



牵引变电所

● 何其光 陈蓉平 编

● 中国铁道出版社

前 言

随着我国社会主义现代化建设事业的飞速发展,铁路干线电气化改造正以前所未有的速度进行,牵引变电所、开闭所、分区亭和 AT 所等一座座建成供电,大批立志献身于电气化事业的青年不断加入到牵引供电运营管理的队伍中来,为了适应培训以及提高运营管理水平需要,特编写了本书。

全书共分七章,按照从高压到低压、即一次到二次接线及设备分别进行了全面、系统的介绍。作者根据现场实际以及多年来对变电所值班人员指导、培训的经验,对其中难于理解和掌握的内容,如二次接线、继电保护及自动装置等部分,尽可能结合实例由浅入深地从原理到电路,从看图要领到读懂图,均作了较详细的阐述。本书的目的是使初学者能建立起对牵引变电所的完整的概念,而对于有一定实践经验的人员则可以得到进一步的提高。

由于我国铁路电气化从 50 年代末即已开始设计、施工,至今已有近 30 年的历史,牵引变电所的电气设备及控制、信号、保护等装置有的已经历了几次的更新换代,若全部予以介绍,篇幅将显得冗长,因此本书舍弃了那些现在虽在运行、但用得不多的系早期生产的设备、装置,而重点介绍现时用得较多的设备、装置等,至于目前正在试验并有可能推广的一些新技术,书中也以适当的篇幅作了阐述,以使读者了解其发展。

本书前三章由陈蓉平同志编写,后四章及汇编工作由何其光同志完成。书中内容力求做到结合实际,文字叙述亦求简

明扼要、通俗易懂,但限于编者的水平,加之写作时间有限,缺点和错误在所难免,恳请读者给予指正。

在本书的编写过程中,得到了西南交通大学电气工程系的老师以及设计、科研、施工、运营单位的许多同志支持和帮助,在此一并表示衷心的感谢。

编 者

一九八六年九月

目 录

第一章 电力及牵引供电系统.....	1
第一节 电力系统.....	1
第二节 牵引供电系统.....	4
第二章 主 接 线.....	9
第一节 概 述.....	9
第二节 主接线的基本型式	11
第三节 牵引侧的主接线	17
第四节 牵引变电所主接线实例	22
第三章 高压电气设备	32
第一节 变 压 器	32
第二节 互 感 器	57
第三节 断 路 器	70
第四节 隔离开关	92
第五节 高压熔断器	97
第六节 电力电容器	99
第七节 母线、裸电线与电力电缆	100
第八节 避雷针和避雷器.....	102
第九节 高压配电装置.....,.....	110
第十节 接地装置.....	117
第四章 二次接线.....	120
第一节 二次接线的图纸.....	120
第二节 断路器的控制和信号回路.....	140
第三节 电动操作的隔离开关控制和信号回路.....	150

第四节	中央信号回路.....	153
第五节	绝缘监察回路.....	164
第六节	晶体管电气集中控制回路.....	171
第五章	电工测量.....	199
第一节	常用电工仪表的标志符号.....	199
第二节	磁电系仪表及直流电流、电压的测量	201
第三节	电磁系仪表及交流电流、电压的测量	204
第四节	电动系仪表及有功功率、无功功率的测量 ...	208
第五节	感应系仪表及电能的测量.....	214
第六节	万 用 表.....	230
第六章	继电保护和自动装置.....	234
第一节	电流及电压保护.....	236
第二节	电流方向保护.....	257
第三节	距离保护.....	264
第四节	接触网馈电线成套保护装置.....	271
第五节	接触网馈电线故障探测装置.....	282
第六节	接触网馈电线微机保护和故障探测装置.....	293
第七节	变压器保护.....	302
第八节	并联电容补偿装置的保护.....	319
第九节	备用电源自动投入装置.....	322
第七章	自用电系统.....	325
第一节	交流自用电系统.....	325
第二节	直流自用电系统.....	329
第三节	复式整流及其他操作电源.....	346

第一章 电力及牵引供电系统

如众所周知,铁路车辆一般都没有动力装置,不能象汽车那样一辆一辆开行,而必须连挂在一起,由机车牵引。因此,机车是铁路运输的牵引动力。

电气化铁路的牵引动力就是靠电能运转的电力机车。由于电力机车本身并不能生产电能,因此需沿铁路线设置一套完整的供电系统——牵引供电系统来给电力机车供电,而牵引供电系统一般又由铁路以外的容量较大的电力系统供电。这样就保证了电力机车不间断地得到电力供应,得以牵引列车驰骋在电气化铁路上。

第一节 电力系统

图 1-1 表示的是电力系统通过牵引供电系统向电力机车供电的示意图。

电力系统是一个包括发电、输电、变配电和用户的完整的工作系统。电力系统的结构一般比较复杂,往往由一个大区域内的许多发电厂(火力、水力、原子能发电厂等)通过高压输电线互联组成。在接近电力负荷的中心区,通常都设置区域变电所,负责一个区域的电力用户的供电任务,其中也包括电气化铁路的牵引用电。

电力系统有许多种电压等级的网络和设备,其中 110kV 及以上电压等级的输电线路,用区域变电所中的变压器联系起来,主要用于输送强大电力。也常利用它们向电气化铁路的牵引变电所输送电力,供电力牵引用电。

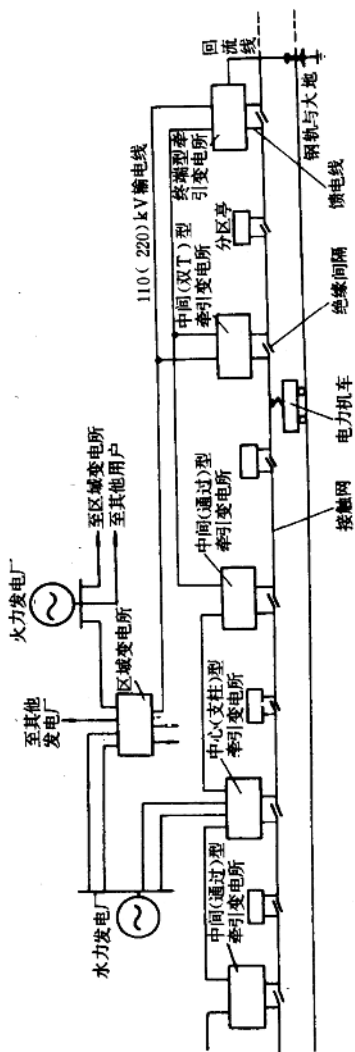


图 1-1 电力系统通过牵引供电系统向电力机车供电示意图

1. 发电厂

发电厂是把化学能、水能、原子能等形式的能转变成电能的工厂。

利用煤、石油、天然气等燃料来发电的称火力发电厂，简称火电厂。

水力发电厂简称水电厂或水电站，一般是在河流中拦河筑坝，提高上游的水位，形成水库，使上、下游形成尽可能大的落差。然后从水库引水，利用水的位能冲动水轮机（水能转换成机械能），并使其带动与其联轴的发电机旋转，从而产生电能（机械能进一步转换成电能）。

原子能发电厂的生产过程与火力发电厂相仿，所不同的只是以核反应堆代替了锅炉。原子核在分裂过程中会产生大量的热能（原子能转换成热能），把水加热成蒸汽，蒸汽再冲动汽轮机使其带动发电机旋转发电。

此外，还有潮汐发电厂、地热发电厂、风力发电厂、太阳能发电厂等。

2. 变电所

发电机的电压一般为 6.3、10.5、13.8、20kV 等，而用户的电压一般为 380/220V。所以，发电机一般都不能直接向用户供电，需用变压器把发电机电压降压后才能供给用户。另外，为了把电能输送到较远的用电地区，通常发电厂发出的电能都需经升压变压器把电压升高（例如升到 110、220、330、500kV 等），然后通过输电线路送到用电地区，再经变电所的变压器把电压逐级降低后分配使用。所以，变电所的主要任务是变换电压，其次还有集中和分配电能，控制电能的流向和调整电压的任务。

3. 输电线

输电线的作用是输送电能,并把发电厂、变电所和用户连接起来构成电力系统。

输电线一般是指 35kV 及以上的电力线路,而 35kV 以下向用电单位或城乡供电的线路,称为配电线路。

输电线可以是架空线也可以是地下电缆,根据具体情况选择使用。由于输电线有阻抗,所以电流通过时要引起电能损耗。由电工原理知道,输送相同的功率,若采用高压输电,电流就可以减小,输电线上的电能损耗也就减少。故远距离输送强大的电功率时,必须采用高压输送。但是,采用高压输电,投资就要增大。因此,根据不同的输送功率和输送距离,宜采用不同等级的电压输电。

第二节 牵引供电系统

我国电气化铁路采用工频单相交流制。向电气化铁路供电的牵引供电系统由分布在铁路沿线的牵引变电所及沿铁路架设的牵引网组成。为了保证供电的可靠性,由电力系统送到牵引变电所的高压输电线路无一例外地为双回线。

一、牵引变电所和供电臂

牵引变电所的功能是将三相的 110kV(或 220kV)高压交流电变换为两个单相的 27.5kV 的交流电,然后向铁路上、下行两个方向的接触网(额定电压为 25kV)供电。牵引变电所每一侧的接触网都称做供电臂。该两臂的接触网电压相位是不同相的,一般是用耐磨的玻璃钢或聚合物绝缘器以及其他绝缘器隔离开来。相邻牵引变电所间的接触网电压一般是同相的,其间除也用绝缘器隔离外,还设置了分区亭,通过分区亭断路器或隔离开关的操作,实行双边(或单边)供电。

二、牵 引 网

由图 1-1 可见,牵引供电回路的构成是:牵引变电所、馈电线、接触网、电力机车、钢轨与大地、回流线。在这个闭合回路中,通常将馈电线、接触网、钢轨与大地、回流线统称为牵引网。

由于工频单相交流 25kV 的牵引网是一种不对称供电回路,势必在其周围空间产生电磁场,从而对邻近的通信和广播设备产生杂音干扰。解决这一问题的途径有两个:一是在通信方面采取加强屏蔽的措施,或将受影响的通信设备迁离影响范围;二是在供电方面采取抑制干扰的措施。随着牵引网所采取的抑制干扰措施的不同,出现了不同的牵引供电方式。

三、牵引网的供电方式

1. BT(吸流变压器)方式

吸流变压器是一种变比为 1:1 的变压器,其原边串接在接触网(T)内,副边串接在特设的回流线(N)内,每两台 BT 中间安设一根将回流线与钢轨短接的吸上线,其电气联接如图 1-2 所示。

当电力机车运行于如图 1-2(a)中所示的位置时,从牵引变电所流出的电流全部流过 BT 的原边,于是在 BT 的副边回路(由回流线、吸上线、钢轨及大地组成)感应出与原边回路相反方向的电流。这样,由于回流线电流与接触网电流方向相反,故将后者产生的电磁感应影响大部分抵消掉,从而大大减轻了对通讯线路的影响。

2. AT(自耦变压器)方式

自耦变压器跨接于接触网(T)和正馈导线(F)之间,其中

点与钢轨及沿接触网线路同杆架设的保护线(PW)相连,形成如图 1-3 所示的所谓 AT 供电方式。

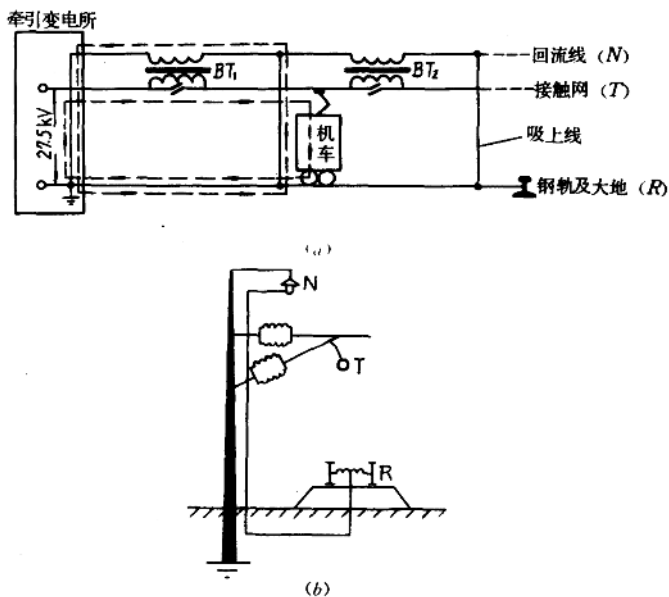
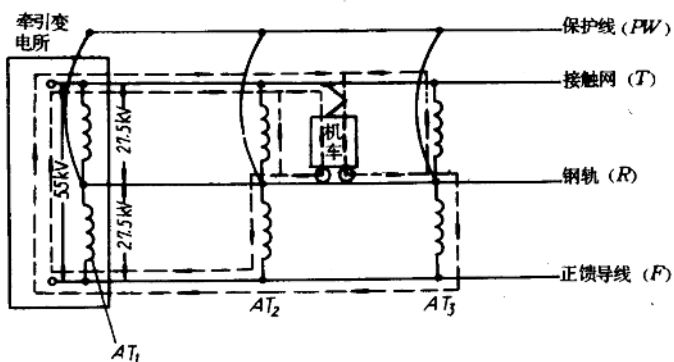


图 1-2 BT 供电方式示意图

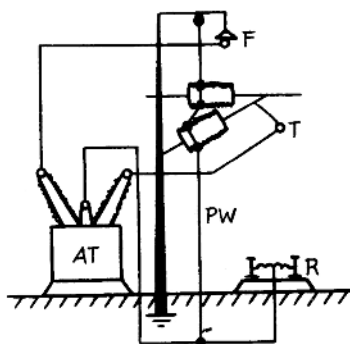
(a) 电气联接图; (b) 吸上线处支柱安装示意图。

当电力机车刚好运行于如图 1-3(a)所示的 AT_2 位置时,则在 AT_1 与 AT_2 之间的接触网和正馈导线中,将对称地流过 $1/2$ 的机车负荷电流,其方向相反;当电力机车运行于 AT_2 与 AT_3 之间或任意两相邻 AT 之间时,由两侧的 AT 向机车供电,即牵引电流由两侧的 AT 流向机车,机车两侧钢轨内电流方向也相反。同时,从牵引变电所到 AT_2 之间的接触网和

正馈导线的电流方向相反、大小相等,因而亦类似于 BT 方式的理由,大大减轻了对通信线路的感应影响。



(a)



(b)

图 1-3 AT 供电方式示意图。

(a) 电气联接图; (b) AT 处支柱安装示意图。

3. 同轴电力电缆方式

这是一种新型的防干扰供电方式,适用于电气化铁路穿越大城市或对净空要求较高的桥梁、隧道等特殊地段。

同轴电力电缆沿着铁路埋设,电缆的内导体作为馈电线与接触网并联;电缆的外导体作为回流线与钢轨相联,每隔一定的距离(约 5~10km)分成一个电缆供电分段,其接入方式如图 1-4 所示。当电缆内导体流过机车负荷电流时,外导体会感应产生大小几乎相等、方向完全相反的电流,因此改善了供电回路内负荷的对称性,故抑制干扰的效果较好。

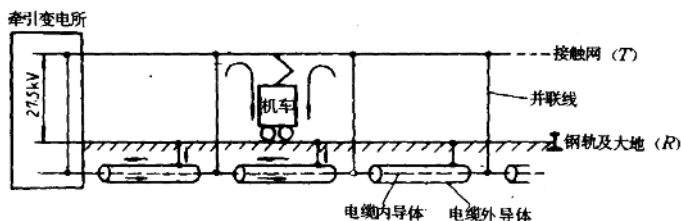


图 1-4 同轴电力电缆接入方式示意图

4. 直供方式

就是在接触网上既不采用 BT、AT,也不采用同轴电力电缆,而是直接由接触网供电。有时为了减轻对周围通信线路的干扰影响,也可在接触网支柱上同杆架设一条与钢轨并联的良好导体——导线即回流线,使一部分牵引电流沿此导线流回牵引变电所,从而减小了对通信线路的感应影响。

第二章 主 接 线

第一节 概 述

牵引变电所(包括分区亭、开闭所、AT 所等)为了完成接受电能、变压和分配电能的工作,其电气接线可分为两大部分:一次接线(主接线)和二次接线。

主接线是指牵引变电所内一次主设备(即高电压、强电流的设备)的联接方式,也是变电所接受电能、变压和分配电能的通路。它反映了牵引变电所的基本结构和功能。

二次接线是指牵引变电所内二次设备(即低电压、弱电流的设备)的联接方式。其作用是对主接线中的设备工作状态进行控制、监察、测量以及实现继电保护与远动化等。二次接线对一次主设备的安全可靠运行起着重要作用。

在主接线图中采用的代表各种电气设备及导线的标准符号及图形如图 2-1 所示。为了简单明了,在主接线图中通常还用单线表示三相电路。

在图 2-1 中,变压器是一种静止的电能变换设备,它可以把交流电源的电压升高或降低,主变压器(在牵引变电所中也称牵引变压器)则是变电所的“心脏”。断路器是一种能对电路进行切断和闭合控制(即无论是在正常情况还是在短路故障情况下均能进行开、闭控制)的电器,其特点是有强大的熄弧能力,并具备快速而灵敏的操作驱动机构。隔离开关是一种在一般情况下不能切断载流电路,但能为电路的运行、操作、维修

等提供方便条件的电器,它只能起隔离电压的作用,由于其本身不具备强大的熄弧能力,故只能无弧操作。熔断器是一种最简单的保护电器,它串接于电路中,当发生过负荷或短路故障时,超额的电流将使熔件因发热而熔断,从而切断故障点,实现对电气设备的保护。互感器是一种隔离电器,它能把测量仪表与高电压、大电流的电路隔离开来,从而实现用低电压、弱电流的仪表去间接测量高电压、大电流电路的参数,并保证了二次设备和工作人员的安全;其另一重要用途是供给控制、保护用的继电器以必要的动作电流或电压。电容器是贮存电荷的电器。避雷器和抗雷线圈等是用来限制过电压对变电所的侵袭,从而保护一次主设备绝缘的辅助电器。

设备名称	文字符号	图 形	设备名称	文字符号	图 形
发电机、电力系统	FJ		母线 (汇流母线)	M	
变 压 器	B		电 压 互 感 器	YH	
熔 断 器	RD		电 流 互 感 器	LH	
断 路 器	DL		电 容 器	C	
隔 离 开 关	G		电 抗 器	L	
阀 型 避 雷 器	BL		抗 雷 线 圈	KL	
			电 力 电 缆		

图 2-1 电气设备标准符号及图形

第二节 主接线的基本型式

主接线是根据变电所的容量规模、性能要求、电源条件及配电出线的要求确定的,同时还要统筹兼顾供电的可靠性、运行操作的灵活性,并力求接线简单、经济合理。

在主接线中,从电源系统接受电能,再通过馈电回路分配电能,实现其间联系的是母线系统。当采用不同型式的母线时,便构成不同的接线型式。现将在长期运行实践中总结归纳出的几种基本主接线型式介绍如下。

一、单母线分段接线

图 2-2 为单母线分段的主接线图。其中电源回路和馈(用)电回路通过各自的断路器和隔离开关后,分别接于不同

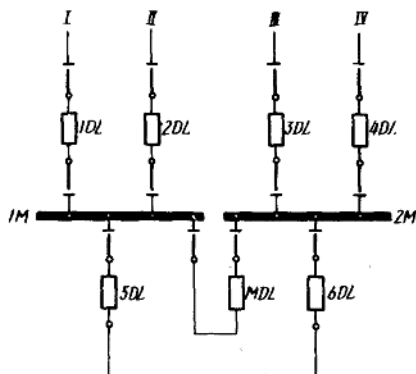


图 2-2 单母线分段的主接线图

的分段母线上,母线分段断路器 *MDL* 正常时闭合,使两段母线并联运行。

当需检修各回路断路器时,可用两侧隔离开关使断路器与电压隔离,从而保证检修人员的安全,同时还不影响其他回路的供用电。当需检修母线时,可以断开 *MDL*,并打开其两侧的隔离开关,则另一段母线仍可照常工作,从而使得停电范围缩小一半。如果有一段母线发生故障,*MDL* 将由继电保护动作而自动跳闸,这样将故障段母线隔离后,非故障段母线及与其联接的回路仍可照常工作,使事故停电范围缩小一半。

有时单母线分段断路器可用一台隔离开关代替,这样可以节省一台断路器和一台隔离开关。但当一段母线故障时,全部装置会短时停电,只有在分段隔离开关将故障母线段分开后,才能恢复非故障母线段的供电,因而其可靠性要差些。

上述单母线分段的主接线,较广泛地应用于 10~35kV 地区负荷以及 110kV 电源进线不超过 4 回路的接线系统。

二、带旁路母线的单母线分段接线

前面介绍的单母线分段的主接线在回路断路器检修或出现故障时,将使该回路停电。当电源或馈(用)电回路较多、即断路器较多的情况下,怎样使用备用设备解决这一问题将显得尤其突出,为此,在原接线的基础上增设一组旁路母线 *PM* 和一台公共备用的旁路断路器 *PDL*,组成具有旁路母线的单母线分段接线,这样问题即可圆满解决。其主接线如图 2-3 所示。

图中 1*M*、2*M* 为工作母线,正常工作时旁路断路器 *PDL* 及各旁路隔离开关 *PG* 均断开,即全部处于备用状态。当某一