铁路继续教育系列教材

自学指导书

（电力牵引供电系统技术及装备）

铁道部人才服务中心　组织编写

西南交通大学出版社
·成　都·

需要全本请访问 www.ertongbook.com

前　言

根据铁道部人才服务中心和铁路有关单位继续教育用书的需要，为了帮助读者自学《电力牵引供电系统技术及装备》教材时，明确学习目的与要求，分清重点、难点与一般内容，做到掌握重点，合理分配自学时间，特编写了《电力牵引供电系统技术及装备》自学指导书。

该指导书的章节编排次序与原教材一致，共分四章。每章内容包括：学习目的与要求、内容提要、重点与难点、自学学时数和思考题。参考书已在原教材中分章列出，此处不再重复。编写本指导书的指导思想和出发点是：注重基本原理的切实掌握；强调理论结合实际、学以致用的原则和学习方法，在职技术人员一定要结合本单位、本地区的实际设备和技术发展方向进行分析论证与有针对性的学习。全书自学总时数为 108 学时，各章自学时数分别为：第一章 26 学时；第二章 38 学时；第三章 24 学时；第四章 20 学时。

参加本指导书的编写人员有：第一章程波；第二章贺威俊、高仕斌；第三章李岚、董昭德；第四章王茜。全书由贺威俊教授进行统稿和审校。

编　　者

2000 年 12 月于成都

目　录

第一章　电力牵引供电系统基本分析

1.1　**概　述**……1

1.2　**带回流线的直接供电（DN）方式**……2

1.3　**自耦变压器（AT）供电方式**……3

1.4　**牵引网负荷电流和电压水平计算**……5

1.5　**电力牵引系统负序电流及其改善措施**……8

1.6　**牵引网谐波及其治理**……10

1.7　**牵引网功率因数及其改善措施**……11

1.8　**牵引网供电电压改善方法**……13

1.9　**牵引供电系统仿真及供电能力核查**……14

1.10　**高速铁路牵引供电系统构成及有关技术问题**……16

1.11　**牵引供电系统绝缘配合与过电压保护**……18

第二章　牵引变电所主设备和监控保护、测试新技术

2.1　**牵引变电所功能和主要运行技术指标**……20

2.2　**新型牵引变压器原理与特性**……21

2.3　**并联综合补偿技术**……24

2.4　SF_6 **全封闭组合电器及成套配电装置**……27

2.5 牵引变电所自动调压 ……30
2.6 微机继电保护原理及其 在供电系统中的应用……33
2.7 牵引网故障点测距与实时录波 ……38
2.8 牵引变电所综合自动化系统 ……40
2.9 高压电气设备试验新技术及其在线检测 ……42
2.10 牵引变电所二次设备测试系统 ……44
2.11 接地与接地装置系统 ……46
第三章 高、快速铁路接触网及受流技术
3.1 弓网相互作用动力分析 ……48
3.2 接触悬挂的振动特性及受流稳定性 ……50
3.3 弓网参数对受流质量的影响 ……51
3.4 弓网系统计算机动态仿真 ……52
3.5 高速接触网零件 ……53
3.6 接触网分段、分相装置 ……55
3.7 高速接触网的接触导线 ……56
3.8 高速接触网线岔 ……57
3.9 高速接触网悬挂方式和支持装置 ……59
3.10 接触网的静态检测 ……60
3.11 接触网的动态检测 ……61
3.12 接触网检测车 ……61
第四章 牵引供电远动监控系统
4.1 牵引供电远动监控系统基本概念 ……62
4.2 远动监控调度端系统 ……63
4.3 远动监控执行端系统 ……65

4.4 远动通信系统……67
4.5 牵引供电远动监控系统的监控功能……68
4.6 远动监控系统的统计分析与处理功能……70
4.7 远动监控系统的故障分析处理
功能及系统维护……71

需要全本请访问 www.ertongbook.com

第一章　电力牵引供电系统基本分析

1.1　概　　述

学习目的与要求

了解本章要讨论的主要问题：各种供电方式的结构、参数、性能的分析、计算和优化；各种供电方式在技术性和经济性的差异分析比较；牵引网负荷电流和电压水平的分析计算；负序、谐波、无功、电压损失的分析计算方法，治理的意义和综合治理方法（措施）；牵引供电系统计算机仿真的作用及在供电能力核查中的应用；高速铁路牵引供电系统的有关技术问题；牵引供电系统绝缘配合与过电压保护。

内容提要

电气化铁道供电系统的组成；电力牵引供电系统的主要特点；牵引网供电方式的种类；牵引变压器的种类及结构和性能特点；牵引供电系统存在的及有待研究解决的主要技术问题。

思考题

1. **我国电力牵引供电系统的主要特点体现在哪几个方面？**
2. **常用的供电方式有哪些？**
3. **常用的牵引变压器有哪几种？**
4. **牵引供电系统中存在的主要技术问题有哪些？**

1.2 带回流线的直接供电（DN）方式

学习目的与要求

了解 BT、AT 供电方式的固有弱点和直接供电方式的优势及存在的不足，DN 供电方式在技术性和经济性上所具有的综合优势，因而具有较广泛的适应性。*了解长、短回路计算模型及牵引网阻抗、回流网的回流率、屏蔽系数的计算。*了解回流网的参数调整及空间布置对取得最大回流率的作用。掌握改善 DN 供电方式屏蔽效果的途径。熟悉 DN 供电方式的优点和优势。

内容提要

根据供电方式的发展过程，提出 DN 供电方式所具有的技术和经济优势，在山区和高速铁路的电气化中具有较广阔的应用前景。

DN 供电回路由接触网、钢轨、沿全线架设的负馈线 NF 及 P 金属线等构成。

NF 线可以减少流入大地的电流，减轻对通讯的干扰，降低钢轨电位，减小馈电回路的阻抗。当绝缘子闪络时，还可起到回归短路电流的作用。

对 DN 供电方式的特性分析，一是运用长、短回路分析方法，分析技术特性；二是分析调整回流网的参数及空间布置对取得最大回流率的作用。

改善 DN 供电方式的屏蔽效果，可采用在钢轨 T 和 NF 线中串入电容 SC、适当增加 NF 线根数、NF 线与接触网的近距悬挂、考虑短回路长度 S 等措施和途径。

DN 供电方式具有较明显的优点和优势。

重点

DN **供电方式的构成及特点；*长、短回路计算模型及牵引网阻抗、回流网的回流率、屏蔽系数的计算；*分析回流网的参数调整及空间布置对取得最大回流率的作用；改善** DN **供电方式屏蔽效果的途径；**DN **供电方式的优点和优势。**

难点

长、短回路计算模型及牵引网阻抗、回流网的回流率、屏蔽系数的计算。

自学学时数

2 **学时。**

思考题

1. DN **供电方式由哪些部分组成？**
2. NF **线的作用是什么？**
3. **分析** DN **供电方式技术特性（回流率）的方法有哪几种？**

*4. **长、短回路的技术参数及特性有哪些？**

*5. **试分析回流网的参数调整及空间布置对取得最大回流率的作用。**

6. **提高** DN **供电方式屏蔽效果的途径有哪些？**
7. DN **供电方式的技术优势体现在哪些方面？**
8. DN **供电方式分别与** BT **供电方式、**AT **供电方式相比，在技术性和经济性上有何优势？**

1.3 自耦变压器（AT）供电方式

学习目的与要求

掌握 AT **牵引网和** AT **供电系统的组成。了解复线** AT **网络**

的电流分布情况。了解 AT 牵引网的结构和参数对防干扰性能的影响。*了解运营过程中 AT 解列对供电系统参数、电压水平的影响，消除影响的措施。熟悉 AT 供电方式的主要技术优势。

内容提要

AT 牵引网由接触悬挂 T、正馈线 F、保护线 PW、轨道大地系统 R 以及每隔一定距离设置的自耦变压器 AT 组成，见图 1-4、图 1-18。

AT 变压器并联于接触导线和正馈线之间，其中点和钢轨相连，可以输入较高的电压而得到机车所需的低电压，而输入电流为输出电流的一半。利用 AT 的这个特点，可增大变电所间的距离和增大传输功率。

复线并联供电 AT 网络的电流分布及电流分布曲线，见图 1-7、图 1-8。电流分布曲线可采用图解法得出。

单线 AT 网络牵引网的阻抗分布曲线，见图 1-10。

复线上下行并联供电 AT 网络牵引网的阻抗分布曲线，见图 1-11。

对 AT 供电方式的防干扰性能，可采用“全安培公里（A·km）”进行分析。AT 牵引网的结构和参数对防干扰性能有直接影响。降低对通信线路干扰的措施主要有：采用相同截面的接触导线和正馈线，并尽可能对称布置；采用低漏抗的 AT；缩短 AT 间隔。

AT 供电系统中牵引变电所、开闭所、分区亭、AT 所的主结线图，AT 牵引网中设备的作用。

运行中 AT 解列时线路阻抗、钢轨电位、感应电压、电压降的变化情况及消除 AT 解列影响的技术措施。

AT 供电方式的主要技术优势及复线 AT 区段运营中有待解决的主要问题。

重点

AT 牵引网的组成；复线 AT 网络的阻抗与距离的关系曲线；AT 供电系统的组成；*AT 解列对供电系统参数和电压水平的影响；AT 供电方式的主要技术优势。

难点

复线 AT 网络的电流分布及分布曲线；AT 供电方式防干扰性能分析。

自学学时数

4 学时。

思考题

1. AT 牵引网由哪几部分构成？
2. AT 供电系统由哪几部分构成？
3. 单线和复线区段 AT 牵引网阻抗的分布各有何特点？
4. 影响 AT 网络防干扰性能的因素有哪些？降低 AT 网络对通信线路干扰的措施有哪些？

*5. 复线 AT 区段开闭所的作用是什么？在正常运行和接触网检修时，其上、下行牵引网采取何种运行方式？

6. 分析 AT 解列对牵引供电系统参数和电压水平的影响。消除 AT 解列影响的措施有哪些？
7. AT 供电方式的主要技术优势表现在哪些方面？

*8. 简述复线 AT 区段运营过程中存在的现实问题及解决方案。

1.4 牵引网负荷电流和电压水平计算

学习目的与要求

了解计算牵引网负荷电流的三种方法及利用计算机仿真

计算法计算牵引负荷电流的思路；熟悉影响牵引网电压水平的因素；了解牵引网的最大电压损失的计算，牵引变压器的电压损失的分析和改善；熟悉保证牵引网最低电压水平的技术措施。

内容提要

牵引网负荷电流的分析计算可采用：平均行车量法、概率统计法和列车运行图法。对不同的计算法，所需的基础资料及前提条件不同。

平均行车量法是把供电臂中实际存在的列车数量变化、列车电流大小变化的负荷看成是在一昼夜内列车数目不变、列车电流大小不变、彼此不相关的集中移动负荷。对于负荷比较均匀、运量较大的线路，这种方法的计算结果与实际情况较为接近。

概率统计法与平均行车量法相比，许多牵引供电计算既可采用前者，也可采用后者，计算结果相同；前者还可以计算后者不便计算的问题，如单线区段供电臂的最大电流、最大电压损失等。

列车运行图法是根据供电臂上列车运行图及由牵引计算得到的列车电流变化曲线确定供电臂上的负荷过程的方法。随着计算机仿真技术的发展，该方法将会得到广泛应用。

供电臂最大电流的计算：为了检验变压器的过负荷能力或计算变压器的最大压损，需要计算供电臂的短时最大电流。该电流可用仿真计算、运行图法或用供电臂 95%最大车数与每列车电流求得。

牵引变电所母线电流的计算方法：一相母线电流是其上

需要全本请访问 www.ertongbook.com

所有供电臂电流的汇总，包括母线平均电流和母线有效电流，分别按式（1-41）、（1-42）或（1-43）计算。

影响牵引网电压水平的因素：主要有电力系统供电电压的稳定程度，牵引负荷在牵引网、牵引变压器以及在电力系统中造成的电压损失值。

牵引网最大电压损失的计算：对单线区段，牵引网的最大电压损失可参照表 1-2 并按式（1-45）计算；对复线牵引网实行单边并联供电时，可参照表 1-2 并按式（1-46）计算。

牵引变压器的电压损失：对不同结线的牵引变压器，其电压损失的计算不同；当采用并联补偿装置后，改变了牵引负荷在变压器绕组中的分布，可降低变压器绕组的压损，且随着对无功和负序补偿程度的不同，对变压器绕组压损的降低程度也不同。

重点

牵引网电压水平的分析计算，保证牵引网最低电压水平的方法和技术措施。

难点

牵引网负荷电流的计算：平均行车量法和概率统计法。

自学学时数

3 学时。

思考题

1. 对牵引网负荷电流的分析计算，在设计中常采用什么方法？对运营电气化区段采用什么方法？

2. 牵引网负荷电流的特征参数有哪些？

3. 电压降落、电压损失、电压偏移有何区别？

4. 牵引网的电压水平由哪几方面决定？

5. 什么是牵引网的单位等效阻抗？

6. 试全面分析改善和保证牵引网电压水平的技术措施（结合 1.8、2.2、2.5 节内容分析）。

1.5 电力牵引系统负序电流及其改善措施

学习目的与要求

了解牵引负荷对电力系统造成的不良影响；负序电流的分析计算方法；*能分析和制定负序补偿（综合补偿）方案。

内容提要

独立、随机、单相的牵引负荷必然要在电力系统中引起负序电流，会对电力系统造成不良影响。

电流、电压不对称度的概念，见式（1-47）。

分析计算牵引负荷在电力系统中产生的负序电流的方法：静态计算法和动态计算法。

负序电流的静态计算法是把变电所臂负荷分量看成一个恒定不变的计算负荷，此法分为传统电路分析法和变压器原次边复功率守恒法。

传统电路分析法是根据不同结线牵引变压器的电磁路，用电路分析方法得出同各臂负荷分量相对应的原边三相电流，然后用对称分量法求出其负序分量。该法直观，但需对不同结线变压器电路进行逐一分析，过程繁琐，且负序电流的分析结论是在假设两臂负荷功率因数相同的情况下得出的。

变压器原次边复功率守恒法是在忽略变压器复功率损耗的条件下，根据其原边输入的三相总复功率与次边输出的单

相总复功率相等进行负序分量的分析，次边单相负荷在一次侧所产生的负序电流分量的计算表达式适用于任一接线形式的牵引变压器。对有多个单相负荷作用时，可先分别求出独立负荷作用下的负序电流分量，再求其相量和，得到总的负序电流。

负序电流的动态计算法是应用概率法，将负荷看成是对应一定运输条件，具有一定数字特征的随机变量，计算出的负序电流更接近于实际。

减少因牵引负荷在电力系统中产生的负序电流，一是采用轮换接线方式，二是采用并联补偿装置。前者是通过多个牵引变电所的综合作用实现的；后者是利用自身产生的反向负序功率与牵引负荷产生的负序功率相平衡，实现了单相牵引负荷反映在电力系统中的对称性。

在制定负序补偿方案时，应考虑对负序、无功、谐波、压损、节能、节容等的综合作用，以提高补偿装置的经济性。

重点

不同结线牵引变压器对负序电流的影响；改善负序的措施；并联补偿装置对负序、无功等的综合补偿作用。

难点

用变压器原次边复功率守恒法计算负序电流。

自学学时数

2 学时。

思考题

1. 电力牵引系统负序电流的分析计算方法有哪些？
2. 何谓电流、电压不对称度？

3. 改善牵引负荷在电力系统中产生负序电流的措施有哪些？

4. 什么叫并补装置的负序补偿度？

*5. 如何看待并联补偿装置 PCC 和 PRC 的综合补偿作用？

1.6 牵引网谐波及其治理

学习目的与要求

了解谐波的产生及其危害、谐波的分类及特性参数；会用概率法计算谐波电流；了解谐波的影响及其估算；*熟悉谐波的治理方案。

内容提要

交—直整流型电力机车是谐波源，谐波电流流过牵引网，会对通讯线路产生杂音干扰；谐波电流流入电力系统会造成许多不良影响，必须采取一定的措施予以治理。

广义上的谐波，根据其频率是基波频率的整数倍或分数倍，可分为谐波和分数谐波，后者又可进一步分为次谐波和交互谐波（中间谐波）。

对某一指定系统产生的谐波可分为特征谐波和非特征谐波。

谐波的特性可用频谱、谐波次数、谐波幅值、谐波含有率、谐波有效值、波形畸变率、谐波序位、谐波正序和负序及零序分量等特性参数来描述和表征。

对牵引负荷谐波电流的计算可仿照牵引负荷电流的计算方法，采用计算机仿真计算法、概率法和运行图法。

牵引负荷电流中的谐波分量对牵引供电系统造成的影响

主要表现在：一是产生并联谐振，二是对牵引变压器造成影响。

谐波的影响程度可用监测点的谐波电压和谐波电压总值来描述，分别按式（1-74）、（1-75）或（1-76）计算。

为减少牵引负荷中谐波电流进入电力系统，可采用并联电容补偿装置串入电抗器和采用单调谐滤波器等两种有效的谐波治理措施。

重点

谐波的影响及其估算；谐波治理措施及原理。

难点

谐波特征参数；谐波的影响分析。

自学时数

3 学时。

思考题

1. 牵引负荷中的谐波对牵引供电系统、电力系统和通讯将产生哪些不良影响？谐波的影响怎样分类？

2. 谐波怎样分类？谐波的特性参数有哪些？

3. 分析、计算牵引负荷谐波电流的方法有那些？

4. 监测点某次谐波电压和谐波电压总值如何估算（预计）？

5. 治理谐波的措施有哪些？

*6. 试从技术和经济角度综合评价谐波的治理措施。

1.7 牵引网功率因数及其改善措施

学习目的与要求

了解提高功率因数的现实意义；掌握并联电容补偿装置

补偿无功的原理及其综合补偿作用，补偿方案和补偿容量的确定。

内容提要

提高牵引供电系统的功率因数可提高自身和电力系统运行的经济性，电能质量也得到提高。

提高功率因数的方法主要有两种：同步调相机补偿，静电电容器及电抗器补偿。在牵引变电所中广泛采用后者。

在牵引变电所中采用并联电容补偿装置后，直接作用使功率因数由 $\cos\Phi_1$ **提高到** $\cos\Phi_2$ **；另外，对牵引网中的电流补偿程度可由无功补偿度** K_c **来表示，其计算见式（1-85）。**

并联电容补偿装置具有补偿无功、提高变压器容量利用率、降低变电所功率损失、补偿负序、降低牵引母线各相压损等综合作用。

并联电容补偿装置补偿方案的确定原则：优先选用两相补偿，实行两臂不等量补偿，即根据两臂负荷大小确定总补偿容量后，在滞后相多补、引前相少补。

补偿装置的补偿容量按式（1-94）确定，但应考虑有无无功正计的要求。

重点

并联电容补偿装置补偿无功的原理及其综合补偿作用、补偿方案。

难点

并联电容补偿装置的综合补偿作用。

自学学时数

2 **学时。**

需要全本请访问 www.ertongbook.com