

学习情境一 电气设备的运行与维护

学习子情境1 牵引变压器的运行与维护

学习任务书

小组编号：_____ 成员名单：_____

学习任务描述

通过本情境的学习，要求能够做到：读懂牵引变电所主变压器的铭牌，熟悉牵引变电所主变压器的结构、正常巡视内容和特殊巡视内容。

学习任务：牵引变压器的运行与维护。

学习对象：牵引变压器。

工 具：生产文件、工作工具、量具等。

学习步骤：

- (1) 认识牵引变电所主变压器。
- (2) 熟悉牵引变电所主变压器的结构。
- (3) 了解牵引变电所主变压器的工作原理。
- (4) 读懂牵引变电所主变压器的铭牌内容。
- (5) 熟悉牵引变电所主变压器的正常巡视内容。
- (6) 熟悉牵引变电所主变压器的特殊巡视内容。

学习方法

资讯：接受学习任务，根据引导问题，通过学习查找资料、网络信息等，建立总体印象。

计划：与小组成员、老师、师傅讨论牵引变压器在变电所中的影响和意义。

决策：与老师或师傅进行专业交流，确定本项目的工作步骤和涉及的工具，拟定检查、评价标准。

实施：按确定的工作步骤完成行动化学习任务，发现问题，共同分析，遇到无法解决的问题时请老师或师傅帮助解决。

检查：(1) 生产文件准备好了吗？

(2) 工具准备好了吗？

(3) 安全事项有哪些？

评价：与同学、老师、师傅进行专业交流，有改进的建议吗？

学习目标

- (1) 明确牵引变压器的作用、结构及工作原理。
- (2) 明确牵引变压器运行中的要求。
- (3) 对牵引变压器的日常巡视做出规划，确定所要涉及的内容、仪表、工具等。
- (4) 了解牵引变压器运行中和检修时的注意事项。

行动化学习任务

第一部分：进行牵引变压器知识的学习

任务 1：查阅《牵引变电所运行检修规程》中有关牵引变压器的要求。

任务 2：查阅各种资料，熟悉牵引变压器的结构。

任务 3：列出牵引变压器结构表。

任务 4：列出牵引变压器巡视表。

任务 5：查阅牵引变压器在运行中的规定。

第二部分：进行牵引变压器的日常巡视

任务 6：完成牵引变压器结构表的填写。

任务 7：完成牵引变压器的巡视。

任务 8：总结安全注意事项。



学习信息

一、牵引供电系统的组成

图 1.1.1 所示为电气化铁道牵引供电系统示意图。该系统由高压输电线、牵引变电所、牵引网、分区所、开闭所等组成。牵引变电所将电力系统输电线路的电压从 110 kV (或 220 kV) 降到 27.5 kV, 经馈电线将电能送至接触网; 接触网沿铁路上空架设, 电力机车升弓后便可从其上取得电能, 用以牵引列车。牵引变电所所在地的接触网设有分相绝缘装置, 两相邻牵引变电所之间设有分区所 (又称分区亭), 接触网在此也相应设有分相绝缘装置。牵引变电所至分区所之间的接触网 (含馈电线) 称供电臂。接触网、钢轨回路 (包括大地)、馈电线和回流线统称为牵引网。牵引供电构成的回路是: 牵引变电所—馈电线—接触网—电力机车—钢轨和大地—回流线—牵引变电所。牵引供电设备的检修运行由供电段负责, 牵引供电系统的运行调度则由供电调度负责, 供电调度通常设在分局和铁路局调度所。

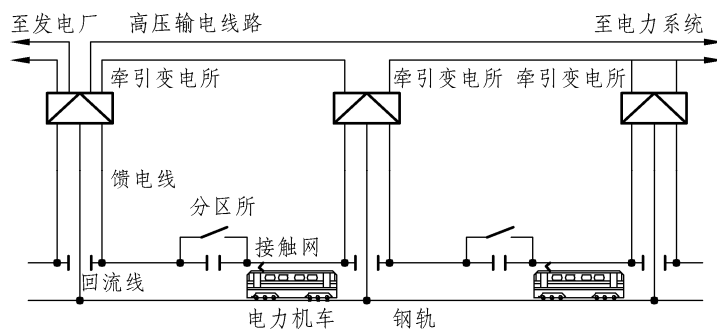


图 1.1.1 电气化铁道牵引供电系统示意图

(一) 牵引变电所

牵引变电所是交流工频单相电力牵引供电系统的主要环节, 它完成变压、变相和向牵引网供电等功能, 并实现三相交流一次供电系统与单相电力牵引系统的接口及系统交换。牵引变电所停电后, 可由相邻变电所实现越区供电, 但牵引网电压水平会有所下降。

一般情况下, 一条电气化铁道沿线设有多个牵引变电所, 相邻变电所间的距离为 40 ~ 50 km。在长的电气化铁路中, 为了把高压输电线分段以缩小故障范围, 一般每隔 200 ~ 250 km 还设有支柱牵引变电所, 它除了完成一般变电所的功能外, 还把高压电网送来的电能, 通过其母线和输电线分配给其他中间变电所。

根据牵引主变压器类型的不同, 牵引变电所可分为单相牵引变电所、三相牵引变电所和

三相-两相牵引变电所 3 种类型。

(二) 接触网

架空接触网是一种悬挂在电气化铁道钢轨上方，并和轨面保持一定距离的链型或单导线系统，是专为电力机车或电动车组提供电力的特殊供电回路。机车通过受电弓与接触网滑动接触可取得电能。正常供电时，由牵引变电所馈线到接触网末端的一段供电线路，称为供电分区或供电臂。由于牵引负荷常处于运动中，对于接触网的要求除了提供数量足够并符合质量标准的电能外，还应保证牵引负荷受流的稳定性。

(三) 馈电线

馈电线是连接牵引变电所和接触网的导线，也称馈出线。馈电线一般采用钢芯铝绞线，其作用为将变电所的电能输送给接触网。

(四) 回流线

回流线是牵引供电回路的一部分，是连接轨道和牵引变电所主变压器接地相的导线。它将流经电力机车的负荷电流引回变电所中。

(五) 轨道

轨道除了作为电力机车的导轨外，同时还是牵引供电系统中回流电路的一部分，在供给机车的电流中有一部分是流入大地的，轨道的作用就是将大地中的回流导入变电所中。在早期的牵引变电所中设有专用线，专用线的钢轨与区间的钢轨接通，就不设回流线，直接用扁钢将专用线钢轨与牵引变压器接地相接通，但在实践中因专用线引起了接地网腐蚀，故改设回流线。

(六) 分区所

在交流电气化铁道上，为了增加供电的灵活性，提高供电的可靠性，常在两个相邻供电分区的分界处用分相绝缘器断开。若是单线电气化区段，在分相绝缘器断开处设旁路隔离开关，以便实行一侧变电所事故时临时越区供电。若是复线电气化区段，则在断开处设置开关和相应的配电装置，组成分区所，如图 1.1.2 所示。

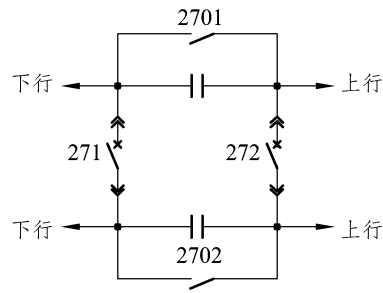


图 1.1.2 分区所

分区所的作用如下：

(1) 可以使两相邻的供电区段实现并联工作或单独工作。当实现并联工作时，分区所的断路器闭合，否则打开。

(2) 当相邻牵引变电所发生故障而不能继续供电时，可以闭合分区所的断路器，由非故障牵引变电所实行越区供电。

(3) 双边供电的供电区内发生牵引网短路事故时，可由分区所的断路器切除事故点所在处的一半供电区，非事故段可照常工作。

(七) 开闭所

交流电力牵引系统开闭所实际上是起配电作用的开关站，是在牵引网有分支引出时，为了不影响电力牵引安全、保证供电可靠而设置的带保护断路器等设施的控制场所。在离牵引变电所较远的铁路枢纽地区，除线路区间外，还有许多负载如枢纽编组站、客车站、电力机务段等需要牵引供电，为了保证供电的可靠性和灵活性，缩短事故范围，一般将接触网进行横向分组和分区供电。在这些负载附近设立有开闭所，由开闭所的多路馈线向接触网各分组和分区供电，如图 1.1.3 所示。

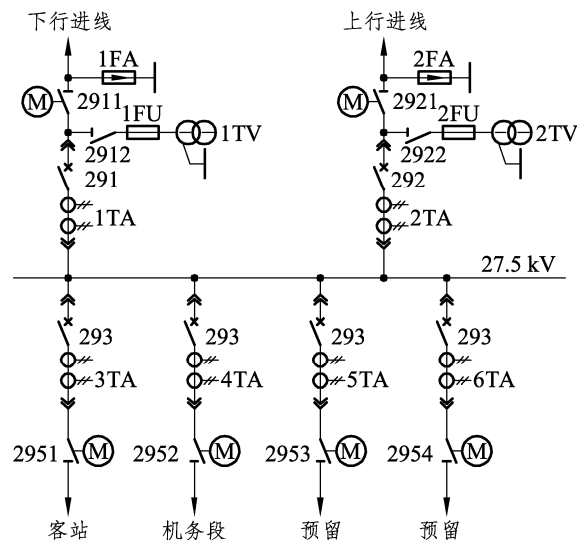


图 1.1.3 开闭所

此外，在复线 AT 牵引网中，由于 AT 供电方式供电电压增高，供电臂距离增长，可达 40 ~ 50 km，为提高供电灵活性，进一步缩小接触网事故停电范围，降低牵引网电压损失和电能损失，也可在分区所与牵引变电所之间增设开闭所，又称辅助分区所。

开闭所的主要设备是断路器。电源进线一般设两回路，复线时可由上、下行牵引网各引一回路，出线则按需要设置。当出线数量较多时，也可将开闭所母线实行分段。

(八) 自耦变压器站

自耦变压器站简称 AT 所，是 AT 牵引网的重要组成部分，其将自耦变压器 (AT) 按一定间隔距离跨接在 AT 牵引网的接触网、正馈线和钢轨间。工频单相交流电气化铁道采用 AT 供电方式时，沿线 10 ~ 15 km 设置一台自耦变压器，自耦变压器设于沿铁路的各站场上，同时将分区所和开闭所合并，以利于运行管理。

(九) 分相绝缘器和分段绝缘器

分相绝缘器又称电分相，串在接触网上，目的是将两相不同的供电区分开，并使机车受电弓平滑过渡，主要用在牵引变电所出口处和分区所处。分段绝缘器又称电分段，分为纵向电分段和横向电分段，前者用于线路接触网上，后者用于站场各条接触网之间。分段绝缘器通过其上的隔离开关将有关接触网进行电气连通或断开，以保证供电的可靠性、灵活性和缩短停电范围等。

二、电力系统中性点的运行方式

电力系统中性点是指三相电力系统中绕组或线圈采用星形连接的电力设备 (如发电机、变压器等)，各相的连接对称点和电压平衡点，在电力系统正常运行时其对地电位为零或接近于零。

电力系统中性点的接地方式有两大类：一类是中性点直接接地或经过低阻抗接地，称为大电流接地系统；另一类是中性点不接地或经消弧线圈接地，称为小电流接地系统。

(一) 中性点不接地系统

若发生单相接地故障时，流过接地点的故障电流很小 (小于 500 A)，称该系统为小电流接地系统，简称小电流系统 (35 kV 及以下电网)。这种系统发生单相接地时，三相用电设备依然能正常工作，2 h 之内允许暂时继续运行，因此可靠性高；但该系统发生单相接地时，其他两条完好相的对地电压升高到线电压，是正常运行时电压的 $\sqrt{3}$ 倍，因此绝缘要求高，进而增加绝缘费用。

(二) 中性点经消弧线圈接地系统

为了减小接地电流，使其降至允许值范围内，可以用中性点经消弧线圈接地的方法，该系统称为中性点经消弧线圈接地系统。通常采取的补偿方式有全补偿、过补偿和欠补偿三种，由于全补偿和欠补偿电路极易产生过电压而损坏设备，所以一般不采用全补偿和欠补偿，而采用过补偿。

(三) 中性点接地系统

当发生单相接地故障时，流过接地点的故障电流很大（大于 500 A），称该系统为大电流接地系统，简称大电流系统（110 kV 及以上电网）。这种系统发生单相接地时，其他两条完好相的对地电压不升高，因此可降低绝缘费用；但该系统发生单相接地时，短路电流大，必须迅速由保护装置切除故障部分，即其供电可靠性较差。

目前，我国电力系统中性点的运行方式为：

(1) 对于 6~10 kV 的系统，由于设备绝缘水平按线电压考虑，对于设备造价影响不大，因此为了提高可靠性，一般均采用中性点不接地或经消弧线圈接地的方式。

(2) 对于 110 kV 及以上的系统，主要考虑降低设备绝缘水平，简化继电保护装置，一般均采用中性点直接接地的方式，并采用送电线路全线架设避雷线和装设自动重合闸装置等措施，以提高供电可靠性。

(3) 20~60 kV 的系统，是一种中间情况，一般一相接地时的电容电流不是很大，网络不是很复杂，设备绝缘水平的提高或降低对于造价影响不是很显著，所以一般均采用中性点经消弧线圈接地的方式。

三、变压器的基本知识

(一) 变压器分类

变压器是利用电磁感应原理将某一电压（电流）等级的电能转换为相同频率另一电压（电流）等级的电能的静止电器，因其主要作用是变换电压，故称变压器。变压器为了适应不同的使用目的和工作条件，其类型很多，结构和使用原理也不尽相同，一般可按结构、电源相数、冷却方式、绕组形式、用途等不同进行分类。

1. 按结构分类

变压器按铁芯类型可分为芯式和壳式。

芯式变压器：绕组包围铁芯，用于高压的电力变压器。

壳式变压器：铁芯包围绕组，用于大电流的特殊变压器。

2. 按电源相数分类

单相变压器：一、二次绕组均为单相，用于单相负荷或三相变压器组。

三相变压器：一、二次绕组均为三相，用于三相系统的升、降电压。

多相变压器：一次绕组为三相，二次绕组为多相。

3. 按冷却方式分类

油浸自冷式变压器：通过油自然对流冷却。

油浸风冷、水冷式变压器：用空气或水作冷却介质冷却。

空气自冷式变压器：依靠空气对流进行冷却，主要是干式变压器，一般用于小容量变压器。

强迫油循环冷却变压器：用油泵进行循环冷却。

充气式变压器：变压器身放在一封闭的铁箱内，箱内充满特殊气体。

4. 按绕组形式分类

双绕组变压器：同一铁芯上有两个绕组，用于连接电力系统中的两个电压等级。

三绕组变压器：同一铁芯上有高、中、低压三个绕组，一般用于连接三个电压等级。

多绕组变压器：同一铁芯上有三个以上绕组的变压器。

自耦变压器：输出和输入共用一组绕组的特殊变压器，用于连接不同电压的电力系统，也可作为普通的升压或降压变压器用。

5. 按用途分类

电力变压器：用于电力系统中输配电系统的升、降电压。

特种变压器：调压器、电炉变压器、整流变压器、工频试验变压器、矿用变压器、仪用变压器、电抗器、互感器等。

(二) 变压器的主要技术参数

(1) 额定容量 S_N ：额定状态下变压器输出的单相或三相总视在功率，单位为 $kV \cdot A$ 。

(2) 额定电压 U_N ：变压器长时间运行时，设计条件所规定的电压值（线电压，单位为 kV ）。

(3) 额定电流 I_N ：变压器在额定电压和额定环境温度下各部分温升不超过允许值的情况下长期运行时，所允许通过的电流值，单位为 A 。

(4) 空载损耗 P_0 ：又称铁损，是指变压器一个绕组加上额定电压，其余绕组开路时，变压器所消耗的功率。变压器的空载电流很小，它所产生的铜损可忽略不计，所以空载损耗可认为是变压器的铁损。

(5) 负载损耗 P_L ：又称短路损耗或铜损，指变压器一侧加电压而另一侧短接，使电流为额定电流时，变压器从电源吸取的有功功率。

(6) 额定温升：变压器绕组或上层油面的温度与变压器外围空气的温度之差。

(7) 空载电流 I_0 ：变压器一次侧施加额定电压，二次侧断开运行，一次绕组通过的电流称为空载电流或励磁电流，通常以额定电流的百分数表示。

(三) 变压器型号说明

变压器的型号通常由表示相数、冷却方式、调压方式、绕组等材料的符号，以及变压器容量、额定电压、绕组连接方式组成。表示方法为：

基本型号 + 设计序号—额定容量 (kV·A) / 高压侧电压 (kV)

- (1) 绕组耦合方式：O—自耦；F—非自耦。
- (2) 相数：S—三相；D—单相。
- (3) 绕组外绝缘介质：不标—变压器油；G—空气；Q—气体；C—成型固体浇注式；CR—包绕式；R—难燃液体。
- (4) 冷却方式：不标—自然循环冷却装置；F—风冷却器；S—水冷却器。
- (5) 油循环方式：不标—自然循环；F—强迫循环；D—强迫导向循环。
- (6) 绕组数：不标—双绕组；S—三绕组；F—双分裂绕组。
- (7) 调压方式：不标—无励磁调压；Z—有载调压。
- (8) 绕组导向材质：不标—铜；B—铜箔；L—铝；LB—铝箔。
- (9) 铁芯材质：不标—电工钢片；H—非晶合金。
- (10) 电力变压器后面的数字部分：斜线前数字—额定容量 (kV·A)；斜线后数字—额定电压 (kV)。

(四) 牵引变压器的连接方式

1. 纯单相接线

图 1.1.4 所示为变压器纯单相接线图。单相变压器的高压侧 (110 kV 或 220 kV) 引出端为 A、X，低压侧 (27.5 kV) 引出端为 a、x。在实际应用中，单相牵引变压器的高压端子 A、X 分别接至三相系统的两个相线上，低压端子 a 接至牵引母线上，x 接至接地网和钢轨上。

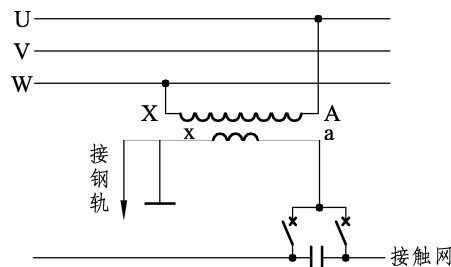


图 1.1.4 纯单相接线

用于牵引变电所中的单相牵引变压器与一般的单相变压器是不同的。一般的变压器末端 X 总是接中性点，因而绝缘是按半绝缘结构设计的；而牵引变压器的 X 端是接三相系统的相线，故末端 X 的绝缘等级与首端 A 的绝缘等级应是一样的，变压器绕组是按全绝缘结构要求设计的。

纯单相接线的主要优点是变压器容量得到充分利用，且变电所的主接线简单，设备少，占地面积小，投资少。其缺点一是单相负荷在三相系统中形成的负序电流较大，虽经换相连

接在总体上可减少三相系统的影响，但在局部的影响是较大的，故只能用于电力系统容量较大、地方电网较发达地区，这样铁路的负荷电流对它们来说所占比例可忽略不计。哈（尔滨）大（连）线便是全线采用纯单相接线，接入电力系统 220 kV 的电网中。二是不能实现双边供电，且牵引变电所中无变电所自用三相电源，所需电源只能从附近电网引入或由劈相机、单相-三相变压器等方式供给。

2. 单相 Vv 接线

图 1.1.5 所示为变压器单相 Vv 接线图。两台单相变压器高压侧的首端 A_1 、 A_2 分别接在不同的两个相线 U、V 上，而末端 X_1 、 X_2 接于剩下的一个相线 W 上，成为公共端。低压侧两个末端 x_1 、 x_2 为公共端，接于接地网和钢轨及架空回流线上，两个首端 a_1 、 a_2 分别接于两条牵引母线上，向牵引变电所两侧牵引网供电。此时两个供电区段电压相位差为 60° ，相邻接触网相对电压为 27.5 kV，必须采用分相绝缘。

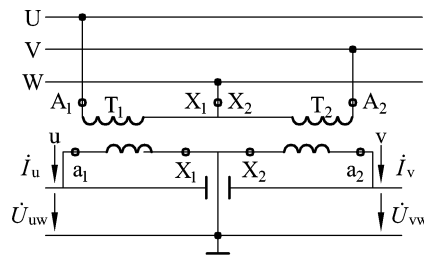


图 1.1.5 单相 Vv 接线

单相 Vv 接线变电所的优点是变压器容量利用率高，可以供给变电所三相电源，可对牵引网实现双边供电。与纯单相接线比较，单相 Vv 接线负序电流减小，对系统的影响较小，我国阳（平关）安（康）线即采用这种接线。其缺点是当一台变压器故障时，备用变压器投入倒闸作业复杂。

3. 三相 Vv 接线

三相 Vv 接线是将两台 Vv 接线的单相变压器安装在同一个油箱内，并对相关部件进行一些简单组合，其实质是两台单相 Vv 接线的变压器，如图 1.1.6 所示。两台单相变压器的高压侧端子分别为 A_1 、 A_2 、 X_1 、 X_2 ，在变压器油箱内已将 X_1 与 A_2 连接在一起，这样引出油箱外时只有 3 个端子。 A_1 引出线标为 A， X_1 与 A_2 引出一个公共端子标为 C， X_2 引出线标为 B；低压侧四个端子 a_1 、 x_1 、 a_2 、 x_2 分别引出油箱，可根据需要连接。

三相 Vv 接线变压器是在单相 Vv 接线基础上发展起来的新型结构。其在运行电气性能上类似于单相 Vv 接线，但在结构上较单相 Vv 结构紧凑，接线简单方便，易于设立固定备用变压器。

4. 三相 Yd 连接

三相牵引变电所中，一般采用双绕组油浸式变压器作为主变压器，变压器的连接绕组为 YN, d11 标准接线组，如图 1.1.7 所示。三相牵引变压器的高压侧接成 YN 接线方式，三相绕组端子 A、B、C 分别接 110 kV 电网的 U、V、W 相，也可根据换相的要求接其他相，端子