

铁路技工学校教材

电气化铁道供变电

宝鸡铁路运输技工学校 郑社宁 主编

中国铁道出版社

U223
007

铁路技工学校教材

电气化铁道供变电

宝鸡铁路运输技工学校 郑社宁 主编
贵阳铁路司机学校 倪 伟 主审

中 国 铁 道 出 版 社

1996年·北京

(京)新登字 063 号

图书在版编目 (CIP) 数据

电气化铁道供变电/郑社宁主编. -北京:中国铁道出版社, 1996
铁路技工学校教材
ISBN 7-113-02439-4

I. 电… II. 郑… III. ①电气化铁道-供电-技工学校-教材②电气化铁道-牵引变电所-技工学校-教材 IV. U223

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (96) 第 16514 号

铁路技工学校教材

电气化铁道供变电

宝鸡铁路运输技工学校 郑社宁 主编

*

中国铁道出版社出版发行

(北京市宣武区南菜园街甲 72 号)

责任编辑 张永国 封面设计 陈东山

北京市燕山联营印刷厂印

开本: 787×1092 毫米 1/16 印张: 7.75 字数: 181 千

1996 年 11 月 第 1 版 第 1 次印刷

印数: 1—5000 册

ISBN 7-113-02439-4/U · 685 定价: 9.80 元

内 容 简 介

本书较全面地介绍了工频单相交流制电气化铁道供变电系统的工作情况。具体内容以电气化铁道供变电基本知识、牵引变电所的结构和电气主结线为重点,对分区亭、开闭所、自耦变压器站等的工作原理及结构特点也作了适当介绍。并为适应“双向选择”的新兴就业方式,还对牵引变电所二次电路的运行管理知识专门进行了概括性叙述。

本书可作为铁路技工学校接触网工专业的教材,也可作为培养中级接触网工和变电值班工的教材。

前 言

本教材是根据铁路运输技工学校接触网工专业“电气化铁道供变电”课程教学大纲的要求，按照1992年10月宝鸡会议精神编写而成的。

“电气化铁道供变电”主要讲述工频单相交流制电气化铁道供变电系统的工作情况，具体内容以电力铁道供变电基本知识、牵引变电所的结构、设备和电气主结线等为重点，对分区亭、开闭所、自耦变压器站等的工作原理及结构特点也作了适当介绍。为适应“双向选择”的新兴就业方式，本教材对牵引变电所的二次电路及运行管理知识专门进行了概括性叙述。

考虑到接触网工专业的特点，本教材不可能详尽叙述供变电系统的全部内容，特别是对牵引变电所的二次设备，诸如继电保护、开关控制电路、中央信号电路、自动装置及远动技术只能作一些概括性介绍。而对大纲中要求重点掌握的“牵引变电所的电气主结线”则作了较为全面的叙述和分析，力图使学生明确各种主结线的结构特点、运行方式及倒闸操作程序等。而且考虑到有部分学生将来毕业后可能要从事变电值班工作，本教材的第四、五章内容正是基于这种考虑而适当加深编写的。

本教材的一个显著特点就是采用了新的国家标准GB4728-85。例如三相交流电的相序，原来通用的代号是A、B、C，现统一改为L1、L2、L3；三相变压器（包括电压互感器、电动机）的接线端子由原来的A、B、C（首端）及X、Y、Z（末端）改为U1、V1、W1（首端）及U2、V2、W2（末端），原边和副边的区别以在字母前加“1”和“2”表示，不再采用相同字母的小写。各种电气元件的图形和代号、继电器的代号等也有了较大的变动。

本教材立足于技工学校的教学特点，即在注重基本概念阐述的同时，紧密结合现场实际，避免过多的理论分析。本着“精讲多练”的原则，每章后都附有一定数量的思考题与习题。在文字叙述上也力求通俗易懂，由浅入深，以便于自学。也适合作为站段单位的职工培训教材。

按照教学大纲的规定，本教材共分五章。其中第一章是供变电基本知识；第二章是牵引变电所的电气设备和高压开关电器；第三章是牵引变电所的电气主结线；第四章是继电保护装置与供变电装置的二次电路；第五章是牵引变电所的运行与管理。章节前标有*者为选学内容，由教师在授课时灵活掌握。

本教材按总学时为60课时编写。其中第一章至第三章由郑社宁同志编写，第四章和第五章由宋淑娟同志编写。全书由宝鸡铁路运输技工学校郑社宁主编，贵阳铁路司机学校倪伟主审。参加审稿的有衡水铁路电气化学校，大同、宝鸡、洛阳、兰州、福州、忻州铁路运输技工学校，贵阳、锦州铁路司机学校等单位有丰富经验的教师，他们在审稿中提出了非常宝贵的意见。另外，宝鸡铁路运输技校的有关领导对本教材的编写给予了大力支持和热情帮助，在此一并表示感谢。

编 者
1995年12月

目 录

第一章 供变电基本知识	1
第一节 电力系统概述.....	1
第二节 牵引供电系统.....	5
第三节 供变电装置的结构与作用.....	8
第四节 牵引变电所的供电方式	12
第五节 牵引供电系统的电压损失	15
第六节 单相牵引负荷对通信线路的干扰影响及防护	18
第七节 单相牵引负荷对电力系统的影响及改善措施	23
* 第八节 特殊接线的牵引变电所	27
思考题与习题	29
第二章 牵引变电所的电气设备及高压开关电器	31
第一节 牵引变压器	31
第二节 互感器	36
第三节 断路器	42
第四节 熔断器	49
第五节 隔离开关	50
第六节 接地装置和避雷装置	53
思考题与习题	58
第三章 牵引变电所的电气主结线和配电装置	60
第一节 一次侧结线的基本型式	61
第二节 牵引负荷侧电气结线	66
第三节 开闭所、分区亭及 AT 所的电气主结线	68
第四节 牵引变电所电气主结线举例	70
第五节 配电装置	77
思考题与习题	80
第四章 继电保护装置与供变电装置的二次电路	82
第一节 继电保护装置概述	83
第二节 常用的继电器	84
第三节 电流保护	87
第四节 电压保护	90
第五节 方向电流保护及阻抗保护	91
第六节 成套保护装置及牵引变电所主要保护装置概述	93
第七节 开关设备的控制电路	95
第八节 中央信号电路	96

第九节 自用电系统与监测电路	99
第十节 自动装置与远动技术	103
思考题与习题	106
第五章 牵引变电所的运行管理	107
第一节 牵引变电所运行管理概述	107
第二节 牵引变压器的运行与巡视	108
第三节 高压断路器的运行与巡视	110
第四节 隔离开关倒闸操作	112
第五节 牵引变电所检修作业安全措施	113
思考题与习题	115
参考文献	115

第一章 供变电基本知识

本章是“电气化铁道供变电”课程的基础部分，也是学好本课程的关键。内容包括：电力系统、牵引供电系统概述；供变电装置的一般结构与作用；牵引变电所的供电方式以及工频单相交流制电气化铁道所存在的三大问题及解决方法等。

第一节 电力系统概述

一、电力系统的概念

电力系统的首要任务是生产电能。电能是发电厂的产品，它不能储存，其生产和消费是随时平衡的。也就是说电能的生产、输送、分配和使用的全过程，是由发电厂、变配电所和电力用户紧密联系起来的一个整体在同一瞬间实现的。简言之，电力系统是一个包括发电、输电、变配电及电力用户构成的完整的工作系统，其简单结构如图 1-1 所示。

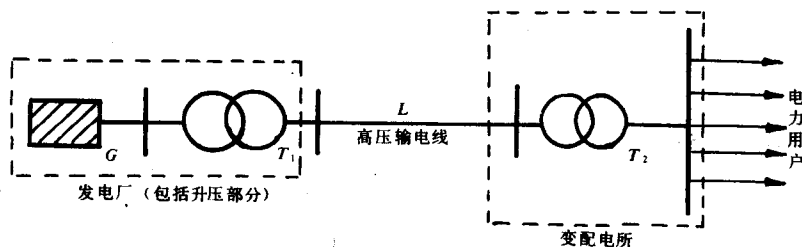


图 1-1 电力系统简单结构

图中 G 及 T_1 为发电厂设备。发电厂是电力系统的中心环节，它是将化学能、水能、原子能等转换为电能的一种工厂。我国的发电厂主要是水力发电厂及火力发电厂。在发电厂内，由发电机 G 发电，其端电压因受发电机绝缘水平的限制而不能过高，一般在 $3.15 \sim 15.75\text{kV}$ 之间。如果以这样低的电压向远处输送一定量的电能，将在输电线上流过很大的电流（ $P=UI$ ，功率 P 一定，电压 U 越低，电流 I 越大），从而造成较大的电压损失和电能损失（电压损失 $\Delta U=IR$ ，电能损失 $\Delta P=I^2R$ ，均与电流成正比）。为了减小电能（压）损失，一般是在发电厂内利用升压变压器 T_1 将发电机端电压升高，然后通过高压输电线 L 输送到用电地区。然而一般电力用户所需的电压为 $220/380\text{V}$ ，远比输电线的电压低。因此，在电力用户处应设置降压变电所 T_2 ，将输电线的高电压降低为电力用户适用的电压，再经配电装置后分配给电力用户，这样便完成了电力系统的任务。

图 1-1 只是电力系统的简单构成原理图。实际上电力系统的结构是相当复杂的，往往是在一个大的区域内的许多发电厂通过高压输电线互相联系起来，在接近电力负荷的中心区，设置一个区域变电所，负责一个区域的电力用户的供电任务。大型的区域变电所除具有降压作

用外，又可联系几个发电厂，使其并列运行。

二、电力网及电力用户

如上所述，在电力系统中，有一部分设备，起着联系发电厂和电力用户的作用，这一部分设备包括变电所及其所属的电力设备和各种不同电压等级的输电线路。习惯上，人们把由这一部分设备构成的供电网称为电力网。电力网分为输电网和配电网两大部分。

电力网是各发电厂之间以及发电厂与电力用户之间的桥梁，其主要职能是输送和分配电能。为了更好地输送和分配电能，电力网还要实现不同电压等级的变换。通过电力网的联合作用，把几个发电厂并联起来，构成发电厂间的并联（并列）运行，形成所谓联合电力网，这不仅可以提高电力系统供电的可靠性，更重要的是提高了电力系统运行的经济性。

联接在电力系统上的所有消耗电能的用电设备称为电力用户，其消耗的电能又称为电力系统的负荷，简称电力负荷。电力用户按其要求供电的连续性和可靠性的不同分为三级，其中一级、二级用户为重要负荷，三级用户为一般负荷。

对一级负荷供电的中断，将会造成人身伤亡，损坏设备，使重要产品变为废品，生产过程紊乱，公共生活混乱，给国民经济带来严重的损失。

对二级负荷供电的中断，将会造成大量减产，生产率严重降低，交通运输混乱，严重影响城市居民的正常生活等。

三级负荷是指所有不属于一级或二级的负荷，对它供电的中断，不会造成多大的影响。

对一级负荷必须由两个独立的电源供电，一个作为工作电源，一个作为备用电源。对三级负荷，一般不设备用电源。对二级负荷是否应设备用电源，要看该用户的重要程度，经过经济比较后确定之。

三、电力系统的额定电压

电力系统是一个庞大而复杂的工作系统，其中包括许多电气设备，这些电气设备如果采用任意电压，将使生产厂家不可能进行标准化、系列化的大量生产。为此必须规定电气设备的额定电压。

额定电压是指电气设备按长期正常工作时能发挥最大经济效果所规定的电压，也即在正常运行情况下所规定的标准电压。电力系统的额定电压是依照电气设备的额定电压而制定的，也就是说电力系统的额定电压就等于电气设备的额定电压。

图 1-2 所示为电气设备受电电压示意图。图中 AB 为一条输电线路， $I_1 \sim I_4$ 表示线路中接入的四个电气设备所取用的电流。由于线路在正常工作时存在着电压损失，因此线路各点电压是不相同的。显然线路始端电压高些，末端电压低些。线路电压变化可用 U_1 与 U_2 构成的直线来表示。



图 1-2 电气设备受电电压

由于生产的标准化，厂家不可能按照上述直线 U_1U_2 所示的所有电压来制造电器。那么究竟电气设备应按 U_1 与 U_2 间的哪个电压制造才会运行得最好呢？由于所有的电气设备的受电

电压与额定电压之差愈小时，它们就会运行得愈好。因此，显然应该采用线路始端电压 U_1 与末端电压 U_2 的算术平均值，即 $U_e = (U_1 + U_2) / 2$ ，作为电气设备的额定电压，这个电压也就是电力系统的额定电压。

计算表明，电力系统中的电压损失一般约占额定电压的 10%，而用电设备的受电电压一般允许在额定电压的 $\pm 5\%$ 的范围内变化。所以线路始端的电压一般比电力系统的额定电压高 5%，而线路末端的电压则可比电力系统的额定电压低 5%。例如发电机作为电源，接在线路始端，它的额定电压就要比它所接入的电力网的额定电压高 5%。变压器作为一个受电器，其原边的额定电压，应与它所接入的电力网的额定电压相同。而副边的额定电压，则要考虑变压器本身的电压损失 5% 及输电线上 5% 的电压损失。故变压器副边的额定电压应比电力网的额定电压高 10%。

我国电力系统规定的标准额定电压等级如表 1-1 所示，目前最高电压为 500kV，国外最高电压已达 1200kV。为了远距离、大容量输电的需要，我国目前正在探讨更高一级电压——750(800) kV 电压^① 应用的可行性。

表 1-1 电力系统额定电压等级 (kV)

系统额定电压	发电机电压	变 压 器 电 压	
		原 边	副 边
0.22	0.23	0.22	0.23
0.38	0.40	0.38	0.40
3	3.15	3~3.15	3.15~3
6	6.3	6~6.3	6.3~6.6
10	10.5	10~10.5	10.5~11
~	15.75	15.75	—
35	—	35	38.5
60	—	60	66
110	—	110	121
(154)	—	(154)	(169)
220	—	220	242
330	—	330	363
500	—	500	550

四、电力系统中性点的运行方式

电力系统的供电一般均采用三相制。

如图 1-3 所示，为三相电力系统供电原理图。三相电源(发电机或变压器)采用星形接线，星形接线中有一个公共点，如图中的 N ，这个公共点称为中性点。中性点是否接地，对电力系统工作状况的影响很大，为此有必要了解它的运行方式。

电力系统中性点的运行方式，按发生接地时接地短路电流大小的不同，分为中性点不接地、中性点经消弧线圀接地及中性点直接接地三种。下面分别说明各种运行方式的特点。

① 参见“电网技术”第 19 卷第 1 期“关于我国交流输电更高一级电压的选择”，郑健超文。

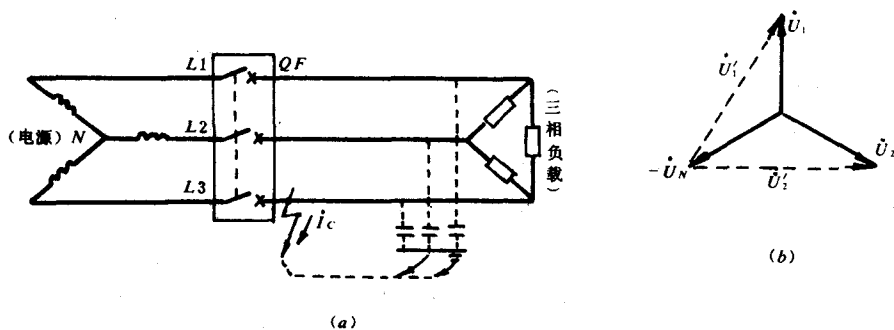


图 1-3 电力系统供电原理
(a) 供电原理; (b) 电压矢量图 ($L3$ 相接地)。

1. 中性点不接地系统

这是指中性点与地绝缘的一种运行方式。这种运行方式在任一相发生接地短路时, 接地相电压变为零, 中性点电压变为相电压 (原来为零), 非接地相对地的电压增大为 $\sqrt{3}$ 倍的相电压, 即等于系统的线电压。具体关系可参看电压矢量图 1-3 (b)。

由于输电线对地之间存在着分布电容^①, 因此就在接地点产生了电容电流 I_C , 不过此值一般不大, 对系统不会造成多大的影响。并且此时相间电压仍完全对称 (可由电压矢量图分析看出), 因此可继续向用户供电。但这毕竟是一种故障状态, 不允许持续运行, 一般只允许连续供电 2h。如果接地点因为接触不良发生电弧, 将使非接地相损坏的可能性增大。为此, 在这种系统中, 一般都装设专门的绝缘监察装置 (见第四章第九节), 以监视有无接地故障发生。

根据以上特点, 这种运行方式仅用于电压为 3~10kV 及 20~35kV 且其接地电流小于 10A 的电力系统中。

2. 中性点经消弧线圈接地系统

为了减小中性点不接地系统发生单相接地时产生的接地电流, 从而避免电弧的发生, 我国在 35~60kV 的高压电网中常采用中性点经消弧线圈接地的运行方式。

如图 1-4 所示, 为中性点经消弧线圈接地的三相系统原理示意图。图中 L 即为消弧线圈

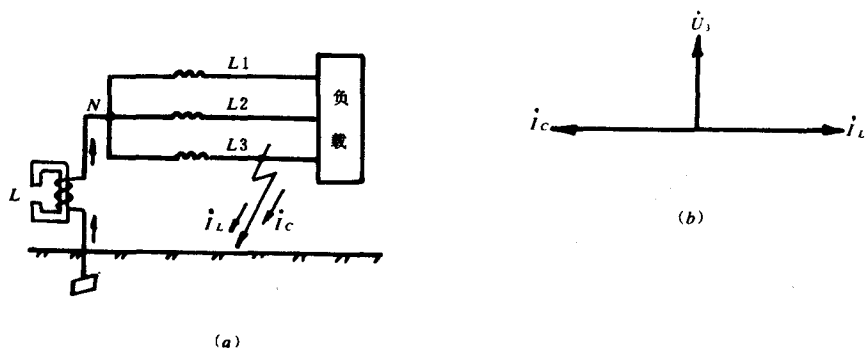


图 1-4 中性点经消弧线圈接地的三相系统
(a) 电路图; (b) 电流矢量图。

^① 由于任意两个导体隔以绝缘介质就形成电容, 所以电力网的三相导线之间, 以及各相导线对地之间, 沿导线全长都分布有电容, 称为分布电容。此处只考虑各相对地的分布电容, 不考虑相对相间的分布电容。

(一种带有间隙铁芯的电感线圈,其电阻值很小)。正常时, L 中无电流流过。当发生一相(例如 $L3$ 相)接地时,在接地点产生了电容电流 $\dot{I}_C$,同时 L 中有电感电流 $\dot{I}_L$ 通过。这时总的接地电流等于 $\dot{I}_C$ 和 $\dot{I}_L$ 的矢量和。由于这两种电流有相互抵消作用(参看电流矢量图 1-4(b)),若适当调整电感值,使电感电流接近电容电流,则接地电流就会变得很小,从而避免了电弧的发生。

中性点经消弧线圈接地的系统发生一相接地时,其它两相对地的电压也要升高 $\sqrt{3}$ 倍,故障相的电压为零,与中性点不接地系统的情况相同。

以上两种运行方式,因发生接地短路时,接地电流很小,故称为小电流接地系统。

3. 中性点直接接地系统

防止单相接地产生断续电弧及过电压的第二种方法是将系统的中性点直接接地,如图 1-5 所示。这种系统当发生单相接地时,将产生很大的短路电流 $\dot{I}_{sc}$,在继电保护装置的作用下,断路器跳闸,从而切除了短路故障,因此这种系统不会发生断续电弧。同时,这种运行方式在任何情况下中性点电压总为零,非故障相电压也不会升高,这就降低了对各相电气设备的绝缘要求,所以在 110kV 以上的超高压系统中一般都采用中性点直接接地的方式。

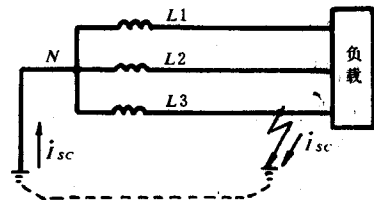


图 1-5 中性点直接接地系统

但是,这种运行方式有两大缺点:一是单相接地时,因短路电流较大,使得开关设备的容量选得很大。为了限制短路电流,一般采用中性点经电抗器接地(电抗器的电抗远比消弧线圈的电抗小),或者采用部分中性点直接接地的办法。二是发生单相接地时,由于必须断开故障线路,因而影响了供电的连续性。为此,在这种系统中,绝大部分安装了自动重合闸装置(见第四章第十节)。

这种运行方式因接地短路电流较大,又称为大电流接地系统。

第二节 牵引供电系统

在铁路运输中,目前主要有三种牵引方式:蒸汽牵引、内燃牵引和电力牵引。蒸汽牵引是最早采用的牵引方式,这种牵引方式其技术、经济效益均较低,直接影响铁路运输能力的提高,目前正在逐步被淘汰。内燃牵引是在内燃机出现后开始使用的,这种牵引方式不仅改善了工作人员的工作环境,更重要的是大大提高了铁路的经济效益和运输能力。随着电力工业的发展,一种新的牵引方式——电力牵引应运而生。这种牵引方式无论从经济效益、运输能力及工作条件诸方面来讲,都比前两种优越。因此,电力牵引将成为今后很长一段时间内铁路牵引动力技术改造的发展方向。

一、牵引供电系统概述

用电能作为铁路运输动力能源的牵引方式叫电力牵引,使用电力牵引方式的铁道又称为电气化铁道。其牵引动力是电力机车,它是一种非自给性机车,本身不带能源,需由专设的供电装置供电。这就需要在电气化铁道沿线设置一套完善地、不间断地向电力机车供电的设

备。通常把由这一套供电设备构成的工作系统称为牵引供电系统。

牵引供电系统主要包括牵引变电所和接触网两大部分。所谓牵引变电所，就是沿铁路线建设的、专供电力机车牵引电能的变电所。接触网则是一种悬挂在电气化铁道线路上方，并和铁路轨顶保持一定距离的链形或单导线的输电网。牵引供电系统一方面接受电力系统的电能，另一方面将电能送给电力机车。

由于电气化铁道在采用不同的电流制式时，牵引供电系统的结构有很大的区别，因此下面就先概要介绍一下目前世界电气化铁道供电的电流制。

二、电气化铁道供电的电流制

所谓电流制，是指接触网上所用电能的电流种类。目前世界电气化铁道供电的电流制有以下四种。

1. 直流制

直流制是电力牵引最早采用的电流制式，它始于19世纪80年代。直流制以直流电源供电，电力机车使用直流电机驱动列车。由于直流电机调速性能好，机车构造简单，同时这种制式的接触网对铁路沿线的通信线路造成的电磁干扰也较小，因此，不少国家长期以来一直使用直流制。直流制电气化铁道目前仍占全世界电气化铁道总长度的50%左右。

但是，直流制的供电电压因受到牵引电机端电压的限制而不能过高（过去通用的电压为3.3kV，目前有的国家已提高到6.6kV）。为了保证足够的功率输送给电力机车，牵引电流势必很大，这样接触网导线的截面积就要选得很大。同时，为了保证接触网上的电压水平，变电所间距相应要缩短，这就增加了变电所的数目。另外，变电所除降压外，还需整流。这就增加了变电所的设备，变电所结构也较复杂。

2. 三相交流制

三相交流制是在直流制之后产生的，它是用两根接触网导线和一根钢轨形成三相电路。三相电力系统的电压经降压后，直接以三相方式送到接触网上。电力机车采用三相异步电动机。这种制式的牵引变电所和机车设备简单，维修方便。但由于异步电动机调速困难，接触网结构复杂且不安全。因此，这种制式没有得到发展和推广。

3. 低频单相交流制

低频单相交流制出现在本世纪初，它采用低于工业频率(50Hz)的单相交流电源供电。目前，它在世界上约占全部电气化铁道总长度的25%，特别是西欧一些国家(如德国)采用较多。

这种电流制所用的频率和电压，在西欧国家为 $16\frac{2}{3}$ Hz、15kV；美国则采用25Hz、11kV。采用多高的电压主要是根据这些国家的具体情况决定的。

低频单相交流制的主要优点是接触网上的电压有了很大的提高，从而可以减小接触网导线的截面，牵引变电所的距离也有所增大。其主要缺点是所用电流的频率与工业频率不同，不能与工业供电系统相统一。牵引变电所需设变频机，或设置专用变频所，造成牵引变电所的运行、管理都很复杂。从经济效果方面比较，这种制式反而不如直流制。

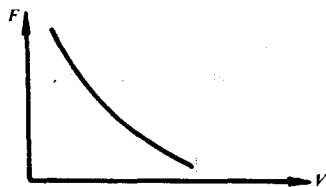
4. 工频单相交流制

工频单相交流制是指采用工业频率(50Hz)的单相交流电供电的制式。它的供电电压一般为25kV。

1932年,匈牙利首先使用这种电流制建成了世界上第一条工频单相交流制的电气化铁道。由于该电流制在技术、经济上的优越性,很快便在法国、日本、前苏联和印度等国得到应用。我国在1958年开始修建新中国第一条电气化铁路宝成线宝鸡—凤州段,就采用了这种电流制,后来修建的每条电气化铁路都无例外地采用了这种制式。近十多年来,工频单相交流制在全世界电气化里程中所占的比例,已由原来的4%上升到25%左右,目前仍在上升过程中。

那么,工频单相交流制为什么能发展得如此之快呢?这主要是由其优越性所决定的。

首先,这种制式牵引供电系统的结构比其它电流制的简单。牵引变电所从电力系统获得电能后,经过电压的变换(降压),就直接送到接触网上;其次,接触网的供电电压提高到25kV(匈牙利为16kV)后,牵引变电所的间距可增大几倍,数目减少,接触网导线截面积也可以减小;第三,工频单相交流制采用整流式电力机车,这种机车的牵引性能良好。所谓机车的牵引性能,就是指机车的牵引力与运行速度之间的关系。整流式电力机车的牵引特性是一个“软特性”,如图1-6所示,即牵引力随着运行速度的增加而下降。这一特性很适应电力牵引的要求。例如在满载和上坡时,机车速度下降,而牵引力急剧上升;轻载和下坡时机车速度增大,牵引力便下降。



另外,由于我国生产的韶山型电力机车是通过将接触网上送来的25kV的单相交流电先变为1500V的交流电,再经硅整流装置变成1500V的直流电后供直流电动机使用。由于直流电动机调速方便,因此可方便地控制列车的运行速度。

图 1-6 电力机车牵引特性曲线

三、牵引供电系统的供电原理

由于我国电气化铁道目前均采用工频单相交流制供电,因此,下面就以工频单相交流制为例,分析牵引供电系统的供电原理。本教材以后若无特殊说明,电流制均指工频单相交流制。

工频单相交流制牵引供电系统的供电原理如图1-7所示。这是一种单相直接供电方式,牵引变电所将电力系统送来的三相高压电(一般是110kV)经过变压,转换成为电力机车适用的单相电,通过单相馈电线送到接触网上。电力机车升起的受电弓与接触网滑动接触,即可取得电能。电流最后经由钢轨流回。在牵引变电所处,通过一条专设的回流线,将钢轨内的回流导入牵引变电所,形成一个完整的供电回路(图中箭头所指为电流方向)。

由上述可知,电气化铁道在采用单相供电方式时,钢轨也被当做一条导线利用起来了。但为什么我们在电气化铁道区段的钢轨上行走时没有任何危害呢?这是因为钢轨是与大地接触的,大地的电位为零,钢轨也就是零电位,人站在钢轨上与站在地上没有什么区别,因此也就不会对人造成什么危害了。

在牵引供电系统中,有一部分设备,就像电力系统中的电力网一样,起着联系牵引变电所和电力机车的作用,它们包括馈电线、接触网、钢轨和回流线。习惯上,人们也把由以上设备构成的供电网称为牵引网,在牵引网中流过的电流又称为牵引电流。由于大地与钢轨直接接触,因此,牵引电流有一部分流入大地,后经接地网流回牵引变电所,这部分电流称为泄漏电流,或叫地中电流,简称地回流。经实测数据表明,地回流约占牵引电流的50%左右。

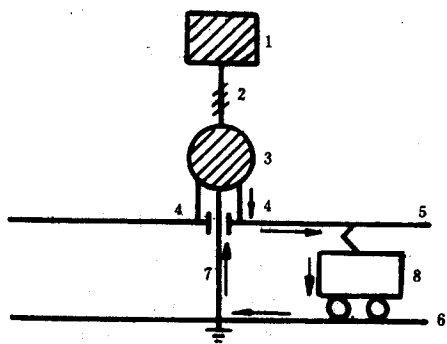


图 1-7 牵引供电系统供电原理

1—区域变电所或发电厂；2—三相高压输电线；
3—牵引变电所；4—单相馈电线；5—接触网；
6—钢轨；7—回流线；8—电力机车。

地回流对地下电缆、金属管道等有一定的影响，特别是直流制中的地回流对以上设备还有腐蚀作用（发生电解反应），因此要尽量减小地中电流。

有了牵引网的概念后，牵引供电系统可看成是由牵引变电所和牵引网构成的向电力机车供电的完善的工作系统

以上这种“接触网-钢轨”直接供电方式又简称为“直供方式”。这种供电方式由于是单相供电，因而出现了一系列问题：例如单相牵引网对沿线的通信线路会造成电磁干扰；单相牵引负荷造成三相电力系统的不平衡，引起负序电流，对电力系统又造成一定的影响。另外，牵引供电系统中因采用了牵引变压器、硅整流式电力机车等大阻

抗设备，使得牵引负荷为一感性负荷，造成牵引供电系统的功率因数较低，电压损失较大等。以上问题就是工频单相交流制电气化铁道所存在的三大问题。有关问题的解决方法我们将在本章后面介绍。

第三节 供变电装置的结构与作用

供变电装置是指向牵引网供电的一整套装置，它包括牵引变电所、分区亭、开闭所等。在采用自耦变压器供电方式（简称 AT 供电方式^①）的区段还应包括自耦变压器站（所）。它们的结构随所用电流制的不同而有很大的区别。下面就工频单相交流制电气化铁道供变电装置的结构与作用进行叙述。

一、牵引变电所

牵引变电所的主要任务是把电力系统送来的 110kV 的三相电变成电力机车适用的 25kV^② 的单相电，供电力机车牵引使用。

牵引变电所按其中牵引变压器接线方式的不同可分为：三相牵引变电所、单相牵引变电所及三相-二相牵引变电所三种。其中单相牵引变电所又分为纯单相接线和 V 形接线两种。

（一）三相牵引变电所

指变电所中采用三相变压器的牵引变电所。三相变压器都用 Y, d 接线，高压侧采用星形联接，三个端子分别接入电力系统的三相。低压侧采用三角形接线，并作为牵引绕组。三个角中一个角（一般为 2W1 端）接至钢轨，另两个角则分别接入接触网的两个相邻区段。由于这两个区段的接触网对轨道的电压相位不同，故在此区间必须安装分相绝缘装置。其接线原理如图 1-8 所示（三相变压器的接线端子可参看图 2-3）。

^① AT 供电方式是为了减小单相牵引网对通信线的电磁干扰而采用的一种新型供电方式。与此相应的还有一种“吸流变压器—回流线”供电方式（简称 BT 供电方式）。

^② 实际上由于牵引网有电压损失，因此牵引变电所的馈出电压应为 27.5kV，比接触网的额定电压高 10%。

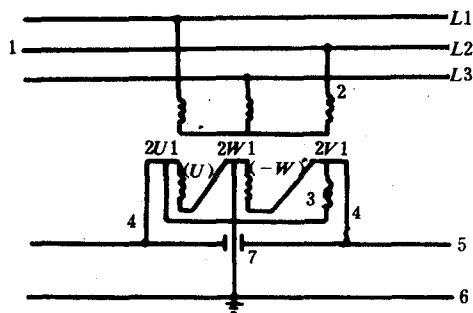


图 1-8 三相牵引变电所的接线原理

1—三相电力系统；2—变压器 Y 接绕组；
3—变压器三角接绕组；4—馈电线；
5—接触网；6—钢轨；7—分相绝缘器。

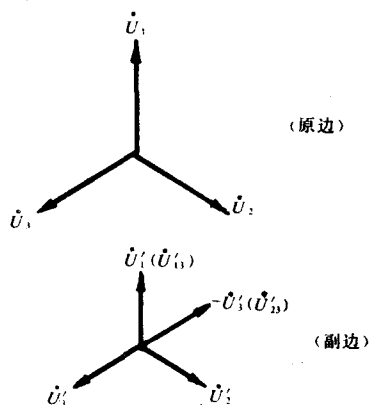


图 1-9 Y, d 接线变压器原副边电压矢量

由图可以看出，接触网左边供电分区用的是 $2U1$ 绕组电压，此电压与高压侧 $L1$ 相电压同相（参看电压矢量图 1-9）；右边供电分区用的是 $2W1$ 绕组电压，此电压与高压侧 $L3$ 相电压反相。因此，从电力系统来看， $2U1$ 绕组可标为 U (U 与 $L1$ 对应) 相供电分区， $2W1$ 绕组可标为 $-W$ (W 与 $L3$ 对应) 相供电分区。

三相牵引变电所的优点是变压器的副边仍保持三相，为变电所内的三相自用电及地区三相电力负荷，提供了方便的三相电源。三相牵引变电所由于单相牵引负荷引起的负序电流对电力系统的影响，比单相变电所的要小。其主要缺点是变压器容量不能充分利用（其一角接地，只有两个绕组是工作绕组，为重负荷绕组，另一个绕组是轻负荷绕组）。经计算，变压器在承担单相牵引负荷时，容量利用率仅为 75%。另外，三相牵引变电所的内部设备比单相的要多，因而维修工作量也就增多。

(二) 单相牵引变电所

1. 纯单相接线的牵引变电所

这种接线的牵引变电所只安装一台单相变压器，变压器原边接入电力系统的两相，副边一端接钢轨，一端通过馈电线送到接触网上。在馈电线送到接触网的地方，既可把接触网联

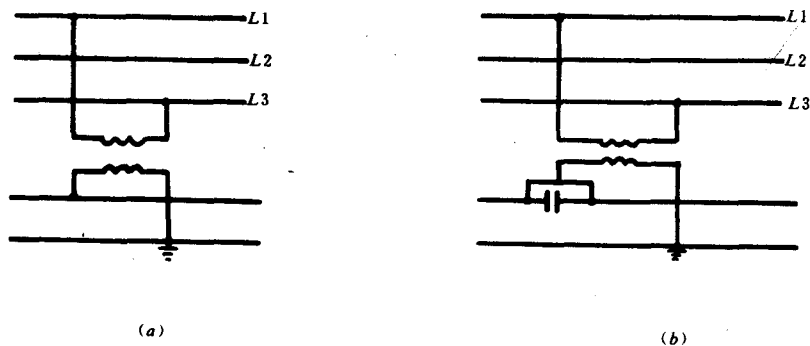


图 1-10 纯单相接线牵引变电所接线原理

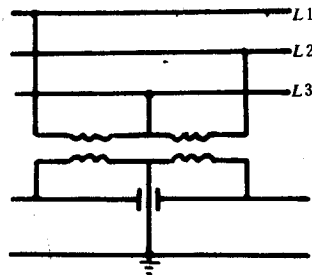
(a) 馈线处接触网联通；(b) 馈线处接触网分开。

通，也可用绝缘结构将其分成两段，这一措施大大提高了供电工作的灵活性。具体接线如图 1-10 所示。

2. V 形接线的牵引变电所

V 形接线又称开口三角形接线，或 V/V 接线，它是用两台单相变压器接成开口三角形，此开口三角形的两个开口端和一个公共端，在一次侧接入电力系统的三相，在二次侧则将公共端接钢轨，两个开口端分别用馈电线接入接触网的两个供电区段，其接线原理如图 1-11 所示。

单相牵引变电所的优点是变压器的容量利用率高（理想情况下可达 100%），变电所结构简单。其主要缺点是不能提供可靠的三相电源（V 形接线在正常供电时可提供三相电源，但在实行跨相供电，即一台变压器故障，由另一台变压器代供电时，则临时中断了三相电源），须另设劈相设备^①。另外，单相接线对三相电力系统产生了严重的不对称状态。因此这种接线只用在电力工业较发达的地方。



（三）三相-二相牵引变电所

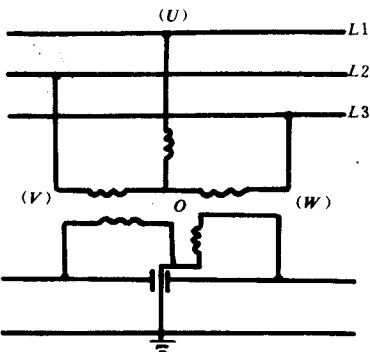


图 1-12 斯科特接线原理

这是一种能将对称三相电压变成对称两相电压的特殊接线的牵引变电所。牵引变电所的接线，国外较常用的有两种，一种是斯科特 (Scott) 接线，另一种是伍德桥 (Wood Bridge) 接线。这种接线的主要优点是能把单相牵引负荷较对称地分配给三相电力系统，特别是当两个供电区上的负荷电流相等时，三相电力系统则完全对称，这就降低了三相电力系统的不对称度。另外，这种接线与自耦变压器配合，构成 AT 供电方式，还可减小接触网对通信线的电磁干扰。这里只给出斯科特接线的原理图如图 1-12 所示，它是由两台单相

变压器构成，其中平行的绕组为一台单相变压器（O 为原边绕组 VW 的中点），垂直的两个绕组为另一台单相变压器，原边接成倒 T 形，次边接成开口三角形。有关这种接线的原理我们将在本章第八节分析。

二、分区亭

在牵引供电系统中，为了增加供电工作的灵活性，提高运行的可靠性，常把两相邻牵引变电所之间的供电区从中间部分分开，并安装开关设备，这就形成了分区亭。由于这些开关设备安装在—间小亭子里，所以就形象地称为分区亭。单线区段分区亭的结构如图 1-13 所示。

分区亭的作用是：

① 是一种可以把单相交流电变成三相交流电的分相设备。