



卓越工程师系列教材

接触网工程与设计

JIECHUWANG GONGCHENG YU SHEJI

董昭德 李 岚 等编著
吴积钦 主 审



科学出版社

卓越工程师系列教材

接触网工程与设计

董昭德 李 岚 等 编著

吴积钦 主审

科 学 出 版 社

北 京

内 容 简 介

本书是作者结合本科教学实践、技术人员培训,以及相关新技术应用研究的成果和经验写成的,是对多年工作的总结。本书有关接触网特性分析、接口问题、弓网相互作用特性、整体吊弦长度计算、腕臂结构预制计算、地震对支柱的影响、接触线疲劳、课程设计等是以往类似教材没有的全新内容。

本书可作为高校电气工程及其自动化专业、铁道电气化专业、铁道供电专业的本、专科生教学用书外,也可用于相关领域的工程技术人员自学和技术培训。

图书在版编目(CIP)数据

接触网工程与设计/董昭德,李岚等编著.—北京:科学出版社,2014.2

卓越工程师系列教材

ISBN 978-7-03-039697-6

I.①接… II.①董… ②李… III.①电气化铁道—接触网—教材
IV.①U225

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 020003 号

责任编辑:杨 岭 于 楠 / 封面设计:墨创文化

责任校对:贺江艳 / 责任印制:余少力

科学出版社出版

北京东黄城根北街16号

邮政编码:100717

<http://www.sciencep.com>

成都创新包装印刷厂印刷

科学出版社发行 各地新华书店经销

*

2014年4月第 一 版 开本:787*1092 1/16

2014年4月第一次印刷 印张:28

字数:660千字

定价:58.00元

“卓越工程师系列教材”编委会

主	编	蒋葛夫	翟婉明	
副	主	编	阎开印	
编	委	张卫华	高波	高仕斌
		彭其渊	董大伟	潘炜
		郭进	易思蓉	张锦
		金炜东		

前 言

近年来,接触网工程采用了较多新技术和新设备,为适应轨道交通对掌握新技术的接触网专业人才的急切需求、大学教学改革的发展要求,以及大学生学习特点和学习心理,作者结合多年本科教学和高速铁路牵引供电干部培训课程编写了本书。

本书的特点主要有以下5个方面:

(1)内容新颖。收录了中国高速铁路接触网工程取得的新认识和新技术,并结合近年教学改革,增加了与接触网相关的铁道知识、特性分析、工程接口、系统设计、结构预制计算、课程设计等全新内容。

(2)内容丰富。本书共有13章,首先介绍了电气轨道交通的概况,然后分别介绍了接触网的设备与结构、接触轨、气象条件对接触网的影响、机械计算、电气特性与计算、弓网系统设计、工程设计、施工与管理、施工计算、运营与管理、检测与状态评估、课程设计等内容。

(3)通俗实用。本书以接触网基本概念、基本理论和基本技术为轴心,以工程应用为表辅,较为全面地介绍了接触网设备、结构、机电计算,以及设计、施工和运营维修的基本内容。教材更加突出接触网的基础知识和基本理论,更加注重读者的专业能力和专业素质训练。

(4)结构合理。本书的第1~3章为基础知识篇,通过学习这些内容,读者可掌握接触网的入门知识;第4~8章为设计知识篇,通过学习这些内容,读者可掌握弓网系统及接触网设计的基本知识;第9~13章为实用知识篇,通过学习这些内容,读者可掌握接触网施工和运营的基本知识。这种结构安排一方面更符合学习心理活动,另一方面也便于不同层次读者的阅读。

(5)强调了接触网与牵引供电系统的整体性。与以往教材相比本书更加强调接触网的电气特性,明确了接触网与牵引供电系统的内在联系,使读者能够建立起牵引供电系统整体概念,适应了相关专业学生第一次接触专业课程的心理需求。

本书由西南交通大学董昭德和李岚担任主编,参与本书编撰工作的人员及分工如下:

西南交通大学董昭德:第1、2、4、5、9、13章,以及7.1、7.4节、。

西南交通大学解绍锋:第6章。

西南交通大学韩峰:7.2和7.3节。

西南交通大学李岚:7.5和8.3节。

西南交通大学关金发:7.6节。

西南交通大学方岩:第10章。

西南交通大学曾明:第12章。

中铁电气化勘测设计研究院刘岗:3.1节。

北京城建设计发展集团股份有限公司杨超:3.2节。

中铁二院集团公司电气化设计研究院万连录:8.1和8.2节。

上海铁路局供电处胡志洪：第 11 章。

全书由董昭德统稿，吴积钦审核。

本书的编写得到了西南交通大学电气学院高仕斌、赵舵、韩旭东、刘承志、赵丽平；中铁第一勘察设计院刘长利、王洪林、梁英、郭凤平；中铁二局电务公司代伯寿；中铁电气化集团单圣熊；中铁电气化勘测设计研究院张令；郑州铁路局张宝奇、张滔；上海铁路局赵朝蓬等专家的指导和帮助！在此，对以上专家的支持和帮助表示衷心感谢！

科学出版社的杨岭、于楠二位编辑为本书的出版做了大量辛苦细致的工作，在此，对他们的辛勤工作表示衷心感谢！

由于作者水平有限，错误在所难免，请不吝赐教！

编著者

2013 年 8 月于成都

目 录

第 1 章 电气化轨道交通概述	1
1.1 电气化轨道交通的起源与发展	1
1.2 牵引供电系统的基本组成	2
1.3 牵引网的供电方式	7
1.4 接触网的形式与特性	10
1.5 电气化轨道交通对接触网的基本要求	16
1.6 接触网的研究内容与发展方向	17
1.7* 与接触网相关的铁道常识	18
第 2 章 接触网的设备与结构	33
2.1 支柱与基础	33
2.2 接触网横向结构——支持与定位	35
2.3 悬挂与线索	47
2.4 接触网的纵向结构	75
2.5 接触网的电气特性与安全	94
2.6 接触网零部件	115
第 3 章 接触轨	119
3.1 第三轨	119
3.2 架空接触轨	126
第 4 章 气象条件对接触网的影响	134
4.1 选择设计气象条件的基本原则	134
4.2 温度对接触网的影响及取值	136
4.3 风对接触网的影响及取值	138
4.4 冰雪对接触网的影响及取值	144
4.5 空气中的活性物质对接触网的影响	147
4.6 雷电日和雷闪频数	149
4.7 地震震级和地震烈度	149
4.8 其他计算气象参数	151
第 5 章 接触网的机械计算	153
5.1 基本荷载及其计算	153
5.2 弛度和张力计算	158
5.3 最大许用跨距的确定	165
5.4 锚段长度的确定	187
5.5 安装曲线的计算与绘制	198
5.6 腕臂及腕臂柱荷载分析与计算	207

5.7	软横跨支柱荷载计算	220
5.8	支柱基础的稳定性校验	224
第 6 章	电气化铁路接触网的电气特性与计算	236
6.1	接触网的载流量	236
6.2	接触网电场	243
6.3	接触网的电磁影响	246
6.4	谐波干扰	249
第 7 章	弓网系统设计	252
7.1	概述	252
7.2	受电弓的基本特性	253
7.3	受电弓的性能优化	257
7.4	弓网相互作用特性	262
7.5	弓网动态相互作用仿真	278
7.6	弓网参数对集电质量的影响	291
第 8 章	接触网工程设计	303
8.1	设计内容与标准	303
8.2	平面图及平面布置	314
8.3	接触网 CAD 概述	326
第 9 章	接触网施工与管理	330
9.1	施工流程与工艺	330
9.2	接触网施工管理	351
第 10 章	接触网施工计算	359
10.1	腕臂预配计算	359
10.2	整体吊弦长度计算	366
10.3	软横跨结构预制计算	370
第 11 章	接触网运营与管理	377
11.1	运营机构及职能	377
11.2	作业制度和管理	378
11.3	工程介入	388
11.4	接触网信息管理系统	391
第 12 章	接触网检测与状态评估技术	394
12.1	接触网检测概述	394
12.2	接触线空间位置参数的测量	395
12.3	接触网弹性测量	397
12.4	弓网接触力测量	398
12.5	燃弧的测量	402
12.6	定位点处接触线抬升的测量	403
12.7	接触网温度的测量	404
12.8	接触网视觉巡检装置	405

12.9 接触网状态评估	407
第 13 章 接触网课程设计	411
13.1 课程设计的目的和要求	411
13.2 课程设计的基本任务	411
13.3 课程设计的基本流程和内容	413
13.4 课程设计应提交的设计文件和要求	414
13.5 课程设计中应正确对待的几个问题	415
附录 1 接触网常用支柱参数表	416
附录 2 接触网常用各类铜绞线的机电参数	422
附录 3 接触网常用各类钢铝绞线的机电参数	425
附录 4 接触网平面图图例	428
附录 5 接触网站场平面图〔站场咽喉区部分〕	插页
附录 6 接触平面图(工程数量、设计说明、图标部分)	插页
主要参考文献	430

Table of Contents

1	Introduction to electrical rail transit	1
1.1	Origin of electrical rail transit	1
1.2	Main components of traction power supply system	2
1.3	Types of traction power supply systems	7
1.4	Types and characteristics of overhead contact line system	10
1.5	General requirements of electrical rail transit	16
1.6	Main researches and their development	17
1.7	General railway knowledge related to overhead contact line system	18
2	Installations and structures	33
2.1	Poles and foundations	33
2.2	Supporting assembly	35
2.3	Catenary suspension and cables	47
2.4	Structures along the track	75
2.5	Electrical safety device/equipment	94
2.6	Components	115
3	Conductor rail system	119
3.1	Third rail Power supply system	119
3.2	Overhead conductor rail	126
4	Climatic conditions	134
4.1	General specifications on the selection of climatic parameters	134
4.2	Temperature	136
4.3	Wind velocities and wind loads	138
4.4	Ice and snow accumulation	144
4.5	Active substances in the air	147
4.6	Lightning voltage surges	149
4.7	Earthquake and its damages	149
4.8	Others	151
5	Mechanical calculation	153
5.1	Basic loads and their calculation	153
5.2	Calculation of sag and tensile force	158
5.3	Determination of maximum permissible span length	165
5.4	Determination of tension length	187
5.5	Calculation and plot of conductor state-change curve	198
5.6	Load analysis and calculation of cantilevers and poles	207

5.7	Load calculation on Head-span poles	220
5.8	Verification of the stability of foundations	224
6	Electrical calculation	236
6.1	Ampacity calculation	236
6.2	Electric field calculation	243
6.3	Systems and their calculations	246
6.4	Harmonic interference	249
7	Design of pantograph and overhead contact line system	252
7.1	General	252
7.2	General characteristics of pantographs	253
7.3	Performance optimization of pantographs	257
7.4	Interaction between pantographs and overhead contact line systems	262
7.5	Simulation of the dynamic interaction between pantograph and overhead contact line	278
7.6	Influences on current collection quality	291
8	Engineering design	303
8.1	Substance and standard	303
8.2	Layout plan	314
8.3	Introduction to CAD design	326
9	Construction technology and engineering management	330
9.1	Construction process	330
9.2	Engineering management	351
10	Construction calculation	359
10.1	Dock planner calculation of supporting assembly	359
10.2	Calculation of the integral dropper length	366
10.3	Configuration the geometrical parameters of head-span	370
11	Management and maintenance	377
11.1	Operating agency and its function	377
11.2	Operating system and management	378
11.3	Participant in construction	388
11.4	Information management system	391
12	Detection and status evaluation technology	394
12.1	Introduction to the detection	394
12.2	Geometric measurement	395
12.3	Elasticity measurement	397
12.4	Contact force measurement	398
12.5	Electric arc measurement	402
12.6	Uplift value measurement of contact wire at supports	403
12.7	Temperature measurement	404

12. 8	Visual inspection device	405
12. 9	Status evaluation	407
13	Curriculum design	411
13. 1	Objective and requirements	411
13. 2	Basic tasks	411
13. 3	Basic procedure and main contents	413
13. 4	Required design document and its requirements	414
13. 5	noticed questions	415
Appendix 1	Parameters list for commonly used pole of overhead contact line system	416
Appendix 2	Mechanical and electrical parameters of strand conductor made of copper ...	422
Appendix 3	Mechanical and electrical parameters of strand conductor made of steel and aluminum	425
Appendix 4	Symbols for the overhead contact line used in layout plans	428
Appendix 5	Overhead contact lines layout (partial view)	illustration
Appendix 6	Overhead contact lines layout (engineering quantity, desing explanation, icons section)	illustration
Reference		430

第 1 章 电气化轨道交通概述

电气化轨道交通是指利用电能作为牵引原动力的轨道交通，起源于 19 世纪下半叶。电气化轨道交通系统与其他轨道交通系统相比较，最显著的区别是增加了牵引供电系统。牵引供电系统包括变电所、接触网等。接触网是指通过集电装置(集电靴、受电弓等)向电力牵引单元提供电能的机电系统。接触网的应用领域包括电气化铁路、城市轨道交通、城市无轨电车、大型工矿企业内部的电力运输等。

接触网是电气化轨道交通(城市轨道交通、电气化铁路等)的重要组成部分，是电气化轨道交通的标志性供电设施，是一特殊的电力输电线路。接触网的特殊性在于接触网是集电装置的滑道，除应具备电力输电线路的全部特性和要求外，还与集电装置存在几何、电气、机械和材料匹配关系。因此，接触网的研究内容和研究方法 with 电力架空线路有许多相似之处，又有其特殊之点。

1.1 电气化轨道交通的起源与发展

1876 年俄国工程师 Ф. А. 皮洛斯基在彼得堡首次采用钢轨作为“接触网”给“电力机车”供电，这是最早的“接触轨”，因绝缘需要，“列车”采用木制车轮；1879 年 Werner von Siemens 设计并制造出了世界上第一套具有现代电气化轨道交通雏形的“电气化轨道交通系统”并于当年 5 月 31 日在德国柏林世界贸易会上运行展出。该套系统由“一条 300 m 椭圆形轨道(轨距 1 m)、一根 DC150 V 供电轨(敷设于两走行轨中间)、一台 2.2 kW 直流电机驱动的‘电力机车’和三节‘客车’”组成。

1881 年在法国巴黎国际电工展览会上第一次出现了由两条架空导线供电的“架空式接触网”；1884 年美国人 C. J. 范德波尔在多伦多农业展览会上用一根带有触轮的集电杆和一条架空接触线向电车供电，钢轨作为回路；1889 德国首次出现了弓状集电器；1893 年英国首次利用电气牵引改造伦敦地铁，彻底消除了因蒸汽机车牵引造成的环境污染；1893~1895 年，瑞典、美国、日本都先后修建了 10 km 左右的直流电气化铁路；1898~1902 年，德国、意大利修建了三相交流电气化铁路；1903 年 10 月，德国 AEG 公司设计生产的三相电动车创下了 210 km/h 的试验速度，因需由三根接触导线(各为一相)向电动车供电，接触网的结构过于复杂，且列车无法通过道岔，因此，三相交流电气化铁路没有得到发展和实际应用。

早期的电力牵引均采用直流，一方面是受制于当时的电力技术，另一方面是串联整流子电机具有良好的扭矩——速度双曲线特性。直流牵引存在电压低、牵引电流大、传输距离短等不足。因此，从 20 世纪初起，人们一直致力于将串联电机在牵引方面的优点和交流电的可变压特性结合起来，进行三相公共电网向电气化轨道交通系统供电的研究，但受制于当时的技术条件，有三个问题难以解决：

(1) 由于在输入端绕组中产生与频率成正比的电压，使 50 Hz 单相串联电机的整流子

磨损严重。

(2)接触网附近的电缆线路上产生很强的与频率成正比的感应干扰。

(3)在三相电网中产生明显的非正常的电压不平衡值。

为此,德国采用了为电气化铁路建造单相独立电网,并将电网频率降低至工频的三分之一的单相 AC15 kV、16.7 Hz 供电制式^①。1912~1913 年德国在实际工程中首次采用了这种供电制式并沿用至今;1953 年法国成功开发出工频单相 AC25 kV 供电制式,使电气化铁路从三相公共电网获得牵引电能梦想得以实现;1964 年日本采用该供电制式在新干线实现了 210 km/h 的高速运营。

电力牵引具有清洁、环保、能源综合利用率高、牵引功率大、便于实现自动控制等诸多优点,自其出现之后便在世界各国得到迅速发展,并随着电力技术和电子技术的每一次进步产生新的飞跃。

中国第一条电气化轨道交通系统是 1899 年由德国西门子公司修建的北京郊区永定门—马家堡火车站之间的有轨电车线路。之后,香港(1904 年)、天津(1906 年)、上海(1908 年)、大连(1909 年)、北京(1921 年)、沈阳(1924 年)、哈尔滨(1927 年)、长春(1935 年)等城市相继开通了有轨电车线路^②。

随着汽车工业和城市的发展,有轨电车线路被陆续替代。当汽车的环境、能源、噪声、拥堵问题突显之后,各地方政府改变了过度依赖汽车交通的交通策略,回过头来又大力发展城市轨道交通,至 2012 年底,中国城市轨道交通的运营里程已达 3000 km 以上。

中国第一条干线电气化铁路是宝成(宝鸡—成都)铁路,全长 686 km,1975 年全线贯通。其中,宝鸡—凤州段(93 km)于 1961 年先期建成通车。

中国高速铁路工程始于 1995 年。1998 年第一条准高速电气化铁路——广深铁路建成通车;2003 年自主设计和建设的秦沈客运专线实现了 200 km/h 以上的运营;2008 年京津城际客运专线开通;2009 年 12 月、2010 年 2 月、2011 年 6 月、2012 年 12 月代表中国高铁技术成果的武广高铁、郑西高铁、京沪高铁和京广高铁相继开通运营,最高运营速度 350 km/h。

1.2 牵引供电系统的基本组成

电气列车(电力机车和电动车组)是能源外给型机车,需在列车与电网之间构建一套接受、转换、输送电能系统,该系统即为牵引供电系统。

供电制式不同,牵引供电系统的组成也会有所不同,但均包括电能的产生、馈出和传输三大部分。

中国电气化铁路采用单相工频(50 Hz)AC25 kV 供电制式,供电网络如图 1-2-1 所示,牵引供电系统由牵引变电所和牵引网两大部分组成,牵引变电所出口电压为 27.5 kV,接触网标称电压为 25 kV。

^① 供电制式——指供电电源的频率和电压等级,电气化轨道交通的主要供电制式有:单相 AC25 kV、50 Hz;单相 AC15 kV、16.7 Hz;DC3 kV 和 DC1.5 kV 等。

^② 数据来源于 baike.baidu.com。

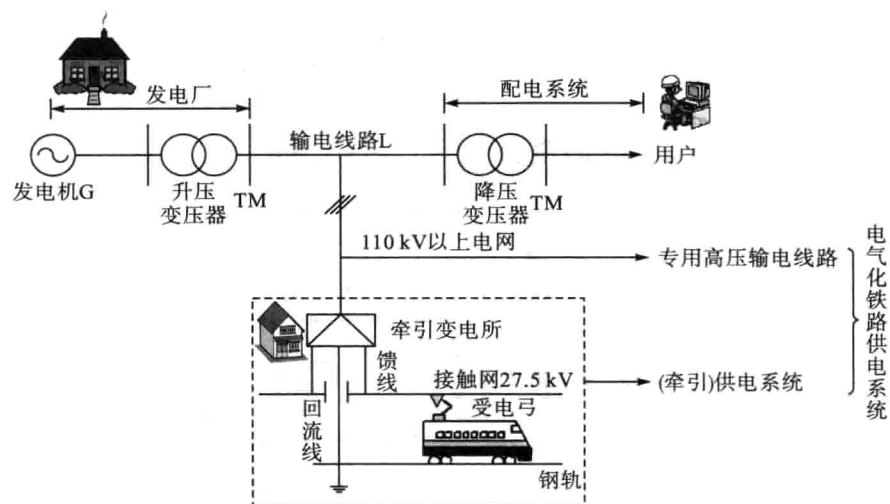


图 1-2-1 电气化铁路供电网络示意图

考虑到牵引功率、空间环境和电气安全等诸多因素，城市轨道交通一般采用DC 3000 V、DC1500 V 和 DC750 V 等供电制式，供电网络如图 1-2-2 所示。

由图 1-2-1 和图 1-2-2 可知：牵引供电系统包括入所电源、牵引变电所、馈电线、接触网、回流网络(钢轨、大地等)等几大部分。

1.2.1 牵引变电所

牵引变电所从公共电网引入三相交流，并转换为适合电气列车使用的单相交流(城轨交通系统为直流)电馈送到接触网上，除此而外，牵引变电所还起着保护、测量、控制电气设备，提高供电质量，降低电力牵引负荷对公共电网影响的作用。

电力牵引负荷是一级电力负荷，牵引变电所必须由两路独立电源供电，两路电源互为热备用。

为保证牵引供电系统具有更高的供电可靠性和足够大的容量，高铁牵引变电所均采用电压等级为 220 kV 及以上的双回路线路，并互为热备用。

高速铁路采用 220 kV 以上外部电源的原因在于：高速铁路(客运专线)按间隔 3 min 16 辆编组运行时，牵引变电所的瞬间负荷可达 170 MV·A，高峰小时可达 130 MV·A，牵引电流大，波动剧烈，谐波丰富。为了增大电网对谐波、负序的承受力，减少牵引变电所母线电压的波动，降低输电线路损耗，保证输电线路的动态、静态稳定。另一方面，提高供电电压可降低导线发热、电压损失、功率和能量损耗。

电力网的电压等级与输送功率和输电距离的大致范围见表 1-2-1。

表 1-2-1 电网电压与输送功率和距离关系对应表

电网标称电压/kV	输送功率/(MV·A)	输送距离/km
110	10~50	50~150
220	100~150	100~300
500	1000~1500	150~850

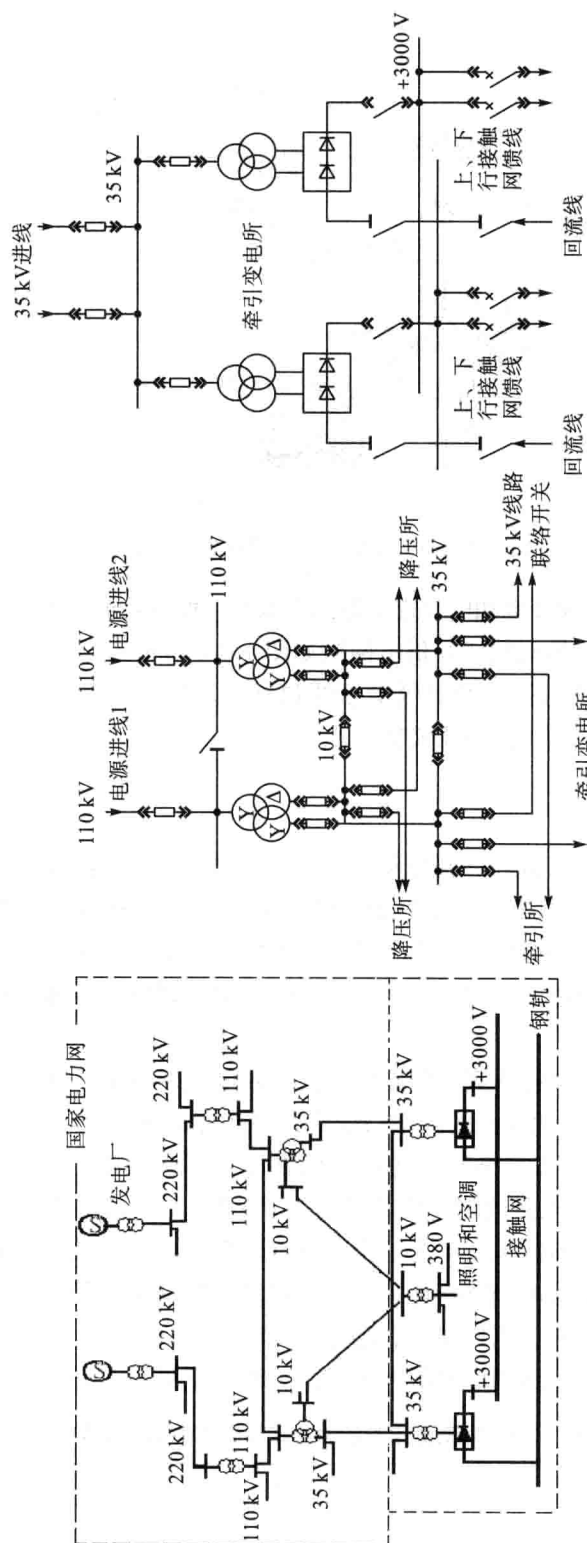


图1-2-2 城市轨道交通供电网络示意图

变电所设备分为一次设备和二次设备,一次设备是指接触高电压的电气设备,如牵引变压器、高压断路器、高压隔离开关、高压(电压和电流)互感器、输电线路、母线、避雷器等,这些设备主要完成电能变换、输送、分配等功能。二次设备是一次设备的“警察”和“卫士”,起控制、监视、保护一次设备的作用。

随着电子技术的发展,二次设备的集成度和智能化程度越来越高,变电所(站)可实现无人值班。这些功能是靠牵引供电综合调度自动化系统实现的。

牵引供电综合调度自动化系统包括数据采集与监视控制系统和变电所自动化系统两个子系统,是牵引供电技术、自动控制理论、计算机技术、现代通信理论和技术的综合应用,主要监控牵引供电系统沿线各变电所、分区所、开闭所的设备运行状态,完成遥控、遥测、遥信、遥调、遥视、保护及调度事务管理、辅助完成事故分析及处理等功能。

1.2.2 牵引网

构成牵引电流通路的电气网络(馈电线、接触网、钢轨和大地、回流线等)称为牵引网。供电形式不同,牵引网的具体构成也就不同,但均包括馈电线、接触网、钢轨和大地。

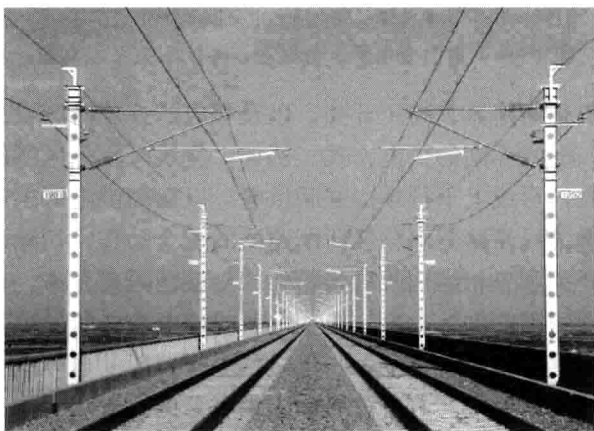


图 1-2-3 电气化铁路接触网

馈电线是连接牵引变电所和接触网的导线或电缆,亦称供电线。

接触网(图 1-2-3)是牵引电能的输送线路和集电装置的滑道。

钢轨和大地是牵引电流流回牵引变电所的主要通道之一。

回流线是指连接钢轨和牵引变电所接地网,将牵引电流引回牵引变电所的金属绞线或电缆。为降低牵引网的电磁干扰,提高电气化铁路的电气安全,在接触悬挂另一侧架设的一条起回流作用的架空金属绞线也称为回流线,详见 1.3 节。

1.2.3 分区所和开闭所

中国电气化铁路采用单边供电,在复线单边供电中,在供电分区的末端设置分区所,如图 1-2-4 所示。