

铁道行业高技能人才培养系列教材

变电值班员

主编 杨正洪 李美英 曹宇东

西南交通大学出版社

·成都·

图书在版编目 (C I P) 数据

变电值班员 / 杨正洪, 李美英, 曹宇东主编. 一成都: 西南交通大学出版社, 2014.7
铁道行业高技能人才培养系列教材
ISBN 978-7-5643-3098-9

I. ①变… II. ①杨… ②李… ③曹… III. ①电气化铁道—牵引变电所—技术培训—教材 IV. ①U224

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2014) 第 121407 号

铁道行业高技能人才培养系列教材

变电值班员

Biandian Zhibanyuan

主编 杨正洪 李美英 曹宇东

责任编辑	黄淑文
助理编辑	张少华
封面设计	原谋书装
出版发行	西南交通大学出版社 (四川省成都市金牛区交大路 146 号)
发行部电话	028-87600564 028-87600533
邮政编码	610031
网 址	http://www.xnjdcbs.com
印 刷	四川森林印务有限责任公司
成品尺寸	185 mm×260 mm
印 张	17.5
字 数	448 千字
版 次	2014 年 7 月第 1 版
印 次	2014 年 7 月第 1 次
书 号	ISBN 978-7-5643-3098-9
定 价	36.00 元

图书如有印装质量问题 本社负责退换
版权所有 盗版必究 举报电话: 028-87600562

高技能人才培训系列教材编审委员会

顾 问 康宏玲

主 任 孟毅军

副主任 杨建民 陈 光 刘欣宇

李美英 蒋晓茹

委 员 计宝辉 姜颂东 郝宝强

曹宇东 计建军 牛 刚

杨正洪 王 荣 张怀丽

陈淑珍 康雪花 李月娥

杨 乐

序 言

近年来，按照党中央、国务院的统一部署和要求，我国高技能人才工作的政策措施逐步完善，工作机制逐步健全，发展环境逐步优化，高技能人才工作取得了新进展。

2006年，中共中央办公厅、国务院制定出台了《关于进一步加强高技能人才工作的意见》（中办发〔2006〕15号），对今后一个时期高技能人才工作做出了总体部署。2010年《国家中长期人才发展规划纲要（2010—2020年）》出台，将高技能人才队伍建设纳入国家人才队伍建设总体规划。为落实规划要求，中共中央组织部、人力资源和社会保障部共同制定了《高技能人才队伍建设中长期规划（2010—2020年）》，明确了到2020年我国高技能人才工作的主要任务和措施。2010年，《国务院关于加强职业培训促进就业的意见》（国发〔2010〕36号）出台，也对做好高技能人才工作提出了相应要求。2011年，人力资源和社会保障部、财政部制定了《关于印发国家高技能人才振兴计划实施方案的通知》（人社部发〔2011〕109号），提出实施技师培训、高技能人才培训基地建设、技能大师工作室建设三个工作项目。2012年，《国务院办公厅转发人力资源社会保障部、财政部、国资委关于加强企业技能人才队伍建设意见的通知》（国办发〔2012〕34号）。这些政策对今后一个时期高技能人才队伍建设的目标任务、重要举措以及体制机制创新提出了明确要求，为做好新时期高技能人才工作指明了方向。

目前，已基本形成以企业行业为主体、技工院校等职业院校为基础、学校教育与企业培养紧密联系、政府推动与社会支持相结合的高技能人才培养体系。技工院校作为后备技能人才培养的重要阵地，承担着通过学制教育和社会培训等方式培养高技能人才的重要任务。

教材是劳动者终身教育和职业生涯发展的重要学习工具，教材开发是构建完备、系统的高技能人才培养体系的重要环节。技工院校在高技能人才培养工作中如何体现“以提高素质为基础，以职业能力为本位，以提高技能水平为核心”的教学指导思想，如何处理职业岗位需要与终身学习需要的关系，如何处理提高人才素质与加强职业岗位针对性的关系，这些都是职教工作者需要思考的问题。

正是在这样一个背景下，我校联合企业专家，结合新疆铁路事业蓬勃发展、大规模铁路建设全面展开、牵引动力装备电气化的实际，按照铁道行业特有职业（工种）国家职业标准，注重应用性、普适性和前瞻性，以够用、实用为原则，共同开发编写了这套教材。

没有高质量的教材，就没有高质量的教学。希望这套教材能为新疆铁路建设大发展服务，为高技能人才队伍建设服务。

董毅军

2013 年 12 月

前 言

为更好地落实“十二五”铁路人才发展规划，强化人才培养和实践锻炼，加快建设一支数量充足、结构合理、素质过硬的铁道施工与养护专业技术人才队伍，尽快满足新疆铁路安全运营对专业技术人才的需要，特结合新疆铁路运营和建设实际，依据《铁路线路工国家职业标准》《铁路职业技能鉴定参考丛书》和有关技术规章的要求，本着立足当前、着眼长远、瞄准前沿、务求实用的原则，编写了本书。

本书遵循以职业能力为导向、以胜任工作为重点的原则，在教材内容组织上采用项目和任务的形式，加强实践性教学内容，以满足企业对专业技术人才岗位工作能力的要求。

本书共有三个单元十个项目，由新疆铁道职业技术学院电气工程教学部和哈密供电段共同完成，其中第一单元项目一电工基础知识、项目二电工基本操作由张怀丽老师编写，项目三触电救护及防触电技术由杨乐老师编写，第二单元项目四供电系统由陈淑珍老师编写，项目五牵引变电所电气设备由杨正洪老师编写，项目六变电所主接线和倒闸作业由哈密供电段曹宇东编写，项目七二次回路由李月娥老师编写，项目八继电保护由王荣老师编写，项目九变电所综合自动化技术由康雪花老师编写，第三单元由李美英老师编写。

本书由新疆铁路高级技术学校组织筹划，采取校企合作的方式，联合乌鲁木齐铁路局工务处和各工务段专业处室的骨干技术力量共同编写，在此对他们的辛苦努力和大力支持表示衷心感谢！

由于时间仓促，加之编者水平有限，书中难免存在疏漏和不足之处，恳请广大读者批评指正。

编 者

2013年12月

目 录

第一单元 基础知识

项目一 电工基础知识	3
任务一 交直流电路的认知	3
任务二 电与磁	37
任务三 电子技术基础知识	48
项目二 电工基本操作	59
任务一 电工工具的使用	59
任务二 电工仪表的使用	63
项目三 触电救护及防触电技术	71
任务一 触电救护	71
任务二 防触电技术	79

第二单元 专业知识

项目四 供电系统	95
任务一 电力系统概述	95
任务二 牵引供电系统特点	98
项目五 牵引变电所电气设备	106
任务一 牵引变压器	106
任务二 互感器	115
任务三 高压开关	145
任务四 断路器	148
任务五 熔断器	152
任务六 防雷保护装置	159
任务七 并联电容器	165

项目六	变电所主接线和倒闸作业	174
任务一	电气主接线概述	174
任务二	高压侧电气主接线	176
任务三	牵引侧电气主接线	186
项目七	二次回路	194
任务一	二次回路基础知识	194
任务二	牵引变电所二次回路	200
任务三	直流电机	211
项目八	继电保护	225
任务一	继电保护的基础知识	225
任务二	变压器保护	230
任务三	牵引网的保护	232
任务四	并联电容补偿装置保护	236
任务五	故障测距	238
项目九	变电所综合自动化技术	240
任务一	变电所综合自动化技术	240
任务二	远动技术	246
第三单元 职业道德		
项目十	职业道德	257
任务一	职业道德基本知识	257
任务二	职业守则	260
任务三	劳动安全守则	261
任务四	相关法律法规知识	263
参考文献		270

项目六 变电所主接线和倒闸作业

任务一 电气主接线概述

【任务目标】

知识目标：掌握电气主接线的概念。

能力目标：熟悉牵引变电所内电气主接线的要求。

【相关知识】

一、电气主接线概述

1. 基本概念

(1) 次电气设备在牵引变电所中，直接接于输送和分配电能的高电压线路的设备称为一次电气设备，如断路器、隔离开关、主变压器、互感器等都属于一次电气设备。

(2) 电气主接线一次电气设备按一定规律连接，完成接受或者分配电能任务的电路称为一次接线，也称为电气主接线。

(3) 主接线图表示一次电气设备相互连接关系和工作原理的电气接线图，称为主接线图。

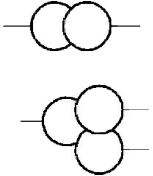
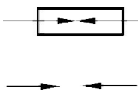
2. 为了信息传递的方便，对主接线有以下几点要求

(1) 主接线图一般用单线图表示。电气线路多是对称三相线路，若三相都画出来，非常繁杂，不便表达。故采用单线图。所谓单线图是指，当三相对称时，只画出其中一相，表示三相；当三相不对称时，分别画出三相。

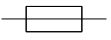
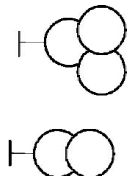
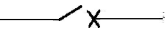
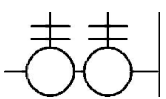
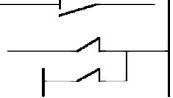
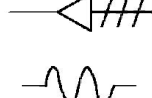
(2) 图中符号均采用国标符号。主接线图中的设备均用图形符号和文字符号表达，这些符号必须符合国标规定，见表 6.1。

表 6.1 设备图形符号和文字符号

文字符号	图形	电气元件名称	文字符号	图形	电气元件名称
G	G	发电机，电力系统	W	三相母线 	(汇流母线)

T		单相变压器 三相变压器	F FV		避雷器 放电器
---	---	----------------	---------	---	------------

续表 6.1

文字符号	图形	电气元件名称	文字符号	图形	电气元件名称
FU		熔断器	TV		(三绕组) 电压互感器 (双绕组)
QF		断路器	TA		电流互感器
QS		隔离开关 带接地刀闸的隔离开关	W LF		电缆密封终端头 抗雷线圈

(3) 图中开关设备的状态应按正常状态画出。所谓正常状态是指电气元件无电量（无电压或无电流）作用，非电气元件无外力作用的状态。断路器、隔离开关正常状态为断开状态。如有特殊情况应注明。

二、对电气主接线的基本要求

1. 可靠性

保证对牵引负荷和地区负荷的供电可靠和电能高质量。牵引负荷是一级电力负荷，在任何情况下，均应保证其供电的安全和可靠。为此它应有独立的双回路电源供电。为提高供电的能力和电能的质量，一般从以下几个方面对主接线的可靠性进行定性分析。

(1) 断路器检修时能否不影响供电。

(2) 断路器或母线故障以及母线检修时，尽量减少停运的回路数和停运时间，并要保证对重要用户的供电。

(3) 尽量避免发电厂、变电所全部停运的可能性。

(4) 大机组、超高压电气主接线应满足可靠性的特殊要求。

2. 简单、方便

主接线应力求接线简单、清晰、操作方便。由于接触网运行条件恶劣，事故率高，检修作

业频繁。牵引变电所的停、送电操作、倒闸作业多，主接线的简单清晰，可减少操作程序，操作方便可避免误操作。

3. 运行灵活、维护、检修安全方便

主接线应能适应多种运行方式，使检修和维护既安全又方便。

在系统和变电所设备发生故障时，能灵活快捷的退出运行，经倒换运行方式不影响其他元件的正常工作，恢复正常供电，并可留出安全距离，保证检修、试验工作人员的正常工作和安全。

4. 经济性

主接线的结构决定了电气设备的数量，应力求简单，以节省断路器、隔离开关、电流互感器、电压互感器及避雷器等一次设备的投资；要尽可能简化继电保护和二次回路，以节省二次设备和控制电缆；应采取限制短路电流的措施，以便选择轻型的电器和小截面的载流导体；要为配电装置的布置创造条件，以节约用电和节省基建材料；应经济合理地选择主变压器的形式、容量和台数，避免出现两次变压，以减少变压器的电能损耗。

5. 具有发展性

由于铁路建设会促进地方经济的发展，地方经济的发展必然扩大运量，又促进铁路的扩建增容，牵引变电所经过一定时间是肯定要扩建发展的，主接线在设计时一定要考虑发展和扩建的可能性。

任务二 高压侧电气主接线

【任务目标】

知识目标：掌握电气主接线的连接方式。

能力目标：能够进行 110 kV 侧的倒闸作业。

【相关知识】

一、牵引变电所一次侧的电气主接线

牵引变电所是从电力系统高压电网获取电能，经变电所变压输送给牵引网，通常把接电力系统高压电网一侧称为一次侧或高压侧；将接牵引网的一侧称为二次侧或牵引侧。我国的牵引变电所一次侧电压等级多为 110 kV，也有 220 kV 的。由于牵引负荷属于一级负荷，所以引入

电源最少应有两路，牵引变电所的主变压器一般为两台。根据变电所在电网中的位置、重要程度和从电力系统取得电源的方式不同，可分为以下几种类型：

(1) 中心变电所。具有 4 路及以上电源进线，并有系统功率穿越，除了完成一般变电所的功能，还向其他变电所供电。

(2) 中间（或终端）变电所。变电所有 2 路电源进线的为中间（或终端）变电所。其中有系统功率穿越的称为通过式变电所。没有系统功率穿越的称为分接式变电所。

各种变电所的类型示意图如图 6.1 所示。

牵引变电所有中心、中间和终端三类，不同类型的变电所往往采用不同形式的主接线，或者说不同的接线形式适用于不同类型的变电所。

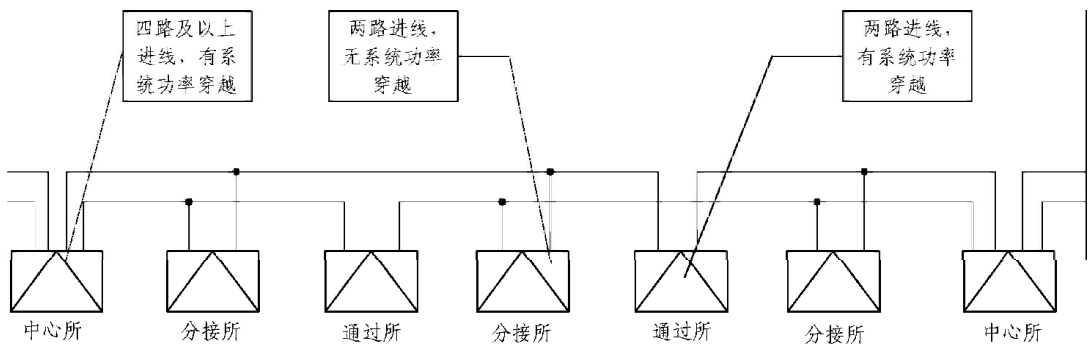


图 6.1 各类变电所示意图

二、简单接线（双 T 接线）

当牵引变电所为终端式变电所时，一般采用简单接线（双 T 接线）形式。

（一）接线形式

简单接线（双 T 接线）如图 6.2 所示。

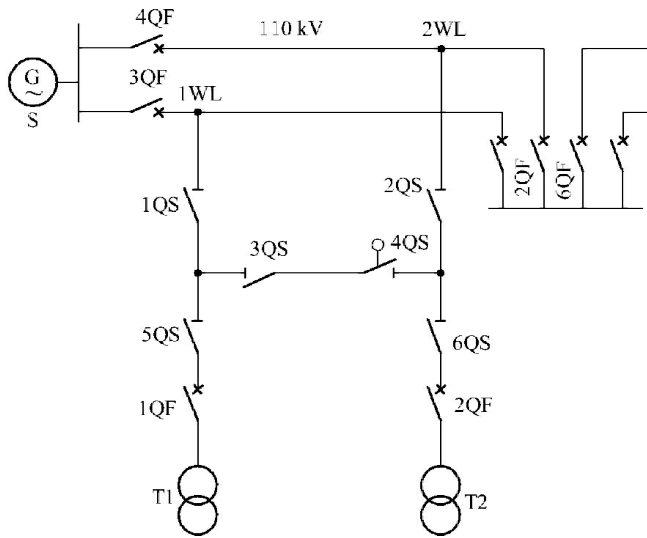


图 6.2 简单双 T 接线图

牵引变电所有两路电源线 WL1、WL2 进线，分别经两个隔离开关 QS1、QS5（或 QS2、QS6），断路器 QF1（或 QF2）向主变压器 T1（或 T2）送电。断路器 QF1、QF2 和开关 QS1、QS2、QS5、QS6 在各种运行状态时起隔离电压和倒闸变化运行方式用。由于终端变电所中，两电源 ML1、ML2 间无系统功率穿越，为增加运行灵活性，增设了以隔离开关组成的跨条将两路电源连接。

（二）正常运行方式

简单接线变电所一般采用一回路电源线路主供，另一回路电源备用；两台主变压器中，一台投入运行，另一台备用的运行方式。实用中又分为直列供电和交叉供电两种供电方式。直列供电是跨条的隔离开关断开，由电源向线路直接连接的变压器供电。交叉供电是指电源线路通过跨条向另一电源线路连接的变压器供电。显然直列供电方式，在线路或变压器故障时，备用设备投入简单方便。

（三）倒闸操作

主接线运行方式的变化是通过倒闸操作来完成。所谓倒闸操作是指操动隔离开关、断路器，按一定先后顺序进行分合闸的作业过程。倒闸作业的前提是不影响作业区外系统设备的正常运行或将影响限制至最小。

倒闸作业中主要处理好三个作业顺序问题。

1. 隔离开关与断路器

隔离开关与断路器串联时：合闸操作先合隔离开关，后合断路器；分闸操作先分断路器后

分隔离开关。即隔离开关操作先合后分。或理解为隔离开关的所有操作，必须是在断路器分闸状态下才可进行的。

2. 隔离开关主闸刀与接地闸刀

送电时，先断接地闸刀，再合主闸刀；停电时，先断主闸刀，再合接地闸刀。

3. 电源侧和负荷侧

停电时，先断负荷侧，后断电源侧；送电时，先合电源侧，再合负荷侧。

（四）电源线路转换

简单接线中两电源正常转换（接地控制或远动遥控）方式受电源参数影响，分允许 25 kV 侧并联和不允许在 25 kV 侧并联两种。这主要由电力系统的情况来确定，是在引入电源前与电力部门事先协议决定的。

假定现运行状态是采用电源 WL1 向 T1 直列供电方式，则 QS1、QS5、QS3、QS6、QF1 闭合，QS2、QS4、QF2 断开；现要转换 WL2 向 T2 供电，倒闸作业为：

- （1）确认 2#电源正常。
- （2）闭合 QS2。
- （3）闭合 QF2，此时两电源，两变压器在 25 kV 侧并联运行。
- （4）断开 QF1。
- （5）断开 QS1，WL1 退出运行。

接线中 QS5、QS6 是手动隔离开关，正常运行时是闭合的，只有在检修对应变压器和断路器时，才断开起隔离电源作用。

显然允许在 25 kV 侧并联的方式，在正常转换电源的过程中，牵引侧没有中断供电，故其供电可靠性高。

另一点要申明的是，我们当前仅讨论一次侧接线，牵引侧的接线未画出，倒闸作业程序也仅考虑了画出的部分。在实际中，按照电源与负荷的关系，分闸时要先断开牵引侧；合闸时要先合一次侧，再合牵引侧。

（五）主变压器的转换

假设现运行状态是电源 WL1 向 T1 直列供电，欲将 T1 退出，T2 投入运行，倒闸作业程序为：

- （1）闭合 QS4（电动操作）。
- （2）闭合 QF2，此时两台变压器并联运行。
- （3）断开 QF1，T1 退出运行。

这种正常的倒闸作业，不会中断牵引负荷的供电。当变压器故障时，继电保护装置使 QF1 自动分闸，备用电源自投装置动作，使 QS4 合闸，QF2 合闸，T2 投入运行，转换成电源 WL1 向变压器 T2 供电的交叉供电方式。

(六) 特点

简单接线中，两路电源进线、两台变压器进线四条支路仅用两套断路器，元件少，主接线简单。由于电源线路仅为本所供电，故所内不设电源线路保护，二次接线装置也较简单，节省了投资。简单接线方式在牵引变电所得到广泛应用。

三、桥式接线

当牵引变电所为通过式变电所时，往往采用桥式接线。

两回电源引入线分别经断路器接入两台主变压器，在两条电源引入线之间用带断路器的横向母线连接起来，这就是桥式接线。带断路器的横向母线称为连接桥。连接桥可以使系统功率穿越。注意连接桥与简单接线中的跨条不同，连接桥有断路器，而跨条没有；连接桥可穿越系统功率，而跨条却不能。

桥式接线的分类：桥式接线分为内桥式和外桥式两种，如图 6.3 所示。

(一) 内桥式接线 [见图 6.3 (a)]

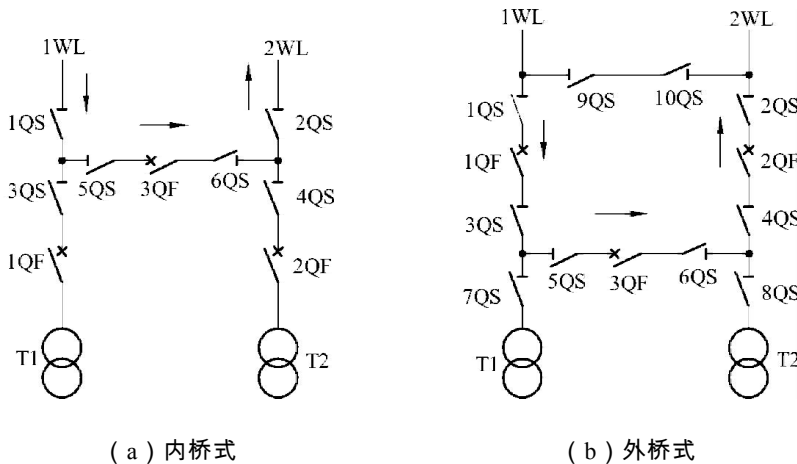


图 6.3 桥式接线

含断路器 QF3 的连接桥接在线路断路器内侧的桥式接线称为内桥式接线。

内桥式接线分别通过两个隔离开关 QS1、QS3（或 QS2、QS4）、一套断路器 QF1 或（QF2）

将两个电源 WL1（或 WL2）引入，变压器进线通过隔离开关 QS7（或 QS8）控制，两个电源是通过 QS5、QS6 和 QF3 组成的连接桥连接的，正常运行时 QS5、QS6 和 QF3 均闭合，供系统功率穿越。在实用中为防止检修断路器时影响系统功率穿越，加设由两个隔离开关 QS9 和 QS10 组成的外跨条，当检修断路器 QF3 时，先将 QS9 和 QS10 闭合，使 WL1 与 WL2 连通，再退出 QF3 进行检修。设置断路器两侧两个隔离开关的目的在于在检修时互为隔离电源所用。

1. 检修电源线路时的倒闸作业

假设牵引变电所主变压器 T1 运行，T2 备用，则接线图中除 QS8、QS9、QS10 断开外，其余断路器、隔离开关均闭合。当 WL1 故障退出运行的倒闸作业程序为：

- (1) 断开 QF1。
- (2) 断开 QS1 即可检修线路 WL1。

检修结束后，WL1 投入运行，倒闸作业程序为：

- (1) 闭合 QS1。
- (2) 闭合 QF1 即可。

显然电源线路退出和投入很方便。

2. 检修变压器的倒闸作业

当检修变压器 T1，T2 投入时倒闸作业程序为：

- (1) 闭合 QS9 和 QS10。
- (2) 断开 QF3、QF2。
- (3) 闭合 QS8。
- (4) 闭合 QF3、QF2。
- (5) 断开 QF1、QF3。
- (6) 断开 QS7。
- (7) 闭合 QF1、QF3。
- (8) 断开 QS9 和 QS10。

在上述倒闸作业过程中，牵引负荷不中断供电。

显然变压器切换倒闸作业复杂。

3. 断路器检修的倒闸作业

假设检修断路器 QF1 时的倒闸作业程序为：

- (1) 闭合 QS9 和 QS10。
- (2) 断开断路器 QF1。
- (3) 断开 QS1、QS3 即可检修断路器 QF1。

4. 特点及适用范围

从以上分析可以看出内桥式接线，电源线路投入退出较为方便，而变压器投入退出较复杂，所以内桥式接线适用于电源线路故障概率大，牵引变压器不需要经常切换的牵引变电所。牵引

变电所中，电源线路故障多于变压器故障，所以应用此类接线较广泛。

(二) 外桥式接线 [如图 6.3 (b)]

含断路器 QF3 的连接桥接在线路断路器外侧的桥式接线称为外桥式接线。

外桥式接线分别由隔离开关 QS3 与断路器 QF1 (或 QS4 与 QF2) 构成主变压器进线；用隔离开关 QS1 (或 QS2) 引入电源线路；QS5、QS6 和 QF3 构成连接桥。

1. 检修变压器时的倒闸作业

正常时一台主变压器投入运行，一台备用。设 T1 工作，T2 备用，若检修主变压器 T1，投入 T2，倒闸作业程序为：

- (1) 确认 QS4 在闭合状态。
- (2) 闭合 QF2。
- (3) 断开 QF1。
- (4) 断开 QS3。

显见，外桥式接线，主变压器投入退出方便。

2. 检修电源线路时的倒闸作业

假设电源线路 WL1 检修，倒闸作业程序为：

- (1) 断开 QF1、QF3。
- (2) 断开 QS1。
- (3) 闭合 QF1、QF3。

检修电源线路 WL1 倒闸过程中，中断了牵引负荷供电，若不中断牵引负荷供电，则倒闸作业程序为：

- (1) 确定 QS4 在闭合状态。
- (2) 闭合 QF2。
- (3) 断开 QF1、QF3。
- (4) 断开 QS。
- (5) 闭合 QF1、QF3。
- (6) 断开 QF2。

显见，外桥式接线，电源线路退出投入倒闸程序复杂。

3. 检修断路器的倒闸作业

假设检修 Qn，其倒闸作业程序为：

- (1) 确定 QS4 在闭合状态。
- (2) 闭合 QF2，投入 T2。
- (3) 断开 Qn。
- (4) 断开 QS3。

检修断路器 Qn 时，变压器 T1 无法投入工作，故除临时性故障抢修外一般都安排断路器与变压器同时检修。

4. 特点适用范围

以上分析可看出外桥式接线，电源线路退出投入复杂，变压器退出投入方便。所以外桥式适用于线路短而故障率低，变压器易发生故障的变电所。牵引变电所应用此种接线较少。

总之桥式接线中，两回路电源进线，两主变压器进线，4 条支路只用了 3 套断路器，断路器数量少，配电装置简单经济。桥式接线的连接桥向两侧延长，很容易发展为单母接线，具有一定灵活性和可发展性。广泛地应用于牵引变电所中。此时除 QF2 断开外，其余断路器，隔离开关均闭合。

四、单母线接线

当电源引入线较多，主变压器一般有两台，为了使主变压器获取电能具有任意性，几个电源之间便于能量汇集和分配，需要设置汇流母线，以提高供电的可靠性、灵活性和经济性。

（一）不分段的单母线接线

如果电源回路和用电回路都通过断路器和隔离开关接到同一套汇流母线上，则构成单母线接线，如图 6.4 所示。由于母线未分段故也称为不分段的单母线接线。

四个电源线路 WL1、WL2、WL3、WL4 分别由两套隔离开关和一套断路器组成的支路接入母线 W，两台主变压器 T1、T2 分别由一套隔离开关和一套断路器组成的支路接入母线 W。每个电源进线支路的隔离开关分设在线路断路器两侧，在检修断路器时起隔离作用。

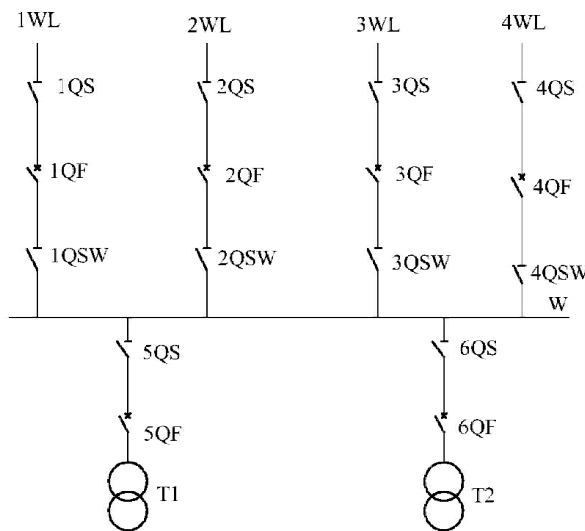


图 6.4 单母线接线

该接线的特点是：

- (1) 断路器的套数等于接入母线的回路数，没有备用。
- (2) 结构简单、清晰，倒闸作业简单，经济性高，并具有一定可靠性。

(3) 每回路都有断路器起控制和保护作用。检修断路器时，可用两侧隔离开关将电源隔离，保证检修人员安全。

- (4) 各回路互相独立，互不影响。任一回路检修时，其他回路均不受影响。

(5) 所有电源电能均汇集于母线，又从母线分配，汇集与分配均具有任意性，在电源种类多样性时可达最理想经济性。

这种接线方式的主要缺点为：

- (1) 回路隔离开关和断路器无备用，检修时，该回路停电时间较长。

- (2) 母线或母线隔离开关故障检修时，造成全所停电，供电可靠性不高。

(3) 由于以上原因，这种接线只能用于对可靠性要求不高的 3~35 kV 地区负荷，不能用于牵引变电所。

(二) 分段的单母线接线

用分段断路器将母线分成两段或两个以上区段的单母线接线称为单母线分段接线，接线图如图 6.5 所示。

正常运行时，分段断路器（又称母联断路器）QFB 闭合，两段母线联通和单母线接线相同，具有单母线接线的优点，也有 QFB 断开，两侧分段运行，一侧失压，QFB 自投的运行方式。

当母线故障时，分段断路器 QFB 在继电保护装置的作用下，将故障段与正常段分开，保证非故障段母线继续运行，使停电范围缩小一半。当检修某母线隔离开关时，母线分段断路器 QPB 断开，使停电范围缩小一半，分段式单母线接线，各段母线可轮换检修，供电可靠性有所提高，适用于功率不大的 3~35 kV 地区负荷和 110 kV 电源进线较少的变电所中。

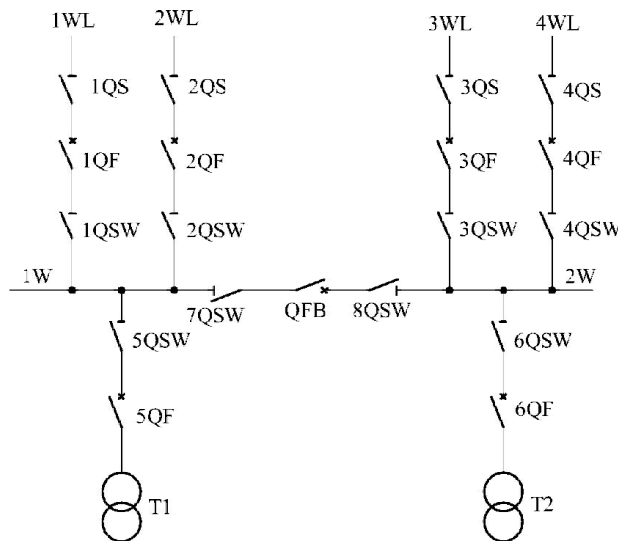


图 6.5 断路器分段的单母线接线

当将图 6.5 中分段断路器去掉，其余不变，这种接线称为隔离开关分段的单母线接线。这种接线在正常计划检修母线隔离开关时，通过倒闸作业可缩小停电范围一半。但在母线故障时，因隔离开关不能带负荷分断，故与不分段的单母线接线同样，会造成短时全所停电。通过倒闸作业之后，非故障母线才可恢复供电。故其供电可靠性不高。

（三）单母线分段带旁路母线的接线

分段的单母线接线，在母线故障时缩小了停电范围一半，虽然提高了供电可靠性，但是因线路断路器无备用，当线路断路器检修时，会造成该线路长时停电，故可靠性仍不高，为了解决线路断路器的备用问题，特设置一套备用母线 WB，称为旁路母线，工作母线每段设一套旁路断路器 QFR 与旁路母线 WB 相连，每电源进线回路设一套旁路隔离开关与旁路母线相连，就构成了带旁路母线的单母线分段接线，这种接线形式，在正常工作时，旁路隔离开关和旁路断路器均断开，其他开关均闭合。此时运行状态与单母线分段接线完全一样，它也具备了单母线分段接线的优点。

单母线分段带旁路母线的接线图如图 6.6 所示。

当任一电源进线回路需要检修时，可用旁路断路器代替其工作。使线路断路器在检修时电源线路可正常工作。例如 QF3 退出检修，倒闸作业程序为：

（1）闭合 QSR8、QSW8。

（2）闭合旁路断路器 QFR2，试验旁路母线 WB 是否完好（如果 WB 有故障，则 QFR2 的继电保护装置会动作，断开 QFR2）。

（3）断开 QFR2，将 QF3 的继电保护装置转换至 QFR2。

（4）闭合 QSR3。

（5）闭合 QFR2，使 QFR2 与 QF3 并联工作。

（6）断开 QF3。

（7）断开 QSW3 和 QS3，QF3 退出工作可以安全检修。

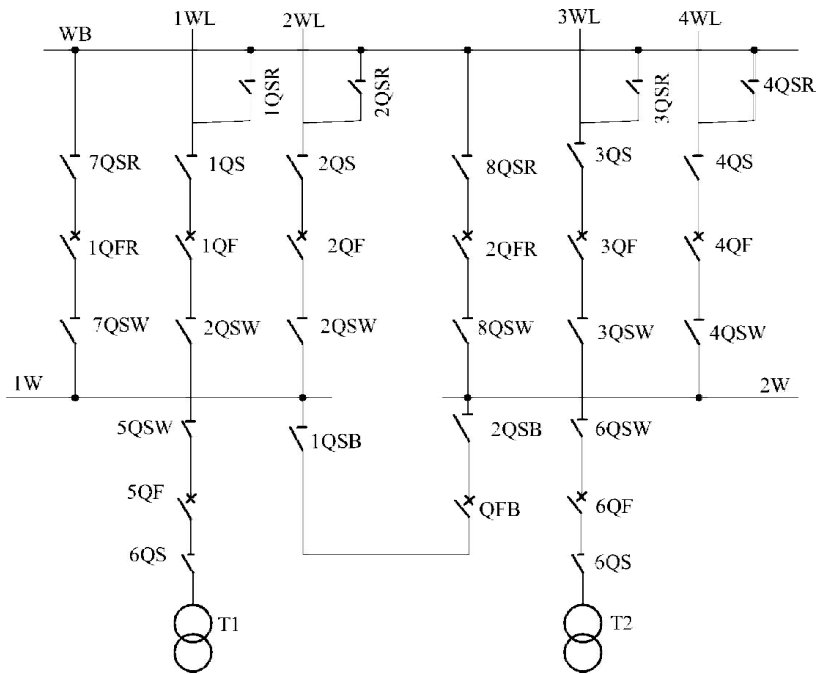


图 6.6 单母线分段带旁路母线的接线

这种接线为线路断路器提供了公共备用断路器，使检修断路器时可不中断供电，它广泛地应用在牵引变电所中，线路断路器较多，负荷较重要，检修断路器不允许停电的场合。

由于增加了旁路断路器旁路隔离开关，设备较多，投资加大，另倒闸作业较复杂，配电装置占地面积也大，经济性稍差，但提高牵供电的可靠性，与铁路的畅通相比，还是值得的。

(四) 简化型带旁路母线的单母分段接线

在实用中，母线隔离开关及线路断路器同时检修的可能性太小，所以完全可以将母线分段断路器与旁路断路器巧妙合并，大大降低成本，提高经济性。简化型带旁路母线的单母分段接线如图 6.7 所示。

正常运行时，各线路旁路隔离开关断开，QSB 断开，其余开关均闭合，此时接线属分段的单母线接线，隔离开关 QSW7、QSW8 与断路器 QFB 闭合，因而牵引变电所 110 kV 侧母线不采用隔离开关分段，QFB 作为母线分段开关起作用。这种情况下，旁路母线是常带电的，这样我们可以随时发现旁路母线的隐患，防止潜伏故障的存在。

当检修线路断路器时，可让断路器 QFB 先退出母线分段断路器的工作，再投入旁路断路器工作。如检修线路断路器 QF3，倒闸作业程序为：

- (1) 闭合 QSB（为 QFB 退出分段断路器工作准备，QSB 合上，不影响原系统功率汇集分配系）。
- (2) 断开 QFB（QFB 退出分段断路器工作）。
- (3) 断开 QSW8。
- (4) 闭合 QSR3。
- (5) 将 QF3 的继电保护装置转换至 QFB1。

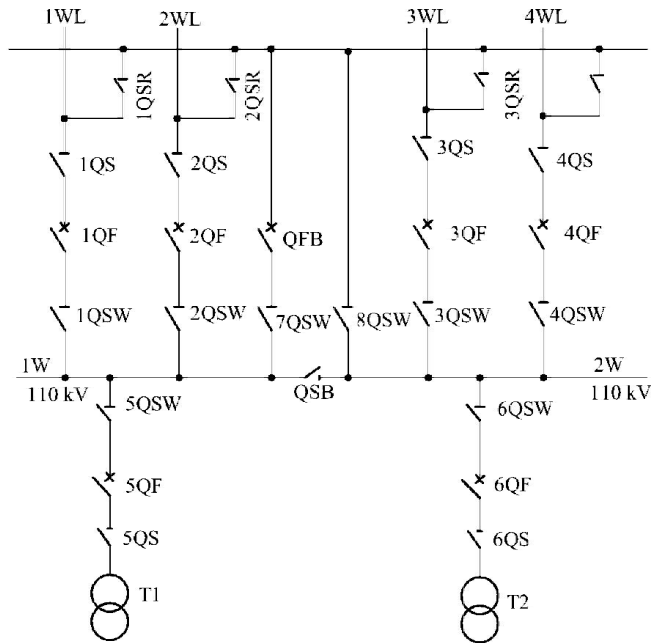


图 6.7 分段断路器兼做旁路断路器的单母线接线

(6) 闭合 QFB1。

(7) 断开 QF3。

(8) 断开 QS3、QSW3。

QF3 退出工作可安全检修。检修结束后投入工作，倒闸作业程序为：

(1) 闭合 QS3、QSW3。

(2) 将 QF3 的继电保护装置由 QFB 移回。

(3) 闭合 QF3。

(4) 断开 QFB (QFB 退出旁路断路器工作)。

(5) 断开 QSR3。

(6) 闭合 QSW8。

(7) 闭合 QFB (QFB 进入分段断路器工作)。

(8) 断开 QSB。

这种接线经济性好，在中心式牵引变电所中应用。但倒闸作业复杂，在倒闸作业时一定要百倍小心，防止误操作酿成事故。

任务三 牵引侧电气主接线

【任务目标】

知识目标：知道牵引变电所牵引侧主接线的形式。

能力目标：掌握牵引变电所主变压器、开闭所、分区所主接线特点。

【相关知识】

一、牵引变电所牵引侧主接线

牵引变电所牵引侧主接线主要由三个部分组成，即汇流母线，主变压器牵引侧电源进线和牵引侧馈线。牵引侧的电气主接线是指变电所、开闭所、分区所、自耦变压器所内 27.5 kV 侧（或 55 kV 侧）电路的接线。其接线形式与牵引变电所的类型，向接触网的供电方式、主变压器的备用方式、馈线回路数的多少，10 kV 负荷的供电方式等因素有关。

27.5 kV 侧（或 55 kV 侧）主接线形式一般采用单母线接线、隔离开关分段的单母线接线和隔离开关分段带旁路母线的单母线接线。牵引侧电气主接线无复杂的倒闸作业，通常是馈线的停、送电操作。

（一）汇流母线

牵引变电所牵引侧是单相馈出的，所以母线只有单相或两相，一般是单母线接线和隔离开关分段的单母线接线。

（二）电源（主变压器牵引侧）进线

电源进线部分包括从主变压器牵引侧出线端子 a、b、c（或 a、x）开始至汇流母线的接线。这部分接线主要任务是连接变压器出线端子至汇流母线，由于变压器运行方式相对稳定，母线故障率较低，所以该处断路器不设备用。主变压器差动保护和测量所用电流互感器接线也较简单。具体接法要受变电所类型、变压器备用方式影响。

1. 主变压器为三相 YNd11 接线

牵引侧 c 端子经电流互感器接地和钢轨，只设 U_a 、 U_b 两相母线，从主变压器出线端经电流互感器和断路器分别与对应相母线相连接，如图 6.8 所示。

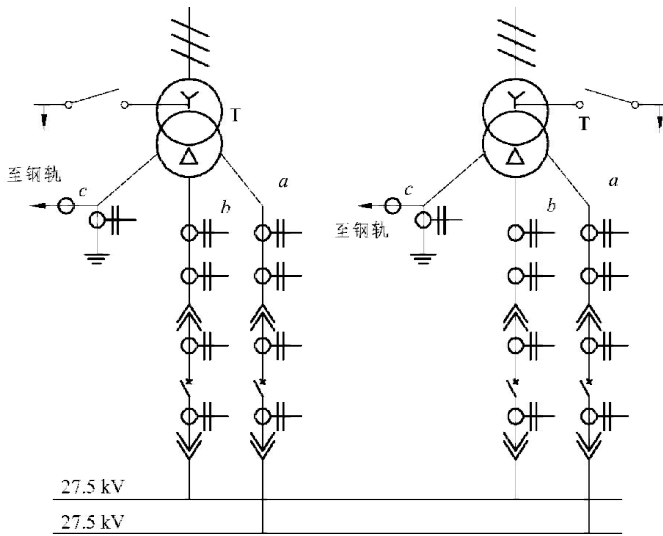


图 6.8 YNd11 接线主变压器 27.5 kV 侧接线

2. 主变压器采用单相 Vv 接线

主变压器采用单相接线，两变压器牵引侧端子 x 经电流互感器接地和钢轨，两个端子 s 分别经断路器接至对应母线。因两台主变端子送出的非同相电，故母线必须用两台隔离开关分段。两台分段隔离开关之间的母线上设置用变压器专用进线断路器，如图 6.9 所示。

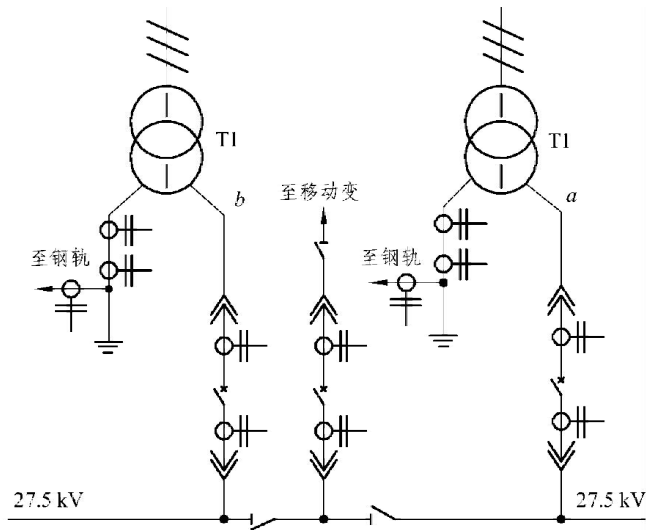


图 6.9 单相 Vv 接线主变压器 27.5 kV 侧接线

3. 主变压器采用三相-两相斯科特接线

如图 6.10 所示，牵引变压器 M 座和 T 座分别引出两根线，经电流互感器和电动隔离开关送至对应母线，母线采用两组隔离开关分段。主变压器副边电压为 55 kV，为户外配电装置，变压器出线处安装有避雷器，并且每台主变压器负荷侧接反斯科特接线变压器，为牵引变电所提供所用三相电源。

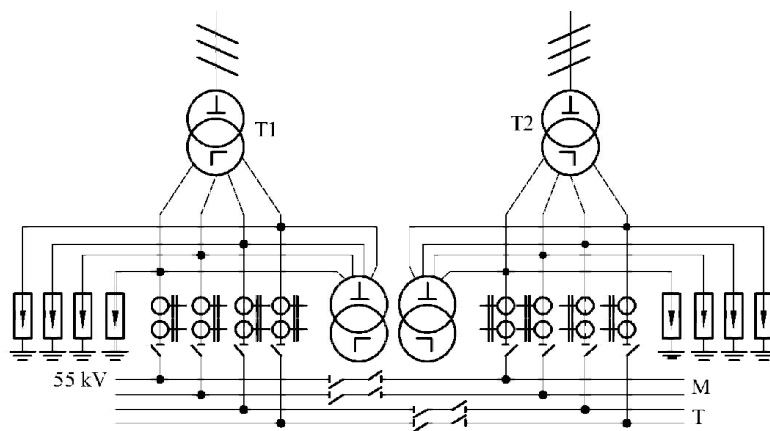


图 6.10 斯科特接线变压器 55 kV

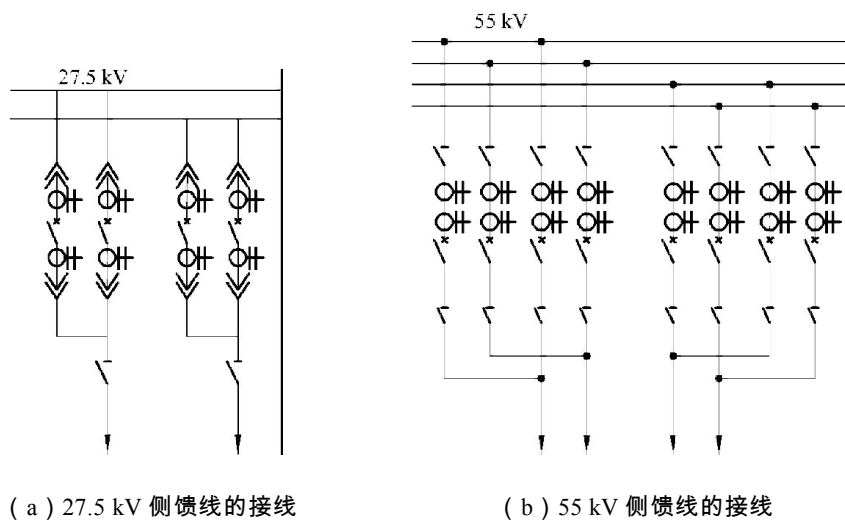
(三) 牵引侧馈线的接线

牵引侧馈线的接线是指从牵引侧母线至接触网馈线间的接线。

由于接触网工作环境恶劣，且无法备用，其较一般架空输电线路故障率高，馈电断路器操作频繁，要求高。故馈线侧接线是按馈线断路器的备用方式分类。

1. 馈线断路器 100%备用接线

如图 6.11 所示，这种接线在工作断路器需检修时，即由备用断路器代替。备用率 100%，断路器转换操作简便，供电可靠性高，但投资大。适合于单线电化区段。因为单线区段，由牵引变电所侧两相电分别送向上下行两侧，两供电臂不同向，不宜公共备用，故用 100%备用方式。



(a) 27.5 kV 侧馈线的接线

(b) 55 kV 侧馈线的接线

图 6.11 馈线断路器 100%备用的接线

2. 馈线断路器 50%备用的接线

馈线断路器 50%备用的接线如图 6.12 所示。这种接线每两条馈线设一台备用断路器，通过隔离开关的转换，备用断路器可代替任一断路器工作。这种接线方式适合于同相牵引母线上有两条馈线的场合。与 100%备用方式相比经济性好。

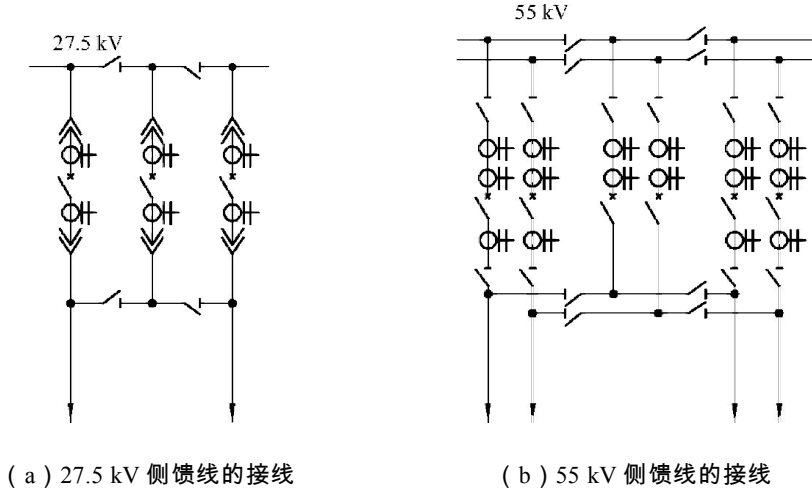


图 6.12 馈线断路器 50%备用的接线

3. 带旁路断路器和旁路母线的接线

带旁路断路器和旁路母线的接线如图 6.13 所示。这种接线方式适合于每相牵引母线的馈线数较多（铁路枢纽地区）的场合，以减少备用断路器数量，节省投资。这种接线通过旁路断路器可代替任一馈线断路器工作。

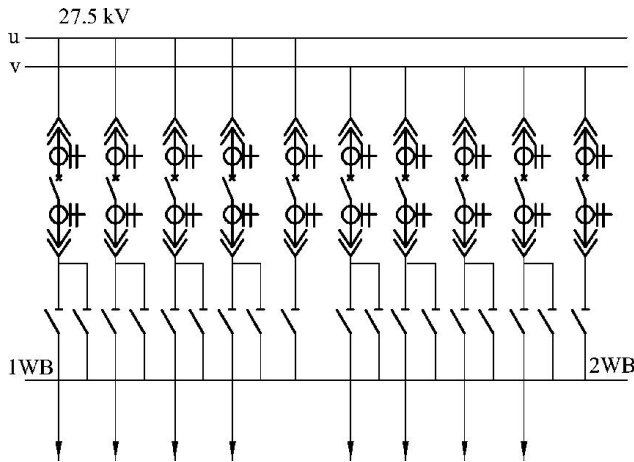


图 6.13 带有旁路母线的接线

二、开闭所主接线

(一) 直接供电方式和 BT 供电方式的开闭所接线

开闭所一般有两路电源进线。单线区段，两路电源从相邻两供电臂接触网引入；复线区段电源可由同一供电分区的上、下行接触网或由相邻两供电臂的接触网引入，开闭所的馈线一般在 3 回路以上，故一般采用带旁路母线的单母线接线形式。旁路断路器作为备用，如图 6.14 所示。

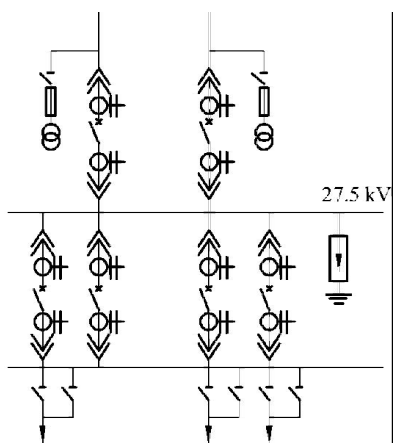


图 6.14 开闭所主接线 (非 AT 供电方式)

(二) AT 供电方式的开闭所接线

由于 AT 供电方式供电距离长，两牵引变电所距离近百公里，常在牵引变电所和分区所之间设开闭所，所以此类开闭所主要任务是将长供电臂分段，提高供电可靠性，也可通过它实现上、下行牵引网并联供电，提高运行灵活性，接线图如图 6.15 所示。

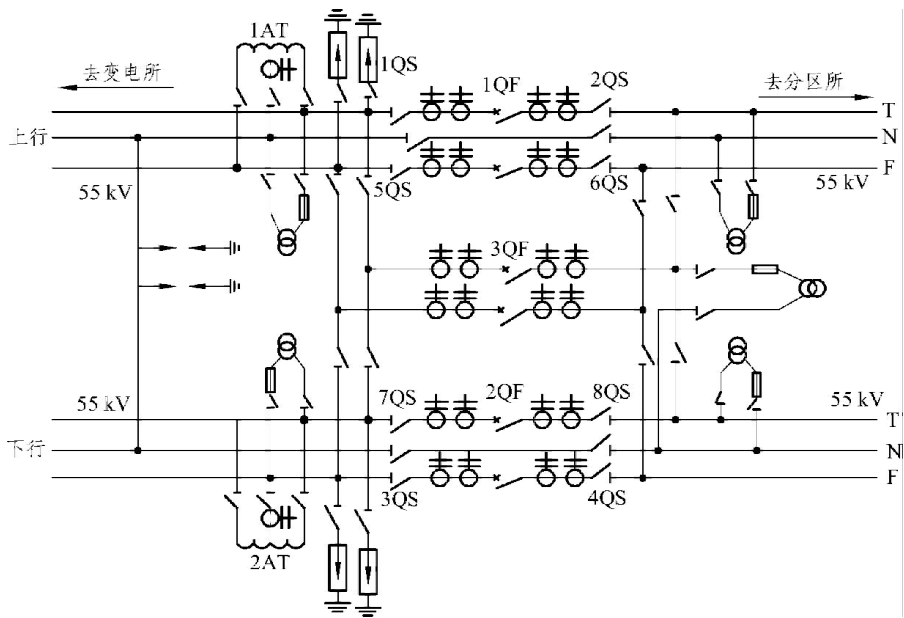


图 6.15 开闭所主接线 (AT 供电方式)

正常工作时， Q_n 、 QF_2 、 QF_3 处于合闸状态， $QS_1 \sim QS_4$ 均闭合， QS_5 和 QS_8 或 QS_6 和 QS_7 两组合隔离开关中任一组闭合，另一组断开，上下行牵引网任一线路故障时，如上行线变电所至开闭所区段发生故障， Q_n 和 QF_3 在继电保护装置作用下自动分闸，上下行开闭所至分区所段以及下行线路继续工作，减小了停电范围。

三、分区所的主接线

分区所的主要作用在于灵活地改变运行方式，提高供电可靠性和供电质量。

(1) 单线区段的分区所主接线如图 6.16 所示。正常运行时，分区所内断路器及两侧隔离开关断开。当闭合隔离开关 QS 和断路器时可双边供电提高末端电压；当一侧变电所出现故障无法供电时，可以由另一侧变电所越区供电，提高供电可靠性。

(2) 直接供电或 BT 供电方式下，复线区段分区所主接线如图 6.17 所示。图中设与分相绝缘器并联的隔离开关（或断路器）供需要时越区供电。

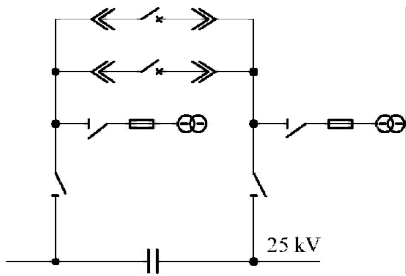


图 6.16 单线区段的分区所主接线

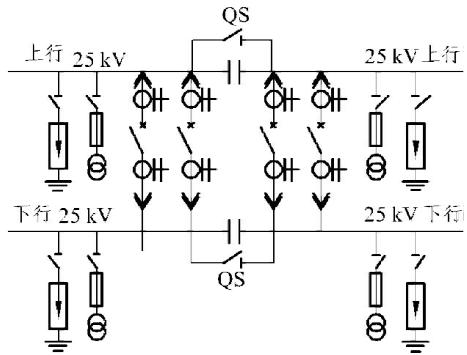


图 6.17 复线区段 (非 AT 供电方式) 分区所主接线

(3) 复线区段用 AT 供电方式的分区所主接线如图 6.18 所示。

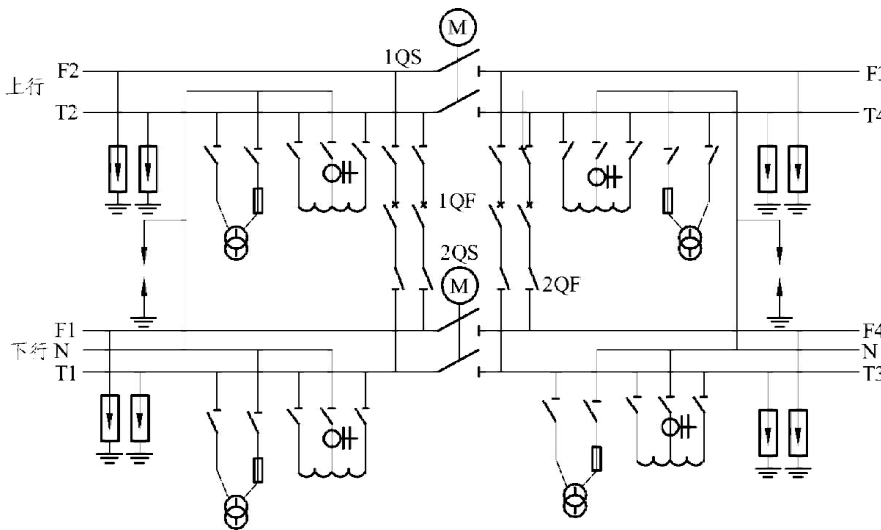


图 6.18 复线区段 (AT 供电方式) 分区所主接线

该分区所同侧的上、下行接触网通过断路器 Q_n 、 QF_2 接通并联供电。由两相邻牵引变电所供电的接触网，在网上用分相绝缘器断开，在分区所内用电动隔离开关 QS_1 、 QS_2 将两侧接触网隔离。正常时， QS_1 、 QS_2 断开，只有在越区供电时， QS_1 、 QS_2 才闭合。左侧上行进线及右侧下行进线上各接一台单相所用电压互感器。其余两回进线上各接一台单相电压互感器供测量、保护及重合闸时检查电压用。相邻两牵引网上、下行 T、F 线间各一台自耦变压器和避雷器。同一侧两台自耦变压器中心抽头的 N 线经接地保护装置接地。

四、AT 所 (自耦变压器站) 的主接线

AT 所中自耦变压器的两个出线端（电压为 55 kV）分别经隔离开关（或断路器）跨接于接触网和正馈线间。其中点经中性线、电流互感器、隔离开关与钢轨、接触网保护线相连、接触

网与钢轨间电压仍为 27.5 kV，如图 6.19 所示。

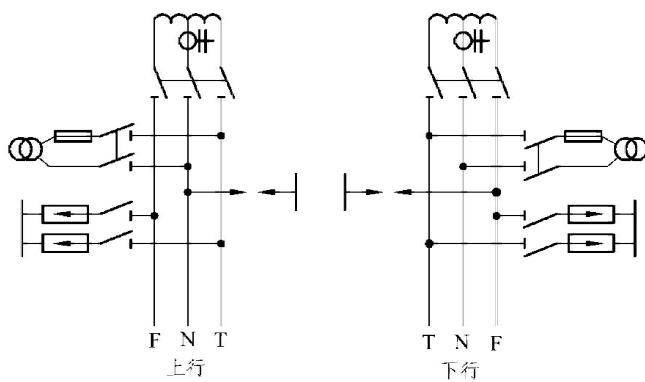


图 6.19 复线区段 AT 所主接线