



高等职业教育城市轨道交通专业规划教材
GAODENG ZHIYE JIAOYU CHENGSHI GUIDAO
JIAOTONG ZHUANYE GUIHUA JIAOCAI

URBAN RAIL TRANSIT

CHENGSHI GUIDAO JIAOTONG CHELIANG QIANYIN JI GONGDIAN XITONG

城市轨道交通车辆牵引 及供电系统

主编 葛党朝 何鹏
主审 廖军生



重庆大学出版社
<http://www.cqup.com.cn>

城市轨道交通车辆 牵引及供电系统

主 编 葛党朝 何 鹏
副主编 秦孝峰
主 审 廖军生

重庆大学出版社

内 容 提 要

本书共分4个项目,内容包括城市轨道交通车辆电气控制技术及其构成,城市轨道交通车辆牵引电传动系统,城市轨道交通车辆辅助供电系统,城市轨道交通列车控制及监控系统。本书主要读者为地铁相关从业人员及在校学生,对广大读者深入了解城市轨道交通车辆电气控制知识,了解城市轨道交通车辆电器设备、设施的运用、日常维护和检修具有较强的指导作用。

本书可作为城市轨道交通车辆专业高等、中等职业教育教材,也可作为城市轨道交通管理及相关专业人员的培训教材,还可供城市轨道交通企业车辆驾驶及检修人员学习参考。

图书在版编目(CIP)数据

城市轨道交通车辆牵引及供电系统/葛党朝,

何鹏主编. —重庆:重庆大学出版社,2013.8

高等职业教育城市轨道交通专业规划教材

ISBN 978-7-5624-7368-8

I. ①城… II. ①葛… ②何… III. ①城市铁路—铁路车辆—电力牵引—高等职业教育—教材 ②城市铁路—铁路车辆—供电系统—高等职业教育—教材 IV. ①U239.5

中国版本图书馆CIP数据核字(2013)第090406号

城市轨道交通车辆牵引及供电系统

主 编 葛党朝 何 鹏

主 审 廖军生

策划编辑:曾令维

责任编辑:李定群 高鸿宽 版式设计:曾令维

责任校对:任卓惠 责任印制:赵 晟

*

重庆大学出版社出版发行

出版人:邓晓益

社址:重庆市沙坪坝区大学城西路21号

邮编:401331

电话:(023) 88617190 88617185(中小学)

传真:(023) 88617186 88617166

网址:<http://www.cqup.com.cn>

邮箱:fxk@cqup.com.cn(营销中心)

全国新华书店经销

重庆紫石东南印务有限公司印刷

*

开本:787×1092 1/16 印张:12.25 字数:306千

2013年8月第1版 2013年8月第1次印刷

印数:1—3 000

ISBN 978-7-5624-7368-8 定价:25.00元

本书如有印刷、装订等质量问题,本社负责调换

版权所有,请勿擅自翻印和用本书

制作各类出版物及配套用书,违者必究

编 审 委 员 会

编 委 会 主 任 祁国俊 刘峻峰

编委会副主任 侯久望 袁 媛

编委会成员

曹双胜	史富强
葛党朝	刘 煜
赵舜尧	吴海军
刘 炜	史晓薇
付晓凤	何 鹏
王治根	赵跟党
房 瑛	邢红霞
王 敏	刘 军
张 宁	

本书编写人员

主 编

葛党朝 工程师 西安地铁运营分公司车辆部部长

何 鹏 教 授 陕西交通职业技术学院信息工程系主任

副主编

秦孝峰 工程师 西安地铁运营分公司车辆部检修车间副主任

主 审

廖军生 副教授 西安地铁运营分公司物资部部长

编 者

项目 1 秦孝峰 工程师 西安地铁运营分公司车辆部检修车间副主任

李 涛 工程师 西安地铁运营分公司车辆部技术室
主办

项目 2 葛党朝 工程师 西安地铁运营分公司车辆部部长

张兴宝 助理工程师 西安地铁运营分公司车辆部检修车间主办

项目 3 何 鹏 教授 陕西交通职业技术学院信息工程系主任

廖军生 副教授 西安地铁运营分公司物资部部长

周 浩 西安地铁运营分公司车辆部检修车间技术助理

项目 4 李小平 副教授 兰州交通大学

郭楠楠 助理工程师 西安地铁运营分公司车辆部检修车间主办

序

轨道交通以其快捷、舒适等其他交通工具无法比拟的优越性,成为城市交通发展新的热点和重点。当前我国的城市轨道交通正处在大发展、大建设时期,截至 2012 年年底,全国有 16 座城市共开通运营 70 条线,总里程 2 081.13 千米。

随着城市轨道交通行业的迅猛发展,相应运营专业人才的需求也日益紧迫,尤其是具有理论和实践性的复合型人才尤为紧缺。为适应新形势,近年来,国内的大专院校,尤其是交通职业技术类院校的城市轨道交通专业迅速扩大,早出人才、快出人才、出实用型人才成为学校和业界的共同愿望。通过一系列的调研和准备工作,在重庆大学出版社的倡导下,西安市地下铁道有限责任公司联合多省市交通类高职高专院校(如西安铁路职业技术学院、西安交通职业技术学院、广东交通技师职业技术学院等)建立了校企合作联盟,组织具有丰富实践经验的轨道企业技术人员和职业院校的一线教师,与地铁运营实际紧密结合,共同编写了高等职业教育城市轨道交通专业规划教材。

这套规划教材采用校企结合模式编写,结合全国轨道交通发展状况,推出的面向全国、面向未来的教材,既汇集了高校专业教师们的理论知识,也汇聚了城市轨道交通专业技术部门创业者们的宝贵经验。

为做好教材的编写工作,重庆大学出版社专门成立了由著名专家组成的教材编写委员会。这些专家对城市轨道交通专业教学作了深入细致的调查研究,对教材编写提出了许多建设性意见,慎重地对每一本教材一审再审,确保教材本身的高质量水平,对教材的教学思想和方法的先进性、科学性严格把关。

“校企合作”、“理论与实践相结合”是本套系列教材的特点,不但可以满足当前城市轨道交通运营技术管理的需要,也为今后的城市轨道交通运营发展管理提出了新思考。随着运营管理的要求越来越高,以及新技术的不断应用,本系列教材必然还要不断补充、完善,希望该套教材的出版能满足广大职业院校培养城市轨道交通专业人才的需求,能成为城市轨道交通运营技术管理人员的“良师益友”。

建设部地铁轻轨研究中心 顾问总工
建设部轨道交通建设标准 主 编
建设部轨道交通专家委员会 专家委员



2013 年 7 月 26 日

前言

近年来,随着我国城市人口的增加和居住区域的膨胀,地铁逐渐成为各大城市的主要交通工具,作为地铁车辆核心组成的电力传动及供电系统就必须有越来越高的动态调试性能。它涉及电力电子技术、电力拖动、控制工程及微机原理、计算机网络等诸多领域,只有地铁车辆具备优良的牵引性能才能确保正常开通运营的需要,稳定可靠的牵引系统意味着减少车辆的维护工作量,满足人们对地铁列车乘坐舒适性能的要求。

本书共分4个项目,内容包括城市轨道交通车辆电气控制技术及其构成,城市轨道交通车辆牵引电传动系统,城市轨道交通车辆辅助供电系统,以及城市轨道交通列车控制及监控系统。

本书对广大学习者深入了解城市轨道交通车辆电气控制知识,了解城市轨道交通车辆电器设备、设施的运用、日常维护和检修具有较强的指导作用。本书可作为城市轨道交通车辆专业高等、中等职业教育教材,也可作为城市轨道交通管理及相关专业人员的培训教材,还可供城市轨道交通企业车辆驾驶及检修人员学习参考。

由于编写时间仓促,水平有限,本书在内容和编排上有疏漏和不当之处,敬请读者批评指正。

编者
2012年11月

目 录

项目 1 城市轨道交通车辆电气控制技术及其构成	1
任务 1 城市轨道交通车辆电力牵引控制系统的发展方向	1
任务 2 城市轨道交通车辆电气控制系统概述	4
任务 3 城市轨道交通车辆 PWM 控制技术	8
任务 4 城市轨道交通车辆牵引电机矢量控制技术	28
项目小结	36
思考与练习	37
项目 2 城市轨道交通车辆牵引电传动系统	38
任务 1 牵引系统的基本组成及电路分析	39
任务 2 受流器的种类及工作原理	47
任务 3 牵引逆变器的基本组成及控制策略	55
任务 4 牵引电机的种类及工作原理	67
任务 5 电制动与空气制动之间的接口	84
任务 6 防空转/滑行的原理及控制策略	88
任务 7 牵引系统的保护及复位	92
任务 8 司机控制器的种类及组成	97
项目小结	101
思考与练习	101
项目 3 城市轨道交通车辆辅助供电系统	102
任务 1 城市轨道交通车辆辅助供电系统基本概况	103

任务 2 辅助逆变器电路结构及供电模式·····	105
任务 3 辅助供电设备及工作原理·····	117
任务 4 蓄电池及日常维护·····	139
任务 5 辅助供电系统常见典型故障·····	147
项目小结 ·····	152
思考与练习 ·····	153
 项目 4 列车控制及监控系统 ·····	 154
任务 1 列车控制及监控系统概述·····	154
任务 2 列车控制及监控系统的分类·····	158
任务 3 TCN 列车通信网络 ·····	162
任务 4 ARCNET 网络·····	170
任务 5 LonWorks 网络 ·····	178
项目小结 ·····	183
思考与练习 ·····	184
 参考文献 ·····	 185

项目 **I**

城市轨道交通车辆电气控制技术 & 构成

【项目描述】

本项目主要介绍牵引电传动系统控制技术及发展方向,城市轨道交通车辆电气控制技术特点,系统组成及功能,系统主要电气部件的结构原理、技术参数、性能等。

【学习目标】

通过本项目的学习,要求掌握以下基本知识:

1. 了解牵引电传动系统控制技术及发展方向。
2. 掌握城市轨道交通车辆电气控制原理。
3. 熟悉城市轨道交通车辆系统组成及功能。
4. 掌握牵引系统矢量控制方式。
5. 掌握 PWM 控制原理。
6. 掌握城市轨道交通车辆主要电气产品的结构原理。

【技能目标】

能够熟练掌握城市轨道交通车辆的一般组成及各系统的功能。

任务 1 城市轨道交通车辆电力牵引控制系统的发展方向

【活动场景】

举例讲解轨道交通车辆牵引电传动系统的发展历程及发展方向。

【任务要求】

了解轨道交通车辆牵引电传动系统的发展历程,了解电力传动形式的转变过程以及牵引电传动系统控制技术与发展方向。

【知识准备】

在早期采用直流牵引电动机的直流传动系统中,均采用模拟电路来实现开环或闭环的调压调速控制,其控制简单且容易实现,如北京地铁的部分国产直流传动车辆采用调阻的调速控制方案。目前,随着科学技术的进步,尤其是微电子技术的发展,即使直流传动车辆上也采用了计算机控制来实现斩波调压调速,如上海地铁一号线是采用 SIBAS 16 微机控制 GTO 斩波调速的直流传动车辆。而现在采用异步牵引电动机的交流牵引电传动系统更离不开计算机控制技术。随着交流异步电动机控制理论的进一步发展,以及计算机芯片及数字信号处理系统的开发与应用,交流传动系统的控制方法从简单的稳态标量控制发展到复杂的瞬态矢量控制。

传动控制技术是牵引传动的核心技术,主要有转差率控制、矢量控制和直接转矩控制 3 种方式。目前,转差率控制已逐渐被淘汰。

(1) 转差频率控制

转差频率控制技术是一种早期的用于控制交流异步电动机的方法,基于异步电动机的稳态数学模型,控制性能远不能与直流调速系统相媲美,系统的动态性能差,已不能适应现代传动控制要求,故逐步被矢量控制与直接转矩控制等方式取代。

(2) 矢量控制

矢量控制又称磁场定向控制(FOC),在 20 世纪 70 年代由西门子工程师 F. Blaschke 首先提出。矢量控制实现的基本原理是通过测量和控制异步电动机定子电流矢量,根据磁场定向原理对异步电动机的励磁电流和转矩电流进行控制,从而达到控制异步电动机转矩的目的。具体是将异步电动机的定子电流矢量分解为磁场的电流分量(励磁电流)和产生转矩的电流分量(转矩电流)分别加以控制,并同时控制两分量间的幅值和相位,即控制定子电流矢量,故称这种控制方式为矢量控制方式。矢量控制策略存在一些固有缺点,如转子磁链难以准确观测,对电机参数比较敏感,实际工程应用时矢量控制必须具备异步电动机参数自动辨识功能。

矢量控制与直接转矩控制在应用领域各有侧重,矢量控制适用于宽范围调速系统和伺服系统,而直接转矩控制适用于需要快速转矩响应的大惯量运动控制系统。矢量控制具有直接的电流闭环控制特点,电流控制的稳定性高,有独立的 PWM 调制单元,决定其转矩控制结果是一个开关周期内的平均值。如果在大功率低开关频率应用时,高速区必须采用同步调制技术。同步调制技术与直接转矩控制相比,在一些重要指标上不如直接转矩控制,如开关频率利用、逆变器峰值电流、电机谐波损耗等。因此,通常在小功率高开关频率场合应用矢量控制,在大功率低开关频率场合应用直接转矩控制。

(3) 直接转矩控制

直接转矩控制技术是继矢量控制技术之后发展起来的一种高性能异步电动机变频调速

技术。这种“直接自控型”的思想以转矩为中心来进行综合控制,不仅控制转矩,也用于磁链量的控制和磁链自控制。直接转矩控制与矢量控制的区别是,它不是通过控制电流、磁链等量间接控制转矩,而是把转矩直接作为被控量控制,其实质是用空间矢量的分析方法,以定子磁场定向方式,对定子磁链和电磁转矩进行直接控制的。这种方法不需要复杂的坐标变换,而是直接在定子坐标上计算磁链的模和转矩的大小,并通过磁链和转矩的直接跟踪实现 PWM 脉宽调制和系统的高动态性能。直接转矩控制可充分利用逆变器的开关频率,从而特别适用于大功率牵引传动领域。

目前,该技术已大量应用于干线电力机车(“和谐”型 7 200 kW 交流电力机车)、城市轨道交通领域(上海地铁一号线、深圳五号线、北京房山线、沈阳二号线等)。

(4) 其他控制技术

“受流器+异步电机”的模式已成为现代轨道交通牵引的主流模式。但是,此牵引系统产生的谐波及无功分量会增加电网的电流容量,同时造成资源的浪费。为了满足绿色节能的可持续发展理念,须采用高性能的网侧控制技术及高效的主电路形式。

1) 四象限脉冲整流技术

四象限脉冲控制策略是基于瞬态电流的控制算法,通过精确的网压锁相检测,实现电网电压与电网电流同相位、低谐波电流、高稳定的直流电压的目标,采用功率因数闭环根据控制技术,可在 20% 的额定负载时,使网侧功率因数仍保持在 98% 以上,同时有效地控制电网电流中的谐波分量。

牵引变流器的输入端与电网密切相连的整流器,它一方面将电能从电网输送到变流器和负载,另一方面将负载和变流器运转产生的谐波、无功分量反馈给电网。为了提高电能品质,只有在牵引传动系统采用四象限脉冲整流技术,以达到对电网侧的高功率因数控制的目的。该技术已成功批量应用于和谐号大功率电力机车。

2) 软开关技术

软开关技术是使变流器得以高频化的重要技术之一。它应用谐振的原理,使开关器件中的电流(或电压)按正弦或准正弦规律变化。当电流自然过零时,使开关器件关断(或电压为零时,使器件开关开通),从而减少开关损耗。它不仅解决了硬开关变换器中开关损耗问题、容性开通问题、感性关断问题及二极管反向恢复问题,而且解决了由硬开关引起的 EMI 问题。但在电路中并联或串联谐振网络,势必产生谐振损耗,并使电路受到固有问题的影响。组合软开关技术结合了无损耗吸收技术与谐振式零电压技术、零电流技术的优点。其基本原理是通过辅助管实现部分主管的零电流关断或零电压开通,使电路中既可存在零电压开通,也可存在零电流关断,同时既可包含零电流开通,也可包含零电压关断,4 种状态可任意组合,是新的发展趋势。此项技术已广泛应用于城轨车辆、铁路客车、动车组、电力机车等。

【任务实施】

简述轨道交通车辆牵引电传动系统的发展历程,电力传动形式的转变过程及牵引电传

动系统控制技术及发展方向,简述当前轨道交通车辆牵引电传动系统技术特点。

【效果评价】

评价表

项目名称	城市轨道交通车辆电气控制技术及构成	学生姓名	
任务名称	任务1 城市轨道交通车辆电力牵引控制系统的发展方向	分数	
项 目		分值	考核得分
1. 轨道交通车辆牵引电传动系统相关知识、图片的搜集、整理		10	
2. 是否有小组计划		5	
3. 城轨车辆传动控制技术分类的认知情况		20	
4. 城轨车辆轨道交通车辆牵引电传动系统各自特点的认知情况		25	
5. 矢量控制系统原理的认知情况		25	
6. 编制学习汇报报告情况		10	
7. 基本素养考核情况		5	
教师简要评语:			
教师签名:			

任务2 城市轨道交通车辆电气控制系统概述

【活动场景】

使用多媒体展示及现场讲解城市轨道交通车辆控制技术特点。

【任务要求】

了解城市轨道交通车辆电气控制系统的供电方式、组成及控制方式。

【知识准备】

城市轨道交通车辆是确保城市轨道交通安全、正点、高效运行的关键,其投资大、技术复杂,在一定程度上标志着城市轨道交通技术发展的水平。其总体设计是根据线路条件、用户需求来确定城市轨道交通车辆合理的技术参数、结构和机电装备的配置以及各系统、设备之间的接口关系。城市轨道交通车辆的各个设备,通过机械、电气、电磁、网络等联系,形成一个统一的机电一体化设备,通过驾驶员操纵实现列车运行的控制,而对于装置有列车自动控制(ATC)系统的列车,可实现列车的自动驾驶(ATO)、列车自动保护(ATP)等功能。

城市轨道交通车辆电气控制系统主要由牵引传动系统(VVVF)、辅助供电系统(SIV)、列车控制及监控系统(TCMS)等组成。

(1) 城市轨道交通车辆供电方式

城市轨道交通车辆供电方式是由主变电站来的高压电流通过牵引变电所,经由馈电线输送给接触网,城市轨道交通车辆通过受电弓(三轨)从接触网的DC1500 V(DC750 V)受电,然后经地铁车辆逆变器逆变(VVVF, SIV)成交流电(分别给牵引电机和辅助照明系统供电),再经由车辆的接地回流装置通过钢轨反馈到回流线,最终再由回流线将电流反馈回牵引变电所。其原理图如图1.1所示。

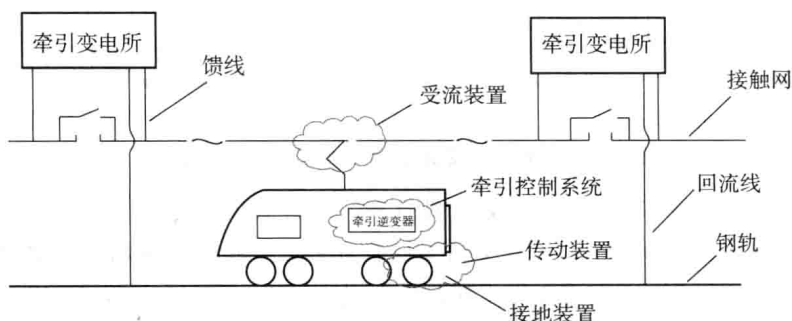


图1.1 城市轨道交通车辆供电方式原理图

(2) 城市轨道交通车辆电气与设备

城市轨道交通车辆电气控制系统包括车辆上的各种电气部件、设备及其控制电路。如图1.2所示为城市轨道交通车辆单元车的总体控制。

城市轨道交通车辆的主牵引传动系统是列车牵引动力和电制动力得以实现的载体,它为单节车辆的两个转向架上的4台牵引电机提供电能,通过控制系统对电动机和牵引力进行调节,驱动车轮从而牵引列车,以满足车辆牵引和制动性能的要求。当在电制动工况时,牵引电机当作发电机运行,通过牵引电机将列车的动能转化为电能,并经牵引逆变器(VVVF)、高速断路器(HB)、受电弓(PAN)将电能反馈给电网。如果不能反馈到电网,则通过牵引逆变器调节制动电阻以热量的形式散发出去。

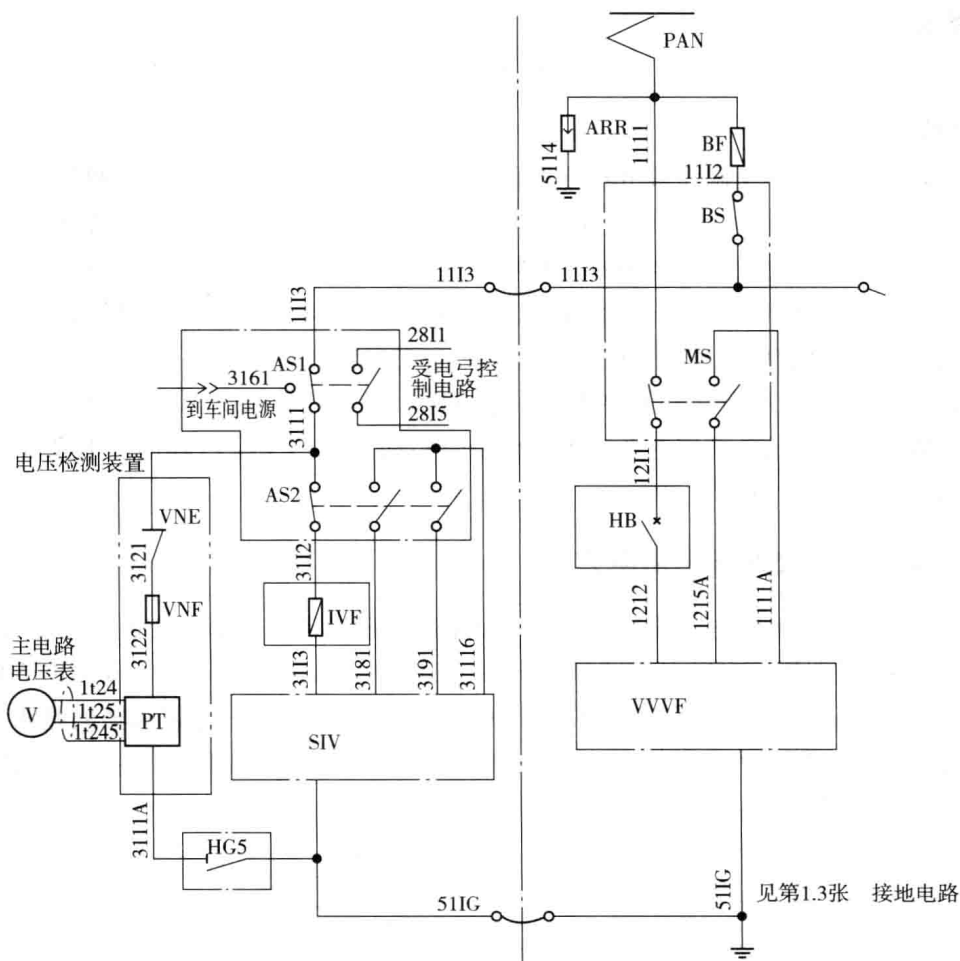


图 1.2 城市轨道交通车辆单元车的总体控制图

地铁车辆的辅助电源系统(SIV),它用作车辆空调、电热采暖、照明、列车广播及乘客信息显示、空气压缩机、各系统控制电路及列车监控系统、车载信号和通信设备等的电源。辅助电源逆变器回路应配置辅助隔离开关和接地开关。辅助电源逆变器经辅助隔离开关与辅助系统高压母线/车间电源装置相连。

图 1.3 给出了长春客车股份有限公司给西安地铁二号线生产的城市轨道交通车辆主要配置。该车采用 B2 型地铁车辆,3 动 3 拖 6 辆编组,编组方式为: =TC * MP * M * T * Mp * Tc=, TC 为有司机室的拖车,MP 为无司机室带受电弓的动车,M 车为无司机室的动车,T 车为无司机室的拖车。车辆采用受电弓供电方式,供电制式为 DC1500 V。

【任务实施】

简述城市轨道交通车辆电气控制系统的供电方式、组成及控制方式以及车辆电气与设备特点,以西安地铁二号线轨道交通车辆为例简述电气控制系统组成。

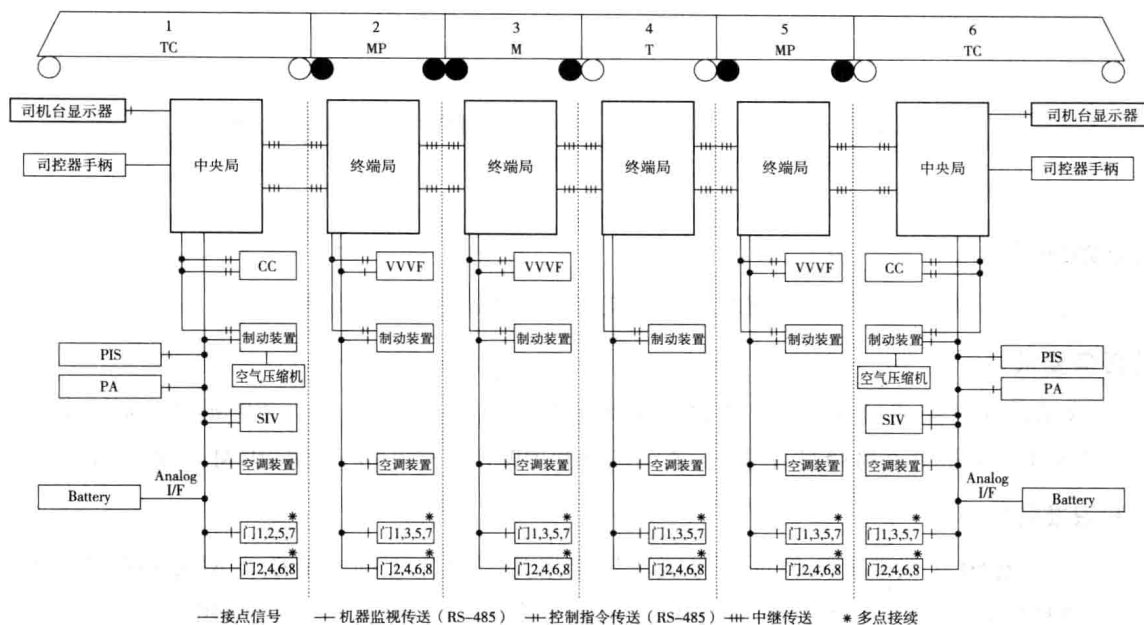


图 1.3 西安地铁车辆主要设备配置图

【效果评价】

评价表

项目名称	城市轨道交通车辆电气控制技术 & 构成	学生姓名	
任务名称	任务2 城市轨道交通车辆电气控制系统概述	分数	
项 目		分值	考核得分
1. 轨道交通车辆电气与设备系统相关知识、图片的搜集、整理		10	
2. 是否有小组计划		5	
3. 城轨车辆供电方式、组成 & 控制方式的认知情况		20	
4. 城轨车辆轨道交通车辆电气与设备特点的认知情况		25	
5. 西安地铁二号线轨道交通车辆电气与设备的认知情况		25	
6. 编制学习汇报报告情况		10	
7. 基本素养考核情况		5	
教师简要评语：			
教师签名：			