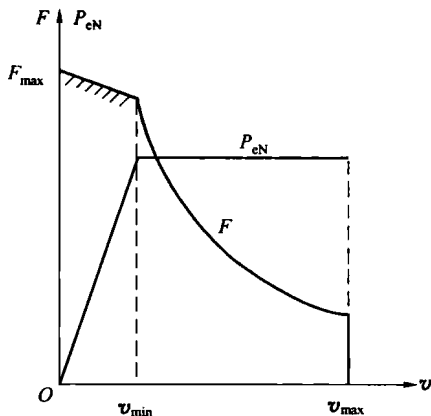


图 1-2 内燃机车理想牵引特性曲线及所对应的柴油机功率曲线

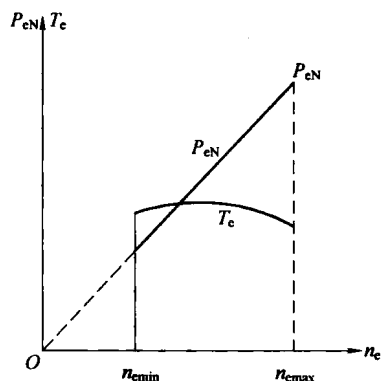


图 1-3 直接驱动的内燃机车牵引特性曲线及所对应的柴油机功率曲线

此外,柴油机的转速变化范围很窄,不能带负荷启动;而且承受过载能力很差,当转速低于最小工作转速 n_{emin} 时,就会“熄火”而停止运转;当超过最高工作转速 n_{emax} 时,会造成柴油机机械损坏;柴油机曲轴只能单方向旋转。因此直接驱动的内燃机车不能使列车启动和低速运行,不能改变运行方向,机车的运行速度范围和负载的变化受到限制。

内燃机车采用直接驱动方式还存在其他不能满足理想特性要求的问题,上述几点已足以证明在内燃机车上不能采用直接驱动方式。为此,必须在柴油机与机车动轴之间设置专门的传动装置。

柴油机在工作过程中应以降低燃油消耗量、减少废气排放、提高经济性能为目标。为此,在柴油机最小工作转速 n_{emin} 与最高转速 n_{emax} 的工作范围内,其输出的功率应按经济特性进行标定,即对应柴油机某一转速应对应某一最经济的输出功率。所以,为了使内燃机车在宽广的速度范围内能充分地、经济地利用柴油机的功率,电传动装置的主要任务是:不论机车在额定功率还是部分功率运行,都应当保持柴油机在某一转速下的功率恒定(对应的柴油机转速恒



定)。我们称这种传动装置为“内燃机车恒功率调速装置”。

由于内燃机车运行性能的好坏直接取决于传动装置性能的好坏,因此对电传动装置的要求除了进行恒功率调速外,还应具有其他功能。对电传动装置的要求一般可概括如下:

(1)当机车运行在需要柴油机发挥额定功率情况时,电传动装置应该使机车在尽可能大的速度范围内保持柴油机额定功率不变,以充分利用柴油机的功率;当机车仅需部分功率运行时,电传动装置应使柴油机按其经济特性恒功率运行。

(2)电传动装置应保证柴油机在无负载情况下启动。

(3)电传动装置可方便地进行机车运行方向和工况的转换。

(4)机车启动时,电传动装置应保持有足够大的牵引力,使机车启动加速快,同时应该保证机车启动过程平稳而无冲击。

(5)电传动装置应该具有较高的效率。

(6)电传动装置必须工作可靠,重量轻,体积小,维修方便。

第二节 内燃机车电传动的分类及其组成

一、内燃机车电传动的分类

内燃机车电传动是由柴油机带动一台牵引发电机,牵引发电机向安装在机车转向架上的数台牵引电动机供电,牵引电动机再通过车轴齿轮箱驱动机车的动轮使机车运行。可见内燃机车电传动装置中的两个最主要的部件是:牵引发电机和牵引电动机。按照在两种电机所用的电流制不同,电传动装置可分为三大类,即直流电传动、交一直流电传动和交流电传动。

1. 直流电传动

这种传动方式是采用直流牵引发电机和直流牵引电动机,又称直一直流电传动,如图 1-4 所示。柴油机直接驱动一台直流牵引发电机 G,将柴油机的机械能转变为电能,并供给数台直流牵引电动机 M。牵引电动机将电能转变为机械能,并通过传动齿轮箱驱动机车动轮。

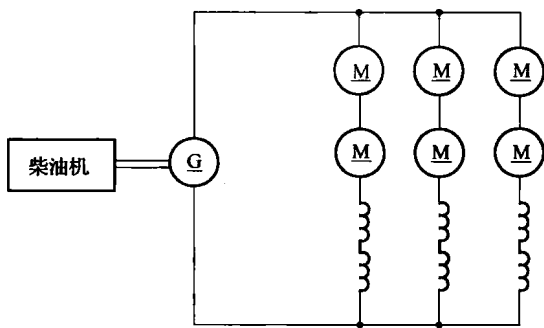


图 1-4 直流电传动

直流传动的特点是调速方法比较简便,通常用改变直流电动机端电压的方法即可达到调速的目的。

由于直流串励电动机的转速特性较软,适合于机车牵引,因此在直流电传动中,牵引电动机一般都采用直流串励电动机。在内燃机车发展的初期,由于牵引电动机是直流电机,因而就很自然地配用直流牵引发电机作为供电电源。这种传动方式沿用了很长一段时期,例如我国的 DF 型(东风型)、DF₂型、DF₃型以及进口的 ND₁型、ND₂型等机车都属于这种传动形式。

但是从 20 世纪 60 年代以来,内燃机车不断向大功率发展,柴油机的功率和转速不断提高,而直流牵引发电机的功率则受到换向条件和机车限界尺寸以及机车轴重的限制,使单机组直流传动内燃机车的功率几乎限制在 2 200 kW 以下。

2. 交一直流电传动

这种传动方式是采用交流牵引发电机,通过大功率硅整流器使交流电变为直流电,然后供



应给数台直流牵引电动机,如图 1-5 所示。

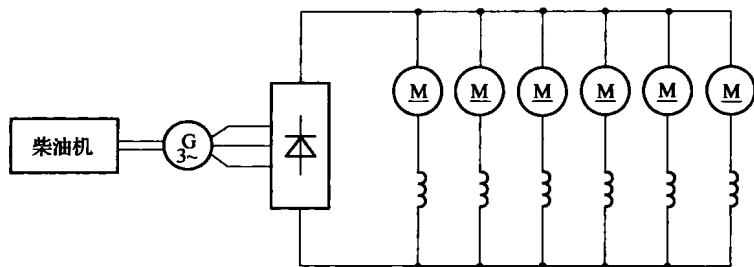


图 1-5 交—直流电传动

在这种传动方式中,一方面保留了直流电动机作为牵引电动机的特点,另一方面又采用交流牵引发发电机通过整流器取代了直流牵引发发电机,以克服制造大功率直流牵引发发电机换向时所出现的困难。由此可见,交直流传动和直流传动两者同属直流调速系统。但交流发电机与直流发电机相比,前者无换向器,故结构简单、运用可靠、省铜、重量轻、维护简便。在功率相等的条件下,交流牵引发发电机的重量约为直流牵引发发电机的一半。因此在同等重量或体积下,它的功率远比直流牵引发发电机大。在机车上交流牵引发发电机的功率突破了 2 200 kW 的限制,最大已超过 4 000 kW。

从 20 世纪 60 年代开始,国内外生产的大功率电传动内燃机车普遍采用了交一直流传动方式。我国生产的 DF₄ 型、DF₅ 型、DF₆ 型、DF₇ 型、DF₈ 型、DF₉ 型、DF₁₀ 型、DF₁₁ 型、DF₁₂ 型内燃机车以及进口的 ND₄ 型、ND₅ 型内燃机车都属于这种传动形式。

3. 交流电传动

这种传动方式采用交流牵引发发电机和交流牵引电动机,因两者都是交流电机,故称为交流电传动。

直流串励牵引电动机虽然具有良好的调速性能,但其主要缺点是在结构上有换向器,不仅重量和尺寸大、费铜,而且故障率高,维护保养麻烦,特别在直流牵引电动机大负荷、高转速工作时换向条件更为困难。因此限制了直流电动机在大功率、高速度机车上的应用。而交流电动机因无换向器,故不存在直流电机所具有的这些缺点。特别是鼠笼式交流异步电动机,具有结构简单、体积小、运行可靠等优点,应用于内燃机车上,不但可以提高单节机车的功率,而且由于交流电动机的硬特性使机车具备良好的防止动轮打滑的性能。因此,交流电传动在机车牵引中更具有优越性。

交流异步电动机的转速主要决定于它的供电电源的频率。当电源频率一定时,由于其机械硬特性,它的转速变化范围是很小的,因此,必须对其供电电源频率进行大范围的平滑调节,才能适应机车牵引速度变化宽广的要求。在内燃机车上,交流牵引发发电机的频率取决于柴油机的转速,而柴油机在一定功率下工作时它的转速是不变的,所以在一定的功率下发电机的频率也是不变的。因此交流电传动的关键是在交流牵引发发电机和交流牵引电动机之间设置一个功率大、调频宽的变频装置,以满足交流牵引电动机的调速要求。20 世纪 70 年代以来,随着电力电子及半导体技术的发展,大功率变频装置应运而生,为在内燃机车上采用交流电传动提供了技术条件,并成功地应用于内燃机车上。在国外发达国家,交流电传动已成为主要的牵引传动方式。近几年我国通过技术引进与自主开发相结合,交流电传动开始取代交一直流电传动,将成为我国机车主要的牵引传动形式。



按变频方式,交流电传动又可分为两种形式:

(1) 交—直—交电传动

具有中间直流环节的间接变频的交流电传动,称为交—直—交电传动,如图 1-6 所示。柴油机驱动交流牵引发电机,所发出的三相交流电经硅整流器 Z 整流为直流电,再经过牵引逆变器 N(可设一个或数个逆变器),将直流电转变为频率可调的交流电,供给数台交流牵引电动机。这样的间接变频,使逆变器输出的三相交流电的频率与牵引发电机发出的三相交流电的频率没有任何关系,中间直流环节起到滤波、稳压(或稳流)、隔离的作用。在机车起动和调速的整个工作范围内,交流牵引电动机的三相电源的频率都能平滑地调节。

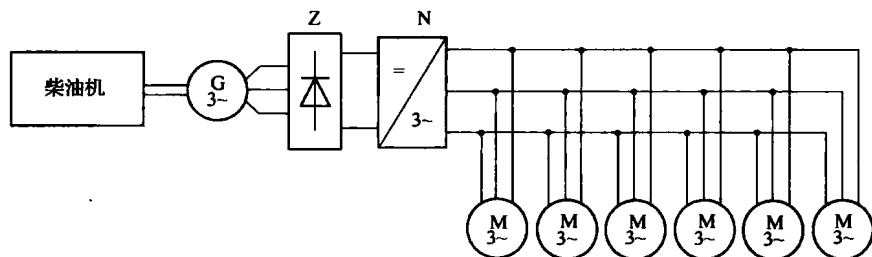


图 1-6 交—直—交电传动

Z—硅整流器;N—牵引逆变器

(2) 交—交电传动

没有中间直流环节的直接变频的交流电传动,称为交—交流电传动,如图 1-7 所示。由交流牵引发电机发出的三相交流电经一个或数个变频装置 BP 后,直接变为频率可调的三相交流电,供给交流牵引电动机。

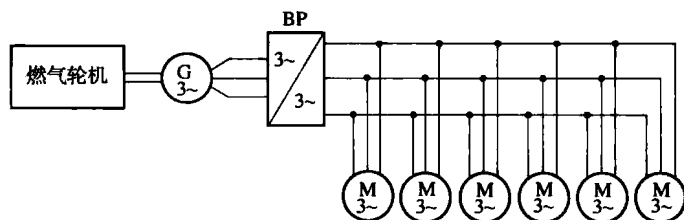


图 1-7 交—交电传动

BP—交—交变频装置

由于交—交变频装置输出的频率要低于输入频率,一般最高输出电源频率只能达到输入电源频率的 $1/3 \sim 1/2$,因而要求交流牵引发电机具有较高的频率。因此交—交传动比较适合于原动机转速较高的设备(如燃气轮机),至于装设中速柴油机的内燃机车,目前没有实用的交—交传动的方案。

从 1999 年 9 月我国研制成第一台 NJ₁ 型交流电传动内燃调车机车开始,已先后研制出 DF_{4DJ} 型、DF_{8BJ} 型、DF_{8CJ} 型、DF_{7J} 型、DF_{8DJ} 型交流电传动内燃机车样车;2005 年我国通过技术引进、消化吸收、再创新,开始批量生产“和谐”型——HXN3 型、HXN5 型交流电传动内燃机车。



二、内燃机车电传动系统的组成

电传动装置的各项功能是通过一定形式的电路连接各种电气设备得以实现的。电传动内燃机车上的电路,按其作用可以分为主电路、励磁电路、辅助电路和控制电路四大系统。

1. 主电路将产生机车牵引力和制动力的各种电气设备连成一个系统,实现机车的功率传输。主电路是电传动机车最重要的组成部分之一,它不但决定电传动机车的类型,而且在很大程度上决定该型机车的基本特性。因此主电路性能的优劣,在很大程度上决定了机车性能的好坏、投资的多少及运行费用的高低等主要技术经济指标。

2. 励磁电路通常是指内燃机车上保证柴油发电机组正常运行的励磁调节系统,它包括牵引发电机的励磁回路及励磁调节回路等。在交一直传动中进行恒功率励磁调节,应尽可能扩大牵引电机的恒功率范围,使机车在宽广的速度范围内都能充分发挥柴油机的功率、获得良好的经济运行特性,满足内燃机车牵引性能的要求。在交一直—交传动中对中间直流电压进行恒压励磁调节,向牵引逆变器提供稳定的直流电压。

3. 辅助电路将机车上的各种辅助电气设备和辅助电源连成一个系统,成为保证机车正常运转不可缺少的电气装置。机车上的这些辅助电气设备包括:通风机、空气压缩机、油泵等的拖动电机,启动、辅助发电机,照明设备等。

4. 控制电路将控制主电路、励磁电路和辅助电路各电气设备的控制电器、信号装置和控制电源连成一个电气系统,实现对机车的操纵和控制。控制电路包括各种主令电器、控制开关、继电器和电空阀等。司机通过控制电路的作用,可以控制主电路、励磁电路和辅助电路的各种电器按照一定的顺序动作(接通或断开),从而使机车按照司机的操作意图运行。随着电子技术、计算机技术的发展,电子控制系统及计算机控制系统已经应用于机车,实现了机车的自动控制。这些现代控制技术的应用提高了机车的牵引性能和运行的安全可靠,也是提高机车各项技术经济指标的有效措施之一。

第三节 电力牵引系统的组成和电力机车传动的分类

一、电力牵引系统的组成

电力牵引系统是由电力机车和牵引供电装置两大部分组成,如图 1-8 所示。

牵引变电所将来自发电厂(站)或区域变电所的三相高压交流电(线电压 110 kV/50Hz)变换成单相交流电(25kV/50Hz),经馈电线送入接触网;电力机车车顶上的受电弓与接触网接触,将电压引入到电力机车中牵引变压器的一次侧绕组(原边线圈),经车轴上的接地电刷装置、轮对、钢轨、回流线返回牵引变电所,这样就构成电力牵引高压侧回路。

牵引变压器属降压变压器,牵引变压器的二次侧绕组(副边线圈)获得所需的电压。变压器一次侧与二次侧的电压比是由它们的匝数比所决定的。二次侧绕组所获得的电压再送入牵引变流装置进行变换后,向牵引电动机供电,由牵引电动机驱动轮对使机车运行。

电力机车的电气线路按其作用的不同,可分为主电路、控制电路和辅助电路三大部分。

牵引电动机及其相连接的电气设备和导线组成了机车主电路,应满足机车起动、调速及制动三个基本工作状态的要求。起动、调速及制动是列车运行的基本规律,它们是通过机车主电路、控制电路和辅助电路共同作用实现的。为了充分发挥机车的功率,实现多拉快跑,就要求



机车不仅能在不同的线路和载荷条件下改变牵引力,而且还要求在相同的牵引力下得到不同的速度。由此可以看出,机车主电路必须保证牵引电动机的转矩和转速都可作独立的调节,而且要有宽广的调节范围。

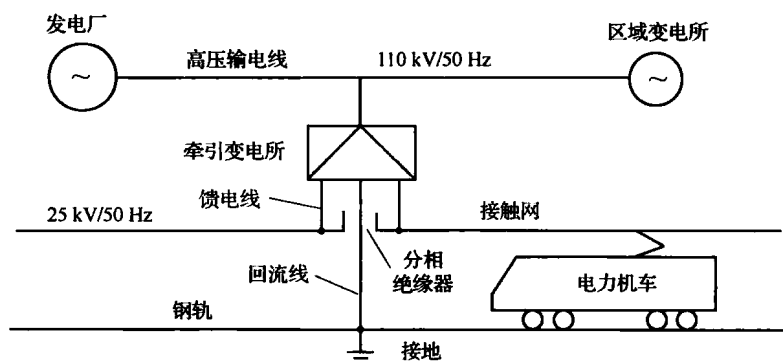


图 1-8 电力牵引系统组成

机车主电路是电力机车上的高电压、大电流的大功率动力回路。通过主电路的功率传递,将变电所的电能转变成适用于列车牵引所需要的牵引力。由于主电路的结构不同,会在很大程度上决定着机车的基本性能。电力机车性能的好坏,技术上难易的程度、投资的多少以及运行费用的高低和可靠性等重要技术经济指标,均与主电路的设计密切相关。

二、电力牵引的特点

电力机车是非自带能源式机车,电力牵引具有一系列内燃牵引所不及的优越性,主要表现在以下几方面:

1. 功率大

内燃机车的功率受到一次能源设备(柴油机)本身容量、尺寸和重量的限制,故机车功率不能过大。而电力机车不受上述条件的限制,机车功率(或单位重量功率)要大得多,目前单轴功率已达 1 000 kW(若交流牵引电动机可达 1 600 kW)。一台电力机车的牵引能力相当于 2 台(或更多一些)内燃机车的牵引能力。由于电力机车功率大、起动快、允许速度高,所以能够多拉快跑,极大提高了线路的通过能力和输送能力。

2. 效率高

由于电力牵引所需的电能是由发电厂(或电站)集中产生,因此燃料的利用率要比内燃牵引高得多。由火电厂供电的电力牵引的效率高达 35%,由水电站供电的电力牵引则更高,可达 60% 以上。而内燃牵引的效率约为 25% 左右,而且柴油价格较贵,有燃烧排放污染。

3. 过载能力强

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的意义。实践表明,电力机车所需的起动加速时间约为内燃机车的 1/2,从而能够提高列车速度。原因是电力机车的过载能力不会受到能量供给的限制,而牵引电动机的短时过载能力总是比较大的。



4. 运营费用较低

一方面由于电力机车的功率大、起动快、运行速度高、过载能力强、可以多拉快跑；另一方面其整备距离长、适合于长交路，提高了机车的利用率；再者，电力机车的检修周期长、日常维护保养工作量也小。一般情况下，电力牵引的运营费用比内燃牵引要低 15% 左右。此外，由于电力机车运行过程中不污染环境，对于大型铁路枢纽站及隧道长而多的线路来说，其意义重大。

当然，电力牵引在应用中也存在以下问题：

(1) 离不开牵引变电所和接触网等沿线的供电设施，使其机动性较差，且线路电气化投资较大。

(2) 电力牵引过程中产生的电流谐波对通信方面所带来的干扰问题。

(3) 晶闸管相控调压所引起的功率因数较低的问题。

一般在客货运输特别繁忙的主要铁路干线，高速铁路，线路坡道陡、隧道多又长的山区铁路干线，大运量的集中运煤专线，适宜采用电力牵引。

三、电力机车传动的分类

电力机车传动方式按接触网和牵引电动机所采用的电流制进行分类，分为：

1. 直—直流传动

由直流接触网供电，机车、动车采用直流牵引电机。直流电经直流变换器 DC-DC（一般为直流斩波器）向直流牵引电机供电，如图 1-9 所示。直流接触网在我国干线铁路上没有采用，而是用于城市轨道交通牵引供电网，其电压制有 DC 750 V 和 DC 1 500 V 两种。

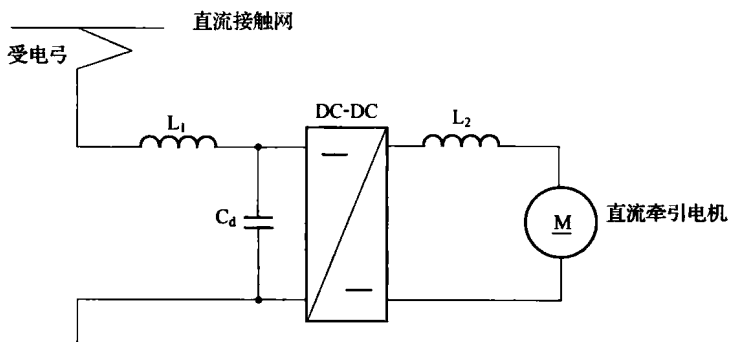


图 1-9 直—直流传动主电路原理图

C_d —滤波电容； L_1 —滤波电感； L_2 —平波电抗器

2. 交—直流传动

由交流接触网供电，机车、动车采用直流牵引电动机，如图 1-10 所示。我国干线铁路上采用工频单相交流 25 kV 的电压标准，该标准也是国际上绝大多数国家所采用的标准。单相交流电经牵引变压器降压整流器整流为直流电，向直（脉）流牵引电动机供电。由于直（脉）流牵引电动机要通过调压来进行调速，因此整流器一般采用晶闸管相控整流器，通过对晶闸管触发脉冲进行移相控制来调节输出的直流电压，从而调节牵引电动机的转速。我国生产的韶山系列（SS 系列）电力机车属于这种传动形式。

上述两种方式都属于直流传动，其特点与内燃机车直流传动类似（但无牵引发发电机），虽然

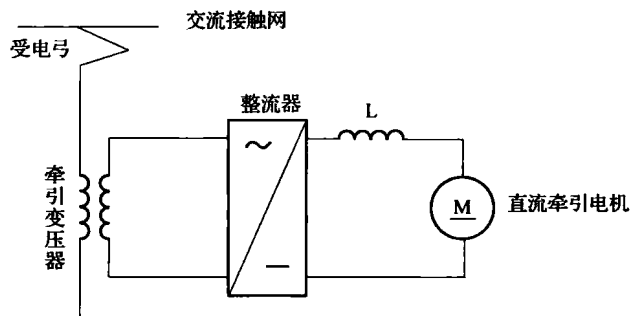


图 1-10 交一直电传动主电路原理图

直流牵引电动机调速容易,但直流电动机的弊端也是显而易见的(请参考本章相关内容)。因此,电力牵引也要向新型的交流传动形式发展。

3. 直—交流传动

由直流接触网供电,机车、动车采用交流牵引电机,如图 1-11 所示。直流电经 GTO 或 IGBT 等新型电力电子器件构成的牵引逆变器转换为可调压、变频的三相交流电,向交流牵引电机供电。这种方式已应用于我国的城市轨道交通车辆上。

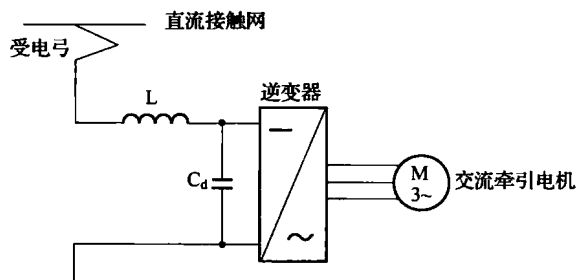


图 1-11 直—交流传动主电路原理图

4. 交—直—交传动

由交流接触网供电,机车、动车采用交流牵引电机,如图 1-12 所示。单相交流电经牵引变压器降压整流器整流为直流电(中间直流环节),再经逆变器将直流电转换为可调压、变频的三相交流电,向交流牵引电机供电。这是我国铁路干线正在发展应用的新型传动形式,其特点与内燃机车交—直—交传动类似(请参阅本章第二节有关内容)。2005 年我国开始批量生产

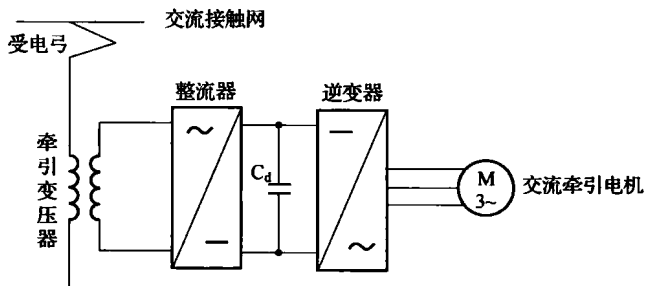


图 1-12 交—直—交传动主电路原理图



HXD1 系列、HXD2 系列、HXD3 系列交流传动电力机车。

第四节 牵引供电系统

电气化铁路为了向电力机车或电动车组提供能源,必须在沿线设置牵引供电系统。

一、牵引供电系统的组成

牵引供电系统示意图如图 1-13 所示。由发电厂发出的电能经过变压器升压后,由输电线 L 送往区域变电所 A ,进行电能的再分配。一般来说,牵引供电系统的电能由区域变电所供给或由发电厂直接供给。为了保证供电的可靠性,要求由两个独立电源供电或一个电源两个回路供电。图中 B 为地方变电所。

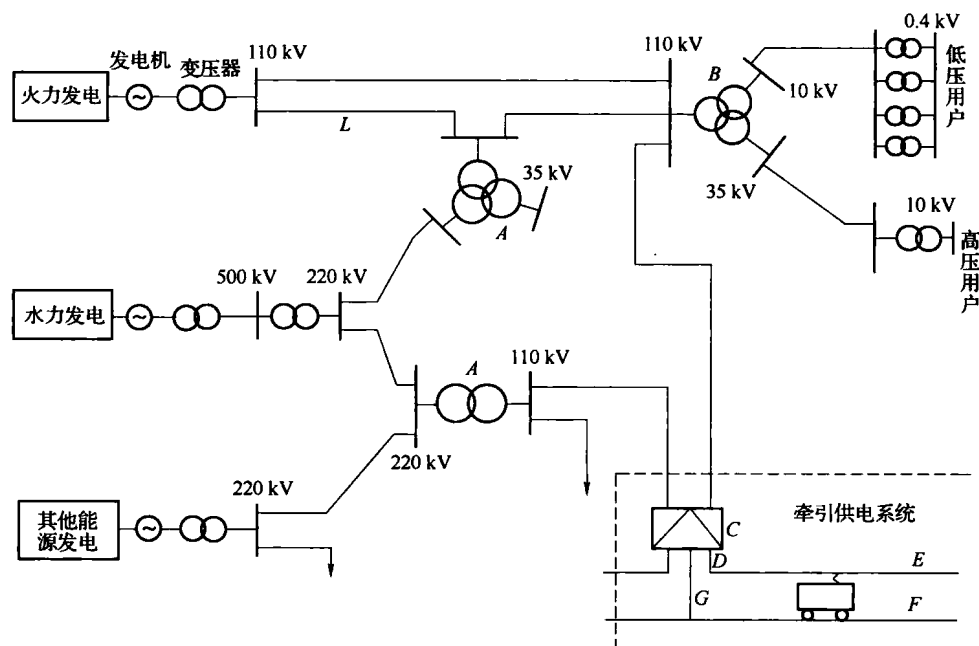


图 1-13 牵引供电系统示意图

牵引供电系统包括牵引变电所 C 和牵引网两大部分,牵引网又包括馈电线 D 、接触网 E 、轨道回路 F 、回流线 G 等部分。电力机车或电动车组则是牵引供电系统的负荷。牵引变电所把电力系统供给的电能,变换为适合机车牵引要求的电能,再经馈电线馈送到接触网,把电能送入机车。然后,电流经过钢轨和牵引变电所的回流线返回牵引变电所。

当前世界各国电力牵引使用的主要制式有直流制、低频单相交流制和工频单相交流制。工频单相交流制由于采用了工业频率,无须专用设备,因而系统结构可以大为简化;又由于采用交流电,电压水平可以大幅度提高,从而可以减小导线面积,减少电压损失,使接触网结构简化,供电距离延长,减少变电所的数量,节省投资。从发展趋势和高速铁路的要求看,这种制式具有更大的发展前景。我国干线电气化区段采用的是工频单相 25 kV 的制式,今后建设电气化铁路和高速铁路,必然仍采用这种制式。